



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΚΡΗΤΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ  
ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Μελέτη μετατροπής μίας συμβατικής μοτοσικλέτας σε ηλεκτρική.**

**A study on the conversion of a conventional motorcycle into a fully  
electric vehicle**

**Επιμέλεια: Τσικλής Γ. Ιωάννης**

**Επιβλέπων: Τσουρβελούδης Νικόλαος**

**Εξεταστική Επιτροπή:**

**Τσουρβελούδης Νικόλαος**

**Σπανουδάκης Πολυχρόνης**

**Δοϊτσίδης Ελευθέριος**

## Κεφάλαιο 1. Περίληψη:

Η εν λόγω εργασία έχει στόχο την παρουσίαση της μετατροπής μίας συμβατικής μοτοσυκλέτας σε αμιγώς ηλεκτρική. Αρχικά, γίνεται αναφορά στις υπάρχουσες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη ηλεκτρικών μοτοσυκλετών, καθώς επίσης και στο νομικό πλαίσιο της Ελλάδος, σύμφωνα με το οποίο καθίσταται εφικτή μια τέτοια μετατροπή. Σε δεύτερο στάδιο παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά και οι σχεδιαστικοί περιορισμοί που προκύπτουν από την αρχική (συμβατική) μοτοσυκλέτα αλλά και ο προσδιορισμός των επιθυμητών τεχνικών χαρακτηριστικών στα οποία θα στηριχτεί η μετατροπή. Έπειτα, δίνεται έμφαση στα κύρια τμήματα μετατροπής (κινητήρας, συστοιχία μπαταριών, μετάδοση κίνησης κ.α.), στους λόγους που συνέβαλαν στην επιλογή τους, ενώ παρουσιάζονται και οι υπολογισμοί που στοιχειοθετούν τη σύγκλιση με τις τεχνικές προδιαγραφές. Τέλος, γίνεται μία οικονομική ανάλυση της μετατροπής με γνώμονα το κόστος και τη βιωσιμότητά της.

## Abstract:

This work aspires to present the conversion of a conventional motorcycle to a fully electric one. First and foremost, reference is made to the existing technologies used in the development of electric motorcycles, as well as to the legal framework of Greece, according to which such a conversion is possible. What is more, the characteristics and design constraints arising from the original (conventional) motorcycle are presented, as well as the identification of the desired technical characteristics on which the conversion will be based. Furthermore, emphasis is placed on the main parts of the conversion (engine, battery pack, transmission, etc.), the reasons that contributed to their selection and the calculations that describe the technical specifications are presented. Last but not least, a financial analysis of the conversion is made based on its cost and sustainability.

## Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1. Περίληψη.....	2
Abstract: .....	2
Κεφάλαιο 2. Εισαγωγή .....	4
2.1 Εισαγωγή στις ηλεκτρικές μοτοσυκλέτες.....	4
2.3 Η ηλεκτρική μοτοσυκλέτα ανά την Ευρώπη .....	6
Κεφάλαιο 3. Η πλατφόρμα μετατροπής .....	8
3.1 Παρουσίαση της μοτοσυκλέτας.....	8
3.2 Διαδικασία μετατροπής – Επισκόπηση.....	10
Κεφάλαιο 4. Ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός .....	12
4.1 Ηλεκτροκινητήρας και τα υποσυστήματά του.....	13
4.2 Αντιστροφέας, Ελεγκτής Ισχύος (MCU).....	25
4.3 Σύστημα Συσσωρευτών (Σύστημα Μπαταριών).....	30
4.3 Συστοιχία Α' .....	33
4.3 Συστοιχία Β'.....	45
4.3 Συστοιχία Γ'.....	49
4.3 Συστοιχία Δ' .....	51
4.4 Ηλεκτρολογικά κουτιά.....	54
4.5 Σύστημα Διαχείρισης Μπαταρίας - Battery Management System (BMS) .....	61
4.6 Μετατροπέας συνεχούς τάσης - DC – DC Converter .....	67
4.7 Ενσωματωμένος φορτιστής (OBC) .....	68
4.8 Γενική Διάταξη εξοπλισμού.....	74
Κεφάλαιο 5. Προγραμματισμός .....	80
5.1 Προγραμματισμός MCU.....	80
5.2 Προγραμματισμός BMS.....	87
Κεφάλαιο 6. Οικονομικά στοιχεία.....	90
Κεφάλαιο 7. Συμπεράσματα .....	94
Κεφάλαιο 8. Μελλοντικές επεκτάσεις .....	96
Κεφάλαιο 9. Βιβλιογραφία.....	97
Εικόνες και Πίνακες.....	99
Πίνακες.....	99
Εικόνες.....	99
Παράρτημα 1.....	103

## Κεφάλαιο 2. Εισαγωγή

### 2.1 Εισαγωγή στις ηλεκτρικές μοτοσυκλές

Μια ηλεκτρική μοτοσυκλέτα είναι ένα όχημα κίνησης με κινητήρα ηλεκτροκίνησης που λειτουργεί με ηλεκτρική ενέργεια αντί για την παραδοσιακή εσωτερική καύση που χρησιμοποιείται στις συμβατικές μοτοσυκλές.

Οι ηλεκτρικές μοτοσυκλές κινούνται από ηλεκτρικούς κινητήρες που λαμβάνουν ενέργεια από ένα σύστημα συσσωρευτών (μια μπαταρία). Αυτή η μπαταρία τροφοδοτείται με ηλεκτρικό ρεύμα που φορτίζεται είτε από ηλεκτρικό δίκτυο, είτε από ειδικούς φορτιστές που συνδέονται σε πρίζες.

Οι ηλεκτρικοί κινητήρες παράγουν ροπή και ισχύ που μεταφέρεται στον τροχό της μοτοσυκλέτας μέσω του συστήματος μετάδοσης. Προσφέρουν άμεση ροπή και επιτάχυνση, καθιστώντας τις απολύτως αποδοτικές στην πόλη και σε κίνηση χαμηλών ταχυτήτων. Οι περισσότερες ηλεκτρικές μοτοσυκλές διαθέτουν επίσης διάφορα επίπεδα ισχύος και λειτουργίας, που επιτρέπουν στον αναβάτη να προσαρμόσει την απόδοση ανάλογα με τις προτιμήσεις και τις συνθήκες οδήγησης.

Με την αναβάθμιση των υποδομών και την αύξηση της επίγνωσης για την περιβαλλοντική συνείδηση, οι ηλεκτρικές μοτοσυκλές γίνονται όλο και πιο δημοφιλείς. Η τεχνολογία στον κόσμο των ηλεκτρικών μοτοσυκλετών συνεχώς προχωρά, προσφέροντας επιλογές για όλα τα είδη οδηγών και στυλ οδήγησης.

Ο κόσμος των ηλεκτρικών μοτοσυκλετών συνεχίζει να εξελίσσεται και να αναπτύσσεται, με νέες τεχνολογίες και μοντέλα που προσφέρουν ακόμη μεγαλύτερη απόδοση, αυξημένη αυτονομία και προηγμένες λειτουργίες. Η ανάπτυξη υποδομών φόρτισης και η συνεχής βελτίωση της τεχνολογίας μπαταριών οδηγούν σε μεγαλύτερη αποδοτικότητα και ευκολία χρήσης.

Οι ηλεκτρικές μοτοσυκλές αντιπροσωπεύουν το μέλλον της μετακίνησης στον τομέα των δύο τροχών. Μερικοί από αυτούς τους λόγους είναι:

1. Χαμηλότερο κόστος λειτουργίας: Οι ηλεκτρικές μοτοσυκλές έχουν χαμηλότερο κόστος λειτουργίας σε σύγκριση με τις συμβατικές μοτοσυκλές. Οι τιμές του ηλεκτρικού ρεύματος είναι συνήθως χαμηλότερες από τη βενζίνη, και οι ηλεκτρικοί κινητήρες έχουν υψηλή αποδοτικότητα, μειώνοντας τις δαπάνες για καύσιμα.
2. Συμβολή στην προστασία του περιβάλλοντος: Οι ηλεκτρικές μοτοσυκλές δεν παράγουν εκπομπές καυσαερίων και δεν προκαλούν θόρυβο όπως οι συμβατικές μοτοσυκλές με κινητήρα εσωτερικής καύσης. Αυτό συμβάλλει στη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και του θορύβου, καθιστώντας τις ηλεκτρικές μοτοσυκλές πιο φιλικές προς το περιβάλλον.
3. Νέες εμπειρίες οδήγησης: Οι ηλεκτρικές μοτοσυκλές προσφέρουν μια διαφορετική εμπειρία οδήγησης, καθώς διαθέτουν αθόρυβη λειτουργία και προσφέρουν άμεση επιτάχυνση και πολύ ισχυρές επιδόσεις πέδησης.



4. Ευελιξία φόρτισης: Οι ηλεκτρικές μοτοσικλέτες μπορούν να φορτιστούν από κοινές οικιακές πρίζες, δημόσιους σταθμούς φόρτισης ή ειδικούς φορτιστές. Αυτό προσφέρει ευελιξία στην φόρτιση και την αυτονομία, επιτρέποντας στους αναβάτες να επαναφορτίζουν τις μπαταρίες τους σε διάφορα σημεία με πολλαπλούς τρόπους.
5. Καινοτομία και ανάπτυξη: Ο κόσμος των ηλεκτρικών μοτοσικλετών συνεχίζει να αναπτύσσεται με γρήγορους ρυθμούς. Οι κατασκευαστές επενδύουν σε καινοτόμες τεχνολογίες, όπως η ανάκτηση ενέργειας κατά την πέδηση (regenerative braking), η χρήση προηγμένων υλικών για τη μείωση του βάρους, και η συνεχής εξέλιξη στον τομέα των μπαταριών για μεγαλύτερη αποθήκευση ενέργειας και αυξημένη αυτονομία.

Επίσης, οι ηλεκτρικές μοτοσικλέτες έχουν αρχίσει να εισέρχονται σε αγωνιστικές δραστηριότητες, με τη δημιουργία πρωταθλημάτων ηλεκτρικών αγώνων μοτοσικλετών που προωθούν την ανάπτυξη και την καινοτομία στον τομέα. Ένα παγκοσμίου φήμης πρωτάθλημα είναι αυτό του Moto-e.

Τέλος, η ηλεκτρική μοτοσικλέτα δεν αποτελεί απλώς μια εναλλακτική λύση μετακίνησης, αλλά επίσης αντιπροσωπεύει έναν καινοτόμο τρόπο ζωής και συνιστά μια δήλωση υποστήριξης της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας. Η επιλογή μιας ηλεκτρικής μοτοσικλέτας εκφράζει την προσήλωση στην καινοτομία, την προστασία του περιβάλλοντος και την προαγωγή ενός πιο αεικίνητου μέλλοντος, καθιστώντας την ηλεκτρική μοτοσικλέτα το ιδανικό όχημα επιλογής για όσους αναζητούν έναν πιο βιώσιμο και προορατικό τρόπο μετακίνησης.

Η παρούσα εργασία πραγματεύεται τη μετατροπή μιας συμβατικής μοτοσικλέτας σε αμιγώς ηλεκτρική. Η μετατροπή μιας συμβατικής μοτοσικλέτας σε ηλεκτρική είναι η διαδικασία μετατροπής ενός υπάρχοντος οχήματος με κινητήρα εσωτερικής καύσης σε ένα ηλεκτροκίνητο όχημα που λειτουργεί με ηλεκτρική ενέργεια. Η αμιγώς ηλεκτρική μοτοσικλέτα σχεδιάζεται και κατασκευάζεται από την αρχή με ένα ολοκληρωμένο ηλεκτρικό σύστημα. Αυτό περιλαμβάνει έναν ηλεκτρικό κινητήρα που λειτουργεί με ηλεκτρική ενέργεια από μια μπαταρία ή μια πηγή ισχύος, καθώς και τα απαραίτητα συστήματα ελέγχου, φρεναρίσματος και άλλες λειτουργίες.

Η μετατροπή μιας συμβατικής μοτοσικλέτας σε ηλεκτρική ενέχει προσαρμογές στην υπάρχουσα μηχανολογική δομή της μοτοσικλέτας για την ενσωμάτωση του ηλεκτρικού συστήματος. Αυτό περιλαμβάνει την αφαίρεση του κινητήρα εσωτερικής καύσης και την εγκατάσταση ενός ηλεκτροκινητήρα και μιας μπαταρίας, καθώς και την αντικατάσταση ή προσαρμογή του συστήματος ελέγχου και φόρτισης. Η διαδικασία της μετατροπής θα αναλυθεί παρακάτω.

## 2.2 Νομοθετικό πλαίσιο στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα, η μετατροπή συμβατικών μοτοσικλετών σε ηλεκτρικές δεν επιτρέπεται χωρίς την απαραίτητη έγκριση και πιστοποίηση από τις αρμόδιες αρχές. Η διαδικασία μετατροπής μιας συμβατικής μοτοσικλέτας σε ηλεκτρική απαιτεί τεχνικές αλλαγές και προσαρμογές, καθώς και την εγκριτική διαδικασία ώστε να πληροί τις απαιτήσεις ασφάλειας και κανονιστικών προτύπων.

Για να πραγματοποιηθεί η μετατροπή μιας συμβατικής μοτοσυκλέτας σε ηλεκτρική, απαιτείται η συνεργασία με εξειδικευμένους τεχνικούς και εγκεκριμένους οργανισμούς (DEKRA, TÜV) για την εκτέλεση των απαραίτητων εργασιών και την έκδοση των απαιτούμενων πιστοποιήσεων και έγκρισης από τις αρμόδιες αρχές, όπως η Υπηρεσία Ελέγχου Μηχανοκίνητων Οχημάτων (Υ.Ε.Μ.Ο.).

Στην Ελλάδα, για τη μετατροπή μιας συμβατικής μοτοσυκλέτας σε ηλεκτρική, απαιτείται η ακόλουθη διαδικασία:

1. Σχεδιασμός και εκτέλεση των τεχνικών αλλαγών: Απαιτείται η επέμβαση στο ηλεκτρικό σύστημα της μοτοσυκλέτας για την τοποθέτηση των απαραίτητων στοιχείων, όπως η μπαταρία, ο ηλεκτροκινητήρας, ο ελεγκτής και οι αισθητήρες. Παραγωγή τελικών σχεδίων λεπτομερειών και προδιαγραφών.
2. Πιστοποίηση και έγκριση: Οι τεχνικές αλλαγές πρέπει να πληρούν τις απαιτήσεις ασφάλειας και κανονιστικών προτύπων. Αυτό συνήθως απαιτεί την επίδειξη της συμμόρφωσης με τις τεχνικές προδιαγραφές και την έκδοση πιστοποιητικού από εγκεκριμένο φορέα. Αν δεν υπάρχει ήδη πιστοποιημένη έγκριση τύπου οχήματος, πρέπει να συνταχθεί ευρωπαϊκή επιτροπή ελέγχου κατά της εγκυκλίου 15545/885/2016. Η εγκύκλιος αυτή περιγράφει λεπτομερώς τις απαραίτητες τεχνικές προδιαγραφές που πρέπει να ικανοποιεί οποιοδήποτε όχημα εντός ΕΕ.
3. Έλεγχος και εγγραφή: Μετά τις αλλαγές και την επίδειξη της συμμόρφωσης, η μοτοσυκλέτα υποβάλλεται σε έλεγχο από την Υπηρεσία Ελέγχου Μηχανοκίνητων Οχημάτων (Υ.Ε.Μ.Ο.) για να επιβεβαιωθεί η νομιμότητα της μετατροπής. Στη συνέχεια, η μοτοσυκλέτα εγγράφεται στο Μητρώο Οχημάτων με τη νέα της ιδιότητα ως ηλεκτρική μοτοσυκλέτα. [13]

## 2.3 Η ηλεκτρική μοτοσυκλέτα ανά την Ευρώπη

Η ηλεκτρική μοτοσυκλέτα έχει αρχίσει να αποκτά ολοένα και περισσότερη προσοχή και αναγνώριση σε όλη την Ευρώπη. Πολλές χώρες και πόλεις στην Ευρώπη έχουν θέσει φιλόδοξους στόχους για την προώθηση της ηλεκτροκίνησης και τη μείωση των εκπομπών άνθρακα στον τομέα των μεταφορών.

Οι ευρωπαϊκές χώρες έχουν θέσει στόχους για την απόσυρση των συμβατικών οχημάτων με κινητήρα εσωτερικής καύσης και την επιτάχυνση της υιοθέτησης ηλεκτρικών οχημάτων. Ορισμένες χώρες, όπως η Νορβηγία και η Ολλανδία, έχουν θέσει στόχους για τον πλήρη εκσυγχρονισμό του στόλου των οχημάτων τους, με σκοπό την πλήρη απόσυρση των οχημάτων με εσωτερική καύση έως το 2035. [14]

Επιπλέον, υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον από ισχυρή πλειονότητα των καταναλωτών για ηλεκτρικές μοτοσυκλέτες, καθώς οι βελτιώσεις στην τεχνολογία των μπαταριών έχουν αυξήσει την αυτονομία κίνησης.

Η ανάπτυξη της υποδομής φόρτισης είναι ακόμη ένας σημαντικός παράγοντας για την αποδοχή των ηλεκτρικών μοτοσυκλετών στην Ευρώπη. Η εγκατάσταση σταθμών φόρτισης σε δημόσιες θέσεις, όπως πόλεις, πάρκινγκ και αυτοκινητόδρομους, επεκτείνεται για να

καλύψει τις ανάγκες των ηλεκτρικών οχημάτων, συμπεριλαμβανομένων και των ηλεκτρικών μοτοσικλετών.

Επιπλέον, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θεσπίσει κανονιστικά μέτρα και πολιτικές για την προώθηση της ηλεκτροκίνησης, περιλαμβανομένων κινήτρων και επιδοτήσεων για την αγορά ηλεκτρικών οχημάτων. Αυτό συμβάλλει στην αύξηση της προσφοράς και της ποικιλίας των ηλεκτρικών μοτοσικλετών στην αγορά.

Συνολικά, η θέση της ηλεκτρικής μοτοσικλέτας στην Ευρώπη είναι όλο και πιο ενισχυμένη, καθώς οι καταναλωτές και οι πολιτικές αρχές εστιάζουν στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και την προώθηση της βιώσιμης μετακίνησης. Η ηλεκτρική μοτοσικλέτα παίζει σημαντικό ρόλο στην προώθηση της ηλεκτροκίνησης και τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, παρέχοντας μια βιώσιμη και περιβαλλοντικά φιλική εναλλακτική λύση στις συμβατικές μοτοσικλέτες.

Τέλος, ένα πολύ σημαντικό κίνητρο του ευρωπαϊκού εξηλεκτρισμού αποτελεί και η δυνατότητα που δίνεται σε πολίτες να μετατρέπουν τα οχήματά τους σε αμιγώς ηλεκτρικά.

Μερικές από τις χώρες μέλη της ΕΕ που επιτρέπουν τέτοιου είδους μετατροπές, αλλά και διαθέτουν ολοκληρωμένο νομικό και κανονιστικό πλαίσιο είναι: Η Γερμανία, η Σουηδία, η Δανία, η Ολλανδία, το Ηνωμένο Βασίλειο, η Ιταλία και η Ισπανία. Σε αυτές τις χώρες οι ιδιοκτήτες μοτοσικλετών μπορούν να μετατρέψουν τα οχήματά τους σε ηλεκτρικά με την εγκατάσταση ηλεκτρικών κιτ που υπάρχουν στο εμπόριο ή και με αυτοσχέδιες ιδιοκατασκευές. Ωστόσο, η μετατροπή διέπεται από τεχνικούς κανονισμούς, υπάγεται σε διάφορα νομικά πλαίσια -διαφορετικά για κάθε χώρα- και ελέγχεται από αρμόδιους εθνικούς φορείς. [15]

## Κεφάλαιο 3. Η πλατφόρμα μετατροπής

Η ιδέα για τη μετατροπή μιας συμβατικής μοτοσικλέτας σε αμιγώς ηλεκτρική προέκυψε από μια κλασική μοτοσικλέτα, η οποία παρέμενε ακινητοποιημένη για αρκετά χρόνια σε αποθήκη. Η μοτοσικλέτα αυτή, που ανήκε στην οικογένεια για πολλά χρόνια, είχε αγοραστεί το 1989 και τέθηκε σε ακινησία περίπου το 2001. Το 2019 ανασύρθηκε από την αποθήκη με σκοπό την αναπαλαίωση και την επαναφορά της σε κυκλοφορία.

Μετά από εκτενή αξιολόγηση από εξειδικευμένα συνεργεία, διαπιστώθηκε ότι η μοτοσικλέτα παρουσίαζε σοβαρά μηχανικά προβλήματα, με την επισκευή της να θεωρείται εξαιρετικά δύσκολη, αν όχι ανέφικτη. Δεδομένων αυτών των συνθηκών, η πιθανότητα εγκατάλειψής της κρίθηκε μη αποδεκτή. Ως αρχική λύση εξετάστηκε η αντικατάσταση του παλαιού κινητήρα με έναν νέο. Παρόλα αυτά, η διαδικασία αυτή αποδείχθηκε ιδιαίτερα απαιτητική και πολύπλοκη για διάφορους τεχνικούς και πρακτικούς λόγους.

Κατά την αναζήτηση εναλλακτικών λύσεων, έγινε η πρώτη επαφή με διαδικτυακά φόρουμ, όπου χρήστες παρουσίαζαν και σχολίαζαν μετατροπές οχημάτων διαφόρων τύπων σε αμιγώς ηλεκτρικά. Αυτή η έκθεση στις εμπειρίες και τις γνώσεις της κοινότητας αποτέλεσε το έναυσμα για περαιτέρω διερεύνηση της δυνατότητας μετατροπής της συγκεκριμένης μοτοσικλέτας σε ηλεκτρικό όχημα.

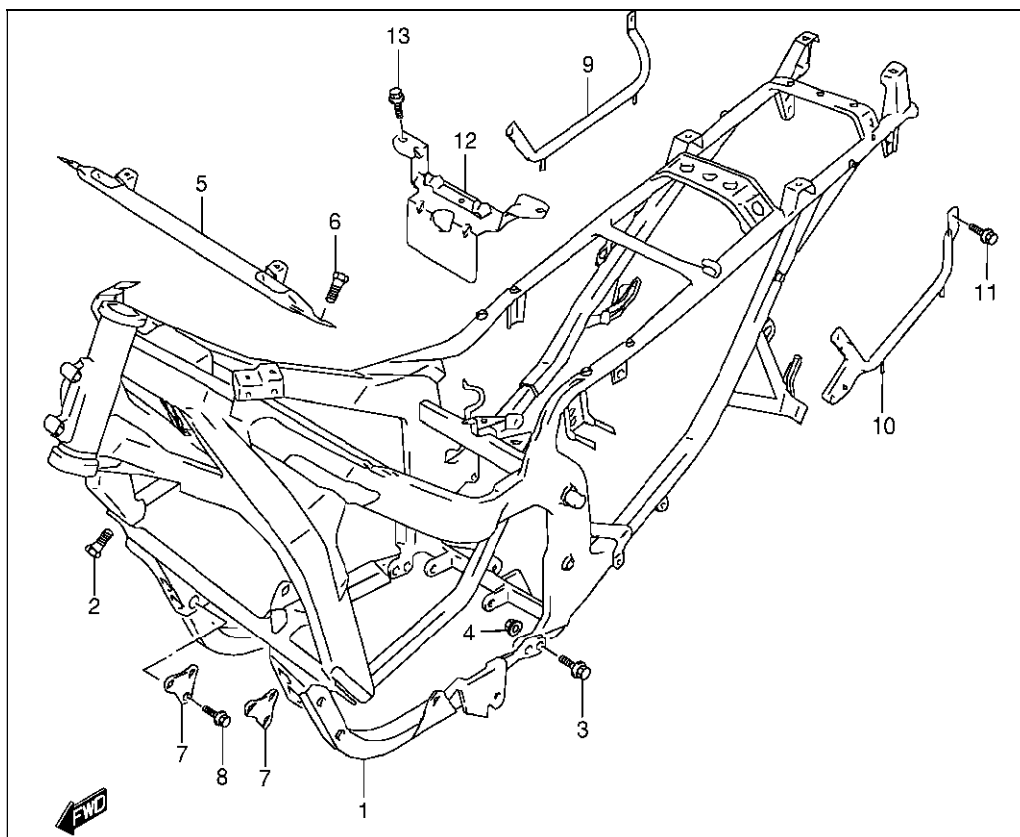
Ο στόχος της αναζήτησης διαμορφώθηκε πλέον στην αξιολόγηση της τεχνικής και οικονομικής βιωσιμότητας για τη μετατροπή της μοτοσικλέτας σε αμιγώς ηλεκτρική, ακολουθώντας τις σχετικές διαδικασίες και προδιαγραφές.

### 3.1 Παρουσίαση της μοτοσικλέτας



Εικόνα 1. Η μοτοσικλέτα πριν τη μετατροπή. Suzuki GSX 400F yr. 1988

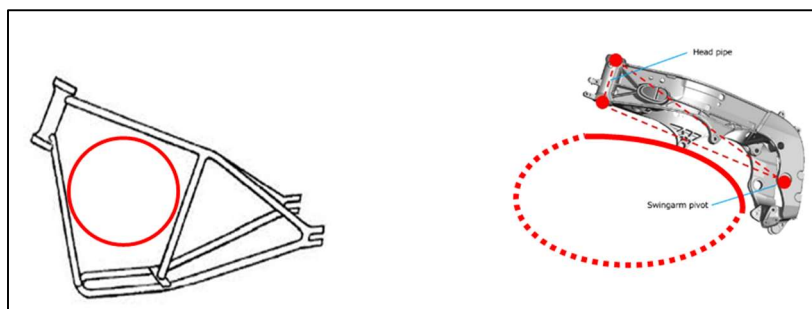
Η εν λόγω μοτοσυκλέτα [Εικόνα 1.] είναι μια Suzuki GSX 400F του 1988. Πρόκειται για μια μοτοσυκλέτα τύπου Sport Touring με κινητήρα 398cm<sup>3</sup> και μέγιστης ισχύς στον στρόφαλο 44kW στις 12000rpm. Το βάρος της ανέρχεται στα 183kg χωρίς υγρά. Η τελική της ταχύτητα με βάση το εργοστασιακό υπόμνημα είναι 176km/h. Το σασί της μοτοσυκλέτας είναι τύπου Two-part closed Dual Cradle – Tubular steel pipe frame. Πρόκειται για ένα κλειστό ατσάλινο και διαιρούμενο πλαίσιο με δοκίδες, γνωστό και ως «ζευγαρωμένο», το οποίο αποτελεί σήμα κατατεθέν των σπορ ιαπωνικών μοτοσυκλετών από τις αρχές του '80.



Εικόνα 2. Explosion Assembly του πλαισίου της μοτοσυκλέτας

Η επιλογή της παραπάνω μοτοσυκλέτας έγινε με γνώμονα τα εξής:

1. Ατσάλινος σκελετός  
Ένας ατσάλινος σκελετός είναι εύκολα επισκευάσιμος με κοινά εργαλεία. Μπορεί να συγκολληθεί και να μετασκευαστεί με μεγάλη ευκολία.
2. Σκελετός κλειστού τύπου  
Ιδανικός τύπος για έδραση στοιχείων με μεγάλο βάρος (π.χ. Σύστημα μπαταριών, ηλεκτροκινητήρας) [Εικόνα 2.]



Εικόνα 3. Το αριστερό σχήμα αναπαριστά ένα πλαίσιο κλειστού τύπου, ενώ το δεξί αναπαριστά ένα πλαίσιο ανοικτού τύπου (DeltaBox Yamaha) [18].

Το αριστερό σχήμα αναπαριστά ένα πλαίσιο κλειστού τύπου, ενώ το δεξί αναπαριστά ένα πλαίσιο ανοικτού τύπου (DeltaBox Yamaha) [16].

3. Μοτοσικλέτα με πλήρη κάλυψη από προφυλακτήρες (Full-Fairing)  
Οι λόγοι είναι κυρίως αισθητικοί.
4. Διπλό εμπρόσθιο σύστημα πέδησης  
Ικανό (με τις κατάλληλες μετατροπές) να μπορέσει να αντέξει το αυξημένο βάρος της μετατροπής.
5. Τετρακύλινδρο κινητήρα  
Οι τετρακύλινδροι κινητήρες στις παλιότερες μοτοσυκλέτες είχαν αρκετά αυξημένο βάρος και όγκο σε σύγκριση με κινητήρες όμοιας χωρητικότητας αλλά με λιγότερους κυλίνδρους. Έτσι, οι σκελετοί των μοτοσυκλετών αυτών σχεδιάζονταν με γνώμονα το αυξημένο βάρος και όγκο του κινητήρα. Πιο συγκεκριμένα, ο σκελετός που επιλέχθηκε για την μετατροπή αυτή (κωδική ονομασία GK74A) έχει χρησιμοποιηθεί και για άλλα μοντέλα της ίδιας σειράς μεγαλύτερου κυβισμού. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι ο ίδιος σκελετός, με μικρές κοσμητικές τροποποιήσεις, αποτέλεσε την βάση για τη διάσημη SUZUKI GSX 1100F των 260kg, γνωστή και ως KATANA, η οποία έγινε το σημείο αναφοράς στην κατηγορία Sport Touring. Το πλαίσιο αυτό, το οποίο έκανε την εμφάνισή του το 1987 σε ένα σόου στην Ιαπωνία, συνέχισε να παράγεται μέχρι και το 2005 με την κωδική ονομασία GN74A για τα μοντέλα GSX 600F KATANA και GSX 750F KATANA.
6. Σύστημα ανοικτού τύπου μονής οπίσθιας ανάρτησης με μοχλούς (Dual linkage adjustable mono-shock rear suspension)  
Είναι εύκολο να προσαρμοστεί το ύψος ανάβασης στο νέο βάρος του οχήματος μετά την μετατροπή.

### 3.2 Διαδικασία μετατροπής – Επισκόπηση

Η ανάπτυξη ηλεκτρικών μοτοσυκλετών βασίζεται σε μια σειρά τεχνολογιών που εξελίσσονται συνεχώς. Παρακάτω περιγράφονται μερικές από τις κύριες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στην ανάπτυξη ηλεκτρικών μοτοσυκλετών:

1. Μπαταρίες ιόντων λιθίου: Οι μοτοσυκλέτες χρησιμοποιούν μπαταρίες ιόντων λιθίου για την αποθήκευση και παροχή ενέργειας. Οι μπαταρίες αυτές προσφέρουν υψηλή ενεργειακή πυκνότητα, μεγάλη διάρκεια ζωής και αξιόπιστη απόδοση.



2. Ηλεκτροκινητήρες: Οι ηλεκτροκινητήρες χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε κινητική ενέργεια. Συνήθως χρησιμοποιούνται συνεχούς ρεύματος (DC) ή τριφασικοί κινητήρες για να κινήσουν τον τροχό της μοτοσυκλέτας.
3. Συστήματα φρεναρίσματος: Τα ηλεκτρικά συστήματα φρεναρίσματος, όπως τα αντικλεπτικά φρένα και τα συστήματα ανάκτησης ενέργειας κατά το φρενάρισμα (regenerative braking), συμβάλλουν στη βελτίωση της οδηγικής εμπειρίας.
4. Συστήματα διαχείρισης ενέργειας: Η διαχείριση της ενέργειας είναι κρίσιμη για την αποδοτική λειτουργία των ηλεκτρικών μοτοσυκλετών. Προηγμένα συστήματα διαχείρισης ενέργειας χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της φόρτισης και εκφόρτισης των μπαταριών, τον έλεγχο της απόδοσης του ηλεκτροκινητήρα και τη βελτιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας.
5. Συστήματα φόρτισης: Η φόρτιση των μπαταριών των ηλεκτρικών μοτοσυκλετών μπορεί να γίνει μέσω διάφορων μεθόδων. Οι πιο συνηθισμένες είναι η φόρτιση από οικιακή πρίζα, η γρήγορη φόρτιση σε δημόσιους σταθμούς φόρτισης και η ανταλλαγή μπαταριών.
6. Υλικά κατασκευής: Οι σύγχρονες ηλεκτρικές μοτοσυκλές χρησιμοποιούν ελαφριά υλικά όπως αλουμίνιο, μαγνήσιο και ίνες άνθρακα για να μειώσουν το βάρος και να βελτιώσουν την απόδοση και την αυτονομία.
7. Έξυπνες τεχνολογίες συνδεσιμότητας: Ορισμένες ηλεκτρικές μοτοσυκλές ενσωματώνουν έξυπνες τεχνολογίες συνδεσιμότητας. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει συστήματα πλοήγησης με GPS, συνδεσιμότητα με smartphone για πρόσβαση σε διάφορες εφαρμογές και υπηρεσίες, και αναγνώριση φωνής για ευκολότερο έλεγχο των λειτουργιών της μοτοσυκλέτας.

Η διαδικασία της μετατροπής ξεκινά με την αποξήλωση όλων των εξαρτημάτων της μοτοσυκλέτας. Σκοπός της αποξήλωσης είναι να ληφθούν οι απαραίτητες διαστάσεις για να σχεδιαστεί η χωροταξία των νέων εξαρτημάτων που θα τοποθετηθούν. Επιπλέον, με την αποξήλωση μπορεί κανείς να έχει μια πολύ καλή εικόνα για την κατάσταση του πλαισίου και τις επισκευές και παρεμβάσεις που χρειάζονται να γίνουν σε αυτό.

Από την παρούσα μοτοσυκλέτα θα αφαιρεθούν ο κινητήρας και το σύστημα μετάδοσης κίνησης, όλο το ηλεκτρικό σύστημα, και το υποπλαίσιο το οποίο θα αντικατασταθεί με νέο μόνιμο σύμμικτο υποπλαίσιο.

## Κεφάλαιο 4. Ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός

Επόμενο στάδιο στη διαδικασία μετατροπής είναι να οριστούν οι τεχνικές προδιαγραφές των νέων συστημάτων που θα εγκατασταθούν. Οι προδιαγραφές αυτές είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με τα τεχνικά χαρακτηριστικά της μοτοσικλέτας πριν την μετατροπή. Τα νέα συστήματα που θα εγκατασταθούν θα πρέπει να εναρμονίζονται πλήρως με την φύση της μοτοσικλέτας και δεν θα πρέπει να διαφοροποιούνται πολύ από τα ήδη υπάρχοντα. Παρακάτω αναφέρονται επιγραμματικά τα βασικά επιθυμητά τεχνικά χαρακτηριστικά.

- Ονομαστική Ισχύς:  $\approx 44\text{kW}$
- Μικτό βάρος:  $\approx 250\text{kg}$
- Μέγιστη γωνία επίκλησης:  $>\pm 47^\circ$  (κλίση επί δεξιά-αριστερά)

Στην θέση των παλαιών εξαρτημάτων στην περιοχή εντός του βρόγχου του πλαισίου (πλαίσιο – υποπλαίσιο) θα εγκατασταθεί

- ένα σύγχρονο μοτέρ μόνιμου μαγνήτη,
- το σύστημα συσσωρευτών (μπαταρίες),
- το σύστημα διαχείρισης μπαταρίας (BMS),
- ο διακλαδωτής ισχύος θετικού πόλου (PDU – Power Delivery Unit),
- ο διακλαδωτής αρνητικού πόλου,
- η μπαταρία βοηθητικών λειτουργιών,
- η αντλία αντμπλοκαρίσματος των τροχών (ABS Unit),
- το σύστημα διαχείρισης θερμοκρασίας των συσσωρευτών
- η ασφαλειοθήκη
- Ο εναλλάκτης θερμότητας

Στο πίσω μέρος, στην ουρά και κάτω από τη σέλλα θα τοποθετηθεί

- ο αντιστροφέας και ελεγκτής του ηλεκτροκινητήρα (MCU – Motor Control Unit),
- ο μετατροπέας συνεχούς τάσης (DC- DC Converter)
- το σύστημα διαχείρισης μπαταρίας βοηθητικών λειτουργιών,
- ο κυκλοφοριτής ψυκτικού υγρού
- ο ενσωματωμένος φορτιστής των συσσωρευτών (OBC – Onboard Charger).

Αναλυτικότερα, θα εγκατασταθεί ένα σύγχρονο μοτέρ μόνιμου 27KV συνεχούς τάσεως 144V ονομαστική, ισχύος 45kw ονομαστική, 100kw μέγιστη και 210Nm ροπής στον άξονα περιστροφής. Το μοτέρ αυτό θα τροφοδοτείται από ένα συσσωρευτή (μπαταρία) τύπου LiFePO4 ονομαστικής τάσης 144V, ο οποίος αποτελείται από 225 κελία συσσωρευτών σε συνδεσμολογία 5 παράλληλα και 45 εν σειρά (5p45s). Το σύστημα μπαταριών θα διαθέτει ένα σύστημα διαχείρισης με ισορρόπηση των τάσεων των κελιών, με διαχείριση της φόρτισης, της αποφόρτισης και της θερμοκρασίας, δηλαδή ένα πλήρες σύστημα διαχείρισης μπαταρίας (BMS). Επίσης θα τοποθετηθεί ένας μετατροπέας τάσης από 144V ονομαστική σε 12V ονομαστική 800W (DC-DC Converter), καθώς και μία μπαταρία βοηθητικών λειτουργιών τύπου LiFePO4 ονομαστικής τάσης 12V με το δικό της ξεχωριστό σύστημα διαχείρισης και ελεγκτή φόρτισης και αποφόρτισης. Αυτή θα υποβοηθάει τον DC-DC Converter και θα εξυπηρετεί τις ενεργειακές ανάγκες του κυκλώματος χαμηλής τάσης 12V. Επιπλέον, θα τοποθετηθεί και ένας φορτιστής υψηλής τάσης, ισχύος 6,6kw (OBC, Onboard Charger), ο οποίος θα επικοινωνεί με το δίκτυο της πόλης και θα μπορεί να επαναφορτίζει τον κύριο συσσωρευτή. Τέλος το αφαιρούμενο υποπλαίσιο θα αντικατασταθεί με ένα ισοδύναμο



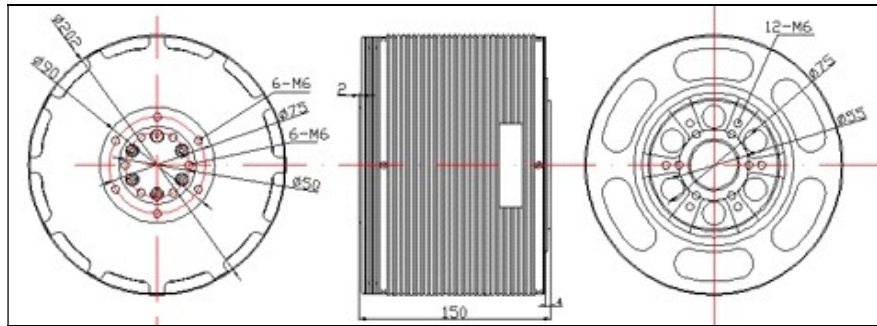
μόνιμα συγκολλημένο -ενισχυμένο με αναθρακονήματα- κοίλο ατσάλινο υποπλάσιο. Πέραν αυτού δεν θα αλλάξουν τα υπόλοιπα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της μοτοσικλέτας, αλλά όλο το σασί θα ενισχυθεί με πολλαπλές στρώσεις ανθρακονημάτων.

#### 4.1 Ηλεκτροκινητήρας και τα υποσυστήματά του

Η επιλογή του ηλεκτροκινητήρα έγινε λαμβάνοντας υπόψη τα παρακάτω

1. Την συνολική Ισχύ του αρχικού κινητήρα εσωτερικής καύσης  
Στόχος είναι τα μηχανικά χαρακτηριστικά του ηλεκτροκινητήρα να μην διαφέρουν πολύ από τον αρχικό κινητήρα εσωτερικής καύσης.
2. Τη απαιτούμενη ροπή που χρειάζεται η «νέα» μοτοσικλέτα
3. Τον διαθέσιμο χώρο εντός του πλαισίου της μοτοσικλέτας  
Ο ηλεκτροκινητήρας σε συνδυασμό με τα υπόλοιπα συστήματα πρέπει να είναι σε θέση να τοποθετηθούν εντός τους πλαισίου χωρίς να αλλάξουν τα γεωμετρικά του χαρακτηριστικά, και άρα να επηρεαστεί η δυναμική και η ακεραιότητα του οχήματος.
4. Τα γεωμετρικά και φυσικά χαρακτηριστικά (βάρος, όγκος, μέγεθος άξονα)

Με γνώμονα τα παραπάνω επιλέχθηκε ένα σύγχρονο μοτέρ μόνιμου μαγνήτη, συνεχούς τάσεως 144V ονομαστική, ισχύος 45kw ονομαστική, 100kw μέγιστη και 210Nm ροπής στον άξονα περιστροφής. Ο ηλεκτροκινητήρας είναι εξοπλισμένος με εξωτερικό ρότορα (outrunner motor) 40 μόνιμων μαγνητικών πόλων με συνεχόμενη ονομαστική ισχύ 45kw στα 312A και με μέγιστη ένταση ρεύματος τα 650A για 30sec και 800A για 5sec. Οι περιελίξεις του βρίσκονται στον στάτορα είναι συνδεδεμένες σε συνδεσμολογία Δέλτα. Ο λόγος στροφών/μέγιστη τάση είναι 27KV. Δηλαδή πρόκειται για ένα σύγχρονο μοτέρ μόνιμου μαγνήτη με τραπεζοειδή συνάρτηση μετακίνησης. (BLDC motor). Επίσης το μοτέρ διαθέτει άξονα με σφηνάκι (DIN 6885/1) από επισκληρυμένο χάλυβα διαμέτρου 20mm. Διαθέτει κύκλωμα υδρόψυξης εντός του πυρήνα (στάτορα), το οποίο παρουσιάζει αυξημένη ικανότητα ψύξης των στρώσεων του σιδηροπυρήνα από άλλα συστήματα και δεν παρουσιάζει καθόλου υδροδυναμικές τριβές (βλ. εμβαπτισμένος σε έλαια στάτορας). Αυτό το σύστημα ψύξης αν και πιο δαπανηρό και πιο πολύπλοκο από άλλα συστήματα, δεν επηρεάζει την ταχύτητα περιστροφής του ρότορα με τις υδροδυναμικές τριβές, χρειάζεται μικρότερη ποσότητα ψυκτικού υγρού, είναι πλήρως απομονωμένο από τις περιελίξεις, δηλαδή δεν υπάρχει κίνδυνος βραχυκύκλωσης και δεν επηρεάζεται από την ταχύτητα περιστροφής του ρότορα. Αξίζει να σημειωθεί ότι αυτού του είδους τα outrunner BLDC motors αποτελούν την κύρια λύση ώσης για οχήματα υψηλών επιδόσεων και για μη επανδρωμένα ιπτάμενα σκάφη. Τέλος, ο διάτρητος σχεδιασμός του ρότορα επιτρέπει την εισχώρηση αέρα στις περιελίξεις του στάτορα, αλλά και στους φυσικούς μαγνήτες του ρότορα. Με αυτόν το συνδυασμό ψύξης (αέρας-ρευστό) μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε αυξημένες εντάσεις ρεύματος. Συγκεκριμένα ο κατασκευαστής ορίζει ως μέγιστη ένταση ρεύματος τα 650A για 60sec και τα 1050A για 8sec με 1,5L/min water-glycol 50/50 at 15°C at 5000rpm, τιμές πολύ υψηλές για τον λόγο που χρειαζόμαστε τον ηλεκτροκινητήρα.



Εικόνα 4. Όψεις ηλεκτροκινητήρα



Εικόνα 5. Φωτογραφία ηλεκτροκινητήρα

### Στάτορας

Ο στάτορας είναι το ακίνητο μέρος ενός περιστροφικού συστήματος που βρίσκεται σε ηλεκτρικές γεννήτριες, ηλεκτρικούς κινητήρες, κλπ. Η ενέργεια ρέει μέσω του στάτορα προς ή από το περιστρεφόμενο εξάρτημα του συστήματος. Σε έναν ηλεκτρικό κινητήρα, ο στάτορας παρέχει ένα μαγνητικό πεδίο που οδηγεί το περιστρεφόμενο τμήμα. Σε μια γεννήτρια, ο στάτορας μετατρέπει το περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο σε ηλεκτρικό ρεύμα.

### Ρότορας

Ο ρότορας είναι ένα κινούμενο εξάρτημα ενός ηλεκτρομαγνητικού συστήματος σε έναν ηλεκτροκινητήρα, μία ηλεκτρική γεννήτρια ή εναλλάκτη. Η περιστροφή του οφείλεται στην αλληλεπίδραση μεταξύ των περιελίξεων και των μαγνητικών πεδίων η οποία παράγει μια ροπή γύρω από τον άξονα του ρότορα.

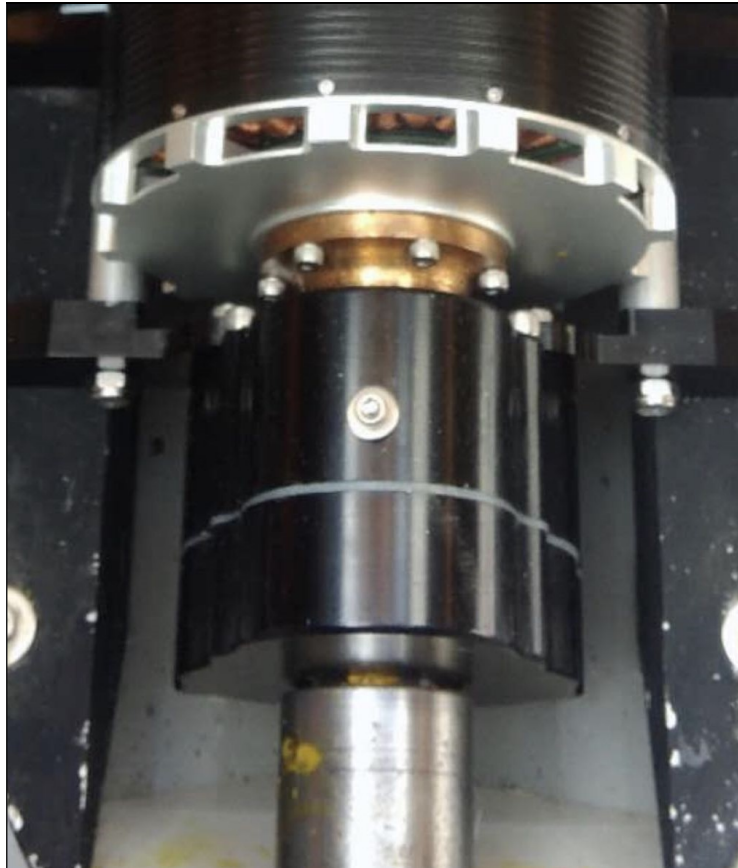


Εικόνα 6. Ηλεκτροκινητήρας (μπροστά)

1. Φυσικοί μαγνήτες (ρότορας)
2. Σιδηροπυρήνας με επικάλυψη εποξειδικής ρητίνης (στάτορας)
3. Περιελήξεις φάσεων με επικάλυψη εποξειδικής ρητίνης (στάτορας)
4. Βαρελοειδές έδρανο κύλισης ρότορα-στάτορα
5. Δέσμη καλωδίων (αγωγών) φάσεων  
U V W, αισθητήρα θερμότητας, ελεγκτή στροφών 50kHz
6. Άξονας μετάδοσης κίνησης
7. Εσωτερικό βαρελοειδές έδρανο κύλισης – συνεμπλόκ
8. Εισαγωγή συστήματος υδρόψυξης

#### Έλεγχος καλής λειτουργίας

Στην εικόνα παρατηρούμε τον ηλεκτροκινητήρα από την πίσω πλευρά. Είναι προσαρτημένος στο δυναμόμετρο. Η δυναμομέτρηση και ο έλεγχος καλής λειτουργίας του ηλεκτροκινητήρα αποτέλεσαν κομβικό σημείο στην αξιοπιστία του συνόλου της μετατροπής.



Εικόνα 7. Φωτογραφία του ηλεκτροκινητήρα κατά την διάρκεια των προκαταρκτικών ελέγχων.

Από τις παραπάνω φωτογραφίες [Εικόνα 5 & 6.] προκύπτει πως ο διάτρητος σχεδιασμός του ρότορα δημιουργεί τα εξής προβλήματα:

- A. Είναι διαρκώς εκτεθειμένος στα στοιχεία της φύσης. Εγκυμονούν κίνδυνοι διάβρωσης και φθοράς των στοιχείων του (μαγνήτες, αισθητήρες, κ.α.)
- B. Υπάρχει κίνδυνος να «τραυματιστούν» οι περιελίξεις του στάτορα από διάφορα μικρά αντικείμενα που υπάρχουν στην άσφαλτο. Αυτό αποτελεί και τον σοβαρότερο κίνδυνο ανθρώπινου τραυματισμού από ηλεκτροσόκ, φωτιά ή και ακόμα θερμική εκτόνωση, ικανή να πυροδοτήσει μια αλυσίδα καταστροφικών αντιδράσεων.
- C. Υπάρχει άμεση οπτική επαφή με τις περιελίξεις που σε κατάσταση λειτουργείας διαρρέονται από υψηλή τάση (110V έως 170V)
- D. Πλειάδα μικρότερων προβλημάτων που αφορούν κυρίως την ασφάλεια του αναβάτη στα οποία δεν θα γίνει αναφορά στην παρούσα διπλωματική.

Για τα παραπάνω ζητήματα η μοτοσικλέτα διαθέτει διάφορα συστήματα που λειτουργούν ως δικλείδες ασφαλείας στα οποία θα γίνει αναφορά παρακάτω.

Η πιο αποτελεσματική αλλά και προσιτή λύση στα παραπάνω είναι να σχεδιαστεί και να κατασκευαστεί ένα εξωτερικό περίβλημα με τα εξής χαρακτηριστικά:

- 1. Να μην εμποδίζει την επισκευή ή και συντήρηση του ηλεκτροκινητήρα
- 2. Να παρέχει ασφάλεια στον αναβάτη και στο περιβάλλον του
- 3. Να λειτουργεί αρμονικά με τα υπόλοιπα εξαρτήματα της μοτοσικλέτας
- 4. Να μην επηρεάζει με κανέναν τρόπο την ασφαλή λειτουργία του ηλεκτροκινητήρα
- 5. Να μην εμποδίζει κάποιο τεχνικό χαρακτηριστικό του ηλεκτροκινητήρα
- 6. Να ταιριάζει με την αισθητική της μοτοσικλέτας

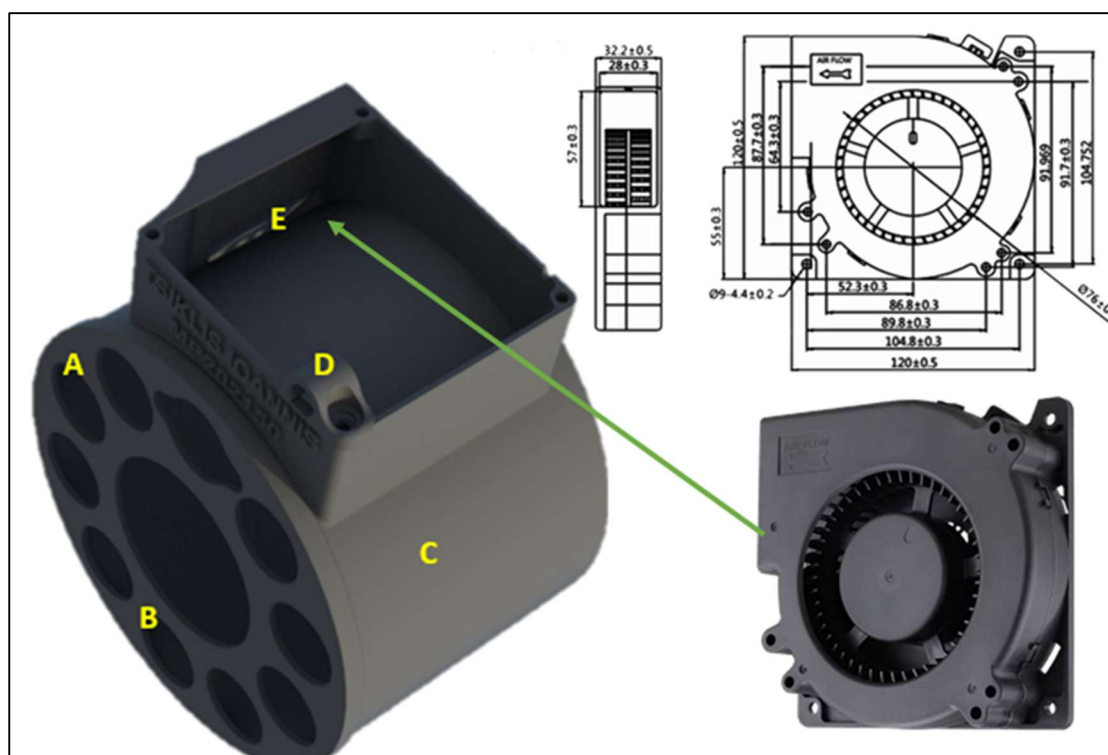


Για αυτούς τους λόγους επιλέχθηκε να κατασκευαστεί το περίβλημα με την μέθοδο της τρισδιάστατης εκτύπωσης. Το υλικό που χρησιμοποιήθηκε είναι το Carbon: Plus της Neema 3D. Πρόκειται για PET-G με 20% w/w ίνες άνθρακα. Αυτό το αναλώσιμο επιλέχθηκε διότι:

1. Προσφέρει αυξημένη ακαμψία στον x-γ επίπεδο εκτύπωσης, μπορεί πολύ εύκολα να ενσωματωθεί στον σχεδιασμό και στην εκτύπωση
2. Αυξημένη αντοχή στην διάβρωση και στην αποσύνθεση λόγω έκθεσης σε καιρικά φαινόμενα
3. Αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες σε αντίθεση με το από PETG
4. Εύκολο στην εκτύπωση



Εικόνα 8. 3D απεικόνιση περιβλήματος του ηλεκτροκινητήρα.



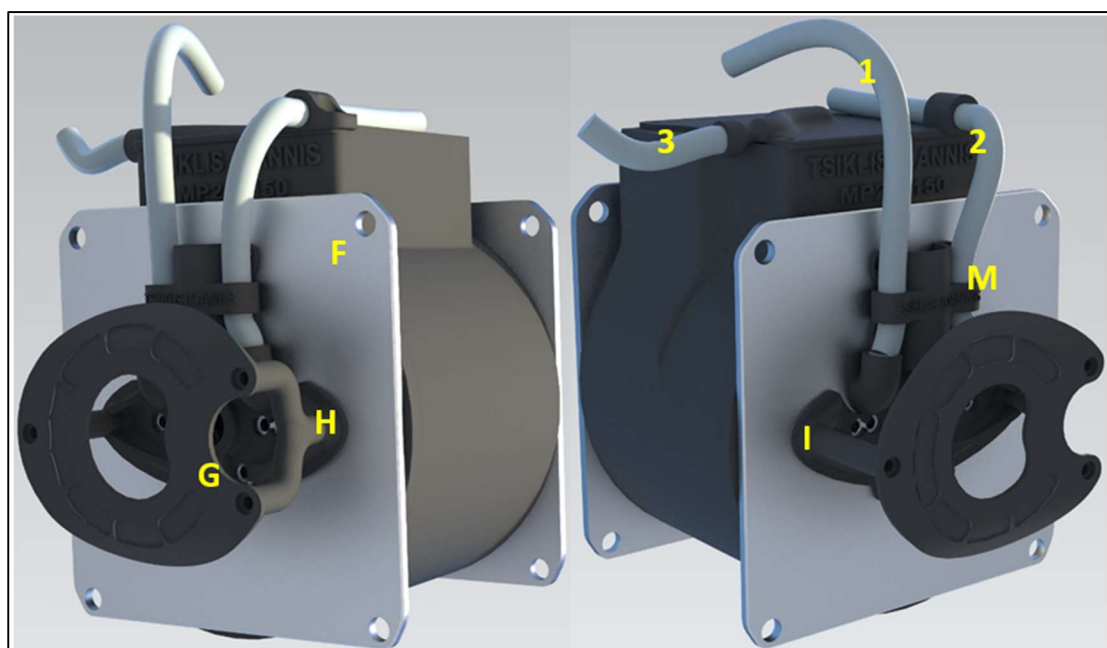
Εικόνα 9. Σημείο τοποθέτησης ανεμιστήρα εντός του περιβλήματος.

Το εσωτερικό του περιβλήματος είναι επενδυμένο με θερμοανακλαστική ταινία αλουμινίου. Επιπλέον, στο επάνω μέρος έχει τοποθετηθεί ένας blower-style (υψηλής παροχής) ανεμιστήρας, ικανός να καλύψει όλες τις ανάγκες του ηλεκτροκινητήρα για αερόψυξη. Η τροφοδοσία του ανεμιστήρα παρέχεται από το ακροφύσιο που βρίσκεται στο καπάκι δια μέσω ενός σωλήνα και ενός απλού φίλτρου αέρα.

Η πρόσδεση των διάφορων εξαρτημάτων αποτέλεσε ακόμα μια πρόκληση. Τα πλαστικά προϊόντα που παράγονται από τρισδιάστατους εκτυπωτές τείνουν να μην έχουν ικανοποιητική αντοχή ώστε να τοποθετηθούν βίδες, ιδίως σε μια μοτοσικλέτα που θα καταπονείται διαρκώς από δονήσεις. Για αυτόν τον λόγο όπου χρειάστηκε να τοποθετηθούν βίδες, χρησιμοποιήθηκαν μεταλλικά ένθετα σπειρωμάτων. Για τα υπόλοιπα εξαρτήματα χρησιμοποιήθηκε κάποιο συγκολλητικό μέσο όπως κόλλα-σιλικόνη, CA-glue, PU-glue, θερμοσιλικόνη ή κάποια κόλλα δύο συστατικών.

Η παραπάνω κατασκευή, χωρίς να υπολογισθεί ο χρόνος σχεδιασμού, έρευνας, δοκιμών και συναρμολόγησης, διήρκεσε περισσότερο από 11 ημέρες συνεχόμενης εκτύπωσης, με συνολική κατανάλωση 1,150kg υλικού.

**Στις επόμενες εικόνες φαίνεται η πλήρης συναρμολόγηση του ηλεκτροκινητήρα**



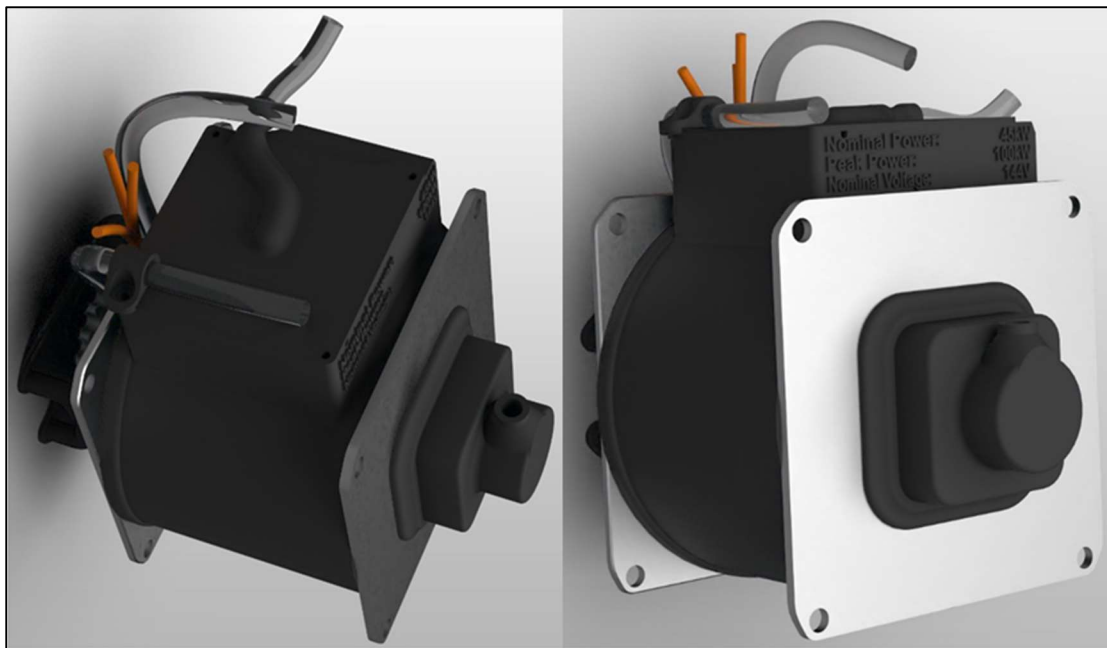
Εικόνα 10. 3D απεικόνιση πλήρους συναρμολόγησης ηλεκτροκινητήρα.



Εικόνα 11. 3D απεικόνιση πλήρους συναρμολόγησης ηλεκτροκινητήρα.



Εικόνα 12. 3D φωτορεαλιστική απεικόνιση πλήρους συναρμολόγησης ηλεκτροκινητήρα.



Εικόνα 13. 3D φωτορεαλιστική απεικόνιση πλήρους συναρμολόγησης ηλεκτροκινητήρα

- A. Άνω μπροστά καπάκι. (3D εκτυπωμένο)
- B. Κάτω μπροστά καπάκι. (3D εκτυπωμένο)
- C. Κύριο στέλεχος. (3D εκτυπωμένο)
- D. Εξάρτημα συγκράτησης σωλήνα υδρόψυξης. (3D εκτυπωμένο)
- E. Εσωτερικό ακροφύσιο αερισμού του ηλεκτροκινητήρα.
- F. Κύρια (μπροστινή) πλάκα. (Μηχανουργημένη)  
Αυτή η πλάκα αποτελεί το βασικότερο στοιχείο μετάδοσης της κίνησης. Είναι υπεύθυνη για την συγκράτηση και ακινητοποίηση του μοτέρ, διότι πρέπει να είναι σε θέση να παραλάβει όλες τις δυνάμεις που πηγάζουν από το μοτέρ κατά την χρήση της μοτοσικλέτας και να τις οδηγήσει στον σκελετό. Είναι κατασκευασμένη από επισκληρυμένο χάλυβα 6mm θερμικά επεξεργασμένο. Ο ηλεκτροκινητήρας εδράζεται πάνω στην κύρια πλάκα με 12 βίδες M6 (DIN 912) υψηλής αντοχής 12.9 και σφραγιστικό σπειρωμάτων.
- G. Κάλυμμα προστασίας αλυσίδας-αλυσιδογράναζου. (3D εκτυπωμένο)  
Σκοπός του καπακιού αυτού είναι να προστατεύει τον αναβάτη από το αλυσιδογράναζο, την αλυσίδα και το λιπαντικό τους κατά την χρήση της μοτοσικλέτας)
- H. Δεξιό στήριγμα καπακιού. (3D εκτυπωμένο)
- I. Αριστερό στήριγμα καπακιού. (3D εκτυπωμένο)
- J. Καπάκι προστασίας προέκτασης άξονα. (3D εκτυπωμένο)  
Το καπάκι αυτό αποτελείται από 2 τμήματα: Την βάση του, η οποία είναι συγκολλημένη στην πίσω πλάκα συγκράτησης του μοτέρ, και από το αφαιρούμενο καπάκι που κουμπώνει απάνω στην βάση του. Σκοπός αυτού του συστήματος είναι να προστατεύει τον αναβάτη από την προέκταση του άξονα καθώς γυρίζει, να προστατεύει το κουζινέτο στο οποίο εδράζεται ο άξονας. Επίσης, αποτελεί βάση στήριξης του μαγνητικού αισθητήρα στροφών.
- K. Δευτερεύουσα (πίσω) πλάκα. (Μηχανουργημένη)
- L. Ο σκοπός της πλάκας αυτής είναι να στηρίζει το σύστημα του ηλεκτροκινητήρα μέσω της προέκτασης του άξονα που εδράζεται πάνω σε ένα αυτολιπανόμενο,





Εικόνα 14. Κουζινέτο με γρασαδόρο

αυτορρυθμιζόμενο, πολύτροφο κουζινέτο. Στο έδρανο βρίσκεται εγκατεστημένο το ρουλεμάν UC204. Το συμπαγές, μονοκόμματο περίβλημα με τοποθέτηση δύο κοχλιών ασφαλείας, μπορεί να εγκατασταθεί σε οποιαδήποτε θέση και καθιστά εύκολη την αντικατάσταση του ρουλεμάν. Το έδρανο χρησιμοποιεί δίλαιο ρουλεμάν με φαρδύ αφαλό, το οποίο διαθέτει εξωτερικές σφαιρικές διαμέτρους αυτοευθυγράμμισης,

αντισταθμίζοντας την μη-ευθυγράμμιση των αξόνων. Το έδρανο έχει γρασαδόρο για επαναλίπανση. Το σχέδιο της τσιμούχας είναι ιδανικό για εφαρμογές που περιλαμβάνουν υγρό ή βρώμικο περιβάλλον.

- Μ. Οπή τοποθέτησης μαγνητικού αισθητήρα στροφών.
- Ν. Κάλυμμα προστασίας αγωγών φάσεων, αγωγών υδρόψυξης και λίπανσης άξονα.



Εικόνα 15. 3D φωτορεαλιστική λεπτομέρεια μπροστινού τμήματος ηλεκτροκινητήρα.

1. Αγωγός εισαγωγής υδρόψυξης  
Συνδέεται με την έξοδο της αντλίας κυκλοφορίας του ψυκτικού υγρού.
2. Αγωγός εξαγωγής υδρόψυξης  
Συνδέεται με τις επαγωγικές πλάκες ψύξης του αντιστροφέα – ελεγκτή ισχύος.
3. Αγωγός εισαγωγής και αερισμού.  
Στην άκρη του τοποθετείται ένα κωνικό φίλτρο αέρος.

## Ψύξη ηλεκτροκινητήρα



Εικόνα 16. Χάλκινος εναλλάκτης θερμότητας (ψυγείο)



Εικόνα 17. Περιστατική αντλία διαφράγματος.

Στις διπλανές εικόνες φαίνονται τα κύρια εξαρτήματα υδρόψυξης του ηλεκτροκινητήρα.

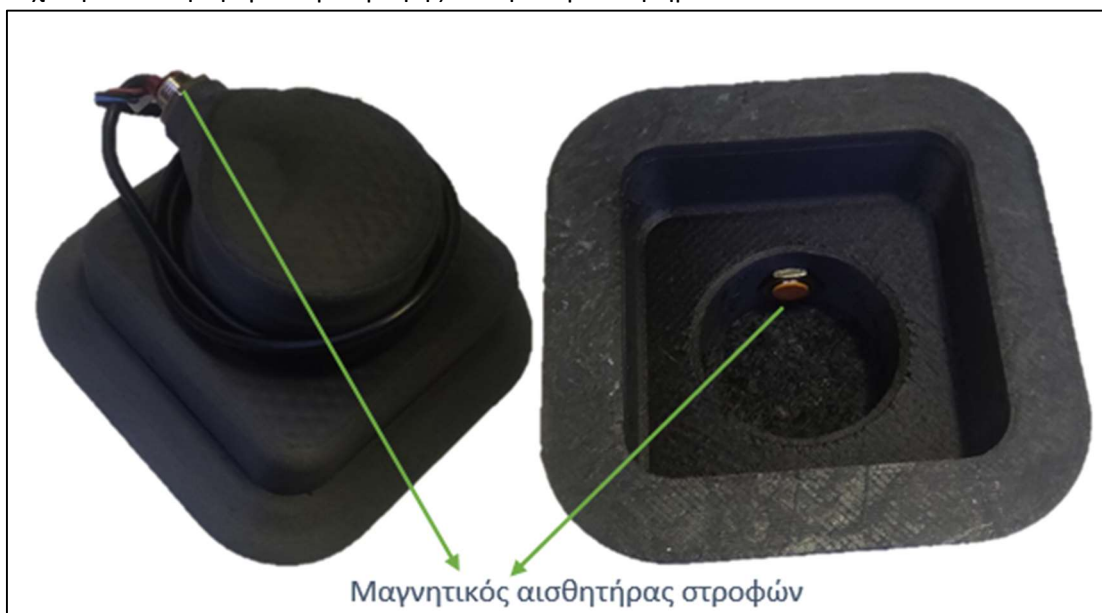
Όπως προαναφέρθηκε, ο ηλεκτροκινητήρας χρησιμοποιεί δύο μεθόδους ψύξης, με αέρα και με υγρό ψυκτικό. Η ψύξη με αέρα χρησιμοποιείται για να απομακρύνει τον θερμό αέρα από το εξωτερικό μέρος του στάτορα και τους μόνιμους μαγνήτες. Η ψύξη με υγρό, βοηθάει στη απομάκρυνση της θερμότητας από το εσωτερικό του στάτορα, δηλαδή του σιδηροπυρίνα και το εσωτερικό

τμήμα των περιελήξεων. Οι χαμηλές θερμοκρασίες σε ένα δυναμικό σύστημα όπως ένας ηλεκτροκινητήρας συντελούν στην καλή λειτουργία με πολύ υψηλά ποσοστά απόδοσης. Εν γένει, ο ηλεκτροκινητήρας που επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί δεν εκλύει σημαντικά ποσά θερμότητας υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας. Ο ρόλος λοιπόν της ψύξης είναι αφενός να αυξήσει την απόδοση του μοτέρ και αφετέρου να αποτρέψει την υπερθέρμανση του μοτέρ όταν αυτό υπερβεί τις μέγιστες τιμές λειτουργίας που ορίζει ο κατασκευαστής. Αυτή η υπέρβαση έχει προβλεφθεί και έχει προγραμματιστεί στον MCU. Για αυτούς τους λόγους προτιμήθηκε η χρήση και των δυο μεθόδων ψύξης. Για το σύστημα της υδρόψυξης χρησιμοποιήθηκε μια αντλία διαφράγματος 6L/min [Εικόνα 17.], ένας εναλλάκτης από χαλκό για μέγιστη δυνατή απαγωγή θερμότητας από αυτόν και ένα δοχείο πλήρωσης με σύστημα υπερχειλίσας. Να σημειωθεί ότι δεν χρησιμοποιείται κάποιο σύστημα εξαναγκασμένης ροής αέρα διότι δεν εκλύονται σημαντικά ποσά θερμότητας. Ο αέρας που διέρχεται από τον εναλλάκτη κατά την κίνηση της μοτοσικλέτας επαρκεί για τις ανάγκες του συστήματος. Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι στο σύστημα ψύξης του μοτέρ παρεμβάλλεται ο MCU ο οποίος έχει εξίσου λίγες ανάγκες ψύξης (λόγω καλού σχεδιασμού) και ο ενσωματωμένος φορτιστής. Το

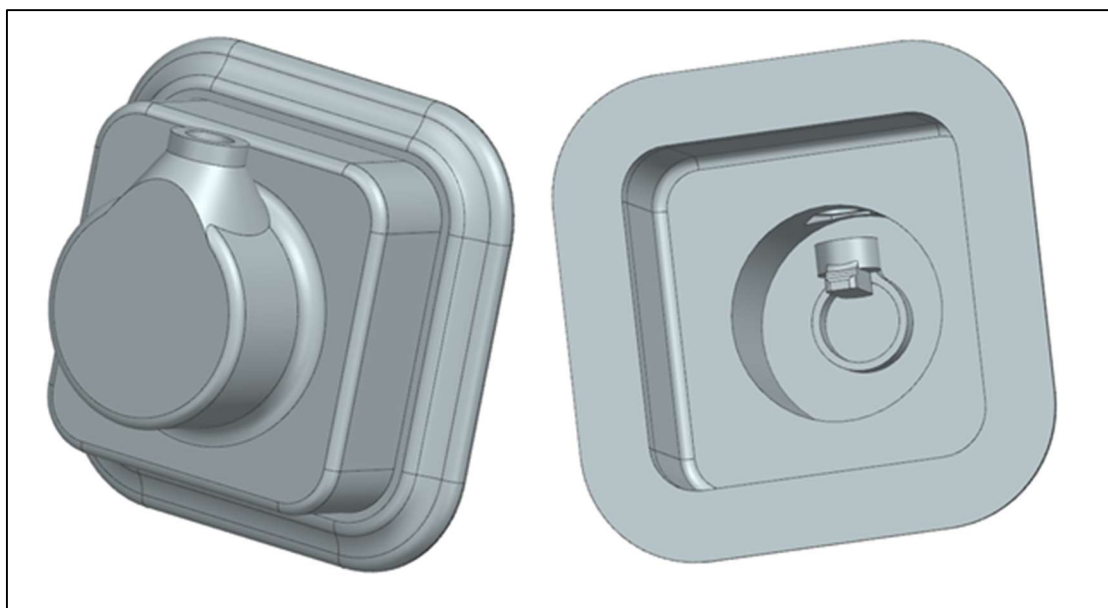
κύκλωμα ψύξης λειτουργεί κατά την διάρκεια της φόρτισης των συσσωρευτών χωρίς να είναι η μοτοσικλέτα σε λειτουργία.

### Μαγνητικός αισθητήρας στροφών

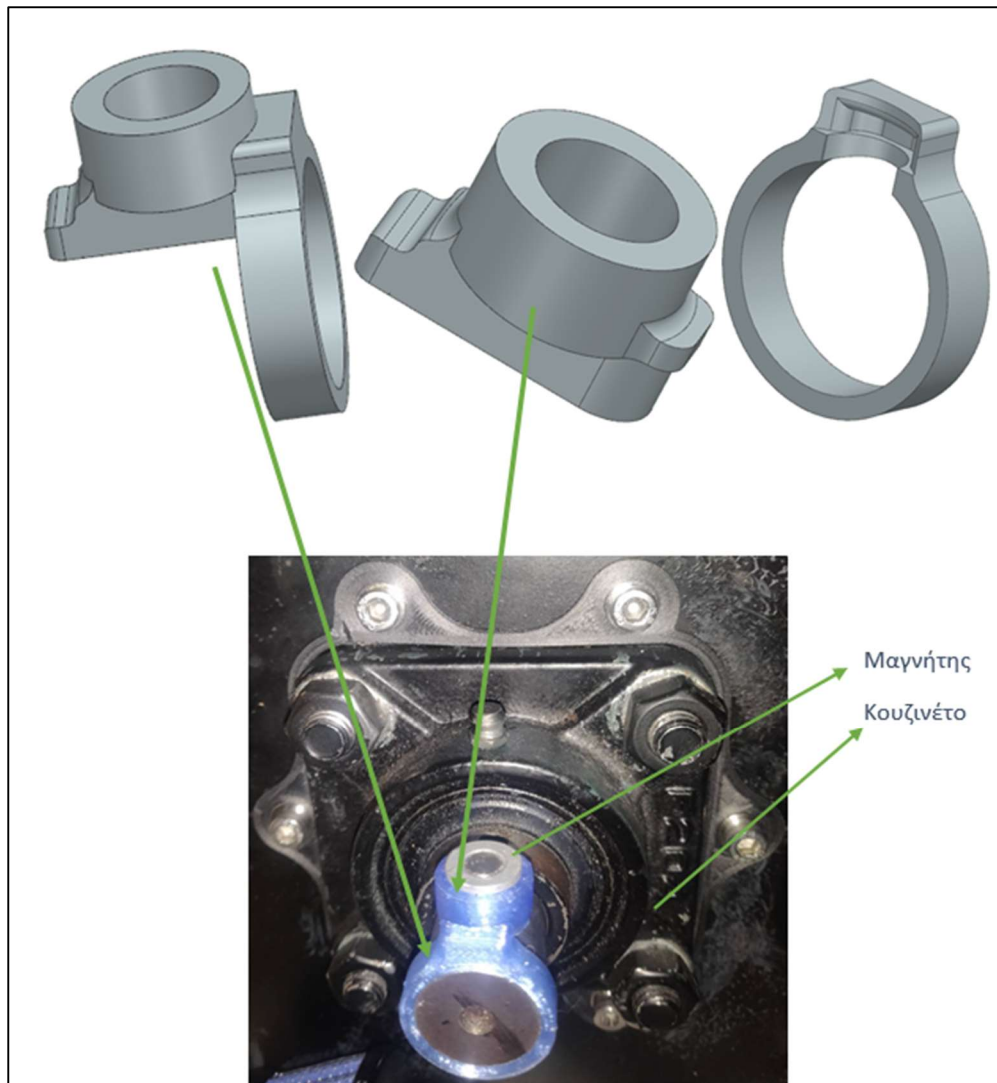
Ο μαγνητικός αισθητήρας στροφών [Εικόνα 21.] (Hall Sensor) είναι μια συσκευή που χρησιμοποιεί το φαινόμενο Hall για να ανιχνεύει την ταχύτητα, τη θέση ή τη φορά περιστροφής ενός αντικειμένου, συνήθως ενός άξονα ή δίσκου. Είναι ευρέως χρησιμοποιούμενος σε διάφορες εφαρμογές, από ηλεκτρικούς κινητήρες και οχήματα έως βιομηχανικά μηχανήματα. Στην εν λόγω μετατροπή χρησιμοποιείται για να μετράει την ταχύτητα και την φορά περιστροφής του ηλεκτροκινητήρα.



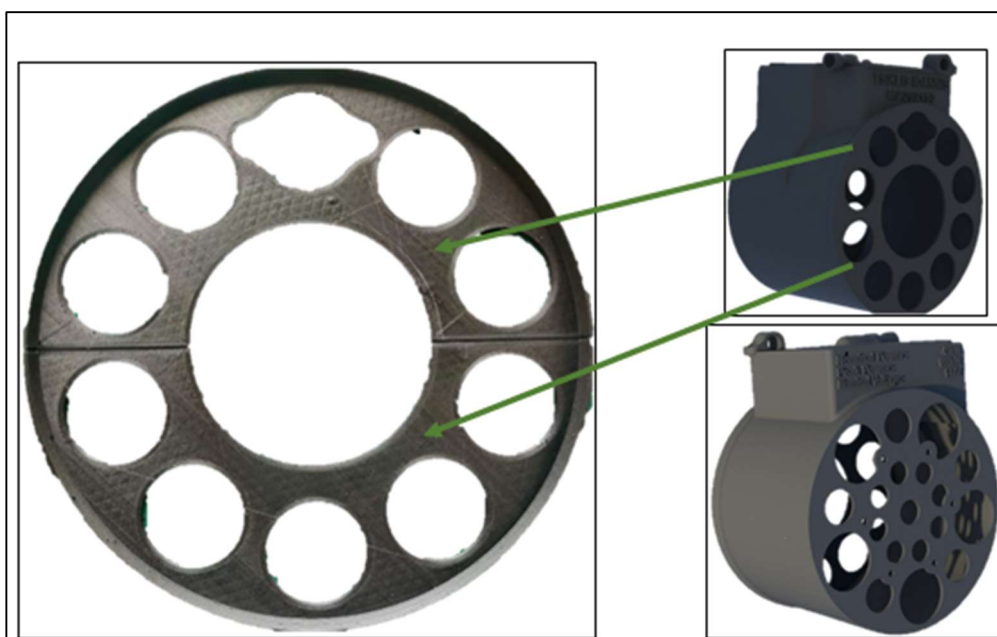
Εικόνα 18. 3D Εκτυπωμένο καπάκι προστασίας πίσω μέρους ηλεκτροκινητήρα.



Εικόνα 19. 3D Απεικόνιση από το καπάκι προστασίας πίσω μέρους ηλεκτροκινητήρα.

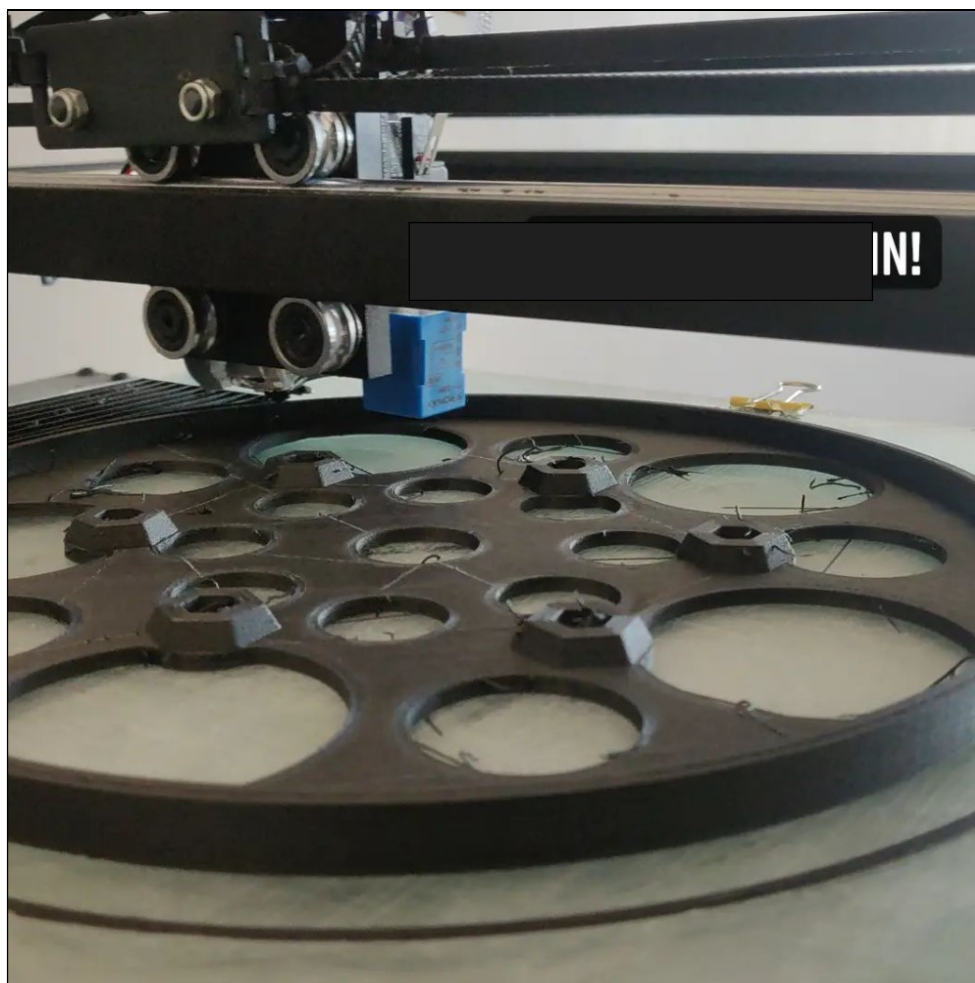


Εικόνα 20. Λεπτομέρεια τοποθέτησης του μαγνήτη στροφών πάνω στον άξονα του ηλεκτροκινητήρα.



Εικόνα 21. Μπροστά μέρος περιβλήματος





Εικόνα 22. Εκτύπωση περιβλήματος

#### 4.2 Αντιστροφέας, Ελεγκτής Ισχύος (MCU)

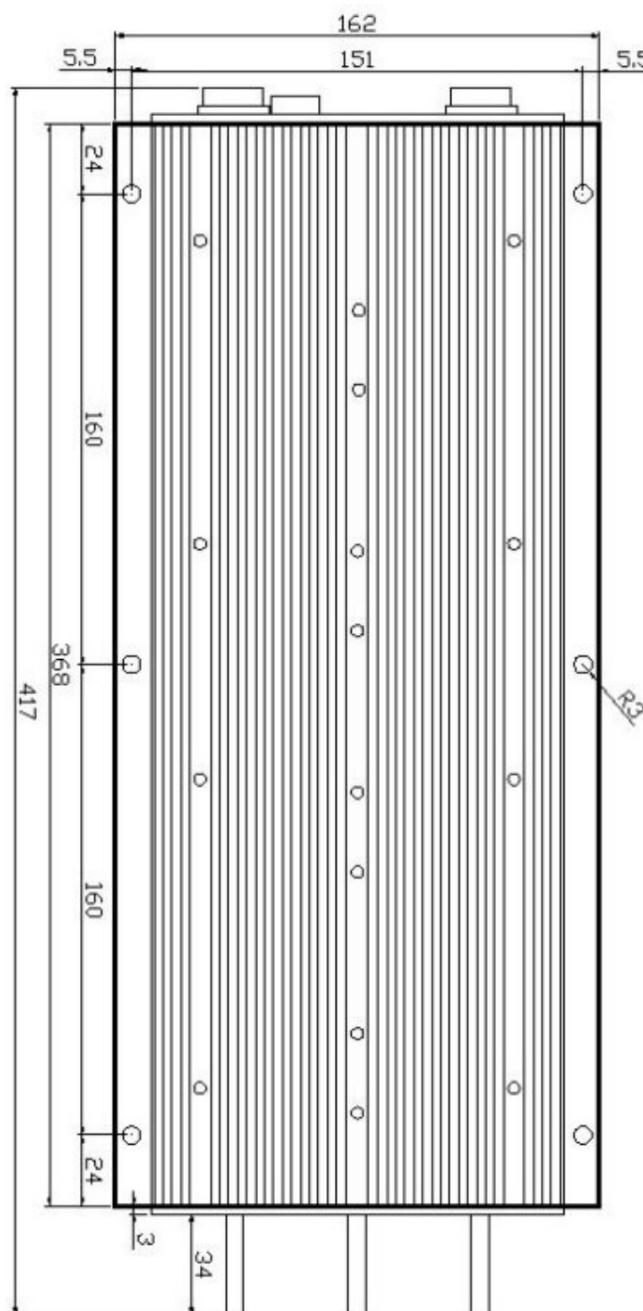
Ο αντιστροφέας τάσης ή αλλιώς ο Ελεγκτής ισχύος (MOTOR CONTROLLER UNIT) αποτελεί τον εγκέφαλο λειτουργίας του μοτέρ. Αυτός είναι υπεύθυνος για τον έλεγχο όλων των ηλεκτρομαγνητικών παραμέτρων του ηλεκτροκινητήρα. Στόχος του ελεγκτή αυτού είναι να δέχεται τις εντολές του αναβάτη και, σε συνδυασμό με διάφορες άλλους παραμέτρους που αφορούν το ηλεκτρικό και μηχανικό σύστημα, να λειτουργεί αποδοτικά και με ασφάλεια τον ηλεκτροκινητήρα.

Η επιλογή του Αντιστροφέα είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τον ηλεκτροκινητήρα. Κάθε είδος ηλεκτροκινητήρα χρειάζεται και τον αντίστοιχο ελεγκτή για να λειτουργήσει σωστά. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, η επιλογή του παραπάνω BLDC Motor, οδήγησε στην επιλογή ενός BLDC Motor Speed Controller Unit ή BLDC MCU. Έτσι, μετά από αρκετή έρευνα, επιλέχθηκε ένας ελεγκτής – αντιστροφέας της εταιρίας KELLY CONTROLLERS. Το συγκεκριμένο μοντέλο ονόματι KHB14601-U, είναι ένας προγραμματιζόμενος ελεγκτής ταχύτητας και ισχύος. Μερικοί από τους πιο βασικούς λόγους επιλογής του είναι οι εξής:

1. Υιοθετεί μονωμένο σύστημα οπτικής επικοινωνίας  
Οι οπτομονωτές είναι ηλεκτρονικά εξαρτήματα που μεταφέρουν ηλεκτρικά σήματα μεταξύ δύο απομονωμένων κυκλωμάτων χρησιμοποιώντας φως. Επίσης, εμποδίζουν τις υψηλές τάσεις να επηρεάσουν το σύστημα που λαμβάνει το σήμα.
2. Διαθέτει ισχυρό κεντρικό σύστημα επεξεργασίας δεδομένων.

Έχει τη δυνατότητα να λειτουργεί έως και 100kERPM. Στην προκειμένη περίπτωση μπορεί να λειτουργεί αξιόπιστα το παραπάνω μοτέρ έως τις 5000rpm. (Electric RPM = Motor Real RPM · Motor Pole Pairs)

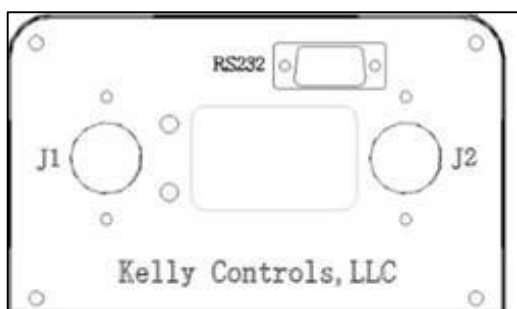
3. Διαθέτει σύστημα θερμικής προστασίας, σύστημα βραχυκυκλώματος υψηλής και χαμηλής τάσης, σύστημα προστασίας από υπερένταση σε κάθε φάση, σύστημα προστασίας από υπέρταση και διάφορα άλλα συστήματα σχετικά με την οδηγική συμπεριφορά.
4. Είναι πλήρως προγραμματιζόμενο.



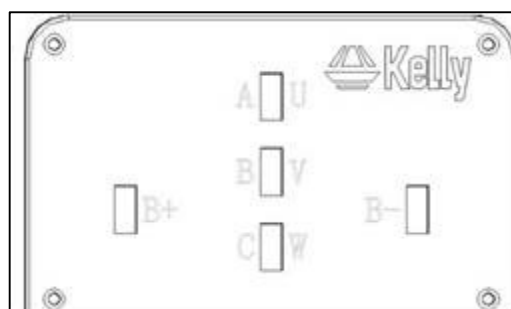
Height: 84 millimeters

Length: 368 millimeters

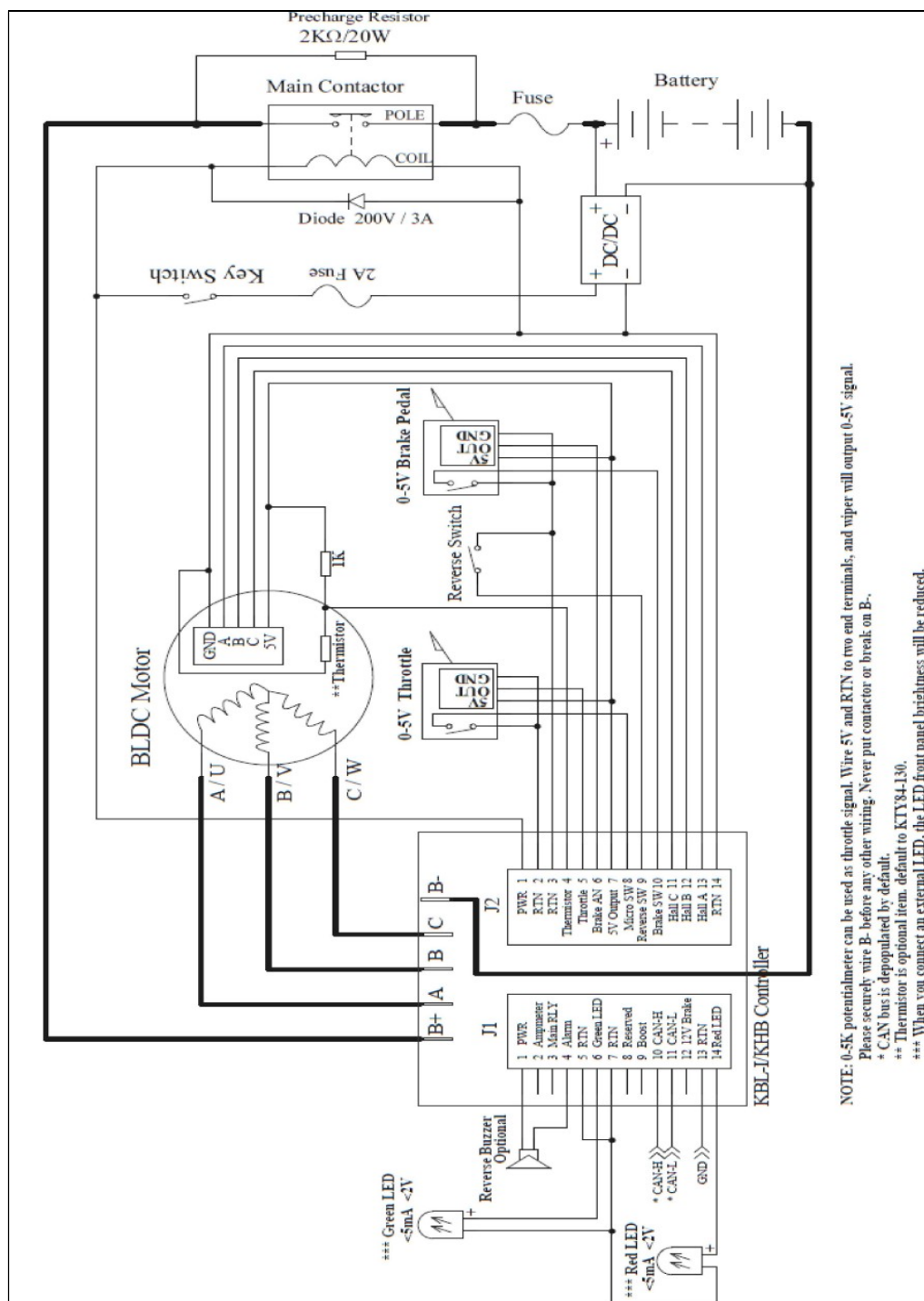
Εικόνα 23. Κάτοψη με τα βασικά μεγέθη διαστασεολόγησης του MCU



Εικόνα 24. Πίσω πλάγια όψη MCU. Θύρες  
ελέγχου J1,J2 Θύρα προγραμματισμού RS232

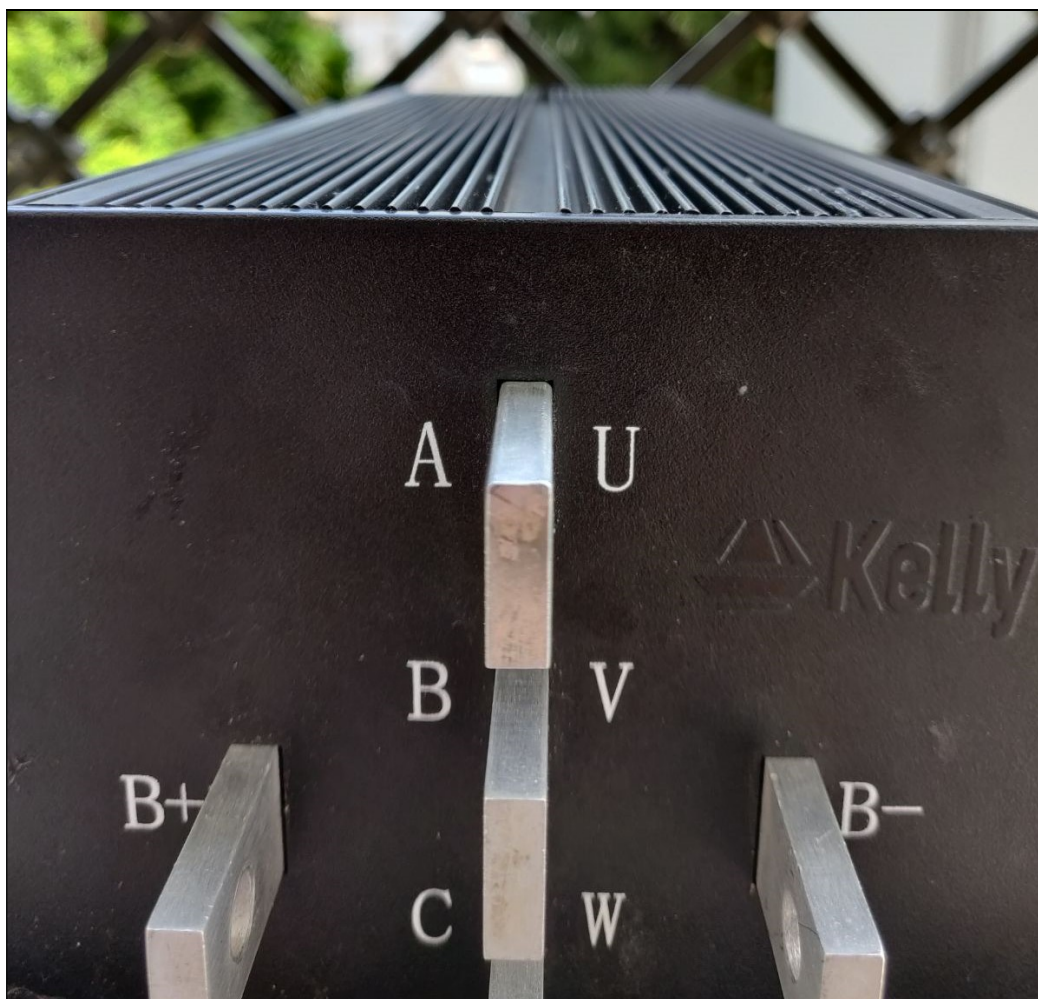


Εικόνα 25. Εμπρός πλάγια όψη MCU.  
Ακροδέκτες ισχύος



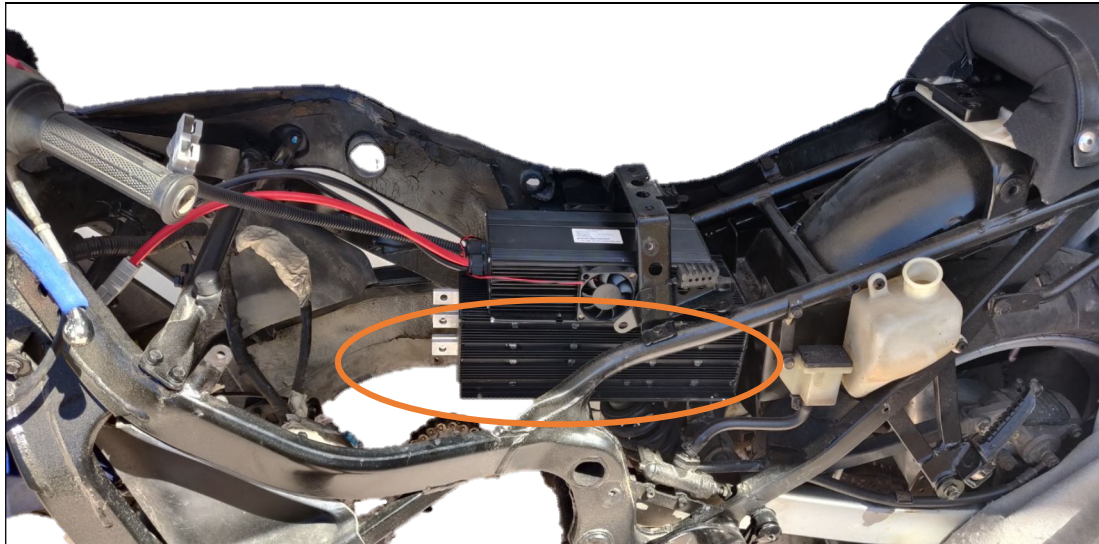
Εικόνα 26. Γενική συνδεσμολογία του συστήματος υψηλής τάσης MCU. (Παρέχεται από τον κατασκευαστή.)

Ο ΚΗΒ 14601U έχει ελάχιστη τάση λειτουργίας τα 18V και μέγιστη τα 180V. Το εύρος λειτουργίας του παρόντος συστήματος είναι 110V-164V χωρίς να συμπεριλαμβάνεται η στιγμιαία υπόταση και υπέρταση. Ο ελεγκτής είναι ικανός να τροφοδοτεί το μοτέρ με 300A συνεχούς ρεύματος και 600A για 60sec. Αυτό σημαίνει ότι με το σύστημα των συσσωρευτών σε πλήρη φόρτιση, ο MCU μπορεί να παρέχει έως και 49,2kW συνεχούς ισχύος και 98,4kW για 60sec. Στην ονομαστική τάση λειτουργίας του συστήματος η διαρκής ισχύς που θα παρέχεται από τον MCU είναι 43,2kW και η στιγμιαία 86,4kW για 60sec με απόδοση έως και 99% σε ιδανικές συνθήκες λειτουργίας. Επιπλέον ο MCU, σαν αντιστροφέας, μπορεί να μετατρέψει τον ηλεκτροκινητήρα από καταναλωτή ρεύματος, σε παραγωγό. Δηλαδή μπορεί να δέχεται με απόδοση 95% την ενέργεια που παράγεται από την περιστροφή του ρότορα επιβραδύνοντας κατά αυτόν τον τρόπο την μοτοσικλέτα. Το φαινόμενο αυτό στον κλάδο της αυτοκινητοβιομηχανίας είναι γνωστό ως ανάκτηση ενέργειας. Ο τρόπος λειτουργίας του φαινομένου αυτού είναι απλός και συνήθως χρησιμοποιείται όταν ο οδηγός «αφήνει» το γκάζι ή όταν φρενάρει το όχημα. Για παράδειγμα, με το πάτημα του φρένου, ο MCU δέχεται εντολή από τον αναβάτη να σταματήσει να τροφοδοτεί τον ηλεκτροκινητήρα με ρεύμα. Οπότε, μετατρέπει το μοτέρ σε γεννήτρια ρεύματος. Η περιστροφή του κινητήρα ελαττώνεται με προκαθορισμένο και ελεγχόμενο από τον MCU ρυθμό και η κινητική ενέργεια μετατρέπεται κατά ένα σημαντικό ποσοστό σε ηλεκτρική. Ο MCU δέχεται αυτήν την ηλεκτρική ενέργεια και την επιστρέφει πίσω στο σύστημα συσσωρευτών στην κατάλληλη τάση, φορτίζοντάς το. Η λειτουργία την επανάκτησης ενέργειας (regenerative braking) αποτελεί βασικό πλεονέκτημα των ηλεκτρικών οχημάτων, καθώς με αυτόν τον τρόπο αυξάνουν την αυτονομία του και επιτυγχάνουν υψηλά επίπεδα αποδοτικότητας.



Εικόνα 27. Απεικόνιση του MCU KELLY KHB-14601U





Εικόνα 28. Απεικόνιση τοποθέτησης του MCU εντός του πλαισίου της μοτοσικλέτας



Εικόνα 29. Απεικόνιση του MCU KELLY KHB-14601U

### 4.3 Σύστημα Συσσωρευτών (Σύστημα Μπαταριών)

Όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως, η ονομαστική τάση του συστήματος είναι 144V. Αυτή η ποσότητα καθορίστηκε από την επιλογή του ηλεκτροκινητήρα και του MCU στην οποία λειτουργούν βέλτιστα. Κατ' επέκταση, το σύστημα των συσσωρευτών πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις για τη βέλτιστη λειτουργία του κινητήρα, του MCU και τις απαιτήσεις του αναβάτη. Ειδικότερα, οι απαιτήσεις που πρέπει να πληρούνται είναι οι εξής:

1. Πρέπει να μπορεί να λειτουργεί μεταξύ 18V και 180V.  
Είναι οι οριακές τιμές τάσης που έχει ορίσει ο κατασκευαστής του MCU.  
Σε αυτά τα όρια έχει συνυπολογιστεί και το ενδεχόμενο της υπέρτασης λόγω ανατροφοδότησης από τον ηλεκτροκινητήρα.
2. Πρέπει να μπορεί, σε ιδανικές συνθήκες, να παρέχει 350A σταθερά, χωρίς να υπάρχει σημαντική πτώση τάσης.  
Είναι η μέγιστη συνεχόμενη ένταση που περιορίζεται από τον MCU (300A) και 50A ως επιπλέον όριο προστασίας με συντελεστή ασφαλείας  $\approx 15\%$  (η πραγματική ανάγκη είναι 305,8A)
3. Πρέπει να μπορεί, σε ιδανικές συνθήκες, να παρέχει 695A για τουλάχιστον 60sec σταθερά, χωρίς να υπάρχει σημαντική πτώση τάσης.  
και 90A ως επιπλέον όριο προστασίας με συντελεστή ασφαλείας  $\approx 15\%$  (η πραγματική ανάγκη είναι 608,2A)
4. Πρέπει να μπορεί να παρέχει σταθερή τάση, με μικρές διακυμάνσεις, υπό πλήρες φορτίο.  
Οι διακυμάνσεις στην τάση καταπονούν τους VRM (Voltage Regulator Modules) του MCU και προκαλούν εκτεταμένη φθορά και πρόωρη αστοχία τους.
5. Η τάση σε πλήρη φόρτιση και πλήρη εκφόρτιση πρέπει να βρίσκεται κοντά στα 144V (την τάση λειτουργίας του μοτέρ).  
Επιθυμούμε να βρισκόμαστε σε εύρος τάσεων όπου το μοτέρ έχει την καλύτερη δυνατή απόδοση, σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή.
6. Πρέπει να μπορεί να αντέξει αρκετούς κύκλους φόρτισης και εκφόρτισης.  
Ένα ηλεκτρικό όχημα σε βάθος χρόνου θα χρειαστεί να εκφορτιστεί και να επαναφορτιστεί αρκετές φορές. Έτσι, είναι επιθυμητό, η «διάρκεια ζωής» της μπαταρίας να ζημιώνεται όσο το δυνατόν λιγότερο με κάθε κύκλο φόρτισης.
7. Πρέπει να μπορεί να διατηρεί ορισμένη τάση για μεγάλο χρονικό διάστημα.  
Κατά τον κύκλο ζωής της ηλεκτρικής μοτοσικλέτας ενδέχεται να παραμείνει σε ακινησία για εκτεταμένα χρονικά διαστήματα. Το σύστημα συσσωρευτών της πρέπει να είναι σε θέση να διατηρεί την ενέργειά του όσο το δυνατόν καλύτερα για αυτό το χρονικό διάστημα.
8. Πρέπει να μπορεί να λειτουργεί σε ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών. Ιδανικά από  $-15^{\circ}\text{C}$  έως  $50^{\circ}\text{C}$ .  
Ακραία θερμοκρασιακά όρια που συναντιούνται στην Αττική. Η κατώτατη θερμοκρασία συναντάται σε ορεινές περιοχές της Αττικής κατά την χειμερινή περίοδο. Η ανώτατη θερμοκρασία συναντάται κυρίως στην επιφάνια του οδοστρώματος κατά την εαρινή περίοδο.
9. Πρέπει να μπορεί να αποθηκεύει ικανοποιητική ποσότητα ενέργειας ώστε να υπάρχει και ικανοποιητική αυτονομία.  
Η αυτονομία στα αμιγώς ηλεκτροκίνητα οχήματα αποτελεί το βασικότερο χαρακτηριστικό σύγκρισής τους με τα συμβατικά.

10. Πρέπει να μπορεί να επαναφορτιστεί γρήγορα και με ασφάλεια.  
Η ασφαλής γρήγορη επαναφόρτιση των συσσωρευτών συμβάλει σημαντικά στη διευκόλυνση χρήσης ενός ηλεκτρικού οχήματος.
11. Πρέπει να έχει αυξημένη αντοχή. Συγκεκριμένα, πρέπει να υπάρχει μικρή πιθανότητα θερμικής εκτόνωσης/ διαφυγής.  
Οι μπαταρίες των ηλεκτρικών οχημάτων στην πλειοψηφία τους περιέχουν διάφορα ισότοπα Λιθίου ως ανόδιο [Li-(4—11)], συνήθως [Li-6]. Το Li είναι ένα αρκετά δραστικό χημικό στοιχείο και σε συνδυασμό με τις εξαιρετικές ιδιότητες που διαθέτει στο να μεταφέρει αποτελεσματικά ενέργεια καθώςον βρίσκεται στο ανόδιο του κελιού, μπορεί να είναι αιτία για μια πληθώρα εκκριτικών αντιδράσεων. Επομένως, η ασφάλεια της μπαταρίας σε μία μοτοσικλέτα συνιστά έναν πάρα πολύ σημαντικό παράγοντα στην επιλογή του συστήματος συσσωρευτών της.
12. Πρέπει να έχει ικανοποιητική ενεργειακή πυκνότητα (ενέργεια/μάζα)  
Η ενεργειακή πυκνότητα ενός κελιού σε συνδυασμό με τις ανάγκες αυτονομίας της μοτοσικλέτας, επηρεάζουν σημαντικά το τελικό βάρος του οχήματος. Για δεδομένη ποσότητα ενέργειας, υψηλότερη τιμή ενεργειακής πυκνότητας συνεπάγεται χαμηλότερο βάρος, αυξημένη αυτονομία, μεγαλύτερη ευελιξία και περισσότερη ευκολία στη χρήση της μοτοσικλέτας.

Με βάση τα παραπάνω και με ορισμένα οικονομικά κριτήρια, ο τύπος του κελιού του συσσωρευτή που επιλέχθηκε είναι ο εξής:

Μπαταρία ιόντων Λιθίου 3,2V (nominal) τύπου LiFePO<sub>4</sub> (LFP) 25Ah κυλινδρικής μορφής με χάλκινους νικελωμένους πόλους σπειρώματος M6 και οπή εκτόνωσης, διαφυγής αερίων.

Οι λόγοι για τους οποίους επιλέχθηκε αυτός ο τύπος συσσωρευτή και όχι κάποιος άλλος, είναι οι εξής:

Οι μπαταρίες LiFePO<sub>4</sub> (λιθίου φωσφορικού σιδήρου) προσφέρουν αρκετά πλεονεκτήματα για τη μετατροπή σε ηλεκτρική μοτοσικλέτα.

1. Υψηλή απόδοση: Οι μπαταρίες LiFePO<sub>4</sub> παρέχουν υψηλή ισχύ και απόδοση, επιτρέποντας ισχυρή επιτάχυνση και υψηλές ταχύτητες.
2. Μεγάλη διάρκεια ζωής: Οι μπαταρίες LiFePO<sub>4</sub> έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής σε σχέση με άλλους τύπους μπαταριών, με πολλές εκφάνσεις να αναφέρουν περισσότερους από 2000 κύκλους φόρτισης/εκφόρτισης.
3. Ασφάλεια: Οι μπαταρίες LiFePO<sub>4</sub> είναι σχεδιασμένες να είναι πιο ασφαλείς από άλλους τύπους μπαταριών, με χαμηλό κίνδυνο ανάφλεξης ή έκρηξης και ανθεκτικότητα σε υψηλές θερμοκρασίες.
4. Χαμηλή αυτοεκφόρτιση: Οι μπαταρίες LiFePO<sub>4</sub> έχουν χαμηλή αυτοεκφόρτιση, που σημαίνει ότι η ενέργειά τους διατηρείται για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα χωρίς φόρτιση.
5. Υψηλή αντοχή σε κύκλους φόρτισης/εκφόρτισης: Οι μπαταρίες LiFePO<sub>4</sub> μπορούν να αντέξουν πολλούς κύκλους φόρτισης και εκφόρτισης χωρίς σημαντική απώλεια απόδοσης. Αυτό τις καθιστά κατάλληλες για μακροχρόνια χρήση.
6. Ελαφρύ βάρος: Οι μπαταρίες LiFePO<sub>4</sub> έχουν σχετικά χαμηλό βάρος σε σύγκριση με άλλους τύπους μπαταριών, κάτι που συμβάλλει στη μείωση του συνολικού βάρους του οχήματος και επηρεάζει την απόδοση και την οδηγική εμπειρία.
7. Φιλικές προς το περιβάλλον: Οι μπαταρίες LiFePO<sub>4</sub> είναι πιο φιλικές προς το περιβάλλον σε σχέση με άλλους τύπους μπαταριών, καθώς δεν περιέχουν τοξικές ουσίες όπως μόλυβδος ή κάδμιο και είναι πιο ασφαλείς κατά τη διάρκεια της χρήσης και της απόρριψής τους.

8. Υψηλή θερμική αντοχή: Οι μπαταρίες LiFePO<sub>4</sub> έχουν υψηλή αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες, πράγμα που τις καθιστά κατάλληλες για χρήση σε ακραίες κλιματικές συνθήκες.

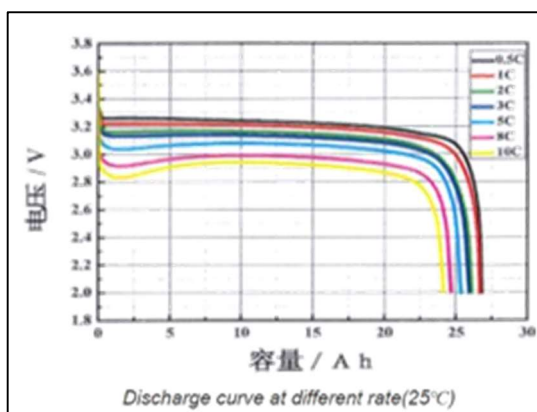
Παρόλο που οι μπαταρίες LiFePO<sub>4</sub> έχουν πολλά πλεονεκτήματα, υπάρχουν και ορισμένα μειονεκτήματα που λήφθηκαν υπόψη. Ορισμένα από αυτά είναι τα εξής:

1. Υψηλότερο κόστος: Οι μπαταρίες LiFePO<sub>4</sub> είναι συνήθως ακριβότερες σε σύγκριση με άλλους τύπους μπαταριών όπως οι μπαταρίες μολύβδου.
2. Χαμηλότερη ενεργειακή πυκνότητα: Οι μπαταρίες LiFePO<sub>4</sub> έχουν συνήθως χαμηλότερη ενεργειακή πυκνότητα σε σχέση με άλλους τύπους μπαταριών, πράγμα που σημαίνει ότι μπορεί να απαιτηθεί μεγαλύτερος όγκος για να αποθηκευτεί η ίδια ποσότητα ενέργειας.
3. Χαμηλότερη τάση: Οι μπαταρίες LiFePO<sub>4</sub> έχουν χαμηλότερη τάση εξόδου από άλλους τύπους μπαταριών, πράγμα που μπορεί να επηρεάσει την απόδοση ορισμένων ηλεκτρονικών συστημάτων

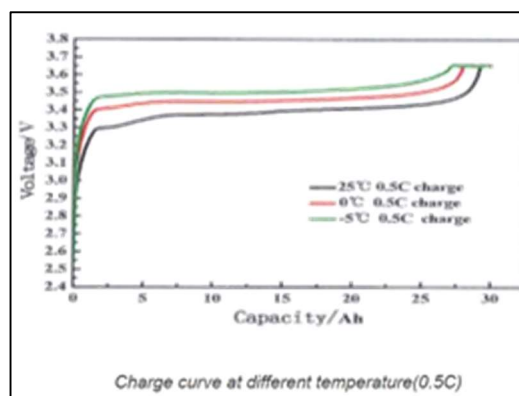


Εικόνα 30. 3D Απεικόνιση ενός κελιού.





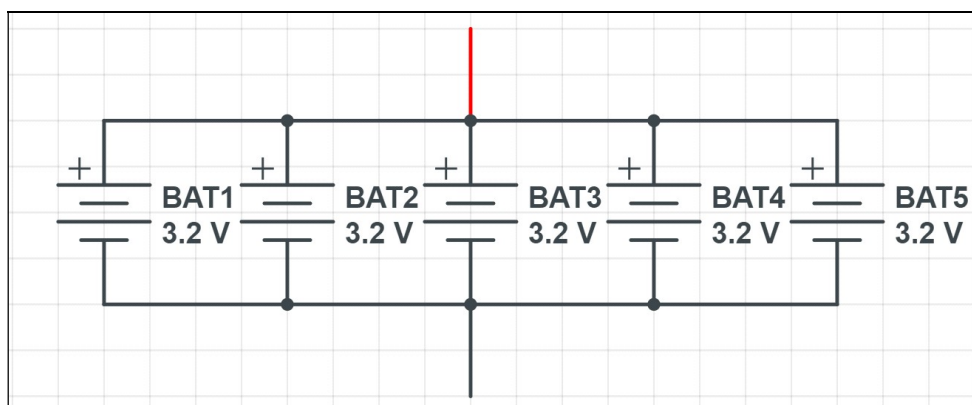
Εικόνα 31. Καμπύλες εκφόρτισης υπό σταθερή θερμοκρασία



Εικόνα 32. Καμπύλες φόρτισης υπό σταθερή ένταση ρεύματος

Για την σύνδεση όλων των κελιών επιλέχθηκε ένας συνδυασμός τεσσάρων συστοιχιών με την εξής σύνθεση.

Γενική (συνολική σύνθεση): 144V(nominal) – 125Ah – 18.0kWh (nominal) – 5p45s δηλαδή 45 κελιά εν σειρά πεντάδες. Κάθε unit αποτελείται από 5 κελιά σε παράλληλη σύνδεση 3,2V 25Ah με κάθε unit να έχει ονομαστική τάση 3,2V και συνδυασμένη χωρητικότητα 125Ah.

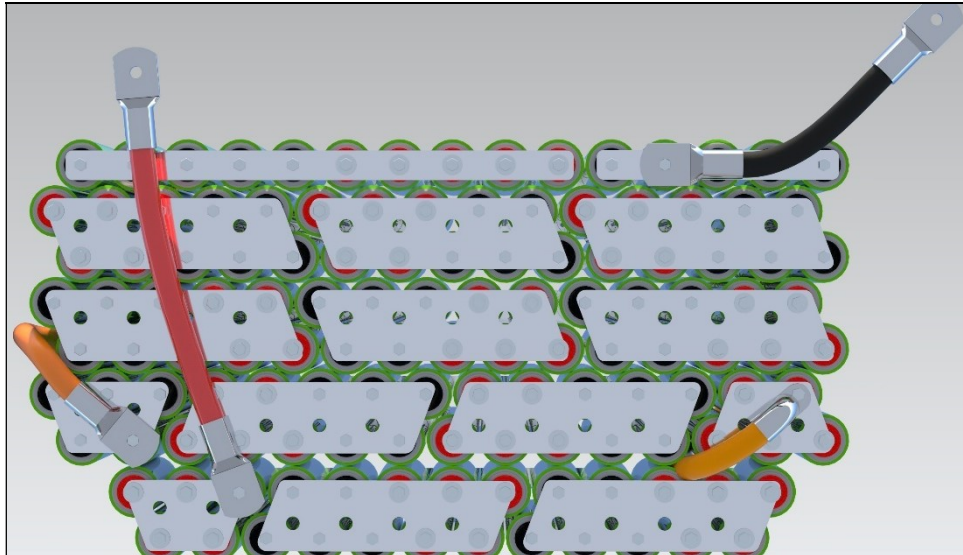


Εικόνα 33. Διαγραμματική απεικόνιση της συνδεσμολογίας των κελιών. 5 κελιά απαρτίζουν ένα unit.

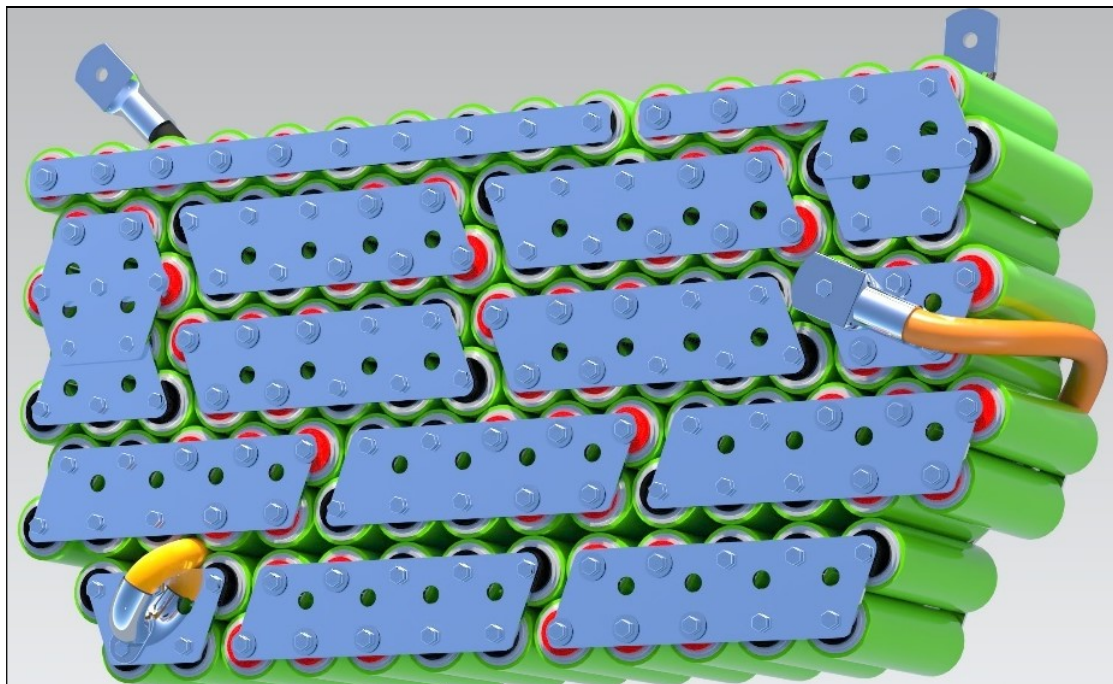
### 4.3 Συστοιχία Α'

83.2V (nominal) – 125Ah – 10.4kWh (nominal) – 5p26s, σύνολο 130 κελιά, 26 units.

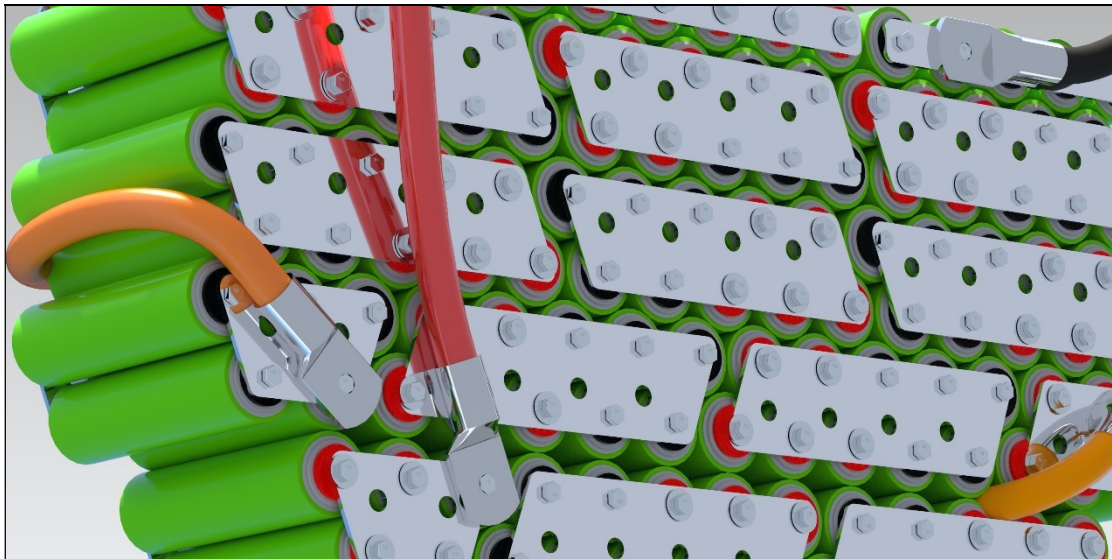
Η Α' συστοιχία αποτελείται από 130 κελιά (LFP) τα οποία είναι συνδεδεμένα σε 26 ομάδες των 5 κελιών. Δηλαδή έχουμε 5 κελιά τα οποία είναι συνδεδεμένα παράλληλα μεταξύ τους για να δημιουργηθούν 26 «μονάδες» των 5 κελιών με αθροιστική ονομαστική χωρητικότητα  $[5 \times 25\text{Ah} = 125\text{Ah}]$  και ονομαστική τάση 3.2V. Η συνολική ονομαστική τάση της Α' συστοιχίας είναι  $[26 \times 3.2\text{V} = 83.2\text{V}]$ . Η ονομαστική ενέργεια της συστοιχίας αυτής είναι  $[83.2\text{V} \times 125\text{Ah} = 10400\text{Wh}]$  ή 10.4kWh



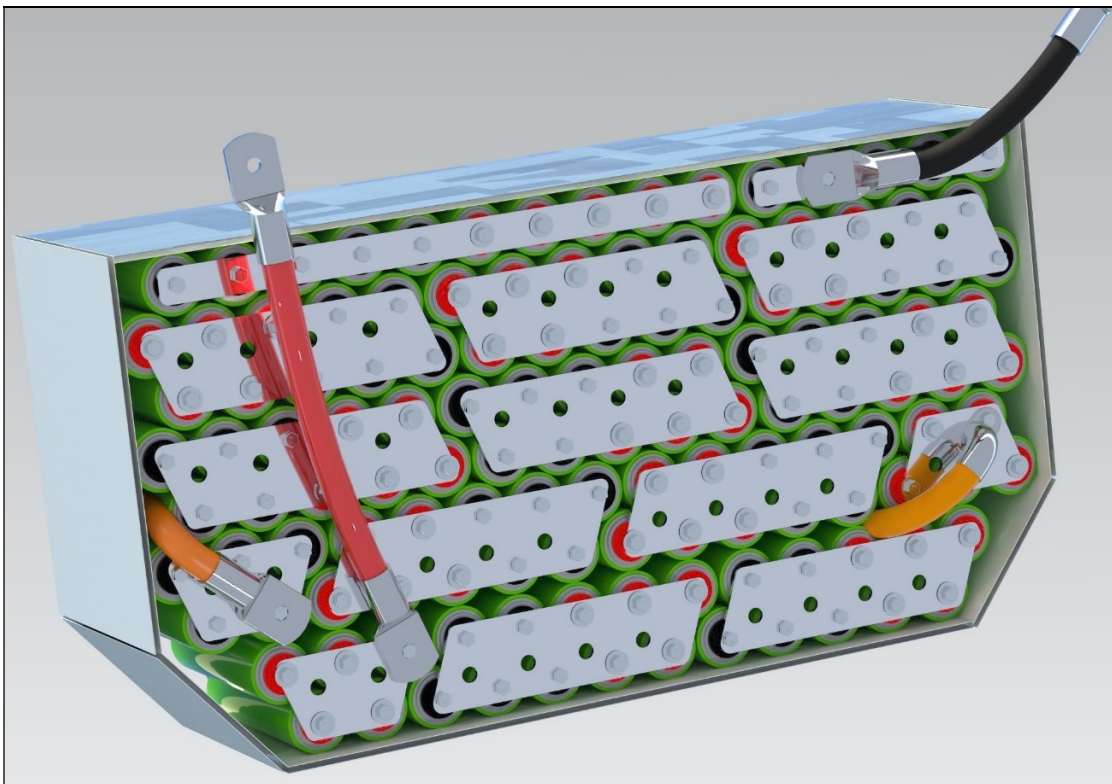
Εικόνα 34. Φωτορεαλιστική απεικόνιση της διάταξης των κελίων στην Α' Συστοιχία μπαταριών, μπροστά μέρος



Εικόνα 35. Φωτορεαλιστική απεικόνιση της διάταξης των κελίων στην Α' Συστοιχία μπαταριών, πίσω μέρος.

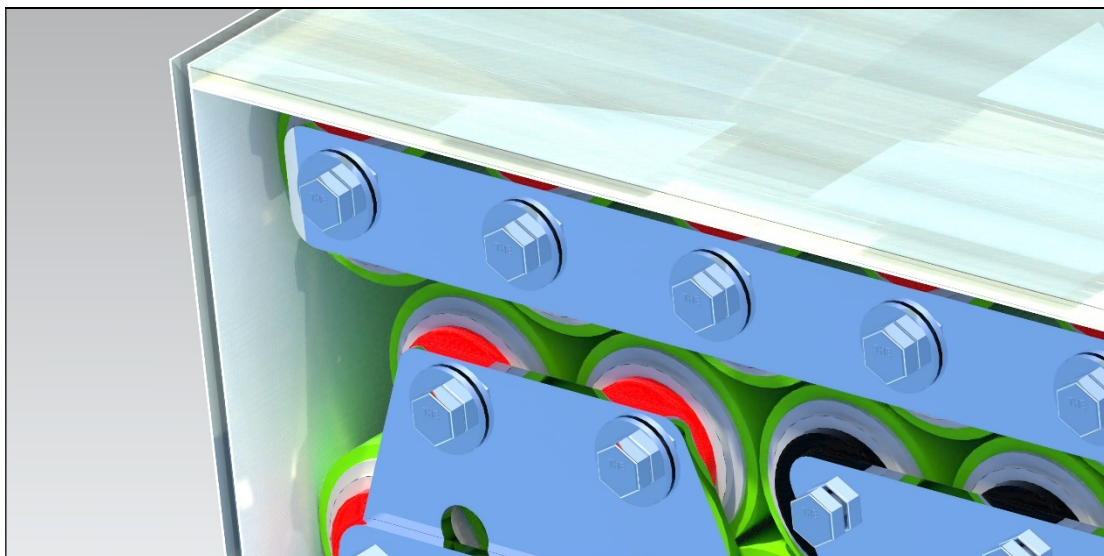


Εικόνα 36. Φωτορεαλιστική απεικόνιση της διάταξης των κελίων στην Α' Συστοιχία μπαταριών, μπροστά μέρος (λεπτομέρεια).



Εικόνα 37. Εδώ διακρίνεται το εξωτερικό κέλυφος της συστοιχίας, μπροστά μέρος.





Εικόνα 38. Λεπτομέρεια κελύφους Α' Συστοιχίας μπαταριών.

Στις παραπάνω εικόνες [Εικόνα 37-40.] φαίνεται η διάταξη και η συνδεσμολογία της Συστοιχίας Α'. Οι διανομείς παροχής (Bus Bars) είναι από ανοδιωμένο αλουμίνιο με προφίλ **65mm x 4mm**. Στο σημείο επαφής με τους πόλους της μπαταρίας έχει αφαιρεθεί η ανοδίωση ώστε η ηλεκτρική αντίσταση επαφής να είναι αμελητέα. Μικρή αντίσταση επαφής συνεπάγεται σε μικρές απώλειες και μικρή έκλυση θερμότητας σε υψηλές εντάσεις ρεύματος.



Πίνακας 1. Ικανότητα μεταφοράς έντασης ρεύματος (A) αλουμινένιων αγωγών ανά τυποποιημένες διατομές εμπορίου. Πηγή SoEE.

BUS BAR - Aluminium													
Constructional details & Current carrying capacity at 35°C Amp. Temperature													
SIZE in MM		AREA in Sq MM	Weight in Kg / Mtr	Current carrying capacity in Amps									
				AC ( No of Bus )				DC ( No of Bus )					
				I	II	III	II II	I	II	III	II II		
12	X	2	24	0.0633	80	140				80	145		
15	X	2	30	0.0795	95	170				95	175		
15	X	3	45	0.12	115	210				115	220		
20	X	2	40	0.107	120	220				125	225		
20	X	3	60	0.161	145	270				150	280		
20	X	5	100	0.268	195	350				200	370		
25	X	3	75	0.201	180	330				185	340		
25	X	5	125	0.335	230	430				235	440		
30	X	3	90	0.242	205	385				275	520		
30	X	5	150	0.503	270	500				220	400		
40	X	3	120	0.323	280	500				285	525		
40	X	5	200	0.538	350	650				360	660		
40	X	10	400	1.08	515	975	1350	1800		540	1000	1420	
50	X	5	250	0.673	425	780	1120	1500		445	815	1220	
50	X	10	500	1.35	625	1150	1600	2160		655	1220	1730	
60	X	5	300	0.808	500	900	1300	1730		530	960	1420	1850
60	X	10	600	1.62	730	1330	1900	2500		770	1430	2030	2600
80	X	5	400	1.08	680	1170	1630	2230		700	1250	1850	2400
80	X	10	800	2.16	940	1700	2360	3150		985	1840	2640	3400
100	X	5	500	1.35	820	1440	2000	2600		855	1550	2220	2900
100	X	10	1000	2.7	1150	2050	2800	3700		1200	2240	3200	4200
100	X	15	1500	4.04	1450	2500	3350	4400		1500	2750	4000	5200
120	X	10	1200	3.24	1350	2400	3250	4300		1420	2700	3900	5100
120	X	15	1800	4.36	1650	2900	3900	5000		1750	3250	4800	6300
160	X	10	1600	4.32	1750	3000	4150	5300		1850	3450	5000	6500
160	X	15	2400	6.47	2100	3600	4850	6250		2300	4000	6200	8100
200	X	10	2000	5.4	2150	3650	4950	6400		2300	4300	6200	8100
200	X	15	3000	8.09	2550	4200	5600	7300		2850	5250	7650	10100

Οι ανάγκες του συστήματος είναι 305,8A για κανονικές συνθήκες λειτουργίας. Ένας αλουμινένιος αγωγός (διανομέας) διατομής 250mm<sup>2</sup> μπορεί να προσπελαστεί με 445A συνεχούς έντασης ρεύματος. Ο αγωγός που χρησιμοποιήθηκε στους συσσωρευτές έχει διατομή

$$65\text{mm} \times 4\text{mm} = 260\text{mm}^2 > 250\text{mm}^2$$

Επομένως, θεωρείται επαρκής η διαστασολόγηση των αγωγών που συνδέουν τα κελιά των συσσωρευτών. Επίσης, θεωρείται ότι υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας, οι αγωγοί δεν θα υπερθερμανθούν.

Ο παραπάνω πίνακας [Πίνακας 2.] χρησιμοποιήθηκε για την επιλογή του κατάλληλου πάχους του αλουμινένιου διανομέα. Η πραγματική ανάγκη για συνεχόμενη ένταση ρεύματος είναι 350A συμπεριλαμβανομένου και του συντελεστή ασφαλείας 15% (πραγματική ανάγκη 305,8A). Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα, ένας διανομέας με εμβαδόν διατομής 200mm<sup>2</sup>

ήταν αρκετός. Στη συγκεκριμένη περίπτωση με δεδομένο πλάτος 65mm, προτιμήθηκε διανομέας πάχους 4mm διότι αφενός ήταν πιο εύκολη η προμήθειά του και αφετέρου για 3mm πάχους η διατομή είναι  $195\text{mm}^2$  ( $\approx 350\text{A}$ ), ενώ για 4mm πάχους η διατομή του είναι  $260\text{mm}^2$  ( $\approx 460\text{A}$ ). Οι διανομείς με μικρότερο πλάτος έχουν μεγαλύτερο πάχος ώστε να παραμένει ίδια η διατομή των  $260\text{mm}^2$ .

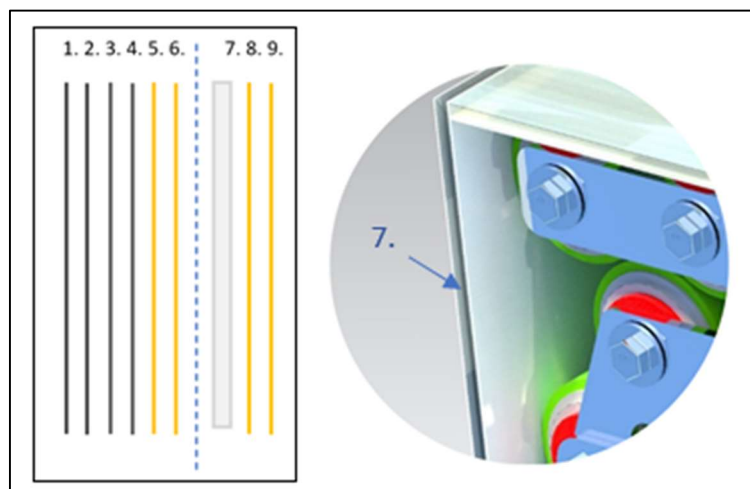
Πίνακας 3. Ικανότητα διαρροής έντασης ρεύματος (A) χάλκινων αγωγών χωρίς μόνωση ανά τυποποιημένες διατομές εμπορίου. Πηγή SoEE.

Nom. cross-section	Max. permitted current rating		Nom. cross-section	Max. permitted current rating
mm <sup>2</sup>	approx. A*		mm <sup>2</sup>	approx. A*
0.10	5		25	150
0.14	6		35	195
0.20	7		50	250
0.25	9		70	300
0.35	10		95	360
0.50	12.5		120	420
0.75	15		150	480
1	18		185	570
1.50	21		240	670
2.50	30		300	780
4	40		400	950
5.25	44		500	1100
6	55		625	1300
8	70		800	1500
10	85		1000	1800
16	120			

\* Measured at 35 °C room temperature and max. permitted conductor temperature of 70 °C

Για την σύνδεση μακρινών units, όπου δηλαδή δεν ήταν εφικτή η χρήση διανομέων, χρησιμοποιήθηκε χάλκινος νικελωμένος πολύκλωνος αγωγός διατομής  $95\text{mm}^2$  [Πίνακας 2.] με τον αντίστοιχο χάλκινο νικελωμένο ακροδέκτη. Η μόνωση αγωγού, όπου αυτός παραβρίσκεται μέσα στο σύστημα, είναι διπλή πολυεθυλενική αυτοκινητιστικού τύπου χρώματος μαύρου, κόκκινου και πορτοκαλί. Οι μαύροι και οι κόκκινοι αγωγοί που βρίσκονται εκτός του προστατευτικού κελύφους των μπαταριών, επενδύθηκαν με αντιτριβική μονωτική ταινία χρώματος πορτοκαλί. Ο μαύρος και ο κόκκινος χρωματισμός των αγωγών δηλώνουν τον αρνητικό πόλο ισχύος και τον θετικό πόλο αντίστοιχα. Ο πορτοκαλί χρωματισμός καθιστά ευδιάκριτους τους αγωγούς που διαρρέονται από τάση μεγαλύτερη των 60V [προδιαγραφή IEC 60449] (στην προκειμένη περίπτωση έως 180V) και είναι ισχύος.

Η Συστοιχία Α' περιβάλλεται περιμετρικά από ένα σύμμικτο κέλυφος από αραμίδιο (Kevlar), αναθρακονήματα και μονωμένο κυψελωτό πολυκαρμπονικό φύλλο πάχους 4mm. Η διάταξη του κελύφους αυτού φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 39. Λεπτομέρεια στρωμάτων κελύφους Α' Συστοιχίας μπαταριών.

Στην παραπάνω εικόνα [Εικόνα 42.] διακρίνονται μόνο τα στρώματα 7., 8. και 9. Το στρώμα 7. είναι το κυψελωτό πολυκαρμπονικό φύλλο και εξωτερικό. Επιλέχθηκε διότι έχει πολύ καλές διηλεκτρικές, αντι-αντιστατικές ιδιότητες. Επίσης, έχει πολύ καλή αντοχή στην κρούση και στην μηχανική καταπόνηση. Τέλος, οι κυψελίδες του έχουν σφραγιστεί, δημιουργώντας έτσι θυλάκια αέρα με αποτέλεσμα να μπορεί να απορροφά αποτελεσματικότερα τους κραδασμούς της μοτοσικλέτας κατά την ανάβαση.



Εικόνα 40. Λεπτομέρεια στρωμάτων κελύφους Α' Συστοιχίας μπαταριών

Τα στρώματα 8. και 9. είναι Kevlar πάχους 0,28mm με ειδικό βάρος 280gr/m<sup>2</sup> και απλή πλέξη. Είναι τα στρώματα στα οποία αγγίζουν τα κελιά. Το Kevlar είναι καλός μονωτής του ηλεκτρικού ρεύματος και έχει πολύ καλές αντιτριβικές ιδιότητες. Σκοπός του σε αυτό το κέλυφος είναι να απομονώνει ηλεκτρικά τα κελιά της συστοιχίας μπαταριών, να προστατεύει το πολυκαρμπονικό φύλλο από φθορές και καταπονήσεις και να δίνει σε όλο το σύστημα την απαιτούμενη ελαστικότητα αλλά και ακαμψία. Τα τρία αυτά στρώματα ενώνονται με μία εποξειδική ρητίνη υψηλής μηχανικής αντοχής, δημιουργώντας το κέλυφος περιμετρικά της συστοιχίας. Τα ηλεκτρικά αγωγικά μέρη της συστοιχίας έχουν επενδυθεί με ρευστό καουτσούκ. Η στρώση αυτή κρατά μακριά την υγρασία από τις ηλεκτρικές «επαφές» και τις μονώνει ηλεκτρικά. Ενδιάμεσα σε όλα τα κελιά έχουν τοποθετηθεί ακροφύσια αερισμού, ψύξης και θέρμανσης των κελιών. Σκοπός τους είναι να κρατούν τα κελιά σε κατάλληλη θερμοκρασία και υγρασία λειτουργίας. Υγρασία <35%, θερμοκρασία -15°C <Θ<45°C. Σε διάφορα σημεία έχουν τοποθετηθεί αισθητήρες θερμοκρασίας και υγρασίας με βάσει τους οποίους ρυθμίζεται η παροχή αέρα και η θερμοκρασία του. Ο ρόλος και η λειτουργία του συστήματος διαχείρισης θερμοκρασίας και υγρασίας θα αναλυθεί παρακάτω.





Εικόνα 41. Πραγματική απεικόνιση της Συστοιχίας Α' πριν γίνει διάστρωση με γομοειδής μονωτική επικάλυψη

Στην εικόνα [Εικόνα 44.] διακρίνονται τα ακροφύσια αερισμού [Α], οι διανομείς ισχύος (Bus Bars) [Β], οι αγωγοί ισχύος, οι δείκτες «ακροδέκτες» του συστήματος διαχείρισης μπαταρίας (BMS) [C], οι αισθητήρες θερμοκρασίας και υγρασίας [D].



Εικόνα 42. Πραγματική απεικόνιση της Συστοιχίας Α' αφού έχει γίνει διάστρωση με γομοειδής μονωτική επικάλυψη. (πίσω πλευρά)

Στην παραπάνω εικόνα [Εικόνα 45.] διακρίνεται η πίσω όψη της Συστοιχίας Α' επικαλυμμένη με ρευστό μονωτικό καουτσούκ (μαύρη επικάλυψη). Διακρίνονται επίσης, οι διανομείς ισχύος (Bus Bars), οι αγωγοί ισχύος, οι δείκτες «ακροδέκτες» του συστήματος διαχείρισης μπαταρίας (BMS), οι αισθητήρες θερμοκρασίας και υγρασίας.



Εικόνα 43. Πραγματική απεικόνιση της Συστοιχίας Α' αφού έχει γίνει διάστρωση με γομοειδής μονωτική επικάλυψη. (πίσω πλευρά)



Εικόνα 44. Πραγματική απεικόνιση της Συστοιχίας Α' αφού έχει τοποθετηθεί το σύμμικτο περίβλημα περιμετρικά των κελιών. Η συστοιχία έχει περιτυλιχθεί με λεπτή αντιστατική μεμβράνη, η οποία βοηθά στην διαδικασία διάστρωσης ενισχυτικών υφασμάτων.





Εικόνα 45.

Στις παρακάτω εικόνες [Εικόνα 47-48.] διακρίνεται η τελική μορφή της συστοιχίας Α'. Οι παρακάτω απεικονίσεις είναι το αμέσως επόμενο στάδιο μετά την τοποθέτηση της αντιστατικής μεμβράνης. Πρόκειται για έξι στρώσεις ενισχυτικών υφασμάτων 4 στρώσεις ανθρακονημάτων πλέξης 4x4 twill 280g/m<sup>2</sup> πάχους 0,295mm [εξωτερικά] και 2 στρώσεις Kevlar 280g/m<sup>2</sup> πάχους 0,3mm. Το συνολικό πάχος της εξωτερικής επένδυσης ανέρχεται στα 1,78mm ~ 1,82mm. Περιμετρικά της συστοιχίας το τελικό πάχος όλης της επένδυσης ανέρχεται στα 6,4mm.

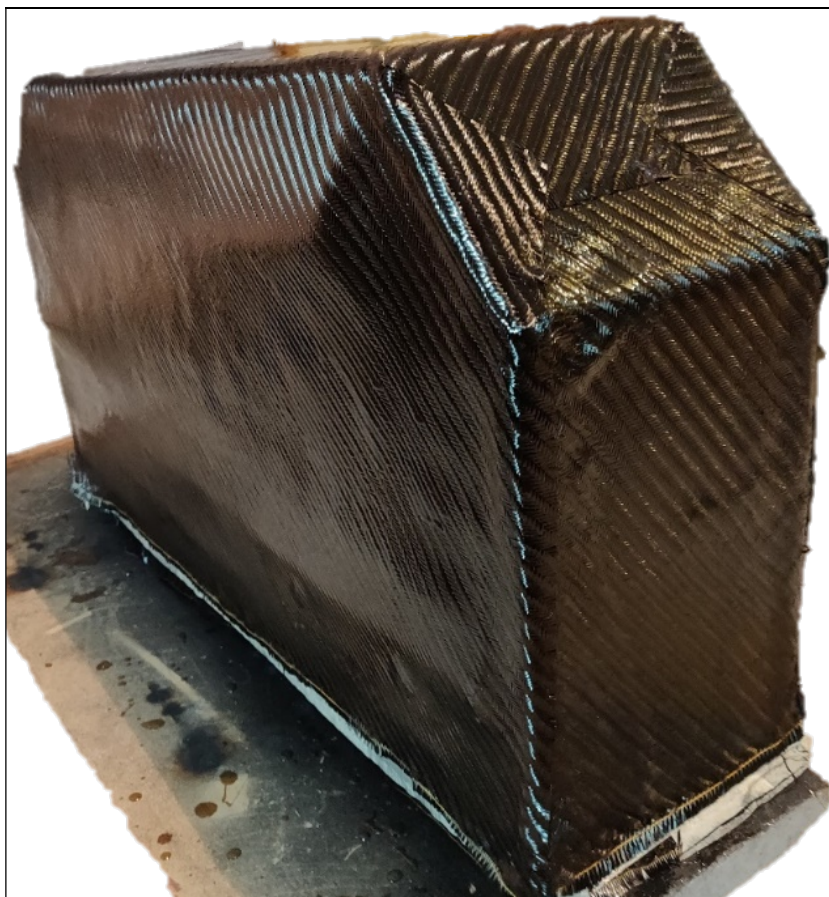


Η διάστρωση των πρώτων τεσσάρων υφασμάτων έγινε με σχετικό προσανατολισμό  $\pm 45^\circ$ . Τα υπόλοιπα δύο στρώματα τοποθετήθηκαν με ίσο και όμοιο σχετικό προσανατολισμό  $0^\circ$ . Το τελικό περίβλημα όλων των συστοιχιών διαστρώθηκε με την μέθοδο wet hand lay-up και έπειτα συμπυκνώθηκε υπό κενό σε πίεση 1atm. Για τη σύνδεση των ενισχυτικών υφασμάτων, σε όλα τα σημεία που συναντώνται, επιλέχθηκε ένα μίγμα εποξειδικής ρητίνης και αργού καταλύτη πολυμερισμού για καλύτερα αποτελέσματα και περισσότερη ώρα εργασιμότητας του μίγματος. Λόγω αυξημένου κόστους και λιγοστού διαθέσιμου χρόνου, σε καμία φάση της κατασκευής δεν φινιρίστηκε και γυαλίστηκε η τελική επιφάνεια των ανθρακονημάτων. Αντ' αυτού χρωματίστηκε με απλή ακριλική βαφή.

Οι λόγοι που επιλέχθηκαν τα ενισχυτικά υφάσματα αντί κάποιας άλλης λύσης, όπως να κατασκευαστεί το περίβλημα (κουτί) των συσσωρευτών από χάλυβα ή αλουμίνιο, είναι οι εξής: Αρχικά, η εφαρμοσμένη λύση έχει το χαμηλότερο δυνατό βάρος για δεδομένη ακαμψία. Το τελικό βάρος του κελύφους της συστοιχίας Α' δεν ξεπερνά τα 1900gr επίσης, κάνοντας χρήση οποιουδήποτε άλλου υλικού δημιουργούνταν το πρόβλημα της χωροθέτησης, καθώς με κανένα άλλο τρόπο δεν θα μπορούσε να κατασκευαστεί κάποιο περίβλημα που να εφαρμόζει τέλεια στην ανομοιομορφία της συστοιχίας, χωρίς να καταλαμβάνει περίσσιο χώρο. Επιπροσθέτως, αν γινόταν χρήση κάποιου μετάλλου, θα ήταν αμφίβολη η απομόνωση όλων των κελιών από το περίβλημά τους, ήτοι θα υπήρχε σοβαρός κίνδυνος



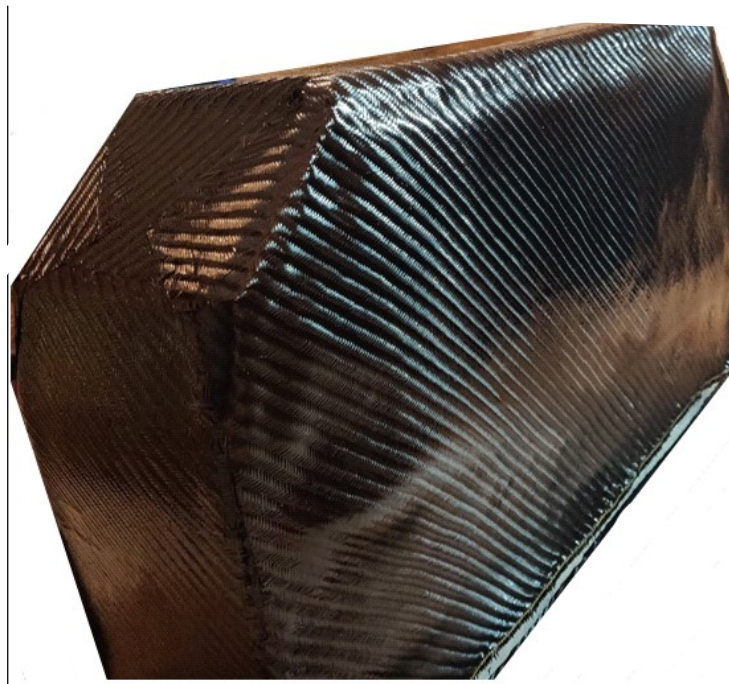
βραχυκυκλώματος. Τα εσωτερικά υφάσματα, όπως προαναφέρθηκε, είναι από Kevlar, το οποίο φθείρεται δύσκολα και είναι καλός μονωτής του ηλεκτρισμού. Έχει αποδειχθεί πειραματικά ότι η τάσης διάσπασης του υλικού αυτού υπερβαίνει τα 150kV/mm [20]. Αυτή η ιδιότητα το καθιστά ικανότερο μονωτή από το πολυστρωματικό PVC που χρησιμοποιείται σε όλους τους αγωγούς Η.Ο. αλλά εξαιρετικά ακριβό. Ενδεικτικά το PVC έχει τάση διάσπασης ~30kV/mm. Πέραν τούτου, το Kevlar στην εσωτερική μεριά του κελύφους, σε συνδυασμό με το κυψελωτό πολυκαρμπονικό στρώμα, απορροφούν άριστα όλους τους κραδασμούς και παραλαμβάνουν όλα τα φορτία εφελκυσμού που δύναται να δημιουργηθούν. Τέλος το κουτί είναι πλήρως υδατοστεγές και δε χρίζει καμίας συντήρησης.



Εικόνα 46. Διάστρωση ενισχυτικών υφασμάτων στην Α' Συστοιχία μπαταριών.



Εικόνα 47. Διάστρωση ενισχυτικών υφασμάτων στην Α' Συστοιχία μπαταριών, άλλη όψη.

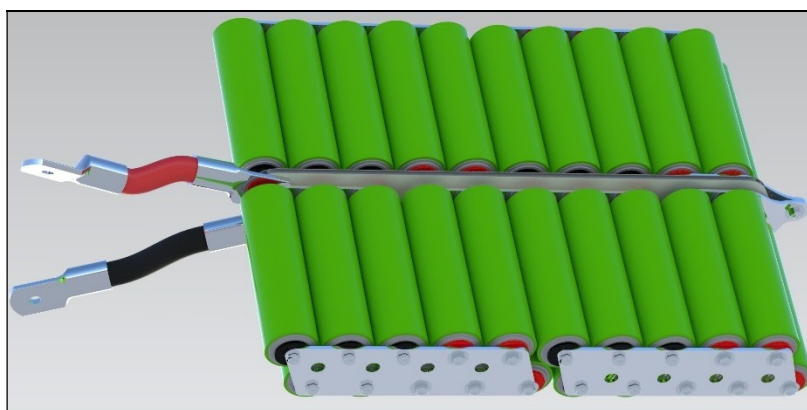


Εικόνα 48. Διάστρωση ενισχυτικών υφασμάτων στην Α' Συστοιχία μπαταριών, άλλη όψη.

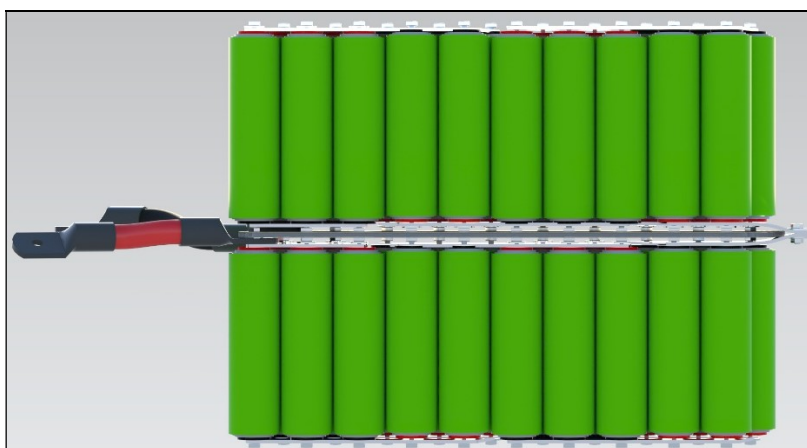
### 4.3 Συστοιχία Β'

25.6V (nominal) – 125Ah – 3.2kWh (nominal) – 5p8s σύνολο 40 κελιά, 8 units

Η Β' συστοιχία αποτελείται από 40 κελιά (LFP) τα οποία είναι συνδεδεμένα σε 8 ομάδες των 5 κελιών. Δηλαδή έχουμε 5 κελιά τα οποία είναι συνδεδεμένα παράλληλα μεταξύ τους για να δημιουργηθούν 8 «μονάδες» των 5 κελιών με αθροιστική ονομαστική χωρητικότητα [ $5 \times 25\text{Ah} = 125\text{Ah}$ ] και ονομαστική τάση 3.2V. Η συνολική ονομαστική τάση της Β' συστοιχίας είναι [ $8 \times 3.2\text{V} = 25.6\text{V}$ ]. Η ονομαστική ενέργεια της συστοιχίας αυτής είναι [ $25.6\text{V} \times 125\text{Ah} = 3200\text{Wh}$  ή 3.2kWh]

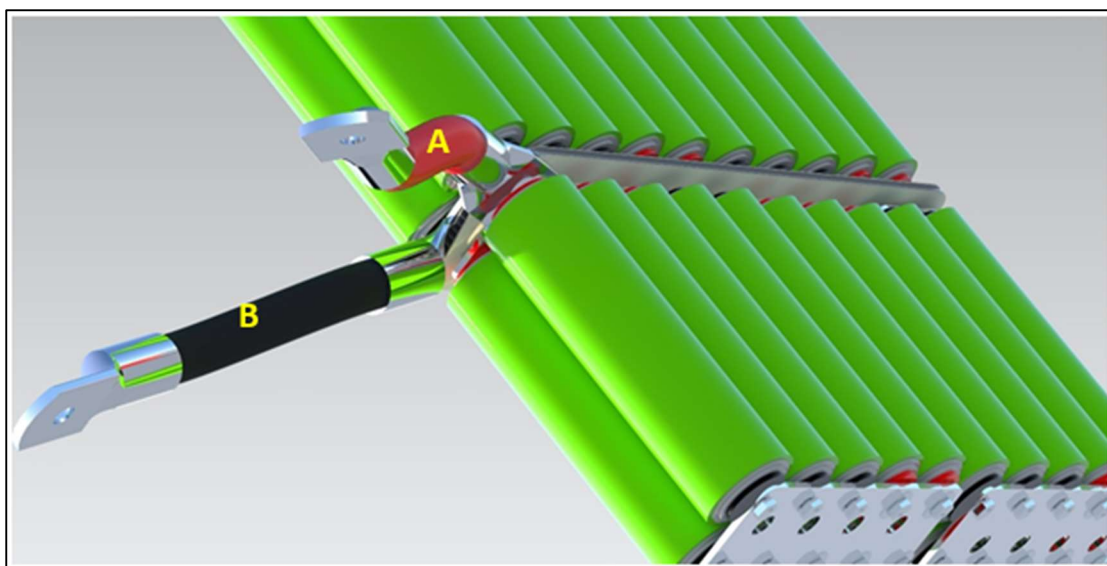


Εικόνα 49. Φωτορεαλιστική απεικόνιση της διάταξης των κελίων στην Β' Συστοιχίας μπαταριών

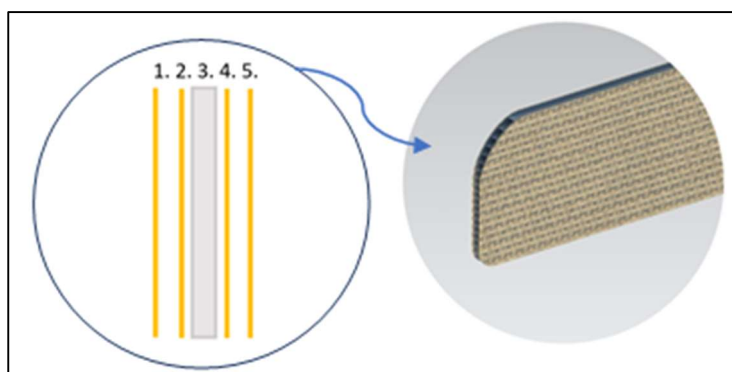


Εικόνα 50. Φωτορεαλιστική απεικόνιση της διάταξης των κελίων στην Β' Συστοιχίας μπαταριών

Η συστοιχία Β' κατασκευάστηκε με όμοιο τρόπο με την συστοιχία Α'. Το εξωτερικό κέλυφος της συστοιχίας αποτελείται από 7 στρώματα ενισχυτικού υφάσματος. [3 Kevlar εσωτερικά και 4 στρώσεις ανθρακονημάτων εξωτερικά]. Η επιπλέον προσθήκη ενός στρώματος Kevlar έγινε για λόγους αύξησης του συνολικού πάχους, και για λόγους μεγαλύτερης προστασίας από εξωτερικούς παράγοντες. Ενώ οι υπόλοιπες συστοιχίες περιβάλλονται από τα διάφορα ηλεκτρομηχανικά μέρη της μοτοσικλέτας και από το εξωτερικό κοστούμι, η συστοιχία Β' είναι τοποθετημένη στη θέση όπου θα συναντούσε κανείς τον εναλλάκτη θερμότητας σε μια συμβατική μοτοσικλέτα, δηλαδή στο μπροστινό μέρος κάτω από τον άξονα του τιμονιού και πίσω από τον εμπρόσθιο τροχό.



Εικόνα 51. Φωτορεαλιστική απεικόνιση της διάταξης των κελίων στην Β' Συστοιχίας μπαταριών, λεπτομέρεια αγωγών.



Εικόνα 52.

Δίπλα φαίνεται το «διαχωριστικό» στρώμα που αποτρέπει τις αντικριστές ηλεκτρικές επαφές των κελιών να βραχυκυκλώσουν η μία την άλλη. Τα στρώματα 1., 2., 4. και 5. Είναι από Kevlar πάχους 0,28mm με ειδικό βάρος 280gr/m<sup>2</sup> και απλή πλέξη. Το στρώμα 3. είναι κυψελωτό πολυκαρμπονικό φύλλο

[Α.] Θετικός πόλος της συστοιχίας, [Β.] Αρνητικός πόλος της συστοιχίας. [Γ.] Αεραγωγοί αερισμού

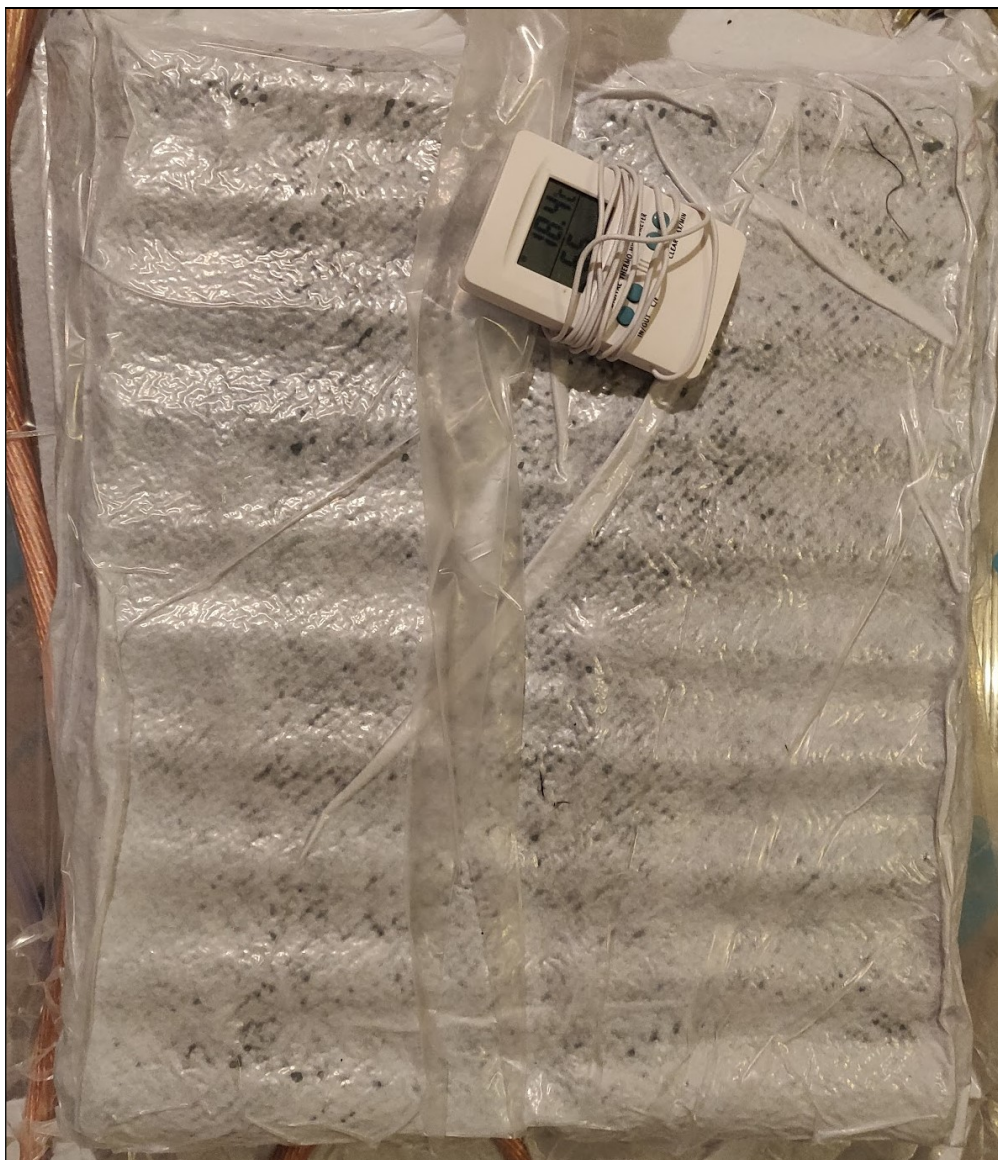




Εικόνα 53.

Η διαφορά στον χρωματισμό των αγωγών ισχύων που παρατηρείται ανάμεσα στις δύο εικόνες έγκειται στο γεγονός ότι κατά την ηλεκτρονική σχεδίαση της συστοιχίας τηρήθηκε ή παραδοχή αρνητικός πόλος – μαύρο, θετικός πόλος – κόκκινο. Κατά την κατασκευή αυτοί οι δύο πόλοι βρίσκονται εκτός του προστατευτικού κελύφους, εκτεθειμένοι στο περιβάλλοντα χώρο, άρα για λόγους ασφάλειας χρησιμοποιήθηκαν αγωγοί πορτοκαλί χρώματος.





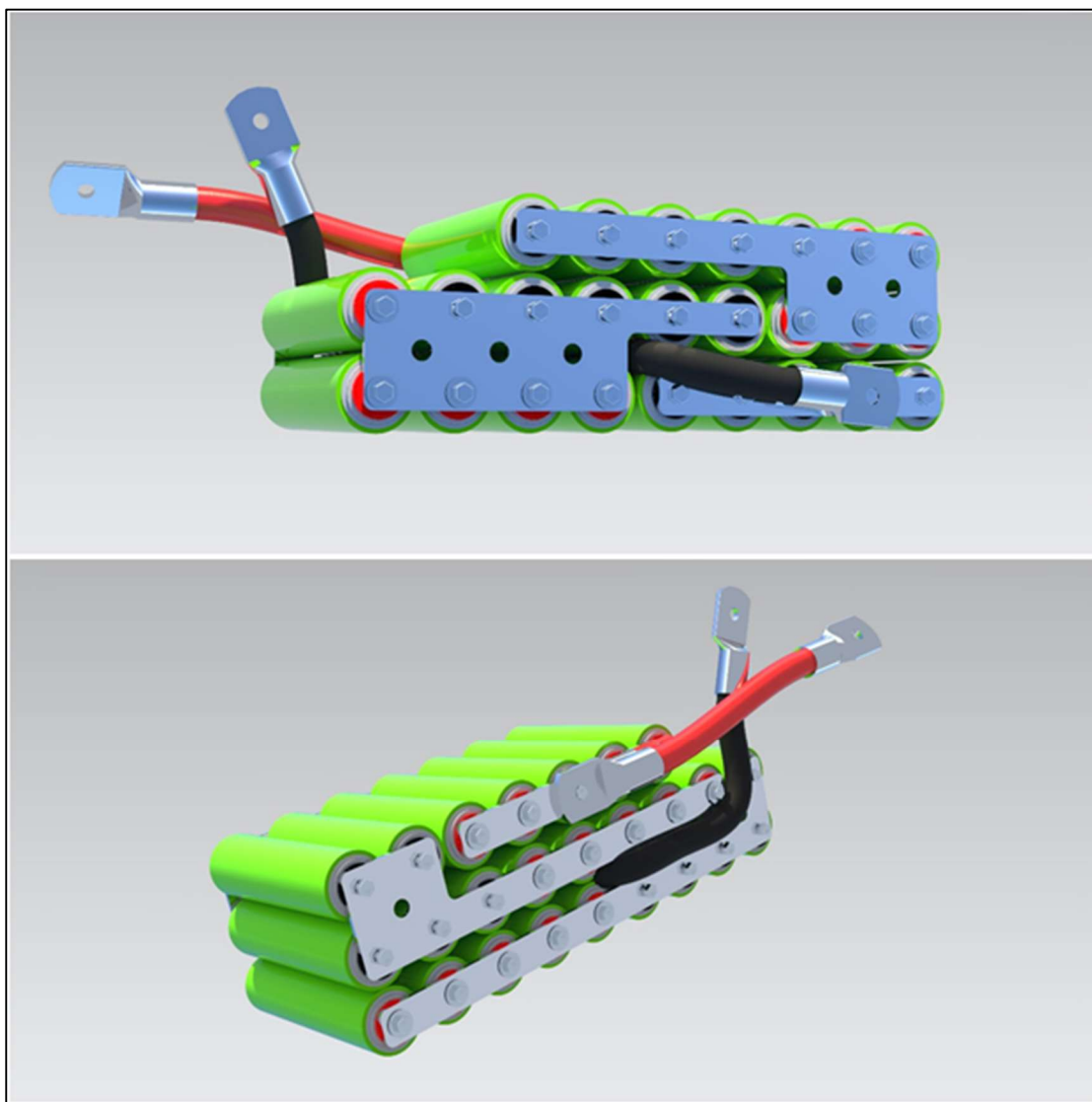
*Εικόνα 54. Πραγματική απεικόνιση της Συστοιχίας Β' αφού έχει γίνει εμποτισμός των ενισχυτικών υφασμάτων με ρητίνη [Εμπρός πλευρά]*

Στην παραπάνω εικόνα [Εικόνα 58.] φαίνεται η Β' συστοιχία κατά τη διάρκεια κατασκευής του εξωτερικού κελύφους. Για τη διάστρωση και τον εμποτισμό των ενισχυτικών υφασμάτων με εποξική ρητίνη χρησιμοποιήθηκαν τα εξής αναλώσιμα: Ισχυρή μεμβράνη από nylon, breather cloth, peel ply, vacuum hoses, θερμόμετρο και υγρασιόμετρο. Αυτά τα υλικά χρησιμοποιήθηκαν σέ όλα τα εξαρτήματα που ενισχύθηκαν με συνθετικά υφάσματα.

### 4.3 Συστοιχία Γ'

16V (nominal) – 125Ah – 2kWh (nominal) – 5p5s σύνολο 25 κελιά, 5 units

Η Γ' συστοιχία αποτελείται από 25 κελιά (LFP) τα οποία είναι συνδεδεμένα σε 5 ομάδες των 5 κελιών. Δηλαδή έχουμε 5 κελιά τα οποία είναι συνδεδεμένα παράλληλα μεταξύ τους για να δημιουργηθούν 5 «μονάδες» των 5 κελιών με αθροιστική ονομαστική χωρητικότητα [ $5 \times 25\text{Ah} = 125\text{Ah}$ ] και ονομαστική τάση 3.2V. Η συνολική ονομαστική τάση της Γ' συστοιχίας είναι [ $26 \times 3.2\text{V} = 83.2\text{V}$ ]. Η ονομαστική ενέργεια της συστοιχίας αυτής είναι [ $16\text{V} \times 125\text{Ah} = 2000\text{Wh}$  ή 2kWh]



Εικόνα 55. Φωτορεαλιστική απεικόνιση της διάταξης των κελίων στην Α' Συστοιχίας μπαταριών



Εικόνα 56. Πραγματική απεικόνιση της Συστοιχίας Γ' αφού έχει γίνει διάστρωση με γομοειδής μονωτική επικάλυψη [Δεξιά πλευρά]

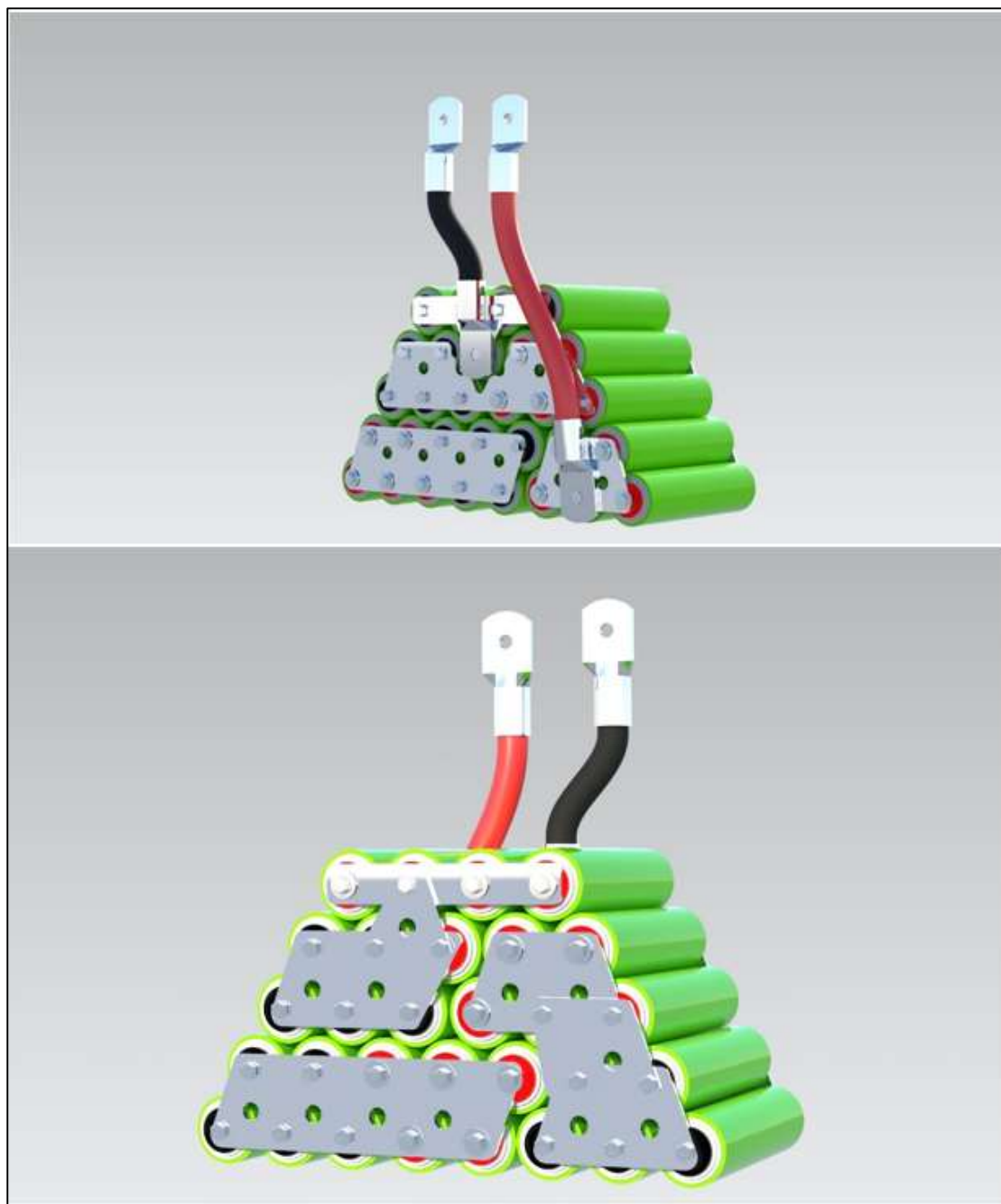
Στις εικόνες [Εικόνα 59-60.] διακρίνονται οι διανομείς ισχύος (Bus Bars) [A], οι αγωγοί ισχύος [B] και τα ακροφύσια αερισμού [Γ]

Η συστοιχία Γ' χωροθετείται πάνω από την Α' συστοιχία. Η «εγκοπή» που έχει στην άνω σειρά εξυπηρετεί στο να δημιουργηθεί το κατάλληλο κενό, ώστε να διανεμηθούν διάφοροι αγωγοί ισχύος και λοιπές καλωδιώσεις. Αξίζει να σημειωθεί ότι η διάταξη των κελίων είναι γραμμική τετραγωνική, σε αντίθεση με τις υπόλοιπες συστοιχίες οι οποίες ακολουθούν αυστηρά την ισόπλευρη τριγωνική διάταξη.

### 4.3 Συστοιχία Δ'

19,2V (nominal) – 125Ah – 2,4kWh (nominal) – 5p6s σύνολο 30 κελιά, 6 units

Η Δ' συστοιχία αποτελείται από 30 κελιά (LFP) τα οποία είναι συνδεδεμένα σε 6 ομάδες των 5 κελιών. Δηλαδή έχουμε 5 κελιά τα οποία είναι συνδεδεμένα παράλληλα μεταξύ τους για να δημιουργηθούν 6 «μονάδες» των 5 κελιών με αθροιστική ονομαστική χωρητικότητα [ $5 \times 25\text{Ah} = 125\text{Ah}$ ] και ονομαστική τάση 3.2V. Η συνολική ονομαστική τάση της Δ' συστοιχίας είναι [ $6 \times 3.2\text{V} = 19.2\text{V}$ ]. Η ονομαστική ενέργεια της συστοιχίας αυτής είναι [ $19.2\text{V} \times 125\text{Ah} = 2400\text{Wh}$  ή 2.4kWh]

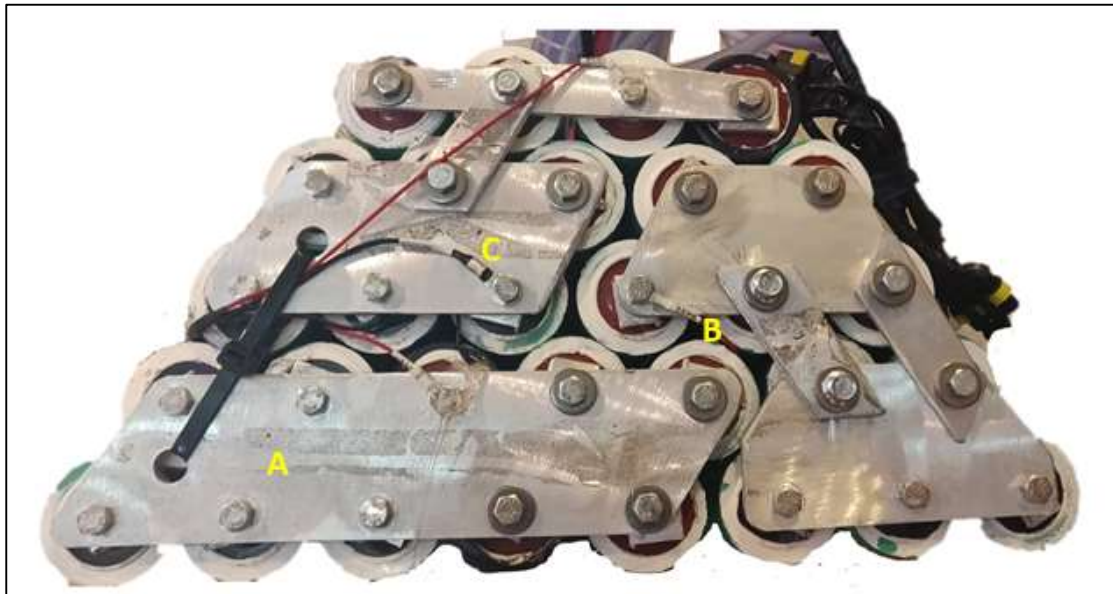


Εικόνα 57. Φωτορεαλιστική απεικόνιση της διάταξης των κελίων στην Δ' Συστοιχίας μπαταριών

Το ιδιαίτερο (τριγωνικό) σχήμα της Δ' συστοιχίας οφείλεται στο γεγονός ότι αυτή τοποθετείται κάτω από το ντεπόζιτο καυσίμου, το οποίο έχει ανοιχθεί ώστε να απελευθερωθεί χώρος εντός

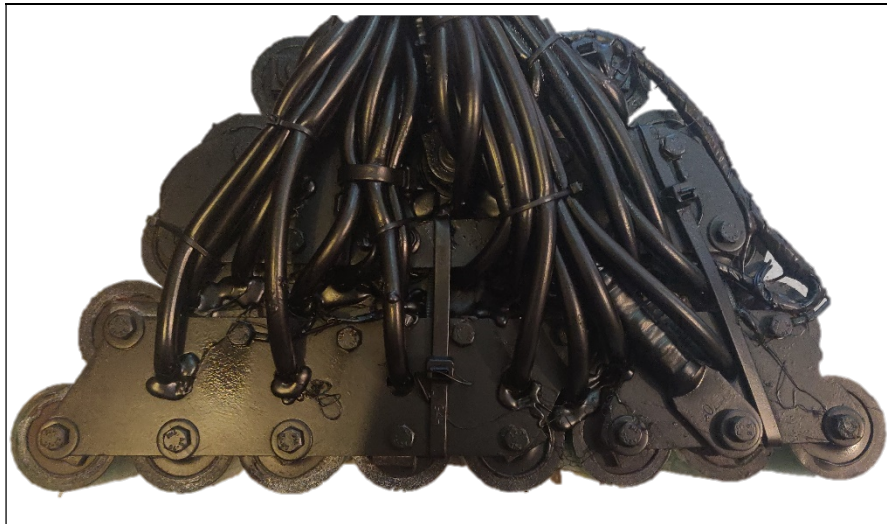


του. Το σχήμα αυτής της συστοιχίας ταιριάζει πλήρως με το χωρίο εντός του δοχείου καυσίμου.



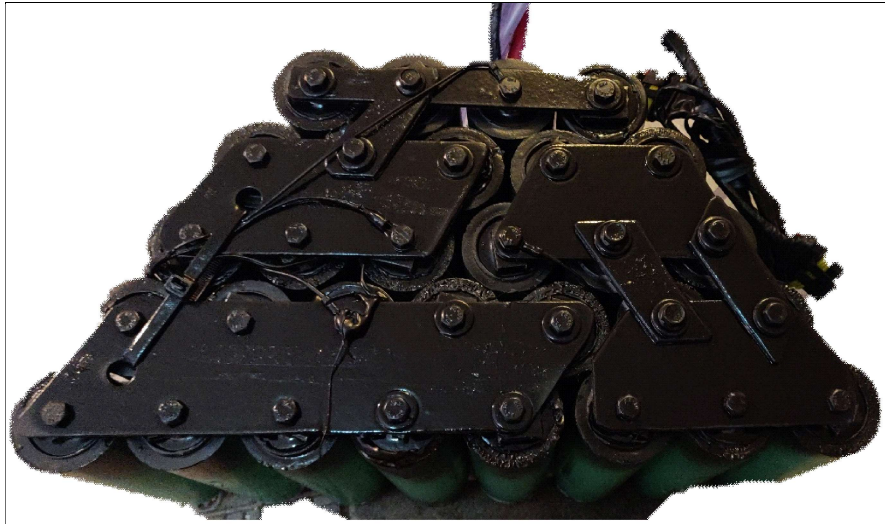
Εικόνα 58. Πραγματική απεικόνιση της Συστοιχίας Δ' πριν γίνει διάστρωση με γομοειδής μονωτική επικάλυψη.

Στην εικόνα [Εικόνα 62.] διακρίνονται οι διανομείς ισχύος (Bus Bars) [A], οι αγωγοί ισχύος, οι δείκτες «ακροδέκτες» του συστήματος διαχείρισης μπαταρίας (BMS) [B], οι αισθητήρες θερμοκρασίας και υγρασίας [C].

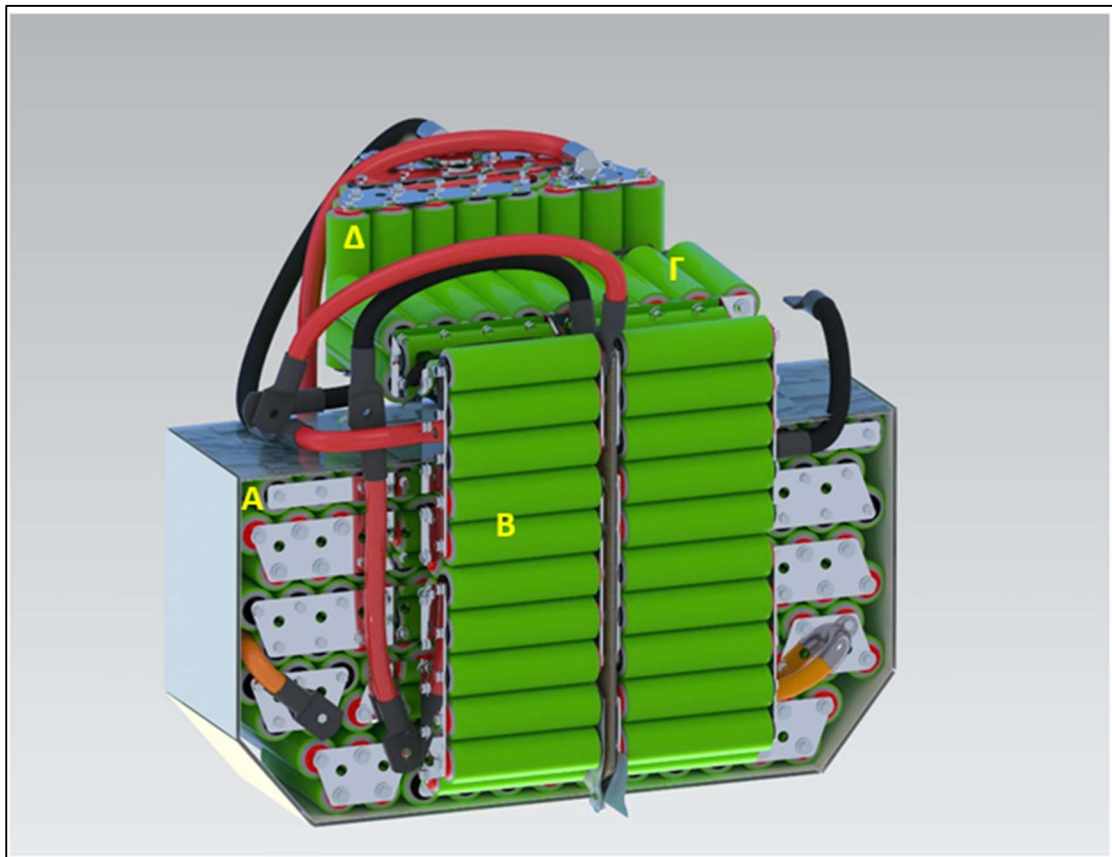


Εικόνα 59. Πραγματική απεικόνιση της Συστοιχίας Δ' αφού έχει γίνει διάστρωση με γομοειδής μονωτική επικάλυψη [Εμπρός πλευρά]





Εικόνα 60. Πραγματική απεικόνιση της Συστοιχίας Δ' αφού έχει γίνει διάστρωση με γομοειδής μονωτική επικάλυψη [Πίσω πλευρά]



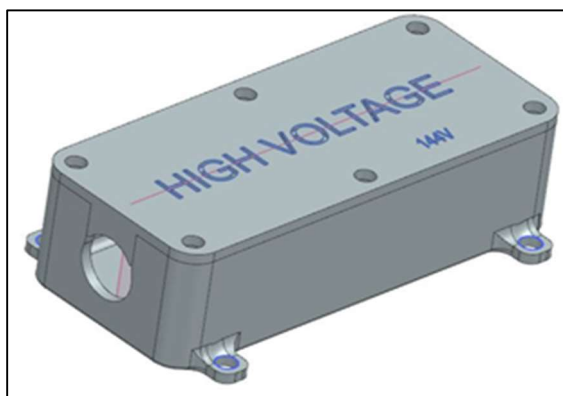
Εικόνα 61. Φωτορεαλιστική απεικόνιση της συνολικής διάταξης όλων των συστοιχιών.

Συστοιχία Α' [Α], Συστοιχία Β' [Β], Συστοιχία Γ' [Γ], Συστοιχία Δ' [Δ]

#### 4.4 Ηλεκτρολογικά κουτιά

##### Συνδέσεις και προστασία κύριων αγωγών ισχύος.

Για όλες τις συνδέσεις μεταξύ των συστοιχιών, αλλά και για όλες τις απολήξεις ισχύος (Ολικός θετικός πόλος, ολικός Αρνητικός πόλος, ασφάλεια Θετικού πόλου), έχουν σχεδιαστεί και κατασκευαστεί ηλεκτρολογικά κουτιά. Τα κουτιά αυτά είτε τοποθετούνται απλά για να προστατέψουν τους ακροδέκτες από περιβαλλοντικούς παράγοντες, είτε για να αποτρέψουν να έρθει σε επαφή με αυτά ο ανθρώπινος παράγοντας. Είναι κατασκευασμένα σε 3D Εκτυπωτή από απλό PETG – ESDproof πορτοκαλί χρώματος. Το υλικό αυτό διακρίνεται για τις πολύ καλές μηχανικές αντοχές του, για την αντοχή στα φυσικά φαινόμενα και τη μεγάλη μακροζωία του.



Εικόνα 62. Ηλεκτρολογικό κουτί σύνδεσης ακροδεκτών ισχύος. (3D απεικόνιση) Στο κουτί αυτό διακλαδίζονται οι αγωγοί ή συνδέονται μεταξύ τους.

##### Ηλεκτρολογικό κουτί ασφάλειας.

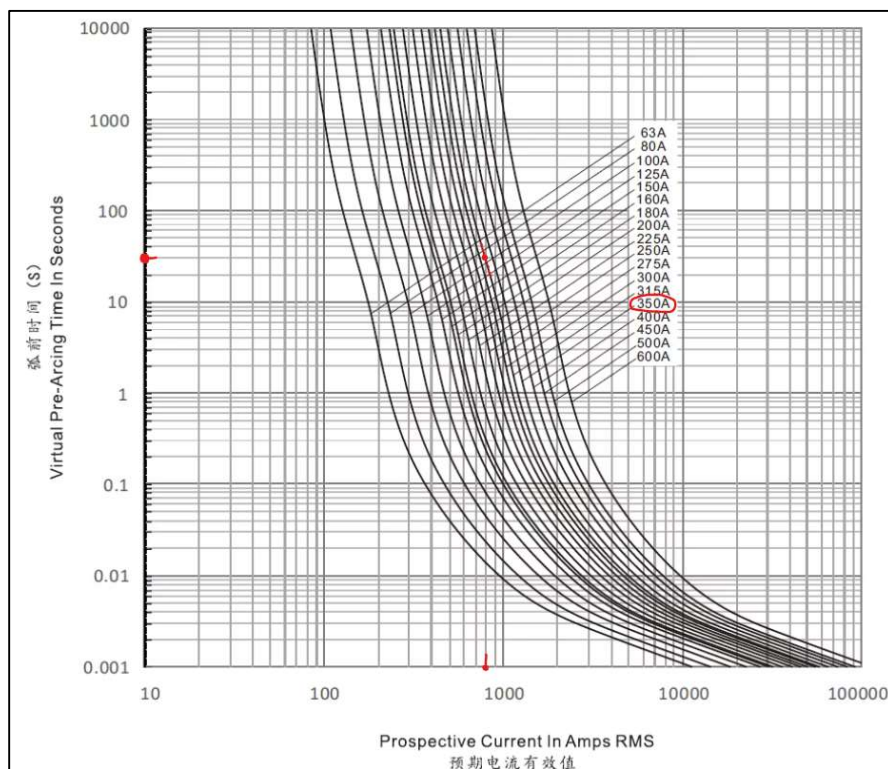
Στις παρακάτω εικόνες [Εικόνα 67-68.] φαίνεται το ηλεκτρολογικό κουτί στο οποίο ενώνονται ο τελικός θετικός πόλος των συσσωρευτών με τον ακροδέκτη του ρελέ κατανάλωσης ισχύος του συστήματος υψηλής τάσης το οποίο βρίσκεται στο κουτί διακλάδωσης ισχύος θετικού πόλου. Εκεί τοποθετείται και η ασφάλεια του συστήματος υψηλής τάσης. Πρόκειται για μία ασφάλεια 300A η οποία διακόπτει οριστικά την λειτουργία της στα 80kW συνεχόμενης κατανάλωσης για 300s, στα 100kW για 60s και στα 120kW για 5s. Η μέγιστη τάση λειτουργείας της ασφάλειας είναι 220VDC.



Εικόνα 63. 3D απεικόνιση ηλεκτρολογικού κουτιού γενικής ασφάλειας υψηλής τάσης.

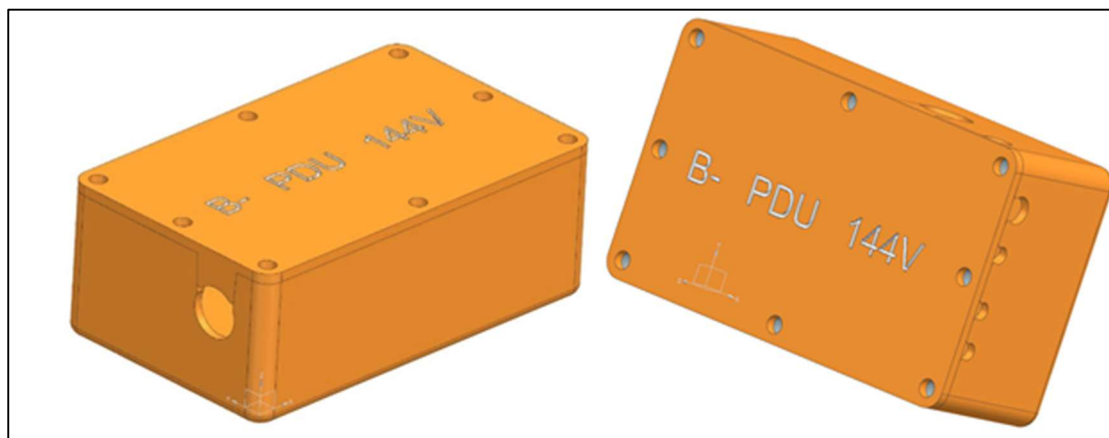


Εικόνα 64. Ασφάλεια 300 A του συστήματος υψηλής τάσης



Εικόνα 65. Καμπύλη αστοχίας της ασφάλειας ισχύος. Max System Amps / Time (s)

### Ηλεκτρολογικό κουτί διακλάδωσης B-



Εικόνα 66. Ηλεκτρολογικό κουτί διακλάδωσης B- (αρνητικού πόλου)

Ο ρόλος αυτού του ηλεκτρολογικού κουτιού είναι να προστατεύει τη ράγα διακλάδωσης. Από την μία μεριά εισέρχεται ο αρνητικός ακροδέκτης του συστήματος ο οποίος διακλαδίζεται σε διάφορα μέρη. Σε αυτό το κουτί καταλήγουν οι αρνητικοί ακροδέκτες από το σύστημα

προθέρμανσης των συσσωρευτών, ο αρνητικός ακροδέκτης του MCU, ο αρνητικός ακροδέκτης του DC-DC Converter μεγάλης ισχύος, ο ακροδέκτης του DC-DC Converter μικρής ισχύος, ο ακροδέκτης του OBC (OnBoards Charger), ο ακροδέκτης της αντίστασης κατανάλωσης και τέλος οι ακροδέκτες διάφορων βοηθητικών οργάνων και αισθητήρων.

### Ηλεκτρολογικό κουτί διακλάδωσης ισχύος PDU (Power Delivery Unit B+)

Το PDU είναι το πιο σημαντικό στοιχείο για τη σωστή και ασφαλή μετάδοση ισχύος σε ένα σύστημα ηλεκτρικών αγωγών. Ο ρόλος του είναι να δέχεται το ολικό θετικό ακροδέκτη του συστήματος συσσωρευτών και να καταναίμει την ισχύ στα διάφορα συστήματα κατανάλωσης δια μέσου πολλαπλών ρελέ ισχύος [Εικόνα 71.] και ραγών.



Εικόνα 67. Ρελέ ισχύος με ενσωματωμένη ασφάλεια 200A.

Οι εσωτερικοί πόλοι επαφής του ρελέ είναι ερμητικά σφραγισμένοι και γεμισμένοι με αέριο ήλιο το οποίο αποτρέπει τη δημιουργία σπινθήρων οι οποίοι καταστρέφουν τους πόλους. Τέλος, το ρελέ αυτό λειτουργεί και σαν ασφάλεια. Όταν η ένταση του ρεύματος ή η εσωτερική θερμοκρασία υπερβούν κάποιο συγκεκριμένο όριο, το ρελέ απενεργοποιείται, και ενεργοποιείται παλι όταν η θερμοκρασία επιστρέψει σε κανονικά όρια λειτουργίας.

Το PDU διαθέτει τρία μεγάλα ρελέ ισχύος (2\*200A & 1\*300A) και τέσσερα ρελέ βοηθητικών λειτουργιών. Σε όλα τα ρελέ που χρησιμοποιούνται σε όλο το

ηλεκτρομηχανολογικό σύστημα, τα πηνία ασφάλισης των πόλων δέχονται τάση 12V και η λειτουργία τους ελέγχεται από τον BMS.

Ένα πολύ σημαντικό εξάρτημα που διαθέτουν όλα τα ηλεκτρικά οχήματα μεγάλης ισχύος στον

Εικόνα 68. Γενικός διακόπτης απομόνωσης

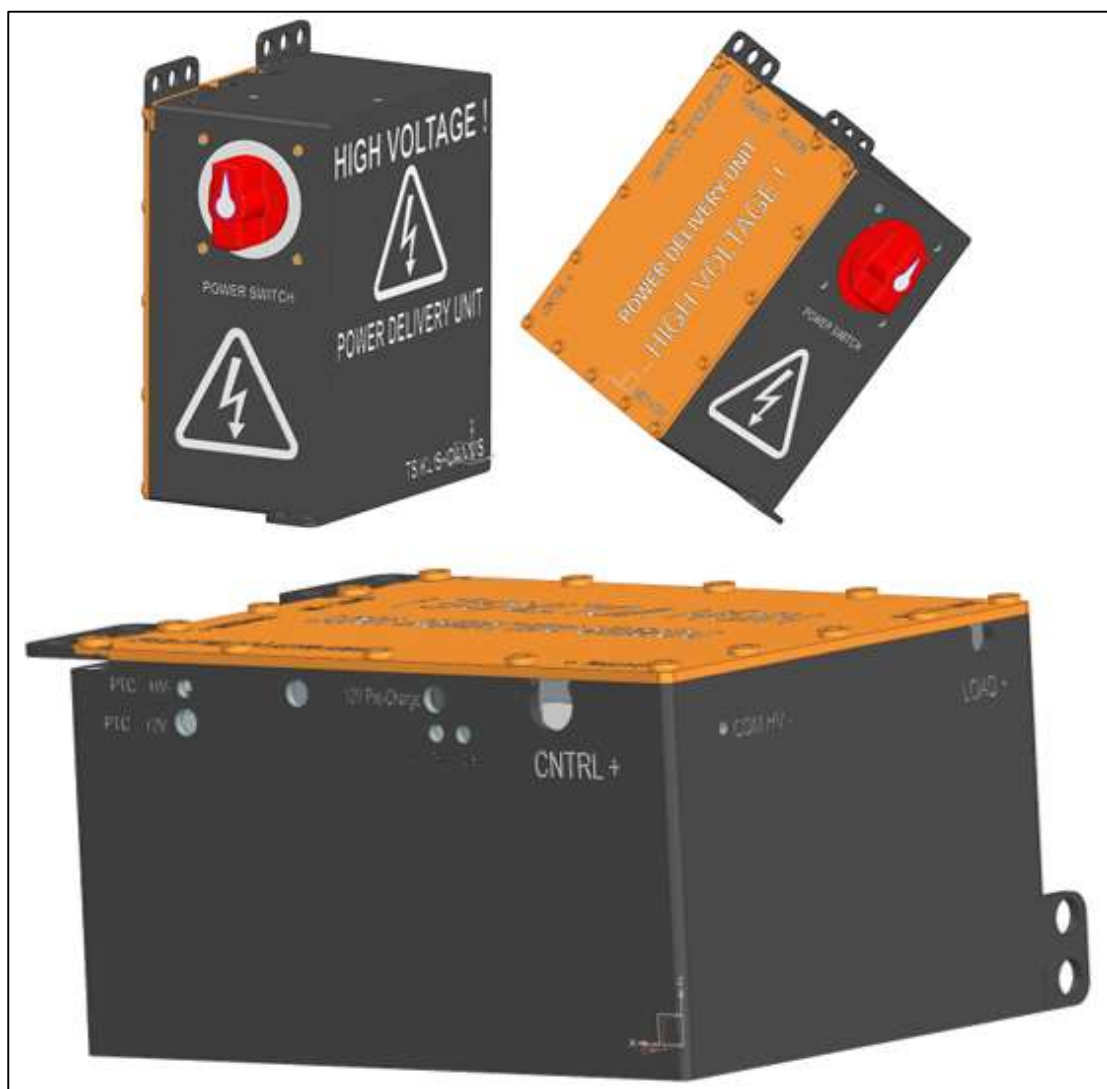


βασικό εξοπλισμό τους, είναι ένας γενικός διακόπτης απομόνωσης [Εικόνα 72.] του συστήματος υψηλής τάσης. Ο διακόπτης αυτός απομονώνει πλήρως την κύρια μπαταρία του οχήματος από όλο τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό, απενεργοποιώντας οριστικά το όχημα. Συνήθως χρησιμοποιείται για λόγους έκτακτης ανάγκης σε περίπτωση ατυχήματος, για λόγους συντήρησης ή για λόγους διατήρησης του επιπέδου φόρτισης σε περίοδο ακινησίας. Ο διακόπτης αυτός είναι πλήρως απομονωνόμενος από κάθε εξωγενή παράγοντα, έχει έντονο κόκκινο χρώμα και οι ενδείξεις του φωσφορίζουν σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού ώστε να είναι πάντα ευδιάκριτος. Τέλος, ο διακόπτης αυτός λειτουργεί και σαν ασφαλειοδιακόπτης. Αυτό σημαίνει ότι απενεργοποιείται και διακόπτει



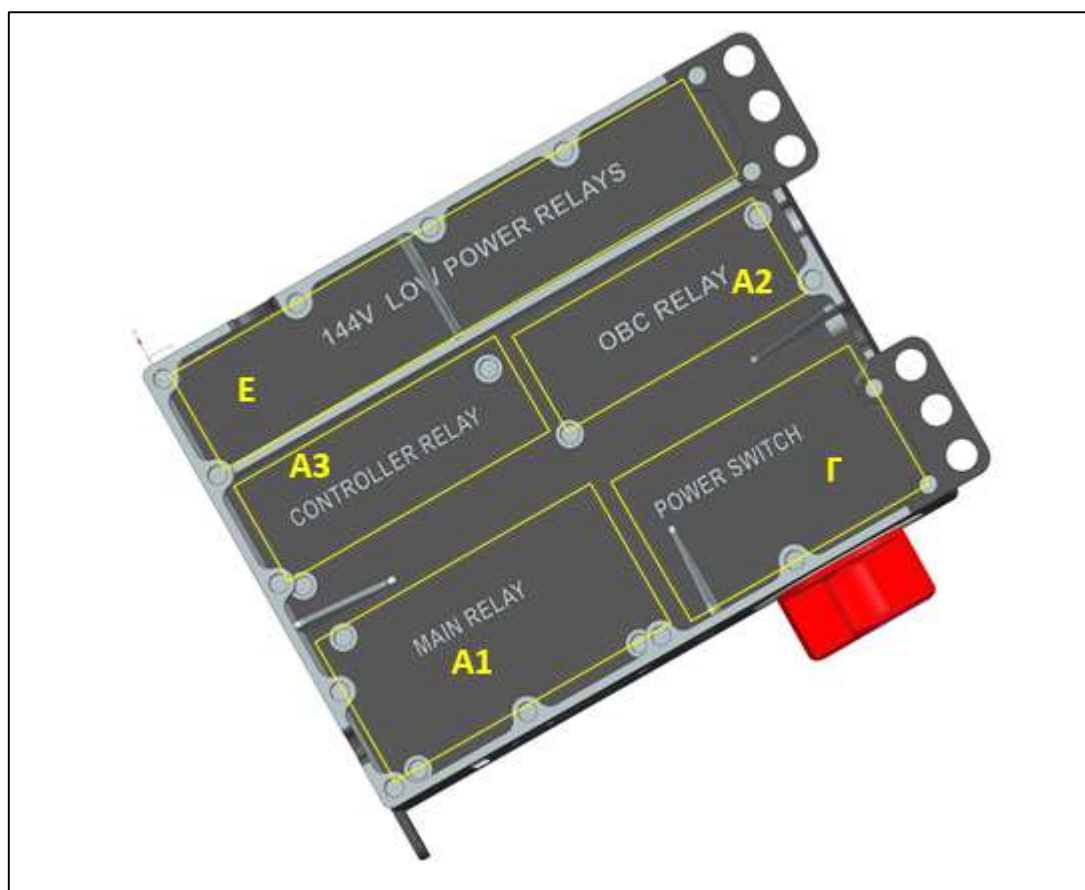
το κύκλωμα όταν η ένταση ρεύματος ή η θερμοκρασία στις επαφές του διακόπτη υπερβούν τις κανονικές τιμές λειτουργίας.

Όπως παρατηρείται, σε όλο το σύστημα υψηλής τάσης δύναται κανείς να συναντήσει τουλάχιστον δύο ασφάλειες συστήματος στους κεντρικούς αγωγούς ισχύος. Π.χ. Στην κεντρική γραμμή ισχύος (Θετικός ακροδέκτης – Η/Κ Ασφάλειας – Διακόπτης Ασφάλειας – Κεντρικό ρελέ ισχύος 300A – Κατανάλωση - ...) παρεμβάλλονται τρεις δικλίδες διακοπής του συστήματος σε μη κανονικές συνθήκες λειτουργίας. Η κεντρική ιδέα πίσω από αυτήν τη λογική έγκειται στο γεγονός ότι τα συστήματα μίας μοτοσικλέτας είναι πιο ευάλωτα από αυτά ενός αυτοκινήτου και στο ότι ο ανθρώπινος παράγοντας, είτε ο αναβάτης είτε το κοινό, μπορούν να έχουν άμεση πρόσβαση στα λειτουργικά συστήματα της μοτοσικλέτας απ' ότι είναι εφικτό σε κάποιο άλλο όχημα. Με γνώμονα την παραπάνω παραδοχή, επιλέχθηκε η χρήση τέτοιων και πολλών άλλων συστημάτων ασφαλείας.



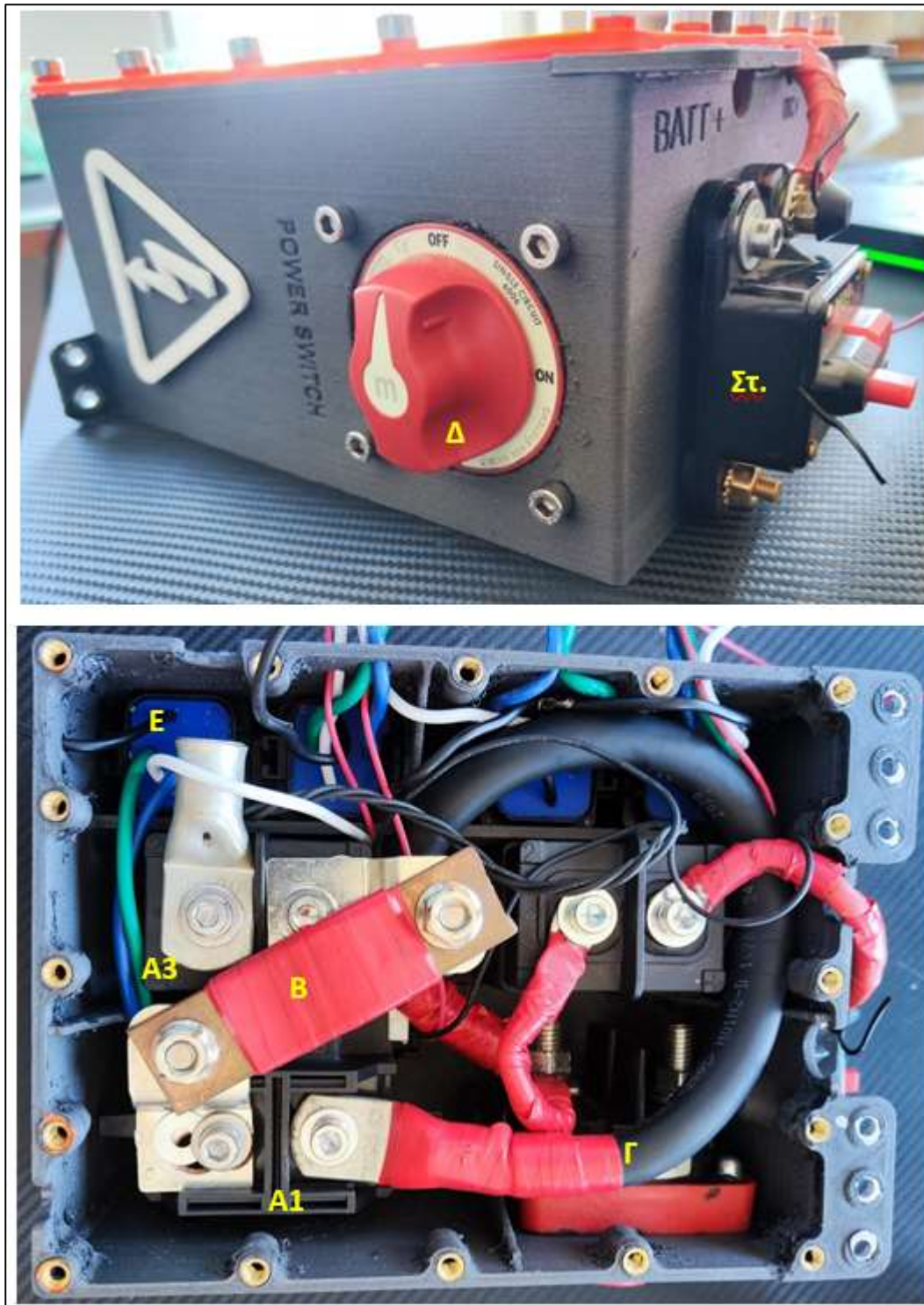
Εικόνα 69. Ηλεκτρολογικό κουτί διακλάδωσης ισχύος PDU (Power Delivery Unit B+) (3D απεικόνιση).





Εικόνα 70. Εσωτερική χωτοταξία PDU

Στις παραπάνω εικόνες [Εικόνα 73-74.] φαίνεται η τρισδιάστατη διάταξη του PDU B+. Το ηλεκτρολογικό αυτό κουτί κατασκευάστηκε σε 3D εκτυπωτή. Το υλικό εκτύπωσής του είναι ίδιο με αυτό του κελύφους του ηλεκτροκινητήρα. Το καπάκι είναι εκτυπωμένο με το ίδιο υλικό που έχουν εκτυπωθεί και τα προηγούμενα ηλεκτρολογικά κουτιά. Στο σώμα του PDU B+ χρησιμοποιήθηκε το υλικό με το ανθρακόνημα, διότι τα ηλεκτρομηχανολογικά εξαρτήματα που στεγάζονται σε αυτό έχουν κινούμενα μέρη και είναι σημαντικού βάρους. Κάνοντας χρήση αυτού του υλικού σε πολύ χαμηλές ταχύτητες εκτύπωσης και πολύ υψηλές θερμοκρασίες εξώθησης, αυξήθηκε η αντοχή του στις καταπονήσεις. Οι πολλαπλές στρώσεις σε συνδυασμό με τις ίνες άνθρακα, όπου είναι πλήρως ομογενοποιημένες, δημιουργούν ένα συμπαγές πρωτότυπο τεμάχιο. Το σώμα του PDU B+ σχεδιάστηκε και εκτυπώθηκε αρκετές φορές. Έπειτα από πολυήμερες προσπάθειες και αρκετές αποτυχίες, κατασκευάστηκε το ηλεκτρολογικό κουτί που φαίνεται στις πιο κάτω εικόνες. Η στερέωση όλων των εξαρτημάτων έγινε με τη χρήση ένθετων ορειχάλκινων σπειρομάτων, βιδών και ατσάλινων αποστατών.

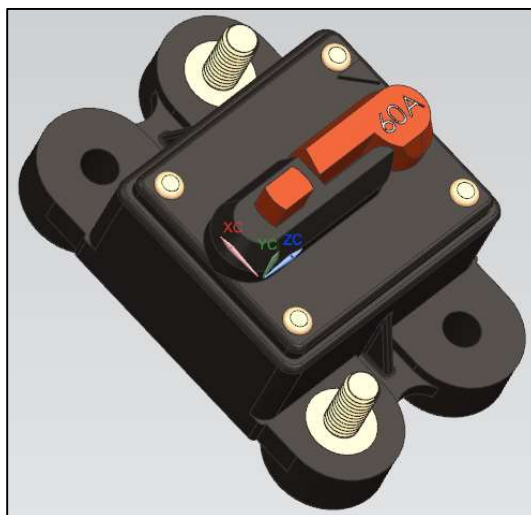


Εικόνα 71. Φωτογραφίες από το Ηλεκτρολογικό κουτί διακλάδωσης ισχύος PDU (Power Delivery Unit B+)

Παραπάνω παρουσιάζεται η διάταξη [Εικόνα 75.]. Στην εικόνα φαίνονται τα ρελέ ισχύος 200A (A2, A3), Το γενικό ρελέ ισχύος (A1), η ράγα διανομής (B), ο κεντρικός αγωγός ισχύος (Γ) ο οποίος συνδέει το ρελέ ισχύος με τον γενικό διακόπτη ισχύος (Δ), τα ρελέ χαμηλής ισχύος (Ε) και ο ασφαλειοδιακόπτης του κυκλώματος φόρτισης (Στ.)

Οι ασφαλειοδιακόπτες αυτοκινητιστικού τύπου όπως ο εικονιζόμενος είναι ένα ζωτικό μέρος του ηλεκτρομηχανολογικού συστήματος. Ρόλος τους είναι να προστατεύουν τον εξοπλισμό στον οποίο παρεμβάλλονται. Η χρήση τους είναι απλή, διότι λειτουργούν σαν μια απλή

οικιστική ασφάλεια ράγας, δηλαδή διακόπτουν το κύκλωμα όταν η κατανάλωση ισχύος υπερβεί ένα προκαθορισμένο όριο κανονικής λειτουργίας. Μόλις απασφαλιστεί ο διακόπτης, απλά ο χρήστης ξανά πατάει το μπουτόν για να φέρει το κύκλωμα πάλι σε λειτουργία. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι αν παρατηρηθεί διακοπή του κυκλώματος, ο χρήστης οφείλει να εξετάσει τις συνθήκες οι οποίες έθεσαν την ασφάλεια εκτός λειτουργίας.



Εικόνα 72. 3D απεικόνιση ενός ασφαλειοδιακόπτη 60A



Εικόνα 73. Φωτογραφία μίας παλαιότερης έκδοσης του PDU B+.

Στην παραπάνω εικόνα [Εικόνα 77.] φαίνεται η 8<sup>η</sup> έκδοση του PDU B+ (από τις 11 συνολικά). Ο σωστός σχεδιασμός ενός λειτουργηκού εξαρτήματος, το οποίο ο σχεδιαστής και ο χρήστης μπορούν να εμπιστευτούν, διαμορφώνει το κόστος κατασκευής και τον βαθμό δυσκολίας σχεδίασης. Εδώ, αν και το τεμάχιο έχει πολλές ομοιότητες με το τελικό, κρίθηκε ακατάλληλο προς λειτουργία για τους εξής λόγους. Το τεμάχιο δεν είχε εκτυπωθεί με τρόπο τέτοιο ώστε το υλικό κατασκευής να ανταποκριθεί στα ποιοτικά και εγγενή μηχανικά χαρακτηριστικά του.



Ακόμη, παρατηρήθηκε ότι είχε και κάποιες σχεδιαστικές ατέλειες, οι οποίες διορθώθηκαν σταδιακά.

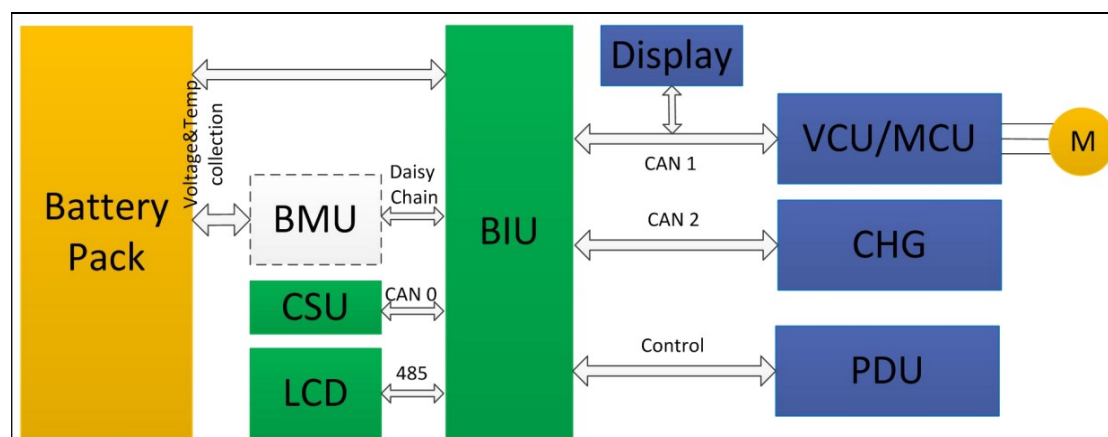
Γενικότερα, όλα τα εξαρτήματα που τοποθετήθηκαν στην μετατροπή έχουν υποστεί επεξεργασία, είτε προσκτήθηκαν, είτε σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν από την αρχή. Οι λόγοι για τη μετέπειτα επεξεργασία αυτών είναι κυρίως σχεδιαστικοί. Μερικά από τα προβλήματα που συναντήθηκαν καθ' όλο τον σχεδιασμό των εξαρτημάτων είναι, διαστασιολογικά, χωροταξικά, σχεδιαστικά ή δεν πληρούσαν ορισμένα προσδοκώμενα όρια αξιοπιστίας και ασφάλειας.

#### 4.5 Σύστημα Διαχείρισης Μπαταρίας - Battery Management System (BMS)

Το σύστημα BMS είναι ανδιαμφισβήτητα ο σημαντικότερος εξοπλισμός σε ένα σύστημα συσσωρευτών και γενικότερα σε ένα ηλεκτρικό όχημα. Είναι υπεύθυνο για την ομαλή και ασφαλή λειτουργία του συστήματος συσσωρευτών. Ελέγχει βασικές λειτουργίες του οχήματος, διαχειρίζεται τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό υψηλής και χαμηλής τάσης και επικοινωνεί με διάφορα κεντρικά συστήματα και υποστήματα του οχήματος.

Το συγκεκριμένο σύστημα δεν μπορεί να ταξινομηθεί με τα υπόλοιπα κοινά συστήματα της αγοράς, διότι απευθύνεται συγκεκριμένα σε στοιχεία μπαταρίας υψηλής ενεργειακής πυκνότητας τα οποία τοποθετούνται μόνο σε ηλεκτρικά οχήματα. Μερικές από τις πιο σημαντικές λειτουργίες του BMS είναι:

1. Προστασία από υπέρταση σε επίπεδο κελιού αλλά και σε επίπεδο συσσωρευτή.
2. Προστασία από υπόταση σε επίπεδο κελιού αλλά και σε επίπεδο συσσωρευτή.
3. Προστασία από υπερένταση σε επίπεδο κελιού αλλά και σε επίπεδο συσσωρευτή.
4. Προστασία από υψηλές ή χαμηλές θερμοκρασίες λειτουργίας
5. Προστασία από υψηλές τιμές υγρασίας
6. Προστασία φόρτισης και εκφόρτισης
7. Προστασία γείωσης υψηλής τάσης
8. Προστασία από υπερκατανάλωση συστήματος υψηλής τάσης
9. Προστασία γείωσης χαμηλής τάσης
10. Προστασία από υπερκατανάλωση συστήματος χαμηλής τάσης



Εικόνα 74. Διάγραμμα ροής επικοινωνίας μεταξύ των διάφορων συστημάτων ενός οχήματος

Στο παραπάνω σχεδιάγραμμα [Εικόνα 78.] φαίνονται: **Battery Pack** = Σύστημα συσσωρευτών, **BMU**= Battery Management Unit, δηλαδή απλό σύστημα διαχείρισης μπαταρίας, **BIU**=



Battery Intelligence Unit= σύστημα ευφυούς διαχείρισης μπαταρίας. Στην προκειμένη περίπτωση, το σύστημα που έχει τοποθετηθεί στην εν λόγω μετατροπή συνδυάζει BMU και BIU σε ένα εννοιαίο **BMS**. Συνεχίζοντας, **CSU**= Charging System Unit, δηλαδή ο ελεγκτής του συστήματος φόρτισης, **Instrument**= οθόνη οργάνων, **MCU**= Motor Controller Unit (έχει αναλυθεί παραπάνω), **CHG**= φορτιστής εξωτερικός του οχήματος και **PDU**= Power Delivery Unit (έχει αναλυθεί παραπάνω).



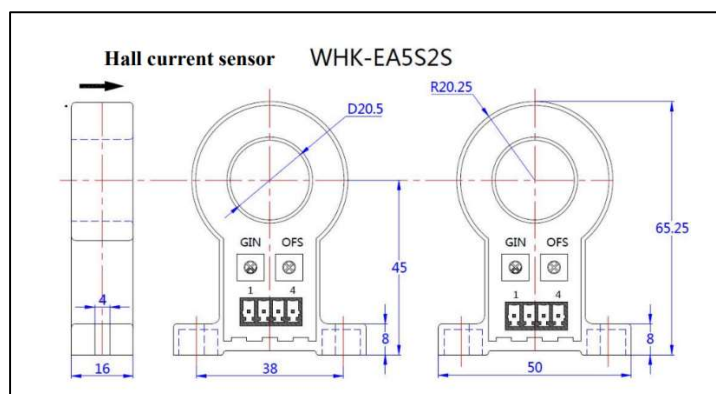
Εικόνα 75. Φωτογραφία του BMS και των περιφερειακών εξαρτημάτων του.

Στην παραπάνω φωτογραφία [Εικόνα 79.] απεικονίζονται: [Α] BMS, [Β], οθόνη οργάνων BMS, [Γ] καλωδίωση του BMS (περιλαμβάνει ακροδέκτες για θερμόμετρο, υγρασιόμετρο, ακροδέκτες κελιών, ακροδέκτες ρελε, γειωση, διάφορους αισθητήρες και πολλά άλλα), [Δ] αισθητήρας έντασης ρεύματος 800A, [Ε] DC-DC Converter 200V→12V για την τροφοδοσία όλων των συστημάτων του BMS.

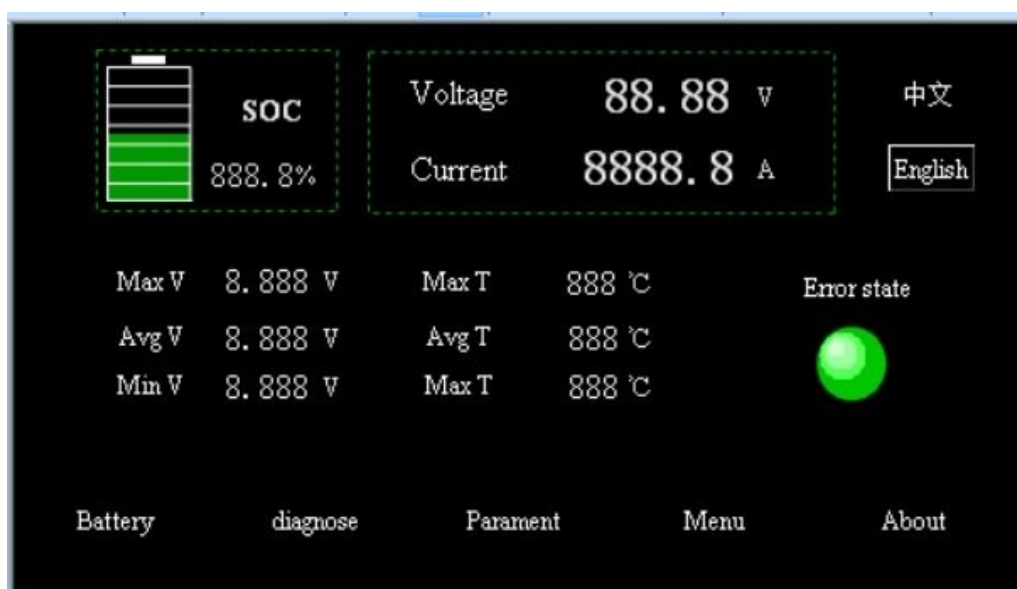
Ο αισθητήρας αυτός είναι ο πλέον διαδεδομένος αισθητήρας έντασης και ροής ρεύματος για συστήματα υψηλής ισχύος και τάσης [Εικόνα 80.]. Η ανέπαφη λειτουργία του έχει μειώσει σημαντικά τις απώλειες ισχύος σε σχέση με παλαιότερου τύπου συστήματα, όπως συστήματα δεομένης αντίστασης. Τα δεύτερα αποτελούνταν από πολύ ακριβά και σπάνια μέταλλα με πολύ καλές θερμικές και ηλεκτρικές ιδιότητες. Τα νέα συστήματα τύπου hall μπορούν να λειτουργήσουν με αξιοπιστία σε πολύ υψηλές τάσεις και εντάσεις, χωρίς όμως να θυσιάζεται η ασφάλεια ή να αυξάνεται το κόστος και η περιπλοκότητα μιας εγκατάστασης.



Εικόνα 76. Φωτογραφία του αισθητήρα έντασης ρεύματος



Εικόνα 77. Διαστάσεις αισθητήρα έντασης ρευματος



Εικόνα 78. Ενδεικτική φωτογραφία των περιεχομένων της οθόνης αφής του BMS.

Το σύστημα BMS που τοποθετήθηκε και συνδυάστηκε με το σύστημα συσσωρευτών, συστήθηκε από τον κατασκευαστή των κελιών. Οι κύριες απαιτήσεις που τέθηκαν είναι αφενός να διαθέτει όλες τις βασικές λειτουργίες ενός κλασικού συστήματος διαχείρισης μπαταρίας και αφετέρου να έχει και κάποιες πιο εξειδικευμένες λειτουργίες που αφορούν πολύ δυναμικά και σύγχρονα συστήματα παροχής ηλεκτρικής ισχύος. Μερικές από αυτές είναι:

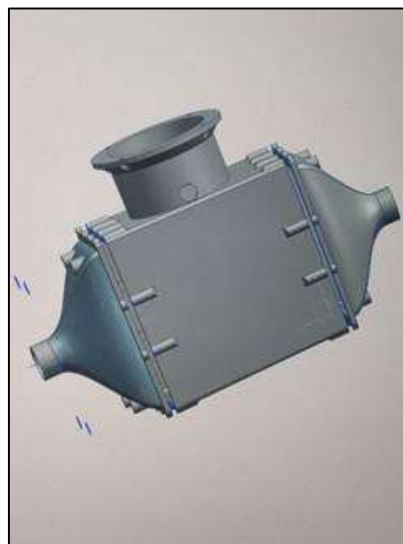
- Έχει τη δυνατότητα να επικοινωνεί με το δημόσιο κοινό δίκτυο φορτιστών. Μπορεί να ανταλλάσσει τις απαραίτητες πληροφορίες με τους φορτηστές ώστε να γίνεται με σωστό και ασφαλή τρόπο η φόρτιση της μοτοσυκλέτας ακολουθώντας το πρωτόκολλο DIN SPEC 70121.
- Έχει τη δυνατότητα να επικοινωνεί με τα επιμέρους στοιχεία της μοτοσυκλέτας όπως ο MCU και ο ενσωματωμένος φορτιστής.
- Έχει τη δυνατότητα να ρυθμίζει δυναμικά τα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά του συστήματος συσσωρευτών, δηλαδή μπορεί να ρυθμίζει τη θερμοκρασία και υγρασία λειτουργίας των συσσωρευτών.

Για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας και της υγρασίας, χρειάστηκε να σχεδιαστεί ένα ειδικό σύστημα. Πρόκειται για μία συστοιχία PTC στοιχείων συνολικής ισχύος 800W και ενός ανεμιστήρα παροχής αέρα 500L/min. Η αρχή λειτουργίας του συστήματος αυτού είναι εξαιρετικά απλή. Ο BMS δέχεται σήματα από τους αισθητήρες θερμοκρασίας και

υργασίας που είναι τοποθετημένοι εντός και εκτός των συστοιχιών. Έπειτα, με τους κατάλληλους υπολογισμούς δίνει σήμα να ενεργοποιηθεί είτε ο ανεμιστήρας, είτε ο ανεμιστήρας και η PTC συστοιχία μαζί. Με αυτόν τον τρόπο ρυθμίζεται η παροχή ζεστού αέρα ή αέρα σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, ο οποίος διοχετεύεται μέσω των ακροφυσίων (παρουσιάστηκαν παραπάνω) εντός των συστοιχιών. Στις παρακάτω εικόνες [Εικόνα 83-84.] παρουσιάζεται η διάταξη του συστήματος.



Εικόνα 79. Πρωτότυπη έκδοση του συστήματος θέρμανσης



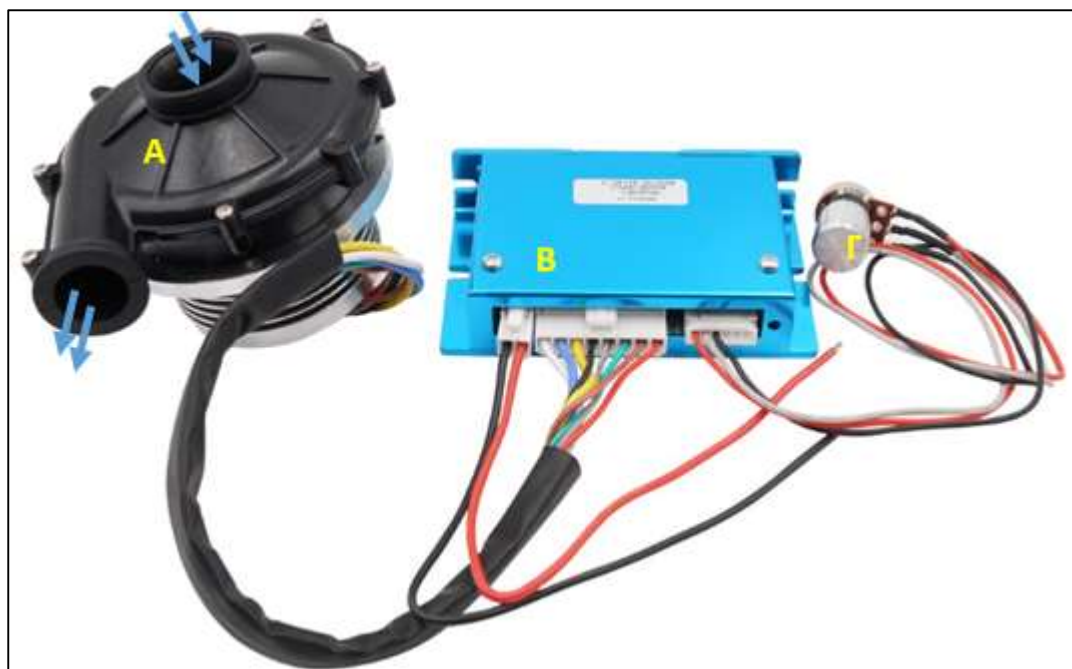
Εικόνα 80. 3D αναπαράσταση

Παραπάνω απεικονίζονται: [Α] Ανεμιστήρας παροχής αέρα, [Β], Φίλτρο αέρα, [Γ] Καπάκι εξαγωγής και [Δ] Σώμα συτήματος. Εντός του σώματος στεγάζεται η συστοιχία PTC στοιχείων. Η τελική διάταξη έχει εκτυπωθεί από όμοιο υλικό PETG ,χρώματος μπλε, με αυτό που κατασκευάστηκαν και τα ηλεκτρολογικά κουτιά. Το εσωτερικό του σώματος αλλά και των καπακιών εισαγωγής και εξαγωγής έχουν επενδυθεί με θερμομονωτική αφρώδης μεμβράνη και με θερμοανакλαστική ταινία χαλκού. Σκοπός της εσωτερικής επένδυσης είναι να προστατεύσει το σώμα αλλά και τα γύρω συστήματα από τυχόν θερμικές διαρροές. Από πρωταρχικά τεστ καλής λειτουργίας που έγιναν, απεδείχθη ότι σε πλήρες φορτίο η συστοιχία PTC παραμένει σε σταθερή θερμοκρασία 80°C και σε πλήρες φορτίο ανεμιστήρα, ο αέρας εξέρχεται με σταθερή θερμοκρασία στους 57°C. Η θερμοκρασία περιβάλλοντος κατά τη θερμομέτρηση ήταν 32°C. Οι θερμαντήρες θετικού συντελεστή θερμοκρασίας (PTC)



Εικόνα 81. Θερμαντήρες θετικού συντελεστή θερμοκρασίας Positive Temperature Coefficient (PTC)

αποτελούνται από ειδικούς δίσκους θέρμανσης κατασκευασμένους από προηγμένα κεραμικά υλικά [Εικόνα 85.]. Αυτοί οι ασφαλείς, ισχυροί και ενεργειακά αποδοτικοί θερμαντήρες επιτρέπουν εξαιρετική παραγωγή και μεταφορά θερμότητας ακόμη και στους πιο μικρούς χώρους. Το κύριο χαρακτηριστικό τους είναι ότι έχουν τη δυνατότητα να αυτορυθμίζονται και να διατηρούν μία δεδομένη σταθερή θερμοκρασία λειτουργίας.



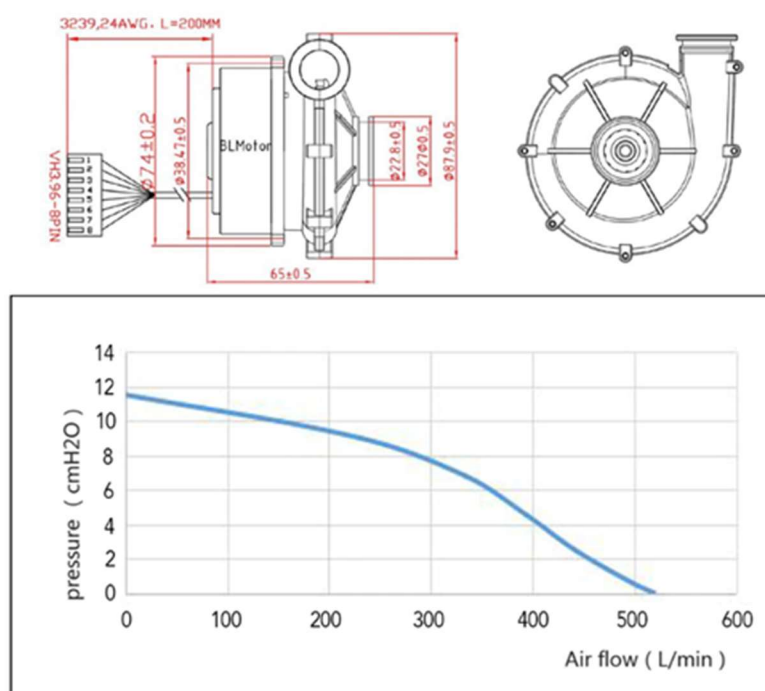
Εικόνα 82. Γενική διάταξη του συστήματος του ανεμιστήρα παροχής αέρα

Παραπάνω απεικονίζονται: [A] Ανεμιστήρας παροχής αέρα, πρόκειται για έναν ανεμιστήρα τύπου Blower που χημίζονται για την αποδοτικότητά τους. Η πρερωτή του ανεμιστήρα κινείται από ένα ηλεκτροκινητήρα ονομαστικής ισχύος 200W. Ο τύπος του είναι όμοιος με τον κύριο ηλεκτροκινητήρα της μοτοσυκλέτας. Η μόνη διαφορά βρίσκεται στη θέση του ρότορα. Εδώ ο ρότορας είναι εσωτερικός και ο στάτορας εξωτερικός (inrunner BLDC motor). Επομένως, όπως αναλύθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο είναι απαραίτητη η ύπαρξη ενός MCU [B], μικρού σε ισχύ, ώστε να επιτυγχάνεται η ομαλή λειτουργία του ηλεκτροκινητήρα. Συμβατικά, ο MCU δέχεται δεδομένα από ένα απλό ποτενσιόμετρο [Γ] μόνο για την ταχύτητα περιστροφής του μοτέρ. Στην προκειμένη περίπτωση τον χειρισμό αυτόν τον κάνει ο BMS. Άρα, οι ακροδέκτες του ποτενσιόμετρου είναι συνδεδεμένοι με τις κατάλληλες θύρες του BMS.



Πίνακας 4. Τεχνικές Προδιαγραφές ανεμιστήρα

Project	Unit	7060-12/24V
Input voltage	V	12/24V
No-load speed	RPM	36000±5%
No-load current	A	1.6±0.2/8±0.2
Maximum air volume	L/min	500-520
Maximum wind pressure	Kpa	12
Coil connection		"Y"
Dimensions	mm	Outer diameter:88mm Height:65mm
Adapter driver		External
Hall angle		120°
Rotor magnet pole pairs		2
Noise	dB(A)	44(1M-1Kpa)
Bearing Type		NSK Ball Bearing/Sleeve Bearing Temperature range:-15°C~95°C



Εικόνα 83. Καμπύλη παροχής αέρα ανεμιστήρα και διαστάσεις

#### 4.6 Μετατροπέας συνεχούς τάσης - DC – DC Converter

Ο μετατροπέας συνεχούς τάσης, είναι ένα ηλεκτρικό κύκλωμα ή ένα ηλεκτρομηχανολογικό σύστημα, το οποίο μετατρέπει την συνεχή τάση εισόδου σε μία άλλη συνεχή τάση εξόδου διαφορετικού μέτρου. Ένας μετατροπέας μπορεί να έχει πολλαπλές εισόδους και εξόδους. Στις εικόνες [Εικόνα 88-89.] φαίνονται οι μετατροπείς που χρησιμοποιήθηκαν στην μετατροπή. Η εικόνα [Εικόνα 89.] δείχνει τον κύριο μετατροπέα συνεχούς τάσης. Πρόκειται για έναν πλήρως μονωμένο μετατροπέα, δηλαδή δεν μοιράζεται την γείωση (ή το σημείο επιστροφής φορτίων) της πηγής. Για γείωση και προστασία του συστήματος χρησιμοποιεί έναν καταναλωτή 80W (500W για  $t < 5s$ ). Ο μετατροπέας δέχεται ως είσοδο την κύρια τάση του συστήματος (110V – 170V) και την μετατρέπει σε τάση μπαταρίας 12V με αποδοτικότητα 89%. Η μέγιστη ισχύ που μπορεί να παράγει στην τάση εξόδου είναι 800W (~67A). Ο ρόλος αυτού του μετατροπέα είναι να τροφοδοτεί τα διάφορα υποσυστήματα της μοτοσικλέτας. Μερικά από αυτά είναι: Προβολείς πορείας, Όργανα ελέγχου, MCU, αντλία ψυκτικού, Ανεμιστήρες, τροφοδοσία δευτερεύουσας μπαταρίας 12V και διάφορες άλλες περιφερειακές συσκευές. Η εικόνα [Εικόνα 88.] δείχνει τον δευτερεύον μετατροπέα συνεχούς τάσης. Είναι ακριβώς ίδιος με τον κύριο ως προς την λειτουργία του. Έχει διπλή έξοδο και συνδυασμένη ισχύ εξόδων 200W. Τα συστήματα που τροφοδοτεί είναι ο BMS όλους τους αισθητήρες, όλα τα ρελέ ισχύος, τον MCU, τον OBC, και μερικά υποσυστήματα των οργάνων.

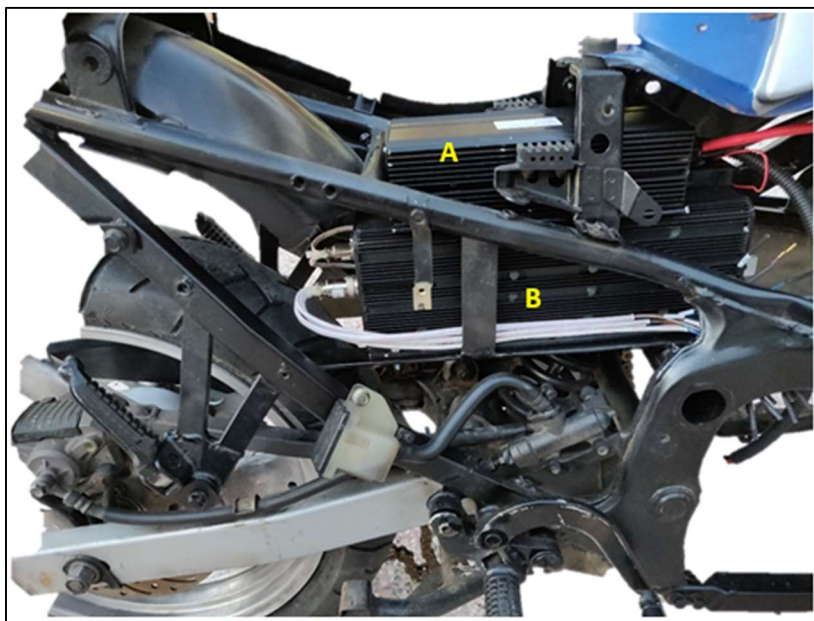


Εικόνα 85. DC – DC Converter (800W) για συστήματα μεγάλης κατανάλωσης, Μετατροπέας συνεχούς τάσης



Εικόνα 84. DC – DC Converter (120W) για συστήματα μικρής κατανάλωσης, Μετατροπέας συνεχούς τάσης

Στην παρακάτω εικόνα [Εικόνα 90.] φαίνεται η τοποθέτηση του κύριου μετατροπέα [A] και του MCU [B] πάνω στη μοτοσικλέτα.

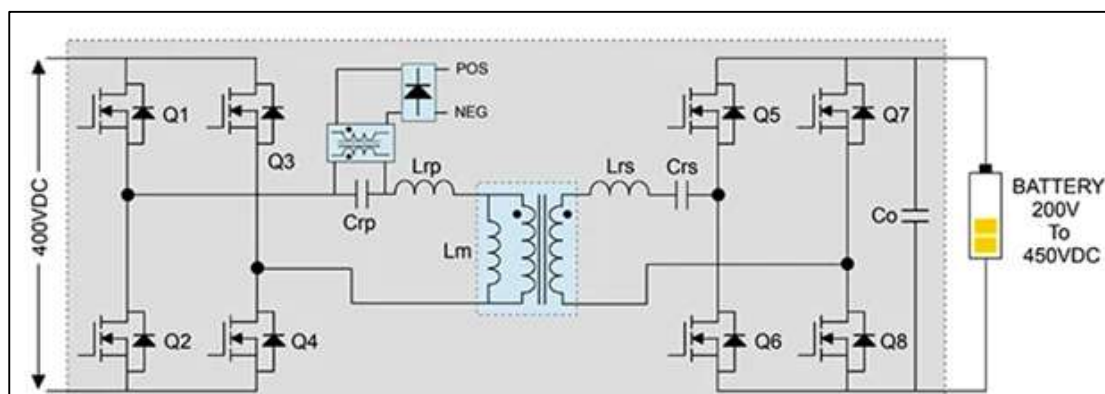


Εικόνα 86. Μερική απεικόνιση μετατροπής

#### 4.7 Ενσωματωμένος φορτιστής (OBC)

Ο OBC (On-Board Charger) είναι ο φορτιστής που είναι ενσωματωμένος στην ηλεκτρική μοτοσικλέτα και χρησιμοποιείται για τη φόρτιση της μπαταρίας του οχήματος. Είναι υπεύθυνος για τη μετατροπή του εξωτερικού ρεύματος AC (εναλλασσόμενου ρεύματος) σε εσωτερικό ρεύμα DC (συνεχούς ρεύματος) που απαιτείται για τη φόρτιση της μπαταρίας. Ο OBC είναι συνήθως τοποθετημένος εντός του οχήματος και είναι υπεύθυνος για τη ρύθμιση της ισχύος του φορτιστή και τη διαχείριση της φόρτισης της μπαταρίας.

Ο OBC διαθέτει διάφορες λειτουργίες και ρυθμίσεις που μπορούν να επηρεάσουν τη φόρτιση της μπαταρίας. Αυτές μπορεί να περιλαμβάνουν την επιλογή γρήγορης ή κανονικής φόρτισης, τον περιορισμό του ρεύματος φόρτισης ή την αυτόματη απενεργοποίηση του φορτιστή όταν η μπαταρία έχει φορτιστεί πλήρως.

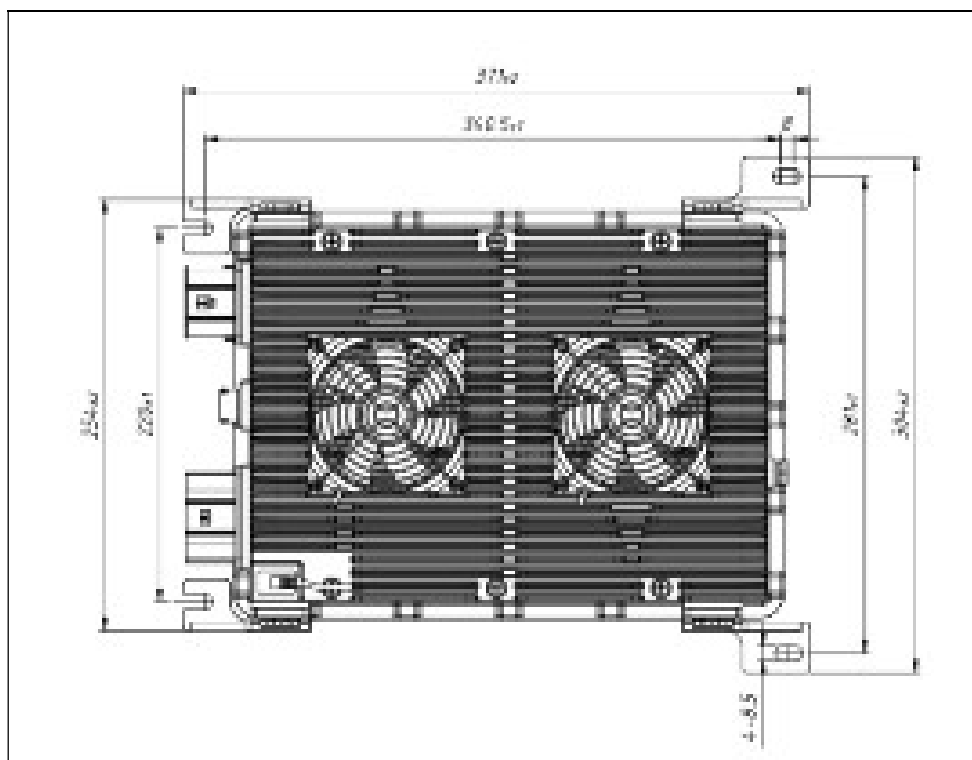


Εικόνα 87. Διάγραμμα κυκλώματος κύριων ηλεκτρικών ισχύος ενός απλού OBC.

Επιπλέον, ο OBC μπορεί να παρέχει διάφορες προστατευτικές λειτουργίες για την ασφάλεια της μπαταρίας και του συστήματος φόρτισης. Αυτές περιλαμβάνουν:

- Προστασία από υπερφόρτιση: Ο OBC μπορεί να ελέγχει την τάση της μπαταρίας κατά τη διάρκεια της φόρτισης και να διακόπτει τη φόρτιση όταν η μπαταρία έχει φορτιστεί πλήρως, προλαβαίνοντας την υπερφόρτιση που μπορεί να προκαλέσει ζημιά στη μπαταρία.
- Προστασία από υπερθέρμανση: παρακολουθεί τη θερμοκρασία της μπαταρίας κατά τη διάρκεια της φόρτισης και μπορεί να περιορίσει το ρεύμα φόρτισης ή να διακόπτει τη φόρτιση εάν η θερμοκρασία αυξηθεί πέραν ενός ασφαλούς επιπέδου για τη μπαταρία.
- Προστασία από βραχυκυκλώματα: Ο OBC παρακολουθεί την αντίσταση και την κατάσταση του κυκλώματος φόρτισης και μπορεί να ανιχνεύσει τυχόν βραχυκυκλώματα. Σε περίπτωση που ανιχνευθεί βραχυκύκλωμα, ο OBC μπορεί να απενεργοποιήσει τον φορτιστή για να αποτρέψει τυχόν ζημιά στο όχημα ή στον άνθρωπο.

Τέλος, ο OBC μπορεί να αλληλοεπιδρά με τον BMS για τη διασφάλιση της ασφαλούς και αποτελεσματικής φόρτισης της μπαταρίας. Μέσω της επικοινωνίας με το BMS, ο OBC μπορεί να λάβει πληροφορίες για την κατάσταση της μπαταρίας, όπως την υπολειπόμενη χωρητικότητα, την ποσοστιαία φόρτιση, τη θερμοκρασία κ.λπ. Αυτές οι πληροφορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τον OBC για να ρυθμίσει τον φορτιστή, να ελέγξει το ρεύμα φόρτισης, να προσαρμόσει την ισχύ και να διαχειριστεί τη διαδικασία φόρτισης για να είναι ασφαλής και αποτελεσματική.



Εικόνα 88. Σχεδιαγραμματική απεικόνιση του τοποθετημένου OBC της μετατροπής.



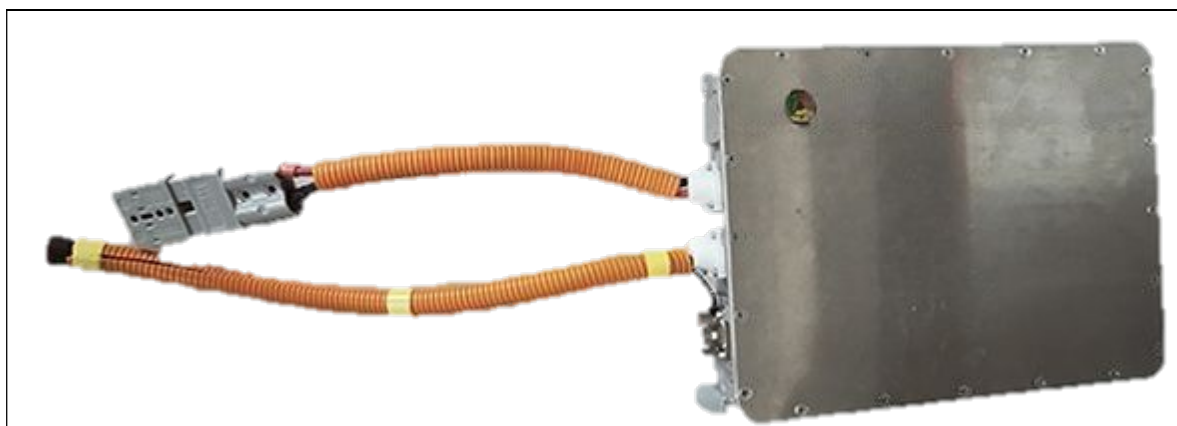


Εικόνα 89. Φωτογραφία OBC μετατροπής (πάνω μέρος)

Πρόκειται για έναν φορτιστή 7.2kW με πραγματική ισχύ φόρτισης 6,58 kW [Εικόνα 93-95.]. Διαθέτει έλεγχο διαρροής εναλλασσόμενου ρεύματος, έλεγχο διαρροής συνεχούς ρεύματος φόρτισης, έλεγχο τάσης πλήρωσης συσσωρευτή, έλεγχο θερμοκρασίας μπαταρίας και OBC. Έχει τη δυνατότητα να φορτίσει την μπαταρία από στάθμη 5% έως 92% σε 2,5 ώρες (150 λεπτά), από στάθμη 5% έως 60% σε 90 λεπτά.



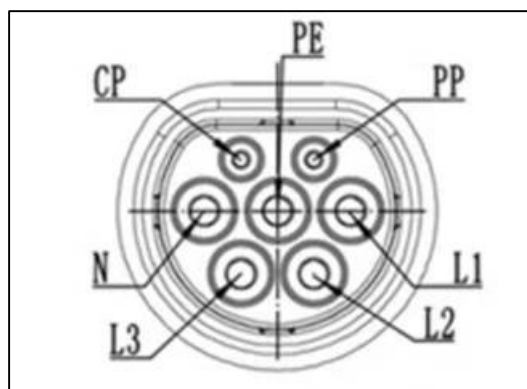
Εικόνα 90. Φωτογραφία OBC μετατροπής (κάτω μέρος)



Εικόνα 91. Φωτογραφία OBC μετατροπής



Εικόνα 92. Πρίζα φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων IEC 62196-2 [Type 2]



Εικόνα 93. IEC 62196-2 [Type 2]

Η πρίζα J1772 [Εικόνα 96-97.] είναι μια τυποποιημένη πρίζα για AC φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων. Περιλαμβάνει επαφές L1, L2, N, PE και CP για μεταφορά ρεύματος, γείωση και επικοινωνία. Χρησιμοποιείται σε πολλούς ηλεκτρικούς σταθμούς φόρτισης για άνετη και ασφαλή φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων.

Οι επαφές L1, L2 και L3 χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά του εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) φόρτισης, ενώ η επαφή N μεταφέρει το ουδέτερο σημείο του AC ρεύματος. Οι επαφές PE και CP αναλαμβάνουν τη γείωση και την επικοινωνία αντίστοιχα. Η επαφή PP είναι υπεύθυνη για την αναγνώριση και τον έλεγχο του φορτιστή από το ηλεκτρικό όχημα, μέσω αυτών των επαφών. Γενικότερα, η πρίζα J1772 διευκολύνει την ασφαλή και αποτελεσματική φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων.



Εικόνα 94. OBC Πλήρης διάταξη

Ο OBC έχει τη δυνατότητα να επικοινωνεί με τον BMS, όπου αυτός με την σειρά του δίνει πληροφορίες για την κατάσταση του οχήματος. Αν αστοχήσει η μεταξύ τους χειραψία, τότε ο OBC θέτει σε λειτουργία ένα προ ρυθμισμένο πρωτόκολλο ασφαλείας διαχείρισης της μπαταρίας ώστε να μπορέσει να φορτίσει την μπαταρία με ασφάλεια (600W max) ή να συντηρήσει τα κελιά του συσσωρευτή. Η αστοχία αυτή μπορεί να προέρχεται είτε επειδή χάλασε ο BMS, είτε διότι διακόπηκε η επικοινωνία για κάποιο λόγο, είτε επειδή ο BMS μετέβη σε κατάσταση αδράνειας μετά από πολύχρονη ακινησία. Να σημειωθεί ότι ο OBC δεν μπορεί να υποκαταστήσει σε καμία περίπτωση τον BMS, το προ εγκατεστημένο πρωτόκολλο τίθεται σε λειτουργία μόνο στα παραπάνω σενάρια και με τις προϋποθέσεις ότι το όχημα είναι ακινητοποιημένο, η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι  $<0^{\circ}\text{C}$  και  $>42^{\circ}\text{C}$  και ο OBC είναι συνδεδεμένος σε παροχή ρεύματος.

Όπως σε άλλα συστήματα (ηλεκτροκινητήρας), έτσι και εδώ, κατά τη φόρτιση υπάρχουν διάφορες απώλειες. Οι απώλειες αυτές μεταφράζονται σε έκλυση θερμότητας. Ανάλογα με τις συνθήκες του περιβάλλοντος και την απαιτούμενη ισχύ φόρτισης, υπάρχει ανάγκη για ψύξη του συστήματος φόρτισης. Οι ανάγκες για ψύξη του OBC καλύπτονται από τον ίδιο βρόχο ψύξης που ψύχει και το σύστημα του ηλεκτροκινητήρα, δηλαδή τα 4 επαγωγικά στοιχεία που ψήχουν τον OBC, παρεμβάλλονται στον κοινό βρόχο ψύξης με την κοινή περιστατική αντλία που παρουσιάστηκε παραπάνω.



Εικόνα 95. Επαγωγικό στοιχείο ψύξης  
OBC



#### 4.8 Γενική Διάταξη εξοπλισμού.

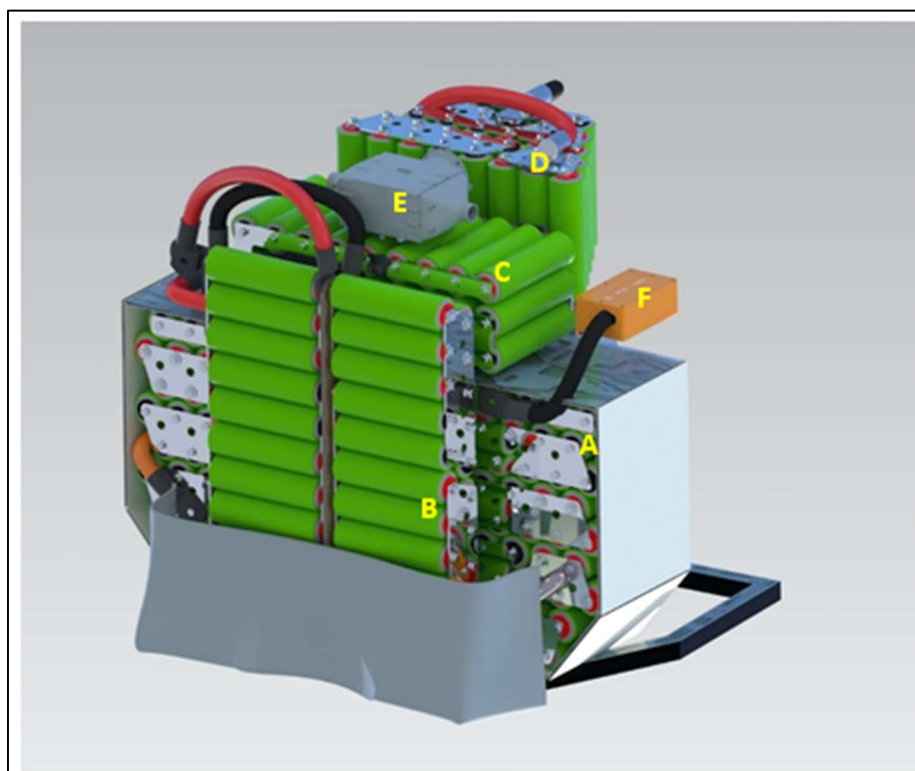
Η διάταξη του εξοπλισμού στη μετατροπή της συμβατικής μοτοσυκλέτας σε αμιγώς ηλεκτρική αποτέλεσε κρίσιμο στάδιο για την εξασφάλιση της λειτουργικότητας, της ασφάλειας και της εργονομίας. Η τοποθέτηση των εξαρτημάτων έγινε με βάση τη βέλτιστη κατανομή βάρους, τη χωροταξία του πλαισίου και την εύκολη πρόσβαση για συντήρηση.

Ο ηλεκτροκινητήρας [K] τοποθετήθηκε εντός του βρόγχου του πλαισίου και σε μικρή απόσταση από το κέντρο του ψαλιδιού, ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι κραδασμοί, το φαινόμενο swingarm squat και να διατηρηθεί το κέντρο βάρους χαμηλά.

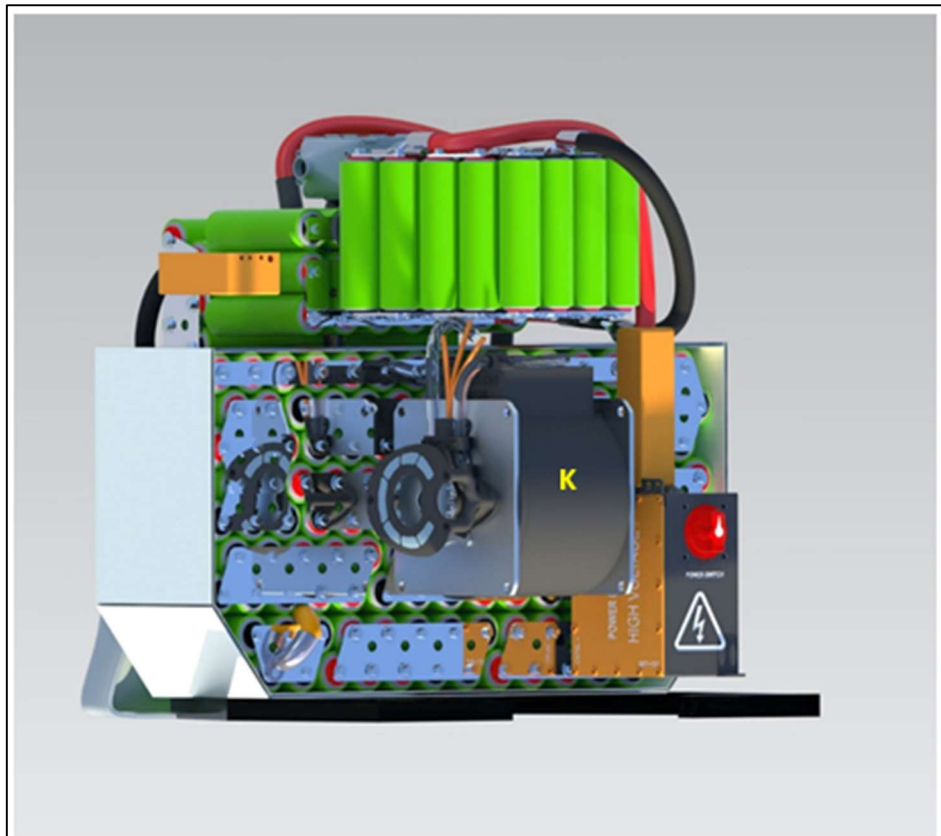
Το σύστημα συσσωρευτών [A, B, C, D] τοποθετήθηκε εντός του βρόγχου του πλαισίου σε πολύ κοντινή απόσταση με τον ηλεκτροκινητήρα, ώστε το αυξημένο βάρος να βρίσκεται εντός του μεταξονίου και όσο το δυνατόν χαμηλότερα για καλύτερη ισορροπία. Ο MCU, ο OBC και ο μετατροπέας συνεχούς τάσης [J] τοποθετήθηκαν πίσω, στην περιοχή κάτω από τη σέλα και το κέλυφος του ντεπόζιτου, για να διατηρηθεί η συνολική ισορροπία του και η κατανομή του βάρους.

Το κάθε εξάρτημα στερεώθηκε με ειδικά συστήματα στερέωσης, όπως βίδες υψηλής αντοχής και μεταλλικά ένθετα, ενώ προστέθηκαν ειδικά περιβλήματα για την προστασία από την υγρασία και τη σκόνη. Επιπλέον, έγινε χρήση θερμομονωτικών υλικών στα περιβλήματα, για την αποτροπή υπερθέρμανσης κρίσιμων εξαρτημάτων, όπως το (BMS).

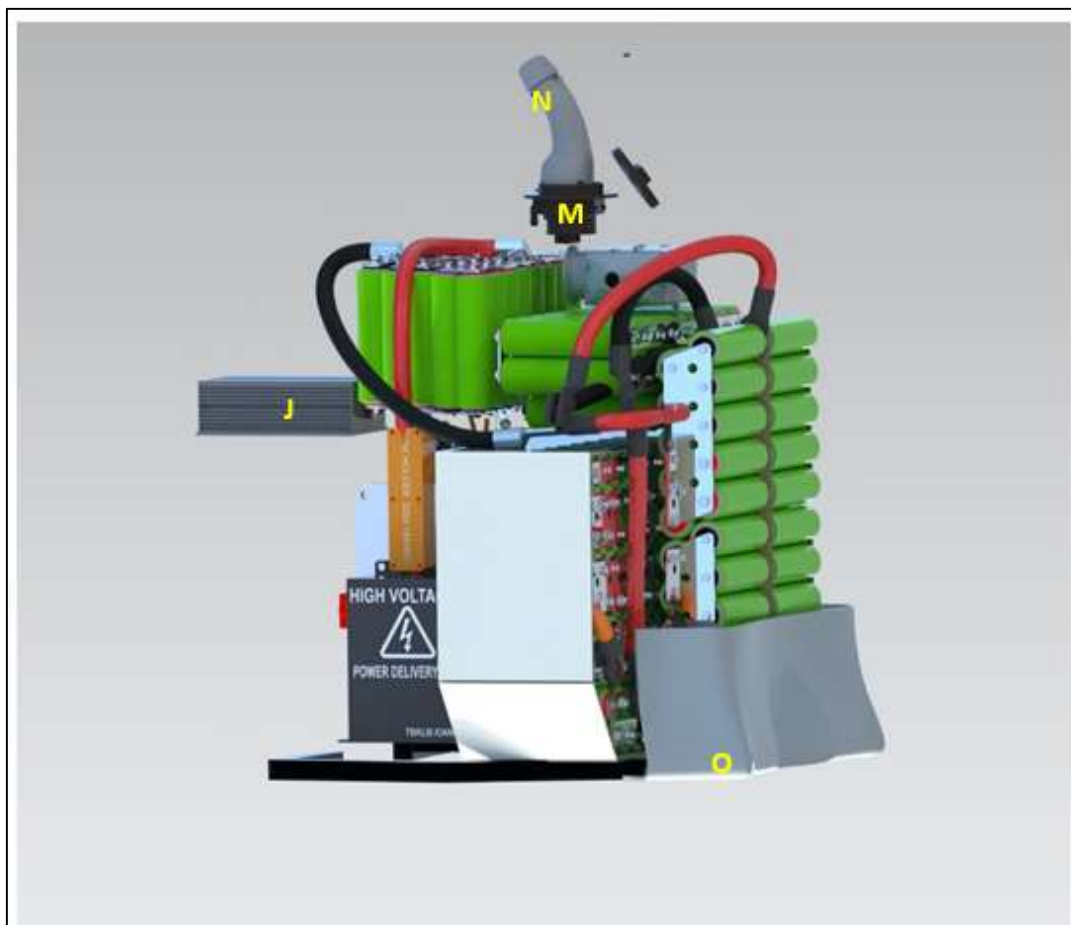
Η γενική διάταξη σχεδιάστηκε ώστε να διατηρεί την εργονομία και την αισθητική της μοτοσυκλέτας κατά το μέγιστο δυνατόν. Συνολικά, η διάταξη του εξοπλισμού ενσωματώθηκε πλήρως στο πλαίσιο της μοτοσυκλέτας, διατηρώντας τη λειτουργικότητα.



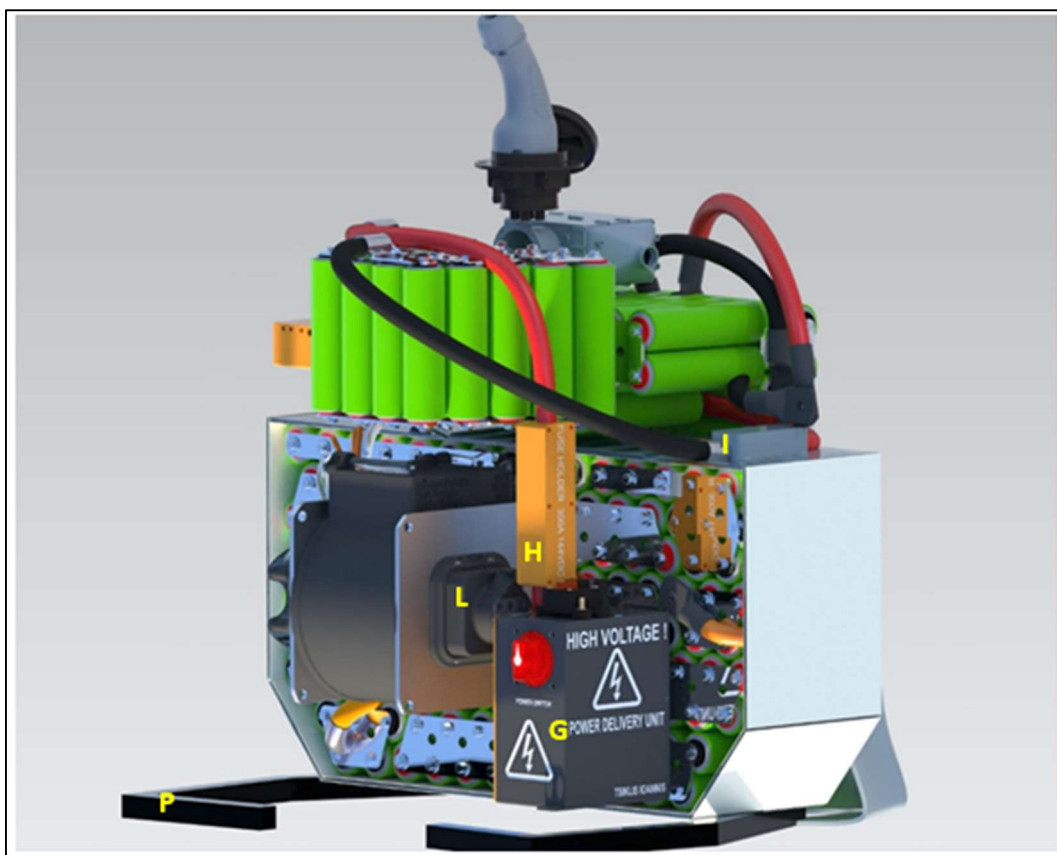
Εικόνα 96. 3D γενική Διάταξη εξοπλισμού (μπροστά)



Εικόνα 97. 3D γενική Διάταξη εξοπλισμού (πίσω αριστερά)



Εικόνα 98. 3D γενική Διάταξη εξοπλισμού (δεξιά)



Εικόνα 99.

Στις παραπάνω εικόνες [Εικόνα 101-104.] διακρίνονται διαγραμματικά τα διάφορα συστήματα ως εξής:

- A. Συστοιχία Α΄
- B. Συστοιχία Β΄
- C. Συστοιχία Γ΄
- D. Συστοιχία Δ΄
- E. Σύστημα διαχείρισης θερμοκρασίας συσσωρευτών
- F. Ηλεκτρολογικό κουτί διακλάδωσης B-
- G. Power Delivery Unit B+
- H. Ηλεκτρολογικό κουτί ασφάλειας ισχύος
- I. Ηλεκτρολογικό κουτί διακλάδωσης
- J. DC-DC Converter
- K. Σύστημα ηλεκροκινητήρα
- L. Μαγνητικός αισθητήρας στροφών
- M. Πρίζα SAE J1772
- N. Παροχικό SAE J1772 (από την μεριά του εξωτερικού φορτιστή)
- O. Προστατευτικό κάλυμμα από πλαστικό ενισχυμένο με ανθρακονήματα
- P. Μέρος του υποπλαισίου ενισχυμένο με ανθρακονήματα



Εικόνα 100. Φωτογραφία μετατροπής (πίσω αριστερά)

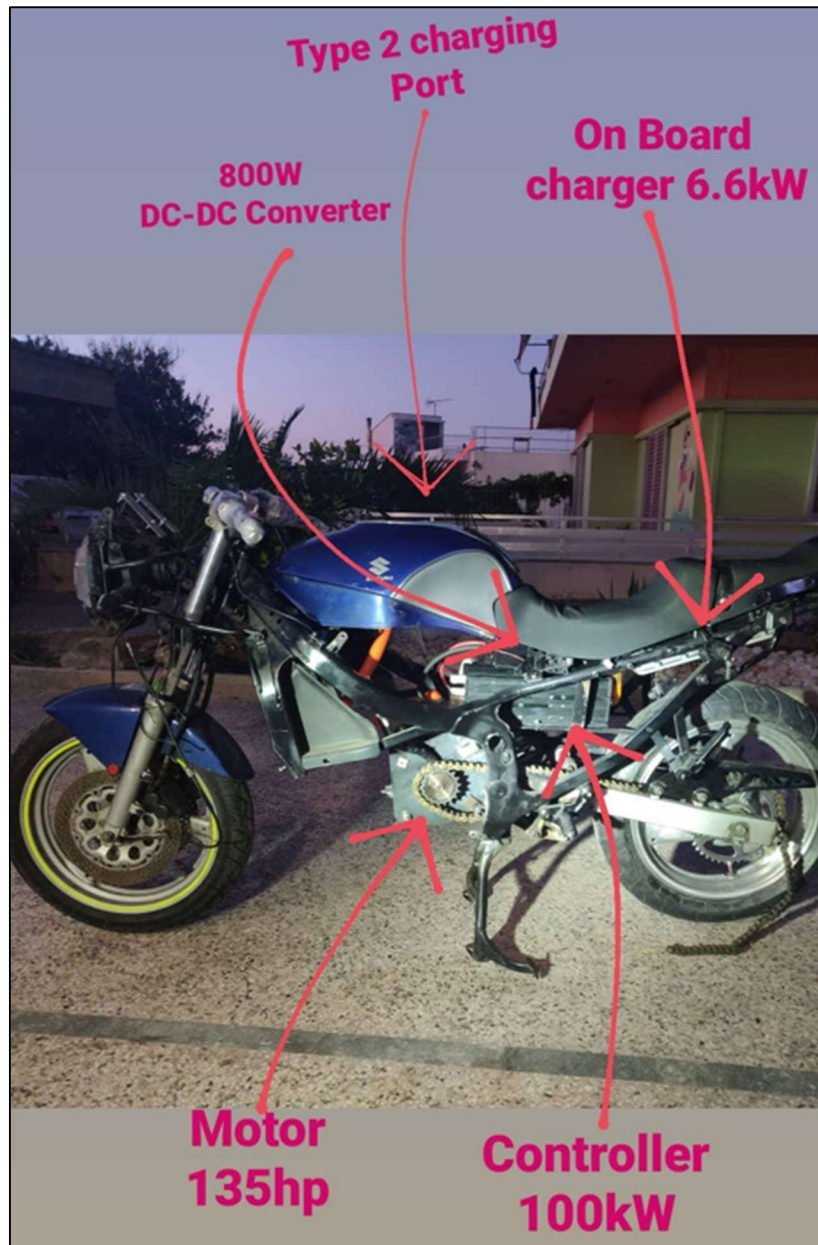


Εικόνα 101. Φωτογραφία μετατροπής, λεπτομέρεια (αριστερά)





Εικόνα 102. Φωτογραφία μετατροπής μόνο με τον ηλεκτροκινητήρα (δεξιά)



Εικόνα 103.

## Κεφάλαιο 5. Προγραμματισμός

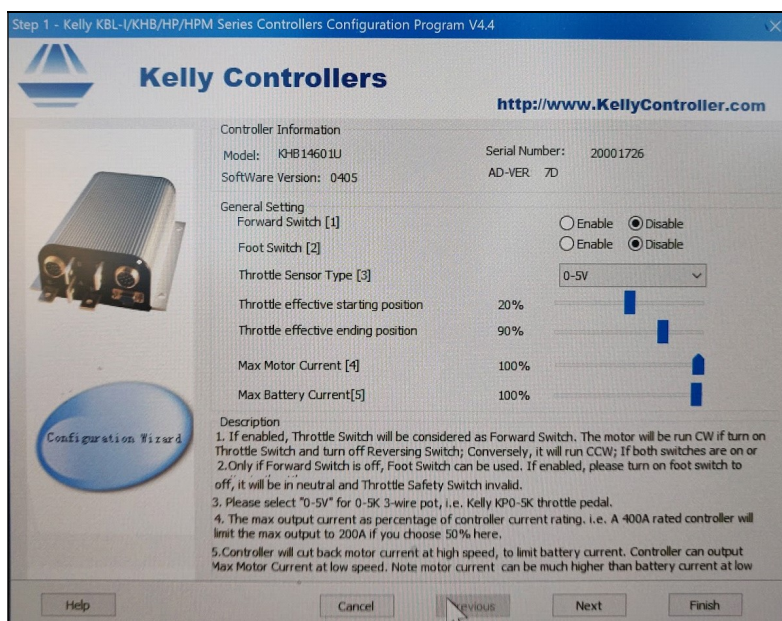
Η έννοια του προγραμματισμού στα αυτοκίνητα σχετίζεται με την ενσωμάτωση ηλεκτρονικών συστημάτων και υπολογιστών στα οχήματα, κάτι που ξεκίνησε να αναπτύσσεται στα μέσα του 20ού αιώνα και έγινε ευρέως διαδεδομένη πρακτική με την πάροδο του χρόνου. Έγινε διαδεδομένη πρακτική τη δεκαετία του 1980, όταν οι ECU άρχισαν να ενσωματώνονται στα περισσότερα οχήματα για τη βελτίωση της απόδοσης και τη συμμόρφωση με κανονισμούς εκπομπών. Από τη δεκαετία του 1990, με την OBD-II και τα έξυπνα συστήματα, ο προγραμματισμός έγινε ουσιαστικά αναπόσπαστο μέρος κάθε αυτοκινήτου.

Ο προγραμματισμός για τα EVs έγινε κρίσιμη πρακτική από τη δεκαετία του 2000, όταν εισήχθησαν πιο σύνθετα ηλεκτρονικά συστήματα, όπως τα Battery Management Systems. Σήμερα, είναι απαραίτητος για τη λειτουργία, τη συνδεσιμότητα και την αυτονομία των ηλεκτρικών οχημάτων, ενώ συνεχίζει να εξελίσσεται με την εισαγωγή AI και συστημάτων V2X.

### 5.1 Προγραμματισμός MCU

Οι MCU στα ηλεκτρικά οχήματα δεν περιορίζονται απλώς στον έλεγχο του κινητήρα, αλλά παίζουν καθοριστικό ρόλο στη συνολική απόδοση του οχήματος. Είναι υπεύθυνοι για την αποτελεσματική διαχείριση της μπαταρίας, μειώνοντας τις ενεργειακές απώλειες, καθώς και για τη βελτιστοποίηση της οδηγικής εμπειρίας μέσω της ακριβούς και ομαλής απόδοσης ροπής και ταχύτητας. Επιπλέον, συμβάλλουν στη βελτίωση της αυτονομίας του οχήματος, αξιοποιώντας έξυπνους αλγόριθμους και ανακτώντας ενέργεια κατά το φρενάρισμα.

Ο προγραμματισμός αυτού του συστήματος βασίζεται στη χρήση σύνθετων μαθηματικών αλγορίθμων, οι οποίοι επεξεργάζονται δεδομένα από αισθητήρες σε πραγματικό χρόνο και είναι ενσωματωμένοι στο λογισμικό του MCU. Με αυτόν τον τρόπο, τα συστήματα προσαρμόζονται στις οδηγικές συνθήκες, βελτιστοποιούν τη χρήση της ισχύος και εξασφαλίζουν τη μέγιστη δυνατή απόδοση, προσφέροντας ταυτόχρονα ασφάλεια και αποτελεσματικότητα.



Εικόνα 104. Στιγμιότυπο από το περιβάλλον προγραμματισμού του MCU



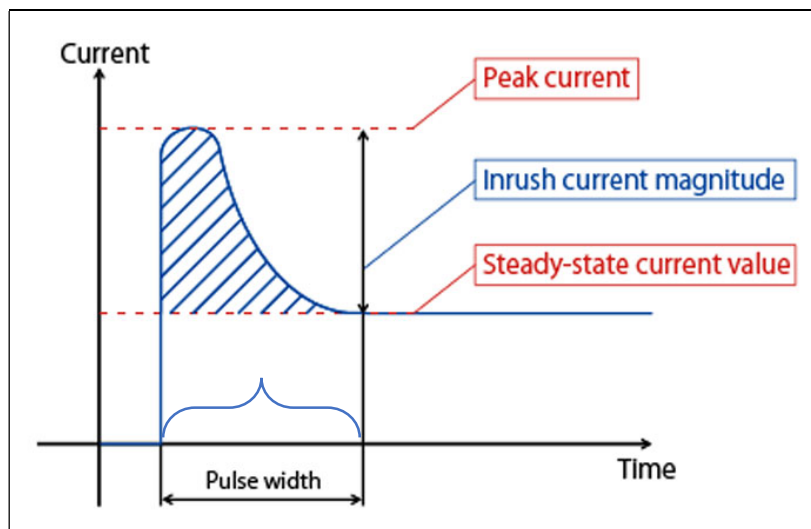
Στην παραπάνω εικόνα [Εικόνα 109.] διακρίνεται το περιβάλλον προγραμματισμού του MCU. Στο 1ο στάδιο, τα εδαφία [1] και [2] δεν έχουν εφαρμογή στην παρούσα διάταξη. Για τον αισθητήρα «γκαζιού» έχει επιλεγθεί ένα συμβατικό «γκαζι χεριού» με ποτενσιόμετρο 0-5KΩ, όπως φαίνεται διπλα. Επιπλέον, σε αυτή τη φάση ρύθμισης, πρέπει να οριστούν τα όρια λειτουργίας του «γκαζιού» και τα όρια της μέγιστης έντασης ρεύματος του ηλεκτροκινητήρα [4] και των συσσωρευτών [5].

Το εδαφίο [4] αναφέρεται στην μέγιστη τιμή έντασης ρεύματος που μπορεί να αποδώσει ο MCU. Αυτή η τιμή επηρεάζει άμεσα την τελική ροπή του ηλεκτροκινητήρα, την αυτονομία του οχήματος και τις ανάγκες ψύξης του MCU και του ηλεκτροκινητήρα. Για τον ήδη εγκατεστημένο MCU η μέγιστη τιμή έντασης ρεύματος είναι 600A για 60". Στο εδαφίο [5] ορίζεται η μέγιστη συνεχόμενη ένταση ρεύματος που παρέχεται από τους συσσωρευτές. Στιγμιαία αυτή η τιμή μπορεί και να ξεπεραστεί για να εξυπηρετήσει τις ανάγκες επιτάχυνσης του οδηγού. Να σημειωθεί ότι ο MCU διαθέτει και σύστημα από συσσωρευτές βραχείας εκφόρτισης (πυκνωτές) οι οποίοι συμβάλουν στη μείωση των ακραίων τιμών εντάσεως ρεύματος που αντλείται από τους κύριους συσσωρευτές.

Στο επόμενο στάδιο [2<sup>ο</sup>] παραμετροποίησης του MCU καλούμαστε να ορίσουμε κάποιες παραμέτρους παροχής ισχύος και γενικής καλής λειτουργίας. Στο εδαφίο [1] ορίζεται η χρονοκαθυστέρηση που χρειάζεται όλο το σύστημα μέχρι να σταθεροποιήσει τις ροές ρεύματος σε όλον τον εξοπλισμό. Το διάστημα α, όπως φαίνεται στο παρακάτω γράφημα [Εικόνα 111.] είναι η ελάχιστη απαιτούμενη χρονοκαθυστέρηση που χρειάζεται το σύστημα μέχρι να σταθεροποιηθεί. Έπειτα από μετρήσεις που έγιναν, στην παρούσα περίπτωση 3" είναι αρκετά ώστε όλα τα συστήματα να σταθεροποιηθούν. Επίσης, παρατηρήθηκε ότι η τιμή της «αιχμής» μειώνεται σημαντικά όταν το κλείσιμο του κεικλώματος γίνεται από ηλεκτροστατικά μονωμένα ρελέ (Relays & Main Contactors). Τέλος παρατηρήθηκε ότι για



διάφορα επίπεδα φόρτισης η απαιτούμενη χρονοκαυστέρηση διαφέρει. Για υψηλότερες τιμές φόρτισης των συσσωρευτών (μεγαλύτερη τάση συστήματος 164,25V max.), απαιτείται μεγαλύτερη περίοδος χρονοκαυστέρησης.



Εικόνα 105. Γραφική αναπαράσταση του φαινομένου (current rush)

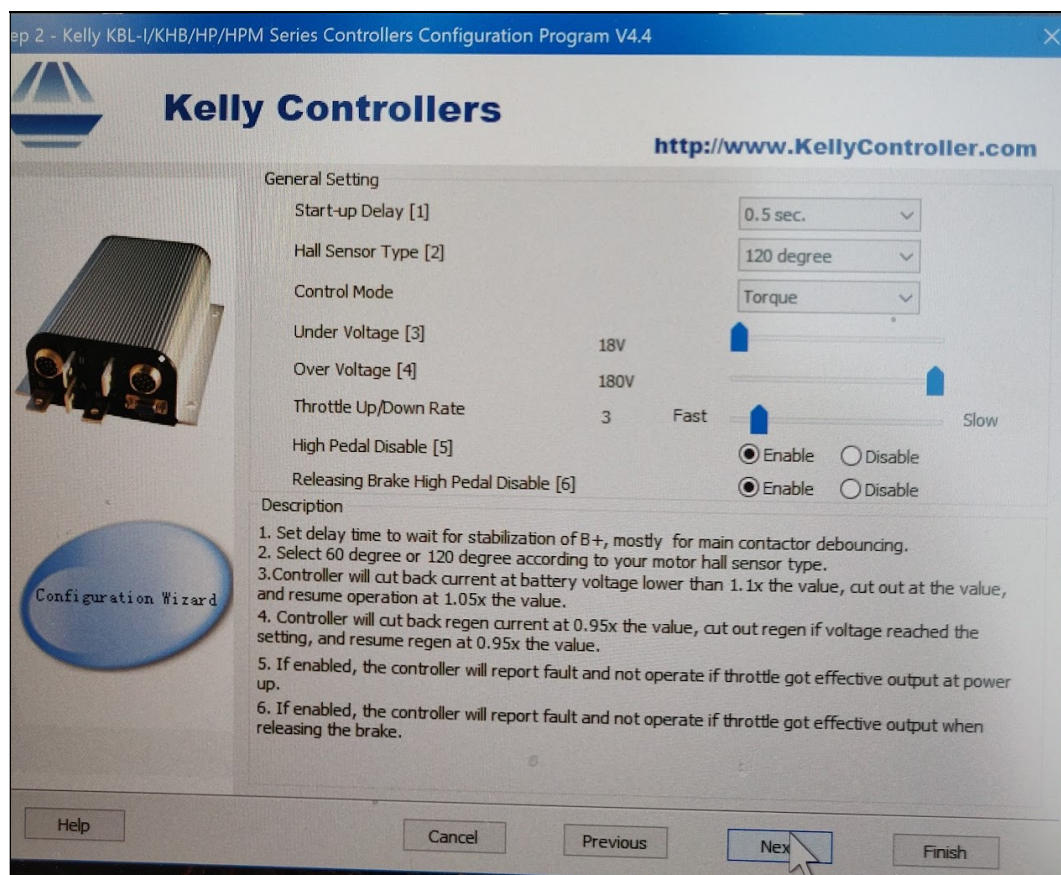
Στο εδαφίο [2] ορίζεται ο τύπος του αισθητήρα θέσης του ρότορα του ηλεκτροκινητήρα. Στην προκειμένη περίπτωση ο ηλεκτροκινητήρας είναι εξοπλισμένος με έναν Hall Effect αισθητήρα 3 θέσεων (120°).

Το εδαφίο [Control Mode] αναφέρεται στον εσωτερικό αλγόριθμο του MCU που διαχειρίζεται την ισχύ που παρέχεται στον ηλεκτροκινητήρα. Οι διαθέσιμες επιλογές είναι [Torque Mode] η οποία δίνει έμφαση στη ροπή του ηλεκτροκινητήρα και η [Speed Mode] όπου δίνει έμφαση στη ταχύτητα περιστροφής του ηλεκτροκινητήρα. Με λίγα λόγια, η επιλογή αυτή ορίζει τη ροπή του ηλεκτροκινητήρα λαμβάνοντας δεδομένα από το «γκαζί». Υψηλές τιμές του ποτενσιόμετρου σημαίνει ότι ο οδηγός επιθυμεί υψηλές τιμές ροπής και άρα δίνει έμφαση στην επιτάχυνση και όχι στην μέγιστη ταχύτητα. Η 2<sup>η</sup> επιλογή είναι η [Speed Mode], όπου σε αυτήν ο ενσωματωμένος αλγόριθμος δίνει έμφαση στην περιστροφή του ηλεκτροκινητήρα και άρα στην τελική ταχύτητα. Τέλος η 3<sup>η</sup> επιλογή που είναι διαθέσιμη είναι η [Balanced Mode], όπου είναι ένας συνδυασμός μεταξύ των δύο προηγούμενων αλγορίθμων. Αυτή η επιλογή δίνει μια πιο ομαλή αίσθηση της επιτάχυνσης.

Τα εδαφία [3] και [4] έχουν να κάνουν σχέση με τη μέγιστη και ελάχιστη επιτρεπόμενη τάση του συστήματος συσσωρευτών. Στο [3] ορίζεται η ελάχιστη τάση λειτουργίας υπό πλήρες φορτίο. Για το υπάρχον σύστημα συσσωρευτών έχει οριστεί ως ελάχιστη επιτρεπόμενη τάση λειτουργίας τα 113V, δηλαδή περίπου 2.5V για κάθε κελί με το ακρότατο ελάχιστο όριο τάσης μέχρι να φθείρεται το κάθε κελί να είναι τα 2.2V δηλαδή 99V συστήματος. Όταν σε πλήρες φορτίο η συνολική τάση των συσσωρευτών πέσει κάτω από τα 103V= 113V/1.1, τότε ο MCU αναστέλλει τη λειτουργία του ή μειώνει την παροχή ισχύος που αντλεί από το σύστημα συσσωρευτών ώστε να το προστατεύσει. Με λίγα λόγια η ισχύς της μοτοσυκλέτας μειώνεται μέχρι η ελάχιστη τάση να επανέλθει περίπου στα 107V. Αντίστοιχα στο εδαφίο [4] ορίζεται η μέγιστη τιμή υπέρτασης. Για αυτή την τιμή, εδώ 166V (βάσει των προδιαγραφών των κελιών, 3.7V max ανά κελί, άρα 166.5V μέγιστη συνολική επιτρεπόμενη τάση όπου πάνω από αυτή τα κελιά αρχίζουν να φθείρονται.), μειώνεται ή σταματά τελείως η ανατροφοδότηση των συσσωρευτών (Regenerative Braking) μέχρι η τάση να πέσει κάτω από τα 158V.

Στο επόμενο εδαφίο [Throttle Up/Down Rate] ορίζεται ο ρυθμός απόκρισης του MCU στις μεταβολές του «γκαζιού» από τον οδηγό.

Τα εδαφία [5] και [6] έχουν να κάνουν με την ασφάλεια του αναβάτη. Στο [5] ο MCU προστατεύει τον οδηγό αν κατά την έναρξη λειτουργίας της μοτοσικλέτας το «γκάζι» είναι «ανοικτό». Αν το [6] είναι ενεργό, ο MCU δεν δίνει ισχύ στον ηλεκτροκινητήρα αν το «γκάζι» και το φρένο πατηθούν ταυτόχρονα. Αυτά αποτρέπουν πολλά ατυχήματα.



Εικόνα 106.

Στο στάδιο [3<sup>ο</sup>] ρυθμίζονται κάποια από τα βασικά χαρακτηριστικά συμπεριφοράς του ηλεκτροκινητήρα. Στο εδάφιο [1] ρυθμίζεται η μέγιστη ταχύτητα περιστροφής του ρότορα. Όπως έχει αναφερθεί ο ηλεκτροκινητήρας έχει λόγο περιελίξεων 27KV, δηλαδή για την μέγιστη τάση του συστήματος 164,25V, ο ρότορας περιστρέφεται με ταχύτητα 4441,5rpm άνευ φορτίου. Στη μέγιστη τάση που μπορεί να δημιουργήσει ο MCU 180V, ο ρότορας μπορεί να περιστραφεί με ταχύτητα 4860rpm. Η μέγιστη ταχύτητα περιστροφής που μπορεί να ελέγξει ο MCU είναι 5000rpm. Η μέγιστη ταχύτητα περιστροφής επηρεάζεται από την στιγμιαία τάση του συστήματος. Υπό πλήρες φορτίο και υπό μέγιστες ανάγκες επιτάχυνσης, η τάση του συστήματος πέφτει. Ο MCU είναι εξοπλισμένος με κατάλληλο σύστημα ρύθμισης και ανύψωσης της τάσης (VRM). Το σύστημα αυτό μπορεί με μεγάλη αξιοπιστία να διατηρεί τη τάση τροφοδοσίας σταθερή. Επίσης, το σύστημα αυτό μπορεί να ανυψώσει την τάση τροφοδοσίας έως 20V πάνω από την εκάστοτε τάση του συστήματος με μέγιστη τάση τα 180V. Αυτά τα δύο χαρακτηριστικά, επηρεάζουν σημαντικά τη μέγιστη περιστροφή του ρότορα. Από τα ανωτέρω και από πραγματικές μετρήσεις έχει παρατηρηθεί ότι αν και οι μεταβολές στην ταχύτητα περιστροφής του ηλεκτροκινητήρα είναι σημαντικές, στην πραγματικότητα η λειτουργία και η χρήση της μοτοσικλέτας είναι πολύ ομαλή χωρίς αυτές οι διακυμάνσεις να γίνονται αντιληπτές ή να προκαλούν πρόβλημα. Αναφορικά αυτές οι διακυμάνσεις αρχίζουν να παρουσιάζονται σε ταχύτητες που ξεπερνούν τα 220km/h.

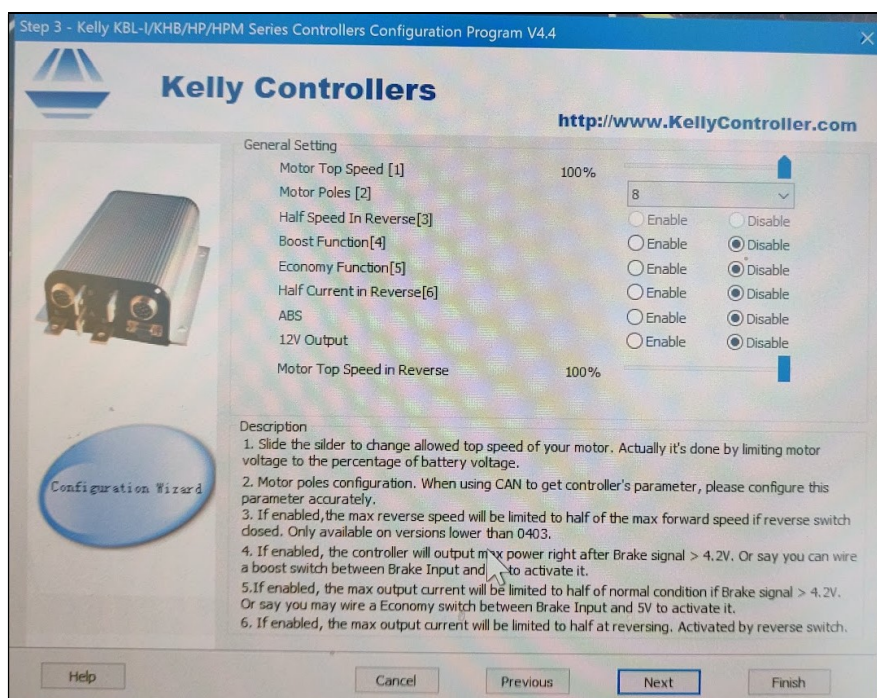
Στο εδαφίο [2] ορίζονται οι πόλοι του ρότορα. Εδώ ο ηλεκτροκινητήρας έχει 20 ζεύγη μόνιμων μαγνητικών πόλων.

Το εδαφίο [3] δεν παραμετροποιείται.

Το εδαφίο [4] ορίζει την ύπαρξη ή μη ενός διακόπτη μέγιστης επιτάχυνσης. Για λόγους καλύτερης οδηγικής εμπειρίας και αυτονομίας, το ποτενσιόμετρο του «γκαζιού» έχει περιοριστεί στο 90%. Παρ' όλα αυτά, έχει ενεργοποιηθεί ο διακόπτης μέγιστης επιτάχυνσης, ο οποίος μπορεί να ενεργοποιηθεί μόνο όταν το ποτενσιόμετρο δίνει ένδειξη μεγαλύτερη του 90%. Αν ο αναβάτης επιθυμεί να επιταχύνει μέγιστα, «τερματίζει το γκάζι» και ενεργοποιεί τον διακόπτη μέγιστης επιτάχυνσης. Όταν το «γκάζι» πέσει κάτω από 90%, η λειτουργία αυτή απενεργοποιείται αυτόματα.

Το εδαφίο [5] αναφέρεται στη λειτουργία οικονομίας η οποία και έχει συμπεριληφθεί. Αυτή η λειτουργία περιορίζει την ισχύ που παρέχεται στο μισό απ' ότι ρυθμίστηκε στο 1<sup>ο</sup> στάδιο.

Το εδαφίο [6] περιορίζει τη ροπή του ηλεκτροκινητήρα κατά την αντίστροφη περιστροφή. Πρακτικά έχουν ρυθμιστεί οι παράμετροι ώστε η ταχύτητα κατά την οπισθοπορεία να μην ξεπερνά τα 3km/h και η κίνηση να είναι εξαιρετικά αργή και ομαλή.



Εικόνα 107.

Το εδαφίο [ABS], προσομοιάζει τη λειτουργία ενός φυσικού συστήματος αντιμπλοκαρίσματος των τροχών. Στη μοτοσικλέτα, υπάρχει αυτόνομο σύστημα αντιμπλοκαρίσματος των τροχών και ο MCU λειτουργεί επικουρικά στην πέδηση. Ουσιαστικά το σύστημα πέδησης της μοτοσικλέτας έχει όμοια λειτουργία με ένα όχημα που διαθέτει αυτόματο ηλεκτρονικό κιβώτιο ταχυτήτων και ABS ταυτόχρονα, δηλαδή μαζί με το πάτημα του φρένου, ο κινητήρας επιβραδύνει, το κιβώτιο κατεβάζει σχέση ταχύτητας και οι ηλεκτροβάνες πέδησης ενεργοποιούνται παλμικά. Ο MCU φροντίζει να ανακόψει τη λειτουργία του ηλεκτροκινητήρα και ταυτόχρονα ενεργοποιεί σε παλμούς την ανατροφοδότηση των συσσωρευτών. Η ηλεκτρονική πέδηση του MCU εφαρμόζεται μόνο στον πίσω τροχό. Το αυτόνομο σύστημα ABS επιδρά ενεργητικά και στους δύο τροχούς, ενισχύοντας έτσι τις επιδόσεις της πέδησης και μειώνοντας δραματικά την απόσταση ακινητοποίησης.



Στο εδαφίο [12V Output] είναι ένας εσωτερικός του MCU διακόπτης ο οποίος τροφοδοτεί μόνο ρελέ και contactors έως 50W για βοηθητικές λειτουργίες όλων των συστημάτων, πχ. Ψύξη του ηλεκτροκινητήρα και του MCU.



Εικόνα 108.

Στο επόμενο στάδιο, το [4<sup>ο</sup>], ρυθμίζονται διάφοροι παράμετροι που έχουν να κάνουν με την οδηγική συμπεριφορά της μοτοσικλέτας και πιο συγκεκριμένα παράμετροι που επηρεάζουν την πέδηση της μοτοσικλέτας. Αρχικά στο εδαφίο [1] ενεργοποιείται ή απενεργοποιείται η λειτουργία ανάκτησης ενέργειας κατά την πέδηση (Regenerative Braking). Η λειτουργία αυτή μετατρέπει την μηχανική (κινητική) ενέργεια σε ηλεκτρική επαναφορτίζοντας έτσι τους συσσωρευτές μέσω του MCU, ο οποίος ρυθμίζει αυτόματα τις παραμέτρους επαναφόρτισης των συσσωρευτών (CC ή CV ανάλογα την στάθμη φόρτισης). Να σημειωθεί ότι η διαδικασία ανάκτησης της μηχανικής ενέργειας και η επαναφόρτιση της μπαταρίας έχει απώλειες οι οποίες δεν είναι αμελητέες. Ο MCU έχει απόδοση έως και 96% για ταχύτητες περιστροφής του ρότορα που δημιουργούν μεταξύ της τάσης εισαγωγής και της τάσης του συστήματος διαφορά δυναμικού μεγαλύτερο των 5V. Για διάφορες άλλες ταχύτητες περιστροφής οι απώλειες αυτές μεταφράζονται σε θερμότητα, η οποία αν δεν απομακρυνθεί αποδοτικά μπορεί να θέσει τον MCU εκτός λειτουργίας.

Το εδαφίο [2] αναγνωρίζει τη ύπαρξη ή μη ενός διακόπτη πέδησης, ο οποίος ενεργοποιεί τη λειτουργία ανάκτησης ενέργειας. Στην παρούσα περίπτωση έχει χρησιμοποιηθεί ένα ποτενσιόμετρο με την μορφή πεντάλ στην αριστερή μπάρα του τιμονιού. Αυτό με την σειρά του, ρυθμίζει σταδιακά την «ένταση» πέδησης που δημιουργείται κατά την ανάκτηση ενέργειας.

Το εδαφίο [3] ρυθμίζει το ποτενσιόμετρο του «γκαζιού» ως αισθητήρα ανάκτησης ενέργειας. Ουσιαστικά, αν απελευθερωθεί το «γκάζι» ή μοτοσικλέτα μπαίνει σε κατάσταση ανάκτησης ενέργειας και έτσι φρενάρει προοδευτικά μέχρι το ποτενσιόμετρο του «γκαζιού» να δείξει την ελάχιστη τιμή του.



Το επόμενο εδάφιο [Regen Current by Brake Switch On] ορίζει αυστηρά την ένταση συνεχούς ρεύματος ανάκτησης ενέργειας. Η μέγιστη τιμή ρεύματος που μπορεί να δεχθεί το σύστημα συσσωρευτών είναι 1C, δηλαδή 125A αφού το σύστημα έχει ονομαστική και μέση χωρητικότητα 125Ah 5cells \* 25Ah. Όμως, ο MCU είναι ικανός να τροφοδοτήσει το σύστημα με έως και 300A. Οπότε, η μέγιστη τιμή ρεύματος ανάκτησης που θα μπορούσε να μπει είναι 41,6%. Οποιαδήποτε άλλη μεγαλύτερη τιμή ενδέχεται να βλάψει σοβαρά την υγεία και αξιοπιστία των συσσωρευτών.

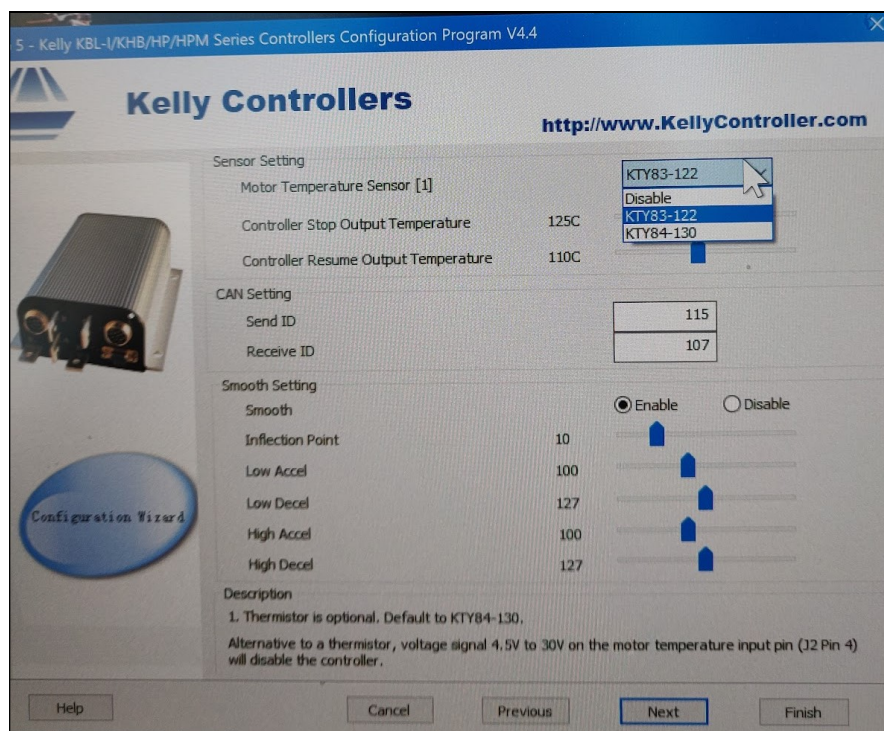
Το εδάφιο [4] είναι ένας πρόσθετος συντελεστής που ορίζει πόση πρέπει να είναι η μέγιστη ένταση ρεύματος ανατροφοδότησης που δίδεται από τον χρήστη και η οποία είναι μικρότερη ή ίση με την μέγιστη ένταση συνεχούς ρεύματος που μπορεί να υποστηρίξει το σύστημα συσσωρευτών. Υψηλότερες τιμές αυτής της έντασης, συνεπάγονται και σε πιο απότομη πέδηση, πιο απότομο φρενάρισμα και περισσότερες απώλειες κατά την φόρτιση.

Τα επόμενα εδάφια έχουν να κάνουν με το υπάρχον σύστημα ελέγχου της έντασης ρεύματος ανατροφοδότησης. Στην προκειμένη περίπτωση έχει εγκατασταθεί ένα ποτενσιόμετρο στην αριστερή χειρολαβή 0-5V και τα όρια ελέγχου του είναι από 10% έως 95%. Με αυτόν τον τρόπο ο αναβάτης έχει πλήρη έλεγχο του regenerative braking. Αυτή η λύση μπορεί να μεγιστοποιήσει την αυτονομία της μοτοσικλέτας και ελαχιστοποιεί την φθορά στα μέσα τριβής πέδησης (τακάκια). Σε καμία περίπτωση όμως δεν αντικαθιστά τα παραδοσιακά υδραυλικά φρένα που φέρει η μοτοσικλέτα. Το φρένο αυτό πρέπει πάντα να χρησιμοποιείται σε συνάρτηση με τα εμπρόσθια και οπίσθια συστήματα πέδησης.



Εικόνα 109. Ποτενσιόμετρο πέδησης

Στο επόμενο και τελευταίο στάδιο προγραμματισμού του MCU, ρυθμίζονται διάφοροι παράμετροι όπως ο αισθητήρας θερμοκρασίας και τα όρια λειτουργίας του MCU και του ηλεκτροκινητήρα, το πρωτόκολλο CAN επικοινωνίας με διάφορα άλλα συστήματα (εδώ δεν έχει εφαρμογή), καθώς και διάφορες καμπύλες ελέγχου της επιτάχυνσης και επιβράδυνσης.



Εικόνα 110.

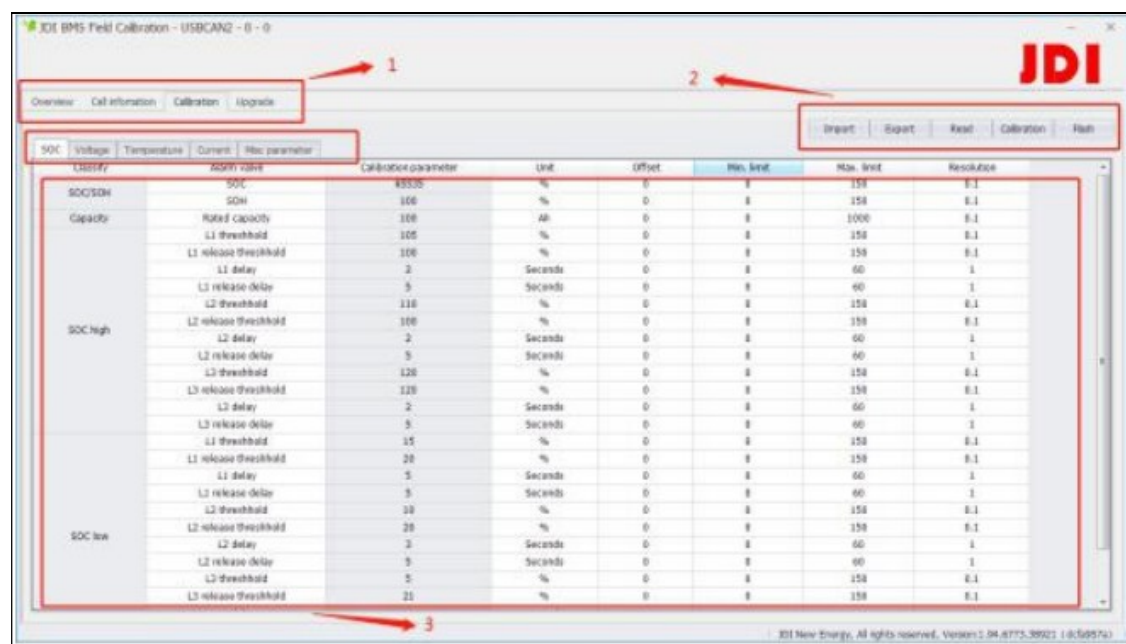
## 5.2 Προγραμματισμός BMS

Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, ο BMS σε ένα ηλεκτρικό όχημα νοείται ως ο εγκέφαλος του οχήματος. Είναι υπεύθυνος για τη σωστή παροχή ισχύος στα διάφορα συστήματα, τη σωστή φόρτιση και εκφόρτιση της μπαταρίας. Λαμβάνει δεδομένα από πολλούς αισθητήρες του οχήματος και προσαρμόζει ανάλογα την δυναμική της μοτοσικλέτας. Μερικοί από τους αισθητήρες είναι οι εξής: αισθητήρες θερμοκρασίας, αισθητήρες γείωσης, αισθητήρες βραχυκυκλώματος, αισθητήρες υγρασίας, επιταχυνσιόμετρο 6 αξόνων, αισθητήρας σταθερής και εναλλασσόμενης τάσης και έντασης ρεύματος, αισθητήρες hall.

Η σωστή αξιοποίηση των αισθητήρων αυτών διαδραματίζει σημαντικότατο ρόλο στην ομαλή και ασφαλή λειτουργία της μοτοσικλέτας. Το πακέτο εγκατάστασης του BMS περιείχε όλους τους απαραίτητους αισθητήρες και ασφαλειοδιακόπτες για την ορθή εγκατάστασή του. Επιπλέον, ήταν διαθέσιμα και προεγκατεστημένα προφίλ λειτουργίας εντός του συστήματος τα οποία χρησιμοποιήθηκαν αυτούσια κάνοντας τις απαραίτητες ρυθμίσεις προκειμένου να λειτουργήσουν όλα σωστά.



Εικόνα 111. Στιγμιότυπο από τον πίνακα ελέγχου του BMS



Εικόνα 112. Στιγμιότυπο από την καρτέρα ρύθμισης παραμέτρων του BMS

**1Α.** Καρτέλες προγράμματος [Σύνοψη|Πληρ. Κελιών|Βαθμονόμηση|Αναβάθμιση

**1Β.** (SOC) Επίπεδο φόρτισης|Τάση|Θερμοκρασία|Ένταση|Διαφ. Παράμετροι

**2.** Πλήκτρα ελέγχου- επικοινωνίας με hardware **3.** Περιεχόμενο καρτέλας

The screenshot shows the 'Cell Information' tab of the JDI BMS Field Calibration software. It displays a table of cell voltages and a table of temperatures.

Voltage							
Cell1's voltage	3.238 V	Cell2's voltage	3.236 V	Cell3's voltage	3.248 V	Cell4's voltage	3.260 V
Cell5's voltage	3.204 V	Cell6's voltage	3.202 V	Cell7's voltage	3.208 V	Cell8's voltage	3.195 V
Cell9's voltage	3.195 V	Cell10's voltage	3.205 V	Cell11's voltage	3.205 V	Cell12's voltage	3.201 V
Cell13's voltage	3.262 V	Cell14's voltage	3.262 V	Cell15's voltage	3.214 V	Cell16's voltage	3.204 V
Cell17's voltage	3.268 V	Cell18's voltage	3.277 V	Cell19's voltage	3.271 V	Cell20's voltage	3.269 V

Temperature							
Pack1's temp.1	23 °C	Pack1's temp.2	23 °C	Pack1's temp.3	23 °C	Pack1's temp.4	23 °C

Εικόνα 113. Καρτέλα κατάστασης κελιών

The screenshot shows the 'Overview' tab of the JDI BMS Field Calibration software. It displays a summary of system parameters and status indicators.

Voltage		Current		SOC	
81.26 V	0.00 A	6.0%			

Power supply							
Bat's voltage	11.98 V	Bat's voltage	11.98 V	MC power supply	11.94 V	Charger's output voltage	0.00 V
Charger's output current	0.0 A	Charging Status	0%	Booting/Charging Status	0%	Initialization	0.00
Insulation Rx	0.000 V	Insulation Rx	0.000 V	Current sensor error	0%	Cell voltage	0.0

Alarm status							
SOC high	●	SOC low	●	discharge pack over	●	discharge pack under	●
charge pack under	●	charge over temp.	●	charge under temp.	●	discharge over temp.	●
discharge temp. off	●	pack over temp.	●	charge temp. off	●	discharge under temp.	●
discharge cell over	●	discharge cell under	●	discharge cell voltage	●	charge over current	●
charge cell voltage off	●	insulation	●	current feedback	●	discharge over current	●
						charge cell under	●

Εικόνα 114. Καρτέλα γενικής σύνοψης κατά την λειτουργία του συστήματος BMS

1. Καρτέλες προγράμματος [Σύνοψη | Πληρ. Κελιών | Βαθμονόμηση | Αναβάθμιση]
2. Γενική σύνοψη λειτουργίας
3. Πληροφορίες παροχής ισχύος και μικροκαταναλώσεις
4. Πίνακας ειδοποιήσεων.

Οι εικόνες παρουσιάζουν τα ίδια στοιχεία. Η είναι από την πιο πρόσφατη έκδοση του λογισμικού.

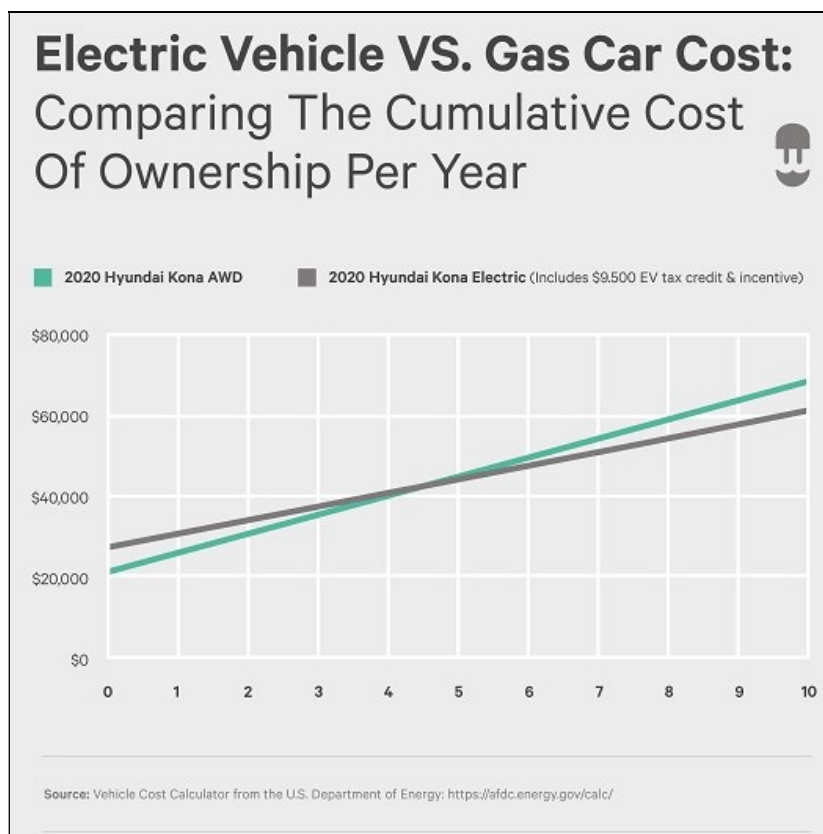


## Κεφάλαιο 6. Οικονομικά στοιχεία

Είναι πλέον γεγονός ότι ολόκληρη η Ευρώπη βρίσκεται αντιμέτωπη με ένα κύμα ενεργειακής κρίσης. Το κύμα αυτό έχει επηρεάσει σημαντικά και την Ελλάδα. Η κύρια επίπτωση της κρίσης είναι το αυξημένο κόστος ενέργειας (€/kWh). Η γενική ακρίβεια της ενέργειας ανάγκασε τον μέσο πολίτη να μειώσει το ενεργειακό του αποτύπωμα και να στραφεί σε καθημερινές λύσεις που μειώνουν ενεργητικά τα καθημερινά του έξοδα. Ένα σημαντικό μέρος των εξόδων αυτών καταναλώνεται στις μετακινήσεις. Η κοινότητα της σύγχρονης Αυτοκινητοβιομηχανίας αναλογιζόμενη τις παραπάνω παραμέτρους, στράφηκε στην ανάπτυξη εναλλακτικών μεθόδων μετακίνησης. Η κύρια και πιο προσιτή λύση στην οποία στράφηκαν τα μέλη της κοινότητας, η οποία βελτιστοποιεί την χρήση ενέργειας, είναι η ηλεκτροκίνηση.

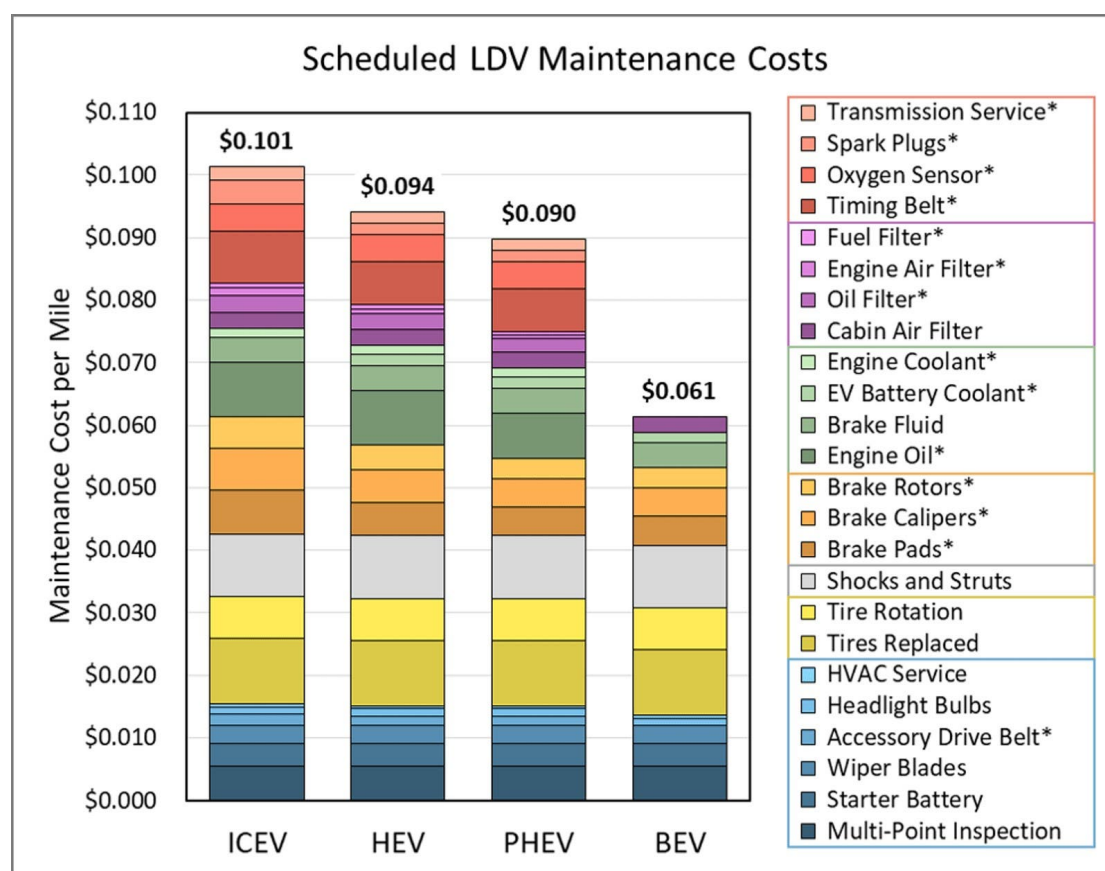
Η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας για τις μετακινήσεις παρέχει σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα συμβατικά οχήματα. Ένα από τα πιο βασικά πλεονεκτήματα είναι το χαμηλό συνολικό κόστος του κύκλου ζωής. Στην [Εικόνα 121.], παρουσιάζονται οι καμπύλες του συνολικού κόστους για δύο οχήματα, ένα ηλεκτρικό και ένα συμβατικό, σε μια περίοδο 10 ετών. Εντός αυτής της περιόδου, το ηλεκτρικό όχημα εμφανίζει χαμηλότερο συνολικό κόστος, παρά την υψηλότερη αρχική του τιμή.

Αξίζει να σημειωθεί ότι στο γράφημα δεν έχει ληφθεί υπόψη η στοχαστική φύση των τιμών της βενζίνης και της ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς οι καμπύλες βασίζονται σε σταθερές τιμές. Επίσης, το κόστος συντήρησης για το ηλεκτρικό όχημα είναι σημαντικά μικρότερο, δεδομένου ότι διαθέτει λιγότερα μηχανικά μέρη και υψηλότερο βαθμό αξιοπιστίας.



Εικόνα 115. Καμπύλες αθροιστικού κόστους κτήσης ανάμεσα σε δύο όμοια οχήματα ίδιας μάρκας. Ένα ηλεκτρικό και ένα συμβατικό. Πηγή: Vehicle Cost Calculator from the U.S. Department of Energy: <https://afdc.energy.gov/calc/>

Στην δημιουργία του παραπάνω γραφήματος έχει συμπεριληφθεί και το κόστος συντήρησης των οχημάτων. Τα ηλεκτρικά οχήματα έχουν λιγότερα μηχανικά μέρη με μεγαλύτερο βαθμό αξιοπιστίας απ' ό,τι τα συμβατικά. Τα δεύτερα, εκ κατασκευής τους χρειάζονται περισσότερους τεχνικούς ελέγχους καλής λειτουργίας και περισσότερες επισκευές. Κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής, στα συμβατικά οχήματα χρειάζεται να αντικατασταθούν και να συντηρηθούν διάφορα μηχανικά μέρη τους ώστε να εξασφαλίζεται η ασφάλεια και η ομαλή λειτουργία τους. Η πληθώρα των διάφορων εξαρτημάτων συνεπάγεται και μειωμένο βαθμό αξιοπιστίας, κατά την έννοια ότι υπάρχουν πολλά εξαρτήματα που ενδέχεται να παρουσιάσουν βλάβη. Αυτό συνεπιφέρει και μια παθητική (υποκείμενη) αύξηση του κόστους ζωής των συμβατικών οχημάτων με αποτέλεσμα ο μειωμένος βαθμός αξιοπιστίας των συμβατικών συγκρινόμενος με αυτόν των ηλεκτροκίνητων οχημάτων να μεταφράζεται σε περισσότερες ώρες στο συνεργείο ή ακόμα και σε αύξηση της πιθανότητας να υπάρξει κάποια βλάβη σημαντικής αξίας. Επομένως, ένα κόστος που συνήθως δεν υπολογίζεται είναι αυτό που σχετίζεται με την πιθανότητα βλάβης [Εικόνα 122].

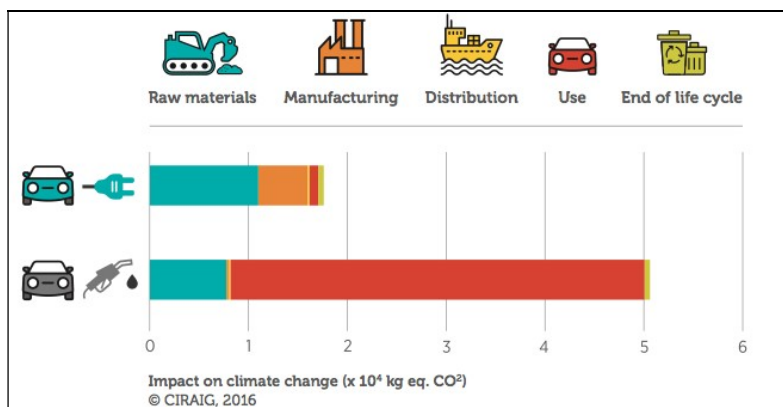


Εικόνα 116. Αναπαράσταση των επιμέρους δαπανών ανά μίλι ανάμεσα στις γενικές κατηγορίες των συμβατικών, των ήπια υβριδικών, των plug-in υβριδικών και ηλεκτρικών οχημάτων. [2]

Ένας ακόμη παράγοντας που αυξάνει τη διαφορά του τελικού κόστους χρήσης των οχημάτων των δύο κατηγοριών, είναι και τα οικονομικά κίνητρα που πολλές χώρες παρέχουν για την απόκτηση ενός αμιγώς ηλεκτρικού οχήματος. Πιο συγκεκριμένα, η Ελλάδα έχει υιοθετήσει μια πληθώρα κινήτρων που αφορούν τα αμιγώς ηλεκτρικά και τα υβριδικά-ηλεκτρικά οχήματα. Τα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα απαλλάσσονται από τα εθνικά τέλη κυκλοφορίας, από ορισμένα τέλη στάθμευσης, από το τέλος ταξινόμησης, από τον εθνικό δακτύλιο. Επιπλέον οι ιδιοκτήτες των ηλεκτρικών οχημάτων απαλλάσσονται από το τεκμήριο και τον φόρο πολυτελούς διαβίωσης για οχήματα αξίας έως €50.000. Ακόμη, το ελληνικό κράτος παρέχει επιπλέον κίνητρα με τη μορφή επιδότησης κατά την αγορά νέου ηλεκτρικού και την

απόσυρση του παλαιού συμβατικού, και απαλλάσσει τα εισαγόμενα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα από τους εθνικούς δασμούς. Τέλος, η πολιτεία σε συνεργασία με διάφορους παρόχους και φορείς ενέργειας, έχει δημιουργήσει μια σειρά από οφέλη και εκπτώσεις που σχετίζονται με την τελική αξία φόρτιση των οχημάτων αυτών και την εγκατάσταση φορτιστών και ταχυφορτιστών.

Παρακάτω βλέπουμε την περιβαλλοντική αξία σε βάθος χρόνου ενός συμβατικού και ενός ηλεκτρικού οχήματος. Για τη δημιουργία του γραφήματος αυτού έχουν ληφθεί υπόψιν το περιβαλλοντικό κόστος παραγωγής, πρώτων υλών, μεταφοράς, χρήσης και του τέλους του κύκλου ζωής.



Εικόνα 117. Ενδεικτικό γράφημα τάξης μεγέθους εκπομπών CO<sub>2</sub> ανάμεσα σε ένα ηλεκτρικό και ένα συμβατικό όχημα. [CIRAIG 2016]

Αναλογιζόμενοι όλα τα παραπάνω, είναι ευκρινές ότι για διάστημα μελέτης μεγαλύτερο των 5 ετών, η πιο συμφέρουσα επιλογή για μετακίνηση είναι αυτή του ηλεκτρικού οχήματος.

Το παρακάτω γράφημα [Εικόνα 124.] είναι όμοιο με το πρώτο. Καταδεικνύει τη σχέση κόστος-χρόνος κτήσης μιας συμβατικής μοτοσικλέτας, μιας αμιγώς ηλεκτρικής και μιας μοτοσικλέτας που έχει μετατραπεί σε ηλεκτρική. Είναι σημαντικό να αναδειχθούν τα εξής:

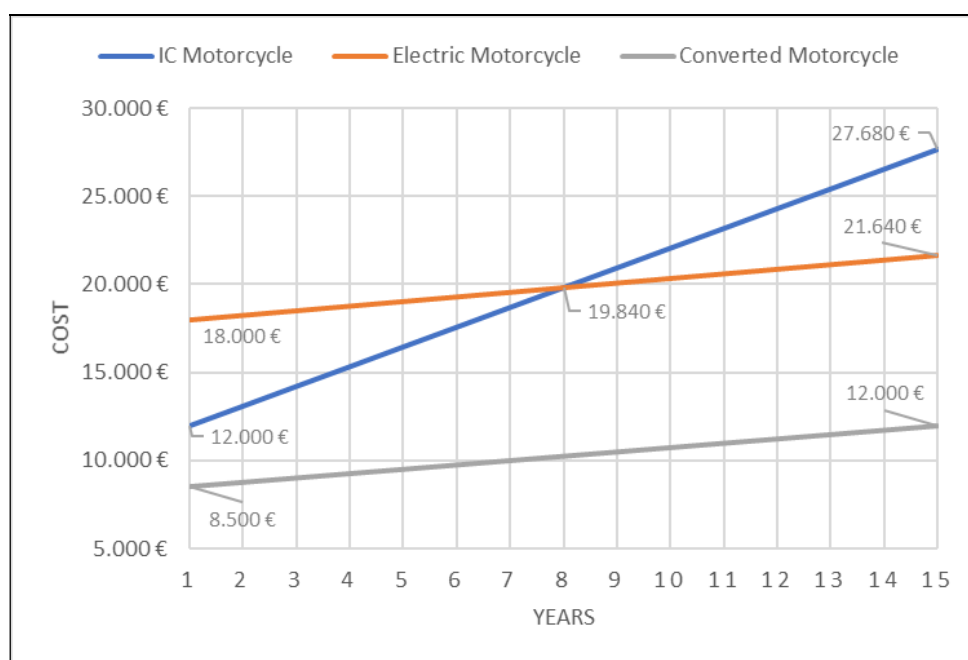
1. Οι μοτοσικλέτες (κατά γενίκευση) είναι λιγότερο οικονομικά οχήματα από τα αυτοκίνητα, δηλαδή σε βάθος χρόνου έχουν μικρό συντελεστή απόσβεσης του κόστους βάσει των μέσων χιλιομέτρων και του κόστους απόκτησής τους (Βλ. κλίση καμπυλών).
2. Τα στοιχεία που συντέλεσαν στη δημιουργία του γραφήματος και για τις 3 μοτοσικλέτες, προέρχονται από ιδιόκτητες μοτοσικλέτες όμοιες σε τεχνικά χαρακτηριστικά.
  - Ηλεκτρική μοτοσικλέτα ZERO DSR 2019 κόστος αγοράς 18.000€
  - Συμβατική μοτοσικλέτα Yamaha TDM 900 2007 κόστος αγοράς 12.000€
  - Μετασκευασμένη μοτοσικλέτα Suzuki GSX 400F 1988 κόστος μετασκευής 8.500€
3. Στο κόστος της μετασκευασμένης μοτοσικλέτας δεν συμπεριλαμβάνεται το κόστος απόκτησής της διότι δεν είναι σταθερό και διαφέρει από μετατροπή σε μετατροπή. Συγκεκριμένα και χωρίς να υπολογίζεται το κόστος αυτό στο παρακάτω γράφημα [Εικόνα 124.], το κόστος απόκτησης της συγκεκριμένης μοτοσικλέτας κυμαινόταν από 550€ έως 800€ αν δεν ήταν λειτουργική και >1000€ αν ήταν σε καλή κατάσταση και σε θέση να κυκλοφορήσει νόμιμα. Παρ' όλα αυτά αν κάποιος επιθυμεί να συνυπολογίσει το κόστος απόκτησης της μοτοσικλέτας προς μετατροπή στην χάραξη του γραφήματος, αρκεί να μετατοπίσει την γκρι καμπύλη (καμπύλη κόστους μετατροπής) προς τα πάνω αναλογικά με την αξία απόκτησης εφόσον αυτή θεωρείται σταθερή. Σκοπός του γραφήματος είναι να θεωρηθεί ως μια καινούρια μοτοσικλέτα χωρίς παρελθόν. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η πρότερη καλή κατάσταση των βασικών μερών της (φρένα, τροχοί, πλαίσιο, μπροστινό σύστημα κλπ.)

## 4. Κλίσεις καμπυλών

- Πορτοκαλί και γκρι (Electric Motorcycle και Converted Motorcycle) ~ 240€ το οποίο αναλύεται σε μέσο κόστος ασφάλισης, και μέσο κόστος ελάχιστης συντήρησης [ελαστικά, φρένα κ.ο.κ.]
- Μπλε (IC Motorcycle) ~1000€ το οποίο περιλαμβάνει κόστη όπως τέλη κυκλοφορίας, πλήρη συντήρηση, κόστος καυσίμων, κόστος ασφάλισης.

Άρα λοιπόν, δεδομένης της ομοιότητας των τριών αυτών μοτοσικλετών παρατηρούμε τα εξής στοιχεία:

1. Το καθημερινό κόστος της μετασκευασμένης μοτοσικλέτας είναι ίδιο με αυτό της ηλεκτρικής.



Εικόνα 118. Καμπύλες αθροιστικού κόστους κτήσης ανάμεσα σε 3 μοτοσικλέτες.

2. Το εύρος απόκτησης μιας μοτοσικλέτας προς μετατροπή, με γνώμονα τα τεχνικά χαρακτηριστικά που αναλύθηκαν σε προηγούμενα κεφάλαια αναλύεται ως εξής: (12000-8500=3500€). Συνεπώς, το περιθώριο κόστους για την απόκτηση μιας μοτοσικλέτας για μετατροπή είναι 3500€ προκειμένου να θεωρηθεί 100% συμφέρουσα σε σχέση με την αγορά αντίστοιχης συμβατικής. Το ποσό των 3500€ ανταποκρίνεται σε μια πολύ μεγάλη γκάμα μεταχειρισμένων μοτοσικλετών όπου η εύρεση μιας συμβατικής προς μετατροπή μοτοσικλέτα είναι απολύτως ρεαλιστική.

Η οικονομική διάσταση της μετατροπής μιας συμβατικής μοτοσικλέτας σε ηλεκτρική παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Το κόστος μετατροπής περιλαμβάνει την αγορά του ηλεκτρικού κινητήρα, της μπαταρίας και άλλων αναγκαίων εξαρτημάτων, ενώ μπορεί να διαφοροποιηθεί ανάλογα με τις απαιτήσεις του οχήματος. Συνολικά, το κόστος μετατροπής είναι χαμηλότερο από την αγορά μιας νέας ηλεκτρικής μοτοσικλέτας, καθιστώντας την επιλογή αυτή προσιτή για πολλούς χρήστες.

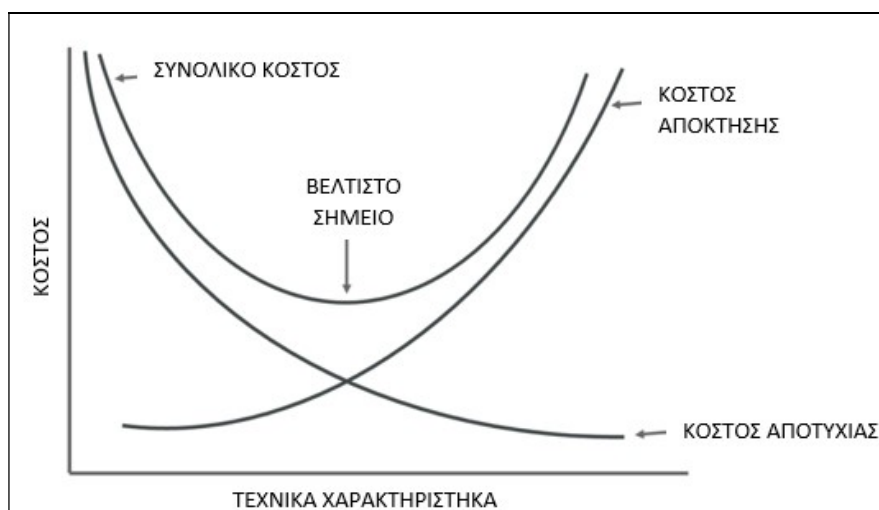
Επιπλέον, η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας αντί καυσίμων μειώνει το λειτουργικό κόστος, ενώ η μειωμένη ανάγκη για συντήρηση επιφέρει περαιτέρω εξοικονομήσεις. Η αύξηση της ζήτησης και η βελτίωση των τεχνολογιών αναμένεται να μειώσουν το κόστος μετατροπής στο μέλλον, ενισχύοντας τη βιωσιμότητα της λύσης.



## Κεφάλαιο 7. Συμπεράσματα

Η μετατροπή μιας συμβατικής μοτοσυκλέτας σε αμιγώς ηλεκτρική, διαδικαστικά μπορεί να θεωρηθεί απλή. Εν ολίγοις, θα μπορούσε κανείς πολύ εύστοχα να μαντέψει ότι για να γίνει εφικτή αυτή η μετατροπή αρκεί να αντικατασταθεί ο θερμικός κινητήρας και τα παρελκόμενά του με έναν ηλεκτροκινητήρα και μια μπαταρία. Όμως με την περιγραφή της διαδικασίας που έγινε στα προηγούμενα κεφάλαια, χρειάζεται να συνυπολογιστούν πολλοί παράγοντες για να καταστεί μια τέτοια μετατροπή βιώσιμη αλλά και ασφαλής. Σε πολλά σημεία της εργασίας καταγράφηκαν προβληματισμοί οι οποίοι έθεταν ζήτημα ασφάλειας, πρακτικού προβλήματος ή ανέβαζαν το κόστος σε απαγορευτικά επίπεδα. Η ισορροπία μεταξύ των τεχνικών λύσεων, των προβληματισμών αλλά και του κόστους της μετατροπής είναι οι παράγοντες που χαρακτηρίζουν το εγχείρημα ως βιώσιμο ή μη.

Η ορθολογική ανάλυση των όρων αυτών, παραπέμπει σε ένα κανόνα όμοιο με αυτόν της σχέσης ποιότητας – κόστους, δηλαδή ένα κλασικό παράδειγμα ανάλυσης βέλτιστου κόστους που συναντάται σε διαδικασίες σχεδιασμού και ανάπτυξης, όπου ο στόχος είναι η ισορροπία μεταξύ κόστους και απόδοσης. Στη δική μας περίπτωση η έννοια της ποιότητας μπορεί να αντικατασταθεί από τις επιθυμητές τεχνικές προδιαγραφές της μετατροπής.



Εικόνα 119. Συνάρτηση κόστους - χαρακτηριστικών ή δυνατοτήτων

Ο προσδιορισμός των τιμών στο παραπάνω γράφημα [Εικόνα 125.] για την παρούσα μετατροπή είναι εξαιρετικά δύσκολος. Ο καλύτερος τρόπος για να ορίσει κανείς την έννοια της βιωσιμότητας συναρτήσει του κόστους, είναι να θέσει έναν αυστηρό στόχο συνολικού κόστους. Η τιμή του κόστους δύναται να διαφέρει από περίπτωση σε περίπτωση. Μια καλή πρακτική διασταύρωσης της βιωσιμότητας είναι να σχηματιστεί το γράφημα σχέση κόστος-χρόνος κτήσης μιας συμβατικής μοτοσυκλέτας, μιας αμιγώς ηλεκτρικής και μιας μοτοσυκλέτας που έχει μετατραπεί σε ηλεκτρική, όπως αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Η εν λόγω μετατροπή χαρακτηρίζεται ως μη βιώσιμη. Τέθηκαν πολύ υψηλοί στόχοι τεχνικών προδιαγραφών (ισχύς, χωρητικότητα συσσωρευτών, κλπ), χρειάστηκαν αρκετές και πολύπλοκες αναλύσεις, χρειάστηκε σοβαρή μεταποίηση του πλαισίου της μοτοσυκλέτας.

Αν επρόκειτο για χαμηλότερα τεχνικά χαρακτηριστικά, η μετατροπή ίσως ήταν βιώσιμη. Τα δύο κυριότερα χαρακτηριστικά που κατέστησαν την εν λόγω μετατροπή μη βιώσιμη είναι η επιθυμητή ισχύς και η συνολική χωρητικότητα του συστήματος συσσωρευτών. Αφενός, η υψηλή ισχύς του ηλεκτροκινητήρα απαιτούσε ένα σύστημα συσσωρευτών με μεγάλη

ονομαστική τάση και υψηλό δείκτη εκφόρτισης C (C-rating). Ένα σύστημα συσσωρευτών υψηλής ενεργειακής πυκνότητας τείνει να έχει υψηλό δείκτη εκφόρτισης C, αλλά εγκυμονεί περισσότερους κινδύνους για υπερθέρμανση. Επιλέχθηκε λοιπόν ένα σύστημα μπαταριών με χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα, υψηλότερη τάση και σχετικά χαμηλό δείκτη εκφόρτισης C για λόγους ασφάλειας που αναφέρθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο. Αφετέρου, το σύστημα υψηλής τάσης απαιτεί μεγάλες διατομές παροχικών αγωγών, αυξάνει την πολυπλοκότητα, απαιτεί πιο εξειδικευμένο BMS και τέλος απαιτεί εξειδικευμένο σύστημα εντοπισμού διαρροής τάσης.

Η μεγάλη ενεργειακή χωρητικότητα της μπαταρίας συνεπάγεται μεγάλους χρόνους φόρτισης. Η επιλογή ενός OBC μεγάλης ισχύος ήταν μονόδρομος. Ένας τέτοιος OBC, όπως αυτός που χρησιμοποιήθηκε στην μετατροπή, απαιτεί ειδική συνδεσμολογία, καλωδίωση και ειδικό ελεγκτή φόρτισης. Ο τελευταίος είναι ενσωματωμένος στον BMS. Έτσι και ο OBC με τη σειρά του έχει αυξημένο μέγεθος και βάρος. Τα φυσικά του χαρακτηριστικά διαδραμάτισαν καθοριστικό ρόλο στην τροποποίηση του πλαισίου.

Έπειτα από αρκετή μελέτη, πολλούς τεχνικούς και θεωρητικούς πειραματισμούς αλλά και μεγάλο χρόνο ενασχόλησης με τη διαδικασία της μετατροπής, είναι ασφαλές να συμπεράνουμε ότι η ιδιοκατασκευή και/ή η μετασκευή μίας μοτοσυκλέτας σε αμιγώς ηλεκτρική δεν αποτελεί βιώσιμη λύση για τις καθημερινές ανάγκες μετακίνησης. Οι δυο κύριοι λόγοι που αποτρέπουν το εγχείρημα αυτό είναι το κόστος μετατροπής (εξαρτήματα, χρόνος εγκατάστασης) και η ασφάλεια του τελικού προϊόντος.

Όσο αφορά τον όρο «ασφάλεια» στη διαδικασία μετατροπής, ως τέτοια νοείται η ελαχιστοποίηση τεχνικών αστοχιών που προκύπτουν από λανθασμένη μελέτη, λανθασμένη τεχνική εφαρμογή, καθώς και η λανθασμένη σχεδίαση τελικής χρήσης της μοτοσυκλέτας (δυσχρηστία), όπου αυτά θέτουν σε κίνδυνο τον αναβάτη, τους γύρω ανθρώπους και το περιβάλλον/ ευρύτερο χώρο.

Οι εταιρίες που κατασκευάζουν οχήματα τα οποία διατίθενται εντός της ΕΕ, είναι υποχρεωμένες να έχουν πιστοποιημένες μελέτες οχήματος που σχετίζονται με συγκεκριμένους συντελεστές ασφάλειας. Στην εν λόγω μετατροπή δεν είναι υποχρεωτικό να συνταχθεί μια τέτοια μελέτη, καθώς δύναται να κριθεί το όχημα κατάλληλο για κυκλοφορία έπειτα από έναν απλό τεχνικό έλεγχο της Υ.Ε.Μ.Ο. όμως, σε μια τέτοια μετατροπή, που δεν προορίζεται για μαζική μετατροπή, η ασφάλεια καταλήγει να ορίζεται βάσει προσωπικών προτιμήσεων και όχι βάσει κάποιου μοντέλου.

Εν κατακλείδι, η μετατροπή δεν κατέστη βιώσιμη καθώς το κόστος της και η αβεβαιότητά της κατά τη λειτουργία δεν ήταν αποδεκτά. Το συνολικό κόστος (εξαρτήματα, εξοπλισμός και εργατοώρες) δεν μπορούσε να δικαιολογήσει τα αυξημένα επίπεδα κινδύνου της μετατροπής. Οι κίνδυνοι που αναφέρονται επιγραμματικά σε προηγούμενες ενότητες οφείλονται κυρίως στην έλλειψη μιας ενδεδειγμένης διαδικασίας πιστοποίησης της λειτουργικότητας. Πρακτικά, όμως η μοτοσυκλέτα είναι λειτουργική.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι ο στόχος της διπλωματικής αυτής ήταν να διερευνηθεί η διαδικασία μελέτης και ανάπτυξης μίας ηλεκτρικής μοτοσυκλέτας, με τη μετατροπή μίας συμβατικής μοτοσυκλέτας. Η ολοκλήρωση της διαδικασίας αυτής μέχρι και την τελική συναρμολόγηση, σε μία λειτουργική μοτοσυκλέτα, προσέφερε όλη την απαιτούμενη γνώση και εμπειρία ώστε να καταστεί δυνατό να εξαχθούν τα παραπάνω συμπεράσματα. Αυτά αποτελούν βάση, ώστε να χρησιμοποιηθούν από οποιονδήποτε θέλει να προχωρήσει σε μία τέτοια μετατροπή και ταυτόχρονα για βελτίωση όλων των προδιαγραφών και διαδικασιών αναφέρθηκαν εδώ.

## Κεφάλαιο 8. Μελλοντικές επεκτάσεις

Η παρούσα εργασία αποτελεί μία προσπάθεια προς την κατεύθυνση της βιώσιμης κινητικότητας μέσω της μετατροπής μιας συμβατικής μοτοσυκλέτας σε αμιγώς ηλεκτρική. Ωστόσο, οι προοπτικές περαιτέρω εξέλιξης της τεχνολογίας και των εφαρμογών της είναι πολλές και ποικίλες.

Αρχικά, οι βελτιώσεις στην απόδοση του οχήματος αποτελούν βασική προτεραιότητα για μελλοντική εργασία. Η χρήση προηγμένων υλικών που συνδυάζουν χαμηλό βάρος και υψηλή αντοχή μπορεί να μειώσει το συνολικό βάρος της μοτοσυκλέτας, αυξάνοντας την αυτονομία και βελτιώνοντας την οδηγική εμπειρία. Επιπλέον, η ενσωμάτωση ισχυρότερων ηλεκτρικών κινητήρων και πιο αποδοτικών μπαταριών μπορεί να μεγιστοποιήσει την ενεργειακή απόδοση και να διευρύνει τις δυνατότητες της μοτοσυκλέτας σε απαιτητικά περιβάλλοντα.

Επιπλέον, η περαιτέρω ανάπτυξη λογισμικού και αυτοματισμών θα μπορούσε να παίξει καθοριστικό ρόλο στη βελτίωση της λειτουργικότητας του οχήματος. Η ενσωμάτωση έξυπνων συστημάτων διαχείρισης της μπαταρίας, τα οποία παρακολουθούν και ρυθμίζουν την κατανάλωση ενέργειας, μπορεί να συμβάλει στη μεγιστοποίηση της αυτονομίας. Παράλληλα, η χρήση τεχνητής νοημοσύνης για την ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, όπως η οδηγική συμπεριφορά ή οι συνθήκες του δρόμου, μπορεί να κάνει το όχημα πιο φιλικό προς τον χρήστη και πιο αποδοτικό.

Η ανάπτυξη πρωτοτύπων και η εμπορική αξιοποίηση αποτελούν επίσης σημαντικές κατευθύνσεις για το μέλλον. Η δημιουργία ενός κιτ μετατροπής που θα επιτρέπει τη μετατροπή συμβατικών μοτοσυκλετών σε ηλεκτρικές με οικονομικό τρόπο, θα μπορούσε να καταστήσει την τεχνολογία προσβάσιμη σε μεγαλύτερο κοινό. Εναλλακτικά, ο σχεδιασμός και η παραγωγή ενός πλήρως ηλεκτρικού οχήματος από την αρχή, βασισμένου στις αρχές αυτής της μελέτης, μπορεί να ανοίξει νέες προοπτικές στον τομέα της ηλεκτροκίνησης.

Παράλληλα, είναι απαραίτητο να εξεταστούν και οι περιβαλλοντικές διαστάσεις της εφαρμογής. Η αξιολόγηση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της ηλεκτρικής μοτοσυκλέτας, σε σχέση με τις παραδοσιακές εναλλακτικές, μπορεί να αποδείξει τα οφέλη της λύσης αυτής. Επιπλέον, η ανάπτυξη μεθόδων ανακύκλωσης και ασφαλούς διάθεσης μπαταριών αποτελεί αναπόσπαστο μέρος της βιώσιμης ανάπτυξης.

Τέλος, η νομοθετική εναρμόνιση είναι ένας ακόμη τομέας που απαιτεί προσοχή. Η προσαρμογή της τεχνολογίας σε διαφορετικά νομοθετικά πλαίσια, καθώς και η απλοποίηση των διαδικασιών έγκρισης τύπου, μπορούν να επιταχύνουν την υιοθέτηση της ηλεκτροκίνησης σε παγκόσμιο επίπεδο.

Συμπερασματικά, οι δυνατότητες για την εξέλιξη της ηλεκτροκίνησης και την ευρύτερη εφαρμογή της είναι τεράστιες. Με την κατάλληλη έρευνα, συνεργασία και καινοτομία, η μετάβαση σε έναν πιο βιώσιμο και αποδοτικό τρόπο μετακίνησης μπορεί να γίνει πραγματικότητα.

## Κεφάλαιο 9. Βιβλιογραφία

- [1] AUTOMOTIVE INDUSTRY STANDARDS COMMITTEE. (2018). *Electric Vehicle Conductive DIN SPEC 70121*.
- [2] Burnham, A. G. (2021). *Comprehensive Total Cost of Ownership Quantification for Vehicles with Different Size Classes and Powertrains*. U.S.: Agronne national laboratory, US Department of Energy.
- [3] dataMC. (χ.χ.). *Motorcycle Anti-Squat Calculator*. Ανάκτηση από <https://www.datamc.org/downloads/motorcycle-anti-squat-calculator/>
- [4] DELI GREEN - JDI tech. (2018). *BI51 series Auto BMS System User Manual V2.4*.
- [5] EU. (2018). ΕΕ Εκτελεστικός κανονισμός Vehicle approval 2018-1012. EU: EU.
- [6] EU. (2023, ΔΕΚ 18). ΔΕΛΤΙΟ ΤΥΠΟΥ ΕΕ 1061/23. *ΕΕ 1061/23*. EU.
- [7] EU. (2023). ΔΕΛΤΙΟ ΤΥΠΟΥ ΕΕ 1061/23 . *ΕΚΤΕΛΕΣΤΙΚΗ ΑΠΟΦΑΣΗ*. EU.
- [8] EU. (2023). Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία. *ΕΕ 2023/2413*. EU.
- [9] European Automobile Manufacturers' Association (ACEA). (2019). *EU-2019 Motorcycle single vehicle approval inspection manual*. European Automobile Manufacturers' Association (ACEA).
- [10] Foale, T. (2002). *Motorcycle Handling and Chassis Design*. Spain.
- [11] JDI tech - DELI GREEN. (2020). *LFP 46160 SPEC sheet*. JDI.
- [12] Joerg Dieter Weigl, M. H. (2013, DEC). Environmental impact of Converted Electrical Motorcycle. *World Electric Vehicle Journal*.
- [13] Liu, Y. (2019, MAR 2019). Design a J-type air-based battery thermal management system through surrogate-based optimization. *ScienceDirect*.
- [14] Michael Hernandez, K. M. (2019, NOE 19). Emissions and noise mitigation through use of electric motorcycles. *Transportation Safety and Environment, Volume 1, Issue 2*.
- [15] Michailidis, D. (2023). *Μελέτη σκοπιμότητας και σχεδιασμός ηλεκτρικού κινητήρα-τροχού τύπου "BLDC HUB motor" για δίτροχο όχημα αστικών μετακινήσεων*. HMU Library & Information Center.
- [16] OPEN CHARGE ALLIANCE. (2018). *OCP 1.6 HIGH VOLTAGE CHARGING*. OCA.
- [17] Press, Y. M. (χ.χ.). *DeltaBox TM CRADLE FRAME*. Ανάκτηση από <https://global.yamaha-motor.com/business/mc/mc-tech/standard-technology/deltaBox.html>
- [18] Sen-Tung Wu, Y.-N. C.-Y.-T. (2019). A Fast Charging Balancing Circuit for LiFePO4 Battery. *MPDI*.
- [19] Setiowati Setiowati, B. M. (2016, DEC). Environmental Assessment of Motorcycle using a Life-Cycle Perspective. *Indonesian Journal of Life Cycle Assessment and Sustainability*.



- [20] Suzuki Motor Co Ltd. (1988). *SUZUKI GSX600F SERVICE MANUAL*. SUZUKI Overseas Service Division.
- [21] T. W. Clyne, D. H. (1981). *An Introduction to Composite Materials*. Cambridge University Press.
- [22] Viers, B. D. (2009). Kevlar. In J. E. Mark, *Polymer Data Handbook: Second Edition* (pp. 202-222). Oxford University Press.
- [23] Vogel, C. (2009). *Build Your Own Electric Motorcycle*. McGraw-Hill Education.
- [24] Xuning Feng, D. R. (2019, SEP). Overcharge behaviors and failure mechanism of lithium-ion batteries under different test conditions. *Applied Energy Volume 205*.
- [25] διαβούλευση, Α. (2016). ΠΡΑΚΤΙΚΟ ΔΙΑΒΟΥΛΕΥΣΗΣ 5\_0\_1\_11\_2016\_ΑΔΑ\_798Κ4653ΟΞ\_ΝΓ2. ΕΛΛΑΔΑ.
- [26] ΔΙΑΥΔΕΙΑ. (2019). Περιορισμοί ταξινόμησης 2019 και 2020. ΑΔΑ: ΩΘΓ5465ΧΘΞ-Ζ9Τ. ΕΛΛΑΔΑ.
- [27] Ειρήνη, Χ. (2018). *Σχεδίαση μικρού ηλεκτρικού οχήματος για ταχυμεταφορές*.
- [28] ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ, Υ. Ε. (2022). Συγκοινωνίες 2022. τόμος 21Α – Συγκοινωνίες 2022. ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΤΜΗΜΑ ΕΚΔΟΣΕΩΝ ΚΑΙ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑΚΗΣ ΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ .
- [29] ΠΑΠΑΘΑΝΑΣΟΠΟΥΛΟΥ, Δ. Α. (2013). *ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΙΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΥΚΛΟΥ*. ΠΑΤΡΑ: ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ.
- [30] Συρρής, Σ. (2019). *Σχεδίαση ηλεκτροκίνητου δίκυκλου: με ρεαλιστική εφαρμογή στην καθημερινότητα των χρηστών της (daily commuter)*. ΣΑΜΟΣ: Ιδρυματικό Αποθετήριο HELLANICUS.
- [31] ΦΕΚ. (χ.χ.). ΚΥΑ 1012568. ΦΕΚ.

## Εικόνες και Πίνακες

### Πίνακες

Πίνακας 1. Ικανότητα μεταφοράς έντασης ρεύματος (A) αλουμινένιων αγωγών ανά τυποποιημένες διατομές εμπορίου. Πηγή SoEE.....	37
Ο παραπάνω πίνακας [Πίνακας 2.] χρησιμοποιήθηκε για την επιλογή του κατάλληλου πάχους του αλουμινένιου διανομέα. Η πραγματική ανάγκη για συνεχόμενη ένταση ρεύματος είναι 350A συμπεριλαμβανομένου και του συντελεστή ασφαλείας 15% (πραγματική ανάγκη 305,8A). Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα, ένας διανομέας με εμβαδόν διατομής 200mm <sup>2</sup> ήταν αρκετός. Στη συγκεκριμένη περίπτωση με δεδομένο πλάτος 65mm, προτιμήθηκε διανομέας πάχους 4mm διότι αφενός ήταν πιο εύκολη η προμήθειά του και αφετέρου για 3mm πάχους η διατομή είναι 195mm <sup>2</sup> (≈350A), ενώ για 4mm πάχους η διατομή του είναι 260mm <sup>2</sup> (≈460A). Οι διανομείς με μικρότερο πλάτος έχουν μεγαλύτερο πάχος ώστε να παραμένει ίδια η διατομή των 260mm <sup>2</sup> .....	37
Πίνακας 3. Ικανότητα διαρροής έντασης ρεύματος (A) χάλκινων αγωγών χωρίς μόνωση ανά τυποποιημένες διατομές εμπορίου. Πηγή SoEE.....	38
Πίνακας 4. Τεχνικές Προδιαγραφές ανεμιστήρα .....	66

### Εικόνες

Εικόνα 1. Η μοτοσικλέτα πριν τη μετατροπή. Suzuki GSX 400F γρ. 1988.....	8
Εικόνα 2. Explosion Assembly του πλαισίου της μοτοσικλέτας.....	9
Εικόνα 3. Το αριστερό σχήμα αναπαριστά ένα πλαίσιο κλειστού τύπου, ενώ το δεξί αναπαριστά ένα πλαίσιο ανοικτού τύπου (DeltaBox Yamaha) [18].....	10
Εικόνα 4. Όψεις ηλεκτροκινητήρα .....	14
Εικόνα 5. Φωτογραφία ηλεκτροκινητήρα.....	14
Εικόνα 6. Ηλεκτροκινητήρας (μπροστά) .....	15
Εικόνα 7. Φωτογραφία του ηλεκτροκινητήρα κατά την διάρκεια των προκαταρκτικών ελέγχων. ....	16
Εικόνα 8. 3D απεικόνιση περιβλήματος του ηλεκτροκινητήρα.....	17
Εικόνα 9. Σημείο τοποθέτησης ανεμιστήρα εντός του περιβλήματος. ....	17
Εικόνα 10. 3D απεικόνιση πλήρους συναρμολόγησης ηλεκτροκινητήρα. ....	18
Εικόνα 11. 3D απεικόνιση πλήρους συναρμολόγησης ηλεκτροκινητήρα. ....	19
Εικόνα 12. 3D φωτορεαλιστική απεικόνιση πλήρους συναρμολόγησης ηλεκτροκινητήρα. .	19
Εικόνα 13. 3D φωτορεαλιστική απεικόνιση πλήρους συναρμολόγησης ηλεκτροκινητήρα ..	20
Εικόνα 14. Κουζινέτο με γρασαδόρο .....	21
Εικόνα 15. 3D φωτορεαλιστική λεπτομέρεια μπροστινού τμήματος ηλεκτροκινητήρα.....	21
Εικόνα 16. Χάλκινος εναλλάκτης θερμότητας (ψυγείο) .....	22
Εικόνα 17. Περιστατική αντλία διαφράγματος.....	22
Εικόνα 21. 3D Εκτυπωμένο καπάκι προστασίας πίσω μέρους ηλεκτροκινητήρα.....	23
Εικόνα 22. 3D Απεικόνιση από το καπάκι προστασίας πίσω μέρους ηλεκτροκινητήρα.....	23
Εικόνα 23. Λεπτομέρεια τοποθέτησης του μαγνήτη στροφών πάνω στον άξονα του ηλεκτροκινητήρα.....	24
Εικόνα 24. Μπροστά μέρος περιβλήματος .....	24
Εικόνα 25. Εκτύπωση περιβλήματος .....	25
Εικόνα 26. Κάτοψη με τα βασικά μεγέθη διαστασεολόγησης του MCU .....	26

Εικόνα 27. Πίσω πλάγια όψη MCU. Θύρες ελέγχου J1,J2 Θύρα προγραμματισμού RS232..	27
Εικόνα 28. Εμπρός πλάγια όψη MCU. Ακροδέκτες ισχύος .....	27
Εικόνα 29. Γενική συνδεσμολογία του συστήματος υψηλής τάσης MCU. (Παρέχεται από τον κατασκευαστή.) .....	27
Εικόνα 30. Απεικόνιση του MCU KELLY KHB-14601U .....	28
Εικόνα 31. Απεικόνιση τοποθέτησης του MCU εντός του πλαισίου της μοτοσικλέτας .....	29
Εικόνα 32. Απεικόνιση του MCU KELLY KHB-14601U .....	29
Εικόνα 33. 3D Απεικόνιση ενός κελιού. ....	32
Εικόνα 34. Καμπύλες εκφόρτισης υπό σταθερή θερμοκρασία .....	33
Εικόνα 35. Καμπύλες φόρτισης υπό σταθερή ένταση ρεύματος .....	33
Εικόνα 36. Διαγραμματική απεικόνιση της συνδεσμολογίας των κελιών. 5 κελιά απαρτίζουν ένα unit. ....	33
Εικόνα 37. Φωτορεαλιστική απεικόνιση της διάταξης των κελίων στην Α' Συστοιχίας μπαταριών, μπροστά μέρος.....	34
Εικόνα 38. Φωτορεαλιστική απεικόνιση της διάταξης των κελίων στην Α' Συστοιχίας μπαταριών, πίσω μέρος. ....	34
Εικόνα 39. Φωτορεαλιστική απεικόνιση της διάταξης των κελίων στην Α' Συστοιχίας μπαταριών, μπροστά μέρος (λεπτομέρεια).....	35
Εικόνα 40. Εδώ διακρίνεται το εξωτερικό κέλυφος της συστοιχίας, μπροστά μέρος.....	35
Εικόνα 41. Λεπτομέρεια κελύφους Α' Συστοιχίας μπαταριών. ....	36
Εικόνα 42. Λεπτομέρεια στρωμάτων κελύφους Α' Συστοιχίας μπαταριών. ....	39
Εικόνα 43. Λεπτομέρεια στρωμάτων κελύφους Α' Συστοιχίας μπαταριών.....	39
Εικόνα 44. Πραγματική απεικόνιση της Συστοιχίας Α' πριν γίνει διάστρωση με γομοειδής μονωτική επικάλυψη .....	40
Εικόνα 45. Πραγματική απεικόνιση της Συστοιχίας Α' αφού έχει γίνει διάστρωση με γομοειδής μονωτική επικάλυψη. (πίσω πλευρά).....	40
Εικόνα 46. Πραγματική απεικόνιση της Συστοιχίας Α' αφού έχει γίνει διάστρωση με γομοειδής μονωτική επικάλυψη. (πίσω πλευρά).....	41
Εικόνα 47. Πραγματική απεικόνιση της Συστοιχίας Α' αφού έχει τοποθετηθεί το σύμμικτο περίβλημα περιμετρικά των κελιών. Η συστοιχία έχει περιτυλιχθεί με λεπτή αντιστατική μεμβράνη, η οποία βοηθά στην διαδικασία διάστρωσης ενισχυτικών υφασμάτων.....	41
Εικόνα 48. ....	42
Εικόνα 50. Διάστρωση ενισχυτικών υφασμάτων στην Α' Συστοιχία μπαταριών. ....	43
Εικόνα 51. Διάστρωση ενισχυτικών υφασμάτων στην Α' Συστοιχία μπαταριών, άλλη όψη.44	44
Εικόνα 52. Διάστρωση ενισχυτικών υφασμάτων στην Α' Συστοιχία μπαταριών, άλλη όψη.44	44
Εικόνα 53. Φωτορεαλιστική απεικόνιση της διάταξης των κελίων στην Β' Συστοιχίας μπαταριών.....	45
Εικόνα 54. Φωτορεαλιστική απεικόνιση της διάταξης των κελίων στην Β' Συστοιχίας μπαταριών.....	45
Εικόνα 55. Φωτορεαλιστική απεικόνιση της διάταξης των κελίων στην Β' Συστοιχίας μπαταριών, λεπτομέρεια αγωγών.....	46
Εικόνα 56. ....	46
Εικόνα 57. ....	47
Εικόνα 58. Πραγματική απεικόνιση της Συστοιχίας Β' αφού έχει γίνει εμποτισμός των ενισχυτικών υφασμάτων με ρητίνη [Εμπρός πλευρά] .....	48
Εικόνα 59. Φωτορεαλιστική απεικόνιση της διάταξης των κελίων στην Α' Συστοιχίας μπαταριών.....	49
Εικόνα 60. Πραγματική απεικόνιση της Συστοιχίας Γ' αφού έχει γίνει διάστρωση με γομοειδής μονωτική επικάλυψη [Δεξιά πλευρά] .....	50

Εικόνα 61. Φωτορεαλιστική απεικόνιση της διάταξης των κελίων στην Δ' Συστοιχίας μπαταριών.....	51
Εικόνα 62. Πραγματική απεικόνιση της Συστοιχίας Δ' πριν γίνει διάστρωση με γομοειδής μονωτική επικάλυψη. ....	52
Εικόνα 63. Πραγματική απεικόνιση της Συστοιχίας Δ' αφού έχει γίνει διάστρωση με γομοειδής μονωτική επικάλυψη [Εμπρός πλευρά].....	52
Εικόνα 64. Πραγματική απεικόνιση της Συστοιχίας Δ' αφού έχει γίνει διάστρωση με γομοειδής μονωτική επικάλυψη [Πίσω πλευρά].....	53
Εικόνα 65. Φωτορεαλιστική απεικόνιση της συνολικής διάταξης όλων των συστοιχιών. ....	53
Εικόνα 66. Ηλεκτρολογικό κουτί σύνδεσης ακροδεκτών ισχύος. (3D απεικόνιση) Στο κουτί αυτό διακλαδίζονται οι αγωγοί ή συνδέονται μεταξύ τους.....	54
Εικόνα 67. 3D απεικόνιση ηλεκτρολογικού κουτιού γενικής ασφάλειας υψηλής τάσης.....	54
Εικόνα 68. Ασφάλεια 300 A του συστήματος υψηλής τάσης.....	55
Εικόνα 69. Καμπύλη αστοχίας της ασφάλειας ισχύος. Max System Amps / Time (s).....	55
Εικόνα 70. Ηλεκτρολογικό κουτί διακλάδωσης B- (αρνητικού πόλου).....	55
Εικόνα 71. Ρελέ ισχύος με ενσωματωμένη ασφάλεια 200A. ....	56
Εικόνα 72. Γενικός διακόπτης απομόνωσης.....	56
Εικόνα 73. Ηλεκτρολογικό κουτί διακλάδωσης ισχύος PDU (Power Delivery Unit B+) (3D απεικόνιση). ....	57
Εικόνα 74. Εσωτερική χωτοταξία PDU.....	58
Εικόνα 75. Φωτογραφίες από το Ηλεκτρολογικό κουτί διακλάδωσης ισχύος PDU (Power Delivery Unit B+).....	59
Εικόνα 76. 3D απεικόνιση ενός ασφαλειοδιακόπτη 60A.....	60
Εικόνα 77. Φωτογραφία μίας παλαιότερης έκδοσης του PDU B+. ....	60
Εικόνα 78. Διάγραμμα ροής επικοινωνίας μεταξύ των διάφορων συστημάτων ενός οχήματος.....	61
Εικόνα 79. Φωτογραφία του BMS και των περιφερειακών εξαρτημάτων του.....	62
Εικόνα 80. Φωτογραφία του αισθητήρα έντασης ρεύματος.....	62
Εικόνα 81. Διαστάσεις αισθητήρα έντασης ρεύματος.....	63
Εικόνα 82. Ενδεικτική φωτογραφία των περιεχομένων της οθόνης αφής του BMS. ....	63
Εικόνα 83. Πρωτότυπη έκδοση του συστήματος θέρμανσης.....	64
Εικόνα 84. 3D αναπαράσταση.....	64
Εικόνα 85. Θερμαντήρες θετικού συντελεστή θερμοκρασίας Positive Temperature Coefficient (PTC).....	64
Εικόνα 86. Γενική διάταξη του συστήματος του ανεμιστήρα παροχής αέρα.....	65
Εικόνα 87. Καμπύλη παροχής αέρα ανεμιστήρα και διαστάσεις.....	66
Εικόνα 88. DC – DC Converter (120W) για συστήματα μικρής κατανάλωσης, Μετατροπέας συνεχούς τάσης.....	67
Εικόνα 89. DC – DC Converter (800W) για συστήματα μεγάλης κατανάλωσης, Μετατροπέας συνεχούς τάσης.....	67
Εικόνα 90. Μερική απεικόνιση μετατροπής.....	68
Εικόνα 91. Διάγραμμα κυκλώματος κύριων ηλεκτρικών ισχύος ενός απλού OBC. ....	68
Εικόνα 92. Σχεδιαγραμματική απεικόνιση του τοποθετημένου OBC της μετατροπής. ....	69
Εικόνα 93. Φωτογραφία OBC μετατροπής (πάνω μέρος).....	70
Εικόνα 94. Φωτογραφία OBC μετατροπής (κάτω μέρος).....	70
Εικόνα 95. Φωτογραφία OBC μετατροπής.....	71
Εικόνα 96. Πρίζα φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων IEC 62196-2 [Type 2].....	71
Εικόνα 97. IEC 62196-2 [Type 2].....	71
Εικόνα 98. OBC Πλήρης διάταξη.....	72



Εικόνα 99. Επαγωγικό στοιχείο ψύξης OBC.....	73
Εικόνα 101. 3D γενική Διάταξη εξοπλισμού (μπροστά) .....	74
Εικόνα 102. 3D γενική Διάταξη εξοπλισμού (πίσω αριστερά).....	75
Εικόνα 103. 3D γενική Διάταξη εξοπλισμού (δεξιά) .....	75
Εικόνα 104. ....	76
Εικόνα 105. Φωτογραφία μετατροπής (πίσω αριστερά).....	77
Εικόνα 106. Φωτογραφία μετατροπής, λεπτομέρεια (αριστερά) .....	77
Εικόνα 107. Φωτογραφία μετατροπής μόνο με τον ηλεκτροκινητήρα (δεξιά).....	78
Εικόνα 108. ....	79
Εικόνα 109. Στιγμιότυπο από το περιβάλλον προγραμματισμού του MCU.....	81
Εικόνα 111. Γραφική αναπαράσταση του φαινομένου (current rush) .....	82
Εικόνα 112. ....	83
Εικόνα 113. ....	84
Εικόνα 114. ....	85
Εικόνα 115. Ποτενσιόμετρο πέδησης .....	86
Εικόνα 116. ....	87
Εικόνα 117. Στιγμιότυπο από τον πίνακα ελέγχου του BMS .....	88
Εικόνα 118. Στιγμιότυπο από την καρτέρα ρύθμισης παραμέτρων του BMS.....	88
Εικόνα 119. Καρτέλα κατάστασης κελιών.....	89
Εικόνα 120. Καρτέλα γενικής σύνοψης κατά την λειτουργία του συστήματος BMS .....	89
Εικόνα 121. Καμπύλες αθροιστικού κόστους κτήσης ανάμεσα σε δύο όμοια οχήματα ίδιας μάρκας. Ένα ηλεκτρικό και ένα συμβατικό. Πηγή: Vehicle Cost Calculator from the U.S. Department of Energy: <a href="https://afdc.energy.gov/calc/">https://afdc.energy.gov/calc/</a> .....	90
Εικόνα 122. Αναπαράσταση των επιμέρους δαπανών ανά μίλι ανάμεσα στις γενικές κατηγορίες των συμβατικών, των ήπια υβριδικών, των plug-in υβριδικών και ηλεκτρικών οχημάτων. [2] .....	91
Εικόνα 123. Ενδεικτικό γράφημα τάξης μεγέθους εκπομπών CO <sub>2</sub> ανάμεσα σε ένα ηλεκτρικό και ένα συμβατικό όχημα. [CIRAIG 2016] .....	92
Εικόνα 124. Καμπύλες αθροιστικού κόστους κτήσης ανάμεσα σε 3 μοτοσυκλέτες. ....	93
Εικόνα 125. Συνάρτηση κόστους - χαρακτηριστικών ή δυνατοτήτων .....	94

## Παράρτημα 1

### Τεχνικές προδιαγραφές BMS JDI bi5148

Table 1 Parameters of operating environment

Item	Min	Max	Unit	Remark
Environment parameters				
Operating temperature	-30	85	°C	\
Storage temperature	-40	125	°C	\
Altitude	\	4000	m	\
Humidity	\	95	%RH	No droplet
Atmosphere pressure	57	101	kPa	\
Salt spray(Continued atomization time)	\	16	h	\
Mechanical parameters				
Vibration(Amplitude or acceleration)	\	30	m/S <sup>2</sup>	Amplitude 1.2mm when 10~25Hz; Max 30 m/S <sup>2</sup> when26~500Hz
Drop(height)	\	1.5	m	Horizontal vertical direction
Impact(acceleration)	\	150	m/S <sup>2</sup>	Adopting half sin shock wave
Dustproof& Waterproof (IP degree)	\	54	\	GB 4208

Electric environment				
Supply voltage	9	30	V	Direct current, typical value:12v
Detection range of total voltage	9	400	V	\
Detection range of single cell voltage	0	5	V	\
Detection range of current	-500	500	A	\
Series of battery	4	160	cell	Each board collects 16/32/48 cell at most, cascade extension is supported.

## 2. System overview

### 2.1 System components

Table 2 Components List

Item	Number	Function
BIU	Necessary, 1pce	Internal communication; External communication; State estimate; Safety management; Charge&discharge management; Input control; Output control; Total voltage detection; Insulation detection; Single cell voltage collection; Temperature collection
CS	Necessary, 1pce	Current collection, support to switch between hall current sensor and diverter
Cables	Necessary, 1set	Voltage detection; Temperature detection; Communicating connection; Power connection; Sensor connection; Control connection
Optional components		
BMU	Max ≤ 10 pcs	Cell voltage collection; temperature collection, DCT communication; suitable for numbers of batteries in several separated boxes
LCD	Optional 1pce	Data display; Parameter configuration; Failure warning
DTU	Optional 1pce	Data remote upload; Data remote download; Mobile application
PDU	Optional 1set	Pre-charge circuit; Charging relay; Discharging relay, Main circuit over-current protection; Other power protector of the vehicle

### 2.2 System Structure

Detection range of single cell voltage	0	\	5	V	\
Detection accuracy of single cell	\	\	\	%	≤0.2% , ±5mV error
Current detection range	-500	\	500	A	BIC CSU
Current detection error	0	0.5	3	A	≤0.5%FSR , typical value 0.5A
Temperature detection channel	\	4	\	\	There are 4 temperature sensors of every 16 cells.
Temperature detection range	-40		125	°C	\
Temperature detection accuracy	0	1	2	°C	NTC ,100K
Detection error Insulation resistance	0	10KΩ	10%	KΩ	0 ~ 200KΩ , error < 10KΩ ; >200KΩ , error ≤ ± 10%
Balance current	\	50	120	mA	\
Min voltage difference of starting balance	30	50	800	mV	Configurable

CAN-bus channel	\	\	3	\	Charger/Vehicle/BIU&BMU, CAN2.0B
Serial port	\	\	1	\	Could be used to program software and connect display
Relay output channel	\	\	4	\	Active, continuous current 1A, instantaneous 5A
Input channel number	\	\	4	\	Input signal, such as: active High, ACC, ON, Charging awaken
Charging connect confirmation	\	\	3	\	CC2,CC,CP
Max cascade of BIU and BMU	0	\	10	\	\
SOC estimation error	0	3%	5%	\	$SOC \leq 20\%$ , $SOC \geq 80\%$ ; $3\%;80\%>SOC>20\%$ ; 5%
SOH estimation accuracy	0	5%	10%	\	$SOH>80\%$ , error within 5%; $SOH\leq 80\%$ ,

## 2.4 Technical feature

### (1) Daisy chain topology structure

BIU and BMU connected by Daisy chain topology. They can collect information of 16~48(BIU collection number)+16/32/48\*n ( n=BMU number ) cells.

### (2) Single cell voltage collection

BIU and BMU collect single cell voltage through voltage collecting module.

### (3) Temperature collection

BIU and BMU collect each battery module temperature through NTC temperature modules.

### (4)PACK total voltage detection

BIU can detect the total voltage of battery pack.

### (5)CAN- bus communication

Each BMCU is equipped 3 ways CAN-bus

CAN0:C\_CAN,used for communicating with CSU and acquiring real-time total current

CAN1: D-CAN, used for communicating with charger.

CAN2:A\_CAN, used for communicating with VCU, receiving order and status information from HCU.

### (6)RS485 communication

External display shows the power, voltage, current through RS485 communication, and can also be used to update the program.

### (7)SOC , SOH, SOP calculation

BIU calculates SOC,SOH and SOP on the basis of total current, total voltage, temperature and other parameters.

### (8) State of battery capacity

BIU calculates residual capacity, and shows it on LCD display/vehicle instrument/software.

### (9) Driven relay/fan

BIU control the load power on/off through high side driven.

### (10) Pre-charge module

When BIU control the load charging, it will pre-charge the main circuit load through pre-charge module before charging the load.AUX+ could be used for controlling external pre-charge



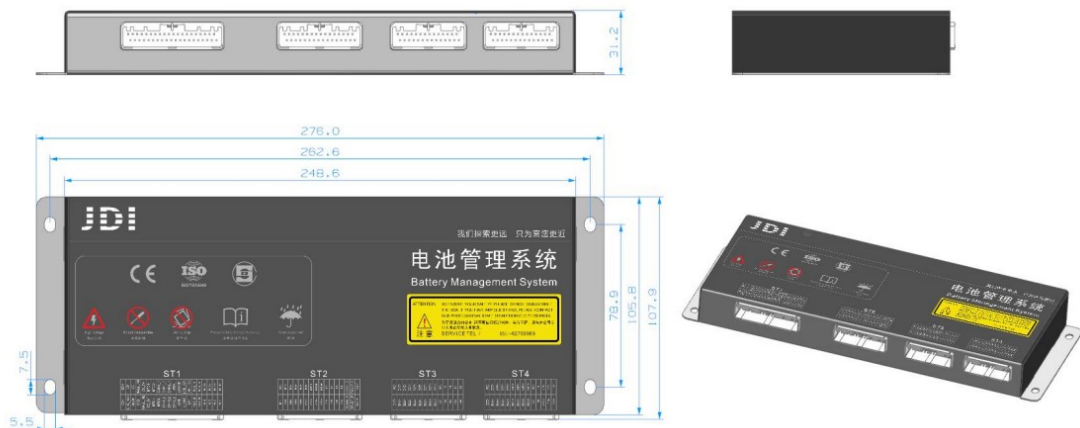
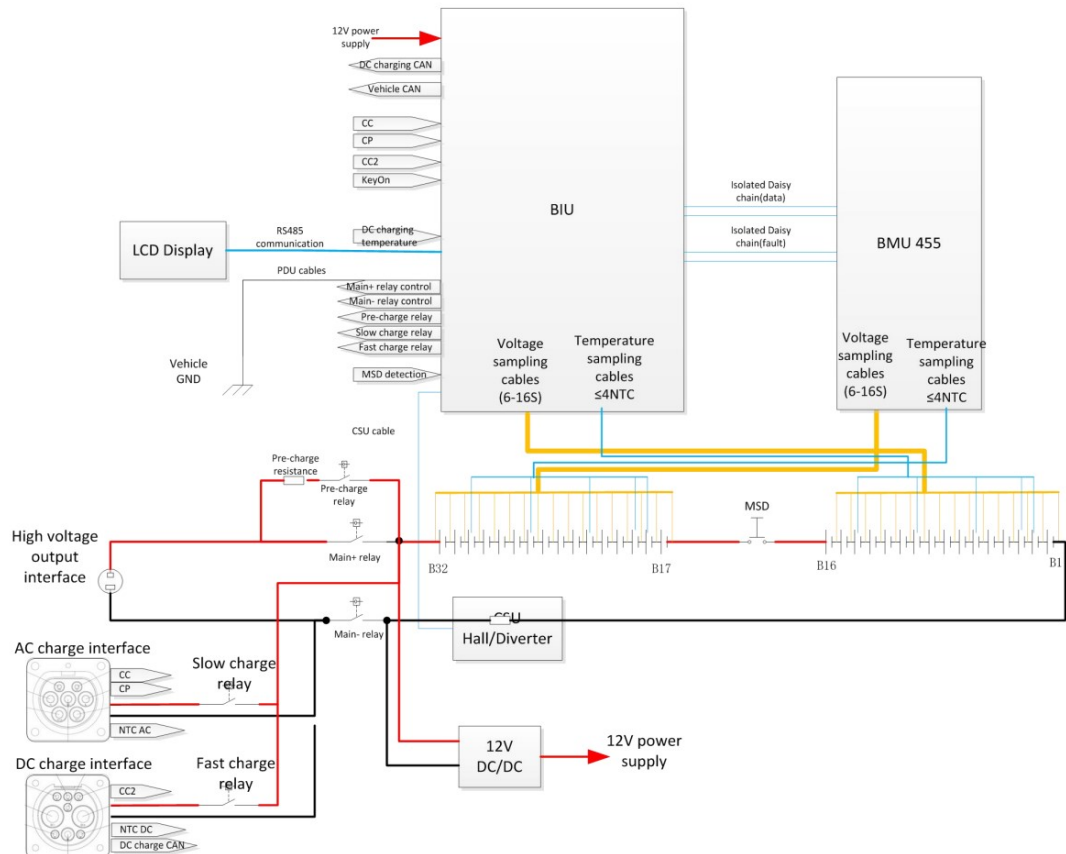
## (11) Onboard insulation monitoring

Monitor the insulation from high voltage positive and negative to vehicle case. Alarm when insulation resistance under a threshold value.

## (12) Input signal detection

BIU estimates vehicle operation state and charging state through detecting Key-On wake-up signal and charger wake-up signal.

## (13) Key information power-down saving



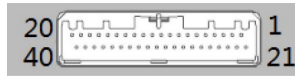


ST1

ST2

ST3

ST4



ST1-ST4 position and interface sequence

ST1 interface					
Board connector		Type : MX34040NF2		Brand : JAE	
Line connector		Type : MX34040SF1		Terminal type : M34575C4F2	
Pin	Name in stick	Description	Pin	Name in stick	Description
40	I2V+	BMS INPUT I2V+	20	I2V+	BMS INPUT I2V+
39	CHG_12V+	12 V Charger Wakeup	19	CP	GB slow charge CP
38	KeyOn	Key-On	18	CC	GB slow charge CC
37	CC2	GB fast charge CC2	17	HALL_IN1	Hall signal input 1
36	HALL_IN2	Hall signal input 2	16	CS_5V-	Current sensor power 5V-
35	CS_5V+	Current sensor power 5V+	15	NTC1+	Charge interface temperature detection 1+
34	NTC1-	Charge interface temperature detection 1-	14	NTC2+	Charge interface temperature detection 2+
33	NTC2-	Charge interface temperature detection 2-	13	CAN0_H	Inner CAN-bus high
32	CAN0_L	Inner CAN-bus low	12	CAN1_H	Discharge CAN-bus high
31	CAN1_L	Discharge CAN-bus low	11	CAN2_H	Charge CAN-bus high
30	CAN2_L	Charge CAN-bus low	10	485A	Display RS485A
29	485B	Display RS485B	9	485GND	Display RS485GND
28	V_GND	Vehicle Frame connection	8	LCD_I2V-	Display power I2V-
27	I2V-	BMS INPUT I2V-	7	CHG_I2V-	Charger input I2V-
26	RL7_H	High level drive, default reserved	6	RL8_H	High level drive, default reserved
25	RL5_H	High level drive, default reserved	5	RL6_H	High level drive, default reserved
24	RL4-	Heating relay I2V-	4	RL4+	Heating relay I2V+
23	RL3-	Charge relay I2V-	3	RL3+	Charge relay I2V+
22	RL2-	Pre-charge relay I2V-	2	RL2+	Pre-charge relay I2V+
21	RL1-	Discharge relay I2V-	1	RL1+	Discharge relay I2V+

ST2 interface					
Board connector		Type : MX34032NF		Brand : JAE	
Line connector		Type : MX34032SF1/JAE		Terminal type : M34575C4F2/JAE	
Pin	Name in stick	Description	Pin	Name in stick	Description
32	B1-	Battery 1-	16	NC	Battery pack-
31	B2+	Battery 2+	15	B1+	Battery 1+
30	B4+	Battery 4+	14	B3+	Battery 3+
29	B6+	Battery 6+	13	B5+	Battery 5+
28	B8+	Battery 8+	12	B7+	Battery 7+
27	B10+	Battery 10+	11	B9+	Battery 9+
26	B12+	Battery 12+	10	B11+	Battery 11+
25	B14+	Battery 14+	9	B13+	Battery 13+
24	B16+	Battery 16+	8	B15+	Battery 15+
23	T1+	NTC 1+	7	T1-	NTC1-
22	T2+	NTC2+	6	T2-	NTC2-
21	T3+	NTC3+	5	T3-	NTC3-
20	T4+	NTC4+	4	T4-	NTC4-
19	COMMH_P	Daisy chain communication P	3	COMMH_N	Daisy chain communication N
18	FAULT_P	Daisy chain communication fault P	2	FAULT_N	Daisy chain communication fault N
17	HV1+	Insulation/total voltage detection+1	1	HV2+	Adhesive total pressure detection+2

ST3 interface					
Board connector		Type : MX34028NF2		Brand : JAE	
Line connector		Type : MX34028SF1		Terminal type : M34575C4F2	
Pin	Name in stick	Description	Pin	Name in stick	Description
28	B17-	Battery 17-	14	NC	Undefined
27	B18+	Battery 18+	13	B17+	Battery 17+
26	B20+	Battery 20+	12	B19+	Battery 19+
25	B22+	Battery 22+	11	B21+	Battery 21+
24	B24+	Battery 24+	10	B23+	Battery 23+
23	B26+	Battery 26+	9	B25+	Battery 25+
22	B28+	Battery 28+	8	B27+	Battery 27+
21	B30+	Battery 30+	7	B29+	Battery 29+
20	B32+	Battery 32+	6	B31+	Battery 31+
19	NC	Undefined	5	NC	Battery pack+
18	T5+	NTC5+	4	T5-	NTC5-
17	T6+	NTC6+	3	T6-	NTC6-
16	T7+	NTC7+	2	T7-	NTC7-
15	T8+	NTC8+	1	T8-	NTC8-

ST4 interface					
Board connector		Type : MX34028NF2		Brand : JAE	
Line connector		Type : MX34028SF1		Terminal type : M34575C4F2	
Pin	Name in stick	Description	Pin	Name in stick	Description
28	B33-	Battery 33-	14	NC	Undefined
27	B34+	Battery 34+	13	B33+	Battery 33+
26	B36+	Battery 36+	12	B35+	Battery 35+
25	B38+	Battery 38+	11	B37+	Battery 37+
24	B40+	Battery 40+	10	B39+	Battery 39+
23	B42+	Battery 42+	9	B41+	Battery 41+
22	B44+	Battery 44+	8	B43+	Battery 43+
21	B46+	Battery 46+	7	B45+	Battery 45+
20	B48+	Battery 48+	6	B47+	Battery 47+
19	NC	Undefined	5	NC	Battery pack+
18	T9+	NTC9+	4	T9-	NTC9-
17	T10+	NTC10+	3	T10-	NTC10-
16	T11+	NTC11+	2	T11-	NTC11-
15	T12+	NTC12+	1	T12-	NTC12-