



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και
Μηχανικών Υπολογιστών

Διπλωματική Εργασία

***Μοντελοποίηση-Προσομοίωση Συστήματος Ελέγχου Φόρτισης Μεγάλων
Στόλων Ηλεκτρικών Αυτοκινήτων***

Λάζαρος Δ. Χατζηιωαννίδης

Εξεταστική επιτροπή:

Αναπληρωτής Καθηγητής: Κανέλλος Φώτιος (επιβλέπων)

Καθηγητής: Καλαϊτζάκης Κωνσταντίνος

Καθηγητής: Σταυρακάκης Γεώργιος

Χανιά, Δεκέμβριος 2020

Περίληψη:

Σήμερα, εν έτει 2020, η παγκόσμια κοινότητα βρίσκεται αντιμέτωπη με προβλήματα που η ίδια με τον ένα ή τον άλλο τρόπο έχει προκαλέσει. Η κλιματική αλλαγή και το φαινόμενο του θερμοκηπίου συνδέονται άμεσα με τους αυξημένους αέριους ρύπους, ως αποτέλεσμα της αλόγιστης χρήσης ορυκτών καυσίμων κατά τη διαδικασία τροφοδότησης του πλανήτη με ενέργεια.

Αν και τα παραπάνω μοιάζουν αρκετά ώστε να αναγκαστούμε να βρούμε τρόπους ύπαρξης φιλικότερους προς το περιβάλλον και τη ζωή γενικότερα, καθοριστικό ρόλο έχει το γεγονός ότι τα αποθέματα ορυκτών καυσίμων έχουν εξαντληθεί σημαντικά και αν οι ρυθμοί κατανάλωσής τους δεν αντιστραφούν τότε αυτά θα στερέψουν μέσα στα επόμενα 100 χρόνια.

Ως απόρροια των παραπάνω έχει ξεκινήσει μια προσπάθεια απαγκίστρωσης από τα συμβατικά καύσιμα, κομμάτι της οποίας αποτελεί και η επάνοδος της ηλεκτροκίνησης σε διάφορα οχήματα. Εκτιμάται πως μέσα στην επόμενη εικοσαετία τα ηλεκτρικά οχήματα θα καλύπτουν το 50% της παγκόσμιας αγοράς. Το γεγονός αυτό θα επιφέρει μεγάλες αλλαγές στα ηλεκτρικά δίκτυα καθώς και στον τρόπο που αυτά σχεδιάζονται και λειτουργούν, τμήμα των οποίων θα αποτελέσουν αναγκαστικά και οι σταθμοί φόρτισης με τους οποίους και θα ασχοληθούμε στην παρούσα διπλωματική.

Στο πλαίσιο αυτό μοντελοποιήθηκε ένας σταθμός φόρτισης-στάθμευσης ηλεκτρικών οχημάτων και αναζητήθηκαν τρόποι ελέγχου της φόρτισης που ελαχιστοποιούν το κόστος λειτουργίας του σταθμού εκμεταλλευόμενοι τα πλεονεκτήματα της ασαφούς λογικής και του Real Time Pricing. Η μοντελοποίηση και η προσομοίωση έγινε χρησιμοποιώντας τα εργαλεία Matlab και Fuzzy Logic Toolbox και παρουσιάζονται τα βασικά οφέλη, οι περιορισμοί και τα διάφορα συμπεράσματα που εξήχθησαν κατά την προσομοίωση του συστήματος που βασίστηκε σε ρεαλιστικά δεδομένα.

Abstract :

Currently in 2020, world community is facing challenges that on way or another has itself provoked. Climate change and the greenhouse effect are directly related to an ever increasing level of gas pollutants produced in the course of recklessly utilizing fossil fuels to cover the global energy needs.

Even though the line of argument briefly taken up above should be considered to be critical enough so as to make us search for alternative modes of living friendlier to the environment and more compatible to the needs of life, to the same end it is also decisive that the global fossil fuel reserves have already been significantly reduced and they are certainly going to run out at some point in the next 100 years if current rate of consumption was to be maintained.

As a consequence, an endeavor to diminish dependence on conventional types of combustibles is being currently carried through, part of which involves a shift to the use of electrically powered vehicles. It is estimated that electric vehicles will reach a 50% share of the global market within the next twenty years. This will significantly reshape electrical energy networks and will affect their way of being designed and operated. Widespread use of battery charging points for electric vehicles, a core issue to treat in the course of this thesis, will come up as a significant factor of these changes.

In this context, a battery charging station with a capacity to serve electric vehicles at the same time has been modelled and different alternatives have been investigated so as to regulate the battery charging process in such a way as to minimize operational costs for this station, making use of the advantages inherent in fuzzy logic and Real Time Pricing. Matlab and Fuzzy Logic Toolbox have been chosen to model and simulate the examined system. An account of basic benefits, constraint conditions and concluding considerations will be given, based on the results obtained by the simulation of a realistic electric vehicle charging station.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περιεχόμενα Εικόνων	6
1 Εισαγωγή:	8
2 Γνωστικό υπόβαθρο	10
2.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ηλεκτροκίνησης.	10
➤ 2.1.1 Πλεονεκτήματα ηλεκτρικών οχημάτων:	10
➤ 2.1.2 Μειονεκτήματα ηλεκτρικών οχημάτων:	12
2.2 Τεχνολογίες ηλεκτρικών οχημάτων.	13
➤ 2.2.1 Ηλεκτρικά οχήματα μπαταρίας (Battery Electric Vehicles-BEV) :	14
➤ 2.2.2 Ηλεκτρικά οχήματα αυξημένης αυτονομίας (Extended Range Electric Vehicles-EREV) : ..	15
➤ 2.2.3 Ηλεκτρικά οχήματα κυψελών καυσίμου (Fuel Cell Electric Vehicles-FCEV) :	16
➤ 2.2.4 Υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (Hybrid Electric Vehicles-HEV) :	17
2.3 Τεχνολογίες μπαταριών (συσσωρευτών) εφαρμοσμένες στην ηλεκτροκίνηση.....	18
➤ 2.3.1 Μολύβδου-Οξέος (Lead-Acid) :	19
➤ 2.3.2 Νικελίου-Καδμίου (Ni-Cd) :	20
➤ 2.3.3 Νικελίου-Υδριδίου-Μετάλλου (NiMH) :	21
➤ 2.3.4 Ιόντων-Λιθίου (Li-ion) :	22
2.4 Κατηγορίες φόρτισης :	23
➤ 2.4.1 Αγωγή φόρτιση :	23
➤ 2.4.2 Επαγωγική φόρτιση :	24
2.5 Ασαφής Λογική (Fuzzy Logic) & Matlab Fuzzy Logic toolbox:	25
➤ 2.5.1 Ασαφής Λογική	25
➤ 2.5.2 Matlab Fuzzy Logic toolbox.....	26
2.6 Real Time Electricity Pricing :	27
3 Υλοποίηση	29
3.1 Περιγραφή.....	29
➤ 3.1.1 Μη ελεγχόμενη φόρτιση:	30
➤ 3.1.2 Ελεγχόμενη φόρτιση:.....	30
3.2 Παρουσίαση της μεθόδου	31

➤ 3.2.1 Ομαδοποίηση μπαταριών:	31
➤ 3.2.2 Περιγραφή δεδομένων εισόδου:	31
➤ 3.2.3 Ανάθεση τιμών :	35
➤ 3.2.4 Περιγραφή του fuzzy:	39
4 Αποτελέσματα και σχολιασμός:	43
4.1 Σενάριο (A)	43
4.2 Σενάριο (B)	49
4.3 Σενάριο (C).....	54
4.4 Σενάριο (D)	59
4.5 Αποδώσεις σεναρίων.....	64
5 Συμπεράσματα και προτάσεις για μελλοντική έρευνα :	66
5.1 Συμπεράσματα.....	66
5.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα :	67
6 Βιβλιογραφία :	68

Περιεχόμενα Εικόνων

Εικόνα 1 Κατηγορίες ηλεκτρικών οχημάτων και βασικά χαρακτηριστικά [23].....	13
Εικόνα 2. Αμιγώς ηλεκτροκίνητα οχήματα [24].....	14
Εικόνα 3. Απεικόνιση βασικών λειτουργικών μονάδων ηλεκτρικού οχήματος αυξημένης αυτονομίας [25].....	15
Εικόνα 4. Επεξηγηματικό σκίτσο λειτουργίας ηλεκτρικών οχημάτων κυψελών καυσίμου [26]	16
Εικόνα 5. Βασική δομή υβριδικού ηλεκτρικού οχήματος [27]	17
Εικόνα 6. Βασική δομή μπαταρίας μολύβδου-οξέος [16].....	19
Εικόνα 7. Βασική σύσταση μπαταρίας νικελίου-καδμίου [17]	20
Εικόνα 8. Βασική δομή μπαταρίας νικελίου-υδριδίου-μετάλλου [18]	21
Εικόνα 9. Διεργασίες κατά τη διαδικασία φόρτισης-εκφόρτισης σε μπαταρίες ιόντων-λιθίου [19]	22
Εικόνα 10. Precision and Significance [20]	25
Εικόνα 11. Βασικά εργαλεία του fuzzy logic toolbox [21]	26
Εικόνα 12. διακύμανση του κόστους της ενέργειας στη διάρκεια της ημέρας [22].....	27
Εικόνα 13. Εβδομαδιαία κατανομή οχημάτων για τα 4 σενάρια.....	32
Εικόνα 14.Επιλογή χρονοσειρών κόστους κιλοβατώρας	34
Εικόνα 15. Εβδομαδιαία διακύμανση κόστους κιλοβατώρας	35
Εικόνα 16.Ενδεικτική περίπτωση επαναπροσδιορισμού του <i>SoCTarget</i>	36
Εικόνα 17.Σκιαγράφιση ευελιξίας κίνησης.....	37
Εικόνα 18. Ενδεικτική απεικόνιση του επιπέδου φόρτισης οχημάτων	38
Εικόνα 19.Ορισμός της ασαφούς μεταβλητής της απόστασης σύμφωνα με το κάτω όριο	39
Εικόνα 20.Ορισμός της ασαφούς μεταβλητής της απόστασης σύμφωνα με το άνω όριο.....	40
Εικόνα 21. Ορισμός της ασαφούς μεταβλητής του κόστους ηλεκτρικής ενέργειας.....	40
Εικόνα 22. Ορισμός της ασαφούς μεταβλητής της εξόδου του fuzzy system	41
Εικόνα 23. Ισχύς για ελεγχόμενη και μη φόρτιση και κατανομή οχημάτων, Σενάριο (A)	43
Εικόνα 24. Ισχύς και κόστος, Δευτέρα Σενάριο (A)	44
Εικόνα 25. Ισχύς και κόστος, Τρίτη Σενάριο (A).....	45
Εικόνα 26. Ισχύς και κόστος, Τετάρτη Σενάριο (A)	45
Εικόνα 27. Ισχύς και κόστος, Πέμπτη Σενάριο (A)	46
Εικόνα 28. Ισχύς και κόστος, Παρασκευή Σενάριο (A)	46
Εικόνα 29. Ισχύς και κόστος, Σάββατο Σενάριο (A)	47
Εικόνα 30. Ισχύς και κόστος, Κυριακή Σενάριο (A).....	47
Εικόνα 31. Ισχύς για ελεγχόμενη και μη φόρτιση και κατανομή οχημάτων, Σενάριο (B)	49
Εικόνα 32. Ισχύς και κόστος, Δευτέρα Σενάριο (B).....	50
Εικόνα 33. Ισχύς και κόστος, Τρίτη Σενάριο (B).....	50
Εικόνα 34. Ισχύς και κόστος, Τετάρτη Σενάριο (B)	51
Εικόνα 35. Ισχύς και κόστος, Πέμπτη Σενάριο (B)	51

Εικόνα 36. Ισχύς και κόστος, Παρασκευή Σενάριο (B)	52
Εικόνα 37. Ισχύς και κόστος, Σάββατο Σενάριο (B)	52
Εικόνα 38. Ισχύς και κόστος, Κυριακή Σενάριο (B)	53
Εικόνα 39. Ισχύς για ελεγχόμενη και μη φόρτιση και κατανομή οχημάτων, Σενάριο (C)	54
Εικόνα 40. Ισχύς και κόστος, Δευτέρα Σενάριο (C)	55
Εικόνα 41. Ισχύς και κόστος, Τρίτη Σενάριο (C)	55
Εικόνα 42. Ισχύς και κόστος, Τετάρτη Σενάριο (C)	56
Εικόνα 43. Ισχύς και κόστος, Πέμπτη Σενάριο (C)	56
Εικόνα 44. Ισχύς και κόστος, Παρασκευή Σενάριο (C)	57
Εικόνα 45. Ισχύς και κόστος, Σάββατο Σενάριο (C)	57
Εικόνα 46. Ισχύς και κόστος, Κυριακή Σενάριο (C)	58
Εικόνα 47. Ισχύς για ελεγχόμενη και μη φόρτιση και κατανομή οχημάτων, Σενάριο (D)	59
Εικόνα 48. Ισχύς και κόστος, Δευτέρα Σενάριο (D)	60
Εικόνα 49. Ισχύς και κόστος, Τρίτη Σενάριο (D)	60
Εικόνα 50. Ισχύς και κόστος, Τετάρτη Σενάριο (D)	61
Εικόνα 51. Ισχύς και κόστος, Πέμπτη Σενάριο (D)	61
Εικόνα 52. Ισχύς και κόστος, Παρασκευή Σενάριο (D)	62
Εικόνα 53. Ισχύς και κόστος, Σάββατο Σενάριο (D)	62
Εικόνα 54. Ισχύς και κόστος, Κυριακή Σενάριο (D)	63
Εικόνα 55. Ετήσιο κόστος φόρτισης	64
Εικόνα 56. Οικονομική απόδοση σεναρίων	65

1 Εισαγωγή:

Ο σύγχρονος τρόπος ζωής χαρακτηρίζεται από τον πόθο της συνεχούς «αναβάθμισης» σε τομείς που συνδέονται με την ύπαρξη και την λειτουργία των σύγχρονων κοινωνιών. Συχνά η μονόπλευρη προσέγγιση αυτής της αναβάθμισης φέρνει την ανθρωπότητα αντιμέτωπη και με αναβαθμισμένα προβλήματα όπως η κλιματική αλλαγή και το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Η ραγδαία ανάπτυξη της ηλεκτροκίνησης που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια επιχειρεί να καλύψει μέρος της απάντησης στα προβλήματα αυτά.

Τα ηλεκτρικά οχήματα είναι πλέον πραγματικότητα και κερδίζουν όλο και περισσότερο έδαφος. Συναντώνται σε διάφορες κατηγορίες (επιβατικά, επαγγελματικά, αγωνιστικά) και σε μια ευρεία γκάμα δυνατοτήτων. Η μαζική χρήση τους αναμένεται να συμβάλλει, στη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και να αλλάξει σημαντικά τα ηλεκτρικά δίκτυα, καθώς θα προσδώσει σε αυτά μεγάλες δυνατότητες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, πράγμα που εξυπηρετεί την αποδοτικότερη συνεργασία με τις διάφορες μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Ένα βασικό ζήτημα που εισάγει η ευρεία χρήση ηλεκτρικών οχημάτων είναι αυτό του σχεδιασμού και δημιουργίας ενός δικτύου ανεφοδιασμού των εν λόγω οχημάτων. Οι σταθμοί φόρτισης είναι αυτοί που θα επιδιώξουν να αντικαταστήσουν τα γνωστά σε όλους μας πρατήρια καυσίμων.

Η παρούσα διπλωματική προσομοιώνει τη λειτουργία ενός τέτοιου σταθμού και επικεντρώνεται στη μελέτη και ανάπτυξη ενός έξυπνου συστήματος φόρτισης, που επιδιώκει να πετύχει το βέλτιστο κόστος λειτουργίας. Για το σκοπό αυτό αναπτύσσεται ένα μοντέλο που εκμεταλλεύεται τα πλεονεκτήματα της ασαφούς λογικής και του real time electricity pricing και τα χρησιμοποιεί για τη δημιουργία ενός ελεγχόμενου συστήματος φόρτισης. Τέλος πραγματοποιείται η εκτέλεση κάποιων σεναρίων που αναπτύχθηκαν ώστε να γίνει ορατό το

ποσοστό βελτίωσης που επιτυγχάνει η ελεγχόμενη φόρτιση έναντι της μη ελεγχόμενης.

Σχετικά με τη δομή της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, στο παρόν κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στο αντικείμενο μελέτης. Στο κεφάλαιο 2 γίνεται μια παρουσίαση του γνωστικού υπόβαθρου της εν λόγω εργασίας και περιγράφονται οι διάφορες τεχνολογίες. Στο κεφάλαιο 3 έχουμε την αναλυτική περιγραφή της μεθόδου και στο 4 γίνεται η παρουσίαση των αποτελεσμάτων. Τέλος το κεφάλαιο 5 περιλαμβάνει το σύνολο των συμπερασμάτων που εξήχθησαν καθώς και κάποιες προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

2 Γνωστικό υπόβαθρο

Τα ηλεκτρικά οχήματα δεν αποτελούν μία νέα ανακάλυψη αλλά μπορεί κανείς να εντοπίσει κάποια πρότυπα τέτοιων παραδειγμάτων σχεδόν 2 αιώνες πριν. Το 1837 ο Thomas Davenport κατασκευάζει τον πρώτο ηλεκτρικό κινητήρα που δεν αποτελεί πειραματική έκδοση και μπορεί να εφαρμοστεί στην πράξη [1], ωστόσο η ανακάλυψη μεγάλων αποθεμάτων πετρελαίου την ίδια εποχή και η παράλληλη και γρηγορότερη εξέλιξη των μηχανών εσωτερικής καύσης αποτελούν μεγάλο ανταγωνισμό και τελικώς θα επικρατήσουν [1]. Αρκετά χρόνια αργότερα στις αρχές του 21^{ου} αιώνα όταν και εμφανίζονται οι πρώτες ενδείξεις πως τα ορυκτά καύσιμα δημιουργούν σημαντικά προβλήματα κατά την καύση τους, καθώς και το γεγονός πως αυτά στερούνται διαρκώς αποτελούν βασικές αιτίες που τα ηλεκτρικά οχήματα ξαναέρχονται σιγά σιγά στο προσκήνιο. Σήμερα υπάρχουν σημαντικές εκτιμήσεις πως σε λιγότερο από 50 χρόνια τα ηλεκτροκίνητα επιβατικά και όχι μόνο οχήματα θα καλύπτουν το μεγαλύτερο κομμάτι της αγοράς [2].

2.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ηλεκτροκίνησης.

Συγκρίνοντας τα ηλεκτρικά οχήματα με τα αντίστοιχα συμβατικά μπορεί κανείς να παρατηρήσει τα χαρακτηριστικά εκείνα που τα κάνουν περισσότερο ή λιγότερο ελκυστικά.

➤ 2.1.1 Πλεονεκτήματα ηλεκτρικών οχημάτων:

- Είναι φιλικότερα προς το περιβάλλον και κατά τη λειτουργία τους (μηδενικοί ρύποι) αλλά και ως προς το συνολικό τους περιβαλλοντικό

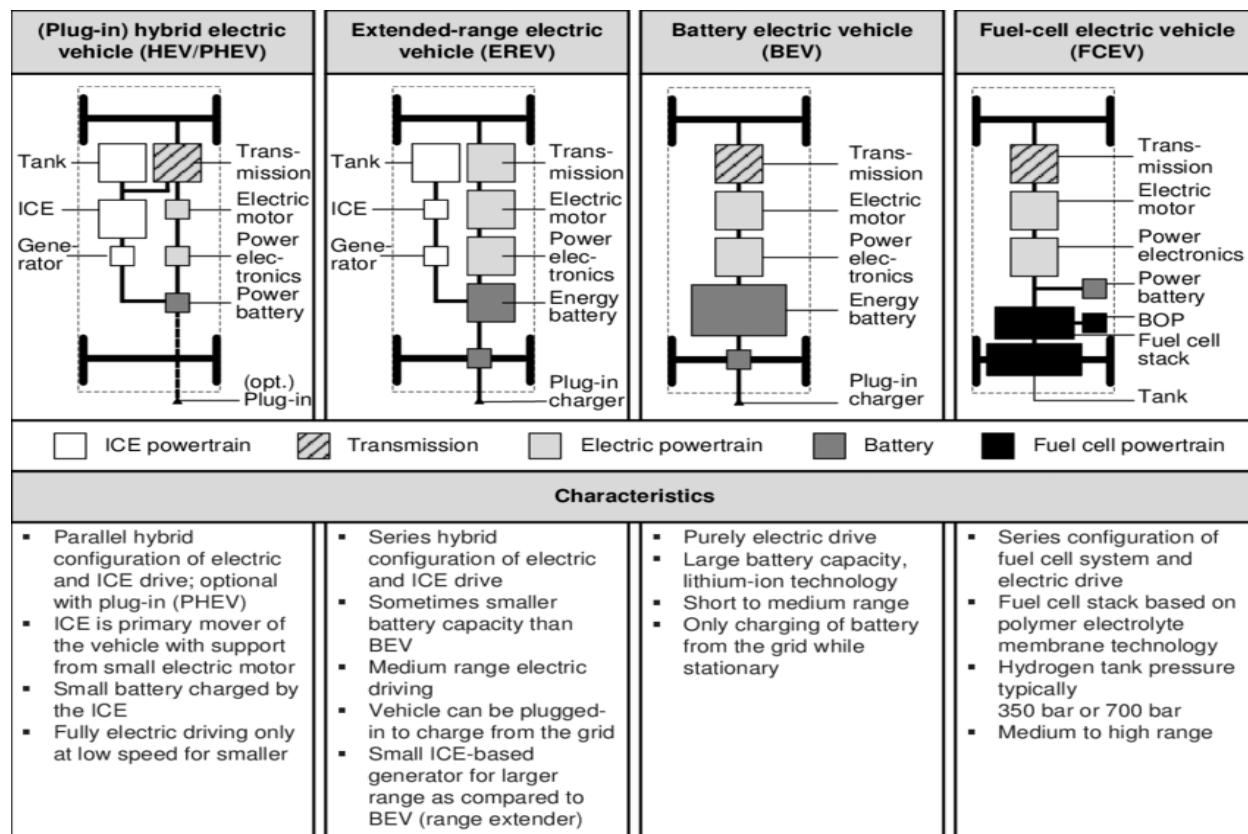
αποτύπωμα (κατασκευή, ανεφοδιασμός) [2].

- Η χρήση ηλεκτρικών οχημάτων περιορίζει την κατανάλωση ορυκτών καυσίμων ώστε αυτά να είναι διαθέσιμα για άλλα πετρελαιοειδή προϊόντα που έχουμε ανάγκη.
- Βοηθούν στη σχεδίαση και στη λειτουργία έξυπνων δικτύων Smart Grid και διευρύνουν σε σημαντικό βαθμό την χρήση και την αποτελεσματικότητα των ΑΠΕ αφού όταν μιλάμε για μαζική χρήση αυτά αποτελούν μια τεράστια κινούμενη μπαταρία [2].
- Μειώνουν την ηχορύπανση καθώς είναι σχεδόν αθόρυβα και έτσι σε συνδυασμό με την μη εκπομπή καυσαερίων είναι ιδανικά ακόμα και για χρήση σε κλειστούς χώρους (μεγάλα εργοστάσια κλπ) [3] .
- Τα ηλεκτρικά οχήματα απαιτούν λιγότερο τακτική και πιο οικονομική συντήρηση και διαθέτουν κινητήρα με πολλαπλάσια διάρκεια ζωής [3].
- Εμφανίζουν πολύ μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης και μικρότερες απώλειες κατά τη διαδικασία μετατροπής της χημικής ενέργειας σε κινητική και προσφέρουν αυξημένο και σχεδόν σταθερό επίπεδο ροπής σε όλο το εύρος των στροφών κάτι πρακτικά αδύνατο και ασυναγώνιστο για τους κινητήρες εσωτερικής καύσης [4].
- Ο ανεφοδιασμός του οχήματος είναι εφικτός ακόμα και στο σπίτι χωρίς την ανάγκη ύπαρξης εξειδικευμένου εξοπλισμού.

➤ 2.1.2 Μειονεκτήματα ηλεκτρικών οχημάτων:

- Έχουν αυξημένο κόστος παράγωγής και κατ' επέκταση μεγάλο κόστος αγοράς, δυσανάλογο με αυτό των συμβατικών οχημάτων [4].
- Δεν διαθέτουν ανεπτυγμένο δίκτυο ανεφοδιασμού και συντήρησης.
- 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].

2.2 Τεχνολογίες ηλεκτρικών οχημάτων.

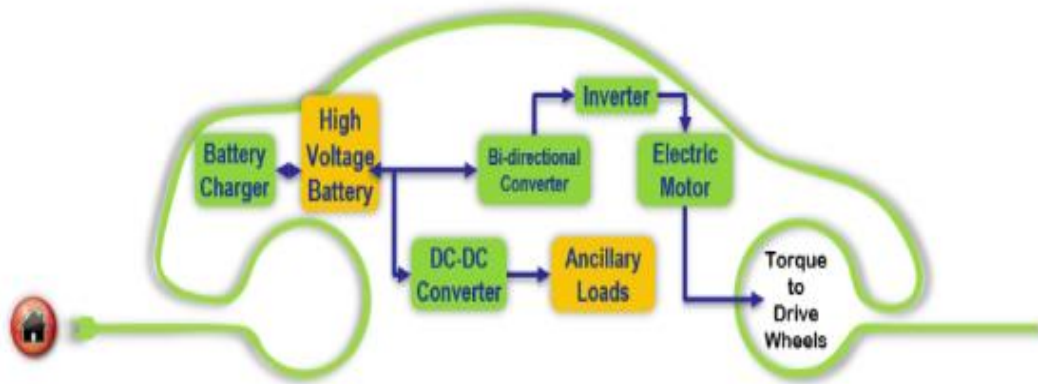


Εικόνα 1 Κατηγορίες ηλεκτρικών οχημάτων και βασικά χαρακτηριστικά [26]

Τα ηλεκτρικά οχήματα χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες με κριτήριο κυρίως το αν αυτά είναι αμιγώς ηλεκτρικά ή αν λειτουργούν σε συνδυασμό με κινητήρες εσωτερικής καύσης, αν εμφανίζουν δηλαδή κάποιον υβριδισμό. Μια γενική κατηγοριοποίηση περιλαμβάνει τέσσερις βασικές ομαδοποιήσεις ηλεκτρικών οχημάτων [5] [6] [7].

- Ηλεκτρικά οχήματα μπαταρίας (Battery Electric Vehicles-BEV)
- Ηλεκτρικά οχήματα αυξημένης αυτονομίας (Extended Range Electric Vehicles-EREV)
- Ηλεκτρικά οχήματα κυψελών καυσίμου (Fuel Cell Electric Vehicles-FCEV)
- Υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (Hybrid Electric Vehicles-HEV)

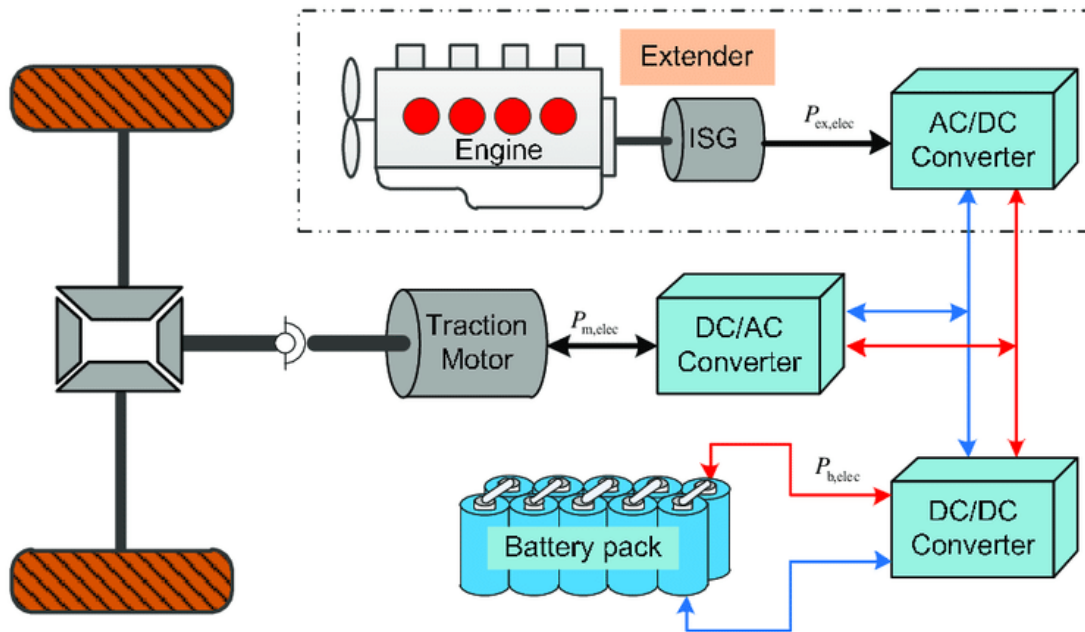
➤ 2.2.1 Ηλεκτρικά οχήματα μπαταρίας (Battery Electric Vehicles-BEV) :



Εικόνα 2. Αμιγώς ηλεκτροκίνητα οχήματα [27]

Σε αυτήν τη κατηγορία ανήκουν εκείνα τα ηλεκτρικά οχήματα τα οποία είναι εξολοκλήρου ηλεκτρικά (δεν παρουσιάζουν κάποιον υβριδισμό) και η κίνηση τους στηρίζεται αποκλειστικά σε έναν ή και περισσότερους ηλεκτρικούς κινητήρες [8]. Την τροφοδοσία των ηλεκτρικών κινητήρων καθώς και των υπόλοιπων ηλεκτρικών συστημάτων του οχήματος αναλαμβάνουν οι μπαταρίες (συσσωρευτές), οι οποίες είναι εγκατεστημένες εντός του οχήματος και αποθηκεύουν ενέργεια σε χημική μορφή [8]. Οι μπαταρίες αυτές φορτίζονται κυρίως μέσω συγκεκριμένων ηλεκτρονικών διατάξεων (φορτιστές) με την άμεση σύνδεσή τους στο ηλεκτρικό δίκτυο. Επίσης πολλά από αυτά τα οχήματα είναι εφοδιασμένα και με άλλα έξυπνα συστήματα πχ (αναγεννητική πέδηση), η οποία αξιοποιεί την δυνατότητα των ηλεκτρικών κινητήρων να μετατρέπονται σε γεννήτριες, φορτίζοντας έτσι μερικώς τις μπαταρίες κατά την πέδηση πράγμα που συμβάλει και στην αύξηση της αυτονομίας [4]. Βασικό πλεονέκτημα των παραπάνω οχημάτων είναι το γεγονός ότι χαρακτηρίζονται από μηδενικούς ρύπους και πολύ χαμηλό (συγκριτικά με τα συμβατικά) κόστος λειτουργίας.

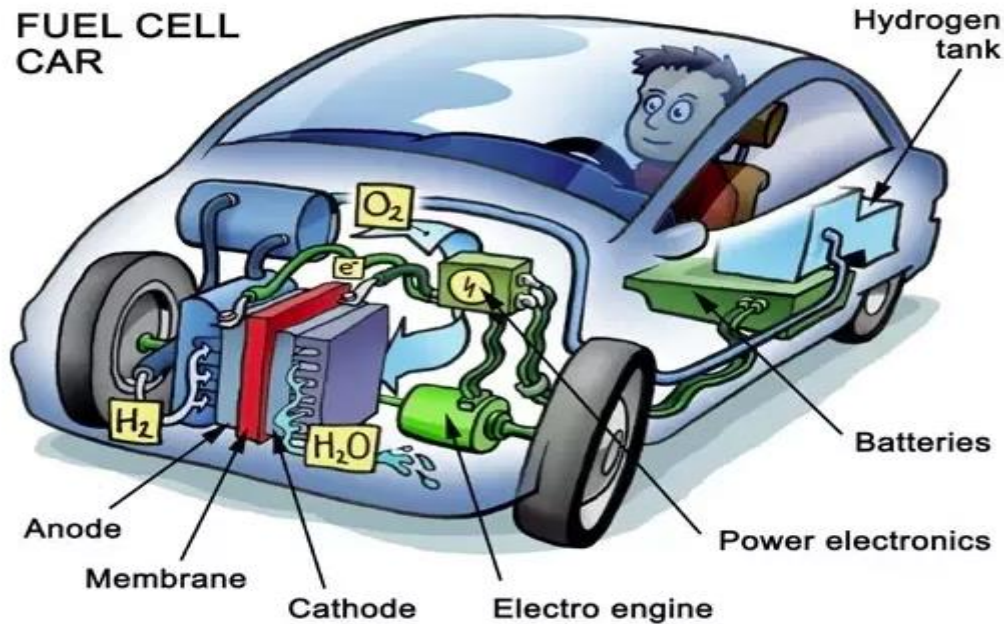
➤ 2.2.2 Ηλεκτρικά οχήματα αυξημένης αυτονομίας (Extended Range Electric Vehicles-EREV) :



Εικόνα 3. Απεικόνιση βασικών λειτουργικών μονάδων ηλεκτρικού οχήματος αυξημένης αυτονομίας [28]

Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν εκείνα τα ηλεκτρικά οχήματα που διαθέτουν επιπλέον και μηχανή εσωτερικής καύσης, ωστόσο η κίνηση του οχήματος βασίζεται αποκλειστικά στον ηλεκτρικό κινητήρα [3]. Η μηχανή εσωτερικής καύσης εξυπηρετεί την επέκταση της αυτονομίας του οχήματος, είτε φορτίζοντας τη μπαταρία, είτε παρέχοντας άμεση ισχύ στον ηλεκτροκινητήρα λειτουργώντας δηλαδή ως γεννήτρια [8]. Η βασική και πλήρης φόρτιση του οχήματος γίνεται με σύνδεση του οχήματος στο ηλεκτρικό δίκτυο [8] [4]. Τα συγκεκριμένα οχήματα παρουσιάζουν μεγαλύτερη αυτονομία από τα BEV, αλλά έχουν μεγαλύτερη πολυπλοκότητα, δεν εμφανίζουν μηδενικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα και απαιτούν επιπροσθέτως ανεφοδιασμό του καυσίμου της μηχανής εσωτερικής καύσης που διαθέτουν [3].

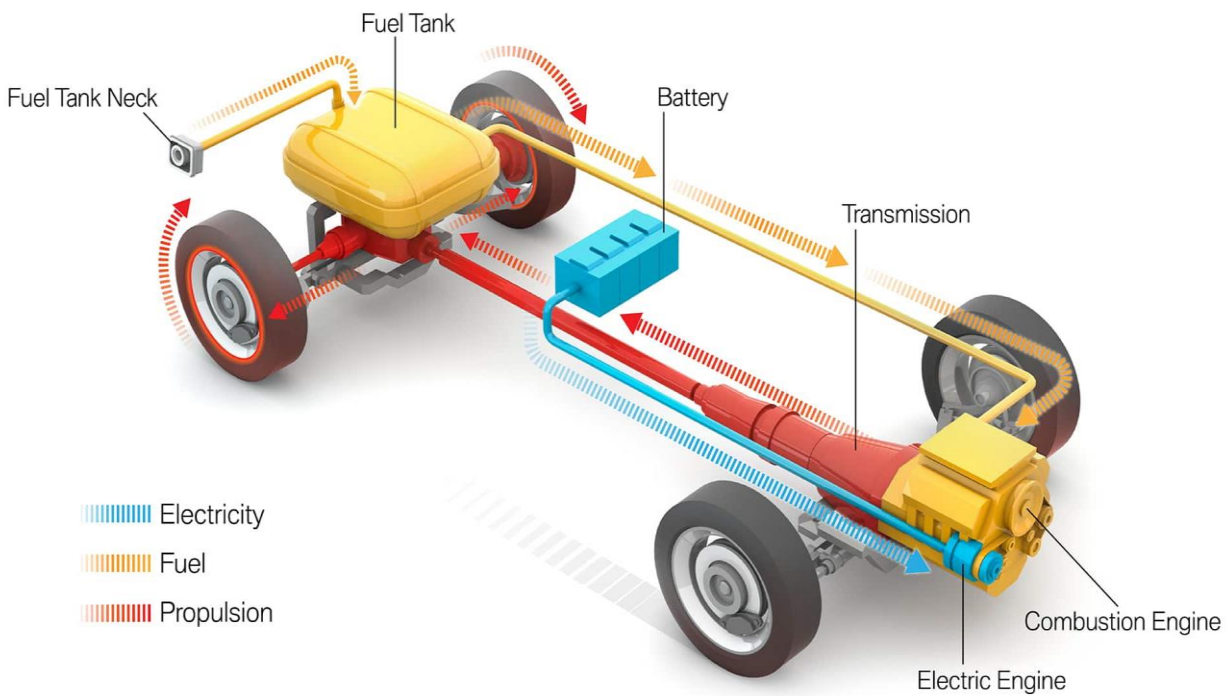
➤ 2.2.3 Ηλεκτρικά οχήματα κυψελών καυσίμου (Fuel Cell Electric Vehicles-FCEV) :



Εικόνα 4. Επεξηγηματικό σκίτσο λειτουργίας ηλεκτρικών οχημάτων κυψελών καυσίμου [29]

Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν τα οχήματα που διαθέτουν κυψέλες καυσίμου [3]. Οι κυψέλες καυσίμου είναι ένας μηχανισμός, που με τη βοήθεια κάποιου ηλεκτρολύτη, μετατρέπουν το υδρογόνο και το οξυγόνο σε νερό παράγοντας ρεύμα [9]. Αποτελούν μια κατηγορία αρκετά διαφορετική από τις υπόλοιπες. Τα οχήματα αυτά κινούνται αποκλειστικά με ηλεκτροκινητήρες, με ισχύ η οποία εξασφαλίζεται κατά τη διαδικασία μετατροπής του οξυγόνου και του υδρογόνου σε νερό [4]. Κατά τη διαδικασία αυτή παράγεται συνεχές ρεύμα, θερμότητα και φυσικά νερό. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται, είτε καταναλώνεται άμεσα, είτε αποθηκεύεται σε μπαταρίες. Είναι οχήματα που χαρακτηρίζονται από μεγάλη ισχύ και αυτονομία. Υπάρχουν διάφορα προβλήματα που εμποδίζουν την μαζική διάθεση τους στην αγορά, τα οποία συνδέονται με το μεγάλο κόστος παραγωγής των συγκεκριμένων οχημάτων, τη δυσκολία αποθήκευσης και μεταφοράς του υδρογόνου, όπως και το μικρό κύκλο ζωής των κυψελών [8].

➤ 2.2.4 Υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (Hybrid Electric Vehicles-HEV) :



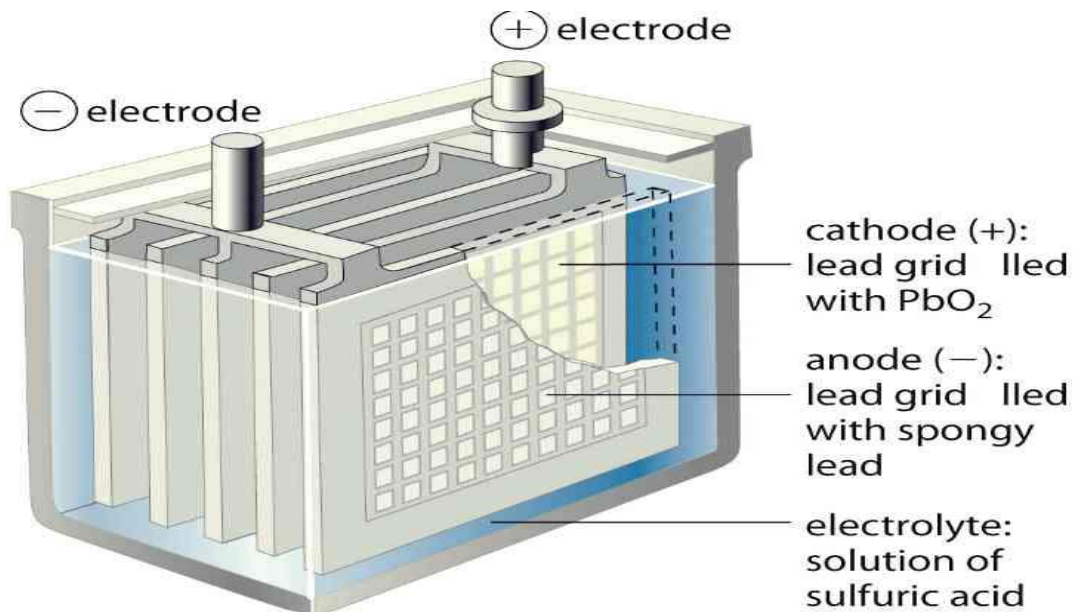
Εικόνα 5. Βασική δομή υβριδικού ηλεκτρικού οχήματος [30]

Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οχήματα τα οποία χρησιμοποιούν, δύο ή περισσότερες διαφορετικές τεχνολογίες κατά την κίνησή τους. Συνηθέστερος συνδυασμός είναι αυτός της ύπαρξης ηλεκτρικού κινητήρα και κινητήρα εσωτερικής καύσης [4]. Ο ρόλος του ηλεκτρικού κινητήρα σε αυτά τα οχήματα είναι κυρίως βοηθητικός (δευτερεύον) [8]. Τα υβριδικά οχήματα που έχουν την επιπλέον δυνατότητα να φορτίζουν τις μπαταρίες τους, με άμεση σύνδεση στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας ονομάζονται Plug-in υβριδικά [2]. Στην αγορά συναντάμε τρεις διαφορετικούς τύπους τέτοιων οχημάτων, α) εν σειρά σύνδεσης όπου υπεύθυνος για την κίνηση είναι αποκλειστικά ο ηλεκτροκινητήρας και η μηχανή εσωτερικής καύσης απλά παρέχει ισχύ είτε στον ηλεκτρικό κινητήρα είτε στις μπαταρίες, β) παράλληλης σύνδεσης όπου και οι δύο κινητήρες συνδέονται στο σύστημα μετάδοσης κίνησης και γ) μικτού τύπου όπου συνδυάζονται οι δύο προηγούμενες τεχνολογίες [3].

2.3 Τεχνολογίες μπαταριών (συσσωρευτών) εφαρμοσμένες στην ηλεκτροκίνηση

Οι μπαταρίες (συσσωρευτές) είναι εκείνες οι ηλεκτροχημικές διατάξεις που αποτελούν την καρδιά κάθε ηλεκτρικού οχήματος [3]. Οι διατάξεις αυτές μας επιτρέπουν να αποθηκεύουμε ενέργεια, σε χημική μορφή η οποία μετατρέπεται σε ηλεκτρική κατά τη διαδικασία της εκφόρτισης και αντίστροφα κατά την φόρτιση [4]. Η βασική τους δομή είναι σχετικά απλή και αποτελείται από ένα δοχείο το οποίο περιέχει κάποιον ηλεκτρολύτη και δύο ηλεκτρόδια (άνοδος - κάθοδος) [4]. Η σύνδεσή της σε κάποιο ηλεκτρικό κύκλωμα πυροδοτεί την έναρξη της χημικής αντίδρασης και την προσανατολισμένη κίνηση ηλεκτρονίων (ρεύμα). Ανάλογα με την σύσταση του ηλεκτρολύτη και το υλικό των ηλεκτροδίων, συναντάμε διάφορους τύπους μπαταριών με διαφορετικά και ανταγωνιστικά χαρακτηριστικά. Η κατάλληλη μπαταρία για ένα ηλεκτρικό όχημα, αποτελεί έναν συμβιβασμό ανάμεσα σε χαρακτηριστικά όπως, (μικρή μάζα και όγκος, μεγάλη χωρητικότητα, μεγάλη διάρκεια ζωής κλπ) και όλα αυτά σε κόστος βιώσιμο και ανταγωνιστικό [8]. Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται έντονη έρευνα και σημαντική εξέλιξη (βελτίωση) των ηλεκτροχημικών συσσωρευτών, εξαιτίας της αυξημένης τους ζήτησης [3]. Τέσσερις βασικοί τύποι μπαταριών που έχουν χρησιμοποιηθεί, ή και χρησιμοποιούνται ακόμα σε ηλεκτρικά οχήματα είναι οι εξής:

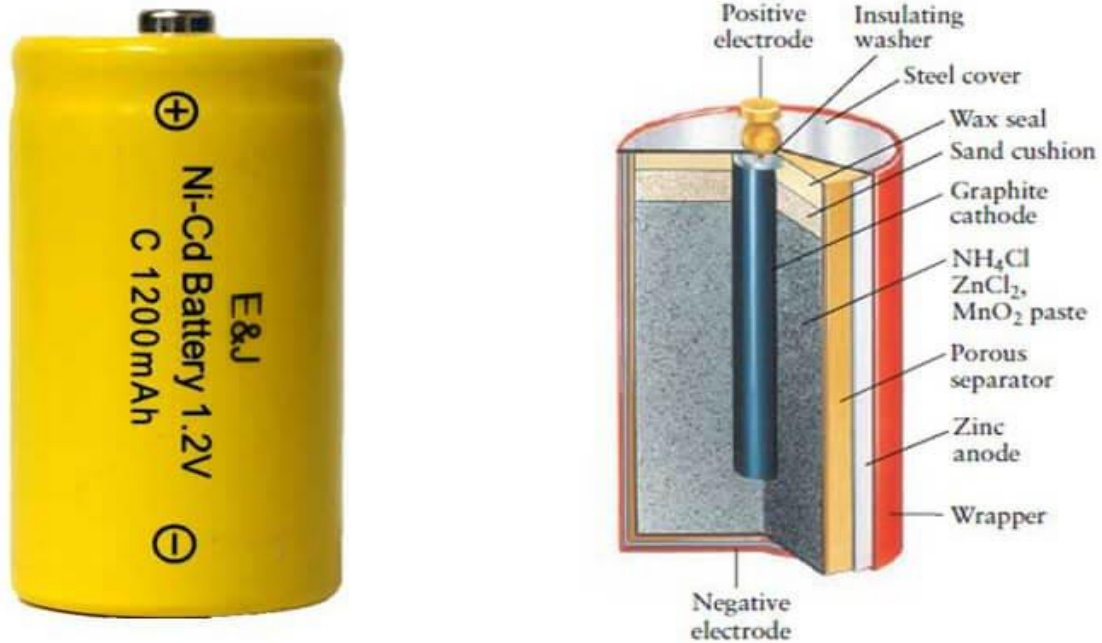
➤ 2.3.1 Μολύβδου-Οξέος (Lead-Acid) :



Εικόνα 6. Βασική δομή μπαταρίας μολύβδου-οξέος [19]

Οι συγκεκριμένες μπαταρίες αποτελούν την επιλογή με το μικρότερο κόστος, ως προς την χρήση τους, είναι σχετικά ασφαλείς και αρκετά φιλικές προς το περιβάλλον, αφού παρουσιάζουν μεγάλες δυνατότητες ανακυκλωσιμότητας [3]. Επίσης χαρακτηρίζονται από μεγάλη μάζα και όγκο, μικρή διάρκεια ζωής (περιορισμένοι κύκλοι εκφόρτισης <400) και εμφανίζουν αδυναμίες στις μεγάλες εκφορτίσεις και τις χαμηλές θερμοκρασίες [3]. Είναι μια από τις παλαιότερες τεχνολογίες μπαταριών, που χρησιμοποιήθηκε στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα έως τα μέσα της δεκαετίας του 90 [4]. Παρόλα αυτά και ενώ φαίνεται η συγκεκριμένη τεχνολογία να έχει φτάσει στην κορυφή της εξέλιξης της, εξακολουθεί να παρουσιάζει ενδιαφέρον στον τομέα της ηλεκτροκίνησης και βασικά σε οχήματα μικρών διαδρομών, εξαιτίας του πολύ χαμηλού κόστους και της υψηλής ενεργειακής ισχύς που παρουσιάζουν [4].

➤ 2.3.2 Νικελίου-Καδμίου (Ni-Cd) :

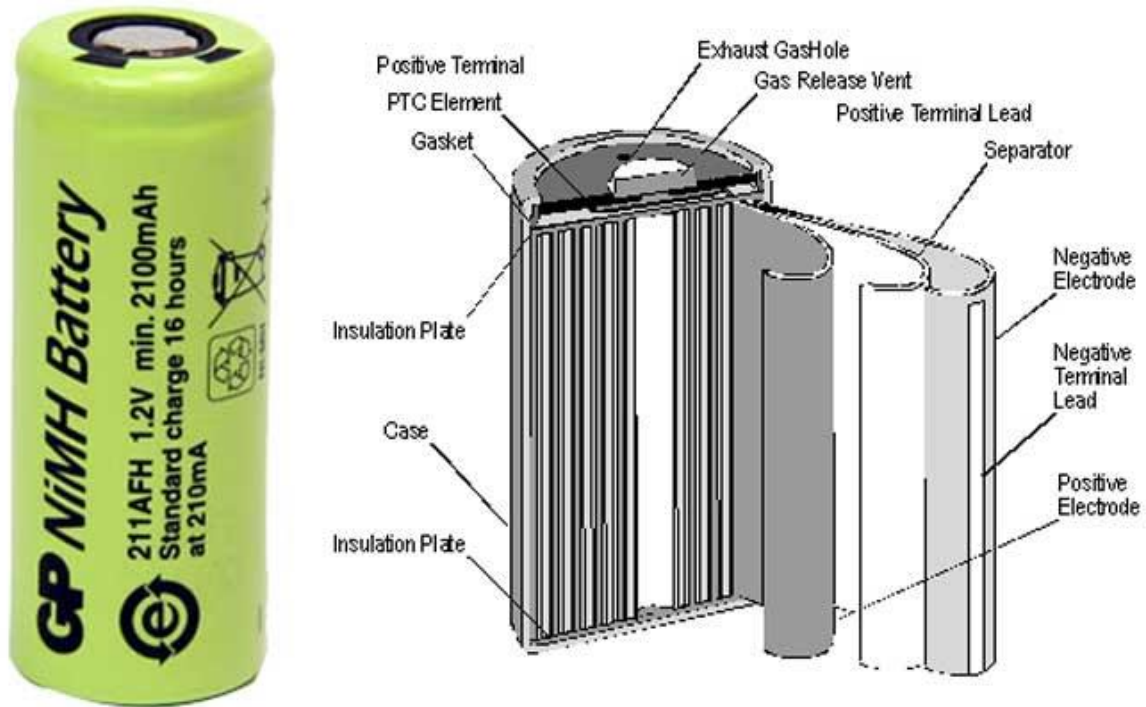


Εικόνα 7. Βασική σύσταση μπαταρίας νικελίου-καδμίου [20]

Οι μπαταρίες αυτές έχουν ελαφρώς μεγαλύτερη πυκνότητα ισχύος από τις Μολύβδου-Οξέος [8]. Το κύριο πλεονέκτημά τους είναι η μεγάλη διάρκεια ζωής, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι επιτρέπουν την πλήρη εκφόρτισή τους, χωρίς να επηρεάζεται η απόδοσή τους [4]. Στα μειονεκτήματα συγκαταλέγεται το εξαιρετικά μεγάλο κόστος εγκατάστασή τους [3], η χαμηλή πυκνότητα ισχύος, συγκριτικά με άλλες επικρατέστερες τεχνολογίες και το φαινόμενο μνήμης .

➤ 2.3.3 Νικελίου-Υδριδίου-Μετάλλου (NiMH) :

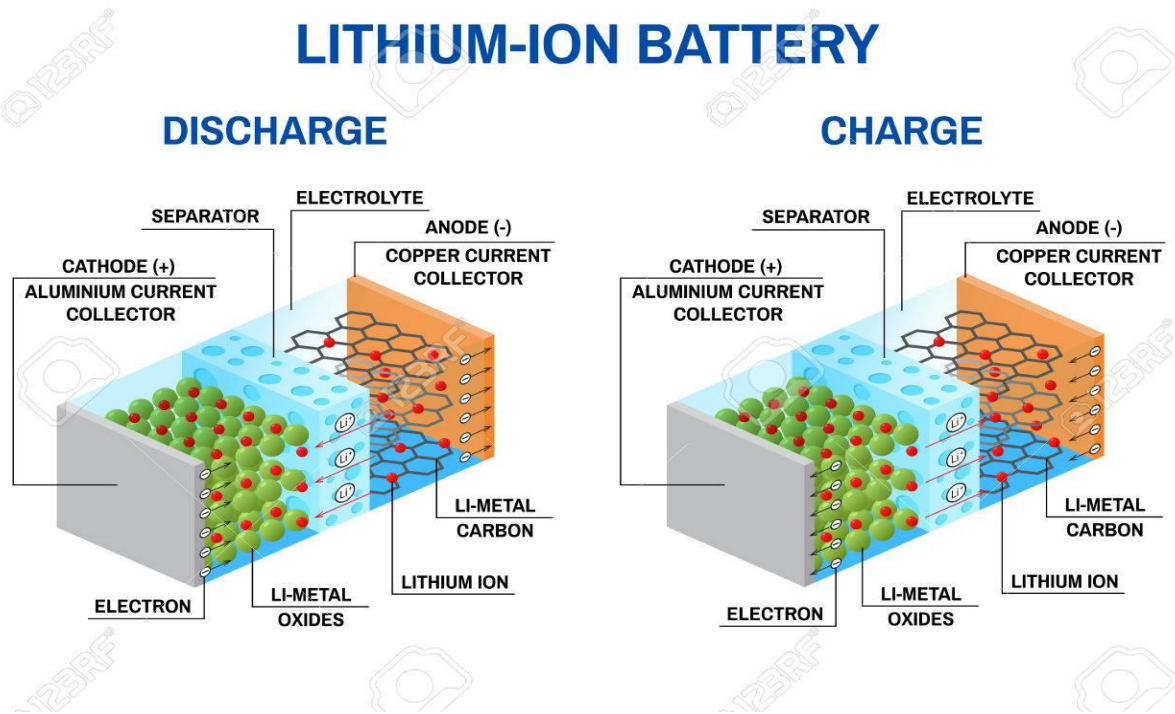
Nickel Metal Hydride (NiMH) Battery



Εικόνα 8. Βασική δομή μπαταρίας νικελίου-υδριδίου-μετάλλου [21]

Η συγκεκριμένη κατηγορία μπαταριών, αποτελεί εξέλιξη των μπαταριών Νικελίου-Καδμίου και για αυτό παρουσιάζουν αρκετά κοινά χαρακτηριστικά. Συγκριτικά με τον προκάτοχό τους, παρουσιάζουν υψηλή πυκνότητα ισχύος και σχεδόν διπλάσια ειδική ενέργεια [8]. Στα πλεονεκτήματά τους συγκαταλέγονται η μεγάλη διάρκεια ζωής, η ογκομετρική χωρητικότητα τους και η αποδοτική λειτουργία τους σε ένα μεγάλο εύρος θερμοκρασιών [4]. Μέχρι σήμερα έχουμε δει να βρίσκουν εφαρμογή σε κάποια υβριδικά οχήματα [4]. Το γεγονός ότι έχουν μεγάλο κόστος, σε συνδυασμό με την αδυναμία τους σε μεγάλες εκφορτίσεις, (εκφορτίσεις άνω το 50% μειώνουν σημαντικά τη διάρκεια ζωής τους) καθώς και ο ανταγωνισμός από τις ακόμα εξελισσόμενες μπαταρίες λιθίου, τις καθιστά λιγότερο ιδανικές για χρήση σε ηλεκτρικά οχήματα [3].

➤ 2.3.4 Ιόντων-Λιθίου (Li-ion) :



Εικόνα 9. Διεργασίες κατά τη διαδικασία φόρτισης-εκφόρτισης σε μπαταρίες ιόντων-λιθίου [22]

Αποτελεί την κατηγορία μπαταριών που παρουσιάζει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον, στον τομέα της ηλεκτροκίνησης και ήδη χρησιμοποιείται μαζικά σε πολλές φορητές ηλεκτρικές ή ηλεκτρονικές συσκευές [4]. Περιλαμβάνει μια μεγάλη γκάμα από συνδυασμούς μετάλλων, από τους οποίους εξαρτώνται και τα τελικά συνολικά χαρακτηριστικά τους, που τις καταστούν ιδανικές ή όχι για τις διάφορες συσκευές [8]. Γενικά παρουσιάζουν μεγάλη διάρκεια ζωής, τη μεγαλύτερη πυκνότητα ισχύος και την υψηλότερη ειδική ενέργεια, που οδηγούν σε μικρή μάζα και όγκο. Επίσης στα πλεονεκτήματα συγκαταλέγεται το γεγονός ότι παρουσιάζουν χαμηλό ρυθμό αποφόρτισης, μικρότερο του 5% ανά μήνα και ότι η τεχνολογία αυτή αποτελεί πεδίο έρευνας και εμφανίζει περιθώρια εξέλιξης [4] [8]. Ως μειονέκτημα μπορεί κανείς να το εντοπίσει την ύπαρξη ενός εξαιρετικά εύφλεκτου ηλεκτρολύτη, που χωρίς την απαραίτητη προσοχή εγκυμονεί κινδύνους [10], καθώς και το μεγάλο κόστος που όμως παρατηρείτε σημαντική σταδιακή μείωση και αναμένεται να μειωθεί περαιτέρω [3].

2.4 Κατηγορίες φόρτισης :

Οι κατηγορίες φόρτισης που συναντώνται σήμερα, είναι οι εξής 2 α) αγωγήμη φόρτιση και β) επαγωγική φόρτιση και παρουσιάζουν διαφορετικά ποιοτικά χαρακτηριστικά .

➤ 2.4.1 Αγωγήμη φόρτιση :

Η αγωγήμη φόρτιση απαιτεί άμεση σύνδεση, (με επαφή) του ηλεκτρικού οχήματος με τον φορτιστή [2]. Αποτελεί την πιο διαδεδομένη κατηγορία φόρτισης και ταυτόχρονα αυτή που παρουσιάζει μικρότερη πολυπλοκότητα και χαμηλότερο κόστος εξοπλισμού. Στα θετικά του συγκεκριμένου τρόπου φόρτισης, συγκαταλέγονται η ικανότητα μεταφοράς μεγαλύτερης ισχύος, με αποτέλεσμα την πιο γρήγορη φόρτιση και το χαμηλό κόστος εξοπλισμού [2]. Σημαντικό μειονέκτημα αποτελεί η απαραίτητη διασύνδεση, (με καλώδιο) του οχήματος με τον φορτιστή καθώς και τους κινδύνους που αυτό εγκυμονεί, όπως ηλεκτροπληξία (κυρίως τις βροχερές ημέρες), ή άλλα πρακτικά προβλήματα όπως το να παγώσουν τα βύσματα, (και συνεπώς να κολλήσουν) σε περιοχές που εμφανίζουν πολύ χαμηλές θερμοκρασίες και παγετό [2].

Στην αγωγήμη φόρτιση συναντάμε 3 διαφορετικά επίπεδα, που είναι συνυφασμένα με το μέγεθος της μεταφερόμενης ισχύος που μπορούν να υποστηρίξουν.

- Επίπεδο 1 (Μονοφασική AC παροχή) : Τη συναντάμε σε οικιακές εγκαταστάσεις και αποτελεί τον πιο αργό τρόπο φόρτισης, εξαιτίας της μικρής μεταφερόμενης ισχύος [2]. Ο μέσος χρόνος φόρτισης είναι οι 6-8 ώρες και έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

230V/16A ~ 3kW & 230V/32A ~ 7kW

- Επίπεδο 2 (Τριφασική AC παροχή) : Παρέχει αρκετά μεγαλύτερη ποσότητα ισχύος και τη συναντάμε σε δημόσιους και ιδιωτικούς σταθμούς φόρτισης [2]. Ο μέσος χρόνος φόρτισης είναι 2-4 ώρες και εμφανίζει τα εξής χαρακτηριστικά:

$$400V/16A \sim 11kW \text{ \& } 400V/32A \sim 22kW$$

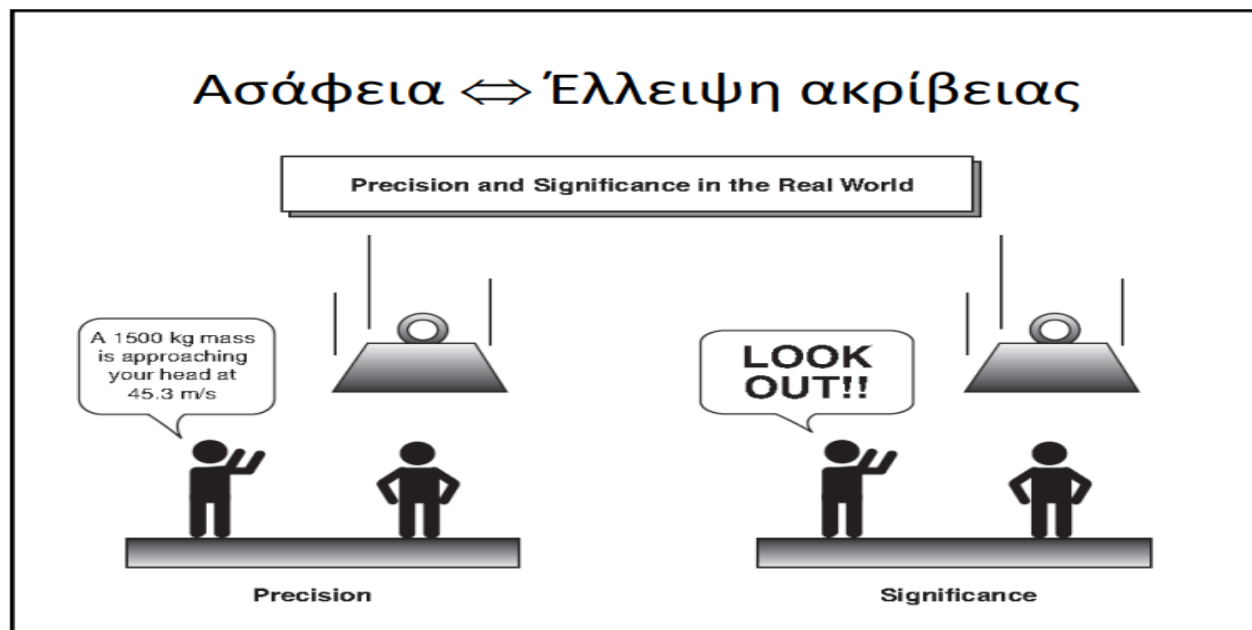
- Επίπεδο 3 (DC παροχή) : με τη συγκεκριμένη παροχή γίνεται εφικτό, να μεταφερθεί πολύ μεγαλύτερη ποσότητα ισχύος και έτσι επιτυγχάνεται η γρήγορη φόρτιση (fast charging) [2]. Το κόστος του εξοπλισμού αυτού του επιπέδου, είναι πολλαπλάσιο από αυτό των προηγούμενων επιπέδων. Ο μέσος χρόνος φόρτισης είναι τα 20 λεπτά και οι φορτιστές αυτού του επιπέδου, συναντώνται κυρίως σε μεγάλα εθνικά δίκτυα [2]. Η μεταφερόμενη ισχύς, ανάλογα και με τις δυνατότητες του οχήματος μπορεί να αγγίξει ακόμα και τιμές της τάξης των 200-300 kW [4].

➤ 2.4.2 Επαγωγική φόρτιση :

Η επαγωγική φόρτιση, αποτελεί μια μορφή ασύρματης φόρτισης (χωρίς τη χρήση καλωδίου) [4]. Η αρχή λειτουργίας του συγκεκριμένου τρόπου φόρτισης, βασίζεται στην ηλεκτρομαγνητική επαγωγή και επιτυγχάνεται με χρήση δύο τυλιγμάτων, (ενός πρωτεύοντος εντός του συστήματος τροφοδοσίας και ενός δευτερεύοντος εντός του οχήματος) [2]. Στα πλεονεκτήματα εντοπίζονται, η μεταφορά ισχύος χωρίς επαφή (σε ερευνητικό στάδιο μελετάται και η εν κινήσει φόρτιση), πράγμα που λύνει τα προβλήματα που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη κατηγορία. Στα αρνητικά του συγκεκριμένου τρόπου φόρτισης εντοπίζουμε τη μεγαλύτερη συγκριτικά πολυπλοκότητα, το υψηλότερο κόστος εξοπλισμού καθώς και τη συγκριτικά χαμηλότερη αποδοτικότητα [2] [11] [12].

2.5 Ασαφής Λογική (Fuzzy Logic) & Matlab Fuzzy Logic toolbox:

➤ 2.5.1 Ασαφής Λογική

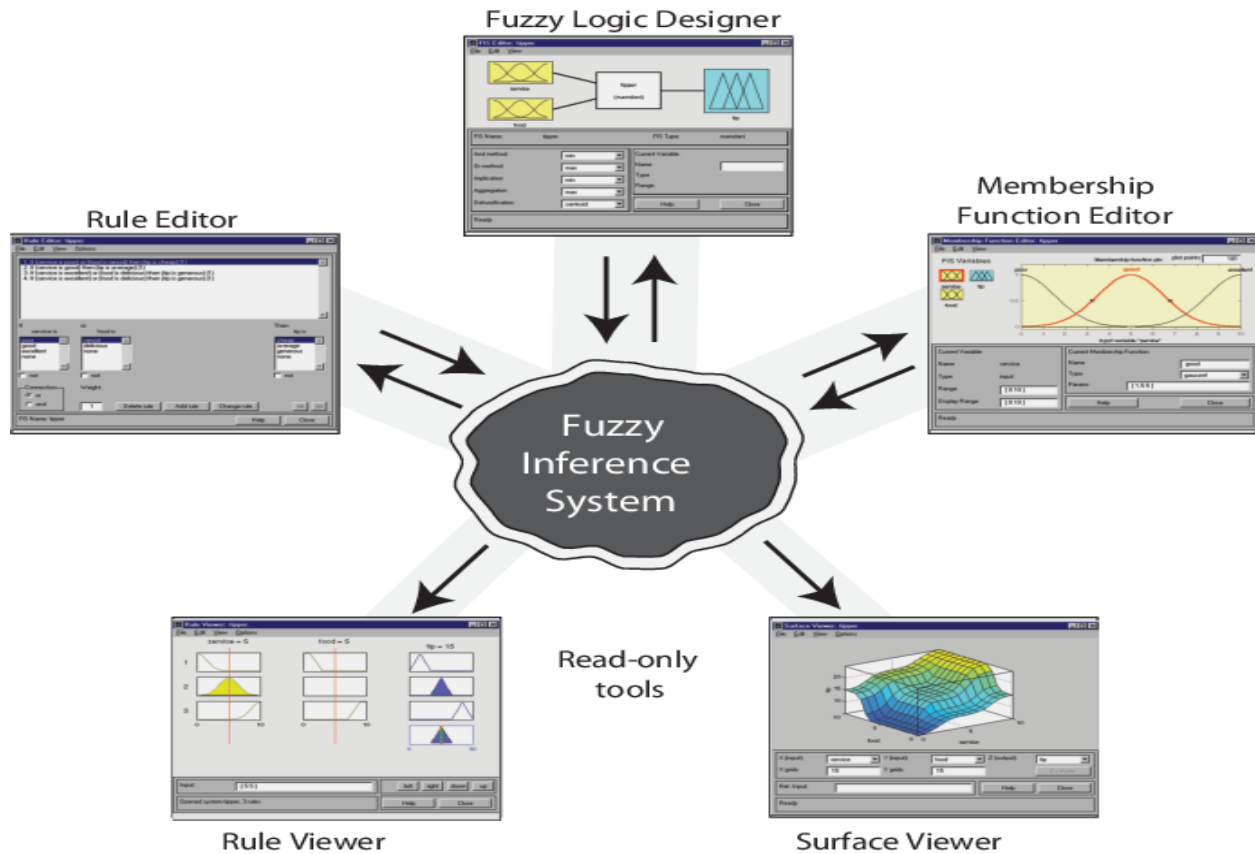


Εικόνα 10. Precision and Significance [23]

Το 1965 στο Πανεπιστήμιο του Berkeley, επινοούνται από τον Ρωσοπερσικής καταγωγής καθηγητή Lotfi Zadeh τα ασαφή σύνολα [11]. Τα ασαφή σύνολα προσεγγίζουν με διαφορετικό για την εποχή τρόπο, τις λογικές καταστάσεις αληθές-ψευδές και εισάγουν την έννοια της πλειότιμης λογικής. Θα μπορούσε κανείς να πει, πως με τα ασαφή σύνολα δόθηκε η δυνατότητα μετάβασης, από την έννοια της υπαγωγής ενός στοιχείου στο σύνολο, στην έννοια του βαθμού συμμετοχής του στοιχείου στο σύνολο [12].

Η ασαφής λογική αποτελεί γενίκευση της κλασσικής λογικής και παρέχει μηχανισμούς ποσοτικοποίησης της πληροφορίας για μη-ακριβή δεδομένα. Έχει επεκταθεί με τρόπο, τέτοιο ώστε να καλύπτει το κενό ανάμεσα στο <απολύτως αληθές> και <απολύτως ψευδές> και αποτελεί σημαντικό εργαλείο για την εξαγωγή συμπερασμάτων όταν τα δεδομένα μας είναι ασαφή [12].

➤ 2.5.2 Matlab Fuzzy Logic toolbox

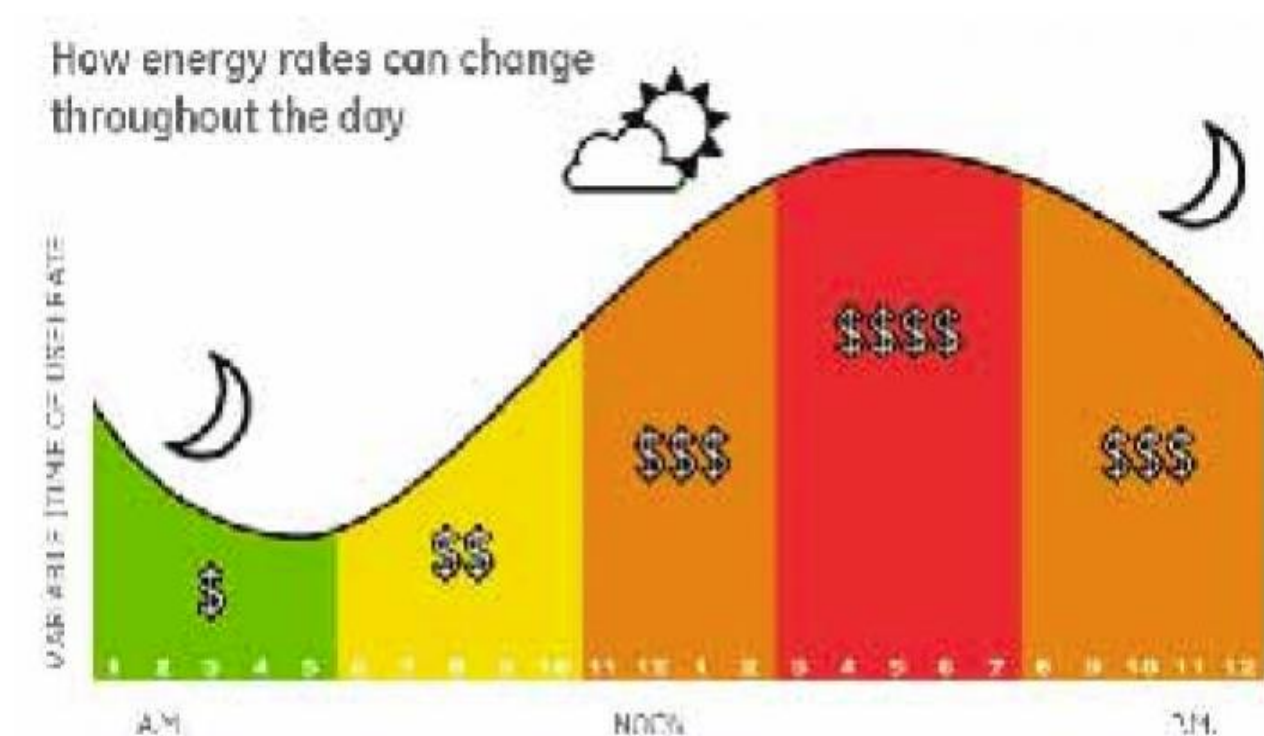


Εικόνα 11. Βασικά εργαλεία του fuzzy logic toolbox [24]

Το fuzzy logic toolbox αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο της MATLAB, που μας δίνει τη δυνατότητα να περιγράψουμε και να διαχειριστούμε με ευκολία προβλήματα με ασαφή δεδομένα. Χρησιμοποιώντας το συγκεκριμένο εργαλείο, μπορούμε να ποσοτικοποιήσουμε ασαφή δεδομένα και να δημιουργήσουμε σύνολα, στα οποία μάλιστα μπορούμε να θέσουμε λογικούς κανόνες [13]. Με λίγα λόγια αποτελεί ένα σύστημα το οποίο μπορεί να δεχθεί δεδομένα ως είσοδο, να τα επεξεργαστεί σύμφωνα με τους κανόνες που εμείς έχουμε ορίσει και να παράξει κάποια έξοδο σε μορφή που του έχουμε υποδείξει. Χρήσιμη επίσης λειτουργία του, αποτελεί η οπτικοποίηση των λογικών κανόνων, καθώς βοηθά σημαντικά στην κατανόηση του συστήματος [12]. Η εισαγωγή δεδομένων και η εξαγωγή των αποφάσεων στο fuzzy σύστημα που έχουμε

σχεδιάσει, πραγματοποιείται εύκολα με την κλήση κατάλληλων συναρτήσεων [12].

2.6 Real Time Electricity Pricing :



Εικόνα 12. διακύμανση του κόστους της ενέργειας στη διάρκεια της ημέρας [25]

Εδώ και αρκετό καιρό, δεν είναι λίγες οι βιομηχανίες που έχουν στραφεί στο σχεδιασμό και την δημιουργία έξυπνων δικτύων (Smart Grid), με αποτέλεσμα τα δυναμικά προγράμματα τιμολόγησης να παρουσιάζουν όλο και μεγαλύτερο ενδιαφέρον [14].

Στη δυναμική τιμολόγηση, οι τιμές προσαρμόζονται στα δεδομένα της προσφοράς και της ζήτησης σε πραγματικό, ή σχεδόν πραγματικό χρόνο [14]. Αυτό προσφέρει στον πάροχο ηλεκτρικής ενέργειας, τη δυνατότητα να τιμολογεί τον πελάτη του με τιμή που διαφέρει από ώρα σε ώρα και επομένως το τελικό κόστος, που θα κληθεί να πληρώσει ο πελάτης, συνδέεται άμεσα με την ευελιξία τροφοδότησης των φορτίων του [14]. Μεγάλα φορτία σε ώρες χαμηλού κόστους

και μικρά σε ώρες υψηλού, συμβάλουν στη μείωση του συνολικού κόστους. Επίσης όσο αυξάνεται ο αριθμός των πελατών που κάνουν χρήση, των εν λόγω προγραμμάτων παρατηρείται εξισορρόπηση στις ώρες αιχμής και επομένως μικρότερη διακύμανση της ισχύος κατά τη διάρκεια της ημέρας [14]. Αυτό δίνει τη δυνατότητα στους παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας, να καλύπτουν μεγαλύτερα φορτία με (μεγάλες και οικονομικές) μονάδες βάσης και περιορισμού των (μικρών και κοστοβόρων) μονάδων αιχμής, μειώνοντας έτσι και το κόστος παραγωγής [14].

Υπάρχουν διάφορα προγράμματα δυναμικής τιμολόγησης. Ένα από αυτά στο οποίο θα αναφερθούμε, στα πλαίσια της συγκεκριμένης διπλωματικής είναι το **(RTP)** Real Time Pricing [14] [15]. Στο συγκεκριμένο πρόγραμμα, οι πελάτες ενημερώνονται για την τιμή της κιλοβατώρας νωρίτερα (1 ημέρα ή κάποιες ώρες) . Έχει παρατηρηθεί ότι το συγκεκριμένο πρόγραμμα, μπορεί να συμβάλει στη μείωση της κατανάλωσης, όταν υπάρχει ανατροφοδότηση πληροφοριών (feedback) [14].

Αν και τα προγράμματα δυναμικής τιμολόγησης, έχουν κάνει την εμφάνιση τους αρκετό καιρό και τα χρησιμοποιούν αρκετές χώρες, στην Ελλάδα δεν έχουν ακόμα εφαρμοστεί [14].

3 Υλοποίηση

3.1 Περιγραφή

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι ο σχεδιασμός και η υλοποίηση ενός έξυπνου συστήματος ελέγχου φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, σε ένα σταθμό φόρτισης. Στόχος του αλγορίθμου που αναπτύχθηκε, είναι η βελτιστοποίηση του κόστους φόρτισης χρησιμοποιώντας έναν ελεγχόμενο τρόπο φόρτισης εφαρμόζοντας ασαφή λογική. Η βασική ιδέα είναι, πως από τη στιγμή που το όχημα θα μείνει στο σταθμό για αρκετό χρόνο, ίσως και μεγαλύτερο από αυτόν που απαιτείται για μια κλασσική φόρτιση, μπορούμε να εκμεταλλευτούμε την παραμονή του στο σταθμό, φορτίζοντας ή εκφορτίζοντας την μπαταρία του, ανάλογα με το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας και τον διαθέσιμο χρόνο. Έτσι όταν η τιμή της ενέργειας είναι χαμηλή, μπορούμε να φορτίζουμε τις διαθέσιμες μπαταρίες, σε ποσοστό ακόμα και μεγαλύτερο από αυτό που έχει ζητήσει ο πελάτης και να τις εκφορτίζουμε όταν η τιμή της ενέργειας είναι υψηλή, φορτίζοντας άλλες που ανήκουν σε οχήματα, που ο χρόνος παραμονής τους στον σταθμό τελειώνει, ή και πουλώντας ενέργεια στον πάροχο σε περίπτωση που δεν υπάρχουν διαθέσιμα οχήματα προς φόρτιση [16] [17]. Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στα όρια που δίνουν οι κατασκευαστές μπαταριών, για το ανώτερο και κατώτερο επίπεδο φόρτισης, έτσι ώστε να διασφαλίζεται η σωστή λειτουργία και να προστατεύεται η μπαταρία του οχήματος. Το παραπάνω μοτίβο φόρτισης, παρουσιάζει χαμηλότερο κόστος συγκριτικά με το μη ελεγχόμενο μοτίβο φόρτισης, το οποίο επίσης μοντελοποιήθηκε, ώστε να μπορέσουμε να συγκρίνουμε πραγματικά μεγέθη και να βγάλουμε ασφαλή συμπεράσματα.

➤ 3.1.1 Μη ελεγχόμενη φόρτιση:

Στην μη ελεγχόμενη φόρτιση η ισχύς φόρτισης θεωρείται σταθερή και πάντα θετική κατά τη διάρκεια φόρτισης και υπολογίζεται από την εξίσωση (1).

$$P = \frac{SoC_{Target} - SoC_0}{T_f - T_o}, \quad P \geq 0 \quad (1)$$

όπου :

P = ισχύς (kW),

SoC = επίπεδο φόρτισης (kWh),

SoC_{Target} = επιθυμητό επίπεδο φόρτισης,

SoC_0 = επίπεδο φόρτισης την στιγμή άφιξης στο σταθμό,

T_f = χρονική στιγμή αναχώρησης

T_o = χρονική στιγμή άφιξης (hr).

➤ 3.1.2 Ελεγχόμενη φόρτιση:

Στην ελεγχόμενη φόρτιση η ισχύς φόρτισης είναι μεταβαλλόμενη, μπορεί να πάρει θετικές και αρνητικές τιμές κατά τη διάρκεια φόρτισης, υπολογίζεται από την εξίσωση (2). Για τον έλεγχο του συγκεκριμένου τρόπου φόρτισης αναπτύχθηκε ένα σύστημα με ασαφή λογική που με βάση ένα σύνολο δεδομένων που δέχεται αποφασίζει την ισχύ τη στιγμή που του ζητείται.

$$P = P_{max} \cdot output_of_fuzzy, \quad output_of_fuzzy \in [-1,1] \quad (2)$$

P_{max} = μέγιστη ισχύς (kW),

$output_of_fuzzy$: πρόκειται για έναν συντελεστή που αποτελεί την έξοδο του συστήματος fuzzy που αναπτύχθηκε και είναι αδιάστατο μέγεθος.

3.2 Παρουσίαση της μεθόδου

Ο αλγόριθμος που αναπτύχθηκε έχει τη δυνατότητα να προσομοιώνει σταθμούς φόρτισης με δυναμικότητα όσων θέσεων του ζητηθούν και να φορτίζει τα συνδεδεμένα σε αυτόν οχήματα. Η προσομοίωση αφορά τη λειτουργία του σταθμού για χρονική διάρκεια 7 ημερών.

➤ 3.2.1 Ομαδοποίηση μπαταριών:

Τα οχήματα που εισέρχονται στο σταθμό για φόρτιση, διαθέτουν μπαταρίες τεσσάρων κατηγοριών. Η κατηγοριοποίηση έχει γίνει με βάση το ανώτερο και κατώτερο επιτρεπόμενο επίπεδο φόρτισης, την χωρητικότητα καθώς και με το μέγιστο ρυθμό φόρτισης-εκφόρτισης. Η τέσσερις αυτές κατηγορίες προέκυψαν από την μελέτη, βάσης δεδομένων που μας παρέχει πληροφορίες, για τα χαρακτηριστικά ηλεκτρικών οχημάτων που βρίσκονται ήδη σε κυκλοφορία. Τα χαρακτηριστικά επιλέχθηκαν με βάση ότι η μέγιστη δυνατότητα που μπορεί να υποστηρίξει μια θέση φόρτισης είναι η 3-phase 32A.

Κατηγορία 1 : $SoC_{min} = 15$ (kWh), $SoC_{max} = 100$ (kWh) , $P_{max} = 15$ (kW)

Κατηγορία 2 : $SoC_{min} = 9,75$ (kWh), $SoC_{max} = 65$ (kWh) , $P_{max} = 11$ (kW)

Κατηγορία 3 : $SoC_{min} = 6$ (kWh), $SoC_{max} = 40$ (kWh) , $P_{max} = 8$ (kW)

Κατηγορία 4 : $SoC_{min} = 3$ (kWh), $SoC_{max} = 20$ (kWh) , $P_{max} = 4$ (kW)

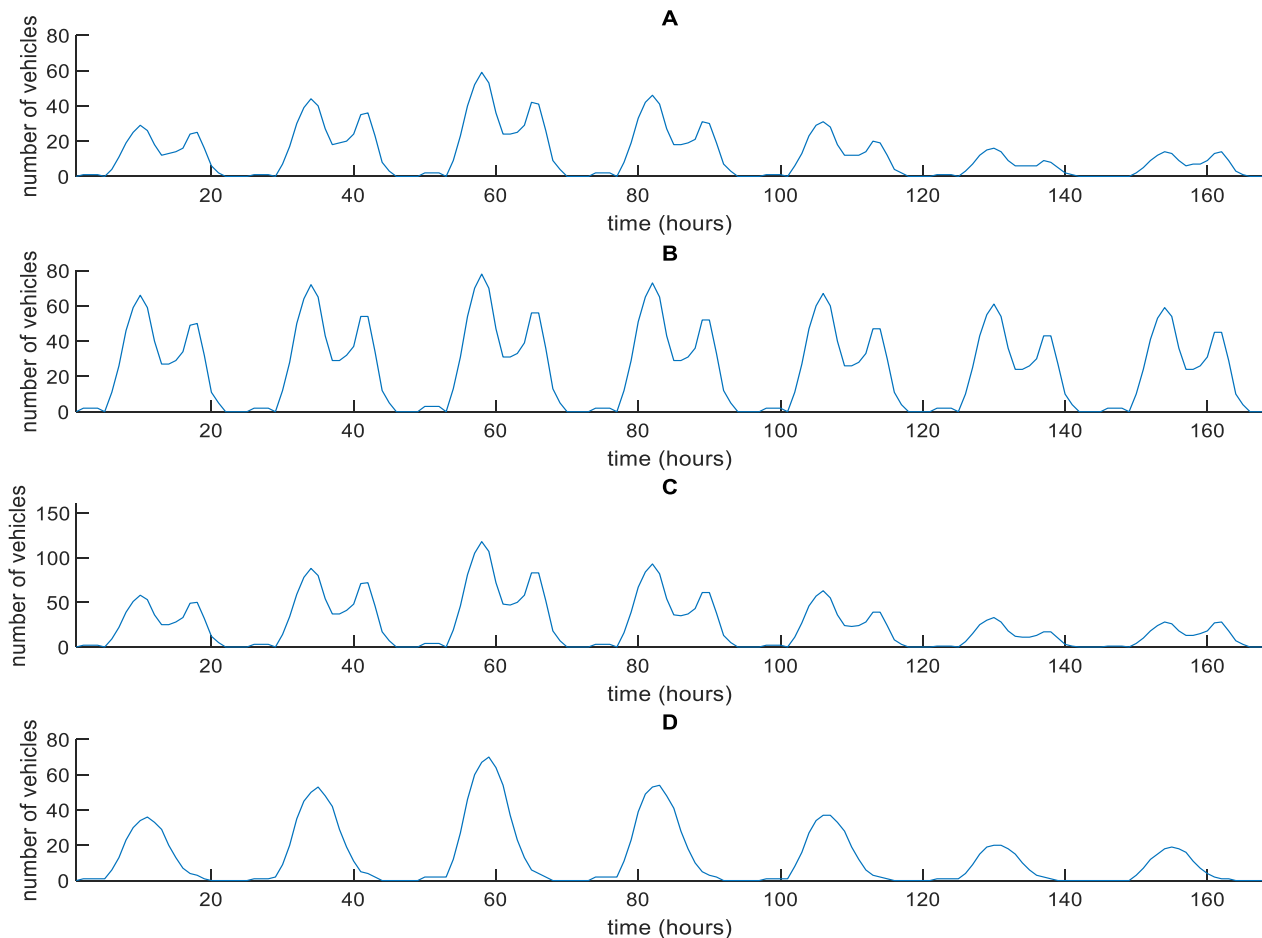
Όπου SoC_{min} =(ελάχιστο επιτρεπτό επίπεδο φόρτισης), SoC_{max} = (μέγιστο επιτρεπτό επίπεδο φόρτισης), P_{max} =(μέγιστη μεταφερόμενη ισχύς).

➤ 3.2.2 Περιγραφή δεδομένων εισόδου:

Το πρόγραμμα που αναπτύχθηκε χρησιμοποιώντας το MATLAB, δέχεται σαν είσοδο τον αριθμό των θέσεων που θα προσομοιώσει, τη χρονοσειρά κόστους (cost), καθώς και τις χρονοσειρές εισόδου (incoming) και εξόδου (outgoing) οχημάτων. Οι χρονοσειρές αυτές μας παρέχουν για κάθε ώρα την

πληροφορία, για το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας, για το πλήθος των αυτοκινήτων που θα εισαχθούν στο σταθμό καθώς και το πλήθος των οχημάτων που θα αποχωρίσουν από αυτόν αντίστοιχα. Τα incoming & outgoing είναι τα ονόματα των πινάκων που δέχεται το πρόγραμμα ως είσοδο.

Για τη δημιουργία αυτών των πινάκων παρατηρήθηκε η κινητικότητα οχημάτων σε κοινούς χώρους μαζικής στάθμευσης, ώστε να εντοπιστούν οι ώρες αιχμής στη διάρκεια της ημέρας [18]. Για την καλύτερη μελέτη της απόδοσης του συστήματος που αναπτύχθηκε, δημιουργήθηκαν και προσομοιώθηκαν τέσσερα σενάρια κατανομής οχημάτων ώστε να συγκριθούν τα αποτελέσματά τους.



Εικόνα 13. Εβδομαδιαία κατανομή οχημάτων για τα 4 σενάρια

Σενάριο A: Η κατανομή αυτή συνδέεται άμεσα με το ωράριο λειτουργίας της αγοράς. Εμφανίζει δύο κορυφώσεις στη διάρκεια ενός εικοσιτετράωρου και εντοπίζονται περίπου στις 11:00 και στις 18:00 αντίστοιχα. Η κίνηση των οχημάτων κατά τις νυχτερινές ώρες είναι πολύ χαμηλή ή ακόμα και μηδενική. Πρόκειται για σταθμό φόρτισης 80 θέσεων και βαθμό εβδομαδιαίας πληρότητας 15,3%.

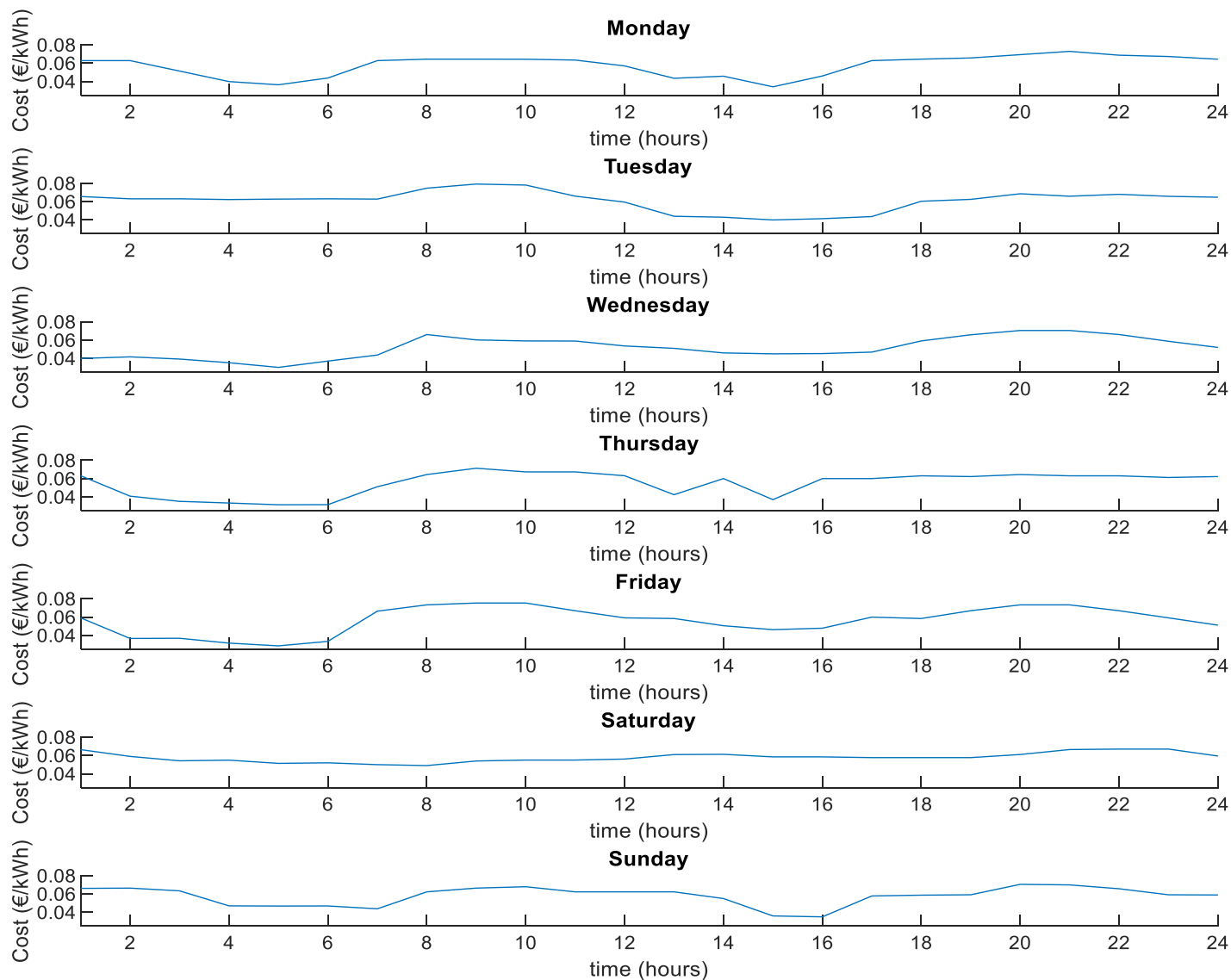
Σενάριο B: Πρόκειται ουσιαστικά για το σενάριο A με διπλάσια εβδομαδιαία πληρότητα. Βαθμός πληρότητας 30,6%. Στο σενάριο αυτό η κατανομή των οχημάτων εμφανίζει μεγάλη ομοιομορφία από μέρα σε μέρα.

Σενάριο C: Πρόκειται επίσης για το σενάριο A με τη διαφορά ότι εδώ έχουμε διπλασιασμό του μεγέθους του σταθμού φόρτισης, έτσι οι θέσεις γίνονται 160 διατηρώντας όμως τον ίδιο βαθμό εβδομαδιαίας πληρότητας. Βαθμός πληρότητας 15,3%.

Σενάριο D: Αυτό το σενάριο αν και αναφέρεται σε ίδιο μέγεθος και πληρότητα με το A είναι αρκετά διαφορετικό καθώς έχει αφαιρεθεί το δεύτερο ημερήσιο peak και το πρώτο έχει πλέον μεγαλύτερο πλάτος. Το σενάριο αυτό μας παρέχει μια απεικόνιση ενός σταθμού που εξυπηρετεί αποκλειστικά γραφεία και υπηρεσίες.

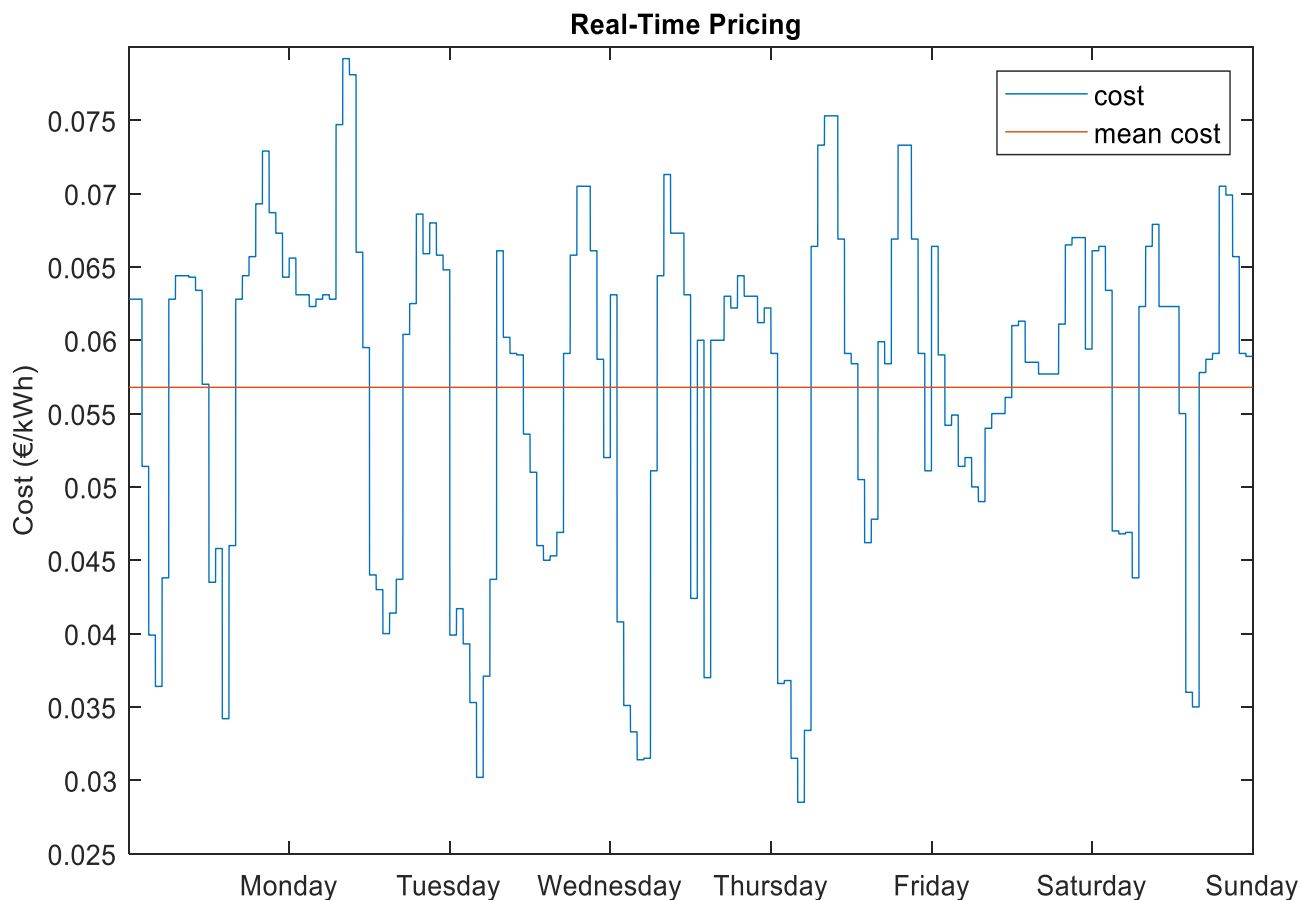
Σχετικά με τον πίνακα κόστους κιλοβατώρας:

Για τη δημιουργία της χρονοσειράς κόστους χρησιμοποιήσαμε πραγματικά δεδομένα που πήραμε από τη σχετική βάση δεδομένων του ΑΔΜΗΕ. Πιο συγκεκριμένα πάρθηκε από την βάση δεδομένων του ΑΔΜΗΕ, το κόστος της κιλοβατώρας για κάθε ώρα για χρονικό διάστημα ενός έτους (01/01/2019-01/01/2020). Έπειτα από το σύνολο αυτών των δεδομένων επιλέξαμε 7 από αυτές που εμφανίζουν μια σχετικά καλή διακύμανση και αντιστοιχούν στις μέρες της εβδομάδας. Στην Εικόνα 14 γίνεται απεικόνιση των δεδομένων που επιλέχθηκαν.



Εικόνα 14.Επιλογή χρονοσειρών κόστους κιλοβατώρας

Στην Εικόνα 14 είναι ορατό ότι η διακύμανση του κόστους ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι πλήρως ακανόνιστη αλλά εντοπίζονται κοινές τάσεις αυξομείωσης στη διάρκεια ενός 24ώρου.



Εικόνα 15. Εβδομαδιαία διακύμανση κόστους κιλοβατώρας

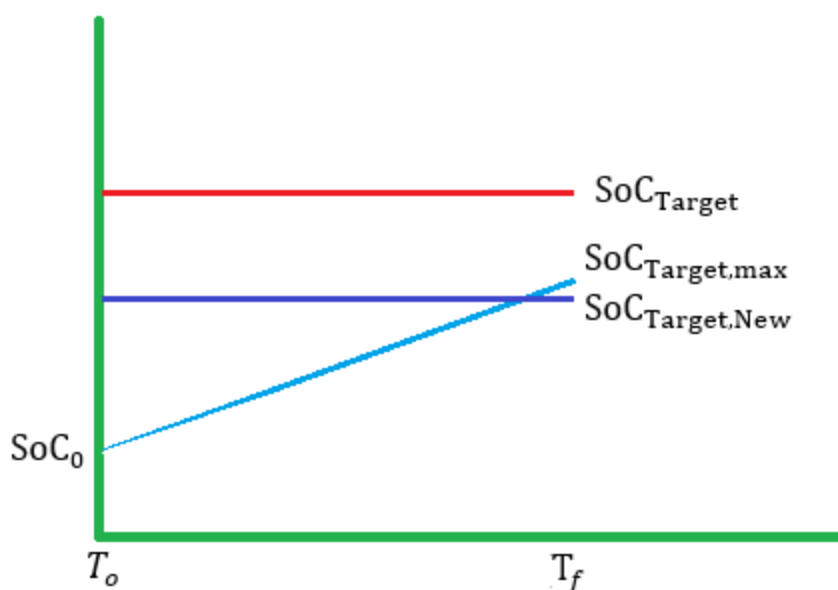
Η Εικόνα 15 αποτελεί απεικόνιση του εβδομαδιαίου κόστους ηλεκτρικής ενέργειας. Με μπλε χρώμα έχουμε το κόστος για κάθε ώρα και με κίτρινο τη μέση τιμή.

➤ 3.2.3 Ανάθεση τιμών :

Κατά την έναρξη της προσομοίωσης, το πρόγραμμα που αναπτύχθηκε διατρέχει τους πίνακες incoming και outgoing και ανάλογα με την πληροφορία

που αυτοί διαθέτουν, δημιουργούνται οι αντίστοιχες στιγμές άφιξης (T_o) και αναχώρησης (T_f) των οχημάτων .

Όταν ένα όχημα εισέρχεται στο σταθμό φόρτισης, αναζητείται η πρώτη στη σειρά κενή θέση ώστε να συνδεθεί το όχημα και έπειτα του εκχωρείται το πρώτο διαθέσιμο T_o . Τα T_o και T_f δίνονται με τέτοιο τρόπο, ώστε να τηρείται μια μορφή ουράς (FIFO). Επίσης, σε κάθε όχημα του εκχωρείται μια από τις κατηγορίες μπαταριών από τις 4 που αναφέρθηκαν με τυχαίο τρόπο, που παρέχουν πληροφορία για την χωρητικότητα, το μέγιστο και ελάχιστο ποσοστό φόρτισης, καθώς επίσης και τη μέγιστη ισχύ φόρτισης-εκφόρτισης. Με τυχαίο τρόπο του εκχωρούνται ακόμα τιμές για το SoC_0 (επίπεδο φόρτισης κατά την στιγμή εισόδου του οχήματος στον σταθμό) και το SoC_{Target} (επιθυμητό επίπεδο φόρτισης) που λαμβάνουν τιμές στο εύρος (20%-55%) SoC_{max} και (60%-95%) SoC_{max} αντίστοιχα. Σε περίπτωση που το SoC_{Target} που ζητήθηκε, δεν μπορεί να επιτευχθεί κατά το διαθέσιμο χρόνο παραμονής του οχήματος στο σταθμό, τότε γίνεται αναπροσαρμογή στο επίπεδο εκείνο που μπορεί να φτάσει, εάν κατά το διαθέσιμο χρόνο φορτίζει με ισχύ $P = P_{max}$.



Εικόνα 16.Ενδεικτική περίπτωση επαναπροσδιορισμού του SoC_{Target}

Το $SoC_{Target,New}$ προκύπτει από την εξίσωση (3) και έχει τιμή $SoC_{Target,max} - 1$ ώστε να δημιουργείται μια ελάχιστη ευελιξία στην επίτευξη του στόχου που είναι απαραίτητη για την καλύτερη λειτουργία του fuzzy.

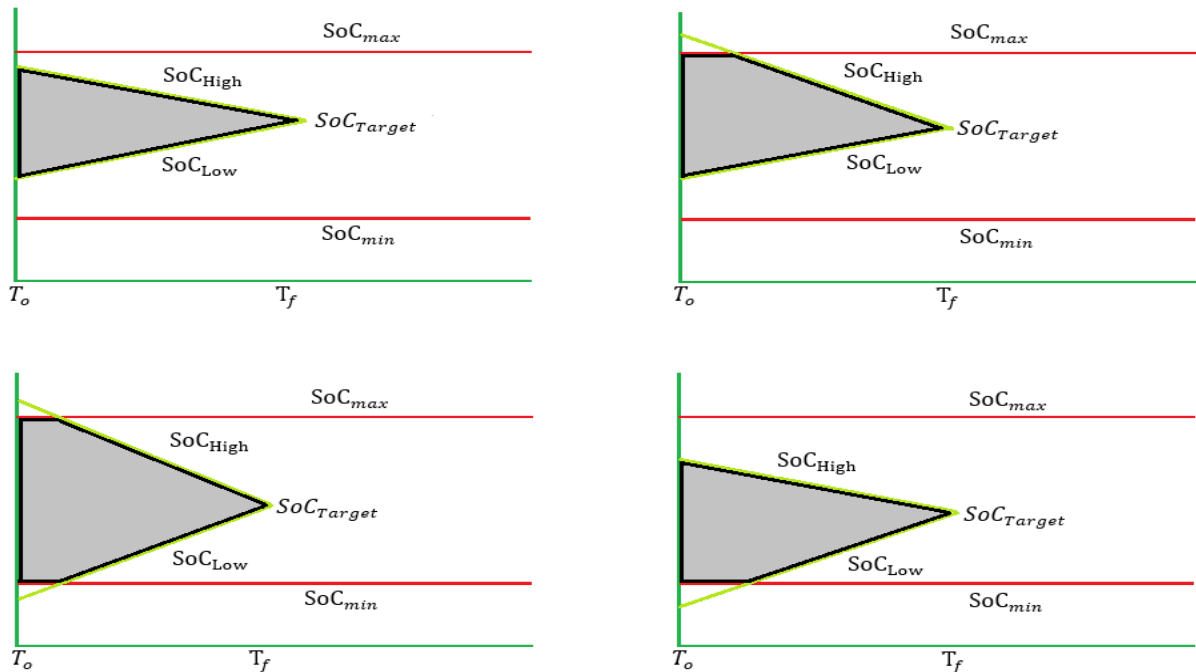
Συνθήκη αναπροσαρμογής:

$$SoC_0 \leq SoC_{Target} - (T_f - T_o) \cdot P_{max}$$

Εξίσωση αναπροσαρμογής:

$$SoC_{Target,New} = (T_f - T_o) \cdot P_{max} + SoC_0 - 1 \quad (3)$$

Στην περίπτωση της ελεγχόμενης φόρτισης χρειάζεται επίσης να παράξουμε τις ευθείες εκείνες που αποτελούν τα όρια μέσα στα οποία μπορεί να κινείται το επίπεδο φόρτισης, καθώς η απόσταση κάθε στιγμή από αυτές αποτελεί είσοδο του fuzzy και το σημείο τομής τους αντιστοιχεί στο επιθυμητό επίπεδο φόρτισης SoC_{Target} . Οι ευθείες SoC_{Low} και SoC_{High} προκύπτουν από τις εξισώσεις (4) και (5) αντίστοιχα.



Εικόνα 17. Σκιαγράφιση ευελιξίας κίνησης

$$SoC_{Low} = P_{max} \cdot (\tau - T_f) + SoC_{Target} \quad (4)$$

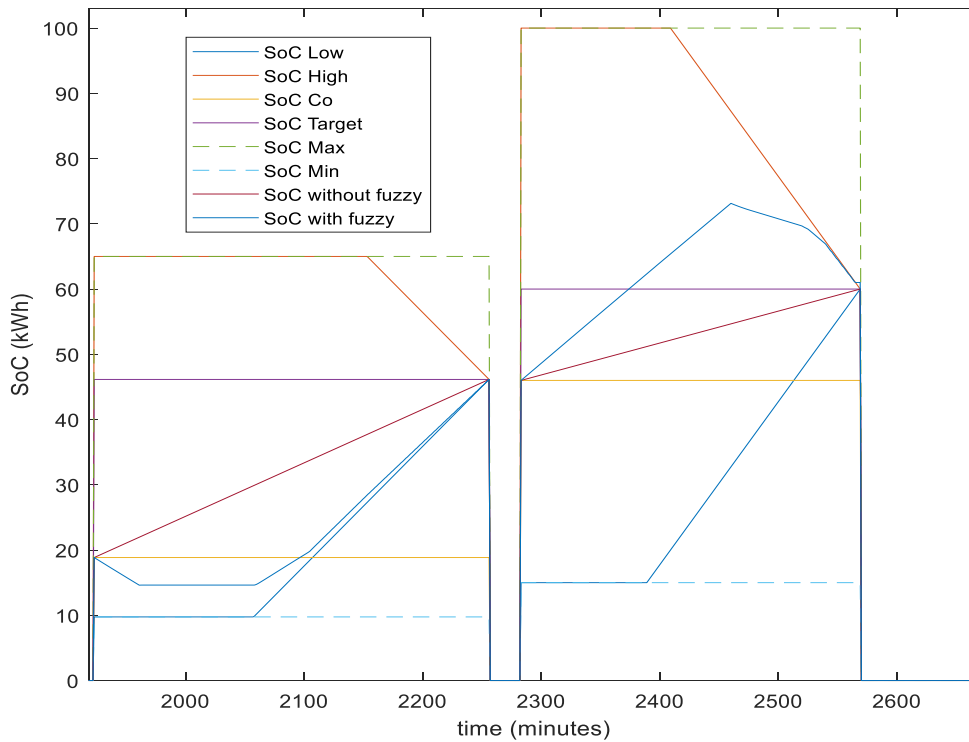
$$SoC_{High} = P_{max} \cdot (T_f - \tau) + SoC_{Target} \quad (5)$$

Η σκιαγραφημένη περιοχή της Εικόνα 17 αποτελεί το εμβαδό του σχήματος που προκύπτει αν για κάθε στιγμή επιλέγω το min ανάμεσα στο SoC_{High} και SoC_{max} και το max ανάμεσα στα SoC_{Low} και SoC_{min} .

Το επίπεδο φόρτισης ενός οχήματος για κάθε χρονικό διάστημα Δt (σε min) προκύπτει από την εξίσωση (6).

$$SoC(j) = SoC(\tau - 1) + P \cdot \Delta t / 60 \quad (6)$$

όπου $SoC(\tau = T_0) = SoC_0$, έτσι παίρνοντας τιμές για κάθε j όπου j το κάθε λεπτό της ημέρας προκύπτει το ποσοστό φόρτισης $< SoC >$ για κάθε λεπτό της παραμονής του οχήματος στο σταθμό φόρτισης όπως φαίνεται και στην Εικόνα 18.



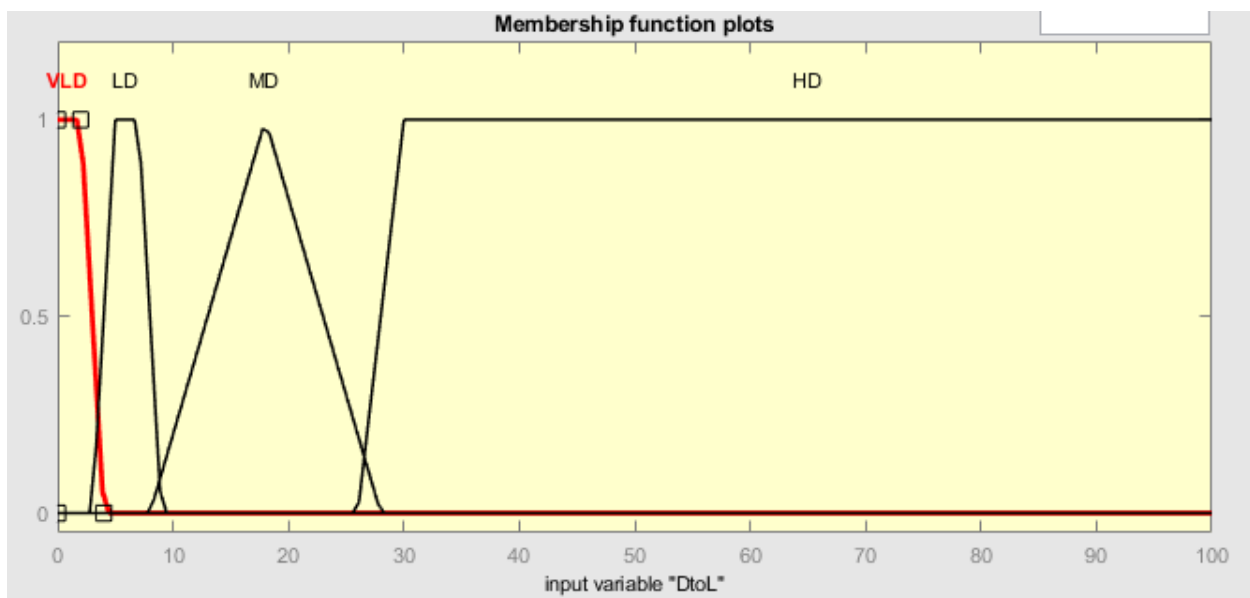
Εικόνα 18. Ενδεικτική απεικόνιση του επιπέδου φόρτισης οχημάτων

➤ 3.2.4 Περιγραφή του fuzzy:

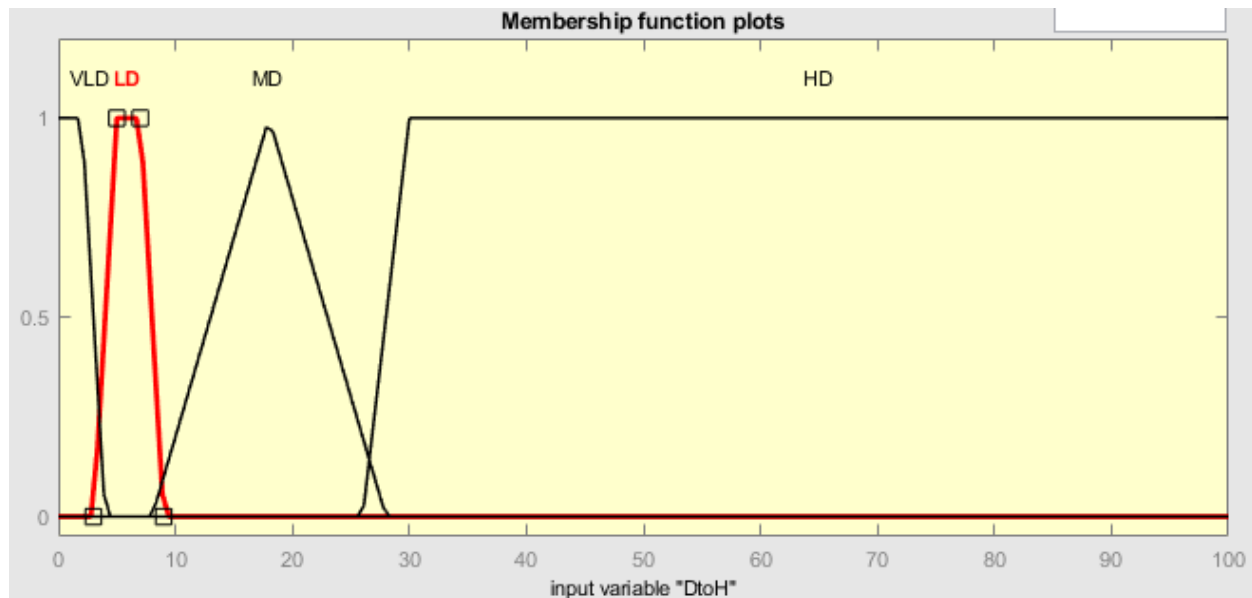
Το fuzzy σύστημα που αναπτύχθηκε για την ελεγχόμενη φόρτιση, αποτελείται από τις εισόδους ($d_{low}, d_{high}, cost$), την ποσοτικοποίηση των μεγεθών αυτών (Fis Variables) καθώς και χρήσιμους κανόνες (Fuzzy Rules), που είναι απαραίτητοι για την παραγωγή της επιθυμητής εξόδου. Η έξοδος του συστήματος αποτελεί τον συντελεστή εκείνο, που πολλαπλασιαζόμενος με το P_{max} μας δίνει την ισχύ φόρτισης του ηλεκτρικού οχήματος τη στιγμή που του ζητείται. Για την ελεγχόμενη φόρτιση, το παραπάνω σύστημα καλείται να παράξει μία έξοδο, για κάθε λεπτό και για καθένα από τα συνδεδεμένα στο σταθμό οχήματα. Τα d_{low} και d_{high} αποτελούν αποστάσεις, από το κάτω και άνω όριο αντίστοιχα της σκιαγραφημένης περιοχής της Εικόνα 17.

Το fuzzy σύστημα έχει φτιαχτεί με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε, όλα τα δεδομένα που αυτό δέχεται σαν είσοδο πρέπει να είναι εκφρασμένα ως προς το % ποσοστό της μέγιστης τιμής τους.

Σε αυτό το σημείο θα δώσουμε τις ασαφείς μεταβλητές (FIS Variables) καθώς και τους ασαφείς κανόνες (fuzzy Rules) όπως αυτά αναπτύχθηκαν για τις ανάγκες του συγκεκριμένου συστήματος.

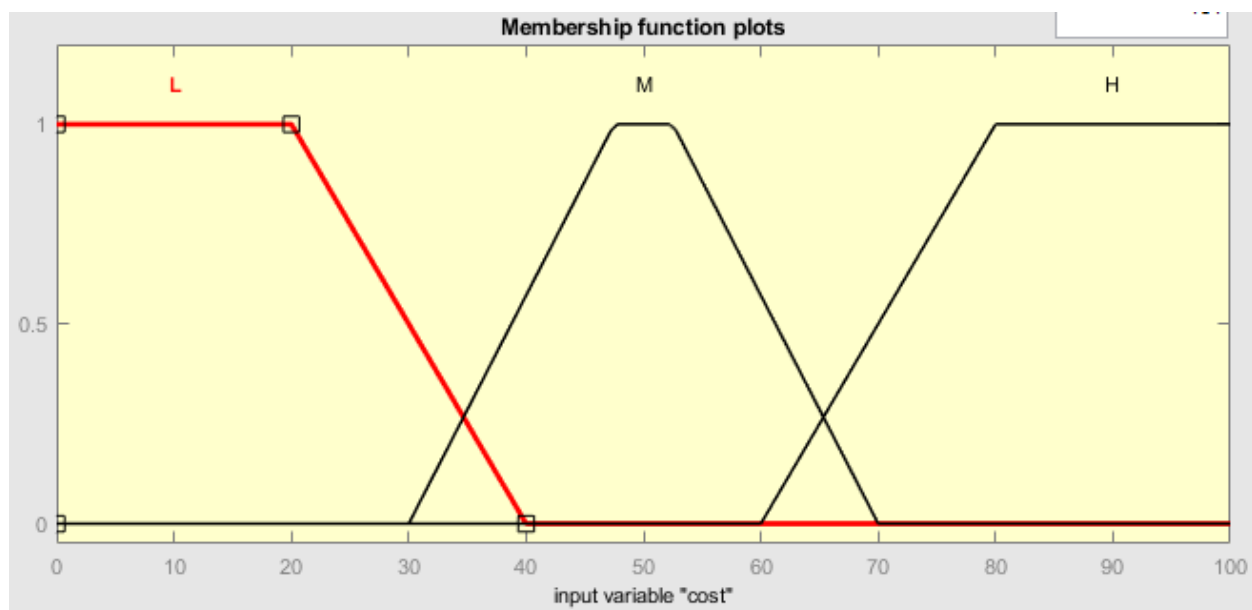


Εικόνα 19.Ορισμός της ασαφούς μεταβλητής της απόστασης σύμφωνα με το κάτω όριο



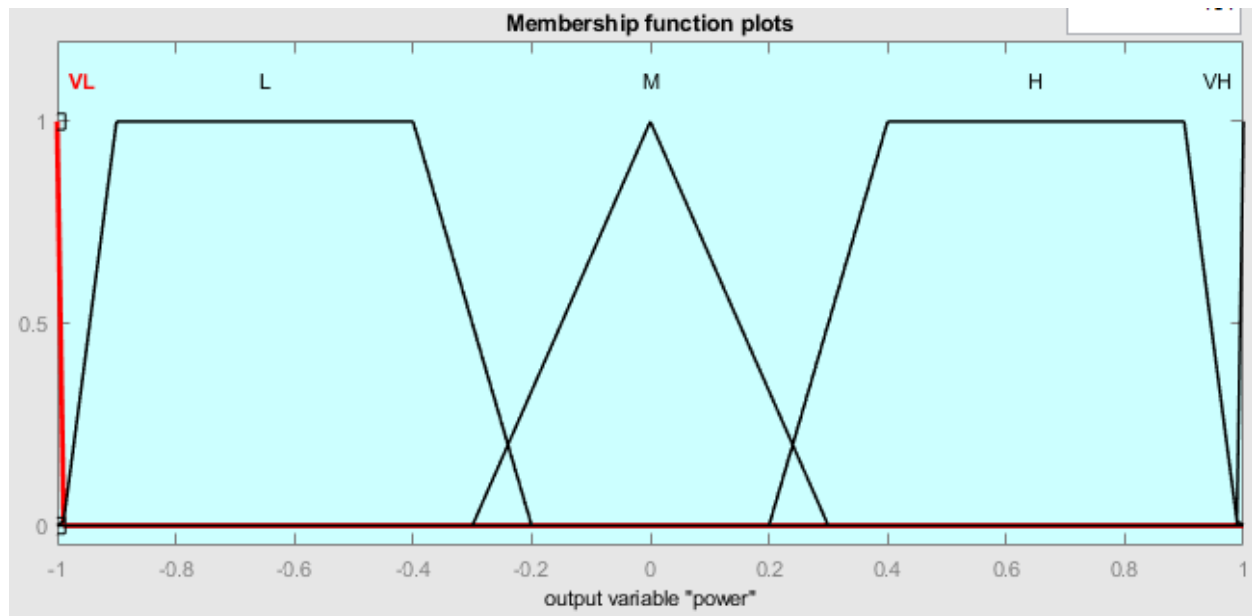
Εικόνα 20. Ορισμός της ασαφούς μεταβλητής της απόστασης σύμφωνα με το άνω όριο

Στις Εικόνα 19 και Εικόνα 20 βλέπουμε τα διαστήματα που επιλέχθηκαν για να εκφράσουν το πόσο κοντά ή μακριά βρισκόμαστε από τα όρια τα οποία έχουν τεθεί και τα παρουσιάσαμε ενδεικτικά στην Εικόνα 17. Όσο οι αποστάσεις αυτές έχουν μεγέθη που εντάσσονται στο εύρος των (MD) ή (HD), η ελευθερία του συστήματος να ελεγχθεί και να κινηθεί σύμφωνα με το κόστος αυξάνεται ενώ περιορίζεται σε αντίθετη περίπτωση.



Εικόνα 21. Ορισμός της ασαφούς μεταβλητής του κόστους ηλεκτρικής ενέργειας

Στην Εικόνα 21 βλέπουμε τα διαστήματα που έχουν οριστεί για να εκφράσουν το κόστος. Όπως είπαμε στην αρχή αυτής της ενότητας όλες οι μεταβλητές εισόδου είναι εκφρασμένες ως προς το επί τοις εκατό ποσοστό της μέγιστης τιμής τους. Η μέγιστη και ελάχιστη τιμή αναφέρεται στο \min και \max της εβδομαδιαίας χρονοσειράς κόστους ηλεκτρικής ενέργειας.



Εικόνα 22. Ορισμός της ασαφούς μεταβλητής της εξόδου του fuzzy system

Στο διάγραμμα της εξόδου ο άξονας «X» δεν είναι εκφρασμένος σε ποσοστό αλλά αποτελεί έναν συντελεστή (αδιάστατος αριθμός) ο οποίος λαμβάνει τιμές στο εύρος $[-1,1]$. Βλέπουμε ότι τα δύο ακραία διαστήματα δεν εμφανίζουν κάποιο εύρος αλλά αντίθετα είναι τοποθετημένα το 1 και -1. Αυτό συμβαίνει διότι στην περίπτωση που αγγίζουμε τις οριακές ευθείες θέλουμε να κινηθούμε ακριβώς πάνω σε αυτές και ο συντελεστής διεύθυνσης (λ) που μας το εξασφαλίζει είναι ο $\lambda = P_{max}$ ή $\lambda = -P_{max}$ ανάλογα με το πια είναι η ευθεία που αγγίξαμε.

Table 1. Fuzzy Rules

DtoL	DtoH	cost	power
LD	LD	-	M
LD	HD	-	H
LD	MD	-	H
HD	LD	-	L
MD	LD	-	L
HD	MD	L	H
HD	MD	M	M
HD	MD	H	L
HD	HD	M	M
HD	HD	H	L
HD	HD	L	H
MD	MD	L	H
MD	MD	H	L
MD	MD	M	M
MD	HD	L	H
MD	HD	M	M
MD	HD	H	L
VLD	VLD	-	M
VLD	MD	-	VH
VLD	HD	-	VH
VLD	LD	-	VH
MD	VLD	-	VL
HD	VLD	-	VL
LD	VLD	-	VL

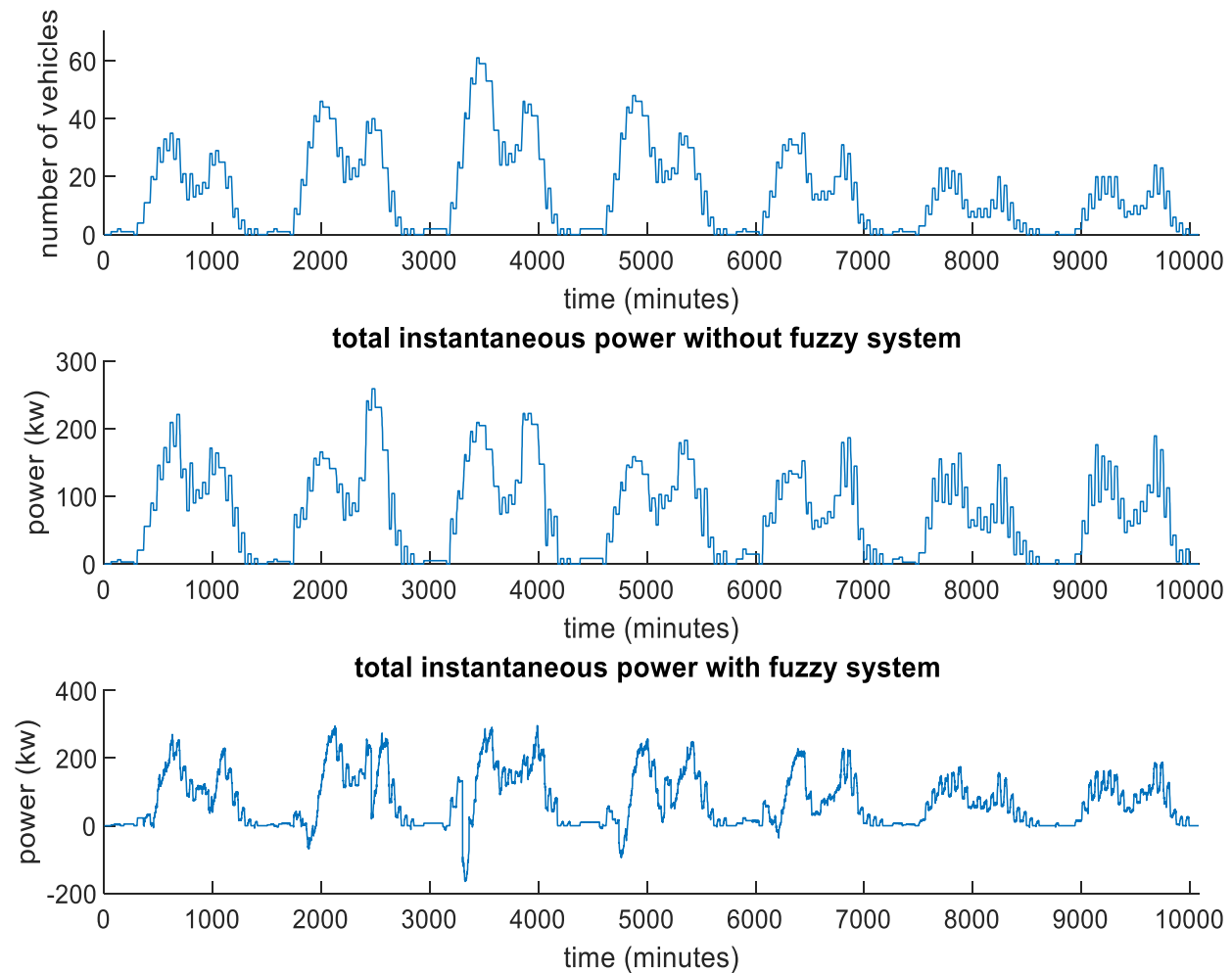
LD=LOW DISTANCE, MD=MEDIUM DISTANCE, HD=HIGH DISTANCE, VLD=VERY LOW DISTANCE, L=LOW, M=MEDIUM, H=HIGH, VL=VERY LOW, VH=VERY HIGH.

Στους κανόνες του Table 1 περιλαμβάνονται όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί που θέλουμε να μας υποδείξουν τη μορφή της εξόδου. Οι τιμές (-) που βλέπουμε σε κάποιες γραμμές της στήλης cost είναι διότι σε αυτές τις περιπτώσεις δεν έχουμε το περιθώριο να λάβουμε υπόψιν το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας και επομένως μας είναι αδιάφορη η τιμή του.

4 Αποτελέσματα και σχολιασμός:

Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται σε αυτό το κεφάλαιο, προέρχονται από την υλοποίηση τεσσάρων διαφορετικών σεναρίων για χρονική διάρκεια 7 ημερών. Ως προς τη μορφή των σεναρίων, αυτά παρουσιάζουν διαφορές που εντοπίζονται στην κατανομή των οχημάτων κατά διάρκεια της ημέρας, στο βαθμό πληρότητας του σταθμού και στο μέγεθος του σταθμού (όταν αυτό εμφανίζει ίδιο βαθμό πληρότητας) και επομένως διαφορετικό πλήθος οχημάτων.

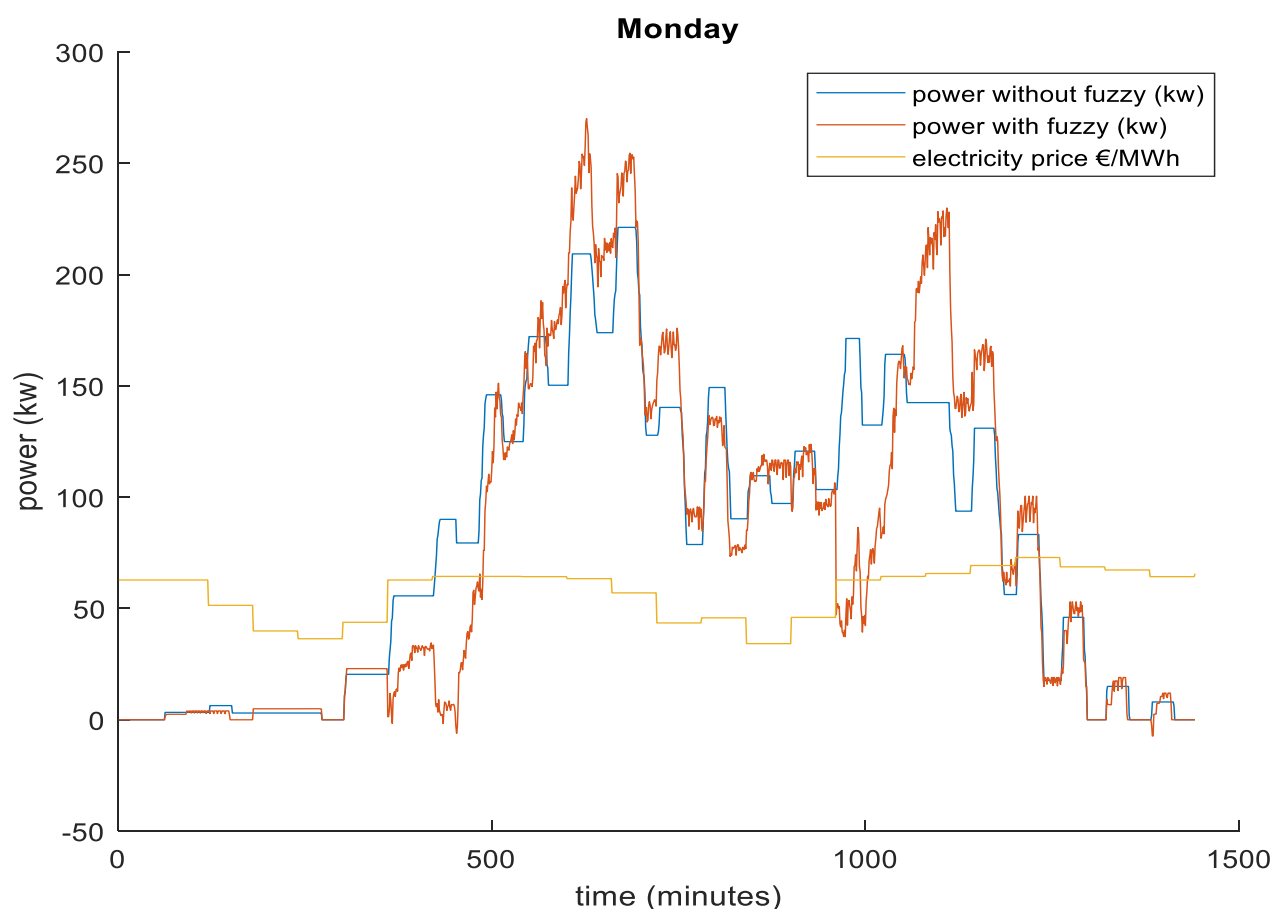
4.1 Σενάριο (A)



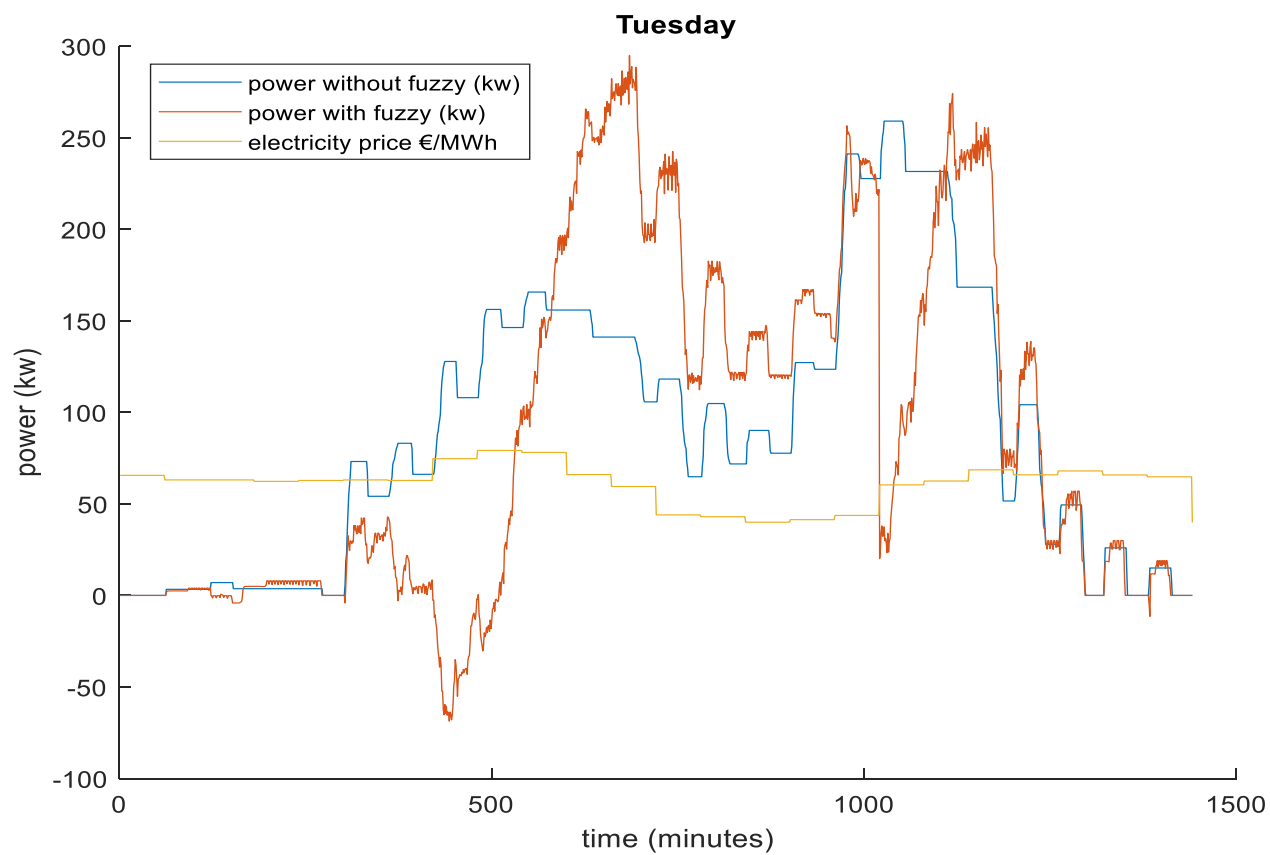
Εικόνα 23. Ισχύς για ελεγχόμενη και μη φόρτιση και κατανομή οχημάτων, Σενάριο (A)

Πρόκειται για σταθμό φόρτισης 80 θέσεων και βαθμό εβδομαδιαίας πληρότητας 15,3%.

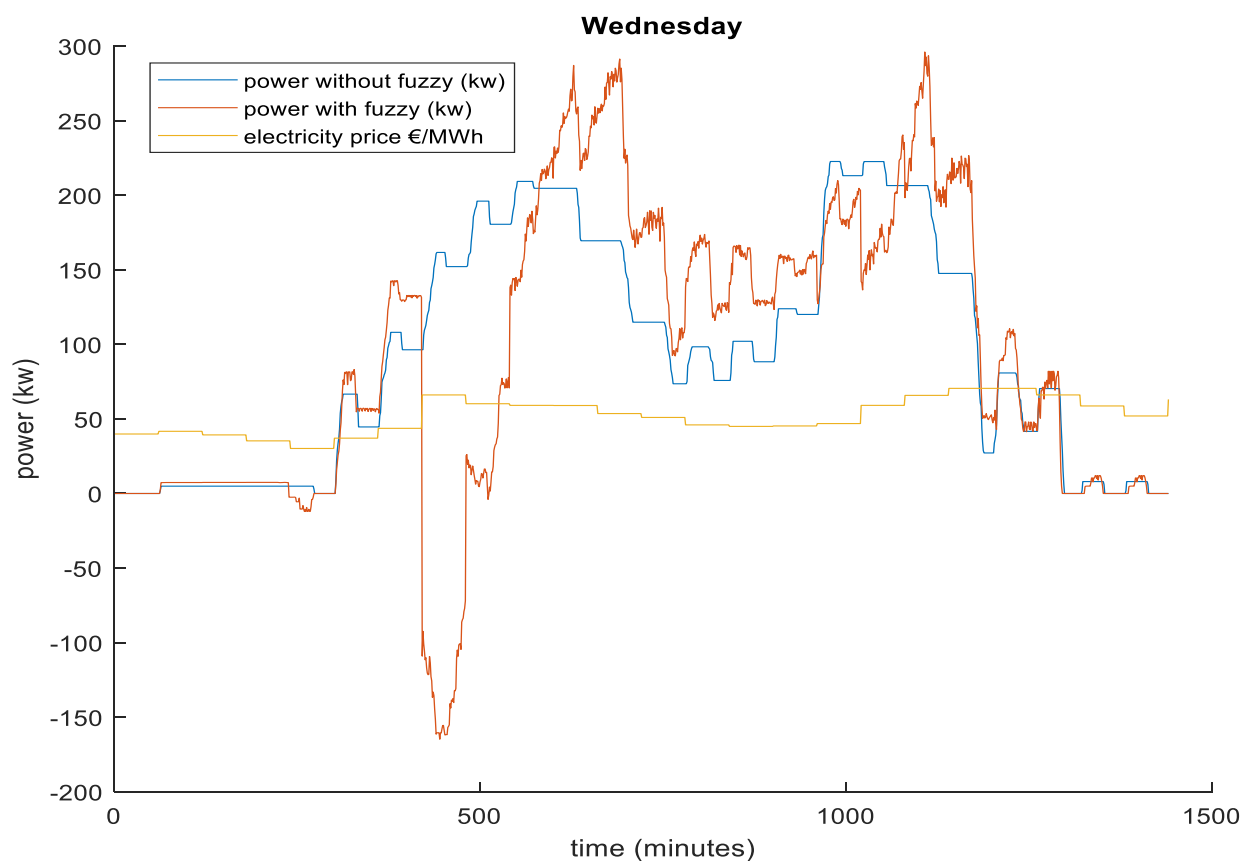
Στο διάγραμμα της Εικόνα 23 παρατηρούμε ότι η ισχύς στην ελεγχόμενη φόρτιση ακολουθεί πιστά το διάγραμμα αριθμού οχημάτων πράγμα που είναι και αναμενόμενο. Πλεονέκτημα της συγκεκριμένης μεθόδου φόρτισης είναι η μικρή διακύμανση της ισχύος συγκριτικά με την ελεγχόμενη φόρτιση. Οι στιγμές που η ισχύς της ελεγχόμενης φόρτισης έχει αρνητική τιμή, σημαίνει πως τις στιγμές εκείνες η ισχύς εκφόρτισης των οχημάτων είναι μεγαλύτερη από την ισχύ φόρτισης και επομένως ο σταθμός είναι σε θέση να προσφέρει «πουλήσει» ενέργεια προς το δίκτυο. Τις στιγμές που η ισχύς στην ελεγχόμενη φόρτιση είναι θετική, δεν σημαίνει απαραίτητα ότι κανένα όχημα εκείνη τη στιγμή δεν βρίσκεται σε διαδικασία εκφόρτισης, απλώς η «παραγόμενη» ισχύς είναι λιγότερη από αυτή που χρησιμοποιείται για την φόρτιση άλλων οχημάτων.



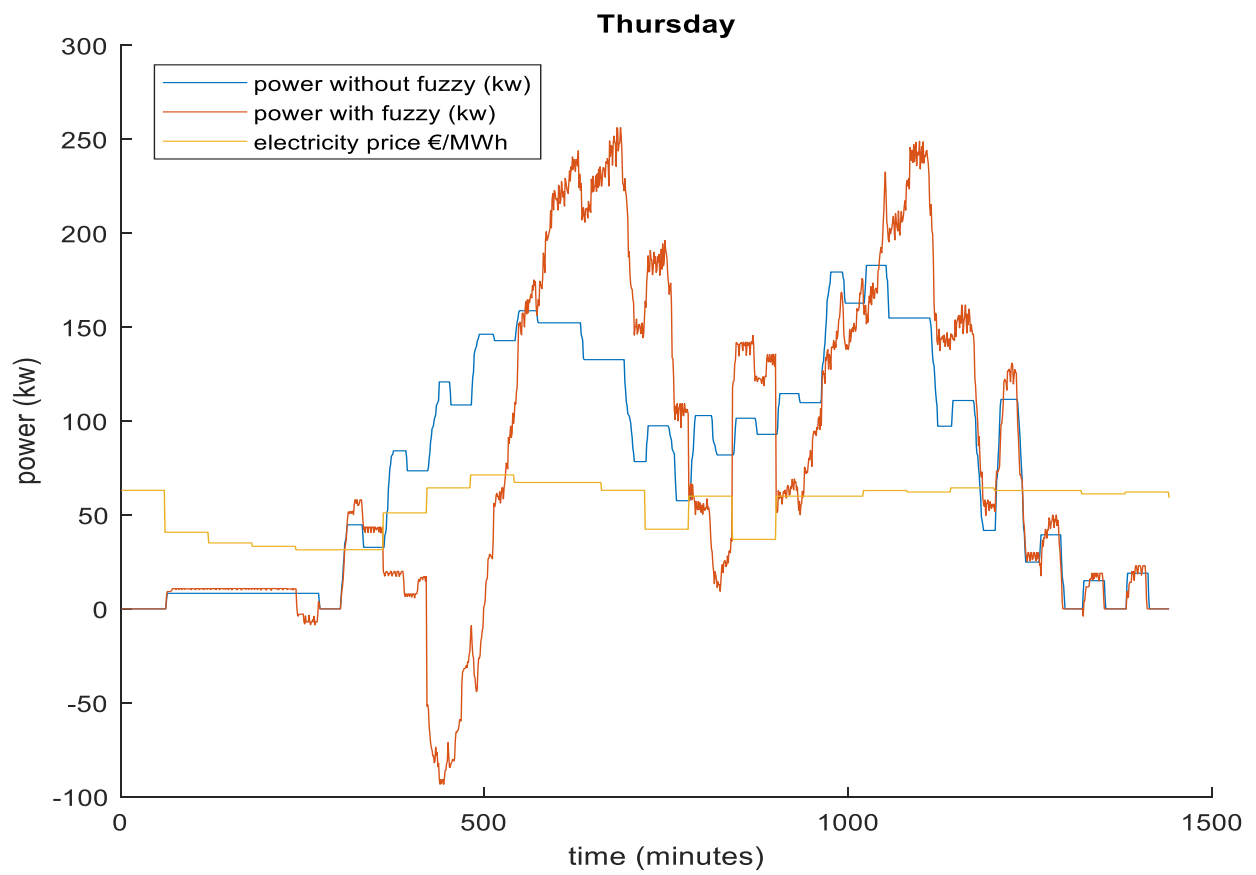
Εικόνα 24. Ισχύς και κόστος, Δευτέρα Σενάριο (Α)



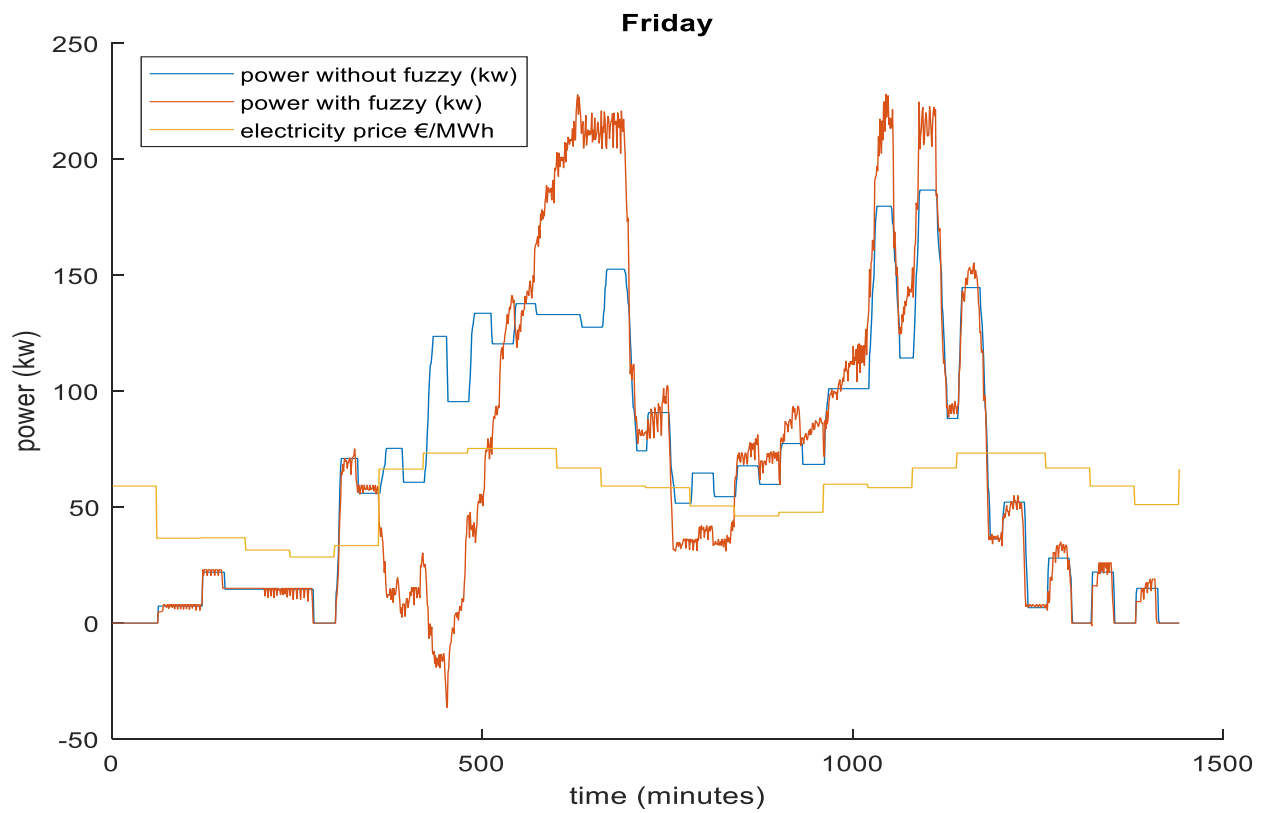
Εικόνα 25. Ισχύς και κόστος, Τρίτη Σενάριο (Α)



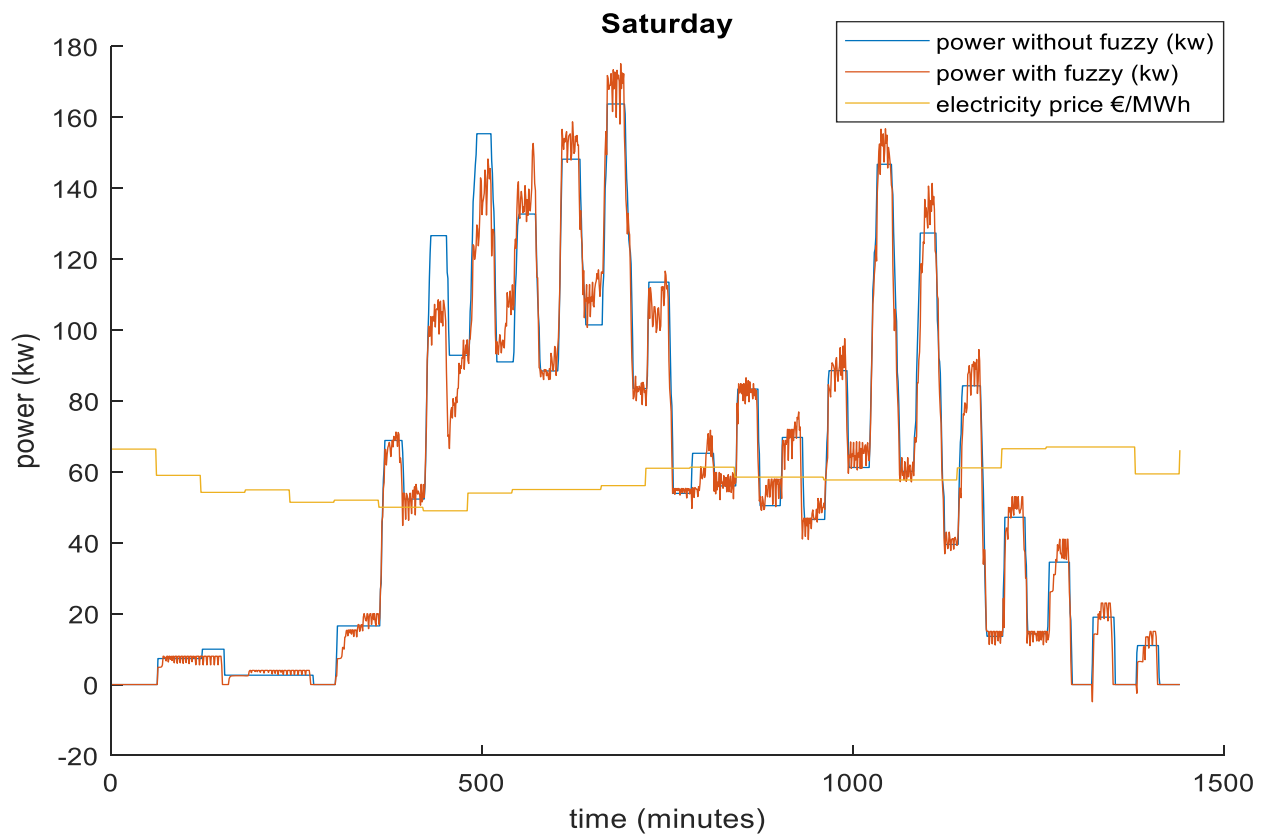
Εικόνα 26. Ισχύς και κόστος, Τετάρτη Σενάριο (Α)



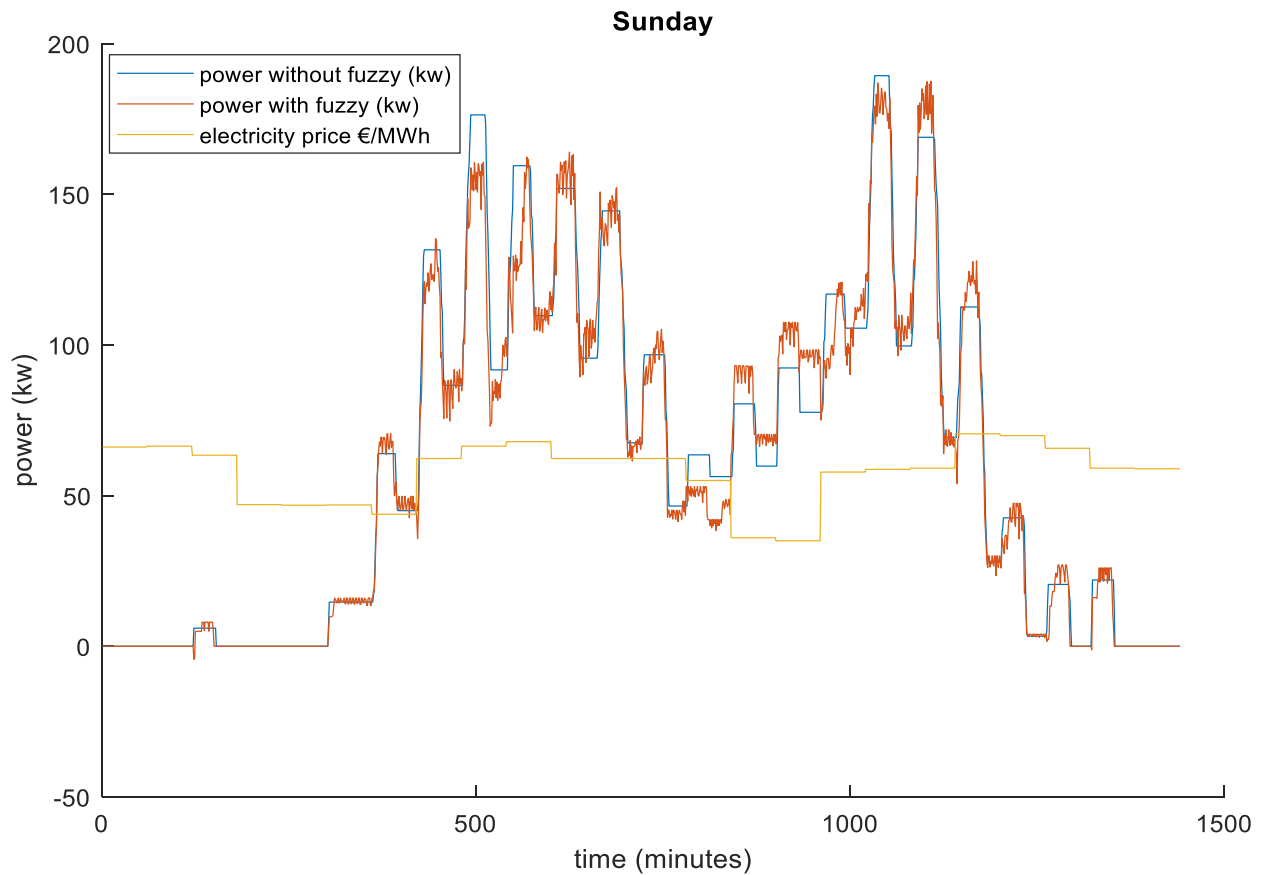
Εικόνα 27. Ισχύς και κόστος, Πέμπτη Σενάριο (Α)



Εικόνα 28. Ισχύς και κόστος, Παρασκευή Σενάριο (Α)



Εικόνα 29. Ισχύς και κόστος, Σάββατο Σενάριο (Α)

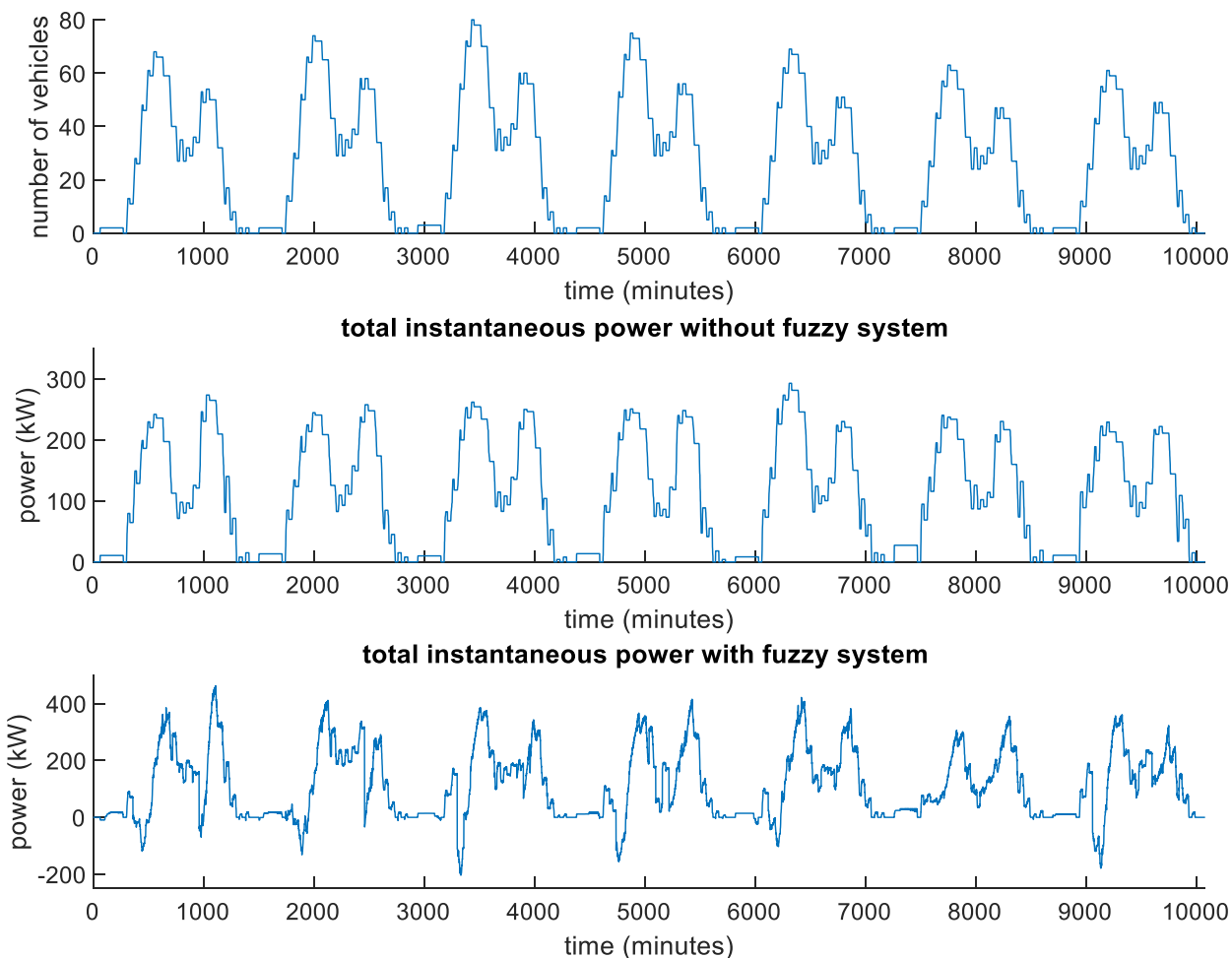


Εικόνα 30. Ισχύς και κόστος, Κυριακή Σενάριο (Α)

Στις εικόνες Εικόνα 24-Εικόνα 30 παρουσιάζεται η ισχύς για την ελεγχόμενη και μη ελεγχόμενη φόρτιση συναρτήσει του κόστους ξεχωριστά για κάθε μέρα της εβδομάδας. Το κόστος απεικονίζεται με κίτρινο χρώμα και είναι εκφρασμένο σε (€/Mwh) ώστε να έχει μέγεθος συγκρίσιμο με αυτό της ισχύος και να μπορεί να γίνεται αντιληπτή η μεταβολή του στο χρόνο. Η ισχύς για τη μη ελεγχόμενη φόρτιση απεικονίζεται με μπλε χρώμα ενώ η ελεγχόμενη με πορτοκαλί και είναι εκφρασμένη σε (kW). Παρατηρούμε ότι όποτε το κόστος πέφτει η ισχύς της ελεγχόμενης φόρτισης αυξάνεται και συχνά έχει μεγαλύτερη τιμή από την ισχύ της μη ελεγχόμενης φόρτισης. Αντίστοιχα όταν το κόστος είναι υψηλό η ελεγχόμενη ισχύς παίρνει χαμηλές τιμές, αρκετές φορές μάλιστα παίρνει αρνητικές τιμές. Με αυτό τον τρόπο γίνεται ορατή η επίδραση του Fuzzy συστήματος που αναπτύχθηκε, το οποίο αποφασίζει λαμβάνοντας ως παράμετρο το κόστος. Όταν το κόστος έχει τιμή κοντά στη μέση τιμή του παρατηρείται ότι σχετικά με την ισχύ, ακολουθεί η μία την άλλη Εικόνα 29-Εικόνα 30. Η τιμή της ισχύος της μη ελεγχόμενης φόρτισης είναι ανεξάρτητη του κόστους και εξαρτάται αποκλειστικά από το πλήθος των οχημάτων.

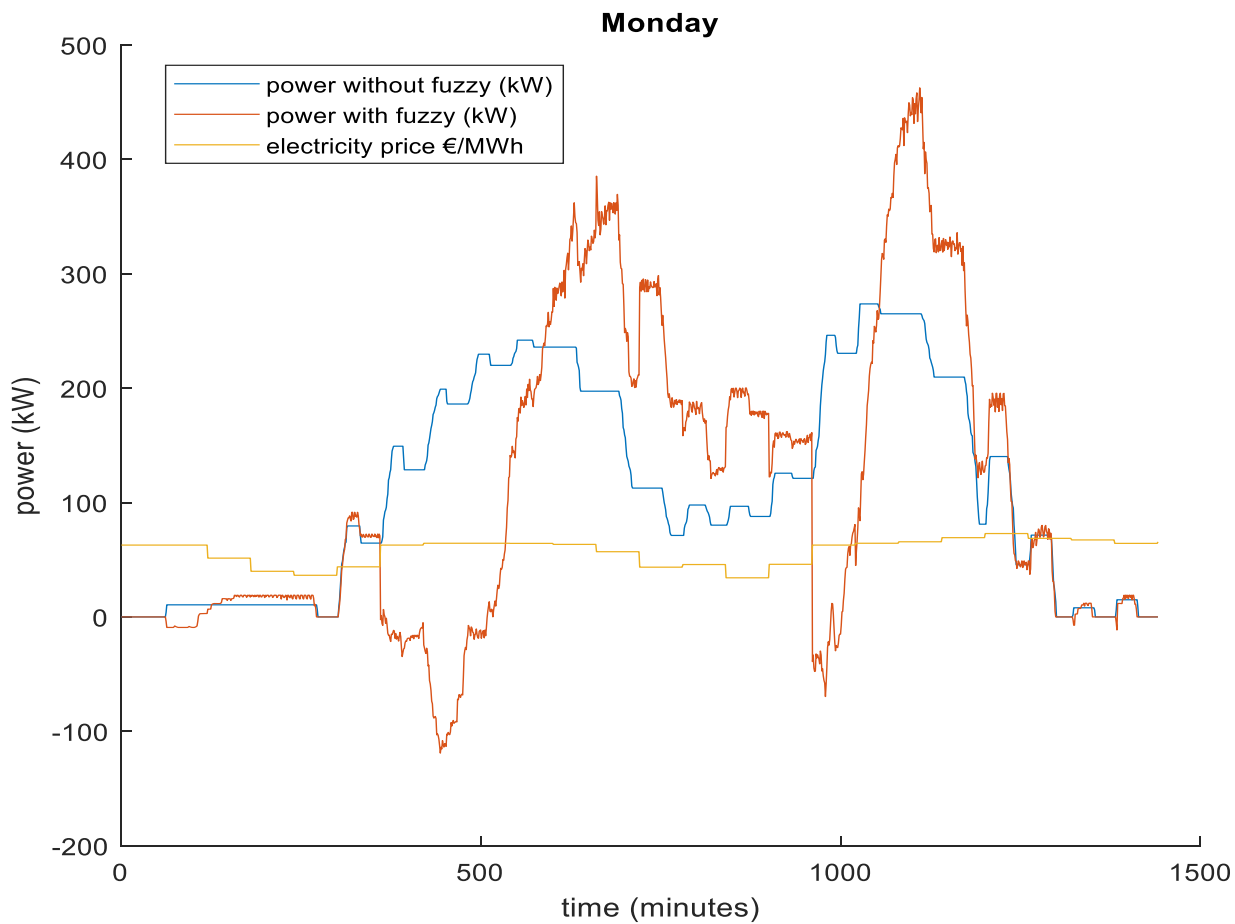
Η ελεγχόμενη φόρτιση για το σενάριο αυτό εμφανίζει 3,6% οικονομικότερη λειτουργία έναντι της μη ελεγχόμενης.

4.2 Σενάριο (B)

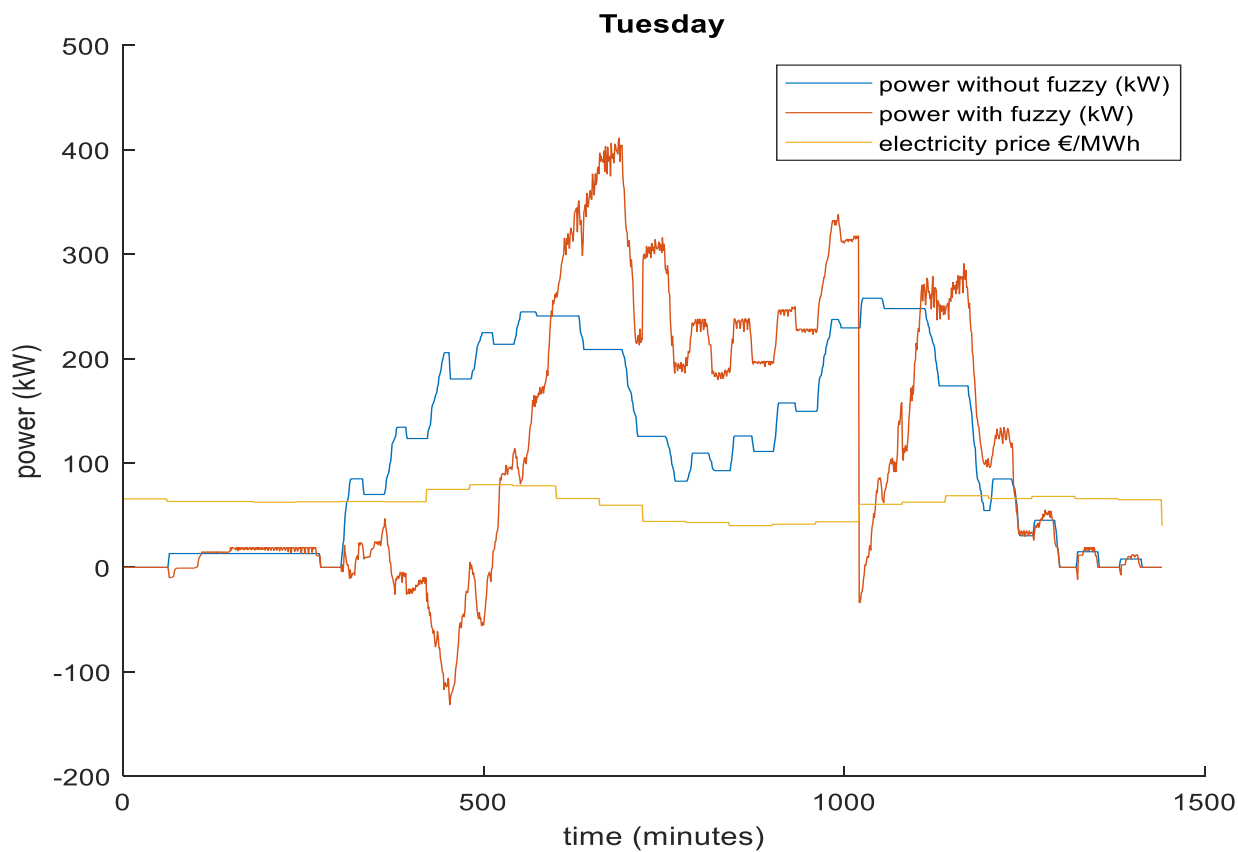


Εικόνα 31. Ισχύς για ελεγχόμενη και μη φόρτιση και κατανομή οχημάτων, Σενάριο (B)

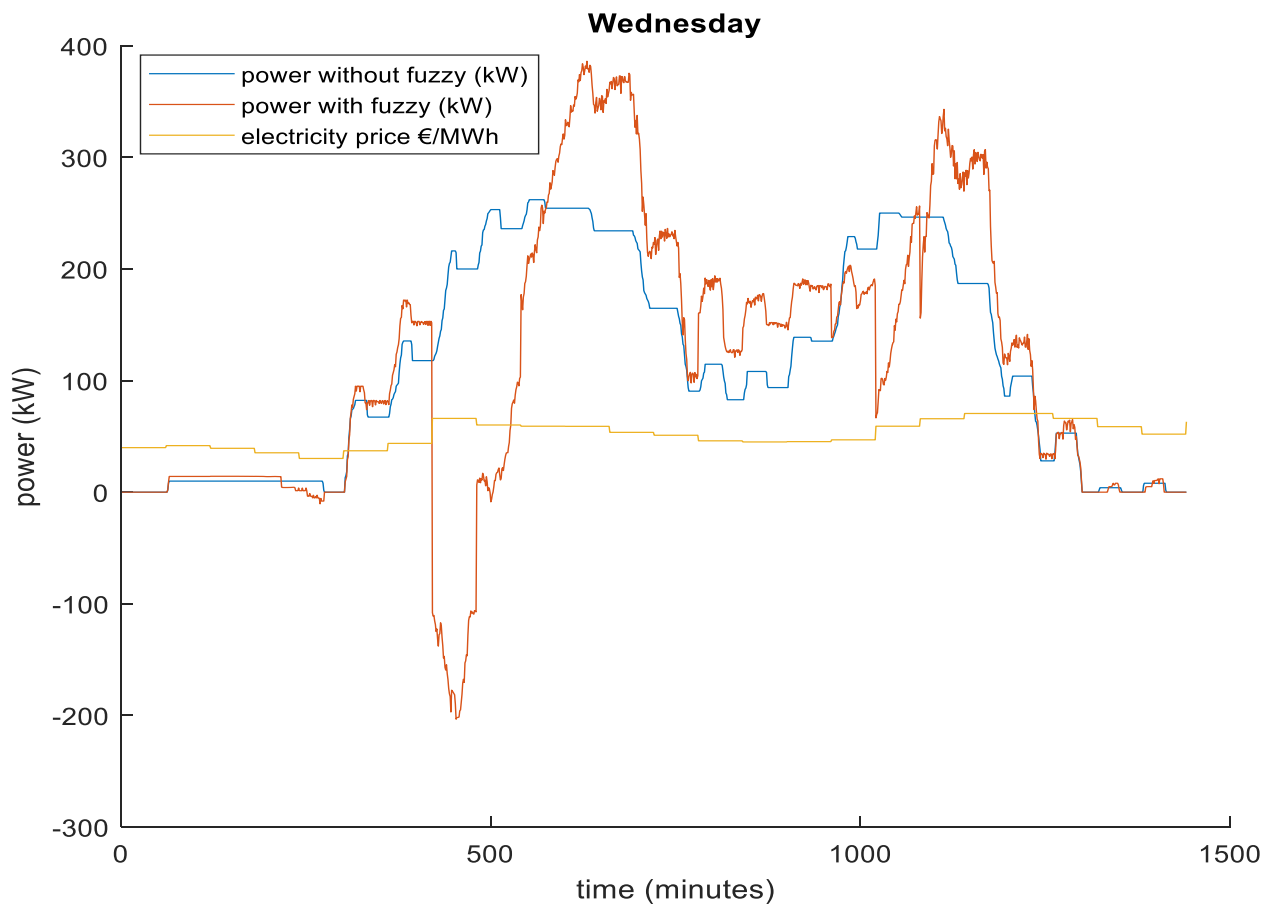
Πρόκειται για σενάριο που εμφανίζει αρκετά κοινά στοιχεία με το (A) και βασική διαφορά τη διπλάσια εβδομαδιαία πληρότητα. Βαθμός πληρότητας 30,6%. Για να συμβεί αυτό έχουμε μεγαλύτερο πλήθος οχημάτων αφού πρόκειται για σταθμό ίδιας χωρητικότητας. Σε αντίθεση με το σενάριο (A) παρατηρούμε ότι η διακύμανση των οχημάτων της Εικόνα 31 είναι αρκετά πιο ομοιόμορφη από μέρα σε μέρα, αυτό έχει ως αποτέλεσμα ότι παρά τον διπλασιασμό της πληρότητας δεν παρατηρείται διπλασιασμός των peak που εμφανίζει η ισχύς.



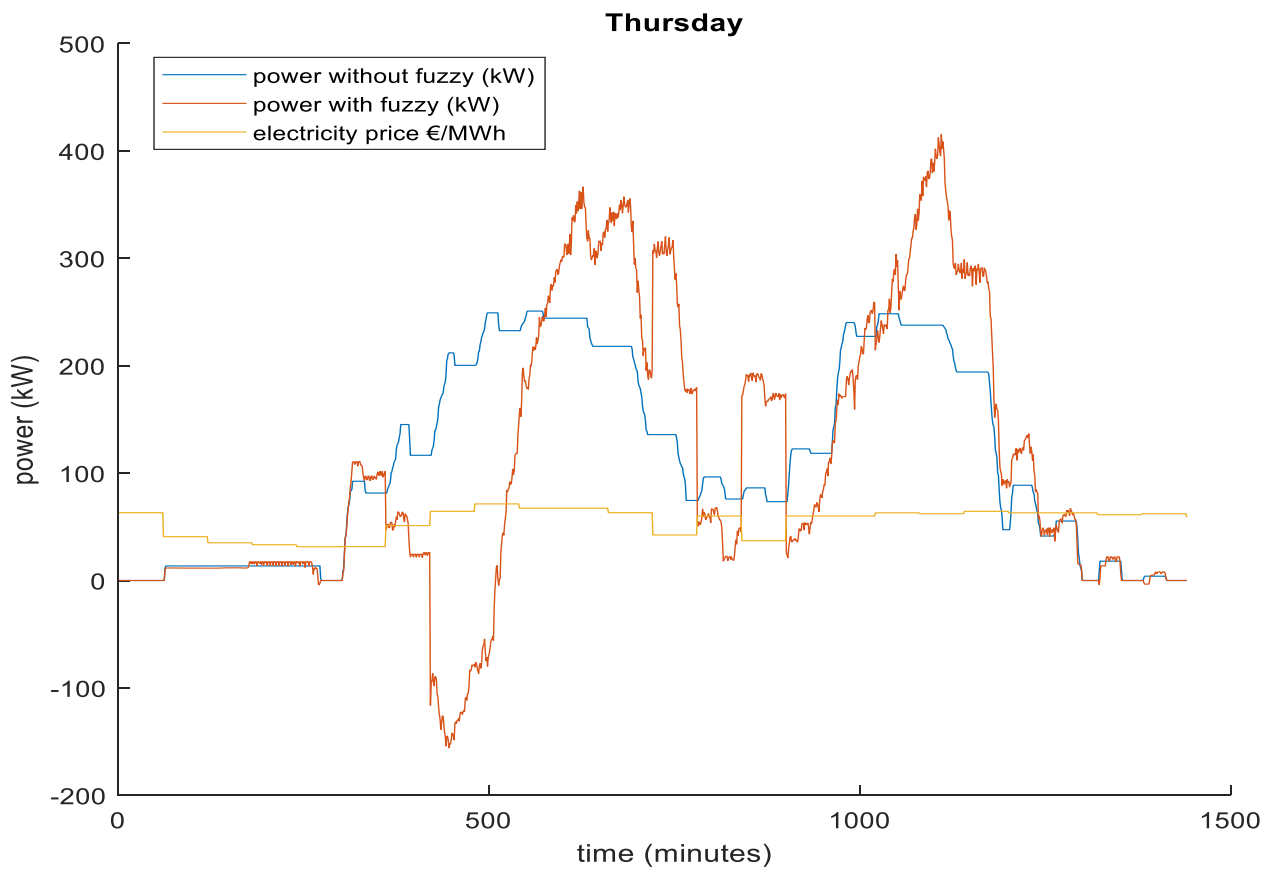
Εικόνα 32. Ισχύς και κόστος, Δευτέρα Σενάριο (B)



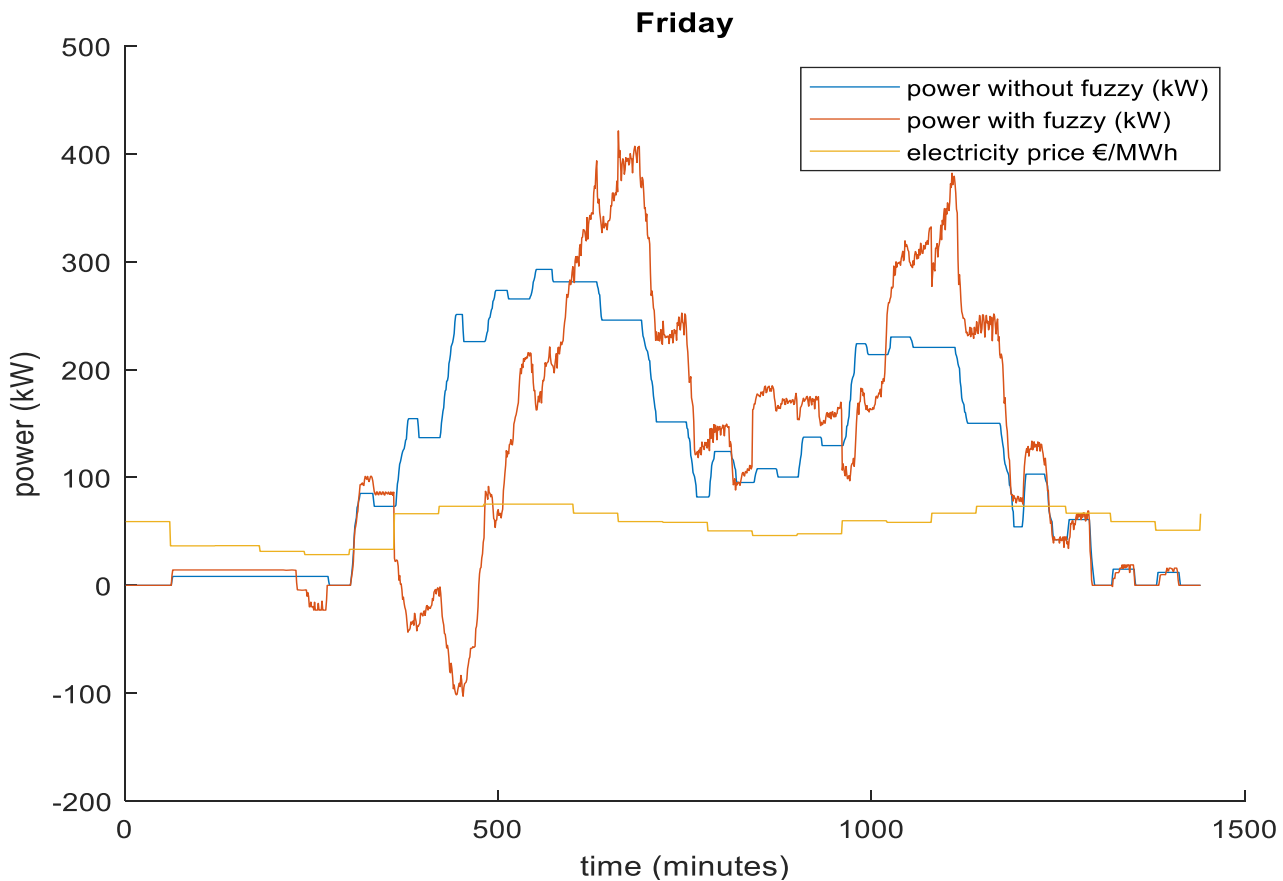
Εικόνα 33. Ισχύς και κόστος, Τρίτη Σενάριο (B)



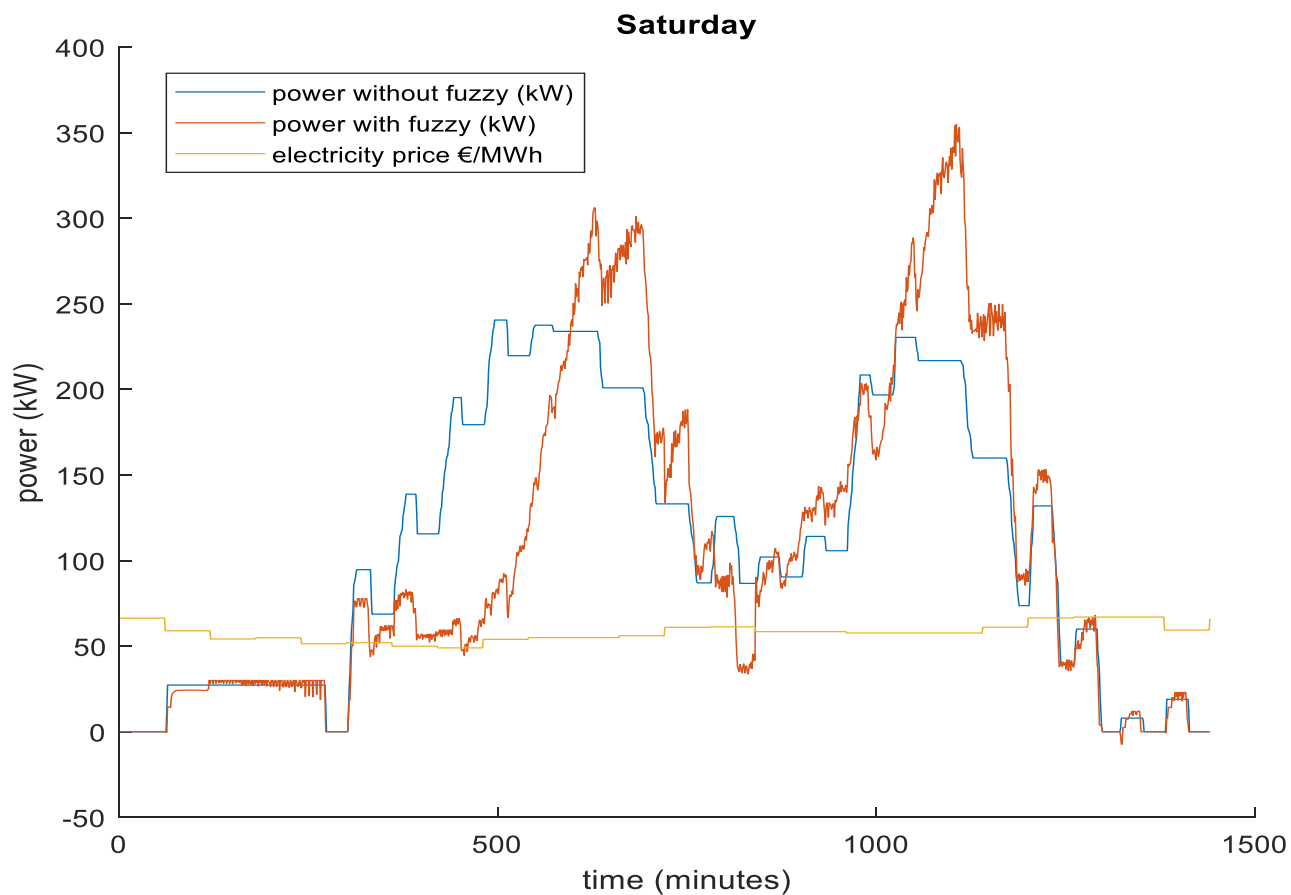
Εικόνα 34. Ισχύς και κόστος, Τετάρτη Σενάριο (B)



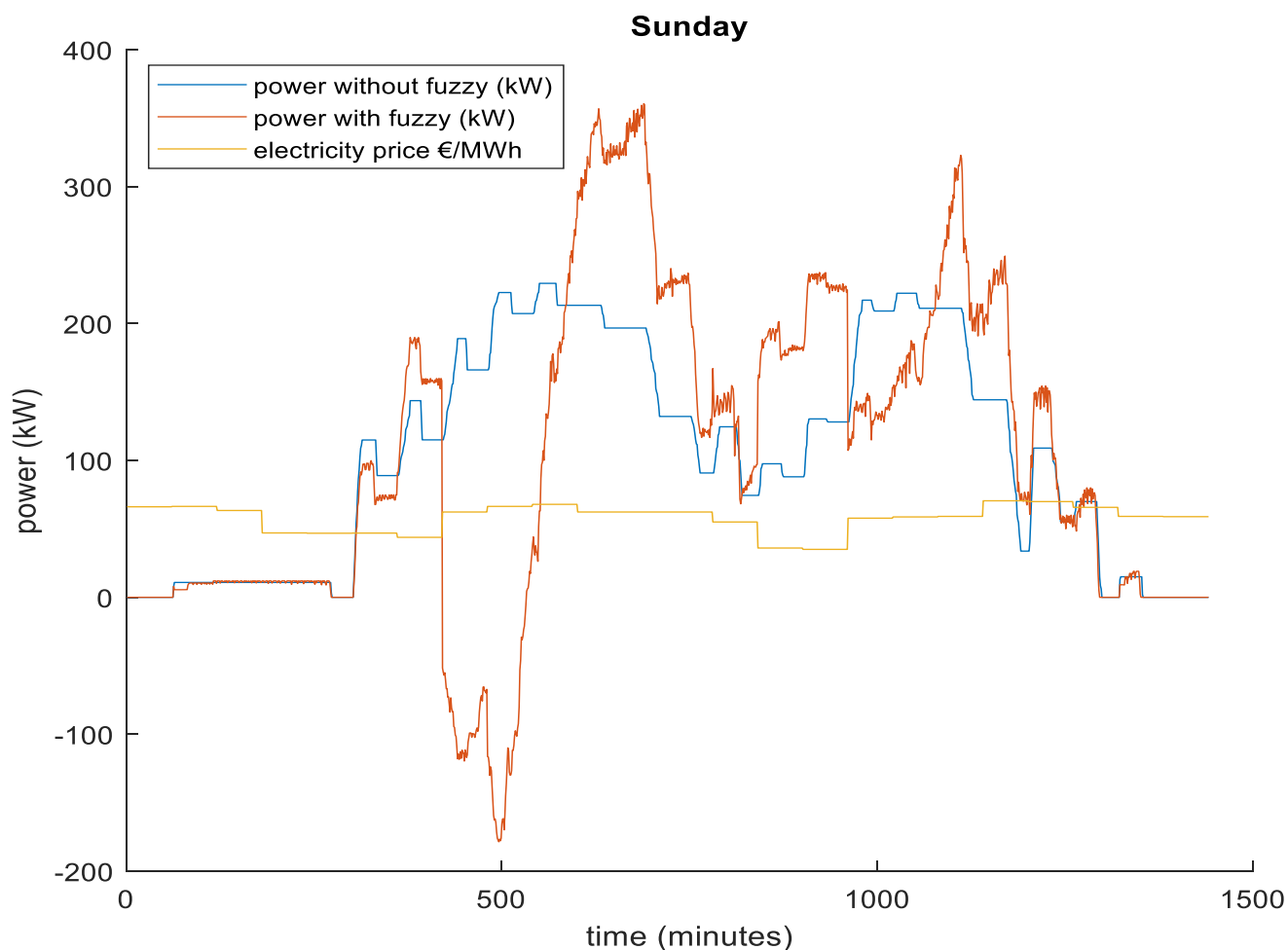
Εικόνα 35. Ισχύς και κόστος, Πέμπτη Σενάριο (B)



Εικόνα 36. Ισχύς και κόστος, Παρασκευή Σενάριο (B)



Εικόνα 37. Ισχύς και κόστος, Σάββατο Σενάριο (B)

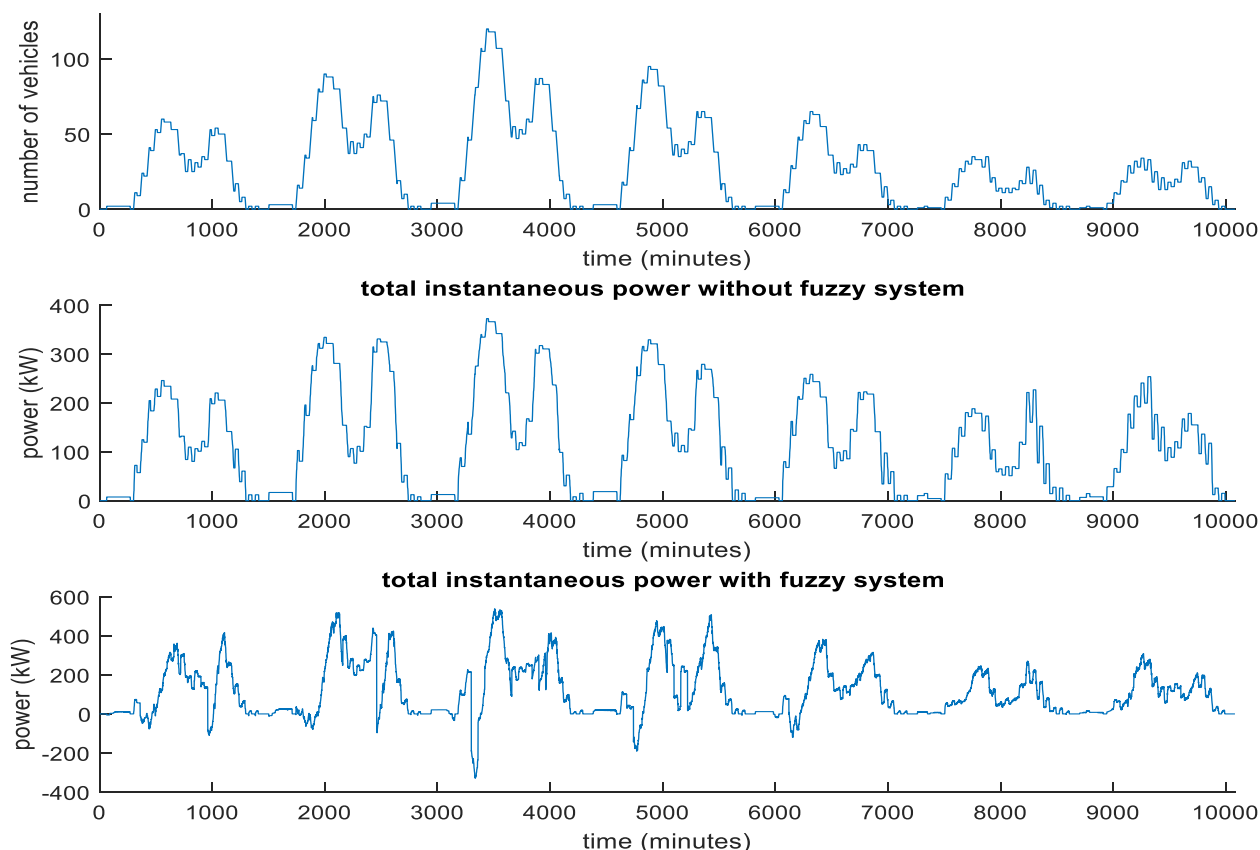


Εικόνα 38. Ισχύς και κόστος, Κυριακή Σενάριο (B)

Στις εικόνες Εικόνα 32-Εικόνα 38 παρουσιάζεται η ισχύς για την ελεγχόμενη και μη ελεγχόμενη φόρτιση συναρτήσει του κόστους ξεχωριστά για κάθε μέρα της εβδομάδας για το σενάριο (B). Ο σχολιασμός των αντίστοιχων διαγραμμάτων του σεναρίου (A) ισχύει στο ακέραιο και σε αυτή την περίπτωση. Συμπληρωματικά πρέπει να αναφερθεί ότι σε αυτή την περίπτωση του σεναρίου (B) η ελεγχόμενη φόρτιση παρουσιάζει πολύ πιο έντονες μεταβολές συγκριτικά με το σενάριο (A). Αυτό οφείλεται αφενός στο γεγονός ότι έχουμε μεγαλύτερο πλήθος οχημάτων και άρα απαιτούνται μεγαλύτερα μεγέθη ισχύος και αφετέρου στο γεγονός ότι το Fuzzy σύστημα έχει μεγαλύτερη ευελιξία πράγμα το οποίο αποτυπώνεται και στην απόδοση του συγκεκριμένου σεναρίου.

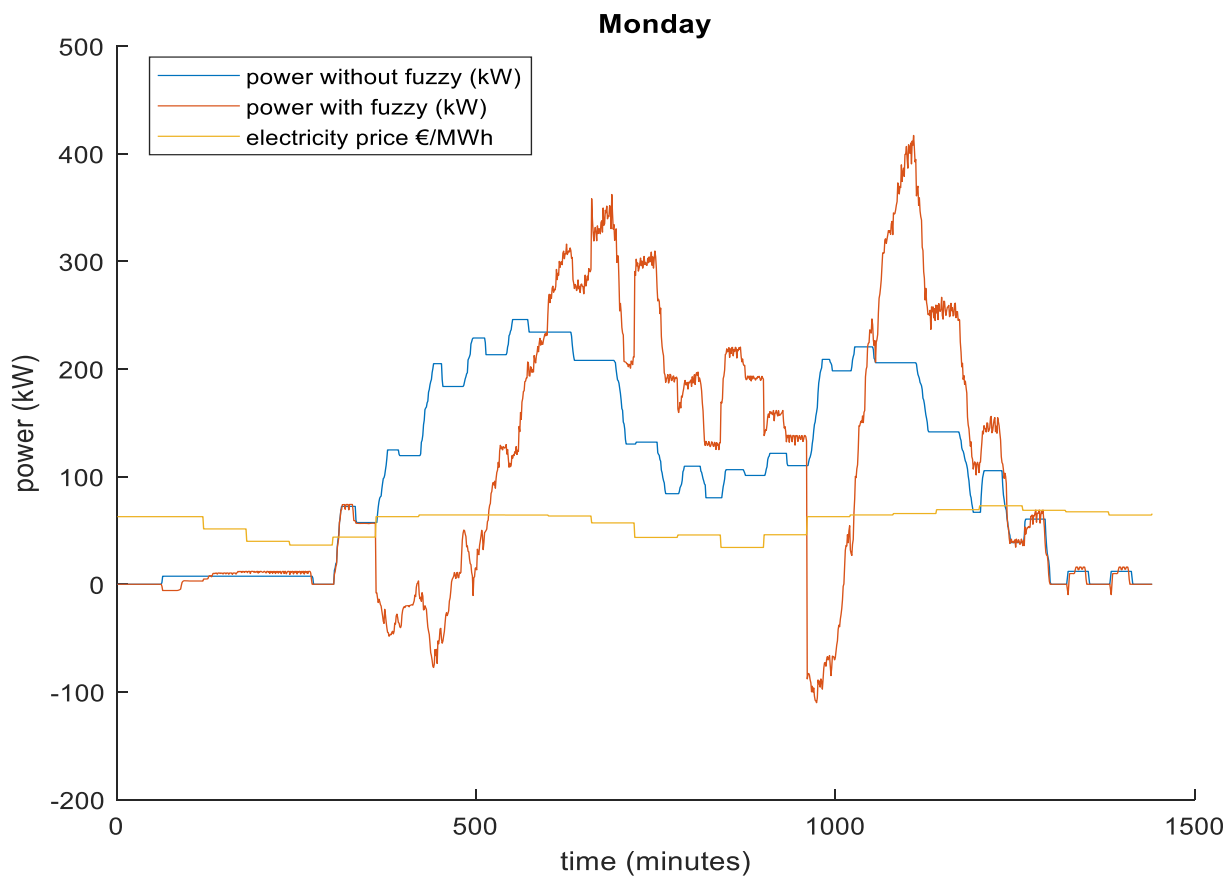
Η ελεγχόμενη φόρτιση για το σενάριο αυτό εμφανίζει 5,6% οικονομικότερη λειτουργία έναντι της μη ελεγχόμενης και 2% καλύτερη απόδοση από αυτή του σεναρίου (A).

4.3 Σενάριο (C)

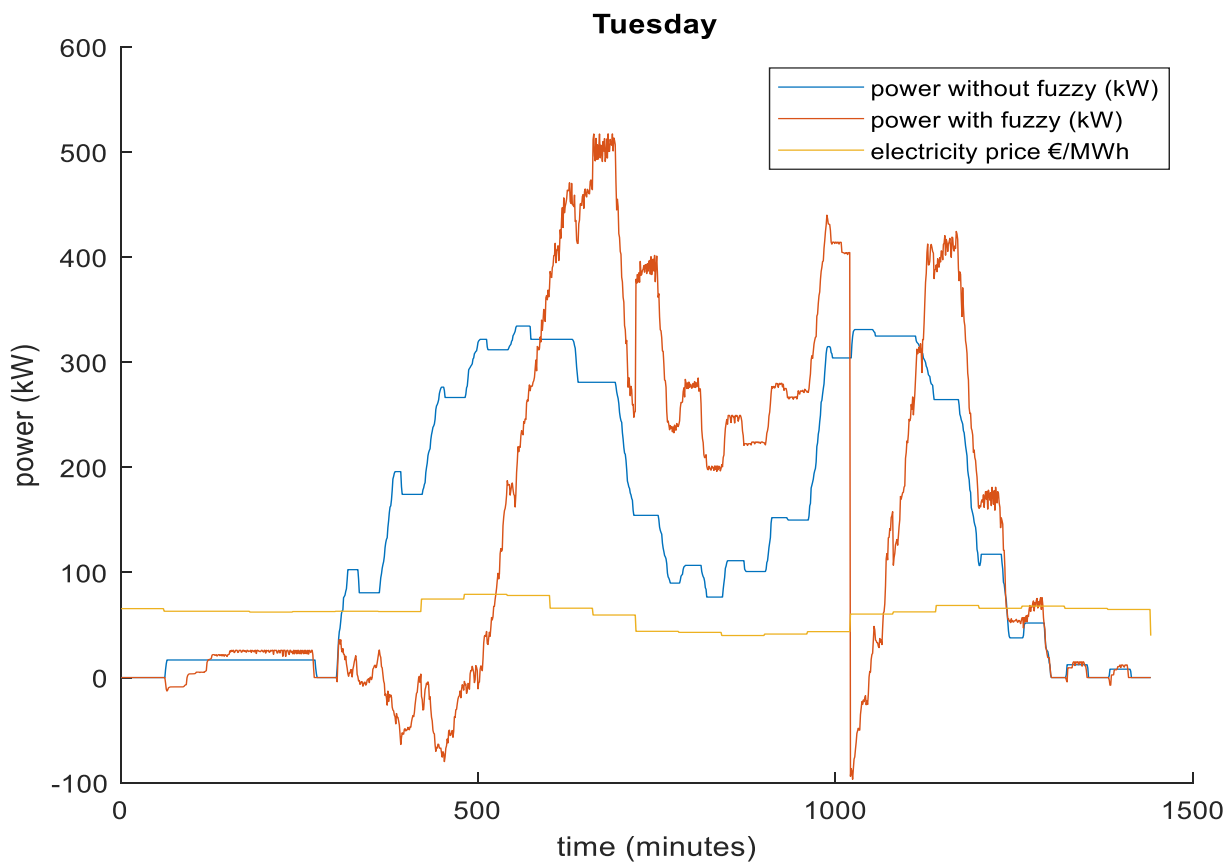


Εικόνα 39. Ισχύς για ελεγχόμενη και μη φόρτιση και κατανομή οχημάτων, Σενάριο (C)

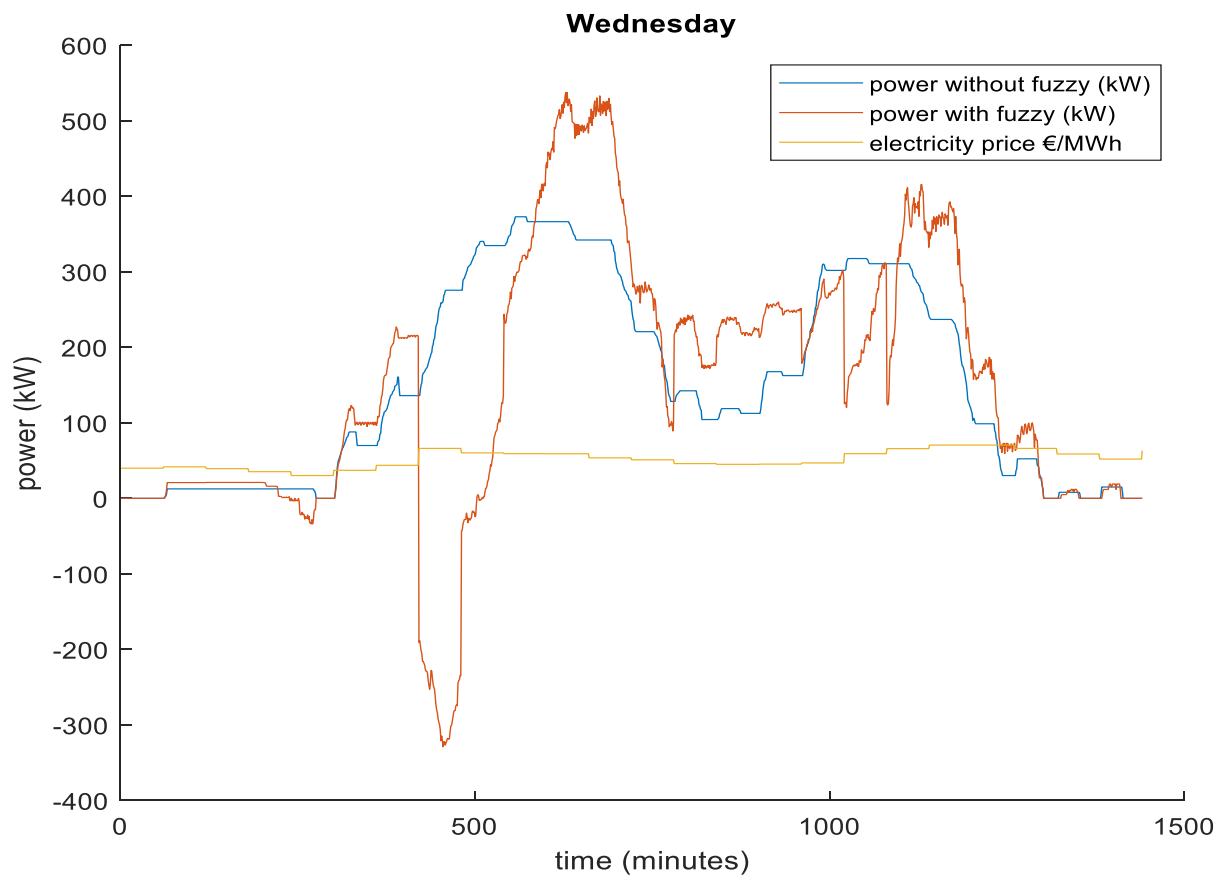
Το σενάριο (C) είναι ουσιαστικά η μεγέθυνση του σεναρίου (A). Ο σταθμός έχει διπλάσια χωρητικότητα και ίδια μέση πληρότητα 15,3%. Αναπτύχθηκε για να μας δώσει μια απάντηση για το αν και κατά πόσο επηρεάζεται η απόδοση του συστήματος αν αυξήσουμε το μέγεθος του σταθμού και διατηρήσουμε την πληρότητα στα ίδια επίπεδα. Όσα επισημάνθηκαν στο σχολιασμό της Εικόνα 23 ισχύουν και σε αυτή την περίπτωση. Σε αντίθεση με το σενάριο (B) βλέπουμε ότι σε αυτή την περίπτωση ο διπλασιασμός των οχημάτων προκαλεί peak διπλάσια από αυτά του σεναρίου (A) καθώς τα επιπλέον οχήματα δεν εντάσσονται με τρόπο που να προκαλούν εξισορρόπηση.



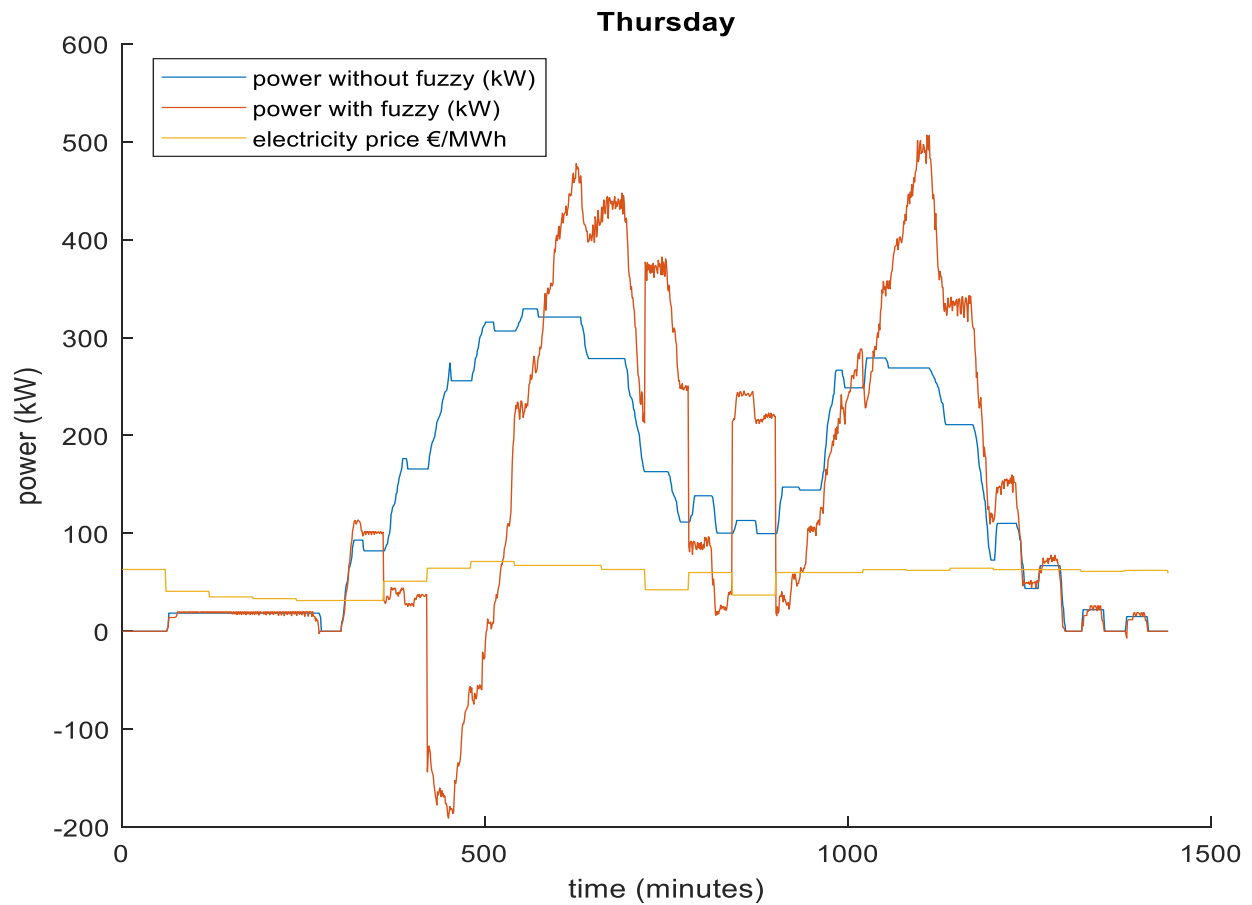
Εικόνα 40. Ισχύς και κόστος, Δευτέρα Σενάριο (C)



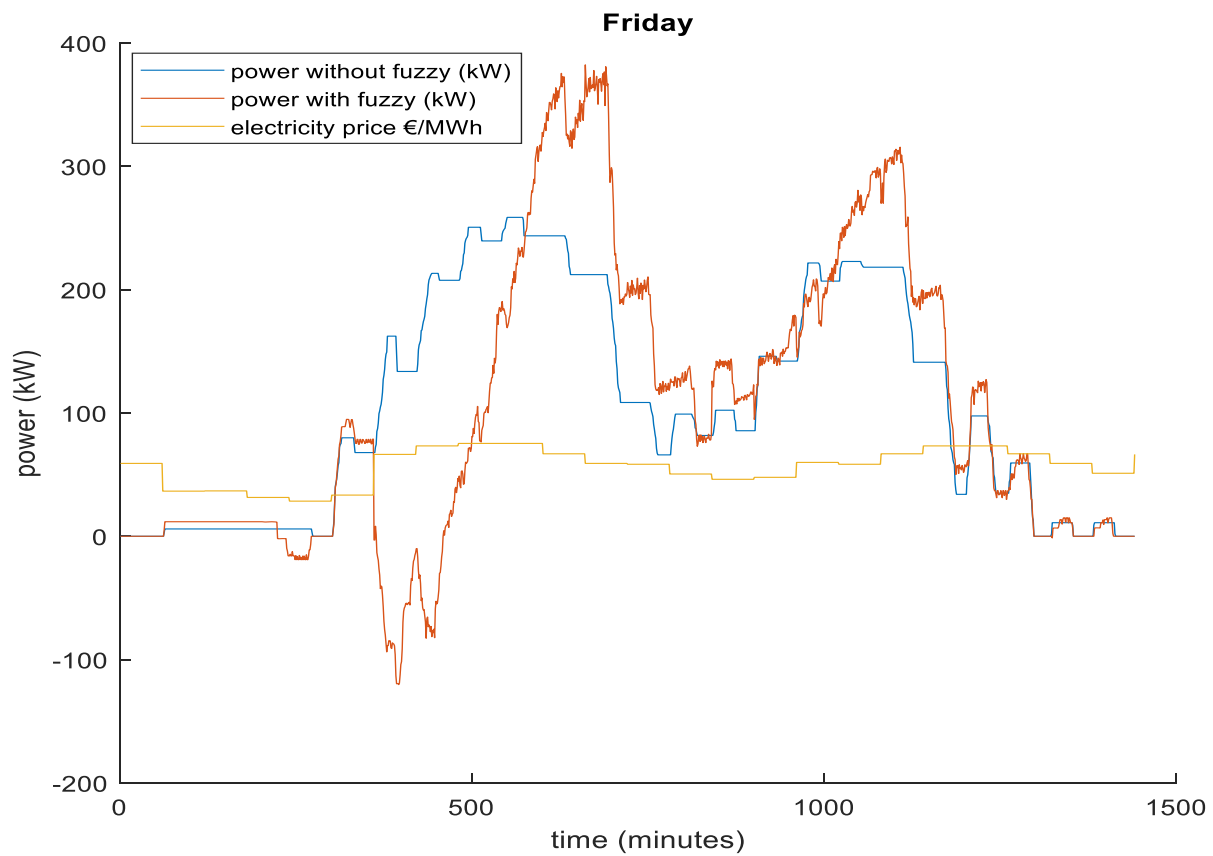
Εικόνα 41. Ισχύς και κόστος, Τρίτη Σενάριο (C)



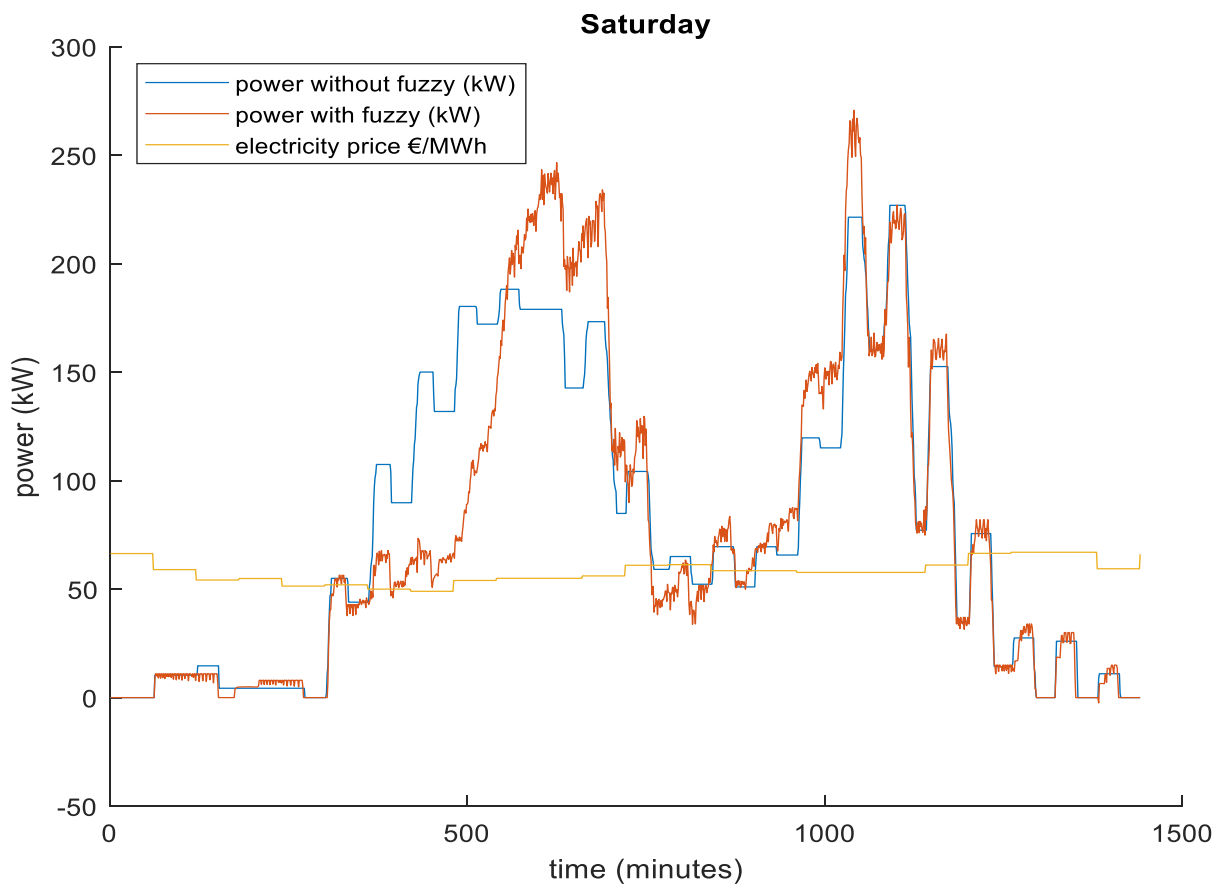
Εικόνα 42. Ισχύς και κόστος, Τετάρτη Σενάριο (C)



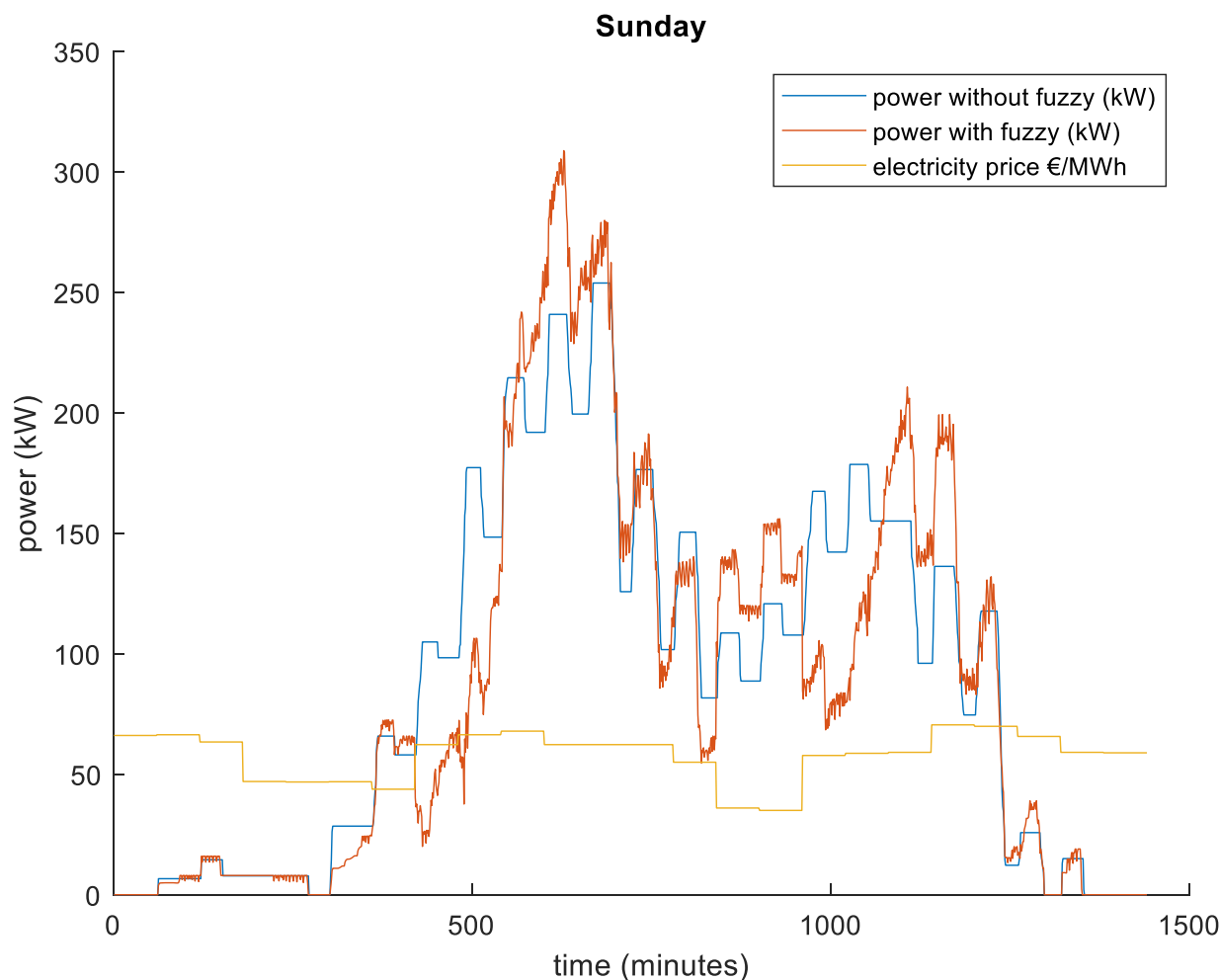
Εικόνα 43. Ισχύς και κόστος, Πέμπτη Σενάριο (C)



Εικόνα 44. Ισχύς και κόστος, Παρασκευή Σενάριο (C)



Εικόνα 45. Ισχύς και κόστος, Σάββατο Σενάριο (C)

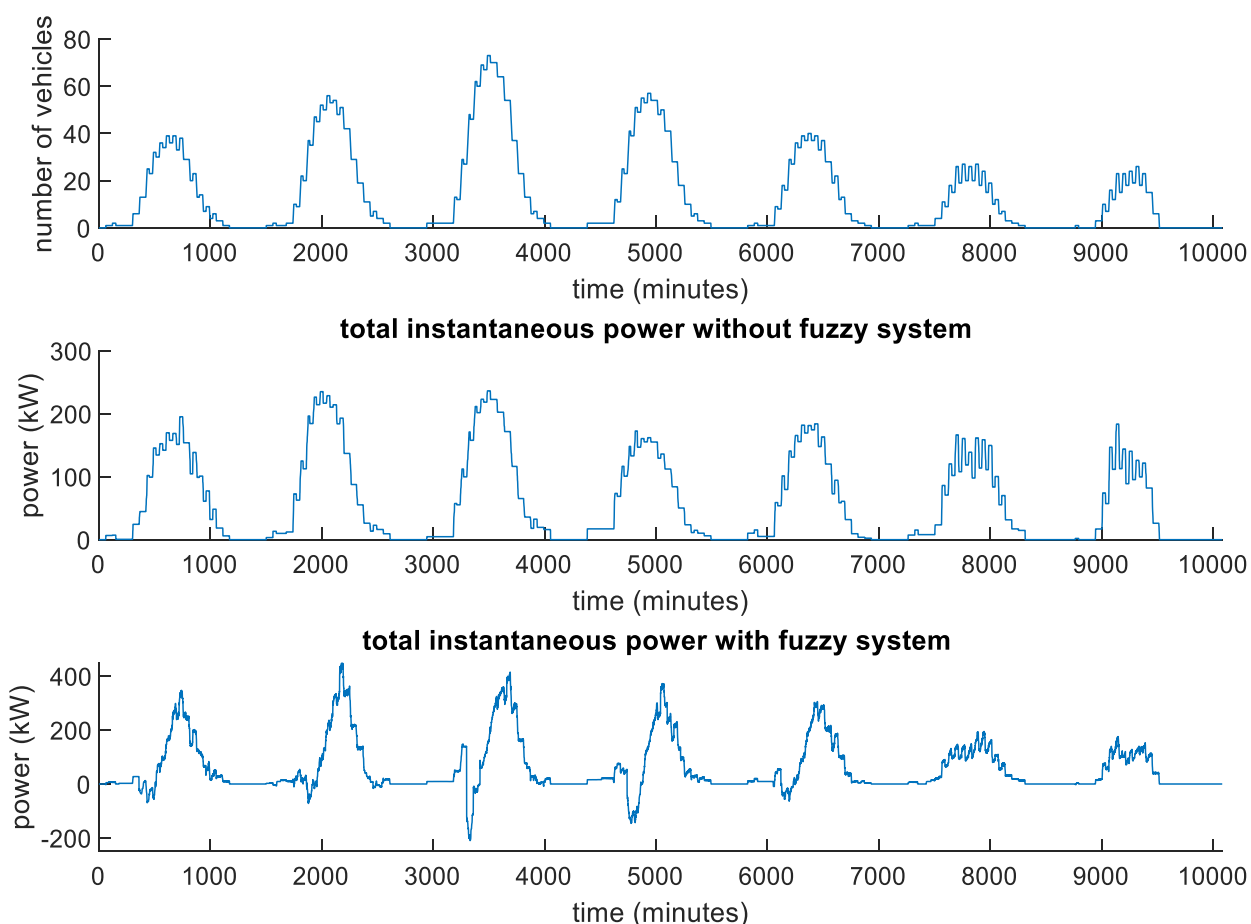


Εικόνα 46. Ισχύς και κόστος, Κυριακή Σενάριο (C)

Στις εικόνες Εικόνα 40-Εικόνα 46 παρουσιάζεται η ισχύς για την ελεγχόμενη και μη ελεγχόμενη φόρτιση συναρτήσει του κόστους ξεχωριστά για κάθε μέρα της εβδομάδας για το σενάριο (C). Ο γενικός σχολιασμός των Εικόνα 24-Εικόνα 30 του σεναρίου (A) ανταποκρίνεται και σε αυτή την περίπτωση. Συμπληρωματικά πρέπει να αναφερθεί ότι το συγκεκριμένο σενάριο (C) αν και δεν έχει αύξηση ως προς το βαθμό εβδομαδιαίας μέσης πληρότητας αλλά μόνο ως προς το πλήθος των οχημάτων καταφέρει και αυτό να προσδώσει μεγαλύτερη ευελιξία στην ελεγχόμενη φόρτιση. Τα μέγιστα ισχύος που εμφανίζονται παρουσιάζουν σχεδόν διπλάσια τιμή όπως και το πλήθος των οχημάτων συγκριτικά με το σενάριο (A), κάτι που δεν συνέβαινε στο σενάριο (B) όπου τα επιπλέον οχήματα εισέρχονταν στο σταθμό με εξισορροπητικό τρόπο ως προς την εβδομαδιαία κατανομή των οχημάτων. Αυτή η διαφορά με το σενάριο (B) δικαιολογεί και την απόδοση του σεναρίου (C). Η ελεγχόμενη φόρτιση εμφανίζει 5,3% οικονομικότερη λειτουργία

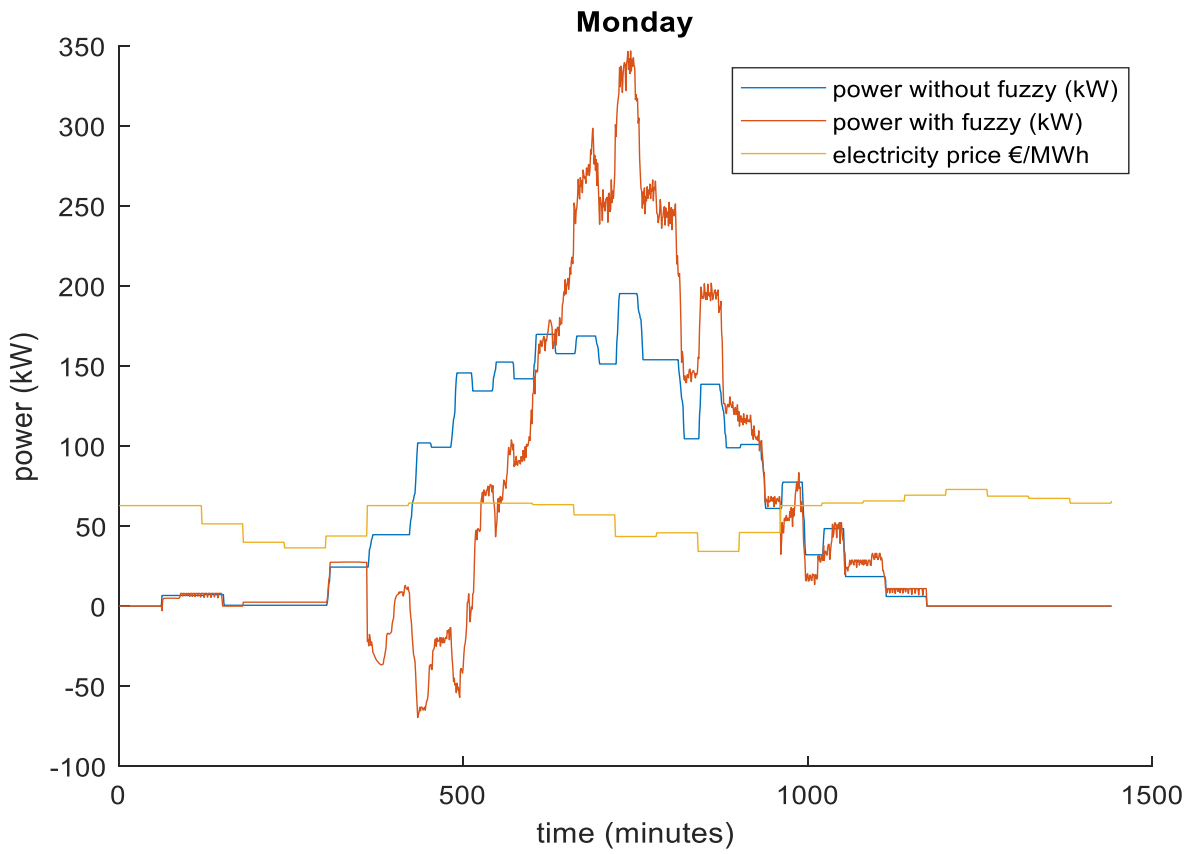
έναντι της μη ελεγχόμενης που αν και μεγαλύτερος από το βαθμό απόδοσης του σεναρίου (A) είναι μικρότερος του (B) καθώς η εμφάνιση των φορτιζόμενων οχημάτων σε στενές χρονικές περιοχές μειώνει την απόδοση της ελεγχόμενης φόρτισης.

4.4 Σενάριο (D)

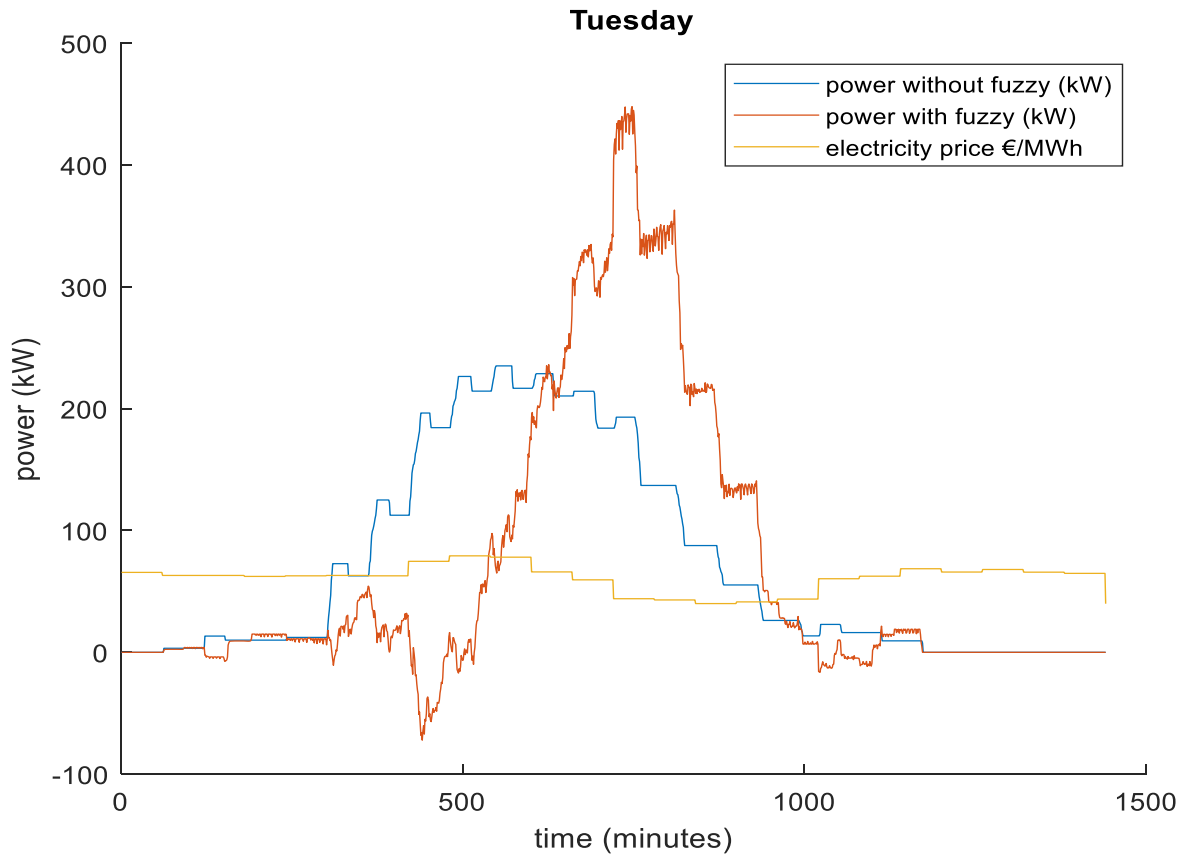


Εικόνα 47. Ισχύς για ελεγχόμενη και μη φόρτιση και κατανομή οχημάτων, Σενάριο (D)

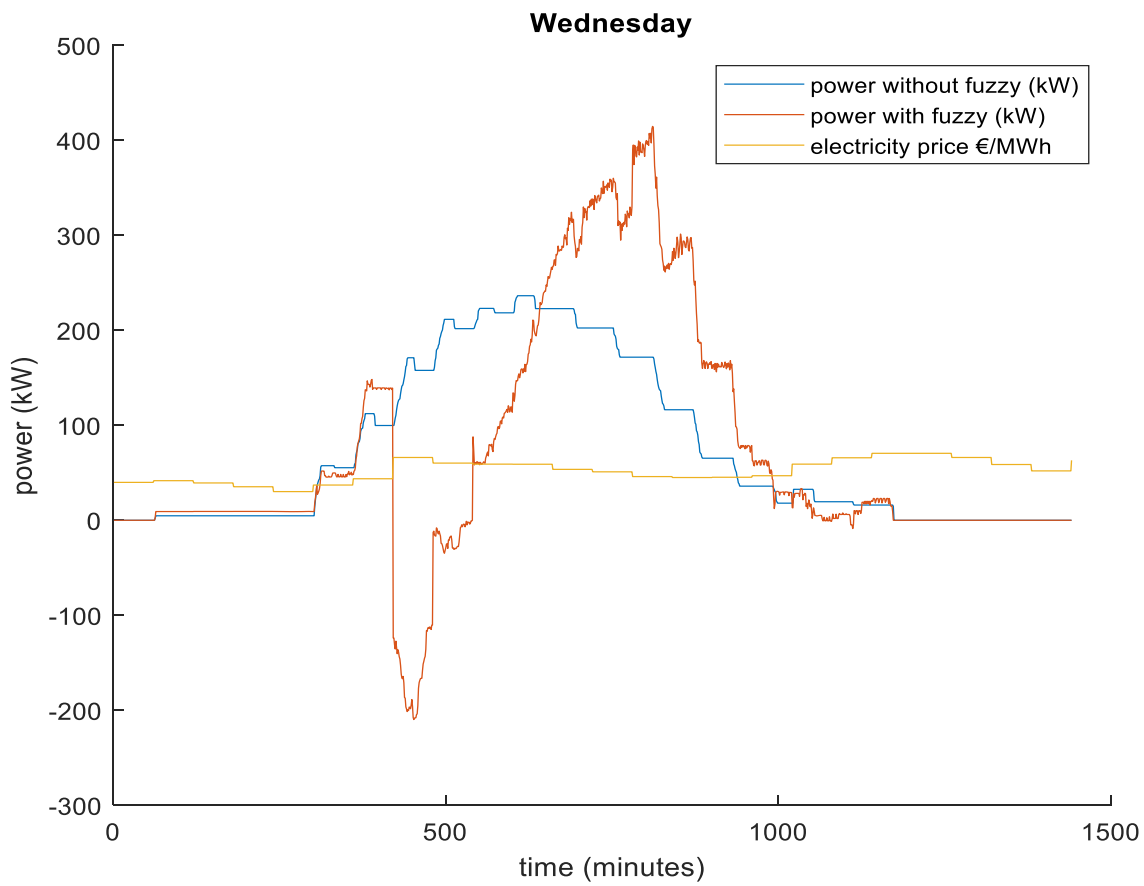
Στην Εικόνα 47 παρουσιάζεται η ισχύς συναρτήσει του αριθμού οχημάτων για το σενάριο (D). Αυτό το σενάριο αν και αναφέρεται σε ίδια χωρητικότητα και μέσο βαθμό πληρότητας με το σενάριο (A) εμφανίζει σημαντικές διαφορές ως προς την κατανομή των οχημάτων. Η κατανομή των οχημάτων παρουσιάζει πλέον ένα μόνο peak στη διάρκεια της ημέρας και το οποίο εμφανίζει μεγαλύτερο πλάτος, πράγμα που οδηγεί και στη μεγαλύτερη απόδοση μεταξύ των σεναρίων που εξετάστηκαν .



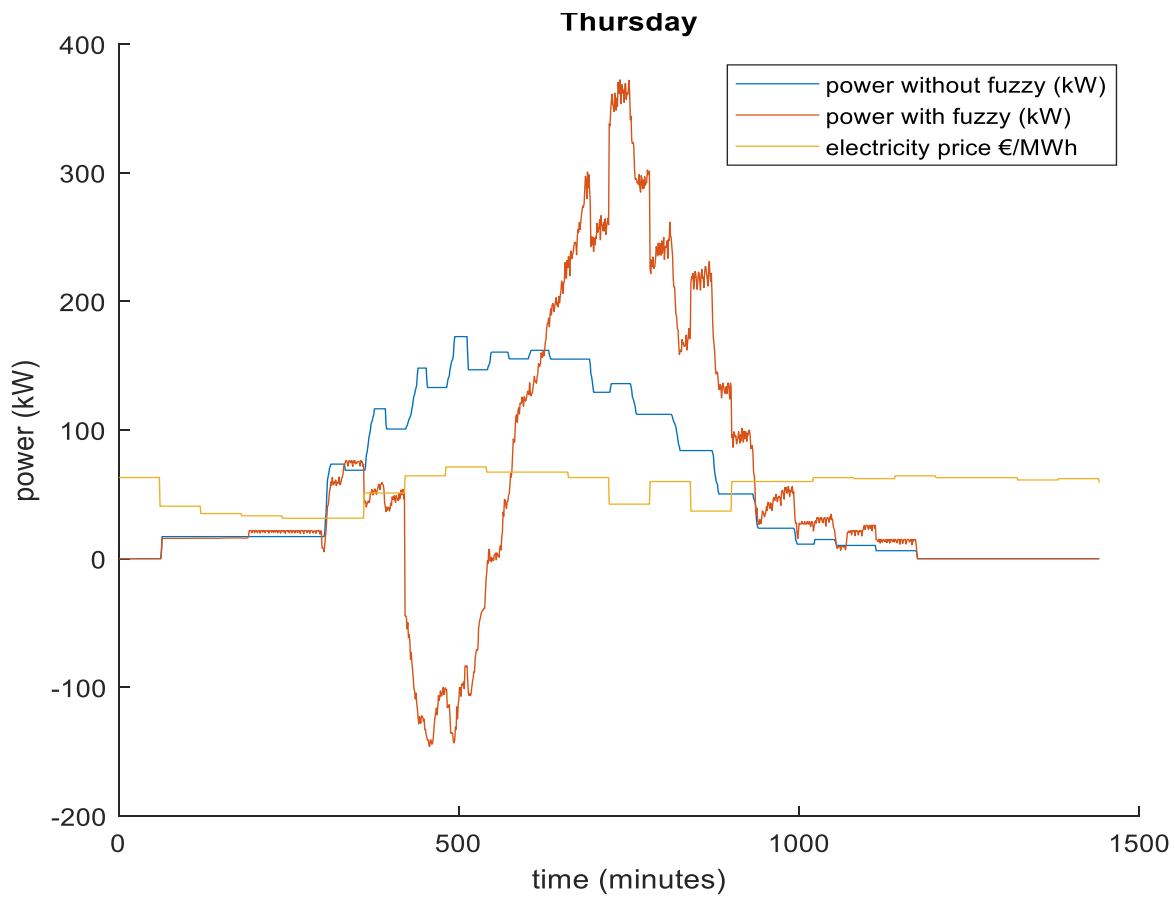
Εικόνα 48. Ισχύς και κόστος, Δευτέρα Σενάριο (D)



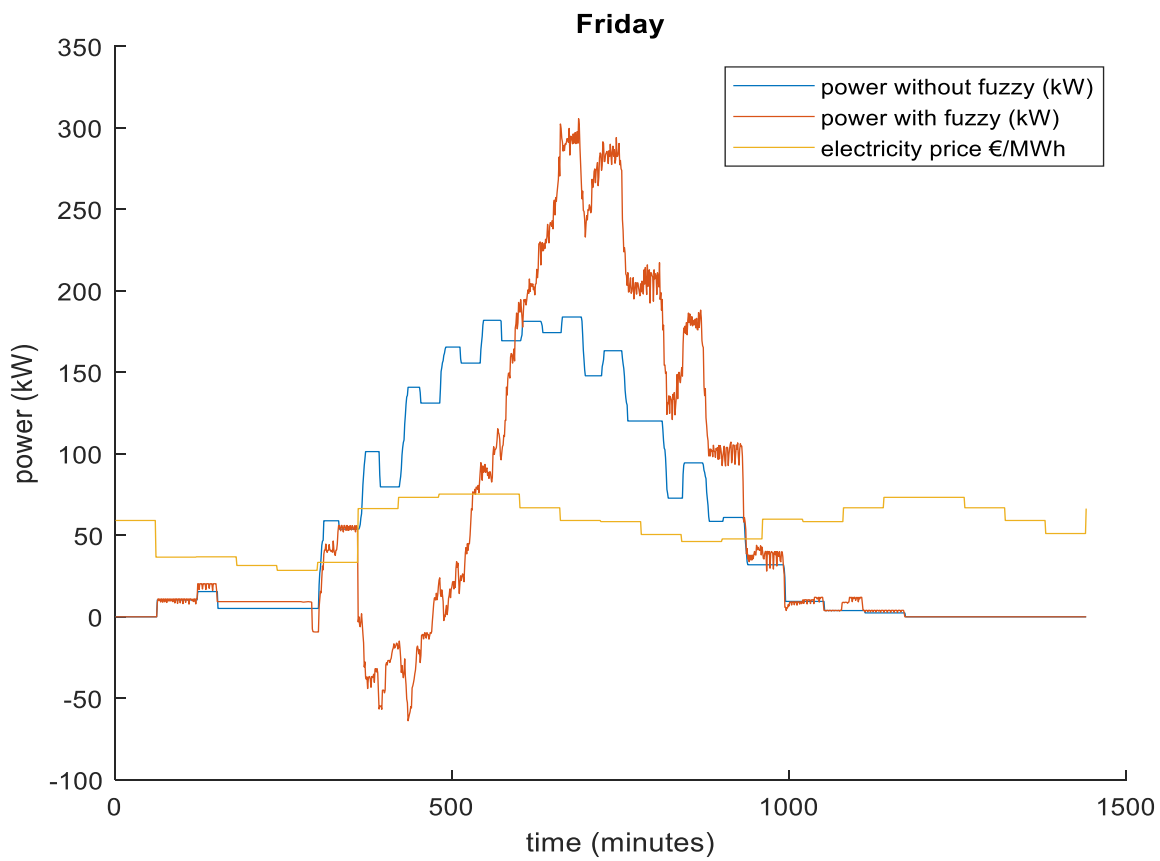
Εικόνα 49. Ισχύς και κόστος, Τρίτη Σενάριο (D)



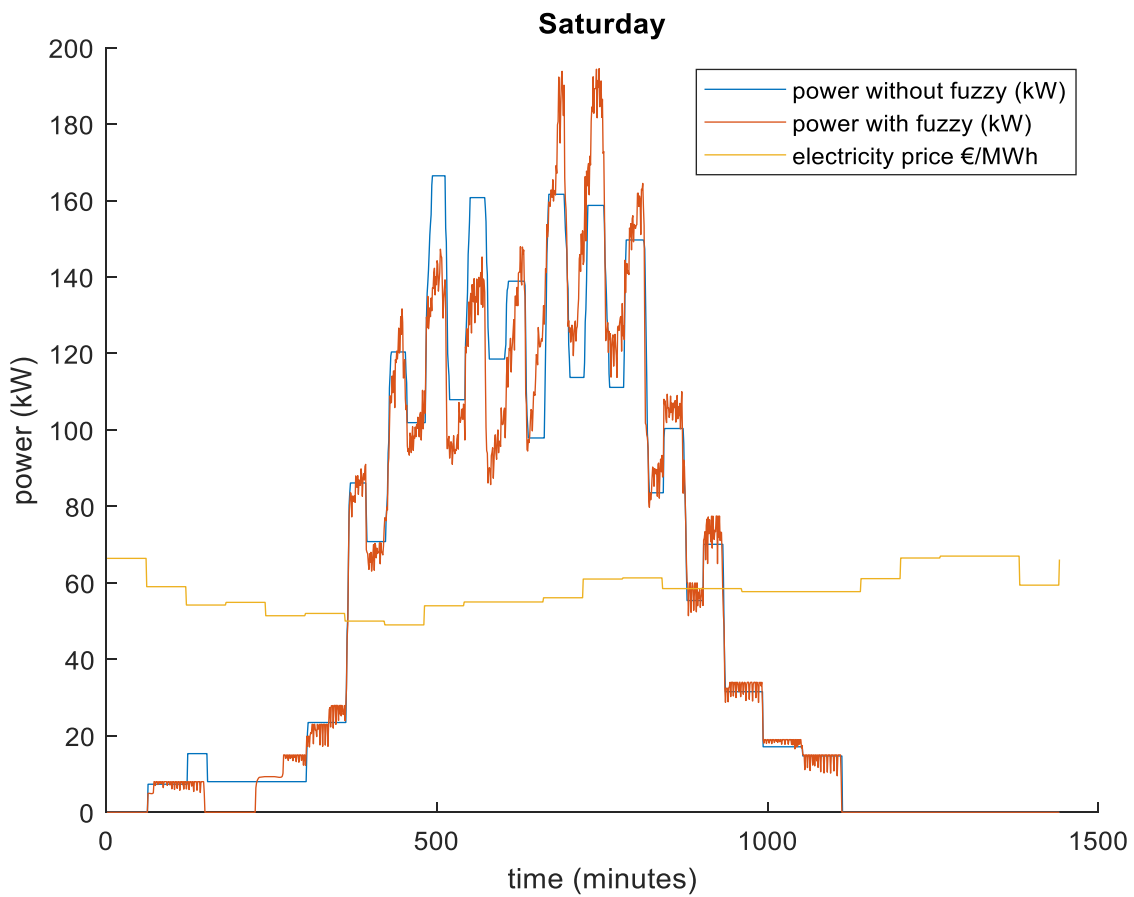
Εικόνα 50. Ισχύς και κόστος, Τετάρτη Σενάριο (D)



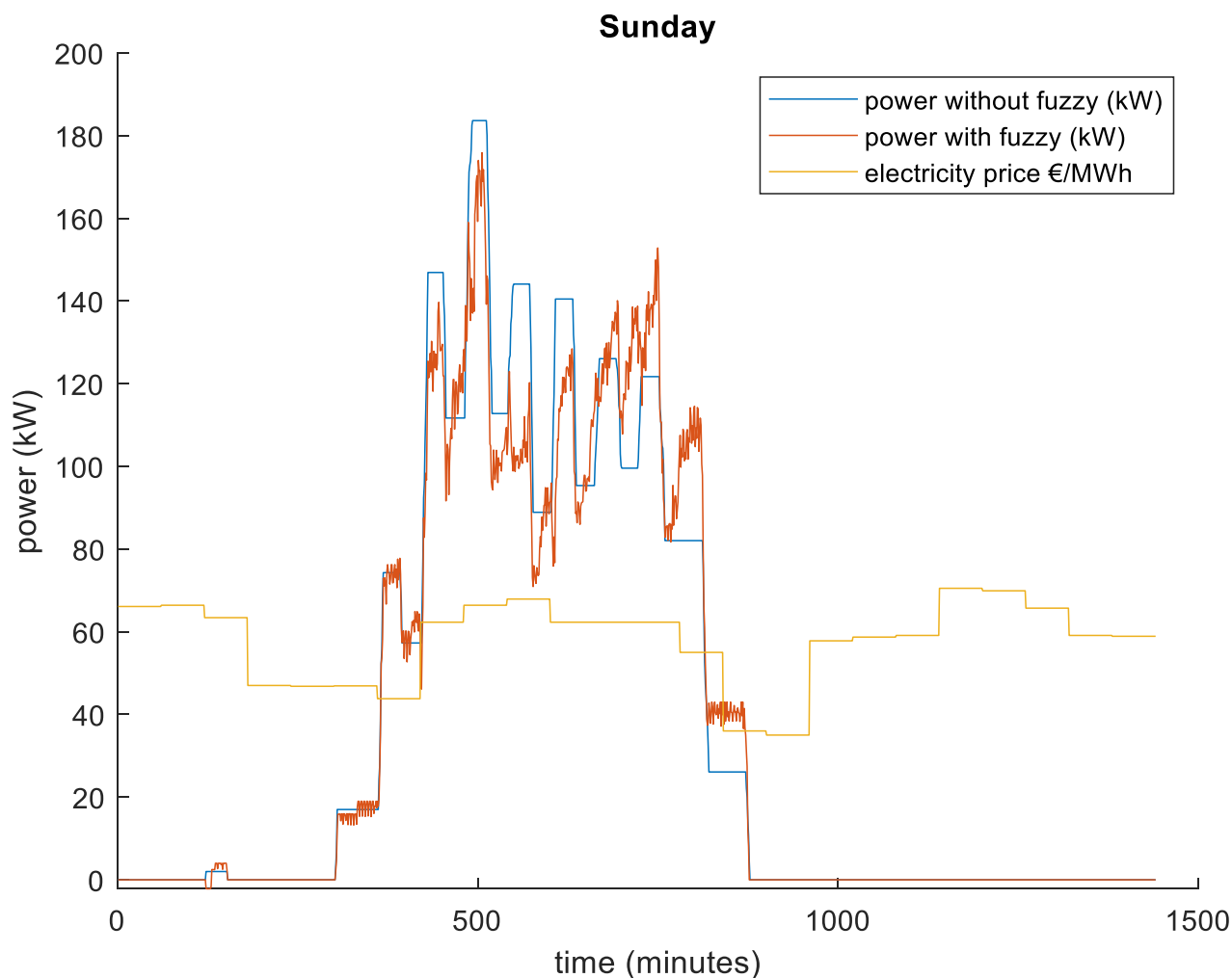
Εικόνα 51. Ισχύς και κόστος, Πέμπτη Σενάριο (D)



Εικόνα 52. Ισχύς και κόστος, Παρασκευή Σενάριο (D)



Εικόνα 53. Ισχύς και κόστος, Σάββατο Σενάριο (D)



Εικόνα 54. Ισχύς και κόστος, Κυριακή Σενάριο (D)

Στις εικόνες Εικόνα 48-Εικόνα 54 παρουσιάζεται η ισχύς για την ελεγχόμενη και μη ελεγχόμενη φόρτιση συναρτήσει του κόστους ξεχωριστά για κάθε μέρα της εβδομάδας για το σενάριο (D). Όπως και σε όλα τα υπόλοιπα σενάρια που εξετάστηκαν ο σχολιασμός των Εικόνα 24-Εικόνα 30 του σεναρίου (A) ισχύει και σε αυτή την περίπτωση. Το σενάριο (D) εμφανίζει τη σημαντική διαφορά ότι η κατανομή των οχημάτων σε αντίθεση με όλα τα υπόλοιπα σενάρια περιέχει μόνο ένα μέγιστο στη διάρκεια της ημέρας. Το μέγιστο αυτό εμφανίζεται πλατύτερο στον χρόνο πράγμα που σημαίνει ότι τα οχήματα είναι καλύτερα μοιρασμένα στο χρόνο. Η απόδοση του συγκεκριμένου σεναρίου είναι η μεγαλύτερή από όλα όσα εξετάστηκαν. Η ελεγχόμενη φόρτιση εμφανίζει 8,6% οικονομικότερη λειτουργία έναντι της μη ελεγχόμενης.

4.5 Αποδώσεις σεναρίων

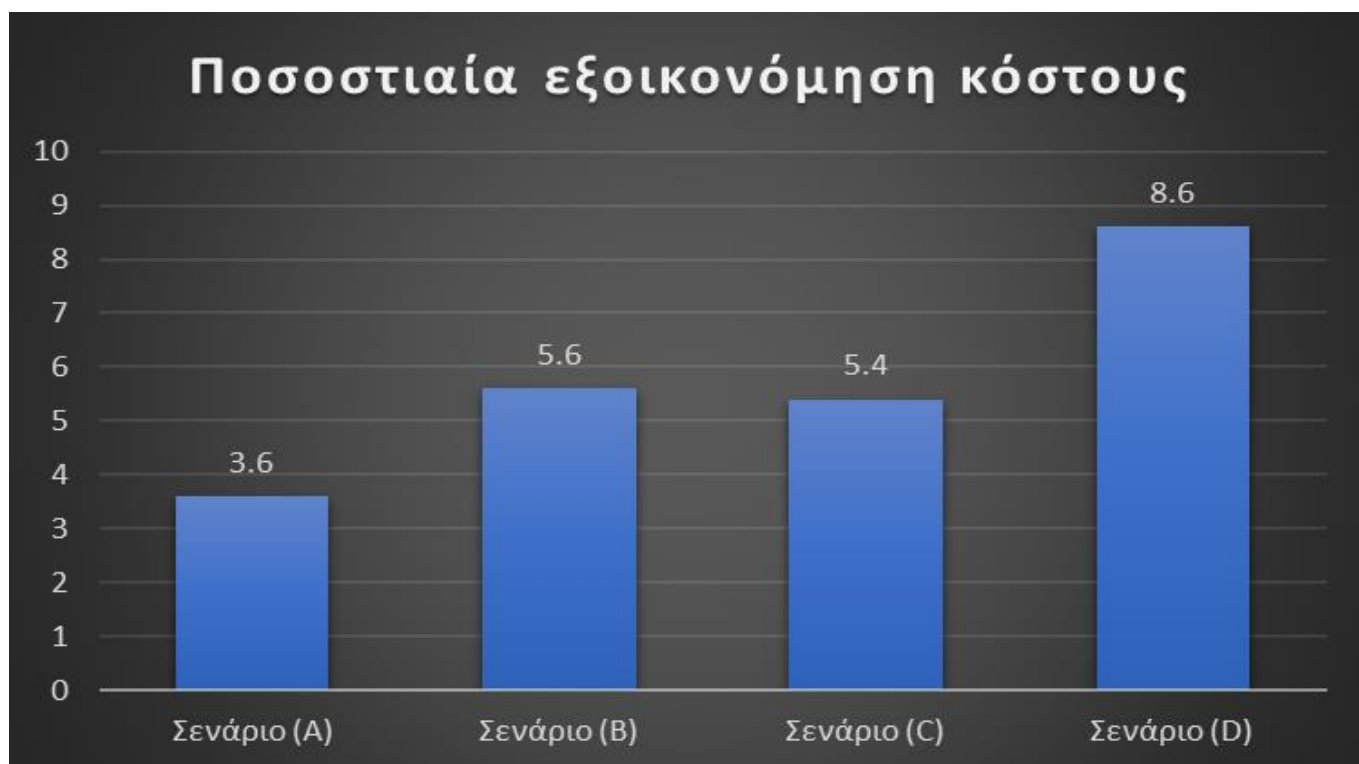
Η τιμή του συνολικού κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας σε απόλυτη τιμή σε € προκύπτει από το άθροισμα:

$\sum_{i=1}^n P(i) * cost(i) * dt$, όπου i =(minutes of week), n =χρόνος περιόδου (minutes), P =ισχύς(kW), $dt=1/60h$ και $cost$ =κόστος ηλεκτρικής ενέργειας (€/kWh).



Εικόνα 55. Ετήσιο κόστος φόρτισης

Στην Εικόνα 55 παρουσιάζεται το ετήσιο κόστος φόρτισης για τα 4 σενάρια που εξετάστηκαν. Οι μπλε μπάρες αντιστοιχούν στο κόστος της μη ελεγχόμενης φόρτισης ενώ οι πορτοκαλί στο κόστος λειτουργίας της ελεγχόμενης φόρτισης. Οι τιμές που αναγράφονται είναι σε € και αφορούν τμήμα του ετήσιου κόστους λειτουργίας καθώς περιλαμβάνουν αποκλειστικά το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας του σταθμού για την φόρτιση των οχημάτων.



Εικόνα 56. Οικονομική απόδοση σεναρίων

Στην Εικόνα 56 παρουσιάζεται το ποσοστό μείωσης του κόστους που επιτυγχάνει η ελεγχόμενη φόρτιση έναντι της μη ελεγχόμενης για καθένα από τα 4 σενάρια που εξετάστηκαν.

5 Συμπεράσματα και προτάσεις για μελλοντική έρευνα :

5.1 Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική μοντελοποιήθηκε και προσομοιώθηκε η λειτουργία ενός σταθμού φόρτισης και εξετάστηκαν 4 διαφορετικά σενάρια κατανομής των οχημάτων στη διάρκεια της ημέρας. Προτάθηκε ένας ελεγχόμενος τρόπος φόρτισης έναντι του μη ελεγχόμενου και εξήχθησαν κάποια ενδιαφέροντα συμπεράσματα. Έπειτα από πολλαπλές προσομοιώσεις των τεσσάρων σεναρίων που αναπτυχθήκαν παρατηρήθηκε ότι η ελεγχόμενη φόρτιση έχει αποκλειστικά θετική επίδραση ως προς το κόστος λειτουργίας του σταθμού. Παρατηρήθηκε επίσης ότι η απόδοση της ελεγχόμενης φόρτισης δεν είναι σταθερή. Όταν ο σταθμός καλείται να εξυπηρετήσει περισσότερα οχήματα η απόδοση της ελεγχόμενης φόρτισης αυξάνεται. Το ίδιο συμβαίνει και όταν τα οχήματα που καλείται να φορτίσει ο σταθμός στη διάρκεια της ημέρας έχουν αρκετό διαθέσιμο χρόνο για την φόρτισή τους. Η απόδοση της ελεγχόμενης φόρτισης καθίσταται αρκετά σημαντική για σταθμούς που περιλαμβάνουν πολλές θέσεις φόρτισης.

Παρατηρήθηκε επίσης ότι η χρήση της ελεγχόμενης φόρτισης παρουσιάζει (συγκριτικά με τη μη ελεγχόμενη φόρτιση) αρκετά μεγαλύτερα μέγιστα ως προς τη συνολική ισχύ και έντονες διακυμάνσεις. Αυτό ίσως εισάγει κάποιους περιορισμούς για την εγκατάσταση του σε περιοχές που το ηλεκτρικό δίκτυο δεν εμφανίζει υψηλή ανοχή σε μεγάλες και απότομες μεταβολές του φορτίου.

Το σύστημα ελεγχόμενης φόρτισης που αναπτύχθηκε καταφέρνει να προσεγγίσει το επιθυμητό επίπεδο φόρτισης (SoC_{Target}) με μια μικρή απόκλιση ($\pm 2,5\%$) ενώ η μη ελεγχόμενη φόρτιση πετυχαίνει συντριπτικά το επιθυμητό επίπεδο.

5.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα :

Δύο προτάσεις για περαιτέρω έρευνα και εξέλιξη του συστήματος που αναπτύχθηκε είναι οι εξής:

- Βελτιστοποίηση του fuzzy συστήματος με χρήση περισσότερων παραμέτρων έτσι ώστε να εμφανίζει μεγαλύτερη ευελιξία .
- Μελέτη και σχεδιασμός για λειτουργία του σταθμού σε συνεργασία με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και έξυπνα δίκτυα (Smart Grid) .

6 Βιβλιογραφία :

- [1] ΜΕΤΣΙΟΥ Ν. ΑΝΝΑ «ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΑ, ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ-ΥΙΟΘΕΤΗΣΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ» Διπλωματική Εργασία, ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2018
- [2] Πάσχου Δροσιά, «Ανάλυση μοντέλου ενεργειακής διαχείρισης στόλου ηλεκτρικών οχημάτων σύμφωνα με την ελαστικότητα που προσφέρουν οι χρήστες ηλεκτρικών οχημάτων», ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ,Αθήνα, Σεπτέμβριος 2016.
- [3] Σταύρος Ι. Πουρνιάς, «Μελέτη Αλγορίθμων Έξυπνης Δυναμικής Φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων», Διπλωματική Εργασία, Αθήνα, Ιούλιος 2017
- [4] Ιωάννης Στ. Ψαρράς, «Σύστημα Ελέγχου Φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων με Βέλτιστη Λειτουργία του Δικτύου Διανομής» Διπλωματική Εργασία,Χανιά, Μάρτιος 2018
- [5] Καρανδινού Αικατερίνη Αγάπη, «Μοντελοποίηση του Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας της Κρήτης με μεγάλη διείσδυση ΑΠΕ και ηλεκτρικών οχημάτων». Διπλωματική Εργασία ,Χανιά, (Ιούνιος 2020)
- [6] ΑΝΝΑ ΠΟΙΖΗ «ΜΕΛΕΤΗ ΠΡΟΟΠΤΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΙΔΙΩΤΙΚΗΣ ΧΡΗΣΗΣ». Θεσσαλονίκη, Διπλωματική Εργασία (Ιούλιος 2018)
- [7] ΓΕΩΡΓΙΟΣ Α. ΜΠΑΛΑΣΚΑΣ «ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΣΤΟΛΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ ΣΤΟ ΜΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ» Θεσσαλονίκη, Διπλωματική Εργασία (Ιούλιος 2015)
- [8] Κολιός Κωνσταντίνος, «Σχεδιασμός σταθμού ταχείας φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων με ενσωμάτωση ΑΠΕ και συστημάτων αποθήκευσης» Διπλωματική Εργασία, ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2019
- [9] «Βικιπαίδεια "Κυψέλη καυσίμου"»,[website](#)
- [10] «Βικιπαίδεια 'Μπαταρία ιόντων λιθίου'» [website](#)
- [11] Π. Μαστοροκώστας, «Εισαγωγή στην ασαφή λογική – ασαφή σύνολα – συναρτήσεις συμμετοχής,» 2015.

- [12] Διαλέξεις Πανεπιστήμιο Πατρών «[www.cs.uoi.gr](http://www.cs.uoi.gr/~arly/courses/ai/slides/10_fuzzy_logic.pdf)»online:
http://www.cs.uoi.gr/~arly/courses/ai/slides/10_fuzzy_logic.pdf.
- [13] Μιχαλόπουλος Ιωάννης, «ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗΣ ΜΕ ΕΞΕΛΙΚΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ» ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ (2014)
- [14] Ανδρέας Κατεργιαννάκης, «Δυναμική τιμολόγηση και μελέτη περίπτωσης / προσομοίωσης της ωριαίας ανάλυσης καταναλώσεων και τιμών ενέργειας σε δίκτυο διαμέρισμα,» Πτυχιακή Εργασία, Δεκέμβριος 2013
- [15] ΛΑΜΠΡΙΔΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ, «Δυναμική Τιμολόγηση και Έξυπνα Δίκτυα» ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ, Απρίλιος 2015
- [16] F. D. Kanellos, "Optimal Scheduling and Real-Time Operation of Distribution Networks With High Penetration of Plug-In Electric Vehicles," in *IEEE Systems Journal*.
- [17] S. G. Gennitsaris and F. D. Kanellos, "Emission-Aware and Cost-Effective Distributed Demand Response System for Extensively Electrified Large Ports," in *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 34, no. 6, pp. 4341-4351, Nov. 2019.
- [18] PALIALEXIS KONSTANTINOS« Electric Power Demand Estimation of Plug-in Electric Vehicles» Diploma Thesis.
- [19] Lead-Acid battery diagram «<http://www.biochemicals.cn/sodium-perborate-additive-lead-acid-battery.html>,» [Ηλεκτρονικό].
- [20] Ni-Cd battery diagram «<https://exlbattery.com/technology/>,» [Ηλεκτρονικό].
- [21] NiMH battery diagram «<https://www.fierceelectronics.com/components/nimh-technology-extends-energy-storage-life>,» [Ηλεκτρονικό].
- [22] Li-ion battery diagram «https://www.123rf.com/photo_83157939_stock-vector-li-ion-battery-diagram-.html. » [Ηλεκτρονικό].
- [23] Fuzzy Logic «<https://www.mathworks.com/help/fuzzy/what-is-fuzzy-logic.html>. [Ηλεκτρονικό]. »
- [24] Fuzzy Logic Toolbox «https://www.researchgate.net/figure/9-Graphical-user-interface-GUI-Tools-Fuzzy-Logic-Toolbox-2Users-Guide_fig37_330113598. » [Ηλεκτρονικό].
- [25] Real Time Pricing «<https://www.greentechmedia.com/articles/read/why-consumers-will-love-dynamic-pricing>. [Ηλεκτρονικό]. »
- [26] Electric Vehicles Technologies «<https://www.researchgate.net/figure/Overview-of-different-types->

of-electric-vehicles-36_fig1_325287110,» [Ηλεκτρονικό].

[27] BEV «http://autocaat.org/Technologies/Power_Electronics_and_Electric_Machines/,» [Ηλεκτρονικό].

[28] EREV «https://www.researchgate.net/figure/Extended-range-electric-vehicle-EREV-powertrain-configuration-and-power-flow_fig1_321093822,» [Ηλεκτρονικό].

[29] FCEV «https://www.futureforall.org/energy/hydrogen_fuel.htm,» [Ηλεκτρονικό].

[30] HEV«<https://www.bmw.com/en/innovation/Plug-in-hybrid-and-other-kinds-of-electric-cars.html>,» [Ηλεκτρονικό].