
**ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ Τ.Ε.**



**ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΥ ΠΟΛΗΛΑΤΟΥ ΣΕ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ
ΥΠΟΒΟΗΘΟΥΜΕΝΟ ΠΟΛΗΛΑΤΟ. ΣΧΕΔΙΟΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ
ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΙΝΗΣΗΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΤΩΝ**

**ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ ΧΑΡΙΤΩΝΙΔΗΣ
ΑΣΤΕΡΙΟΣ ΣΕΜΕΛΙΔΗΣ
ΦΩΤΙΟΣ ΑΘΑΝΑΣΙΑΔΗΣ**

Επιβλέπων: Θεόδωρος Κοσμάνης, Αναπληρωτής Καθηγητής

ΣΙΝΔΟΣ, 2019

**ALEXANDER TECHNOLOGICAL EDUCATIONAL INSTITUTE
OF THESSALONIKI**
SCHOOL OF TECHNOLOGICAL APPLICATIONS
DEPARTMENT OF AUTOMOTIVE ENGINEERING



**REMODELLING A REGULAR BIKE TO AN ELECTRI-
CALLY ASSISTED BICYCLE :**

**DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A POWER
ELECTRIC KIT**

**BACHELOR THESIS
OF**

**ALEXANDROS CHARITONIDIS
ASTERIOS SEMELIDIS
FOTIOS ATHANASIADIS**

Supervisor: Theodoros Kosmanis, Associate professor

SINDOS, 2019

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία και τα συμπεράσματά της, σε οποιαδήποτε μορφή, αποτελούν συνιδιοκτησία του Τμήματος Μηχανολόγων Οχημάτων του Αλεξάνδρειου ΤΕΙ Θεσσαλονίκης και του/των φοιτητή/ών. Οι προαναφερόμενοι διατηρούν το δικαίωμα ανεξάρτητης χρήσης και αναπαραγωγής (τμηματικά ή συνολικά) για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς. Σε κάθε περίπτωση πρέπει να αναφέρεται ο τίτλος, ο συγγραφέας, ο επιβλέπων και το Τμήμα του ΑΤΕΙΘ.

Η έγκριση της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Οχημάτων δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

Ο/Η/Οι κάτωθι υπογεγραμμένος/η/οι δηλώνω/ουμε υπεύθυνα ότι η παρούσα Πτυχιακή Εργασία είναι εξ' ολοκλήρου δικό μου/μας έργο και συγγράφηκε ειδικά για τις απαιτήσεις του προγράμματος σπουδών του Τμήματος Μηχανολόγων Οχημάτων.

Δηλώνω/ουμε υπεύθυνα ότι κατά τη συγγραφή ακολούθησα/ήσαμε την πρόποσα ακαδημαϊκή δεοντολογία αποφυγής λογοκλοπής και έχω/ουμε αποφυγει οποιαδήποτε ενέργεια που συνιστά παράπτωμα λογοκλοπής.

Ο Φοιτητής

Ο Φοιτητής

Ο Φοιτητής

(Ολογράφως)

(Ολογράφως)

(Ολογράφως)

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

Σίνδος, ___ / ___ / 2019

Σίνδος, ___ / ___ / 2019

Σίνδος, ___ / ___ / 2019

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή	3
1.1 Το ποδήλατο ως μεταφορικό μέσο	3
1.2 Σκοπός Πτυχιακής Εργασίας	4
2. Ιστορική Αναδρομή και Νομοθεσία	5
2.1 Ιστορική αναδρομή ποδηλάτου	5
2.2 Ιστορική αναδρομή μπαταρίας.....	8
2.2.1 Η πρώτη “μπαταρία”	8
2.2.2 Ο “ζωικός” ηλεκτρισμός.....	9
2.2.3 Το απόγειο των ανακαλύψεων	10
2.3 Ιστορική αναδρομή ηλεκτροκινητήρων.....	12
2.4 Νομοθεσία Ηλεκτρικών Ποδηλάτων	16
3. Τεχνολογία Ηλεκτρικού Ποδηλάτου	17
3.1 Σύστημα Κίνησης - Ηλεκτροκινητήρες.....	17
3.1.1 Εισαγωγή.....	17
3.1.2 Είδη ηλεκτροκινητήρων	17
3.1.3 Κατηγορίες ηλεκτροκινητήρων	18
3.1.4 Ηλεκτροκίνηση	23
3.2 Σύστημα Αποθήκευσης Ενέργειας.....	26
3.2.1 Εισαγωγή.....	26
3.2.2 Γενικές αρχές μπαταρίας ως πηγή ενέργειας	27
3.2.3 Είδη μπαταριών.....	28
3.3 Περιγραφή Μπαταριών Ιόντων – Λιθίου Τύπου 18650	34
4. Σχεδίαση και Κατασκευή Ηλεκτρικού Ποδηλάτου	37
4.1 Εισαγωγή.....	37
4.2 Ερωτηματολόγιο	37
4.3 Γενική Περιγραφή της Δομής.....	43
4.4 Σχεδίαση και υλοποίηση του ποδηλάτου.....	45
4.4.1 Μπαταρία.....	45
4.4.2 Σύστημα Διαχείρισης Μπαταρίας (Battery Management System)	50
4.4.3 Φορτιστής.....	53
4.4.4 Μονάδα.....	55
4.4.5 Κινητήρας.....	62
4.4.6 Μονάδα απεικόνισης.....	66

4.5	Τελικό Αποτέλεσμα	67
5	Προσομοίωση.....	69
5.1	Εισαγωγή	69
5.2	Μοντελοποίηση	72
5.3	Πείραμα.....	77
6	Διεξαγωγή πειραμάτων.....	94
6.1	Περιγραφή πειραματικού σχεδιασμού	94
6.2	Πειραματικός εξοπλισμός.....	95
6.2.1	Μετρητική μονάδα-Πλακέτα.....	95
6.2.2	Ανεμόμετρο	99
6.3	Αποτελέσματα μετρήσεων	100
6.3.1	Μετρήσεις πρώτου αναβάτη	101
6.3.2	Μετρήσεις δεύτερου αναβάτη	104
6.3.3	Μετρήσεις τρίτου αναβάτη	107
6.3.4	Μετρήσεις Τέταρτου αναβάτη.....	110
6.3.5	Μετρήσεις αυτονομίας με την χρήση υποβοήθησης	114
6.3.6	Μετρήσεις αυτονομίας με την χρήση γκαζιού	116
7.	Συμπεράσματα.....	118
8.	Βιβλιογραφία.....	121
	Ευρετήριο Εικόνων	125
	Ευρετήριο Πινάκων.....	129
	Ευρετήριο Εξισώσεων	130
	Παράρτημα πληροφοριών.	131

1. Εισαγωγή

1.1 Το ποδήλατο ως μεταφορικό μέσο

Το ποδήλατο είναι ένα μεταφορικό μέσο το οποίο αποτελείται από δύο τροχούς, στην πιο διαδεδομένη μορφή του, και η κίνησή του στηρίζεται κατά κόρον στην μυϊκή δύναμη του αναβάτη. Χρησιμοποιείται ως μέσο μεταφοράς, μέσο άθλησης και πολλές φορές ως μέσο ψυχαγωγίας. Θεωρείται ο πιο οικονομικός, οικολογικός και υγιής τρόπος μετακίνησης κάτι που το καθιστά το πιο διαδεδομένο τρόπο μετακίνησης σε όλο το κόσμο. Μάλιστα υπάρχουν πολλές χώρες που ο αριθμός των ποδηλάτων ξεπερνούν τον αριθμό των αυτοκινήτων, καθώς αποτελεί την μοναδική λύση στα προβλήματα συμφόρησης, λόγω συγκοινωνιακών προβλημάτων. Χαρακτηριστική περίπτωση τέτοιας πόλης στην Ευρώπη είναι το Άμστερνταμ, όπου το πλήθος των ποδηλάτων φτάνουν σχεδόν τον αριθμό των κατοίκων. Μια πόλη που έχει ένα πλήρες και επαρκές σύστημα μέσων μαζικής μεταφοράς και παρ' όλα αυτά οι πολίτες προτιμούν την χρήση του ποδηλάτου για τις καθημερινές του μετακινήσεις. Στην Κίνα σε ώρες αιχμής ο θόρυβος που βγάζουν τα κουδουνάκια από τα ποδήλατα είναι πιο δυνατός από αυτό των αυτοκινήτων. Η χρήση του ποδηλάτου ως μέσο μεταφοράς μειώνει σημαντικά την κυκλοφοριακή συμφόρηση στα αστικά κέντρα χωρίς να παράγει ρύπους, ενώ παράλληλα λειτουργεί και ως μέσο εκγύμνασης βελτιώνοντας την φυσική κατάσταση των αναβατών. Το κόστος αγοράς του είναι προσιτό για όλους με την χαμηλότερη τιμή του να κυμαίνεται στα 100 ευρώ. Το ποδήλατο αποτελεί ασφαλέστερο μέσο μεταφοράς στα αστικά κέντρα λόγω της χαμηλότερης ταχύτητας κίνησής του με την προϋπόθεση ύπαρξης ποδηλατοδρόμων και κατάλληλης οδηγικής παιδείας.

Η εξέλιξη του ποδηλάτου σε υβριδικό όχημα με την ενσωμάτωση ηλεκτροκινητήρα βελτιώνει την οδηγική συμπεριφορά του, κάνοντας το πιο ξεκούραστο σε αναβάσεις, αλλά και σε μεγάλες αποστάσεις. Επιπλέον το κάνει προσιτό σε ανθρώπους χωρίς καλή φυσική κατάσταση και το αναβαθμίζει ως μέσο μεταφοράς στο ευρύ κοινό. Σύμφωνα με την νομοθεσία το ηλεκτρικό ποδήλατο ορίζεται ως ένα ηλεκτρικά υποβοηθούμενο ποδήλατο με τελική ταχύτητα που περιορίζεται στα 25 χλμ./ώρα. Με το ηλεκτρικό ποδήλατο μπορεί να μετακινηθεί κάποιος ευκολότερα, γρηγορότερα και πιο ξεκούραστα, επειδή με την κίνηση των πεταλιών ενεργοποιείται ο ηλεκτροκινητήρας προσφέροντας υποβοήθηση έως ότου φτάσει την τελική ταχύτητα. Είναι ιδιαίτερα ελκυστικό σε περιπτώσεις συχνών στάσεων για παράδειγμα στους φωτεινούς σηματοδότες καθώς προσφέρει επιπλέον επιτάχυνση για την εκκίνηση και σε περιπτώσεις απότομων κλίσεων, όπου χρειάζεται επιπρόσθετη ροπή.

Πλέον το ηλεκτρικό ποδήλατο έχει συγκεντρώσει το ενδιαφέρον πολλών επιχειρήσεων μικρού και μεγάλου βεληνεκούς, καθώς υπάρχει αυξανόμενη ζήτηση. Βιομηχανίες όπως Yamaha και Bosch έχουν ήδη ασχοληθεί με την κατασκευή ηλεκτρικά υποβοηθούμενων ποδηλάτων ανωμάλου δρόμου, ώστε να καλύψουν την τάση που έχει δημιουργηθεί για αυτό το χόμπι. Παρομοίως διάφοροι κατασκευαστές στον κόσμο έχουν σχεδιάσει ηλεκτρικά ποδήλατα για κάθε πιθανή εφαρμογή (δρόμου, σπαστό, ανωμάλου δρόμου) με διαφορετικές επιδόσεις, παρελκόμενα και υλικά κατασκευής. Ορισμένες εταιρίες παρέχουν πακέτα μετατροπής ώστε

κάποιος να μετατρέψει το συμβατικό του ποδήλατο σε ηλεκτρικό μειώνοντας το κόστος. Παρά το κόστος αγοράς του, το κόστος συντήρησης του είναι μικρό και η φορολόγησή του μηδενική.

Παρατηρώντας αυτήν την τάση στα ηλεκτρικά ποδήλατα, καθώς και τα πολυάριθμα πλεονεκτήματα που υπάρχουν στην μετάβαση από τα συμβατικά μέσα μεταφοράς σε αυτό έγινε αντιληπτή η σπουδαιότητα του. Θέτοντας ως στόχο την υλοποίηση ενός ηλεκτρικού ποδηλάτου με προσιτή τιμή και επιδόσεις που ικανοποιούν τις ανάγκες των πιθανών αγοραστών προχωρήσαμε στη μελέτη και σχεδιασμό του. Η επιθυμία μας είναι να βοηθήσουμε, ώστε να γίνει αυτό το μέσο μεταφοράς πιο δημοφιλές λύνοντας έτσι πολλά αστικά προβλήματα.

1.2 Σκοπός Πτυχιακής Εργασίας

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη και σχεδίαση ενός ηλεκτρικά υποβοηθούμενου ποδηλάτου σε προσιτό κόστος με την χρήση απλών ηλεκτρονικών και μηχανημάτων. Στόχος είναι η κατασκευή ενός πρωτότυπου κιτ μετατροπής με χαρακτηριστικά τα οποία είναι αντάξια με αυτά της αγοράς. Χρησιμοποιώντας έναν έτοιμο και ελαφρύ σκελετό προβήκαμε στην σχεδίαση μιας απλής αρχιτεκτονικής δομής κατασκευάζοντας εξ' ολοκλήρου την μονάδα αποθήκευσης ενέργειας και το περίβλημα αυτού. Επίσης μετά το πέρας της διεξαγωγής των κατασκευαστικών εργασιών δημιουργήθηκε μια μονάδα συλλογής δεδομένων για την διεξαγωγή πειραματικών μετρήσεων. Με αυτόν τον τρόπο πραγματοποιήθηκε ο σχολιασμός

2. Ιστορική Αναδρομή και Νομοθεσία

2.1 Ιστορική αναδρομή ποδηλάτου

Το ερώτημα “ποιος ανακάλυψε το ποδήλατο” παραμένει αναπάντητο. Δεν υπάρχει συγκεκριμένη χρονολογία εφεύρεσης καθώς το ποδήλατο δεν αποτελεί εφεύρεση ενός, αλλά μιας συλλογικής πορείας. Υπάρχουν καταγραφές πολλών προσπαθειών από την αρχαιότητα έως και τον 20 αιώνα.

Υπήρχε η φήμη ότι ο Λεονάρντο Ντα Βίντσι είχε σχεδιάσει ήδη από το 1400 ένα ποδήλατο παρόμοιο με το σημερινό. Παραμένει όμως στην ιστορία ως ένας μύθος διότι ο Ντα Βίντσι, παρότι ήταν ένας λαμπρός εφευρέτης, δεν υπάρχουν βάσιμες πληροφορίες που να αποδεικνύουν ότι ο ίδιος είχε ασχοληθεί ποτέ με αυτό το ζήτημα.

Το Celerifere (Σελεριφέρ) είναι η ονομασία της προγενέστερης μορφής ποδηλάτου χωρίς πετάλι και τιμόνι. Αποτελεί εφεύρεση του Γάλλου κόμη Mede de Sivrac το 1790 και ήταν εξ ολοκλήρου φτιαγμένο από ξύλο. Παρά την έλλειψη της ικανότητας διεύθυνσης και κάποιας μηχανικής προώθησης του δίκυκλου ο σχεδιασμός του θύμιζε πολύ αυτή του ποδηλάτου. Ήταν κατασκευασμένο έτσι ώστε το κάθισμα ήταν κομμάτι του σκελετού και ο αναβάτης οδηγούσε το δίκυκλο σε σχεδόν όρθια στάση. Με το περπάτημα ή με το τρέξιμο ο οδηγός ωθούσε μπροστά το Σελεριφέρ και μόλις αποκτούσε ικανή ταχύτητα σήκωνε τα πόδια και απλά άφηνε την αδράνεια να κάνει την δουλειά της.

Ο Γερμανός Βαρόνος Karl Drais von Sauerbronn επινόησε μια αναβαθμισμένη έκδοση του προηγούμενου δίκυκλου προσθέτοντας ένα σύστημα διεύθυνσης. Ο βαρόνος του έδωσε την ονομασία Laufmaschine, που στην γερμανική γλώσσα σημαίνει “μηχανή περπατήματος” και προόριζε την χρήση του στους βασιλικούς κήπους για να μετακινείται γρηγορότερα. Είναι επίσης γνωστό ως Draisine ή αλλιώς Draisienne , Velocipede και με το ψευδώνυμο Hobby/Dandy Horse “αλογάκι για χόμπι”. Εμφανίστηκε και κατοχυρώθηκε πρώτη φορά στη Γαλλία το 1818 όμως δεν είχε μεγάλη απήχηση καθώς χρειαζόταν πολύ καλά στρωμένο δρόμο.



Εικόνα 2-1 Η μηχανή «περπατήματος». Το Velocipede.

Ενώ και οι δυο προηγούμενες εκδοχές του ποδηλάτου μοιράζονται παρόμοια στοιχεία με αυτό, ο τρόπος οδήγησής τους ήταν αρκετά ανορθόδοξος και δύσχρηστος.

Μεταγενέστερα, ο Σκωτσέζος Kirkpatrick MacMillan, σιδηρουργός στο επάγγελμα, επινόησε ένα σύστημα που θα έκανε τα μηχανήματα περπατήματος αποδοτικότερα. Με τους

μοχλούς που τοποθέτησε στο μπροστινό κομμάτι του ποδηλάτου, οι οποίοι ήταν συνδεδεμένοι με ράβδους στον πίσω τροχό, ο αναβάτης πια μπορούσε να σηκώσει τα πόδια του από το έδαφος. Με σκελετό φτιαγμένο από ξύλο και τροχούς με μεταλλικές ακτίνες ζύγιζε περίπου 26 κιλά. Τράβηξε σε μεγάλο βαθμό την προσοχή του κόσμου καθώς κατέρριπτε τελείως την ώθηση με το περπάτημα αλλά δεν διήρκησε πολύ η δόξα του διότι εμφανίστηκαν πολλές αντιγραφές του.

Επί πολλά χρόνια ιστορικοί λανθασμένα θεωρούσαν το “Boneshaker”, εφεύρεση των Pierre Michaux και Ernest Michaux, πατέρα και γιού, ως το πρώτο σύγχρονο ποδήλατο. Απλούστερο στον μηχανισμό και σχεδιασμό του από το προηγούμενο το ποδήλατο αυτό έφερε άξονα με πετάλι συνδεδεμένο απευθείας στον εμπρόσθιο τροχό. Η στιβαρή κατασκευή του από σίδηρο υπήρξε και ο λόγος για την ονομασία “Boneshaker”, σε ελεύθερη μετάφραση από τα αγγλικά “τρανταχτής κοκάλων”. Οι δύο εφευρέτες του δίκυκλου ίδρυσαν επίσης την πρώτη εταιρεία μαζικής παραγωγής ποδηλάτων με πετάλια ενώ μερικά χρόνια αργότερα άρχισαν να χρησιμοποιούν συμπαγές καουτσούκ πάνω στους τροχούς, το οποίο έθεσε τα θεμέλια για το σύγχρονο λάστιχο.



Εικόνα 2-2 Το Penny Farthing.

Στις αρχές του 1871 με την εξέλιξη της μεταλλουργίας όλο και περισσότερα ποδήλατα άρχισαν να χρησιμοποιούν σίδηρο στην κατασκευή του σκελετού, με αποτέλεσμα να έχουν πιο στιβαρή κατασκευή από τα αντίστοιχα ξύλου και να αλλάξει ο σχεδιασμός τους. Παράδειγμα τέτοιας ανακάλυψης είναι το Penny Farthing που εκτός από μεταλλικό σκελετό είχε και μια τεράστια μπροστινή και μια πολύ μικρή πίσω ρόδα. Το ψηλό ποδήλατο, ψευδώνυμο της εφεύρεσης των Βρετανών James Starley και William Hillman με τον μεγάλο εμπρόσθιο τροχό και τα πετάλια τοποθετημένα στον ίδιο άξονα μπορούσε να αναπτύξει ταχύτητα που έφτανε τα 25 χλμ/ώρα,

εκπληκτικό νούμερο για την τότε εποχή. Το μόνο μειονέκτημα που είχε προφανώς λόγω της μορφής του ήταν ότι ο αναβάτης καθόταν πολύ ψηλά, σχεδόν πάνω από την μεγάλη ρόδα, κάτι που τον άφηνε εκτεθειμένος στους κινδύνους του δρόμου. Σε συνδυασμό με την έλλειψη φρένων ήταν αδύνατο το ποδήλατο να σταματήσει ενώ αν μπλοκάρει ο μπροστινός τροχός το ποδήλατο ανατρέπεται προς τα εμπρός με αποτέλεσμα ο οδηγός να πέφτει στο πάτωμα με το κεφάλι. Το 1885 ήρθε το επόμενο στάδιο της εξέλιξης του ποδηλάτου από τον John Kemp Starley, ο οποίος αναγνώρισε την επικινδυνότητα του υψηλού ποδηλάτου και επανάφερε τον σχεδιασμό των προηγούμενων δίκυκλων δημιουργώντας πλέον το σχήμα διαμαντιού που είναι γνωστό σε όλους μας.

Με τον οδηγό να κάθεται πιο χαμηλά, από το ψηλό ποδήλατο, και μεταξύ δύο τροχών ίδιας διαμέτρου η νέα καινοτομία του εφευρέτη μετέτρεψε το ποδήλατο σε ένα άνετο και αξιόπιστο μέσο μεταφοράς που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί από όλους τους ανθρώπους με ασφάλεια. Λόγω και της πιο ασφαλούς θέσης οδήγησής του ονομάστηκε ποδήλατο ασφαλείας. Κάτι επίσης πρωτοπόρο για την εποχή του ήταν το σύστημα μετάδοσης κίνησης του το οποίο αποτελούνταν από γρανάζια και αλυσίδα και η μεταφορά της κίνησης από τα πετάλια γινόταν στον πίσω τροχό. Επιπλέον με την χρήση και της σαμπρέλας το ποδήλατο ασφαλείας έχει πάρει την τελική μορφή του και το ίδιο έχει μπει στην “χρυσή εποχή” του. Ως προβλεπό-



Εικόνα 2-3 Η τελική μορφή του ποδηλάτου. Το ποδήλατο ασφαλείας

μενο επακόλουθο είναι και η αυξανόμενη ζήτηση του ποδηλάτου από το κοινό και η δημιουργία πλήθους βιομηχανιών κατασκευής ποδηλάτων κάτι που μειώνει και την τιμή του δραματικά. Μια τέτοια επιτυχημένη βιομηχανία είναι η Raleigh η οποία κατάφερε να παράγει σε λίγα χρόνια κοντά 30000 ποδήλατα τον χρόνο.

Χαρακτηριστικό της ανάπτυξης του ποδηλάτου είναι η εμφάνιση πλήθους ποδηλατικών λεσχών σε όλων τον κόσμο και η συμπερίληψη του στους Ολυμπιακούς αγώνες της Αθήνας το 1896. Διάφοροι αγώνες πραγματοποιήθηκαν σε όλο τον κόσμο ενώ στο Παρίσι το 1903



Εικόνα 2-4 Β΄ Παγκόσμιος πόλεμος διμοιρία ποδηλατών.

έγινε ο πρώτος ποδηλατικός γύρος γνωστός σε όλους ως Tour de France για διαφημιστικούς σκοπούς της γαλλικής εφημερίδας L'auto. Όσο αυξήθηκε ο αριθμός των ποδηλατών τόσο

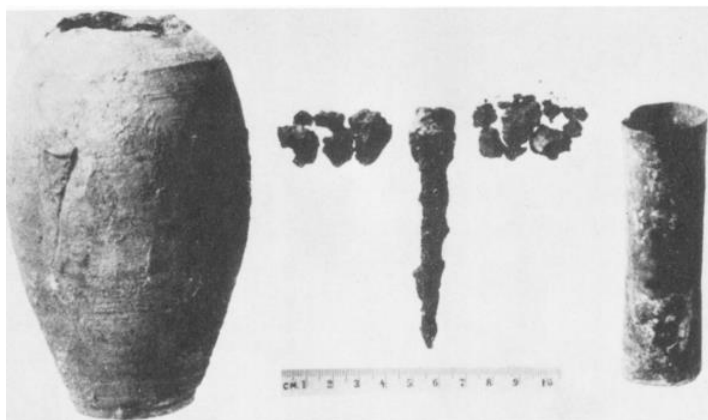
αυξήθηκαν και οι χρήσεις του για εμπορικούς σκοπούς αλλά και για στρατιωτικούς. Εκείνη την περίοδο ήταν πλέον γνωστές σε ολόκληρη την Ευρώπη και Αμερική οι δυνατότητες του ποδηλάτου οπότε ακόμα και στρατιωτικοί σχεδιαστές αποφάσισαν να εκμεταλλευτούν την ευελιξία του προσαρμόζοντας αρκετά στρατιωτικά εξαρτήματα. Εξαρτήματα όχι μόνο για την μεταφορά εξοπλισμού στο πεδίο μάχης αλλά και για την τεχνική υποστήριξη πριν η και κατά την διάρκεια ενός πολέμου. Παράδειγμα αποτελεί στην μάχη του Βιετνάμ ένα ποδήλατο τροποποιημένο σε υψηλό επίπεδο, χωρίς σέλα, για την μεταφορά εξοπλισμού στην περίφημη διαδρομή του Ho Chi Minh που ενώνει την Καμπότζη και το Λάος.

Από την άλλη πλευρά προσάρμοσαν τα ποδήλατα με φορητούς τοπογράφους, για την αναγνώριση του πεδίου μάχης, αλλά και τηλεγράφους. Υπήρξε περίπτωση όπου αναβάτης μετρούσε την κλίση λόφων και την κατάσταση του εδάφους με σκοπό την ασφαλή μεταφορά των κανονιών σε υψηλότερο έδαφος. Όταν ξέσπασε ο Α΄ Παγκόσμιος πόλεμος το 1914 πολλά έθνη είχαν έτοιμες μονάδες ποδηλατών, για να χρησιμοποιήσουν, αλλά με την πάροδο του καιρού οι συνθήκες του πεδίου μάχης γίνονται ακατάλληλες για την χρήση ποδηλάτου, εξαιτίας του υποχωρητικού εδάφους και της δημιουργίας χαρακωμάτων. Έτσι, όπως και το ιππικό, το ποδήλατο χρησιμοποιήθηκε πιο πολύ στις πίσω γραμμές. Ωστόσο στον δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο το ποδήλατο έπαιξε πιο άμεσο ρόλο καθώς Γερμανοί, Ιάπωνες και Βρετανοί το αξιοποίησαν ως τρόπο μεταφοράς των στρατευμάτων στο μέτωπο.

2.2 Ιστορική αναδρομή μπαταρίας

2.2.1 Η πρώτη “μπαταρία”

Χρόνια πριν την ανακάλυψη του ηλεκτρισμού υπάρχουν στοιχεία που δείχνουν ότι οι άνθρωποι είχαν ανακαλύψει ένα είδος αποθήκευσης ενέργειας. Συγκεκριμένα το 1938 κατά τις εκσκαφές στο Khujut Rabu, κοντά στην Βαγδάτη, βρέθηκαν πήλινα δοχεία που πιστεύεται πως είναι η «προϊστορική μπαταρία». Το πήλινο αυτό δοχείο γνωστό και ως μπαταρία της Βαγδάτης χρονολογείται περίπου στο 250 π.Χ. κατά την Παρθία περίοδο. Ο Γερμανός αρχαιολόγος Dr. Wilhelm König, που ασχολήθηκε με το αντικείμενο αυτό, ισχυρίστηκε πως αυτά τα

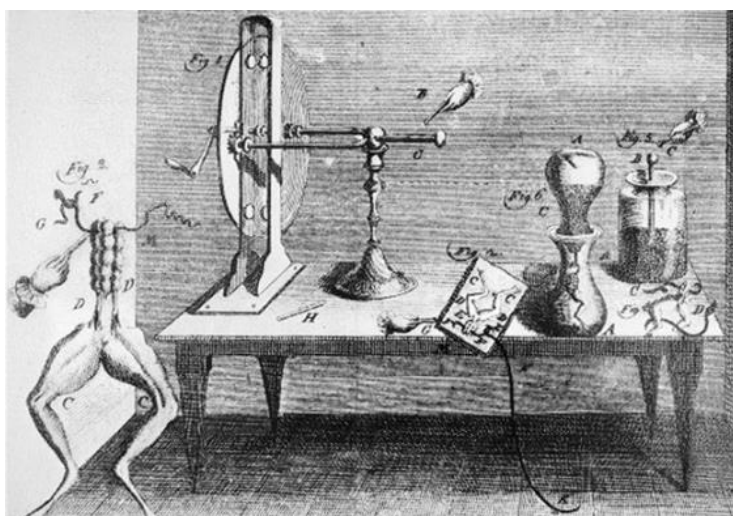


Εικόνα 2-5 Η πρώτη «μπαταρία». Ευρήματα από την αρχαιολογική ανασκαφή στο Khujut Rabu.

πήλινα δοχεία ήταν γαλβανικά κελιά. Οι μπαταρίες χρησιμοποιήθηκαν για την ηλεκτρολυτική επιμετάλλωσή χαλκού με ασήμι. Η μπαταρία της Βαγδάτης αποτελούταν από ένα πήλινο δοχείο, ύψους περίπου 15 cm, μέσα στο οποίο υπήρχε ένα χάλκινος κύλινδρος και στερεωμένο στο καπάκι μια σιδερένια ράβδος. Με την προσθήκη ενός ηλεκτρολύτη, έρευνες ανακάλυψαν την χρήση ξυδιού, κρασιού ή χυμό λεμονιού, η «μπαταρία» μπορούσε να παράγει μια τάση της τάξης του ενός με δυο Volt. Τα ευρήματα της Βαγδάτης είναι μοναδικά, καθώς δεν έχει βρεθεί κάτι παρόμοιο πουθενά στο κόσμο.

2.2.2 Ο “ζωικός” ηλεκτρισμός

Το 1745 ο Ολλανδός φυσικός και μαθηματικός Pieter van Musschenbroek και ο μαθητής του Andrea Cunaeus εργαζόμενοι στο Leyden, της Ολλανδίας, ήταν οι πρώτοι που αποθήκευσαν ηλεκτρική ενέργεια σε ένα μπουκάλι. Η κατασκευή αυτή ονομάστηκε δοχείο του Leyden. Πρόκειται απλά για ένα μεγάλο πυκνωτή, τον οποίον εξέλιξε αργότερα ο Άγγλος αστρονόμος John Bevis. Την ίδια περίοδο έγινε ακριβώς η ίδια ανακάλυψη από τον Ewald Jurgens Von Kleist στη Γερμανία. Το 1757 ο Γάλλος βοτανολόγος Michel Adanson δημιουργεί μια θεωρία, ότι το ρεύμα που διαχέει ένα συγκεκριμένο είδος γατόψαρου (σενεγαλέζικου), θα μπορούσε να συγκριθεί με την εκφόρτιση του δοχείου Leyden. Ο ίδιος ασχολήθηκε επίσης με τις αναγεννητικές ιδιότητες των βατράχων και διάφορων ειδών. Κάτι που μάλλον έθεσε βάσεις για την ανακάλυψη του Luigi Galvani. Παρότι από την αρχαιότητα οι ηλεκτρικές ιδιότητες διάφορων ψαριών, χελιών και σαλαχιών ήταν γνωστές, κανείς δεν είχε πειραματιστεί πάνω στα ζώα για την κατανόηση των ικανοτήτων αυτών. Ο Luigi Galvani έκανε μια τέτοια ανακάλυψη, αλλά τελείως τυχαία. Το 1791 ο Ιταλός γιατρός και φυσιολόγος του πανεπιστημίου της Μπολόνιας, εξέδωσε την έκθεσή του σχετικά με τον υποτιθέμενο «ζωικό ηλεκτρισμό». Κατέληξε ότι ο ιστός των ζώων περιέχει μια δύναμη που ενεργοποιούσε τα νεύρα και τούς μύες, όταν ακουμπούσαν μεταλλικά αντικείμενα. Ο ίδιος παρατήρησε ότι, μετά από πειράματα, όταν συνδεθεί ο μηριαίος μυς ενός βάτραχου με ένα τόξο χαλκού ψευδαργύρου στα δύο άκρα του προκαλείται μια σύσπαση των μυών. Απέδωσε αυτή την σύσπαση στην ύπαρξη αυτής της ζωικής δύναμης. Ο Alessandro Volta παρατήρησε ότι μεταξύ δυο ίδιων μετάλλων δεν

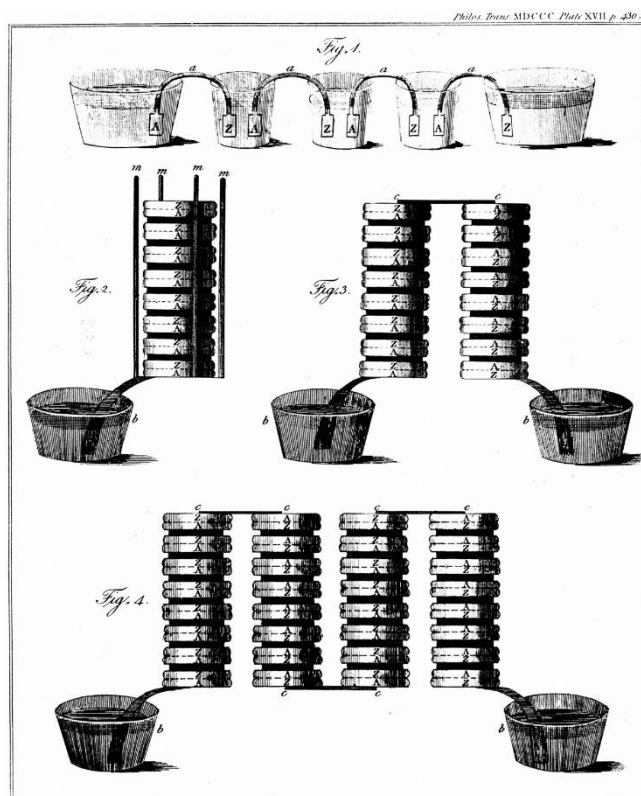


Εικόνα 2-6 Το εργαστήριο του Luigi Galvani.

σημειώνεται ο σπασμός. Αν και η θεωρία του Galvani αποδείχθηκε εσφαλμένη, αποτέλεσε σταθμό για την αρχή των σύγχρονων μελετών για την επίδραση των ερεθισμών στους ζωντανούς οργανισμούς.

2.2.3 Το απόγειο των ανακαλύψεων

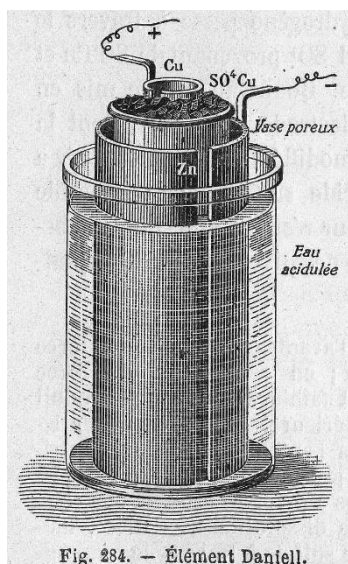
Ο Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta υπήρξε δεινός φυσικός και εφευρέτης της Βολταϊκής στήλης. Σε πολύ νεαρή ηλικία δημοσίευσε την πρώτη του ανακάλυψη, ένα είδος βελτιωμένου ηλεκτροσκοπίου την «Λουγδουνική λάγνη». Αυτό το επίτευγμα του χάρησε τον τίτλο του καθηγητή φυσικής και επίτιμο μέλος της βασιλικής εταιρείας του Λονδίνου. Η επόμενη ανακάλυψη του ήταν το ηλεκτροφόρο (1775), δυο μεταλλικές πλάκες η μια από εβονίτη και η άλλη με μονωτική λαβή αλληλοφορτιζόνταν θετικά και αρνητικά και είχαν την δυνατότητα να παράγουν στατικό ηλεκτρισμό, αυτή ήταν η πρώτη μορφή μπαταρίας. Ακολούθησαν πολλά πειράματα και εφευρέσεις, αλλά η αντιπαράθεση του με την θεωρία του Galvani τον οδήγησε στην ίσως στην πιο σημαντική ανακάλυψη του αιώνα, δηλαδή την πρώτη πηγή συνεχούς ρεύματος, την περίφημη βολταϊκή στήλη. Η βολταϊκή στήλη απαρτίζεται από εναλλασσόμενους δίσκους χαλκού και ψευδαργύρου, τοποθετημένους τον έναν πάνω στον άλλον, σχηματίζοντας έτσι μια στήλη διαχωριζόμενη από κομμάτια υφάσματος ή χαρτονιού εμποτισμένα με αλατόνερο. Η βολταϊκή στήλη παρήγαγε συνεχές και σταθερό ρεύμα, αλλά δεν μπορούσε να παράγει αρκετά ισχυρή τάση, ώστε να προκαλέσει σπινθήρες. Μετά από πειράματα με συνδυασμούς άλλων μετάλλων βρήκε ότι ο ψευδάργυρος και ο άργυρος έδωσαν τα καλύτερα αποτελέσματα. Επίσης με τα πειράματά του ανακάλυψε ότι η τάση της στήλης



Εικόνα 2-7 Η Βολταϊκή στήλη.

αυξάνονταν όταν τα ζεύγη μετάλλων στοιβαζόταν το ένα πάνω στο άλλο και περισσότερες από μια στήλες συνδέονταν σε σειρά, κατασκευάζοντας έτσι μια πρωτότυπη μπαταρία. Ο Volta πίστευε ότι το παραγόμενο ρεύμα από την βολταϊκή στήλη ήταν αποτέλεσμα της επαφής δύο διαφορετικών υλικών και όχι αποτέλεσμα χημικών αντιδράσεων. Ο Volta αργότερα παρουσίασε την ανακάλυψή του στον Ναπολέοντα στο Παρίσι και αυτός για να τον τιμήσει του απέδωσε τον τίτλο του κόμη της Λομβαρδίας.

Το 1802 ο χημικός William Cruickshank βελτίωσε τον σχεδιασμό της στήλης του Volta, αλλάζοντας τον προσανατολισμό των κελιών. Έτσι σχεδίασε την πρώτη μπαταρία μαζικής παραγωγής. Η τροποποίησή του βασίστηκε στην οριζόντια διάταξη των μεταλλικών πλακών, έτσι ώστε να αντιμετωπιστούν ορισμένα προβλήματα που παρουσιάστηκαν με την στήλη του Volta. Προβλήματα όπως η διαρροή ηλεκτρολύτη και βραχυκυκλώματα, λόγω του βάρους των πλακών εξαλείφθηκαν όταν ο Cruickshank τοποθέτησε σε ένα μακρύ ορθογώνιο κουτί, σφραγισμένο με τσιμέντο, τα φύλλα χαλκού και ψευδαργύρου. Εσοχές κρατούσαν τα φύλλα, ενώ το κουτί ήταν γεμάτο μέχρι πάνω με διάλυμα αλατόνευρου. Ο συγκεκριμένος συσσωρευτής είχε μεγαλύτερη αποδοτικότητα και διάρκεια.



Εικόνα 2-8 Κελί του Daniell.

Το επόμενο βήμα στην ανάπτυξη των μπαταριών ήταν το 1836 από τον Βρετανό χημικό και μετεωρολόγο John Frederic Daniell. Ο ίδιος έφτιαξε το κελί του Daniell, το οποίο μπορούσε να αποδώσει τάση 1.1V και χρησιμοποιήθηκε σε τηλεγραφικά συστήματα κατά τις αρχές του 1850. Πριν τον Daniell τα ηλεκτρικά πειράματα βασίζονταν αποκλειστικά στις βολταϊκές στήλες. Οι βολταϊκές στήλες, ενώ παρήγαγαν συνεχές ρεύμα έχαναν την ενέργειά τους πολύ γρήγορα. Ο Daniell έλυσε το πρόβλημα της ενέργειας των βολταϊκών κελιών, απαλείφοντας την δημιουργία υδρογόνου μέσα στα κελιά, έτσι το κελί του Daniell καταναλώνει πιο ομοιόμορφα ενέργεια. Το κελί του Daniell αποτελείται από γυάλινο δοχείο στον πυθμένα του οποίου βρισκόταν ένα κομμάτι χαλκού και ήταν γεμάτο με ένα διάλυμα θειικού χαλκού και θειικού ψευδαργύρου, καθώς το τελευταίο είναι αραιότερο διάλυμα από το πρώτο καθόταν στον πυθμένα.

Το 1859 ο Γάλλος φυσικός Gaston Plante ανακάλυψε την πρώτη επαναφορτιζόμενη μπαταρία, την μόλυβδου – οξέος. Για να την δείτε από κοντά αρκεί να ρίξετε μια ματιά κάτω από το καπό του αυτοκινήτου σας. Δούλευε στο Παρίσι ως βοηθός καθηγητή στο μάθημα της φυσικής. Ο ίδιος άρχισε να σχεδιάζει μια μπαταρία που θα μπορούσε να αποθηκεύει μεγάλες ποσότητες ενέργειας. Το κελί του Daniell, ενώ αποτελούσε την καλύτερη μπαταρία της εποχής, παρήγαγε πολύ χαμηλή τάση, περίπου στα 1.1V. Ο Plante κατάφερε και έφτιαξε την πρώτη δευτερεύουσα μπαταρία αποτελούμενη από δυο ηλεκτρόδια, την άνοδο από μόλυβδο και την κάθοδο από διοξείδιο του μόλυβδου χωρισμένα από πλαστικές λωρίδες, ενώ ένας ηλεκτρολύτης από θειικό οξύ παρεμβάλλεται μεταξύ των πλακών. Το αποτέλεσμα της ανακάλυψης του Plante είναι μια μπαταρία με διπλάσια τάση από το κελί του Daniell, της τάξης των 2

V. Ο συνδυασμός περισσότερων κελιών είχαν ως φυσικό αποτέλεσμα την αύξηση αυτής της τάσης αυτής. Το 1860 ο Plante παρουσίασε στην Γαλλική ακαδημία μια μπαταρία αποτελούμενη από εννέα κελιά συνδεδεμένα σε σειρά. Η πιο γνωστή και σήμερα μπαταρία μόλυβδου – οξέος αποτελείται από έξι κελιά. Με την αλλαγή της φοράς των ηλεκτρονίων και προσθέτοντας μια εξωτερική πηγή, η μπαταρία μπορούσε να φορτιστεί. Επιπρόσθετα η μπαταρία ήταν ικανή να προσφέρει μεγάλα ρεύματα, αλλά δεν μπορούσε να το κάνει για μεγάλο χρονικό διάστημα, καθώς η κάθοδος διοξειδίου του μόλυβδου δεν έχει αρκετό ενεργό υλικό για την χημική αντίδραση.

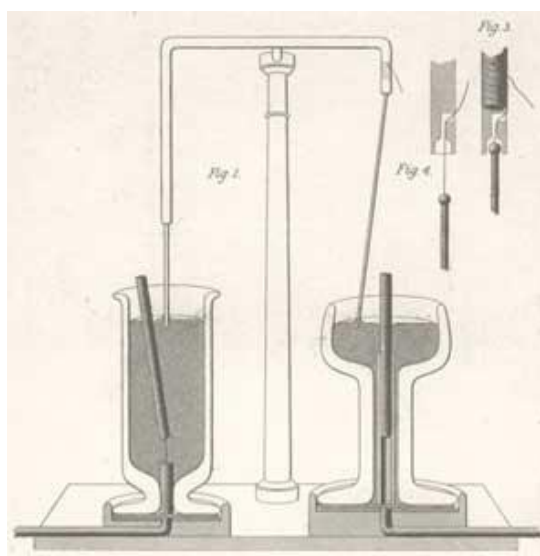
Το 1899 από τον σουηδό Waldemar Junger έρχεται η ανακάλυψη της μπαταρίας νικελίου – καδμίου, η οποία αποτελείται από την άνοδο νικελίου και κάθοδο καδμίου. Λόγω όμως της ακριβής φύσης των υλικών δεν αναπτύχθηκε περαιτέρω στην προκειμένη περίοδο.

Στο τέλος του 19^{ου} αιώνα η αλλαγή από υγρό σε στερεό ηλεκτρολύτη ήταν σημαντικότερη, καθώς υφίστανται πλέον η χρήση των μπαταριών σε φορητές συσκευές.

2.3 Ιστορική αναδρομή ηλεκτροκινητήρων

Όπως είναι φυσικό πριν καταλήξουμε στον βασικό σχεδιασμό των σύγχρονων ηλεκτροκινητήρων υπήρξαν πολυάριθμοι επιστήμονες από πειραματίστηκαν με τον ηλεκτρομαγνητισμό, με μόνιμους μαγνήτες και με διάφορους συνδυασμούς πηνίων(τυλιγμάτων). Όλα ξεκίνησαν με την επινοήση του πυκνωτή(μπαταρίας) από τον Alessandro Volta το 1800, την παραγωγή μαγνητικού πεδίου από ηλεκτρικό ρεύμα από τον Hans Christian Oersted το 1820 και του ηλεκτρομαγνήτη-πηνίου από τον William Sturgeon το 1825. Με αυτές τις γνώσεις τέθηκαν τα θεμέλια για την κατασκευή ηλεκτροκινητήρων. Παρακάτω θα αναφερθούν μερικές από τις εφευρέσεις-σταθμούς για την εξέλιξη του ηλεκτροκινητήρα.

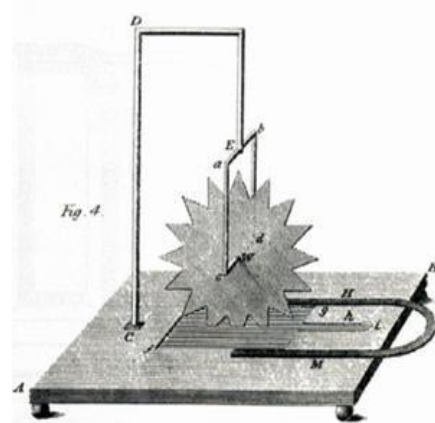
1. Η συσκευή που έθεσε την βάση του ηλεκτροκινητήρα κατασκευάστηκε από τον Γάλλο φυσικό André-Marie Ampère το 1821 και σκοπός του ήταν η επίδειξη του ηλεκτρομαγνητικού φαινομένου το οποίο ανακάλυψε ο ίδιος. Ο ηλεκτροκινητήρας αποτελείται από δύο μέρη: στο δεξί μέρος υπάρχει ένα μεταλλικό σύρμα κρεμασμένο πάνω από ένα δοχείο με υδράργυρο και ένας μόνιμος μαγνήτης που προεξέχει ενώ στο αριστερό μέρος ο μόνιμος μαγνήτης είναι δεμένος με σύρμα στον πάτο του δοχείου και είναι ελεύθερος να κινηθεί, ενώ το μεταλλικό σύρμα είναι πακτωμένο. Όταν δινόταν ρεύμα στο σύστημα, το οποίο ήταν κλειστό χάρη στον υδράργυρο, αυτό παρήγαγε μαγνητικό πεδίο. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα



Εικόνα 2-9 Ο πρώτος ηλεκτροκινητήρας Michael Faraday, 1821

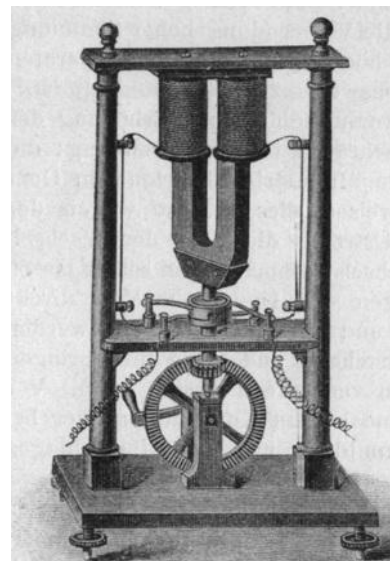
σε συνδυασμό με το ήδη υπάρχον μαγνητικό πεδίο των μόνιμων μαγνητών, την περιστροφή του μαγνήτη στο αριστερό μέρος και του σύρματος στο δεξί.

2. Ο πρώτος ηλεκτροκινητήρας ήταν η ρόδα του Barlow, γνωστή και ως ρόδα του Faraday η οποία κατασκευαστική το 1822 από τον Άγγλο μαθηματικό Peter Barlow. Η συσκευή αποτελείται από μία χάλκινη ρόδα με ακτίνες και την στήριξή της, μια ξύλινη βάση με ένα κοίλωμα το οποίο γεμίζει με υδράργυρο και μόνιμο μαγνήτη. Η λειτουργία της έχει ως εξής: όταν γεμίζει με υδράργυρο το κοίλωμα, που υπάρχει στην βάση, έρχεται σε επαφή μία ακτίνα της ρόδας με αυτόν και τότε κλείνει το κύκλωμα. Η ρόδα που διαρρέεται με ρεύμα, περιστρέφεται, επειδή βρίσκεται ανάμεσα σε ένα πυκνό μαγνητικό πεδίο που παράγει ο μόνιμος μαγνήτης. Αλλάζοντας την κατεύθυνση του ρεύματος η ρόδα περιστρέφεται προς την αντίθετη κατεύθυνση οπτικοποιώντας τον κανόνα του δεξιού χεριού του Fleming. Η ταχύτητα περιστροφής επηρεάζεται από την πυκνότητα της μαγνητικής ροής και την ένταση του ρεύματος.



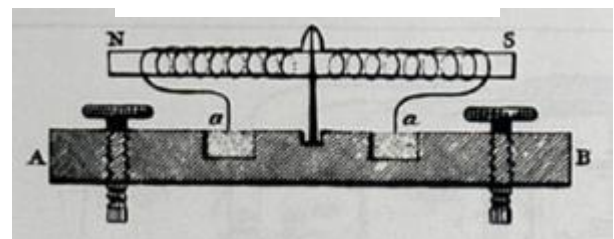
Εικόνα 2-10 Ρόδα του Barlow, 1822

3. Ο Άγγλος Hippolyte Pixii το 1832 κατασκευάζει την πρώτη γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος. Για την υλοποίησή της χρησιμοποίησε ένα μόνιμο μαγνήτη που περιστρεφόταν χειροκίνητα, δηλαδή έναν συλλέκτη για την εναλλαγή του ρεύματος. Ο συλλέκτης αποτελούνταν από δύο ξεχωριστά δαχτυλίδια που συνέδεαν τους πόλους της γεννήτριας μέσω των πηνίων. Αργότερα, το ίδιο έτος, ο Γερμανός Heinrich Friedrich Emil Lenz χρησιμοποιώντας την γεννήτρια Pixii ως ηλεκτρικό μοτέρ απέδειξε την συνεπαγωγή των μαγνητοηλεκτρικών και ηλεκτρομαγνητικών φαινομένων.



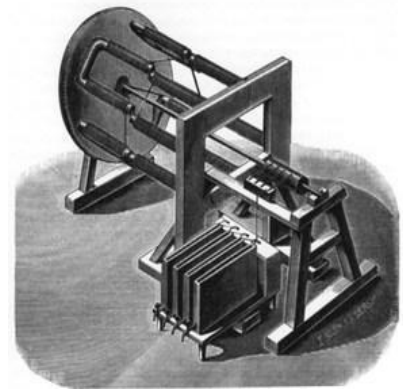
Εικόνα 2-11 Η πρώτη γεννήτρια Pixii, 1832

4. Ο Άγγλος William Ritchie το 1833 επινοεί το πρώτο ηλεκτρομαγνητικό μοτέρ με την χρήση του συλλέκτη (commutator). Αυτό το πέτυχε με την χρήση δύο συρμάτων που περιστρέφονταν το κάθε ένα εναλλάξ σε δύο κοιλότητες ψευδαργύρου.



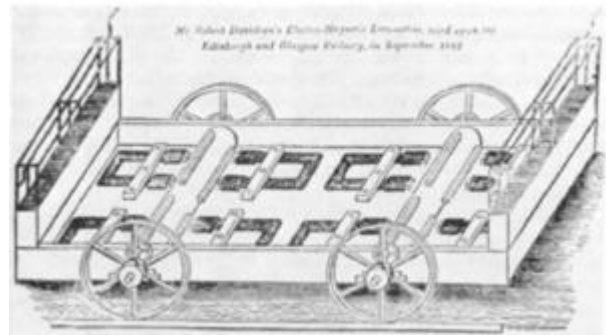
Εικόνα 2-12 Το περιστρεφόμενο σύρμα Ritchie, 1833

5. Το 1834 ο γερμανικής καταγωγής Moritz Hermann Jacobi κατασκεύασε τον πρώτο αξιοποιήσιμο ηλεκτροκινητήρα. Ήταν ικανός να ανυψώσει βάρος περίπου 5 κιλών με ταχύτητα 0.3 μέτρα ανά δευτερόλεπτο, δηλαδή παράγαγε μηχανική ισχύ 15 Watt.



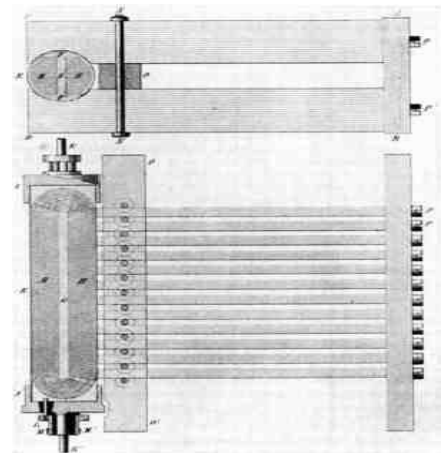
Εικόνα 2-13 Ο πρώτος πραγματικός ηλεκτροκινητήρας.

6. Ο Σκωτσέζος Robert Davidson ασχολούνταν με την κατασκευή ηλεκτροκινητήρων από το 1837. Μετά από δύο χρόνια κατάφερε να κατασκευάσει το πρώτο ηλεκτροκίνητο αυτοκίνητο. Δύο χρόνια αργότερα τον Σεπτέμβριο του 1842 δοκίμασε την εφεύρεση του σε μία ατμάμαξα μήκους 4.8 μέτρων και βάρους 5 τόνων. Το αποτέλεσμα ήταν η παραγωγή ενός ίππου (740 Watt) και τελική ταχύτητα 6.4 χιλιόμετρα ανά ώρα. Τα επόμενα χρόνια σχεδιάστηκαν πολυάριθμες πατέντες ανά τον κόσμο. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα των ηλεκτροκινητήρων εκείνη την εποχή ήταν οι πολύ δαπανηρές μπαταρίες ψευδαργύρου. Ο R. Hunt δήλωσε στο αγγλικό περιοδικό British Philosophical Magazine το 1850 πως ακόμα και υπό τις καλύτερες συνθήκες οι ηλεκτροκινητήρες είναι 25 φορές πιο ακριβοί από μία ατμομηχανή. Παρόλα αυτά η δραστηριοποίηση γύρω από τις ηλεκτρικές μηχανές προχώρησε ακάθεκτη.



Εικόνα 2-14 Το πρώτο ηλεκτρικό βαγόνι, 1839.

7. Το 1856 ο Γερμανός Werner Siemens ήταν ο πρώτος μηχανικός που τοποθέτησε τα τυλίγματα σε θέσεις (slots), αλλάζοντας την μέχρι τότε κατασκευή ηλεκτροκινητήρων και δημιούργησε την πρώτη γεννήτρια σπλισμού διπλού-T. Ο Siemens κατασκεύασε 50 από αυτές τις γεννήτριες οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν ως τηλεγράφοι από την Bavarian railways.



Εικόνα 2-15 Σπλισμός διπλού T Siemens, 1856.

8. Το 1861 με 1864 ο Σκωτσέζος James Clerk Maxwell συνοψίζει όλη την μέχρι τότε γνώση του ηλεκτρομαγνητισμού σε 20 βασικές εξισώσεις. Έτσι θέσπισε την βάση για την μαθηματική διατύπωση των ηλεκτρομαγνητικών φαινομένων. Γύρω στο 1882 ο Βρετανός Oliver Heaviside μείωσε 12 από αυτές τις εξισώσεις σε 4 με 4 μεταβλητές. Αυτές οι εξισώσεις χρησιμοποιούνται ακόμα και σήμερα περιγράφοντας πλήρως την θεωρία της ηλεκτρολογίας.

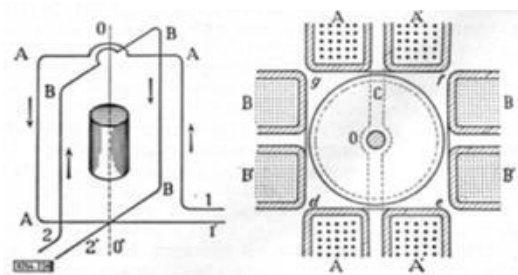
9. Το 1866 ο Siemens αναπτύσσει το δυναμό βασισμένος στον σπλισμό διπλού-T, οδηγώντας τελικά σε ισχυρές ηλεκτρικές γεννήτριες και την δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος.

10. Στην περίοδο 1872-1875 ο συνεργάτης του Siemens Helner-Alteneck ασχολείται με την κατασκευή του Anchor Drum Motor. Προσπαθώντας να εξαλείψει το παλλόμενο ηλεκτρικό ρεύμα που παράγει η γεννήτρια διπλού-T, χρησιμοποιεί τυλίγματα γύρω από μια κυλινδρική άγκυρα.



Εικόνα 2-16 Σπλισμός άγκυρας Siemens, 1872.

11. Το 1885 ο Ιταλός καθηγητής Ferraris επιτυγχάνει την κατασκευή του πρώτου επαγωγικού ηλεκτροκινητήρα δύο φάσεων. Παρόλα αυτά ο Ferraris δεν συνέχισε την βελτίωση της κατασκευής του πιστεύοντας πως ο επαγωγικός ηλεκτροκινητήρας δύο φάσεων δεν θα μπορέσει να έχει βαθμό απόδοσης μεγαλύτερο του 50%.



Εικόνα 2-17 Σχέδιο του πρώτου επαγωγικού ηλεκτροκινητήρα του Ferraris, 1885.

12. Παράλληλα με τον Ferraris ο Κροάτης Nikola Tesla μελετά την ιδέα των πολλαπλών φάσεων ηλεκτρικών συστημάτων το 1882 έως 1889. Μετά από πέντε χρόνια έρευνας δημοσιεύει την πρώτη του πατέντα για ένα σύστημα εναλλασσόμενου ρεύματος με τέσσερις ηλεκτρικές γραμμές, που αποτελούνται από μία γεννήτρια, ένα σύστημα μετάδοσης και ένα ηλεκτροκινητήρα πολλαπλών φάσεων. Το 1888 η Westinghouse προσλαμβάνει τον Tesla για την κατασκευή ενός αξιόπιστου επαγωγικού ηλεκτροκινητήρα. Δυστυχώς ο Tesla συνέχισε την έρευνα του στους ηλεκτροκινητήρες δύο φάσεων.

13. Το 1889 με 1891 ο Ρώσος Michae IDolivo-Dobrowolsky, αρχιμηχανικός της εταιρείας AEG στο Βερολίνο, βασιζόμενος στις αρχές λειτουργίας των ηλεκτροκινητήρων των Ferraris και Tesla σχεδιάζει το επαγωγικό ηλεκτροκινητήρα τριών φάσεων, που χρησιμοποιούμε ακόμα και σήμερα. Το 1889 κατασκευάζει τον πρώτο ηλεκτροκινητήρα που είναι λειτουργικός. Αργότερα θα ανακαλύψει τον επαγωγικό τριφασικό ηλεκτροκινητήρα με δακτυλιοφόρο δρομέα αρχικών αντιστάσεων, οδηγώντας σε μεγαλύτερη αρχική ροπή στους επαγωγικούς ηλεκτροκινητήρες.

2.4 Νομοθεσία Ηλεκτρικών Ποδηλάτων

Η κατασκευή ενός ηλεκτρικά υποβοηθούμενου ποδηλάτου σημαίνει ότι αυτό έπρεπε να πληροί, καθώς και να συμμορφώνεται με την ισχύουσα νομοθεσία.

Αρχικά, όσον αφορά την ελληνική νομοθεσία, αυτή ορίζει το ποδήλατο ως «Το όχημα δύο τουλάχιστον τροχών το οποίο κινείται με τη μυϊκή δύναμη εκείνων που Επιβαίνουν». Το οποίο «Μπορεί να υποβοηθείται με βοηθητικό ηλεκτροκινητήρα μέγιστης συνεχούς ονομαστικής ισχύος 250W η ισχύς του οποίου μειώνεται σταδιακά και τελικά μηδενίζεται όταν η ταχύτητα του οχήματος φθάσει τα 25 χλμ./ώρα ή και νωρίτερα, εάν σταματήσει η ποδηλάτηση» ΚΟΚ (ΦΕΚ 57Α'/23.3.1999). Και αυτά για τον λόγο ότι για το συγκεκριμένο τύπο ποδηλάτου, ο οποίος θα αναλυθεί περαιτέρω στην ευρωπαϊκή νομοθεσία, δεν απαιτείται δίπλωμα οδήγησης (ΟΔΗΓΙΑ 2002/24/ΕΚ και ΟΔΗΓΙΑ 2013/168/ΕΚ).

Συνεχίζοντας με την ευρωπαϊκή τώρα νομοθεσία, η οποία με τον ίδιο τρόπο ορίζει το ηλεκτρικά υποβοηθούμενο ποδήλατο, και το κατατάσσει στην κατηγορία L1e (Κανονισμός (ΕΕ) αριθ. 168/2013). Αυτό σημαίνει ότι, εφόσον τηρούνται οι ελληνικοί όροι, και τα εξαρτήματα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν πληρούν επίσης τις ευρωπαϊκές νόρμες, το τελικό προϊόν (pedelec) συμμορφώνεται και με τους ευρωπαϊκούς κανονισμούς. Ενδεικτικά στην εικόνα 2-18 παρουσιάζονται οι διαφορετικές κατηγορίες των ηλεκτρικά υποβοηθούμενων ποδηλάτων. Το πρώτο από δεξιά χαρακτηρίζεται ως ποδήλατο και ανήκει στην ίδια κατηγορία με το ποδήλατο της πτυχιακής. Στη συνέχεια, το δεύτερο κατηγοριοποιείται ως μοτοποδήλατο χαμηλών επιδόσεων και απαιτεί τη χρήση κράνους, καθώς υπάρχει κατώτερο όριο στην ηλικία του αναβάτη. Και τέλος η τρίτη κατηγορία του είναι αυτή μοτοποδηλάτου, ηλεκτρικού βέβαια, η οποία απαιτεί δίπλωμα οδήγησης, και το τελικό προϊόν απαιτείται να πληροί και άλλες προδιαγραφές, πέραν αυτών των προηγούμενων κατηγοριών. (Eu Standards EN 15194)



Εικόνα 2-18 Διάφορες κατηγορίες ηλεκτρικών ποδηλάτων.

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι για να μπορέσει ένα τέτοιο προϊόν να κυκλοφορήσει και να πωληθεί στην ευρωπαϊκή αγορά, κατ' επέκταση και στην ελληνική, πρέπει να συνοδεύεται από ένα εγχειρίδιο χρήσης, συγκεκριμένου τύπου, καθώς και να αναγράφονται συγκεκριμένα στοιχεία του κατασκευαστή και όχι μόνο, σε προκαθορισμένα σημεία του σκελετού του ποδηλάτου. Εκτενής αναφορά αυτών, καθώς και οι νομοθεσίες αυτούσιες, παρατίθενται στο τέλος της πτυχιακής σε σχετικό παράρτημα.

3. Τεχνολογία Ηλεκτρικού Ποδηλάτου

3.1 Σύστημα Κίνησης - Ηλεκτροκινητήρες

3.1.1 Εισαγωγή

Ο ηλεκτροκινητήρας (electric motor) είναι μία ηλεκτρική μηχανή η οποία μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική. Οι περισσότεροι ηλεκτροκινητήρες λειτουργούν μέσω της αλληλεπίδρασης του μαγνητικού πεδίου του δρομέα-ρότορα (rotor) και του ρεύματος των τυλιγμάτων του στάτη (stator) για να παράξουν ροπή. Ο ηλεκτροκινητήρας μπορεί να λειτουργήσει και αντίστροφα μετατρέποντας την ενέργεια από μηχανική σε ηλεκτρική, οπότε ονομάζεται γεννήτρια.

Η πηγή ηλεκτρικής ενέργειας των ηλεκτροκινητήρων μπορεί να είναι συνεχής (DC), μέσω μιας μπαταρίας ή ανορθωτή, ή εναλλασσόμενη (AC) μέσω του ρεύματος δικτύου, αντιστροφέα (inverter) ή γεννήτριας. Επιπλέον έχουν γίνει πολλές διαφοροποιήσεις σε θέματα εσωτερικής κατασκευής, μεγέθους καθότι και μεθόδων παραγωγής της περιστροφής.

Στην σύγχρονη εποχή υπάρχει μεγάλο εύρος εφαρμογών για τους πλέον πολυάριθμους ηλεκτροκινητήρες. Τους συναντάμε σε πτερύγια ψύξης, ανεμιστήρες, ηλεκτρικές σκούπες, ψυγεία, συστήματα κλιματισμού, σε διάφορα εργαλεία, άλλα και σε εφαρμογές μεγαλύτερων απαιτήσεων σε ισχύ όπως άντληση υδάτων ή ηλεκτροκίνητα οχήματα. Βεβαίως οι γεννήτριες είναι πλέον απαραίτητες για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που τροφοδοτεί την σύγχρονη τεχνολογία. Ο λόγος της καθημερινής μας επαφής με τους ηλεκτροκινητήρες είναι η χρήση τους χωρίς εκπομπή ρύπων, αλλά και ο υψηλός βαθμός απόδοσής τους. Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται μακριά από κατοικημένες περιοχές και μεταφέρεται σε σπίτια, επιχειρήσεις, εργοστάσια όπου μετατρέπεται σε έργο χωρίς ρύπους και με χαμηλό κόστος.

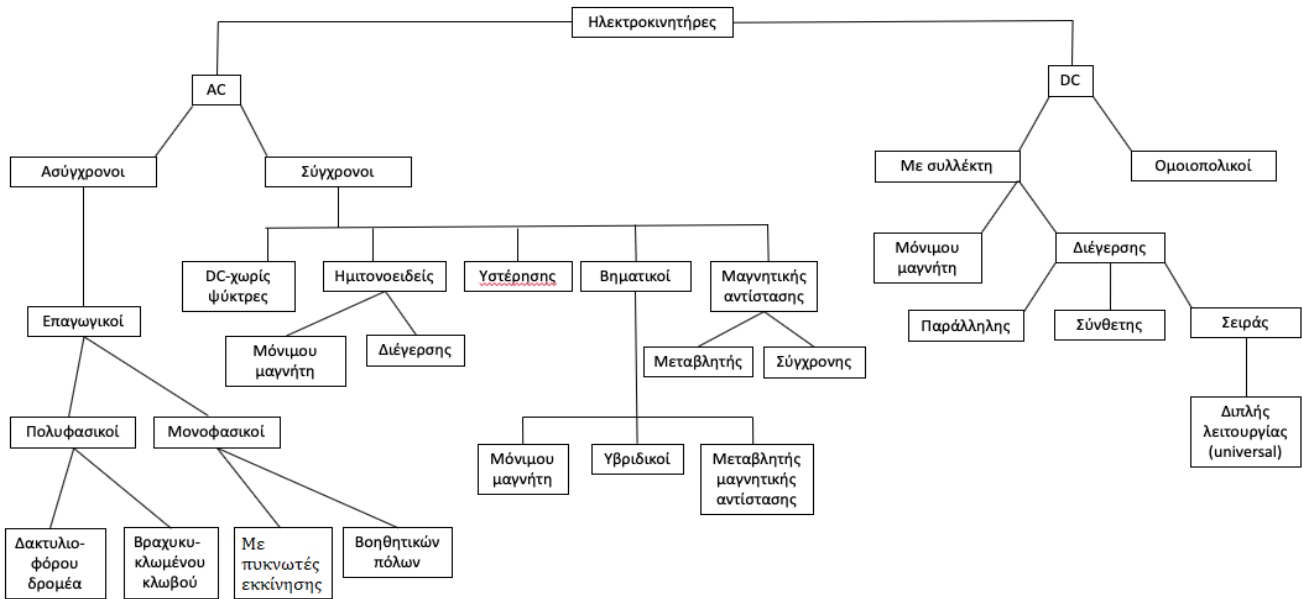
3.1.2 Είδη ηλεκτροκινητήρων

Στην σύγχρονη εποχή υπάρχουν πολυάριθμοι ηλεκτροκινητήρες ανάλογα με την εφαρμογή που χρησιμοποιούνται. Η μελέτη και εξέλιξή τους συνεχίζει με αυξανόμενους ρυθμούς, καθώς αποτελούν το κινητήριο γράναζι για αμέτρητες εφαρμογές. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η κατηγοριοποίηση των ηλεκτροκινητήρων. Βασικός διαχωρισμός είναι το είδος του ηλεκτρικού ρεύματος που τους τροφοδοτεί, το οποίο μπορεί να είναι συνεχές ή εναλλασσόμενο.

Η αμέσως επόμενη διάκριση γίνεται στους σύγχρονους και ασύγχρονους ή επαγωγικούς ηλεκτροκινητήρες. Η ειδοποιός διαφορά ανάμεσά τους είναι ότι οι επαγωγικοί κινητήρες δεν είναι απαραίτητο να τροφοδοτούνται με συνεχές ρεύμα για να κινηθούν, καθώς και η διαφορετική κατασκευή του δρομέα τους.

Οι σύγχρονοι ηλεκτροκινητήρες είναι ηλεκτρονικά οδηγούμενοι μέσω ολοκληρωμένων κυκλωμάτων που μετατρέπουν το συνεχές ρεύμα της πηγής του σε εναλλασσόμενο ρεύμα διαφορετικής φάσης ανάλογα την κατηγορία τους, ώστε να επιτύχουν πλήθος διαφορετικών ενεργειών.

Παρακάτω απεικονίζεται η κατηγοριοποίηση των ηλεκτροκινητήρων στα επιμέρους είδη.



Εικόνα 3-1 Διάγραμμα κατηγοριών ηλεκτροκινητήρων.

3.1.3 Κατηγορίες ηλεκτροκινητήρων

3.1.3.1 Ηλεκτροκινητήρες συνεχούς ρεύματος. (DC motor)

Οι ηλεκτροκινητήρες συνεχούς ρεύματος μοιάζουν με τους ηλεκτροκινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος, καθώς και στις δύο κατηγορίες τα ρεύματα και οι τάσεις στο εσωτερικό τους είναι εναλλασσόμενα. Για τους ηλεκτροκινητήρες συνεχούς ρεύματος, όμως, αυτό επιτυγχάνεται με έναν συγκεκριμένο μηχανισμό μεταγωγής, μέσω της χρήσης συλλέκτη. Γι' αυτό οι ηλεκτροκινητήρες συνεχούς ρεύματος ονομάζονται ηλεκτροκινητήρες με ψήκτρες. Οι ηλεκτροκινητήρες συνεχούς ρεύματος ανάλογα με την μέθοδο δημιουργίας του κύριου μαγνητικού τους πεδίου χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

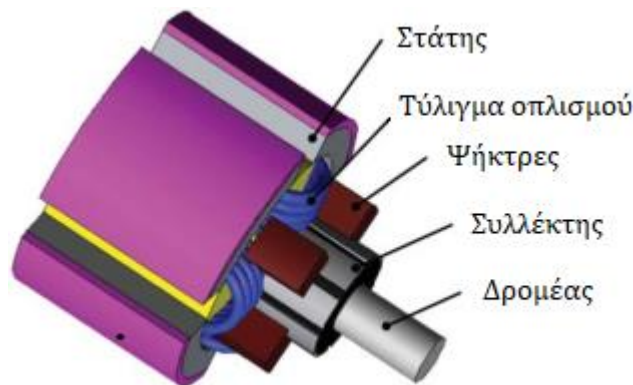
-Ηλεκτροκινητήρες με μόνιμους μαγνήτες, όπου το κύριο μαγνητικό πεδίο δημιουργείται από μόνιμους μαγνήτες που βρίσκονται συνήθως σταθερά προσαρμοσμένοι στον σάττη της μηχανής. Με αυτή την μέθοδο επιτυγχάνεται μεγαλύτερη πυκνότητα ισχύος.

-Ηλεκτροκινητήρες με τύλιγμα πεδίου, όπου το πεδίο δημιουργείται από τύλιγμα ηλεκτρομαγνήτη. Αυτός ο ηλεκτροκινητήρας αποτελεί την συνηθέστερη πρακτική, καθώς μπορεί

να σχεδιαστεί ώστε να καλύψει μεγαλύτερο εύρος απαιτήσεων. Μεταβάλλοντας το ρεύμα που διέρχεται από τον ηλεκτρομαγνήτη-στάτη, μπορεί να μεταβληθεί η ταχύτητα ή ροπή του ηλεκτροκινητήρα. Ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο είναι συνδεδεμένο το τύλιγμα διέγερσης σε σχέση με αυτό του δρομέα διακρίνονται σε επιμέρους ομάδες:

- α) Ηλεκτροκινητήρες με παράλληλη διέγερση (Shunt)
- β) Ηλεκτροκινητήρες με σύνθετη διέγερση (Compound)
- γ) Ηλεκτροκινητήρες με διέγερση σειράς (Series)

Η παρακάτω εικόνα δείχνει τα βασικά μέρη ενός DC κινητήρα τα οποία αποτελούνται κυρίως από τον στάτη, το δρομέα, τον συλλέκτη και τις ψήκτρες. Ο στάτης παράγει το μαγνητικό πεδίο διέγερσης του δρομέα, ενώ το τύλιγμα σπλισμού περιστρέφει τον δρομέα εντός του μαγνητικού πεδίου χάριν του ρεύματος που το διαρρέει μέσω του συλλέκτη. Τέλος οι ψήκτρες συνδέουν τον συλλέκτη στην πηγή ενέργειας.



Εικόνα 3-2 Διάγραμμα DC κινητήρα.

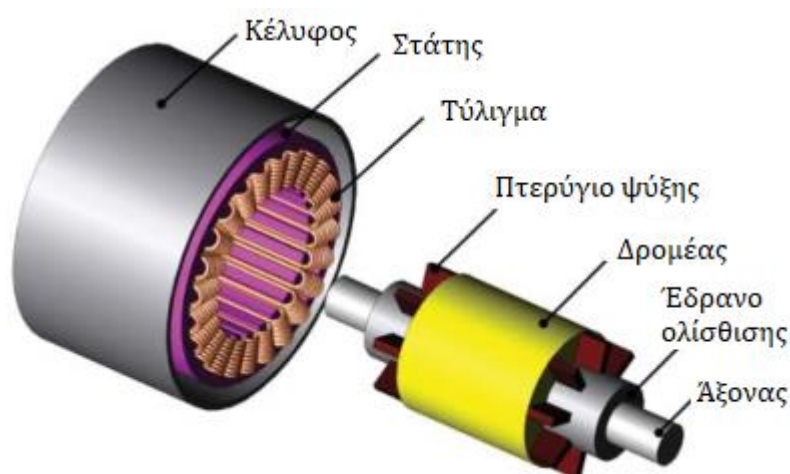
Αυτοί οι κινητήρες χρησιμοποιήθηκαν ευρέως σε εφαρμογές ηλεκτροκίνησης. Μεγάλα τους πλεονεκτήματα ήταν ο εύκολος έλεγχος και η μακροχρόνια χρήση τους. Παρόλα αυτά έχουν πλέον ξεπεραστεί από σύγχρονους ηλεκτροκινητήρες διότι παρουσιάζουν χαμηλό βαθμό απόδοσης, πυκνότητα ισχύος και οι ψήκτρες τους χρειάζονται συνεχή αντικατάσταση λόγω φθοράς.

3.1.3.2 Ασύγχρονοι ηλεκτροκινητήρες (Asynchronous)

Οι ασύγχρονοι τριφασικοί ηλεκτροκινητήρες είναι μηχανές που μετατρέπουν την εναλλασσόμενη ηλεκτρική ενέργεια του τριφασικού δικτύου σε μηχανική. Ονομάζονται ασύγχρονοι επειδή το ρεύμα διέγερσης του δρομέα δημιουργείται επαγωγικά και όχι με άμεση ηλεκτρική σύνδεση με την πηγή. Το τύλιγμα σπλισμού του στάτη του κινητήρα, τροφοδοτείται με τριφασικό ρεύμα και αναπτύσσεται στο εσωτερικό του ηλεκτροκινητήρα περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο, που επιδρά στον δρομέα και παράγει ροπή περιστροφής. Η απλότητα της κατασκευής και λειτουργίας τους, καθώς και η έλλειψη τριβόμενων μελών κάνει αυτούς τους ηλεκτροκινητήρες αξιόπιστους με μεγάλη διάρκεια ζωής και χαμηλό κόστος συντήρησης.

Σήμερα αποτελούν το 90% των ηλεκτροκινητήρων που χρησιμοποιούμε για εφαρμογές άνω των 750 Watt. Οι ασύγχρονοι ηλεκτροκινητήρες διακρίνονται σε μονοφασικούς και τριφασικούς, με τους τριφασικούς να αποτελούν την πλειονότητα στις σύγχρονες εφαρμογές. Οι τριφασικοί ηλεκτροκινητήρες διακρίνονται σε δύο τύπους, βραχυκυκλωμένου δρομέα (Squirrel cage) και δακτυλιοφόρου δρομέα (Wound rotor). Σε εφαρμογές ηλεκτροκίνησης χρησιμοποιούνται αποκλειστικά οι κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα επειδή οι κινητήρες δακτυλιοφόρου δρομέα έχουν υψηλό κόστος, ανάγκη συντήρησης και έλλειψη ανθεκτικότητας.

Ο βραχυκυκλωμένος δρομέας αποτελείται από μία σειρά αγώγιμων ράβδων, τα άκρα των οποίων βραχυκυκλώνονται από δύο δαχτυλίδια βραχυκύκλωσης τα οποία μπορεί να είναι συνδεδεμένα με πτερύγια για την καλύτερη ψύξη του. Ο δρομέας δεν συνδέεται ηλεκτρικά με άλλο τμήμα του κινητήρα άλλο τμήμα του κινητήρα και το ρεύμα που κυκλοφορεί σε αυτόν είναι από επαγωγή λόγω του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου.



Εικόνα 3-3 Διάγραμμα κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα.

3.1.3.3 Σύγχρονοι ηλεκτροκινητήρες (Synchronous motors)

Οι ανάγκες της σύγχρονης τεχνολογίας για λιγότερο ενεργοβόρες καθώς και πιο περίπλοκες εφαρμογές οδηγούν στην έρευνα και σχεδιασμό σύγχρονων ηλεκτροκινητήρων. Μεγαλύτερο πλεονέκτημα τους είναι ο καλύτερος βαθμός απόδοσης που οδηγεί και στην μείωση του μεγέθους τους, ο καλύτερος έλεγχος της ταχύτητας περιστροφής τους και ο πολύ χαμηλός θόρυβος ανώτερων αρμονικών συχνοτήτων (RF), άλλα και φυσικού θορύβου (dB). Ο δρομέας τους είναι κατασκευασμένος από μόνιμο μαγνήτη ή από σιδηρομαγνητικό υλικό και ο στάτης αποτελείται από συγκεκριμένο αριθμό τυλιγμάτων διέγερσης. Η εξωτερική μονάδα ελέγχου ή ελεγκτής του ηλεκτροκινητήρα εναλλάσσει το ρεύμα που διαρρέει τα τυλίγματα του στάτη. Με αυτόν τον τρόπο εναλλάσσει το μαγνητικό πεδίο του στάτη αναγκάζοντας τον δρομέα να περιστραφεί στην νέα θέση ισορροπίας του.

Παρακάτω αναλύονται τα είδη των σύγχρονων κινητήρων που βρίσκουν εφαρμογή στην ηλεκτροκίνηση:

- Μόνιμου μαγνήτη χωρίς ψήκτες (brushless permanent magnet)

Αυτός ο κινητήρας λειτουργεί ως AC καθώς τροφοδοτείται από εναλλασσόμενο ρεύμα που παράγει ο αντιστροφέας (inverter). Το προφανές πλεονέκτημά τους είναι η αφαίρεση των ψηκτών μειώνοντας έτσι το κόστος συντήρησης, τον θόρυβο ανώτερων αρμονικών συχνοτήτων (Radio Frequency-RF) και τους σπινθηρισμούς. Καθώς δεν υπάρχουν οι ψήκτες αυτό αφήνει περισσότερο χώρο για τα τυλίγματα του στάτη με αποτέλεσμα ο κινητήρας να ψύχεται καλύτερα. Αυτό με την σειρά του επιτρέπει χρήση μεγαλύτερων ρευμάτων και οδηγεί στην μεγαλύτερη πυκνότητα ισχύος του κινητήρα (Watt/kg). Αυτοί οι κινητήρες έχουν τον μεγαλύτερο βαθμός απόδοσης, καθώς χρησιμοποιούν για διέγερση τους μόνιμους μαγνήτες μη καταναλώνοντας καθόλου ενέργεια. Επίσης η χρήση μαγνητών από σπάνιες γαίες έχει επιτύχει υψηλή μαγνητική ροή και ως αποτέλεσμα αυτού υψηλή ροπή, δίνοντας την δυνατότητα για ακόμα μικρότερους και ελαφρύτερους κινητήρες. Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος χωρίς ψήκτες διατίθενται μόνο σε μικρά μεγέθη, μέχρι 20kW και πέραν της μεγαλύτερης τιμής τους έχουν πολλαπλάσια πλεονεκτήματα. Τους συναντάμε σε εφαρμογές στην ηλεκτροκίνηση, ιατρική, αεροναυπηγική, ρομποτική και σε πολλούς αυτοματισμούς. Στον αντίποδα αυτοί οι μαγνήτες έχουν μεγάλο κόστος και υπάρχει το ενδεχόμενο να απομαγνητιστούν κάτω από μεγάλες θερμοκρασίες. Επίσης υπάρχει ένα τεράστιο ρίσκο σε περίπτωση βλάβης του αντιστροφέα (inverter) επειδή ο περιστρεφόμενος δρομέας επάγει ισχυρή ηλεκτρεγερτική δύναμη (EMF) στο τύλιγμα του στάτη. Αυτή η δύναμη σε περίπτωση βραχυκύκλωσης του αντιστροφέα μπορεί να σταματήσει τον ηλεκτροκινητήρα και κατά συνέπεια κάποιον τροχό, οδηγώντας σε τροχαίο ατύχημα.

Αυτοί οι κινητήρες διαθέτουν αισθητήρες θέσης του δρομέα και μία ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου. Περιστρέφουν τον δρομέα του μέσω της εναλλαγής του συνεχούς ρεύματος της πηγής στα πηνία του στάτη. Γνωρίζοντας την θέση του δρομέα, ο ελεγκτής του ηλεκτροκινητήρα ρυθμίζει παροχή ρεύματος μέσω ηλεκτρονικών διακοπών (transistor) στα πηνία του στάτη έτσι ώστε να οδηγεί σε συνεχή περιστροφή τον δρομέα. Μια επιπλέον διάκριση γι' αυτού του είδους ηλεκτροκινητήρες γίνεται στη μορφή του ρεύματος που τροφοδοτεί τα πηνία του στάτη και διακρίνονται σε:

- Συνεχούς ρεύματος μόνιμου μαγνήτη χωρίς ψήκτες (brushless DC permanent magnet, BLDC PM)

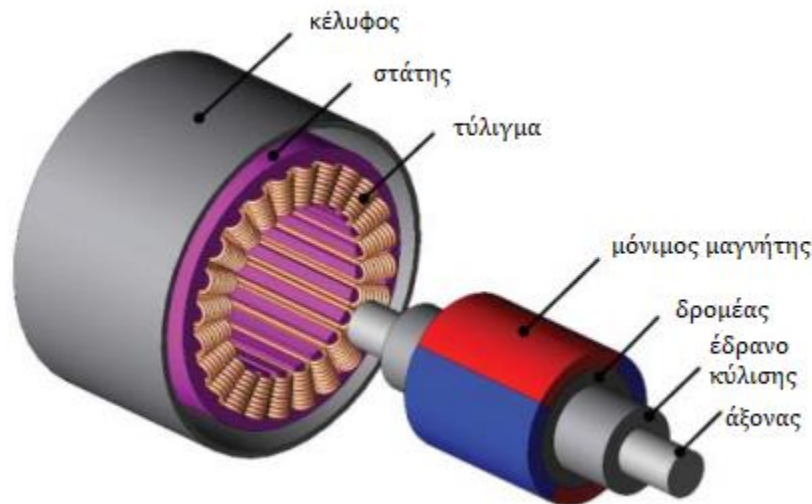
Το σήμα που παράγει ο ελεγκτής του ηλεκτροκινητήρα έχει τραπεζοειδή μορφή και ο κινητήρας συμπεριφέρεται όπως ο κινητήρας συνεχούς ρεύματος, χωρίς όμως τις ψήκτες. Ο έλεγχος της περιστροφής του είναι σχετικά απλός και δεν χρησιμοποιεί πολύ απαιτητικούς αισθητήρες θέσης, καθώς μόνο χρειάζεται 6 αλλαγές του σήματος ανά ηλεκτρονικό κύκλο. Γενικά χρησιμοποιούνται αισθητήρες θέσης χαμηλού κόστους τύπου Hall .

- Σύγχρονου μόνιμου μαγνήτη (PM brushless AC, BLAC)

Το σήμα που παράγει ο ελεγκτής του ηλεκτροκινητήρα έχει ημιτονοειδή μορφή και συμπεριφέρεται όπως οι επαγωγικοί κινητήρες. Η ιδιαιτερότητα του είναι στην κατασκευή του στάτη ο οποίος έχει πυκνό τύλιγμα σε όλη την περιφέρεια του, καθώς

διεγείρει τον δρομέα συνεχώς σε κάθε γωνία περιστροφής του. Αυτό απαιτεί έναν ακριβό αισθητήρα απόλυτης θέσης για εφαρμογές υψηλής ακρίβειας όπως η ηλεκτροκίνηση.

Ανάμεσα στους δύο παραπάνω τύπους κινητήρων μόνιμου μαγνήτη χωρίς ψήκτρες (BLAC), οι κινητήρες σύγχρονους μόνιμου μαγνήτη έχουν υψηλότερο βαθμό απόδοσης και λιγότερο κυματισμό ροπής, ενώ οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος μόνιμου μαγνήτη χωρίς ψήκτρες (BLDC PM) έχουν σχετικά μεγαλύτερη πυκνότητα ισχύος και ροπής.

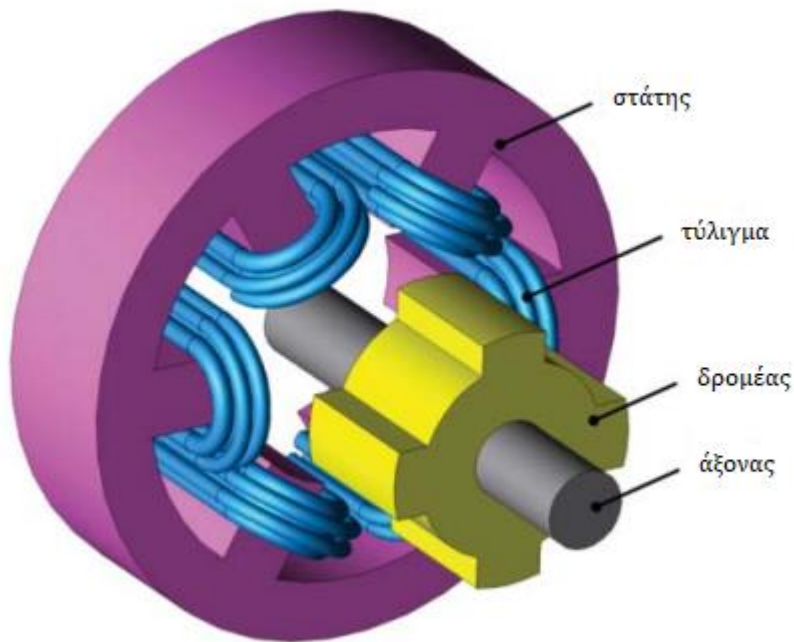


Εικόνα 3-4 Διάγραμμα κινητήρα μόνιμου μαγνήτη χωρίς ψήκτρες

- Μαγνητικής αντίστασης (Switched Reluctance, SR)

Αυτοί οι ηλεκτροκινητήρες παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον για εφαρμογές ηλεκτροκίνησης, ειδικά μεγάλων επιδόσεων. Τα πλεονεκτήματά τους είναι η απλή τους κατασκευή, το χαμηλό κόστος, η πολύ καλή σχέση ροπής-ταχύτητας και ο υψηλός βαθμός απόδοσης για μεγάλο εύρος στροφών. Η ανάπτυξη ενός τέτοιου κινητήρα χρειάζεται πολλή μελέτη, καθώς ο σχεδιασμός και έλεγχός τους για μεγάλο εύρος στροφών και θερμοκρασιών είναι δύσκολος και περίπλοκος. Η λειτουργία του είναι παρόμοια με του bldc PM κινητήρα, με μόνες διαφορές την κατασκευή του δρομέα και το χειρισμό του αντιστροφέα (inverter). Ο κινητήρας μαγνητικής αντίστασης είναι ένας κινητήρας που βασίζει την λειτουργία του στην μαγνητική ροπή (reluctance torque). Η μαγνητική ροπή είναι η ροπή που επάγεται σ' ένα σιδηρομαγνητικό υλικό όταν κάποιο εξωτερικό μαγνητικό πεδίο το αναγκάζει να ευθυγραμμιστεί σε αυτό. Αυτή η ροπή αναπτύσσεται, επειδή το εξωτερικό πεδίο επάγει ένα μαγνητικό πεδίο στον σίδηρο του αντικειμένου και μεταξύ των δύο πεδίων εμφανίζεται ροπή που το στρέφει στην θέση ισορροπίας σε σχέση με το εξωτερικό μαγνητικό πεδίο. Ο κινητήρας μαγνητικής αντίστασης χρησιμοποιεί μία ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου καθώς και αισθητήρα θέσης του δρομέα ώστε

με ρεύματα τραπεζοειδών παλμών να ενεργοποιήσει τα τυλίγματα του στάτη με την επιθυμητή ακολουθία ώστε να παραχθεί συνεχής περιστροφή του δρομέα.



Εικόνα 3-5 Διάγραμμα κινητήρα μαγνητικής αντίστασης

3.1.4 Ηλεκτροκίνηση

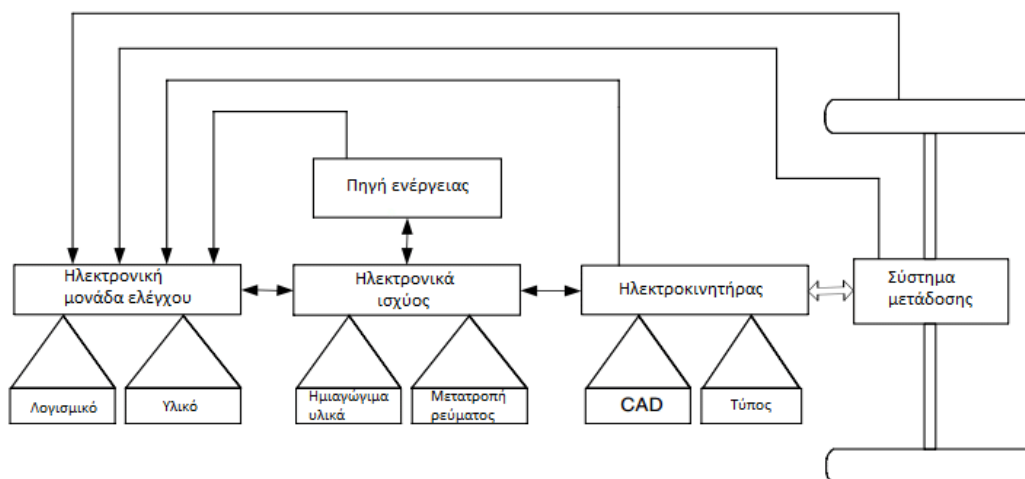
3.1.4.1 Εισαγωγή

Τα συστήματα ηλεκτροκίνησης είναι το σημαντικότερο στοιχείο στα ηλεκτροκίνητα και υβριδικά οχήματα. Οφείλουν να καλύπτουν ένα μεγάλο εύρος απαιτήσεων που υπάρχει στην κίνηση των οχημάτων, σε αντίθεση με τους ηλεκτροκινητήρες βιομηχανικών εγκαταστάσεων. Αυτές οι απαιτήσεις αφορούν τον εύκολο και ασφαλή χειρισμό του ηλεκτροκινητήρα από τον οδηγό, τις συχνές στάσεις και επανεκκινήσεις, την υψηλή ροπή σε περιπτώσεις μεγάλης κλίσης του εδάφους ή απότομης επιτάχυνσης, το μεγάλο εύρος στροφών αλλά και συγκεκριμένη σχέση ροπής-στροφών ώστε το όχημα να ικανοποιεί άμεσα τις απαιτήσεις του οδηγού, τον υψηλό βαθμό απόδοσης καθώς αυτό επηρεάζει σημαντικά την αυτονομία του οχήματος, την δυνατότητα να μετατρέψει την κινητική ενέργεια του οχήματος σε ηλεκτρική για να φορτίσει την μπαταρία του (αναγεννητική πέδηση) και να εξοικονομήσει ενέργεια, ικανότητα αντίστροφης περιστροφής του ηλεκτροκινητήρα για χρήση οπισθοπορείας.

Στις εφαρμογές της ηλεκτροκίνησης υπάρχουν πολλές μεταβλητές που πρέπει να ληφθούν υπόψη προτού επιλεγεί το επιθυμητό σύστημα προώθησης. Ο σχεδιασμός ενός ηλεκτροκίνητου οχήματος καθορίζεται από τις επιθυμητές επιδόσεις οδήγησης, τα χαρακτηριστικά του οχήματος και την πηγή ενέργειας. Οι επιδόσεις οδήγησης αφορούν την επιτάχυνση,

την τελική ταχύτητα, την πέδηση και την αυτονομία. Τα χαρακτηριστικά του οχήματος σχετίζονται με τον τύπο του οχήματος και αφορούν τον όγκο και το βάρος του (απόβαρο), καθώς και το ωφέλιμο βάρος. Η πηγή ενέργειας, στην περίπτωση της καθαρής ηλεκτροκίνησης, αφορά την μπαταρία η οποία αναλόγως τις επιδόσεις οδήγησης και τα χαρακτηριστικά του οχήματος έχει διαφορετική τάση, ένταση φόρτισης και εκφόρτισης, χωρητικότητα, βάρος και κόστος.

Το σύστημα ηλεκτροκίνησης αποτελείται από τον ηλεκτροκινητήρα, τα ηλεκτρονικά ισχύος και τις ηλεκτρονικές μονάδες ελέγχου. Ο ηλεκτροκινητήρας μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια της μπαταρίας σε μηχανική για να κινήσει το όχημα. Τα ηλεκτρονικά ισχύος λειτουργούν ως διαμορφωτές του σήματος της ηλεκτρονικής μονάδας ελέγχου, ώστε να παρέχουν στον ηλεκτροκινητήρα την επιθυμητή τάση και ένταση. Η ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου δίνει εντολές στα ηλεκτρονικά ισχύος μέσω σημάτων τα οποία διαμορφώνονται σύμφωνα με τη λειτουργία του κινητήρα και τις απαιτήσεις του οδηγού και βασίζονται στον προγραμματισμό του επεξεργαστή της ηλεκτρονικής μονάδας. Η ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου μπορεί να διαιρεθεί σε τρία υποσυστήματα: αισθητήρες, κυκλώματα διεπιφάνειας και επεξεργαστής.



Εικόνα 3-6 Τοπολογία ηλεκτρονικών ισχύος των ηλεκτροκίνητων οχημάτων.

3.1.4.2 Ηλεκτροκίνηση στο ποδήλατο

Το ηλεκτρικό ποδήλατο αποτελείται από ένα υβριδικό σύστημα κίνησης. Κινείται με την γνωστή μηχανική δύναμη που ασκείται στα πετάλια από τον ποδηλάτη, αλλά και με την ηλεκτρική ενέργεια της μπαταρίας που τροφοδοτεί τον ηλεκτροκινητήρα. Έτσι το ποδήλατο αναβαθμίζεται ως μέσο μεταφοράς και απευθύνεται σε μεγαλύτερο κοινό, καθώς κάνει την οδήγηση του ποδηλάτου ευκολότερη, γρηγορότερη και πιο ξεκούραστη. Το ηλεκτρικό σύστημα προώθησης του ποδηλάτου, για να συμφωνεί με την νομοθεσία της ΕΕ, αποτελείται από την μπαταρία, την ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου, το μοτέρ που μπορεί να έχει ισχύ έως και 250 Watt και τα ηλεκτρονικά οδήγησης του ηλεκτροκινητήρα. Αυτή η διάταξη, αναλόγως βέβαια με τα χαρακτηριστικά της μπαταρίας, έχει σχετικά χαμηλό κόστος χάρη στην μαζική παραγωγή ηλεκτροκινητήρων BLDC PM μικρής ισχύος. Ο κινητήρας BLDC PM αποτελεί τον πιο κατάλληλο

ηλεκτροκινητήρα για εφαρμογές ηλεκτροκίνησης, ειδικά χαμηλών απαιτήσεων. Έτσι πλέον υπάρχει η δυνατότητα κατασκευής ηλεκτρικών ποδηλάτων σε προσιτές τιμές για τον μέσο καταναλωτή.

Τα ηλεκτρικά ποδήλατα, όσον αφορά τον ηλεκτροκινητήρα, χωρίζονται σε δύο επιμέρους κατηγορίες:

1. Ηλεκτροκινητήρες πλήμνης (hub motors)

Αυτοί οι κινητήρες τοποθετούνται στο κέντρο του τροχού και συνδέονται άμεσα στον τροχό με ακτίνες. Με αυτόν τον ηλεκτροκινητήρα η μετατροπή του ποδηλάτου σε ηλεκτρικό γίνεται πολύ εύκολα, καθώς μπορεί να τοποθετηθεί σε οποιοδήποτε ποδήλατο. Η άμεση σύνδεσή τους με τον τροχό κάνει την λειτουργία τους απλούστερη, αφού δεν επηρεάζονται από την επιλογή ταχύτητας και δεν χρησιμοποιούν την αλυσίδα για την μετάδοση της κίνησης. Επομένως έχουν λιγότερα κινούμενα μέλη, άρα και λιγότερα λειτουργικά κόστη. Όμως χρειάζονται ειδικής κατασκευής ακτίνες με μεγαλύτερη διάμετρο, ώστε να υποστηρίξουν τις αυξημένες δυναμικές καταπονήσεις που προέρχονται από την ροπή του ηλεκτροκινητήρα. Με την μαζική τους παραγωγή την σύγχρονη εποχή έχουν γίνει οικονομικοί. Αυτοί οι κινητήρες πολύ συχνά διαθέτουν σύστημα με πλανητικό μειωτήρα. Με αυτή την μείωση επιτυγχάνουν υψηλότερη ροπή σε χαμηλότερες ταχύτητες, μικρότερο μέγεθος και βάρος. Αυτό τους καθιστά πιο κατάλληλους για τις περισσότερες περιπτώσεις, ειδικά όταν χρειάζεται υψηλή ροπή, για παράδειγμα σε ανηφόρες ή χρήση σε ανώμαλους δρόμους. Μειονέκτημα του συστήματος με μειωτήρα είναι ο μειωμένος βαθμός απόδοσης σε υψηλές ταχύτητες και η επιπλέον φθορά των γραναζιών. Συνολικά αυτοί οι κινητήρες αποτελούν την ιδανική επιλογή για ένα ηλεκτρικό ποδήλατο, καθώς μειώνουν το συνολικό κόστος και παρέχουν καλύτερο βαθμό απόδοσης και ροπή για την τελική ταχύτητα τους (25km/h).

2. Ηλεκτροκινητήρες μεσαίας τριβής (mid drive)

Αυτοί οι κινητήρες τοποθετούνται στον άξονα μεσαίας τριβής του ποδηλάτου, δηλαδή στον άξονα που περιστρέφουν και τα πετάλια. Αυτός ο κινητήρας σε κάποιες περιπτώσεις προϋποθέτει ειδική κατασκευή του σκελετού του ποδηλάτου, αν το κέλυφός του είναι κομμάτι του. Υπάρχει φυσικά η δυνατότητα μετέπειτα τοποθέτησης στον σκελετό του ποδηλάτου η οποία είναι πιο περίπλοκη από το αντίστοιχο κινητήρα πλήμνης. Με αυτό το σύστημα η αλυσίδα υφίσταται επιπλέον δυναμική καταπόνηση, αλλά υπάρχει το πλεονέκτημα της χρήσης των ταχυτήτων του ποδηλάτου συνδυαστικά με τον κινητήρα επιτυγχάνοντας καλύτερη ροπή πρόωσης. Οι περισσότερες ταχύτητες επίσης προσφέρουν μεγαλύτερη αυτονομία, καθώς ο κινητήρας λειτουργεί σε αποδοτικότερο εύρος στροφών και δεν αποφορτίζει την μπαταρία με μεγάλη ένταση ρεύματος. Επιπλέον δεν υπάρχει μη αναρτημένη μάζα στον τροχό, άλλα αναρτημένη και μάλιστα στο κέντρο του ποδηλάτου. Αυτοί οι κινητήρες έχουν υψηλότερες επιδόσεις, άλλα εξυψώνουν αρκετά την τελική τιμή. Το γεγονός αυτό τους καθιστά κυρίως κατάλληλους για χρήση σε ποδήλατα εκτός δρόμου, όπου υπάρχουν υψηλές απαιτήσεις ροπής, μικρού βάρους και είναι αποτρεπτική η αύξηση της μη αναρτημένης μάζας.

3.2 Σύστημα Αποθήκευσης Ενέργειας

3.2.1 Εισαγωγή

Κατά τον τελευταίο αιώνα προκλήθηκαν πολλά περιβαλλοντικά ζητήματα και καταστροφές, των οποίων κύρια αιτία ήταν η αλόγιστη χρήση των ορυκτών καυσίμων. Η αύξηση των επιπέδων διοξειδίου του άνθρακα και η αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη λόγω κλιματικών αλλαγών, είναι τα κυριότερα προβλήματα που έχουν δημιουργηθεί από την χρήση των ορυκτών καυσίμων. Η αύξηση όμως του πληθυσμού και η βελτίωση των συνθηκών υγείας σε συνδυασμό με την ελάττωση των ορυκτών καυσίμων, έχει αποτέλεσμα την καταφυγή των επιστημόνων και εταιριών σε αναζήτηση «καθαρότερης» ενέργειας. Η συστηματική μόλυνση του αέρα σύμφωνα με την παγκόσμια οργάνωση υγείας προκαλεί κοντά 7 εκατομμύρια θανάτους των χρόνιο, ενώ το 90% τον ανθρώπων αναπνέουν μολυσμένο αέρα (WHO, 2018). Διοξείδιο του θείου, οξείδια του αζώτου και μονοξείδιο του άνθρακα είναι από τα πιο κοινά επιβλαβή αέρια που εισπνέουμε καθημερινά στις μεγάλες πόλεις τα οποία μπορούν να προκαλέσουν σοβαρά καρδιαγγειακά προβλήματα, εγκεφαλικά και καρκίνο του πνεύμονα. Η κυριότερη πηγή μόλυνσης είναι τα μέσα μεταφοράς, τα οποία συμβάλλουν σχεδόν 50% στην περιβαλλοντική μόλυνση. Για την ελάττωση αυτού του προβλήματος πολλές αυτοκινητοβιομηχανίες έστρεψαν την προσοχή τους στην ανάπτυξη υβριδικών και ηλεκτροκίνητων αυτοκινήτων. Με την μαζική παραγωγή αυτών πρέπει παράλληλα να αναπτυχθούν πηγές ενέργειας με λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις και μεγαλύτερη αποδοτικότητα.

Η πηγή ενέργειας ενός ηλεκτροκίνητου οχήματος μπορεί να θεωρηθεί το σημαντικότερο κομμάτι σε μια διαδρομή ισχύος, καθώς όπως και σε οχήματα με Μ.Ε.Κ., ενώ ο κινητήρας είναι η καρδιά του συστήματος, η οποία δεν μπορεί να λειτουργήσει χωρίς καύσιμο. Το καύσιμο αναφλέγεται μέσα στον κινητήρα με την πρόσμιξη οξυγόνου και έτσι μετατρέπεται η χημική ενέργεια από το καύσιμο σε θερμική ενέργεια, που προσδίδει και την κίνηση στους τροχούς. Στα ηλεκτροκίνητα οχήματα η ενέργεια αποθηκεύεται στις μπαταρίες, τα οποία είναι ηλεκτροχημικά συστήματα τα οποία μετατρέπουν την χημική ενέργεια σε ηλεκτρική, που αργότερα την εκμεταλλευόμαστε, είτε για να αντλήσουμε ενέργεια από αυτήν, είτε για να αναπληρώσουμε την χαμένη ενέργεια. Η τελευταία διαδικασία γνωστή σε όλους ως φόρτιση επιτυγχάνεται με την αντιστροφή της χημικής αντίδρασης. Σε σύγκριση με την θερμική μετατροπή μια μπαταρία έχει μεγαλύτερη αποδοτικότητα στην μετατροπή ενέργειας, καθώς η μεταβολή γίνεται ισόθερμα.

Πολλές αλλαγές και καινοτομίες έχουν συμβεί τον τελευταίο αιώνα με σκοπό την ανάπτυξη των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας. Με την κυριότερη να είναι η συνεχής βελτίωση της τεχνολογίας των μπαταριών ιόντων λιθίου.

Όλα τα ηλεκτροκίνητα οχήματα προφανώς και χρειάζονται μια πηγή ενέργειας, για να την μετατρέψουν σε κίνηση, όπως στα υβριδικά και στα ηλεκτροκίνητα οχήματα, όπου πηγή ενέργειας είναι μια μπαταρία. Οι μπαταρίες ομαδοποιούνται σε δύο μεγάλες κατηγορίες : τις πρωτεύουσες μπαταρίες, οι οποίες δεν επαναφορτίζονται και χρησιμοποιούνται σε μικρές συσκευές (ρολόγια, τηλεκοντρόλ, φακούς) και τις δευτερεύουσες μπαταρίες, οι οποίες είναι πλέον στη καρδιά κάθε φορητής ηλεκτρονικής συσκευής και έχουν την δυνατότητα επαναφόρτισης. Αναστρέφοντας την χημική αντίδραση και με μια εξωτερική πηγή μπορεί να αντιστραφεί η κατεύθυνση του ρεύματος και να φορτιστούν οι μπαταρίες. Η λειτουργία της

μπαταρίας βασίζεται πάνω στην διαφορά δυναμικού που εμφανίζεται στους πόλους. Προφανώς και στις φάσεις της εκφόρτισης και φόρτισης όταν συνδεθούν με κάποιο κύκλωμα αντιστοίχως, προσδίδουν ή καταναλώνουν συνεχές ρεύμα (Direct Current). Προς αποφυγή παρεξηγήσεων η μπαταρία των οχημάτων αυτών δεν αποτελείται από μια και μοναδική μπαταρία, αλλά από κελιά (cells) μπαταριών που απαρτίζουν μια μονάδα μπαταρίας (module), στην συνέχεια ενώνοντας της μονάδες μεταξύ τους καταφέρνουμε να έχουμε τα επιθυμητά χαρακτηριστικά της μπαταρίας. Παραδείγματος χάριν η μπαταρία που κατασκευάστηκε αποτελείται από 10 μονάδες μπαταριών, όπου κάθε μονάδα αποτελείται από 5 κελιά. Ενώ αντίστοιχα σε μεγαλύτερες εφαρμογές, όπως σε αυτοκίνητα φτάνει έως και τα 7104 κελιά (Tesla Model s) «16X444». Κάθε κελί έχει μια άνοδο τον αρνητικό ακροδέκτη και μια κάθοδο τον θετικό ακροδέκτη, καθώς και ένα ηλεκτρολύτη και διαχωριστικά στοιχεία που παρεμβάλλονται μεταξύ τους για τον διαχωρισμό των δυο επαφών. Κάθε κελί εν συνέχεια μπορεί να συνδεθεί σε σειρά ή παράλληλα με το επόμενο κελί. Όταν συνδεθούν σε σειρά τα κελιά η τάση της μονάδας αυξάνεται ενώ στην περίπτωση της παράλληλης σύνδεσης των κελιών αυξάνεται η χωρητικότητα. Προφανώς και η σύνδεση δυο όμοιων κελιών σε χαρακτηριστικά, επιβάλλεται καθώς στην αντίθετη περίπτωση υπάρχει κίνδυνος δυσλειτουργίας ακόμα και έκρηξη της μπαταρίας. Επιπρόσθετα όλα τα επιμέρους κελιά της μονάδας δίνουν τα τεχνικά χαρακτηριστικά μιας μπαταρίας, οπότε πριν προχωρήσουμε σε περαιτέρω ανάλυση των μπαταριών, ας εξηγήσουμε μερικά σημαντικά χαρακτηριστικά της ηλεκτρονικής και αργότερα των μπαταριών.

3.2.2 Γενικές αρχές μπαταρίας ως πηγή ενέργειας

Βασικές τεχνικές έννοιες, σε απλοποιημένη μορφή, που αφορούν συγκεκριμένα τις μπαταρίες είναι οι εξής:

- **Ονομαστική Τάση** : Για ευκολία στα κυκλώματα μας χρησιμοποιούμε μια «ονομαστική» τιμή τάσης, για να κατηγοριοποιήσουμε την μπαταρία μας. Συνήθως μερικοί μπερδεύουν την τιμή αυτή με την πραγματική τάση λειτουργίας της μπαταρίας, ενώ το πραγματικό μέγεθος της βρίσκεται ενδιάμεσα στο εύρος λειτουργίας της μπαταρίας.
- **Εύρος Λειτουργίας** : Είναι το κάτω και άνω όριο στις τιμές της τάσης κατά την οποία η μπαταρία προσδίδει με ασφαλή και αποδοτικό τρόπο την μέγιστη χωρητικότητα της.
- **Τάση Αποκοπής** : Είναι η χαμηλότερη επιτρεπτή τάση που μπορεί να δώσει η μπαταρία, καθώς σε τιμές μικρότερες από αυτήν αλλοιώνεται η χημική σύσταση του κελιού, με αποτέλεσμα να μειώνεται ραγδαία η διάρκεια ζωής αυτού. Στην τάση αυτή συνήθως θεωρούμε την μπαταρία μας πλήρως εκφορτισμένη.
- **Μέγιστη Τάση** : Είναι προφανώς η μέγιστη τιμή της τάσης, κατά την οποία μπορεί μια μπαταρία να φορτιστεί με ασφαλή τρόπο. Η υπέρβαση αυτού του αριθμού μπορεί να καταλήξει σε αύξηση πίεσης στο εσωτερικό του κελιού, λόγω υπερθέρμανσης του και πιθανόν έκρηξη αυτού.
- **Ονομαστική Χωρητικότητα** : Είναι η κουλομπομετρική ογκομέτρηση του κελιού, που μετράται σε [Ah] Ampere επί ώρα και προσδιορίζει την χωρητικότητα του κελιού. Η τιμή που μας δίδεται είναι αποτέλεσμα της εκφόρτισης του κελιού από το 100% της χωρητικότητας έως την τάση αποκοπής, με σταθερή ένταση. Υπολογίζεται από τον πολλαπλασιασμό της έντασης με τον χρόνο που χρειάστηκε για την αποφόρτιση.

- **Ρυθμός C** : Η σταθερή ένταση που αναφέρθηκε πριν σχετίζεται πλήρως με τον ρυθμό C. Είναι μια μονάδα που εκφράζει τον ρυθμό, εκφόρτισης ή φόρτισης του κελιού. Δηλαδή την τιμή της έντασης κατά την φόρτιση ή εκφόρτιση, σε σχέση με την ονομαστική χωρητικότητά του. Χρησιμοποιείται κυρίως για την κατηγοριοποίηση των μπαταριών, για ευκολότερη σύγκριση στην απόδοση ισχύος. Ρυθμός εκφόρτισης της τάξης ενός C σημαίνει ότι θα χρειαστεί 1 ώρα για την πλήρη εκφόρτιση. Παράδειγμα σε μια μπαταρία 10 Ah, αυτός ο ρυθμός θα αντιστοιχούσε σε 10 A. Η ίδια λογική ισχύει και στην περίπτωση φόρτισης. Υπάρχει και ο ρυθμός E που χρησιμοποιείται λιγότερο και εκφράζει την τιμή της ισχύος ανά μονάδα χρόνου.
- **Κατάσταση Φόρτισης SoC** : Η κατάσταση φόρτισης μετριέται σε ποσοστό επί τις εκατό και εκφράζει την παρούσα χωρητικότητα μπαταρίας, ως ποσοστό της μέγιστης χωρητικότητας. Αποτελεί σημαντικό μετρούμενο μέγεθος καθώς καθορίζει την αυτονομία ενός οχήματος ενώ παράλληλα φροντίζει την βέλτιστη λειτουργία της μπαταρίας. Χρησιμοποιούνται περίπλοκοι αλγόριθμοι στην μέτρηση αυτής καθώς η ονομαστική χωρητικότητα, λόγω γήρανσης και χρήσης του κελιού, δεν αποτελεί βέσιμο χαρακτηριστικό μιας μπαταρίας. Ο πιο συνηθισμένος τρόπος υπολογισμού της κατάστασης φόρτισης πηγάζει από την μέτρηση της έντασης σε συνεχόμενους κύκλους φόρτισης – εκφόρτισης, αλλιώς και μέτρηση Coulomb. Όμως αυτό δεν είναι πάντα αντιπροσωπευτικός καθώς αυτός ο τρόπος μέτρησης δεν λαμβάνει υπόψιν την αρχική κατάσταση φόρτισης. Πολλές λύσεις υπάρχουν για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος όπως φασματογράφιση, μέτρηση ειδικής βαρύτητας και έναν σχετικά αξιόπιστο τρόπο, την συσχέτιση τάσης ανοιχτού κυκλώματος με την αρχική κατάσταση φόρτισης. Με λίγα λόγια η κατάσταση φόρτισης αντικατοπτρίζει την ωφέλιμη χωρητικότητα μπαταρίας.

Χαρακτηριστικός τύπος υπολογισμού SoC:

$$SoC = SoC_o - \frac{1}{Q} * \int_0^t I dt \quad \text{Εξίσωση 1}$$

Η ισχύς είναι κύριο χαρακτηριστικό, καθώς έτσι μπορούμε να κατηγοριοποιούμε ηλεκτρικές συσκευές και να τις συγκρίνουμε, έχοντας μόνο την ισχύ τους ως μέτρο σύγκρισης και όχι άλλα τεχνικά χαρακτηριστικά. Οπότε όταν για παράδειγμα μιλάμε για ηλεκτρικούς κινητήρες συγκρίνουμε τις δυνατότητες τους με το πόσο ισχύ μπορούν να προσφέρουν. Έτσι και στις μπαταρίες έχουμε το μέγεθος μέτρησης της Watt/hour [Wh], που μας δείχνει το πόση ισχύ μπορεί να προσδώσει η μπαταρία ανά μονάδα της ώρας.

3.2.3 Είδη μπαταριών

Όλα τα είδη μπαταριών χωρίζονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες. Επίσης ταξινομούνται ανάλογα με την εφαρμογή που απαιτείται, καθώς επίσης υπάρχουν κελιά που καλύπτουν όλες τις ανάγκες. Η βασική κατηγοριοποίηση των μπαταριών προέρχεται από την ικανότητα επαναφόρτισης. Η πρώτη κατηγορία μπαταριών, που συναντάμε πολύ συχνά σε αντικείμενα καθημερινής χρήσης όπως ρολόγια, τηλεχειριστήρια και παιχνίδια, είναι η πρωτεύουσες

μπαταρίες. Είναι μιας χρήσης καθώς δεν έχουν δυνατότητα επαναφόρτισης. Ενώ η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει όλες τις επαναφορτιζόμενες μπαταρίες και ονομάζονται δευτερεύουσες μπαταρίες. Υπάρχει η δυνατότητα επαναφόρτισης σε αυτή την κατηγορία μπαταριών, εφαρμόζοντας ένα ηλεκτρικό ρεύμα στους πόλους της, με αποτέλεσμα να αλλάζουμε την χημική σύσταση. Οι συσκευές που πραγματοποιούν αυτή την διαδικασία ονομάζονται φορτιστές και πρέπει να ακολουθούν τους προτεινόμενους τρόπους φόρτισης που ορίζουν οι κατασκευαστές.

3.2.3.1 Πρωτεύουσες μπαταρίες (Primary Batteries)

Λόγω της ιδιότητας τους ως μπαταρίες χωρίς την ικανότητα επαναφόρτισης, πολλές φορές υποεκτιμούνται και θεωρούνται ξεπερασμένη τεχνολογία. Αυτή η κατηγορία δημιουργήθηκε με σκοπό την αναγκαιότητα κάλυψης περιπτώσεων, όπου η φόρτιση είναι αδύνατη και πολλές φορές ακριβότερη. Η μεγάλη ειδική ενέργεια, η διάρκεια ζωής και η άμεση ετοιμότητα τους τις καθιστά ιδανικότερες πηγές ενέργειας από άλλες σε ειδικές περιπτώσεις. Χρησιμοποιούνται σε ιατρικά μηχανήματα όπως βηματοδότες, καθώς σε στρατιωτικές εφαρμογές, όπως σε σκόπευτρα, αλλά και στην καθημερινότητα, όπως στα ρολόγια. Λόγω της υψηλής ασφάλειας των χημικών στοιχείων που εμπεριέχονται στις πρωτεύουσες μπαταρίες μπορούν να μεταφερθούν με ευκολία οπουδήποτε και να ανακυκλώνονται πλήρως, χωρίς να επιβαρύνουν το περιβάλλον. Ένα από τα πιο γνωστά είδη αυτής της κατηγορίας είναι οι Αλκαλικές μπαταρίες. Παρακάτω παραιτηθείτε ένας πίνακας με τα πιο γνωστά είδη πρωτευουσών μπαταριών.

<u>Τύπος Μπαταρίας</u>	Αλκαλικές	Λιθίου	Οξείδιο του Άργουρου	Οξείδια του Υδραργύρου
Ονομαστική Τάση [V]	1.5	1.55	1.55	1.35
Χωρητικότητα [mAh]	800-2600	1000-3400	-	-
Ειδική Ενέργεια [Wh/kg]	85–190	130	130	99-123
Διάρκεια Ζωής [Χρόνια]	5-10	10-15	5	2
Κόστος Αγοράς [€]	~0.5	2-5	2-6	-

Πίνακας 1 Πίνακας κυριότερων πρωτευουσών μπαταριών.

3.2.3.2 Δευτερεύουσες Μπαταρίες (Secondary Batteries)

Σε αντίθεση με την προηγούμενη κατηγορία η επόμενη περιέχει είδη μπαταριών που έχουν την δυνατότητα να επαναφορτίζονται. Το αρχικό κόστος αγοράς συνήθως είναι υψηλότερο από την προηγούμενη, αλλά η ικανότητα επαναφόρτισής τους αποσβένει το κόστος σε βάθος χρόνου. Παρακάτω παραθέτουμε τα βασικότερα είδη μπαταριών, που ανήκουν στην κατηγορία δευτερευουσών μπαταριών.

- Μόλυβδου Οξέος (Lead Acid)** : Η στιβαρή κατασκευή αυτής της μπαταρίας επιτρέπει την χρήση της σε ακραίες συνθήκες, ενώ το κόστος παραγωγής της είναι αρκετά χαμηλό. Είναι το αρχαιότερο είδος δευτερεύουσας μονάδας αποθήκευσης ενέργειας. Με περιορισμένους κύκλους λειτουργίας και χαμηλή ειδική ενέργεια, χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές, όπως στα αυτοκίνητα, σε αναπηρικά καροτσάκια και σε τροφοδοτικά έκτακτης ανάγκης (UPS). Λόγω της επικινδυνότητας του μολύβδου που εμπεριέχεται στις μπαταρίες, πρέπει να συλλέγονται και να ανακυκλώνονται με ειδικά μέσα. Αποτελείται συνήθως από 6 κελιά των 2 Volt, συνδεδεμένα σε σειρά για να αποδώσουν 12 Volt, με επάλληλες στρώσεις μολύβδου και διαχωριστών από μη αγώγιμα υλικά και ηλεκτρολύτη θειικού οξέος με ανάμιξη απιονισμένου νερού. Τα διαχωριστικά πρέπει να είναι κατασκευασμένα από ανθεκτικά υλικά λόγω της διαβρωτικής φύσης του ηλεκτρολύτη και των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται κατά την φόρτιση και εκφόρτιση. Σε εξαιρετικές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται συνδυασμοί



Εικόνα 3-7 Τυπική μπαταρία αυτοκινήτου 12 V τύπου Μόλυβδου – Οξέος.

Χάλυβα - Αλκαλίου και Νικελίου – Αλκαλίου. Η χαμηλή εσωτερική αντίσταση της μπαταρίας την καθιστά άψογη για τα αυτοκίνητα, όπου ο εκκινητής απαιτεί υψηλή ένταση. Οι τάσεις ανά κελί κυμαίνονται μεταξύ 1.8 V πλήρως εκφορτισμένη έως 2.1 V.

- Μπαταρίες Νικελίου-Καδμίου (Ni-Cd Nickel-Cadmium Batteries)** : Ένα κελί Νικελίου – Καδμίου περιέχει υδροξείδια και οξείδια του Νικελίου στην κάθοδό του, Κάδμιο στην άνοδο και αλκαλικό διάλυμα Υδροξειδίου του Καλίου ως ηλεκτρολύτη. Η μπαταρία αυτή είναι επίσης μια από τις παλαιότερες επαναφορτιζόμενες μπαταρίες, υπερτερεί της Μόλυβδου – οξέος, καθώς έχει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και ικανότητα ταχύτερης φόρτισης, με αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται κυρίως σε εφαρμογές μικρής κλίμακας, όπως ραδιόφωνα, βιντεοκάμερες και εργαλεία χειρός. Κατασκευάζεται ως επί το πλείστον σε κυλινδρική διάταξη με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται μεγαλύτερη χωρητικότητα και υψηλά ρεύματα εκφόρτισης, λόγω της μεγάλης ποσότητας ενεργών

στοιχείων που εμπεριέχονται σε αυτή την δομή. Ένα βασικό μειονέκτημα που παρουσιάζεται, είναι η ύπαρξη του φαινομένου μνήμης, με βάση το οποίο η μπαταρία πρέ-



Εικόνα 3-8 Τυπική μπαταρία Ni-Cd.

πει να αποφορτιστεί πλήρως και αργότερα να φορτιστεί για να αναζωογονηθεί.

- **Μπαταρίες Νικελίου Μετάλλων-Υδριδίου (Ni-Mh Nickel-Metal-Hydride)** : Η ηλεκτροχημική αντίδραση της μπαταρίας αυτής είναι παρόμοια της προηγούμενης. Έχει μεγαλύτερη σχέση ισχύος – βάρους με υψηλό ποσοστό εκφορτίσεων και διάρκεια ζωής. Ουσιαστικά αποτελεί αναβάθμιση της μπαταρίας Νικελίου – Καδμίου, λόγω της επικινδυνότητας του τελευταίου. Συνήθως τα χημικά συστατικά που εμπεριέχονται στην μπαταρία είναι το Νικέλιο και κράματα μετάλλου, συγκεκριμένα το αρνητικό ηλεκτρόδιο αποτελείται από Λανθάνιο, Δημήτριο, Νεοδύμιο και Πρασεοδύμιο, ενώ το θετικό ηλεκτρόδιο από Νικέλιο, Κοβάλτιο, Μαγνήσιο ή Αλουμίνιο. Ως ηλεκτρολύτης κυρίως χρησιμοποιείται Υδροξείδιο του Καλίου. Η ονομαστική τάση ενός κελιού φτάνει τα 1.2 Volt και παράγεται σε πρισματική ή κυλινδρική διάταξη. Πρέπει να φορτίζονται με «έξυπνο» φορτιστή, για να αποφευχθεί η υπερφόρτιση, που μπορεί να καταστρέψει την μπαταρία.



Εικόνα 3-9 Τυπική μπαταρία Ni-Mh.

- **Μπαταρίες Ιόντων – Λιθίου (Li-ion Lithium Ion Batteries)** : Η κατηγορία αυτή αποτελεί την τελευταία εξέλιξη της τεχνολογίας των επαναφορτιζόμενων μπαταριών και πλέον χρησιμοποιούνται σχεδόν σε όλες τις εφαρμογές ηλεκτρονικών, όπως κινητά, βιντεοκάμερες, φορητοί υπολογιστές και εργαλεία χειρός. Έχουν χαμηλό βάρος, υψηλή ένταση εκφόρτισης, αλλά λόγω της φύσης του Λιθίου απαιτούν ειδικά κυκλώματα προστασίας. Μια τυπική μπαταρία Ιόντων – Λιθίου περιέχει στην κάθοδό της οξείδια του Λιθίου επιστρωμένα σε φύλλο αλουμινίου, ενώ στην άνοδό της πορώδη άνθρακα και διαχωριστές μεταξύ αυτών. Ο ηλεκτρολύτης τους περιέχει άλας Λιθίου



Εικόνα 3-10 Είδη μπαταριών Ιόντων – Λιθίου.

σε οργανικό διάλυμα. Οι πειραματισμοί που γίνονται σε διάφορα υλικά για την άνοδο και κάθοδο της μπαταρίας, επιτρέπουν στους κατασκευαστές να φτιάχνουν μπαταρίες Ιόντων – Λιθίου με καλύτερα χαρακτηριστικά, αναζητώντας πάντα την χρυσή τομή. Οι αρχικές μπαταρίες ιόντων Λιθίου περιείχαν ΚΩΚ, αλλά αργότερα αντικαταστάθηκαν με γραφίτη για καλύτερα επίπεδα εκφόρτισης. Ο γραφίτης, τον οποίο βρίσκουμε ακόμα και σε μολύβια, έχει εξαιρετικά χαρακτηριστικά αντοχής σε μακροχρόνιους κύκλους χρήσης και είναι αρκετά πορώδης, για να συγκρατεί τα ιόντα Λιθίου.

Κατά την εκφόρτιση τα ιόντα μεταφέρονται από την άνοδο (Γραφίτης) στην κάθοδο (Οξειδία του Λιθίου), ενώ στην φόρτιση αντίστροφα. Επίσης ένα ενδιαφέρον υλικό, που χρησιμοποιείται στις μπαταρίες Ιόντων - Λιθίου σε πειραματικό στάδιο, είναι το Γραφένιο. Πολλές μπαταρίες ιόντων λιθίου παρέχονται με κυκλώματα προστασίας και ειδικούς φορτιστές.

- Η μέγιστη φόρτιση δεν πρέπει να ξεπερνά ποτέ 4.2 Volt
- Δεν πρέπει να εκφορτίζονται κάτω από τα 3 Volt
- Ο ρυθμός εκφόρτισης δεν πρέπει να ξεπερνά τα επιτρεπτά όρια
- Παρομοίως και ο ρυθμός φόρτισης επιβάλλεται να είναι εντός των επιτρεπτών ορίων
- Η φόρτιση της μπαταρίας δεν πρέπει να γίνεται σε θερμοκρασίες άνω των 50°C και κάτω του 0°C

Το κύκλωμα προστασίας λοιπόν είναι υπεύθυνο για την τήρηση αυτών των όρων. Οι τιμές αυτές συνήθως ισχύουν για κάθε κελί Ιόντων – Λιθίου αλλά κάθε μηχανικός πρέπει πρώτα να συμβουλευτεί το εγχειρίδιο που δίνει ο κατασκευαστής για το κάθε κελί πριν την αγορά ενός συστήματος προστασίας. Ένα τέτοιο σύστημα συμπεριλαμβάνεται και στο σύστημα Διαχείρισης Μπαταρίας.

Ένα από τα μεγαλύτερα μειονεκτήματα της μπαταρίας Ιόντων – Λιθίου είναι οι μειωμένες επιδόσεις σε θερμοκρασίες υπό του μηδενός.

Τα βασικά είδη μπαταριών Ιόντων Λιθίου είναι τα εξής :

1. Οξειδία του Λιθίου Κοβαλτίου (Lithium Cobalt Oxide - LiCoO₂)

Ειδική Ενέργεια	Κύκλος Ζωής	Τάση	Χρονολογία
150 – 200 Wh/kg	500 - 1000	3.6 V	>1991

Υψηλή ειδική ενέργεια, αλλά αρκετά χαμηλή ειδική ισχύς με μικρή διάρκεια ζωής. Εφαρμογή σε μπαταρίες κινητών τηλεφώνων και φορητών υπολογιστών.

Πίνακας 2 Κυριότερα χαρακτηριστικά μπαταρίας Οξειδία του Λιθίου Κοβαλτίου.

2. Οξειδία του Λιθίου Μαγγανίου (Lithium Manganese Oxide - LiMn_2O_4)

Ειδική Ενέργεια	Κύκλος Ζωής	Τάση	Χρονολογία
100 – 150 Wh/kg	300 – 700	3.7 V	>1996
<p>Η χαμηλή εσωτερική αντίσταση του συγκεκριμένου είδους επιτρέπει γρήγορες φορτίσεις και υψηλούς ρυθμούς εκφόρτισης. Ασφαλέστερη μπαταρία από την πρώτη, αλλά με μικρή διάρκεια ζωής και χωρητικότητα. Εφαρμογές σε εργαλεία χειρός.</p>			

Πίνακας 3 Κυριότερα χαρακτηριστικά μπαταρίας Οξειδία του Λιθίου Μαγγανίου.

3. Οξειδία του Λιθίου Νικελίου Μαγγανίου Κοβαλτίου (Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide – LiNiMnCoO_2)

Ειδική Ενέργεια	Κύκλος Ζωής	Τάση	Χρονολογία
150 – 220 Wh/kg	1000 - 2000	3.6 V	>2008
<p>Με την ανάμιξη του Κοβαλτίου και Μαγγανίου επιτυγχάνουμε με χαμηλό κόστος, εξαιρετικές αποδόσεις, υψηλή ειδική ενέργεια και ειδική ισχύ. Χαρακτηριστικά που τις καθιστούν ιδανικές για εφαρμογές ηλεκτροκίνησης, δηλαδή σε ηλεκτρικά οχήματα μικρής κλίμακας (Ηλεκτρικά ποδήλατα) και εργαλεία χειρός.</p>			

Πίνακας 4 Κυριότερα χαρακτηριστικά μπαταρίας Οξειδία του Λιθίου Νικελίου Μαγγανίου Κοβαλτίου.

4. Λιθίου Σιδήρου Φωσφορικού άλας (Lithium Iron Phosphate – LiFePO_4)

Ειδική Ενέργεια	Κύκλος Ζωής	Τάση	Χρονολογία
90 – 120 Wh/kg	1000-2000	3.3 V	>1996
<p>Μια από τις πιο ασφαλείς μπαταρίες, καθώς κατέχει υψηλή θερμική διαφυγή (270°C). Με χαμηλή ειδική ενέργεια και υψηλό ποσοστό αυτοεκφόρτισης. Δεν αποτελεί κατάλληλη επιλογή για εφαρμογές ηλεκτροκίνησης, αλλά για σταθερούς σταθμούς αποθήκευσης ενέργειας.</p>			

Πίνακας 5 Κυριότερα χαρακτηριστικά μπαταρίας Λιθίου Σιδήρου Φωσφορικού άλας.

5. Οξειδία του Λιθίου Νικελίου Κοβαλτίου Αλουμινίου (Lithium Nickel Cobalt Aluminium Oxide – LiNiCoAlO_2)

Ειδική Ενέργεια	Κύκλος Ζωής	Τάση	Χρονολογία
200 – 260 Wh/kg	500	3.6 V	>1999

Η υψηλή ειδική ισχύ και ενέργεια, σε συνδυασμό με τις πολύ καλές αποδόσεις τις, την καθιστούν κατάλληλη για εφαρμογές ηλεκτροκίνησης. Οι μπαταρίες των ηλεκτρικών μοντέλων της Tesla χρησιμοποιούν μπαταρίες LiNiCoAlO_2 .

Πίνακας 6 Κυριότερα χαρακτηριστικά μπαταρίας Οξειδία του Λιθίου Νικελίου Κοβαλτίου Αλουμινίου.

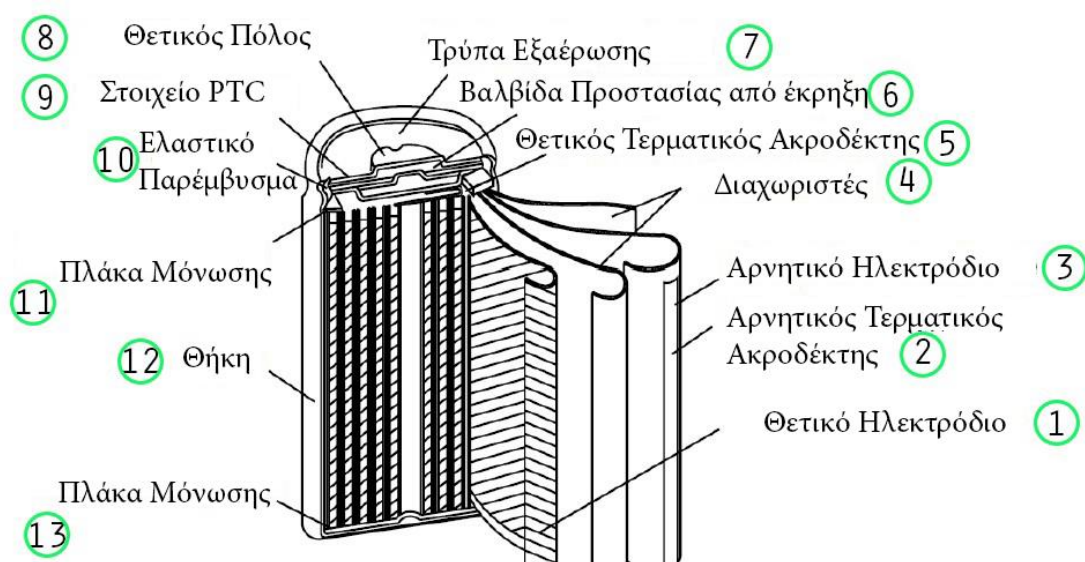
6. Λιθίου Τιτανίτη (Lithium Titanate – $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$)

Ειδική Ενέργεια	Κύκλους Ζωής	Τάση	Χρονολογία
50 - 80 Wh/kg	3000 – 7000	2.4 V	>2008
Αποτελεί την πιο κατάλληλη λύση για εφαρμογές που απαιτούν χαμηλό κόστος και υψηλό συντελεστή ασφάλειας. Οι μπαταρίες $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ χαρακτηρίζονται ως οι ασφαλέστερες μπαταρίες με ύψιστη διάρκεια ζωής. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε μικρά ηλεκτρικά αυτοκίνητα, όπως το Mitsubishi Mi-ev και Honda Fit.			

Πίνακας 7 Κυριότερα χαρακτηριστικά μπαταρίας Λιθίου Τιτανίτη.

3.3 Περιγραφή Μπαταριών Ιόντων – Λιθίου Τύπου 18650

Από την δεκαετία του 90, όπου η εταιρεία SONY έβγαλε στην αγορά τις πρώτες μπαταρίες Ιόντων Λιθίου, μέχρι και σήμερα κυρίαρχη αποτελεί αυτή κατηγορία δευτερευουσών μπαταριών, καθώς υπερισχύουν των προηγούμενων σε αρκετούς τομείς. Πιο συγκεκριμένα κατέχουν υψηλότερη ειδική ενέργεια και ισχύ κάτι που προσδίδει αυτονομία και μεγαλύτερη ισχύ. Επίσης η μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και η έλλειψη ανάγκης συντήρησης, την καθιστούν



Εικόνα 3-11 Εσωτερική δομή μπαταρίας τύπου 18650.

πλέον καταλληλότερη όχι μόνο σε ζητήματα ηλεκτροκίνησης αλλά και σε καθημερινά αντικείμενα, όπως κινητά και ηλεκτρονικοί υπολογιστές. Ένας συγκεκριμένος τύπος μπαταρίας, ή καλύτερα συγκεκριμένη γεωμετρία, που πλέον χρησιμοποιείται σε όλες τις φορητές συσκευές είναι ο 18650 όπου οι αριθμοί αντιπροσωπεύουν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά τις

μπαταρίας. Πιο συγκεκριμένα, τα πρώτα δυο νούμερα έχουν να κάνουν με την διάμετρο της μπαταρίας ενώ τα τρία τελευταία με το ύψος αυτής. Αποτελεί την πιο περίφημη γεωμετρία μπαταριών διότι βρίσκεται στις περισσότερες φορητές συσκευές και ηλεκτροκίνητα οχήματα. Παρακάτω βρίσκεται μια αναλυτική ανασκόπηση τις εσωτερικής γεωμετρίας ενός 18650 κελιού.

Το κελί εσωτερικά αποτελείται από τέσσερις στρώσεις

1. **Θετικό Ηλεκτρόδιο** : Το θετικό ηλεκτρόδιο ή αλλιώς κάθοδος είναι ένας συνδυασμός χημικών στοιχείων, τοποθετημένα πάνω σε ένα πολύ λεπτό φύλλο αλουμινίου. Οι χημικές συστάσεις που χρησιμοποιούνται είναι διάφορες και ποικίλουν ανά τύπο μπαταρίας και κατασκευαστή, καθώς και προσδιορίζουν τα χαρακτηριστικά, όπως και τις ιδιότητες κάθε μπαταρίας.
2. **Αρνητικός Τερματικός Ακροδέκτης** : Ο συγκεκριμένος ακροδέκτης είναι υπεύθυνος για την ένωση του αρνητικού ηλεκτροδίου με τον τερματικό πόλο του κελιού. Οι περισσότερες εταιρίες χρησιμοποιούν την θήκη της μπαταρίας ως αρνητικό πόλο, οπότε συνήθως συναντάται ένα κομμάτι Νικελίου συγκολλημένο με το αρνητικό ηλεκτρόδιο και την θήκη του κελιού.
3. **Αρνητικό Ηλεκτρόδιο** : Το αρνητικό ηλεκτρόδιο ή αλλιώς άνοδος, σε αντίθεση με την κάθοδο, είναι μια μορφή άνθρακα πάνω σε μια στρώση χαλκού.
4. **Διαχωριστές** : Μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων πρέπει να παρεμβάλλεται μια λεπτή στρώση ενός πορώδους πλαστικού, για να απομονώνει τους δύο πόλους, ώστε να μην βραχυκυκλώνουν. Δεν επιτρέπει την διέλευση των ηλεκτρονίων από μέσα του, ενώ ιόντα λιθίου μπορούν να μετακινούνται μεταξύ των ηλεκτροδίων. Πρέπει να είναι ανθεκτικό στον ηλεκτρολύτη που θα εμβαπτίζεται και να είναι αρκετά λεπτό. Το πάχος του είναι της τάξης των 20 μικρομέτρων, ενώ το υλικό που χρησιμοποιείται είναι μια σύνθεση πολυαιθυλενίου και πολυπροπυλενίου.
5. **Θετικός Τερματικός Ακροδέκτης** : Όπως και ο αρνητικός τερματικός ακροδέκτης, ο θετικός ακροδέκτης είναι υπεύθυνος για την σύνδεση του θετικού πόλου, με το θετικό ηλεκτρόδιο. Κράματα αλουμινίου χρησιμοποιούνται ως βασικό υλικό κατασκευής του ακροδέκτη.
6. **Βαλβίδα Προστασίας από Έκρηξη** : Η συγκεκριμένη βαλβίδα προστασίας είναι ένα από τα συστήματα ασφαλείας, που επιβάλλεται να έχουν οι μπαταρίες ιόντων λιθίου και ενεργοποιείται σε περίπτωση ακραίας εκτόνωσης αερίων μέσα στο κελί. Κάτι το οποίο συμβαίνει σε περιπτώσεις λανθασμένης χρήσης του κελιού, όπως ισχυρή εκφόρτιση. Παρεμβάλλεται μεταξύ του θετικού πόλου και του στοιχείου PTC. Η βαλβίδα από κατασκευαστική άποψη αποτελείται από ένα έλασμα, το οποίο σε περίπτωση αύξησης πίεσης στο εσωτερικό του κελιού αποκολλάται από την θέση του, με αποτέλεσμα να απελευθερώνει τα αέρια και να καθιστά την μπαταρία μη λειτουργική. Είναι σύστημα ασφαλείας που πλέον όλες οι εταιρίες επιβάλλεται να εγκαθιστούν στα κελιά τους, καθώς σε συνδυασμό με τα άλλα συστήματα ασφαλείας χαμηλώνουν το ρίσκο εκρήξεων δραστικά.
7. **Τρύπα Εξαέρωσης** : Αποτελεί επίσης ένα σύστημα ασφαλείας, το οποίο είναι σχετικά απλό, αλλά βασικό κομμάτι της πρόληψης κινδύνων. Ο θετικός πόλος επάνω του έχει μερικές τρύπες, οι οποίες σε περίπτωση που η βαλβίδα ενεργοποιηθεί, τα αέρια, τα

οποία εκτονώνονται, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η πίεση εντός του κελιού, να διαφεύγουν στο περιβάλλον μέσα από αυτές τις τρύπες.

8. **Θετικός πόλος** : Είναι ένα κομμάτι ανοξειδωτου ατσαλιού, καθώς πρέπει να είναι ανθεκτικό στην διάβρωση και να έχει υψηλή αντοχή και βρίσκεται στην επάνω πλευρά της μπαταρίας, όπου από εκεί επιτυγχάνεται η σύνδεση της θετικής τάσης στα κυκλώματα. Με μια υπερυψωμένη καμπυλότητα και τρύπες εξαέρωσης θυμίζει το σχήμα μιας απλής αλκαλικής μπαταρίας.
9. **Στοιχείο PTC (Θετικού Συντελεστή Θερμοκρασίας)** : Το στοιχείο PTC, το οποίο είναι ένα θερμίστορ θετικού συντελεστή θερμοκρασίας, ανήκει στην κατηγορία ενεργής ασφάλειας, όπου το ίδιο διακόπτει την λειτουργία του κελιού σε περίπτωση βλάβης. Σε περίπτωση που η θερμοκρασία του κελιού ξεπεράσει μια συγκεκριμένη τιμή, η αντίσταση του στοιχείου ανεβαίνει σε πολύ υψηλά επίπεδα, με αποτέλεσμα να πέφτει η ένταση του ρεύματος που εξέρχεται ή εισέρχεται στο κελί.
10. **Ελαστικό παρέμβυσμα** : Καθώς η θήκη της μπαταρίας χρησιμοποιείται ως ο αρνητικός πόλος, πρέπει να παρεμβάλλεται ένα μονωτικό υλικό μεταξύ του θετικού πόλου και της θήκης. Το εξάρτημα αυτό είναι μια τσιμούχα, η οποία τοποθετείται στο τέλος της παραγωγής του κελιού, με την βοήθεια πρέσας.
11. **Πλάκα Μόνωσης** : Η πλάκα μόνωσης είναι μια λεπτή στρώση πλαστικού τοποθετημένη στην επάνω και κάτω πλευρά των επάλληλων στρώσεων ηλεκτροδίου. Μονώνει και τις δυο πλευρές από την θήκη, καθώς και τους πόλους.
12. **Θήκη** : Για να καλυφθούν και να έχουν μια σταθερότητα όλα τα υλικά που αποτελούν το κελί, πρέπει να υπάρχει ένα είδος θήκης που να τα εμπεριέχει όλα. Στην συγκεκριμένη περίπτωση επειδή η θήκη λειτουργεί και ως αρνητικός πόλος, εκτός από μεγάλη αντοχή για την προστασία του κελιού πρέπει να έχει καλή αγωγιμότητα. Ανοξειδωτο ατσάλι και κάποιες φορές νικέλιο χρησιμοποιούνται για την κατασκευή της θήκης.

Προφανώς και η ύπαρξη ενός ηλεκτρολύτη μέσα στο κελί είναι απαραίτητη καθώς επιτρέπει την κίνηση ιόντων μεταξύ της ανόδου και της καθόδου. Συχνή είναι η χρήση αλάτων λιθίου σε ένα οργανικό μίγμα. Συγκεκριμένα η μπαταρία μας περιέχει εξαφθοροφωσφορικό λίθιο ως άλας και ανθρακικό αιθυλένιο με ανθρακικό διαιθύλιο ως διαλύτες.

Η πράσινη εξωτερική επένδυση εκτός της μονωτικής δράσης της προστατεύει την μπαταρία από την διάβρωση και καταστροφή της. Επίσης χρησιμεύει ως χώρος επιγραφής του μοντέλου και των χαρακτηριστικών.

4. Σχεδίαση και Κατασκευή Ηλεκτρικού Ποδηλάτου

4.1 Εισαγωγή

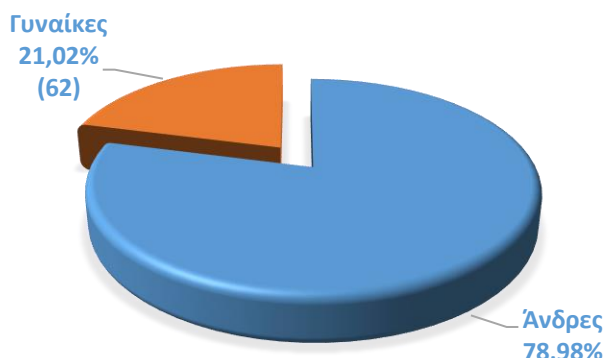
Στο προηγούμενο κεφάλαιο παρατέθηκε το απαραίτητο θεωρητικό υπόβαθρο της τεχνολογίας ενός Ηλεκτρικά Υποβοηθούμενου Ποδηλάτου, ενώ στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αναφορά στην μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την υλοποίηση αυτού. Η οργάνωση του κεφαλαίου και ο διαχωρισμός των ενοτήτων πραγματοποιήθηκε με βάση την αρχιτεκτονική δομή του Ηλεκτρικού Ποδηλάτου που θα αναλυθεί παρακάτω. Θα ακολουθήσει η διαδικασία επιλογής και κατασκευής του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας και κίνησης και τέλος μια παρουσίαση του τελικού αποτελέσματος με ένα ενδεικτικό κοστολόγιο.

Παρότι η νομοθεσία οριοθετεί αρκετά τα τεχνικά χαρακτηριστικά του ποδηλάτου δημιουργήθηκε αρχικά ένα ερωτηματολόγιο επικεντρωμένο στις προτιμήσεις των αναβατών. Η ανάλυση και μελέτη των αποτελεσμάτων που συγκεντρώθηκαν αποτέλεσαν βάση στις σχεδιαστικές τροποποιήσεις του ποδηλάτου.

4.2 Ερωτηματολόγιο

Η επιλογή του ποδηλάτου για την μετατροπή του σε ηλεκτρικά υποβοηθούμενο δεν ήταν και πολύ εύκολη, καθώς στόχο αποτελεί η κατασκευή ενός 'προϊόντος' που θα τηρεί όλες τις υπάρχουσες νομοθεσίες και θα καλύπτει τις ανάγκες του αναβάτη. Επακόλουθο ήταν η εύρεση τις αντίστοιχης νομοθεσίας και η δημιουργία ενός ερωτηματολογίου μέσω του οποίου συλλέγονται οι προτιμήσεις των ποδηλατών. Το κομμάτι της νομοθεσίας ήταν απλό καθώς, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, δεν υπάρχει κάποια απαγόρευση στον τύπο του ποδηλάτου ούτε στο πλήθος των τροχών. Ειδικότερα, αναφέρεται στο κεφάλαιο Α' και άρθρο 2 του Κ.Ο.Κ. ο ορισμός του ποδηλάτου ως «ένα όχημα με τουλάχιστον δυο τροχούς...». Εφόσον η νομοθεσία δεν περιορίζει το σχήμα και τον τύπο του ποδηλάτου η επιλογή του προήλθε καθαρά μόνο από τις απαντήσεις του ερωτηματολογίου.

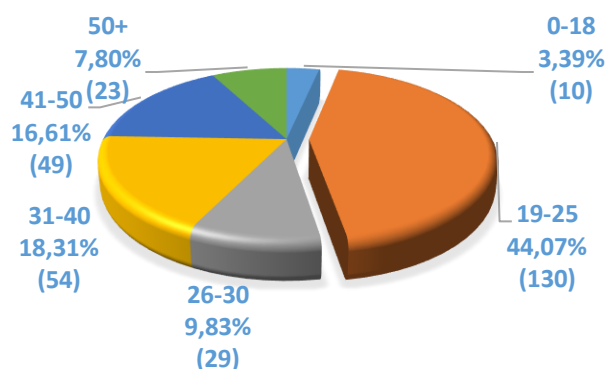
Το ερωτηματολόγιο με τίτλο «Έρευνα αγοράς ηλεκτρικού ποδηλάτου» δημοσιεύθηκε στα μέσα κοινωνικής δικτύωσης και σε ιστοσελίδες ποδηλατικού ενδιαφέροντος, εκ των οποίων η μια ήταν ιστοσελίδα ποδηλατικού περιοδικού. Η δημιουργία του έγινε μέσω της



Εικόνα 4-1 Διαμόρφωση γένους στο ερωτηματολόγιο.

πλατφόρμας (Google Forms). Οι απαντήσεις που αντλήθηκαν από το ερωτηματολόγιο ήταν κυρίως από φοιτητές του τμήματος Μηχανολόγων Οχημάτων και καθημερινούς ποδηλάτες. Βέβαια, η ανάλυση των αποτελεσμάτων έδειξε ότι το ερωτηματολόγιο απαντήθηκε και από πολλά άτομα που δεν είχαν ουδεμία σχέση με το ποδήλατο. Απλές ερωτήσεις σχετικά με το φύλο, την ηλικιακή κατηγορία και τον τόπο διαμονής τοποθετήθηκαν στην αρχή του ερωτηματολογίου για την καλύτερη αξιολόγηση και σύγκριση των αποτελεσμάτων. Προς έκπληξη μας, ενώ περιμέναμε να έχουμε απαντήσεις μόνο από τη Θεσσαλονίκη, οι συμμετέχοντες στο ερωτηματολόγιο προέρχονταν από διάφορες περιοχές της Ελλάδας. Στη συνέχεια, προσθέσαμε ερωτήσεις που προσδιόριζαν την συχνότητα και την εμπειρία του χρήστη σε συνδυασμό με ερωτήσεις για τους λόγους που χρησιμοποιούν το ποδήλατο. Καθώς επίσης σημαντικό ερώτημα που θεωρήσαμε ότι πρέπει να συμπεριληφθεί στο ερωτηματολόγιο ήταν οι λόγοι που δεν χρησιμοποιούν οι ερωτηθέντες το ποδήλατο ως μεταφορικό μέσο και το αντίστροφο. Οι ερωτήσεις ζωτικής σημασίας για εμάς είχαν να κάνουν με τον τύπο του ποδηλάτου που θα προτιμούσαν οι συμμετέχοντες, συμβατικό ή ηλεκτρικό και συνοδεύονταν από εικόνες για την εξασφάλιση ορθού αποτελέσματος. Μέσα σε αυτούς του τύπους ήταν οι τρεις μεγάλες και πιο διαδεδομένες κατηγορίες ποδηλάτων : δρόμου, χώματος και αναδιπλούμενο πόλης. Σε συνδυασμό με ερωτήσεις σχετικά με την τιμή, το μέγεθος των τροχών και μερικές που αφορούν το ηλεκτρικό ποδήλατο, μας έδωσε μια ολοκληρωμένη εικόνα σχετικά με τις προτιμήσεις των αναβατών. Στο ερωτηματολόγιο συμμετείχαν περίπου 300 άτομα διαφόρων ηλικιών και φύλου.

Μετά από ανάλυση των αποτελεσμάτων αποκτήσαμε τα αποτελέσματα της έρευνας, η οποία πήρε τις περισσότερες απαντήσεις μέσα σε ένα τρίμηνο, ενώ ακόμα και μετά από ένα χρόνο σποραδικά χρήστες συμπλήρωναν το ερωτηματολόγιο. Η λίστα που εξάγεται αυτομάτως από την Google Forms είναι ένας πίνακας που έχει ως κεφαλίδες τις ερωτήσεις που τοποθετήσαμε στο ερωτηματολόγιο, ενώ στις γραμμές με χρονολογική σειρά είναι τοποθετημένες οι απαντήσεις. Στην αρχή, η επεξεργασία των απαντήσεων έγινε συνολικά, ενώ σε επόμενο στάδιο σε επίπεδο φύλου, ηλικίας και συχνότητα χρήσης ποδηλάτου. Τα σημαντικότερα αποτελέσματα που θεωρήσαμε απαραίτητα να παρουσιαστούν και να αναλυθούν είναι τα ακόλουθα. Από τους 296 συμμετέχοντες οι 233 (79%) είναι άντρες ενώ οι υπόλοιποι 62 (21%) είναι γυναίκες. Ένα ανδροκρατούμενο ποσοστό που οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι απαντήθηκε από φοιτητές του τμήματος μας (Μηχανολόγων Οχημάτων). Επίσης ένα μεγάλο ποσοστό των ανδρών προέρχεται και από τους αναγνώστες των ιστοσελίδων που δημοσιεύτηκε το ερωτηματολόγιο. Στο σύνολο το φύλο δεν επηρεάζει καθόλου την επιλογή μας για τον τύπο του



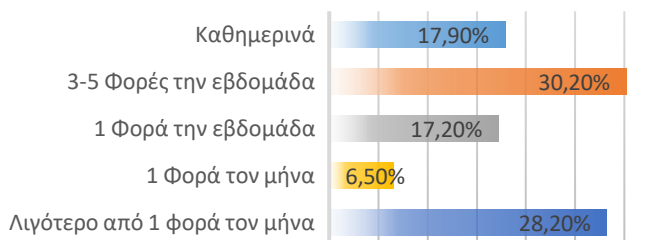
Εικόνα 4-2 Ηλικιακή διαμόρφωση ερωτηματολογίου.

ποδηλάτου, αλλά μπορούμε αναλύοντας τις απαντήσεις κάθε φύλου ξεχωριστά, να κατανοήσουμε τις απαιτήσεις και τις διαφορετικές απόψεις των δυο πλευρών. Οι ηλικίες και των δύο φύλων φανερώνουν, όπως και στο προηγούμενο διάγραμμα την προέλευση των απαντήσεων που είναι από την σχολή, καθώς η ηλικία σχεδόν όλων των φοιτητών κυμαίνεται μεταξύ 19 και 25 ετών. Επίσης εντυπωσιακό θα μπορούσαμε

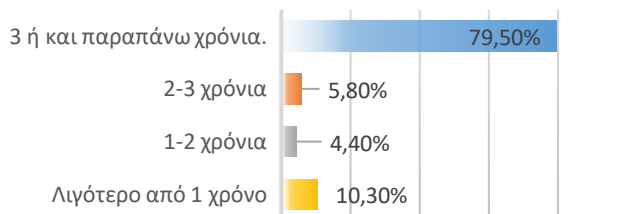
να πούμε ότι είναι η συμμετοχή στο ερωτηματολόγιο ατόμων ηλικίας 30 ετών και άνω, καθώς δεν είναι φοιτητές του τμήματος, αλλά πολύ πιθανόν απλοί ποδηλάτες που η γνώμη τους είναι πιο τεκμηριωμένη, καθώς έχουν μεγαλύτερη εμπειρία στη ποδηλασία. Τα αποτελέσματα που πήραμε από την ερώτηση «Θα προτιμούσατε ένα ηλεκτρικό ποδήλατο αντί για συμβατικό;», ήταν λίγο απογοητευτικά διότι το 53.2% (156) απάντησαν Ναι ενώ το 46.8% Όχι. Το σχόλιο μας προέρχεται από το γεγονός ότι περιμέναμε το ποσοστό των ατόμων που προτιμούν το ηλεκτρικό ποδήλατο να είναι υψηλότερο, όμως η ερώτηση δεν ήταν πλήρως τεκμηριωμένη, καθώς μετά από αναζήτηση στα ελεύθερα σχόλια των συμμετεχόντων παρατηρήσαμε ότι οι περισσότεροι δεν ήταν απομακρυσμένοι από το ηλεκτρικό ποδήλατο απλά θεωρούν ότι αλλάζει η φύση του οχήματος, καθώς το έχουν ως μέσο εκγύμνασης και χόμπι. Αυτό επίσης επαληθεύεται από το ποσοστό των ατόμων που απάντησαν στην ερώτηση «Χρησιμοποιείτε το ποδήλατο ως:» που είναι κοντά στο 80% με επιλογή το Hobby/Αθλητισμό. Επίσης απογοητευτικές είναι και οι απαντήσεις από την προτίμηση τους για ηλεκτρικό ποδήλατο έναντι μιας μοτοσυκλέτας. Το 65% των ανθρώπων θα προτιμούσαν να αγοράσουν μηχανή, παραβλέποντας την επιβάρυνση στο περιβάλλον από την χρήση της, θεωρώντας αδύναμο χαρακτηριστικό την αυτονομία ενός ηλεκτρικού ποδηλάτου. Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα βοήθησαν αρκετά στην επιλογή της χωρητικότητας της μπαταρίας, που θα αναλυθεί στα επόμενα κεφάλαια. Η συχνότητα και τα χρόνια χρήσης ποδηλάτου ήταν επίσης σημαντικά για το ερωτηματολόγιο, διότι οι απαντήσεις προέρχονται από άτομα που έχουν εμπειρία στο χώρο του ποδηλάτου και έχουν εξοικειωθεί με το χειρισμό του.

Τα αποτελέσματα στις ερωτήσεις πόσο συχνά χρησιμοποιείτε το ποδήλατο και πόσα χρόνια φαίνεται στα διπλανά διαγράμματα. Με μια γρήγορη ματιά, μπορεί κανείς να καταλάβει

ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΠΟΔΗΛΑΤΟΥ



ΕΜΠΕΙΡΙΑ ΧΡΗΣΗΣ ΠΟΔΗΛΑΤΟΥ

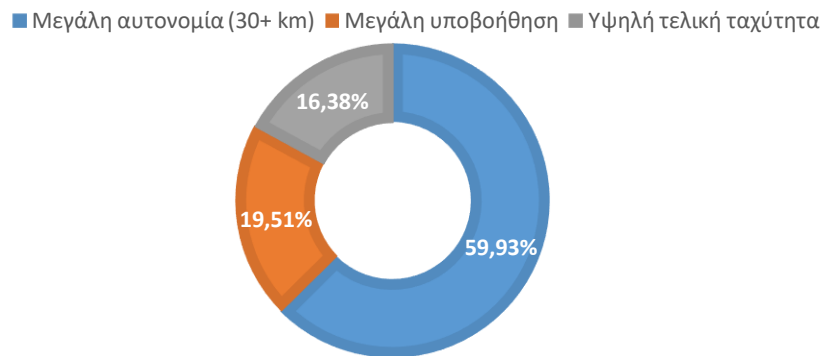


Εικόνα 4-3 Συχνότητα και εμπειρία χρήσης ποδηλάτου.

ότι οι συμμετέχοντες στο ερωτηματολόγιο χρησιμοποιούν αρκετά συχνά το ποδήλατο, ενώ οι περισσότεροι έχουν αρκετά χρόνια εμπειρίας. Κυριότερη πληροφορία είναι ξεκάθαρα η συχνότητα χρήσης, μέσω της οποίας μπορούμε να παρατηρήσουμε αν οι απαντήσεις των συμμετεχόντων βασίζονται σε καθημερινές εμπειρίες και περιστάσεις που βρίσκονται αντιμέτωποι. Το ποσοστό των ατόμων που χρησιμοποιούν το ποδήλατο σε πολύ συχνή βάση είναι στο 48.10%, σχεδόν οι μισοί, κάτι που αποδεικνύει ότι υπάρχει κάποιο ποσοστό ανθρώπων στην χώρα μου που χρησιμοποιούν το ποδήλατο αρκετά συχνά. Οι λόγοι για τους οποίους οι συμμετέχοντες δεν χρησιμοποιούν συχνά ποδήλατο δεν ήταν δυνατόν να παρουσιαστούν σε διαγράμματα, καθώς οι απαντήσεις

περιέχουν και ελεύθερα σχόλια. Ύστερα από ανάλυση των απαντήσεων, οι κυριότεροι λόγοι είναι οι καιρικές συνθήκες και η επικινδυνότητα δρόμων. Δυο από τα μεγαλύτερα προβλήματα που αντιμετωπίζει το ποδήλατο με το πρώτο να είναι αμετάβλητο, λόγω της φύσης του ποδηλάτου που είναι να αφήνει τον αναβάτη εκτεθειμένο στις καιρικές συνθήκες και το δεύτερο να είναι πρόβλημα αλληλένδετο με την κοινωνία, δηλαδή η οδηγική παιδεία και ο σεβασμός στον δρόμο, κάτι που κυρίως στην χώρα μας είναι ανύπαρκτο, και αποτελεί μείζων πρόβλημα για κάθε αναβάτη. Άλλοι λόγοι που αξίζει να αναφερθούν είναι η σωματική κόπωση, που είναι λίγο αντίθετο με την ιδιότητα του ποδηλάτου, η έλλειψη άνεσης και οι μεγάλες αποστάσεις. Έπειτα στην ερώτηση «για ποιο λόγο χρησιμοποιείται το ποδήλατο», η οικολογική ευαισθησία, η οικονομία και η γυμναστική, ήταν από τις κυριότερες απαντήσεις που συλλέχθηκαν από το ερωτηματολόγιο. Οι συμμετέχοντες θεωρούν ότι σημαντικότερο χαρακτηριστικό ενός ποδηλάτου είναι η ποιότητα κατασκευής, ενώ δεν δίνουν μεγάλη σημασία στην εταιρία κατασκευής και στην εμφάνιση. Ως εισαγωγική ερώτηση στην πιο καιρία για εμάς κατηγορία ερωτήσεων, σχετικά με τον ηλεκτρικό ποδήλατο, είναι το χαρακτηριστικό που θα επιθυμούσαν οι ίδιοι σε ένα ηλεκτρικά

υποβοηθούμενο ποδήλατο. Τα αποτελέσματα ήταν σαφή, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα. Το 60% των αποτελεσμάτων δείχνουν ότι οι συμμετέχοντες προτιμούν μεγάλη αυτονομία ενώ ένα ποσοστό 20% την μεγάλη υποβοήθηση. Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα, όπως και η προηγούμενη ερώτηση αποτέλεσε καθοριστικό ρόλο στην επιλογή της μπαταρίας μας. Το άθροισμα των ποσοστών στο διάγραμμα δεν είναι 100 τοις εκατό, καθώς ένα ποσοστό του 5 τοις εκατό ήταν ελεύθερα σχόλια και παραλήφθηκαν από το τελικό γράφημα για ευνόητους λόγους.



Εικόνα 4-4 Προτιμήσεις ερωτηθέντων στα χαρακτηριστικά του ηλεκτρικού ποδηλάτου.

Η επιλογή του ποδηλάτου και ο λόγος δημιουργίας του ερωτηματολογίου προήλθαν από τις δυο ερωτήσεις που ακολουθούν, των οποίων οι απαντήσεις καθόρισαν τον τύπο και σχεδιασμό του ηλεκτρικού ποδηλάτου μας. Η πρώτη ερώτηση, με την οποία ήρθαν αντιμέτωποι οι συμμετέχοντες, ήταν το είδος ποδηλάτου που θα προτιμούσαν. Ακολουθούν φωτογραφίες από τις οποίες επέλεξαν το είδος του ποδηλάτου και το σχετικό γράφημα με τα αποτελέσματα.



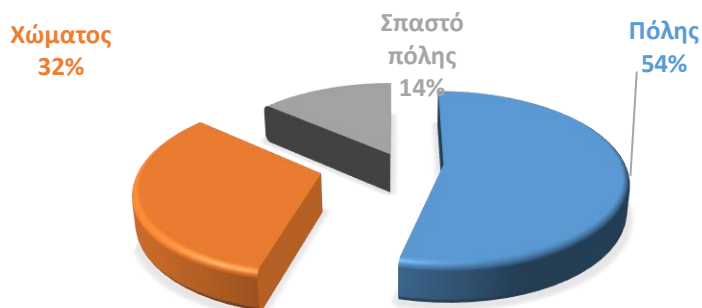
Εικόνα 4-7 Ποδήλατο χώματος.



Εικόνα 4-6 Ποδήλατο σπαστό-πόλης.

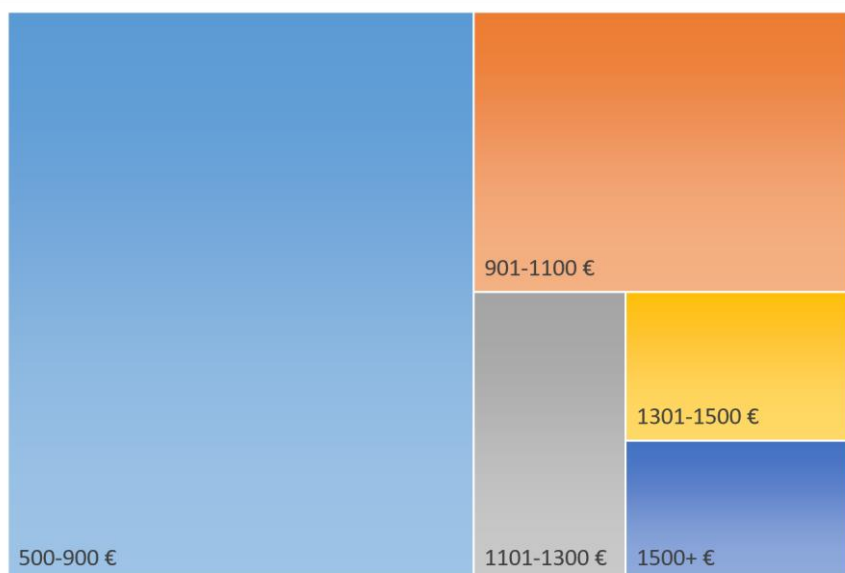


Εικόνα 4-5 Ποδήλατο δρόμου.



Εικόνα 4-8 Προτιμήσεις αναβατών στον τύπο ποδηλάτου.

Τα 157 άτομα από τα 291 επέλεξαν το ποδήλατο δρόμου, κάτι απολύτως φυσιολογικό, καθώς είναι το σχήμα και ο τύπος που γνωρίζουν όλοι και σίγουρα έχουν χρησιμοποιήσει τέτοιο είδος ποδηλάτου, τουλάχιστον μια φορά στην ζωή τους. Είναι δεδομένο ότι αυτόν τον



Εικόνα 4-9 Προτεινόμενη τιμή αγοράς Ηλεκτρικού Ποδηλάτου.

τύπο ποδηλάτου τον συναντάμε πολύ συχνά στον δρόμο, διότι η παραγωγή του πραγματοποιείται τόσο από μικρές εταιρίες, όσο και από μεγάλες κατασκευαστικές εταιρίες, κολοσσούς. Στη δεύτερη θέση είναι το ποδήλατο χώματος για πιο εξειδικευμένη χρήση και τελευταίο με μόλις 14% το σπαστό πόλης. Ενώ το σπαστό

ποδήλατο πόλης θα έπρεπε θεωρητικά να κατέχει υψηλότερη θέση στα αποτελέσματα, κατέχει την τελευταία με μικρό ποσοστό, κάτι που δείχνει ότι οι Έλληνες δεν έχουν εξοικειωθεί τελείως με τα συγκεκριμένα ποδήλατα, ενώ είναι μια πολύ καλή λύση για τις μεγάλες πόλεις, όπως η Θεσσαλονίκη. Η επιλογή του ποδηλάτου πόλης ήταν και αναμενόμενη, λόγω της

ευελιξίας του ποδηλάτου με σκελετό τύπου διαμάντι. Είναι αρκετά δημοφιλές, όχι μόνο στη χώρα μας, αλλά και σε αρκετές άλλες ευρωπαϊκές χώρες. Είναι όμοιο του ποδηλάτου χώματος, έχει λεπτότερες ρόδες, έτσι ώστε να μειώνεται η τριβή κύλισης και να γίνεται πιο άνετο μέσο μετακίνησης. Υπάρχουν γυναικεία και αντρικά ποδήλατα, με την επιλογή μπροστινής ανάρτησης για χρήση ακόμα και σε ήπιους χωματόδρομους. Επιπλέον είναι επίσης κατάλληλο για όλες τις ηλικίες. Σαφώς τα αποτελέσματα του ερωτηματολογίου εξακριβώνουν την διασημότητα του ποδηλάτου πόλης και βοηθάνε να καταλήξουμε στην επιλογή του ποδηλάτου. Η εύρεση του συγκεκριμένου τύπου ποδηλάτου είναι ευκολότερη από τους υπόλοιπους, ενώ το κόστος αγοράς είναι μικρότερο, λόγω της πληθώρας του είδους αυτού στην αγορά. Κάτι που επίσης θεωρείται σαν ζητούμενο από την εργασία αυτή είναι και η ελαχιστοποίηση του κόστους, χωρίς όμως να στερηθεί το ποδήλατο από κάποιο ζωτικό χαρακτηριστικό. Φυσικά αυτό δεν σημαίνει ότι χρησιμοποιήθηκαν εξαρτήματα και υλικά χαμηλής ποιότητας. Στο διπλανό διάγραμμα φαίνονται και οι προτιμήσεις των ερωτηθέντων σχετικά με την τιμή ενός ηλεκτρικού ποδηλάτου. Η πλειοψηφία, όπως φαίνεται επέλεξε την χαμηλότερη κατηγορία σε τιμή, κάτι που δείχνει ότι οι συμμετέχοντες δεν είναι πρόθυμοι να πληρώσουν πολλά χρήματα για να αγοράσουν ένα ηλεκτρικό ποδήλατο. Το φάσμα των 500-900 ευρώ που επέλεξαν είναι αρκετά χαμηλότερο από αυτό του μέσου όρου αξίας ενός ηλεκτρικού ποδηλάτου. Παραδείγματος χάριν στην Αμερική ο μέσος όρος της τιμής αγοράς ενός ηλεκτρικού ποδηλάτου κυμαίνεται από 1000 έως 3000 ευρώ, ενώ πιο ακριβά μοντέλα μπορεί να φτάσουν έως και τα 5000 ευρώ. Έτσι επιλέχθηκε, όπως θα αναλυθεί αργότερα, η αγορά εξαρτημάτων στην χαμηλότερη τιμή της αγοράς, ώστε το τελικό κόστος της κατασκευής να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στο φάσμα των 500-900 ευρώ. Η επιλογή του σκελετού έγινε με βάση την απάντηση που έδωσαν οι συμμετέχοντες στη δεύτερη ερώτηση, η οποία αναφέρεται στο είδος ηλεκτρικού ποδηλάτου που θα προτιμούσαν. Ακολουθούν οι φωτογραφίες του ερωτηματολογίου και το διάγραμμα με τα αποτελέσματα.



Εικόνα 4-10 Απλό Ηλ. Ποδήλατο No.1



Εικόνα 4-11 Ηλεκτρικό ποδήλατο χώματος No.2

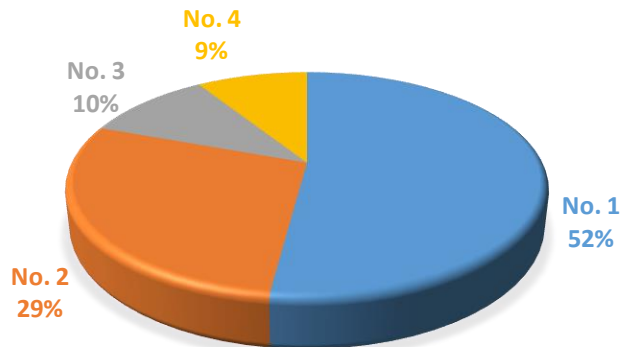


Εικόνα 4-12 Cruiser τύπος ποδηλάτου No.3



Εικόνα 4-13 Σπαστό ηλεκτρικό ποδήλατο No.4

ΕΙΔΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΠΟΔΗΛΑΤΟΥ



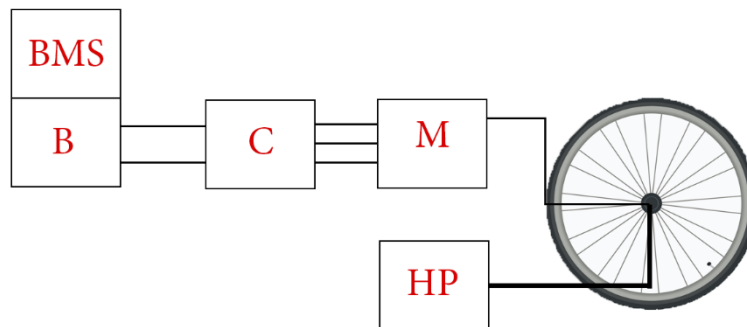
Εικόνα 4-14 Προτιμήσεις αναβατών στο είδος του ηλεκτρικού ποδηλάτου.

Η συγκεκριμένη ερώτηση είχε ως σκοπό, να γίνει δυνατή η τελική επιλογή του είδους εμφάνισης με κριτήριο τις προτιμήσεις που έχουν από το ηλεκτρικό ποδήλατο που θα αγόραζαν οι ίδιοι. Από τα αποτελέσματα μπορεί να παρατηρηθεί, ότι όπως και στην προηγούμενη ερώτηση, που είχε να κάνει με το είδος του ποδηλάτου που επιθυμούν, οι ερωτηθέντες προτιμούν τον κλασικό σκελετό, σε αντίθεση με έναν πιο περίπλοκο και μοντέρνο στο σχεδιασμό. Η πρώτη επιλογή είδους ηλεκτρικού ποδηλάτου, που τυχαίνει να είναι και το No. 1, των συμμετεχόντων είναι ένα απλό ποδήλατο πόλης, στο οποίο η μπαταρία και ο κινητήρας είναι σχετικά κρυμμένα, χωρίς εμφανείς αλλαγές στο σκελετό. Παρόλο που οι υπόλοιπες εκδοχές έχουν σχετικά ομορφότερο σχεδιασμό και μεγαλύτερο χώρο για αναβάθμιση των ηλεκτρονικών (π.χ. μεγαλύτερες μπαταρίες) το προτιμούν οι περισσότεροι, καθώς δεν αλλοιώνεται η κλασική εμφάνιση του ποδηλάτου, ενώ με ελάχιστες παρεμβολές στον σκελετό, δεν αλλάζει και η οδηγική συμπεριφορά τού.

4.3 Γενική Περιγραφή της Δομής

Το ηλεκτρικό ποδήλατο αποτελεί το απλούστερο και νεότερο παράδειγμα υβριδικού οχήματος στην εποχή μας. Τα υβριδικά συστήματα οχημάτων περιέχουν αρκετές κατηγορίες με διάφορες διατάξεις. Τα ηλεκτρικά ποδήλατα κατατάσσονται στα υβριδικά με παράλληλη σύζευξη, όπου μία μηχανή εσωτερικής καύσης και ένας ηλεκτροκινητήρας μπορούν αυτόνομα να μεταφέρουν κίνηση στους τροχούς. Στην περίπτωση μας προφανώς η Μ.Ε.Κ. αντιπροσωπεύεται από την ανθρώπινη δύναμη. Ο αναβάτης έχει την δυνατότητα να οδηγεί το ποδήλατο με μυϊκή δύναμη, όπως τα συμβατικά, είτε με την βοήθεια του ηλεκτροκινητήρα ή με συνδυασμό και των δύο. Λόγω της αλυσίδας και της τοποθεσίας του κινητήρα εσωτερικά του πίσω τροχού, οι ταχύτητες του κινητήρα και του πεντάλ είναι ίδιες, ενώ η ροπή πολλαπλασιάζεται. Λόγω αυτής της σύζευξης προτιμάται η τοποθέτηση ηλεκτρικού κινητήρα στο ποδήλατο καθώς αυξάνει την ροπή που δίνει ο αναβάτης υποβοηθώντας τον σε δυσμενείς συνθήκες.

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική δομή του ηλεκτρικού ποδηλάτου με τα βασικά εξαρτήματα κίνησής του. Είναι καλύτερα κατανοητή και η παράλληλη διάταξη του οχήματος.



Εικόνα 4-15 Αρχιτεκτονική δομή ηλεκτρικού ποδηλάτου.

Διάταξη

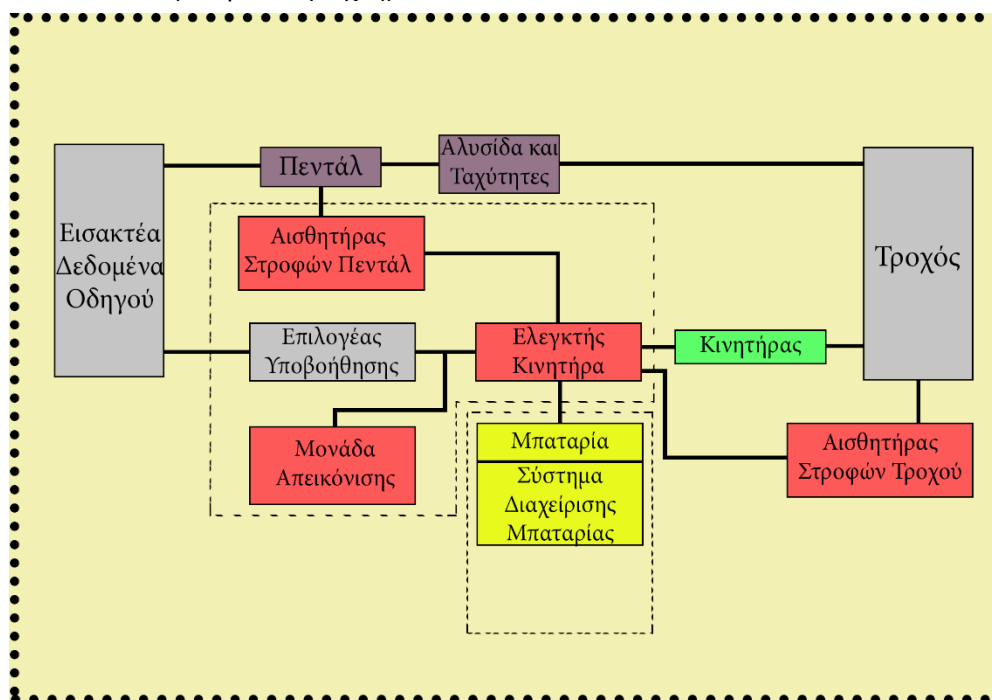
B: Battery (Μπαταρία)

BMS: Battery Management System (Σύστημα Διαχείρισης Μπαταρίας)

C: Controller (Ελεγκτής Κινητήρα)

M: Motor (Κινητήρας)

HP: Human Power (Ανθρώπινη Ισχύς)



Εικόνα 4-16 Σχηματικό διάγραμμα ηλεκτρικού ποδηλάτου.

Από το παραπάνω σχηματικό διάγραμμα είναι προφανής ο τρόπος με τον οποίο ο αναβάτης μπορεί να ελέγξει την κίνηση στους τροχούς. Επίσης εμφανίζονται οι βασικοί αισθητήρες που απαρτίζουν το σύστημα του ελεγκτή κινητήρα το οποίο είναι και υπεύθυνο να

επεξεργάζεται τις επιλογές του οδηγού και τις συνθήκες κίνησης του ποδηλάτου. Μέσω της μονάδας απεικόνισης εμφανίζονται στον οδηγό διάφορες πληροφορίες για το ποδήλατο.

4.4 Σχεδίαση και υλοποίηση του ποδηλάτου

4.4.1 Μπαταρία

Η επιλογή των μπαταριών Ιόντων - Λιθίου ξεκάρθαρα έγινε, λόγω των πλεονεκτημάτων που κατέχουν σε σχέση με τα προαναφερόμενα είδη μπαταριών. Ύστερα από έρευνα αγοράς που πραγματοποιήθηκε σε προμηθευτές από το εσωτερικό και εξωτερικό, επιλέχθηκε μια εταιρεία από το εξωτερικό, που θα μπορούσε να μας προμηθεύσει με μπαταρίες τύπου 18650, σε ιδιαίτερα χαμηλή τιμή. Συγκεκριμένα η εταιρία αυτή είναι η Nkon που εδρεύει στην Ολλανδία. Η εταιρία αυτή διαθέτει μεγάλη ποικιλία μπαταριών σε ελκυστικές τιμές. Εντύπωση προκάλεσε και ο μεγάλος αριθμός εταιριών που εμπορεύονται μπαταρίες τύπου 18650.

Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία η ισχύς του κινητήρα περιορίζεται στα 250 W, πράγμα το οποίο μας οδήγησε σε κινητήρα με την προαναφερθείσα ονομαστική ισχύ. Συγκεκριμένα ο κινητήρας έχει ονομαστική ισχύ 250 Watt και ονομαστική τάση λειτουργίας 36 Volt.

Η τάση λειτουργίας του κινητήρα, δηλαδή τα 36 V, αποτέλεσε και την πρώτη προϋπόθεση την οποία θα έπρεπε να πληροί η μπαταρία. Ένα ακόμη χαρακτηριστικό που έπρεπε να ληφθεί υπόψιν ήταν η χωρητικότητα της μπαταρίας. Εδώ έπρεπε να τεθεί ένας συγκεκριμένος στόχος, για την αυτονομία που θα απαιτούνταν από την μπαταρία. Μετά από αναζήτηση σε άλλες εταιρίες παραγωγής ηλεκτρικών ποδηλάτων βρέθηκε, ότι οι περισσότερες εταιρίες υπόσχονται, σε ακριβότερα μοντέλα, αυτονομία με μέσο όρο 50 χιλιόμετρα. Και έτσι τέθηκε ως στόχος και για το δικό μας ποδήλατο η ίδια αυτονομία και ύστερα από έναν απλό θεωρητικό υπολογισμό βρέθηκε η επιθυμητή χωρητικότητα. Εφόσον πάλι η νομοθεσία θέτει περιορισμό στην ταχύτητα του ποδηλάτου στα 25 χλμ/ώρα, υπολογίσθηκε ότι για αυτή την ταχύτητα και την συγκεκριμένη αυτονομία ο κινητήρας, θα χρειαζόταν να λειτουργεί για δύο ώρες. Χρησιμοποιώντας τον τύπο της ισχύος και εφόσον μας είναι γνωστή η ονομαστική ισχύς και τάση του κινητήρα, υπολογίσθηκε η ένταση που θα καταναλώνει ο κινητήρας.

$$P = V * I \quad \text{Εξίσωση 2}$$

$$I = \frac{P}{V} \Rightarrow I = \frac{250}{36} \cong 7 \text{ A} \quad \text{Εξίσωση 3}$$

$$7\text{A} * 2\text{h} = 14 \text{ Ah} \quad \text{Εξίσωση 4}$$

Απλά αντικαθιστώντας και λύνοντας ως προς την ένταση καταλήγουμε ότι ο κινητήρας θα απαιτεί από την μπαταρία ένταση της τάξης των 7 A. Οπότε για 50 χιλιόμετρα αυτονομίας και 2 ώρες συνεχούς χρήσης, χρειάζεται χωρητικότητα 14 Ah από την μπαταρία όπως φαίνεται στην εξ. 3. Για τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά, όπως ρεύμα εκφόρτισης υπήρξε ελαστικότητα,

καθώς σχεδόν όλες οι μπαταρίες ιόντων-λιθίου μπορούν να αποδώσουν παραπάνω ρεύμα από ότι θα χρειαστεί ο κινητήρας κάτω από οποιοσδήποτε συνθήκες οδήγησης. Εφόσον έχουν υπολογισθεί τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά, που θα πρέπει να πληροί η μπαταρία, επόμενο βήμα αποτελεί η αναζήτηση του σωστού κελιού μπαταρίας που θα καλύπτει τις απαιτήσεις αυτές. Ύστερα από αναζήτηση, το κελί το οποίο επιλέχθηκε, έχει ως κύρια χαρακτηριστικά για τα μεγέθη της ονομαστικής τάσης και ονομαστικής χωρητικότητας του, τα 3.6 V και 2900 mAh αντίστοιχα. Το συγκεκριμένο κελί βρέθηκε ιδιαίτερα χαμηλή τιμή και συγκεκριμένα στα 3.25 ευρώ ανά κελί. Για ποσότητες άνω των 30 τεμαχίων η τιμή καθορίζεται στα 2.75 ευρώ ανά κελί. Για να ικανοποιήσουμε τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά της μπαταρίας, υπολογίζεται από την χωρητικότητα των 14 Ah ως 4.8 μπαταρίες.

$$\frac{14000}{2900} (mAh) = 4.8$$

Εξίσωση 5

Έτσι επιλέγεται να υπάρχουν 5 κελιά μπαταριών συνδεδεμένα παράλληλα σε κάθε μονάδα μπαταρίας. Όσον αφορά την συνολική τάση της μπαταρίας τώρα αφού ζητούμενο είναι η ονομαστική τάση των 36 Volt και το κάθε κελί αποδίδει 3.6 Volt, υπολογίστηκε ότι απαιτούνται 10 κελιά συνδεδεμένα σε σειρά για να επιτευχθεί η ζητούμενη τάση. Οπότε συνολικά χρειάζονται 10 σετ κελιών, συνδεδεμένα σε σειρά, τα οποία θα περιέχουν 5 κελιά μπαταριών συνδεδεμένα παράλληλα, με αποτέλεσμα να χρειάζονται 50 κελιά μπαταριών, για να επιτευχθεί η τάση των 36 Volt και χωρητικότητα 14500 mAh. Τα χαρακτηριστικά του κάθε κελιού παρατίθενται στον επόμενο πίνακα αναλυτικότερα.

Panasonic NCR18650PF	Ιόντων - λιθίου	
Ονομαστική τάση	3.6	V
Εύρος Τάσης λειτουργίας	3.0-4.2	V
Ονομαστική Χωρητικότητα	2900	mAh
Πραγματική Χωρητικότητα	2750-2900	mAh
Ρυθμός Φόρτισης	~0.5	C
Ρυθμός Εκφορτίσης	1	C
Ρυθμός Μέγιστης Συνεχόμενης Εκφόρτισης	3.5	C
Κύκλος Φόρτισης	CC-CV, 1375 mA	4.0 ώρες
Ειδική Ενέργεια (ογκομετρικά)	577	Wh/lt
Ειδική Ενέργεια (βαρυμετρικά)	207	Wh/kg
Βάρος Μέγιστο	48	gr
Θερμοκρασίες		
-Αποθήκευσης	-20 έως +50	°C
-Λειτουργίας	-20 έως +60	°C
-Φόρτισης	0 έως +45	°C
-Για φόρτιση <10 °C Ρυθμός Φόρτισης	0.25	C
Διαστάσεις Υ*Δ Μέγιστες	18.5 * 65.4	mm

Πίνακας 8 Πίνακας χαρακτηριστικών κελιού.

1. Θετικό Ηλεκτρόδιο: Οξείδια του Λιθίου Νικελίου Μαγγανίου Κοβαλτίου. LiNiMnCoO_2

2. **Αρνητικός Τερματικός Ακροδέκτης** : Νικέλιο
3. **Αρνητικό Ηλεκτρόδιο** : Γραφίτης **C** ως επιστροφή στο στρώμα χαλκού.
4. **Διαχωριστές** : Σύνθεση πολυαιθυλενίου και πολυπροπυλενίου στα 19 μm
5. **Θετικός Τερματικός Ακροδέκτης** : Κράμα Αλουμινίου
6. **Βαλβίδα Προστασίας από Έκρηξη** : Έλασμα Αλουμινίου
7. **Τρύπα Εξαέρωσης** : Τέσσερις αντιδιαμετρικές οπές
8. **Θετικός πόλος** : Ανοξείδωτο Ατσάλι
9. **Στοιχείο PTC (Θετικού Συντελεστή Θερμοκρασίας)** :
10. **Ελαστικό παρέμβυσμα** : Καουτσούκ
11. **Πλάκα Μόνωσης** : ABS Πλαστικό
12. **Θήκη** : Ανοξείδωτο Ατσάλι

Η συγκέντρωση σε λίθιο σε αυτές τις μπαταρίες είναι περίπου στα 0.3 γραμμάρια ανά κελί.

Μια από τις καινοτομίες που εμπεριέχουν, τα συγκεκριμένα κελιά της Panasonic, είναι και το HRL (Heat Resistance Layer), δηλαδή ένα σύστημα ασφαλείας της εταιρίας, που αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό σε νεότερες σειρές κελιών, και ονομάζεται μη θερμικά αγωγήμη στρώση. Αποτελείται από μια στρώση ανθεκτική στην θερμοκρασία, η οποία παρεμβάλλεται μεταξύ της ανόδου και του διαχωριστικού φύλλου. Αυτό είναι ένα σύστημα ασφαλείας, που επιτρέπει την δημιουργία μπαταριών με υψηλότερη ειδική ενέργεια, χωρίς το ρίσκο υπερθέρμανσης της μπαταρίας από ένα εσωτερικό βραχυκύκλωμα. Ταυτόχρονα μειώνει τον κίνδυνο ανάφλεξης του κελιού σε περίπτωση βραχυκυκλώματος, αποτρέποντας την ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών μέσα στο κελί.

Για περαιτέρω πληροφορίες και διαγράμματα παρατίθεται, στο τέλος της πτυχιακής, και συγκεκριμένα στον πίνακα δεδομένων, μονοσέλιδο έγγραφο της κατασκευάστριας εταιρίας σχετικά με το συγκεκριμένο κελί. Τα κελιά που επιλέχθηκαν είναι της εταιρίας Panasonic και τύπου 18650. Συγκεκριμένα είναι το μοντέλο NCR18650PF, όπου τα δυο πρώτα δυο γράμματα “NC” δηλώνουν την χημεία της μπαταρίας, για τη συγκεκριμένη περίπτωση Ιόντων - Λιθίου, το επόμενο σε σειρά γράμμα “R” προέρχεται από το αρχικό της αγγλικής λέξης Round, που σημαίνει στρογγυλό και υποδηλώνει την κατηγορία της μπαταρίας, ότι κατατάσσεται δηλαδή στην κατηγορία των κυλινδρικών. Τέλος τα δύο τελευταία γράμματα “PF” αποτελούν χαρακτηριστική κατηγοριοποίηση της εταιρίας όπου για το συγκεκριμένο κελί δηλώνει ότι πρόκειται για μπαταρίες ισχύος “Power Type”.

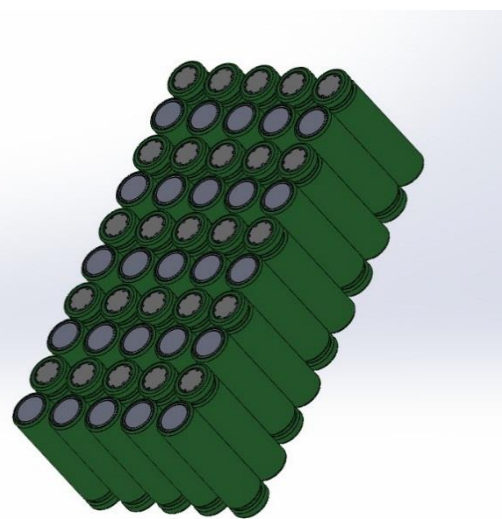


Εικόνα 4-18 Κελί της εταιρίας Panasonic Τύπου 18650.

Για να επιτευχθούν λοιπόν οι ζητούμενες επιδόσεις, έπρεπε να κατασκευασθούν οι αντίστοιχες μονάδες μπαταριών που αναφέρθηκαν νωρίτερα. Θα πρέπει συγκεκριμένα να συνδεθούν μεταξύ τους 5 κελιά παράλληλα, δηλαδή θετικός με θετικό πόλο και αρνητικός με αρνητικό πόλο του επόμενου κελιού. Στο τέλος πρέπει 10 τέτοια πακέτα μπαταριών να συνδεθούν μεταξύ τους σε σειρά. Επόμενο πρόβλημα που έπρεπε να λυθεί, ήταν η διάταξη που θα είχε η μπαταρία. Καθώς υπάρχουν πολλές διάφορες διατάξεις, όπως κυλινδρικές, σφαιρικές και σε διάφορα γεωμετρικά σχήματα, καταλήξαμε σε δύο διατάξεις μεταξύ των άλλων. Είτε σε ορθογώνια είτε σε διαγώνια ευθεία διάταξη.

Μετά από θεωρητικές μετρήσεις που διεξήχθησαν, τελική επιλογή αποτέλεσε αυτή η οποία παρουσιάζεται στην δεξιά εικόνα, καθώς οι τελικές διαστάσεις που θα προέκυπταν από την σύνδεση σύμφωνα με αυτή θα ήταν οι πιο προσιτές. Οι διαστάσεις οι οποίες προκύπτουν αποτελούν την ιδανικότερη επιλογή, για το καλούπι που επρόκειτο να κατασκευαστεί. Τα όρια στις διαστάσεις προέκυψαν μετά από απόφαση, ότι το καλούπι της μπαταρίας θα κατασκευάζονταν σε τρισδιάστατο εκτυπωτή από πλαστικό. Συγκεκριμένα ο εκτυπωτής δεν μπορεί να τυπώσει σχέδια με τελικές διαστάσεις μεγαλύτερες από 200 χιλιοστά μήκος, 200 χιλιοστά πλάτος και 200 χιλιοστά ύψος. Ενώ οι υπόλοιπες διατάξεις ήταν μικρότερες στο πλάτος, αλλά μεγαλύτερες στο ύψος, δεν επέτρεπαν την δημιουργία κατάλληλης θήκης. Εφόσον επιλέχθηκε η διάταξη, με την οποία θα συνδέονταν η μπαταρία, έπρεπε να πραγματοποιηθούν οι κολλήσεις. Τοποθετήθηκαν για αρχή οι μπαταρίες, όπως φαίνεται σε σχήμα φιδιού, έτσι ώστε ένας θετικός πόλος να αντίκρυζε έναν αρνητικό, για να γίνει ευκολότερη η συνδεσμολογία σε σειρά.

Σε επόμενο στάδιο σχεδιάστηκαν και οι δυο διατάξεις στο τρισδιάστατο σχεδιαστικό πρόγραμμα Solid-Works όπου για αρχή σχεδιάστηκε το κελί μεμονωμένα και



Εικόνα 4-17 Τρισδιάστατο σχέδιο μπαταρίας.

Αρχικά, έπρεπε να συγκολληθούν παράλληλα τα πέντε κελιά μεταξύ τους, για να δημιουργήσουν τις δέκα μονάδες μπαταριών. Και σε επόμενο στάδιο οι μονάδες μπαταριών μεταξύ τους σε σειρά, μια προς μια. Οι κολλήσεις γίνανε με ταχεία ψυχρή κόλληση, με κομμάτια Νικελίου για τις ενώσεις. Προετοιμάστηκαν και κόπηκαν στο σωστό μήκος τα φύλλα νικελίου τα οποία έχουν διαστάσεις 8 χιλιοστά πλάτος και 0.1 χιλιοστά πάχος. Τα φύλλα νικελίου που χρησιμοποιήθηκαν περιέχουν κατά 99.96% καθαρό νικέλιο. Οι μονάδες που θα συνδεθούν μεταξύ τους παράλληλα χρειάστηκαν, δυο λωρίδες νικελίου μήκους 10 mm μία για να

συνδεθούν οι θετικοί πόλοι και μία για τους αρνητικούς πόλους. Πρώτα τα πέντε κελιά που επρόκειτο να συγκολληθούν τοποθετήθηκαν σε μια ειδικά διαμορφωμένη θήκη, που κρατάει τις μπαταρίες ευθυγραμμισμένες. Εφόσον τα κελιά είναι τοποθετημένα στην θέση τους και ευθυγραμμισμένα, η συγκόλληση πραγματοποιείται όταν τα δύο ηλεκτρόδια του μηχανήματος συγκόλλησης αγγίζουν το φύλλο νικελίου και πιεστούν επάνω στον πόλο της μπαταρίας. Είναι απαραίτητο ο χειριστής του μηχανήματος να έχει σταθερά χέρια, καθώς θα πρέπει το φύλλο νικελίου να είναι σταθερό στην θέση του μέχρι να ολοκληρωθεί η διαδικασία. Η ψυχρή κόλληση έγινε με δυο παλμούς με τον πρώτο στα 10ms και τον δεύτερο στα 100ms, σε κάθε πόλο μπαταρίας πραγματοποιήθηκαν δύο κολλήσεις για σταθερότητα και καλύτερη σύνδεση του φύλλου με τον πόλο.



Εικόνα 4-19 Η μπαταρία ύστερα από την ψυχρή κόλληση.

Όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.19 χρειάστηκαν 10 κολλήσεις για την ένωση των θετικών πόλων και αντιστοίχως ο ίδιος αριθμός για τον αρνητικό πόλο. Σε κάθε κελί φαίνεται να υπάρχουν τέσσερα βαθουλώματα, αυτό σχετίζεται με το γεγονός ότι δυο ηλεκτρόδια τοποθετούνται επάνω στον πόλο με αποτέλεσμα να βραχυκυκλώνονται επάνω στον πόλο και να πραγματοποιεί η κόλληση. Η συγκεκριμένη τεχνολογία βασίζεται επάνω στην στιγμιαία δημιουργία βραχυκυκλώματος στα ηλεκτρόδια, με αποτέλεσμα να μην αναπτύσσονται υψηλές θερμοκρασίες κατά την κόλληση. Σε αντίθετη περίπτωση, που οι κολλήσεις γίνονταν με κολλητήρι ή με άλλον θερμικό τρόπο, υπάρχει κίνδυνος υπερθέρμανσης της μπαταρίας, με αποτέλεσμα την ελάττωση του κύκλου ζωής του κελιού ή και

την έκρηξη του κελιού. Στη συνέχεια κάθε μονάδα μπαταρίας τοποθετήθηκε σε σειρά και τρία φύλλα νικελίου μήκους 36 χιλιοστών κολλήθηκαν επάνω στον πόλο της μονάδας αντιστοίχα. Μεταξύ κάθε κόλλησης τοποθετήθηκε θερμοκόλλα σιλικόνης για σταθερότητα της μπαταρίας. Δύο φύλλα νικελίου συγκολλήθηκαν στις άκρες του αρνητικού και θετικού πόλου της μπαταρίας, για καλύτερη τοποθέτηση καλωδίων στους πόλους. Αυτό γίνεται για να μπορεί αργότερα να κολληθεί οποιοδήποτε μέγεθος καλωδίου είναι επιθυμητό χωρίς να αυξηθεί η θερμοκρασία επάνω στα κελιά. Η μπαταρία μετά τις κολλήσεις είχε τελικές διαστάσεις 180*90*65 mm (Μ*Π*Υ), ενώ ταινία Karton χρησιμοποιήθηκε για την προστασία από βραχυκύκλωμα και υφασμάτινη προστασία για την γενική στιβαρότητα κατασκευής. Καλώδια με υφασμάτινη περιέλιξη και μεγάλης διαμέτρου μονωτική στρώση πλαστικού επιλέχθηκαν για όλες τις ενώσεις με μεγάλη απαίτηση ισχύος, ενώ μονόκλινα καλώδια για την σύνδεση της κάθε μονάδας με την πλακέτα ελέγχου. Συγκεκριμένα πολύκλινα μαύρα καλώδια χαλκού 14 AWG διαμέτρου 1.6 mm , τα οποία έχουν αντοχή έως 25 A χρησιμοποιήθηκαν στην πρώτη περίπτωση, ενώ απλά μονόκλινα καλώδια χαλκού 22 AWG και διάμετρο 1 mm στην δεύτερη περίπτωση. Οι κολλήσεις έγιναν με κολλητήρι απευθείας στους δυο πόλους της μπαταρίας και αντιστοίχα σε κάθε σημείο που χρειάστηκε επάνω στις μεμονωμένες μονάδες. Οι κολλήσεις επάνω στον

πόλο έγιναν στους 400 βαθμούς κελσίου, για να πραγματοποιηθούν οι ενώσεις μεταξύ καλωδίων και φύλλων νικελίου χωρίς να υπερθερμανθεί σε επικίνδυνο σημείο η μπαταρία μας.

Προφανώς, η χρήση του κολλητηριού κοντά σε τέτοιου είδους χημικά στοιχεία, πρέπει να γίνεται με μεγάλη προσοχή και με την υλοποίηση μερικών απαιτήσεων ασφάλειας. Ένα από αυτά είναι και η χρήση προστατευτικών γαντιών και γυαλιών. Η περιεκτικότητα μόλυβδου στο καλώδιο κολλήσεων, που χρησιμοποιούμε στις κασσιτεροκολλήσεις, είναι πολύ μεγάλη και μπορεί να δημιουργήσει πολλά προβλήματα στον ανθρώπινο οργανισμό μέχρι και θάνατο, οπότε η χρήση γαντιών και η πλύση των χεριών μετά από κάθε κόλληση επιβάλλεται. Επίσης τα περισσότερα καλώδια κολλήσεων στην αγορά περιέχουν ποσότητα Κολοφώνιου, απόσταγμα ρητίνης πεύκου το οποίο βοηθάει στην ρευστότητα του λιωμένου καλαί στον πυρήνα τους. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιούμε πάντα ένα σύστημα εξαερισμού, καθώς οι αναθυμιά-



Εικόνα 4-20 Τελική μορφή μπαταρίας.

σεις που παράγονται από την καύση αυτού του υλικού, είναι επιβλαβείς για την υγεία. Εφόσον πήραμε όλα τα απαραίτητα μέτρα ασφαλείας για τις κολλήσεις πραγματοποιήσαμε τις ενώσεις όπως φαίνεται στην παρακάτω φωτογραφία.

4.4.2 Σύστημα Διαχείρισης Μπαταρίας (Battery Management System)

Το σύστημα διαχείρισης μπαταρίας (BMS) αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα εξαρτήματα μιας μονάδας αποθήκευσης ενέργειας. Είναι υπεύθυνο να μεταφέρει την ενέργεια από το σύστημα αποθήκευσης με ορθό και ασφαλή τρόπο στην κατανάλωση, ενώ παράλληλα πρέπει να κρατά την μπαταρία σε υγιή κατάσταση, ελέγχοντας και εξισορροπώντας κάθε κελί ξεχωριστά. Γενικά τα συστήματα BMS χωρίζονται σε δυο κατηγορίες, σε κεντρικά και απομονωμένα. Τα κεντρικά συστήματα BMS αποτελούνται από μια μεμονωμένη μονάδα διαχείρισης, η οποία είναι αποκλειστικά υπεύθυνη για την εξισορρόπηση και τον έλεγχο όλων των κελιών. Τα κελιά συνδέονται απευθείας επάνω στην μονάδα και με την βοήθεια ενός μικροελεγκτή εκτελούνται αλγόριθμοι ελέγχου, που συμβάλλουν στην υγιή λειτουργία του

συστήματος. Επιπλέον τα κεντρικά συστήματα αποτελούν μια πιο απλοϊκή λύση στο θέμα των BMS, καθώς επίσης καταλαμβάνουν και λιγότερο χώρο. Συνεχίζοντας τα απομονωμένα, σε αντίθεση με τα κεντρικά, απαρτίζονται από ξεχωριστές μονάδες BMS, οι οποίες συνδέονται σε κάθε κελί μεμονωμένα και στη συνέχεια μέσω μιας διαύλου επικοινωνούν με την κεντρική μονάδα ελέγχου, όπου και εκτελούνται οι κατάλληλες ενέργειες. Κύριες διαφορές με την προαναφερθείσα κατηγορία έχουν να κάνουν με το κόστος και τον χώρο που απαιτείται για την εγκατάσταση του συγκεκριμένου συστήματος. Παρότι οι απομονωμένες μονάδες αποτελούν πλήρη και σωστή διαχείριση των κελιών μιας μπαταρίας, είτε πρόκειται για φόρτιση είτε για εκφόρτιση, δεν προτιμώνται συνήθως για τους δυο παραπάνω λόγους. Επιπρόσθετα τα συγκεκριμένα συστήματα χωρίζονται και σε άλλες δυο υποκατηγορίες, τα ενεργητικά και τα παθητικά. Κύρια διαφορά τους αποτελεί ο τρόπος διαχείρισης της περίσσειας ενέργειας των μη εξισορροπημένων κελιών. Δηλαδή, στα παθητικά η περίσσεια αυτή της ενέργειας διοχετεύεται σε μια συστοιχία αντιστάσεων, όπου μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια και αποβάλλεται στο περιβάλλον. Ενώ, στα ενεργητικά η περίσσεια διοχετεύεται στα κελιά στα οποία υπάρχει έλλειψη ενέργειας. Συμπληρωματικά στη δεύτερη κατηγορία η περισσευούμενη ενέργεια αξιοποιείται στο μέγιστο, ενώ στην πρώτη, όπως προαναφέρθηκε αποβάλλεται από το σύ-



Εικόνα 4-21 Σχηματικό διάγραμμα BMS

στημα. Όπως μπορεί πολύ εύκολα να γίνει αντιληπτό υπάρχει μια διαφοροποίηση επίσης στην αξία ανάλογα με τον τύπο του συστήματος, δηλαδή αν πρόκειται για ενεργητικό ή παθητικό. Τέλος, συνήθως η διαφορά αυτής της αξίας αποτελεί και τον λόγο επιλογής του ενός αντί του άλλου.

Η επιλογή του συστήματος BMS έπρεπε να γίνει κατά αντιστοιχία με τα τεχνικά χαρακτηριστικά της μπαταρίας του ποδηλάτου. Τα κύρια χαρακτηριστικά που λήφθηκαν υπόψιν ήταν ο αριθμός μονάδων, το μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα και ο ρυθμός φόρτισης της μπαταρίας. Σχεδόν όλα τα συστήματα BMS πλέον είναι τυποποιημένα και εξαρτώνται από τον αριθμό των κελιών και τη συνολική τάση της μπαταρίας. Το συγκεκριμένο BMS που επιλέχθηκε, είναι για μπαταρία των 10 κελιών και ονομαστική τάση 36 V. Ο μέγιστος ρυθμός φόρτισης που μπορεί να προσδώσει η πλακέτα BMS είναι στα 10 A, τιμή η οποία είναι αρκετά μεγαλύτερη

από την επιτρεπτή ένταση φόρτισης της μπαταρίας. Η προστασία από υπέρταση είναι στα 4.2 V ανά κελί, όπως και προτείνει ο κατασκευαστής των κελιών ενώ η κατώτερη τάση λειτουργίας είναι στα 3.2 V. Τιμή η οποία βρίσκεται μέσα στα πλαίσια λειτουργίας της μπαταρίας. Επίσης σημαντικό χαρακτηριστικό του BMS είναι η ύπαρξη προστασίας από βραχυκύκλωμα και η δυνατότητα τοποθέτησης θύρας φόρτισης, χωρίς την εγκατάσταση περαιτέρω κυκλωμάτων. Το BMS εξισορροπεί τα κελιά καθ' όλη της διάρκεια της φόρτισης και εκφόρτισης. Το ρεύμα με το οποίο πραγματοποιείται η διαδικασία της εξισορρόπησης είναι της τάξης των 55 mA ενώ η ίδια γίνεται παθητικά. Η συνδεσμολογία του είναι σχετικά απλή καθώς όπως προαναφέρθηκε δεν υπάρχει η ανάγκη περαιτέρω εξοπλισμού, οπότε χρειάστηκαν μόνο μερικές κολλήσεις επάνω στην πλακέτα. Ο αρνητικός πόλος της μπαταρίας συνδέεται στο B- της πλακέτας, όπως φαίνεται στις εικόνες 4.21 και 4.22.

Ο αρνητικός ακροδέκτης της κατανάλωσης και του φορτιστή συνδέονται αντιστοίχως



Εικόνα 4-22 Η μπαταρία με εγκαταστημένο το BMS.

στις θέσεις P- και C-. Επιπλέον στην μεσαία θύρα συνδέονται με ένα βύσμα 10 θέσεων τα μονόκλινα καλώδια σε κάθε θετικό πόλο κάθε μονάδας μπαταριών. Η συνδεσμολογία μπορεί να γίνει πιο κατανοητή από το διάγραμμα που ακολουθεί. Όπως και στις καλωδιώσεις οι κολλήσεις έγιναν με καλώδιο κολλήσεων, αυτή τη φορά όμως σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, δηλαδή μεταξύ 290 και 360 °C . Η πλακέτα μετά από πολλές δοκιμές χρειάστηκε μια μικρή επιδιόρθωση, όπου τοποθετήθηκε μια επιπλέον επίστρωση μόνωσης και αδιαβροχοποίησης. Η διαδικασία φόρτισης και εκφόρτισης ελέγχεται από τέσσερα MOSFET ισχύος. Ενώ, το κύκλωμα είκοσι οπτοζευκτών και 10 τελεστικών ενισχυτών πραγματοποιούν την διαδικασία της εξισορρόπησης, όπου η περίσσια ενέργειας μετατρέπεται σε θερμική μέσω μερικών αντιστάσεων ισχύος, καθώς το σύστημα πρόκειται για μονάδα διαχείρισης μπαταρίας παθητικής εξισορρόπησης. Για περισσότερα τεχνικά χαρακτηριστικά, του συστήματος BMS, παρατίθεται το φυλλάδιο του εν λόγω εξαρτήματος, στο παράρτημα τεχνικών εγγράφων.

4.4.3 Φορτιστής

Οι μπαταρίες Ιόντων – Λιθίου όπως προαναφέρθηκε κατέχουν υψηλή ειδική ενέργεια και ισχύ, κάτι που τις καθιστά δημοφιλέστερες στην αγορά. Το μειονέκτημα όμως αυτών των χαρακτηριστικών είναι ο ιδιαίτερος τρόπος φόρτισής τους. Πρέπει κατά τη φόρτιση η ένταση και η τάση να είναι ελεγχόμενη κάθε χρονική στιγμή και να ακολουθεί συγκεκριμένο προφίλ, έτσι ώστε να μην μειώνεται η διάρκεια ζωής, να έχει καλές αποδόσεις και να μην επιφέρει βλάβες όπως υπερθέρμανση η οποία δύναται να επιφέρει έκρηξης.

Το πιο διαδεδομένο προφίλ φόρτισης που χρησιμοποιείται περιλαμβάνει δύο βασικά στάδια. Στο πρώτο στάδιο, το οποίο ονομάζεται CC (Constant Current) ξεκινά η φόρτιση με σταθερή ένταση που εξαρτάται από το ρυθμό φόρτισης της μπαταρίας και ολοκληρώνεται όταν η τάση της μπαταρίας φτάσει μία συγκεκριμένη τιμή, συνήθως είναι κοντά στα 4.2 V. Σε αυτήν τη φάση η κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας βρίσκεται μεταξύ 70% και 80%. Με το πέρας του πρώτου αρχίζει το δεύτερο στάδιο φόρτισης, το CV (Constant Voltage) κατά τη διάρκεια του οποίου η τάση που παρέχεται στην μπαταρία είναι σταθερή στα 4.2 V ανά κελί ενώ η ένταση σταδιακά μειώνεται έως ότου φορτιστεί πλήρως η μπαταρία.

Ο φορτιστής που χρησιμοποιήθηκε στο ηλεκτρικό ποδήλατο παράγεται από την εταιρία En-Power και παρέχεται σε δυο εκδόσεις. Η πρώτη έκδοση αποτελείται από απλούς φορτιστές (**2A**) ενώ η δεύτερη από ταχυφορτιστές (**5 A**). Και οι δυο φορτιστές είναι κατάλληλοι για χρήση σε μπαταρίες που αποτελούνται από 10 κελιά δηλαδή μέγιστη τάση 42 Volt. Η επιλογή του ταχυφορτιστή έγινε μετά από σύγκριση των χαρακτηριστικών της μπαταρίας και του φορτιστή. Ο προτεινόμενος ρυθμός φόρτισης των κελιών ορίζεται από τους κατασκευαστές στα 0.5 C, οπότε μπορεί να υπολογισθεί με απλό τρόπο ο μέγιστος ρυθμός φόρτισης ο οποίος είναι :

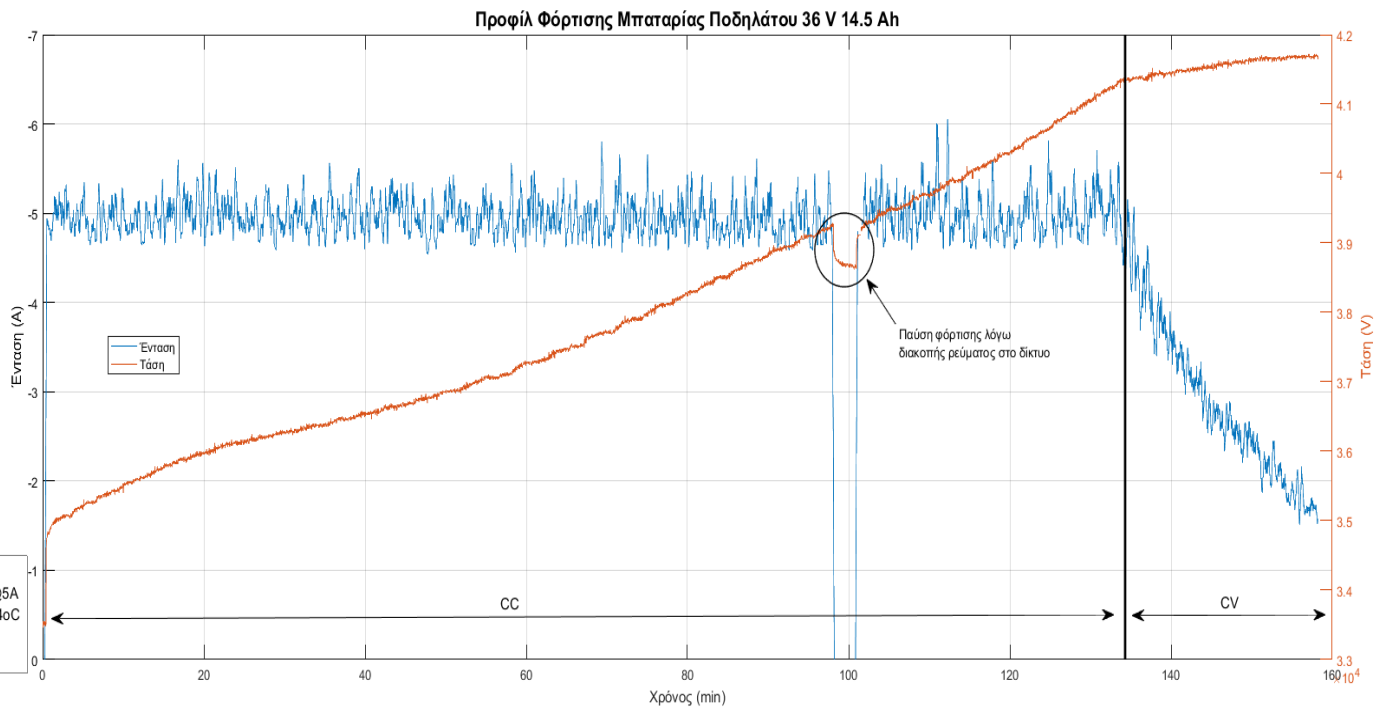
$$Q_{RATED} * 0.5C \quad \text{Εξίσωση 6}$$

$$14.5 Ah * 0.5C = 7.25 A \quad \text{Εξίσωση 7}$$

Λαμβάνοντας υπόψιν το ρυθμό φόρτισης παρατηρήθηκε ότι και οι δύο φορτιστές προσδίδουν ένταση χαμηλότερη από αυτή της επιτρεπόμενης. Τελική επιλογή ήταν ο ταχυφορτιστής, καθώς με αυτόν οι μπαταρίες φορτίζονται γρηγορότερα, ενώ ο απλός φορτιστής θεωρητικά θα χρειαζόταν 7.25 ώρες για να φορτίσει πλήρως την μπαταρία, ενώ με τον ταχυφορτιστή μόλις 2.9 ώρες.

$$\frac{14.5 Ah}{2 A} = 7.25 h \quad \text{Εξίσωση 8}$$

$$\frac{14.5 Ah}{5 A} = 2.9 h \quad \text{Εξίσωση 9}$$



Εικόνα 4-23 Διάγραμμα του προφίλ φόρτισης που ακολουθεί ο φορτιστής.



Εικόνα 4-24 Ταχυφορτιστής του ποδηλάτου 42V 5A.

4.4.4 Μονάδα

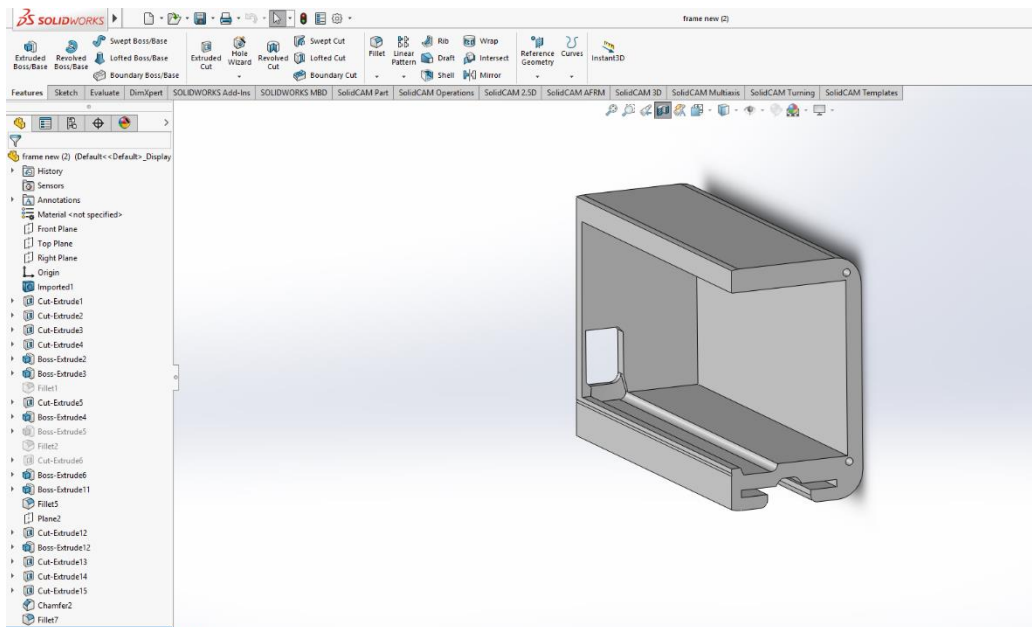
Μόλις η μπαταρία πήρε την τελική της μορφή, έπρεπε να βρεθεί ένα καλούπι το οποίο όχι μόνο θα συναρμολογεί (θα συνδέει) την μπαταρία πάνω στο ποδήλατο, αλλά και θα την προστατεύει από τους κραδασμούς, την σκόνη, το νερό και ταυτόχρονα θα παρέχει τις κατάλληλες θύρες για την ένωση των καλωδίων του φορτιστή, ώστε να μην χρειάζεται να αποσυναρμολογηθεί η μπαταρία από το ποδήλατο για να φορτιστεί. Επειδή, δεν υπήρχε κατάλληλο καλούπι στις διαστάσεις της μπαταρίας, γεννήθηκε η ιδέα της κατασκευής ενός καλουπιού. Το καλούπι κατασκευάστηκε με τις κατάλληλες ανοχές, στεγανότητα, αντοχή και τον καλύτερο δυνατό τρόπο σύνδεσης με το ποδήλατο, για να αποφεύγονται οι κραδασμοί και να μπορεί να τοποθετηθεί σε κατάλληλη θέση, έτσι ώστε να μην εμποδίζει τον αναβάτη κατά την πορεία.

Η πιο κατάλληλη λύση ήταν η εκτύπωση 3d της κατασκευής, που αποτελεί ένα μέσω εύκολης και γρήγορης δημιουργίας πρωτοτύπων, καθώς επίσης καταλαμβάνει ολόένα και μεγαλύτερο μερίδιο της αγοράς. Ουσιαστικά η τρισδιάστατη εκτύπωση είναι μια μέθοδος προσθετικής κατασκευής, κατά την οποία χρησιμοποιούνται κυρίως πλαστικά και πολυμερή υλικά που βρίσκονται σε μορφή νήματος στο εμπόριο, τα οποία τήκονται σε κατάλληλη θερμοκρασία και δημιουργούν αλληπάλληλα στρώματα υλικού, μέχρι να προκύψει το τελικό αποτέλεσμα. Οι δυο βασικότερες κατηγορίες εκτυπωτών είναι το FDM (Fused Deposition Modelling), όπου η εκτύπωση γίνεται με εναπόθεση τηκόμενου υλικού σε επάλληλες στρώσεις και η SLA (Stereolithography), στην οποία χρησιμοποιείται ρητίνη και ζεύγος λέιζερ για την δημιουργία του μοντέλου. Η πρώτη αποτελεί την πιο διαδεδομένη μορφή τρισδιάστατου εκτυπωτή, καθώς χρησιμοποιείται απλούστερη τεχνολογία και φθηνότερα υλικά κατασκευής. Το μοντέλο προς εκτύπωση μπορεί να σχεδιαστεί με τη χρήση σχεδιαστικών λογισμικών, όπως το Autocad και το Solidworks και στη συνέχεια να εισαχθεί με τις κατάλληλες παραμέτρους στο πρόγραμμα του εκάστοτε τρισδιάστατου εκτυπωτή. Πολλές εταιρίες παραγωγής τρισδιάστατων εκτυπωτών, κατασκευάζουν τους εκτυπωτές τους με προγράμματα ανοιχτού κώδικα, έτσι ώστε ο σχεδιαστής να κατέχει τη δυνατότητα χρήσης οποιουδήποτε λογισμικού παραμετροποίησης της αρεσκείας του. Με τα διάφορα προγράμματα παραμετροποίησης παρέχεται στο χρήστη η ικανότητα επιλογής πληθώρας ρυθμίσεων, που αφορούν τον τρόπο και τη διαδικασία εκτύπωσης. Για παράδειγμα, σημαντικές παράμετροι αποτελούν: η ανάλυση της εκτύπωσης, όπου καθορίζεται το πάχος του κάθε στρώματος υλικού και η πυκνότητα πλέγματος, που καθορίζει με την σειρά της, την χρησιμοποιούμενη ποσότητα υλικού στο εσωτερικό των τοιχωμάτων. Οι παραπάνω, καθώς και οι υπόλοιπες ρυθμίσεις του εκτυπωτή, καθορίζουν την στιβαρότητα, την αισθητική και τον χρόνο εκτύπωσης. Αξίζει να αναφερθούν μερικά από τα λογισμικά που χρησιμοποιούν οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές: Slic3r, Cura, FreeCad, MeshMixer και OctoPrint.

Συνολικά κατασκευάστηκαν δύο καλούπια σε τρισδιάστατο εκτυπωτή, εκ των οποίων το ένα χρησιμοποιήθηκε μόνο για τις μετρήσεις και το δεύτερο είναι αυτό που εδράζεται μόλις πάνω στο ποδήλατο. Το πρώτο είναι μεγαλύτερο προκειμένου να χωράει εσωτερικά και η πλακέτα, που λαμβάνει τα σήματα για τις μετρήσεις και την διεξαγωγή αποτελεσμάτων των πειραμάτων, που αναλύονται σε άλλο κεφάλαιο. Το δεύτερο αποτελείται από τρία κομμάτια, το βασικό κορμό, που μέσα του περιλαμβάνεται η μπαταρία και δύο πιο μικρά, που χρησιμοποιούνται ως καπάκια και κρύβουν εσωτερικά την καλωδίωση του κυκλώματος και το

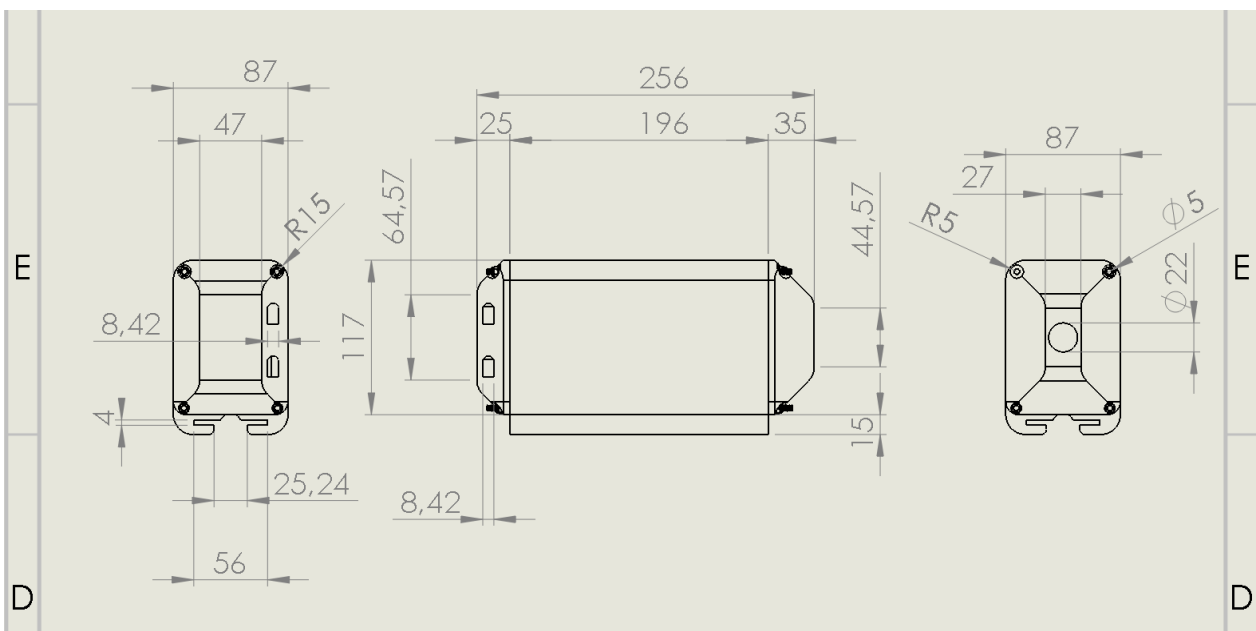
σύστημα διαχείρισης μπαταρίας. Η σχεδίαση των καλουπιών πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού SOLIDWORKS®.

Όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα σχεδιάστηκε μια εσοχή, έτσι ώστε το καλούπι

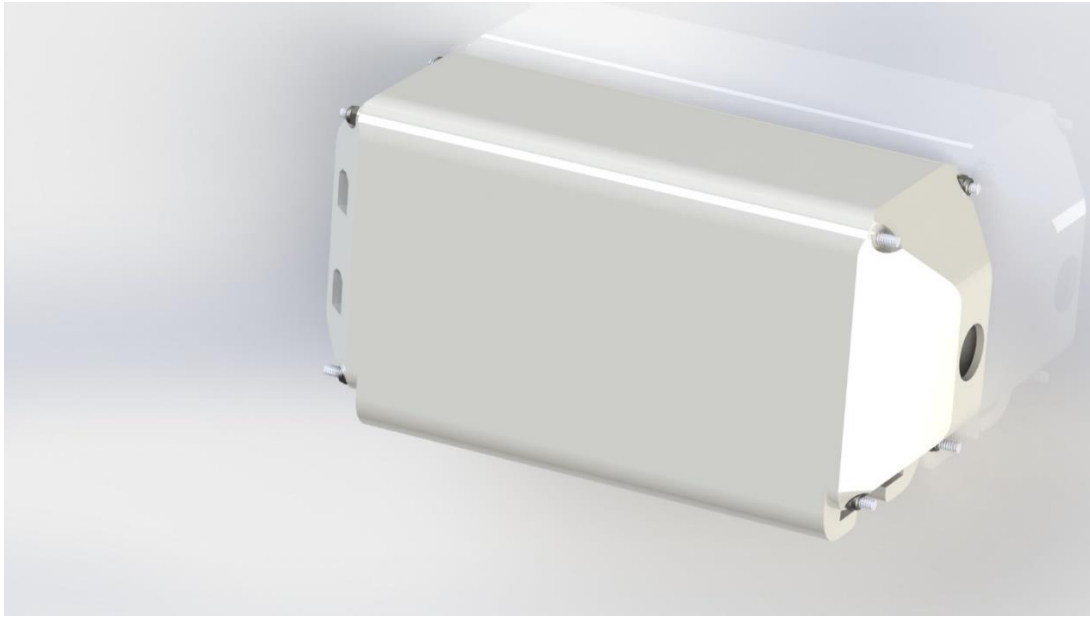


Εικόνα 4-25 Η μονάδα σε τομή στο σχεδιαστικό περιβάλλον.

να εφαρμόζει μέσω μιας μεταλλικής λάμας στο ποδήλατο. Η τοποθέτηση του καλουπιού στο ποδήλατο γίνεται συρταρωτά για πιο εύκολη και στιβαρή συναρμογή των παραπάνω. Στην μία πλευρά υπάρχει επίσης μια διαμήκης οπή, για την εναπόθεση της καλωδίωσης.



Εικόνα 4-26 Κατασκευαστικό σχέδιο μπαταρίας.

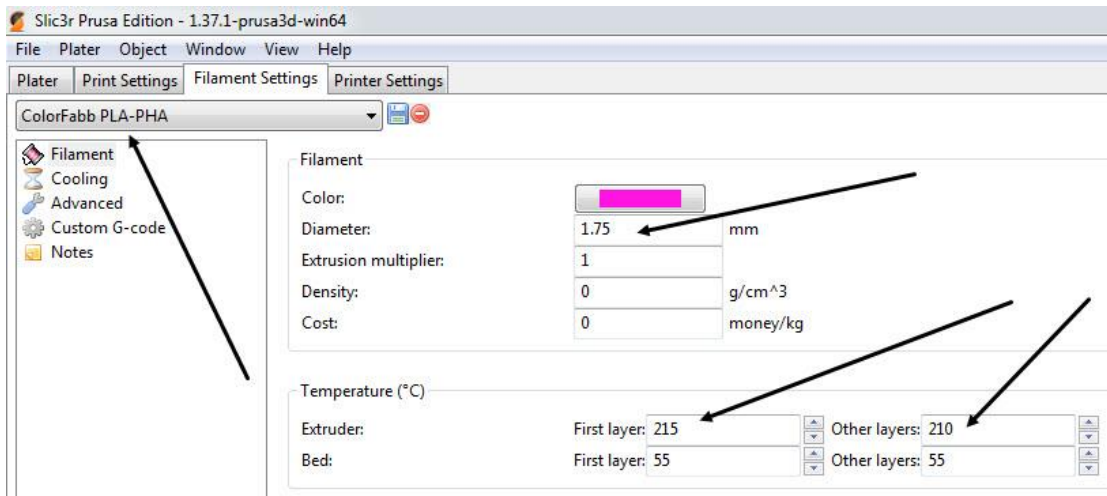


Εικόνα 4-27 Φωτορεαλιστική εικόνα μονάδας μπαταρίας.

Η παραπάνω εικόνα αποτελεί ένα φωτορεαλιστικό μοντέλο, που απεικονίζει το καλούπι πλήρως συναρμολογημένο. Στην εμπρόσθια πλευρά υπάρχει οπή για τον κεντρικό διακόπτη και στην πίσω πλευρά, χώρος για τα βύσματα φόρτισης και παροχής ρεύματος στο ποδήλατο.

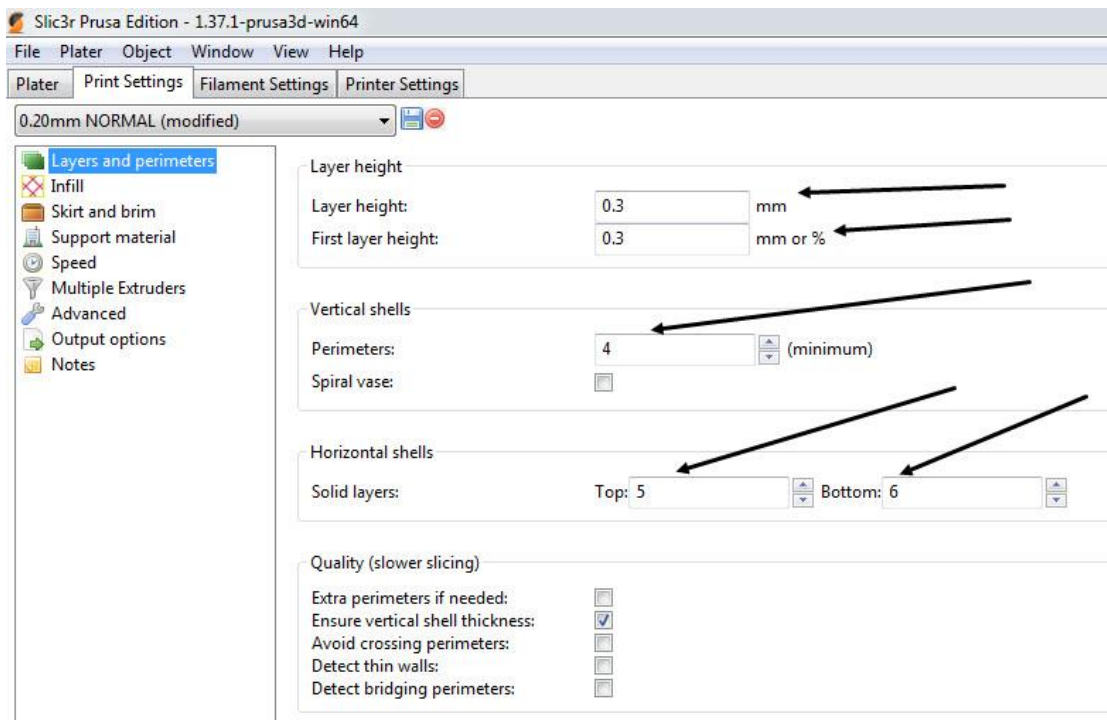
Για την εκτύπωση του καλουπιού, χρησιμοποιήθηκε ο τρισδιάστατος εκτυπωτής Prusa Mk1, της ομώνυμης εταιρίας, που ανήκει στην κατηγορία των FDM. Είναι καρτεσιανός εκτυπωτής με την κινούμενη τράπεζα στον κατακόρυφο άξονα και με τις διαστάσεις εκτύπωσής του να είναι 200mm x200mm x200mm. Το υλικό που επιλέχθηκε για την συγκεκριμένη εφαρμογή είναι το νήμα PLA (Polylactic Acid) Πολυγαλακτικό Οξύ, το οποίο προέρχεται από βιοδιασπώμενα υλικά όπως καλαμπόκι, ζαχαροκάλαμο και διάφορα άλλα οργανικά στοιχεία, τα οποία το καθιστούν οικονομικότερο σε σχέση με άλλους τύπους νήματος. Δεν αποτελεί την πιο κατάλληλη επιλογή για την εφαρμογή μας, επιλέχθηκε όμως λόγω του χαμηλού κόστους και της εύκολης εύρεσής του. Επίσης, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει μέσα από μια μεγάλη γκάμα χρωμάτων, το χρώμα που επιθυμεί. Η διατομή του νήματος είναι 1.75mm και η θερμοκρασία τήξης του είναι από 178 °C έως 240 °C. Το πρόγραμμα που επιλέχθηκε προέρχεται από την εταιρία κατασκευής του εκτυπωτή και ονομάζεται Slic3r. Παρακάτω απεικονίζονται όλα τα στάδια επιλογής ρυθμίσεων του προγράμματος και της εκτύπωσης.

Αρχικά, στο λογισμικό εισάγουμε τις πληροφορίες σχετικά με το υλικό προς εκτύπωση.



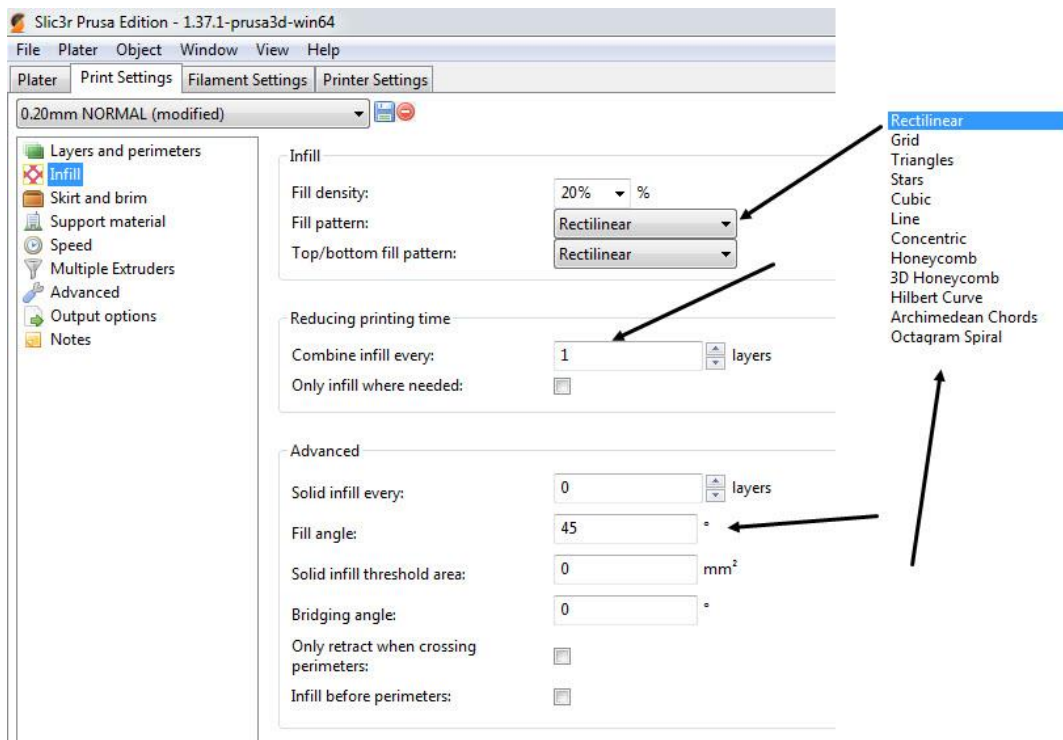
Εικόνα 4-28 Στο παραπάνω σχήμα: 1) είναι το όνομα του υλικού, 2) η διατομή, 3) η θερμοκρασία στην πρώτη στρώση, 4) η θερμοκρασία στις υπόλοιπες στρώσεις.

Έπειτα, εισάγουμε τις πληροφορίες σχετικά με την ανάλυση που θα έχει το τελικό αντικείμενο και τις περιμέτρους των τοιχωμάτων.



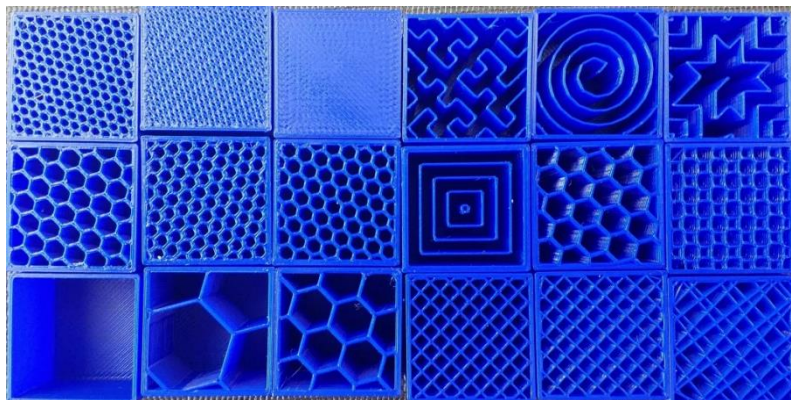
Εικόνα 4-29 Στο παραπάνω σχήμα: 1) είναι η ανάλυση σε mm, 2) η ανάλυση στην πρώτη στρώση σε mm, 3) οι περιμέτροι των τοιχωμάτων, 4) ο αριθμός των πάνω στρώσεων, που θα είναι γεμάτες με υλικό, 5) ο αριθμός των κάτω στρώσεων, που θα είναι γεμάτες με υλικό.

Στη συνέχεια, επιλέγουμε το ποσοστό και τον τύπο του πλέγματος.



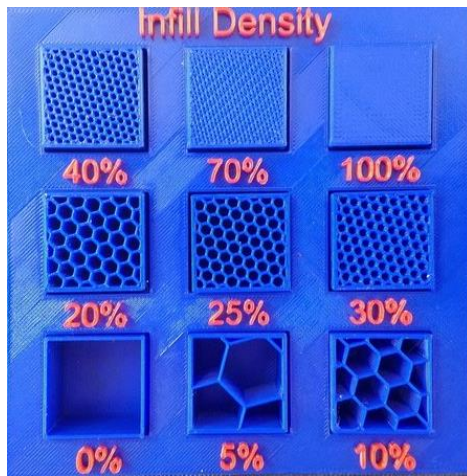
Εικόνα 4-30 Στο παραπάνω σχήμα: (1) είναι ο τύπος και ποσοστό πλέγματος, (2) η δημιουργία πλέγματος ανά στρώση, (3) η γωνία πλέγματος σε μοίρες

Αξίζει να αναφερθεί ότι υπάρχουν διάφοροι τύποι πλέγματος οι οποίοι επηρεάζουν άμεσα την στιβαρότητα της κατασκευής και την οικονομία του υλικού. Η μορφή των πλεγμάτων που μπορούν να δημιουργηθούν απεικονίζονται στην παρακάτω εικόνα.



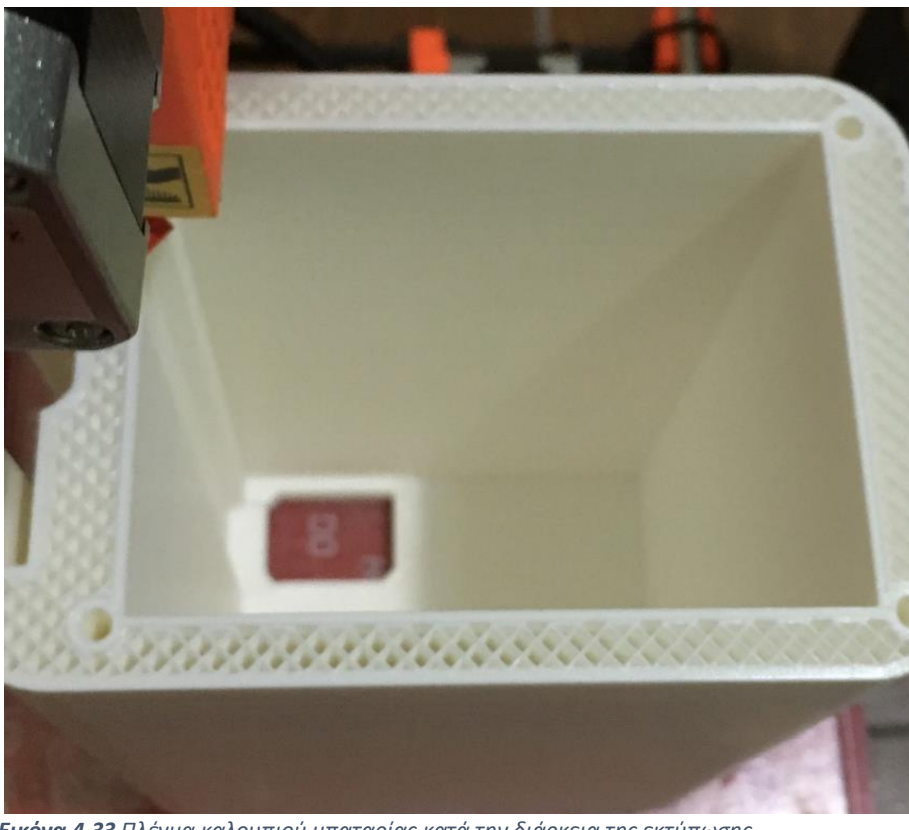
Εικόνα 4-31 Διάφοροι τύποι πλέγματος.

Ανάλογα το ποσοστό (Infill) του πλέγματος, αλλάζει και η ποσότητα του υλικού που εναποτίθεται στο εσωτερικό του αντικειμένου. Με 0% να είναι άδειο εσωτερικά, ενώ με 100% σχεδόν γεμάτο (Παρατήρηση: με δυσκολία διακρίνεται ότι πρόκειται για πλέγμα και όχι ενιαίο υλικό).

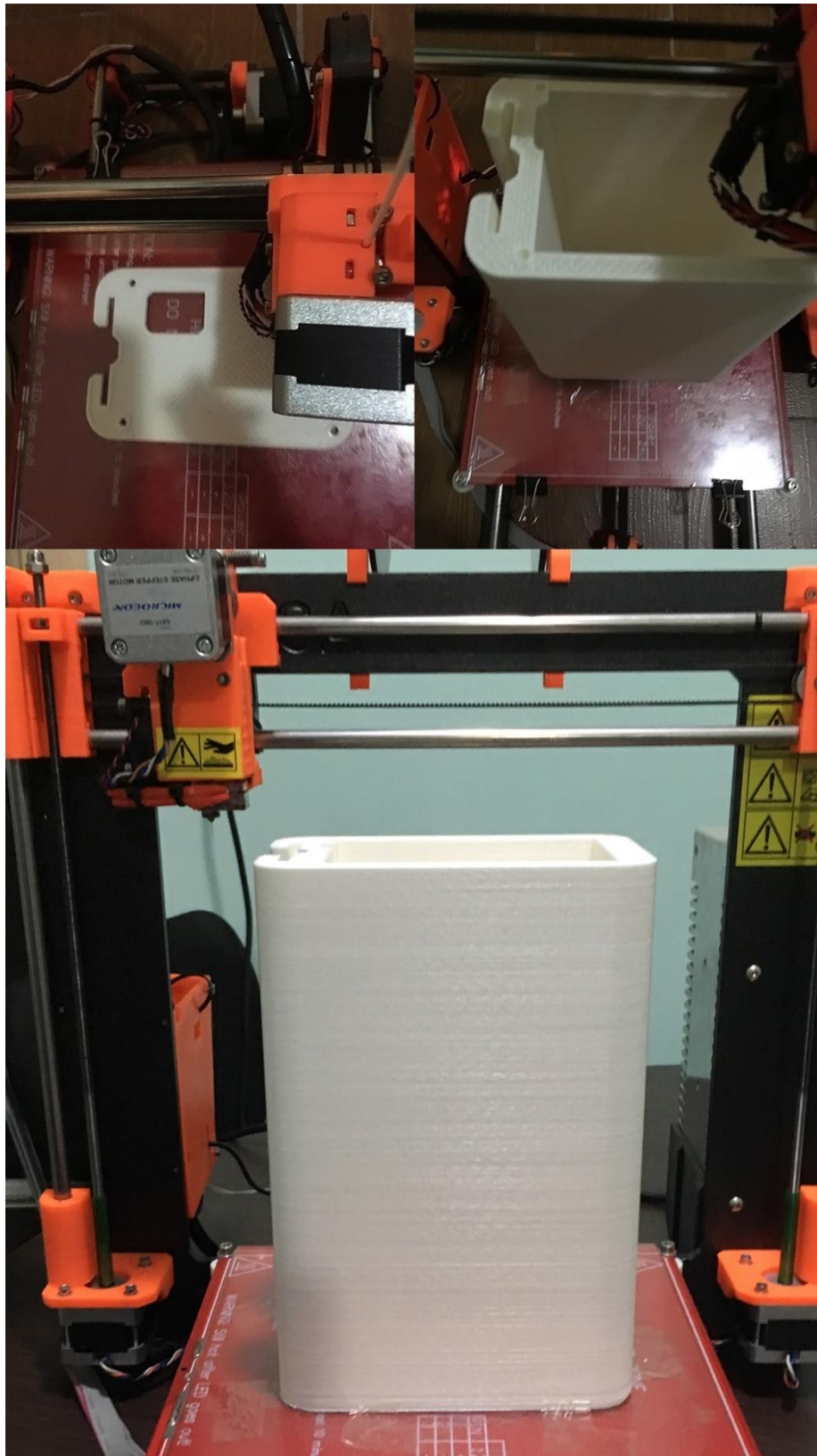


Εικόνα 4-32 Ποσοστά πλέγματος.

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το εσωτερικό του καλουπιού με πλέγμα αποτελούμενο από ευθείες γραμμές και ποσοστό 20%.



Εικόνα 4-33 Πλέγμα καλουπιού μπαταρίας κατά την διάρκεια της εκτύπωσης.



Εικόνα 4-34 Συλλογή φωτογραφιών της διαδικασίας τρισδιάστατης εκτύπωσης.

4.4.5 Κινητήρας

Η επιλογή του ηλεκτροκινητήρα που έγινε ώστε να συμφωνεί και με τα αποτελέσματα του ερωτηματολογίου ήταν ο κινητήρας πλήμνης με μειωτήρα (hub motor geared). Καθοριστικός παράγοντας ήταν το κόστος, καθώς και η επιθυμία χρήσης του ποδηλάτου ως μέσο αστικής συγκοινωνίας. Αυτός ο κινητήρας αποτελεί οικονομικότερη επιλογή και παρουσιάζει ικανοποιητικές επιδόσεις για αστική συγκοινωνία σε σχέση με τον κινητήρα μεσαίας τριβής. Επιπλέον είναι μικρότερος, ελαφρύτερος και παράγει περισσότερη ροπή από τον αντίστοιχο κινητήρα χωρίς μειωτήρα.

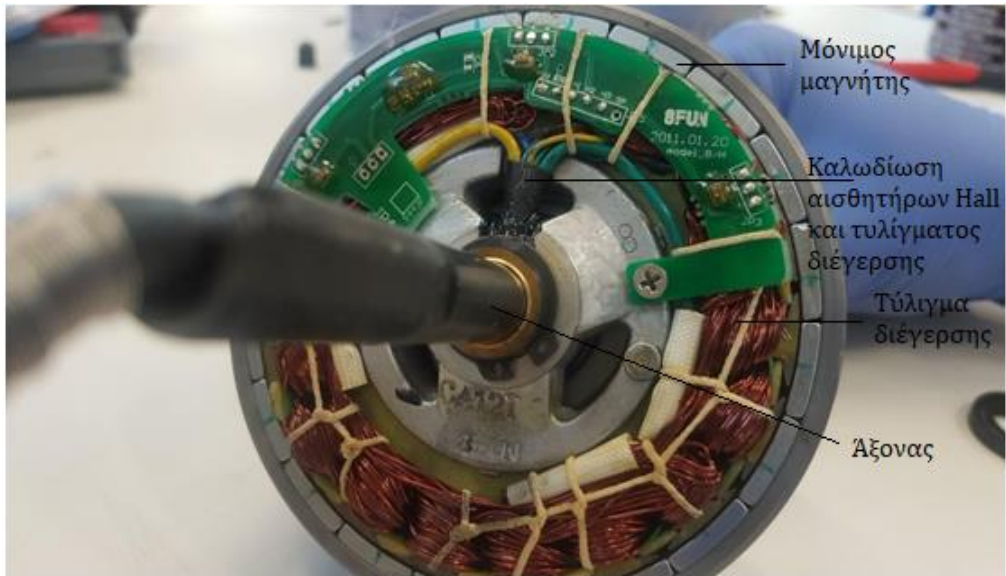
Ο κινητήρας έχει κυλινδρική μορφή, ο στάτης είναι στο κέντρο και ο δρομέας βρίσκεται περιφερειακά. Η κίνηση μεταφέρεται στο κέλυφος του κινητήρα μέσω του μειωτήρα ο οποίος έχει πλανητική διάταξη. Ο ήλιος κινείται από τον δρομέα, οι τρεις πλανήτες μεταφέρουν την περιστροφή στην στεφάνη που αποτελεί μέρος του κελύφους του κινητήρα. Η συνολική μείωση που επιτυγχάνεται είναι $i = 0,2$ αφού ο λόγος της στεφάνης προς τον ήλιο είναι 1:5. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι τρεις πλανήτες είναι κατασκευασμένοι από νάιλον ενισχυμένο με υαλονήματα ώστε να αποφευχθεί η φθορά του ήλιου και της στεφάνης, που είναι δύσκολο να αντικατασταθούν, καθώς και για να μειωθεί ο θόρυβος (dB) που παράγει το σύστημα. Επιπλέον οι ακτίνες που χρησιμοποιήθηκαν έχουν διάμετρο 2mm μεγαλύτερη από τις συμβατικές που κυμαίνονται στα 1.6mm-1.8mm, ώστε να υποστηρίξουν την επιπλέον δυναμική καταπόνηση που παράγει η περιστροφή του κινητήρα στον τροχό.

Ο κινητήρας μπορεί να λειτουργήσει με πηγή 36V ή 43V, ζυγίζει 3kg, παράγει μέγιστη ροπή 32N.m, έχει μέγιστο αριθμό στροφών 250rpm και βαθμό απόδοσης μεγαλύτερο του 80%.

Η ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου του (controller) είναι ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα, κατασκευασμένο ώστε να οδηγεί τον ηλεκτροκινητήρα ικανοποιώντας τις απαιτήσεις του οδηγού. Αποτελείται από 6 τρανζίστορ τύπου MOSFET (metal oxide semiconductor field effect transistor) που λειτουργούν ως διακόπτες ρεύματος και διατηρούν την επιθυμητή ακολουθία διέγερσης του τυλίγματος του στάτη. Μπορεί να λειτουργήσει με 36 Volt και 42 Volt τάση πηγής και να οδηγήσει τον ηλεκτροκινητήρα στην παραγωγή ισχύος έως και 250 Watt με μέγιστη ένταση 15 Ampere. Διαθέτει σύστημα διακοπής του ρεύματος χρησιμοποιώντας ειδικές μανέτες ως διακόπτες, σύστημα redelc το οποίο μέσω ενός μαγνητικού δίσκου υπολογίζει την ταχύτητα περιστροφής των πεταλιών, παρέχοντας αναλογικά με αυτό την αντίστοιχη υποβοήθηση, σύστημα ηλεκτρικού γκάζιου με ένα ποτενσιόμετρο το οποίο έχει τάση λειτουργίας από ένα έως τέσσερα Volts και μία ψηφιακή οθόνη που παρέχει στον ποδηλάτη χρήσιμες πληροφορίες όπως η ταχύτητα του, η κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας, η συνολική απόσταση που κάλυψε και ο υπολογισμός της αυτονομίας του.

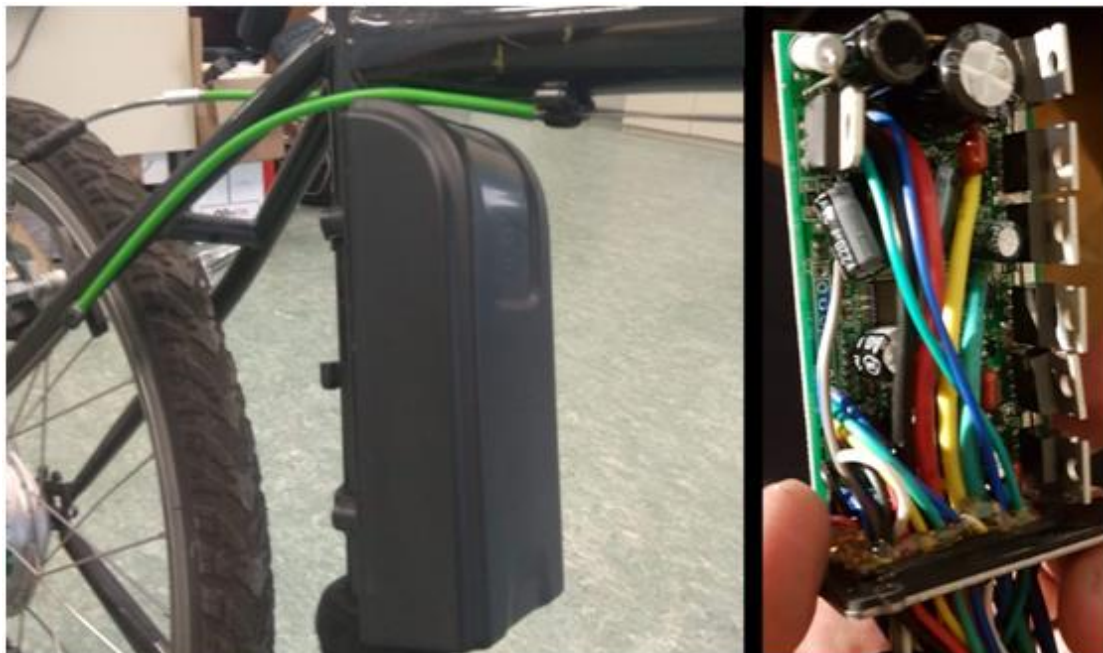
Παρακάτω ακολουθεί μια συλλογή φωτογραφιών όπου αποτυπώνεται το σύστημα ηλεκτροκίνησης και τα μέρη του στο εσωτερικό του.

Στο εσωτερικό του κινητήρα, όπως απεικονίζεται στην εικόνα 4.35 φαίνεται ο στάτης στο κέντρο και οι μαγνήτες του δρομέα περιφερειακά. Καθώς επίσης και η συνδεσμολογία του τυλίγματος διέγερσης και των αισθητήρων Hall.



Εικόνα 4-35 Το εσωτερικό του ηλεκτροκινητήρα.

Στην εικόνα 4.36 απεικονίζεται η ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου (controller) του ηλεκτροκινητήρα. Αριστερά είναι τοποθετημένη εντός του κελύφους της και στερεωμένη στον σκελετό του ποδηλάτου, ενώ δεξιά φαίνεται η πλακέτα του.



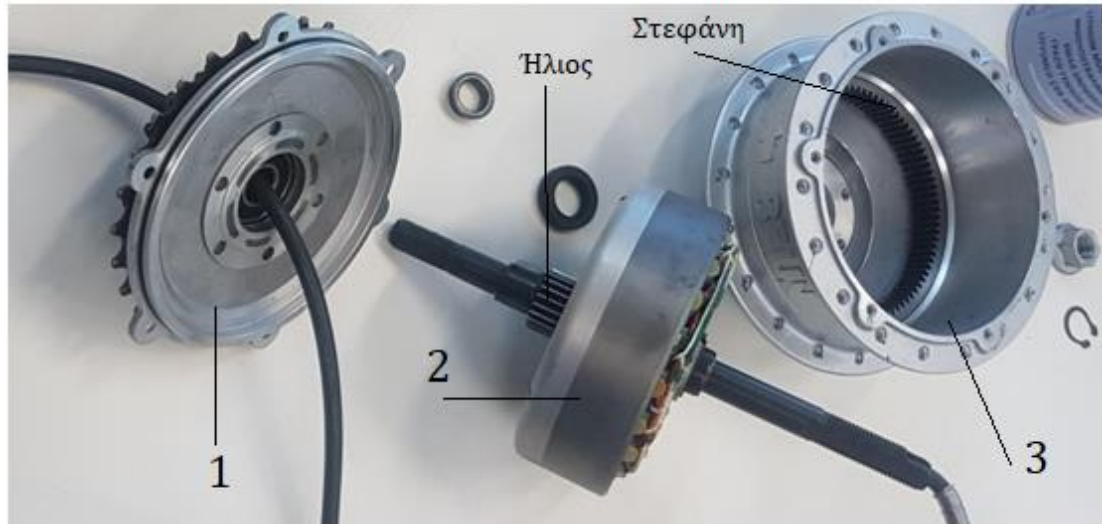
Εικόνα 4-36 Ο ελεγκτής του ηλεκτροκινητήρα.

Στην εικόνα 4.37 φαίνεται:

1. Το καπάκι που στεγανοποιεί τον ηλεκτροκινητήρα εντός του κελύφους

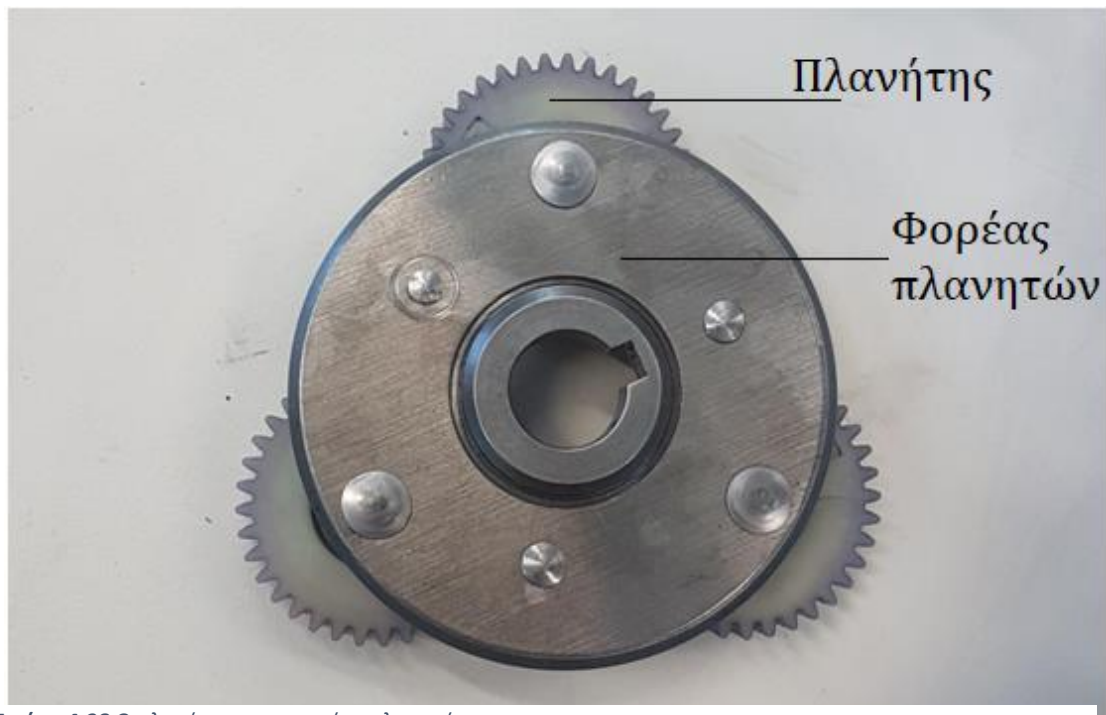
2. Ο ηλεκτροκινητήρας και ο άξονας του πίσω τροχού στον οποίο εδραιώνεται ο ήλιος του πλανητικού συστήματος.

3. Το κέλυφος-πλήμνη του κινητήρα και η στεφάνη του πλανητικού συστήματος που το περιστρέφει.



Εικόνα 4-37 Εσωτερική δομή του ηλεκτροκινητήρα.

Στην εικόνα 4.38 απεικονίζονται οι πλανήτες του πλανητικού συστήματος, αφού έχουν καθαριστεί και λιπανθεί εκ νέου και ο φορέας πλανητών.



Εικόνα 4-38 Ο πλανήτης και ο φορέας πλανητών.

Τέλος στην εικόνα 4.39 παρουσιάζεται το συνολικό αποτέλεσμα τοποθέτησης του ηλεκτροκινητήρα BLDC πλήμνης με μειωτήρα στο ποδήλατο. Το μικρό του μέγεθος δίνει ένα ικανοποιητικό εμφανισιακό αποτέλεσμα.



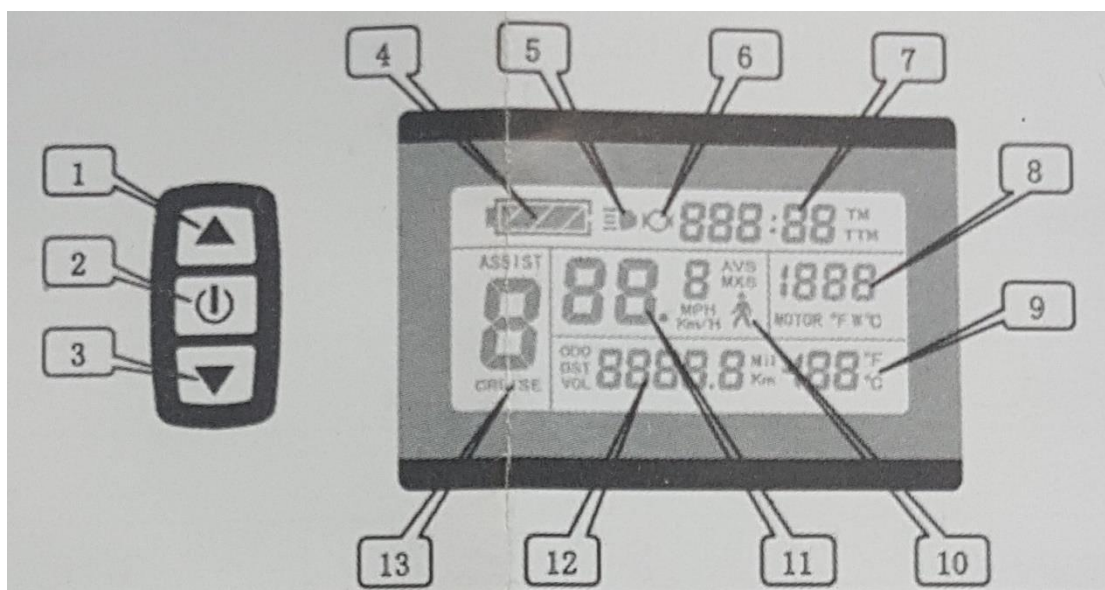
Εικόνα 4-39 Τελική τοποθέτηση τροχού με τον ηλεκτροκινητήρα.



Εικόνα 4-40 Η μονάδα απεικόνισης κατά την λειτουργία του ηλεκτρικού ποδηλάτου.

4.4.6 Μονάδα απεικόνισης

Το σύστημα απεικόνισης που διαθέτει το ποδήλατο αποτελείται από μια LCD οθόνη 3.2 ιντσών η οποία είναι τοποθετημένη στον λαιμό του τιμονιού (εικόνα 4.40). Η ίδια είναι υπεύθυνη να απεικονίζει σε πραγματικό χρόνο διάφορες παραμέτρους του ποδηλάτου και επιτρέπει, με την βοήθεια επιλογέα ο αναβάτης να αλλάζει τα επίπεδα υποβοήθησης. Υπάρχουν τρία βασικά μενού στα οποία εμφανίζονται ποικίλες πληροφορίες όσον αφορά την κατάσταση του ποδηλάτου. Κύρια πληροφορία που δίνεται στον οδηγό είναι η στιγμιαία ταχύτητα του ποδηλάτου συνοδευόμενη με ένα οδόμετρο στο οποίο εμφανίζεται η συνολική δανεισθέντα απόσταση.



Εικόνα 4-41 Στοιχεία που εμφανίζονται στην μονάδα απεικόνισης.

1. Διακόπτης αύξησης υποβοήθησης
2. Διακόπτης ON/OFF
3. Διακόπτης μείωσης υποβοήθησης
4. Ένδειξη στάθμης μπαταρίας
5. Ένδειξη φώτων
6. Ένδειξη φρένου
7. Ολικός και στιγμιαίος χρόνος οδήγησης
8. Ισχύς και θερμοκρασία κινητήρα
9. Θερμοκρασία περιβάλλοντος
10. Υποβοήθηση στα 6 χλμ/ω
11. Μέγιστη, μέση και στιγμιαία ταχύτητα ποδηλάτου
12. Συνολική απόσταση και ένδειξη τάσης μπαταρίας
13. Βαθμός υποβοήθησης

4.5 Τελικό Αποτέλεσμα

Το κιτ μετατροπής που κατασκευάσαμε φαίνεται στις παραπάνω εικόνες. Το κιτ περιλαμβάνει τον κινητήρα με τον οπίσθιο τροχό, την μονάδα της μπαταρίας και την μονάδα του ελεγκτή. Ολόκληρη η μετατροπή, με την εγκατάσταση των καλωδιώσεων, απαιτεί περίπου 3 ώρες. Η καλωδίωση περνάει από την κάτω πλευρά του σκελετού και καταλήγει στο τιμόνι και συγκεκριμένα στην μονάδα απεικόνισης. Η ίδια φαίνεται στην εικόνα 4-42. Ένα ενδεικτικό κοστολόγιο της κατασκευής ενός τέτοιου κιτ φαίνονται στον πίνακα 9.

Είδος	Κόστος μονάδας	Ποσότητα	Τελική Τιμή
Bms	18,09	2	36,18
Connectors	1,29	5	6,45
Θερμοσυστελομενα-1	1,05	2	2,1
Θερμοσυστελομενα-2	0,766	2	1,532
Θερμοσυστελομενο-3	0,32	1	0,32
PLA νημα	19,34	2	38,68
Κινητήρας και εξτρά	231,16	1	231,16
Arduino mega	7	1	7
Χρωμα 1/4 lit	14	1	14
Ακτινολογιση 2 ζαντων	20	1	20
Μπουτον	0,8	1	0,8
Κελιά Μπαταριών	2,95	50	156,25
Dc converter	1,83	1	1,83
Αισθητήρες θερμοκρασίας	2,73	10	27,3
Arduino Nano	5,7	2	11,4
Pin header	3,48	1	3,48
ΧΤ-60 Σύνδεσμοι	2,1	1	2,1
Μανετες	8	1	8
Κρικος αλυσιδας	2,49	1	2,49
Μονωτικη ταινια	0,59	1	0,59
V-brakes	8,99	1	8,99
Αλυσιδα	8,49	1	8,49
Αισθητήρας έντασης	5,24	1	5,24
Rotary encoder	2,82	1	2,82
Attiny85	1,61	10	16,1
Φωτοτυπιες	2,6	1	2,6
Οπτοζεύκτες ILD	2,5	10	25
Φορτιστής	89,4	1	89,4
Σύνολο		113	730,302

Πίνακας 9 Ενδεικτικό κοστολόγιο.



Εικόνα 4-42 Το τελικό αποτέλεσμα μετά την τοποθέτηση όλων των εξαρτημάτων.



Εικόνα 4-43 Η μονάδα της μπαταρίας στην τελική της μορφή.

5 Προσομοίωση

5.1 Εισαγωγή

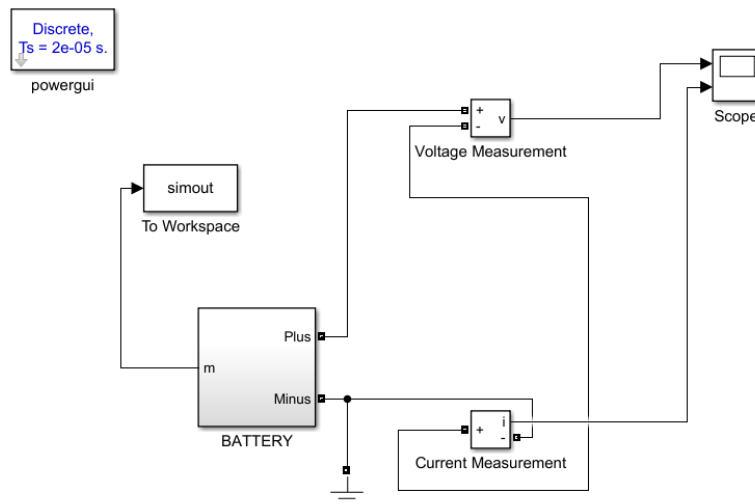
Η αυξανόμενη χρήση των μπαταριών ιόντων λιθίου, ως κύρια πηγή ενέργειας στην ηλεκτροκίνηση, έκανε επιτακτική την ανάγκη για μελέτη και υπολογισμό τους. Δηλαδή την αναζήτηση για την κατάλληλη σύνθεση των κελιών μπαταρίας, έτσι ώστε η εφαρμογή να λειτουργεί ορθά.

Η μελέτη αυτή μπορεί να γίνει είτε πειραματικά, με την κλασική μέθοδο πείραμα και δοκιμή, είτε με υπολογιστικό πείραμα στον υπολογιστή. Το πρώτο προσφέρει μεν σίγουρα και ακλόνητα αποτελέσματα, αλλά κοστίζει σε χρόνο και σε πόρους. Το υπολογιστικό πείραμα προτιμάται, ειδικά σε περιπτώσεις σύνθετων προβλημάτων, λόγω γρήγορων και αρκετά αξιόπιστων αποτελεσμάτων.

Ο ακριβής αυτός υπολογισμός είναι αναγκαίος, όχι μόνο για την σχεδίαση, αλλά και για την παροχή σωστών πληροφοριών στον οδηγό, παραδείγματος χάριν ο υπολογισμός της εναπομείνουσας απόστασης και η ενημέρωση του οδηγού, πληροφορία κρίσιμη για ένα ηλεκτροκίνητο όχημα.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση αυτό που θα υλοποιηθεί, είναι η προσομοίωση της μπαταρίας του ηλεκτρικού ποδήλατου στο λογισμικό Matlab, καθώς και του υπόλοιπου ηλεκτρικού κυκλώματος αυτού.

Ξεκινώντας από τον ηλεκτροχημικό συσσωρευτή, υπάρχουν τρία δυνατά μοντέλα προσομοίωσης: το ηλεκτροχημικό, το μαθηματικό και το ηλεκτρικό. Αναλυτικότερα το ηλεκτροχημικό μοντέλο, έχει να κάνει με την εσωτερική δομή της μπαταρίας. Δηλαδή, χρησιμοποιείται από ερευνητές που κύριο μέλημά τους είναι ο σχεδιασμός μπαταριών. Τα μοντέλα αυτά είναι σύνθετα και χρονοβόρα. Στη συνέχεια το μαθηματικό μοντέλο, χρησιμοποιεί εμπειρικές, κυρίως, εξισώσεις για να προβλέψει διάφορα μεγέθη, όπως την χωρητικότητα της μπαταρίας. Παρόλα αυτά δεν έχει την δυνατότητα παροχής πληροφοριών για μεγέθη, όπως αυτά της έντασης (I) και της τάσης (V) της μπαταρίας, πληροφορίες καίριες για την προσομοίωση ενός κυκλώματος. Επιπλέον το μοντέλο αυτό παρέχει σωστά αποτελέσματα μόνο για συγκεκριμένες εφαρμογές και το ποσοστό λάθους κυμαίνεται από 5% μέχρι και 20%. Τέλος το ηλεκτρικό μοντέλο, αποτελείται από «ηλεκτρικά ανάλογα κυκλώματα», χρησιμοποιώντας ένα συνδυασμό από πηγές τάσης, αντιστάσεις και πυκνωτές, σε συνδυασμό με άλλα ηλεκτρικά κυκλώματα και συστήματα. Είναι εύκολο και απλό στη χρήση, σε σχέση με τις προηγούμενες δυο κατηγορίες. Η ακρίβεια των αποτελεσμάτων κυμαίνεται στο 1%-5%, τιμή ενδιάμεση στο ηλεκτροχημικό και μαθηματικό μοντέλο.



Εικόνα 5-1

Έτσι λοιπόν επιλέχθηκε το ηλεκτροχημικό μοντέλο για την απεικόνιση της μπαταρίας, χάριν της απλότητάς του και της ακρίβειάς του. Για τα υπόλοιπα στοιχεία της διαδρομής ισχύος χρησιμοποιήθηκαν τα έτοιμα μπλοκ που παρέχονται από το Simulink, μεταβάλλοντας βέβαια τις τιμές τους, έτσι ώστε να ανταποκρίνονται στη κατασκευή.

Η μοντελοποίηση περιλαμβάνει όλα τα στοιχεία τα οποία εμπεριέχονται στην διαδρομή ισχύος του ηλεκτρικά υποβοηθούμενου ποδηλάτου. Αρχικά την μπαταρία (εικόνα 5.1)

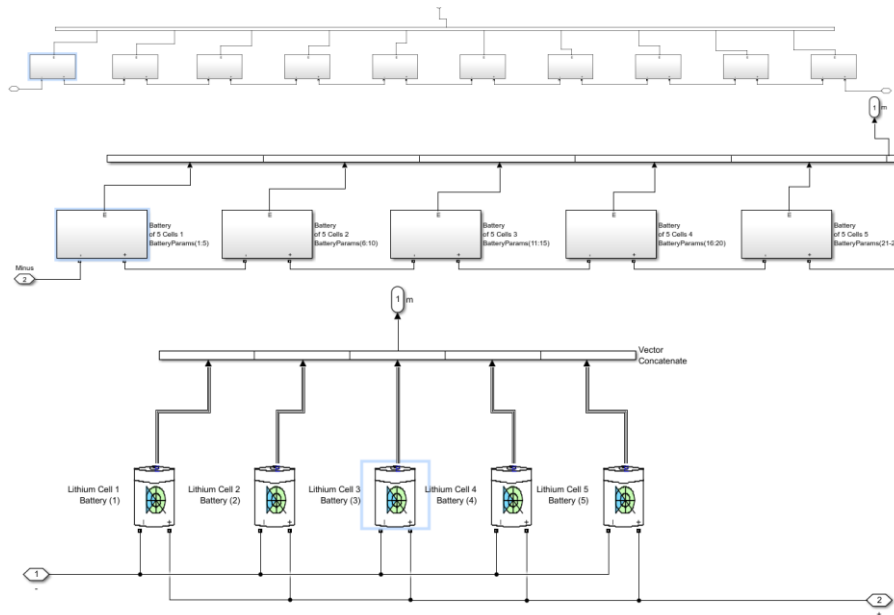
Το είδος της μπαταρίας, καθώς και η δομή, η κατασκευή και τα χαρακτηριστικά της έχουν αναλυθεί σε προηγούμενα κεφάλαια, οπότε δεν είναι σκόπιμο να επαναληφθούν. Προκειμένου λοιπόν να δημιουργηθεί ένα μοντέλο αντιπροσωπευτικό της πραγματικής μπαταρίας, πρέπει να ληφθούν υπόψη τα χαρακτηριστικά των κελιών από τα οποία κατασκευαστικές ($V_c=3.6\text{ V}$, $Q_c=2.9\text{ Ah}$), καθώς και η συνδεσμολογία αυτών μεταξύ τους, έτσι ώστε να επιτυγχάνονται τα επιθυμητά χαρακτηριστικά.

Η μπαταρία είναι τύπου 10S5P, που σημαίνει ότι υπάρχουν 10 κελιά σε σειρά, τα οποία με τη σειρά τους συνδέονται με άλλα 5 τα οποία είναι παράλληλα συνδεδεμένα μεταξύ τους. Έτσι:

$$V_b = n_{cells_{series}} * V_c = 10 * 3.6V = 36V \quad \text{Εξίσωση 10}$$

Και

$$Q_b = n_{cells} * Q_c = 5 * 2.9Ah = 14.5Ah \quad \text{Εξίσωση 11}$$

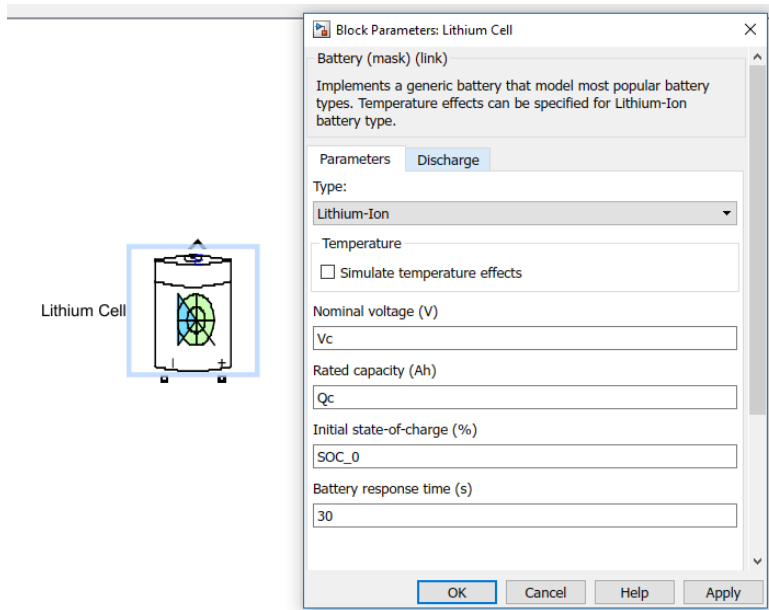


Εικόνα 5-2

Αρχικά λοιπόν επιλέχθηκε το κελί (εικόνα 5.3), έτοιμο από την βιβλιοθήκη του matlab. Έπειτα ορίστηκαν οι αρχικές σταθερές αυτού του κελιού, δηλαδή η ονομαστική του τάση V_c , η χωρητικότητα Q_c , όπως και το αρχικό επίπεδο φόρτισης του SOC_0 . Έτσι λοιπόν δημιουργήθηκε το πρώτο κελί σε αντιστοίχιση με το πραγματικό. Στη συνέχεια τα κελιά πολλαπλασιάστηκαν μέχρι να γίνουν πέντε των ίδιων χαρακτηριστικών. Έπειτα αυτά τα κελιά συνδέθηκαν παράλληλα μεταξύ τους έχοντας κοινούς ακροδέκτες, αρνητικό και θετικό αντίστοιχα. Επιπλέον δημιουργήθηκε μια «δεξαμενή» πληροφοριών με το όνομα m , όπου και παρέχονταν οι πληροφορίες τάσης, έντασης και καταστάσεως φόρτισης του κάθε κελιού, όπως φαίνεται την εικόνα 5.2.

Στη συνέχεια το παραπάνω σύστημα τοποθετήθηκε σε ένα υποσύστημα, το οποίο και αποτέλεσε την πρώτη συστάδα των πέντε παράλληλων κελίων. Μετά αυτά τα υποσυστήματα πολλαπλασιάστηκαν μέχρι να γίνουν δέκα, ώστε να επιτευχθεί ο τελικός αριθμός των κελίων της μπαταρίας 50. Έπειτα συνδέθηκαν μεταξύ τους σε σειρά, καθώς η διάταξη της μπαταρίας είναι 10S5P, εικόνα 5.2. Οπότε και η μπαταρία πήρε την τελική της μορφή. Στη εικόνα 5.2 φαίνεται πάλι η μεταβλητή m , μέσω της οποίας μεταφέρονται οι πληροφορίες της τάσης, της έντασης και της κατάστασης φόρτισης του κάθε κελιού. Οι πληροφορίες αυτές μπορούν να εμφανιστούν στο matlab στον πίνακα `simout`.

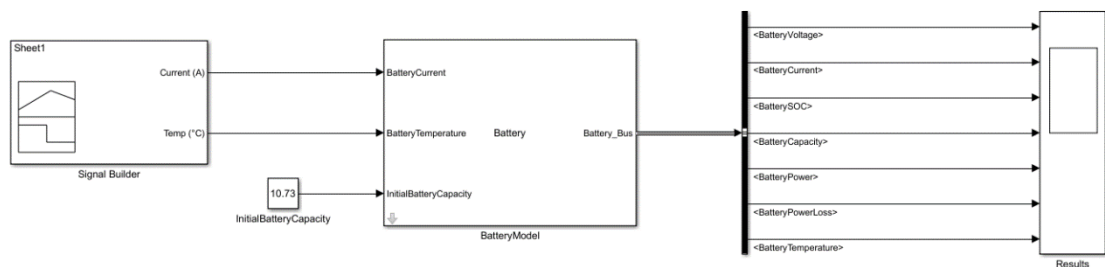
Τέλος για έλεγχο τοποθετήθηκαν ένα βολτόμετρο και ένα αμπερόμετρο πάνω στην μπαταρία, προκειμένου να διαπιστωθεί ότι επιτευχθεί ο τελικός στόχος και το μοντέλο δοκιμάστηκε σε μια προσομοίωση λίγων δευτερολέπτων.



Εικόνα 5-3

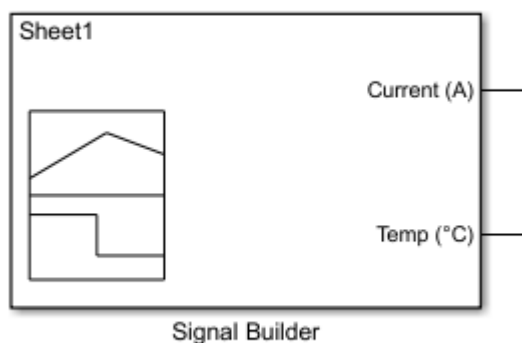
5.2 Μοντελοποίηση

Το μοντέλο το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την μοντελοποίηση της μπαταρίας απεικονίζεται, παρακάτω στην εικόνα 5.4.



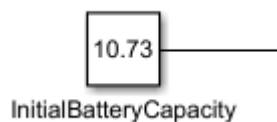
Εικόνα 5-4

Αρχικά εισάγουμε τα δεδομένα των μετρήσεων και συγκεκριμένα την μετρούμενη ένταση (Current (A)) και θερμοκρασία (Temp (°C)), στο μπλοκ (Signal Builder) του Simulink (Εικόνα 5.5)



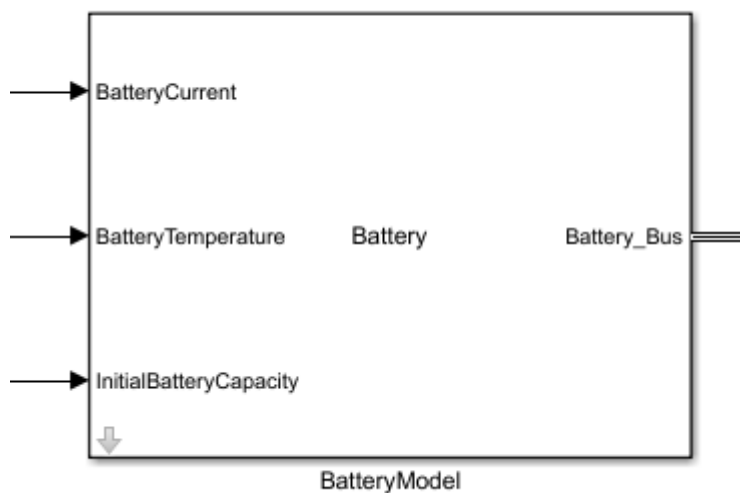
Εικόνα 5-5

Στη συνέχεια εισάγουμε επίσης την χωρητικότητα της μπαταρίας κατά την έναρξη των μετρήσεων (Εικόνα 5.6)



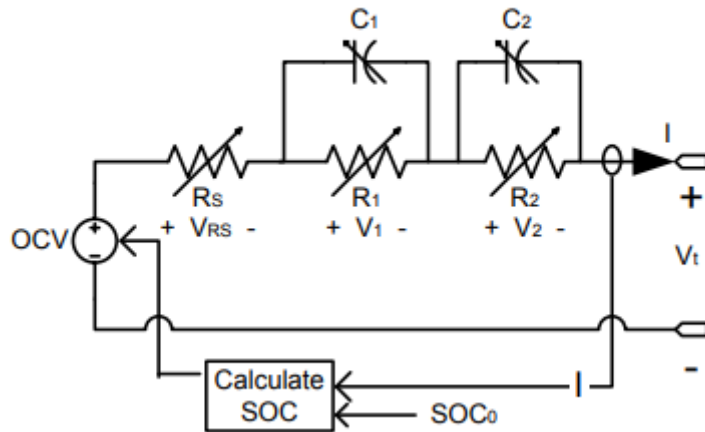
Εικόνα 5.6

Έπειτα ακολουθεί η επεξεργασία των μετρήσεων. (Εικόνα 5.7)



Εικόνα 5-7

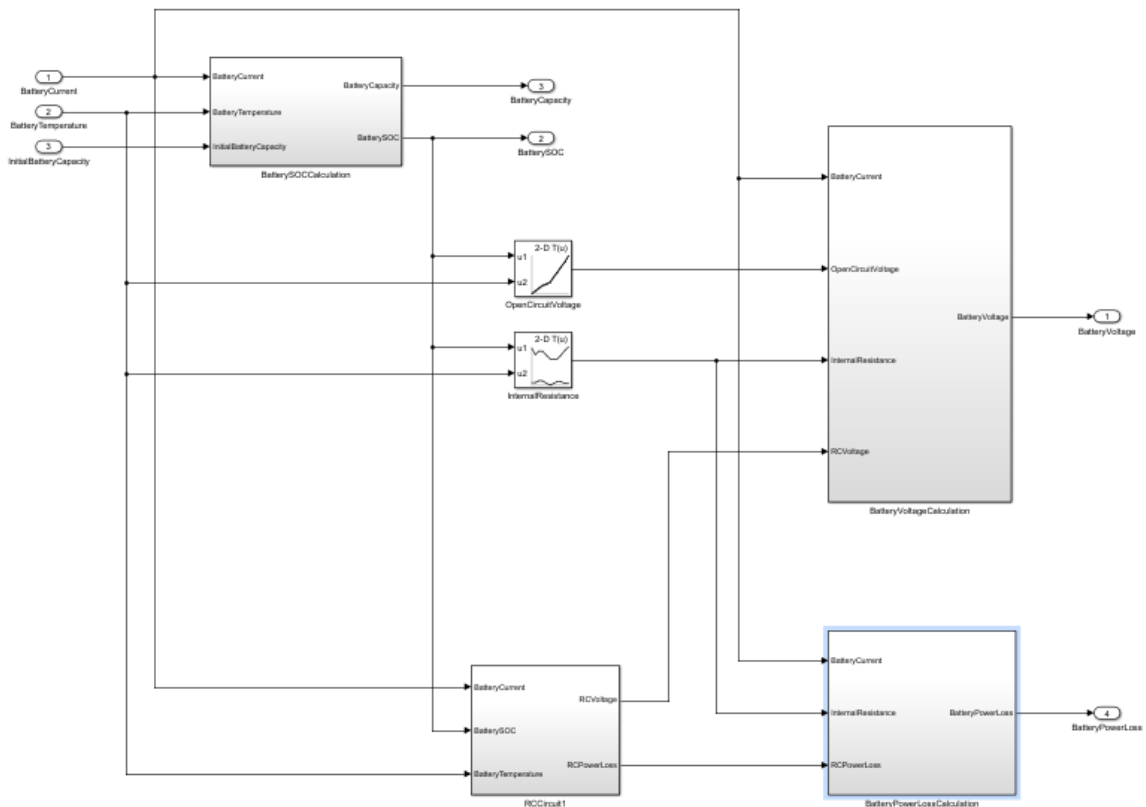
Το μοντέλο πάνω στο οποίο βασίστηκε ο σχεδιασμός της μπαταρίας είναι μοντέλο πρώτης τάξης και απεικονίζεται στην εικόνα 5.8. Αναφορά του οποίου βρίσκεται στη βιβλιογραφία.



Εικόνα 5-8

Στη περίπτωση του συγκεκριμένου πειράματος όμως παραλήφθηκε ο δεύτερος πυκνωτής και η δεύτερη εσωτερική αντίσταση.

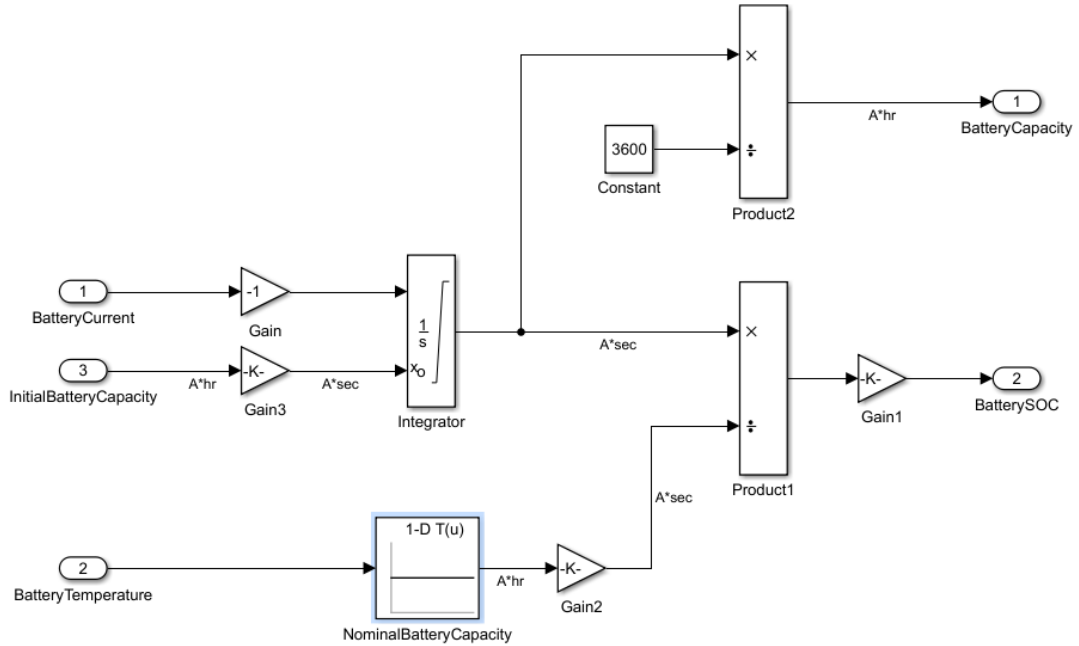
Περνώντας τώρα πιο βαθιά μέσα στο μοντέλο της μπαταρίας (Εικόνα 5.9) ακολουθήθηκε η διαδικασία, η οποία ακολούθησε για τον υπολογισμό των μεγεθών.



Εικόνα 5-9

Και συγκεκριμένα ο υπολογισμός της κατάστασης φόρτισης της μπαταρίας (State of Charge SoC), με δεδομένα την ένταση, η οποία απαιτείται από την μπαταρία, την θερμοκρασία της μπαταρίας, καθώς και την χωρητικότητα της μπαταρίας, κατά την αρχή του πειράματος.

Στη συνέχεια με τη χρήση της έντασης, ανεστραμμένης λόγω της ροής του ρεύματος, και της αρχικής χωρητικότητας, μετετρεμμένης από [Ah] σε [As], υπολογίζεται μέσω του ολοκληρώματος στο χρόνο η στιγμιαία χωρητικότητα στη μπαταρίας σε [Ah] πάλι (Εικόνα 5.10).

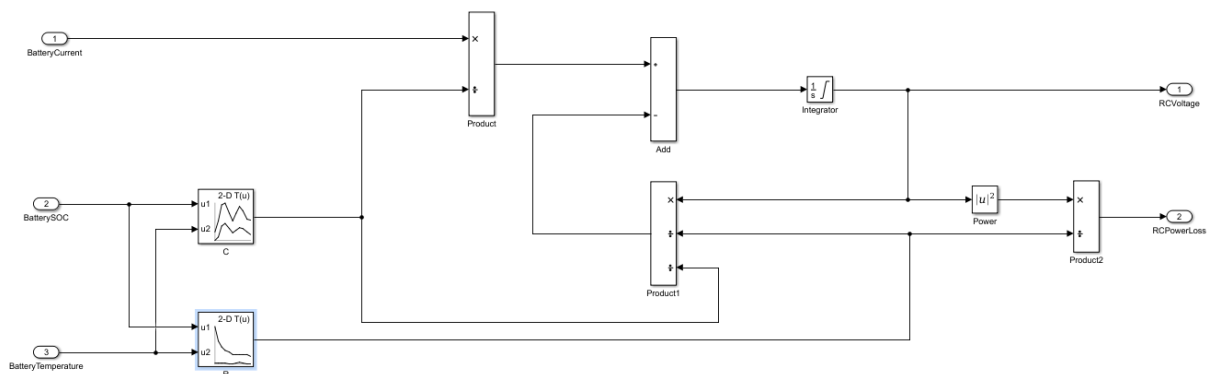


Εικόνα 5-10

Στο κάτω μέρος της εικόνας 5.10 φαίνεται ο τρόπος υπολογισμού του SoC στιγμιαία με τη χρήση της αρχικής χωρητικότητας της μπαταρίας σε [Ah] και της χωρητικότητάς της σε σχέση με τη θερμοκρασία λειτουργίας, σε ποσοστό επί τις εκατό. Για τον υπολογισμό του SoC χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση:

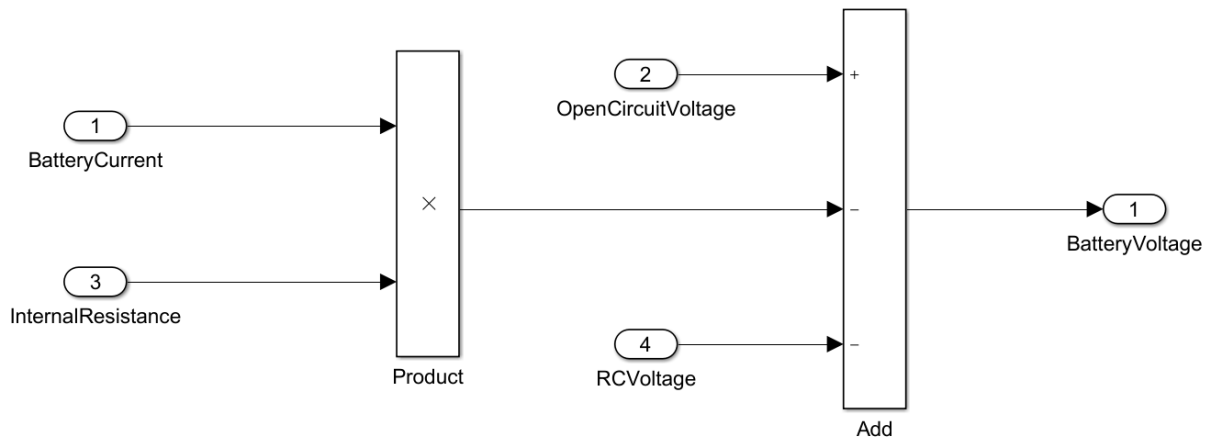
$$SOC = SOC_0 - \int \frac{I \times 100}{a^u \times 3600} dt \quad \text{Εξίσωση 12}$$

Ακόλουθα και στο εσωτερικό του επόμενου υποσυστήματος (Εικόνα 5.11) υπολογίζεται, με τη χρήση της έντασης, που αποτελείται από την πηγή, του στιγμιαίου SoC και της θερμοκρασίας λειτουργίας, η πτώση τάσης και η απώλεια σε ισχύ, που οφείλονται στην ύπαρξη του πυκνωτή και της αντίστασης στο εσωτερικό της μπαταρίας. Για να μπορέσει να πραγματοποιηθεί αυτό υπάρχουν και δύο πίνακες (Look up Table), τα οποία εμπεριέχουν τις τιμές χωρητικότητας και εσωτερικής αντίστασης της μπαταρίας για διάφορες τιμές θερμοκρασίας λειτουργίας.



Εικόνα 5-11

Έπειτα υπολογίζεται η ένταση της μπαταρίας σε πραγματικό χρόνο, λαμβάνοντας υπόψη τις απώλειες λόγω της εσωτερικής αντίστασης, καθώς και της ύπαρξης πυκνωτή στο μοντέλο (Εικόνα 5.12)



Εικόνα 5.12

Χρησιμοποιώντας τις εξής εξισώσεις αντίστοιχα:

Για τις απώλειες τάσης λόγω RC

$$V_{RC} = \left(\frac{1}{s}\right) \left[\frac{I}{C} - \frac{V}{RC}\right] \quad \text{Εξίσωση 13}$$

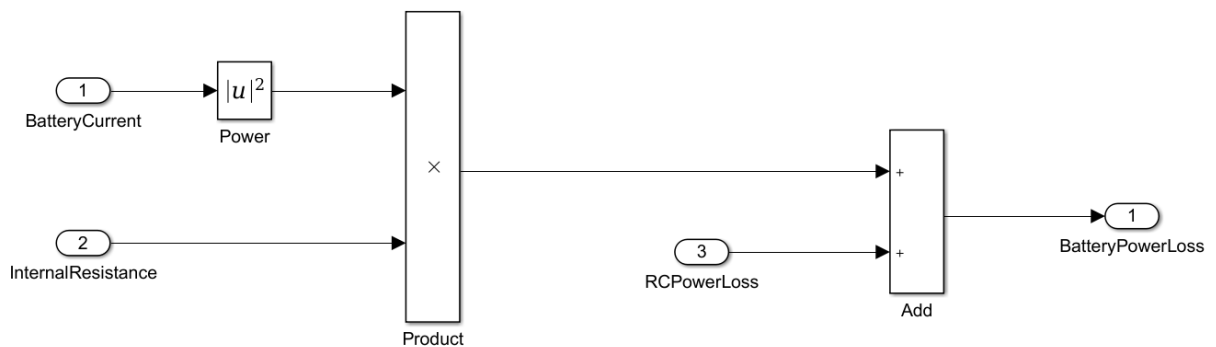
Για τις απώλειες τάσης λόγω εσωτερικής αντίστασης R_{in}

$$V_{R_{in}} = I \times R_{in} \quad \text{Εξίσωση 14}$$

Και τέλος για την τελική τάση V_t

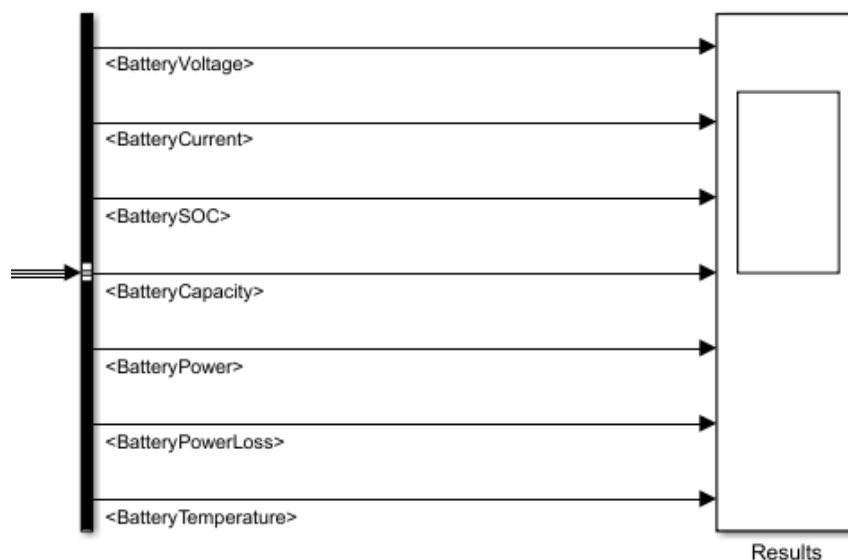
$$V_t = OCV - V_{RC} - V_{R_{in}} \quad \text{Εξίσωση 15}$$

Και τέλος υπολογίζονται οι απώλειες ισχύος της μπαταρίας, λόγω της ύπαρξης πυκνωτή στο μοντέλο (Εικόνα 5.13)



Εικόνα 5-13

Τελικώς όλες αυτές τα μεγέθη που υπολογίσθηκαν μεταφέρονται μέσω του Battery Bus στη «δεξαμενή» πληροφοριών (Score), όπου μετά μπορούμε να λάβουμε την έξοδο ως μια γραφική παράσταση, ξεχωριστά για το κάθε μέγεθος (Εικόνα 5.14).

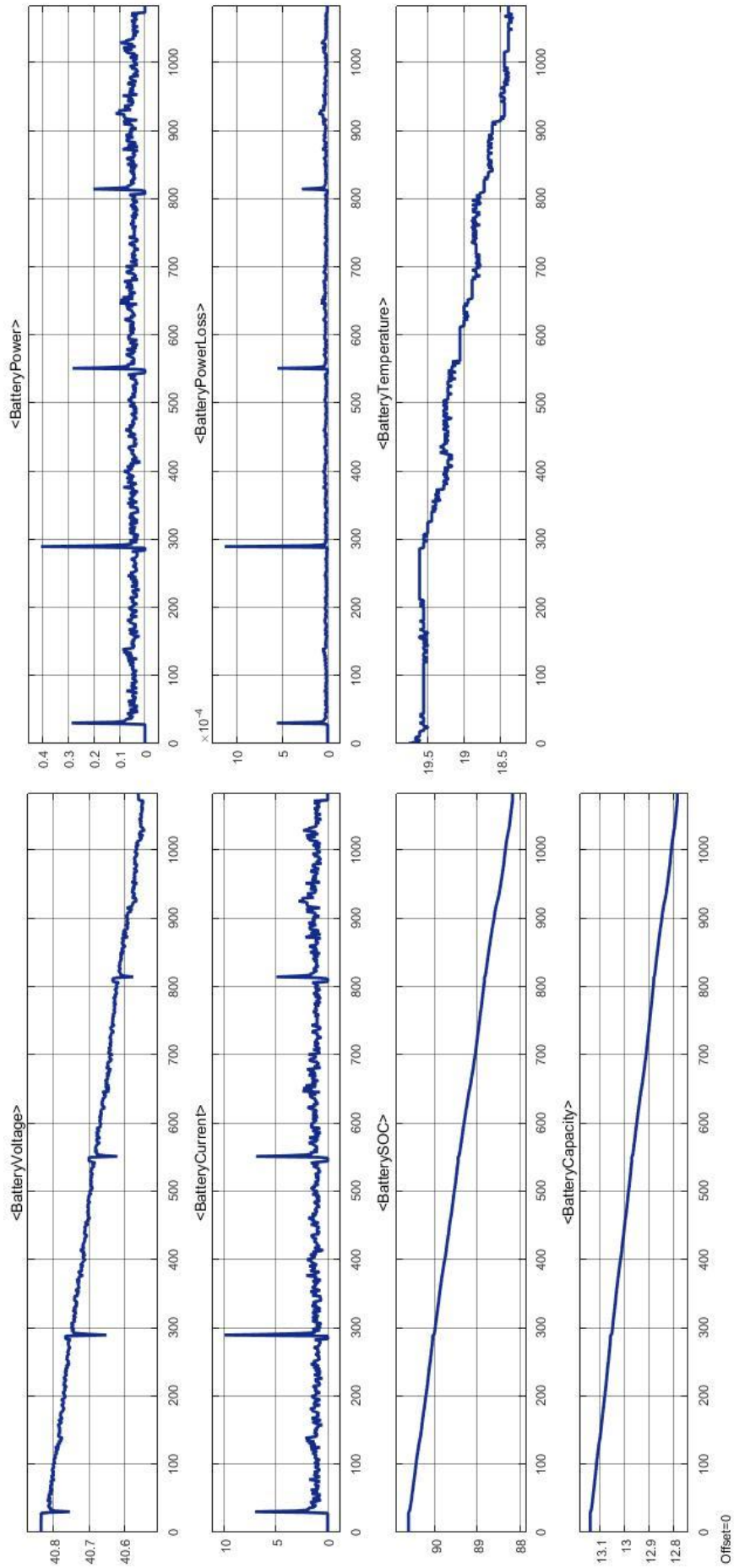


Εικόνα 5-14

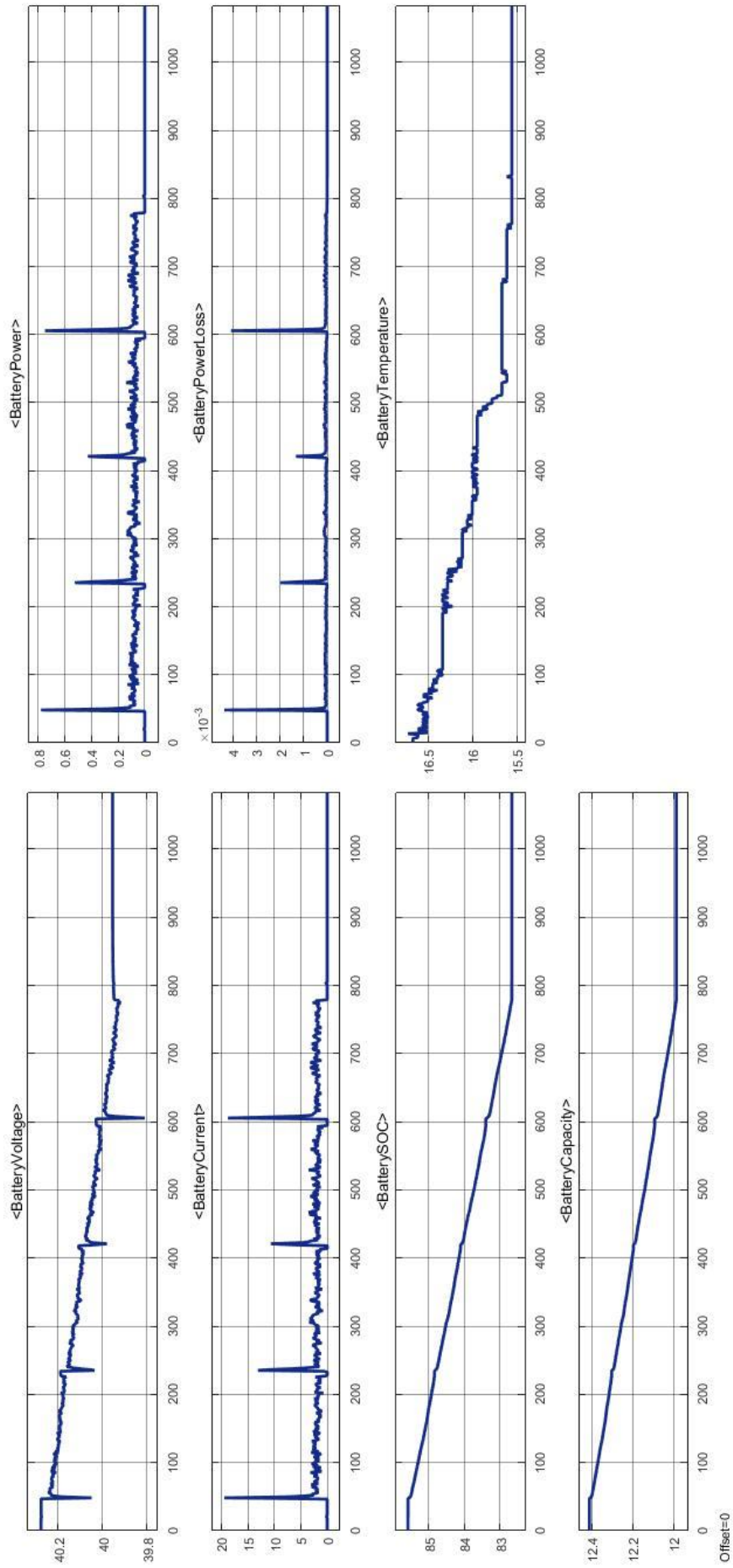
5.3 Πείραμα

Τα πειράματα που διεξήχθησαν είναι τα ίδια με αυτά που πραγματοποιήθηκαν και σε πραγματικές συνθήκες, δηλαδή με δεδομένα την ένταση (I), την θερμοκρασία (Temp) και την αρχική χωρητικότητα σε κάθε μέτρηση (Initial Q), υπολογίσθηκαν η τάση της πηγής (V_B), η τάση ανοικτού κυκλώματος (Open Circuit Voltage (OCV)), η εσωτερική αντίσταση της μπαταρίας (V_{Rin}), η κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας (SoC [%]), η χωρητικότητα της μπαταρίας (Q), οι απώλειες ισχύος (P_{loss}) και η προδιδόμενη ισχύς από την μπαταρία (P_B).

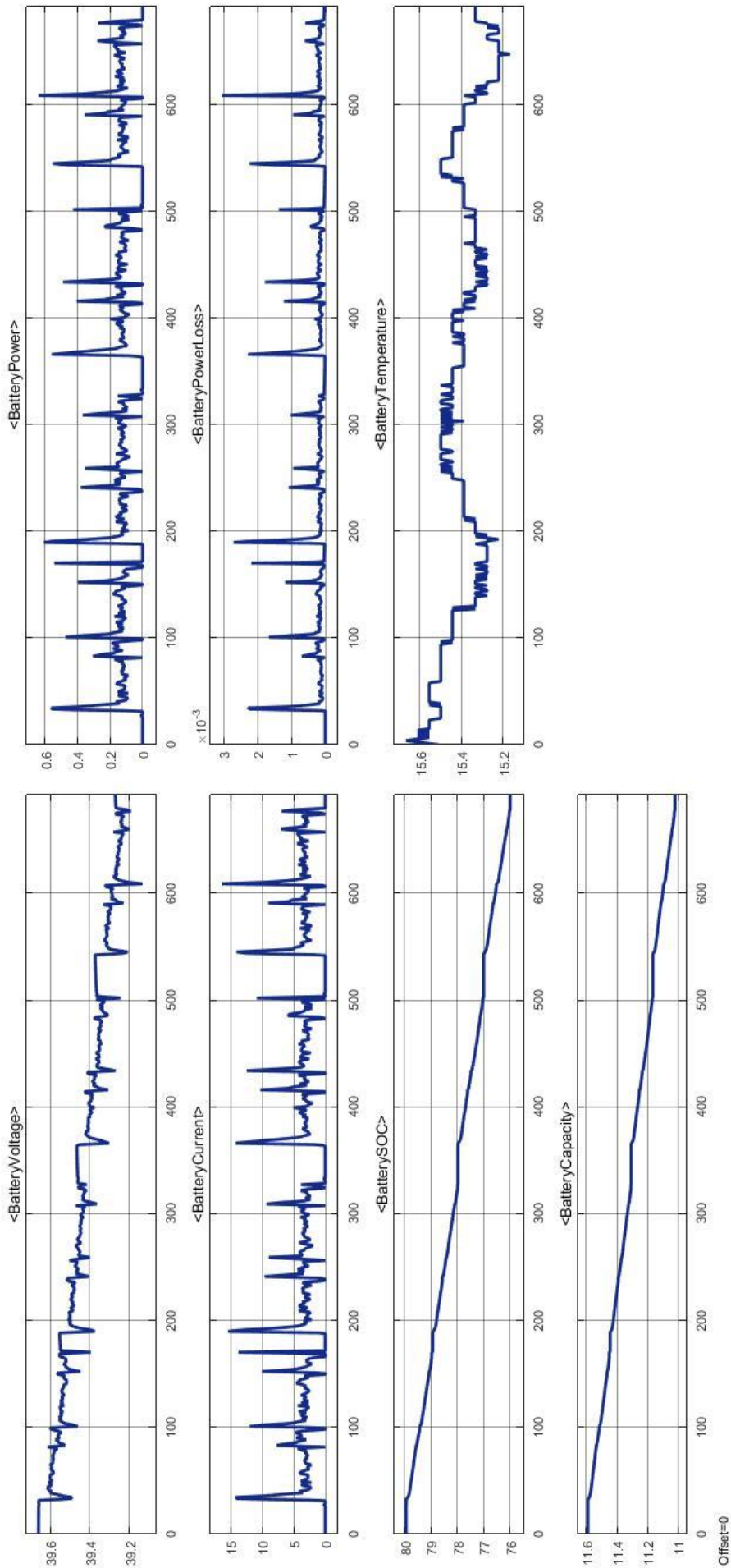
Τα πειράματα αυτά διεξήχθησαν για τέσσερις διαφορετικούς αναβάτες, στην ίδια διαδρομή, με μετρούμενες εξωτερικές συνθήκες (αέρας και θερμοκρασία) και για τέσσερα μοτίβα σταθερών ταχυτήτων, στα 10, 15, 20 και 25 km/h αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα αυτών παρουσιάζονται υπό την μορφή γραφημάτων στις σελίδες που ακολουθούν.



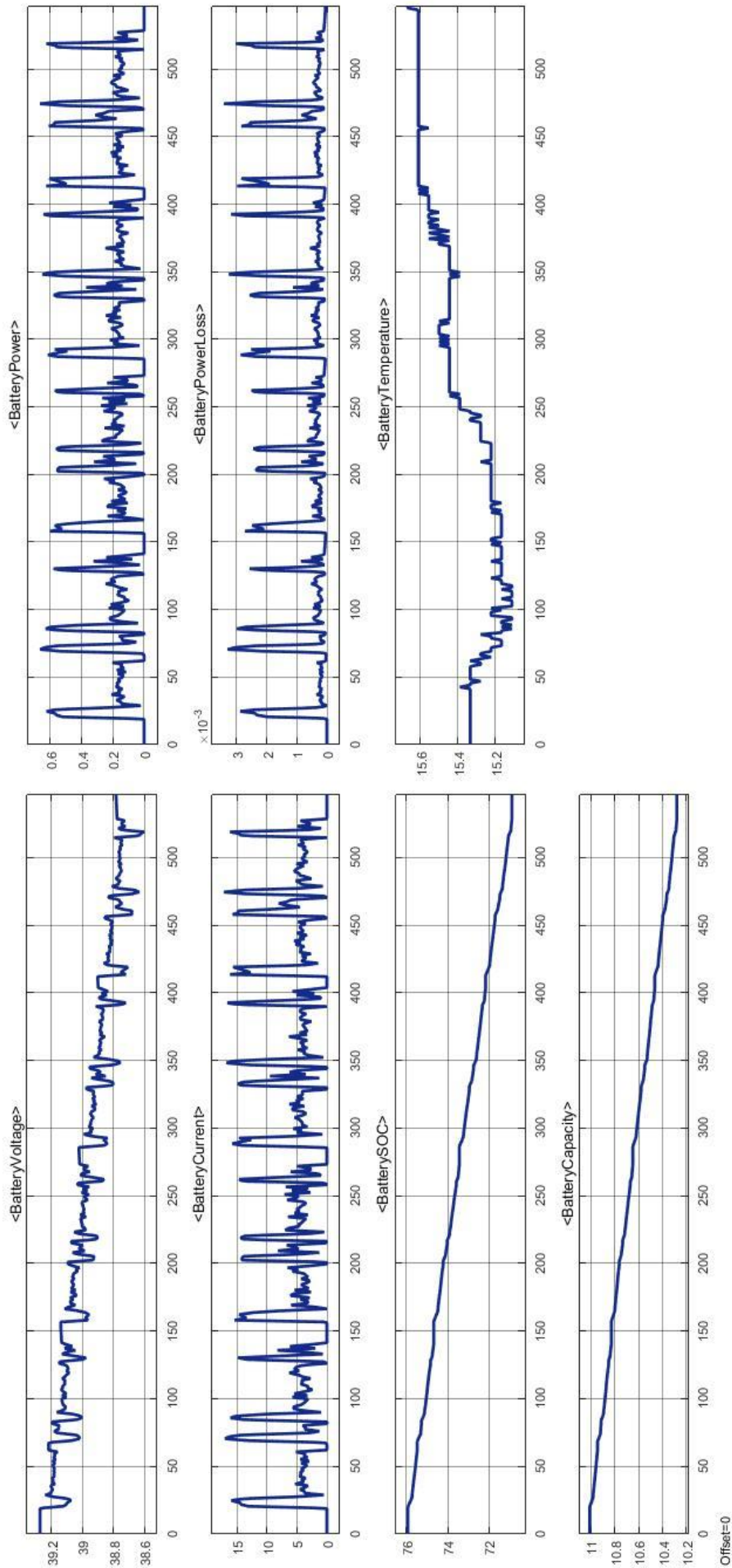
1^{ος} αναβάτης 10 km/h



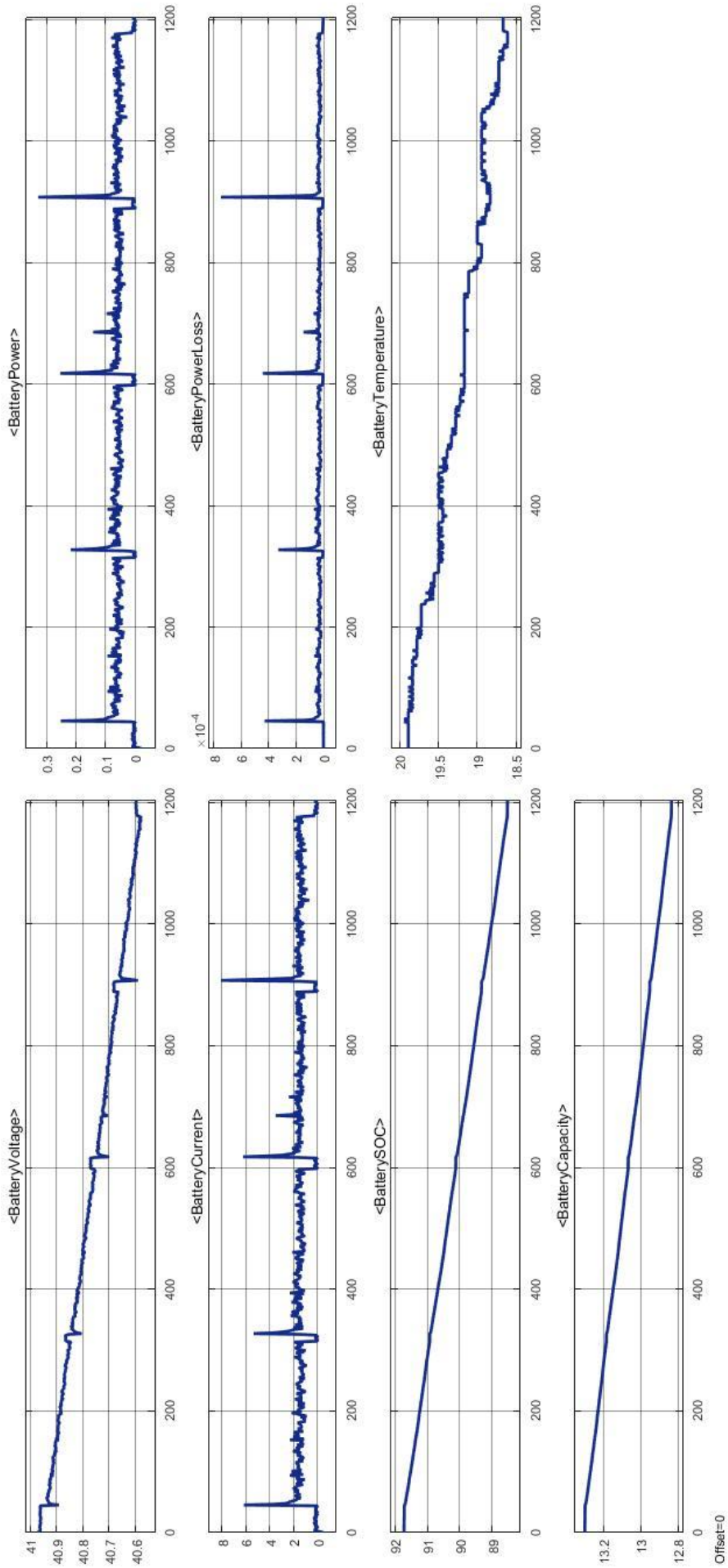
1^{ος} αναβάτης 15 km/h



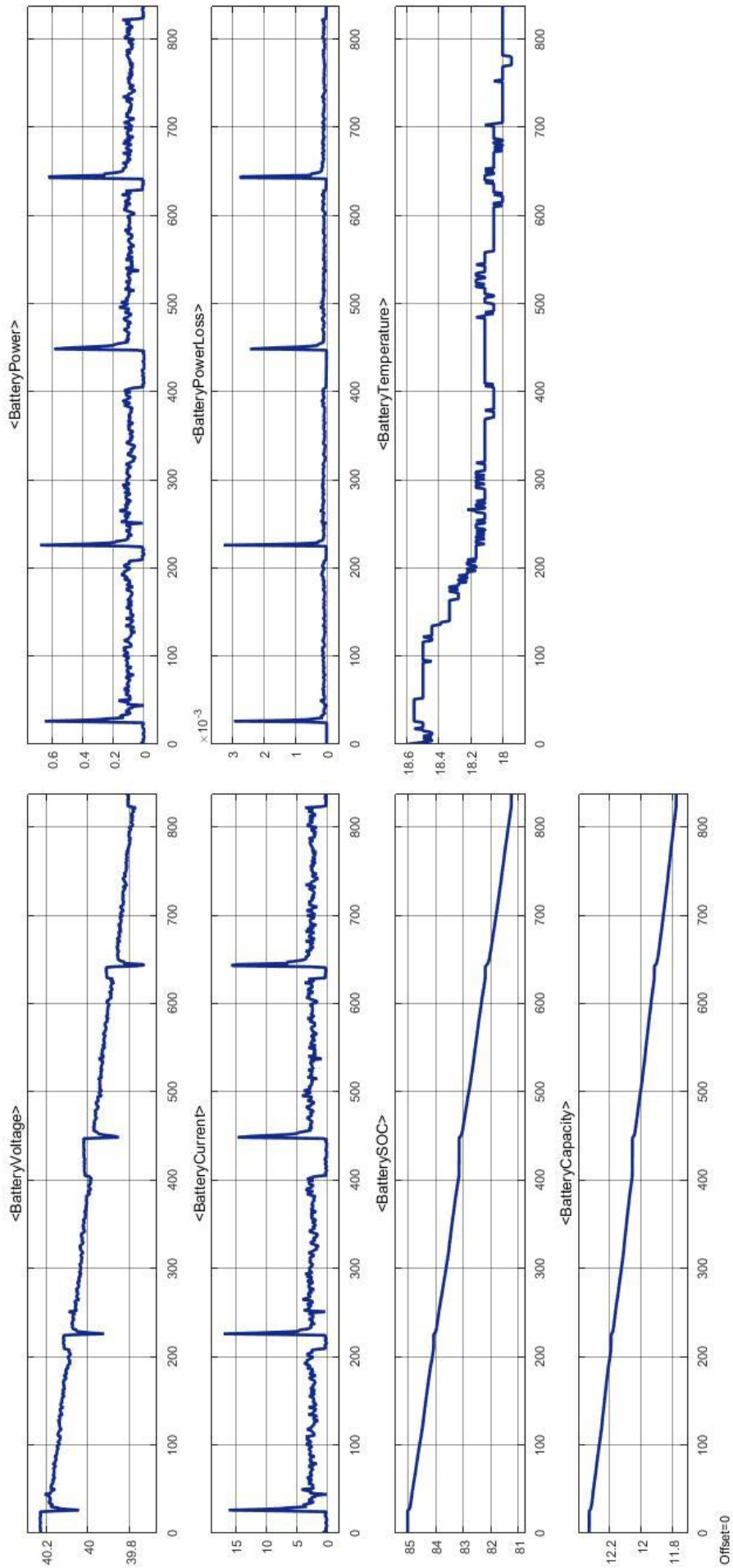
1^{ος} αναβάτης 20 km/h



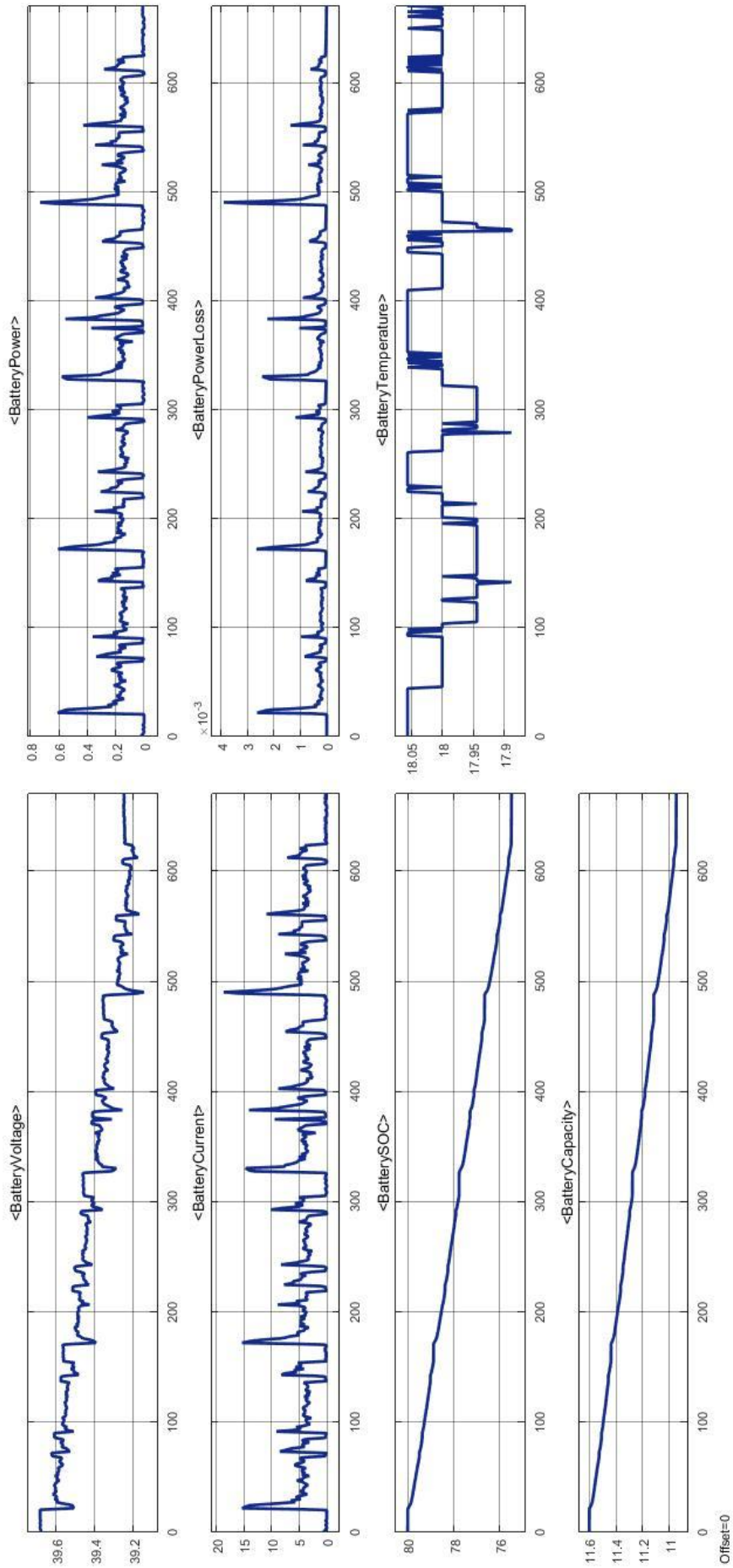
1^{ος} αναβάτης 25 km/h



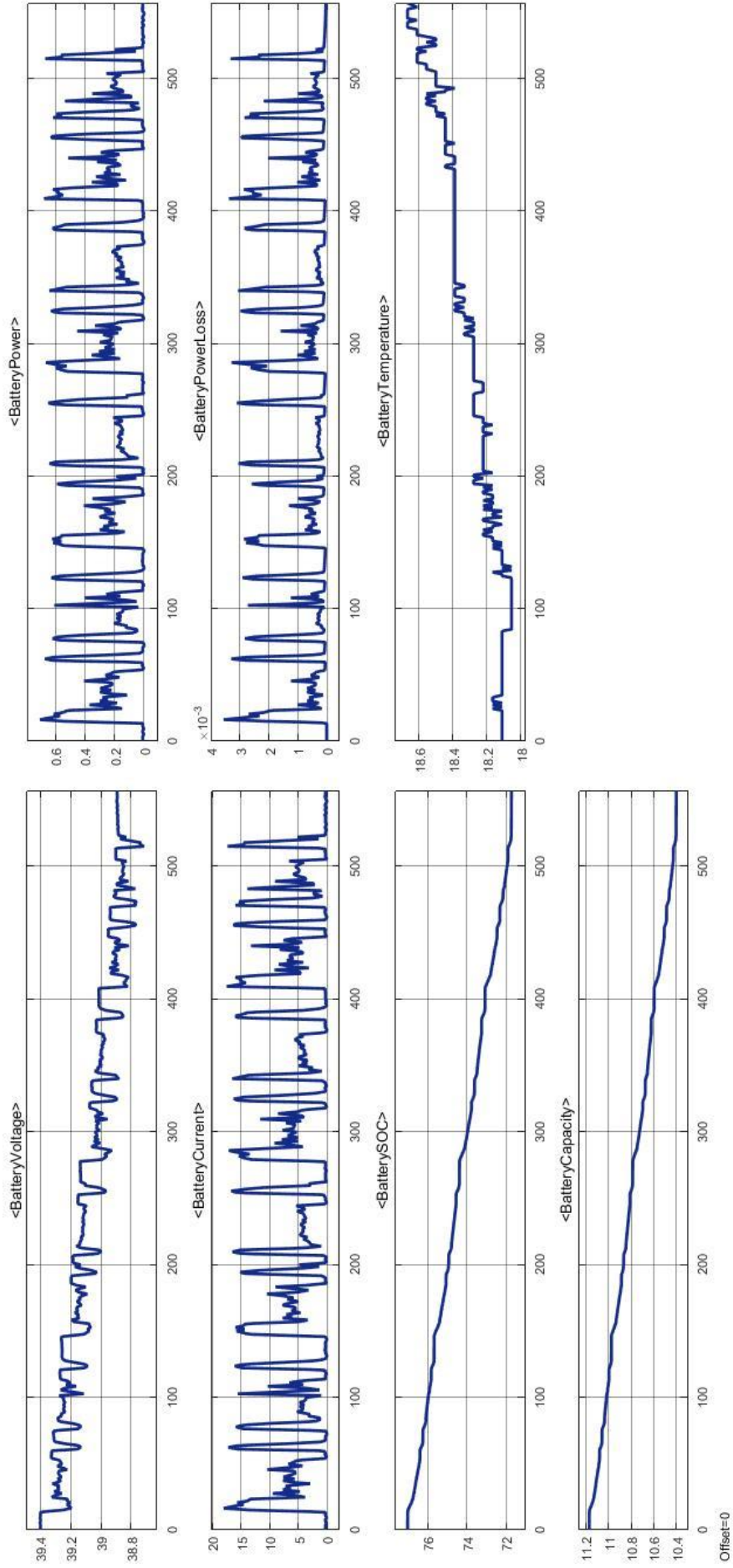
2^{ος} αναβάτης 10 km/h



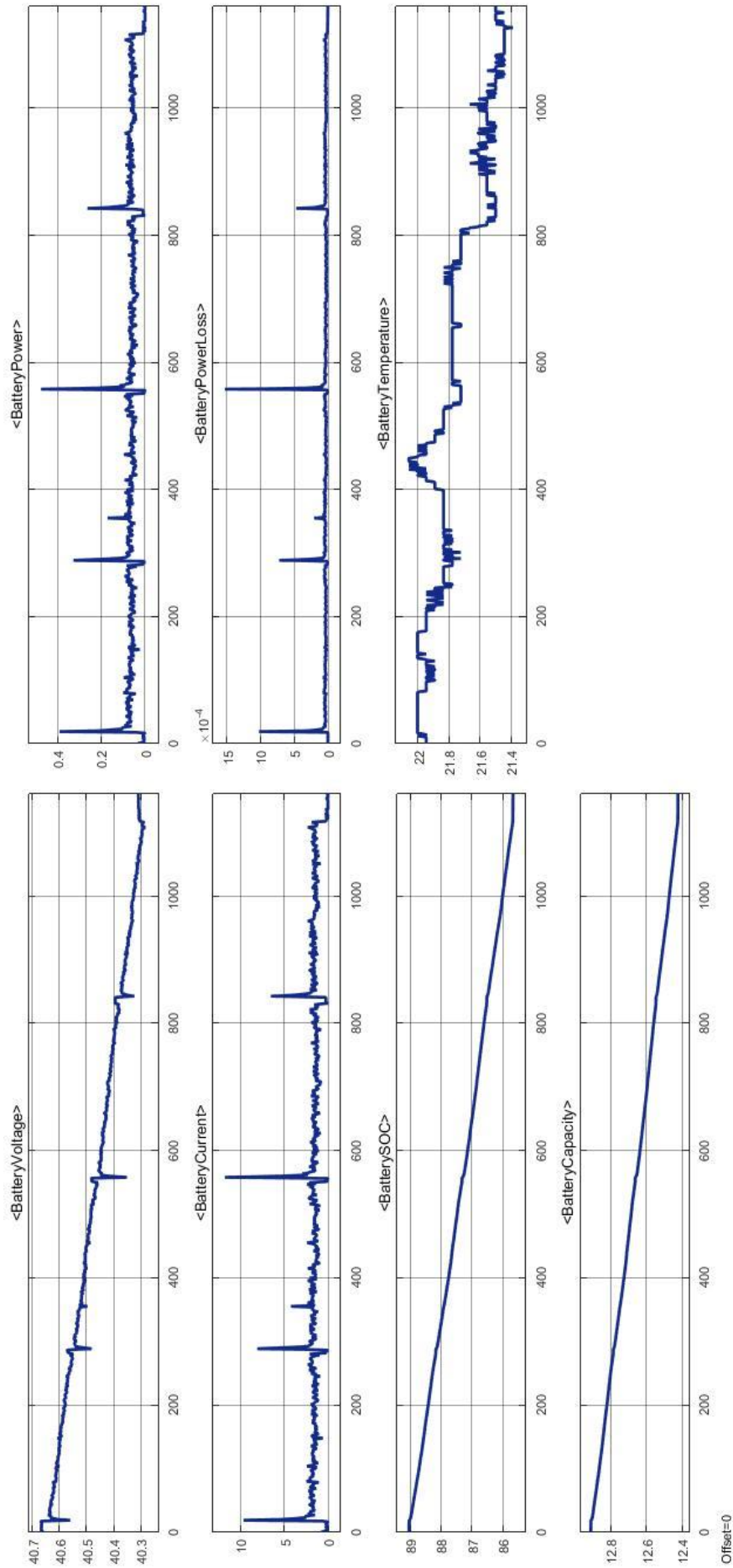
2^{ος} αναβάτης 15 km/h



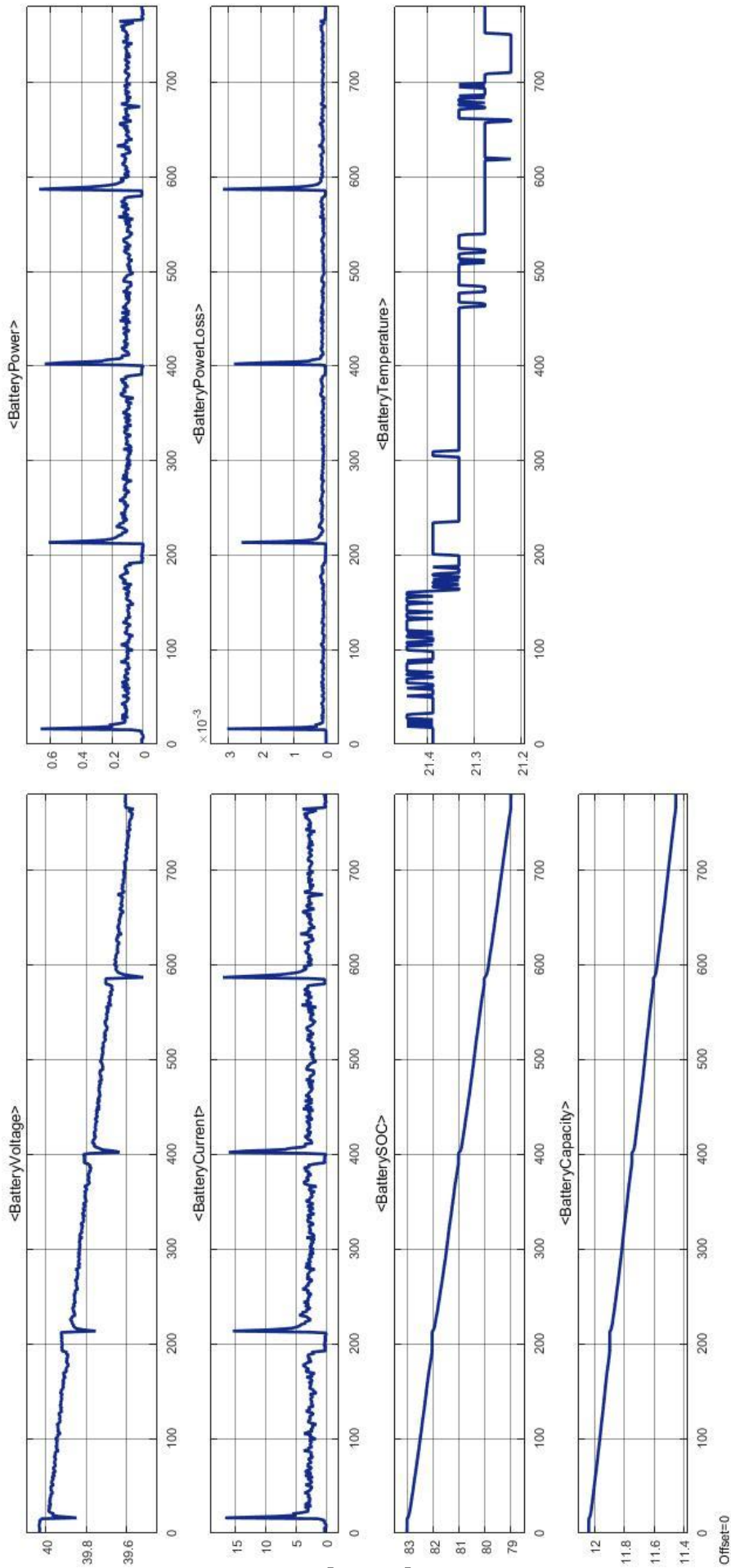
2^{ος} αναβάτης 20 km/h



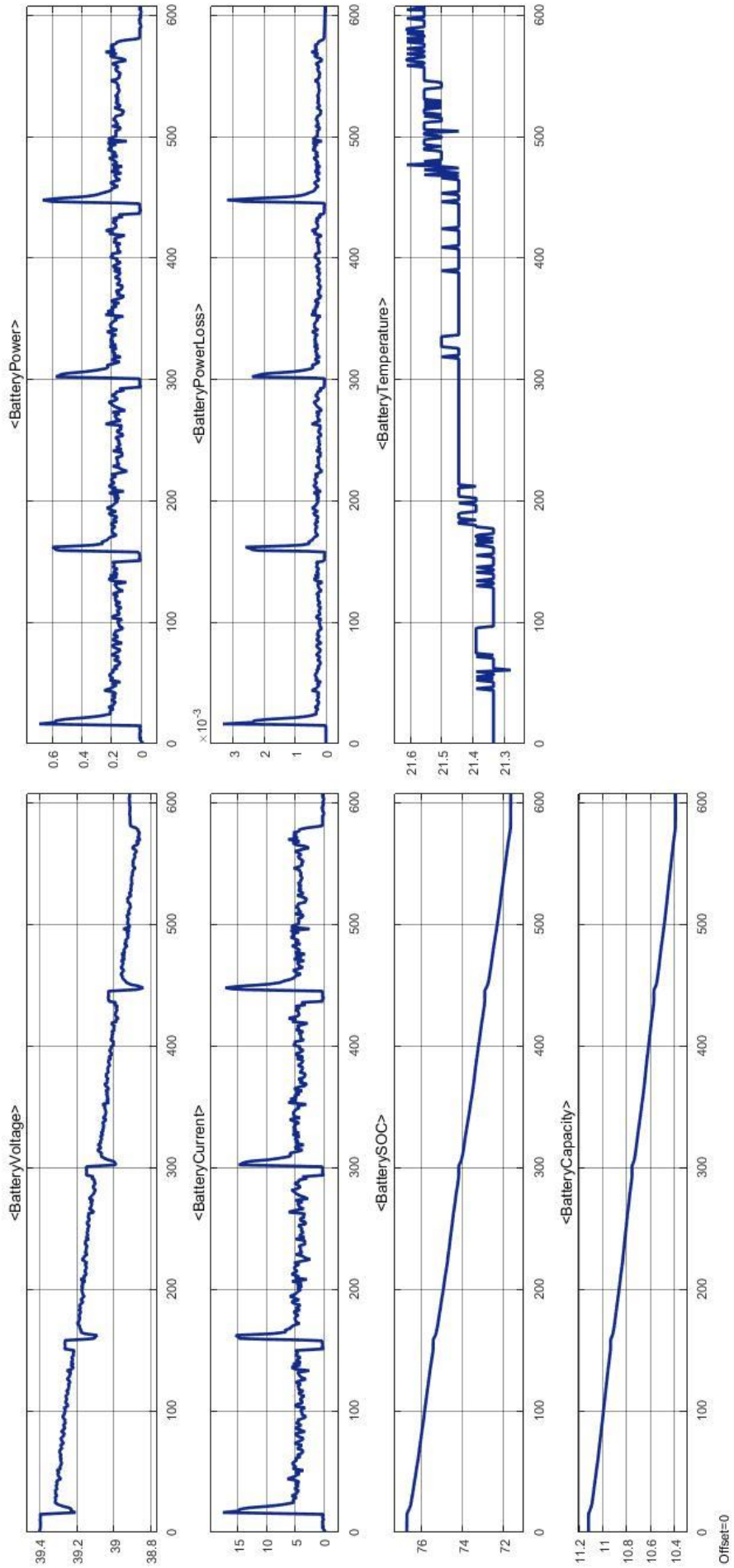
2^{ος} αναβάτης 25 km/h



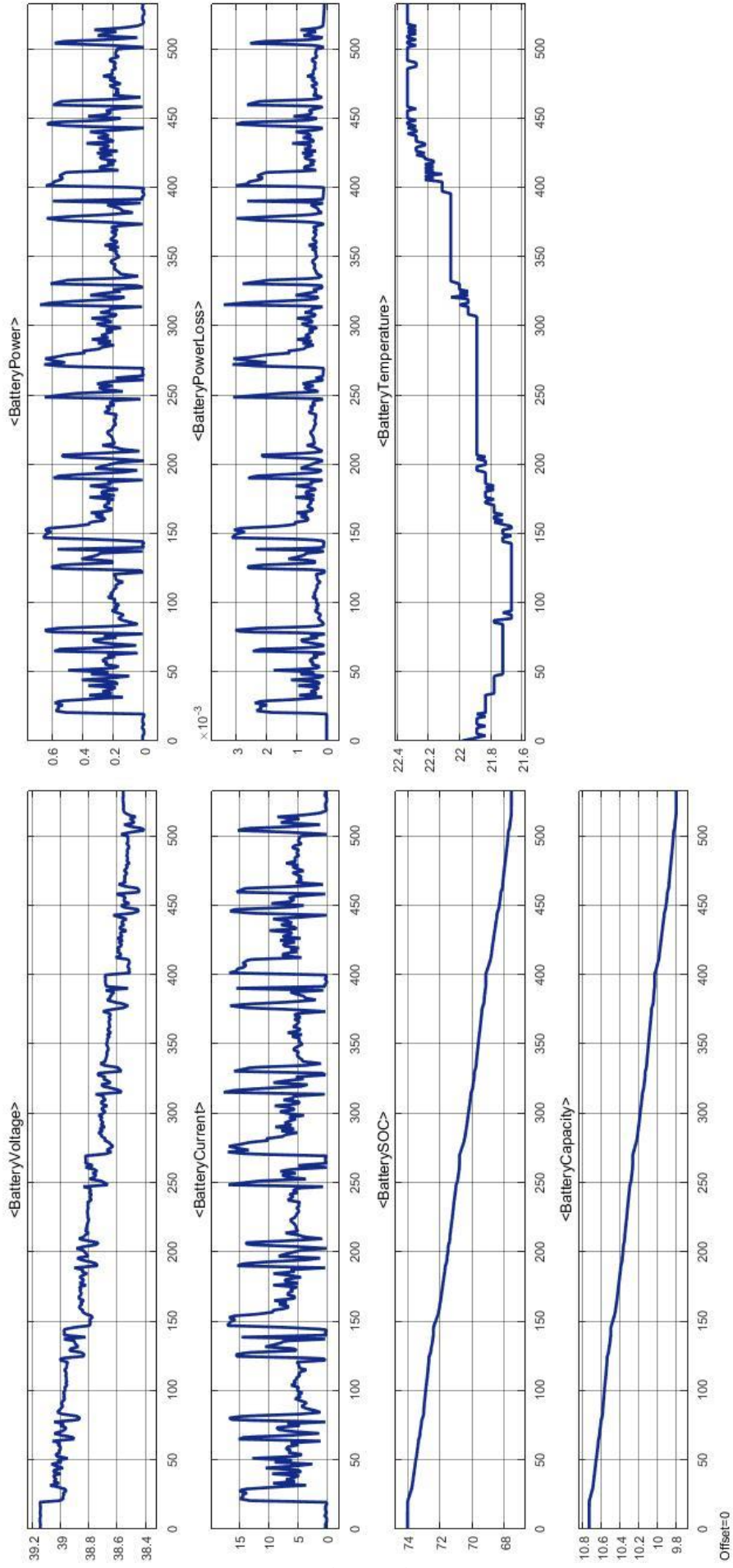
3^{ος} αναβάτης 10 km/h



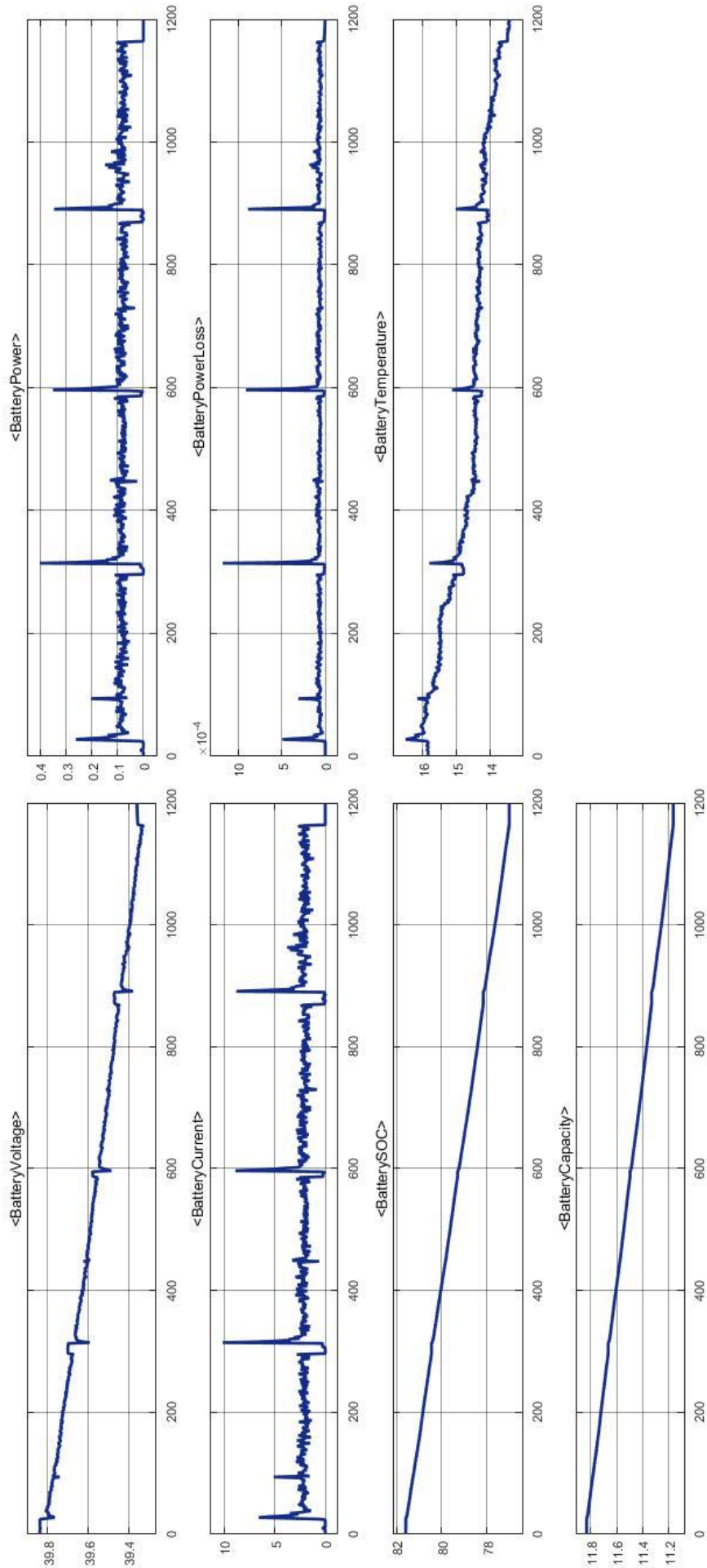
3ος αναβάτης 15 km/h



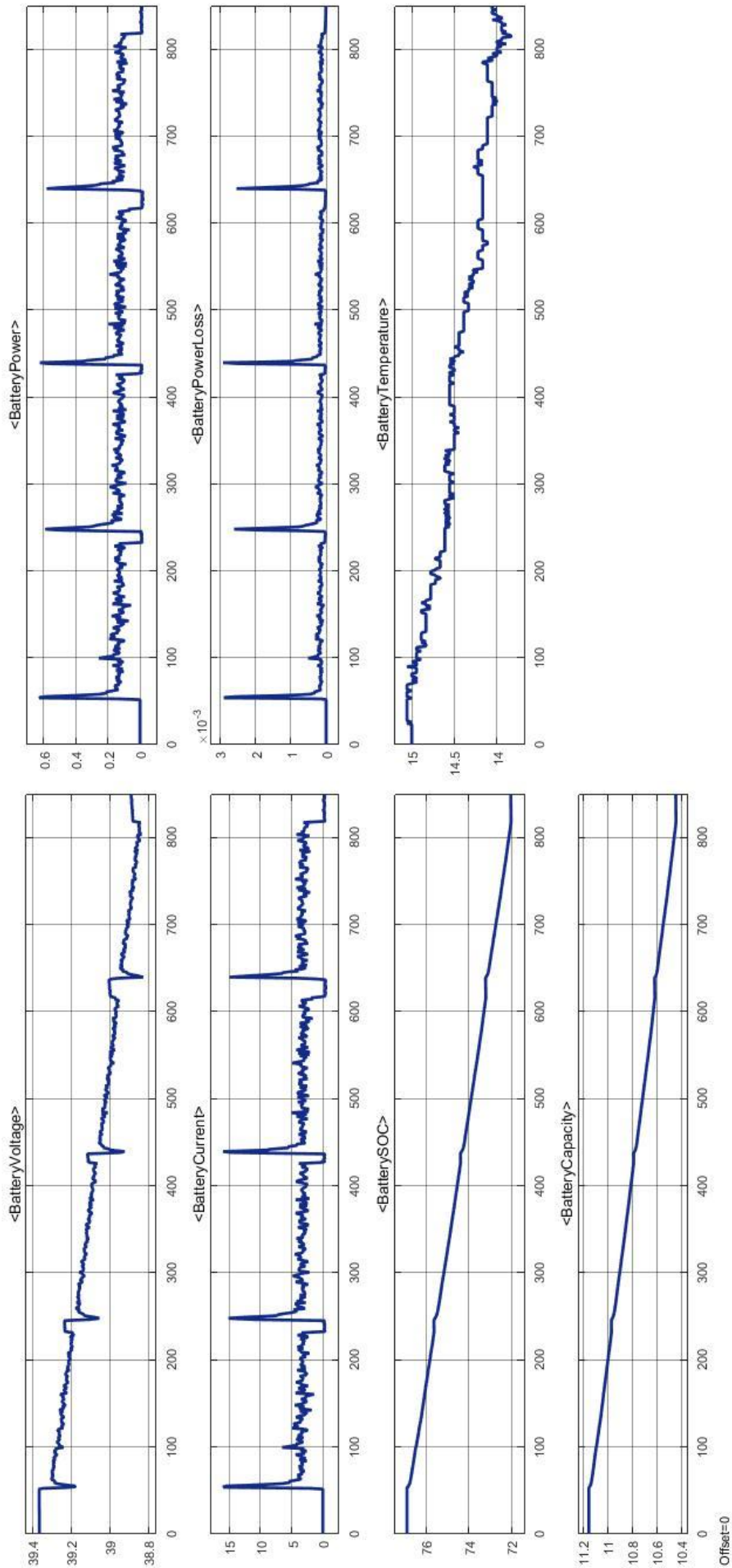
3^{ος} αναβάτης 20 km/h



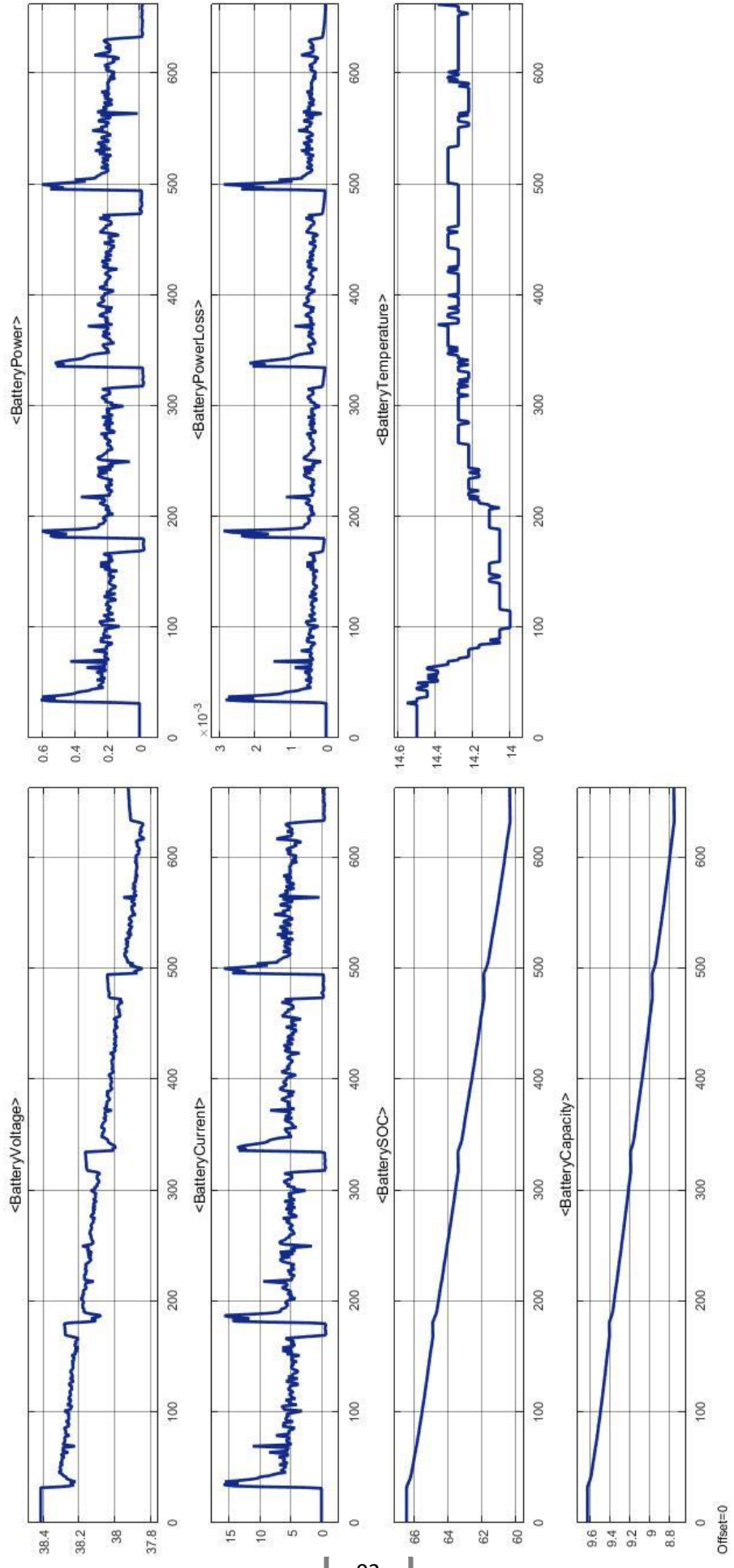
3^{ος} αναβάτης 25 km/h



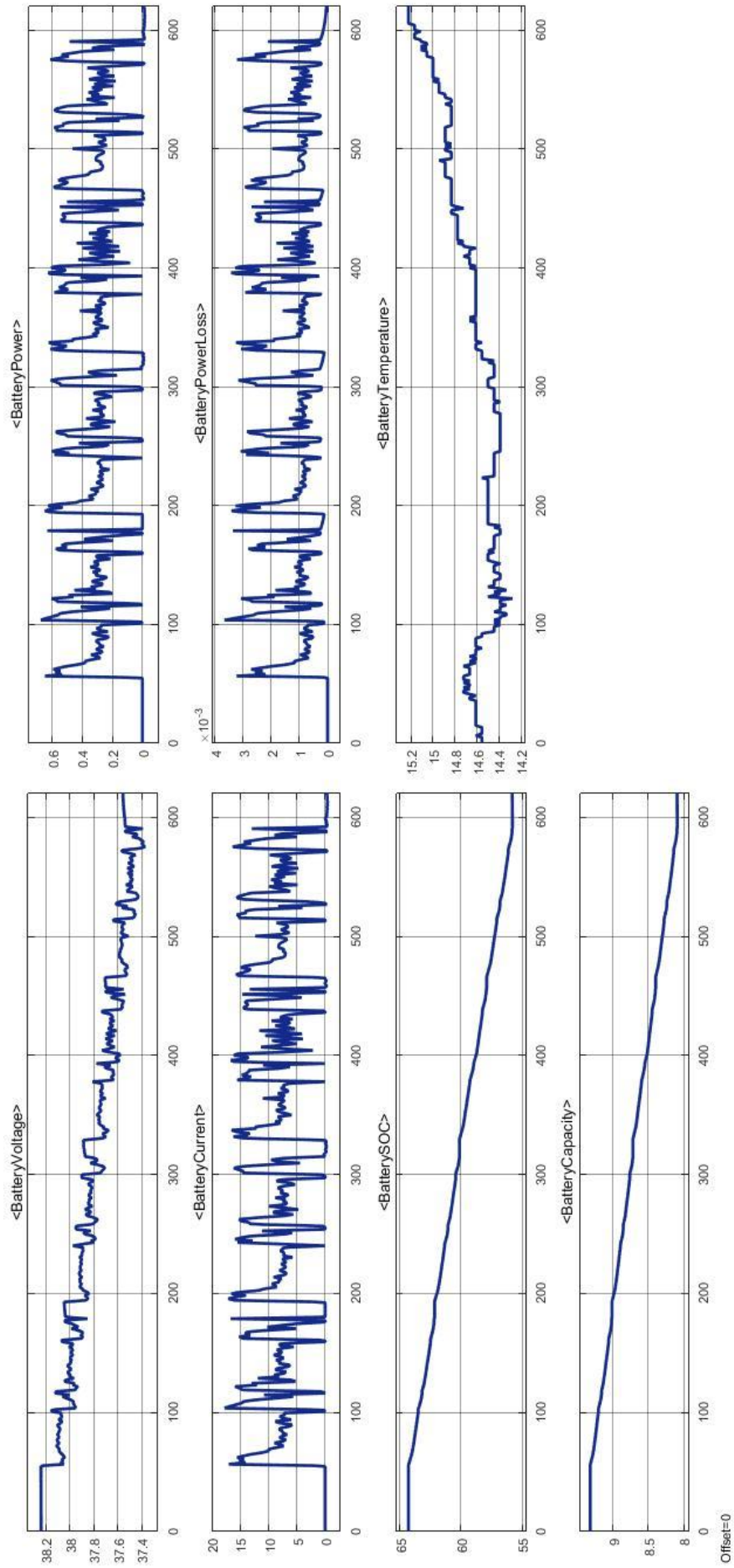
4^{ος} αναβάτης 10 km/h



4^{ος} αναβάτης 15 km/h



4ος αναβάτης 20 km/h



4^{ος} αναβάτης 25 km/h

6 Διεξαγωγή πειραμάτων

6.1 Περιγραφή πειραματικού σχεδιασμού

Ο πειραματικός σχεδιασμός έγινε με γνώμονα τη μελέτη για την μέτρηση της μεταβολής κατάστασης φόρτισης και της προσφερόμενης ισχύος της μπαταρίας σε διαφορετικές συνθήκες.

Τα πειράματα χωρίστηκαν σε δύο μεγάλες κατηγορίες. Η πρώτη αφορούσε μετρήσεις για την σύγκριση ισχύος και ταχύτητας σε σχέση με διαφορετικούς αναβάτες, ενώ η δεύτερη κατηγορία πειραμάτων αφορούσε την εύρεση αυτονομίας του ηλεκτρικού ποδηλάτου.

Πιο συγκεκριμένα, στην πρώτη κατηγορία πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις με πλήρως φορτισμένη μπαταρία και με τέσσερις αναβάτες κλιμακωτού βάρους (55.8, 71.5, 85 και 114 kg). Η διαδρομή δεν επιλέχθηκε τυχαία, καθώς προσεγγίζει τις ιδανικές συνθήκες μετρήσεων, οι οποίες περιλαμβάνουν ομαλό δρόμο, χωρίς κλίση και στροφές. Ο ποδηλατόδρομος είναι ορθογωνικής διαδρομής συνολικού μήκους περίπου 750 m, με ελάχιστες ανωμαλίες. Ο κάθε αναβάτης πραγματοποίησε τέσσερις γύρους με σταθερή ταχύτητα και με την χρήση του ηλεκτρικού γκαζιού, χωρίς τα πεντάλ. Στην συγκεκριμένη πειραματική διάταξη ορίστηκαν τέσσερις διαφορετικές τιμές ταχύτητας (10, 15, 20 και 25 χλμ/ω), που ρυθμίστηκαν μέσω ποτενσιόμετρου, που ήταν τοποθετημένο πάνω στο σκελετό του ποδηλάτου.

Στη δεύτερη κατηγορία πειραμάτων, πραγματοποιήθηκαν δύο μετρήσεις με πλήρως φορτισμένη μπαταρία και με έναν αναβάτη μέσου βάρους 80Kg, για την εύρεση της αυτονομίας του ποδηλάτου. Το πείραμα επιλέχθηκε να γίνει σε πραγματικές συνθήκες δρόμου σε μία διαδρομή 10 χιλιομέτρων, με ελαφρές κλίσεις. Η μία μέτρηση της συγκεκριμένης κατηγορίας πειράματος, περιλάμβανε συνεχόμενη πορεία, σταθερή μέγιστη ταχύτητα, χρήση ηλεκτρικού γκαζιού και χωρίς ποδηλάτωση. Η δεύτερη μέτρηση της συγκεκριμένης κατηγορίας πειράματος, περιλάμβανε συνεχόμενη πορεία, σταθερή μέγιστη ταχύτητα, και η χρήση της υποβοήθησης του ποδηλάτου. Η λήξη των πειραμάτων επιτυγχάνεται με την κατανάλωση του 90% της χωρητικότητας της μπαταρίας, που είναι η ελάχιστη τιμή της τάσης λειτουργίας του κινητήρα.

Ο εξοπλισμός για την υλοποίηση των πειραμάτων περιλαμβάνει την μετρητική μονάδα-πλακέτα για την καταγραφή των μεταβολών στη μπαταρία. Για του εξωτερικούς παράγοντες που επηρεάζουν τα αποτελέσματα, όπως η θερμοκρασία και ο άνεμος, χρησιμοποιήθηκε και κατασκευάστηκε ένα εργαστηριακό ανεμόμετρο. Ο πειραματικός εξοπλισμός περιγράφεται αναλυτικά στο παρακάτω κεφάλαιο.

6.2 Πειραματικός εξοπλισμός

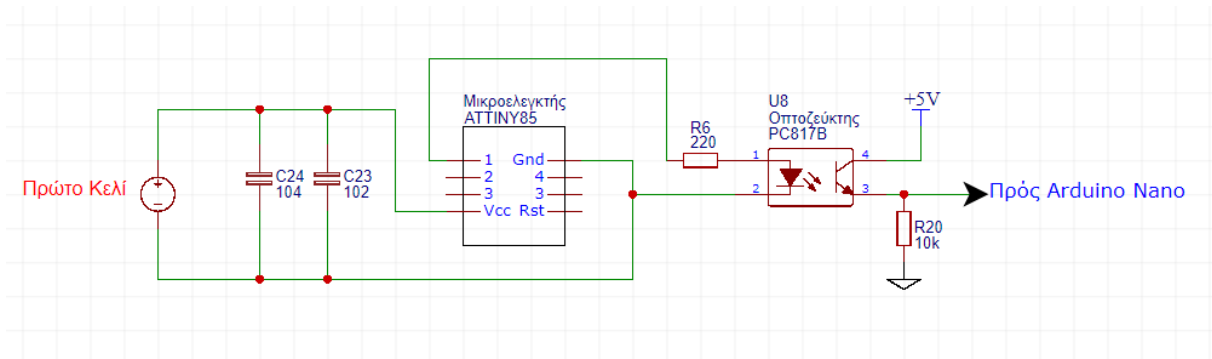
6.2.1 Μετρητική μονάδα-Πλακέτα

Η καινοτομία της συγκεκριμένης μελέτης είναι η δημιουργία ενός πρωτότυπου ηλεκτρικού συστήματος ισχύος, με το χαμηλότερο δυνατό κόστος και με την χρήση κοινών ηλεκτρονικών. Η αρχική σκέψη ήταν η δημιουργία ενός πλήρους συστήματος ελέγχου και εξισορρόπησης της μπαταρίας, δηλαδή η κατασκευή ενός απλού BMS. Οι στόχοι που τέθηκαν ήταν τρεις: να κατασκευαστεί το σύστημα εξ ολοκλήρου από το μηδέν, να χρησιμοποιηθούν κοινά ηλεκτρονικά, που θα μπορούσε κανείς να βρει σε ένα απλό εργαστήριο και τέλος το κόστος υλοποίησης να είναι το χαμηλότερο δυνατόν. Τα μεγέθη τα οποία πρέπει να αντληθούν από την μπαταρία, κατά τη λειτουργία της, είναι η συνολική τάση, η τάση κάθε μονάδας ξεχωριστά, οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται μέσα στην μπαταρία και η ένταση φόρτισης και εκφόρτισης.

Συνεπώς, για να πραγματοποιήσουμε αυτούς τους στόχους αποφασίσθηκε η χρήση των μικροελεγκτών της εταιρίας Atmel, μικροελέγκτες που βρίσκονται τοποθετημένοι σε όλες τις πλακέτες της Arduino. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήσαμε μια έτοιμη πλακέτα Arduino με τον 8-Bit Atmega328-AU μικροελεγκτή της Atmel και μερικούς μικρότερους της σειράς Attiny, επίσης της Atmel. Η επιλογή των παραπάνω εξαρτημάτων δεν είναι τυχαία, καθώς εκπληρώνει τους δυο στόχους, διότι είναι ηλεκτρονικά στοιχεία, που μπορεί κανείς να βρει πολύ εύκολα και το κόστος τους είναι αρκετά χαμηλό. Σε επόμενο στάδιο έπρεπε να μελετηθεί και να σχεδιαστεί το σύστημα. Τέλος αφού πρώτα ελέγχθηκε η σωστή λειτουργία του συστήματος αυτού, δημιουργήθηκε η πλακέτα. Όλη η λογική αυτή βασίζεται πάνω στους ADC αναλογικοψηφιακούς μετατροπείς, που βρίσκονται στους μικροελεγκτές της Atmel. Κυκλώματα που μπορούν να μετατρέψουν ένα επίπεδο τάσης σε ένα ψηφιακό σήμα, το οποίο έχει την δυνατότητα αργότερα να υποστεί επεξεργασία. Επίσης έπρεπε με κάποιον τρόπο να μετρηθεί η τάση κάθε κελιού με τους μικροελεγκτές. Γνωρίζοντας λοιπόν την δυνατότητα των μετατροπέων για μέτρηση της διαφοράς δυναμικού, αρχική σκέψη ήταν η χρήση μιας πλακέτας Arduino με τις αναλογικές εξόδους συνδεδεμένες ξεχωριστά σε κάθε κελί. Το πρώτο πρόβλημα που έπρεπε να αντιμετωπιστεί ήταν το γεγονός ότι ο συγκεκριμένος τύπος Arduino δεν έχει αρκετές αναλογικές θύρες, για να υποστηρίξει τον αριθμό των κελιών της μπαταρίας (συγκεκριμένα ο μικροελεγκτής Atmega328-AU έχει 5 αναλογικές θύρες και 13 ψηφιακές). Ένα ακόμη πρόβλημα που έπρεπε να αντιμετωπιστεί, ήταν η ανέφικτη σύνδεση του κάθε κελιού στις αναλογικές θύρες, καθώς θα δημιουργούσε βραχυκύκλωμα στον μικροελεγκτή μας, ως αποτέλεσμα της κοινής γείωσης όλων των κελιών. Η συγκεκριμένη συνδεσμολογία θα ήταν καταστροφική για την μπαταρία, καθώς τα κελιά της μπαταρίας θα βραχυκυκλώνονταν μεταξύ τους. Για την λύση αυτού του προβλήματος χρησιμοποιήθηκαν μικροελεγκτές Attiny85, οι οποίοι έχουν μια αναλογική και τρεις ψηφιακές θύρες, συνδέοντας τους σε σειρά μεταξύ τους ώστε να διαβάζουμε την τάση κάθε κελιού αυτόνομα. Οπότε με τη συγκεκριμένη συνδεσμολογία απαιτούνται δέκα τέτοιοι μικροελεγκτές, δηλαδή ένας για κάθε κελί της μπαταρίας. Η συγκεκριμένη διάταξη βασίστηκε στην λογική ύπαρξης ενός κεντρικού συστήματος (master) και υποσυστημάτων (slaves). Στη διάταξη αυτή, ο κεντρικός εγκέφαλος, που είναι υπεύθυνος για την επεξεργασία και απεικόνιση των δεδομένων, είναι μια πλακέτα τύπου Arduino Nano με τον μικροελεγκτή

Atmega328-AU, ενώ τα υποσυστήματα αποτελούνται από μικροελεγκτές Attiny85. Κάθε μικροελεγκτής που είναι συνδεδεμένος με το κελί, μετρά την τάση εισόδου και την μετατρέπει σε ένα ψηφιακό σήμα, το οποίο εν συνεχεία επεξεργάζεται ο κεντρικός εγκέφαλος. Όμως, επειδή δεν γίνεται να συνδεθεί η ψηφιακή έξοδος του υποσυστήματος απευθείας με το κεντρικό σύστημα, διότι πάλι θα υπήρχε πρόβλημα, επειδή η πηγή του Arduino θα ήταν διαφορετική από αυτή του υποσυστήματος, χρησιμοποιήθηκαν οπτοζεύκτες λόγω των απομονωτικών τους ιδιοτήτων.

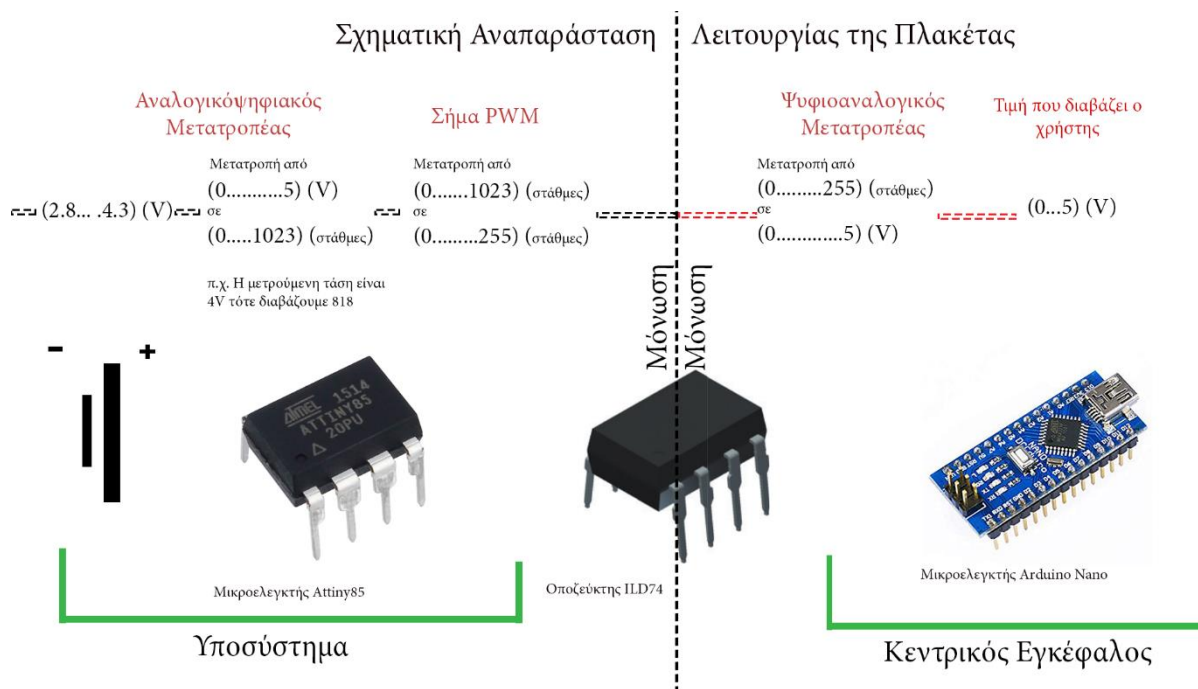
Οι οπτοζεύκτες είναι ένα είδος διακόπτη, που αποτελείται από μια φωτοδίοδο LED και ένα φωτοευαίσθητο τρανζίστορ. Διεγείροντας λοιπόν το LED ταυτοχρόνως άγει και το τρανζίστορ, με αποτέλεσμα να υπάρχει πλήρης ηλεκτρική μόνωση των δύο κυκλωμάτων. Οι οπτοζεύκτες δυο καναλιών συγκεκριμένα οι ILD 7418423 επιλέχθηκαν λόγω του χαμηλού κόστους και της γρήγορης ανταπόκρισης τους. Με τα συγκεκριμένα ολοκληρωμένα δυο καναλιών κερδίζουμε χώρο καθώς μπορούμε να απομονώσουμε 4 κυκλώματα με μικρότερο όγκο από ότι θα χρειαζόταν σε μονοκάναλα. Οπότε, χρειάστηκαν πέντε από τους συγκεκριμένους οπτοζεύκτες των οποίων το σχεδιάγραμμα και η συνδεσμολογία φαίνονται στην παρακάτω εικόνα. Μεταξύ των μικροελεγκτών Attiny85 και του οπτοζεύκτη παρεμβάλλεται μια αντίσταση των 220 ohm, η οποία χρησιμοποιείται για την προστασία της φωτοδίοδου Led, καθώς η ένταση που διαπερνά τα άκρα της δεν πρέπει να ξεπερνά τα 20mA. Για ευνότητους λόγους χρησιμοποιούμε την πλευρά του οπτοζεύκτη με τη φωτοδίοδο, έτσι ώστε να μεταφέρουμε την πληροφορία μεταξύ των κυκλωμάτων. Έτσι, όταν ενεργοποιείται η φωτοδίοδος άγει το φωτοευαίσθητο τρανζίστορ, όπου και συνδέουμε το κεντρικό μας εγκέφαλο, που θα διαβάσει την συγκεκριμένη πληροφορία.



Εικόνα 6-1 Απλοποιημένο σχηματικό διάγραμμα της πλακέτας.

Η μετάδοση των πληροφοριών, γίνεται με σήμα PWM (Pulse Width Modulation), που μεταφράζεται ως διαμόρφωση εύρους παλμών. Το PWM είναι μια τετραγωνική κυματομορφή, η οποία αποτελείται από δύο τμήματα: το ανοιχτό, όπου η τιμή του σήματος είναι μέγιστη και το κλειστό, όπου μηδενίζεται η τάση. Ο χρόνος του ανοιχτού τμήματος ονομάζεται κύκλος λειτουργίας (duty cycle) και μετριέται είτε σε ms είτε σε ποσοστό επί τοις εκατό του συνολικού σήματος. Επομένως, αλλάζοντας το κύκλο λειτουργίας με τον οποίο ο μικροελεγκτής Attiny85 θα ενεργοποιεί τη φωτοδίοδο, μπορούμε να κωδικοποιήσουμε την πληροφορία που θέλουμε να στείλουμε ανάλογα με το εύρος του κύκλου λειτουργίας, το οποίο στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι 0-5V. Στην έξοδο του φωτοευαίσθητου τρανζίστορ, που είναι συνδεδεμένο με μία θύρα του Atmega328-AU εμφανίζεται το ίδιο ακριβώς παλμικό σήμα, το

οποίο διαβάζεται και αποκωδικοποιείται στο κεντρικό πρόγραμμα. Η λογική σειρά που ακολουθεί ολόκληρο το κύκλωμά, είναι ότι στην αρχή τα υποσυστήματα διαβάζουν την αναλογική τιμή της τάσης του κάθε κελιού και στη συνέχεια μέσω των αναλογικοψηφιακών μετατροπέων, την μετατρέπουν σε παλμικό σήμα το οποίο διεγείρει τον οπτοζεύκτη, μέσω του οποίου κάνουμε την τελευταία μετατροπή, δηλαδή η αντιστοίχιση του σήματος σε συγκεκριμένο επίπεδο τάσης. Ανάλογα προγράμματα σε γλώσσα προγραμματισμού wiring υλοποιήθηκαν στο προγραμματιστικό περιβάλλον της Arduino και για τα δύο είδη των μικροελεγκτών. Ο προγραμματισμός του Arduino Nano έγινε πολύ πιο εύκολα από αυτή των μικροελεγκτών Attiny85, καθώς η πρώτη περιέχει κύκλωμα μεταφοράς πληροφοριών από τον υπολογιστή στην πλακέτα.

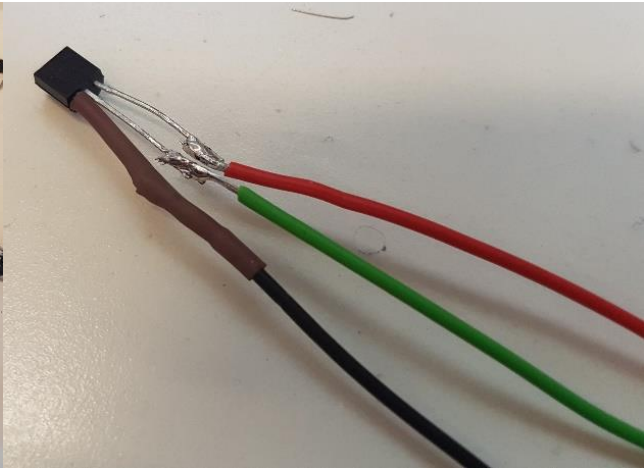


Εικόνα 6-2 Σχηματική αναπαράσταση λειτουργίας της πλακέτας.

Για τον έλεγχο της θερμοκρασίας των κελιών, επιλέχθηκαν οι ψηφιακοί αισθητήρες θερμοκρασίας DS18B20, της εταιρίας Dallas. Χαρακτηριστικό των αισθητήρων αυτών είναι ότι όντας ψηφιακοί έχουν την δυνατότητα να λειτουργούν με ένα συγκεκριμένο πρωτόκολλο επικοινωνίας, μειώνοντας έτσι τον αριθμό των απαιτούμενων καλωδίων. Δεν υπάρχει περιορισμός στον αριθμό των αισθητήρων που μπορούν να τοποθετηθούν στη δίαυλο, παρά μόνο στο μήκος της. Στην συγκεκριμένη πλακέτα αποφασίστηκε ότι δέκα αισθητήρες θερμοκρασίας ήταν αρκετοί, για να αντληθεί μια πλήρης εικόνα σχετικά με τις θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στην μπαταρία. Κατά μήκος της μπαταρίας, οι αισθητήρες τοποθετήθηκαν σε στρατηγικά σημεία, όπου θεωρητικά θα υπήρχε μεγαλύτερη συμφόρηση λόγω αύξησης της θερμοκρασίας. Η υλοποίηση του προγράμματος για την ανάγνωση των τιμών θερμοκρασίας βασίστηκε στις πληροφορίες που παρείχε η ίδια η εταιρία για τον προγραμματισμό των αισθητήρων.

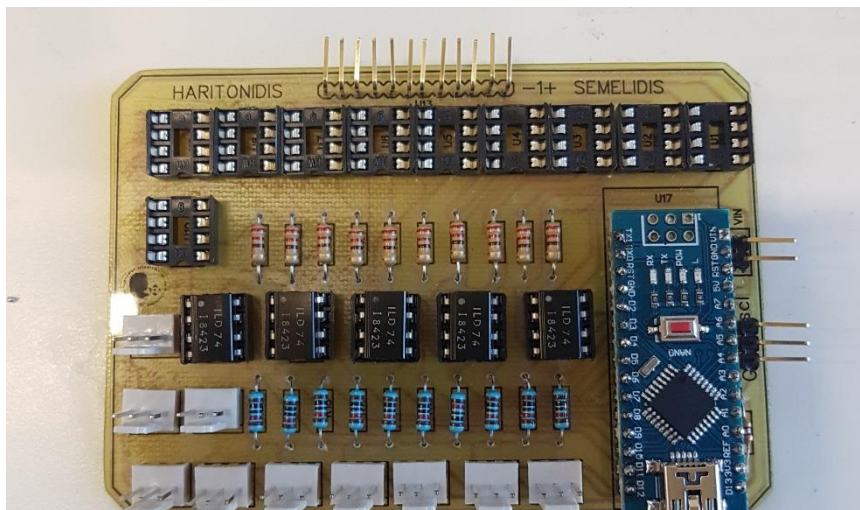


Εικόνα 6-4 Αισθητήρες θερμοκρασίας με την καλωδίωση.



Εικόνα 6-3 Αισθητήρας θερμοκρασίας κατά την διάρκεια της κατασκευής της καλωδίωσης.

Το κύκλωμα σχεδιάστηκε σε σχεδιαστικό λογισμικό της εταιρίας JLC όπου αρχικά μέσω ηλεκτρικού σχεδιαγράμματος υλοποιήθηκε και ελέγχθηκε το εν λόγω κύκλωμα, με την τοποθέτηση των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων από έτοιμες βιβλιοθήκες της ίδιας εταιρίας και αργότερα μεταφέρθηκε σε τρισδιάστατο σχεδιαστικό περιβάλλον όπου και έγινε η τελική διάταξη των εξαρτημάτων σε πλακέτα μήκους 69.4 mm και 10 mm. Στη συνέχεια, έγινε εξαγωγή από το ίδιο πρόγραμμα για τη συγκεκριμένη διάταξη ή ασπρόμαυρη απεικόνιση του κυκλώματος έτσι ώστε να ναι εφικτή η εκτύπωση του σε εκτυπωτή laser. Για την αποτύπωση της συγκεκριμένης εκτύπωσης πάνω στην πλακέτα χαλκού χρησιμοποιήθηκε γυαλιστερό χαρτί με θερμική μεταφορά. Εφόσον κόπηκε η πλακέτα στις επιθυμητές διαστάσεις και ελέγχθηκε η αποτύπωση, η ίδια εμβαπτίστηκε σε λουτρό Μολυσίτη για 30 λεπτά. Με το πέρας αυτού του χρόνου και αφού παρατηρήθηκε η πλήρης αποχάλκωση του μη αποτυπωμένου χώρου αφαιρέθηκε ο Μολυσίτης μαζί με το αποτύπωμα του σχεδίου με τη βοήθεια νερού. Αργότερα δημιουργήθηκαν σπές 0.8 mm με τη χρήση τρυπανιού, για την κόλληση των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων. Το τελικό αποτέλεσμα φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 6-5 Τελική μορφή της πλακέτας.

Για την διεξαγωγή των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκε το πρωτότυπο καλούπι που αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο όπου και τοποθετήθηκε η πλακέτα. Τα υποσυστήματα συνδέθηκαν με το κάθε κελί της μπαταρίας ξεχωριστά ενώ ένας αισθητήρας έντασης ACS 712 των 15Α συνδέθηκε σε σειρά με τον αρνητικό πόλο της μπαταρίας. Για την εξαγωγή των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε ένας φορητός υπολογιστής, που θα μεταφερόταν σε σακίδιο πλάτης καθ' όλη τη διάρκεια των πειραμάτων από τον αναβάτη και λογισμικό απόκτησης δεδομένων. Οι μετρήσεις αποθηκεύτηκαν σε υπολογιστικά φύλλα σε πραγματικό χρόνο. Η σύνδεση της πλακέτας με τον υπολογιστή έγινε με τη χρήση καλωδίου USB.

6.2.2 Ανεμόμετρο

Για την ορθή διεξαγωγή των μετρήσεων στα πειράματα, και πιο συγκεκριμένα, για τον έλεγχο καλής λειτουργίας της μπαταρίας, έπρεπε να είναι γνωστή η κατεύθυνση και η ταχύτητα του ανέμου, ώστε να ληφθεί υπόψη η αεροδυναμική αντίσταση.

Για τον λόγο αυτό κατασκευάστηκε ένα εργαστηριακό ανεμόμετρο, το οποίο είχε την δυνατότητα καταγραφής διαφόρων τιμών ταχύτητας και διευθύνσεων του ανέμου. Καθότι υπάρχουν διάφορα είδη ανεμόμετρων με διαφορετικό τρόπο λειτουργίας, στη δικιά μας περίπτωση επιλέχτηκε το Περιτροφικό ή αλλιώς Καπελοφόρο Ανεμόμετρο (Cup Anemometers).



Εικόνα 6-6 Το ανεμόμετρο εγκατεστημένο στον πειραματικό χώρο.

Αυτό πλεονεκτεί σε σχέση με τα υπόλοιπα είδη, επειδή έχει μικρό κόστος και μέγεθος, αλλά μεγάλη αξιοπιστία. Πιο συγκεκριμένα σε ταχύτητες ανέμου έως 97 χλμ/ω παρουσιάζει σφάλμα, της τάξης του 3%. Το εργαστηριακό ανεμόμετρο χρησιμοποιεί τρία ημισφαιρικά κύπελα τοποθετημένα κάθετα στον κορμό του ανεμόμετρου και σε θέση τέτοια ώστε να ισοαπέχουν μεταξύ τους. Όταν έχει άνεμο τα κύπελα περιστρέφονται γύρω από τον κορμό τους, και ανάλογα με την ταχύτητα περιστροφής υπολογίστηκε η ταχύτητα του ανέμου σε m/s. Εκτός από τα κύπελα, τοποθετήθηκε και ένα ασυμμετρικό πτερύγιο που μπορεί να περιστρέφεται ελεύθερα και ανεξάρτητα από τα κύπελα, γύρω από τον κορμό. Ανάλογα με την κατεύθυνση από την οποία προέρχεται ο άνεμος, το πτερύγιο ευθυγραμμίζεται σε αυτή τη κατεύθυνση, με αποτέλεσμα το βέλος να δείχνει την διεύθυνση του ανέμου. Έτσι προσδιορίζεται το είδος του ανέμου, δηλαδή αν είναι Ανατολικός, Νότιος, Βόρειος, Δυτικός ή

συνδυασμός αυτών. Για τη λήψη των μετρήσεων το ανεμόμετρο τοποθετήθηκε σε ύψος τουλάχιστον 1,5m από το έδαφος και σε ανοιχτό χώρο, ώστε να μην διακόπτεται ο άνεμος.

Από ηλεκτρονικής πλευράς τοποθετήθηκε ένας περιστροφικός κωδικοποιητής, ο οποίος αποτελείται από δύο διακόπτες και αναλόγως της θέσης που διέγραψαν τα κύπελα σε σχέση με το χρόνο, υπολογίστηκε η ταχύτητα περιστροφής. Για την καταγραφή της γωνίας περιστροφής, στην πάνω πλευρά του πτερυγίου, τοποθετήθηκε ένα ποτενσιόμετρο στο οποίο μεταβάλλεται η αντίσταση ανάλογα με τη κατεύθυνση του ανέμου, με αποτέλεσμα να στέλνει στο μηχάνημα καταγραφής διάφορες τιμές τάσης.

Ως μετρητικό σύστημα καταγραφής δεδομένων από το ανεμόμετρο, χρησιμοποιήθηκε ένας μικροελεγκτής Arduino, ώστε να δέχεται τα σήματα από τον περιστροφικό κωδικοποιητή και το ποτενσιόμετρο, να τα επεξεργάζεται και να εμφανίζει τα αποτελέσματα ταχύτητας - κατεύθυνσης του ανέμου σε LCD οθόνη.

6.3 Αποτελέσματα μετρήσεων

Τα αποτελέσματα της πρώτης κατηγορίας πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν με πλήρως φορτισμένη μπαταρία είχαν ως δεδομένα τέσσερις αναβάτες κλιμακωτού βάρους όπως φαίνεται στους πίνακες γενικών πληροφοριών αναβάτη. Η διαδρομή που εκτέλεσαν οι αναβάτες έχει μήκος 3.1 km καθώς πραγματοποίησαν τέσσερις γύρους του ποδηλατοδρόμου όπου η απόσταση είναι 750 m. Ο κάθε αναβάτης πραγματοποίησε τέσσερις γύρους με σταθερή ταχύτητα και με την χρήση του ηλεκτρικού γκαζιού, χωρίς τα πεντάλ. Το εργαστηριακό ανεμόμετρο τοποθετήθηκε στην εκκίνηση των αναβατών, καθώς ήταν ευθεία χωρίς παρεμβολές στον άνεμο. Η ακριβής θέση του ανεμομέτρου και πληροφορίες σχετικά με την διεύθυνση και ταχύτητα του ανέμου, φαίνονται στους χάρτες κάθε αναβάτη. Στην συγκεκριμένη πειραματική διάταξη ορίστηκαν τέσσερις διαφορετικές τιμές ταχύτητας των 10, 15, 20 και 25 χλμ/ω. Τα αποτελέσματα καταγράφονται στους πίνακες με τίτλο Αποτελέσματα μετρήσεων ανά ταχύτητες ποδηλάτου και ύστερα από κάθε πίνακες παρατίθενται τα σχετικά διαγράμματα με τα αποτελέσματα. Τα πρώτα διαγράμματα παραθέτουν την μεταβολή της ολικής τάσης και έντασης σε σχέση με τον χρόνο, ενώ τα δεύτερα την κατανάλωση ισχύς σε σχέση με τον χρόνο. Για τον υπολογισμό της Ισχύς χρησιμοποιήθηκε η *εξίσωση [2], Κεφ.4* και οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με την χρήση της μετρητικής μονάδας. Για την δημιουργία των διαγραμμάτων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα MATLAB. Η ομαδοποίηση είναι ανά αναβάτη και τα αποτελέσματα ανά ταχύτητα ποδηλάτου.

6.3.1 Μετρήσεις πρώτου αναβάτη

Γενικές Πληροφορίες Αναβάτη	
Μάζα αναβάτη	52,7 kg
Συνολική μάζα με σύστημα καταγραφής και ποδήλατο	55.8 kg
Ύψος	1.60 m
Ύψος οδήγησης	1.62 m
Ηλικία	24

Πίνακας 10 Γενικές πληροφορίες Πρώτου αναβάτη.

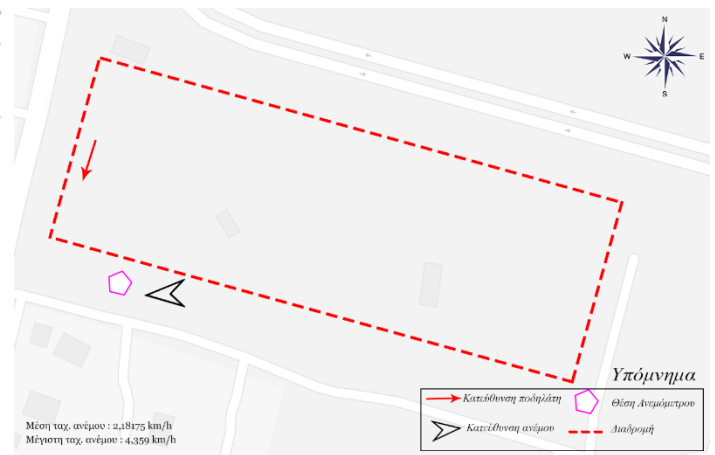
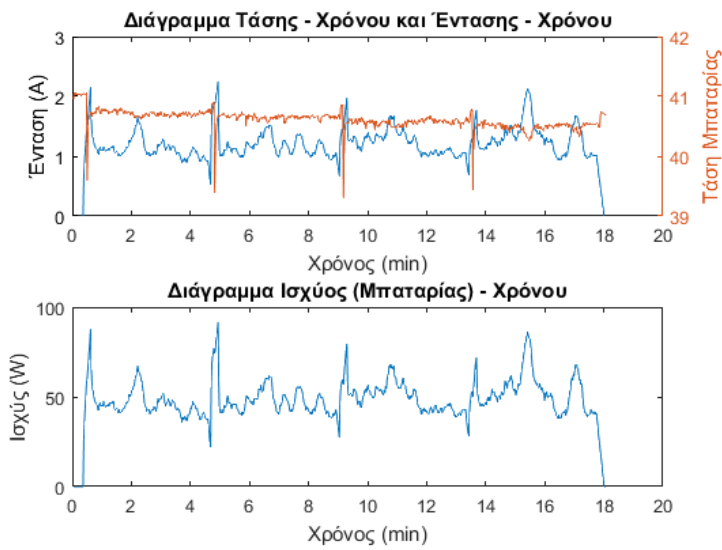


Εικόνα 6-7 Μετωπικό προφίλ πρώτου αναβάτη.

Αποτελέσματα μετρήσεων ανά ταχύτητες ποδηλάτου				
Ταχύτητες [km/h]	10	15	20	25
$P_{Μέση}$ [W]	49.0743	78.6067	129.236	193.866
$P_{Μέγιστη}$ [W]	91.41	187.44	239.324	329.827
$U_{Μέση}$ [km/h]	10.6	15.5	19	22.5
$U_{Μέγιστη}$ [km/h]	11	16.33	20.43	25.5
Χρόνος [min]	18	13.21	11.46	9
Ενέργεια [Wh]	14.72	17.30	24.68	29.07
Αποδοτικότητα [Wh/km]	4.90	5.24	6.46	7.75
Κατάσταση φόρτισης (αρχική-τελική) [%]	90.06 88.16	85.56 82.64	79.94 75.59	75.93 70.91

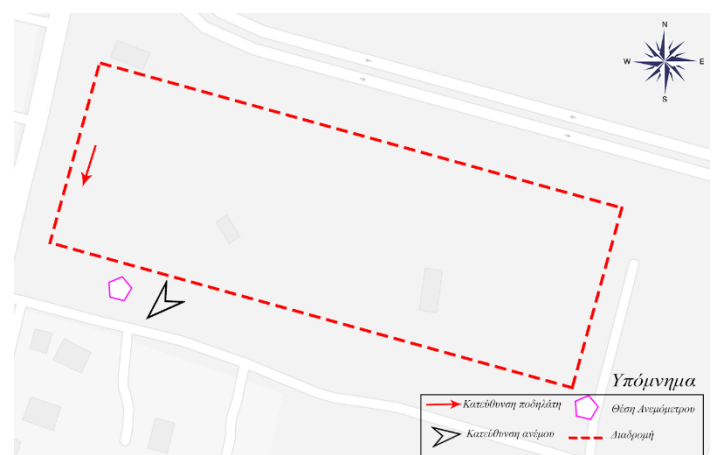
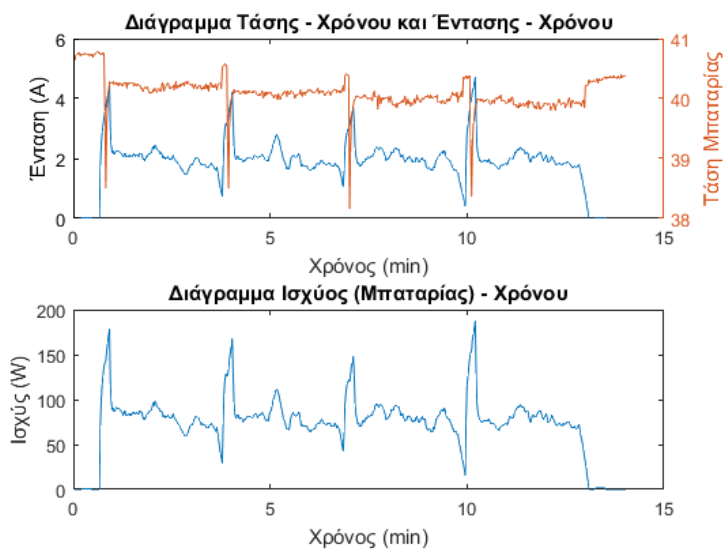
Πίνακας 11 Πίνακας αποτελεσμάτων Πρώτου αναβάτη.

Διαγράμματα 1^{ης} μέτρησης Πρώτου αναβάτη στα 10 χλμ/ωρα



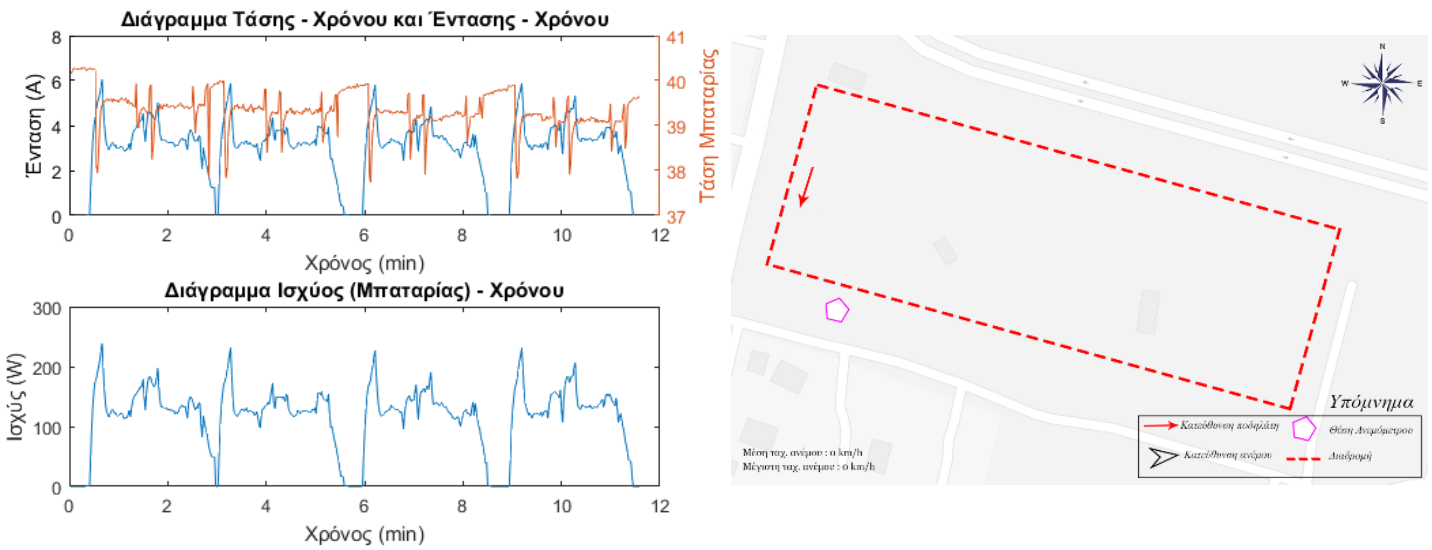
Εικόνα 6-8 Διαγράμματα Τάσης, Έντασης και Ισχύος σε σχέση με τον χρόνο και χάρτης ανέμου **Πρώτου** Αναβάτη 1ης μέτρησης.

Διαγράμματα 2ης μέτρησης **Πρώτου** αναβάτη στα 15 χλμ/ωρα



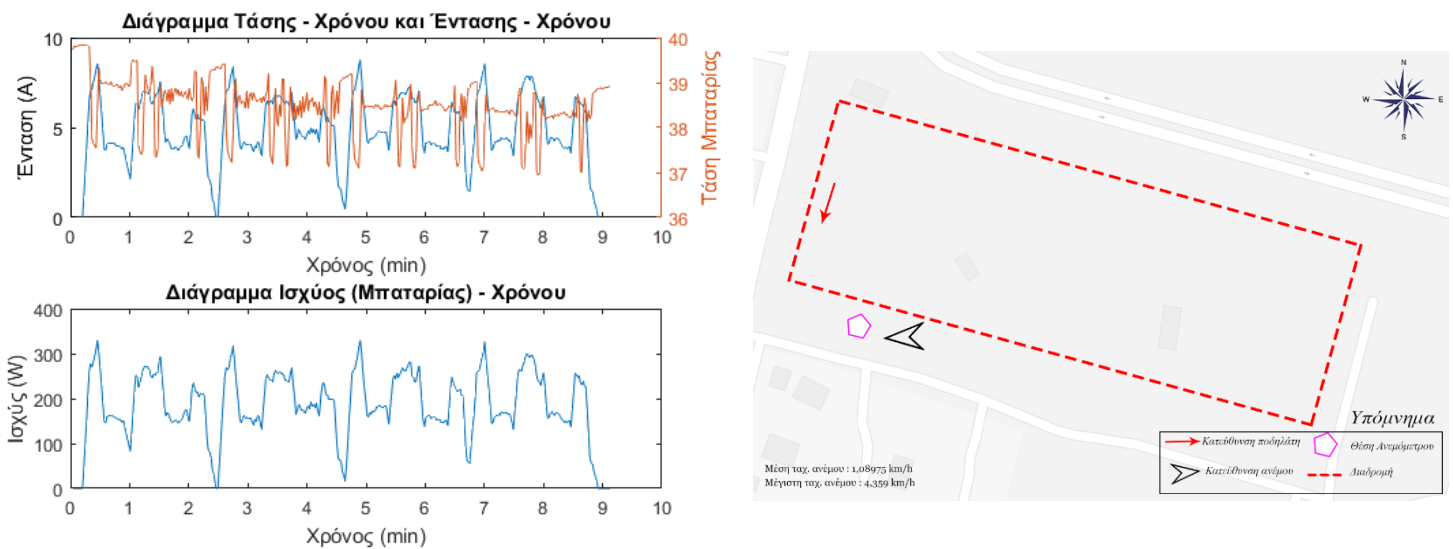
Εικόνα 6-9 Διαγράμματα Τάσης, Έντασης και Ισχύος σε σχέση με τον χρόνο και χάρτης ανέμου **Πρώτου** Αναβάτη 2ης μέτρησης.

Διαγράμματα 3^{ης} μέτρησης Πρώτου αναβάτη στα 20 χλμ/ωρα



Εικόνα 6-10 Διαγράμματα Τάσης, Έντασης και Ισχύος σε σχέση με τον χρόνο και χάρτης ανέμου Πρώτου Αναβάτη 3^{ης} μέτρησης.

Διαγράμματα 4^{ης} μέτρησης Πρώτου αναβάτη στα 25 χλμ/ωρα



Εικόνα 6-11 Διαγράμματα Τάσης, Έντασης και Ισχύος σε σχέση με τον χρόνο και χάρτης ανέμου Πρώτου Αναβάτη 4^{ης} μέτρησης.

6.3.2 Μετρήσεις δεύτερου αναβάτη

Γενικές Πληροφορίες Αναβάτη	
Μάζα αναβάτη	69 kg
Συνολική μάζα με σύστημα καταγραφής και ποδήλατο	72.1 kg
Ύψος	1.60 m
Ύψος οδήγησης	1.62 m
Ηλικία	24

Πίνακας 12 Γενικές πληροφορίες Δεύτερου αναβάτη.



Εικόνα 6-12 Μετωπικό προφίλ δεύτερου αναβάτη.

Αποτελέσματα μετρήσεων ανά ταχύτητες ποδηλάτου				
Ταχύτητες [km/h]	10	15	20	25
$P_{Μέση}$ [W]	56.4044	94.0804	129.236	190.6754
$P_{Μέγιστη}$ [W]	104.9662	244.0345	239.324	437.5022
$U_{Μέση}$ [km/h]	9.7	14.4	19.5	22.5
$U_{Μέγιστη}$ [km/h]	10.5	15.6	20.6	25
Χρόνος [min]	19.98	13.84	10.83	9.09
Ενέργεια [Wh]	18.78	21.70	23.32	28.88
Αποδοτικότητα [Wh/km]	6.05	7	7.52	9.31
Κατάσταση φόρτισης (αρχική-τελική) [%]	91.73 88.52	85 81.22	80 75.51	77 71.69

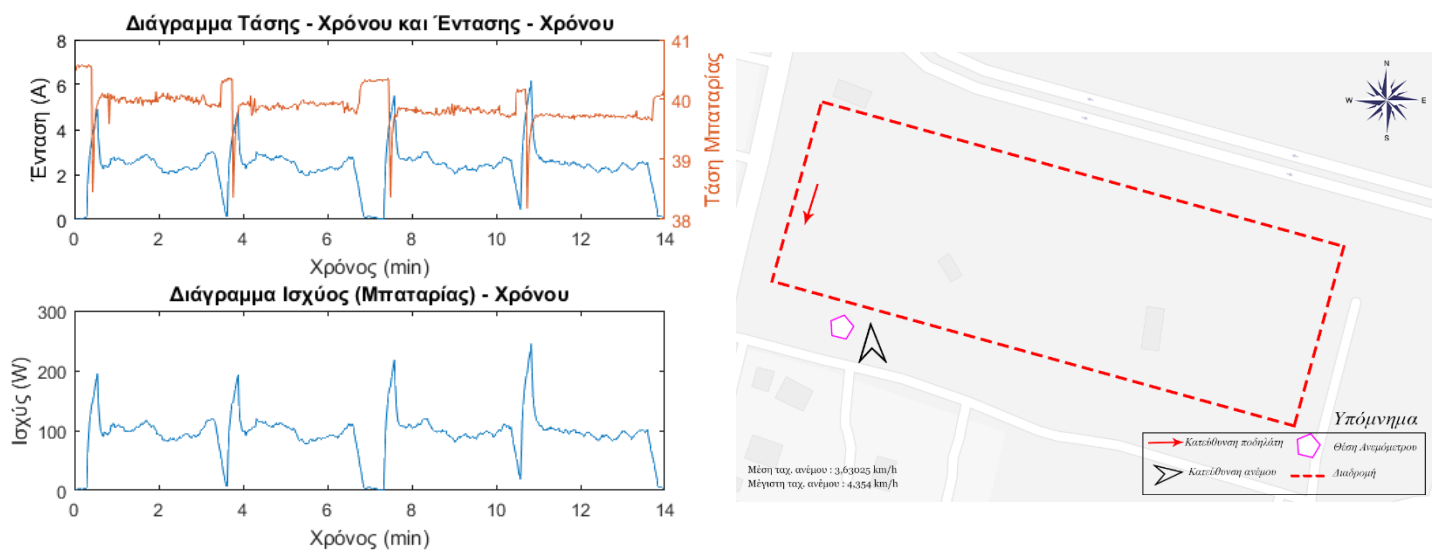
Πίνακας 13 Πίνακας αποτελεσμάτων Δεύτερου αναβάτη.

Διαγράμματα 1^{ης} μέτρησης Δεύτερου αναβάτη στα 10 χλμ/ωρα



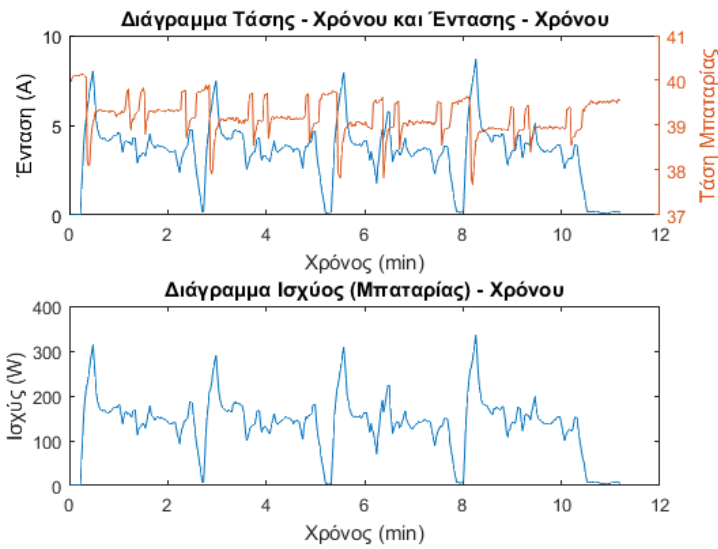
Εικόνα 6-13 Διαγράμματα Τάσης, Έντασης και Ισχύος σε σχέση με τον χρόνο και χάρτης ανέμου Δεύτερου Αναβάτη 1^{ης} μέτρησης.

Διαγράμματα 2^{ης} μέτρησης Δεύτερου αναβάτη στα 15 χλμ/ωρα



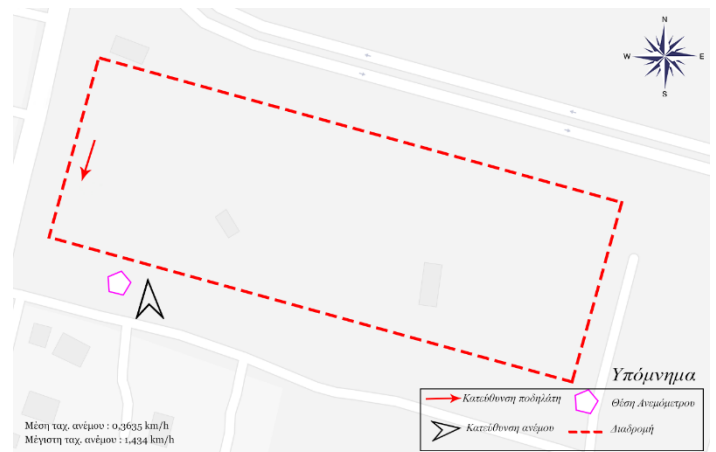
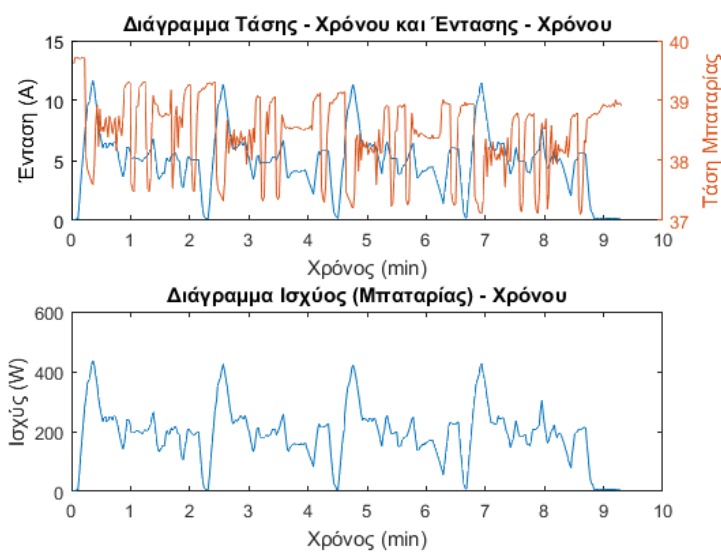
Εικόνα 6-14 Διαγράμματα Τάσης, Έντασης και Ισχύος σε σχέση με τον χρόνο και χάρτης ανέμου Δεύτερου Αναβάτη 2^{ης} μέτρησης.

Διαγράμματα 3^{ης} μέτρησης Δεύτερου αναβάτη στα 20 χλμ/ωρα



Εικόνα 6-15 Διαγράμματα Τάσης, Έντασης και Ισχύος σε σχέση με τον χρόνο και χάρτης ανέμου Δεύτερου Αναβάτη 3^{ης} μέτρησης.

Διαγράμματα 4^{ης} μέτρησης Δεύτερου αναβάτη στα 25 χλμ/ωρα



Εικόνα 6-16 Διαγράμματα Τάσης, Έντασης και Ισχύος σε σχέση με τον χρόνο και χάρτης ανέμου Δεύτερου Αναβάτη 4^{ης} μέτρησης.

6.3.3 Μετρήσεις τρίτου αναβάτη

Γενικές Πληροφορίες Αναβάτη	
Μάζα αναβάτη	82 kg
Συνολική μάζα με σύστημα καταγραφής και ποδήλατο	85 kg
Ύψος	1.80 m
Ύψος οδήγησης	1.85 m
Ηλικία	24

Πίνακας 14 Γενικές πληροφορίες Τρίτου αναβάτη.

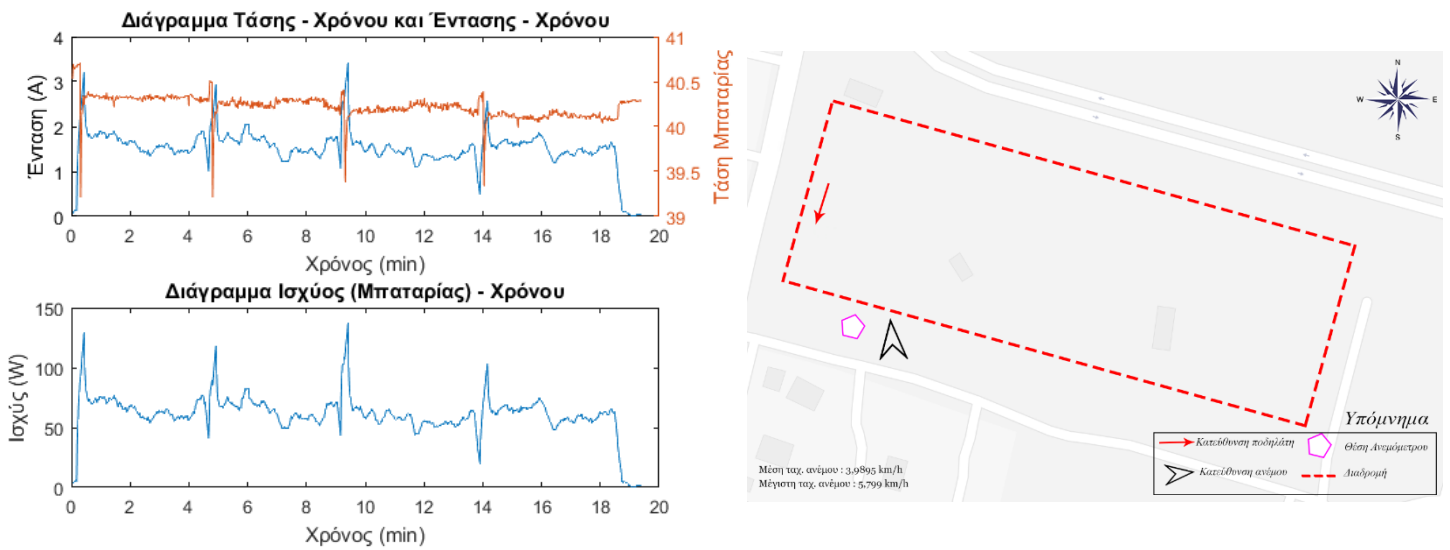


Εικόνα 6-17 Μετωπικό προφίλ τρίτου αναβάτη.

Αποτελέσματα μετρήσεων ανά ταχύτητες ποδηλάτου				
Ταχύτητες [km/h]	10	15	20	25
$P_{Μέση}$ [W]	60.9849	106.9545	166.4724	238.2432
$P_{Μέγιστη}$ [W]	137.1171	236.4819	355.7159	476.2873
$U_{Μέση}$ [km/h]	10.3	15	19.9	22.8
$U_{Μέγιστη}$ [km/h]	10.8	15.9	21.2	24.9
Χρόνος [min]	19	12.98	10.02	8.84
Ενέργεια [Wh]	19.31	23.13	27.80	35.10
Αποδοτικότητα [Wh/km]	5.90	7.46	8.96	11.32
Κατάσταση φόρτισης (αρχική-τελική) [%]	89 85.64	83 78.95	78.19 73.16	74 67.56

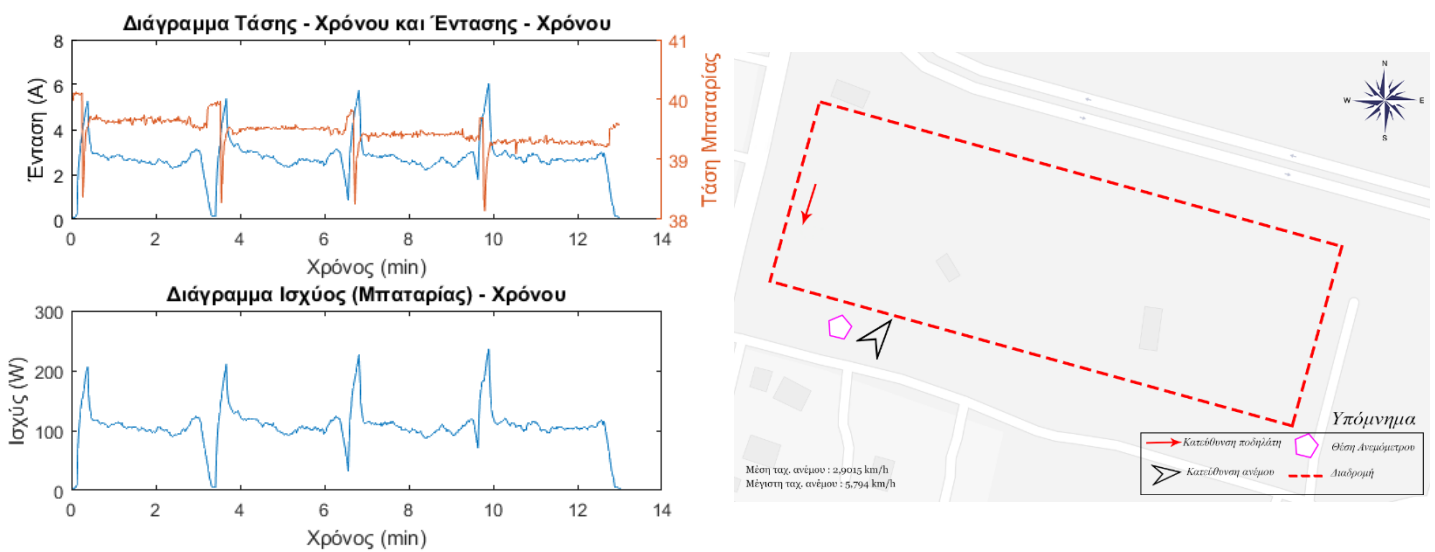
Πίνακας 15 Πίνακας αποτελεσμάτων Τρίτου αναβάτη.

Διαγράμματα 1^{ης} μέτρησης Τρίτου αναβάτη στα 10 χλμ/ωρα



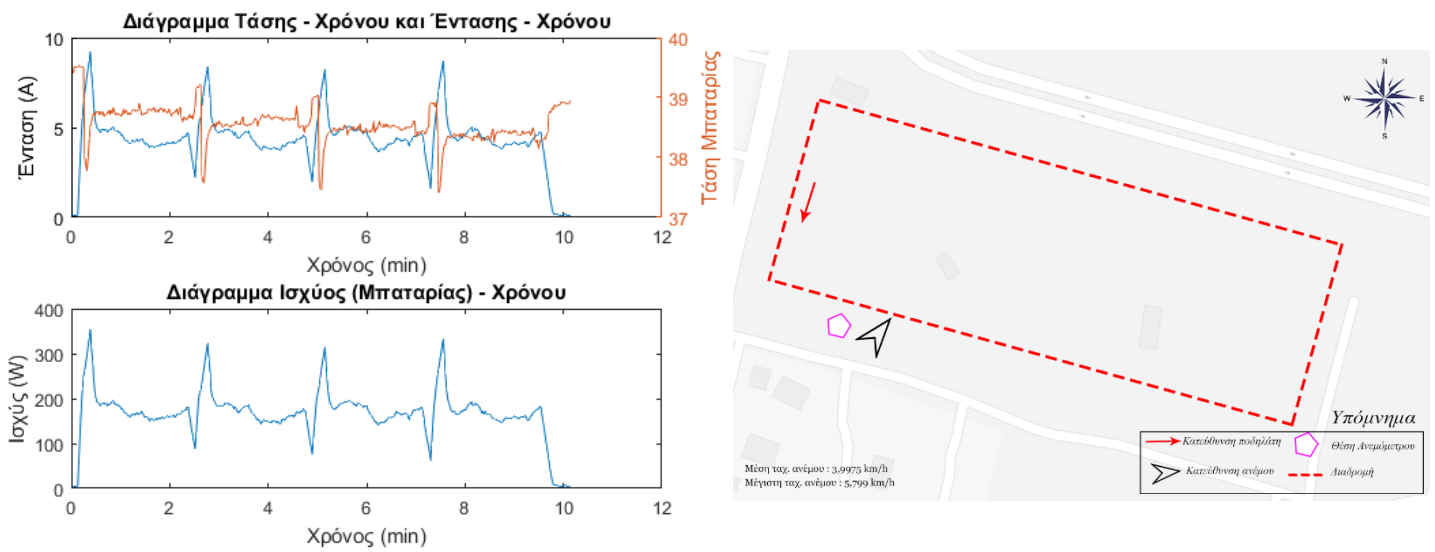
Εικόνα 6-18 Διαγράμματα Τάσης, Έντασης και Ισχύος σε σχέση με τον χρόνο και χάρτης ανέμου Τρίτου Αναβάτη 1^{ης} μέτρησης.

Διαγράμματα 2^{ης} μέτρησης Τρίτου αναβάτη στα 15 χλμ/ωρα



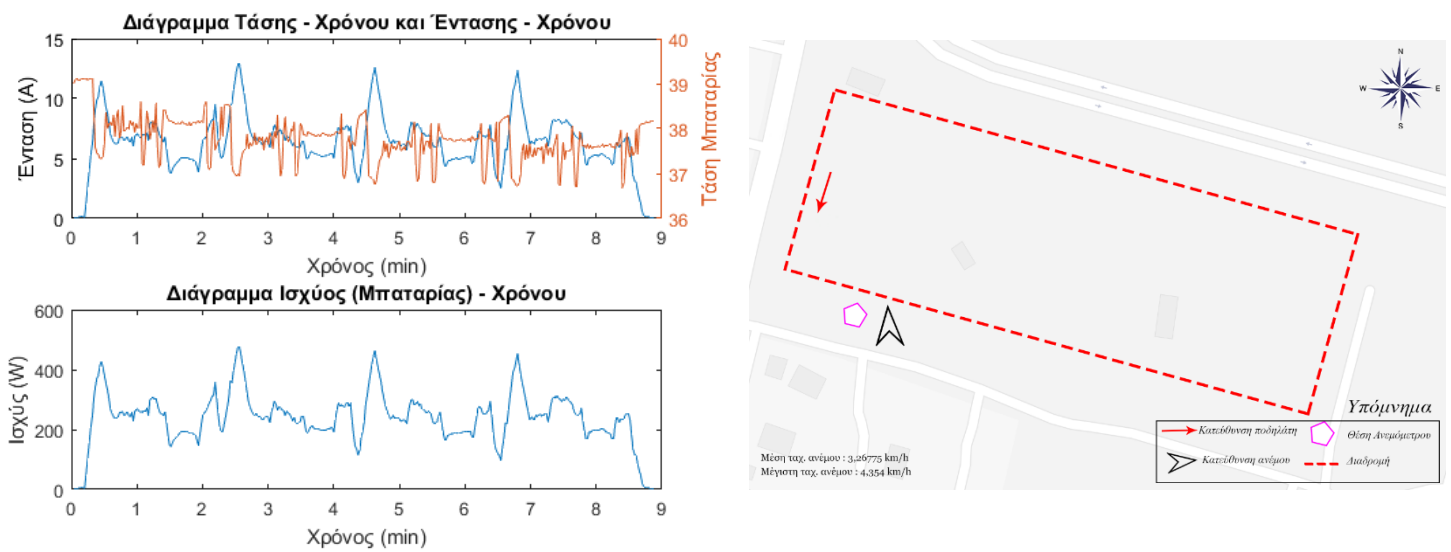
Εικόνα 6-19 Διαγράμματα Τάσης, Έντασης και Ισχύος σε σχέση με τον χρόνο και χάρτης ανέμου Τρίτου Αναβάτη 2^{ης} μέτρησης.

Διαγράμματα 3^{ης} μέτρησης Τρίτου αναβάτη στα 20 χλμ/ωρα



Εικόνα 6-20 Διαγράμματα Τάσης, Έντασης και Ισχύος σε σχέση με τον χρόνο και χάρτης ανέμου Τρίτου Αναβάτη 3^{ης} μέτρησης.

Διαγράμματα 4^{ης} μέτρησης Τρίτου αναβάτη στα 25 χλμ/ωρα



Εικόνα 6-21 Διαγράμματα Τάσης, Έντασης και Ισχύος σε σχέση με τον χρόνο και χάρτης ανέμου Τρίτου Αναβάτη 4^{ης} μέτρησης.

6.3.4 Μετρήσεις Τέταρτου αναβάτη

Γενικές Πληροφορίες Αναβάτη	
Μάζα αναβάτη	111 kg
Συνολική μάζα με σύστημα καταγραφής και ποδήλατο	114.1 kg
Ύψος	1.85 m
Ύψος οδήγησης	1.89 m
Ηλικία	24

Πίνακας 16 Γενικές πληροφορίες Τέταρτου αναβάτη.

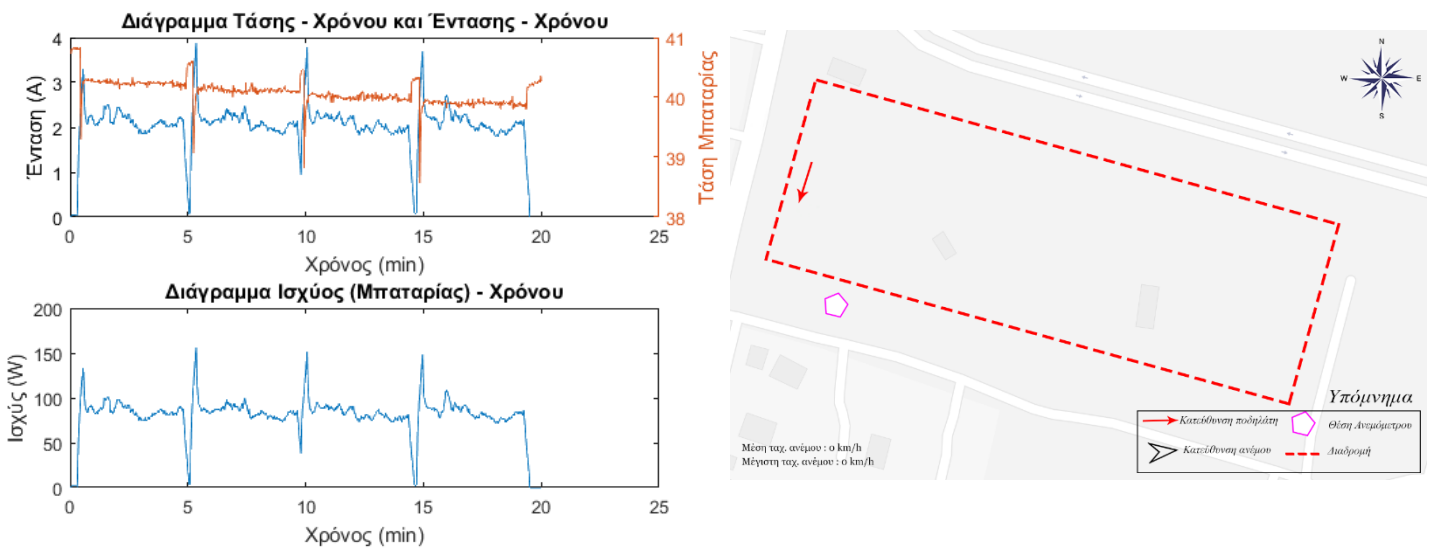


Εικόνα 6-22 Μετωπικό προφίλ τέταρτου αναβάτη.

Αποτελέσματα μετρήσεων ανά ταχύτητες ποδηλάτου				
Ταχύτητες [km/h]	10	15	20	25
$P_{Μέση}$ [W]	81.94	122.501	185.245	281.92
$P_{Μέγιστη}$ [W]	155.79	278.98	407.37	475.04
$U_{Μέση}$ [km/h]	9.7	15.5	19.5	22.2
$U_{Μέγιστη}$ [km/h]	11	16.1	21.5	24.5
Χρόνος [min]	19	14.13	10.99	10.26
Ενέργεια [Wh]	25.94	28.84	33.93	48.20
Αποδοτικότητα [Wh/km]	8.19	8.16	9.26	11.27
Κατάσταση φόρτισης (αρχική-τελική) [%]	86.16 81.58	76.88 72.02	66.39 60.35	60.51 52.03

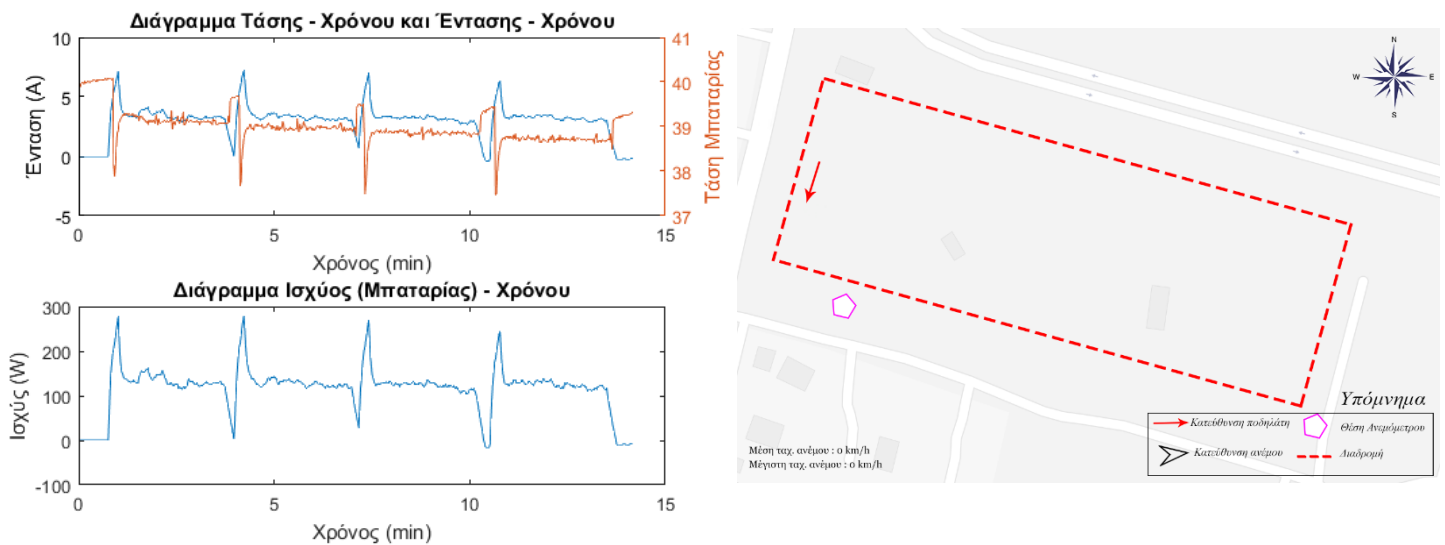
Πίνακας 17 Πίνακας αποτελεσμάτων Τέταρτου αναβάτη.

Διαγράμματα 1^{ης} μέτρησης Τέταρτου αναβάτη στα 10 χλμ/ωρα



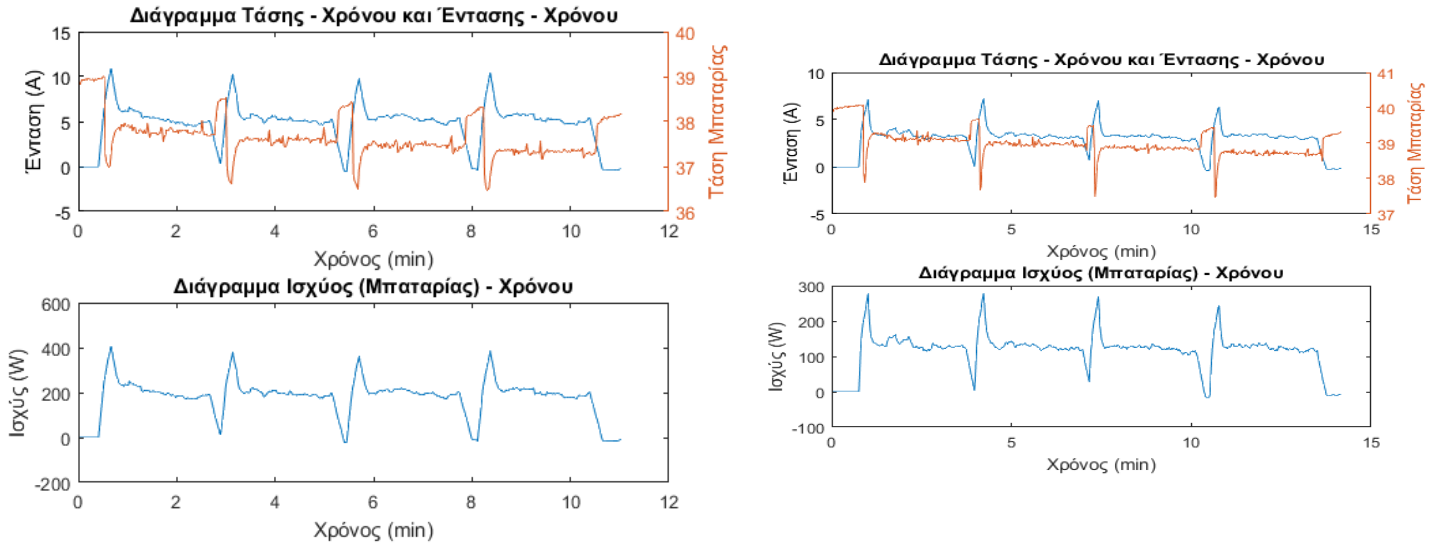
Εικόνα 6-23 Διαγράμματα Τάσης, Έντασης και Ισχύος σε σχέση με τον χρόνο και χάρτης ανέμου Τέταρτου Αναβάτη 1^{ης} μέτρησης.

Διαγράμματα 2^{ης} μέτρησης Τέταρτου αναβάτη στα 15 χλμ/ωρα



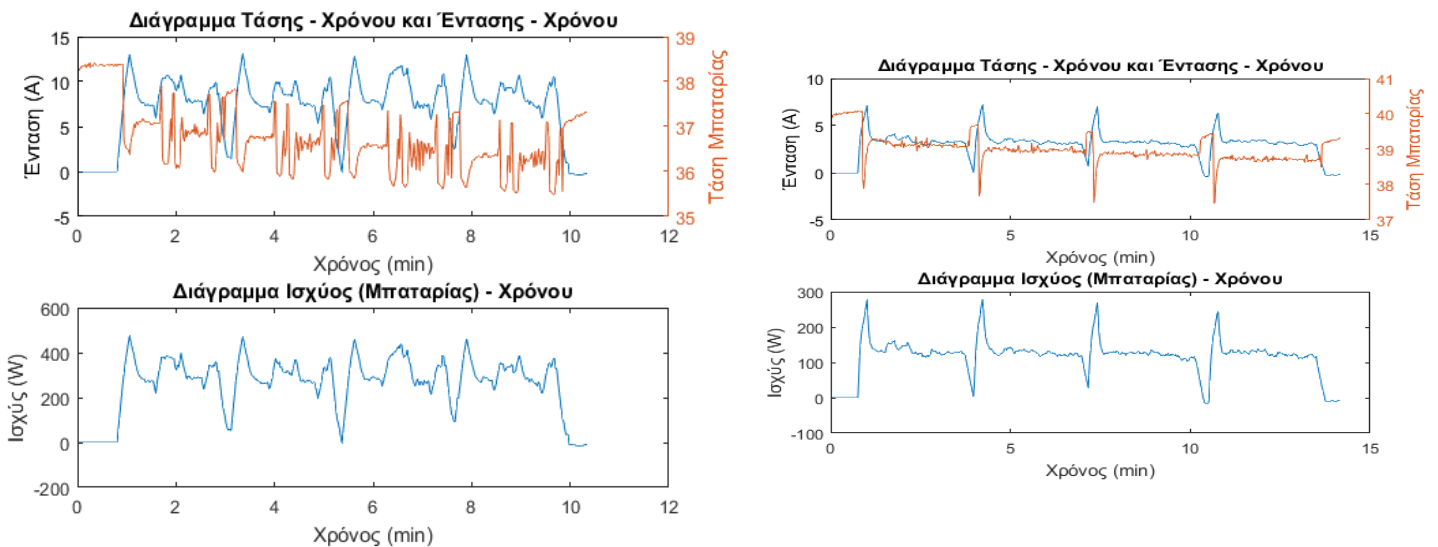
Εικόνα 6-24 Διαγράμματα Τάσης, Έντασης και Ισχύος σε σχέση με τον χρόνο και χάρτης ανέμου Τέταρτου Αναβάτη 2^{ης} μέτρησης.

Διαγράμματα 3^{ης} μέτρησης Τέταρτου αναβάτη στα 20 χλμ/ωρα

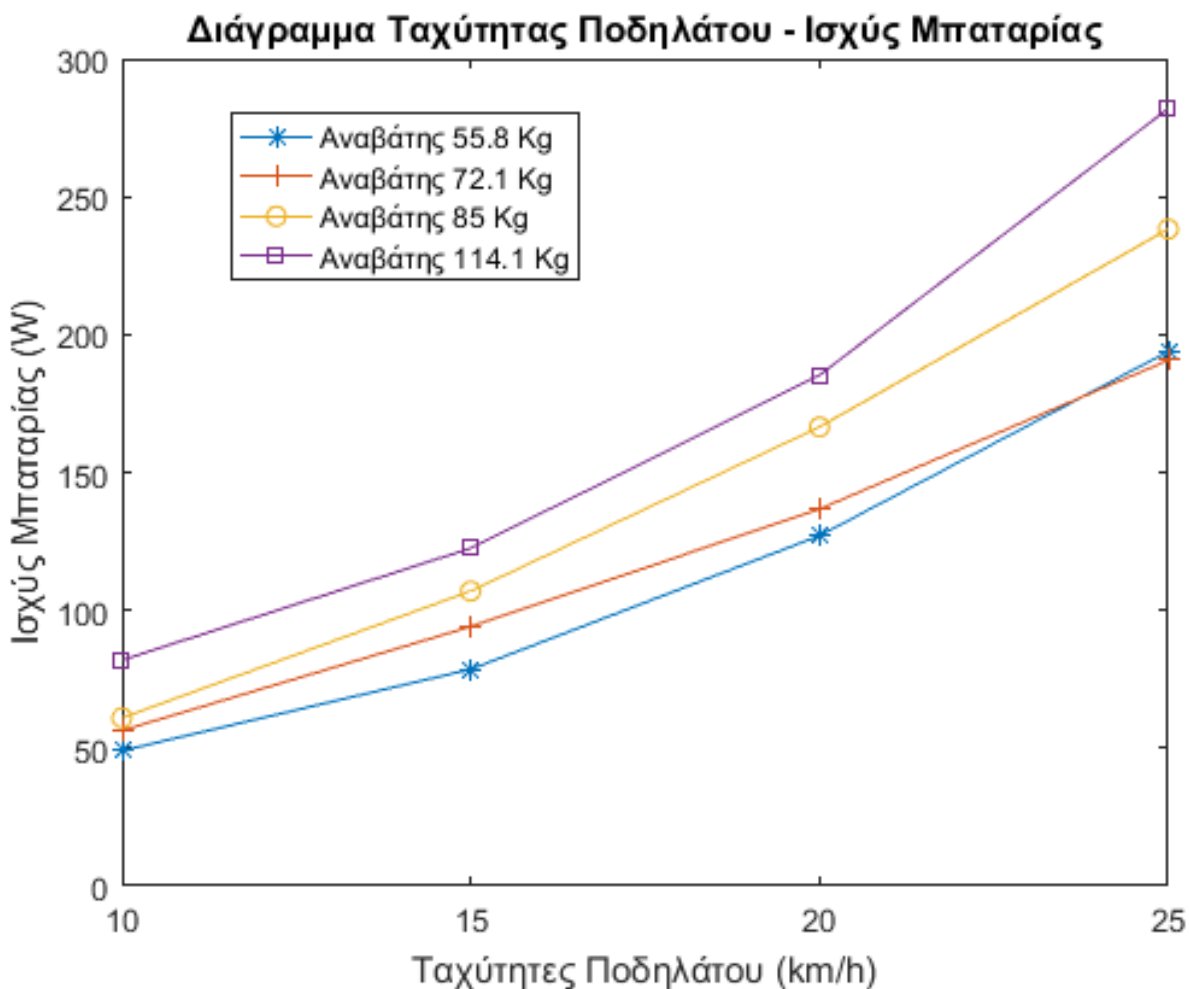


Εικόνα 6-25 Διαγράμματα Τάσης, Έντασης και Ισχύος σε σχέση με τον χρόνο και χάρτης ανέμου Τέταρτου Αναβάτη 3^{ης} μέτρησης.

Διαγράμματα 4^{ης} μέτρησης Τέταρτου αναβάτη στα 25 χλμ/ωρα



Εικόνα 6-26 Διαγράμματα Τάσης, Έντασης και Ισχύος σε σχέση με τον χρόνο και χάρτης ανέμου Τέταρτου Αναβάτη 4^{ης} μέτρησης.



Εικόνα 6-27 Διάγραμμα Ισχύος Μπαταρίας – Ταχύτητες Ποδηλάτου με διαφορετικούς αναβάτες.

Τα αποτελέσματα της δεύτερης κατηγορίας πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν με πλήρως φορτισμένη μπαταρία είχαν ως δεδομένα έναν αναβάτη μέσου βάρους όπως φαίνεται στον πίνακα γενικών πληροφοριών αναβάτη. Η διαδρομή που εκτέλεσε ο αναβάτης έχει μήκος 10 km και πραγματοποιήθηκαν περίπου έξι γύροι της διαδρομής. Δυο μετρήσεις αυτονομίας εκτέλεσε ο αναβάτης, η πρώτη με την χρήση μόνο γκαζιού και η δεύτερη με την υποβοήθηση. Το εργαστηριακό ανεμόμετρο τοποθετήθηκε σε διάφορα σημεία της διαδρομής, όπου και γινόταν αντιληπτή η αλλαγή του ανέμου. Στην συγκεκριμένη πειραματική διάταξη ορίστηκε ως ταχύτητα του ποδηλάτου η μέγιστη στα 25 χλμ/ω. Τα αποτελέσματα καταγράφονται στους πίνακες με τίτλο Αποτελέσματα μετρήσεων ανά λειτουργία και ύστερα από κάθε πίνακες παρατίθενται τα σχετικά διαγράμματα με τα αποτελέσματα. Τα πρώτα διαγράμματα παραθέτουν την μεταβολή της ολικής τάσης και έντασης σε σχέση με τον χρόνο, ενώ τα δεύτερα την κατανάλωση ισχύος σε σχέση με τον χρόνο. Για τον υπολογισμό και την μέτρηση των στοιχείων χρησιμοποιήθηκε η ίδια διάταξη με την πρώτη κατηγορία πειραμάτων.

6.3.5 Μετρήσεις αυτονομίας με την χρήση υποβοήθησης

Γενικές Πληροφορίες Αναβάτη	
Μάζα αναβάτη	82 kg
Συνολική μάζα με σύστημα καταγραφής και ποδήλατο	85 kg
Ύψος	1.80 m
Ύψος οδήγησης	1.85 m
Ηλικία	24

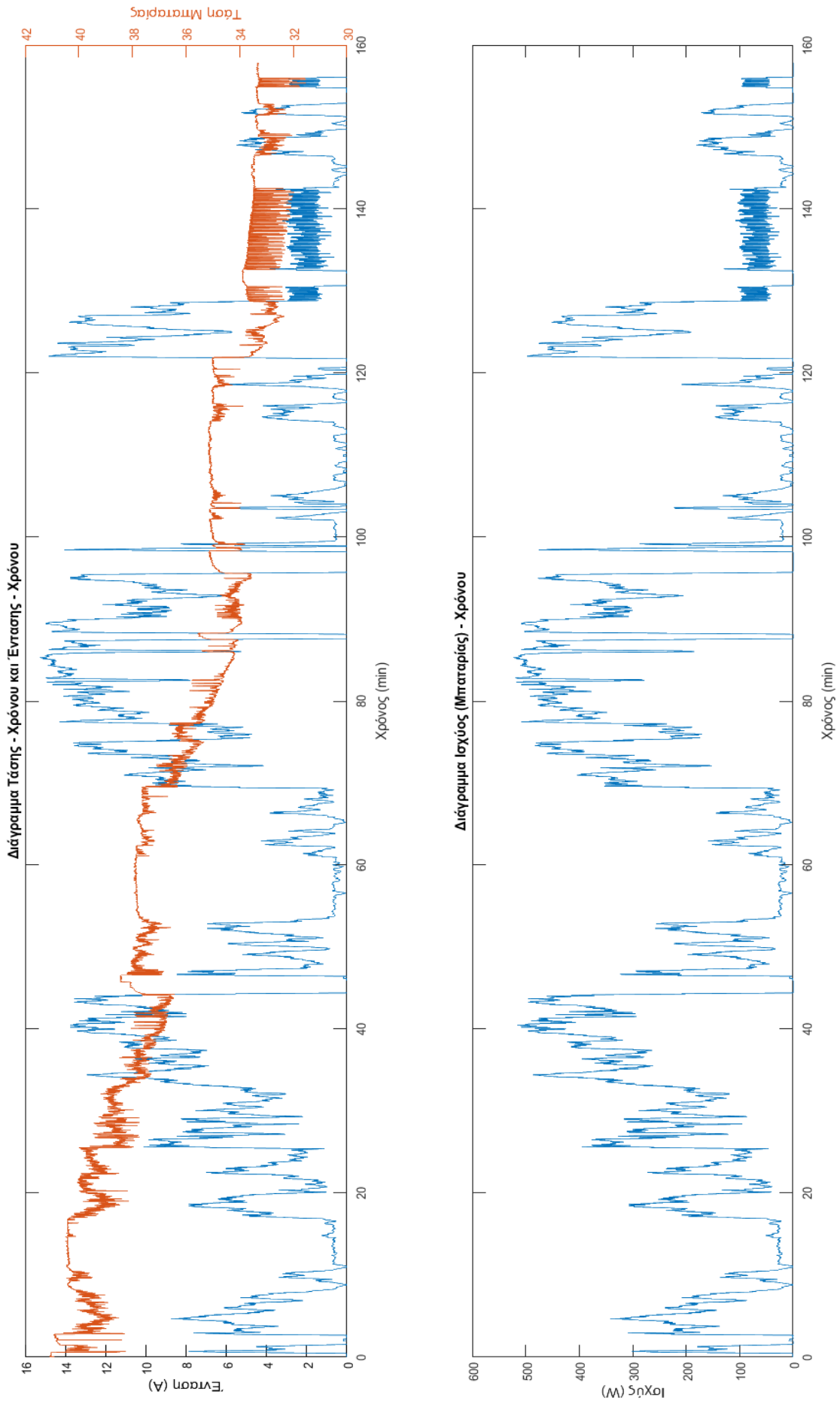
Πίνακας 18 Γενικές πληροφορίες αναβάτη αυτονομίας με υποβοήθηση.



Εικόνα 6-28 Μετωπικό προφίλ αναβάτη.

Αποτελέσματα μετρήσεων ανά λειτουργία (Υποβοήθησης)	
Ταχύτητα [Km/h]	25
$P_{Μέση}$ [W]	176.46
$P_{Μέγιστη}$ [W]	522.53
$U_{Μέση}$ [km/h]	24.1
$U_{Μέγιστη}$ [km/h]	46.9
Χρόνος [min]	215
Ενέργεια [Wh]	632.31
Αποδοτικότητα [Wh/km]	10.6
Αυτονομία [Km]	59.5
Κατάσταση φόρτισης (αρχική-τελική) [%]	91 –14.2

Πίνακας 19 Πίνακας αποτελεσμάτων αυτονομίας με υποβοήθηση.



Εικόνα 6-29 Διαγράμματα Τάσης, Έντασης και Ισχύος σε σχέση με τον χρόνο για λειτουργία με υποβοήθηση.

6.3.6 Μετρήσεις αυτονομίας με την χρήση γκαζιού

Γενικές Πληροφορίες Αναβάτη	
Μάζα αναβάτη	82 kg
Συνολική μάζα με σύστημα καταγραφής και ποδήλατο	85 kg
Ύψος	1.80 m
Ύψος οδήγησης	1.85 m
Ηλικία	24

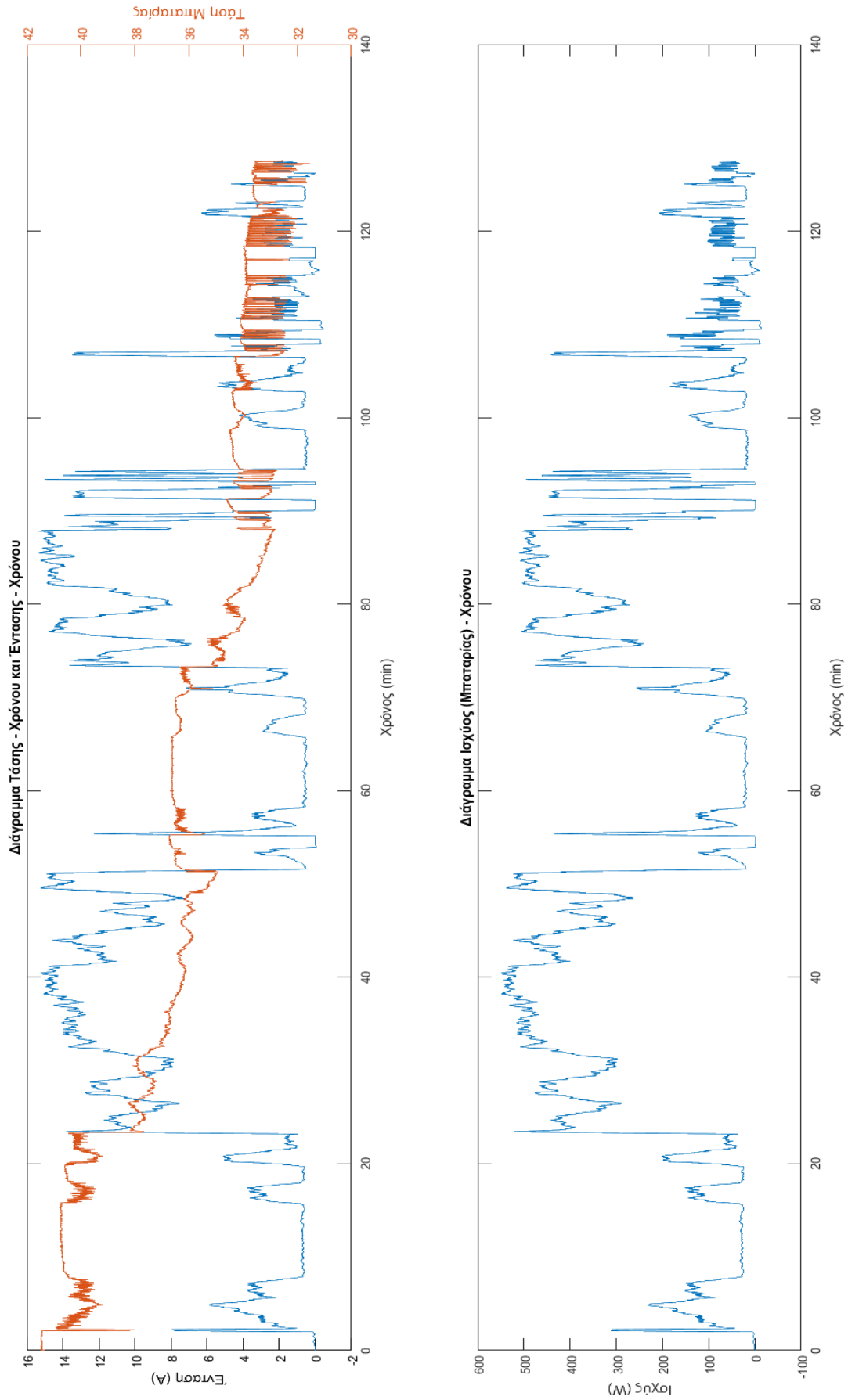
Πίνακας 20 Γενικές πληροφορίες αναβάτη αυτονομίας με γκάζι.



Εικόνα 6-30 Μετωπικό προφίλ αναβάτη.

Αποτελέσματα μετρήσεων ανά λειτουργία (Γκάζι)	
Ταχύτητα [Km/h]	25
$P_{Μέση}$ [W]	200.52
$P_{Μέγιστη}$ [W]	549.34
$U_{Μέση}$ [km/h]	24.5
$U_{Μέγιστη}$ [km/h]	54
Χρόνος [min]	124
Ενέργεια [Wh]	414.41
Αποδοτικότητα [Wh/km]	8.66
Αυτονομία [Km]	47.8
Κατάσταση φόρτισης (αρχική-τελική) [%]	89.3 – 9.16

Πίνακας 21 Πίνακας αποτελεσμάτων αυτονομίας με γκάζι.



Εικόνα 6-31 Διαγράμματα Τάσης, Έντασης και Ισχύος σε σχέση με τον χρόνο για λειτουργία με γκάζι..

7. Συμπεράσματα

Στη παρούσα πτυχιακή εργασία ο σκοπός ήταν να μελετηθεί και να κατασκευαστεί ένα ηλεκτρικά υποβοηθούμενο ποδήλατο χαμηλού κόστους σε σχέση με τα αντίστοιχα του εμπορίου. Πιο συγκεκριμένα, ο βασικός στόχος ήταν να κατασκευαστεί ένα πρωτότυπο KIT με τη χρήση σύγχρονης τεχνολογίας, που θα περιλαμβάνει το σύστημα ηλεκτροκίνησης και το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας. Ένας από τους βασικότερους στόχους στην υλοποίηση αυτής της πτυχιακής εργασίας ήταν να μπορέσει το KIT, πλέον KIT μετατροπής, να είναι συμβατό με όλα τα ποδήλατα πόλης. Επίσης στη μελέτη και στην κατασκευή μία από τις σημαντικότερες παραμέτρους-περιορισμούς ήταν η εναρμόνιση του KIT με τους κανονισμούς της Ευρωπαϊκής Νομοθεσίας για τα ηλεκτρικά υποβοηθούμενα ποδήλατα.

Σε ότι αφορά στην νομοθεσία, το ηλεκτρικά υποβοηθούμενο ποδήλατο, κατατάσσεται στην κατηγορία L1e, δεν μπορεί να ξεπερνάει τα 25 χλμ./ώρα, η ισχύς περιορίζεται έως και τα 250W, και η υποβοήθηση μειώνεται σταδιακά. Αξίζει να αναφερθεί ότι για να μπορέσει ένα τέτοιο προϊόν να κυκλοφορήσει και να πωληθεί στην ευρωπαϊκή αγορά, κατ' επέκταση και στην ελληνική, πρέπει να συνοδεύεται από ένα εγχειρίδιο χρήσης, συγκεκριμένου τύπου, καθώς και να αναγράφονται συγκεκριμένα στοιχεία του κατασκευαστή και όχι μόνο, σε προκαθορισμένα σημεία του σκελετού του ποδηλάτου. Στην εργασία αυτή παρόλο που εφαρμόστηκε η νομοθεσία και τα όρια που θέτει όσον αφορά τα τεχνικά χαρακτηριστικά του ποδηλάτου, δημιουργήθηκε και ένα ερωτηματολόγιο επικεντρωμένο στις προτιμήσεις των αναβατών. Η ανάλυση και η μελέτη των αποτελεσμάτων που συγκεντρώθηκαν, αποτέλεσαν τη βάση για τις σχεδιαστικές τροποποιήσεις του ποδηλάτου.

Για την εργασία χρησιμοποιήθηκε ένα έτοιμο συμβατικό ποδήλατο με ελαφρύ σκελετό ως βάση για να κατασκευαστεί εξ' ολοκλήρου πάνω σε αυτό η μονάδα αποθήκευσης ενέργειας μαζί με το κατάλληλο κυτίο τοποθέτησής της πάνω στο σκελετό και η προσαρμογή κατάλληλου ηλεκτροκινητήρα στον πίσω άξονα του ποδηλάτου. Επίσης, μετά το πέρας της διεξαγωγής των κατασκευαστικών εργασιών δημιουργήθηκε μια μονάδα συλλογής δεδομένων για την διεξαγωγή πειραματικών μετρήσεων σε συνδυασμό με ένα υπολογιστικό πείραμα σε υπολογιστή.

Η γενική αρχή λειτουργίας του KIT μετατροπής που σχεδιάστηκε ακολουθεί μια συγκεκριμένη διάταξη η οποία περιλαμβάνει,

- Τον ηλεκτροκινητήρα
- Τον ελεγκτή του κινητήρα
- Τη μονάδα απεικόνισης και διαχείρισης της υποβοήθησης
- Τα αισθητήρια του ελεγκτή
- Τη μονάδα αποθήκευσης ενέργειας
- Σύστημα διαχείρισης ενέργειας (BMS)

Ο ηλεκτροκινητήρας που επιλέχθηκε είναι BLDC PM και συγκεκριμένα είναι τύπου πλήμνης, με μέγιστη ισχύ 250W. Ο ελεγκτής του κινητήρα αποτελείται από έξι αισθητήρες Hall που παρέχουν στον ηλεκτροκινητήρα ένταση 15A και διάφορα συστήματα ασφαλείας του κυκλώματος. Η μονάδα απεικόνισης που τοποθετήθηκε δίνει βασικές πληροφορίες στον χρήστη και δίνει την δυνατότητα τροποποίησης της υποβοήθησης. Τα αισθητήρια περιλαμβάνουν αισθητήρες για την μέτρηση στροφών του τροχού και του πεντάλ. Για την μονάδα αποθήκευσης

ενέργειας επιλέχθηκαν 50 κελιά Ιόντων Λιθίου τύπου 18650 που προσδίδουν τα κατάλληλα χαρακτηριστικά αυτονομίας και απόδοσης που ζητήθηκαν. Το σύστημα διαχείρισης που τοποθετήθηκε στην μονάδα υποστηρίζει τα χαρακτηριστικά της μπαταρίας και αποτελεί κρίσιμο εξάρτημα για την διαχείριση και την ασφάλεια της μονάδας.

Στη μελέτη της πτυχιακής εργασίας η βασική παράμετρος που επιλέχτηκε να μελετηθεί είναι η μέτρηση της μεταβολής κατάστασης φόρτισης και της προσφερόμενης ισχύος της μπαταρίας σε διαφορετικές συνθήκες. Δύο μεγάλες κατηγορίες μετρήσεων επιλέχθηκαν στον πειραματικό σχεδιασμό της εργασίας, που αφορούν, η μεν πρώτη μετρήσεις για την σύγκριση ισχύος και ταχύτητας σε σχέση με διαφορετικούς αναβάτες, και η δεύτερη την εύρεση αυτονομίας του ηλεκτρικού ποδηλάτου. Ο αντίστοιχος εξοπλισμός για την υλοποίηση των πειραματικών μετρήσεων περιελάμβανε την μετρητική μονάδα-πλακέτα για την καταγραφή των μεταβολών στην μπαταρία και ένα εργαστηριακό ανεμόμετρο για την καταγραφή των εξωτερικών παραγόντων.

Τα κυριότερα σημεία από τα πειραματικά αποτελέσματα της πρώτης κατηγορίας μας έδειξαν ότι όσο αυξάνει το βάρος του αναβάτη αυξάνει και η καταναλισκόμενη ισχύς της μπαταρίας με αποτέλεσμα να έχουμε και μικρότερη αποδοτικότητα. Ένα ακόμα αξιοσημείωτο αποτέλεσμα είναι ότι στους πρώτους δυο αναβάτες (56kg και 72 kg), ο πρώτος αναβάτης είχε μεγαλύτερη καταναλισκόμενη ισχύ μπαταρίας σε σχέση με τον δεύτερο αναβάτη γεγονός που οφείλεται στην μέγιστη ταχύτητα που παράχθηκε στον πρώτου, κάτι που δεν ίσχυσε για τους άλλους δύο αναβάτες (85kg και 115 Kg). Επίσης στους τελευταίους αναβάτες παρατηρήθηκε και μια διαφορά στην συνολική ισχύ του συστήματος κατά 17%. Όσον αφορά την ένταση και την διεύθυνση του ανέμου αποδείχτηκε ότι δεν επηρέασε καθόλου την αποδοτικότητα του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας.

Στην δεύτερη σειρά πειραμάτων που αφορούσε την αυτονομία του συστήματος μετατροπής, τα αποτελέσματα των μετρήσεων με την παράλληλη χρήση της ηλεκτρικής υποβοήθησης απέδωσαν αυτονομία περίπου 60 χιλιομέτρων με τρεις ώρες συνεχόμενης λειτουργίας. Αντιθέτως, με την ηλεκτρική υποβοήθηση, δηλαδή με την χρήση μόνο του ηλεκτρικού γκαζιού, το σύστημα απέδωσε 48 χιλιόμετρα αυτονομίας και με μέγιστη συνεχόμενη λειτουργία του συστήματος τις δύο ώρες.

Για την ολοκλήρωση και επαλήθευση του πειραματικού σχεδιασμού, εκπονήθηκε μια προσομοίωση για την εκτίμηση και σύγκριση των αποτελεσμάτων. Το λογισμικό Matlab χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία ενός αντίστοιχου μοντέλου της μπαταρίας και του ηλεκτρικού κυκλώματος. Για την μοντελοποίηση του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας εφαρμόστηκε το ηλεκτρικό μοντέλο, με κύκλωμα πρώτης τάξης. Η ακρίβεια των αποτελεσμάτων κυμαίνεται μεταξύ 1% με 5%, τιμή αρκετά ικανοποιητική για την εφαρμογή που υλοποιήθηκε. Παρότι το μοντέλο αποτελεί μια απλοποιημένη μορφή ενός περίπλοκου συστήματος, τα αποτελέσματα που αντλήθηκαν, με την εισαγωγή των πειραματικών δεδομένων, ήταν αρκετά αξιόπιστα και συντέλεσαν στον έλεγχο ορθής λειτουργίας του συστήματος. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης έδωσαν ποσοστό ακριβείας της τάξης του 1%.

Συμπερασματικά, από την μελέτη που εκπονήθηκε στα πλαίσια της πτυχιακής εργασίας, το K1T μετατροπής ποδηλάτου σε ηλεκτρικό, με ενδεικτικό κόστος περίπου στα 750€, κατασκευάστηκε και εγκαταστάθηκε με επιτυχία σε συμβατικό ποδήλατο πόλης. Από τα

αποτελέσματα των μετρήσεων αποδείχτηκε ότι είναι ένα αξιόπιστο σύστημα μετατροπής ηλεκτρικού ποδηλάτου, με αρκετά καλή αυτονομία λόγω του έξυπνου σχεδιασμού του συστήματος ενέργειας και της συνολικής του διάταξης. Ταυτοχρόνως, εναρμονίζεται πλήρως με την Ευρωπαϊκή Νομοθεσία, είναι αρκετά οικονομικό και εύχρηστο στην τοποθέτησή του σε οποιοδήποτε ποδήλατο. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι στη σύγχρονη εποχή για τη μείωση του διοξειδίου του άνθρακα και τη μείωση των ρυπογόνων αερίων, η χρήση του συγκεκριμένου ΚΙΤ μετατροπής θα μπορούσε να αποτελέσει μια αξιόπιστη πρόταση μετακίνησης μέσα στις πόλεις.

8. Βιβλιογραφία

- [1] D. Linden και T. B. Reddy, *Handbook of Batteries*. 3^η Έκδοση, Η.Π.Α., McGraw-Hill, 2001, pp. 20–50, 167-230, 328-433, 550-560.
- [2] Σ. Ι. Λουτρίδης, *Εισαγωγή στα Ηλεκτρονικά*. Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις Τζιόλα, 2017, σελ. 1-49, 301-406.
- [3] R. C. Jaeger και T. N. Blalock, *Μικροηλεκτρονική σχεδίαση κυκλωμάτων*. 5^η Έκδοση Μεταφρασμένο, Εκδόσεις Τζιόλα, 2017, σελ. 29-86, 863-917.
- [4] Π. Β. Μαλατέστας, *Ηλεκτρική κίνηση*. 4^η Έκδοση, Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις Τζιόλα, 2015, σελ. 85-172.
- [5] F. R. Whitt και D. G. Wilson, *Bicycling Science*. 2^η Έκδοση, Η.Π.Α., The MIT Press, 1995, σελ. 29-68, 85-300.
- [6] D. V. Herlihy, *Bicycle the history*. 1^η Έκδοση, Η.Β., The University Press, 2004, σελ. 15-376.
- [7] R. Ballantine και R. Grant, *Ultimate Bicycle Book*, 1^η Έκδοση, Η.Β., Dorling Kindersley, 1992, σελ. 6-20, 146-186.
- [8] R. Ballantine, *Richard's 21st century Bicycle Book*, 1^η Έκδοση, Η.Β., Pan Books, 1975, σελ. 25-41, 145-211.
- [9] R. Altoumami T. Altoumami B. P. Upadhy, 'Characteristics and Control of The Motor System in E-bikes', Πτυχιακή Εργασία, Σουηδία, Blekinge Institute of Technology, Μάιος 2014.
- [10] M. D. Lowe, 'The Bicycle: Vehicle for a Small Planet', *Ekistics*, Vol. 58, No. 348/349, *Nature and urban nature (MAY/JUNE - JULY/AUGUST 1991)*, pp. 179-194. JSTOR, www.jstor.org/stable/43623194
- [11] Ν. Η. Ιγγλέζου, 'Ανάλυση Λειτουργίας και Μοντελοποίηση Συσσωρευτών', Διπλωματική εργασία, Ελλάδα, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ιούλιος 2013, σελ. 13-89.
- [12] Σ. Δαφνομήλης, 'Μπαταρίες Λιθίου', Πτυχιακή εργασία, Ελλάδα, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, 2012, σελ., 90-211.
- [13] D. A. J. Rand, R Woods και R. M. Dell, *Understanding Batteries*, 1^η Έκδοση, Η.Β., Royal Society of Chemistry, Harwell, 2001, σελ. 6-20, 146-186.
- [14] R. Huggins, *Advanced Batteries*, 1^η Έκδοση, Η.Π.Α., Springer US, 2009, σελ. 6-20, 146-186.

[15] J. D. G. Koojiman, J.P. Meijaard, J. M. Papadopoulos, A. Ruina και A. L. Schwab, "A bicycle can be self-stable without gyroscopic or caster effects.," Delft University of Technology, University of Twente, UW-Stout, Cornell University, 14 Απρ 2011.

[16] D. E. H. Jones, "The stability of the bicycle," From the archives of 1970, pp 34-40, Physics Today, Sept 2006.

[17] J. McDowall "Understanding Lithium-ion Technology.," Saft America Inc., 2008.

[18] H. Rahimi-Eichi, F. Baronti και M. Chow, "Modeling and online parameter identification of Li-Polymer battery cells for SOC estimation," *2012 IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, Hangzhou, 2012, pp. 1336-1341.

doi: 10.1109/ISIE.2012.6237284

[19] I. Baccouche, A. Mlayah, S. Jemmali, B. Manai and N. Essoukri Ben Amara, "Implementation of a Coulomb counting algorithm for SOC estimation of Li-Ion battery for multimedia applications," *2015 IEEE 12th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD15)*, Mahdia, 2015, pp. 1-6.

doi: 10.1109/SSD.2015.7348255

[20] F. Baronti, G. Fantechi, E. Leonardi, R. Roncella, και R. Saletti, "Enhanced model for Lithium-Polymer cells including temperature effects," in *IECON 2010 - 36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*, 2010, pp. 2329-2333.

doi: 10.1109/IECON.2010.5675134

[21] H. Rahimi-Eichi, F. Baronti and M. Chow, "Online Adaptive Parameter Identification and State-of-Charge Coestimation for Lithium-Polymer Battery Cells," in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 61, no. 4, pp. 2053-2061, April 2014.

doi: 10.1109/TIE.2013.2263774

[22] A. Muetze and Y. C. Tan, "Electric bicycles - A performance evaluation," in *IEEE Industry Applications Magazine*, vol. 13, no. 4, pp. 12-21, July-Aug. 2007.

doi: 10.1109/MIA.2007.4283505

[23] E. A. Lomonova, A. J. A. Vandenput, J. Rubacek, B. d'Herripon and G. Roovers, "Development of an improved electrically assisted bicycle," *Conference Record of the 2002 IEEE Industry*

Applications Conference. 37th IAS Annual Meeting (Cat. No.02CH37344), Pittsburgh, PA, USA, 2002, pp. 384-389 vol.1.

doi: [10.1109/IAS.2002.1044116](https://doi.org/10.1109/IAS.2002.1044116)

[25] K. T. Chau, *Electric Vehicle Machines and Drives*, 1^η Έκδοση, Ινδία, IEEE Press, 2015, σελ. 69-112

[26] S. J. Chaman, Ηλεκτρικές μηχανές, 4^η Έκδοση, Η.Π.Α., Τζιόλα, 2009, σελ. 1-42, 78-101, 273-304, 417-448, 573-593, 643-686

[27] D. C. Hanselman, *Brushless permanent magnet motor design*, 2^η Έκδοση, Η.Π.Α., Magna Physics Publishing, 2006, σελ. 1-13

[28] I. Buchmann 2018, *Types of Lithium-Ion*, Battery University, προβλήθηκε 25 Ιουνίου 2018, <https://batteryuniversity.com/index.php/learn/article/types_of_lithium_ion>.

[29] C. McFadden 2018, *The Long and Fascinating History of the Bicycle*, Interesting Engineering, προβλήθηκε 12 Ιουλίου 2018, <<https://interestingengineering.com/the-long-and-fascinating-history-of-the-bicycle>>.

[30] P. Suci 2017, *The forgotten role of the bicycle in wartime: How soldiers rode into action on two wheels*, Fox News, προβλήθηκε Ιανουαρίου 2018, <<https://www.foxnews.com/tech/the-forgotten-role-of-the-bicycle-in-wartime-how-soldiers-rode-into-action-on-two-wheels>>.

[31] M. Bellis 2019, *History of the Bicycle*, ThoughtCo, προβλήθηκε 25 Μαΐου 2019, <<https://www.thoughtco.com/history-of-the-bicycle-1991341>>.

[32] I. Buchmann 2019, *How to Measure State-of-charge*, Battery University, προβλήθηκε Ιανουάριο 2019, <https://batteryuniversity.com/index.php/learn/article/how_to_measure_state_of_charge>.

[33] T. S. Roy et al., *Simple Discussion on Stepper Motors for the Development of Electronic Device*, International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 5, Issue 1, January 2014, ISSN 2229-5518

[34] Μ. Παπαϊωάννου, *Μπαταρίες για ηλεκτρικά και ηλεκτροκίνητα οχήματα – προσομοίωση λειτουργίας μπαταριών μέσω του λογισμικού Matlab*, Πτυχιακή εργασία, Ελλάδα, Αλεξάνδρειο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Θεσσαλονίκης, 2018, σελ., 59-82.

[35] Θ. Μανόλας, 'Προσομοίωση ηλεκτρικού οχήματος με το λογισμικό Matlab/Simulink', Πτυ-
χιακή εργασία, Ελλάδα, Αλεξάνδρειο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Θεσσαλονίκης, 2015,
σελ., 59-94.

[36] Low Wen Yao, Aziz, J. A., Pui Yee Kong, N. R. N. Idris, "*Modeling of Lithium-Ion Battery
Using MATLAB/Simulink*," Conference Paper · November 2013,

DOI: 10.1109/IECON.2013. 6699393, pp. 1729-1731.

[37] Min Chen, Gabriel A. Rincón-Mora, "*Accurate Electrical Battery Model Capable of Predict-
ing Runtime and I–V Performance*", *IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION*, VOL. 21,
NO. 2, JUNE 2006, pp. 504-511.

[38] Tarun Huria, Massimo Ceraolo, Javier Gazzarri, Robyn Jackey, "*High Fidelity Electrical
Model with Thermal Dependence for Characterization and Simulation of High Power Lithium
Battery Cells*", *IEEE International EV Conference, 4-8/3/2012, Greenville3, SC, USA.*

[39] Massimo Ceraolo, Giovanni Lutzemberger and Tarun Huria, "*Experimentally-Determined
Models for High-Power Lithium Batteries*", *SAE International,*

DOI: 10.4271/2011-01-1365, ISSN 0148-7191.

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 2-1 Η μηχανή «περπατήματος». Το Velocipede.....	5
<u>Πηγή</u> : D. V. Herlihy, 2004, <i>Velocipede riders were commonly portrayed in the European satirical press as vain attention-seekers, as in this print published in London in 1819</i> , The University Press, σελ. 26.	
Εικόνα 2-2 Το Penny Farthing.	6
<u>Πηγή</u> : A. Sharp, <i>The ordinary, or high wheeler, or penny farthing.</i> , Bicycles and Tricycles (London: Longmans, Green, 1896/Cambridge, Mass.: MIT Press, 1977).	
Εικόνα 2-3 Η τελική μορφή του ποδηλάτου. Το ποδήλατο ασφαλείας.....	7
<u>Πηγή</u> : Science Museum/Science and Society Picture Library	
Εικόνα 2-4 Β' Παγκόσμιος πόλεμος διμοιρία ποδηλατών.....	7
<u>Πηγή</u> : Lieutenant Moss and his 25th U.S. Infantry Bicycle Corps practicing near Fort Missoula in 1897 Northwest Museum of History Collection, K. Ross Toole Archives, The University of Montana, Missoula,	
Εικόνα 2-5 Η πρώτη «μπαταρία». Ευρήματα από την αρχαιολογική ανασκαφή στο Khujut Rabu.	8
<u>Πηγή</u> : W. Konig, " <i>Parthian battery from Khujut Rabou'a</i> ", Neun Jahre Irak, 1940 pp 160-161	
Εικόνα 2-6 Το εργαστήριο του Luigi Galvani.....	9
<u>Πηγή</u> : <i>De viribus electricitatis in motu musculari</i>	
Εικόνα 2-7 Η Βολταϊκή στήλη.....	10
<u>Πηγή</u> : Volta A.: <i>wet pile</i> , Illustration from "On the Electricity Excited by the Mere Contact of Conducting Substances of Different Kinds," Philosophical Transactions of the Royal Society, 1800, p.296	
Εικόνα 2-8 Κελί του Daniell.....	11
<u>Πηγή</u> : Gillard - <i>Leçons de Physique</i> ; Éditions Vuibert et Nony, 1904	
Εικόνα 2-9 Ο πρώτος ηλεκτροκινητήρας Michael Faraday, 1821	12
<u>Πηγή</u> : Quarterly Journal of Science, Vol XII, 1821	
Εικόνα 2-10 Ρόδα του Barlow, 1822.....	13
<u>Πηγή</u> : Philosophical Magazine, 1822, vol. 59	
Εικόνα 2-11 Η πρώτη γεννήτρια Pixii, 1832.....	13
<u>Πηγή</u> : F. Niethammer, Ein- und Mehrphasen-Wechsel-strom-Erzeuger, Verlag S. Hirzel, Leipzig 1906	
Εικόνα 2-12 Το περιστρεφόμενο σύρμα Ritchie, 1833	13
<u>Πηγή</u> : Philosophical Trans. of the Royal Society of London, 1833, Vol. 132, p.316, pl.7	
Εικόνα 2-13 Ο πρώτος πραγματικός ηλεκτροκινητήρας.	14
<u>Πηγή</u> : Moritz Jacobi, Königsberg, May 1834	
Εικόνα 2-14 Το πρώτο ηλεκτρικό βαγόνι, 1839.	14
<u>Πηγή</u> : T. du Moncel, Electricity as a Motive Power, London, 1883, fig. 32	

Εικόνα 2-15 Οπλισμός διπλού T Siemens, 1856.	14
<u>Πηγή</u> : Poggendorffs Annalen der Physik 101 (1857) Taf. II	
Εικόνα 2-16 Οπλισμός άγκυρας Siemens, 1872.	15
<u>Πηγή</u> : Science Museum, London	
Εικόνα 2-17 Σχέδιο του πρώτου επαγωγικού ηλεκτροκινητήρα του Ferraris, 1885.	15
<u>Πηγή</u> : Schematic drawing of Ferraris' first induction motor from his patent application, 1885	
Εικόνα 2-18 Διάφορες κατηγορίες ηλεκτρικών ποδηλάτων.	16
<u>Πηγή</u> : Eu Standards EN 15194	
Εικόνα 3-1 Διάγραμμα κατηγοριών ηλεκτροκινητήρων.	18
<u>Πηγή</u> : Μεταφρασμένη από Duane C. Hanselman, <i>Brushless permanent magnet motor design</i> , 2 ^η Έκδοση, Η.Π.Α., Magna Physics Publishing, 2006, σελ.2	
Εικόνα 3-2 Διάγραμμα DC κινητήρα.....	19
<u>Πηγή</u> : K. T. Chau, <i>Electric Vehicle Machines and Drives</i> , 1 ^η Έκδοση, Ινδία, IEEE Press, 2015, σελ. 20	
Εικόνα 3-3 Διάγραμμα κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα.....	20
<u>Πηγή</u> : K. T. Chau, <i>Electric Vehicle Machines and Drives</i> , 1 ^η Έκδοση, Ινδία, IEEE Press, 2015, σελ. 41	
Εικόνα 3-4 Διάγραμμα κινητήρα μόνιμου μαγνήτη χωρίς ψήκτες.....	22
<u>Πηγή</u> : K. T. Chau, <i>Electric Vehicle Machines and Drives</i> , 1 ^η Έκδοση, Ινδία, IEEE Press, 2015, σελ. 73	
Εικόνα 3-5 Διάγραμμα κινητήρα μαγνητικής αντίστασης.....	23
<u>Πηγή</u> : K. T. Chau, <i>Electric Vehicle Machines and Drives</i> , 1 ^η Έκδοση, Ινδία, IEEE Press, 2015, σελ. 110	
Εικόνα 3-6 Τοπολογία ηλεκτρονικών ισχύος των ηλεκτροκίνητων οχημάτων.....	24
<u>Πηγή</u> : Functional block diagram of a typical electric propulsion system", Shady M. Sadek, <i>Power Electronic Converter Topologies used in Electric Vehicles</i> , 2016	
Εικόνα 3-7 Τυπική μπαταρία αυτοκινήτου 12 V τύπου Μόλυβδου – Οξέος.	30
Εικόνα 3-8 Τυπική μπαταρία Ni-Cd.	31
Εικόνα 3-9 Τυπική μπαταρία Ni-Mh.	31
Εικόνα 3-10 Είδη μπαταριών Ιόντων – Λιθίου.....	32
Εικόνα 3-11 Εσωτερική δομή μπαταρίας τύπου 18650.	34
Εικόνα 4-1 Διαμόρφωση γένους στο ερωτηματολόγιο.....	37
Εικόνα 4-2 Ηλικιακή διαμόρφωση ερωτηματολογίου.	38
Εικόνα 4-3 Συχνότητα και εμπειρία χρήσης ποδηλάτου.....	39
Εικόνα 4-4 Προτιμήσεις ερωτηθέντων στα χαρακτηριστικά του ηλεκτρικού ποδηλάτου.	40
Εικόνα 4-5 Ποδήλατο δρόμου.....	41
Εικόνα 4-6 Ποδήλατο σπαστό-πόλης.	41
Εικόνα 4-7 Ποδήλατο χώματος.	41
Εικόνα 4-8 Προτιμήσεις αναβατών στον τύπο ποδηλάτου.....	41
Εικόνα 4-9 Προτεινόμενη τιμή αγοράς Ηλεκτρικού Ποδηλάτου.....	41
Εικόνα 4-10 Απλό Ηλ. Ποδήλατο Νο.1	42
Εικόνα 4-11 Ηλεκτρικό ποδήλατο χώματος Νο.2	42

Εικόνα 4-12 Cruiser τύπος ποδηλάτου Νο.3.....	42
Εικόνα 4-13 Σπαστό ηλεκτρικό ποδήλατο Νο.4.....	42
Εικόνα 4-14 Προτιμήσεις αναβατών στο είδος του ηλεκτρικού ποδηλάτου.....	43
Εικόνα 4-15 Αρχιτεκτονική δομή ηλεκτρικού ποδηλάτου.....	44
Εικόνα 4-16 Σχηματικό διάγραμμα ηλεκτρικού ποδηλάτου.....	44
Εικόνα 4-17 Τρισδιάστατο σχέδιο μπαταρίας.....	48
Εικόνα 4-18 Κελί της εταιρίας Panasonic Τύπου 18650.....	48
Εικόνα 4-19 Η μπαταρία ύστερα από την ψυχρή κόλληση.....	49
Εικόνα 4-20 Τελική μορφή μπαταρίας.....	50
Εικόνα 4-21 Σχηματικό διάγραμμα BMS.....	51
Εικόνα 4-22 Η μπαταρία με εγκαταστημένο το BMS.....	52
Εικόνα 4-23 Διάγραμμα του προφίλ φόρτισης που ακολουθεί ο φορτιστής.....	54
Εικόνα 4-24 Ταχυφορτιστής του ποδηλάτου 42V 5A.....	54
Εικόνα 4-25 Η μονάδα σε τομή στο σχεδιαστικό περιβάλλον.....	56
Εικόνα 4-26 Κατασκευαστικό σχέδιο μπαταρίας.....	56
Εικόνα 4-27 Φωτορεαλιστική εικόνα μονάδας μπαταρίας.....	57
Εικόνα 4-28 Στο παραπάνω σχήμα: 1) είναι το όνομα του υλικού, 2) η διατομή, 3) η θερμοκρασία στην πρώτη στρώση, 4) η θερμοκρασία στις υπόλοιπες στρώσεις.....	58
Εικόνα 4-29 Στο παραπάνω σχήμα: 1) είναι η ανάλυση σε mm, 2) η ανάλυση στην πρώτη στρώση σε mm, 3) οι περίμετροι των τοιχωμάτων, 4) ο αριθμός των πάνω στρώσεων, που θα είναι γεμάτες με υλικό, 5) ο αριθμός των κάτω στρώσεων, που θα είναι γεμάτες με υλικό. .	58
Εικόνα 4-30 Στο παραπάνω σχήμα: (1) είναι ο τύπος και ποσοστό πλέγματος, (2) η δημιουργία πλέγματος ανά στρώση, (3) η γωνία πλέγματος σε μοίρες.....	59
Εικόνα 4-31 Διάφοροι τύποι πλέγματος.....	59
Εικόνα 4-32 Ποσοστά πλέγματος.....	60
Εικόνα 4-33 Πλέγμα καλουπιού μπαταρίας κατά την διάρκεια της εκτύπωσης.....	60
Εικόνα 4-34 Συλλογή φωτογραφιών της διαδικασίας τρισδιάστατης εκτύπωσης.....	61
Εικόνα 4-35 Το εσωτερικό του ηλεκτροκινητήρα.....	63
Εικόνα 4-36 Ο ελεγκτής του ηλεκτροκινητήρα.....	63
Εικόνα 4-37 Εσωτερική δομή του ηλεκτροκινητήρα.....	64
Εικόνα 4-38 Ο πλανήτης και ο φορέας πλανητών.....	64
Εικόνα 4-39 Τελική τοποθέτηση τροχού με τον ηλεκτροκινητήρα.....	65
Εικόνα 4-40 Η μονάδα απεικόνισης κατά την λειτουργία του ηλεκτρικού ποδηλάτου.....	65
Εικόνα 4-41 Στοιχεία που εμφανίζονται στην μονάδα απεικόνισης.....	66
Εικόνα 4-42 Το τελικό αποτέλεσμα μετά την τοποθέτηση όλων των εξαρτημάτων.....	68
Εικόνα 4-43 Η μονάδα της μπαταρίας στην τελική της μορφή.....	68
Εικόνα 5-1	70
Εικόνα 5-2	71
Εικόνα 5-3	72
Εικόνα 5-10	75
Εικόνα 5.12	76
Εικόνα 5-13	76
Εικόνα 6-1 Απλοποιημένο σχηματικό διάγραμμα της πλακέτας.....	96
Εικόνα 6-2 Σχηματική αναπαράσταση λειτουργίας της πλακέτας.....	97
Εικόνα 6-3 Αισθητήρας θερμοκρασίας κατά την διάρκεια της κατασκευής της καλωδίωσης.....	98
Εικόνα 6-4 Αισθητήρες θερμοκρασίας με την καλωδίωση.....	98
Εικόνα 6-5 Τελική μορφή της πλακέτας.....	98
Εικόνα 6-6 Το ανεμόμετρο εγκατεστημένο στον πειραματικό χώρο.....	99

Εικόνα 6-7 Μετωπικό προφίλ πρώτου αναβάτη.	101
Εικόνα 6-8 Διαγράμματα Τάσης, Έντασης και Ισχύος σε σχέση με τον χρόνο και χάρτης ανέμου Πρώτου Αναβάτη 1 ^{ης} μέτρησης.	102
Εικόνα 6-9 Διαγράμματα Τάσης, Έντασης και Ισχύος σε σχέση με τον χρόνο και χάρτης ανέμου Πρώτου Αναβάτη 2 ^{ης} μέτρησης.	102
Εικόνα 6-10 Διαγράμματα Τάσης, Έντασης και Ισχύος σε σχέση με τον χρόνο και χάρτης ανέμου Πρώτου Αναβάτη 3 ^{ης} μέτρησης.	103
Εικόνα 6-11 Διαγράμματα Τάσης, Έντασης και Ισχύος σε σχέση με τον χρόνο και χάρτης ανέμου Πρώτου Αναβάτη 4 ^{ης} μέτρησης.	103
Εικόνα 6-12 Μετωπικό προφίλ δεύτερου αναβάτη.	104
Εικόνα 6-13 Διαγράμματα Τάσης, Έντασης και Ισχύος σε σχέση με τον χρόνο και χάρτης ανέμου Δεύτερου Αναβάτη 1 ^{ης} μέτρησης.	105
Εικόνα 6-14 Διαγράμματα Τάσης, Έντασης και Ισχύος σε σχέση με τον χρόνο και χάρτης ανέμου Δεύτερου Αναβάτη 2 ^{ης} μέτρησης.	105
Εικόνα 6-15 Διαγράμματα Τάσης, Έντασης και Ισχύος σε σχέση με τον χρόνο και χάρτης ανέμου Δεύτερου Αναβάτη 3 ^{ης} μέτρησης.	106
Εικόνα 6-16 Διαγράμματα Τάσης, Έντασης και Ισχύος σε σχέση με τον χρόνο και χάρτης ανέμου Δεύτερου Αναβάτη 4 ^{ης} μέτρησης.	106
Εικόνα 6-17 Μετωπικό προφίλ τρίτου αναβάτη.	107
Εικόνα 6-18 Διαγράμματα Τάσης, Έντασης και Ισχύος σε σχέση με τον χρόνο και χάρτης ανέμου Τρίτου Αναβάτη 1 ^{ης} μέτρησης.	108
Εικόνα 6-19 Διαγράμματα Τάσης, Έντασης και Ισχύος σε σχέση με τον χρόνο και χάρτης ανέμου Τρίτου Αναβάτη 2 ^{ης} μέτρησης.	108
Εικόνα 6-20 Διαγράμματα Τάσης, Έντασης και Ισχύος σε σχέση με τον χρόνο και χάρτης ανέμου Τρίτου Αναβάτη 3 ^{ης} μέτρησης.	109
Εικόνα 6-21 Διαγράμματα Τάσης, Έντασης και Ισχύος σε σχέση με τον χρόνο και χάρτης ανέμου Τρίτου Αναβάτη 4 ^{ης} μέτρησης.	109
Εικόνα 6-22 Μετωπικό προφίλ τέταρτου αναβάτη.	110
Εικόνα 6-23 Διαγράμματα Τάσης, Έντασης και Ισχύος σε σχέση με τον χρόνο και χάρτης ανέμου Τέταρτου Αναβάτη 1 ^{ης} μέτρησης.	111
Εικόνα 6-24 Διαγράμματα Τάσης, Έντασης και Ισχύος σε σχέση με τον χρόνο και χάρτης ανέμου Τέταρτου Αναβάτη 2 ^{ης} μέτρησης.	111
Εικόνα 6-25 Διαγράμματα Τάσης, Έντασης και Ισχύος σε σχέση με τον χρόνο και χάρτης ανέμου Τέταρτου Αναβάτη 3 ^{ης} μέτρησης.	112
Εικόνα 6-26 Διαγράμματα Τάσης, Έντασης και Ισχύος σε σχέση με τον χρόνο και χάρτης ανέμου Τέταρτου Αναβάτη 4 ^{ης} μέτρησης.	112
Εικόνα 6-27 Διάγραμμα Ισχύος Μπαταρίας – Ταχύτητες Ποδηλάτου με διαφορετικούς αναβάτες.	113
Εικόνα 6-28 Μετωπικό προφίλ αναβάτη.	114
Εικόνα 6-29 Διαγράμματα Τάσης, Έντασης και Ισχύος σε σχέση με τον χρόνο για λειτουργία με υποβοήθηση.	115
Εικόνα 6-30 Μετωπικό προφίλ αναβάτη.	116
Εικόνα 6-31 Διαγράμματα Τάσης, Έντασης και Ισχύος σε σχέση με τον χρόνο για λειτουργία με γκάζι.	117

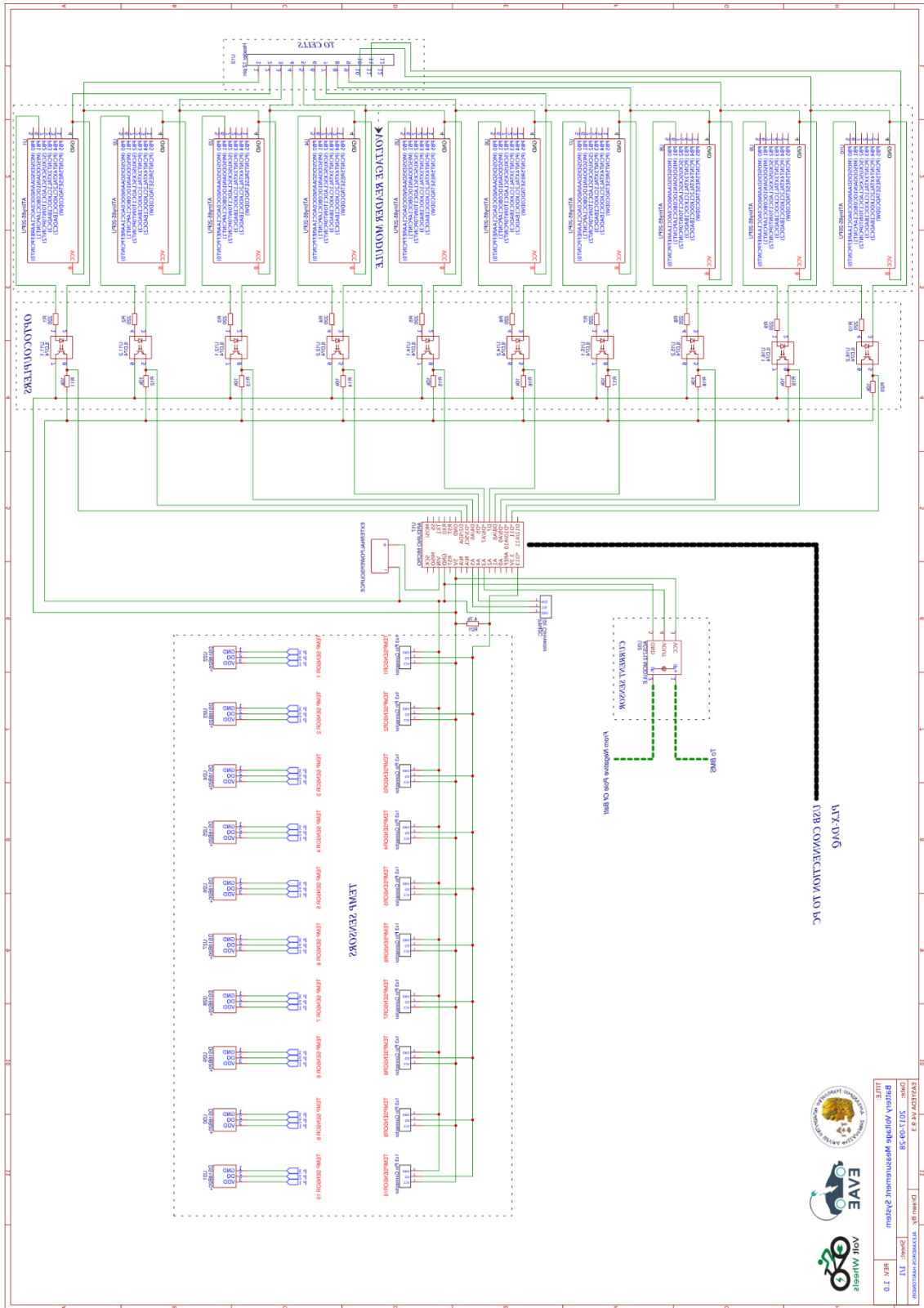
Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1 Πίνακας κυριότερων πρωτεουσών μπαταριών.....	29
Πίνακας 2 Κυριότερα χαρακτηριστικά μπαταρίας Οξειδία του Λιθίου Κοβαλτίου.....	33
Πίνακας 3 Κυριότερα χαρακτηριστικά μπαταρίας Οξειδία του Λιθίου Μαγγανίου.	33
Πίνακας 4 Κυριότερα χαρακτηριστικά μπαταρίας Οξειδία του Λιθίου Νικελίου Μαγγανίου Κοβαλτίου.....	33
Πίνακας 5 Κυριότερα χαρακτηριστικά μπαταρίας Λιθίου Σιδήρου Φωσφορικού άλας.	33
Πίνακας 6 Κυριότερα χαρακτηριστικά μπαταρίας Οξειδία του Λιθίου Νικελίου Κοβαλτίου Αλουμινίου.....	34
Πίνακας 7 Κυριότερα χαρακτηριστικά μπαταρίας Λιθίου Τιτανίτη.....	34
Πίνακας 8 Πίνακας χαρακτηριστικών κελιού.....	46
Πίνακας 9 Ενδεικτικό κοστολόγιο.....	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
Πίνακας 10 Γενικές πληροφορίες Πρώτου αναβάτη.....	101
Πίνακας 11 Πίνακας αποτελεσμάτων Πρώτου αναβάτη.	101
Πίνακας 12 Γενικές πληροφορίες Δεύτερου αναβάτη.....	104
Πίνακας 13 Πίνακας αποτελεσμάτων Δεύτερου αναβάτη.....	104
Πίνακας 14 Γενικές πληροφορίες Τρίτου αναβάτη.....	107
Πίνακας 15 Πίνακας αποτελεσμάτων Τρίτου αναβάτη.....	107
Πίνακας 16 Γενικές πληροφορίες Τέταρτου αναβάτη.	110
Πίνακας 17 Πίνακας αποτελεσμάτων Τέταρτου αναβάτη.	110
Πίνακας 18 Γενικές πληροφορίες αναβάτη αυτονομίας με υποβοήθηση.....	114
Πίνακας 19 Πίνακας αποτελεσμάτων αυτονομίας με υποβοήθηση.	114
Πίνακας 20 Γενικές πληροφορίες αναβάτη αυτονομίας με γκάζι.	116
Πίνακας 21 Πίνακας αποτελεσμάτων αυτονομίας με γκάζι.....	116

Ευρετήριο Εξιιώσεων

Εξιώση 1	28
Εξιώση 2	45
Εξιώση 3	45
Εξιώση 4	45
Εξιώση 5	46
Εξιώση 6	53
Εξιώση 7	53
Εξιώση 8	53
Εξιώση 9	53
Εξιώση 10	70
Εξιώση 11	70
Εξιώση 12	75
Εξιώση 13	76
Εξιώση 14	76
Εξιώση 15	76

Παράρτημα πληροφοριών.



Ολοκληρωμένο σχηματικό διάγραμμα μετρητικής μονάδας – πλακέτας.

Χαρακτηριστικά Συστήματος Διαχείρισης Μπαταρίας:

Applicable: 36V 10 cells lithium battery protection board

Batteries Type: lithium cobalt oxide / manganese lithium / ternary materials

Single over-charge protection voltage $4.25V \pm 0.05V$ (4.20-4.35V/0.05V per upgrade)

Single over-charge recovery voltage: 4.10-4.00V

Single over-discharge protection voltage: $2.50V \pm 0.1V$ (2.50-3.0V/0.05V per upgrade)

Single over-discharge recovery voltage: $2.80V \pm 0.1V$

Protection Current consumption: $\leq 300\mu A$

Short circuit protection current: $40A \pm 3A$

Short circuit protection time: 500MS

Temperature protection: 55/65/75 degrees

Discharge current: 18A

The maximum instantaneous current: 40A

Single balanced voltage: $4.19V \pm 0.02V$

Single balanced current: $\leq 55MA$

Charge current: $\leq 10A$

Dimension: 53 x 63mm

Features & Benefits

- High energy and power density
- Long, stable, high power
- High safety performance
- Ideal for power assisted bicycles, 2-way radios, medical devices and robotics.

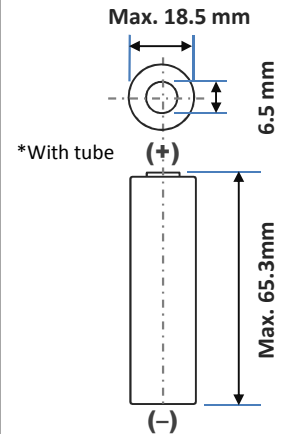
* At temperatures below 10°C, charge at a 0.25C rate.

Specifications

Rated capacity ⁽¹⁾	Min. 2700mAh
Capacity ⁽²⁾	Min. 2750mAh Typ. 2900mAh
Nominal voltage	3.6V
Charging	CC-CV, Std. 1375mA, 4.20V, 4.0 hrs
Weight (max.)	48.0 g
Temperature	Charge*: 0 to +45°C Discharge: -20 to +60°C Storage: -20 to +50°C
Energy density ⁽³⁾	Volumetric: 577 Wh/l Gravimetric: 207 Wh/kg

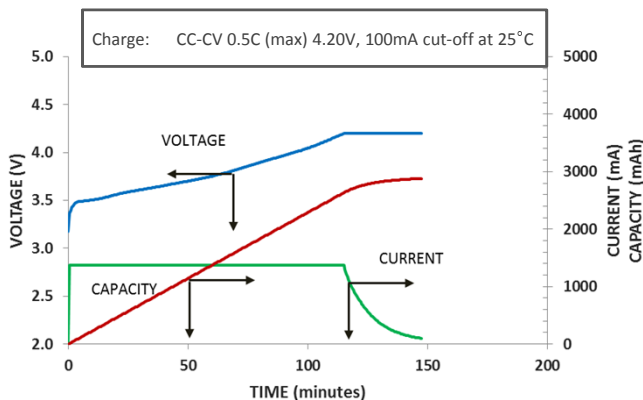
⁽¹⁾ At 20°C ⁽²⁾ At 25°C ⁽³⁾ Energy density based on bare cell dimensions

Dimensions

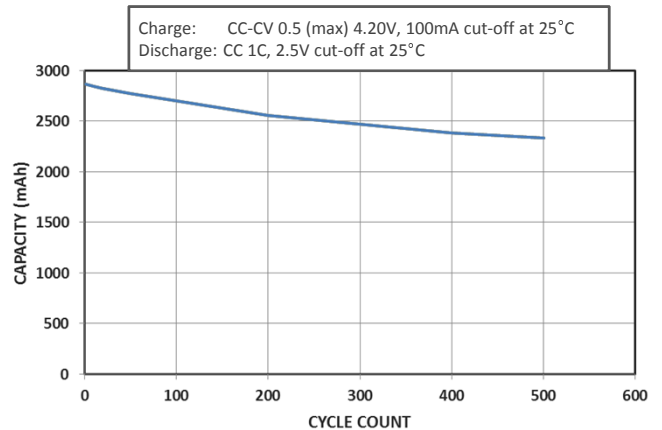


For Reference Only

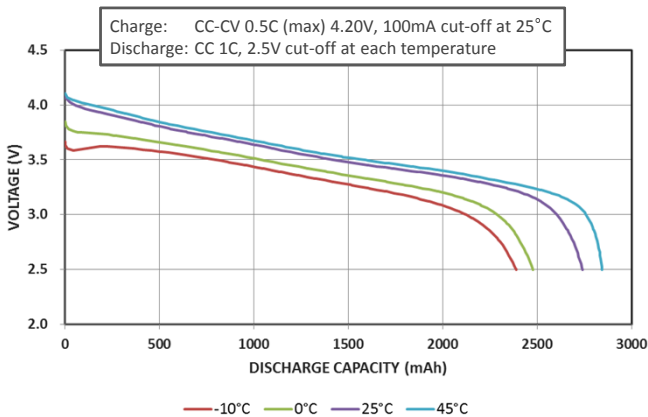
Charge Characteristics



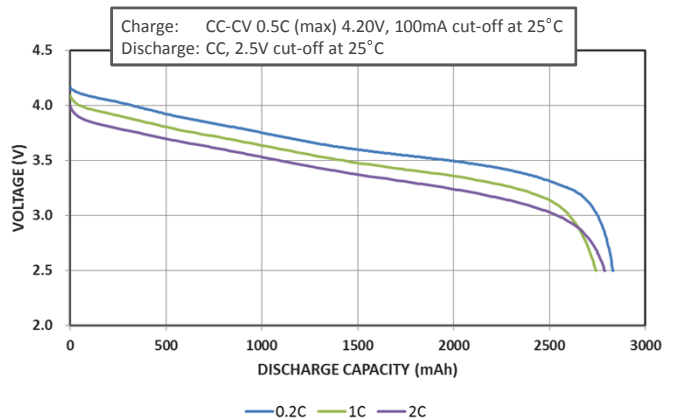
Cycle Life Characteristics



Discharge Characteristics (by temperature)



Discharge Characteristics (by rate of discharge)



The data in this document is for descriptive purposes only and is not intended to make or imply any guarantee or warranty.

OVERVIEW OF LITHIUM ION BATTERIES

Meeting the Needs of Portable Electronic Devices:

Lithium Ion Batteries



• Overview

Panasonic lithium ion batteries, products of Panasonic's long experience with batteries and leading-edge battery technology, are excellent sources for high-energy power in a variety of portable devices, such as portable computers and cellular phones. Light weight and boasting high voltage ratings (3.6 V), these high-energy density batteries provide a variety of features that will contribute to the weight reduction and downsizing of portable products.

• Structure

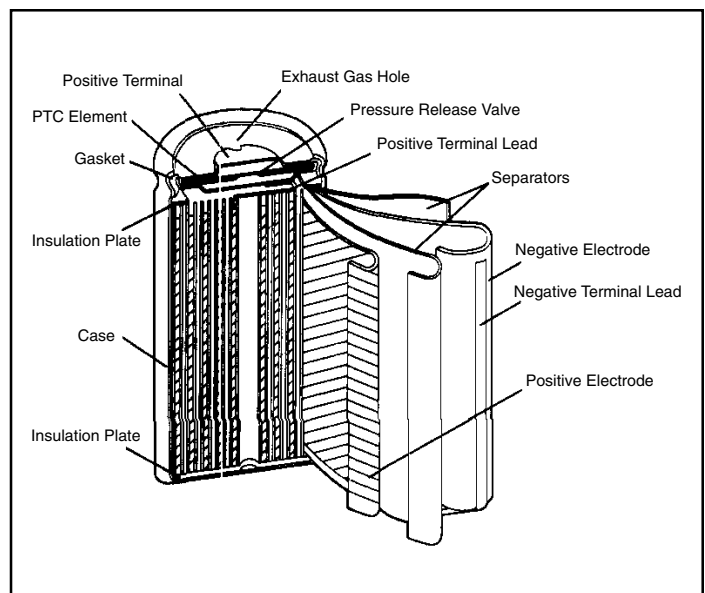
The lithium ion battery has a three-layer, coiled structure within its case. These three layers are comprised of a positive electrode plate (made with lithium cobalt oxide as its chief active ingredient), a negative electrode plate (made with a specialty carbon as its chief active ingredient), and a separator layer.

The battery is equipped with a variety of measures to ensure safety, along with a pressure release valve that releases gas if the internal pressure exceeds a specific value, thereby preventing the battery from rupturing.

• Safety (UL)

Panasonic's lithium ion batteries (CGR18650AF, CGR18650C, CGR18650CF, CGR18650D, CGR18650DA, CGR18650E, CGA523436B, CGA523450C, CGA633450B, CGA103450A) have obtained UL1642 approval.

The Structure of Lithium Ion Batteries (Cylindrical)

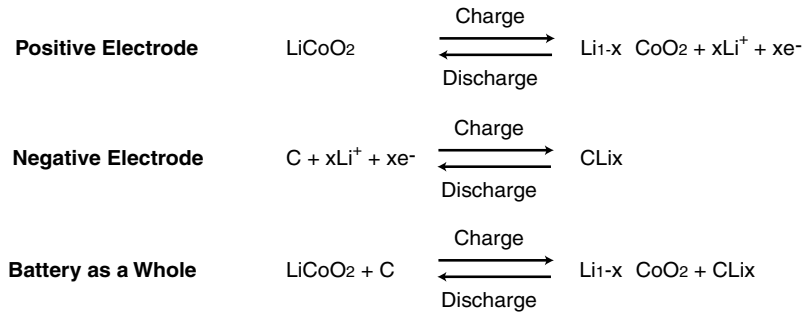


OVERVIEW OF LITHIUM ION BATTERIES - CONTINUED

• Battery Reaction

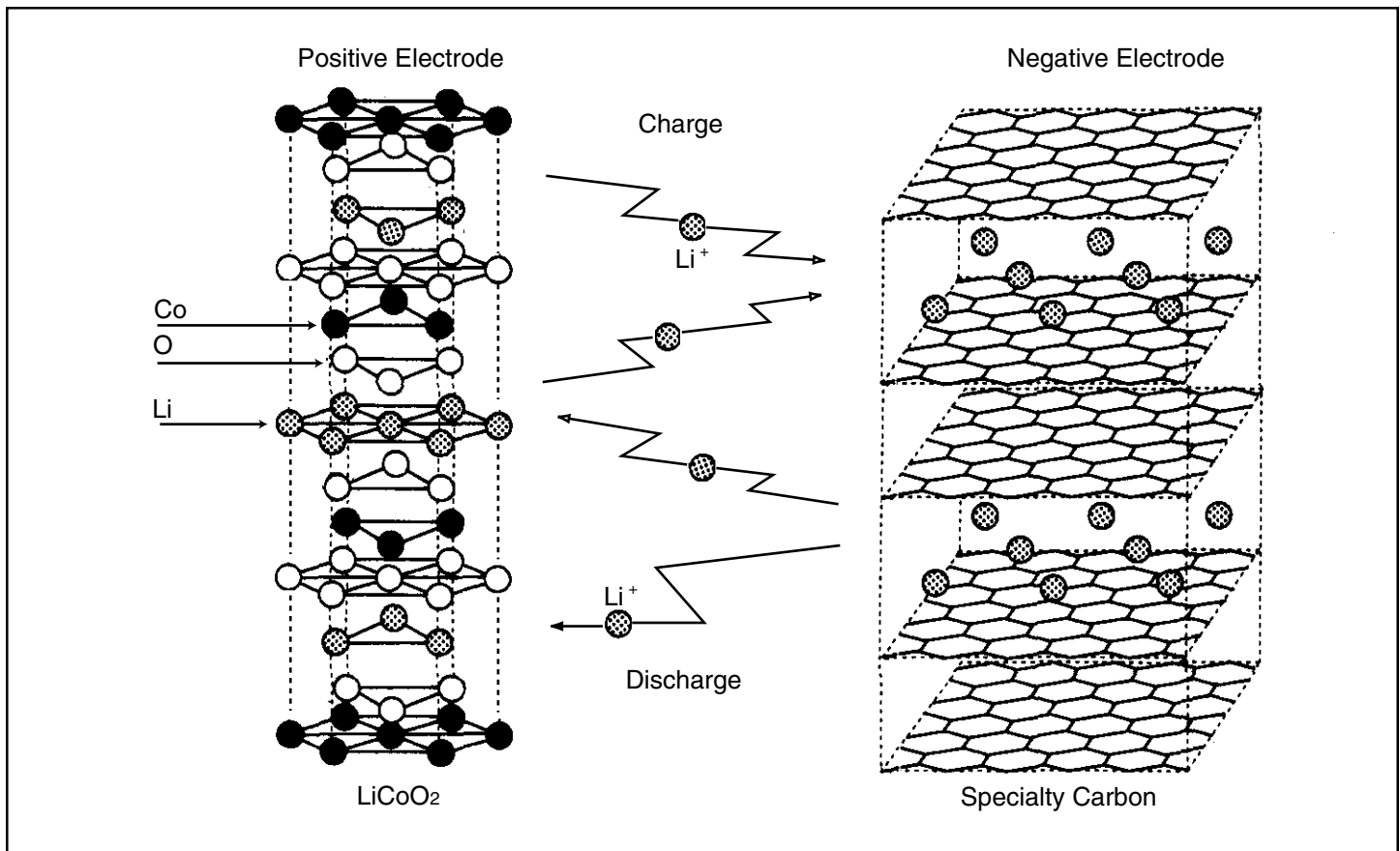
The lithium ion battery makes use of lithium cobalt oxide (which has superior cycling properties at high voltages) as the positive electrode and a highly-crystallized specialty carbon as the negative electrode. It uses an organic solvent, optimized for the specialty carbon, as the electrolytic fluid.

The chemical reactions for charge and discharge are as shown below:



The principle behind the chemical reaction in the lithium ion battery is one where the lithium in the positive electrode lithium cobalt oxide material is ionized during charge, and moves from layer to layer in the negative electrode. During discharge, the ions move to the positive electrode and return to the original compound.

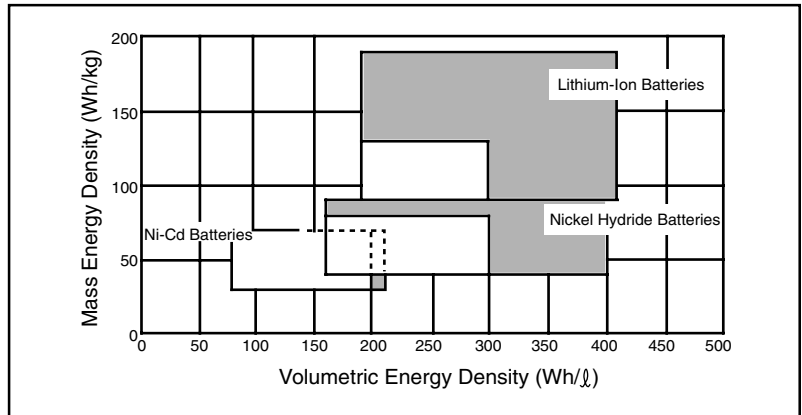
Schematic Diagram of the Chemical Reaction of the Lithium Ion Battery



FEATURES OF LITHIUM ION BATTERIES

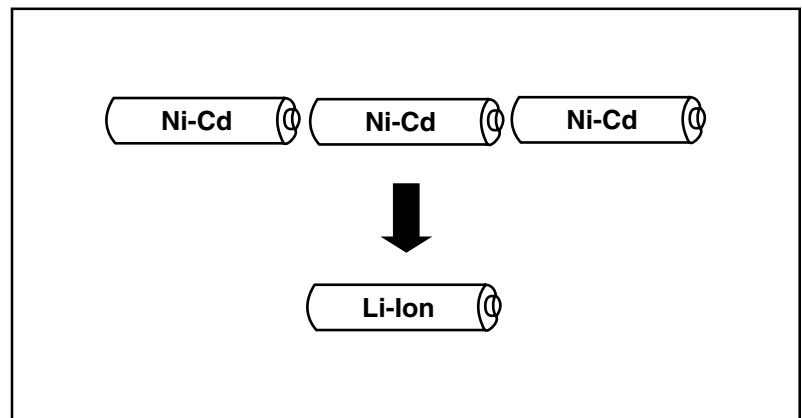
• High Energy Density

Because the lithium ion batteries are high voltage/light weight batteries, they boast a higher energy density than rechargeable nickel cadmium (Ni-Cd) batteries or nickel metal hydride (Ni-MH) batteries.



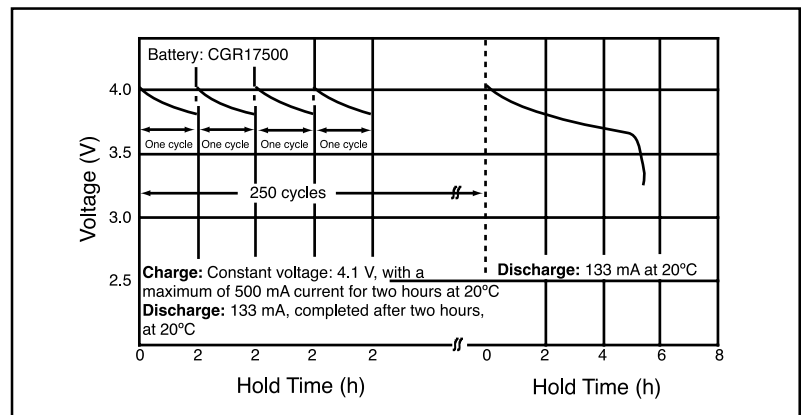
• High Voltage

Lithium ion batteries produce 3.6 volts, approximately three times the voltage of rechargeable Ni-Cd batteries or Ni-MH batteries. This will make it possible to make smaller, lighter equipment.



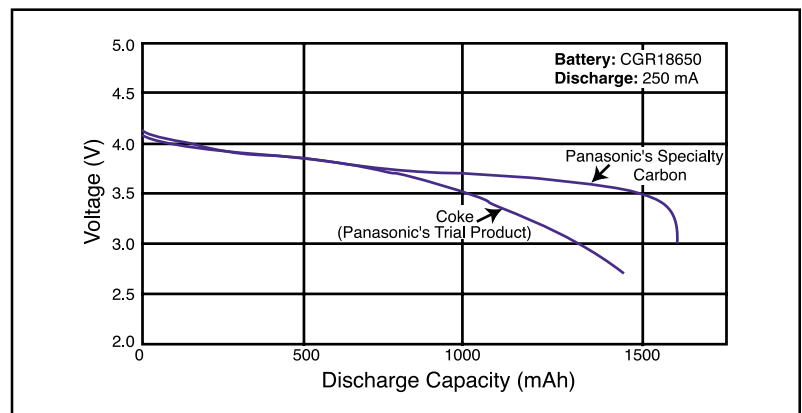
• No Memory Effect

Lithium ion batteries have none of the memory effects seen in rechargeable Ni-Cd batteries ("memory effect" refers to the phenomenon where the apparent discharge capacity of a battery is reduced when it is repetitively discharged incompletely and then recharged).



• Flat Discharge Voltage

The use of the specialty carbon creates an extremely flat discharge voltage profile, allowing the production of stable power throughout the discharge period of the battery.



Product Information Sheet

Panasonic Batteries

Panasonic Industrial Devices Sales Company of America
 A Division Panasonic Corporation of North America
 1701 Golf Road Suite 3-1100
 Rolling Meadows, IL 60008
 Toll Free: 877-726-2228
 Fax: 847-468-5750
 Internet: na.industrial.panasonic.com/products/batteries
 e-mail: oembatteries@us.panasonic.com

Product: Lithium-ion Batteries
 (Li-ion)
Applicable models/sizes: All Cylindrical
 and Prismatic Lithium-ion batteries
Revision: – January 1, 2018

The batteries referenced herein are exempt articles and are not subject to the OSHA Hazard Communication Standard requirement. This sheet is provided as a service to our customers.

SDS

Safety Data Sheets (SDS) are a sub-requirement of the Occupational Safety and Health Administration (OSHA) Hazard Communication Standard, 29 CFR Subpart 1910.1200. This Hazard Communication Standard does not apply to various subcategories including anything defined by OSHA as an "article". OSHA has defined "article" as a manufactured item other than a fluid or particle; (i) which is formed to a specific shape or design during manufacture; (ii) which has end use function(s) dependent in whole or in part upon its shape or design during end use; and (iii) which under normal conditions of use does not release more than very small quantities, e.g. minute or trace amounts of a hazardous chemical, and does not pose a physical hazard or health risk to employees.

Because all of our batteries are defined as "articles", they are exempt from the requirements of the Hazard Communication Standard, hence a SDS is not required.

The following components are found in a Panasonic Lithium Ion battery:

Nickel Manganese Cobalt Type

Component	Material	Formula / CAS
Positive Electrode	Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide	LiNMnCoO ₂ 346417-97-8
Negative Electrode	Graphite	C 7440-44-0
Electrolyte	Ethylene Carbonate – Solvent	C ₃ H ₄ O ₃ 96-49-1
	Diethyl Carbonate – Solvent	C ₅ H ₁₀ O ₃ 105-58-8
	Lithium Hexafluorophosphate – Salt	LiPF ₆ 21324-40-3

Cobalt Type

Component	Material	Formula / CAS
Positive Electrode	Lithium Cobalt Oxide	LiCoO ₂ 12190-79-3
Negative Electrode	Graphite	C 7440-44-0
Electrolyte	Ethylene Carbonate – Solvent	C ₃ H ₄ O ₃ 96-49-1
	Diethyl Carbonate – Solvent	C ₅ H ₁₀ O ₃ 105-58-8
	Lithium Hexafluorophosphate – Salt	LiPF ₆ 21324-40-3

Nickel Cobalt Aluminum Type

Component	Material	Formula / CAS
Positive Electrode	Lithium Cobalt Nickel Aluminum Oxide	LiCoNiAlO ₂ 193214-24-3
Negative Electrode	Graphite	C 7440-44-0
Electrolyte	Ethylene Carbonate – Solvent	C ₃ H ₄ O ₃ 96-49-1
	Diethyl Carbonate – Solvent	C ₅ H ₁₀ O ₃ 105-58-8
	Lithium Hexafluorophosphate – Salt	LiPF ₆ 21324-40-3

Notice: The information and recommendations set forth are made in good faith and are believed to be accurate at the date of preparation. Panasonic Industrial Company makes no warranty expressed or implied.



DISPOSAL

All Panasonic Lithium ion batteries are classified by the federal government as non-hazardous waste and are safe for disposal in the normal municipal waste stream. These batteries, however, do contain recyclable materials. Panasonic is a Licensee of the Call2Recycle Battery Recycling Program. If you build our cells into a battery pack, please call 1-800-8-BATTERY or go to the Call2Recycle website at www.call2recycle.org for additional information on how your branded product can also participate in the program.

TRANSPORTATION

All Panasonic lithium ion batteries are not subject to the other requirements of the US Department of Transportation (DOT) Subchapter C, Hazardous Materials Regulations if shipped in compliance with 49 CFR 173.185.

Effective January 1, 2018 all Panasonic lithium ion batteries can be shipped by air in accordance with International Civil Aviation Organization (ICAO) 2017-2018 edition, Section II or Section 1B or International Air Transport Association (IATA), 59th edition, Section II or 1B, Packing Instructions (PI) 965 (Batteries), PI 966 (Batteries, packed with equipment) and PI 967 (Batteries, contained in equipment) as appropriate.

All Panasonic lithium ion batteries are regulated by the International Maritime Organization (IMO), 2016 edition, 38th amendment, under Special Provisions 188 and 230.

All Panasonic lithium ion cells are tested and comply with the UN Model Regulations, Manual of Test and Criteria, Part III, subsection 38.3.

If you build any of our lithium ion cells into a battery pack, you must also assure that they are tested in accordance with the UN Model Regulations, Manual of Test and Criteria, Part III, subsection 38.3, 6th revised edition.

If you plan on transporting any untested prototype battery packs contact your Panasonic Sales Representative for regulatory information. Check with your air carrier before shipping. Many air carriers have additional requirements.

FIRST AID

If you get electrolyte in your eyes, flush with water for 15 minutes without rubbing and immediately contact a physician. If you get electrolyte on your skin wash the area immediately with soap and water. If irritation continues, contact a physician. If the battery is ingested, call the National Capital Poison Center (NCPC) at 202-625-3333 (Collect) or your local poison center immediately.

GENERAL RECOMMENDATIONS

CAUTION: Risk of fire, explosion and burns. Do not short-circuit, crush, incinerate or disassemble battery.

FIRE SAFETY

In case of fire, you can use dry chemical, alcohol resistant foam or carbon dioxide fire extinguishers. Cooling the exterior of the batteries will help prevent rupturing. Fire fighters should use self-contained breathing apparatus. Detailed information on fighting a lithium ion battery fire can be found in Guide 147 (Lithium Ion Batteries) of the US DOT Emergency Response Guide.

Optocoupler, Phototransistor Output (Single, Dual, Quad Channel)

Features

- IL74/ ILD74/ ILQ74 TTL Compatible
- Transfer Ratio, 35 % Typical
- Coupling Capacitance, 0.5 pF
- Single, Dual, & Quad Channel
- Industry Standard DIP Package

Agency Approvals

- UL - File No. E52744 System Code H or J
- CSA 93751
- BSI IEC60950 IEC60965
- DIN EN 60747-5-2(VDE0884)
DIN EN 60747-5-5 pending
Available with Option 1, X001 Suffix
- FIMKO

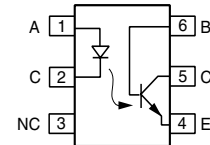
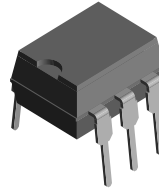
Description

The IL74/ ILD74/ ILQ74 is an optically coupled pair with a GaAlAs infrared LED and a silicon NPN phototransistor. Signal information, including a DC level, can be transmitted by the device while maintaining a high degree of electrical isolation between input and output. The IL74/ ILD74/ ILQ74 is especially for driving medium-speed logic, where it may be used to elimi-

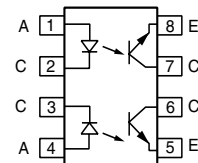
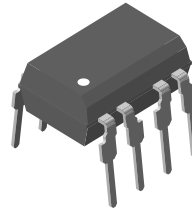
nate troublesome ground loop and noise problems. Also it can be used to replace relays and transformers in many digital interface applications, as well as analog applications such as CTR modulation.

The ILD74 has two isolated channels in a single DIP package; the ILQ74 has four isolated channels per package.

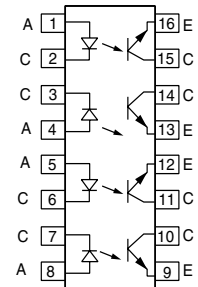
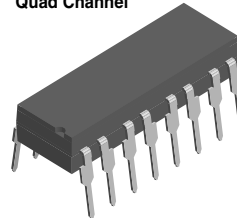
Single Channel



Dual Channel



Quad Channel



Order Information

Part	Remarks
IL74	CTR _{DC} 35 %, Single Channel DIP-6
ILD74	CTR _{DC} 35 %, Dual Channel DIP-8
ILQ74	CTR _{DC} 35 %, Quad Channel DIP-16
IL74-Xxx6	CTR _{DC} 35 %, Single Channel DIP-6 400 mil (option 6)
ILD74-Xxx6	CTR _{DC} 35 %, Dual Channel DIP-8 400 mil (option 6)
ILD74-Xxx7	CTR _{DC} 35 %, Dual Channel SMD-8 (option 7)
ILD74-Xxx9	CTR _{DC} 35 %, Dual Channel SMD-8 (option 9)
ILQ74-Xxx9	CTR _{DC} 35 %, Quad Channel SMD-16 (option 9)

For additional option information and package dimensions see Option Section.

Absolute Maximum Ratings

$T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, unless otherwise specified

Stresses in excess of the absolute Maximum Ratings can cause permanent damage to the device. Functional operation of the device is not implied at these or any other conditions in excess of those given in the operational sections of this document. Exposure to absolute Maximum Rating for extended periods of the time can adversely affect reliability.

Input

(each channel)

Parameter	Test condition	Symbol	Value	Unit
Peak reverse voltage		V_R	3.0	V
Forward continuous current		I_F	60	mA
Power dissipation		P_{diss}	100	mW
Derate linearly from 55 %			1.33	mW/ $^{\circ}\text{C}$

Output

Parameter	Test condition	Symbol	Value	Unit
Collector-emitter breakdown voltage		BV_{CEO}	20	V
Emitter-collector breakdown voltage		BV_{ECO}	5.0	V
Collector-base breakdown voltage		BV_{CBO}	70	V
Power dissipation		P_{diss}	150	mW
Derate linearly from 25 $^{\circ}\text{C}$			2.0	mW/ $^{\circ}\text{C}$

Coupler

Parameter	Test condition	Part	Symbol	Value	Unit
Isolation test voltage	$t = 1.0\text{ sec.}$		V_{ISO}	5300	V_{RMS}
Isolation resistance	$V_{IO} = 500\text{ V, } T_A = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$		R_{IO}	$\geq 10^{12}$	Ω
	$V_{IO} = 500\text{ V, } T_A = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$		R_{IO}	$\geq 10^{11}$	Ω
Total package dissipation		IL74	P_{tot}	200	mW
		ILD74	P_{tot}	400	mW
		ILQ74	P_{tot}	500	mW
Derate linearly from 25 $^{\circ}\text{C}$		IL74		2.7	mW/ $^{\circ}\text{C}$
		ILD74		5.33	mW/ $^{\circ}\text{C}$
		ILQ74		6.67	mW/ $^{\circ}\text{C}$
Creepage				≥ 7.0	mm
Clearance				≥ 7.0	mm
Storage temperature			T_{stg}	- 55 to + 150	$^{\circ}\text{C}$
Operating temperature			T_{amb}	- 55 to + 100	$^{\circ}\text{C}$
Lead soldering time at 260 $^{\circ}\text{C}$				10	sec.



Electrical Characteristics

$T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, unless otherwise specified

Minimum and maximum values are testing requirements. Typical values are characteristics of the device and are the result of engineering evaluation. Typical values are for information only and are not part of the testing requirements.

Input

Parameter	Test condition	Symbol	Min	Typ.	Max	Unit
Forward voltage	$I_F = 20\text{ mA}$	V_F		1.3	1.5	V
Reverse current	$V_R = 3.0\text{ V}$	I_R		0.1	100	μA
Capacitance	$V_R = 0\text{ V}$	C_O		25		pF

Output

Parameter	Test condition	Symbol	Min	Typ.	Max	Unit
Collector-emitter breakdown voltage	$I_C = 1.0\text{ mA}$	BV_{CEO}	20	50		V
Collector-emitter leakage current	$V_{CE} = 5.0\text{ V}$, $I_F = 0$	I_{CEO}		5.0	500	nA
Collector-emitter capacitance	$V_{CE} = 0$, $f = 1.0\text{ MHz}$	C_{CE}		10.0		pF

Coupler

Parameter	Test condition	Symbol	Min	Typ.	Max	Unit
Saturation voltage collector-emitter	$I_C = 2.0\text{ mA}$, $I_F = 16\text{ mA}$	V_{CEsat}		0.3	0.5	V
Resistance, input to output		R_{IO}		100		$\text{G}\Omega$
Capacitance (input-output)		C_{IO}		0.5		pF

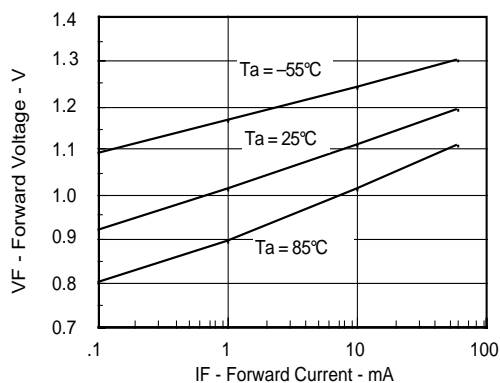
Current Transfer Ratio

Parameter	Test condition	Symbol	Min	Typ.	Max	Unit
DC Current Transfer Ratio	$I_F = 16\text{ mA}$, $V_{CE} = 5.0\text{ V}$	CTR_{DC}	12.5	35		%

Switching Characteristics

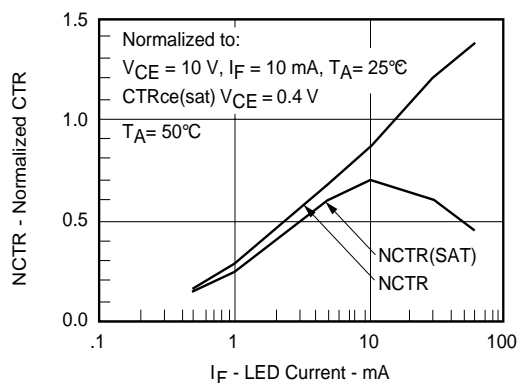
Parameter	Test condition	Symbol	Min	Typ.	Max	Unit
Switching times	$R_L = 100 \Omega$, $V_{CE} = 10 \text{ V}$, $I_C = 2.0 \text{ mA}$	t_{on} , t_{off}		3.0		μs

Typical Characteristics ($T_{amb} = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified)



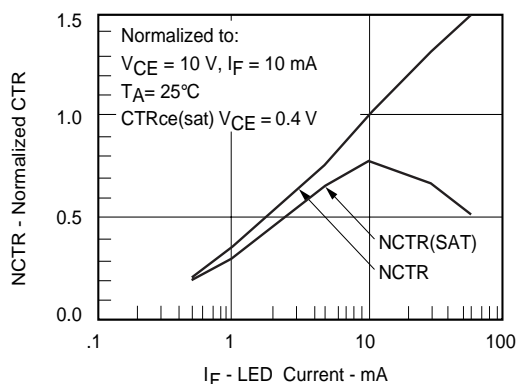
#74_01

Figure 1. Forward Voltage vs. Forward Current



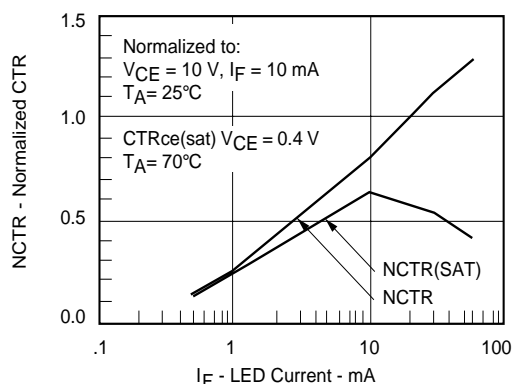
#74_03

Figure 3. Normalized Non-saturated and Saturated CTR vs. LED Current



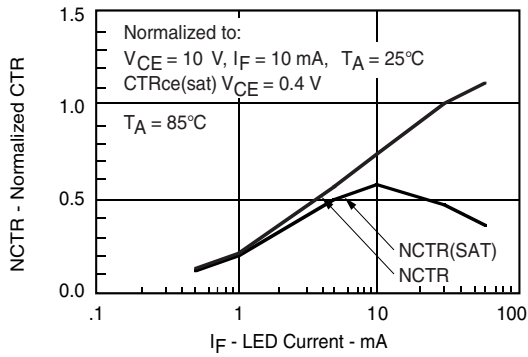
#74_02

Figure 2. Normalized Non-saturated and Saturated CTR vs. LED Current



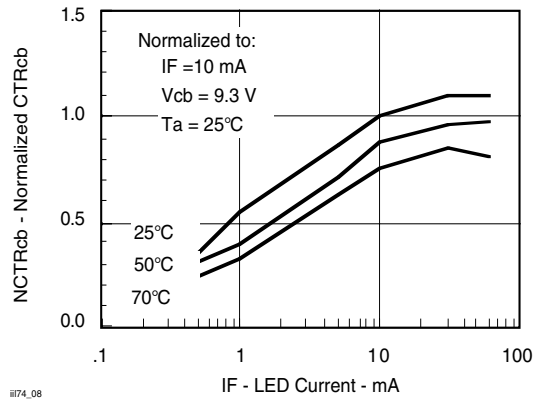
#74_04

Figure 4. Normalized Non-saturated and Saturated CTR vs. LED Current



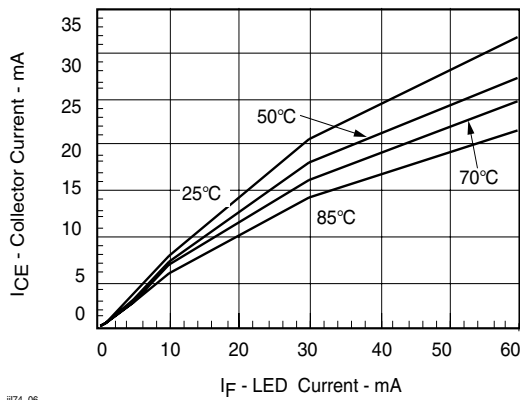
#74_05

Figure 5. Normalized Non-saturated and Saturated CTR vs. LED Current



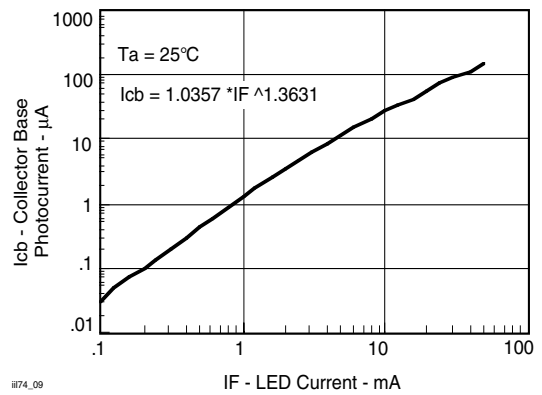
#74_08

Figure 8. Normalized CTRcb vs. LED Current and Temp.



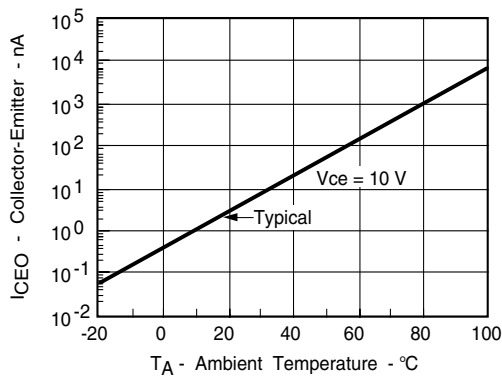
#74_06

Figure 6. Collector-Emitter Current vs. Temperature and LED Current



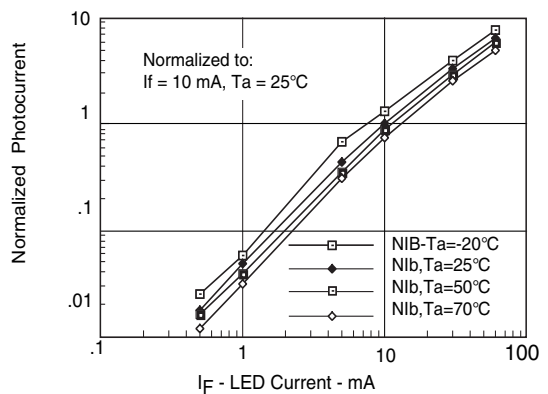
#74_09

Figure 9. Collector Base Photocurrent vs. LED Current



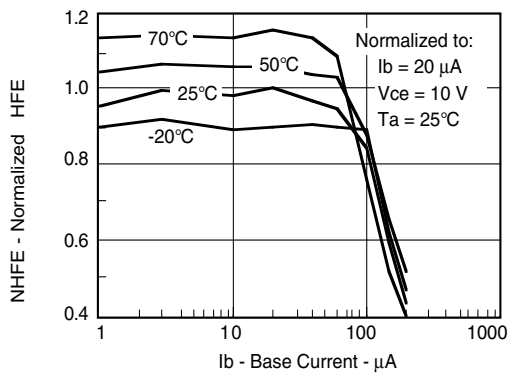
#74_07

Figure 7. Collector-Emitter Leakage Current vs. Temp.



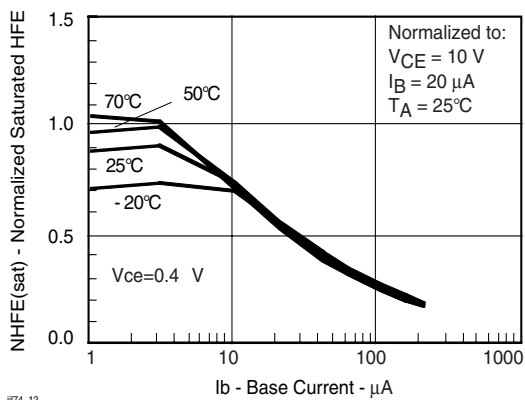
#74_10

Figure 10. Normalized Photocurrent vs. I_F and Temp.



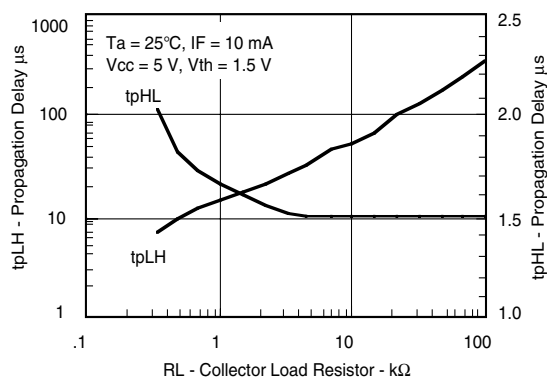
#74_11

Figure 11. Normalized Non-saturated HFE vs. Base Current and Temperature



#74_12

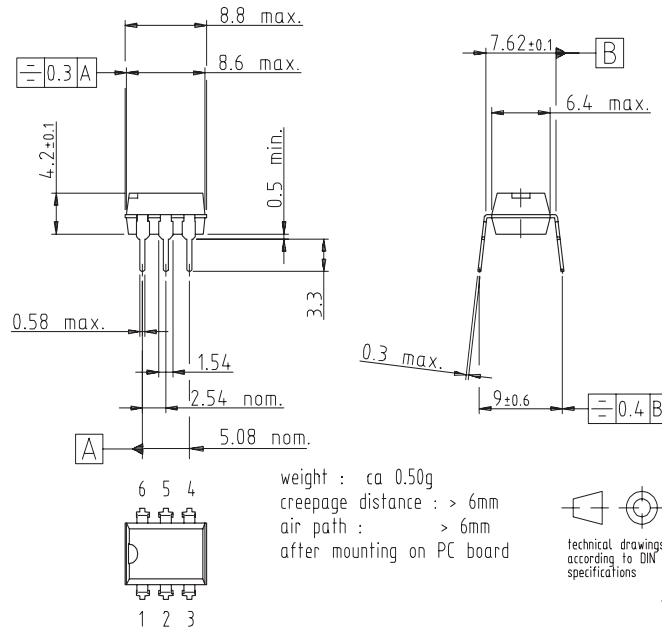
Figure 12. Normalized Saturated HFE vs. Base Current and Temperature



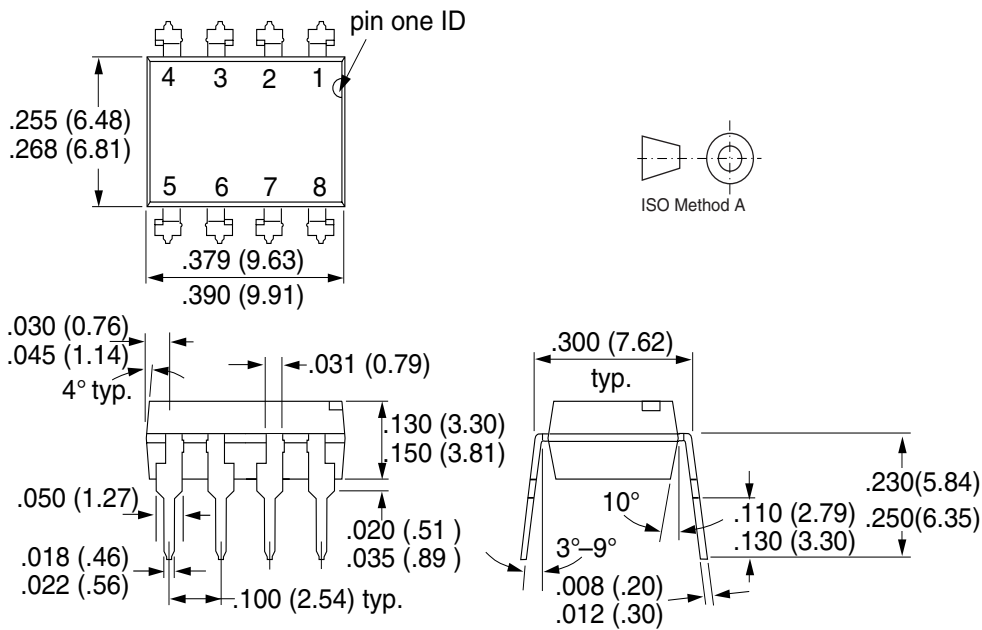
#74_13

Figure 13. Propagation Delay vs. Collector Load Resistor

Package Dimensions in mm



Package Dimensions in Inches (mm)

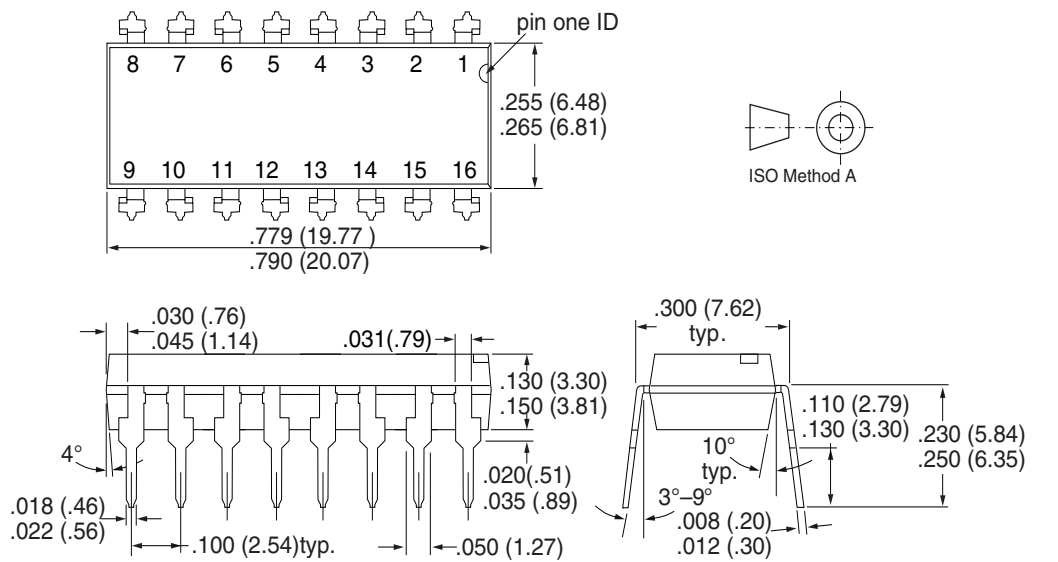


IL74/ ILD74/ ILQ74

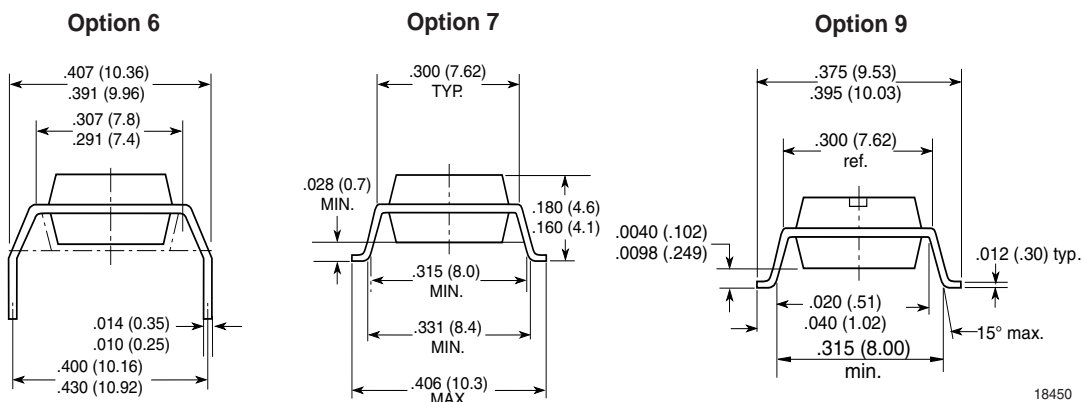


Vishay Semiconductors

Package Dimensions in Inches (mm)



i178007





Ozone Depleting Substances Policy Statement

It is the policy of **Vishay Semiconductor GmbH** to

1. Meet all present and future national and international statutory requirements.
2. Regularly and continuously improve the performance of our products, processes, distribution and operating systems with respect to their impact on the health and safety of our employees and the public, as well as their impact on the environment.

It is particular concern to control or eliminate releases of those substances into the atmosphere which are known as ozone depleting substances (ODSs).

The Montreal Protocol (1987) and its London Amendments (1990) intend to severely restrict the use of ODSs and forbid their use within the next ten years. Various national and international initiatives are pressing for an earlier ban on these substances.

Vishay Semiconductor GmbH has been able to use its policy of continuous improvements to eliminate the use of ODSs listed in the following documents.

1. Annex A, B and list of transitional substances of the Montreal Protocol and the London Amendments respectively
2. Class I and II ozone depleting substances in the Clean Air Act Amendments of 1990 by the Environmental Protection Agency (EPA) in the USA
3. Council Decision 88/540/EEC and 91/690/EEC Annex A, B and C (transitional substances) respectively.

Vishay Semiconductor GmbH can certify that our semiconductors are not manufactured with ozone depleting substances and do not contain such substances.

**We reserve the right to make changes to improve technical design
and may do so without further notice.**

Parameters can vary in different applications. All operating parameters must be validated for each customer application by the customer. Should the buyer use Vishay Semiconductors products for any unintended or unauthorized application, the buyer shall indemnify Vishay Semiconductors against all claims, costs, damages, and expenses, arising out of, directly or indirectly, any claim of personal damage, injury or death associated with such unintended or unauthorized use.

Vishay Semiconductor GmbH, P.O.B. 3535, D-74025 Heilbronn, Germany
Telephone: 49 (0)7131 67 2831, Fax number: 49 (0)7131 67 2423

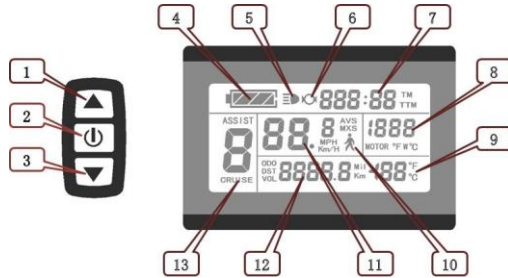
KT-LCD3 e-Bike Display User Manual

v3.0

Dear customer, please read this manual before you use KT-LCD3 instrument. The manual will guide you use the instrument correctly to achieve a variety of vehicle control and vehicle status displays.

Functions and Display

Instruments using the structure form of instrument body portion and the operation buttons are designed separately.



1		UP button	10		6KM/H push power assist
2		SW button	11	KM/H	Riding speed(metric)
3		DOWN button		MPH	Riding speed (imperial)
4		Battery capacity indicator		MXS	MAX speed
5		Backlight and headlights	12	AVS	Average speed
6		The brake display		Km	Distance(metric)
7	TM	Single trip time		Mil	Distance (imperial)
	TTM	Total trip time	DST	Trip distance	
8	MOTOR W	Power display	13	ODO	Total distance
	MOTOR °C	Motor temperature		VOL	Battery voltage
	MOTOR °F	Motor Fahrenheit		ASSIST	Pas level
9	°C	Environment temperature	CRUISE	Cruise function	
	°F	Environment Fahrenheit			

Operation

1. ON/OFF

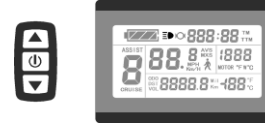
Hold button long to turn on the power, and hold button long for a second time to turn off the power. When the motor stops driving and when the e-bike is not used for a consecutive 5 minutes, it will automatically shut down and turn off the motor power supply.

2. Display 1



Hold button to start up and enter display 1.

2.1 Turn on backlight and headlights



Hold button long to turn on backlight and headlights (the controller should have headlight drive output function); hold button long again to turn off the backlight and headlights.

2.2 Assist ratio gear (ASSIST) switch



Hold or button shortly to switch 1-5 file gear. Gear 1 is for the minimum power, gear 5 is for the highest power. Each startup will automatically restore the gear shutdown last time (the user can set randomly). Gear 0 is without booster function.

2.3 6KM/H assist promotion function



Hold button and flashes, the vehicle drives at the speed not more than 6Km/h. Release button, the function is invalid.

2.4 Cruise function



After the cruise function is turned on, the trip riding speed is greater than 7 km/h, hold button long and enter cruise, the CRUISE lit. Brake or hold any button to cancel.

2.5 Display and delete of single data



After power on for 5 seconds, hold and button at the same time, single trip riding time (TM) and single trip distance (DST) flash, hold button shortly, the content of both is cleared. If failed holding the button within 5 seconds, it will automatically return the display interface after 5 seconds, original content is preserved.

3. Display 2



Hold button shortly in display 1 to enter display 2.

In the riding mode after 5 seconds, display 2 automatically returns to display 1, and the original motor power (MOTOR W) display is replaced with motor operating temperature display (MOTOR °C)

display (the internal motor should be equipped with the temperature sensor and the output of temperature detection signal).

4. Display 3



Hold button shortly in display 2 to enter display 3.

In the riding condition, five seconds later, a single maximum speed (MXS) display automatically returns to the real riding speed (KM/H).

5. In display 3, hold button shortly (SW), and the display will re-enter display 1.

6. Hold button to turn off the display and the power supply of controller.

7. Automatically prompt interface

7.1 Error Code Display



Error Code	Definition
01_info	Throttle Abnormality
03_info	Motor hall signal Abnormality
04_info	Torque sensor signal Abnormality
05_info	Axis speed sensor Abnormality(only applied to torque sensor)
06_info	Motor or controller has short circuit Abnormality

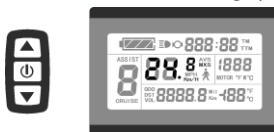
Electronic control system failure will display (flashing) fault code. Once the fault was removed, it automatically exits from the fault code display interface.

7.2 Motor temperature alarm

When the motor temperature (the internal motor should be equipped with the temperature sensor and the output of temperature detection signal) is over the warning value, MOTOR °C (°F) flashes to alarm at any display, meanwhile the motor controller will offer the appropriate protection to motor.

General Project Setting

1. Set maximum riding speed



After power on for 5 seconds, hold and button at the same time, maximum riding speed KM/H and MXS flash, hold or button shortly to set the maximum riding speed (default 25KM/H).

Hold button shortly and go to the next parameter settings.

2. Wheel diameter setting

The wheel diameter will be set after finishing setting the maximum riding speed, wheel diameter specifications flashes. Hold or button shortly to set the specifications of wheel diameter.



Select the range 6,8,10,12,14,16,18,20,22,24,26,700c and 28 inches. Hold button shortly and go to the next parameter settings.

3. Set the metric units



The metric units will be set after finishing setting wheel diameter, KM/H and Km flash. Hold or button shortly and select the three metric units of speed, mileage, and ambient temperature in synchronization.

Display	Metric	Imperial
Riding speed	KM/H	MPH
Total distance	Km	Mil
Environment temperature	°C Temperature	°F Fahrenheit

4. KM/H and Km stop flash after metric unit setting is completed. Hold button shortly again to re-enter the maximum riding speed setting interface; or hold button long to exit from setting environment of routine projects and save the setting values, returning to display 1.

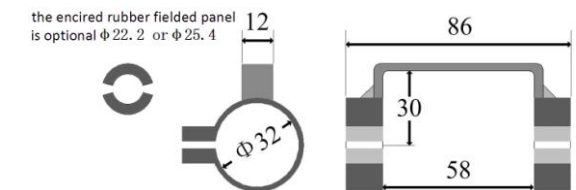
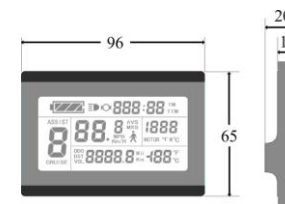
5. Exit from routine project setting

All three routine project settings can exit from the setting environment and return to the display if hold button long after each setting is completed, meanwhile the setting values are saved.

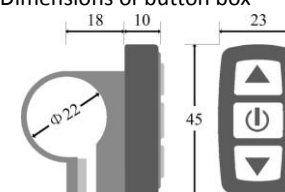
Under each setting interface, if the button failed holding for more than 1 minute, it will automatically return to display 1, and the setting value is invalid.

Outline Drawings and Dimensions

1. Dimensions of main instrument body



3. Dimensions of button box



4. Wiring diagram

