
**ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ Τ.Ε.**



**«ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΥ DRAGSTER ΣΕ
ΑΜΙΓΩΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ»**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΤΟΥ**

ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΥ ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΥ

ΚΩΔΙΚΟΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ

Επιβλέπων: Κοσμάνης Θεόδωρος, Αναπληρωτής Καθηγητής

ΣΙΝΔΟΣ, 2019

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ένταξη του ηλεκτρικού οχήματος σε αγώνες Drag Racing, έχει διπλό όφελος. Από τη μια, μειώνονται σημαντικά οι υψηλοί ρύποι που παράγονται σε τέτοιους αγώνες, συμβάλλοντας έτσι στην προσπάθεια που ξεκίνησε η Ευρωπαϊκή Ένωση το 2018 για σκοπούς μείωσης της ρύπανσης, μέσω της αξιοποίησης του ηλεκτρικού οχήματος. Από την άλλη, τα ηλεκτρικά οχήματα είναι σε θέση να προσφέρουν υψηλές επιδόσεις σε αγωνιστικά πλαίσια. Ενώ στην Αμερική τα ηλεκτρικά οχήματα συμμετέχουν σε αγώνες ταχύτητας, στην Ευρώπη η ιδέα αυτή δεν είναι ακόμη διαδεδομένη. Η παρούσα πτυχιακή εργασία, αποσκοπεί στην προώθηση αυτής της προοπτικής, μέσω έρευνας.

Συγκεκριμένα, σκοπός της εργασίας, είναι η μετατροπή ενός συμβατικού οχήματος σε ηλεκτρικό για αγωνιστική χρήση σε Drag Racing αγώνες στην Ευρώπη. Ερωτήματα της έρευνας είναι αν υπάρχει εξοπλισμός στην αγορά που να καλύπτει τις ανάγκες για ένα ηλεκτρικό όχημα Drag Racing (μοτέρ, μπαταρίες κτλ.) και κατ' επέκταση το αν το ηλεκτρικό όχημα μπορεί να πετύχει ψηλές επιδόσεις σε αγωνιστικά πλαίσια, σε σύγκριση με τα συμβατικά οχήματα. Ακόμη, στην παρούσα εργασία θα συζητηθούν τόσο τα θετικά, όσο και τα αρνητικά στοιχεία που θα προκύψουν με την ένταξη ενός ηλεκτρικού οχήματος σε τέτοιου είδους αγώνων. Για την επίτευξη του σκοπού, ακολουθήθηκε μια συγκεκριμένη μεθοδολογία. Συνοπτικά, επιλέχθηκε βάσει κριτηρίων ένα συμβατικό όχημα, ορίστηκαν κάποιες επιθυμητές επιδόσεις προσεγγιστικά και ακολούθως υπολογίστηκαν οι απώλειες του οχήματος, με σκοπό τον υπολογισμό της ισχύς του κινητήρα. Βάσει των υπολογισμών, έγινε μια έρευνα στο διαδίκτυο, ώστε να επιλεγεί ο κινητήρας, όπως και τα υπόλοιπα εξαρτήματα που θα προστεθούν στο ηλεκτρικό - πλέον - όχημα και θα ανταποκρίνονται στην ισχύ του κινητήρα.

Όπως φάνηκε από τα αποτελέσματα, η μετατροπή του συμβατικού σε ηλεκτρικό όχημα για αγωνιστική χρήση είναι εφικτή, ενώ ταυτόχρονα παρέχει πολλά πλεονεκτήματα συγκριτικά με το συμβατικό όχημα. Συγκεκριμένα, το ηλεκτρικό όχημα μπορεί να προσφέρει πιο υψηλές επιδόσεις με μηδενικούς ρύπους, σε σχέση με τα συμβατικά οχήματα. Ενώ εντοπίστηκαν μερικά βασικά μειονεκτήματα, υποστηρίζεται ότι με το πέρασμα του χρόνου αυτά θα εξομαλυνθούν.

Λέξεις κλειδιά: Ηλεκτρικό όχημα, Drag Racing, Electric Drag Racing, Μετατροπή συμβατικού οχήματος σε ηλεκτρικό όχημα.

ABSTRACT

The incorporation of electric vehicles in Drag Racing, has a double advantage. In the first place there is a significant reduction in high emissions produced in such races, thus contributing in the effort launched by the European Union in 2018 in reducing pollution, through the utilization of electric vehicles. Furthermore, electric vehicles can offer high performance in a racing context. Though electric vehicles in America take part in Drag Races, this is not a widespread idea in Europe yet. The present thesis aims to promote this potential, through research.

Specifically, the purpose of this research, is the conversion of a conventional vehicle to an electric one for Drag Racing in Europe. The questions raised in the research include whether there is equipment in the market that covers the needs for a Drag Race electric vehicle (motor, batteries etc.) and additionally, whether the electric vehicle can achieve high performance in a racing context, compared to conventional vehicles. Moreover, this thesis will discuss both positive and negative elements that will arise with the integration of electric vehicles in such races. To achieve the purpose, a specific methodology was followed. In summary, a conventional vehicle has been selected based on specific criteria, some desirable performances were set by proximity, and then the losses of the vehicle were calculated, in order to calculate the power of the motor. Based on the calculations, a web research was contacted in order to select the motor, as well as the rest of the parts that will be added to the now electric vehicle and they will be able to respond to the power of the motor.

As shown by the results, the conversion of the conventional to the electric vehicle for racing use is possible and at the same time it provides many advantages compared to the conventional vehicle. Specifically, the electric vehicle can offer higher performance with zero emissions, compared to conventional vehicles. Regardless of some basic drawbacks, it is argued that with time these will be smoothen out.

Keywords: Electric Vehicle, Drag Racing, Electric Drag Racing, Conversion of a Conventional Vehicle to Electric Vehicle.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	Σελίδα
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ.....	4
2.1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ.....	4
2.1.1. ΠΡΩΤΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ.....	4
2.1.2. ΜΕΣΑΙΑ ΠΕΡΙΟΔΟΣ.....	5
2.1.3 ΣΥΧΡΟΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ.....	6
2.2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ DRAG RACING.....	7
2.2.1. ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ.....	7
2.2.2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ DRAG RACING...8	
2.3. ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΟΧΗΜΑ.....	10
2.3.1. ΕΙΔΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ.....	11
2.3.2. ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ.....	13
2.3.3. ΜΕΡΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ.....	14
2.3.3.1. ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ.....	14
2.3.3.1.1. ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	14
2.3.3.1.2. ΕΙΔΗ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ.....	16
2.3.3.2. ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ.....	19
2.3.3.3. ΕΛΕΓΚΤΕΣ.....	24
3. ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΥ DRAGSTER ΣΕ ΑΜΙΓΩΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ.....	26
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	33
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	43
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	46

Κατάλογος Πινάκων.....Σελίδα

Πίνακας 3.1: Προσεγγιστικές επιδόσεις οχήματος.....	26
Πίνακας 3.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά Mitsubishi Colt 1995.....	27
Πίνακας 3.3: Αποτελέσματα υπολογισμών ολικών αντιστάσεων, ισχύς τροχού και ισχύς κινητήρα, στις τρεις επιθυμητές επιδόσεις.....	32
Πίνακας 4.1: Ισχύς κινητήρα που υπολογίστηκε στα τρία σημεία.....	33
Πίνακας 4.2: Χαρακτηριστικά του κινητήρα EVD250/115P2 της AMRacing.....	34-35
Πίνακας 4.3: Κοστολόγιο εξαρτημάτων	42

Κατάλογος Εικόνων.....Σελίδα

Εικόνα 4.1: Κινητήρας EVD250/115P2 της AMRacing.....	33
Εικόνα 4.2: Ελεγκτής RMS PM250DZ.....	37
Εικόνα 4.3: Μπαταρίες IMR28650 ZXBATTERIES.....	38
Εικόνα 4.4: Kit Drenth Motorsport Gearbox.....	39
Εικόνα 4.5: Ποτενσιόμετρο EVWThrottle.....	40
Εικόνα 4.6: Contactor GX56.....	41

Κατάλογος Διαγραμμάτων.....Σελίδα

Διάγραμμα 4.1: Ισχύς κινητήρα – Στροφές κινητήρα αναλογικά με την τάση.....	35
Διάγραμμα 4.2: Ροπή κινητήρα – Στροφές κινητήρα αναλογικά με την τάση.....	36
Διάγραμμα 5.1: Κόστος μπαταριών – Χρονολογία	44

Κατάλογος Σχεδιαγραμμάτων.....Σελίδα

Σχεδιάγραμμα 4.1: Ο κινητήρας στις τέσσερις διαστάσεις	34
Σχεδιάγραμμα 4.2: Ελεγκτής RMS PM250DZ.....	37
Σχεδιάγραμμα 5.1: Contactor GX56.....	41

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το ηλεκτρικό όχημα, δεν αποτελεί εφεύρεση της σύγχρονης εποχής, εφόσον ξεκίνησε να υπάρχει ως ιδέα και να υλοποιείται ήδη από τα μέσα του 19ου αιώνα, ενώ ακολούθησαν πολλά χρόνια εξέλιξης και ιστορίας ώστε να φτάσει σ' αυτό που γνωρίζουμε σήμερα [1]. Το ηλεκτρικό όχημα, χρησιμοποιώντας εξ' ολοκλήρου ηλεκτρική ενέργεια για την κίνησή του, αποτελεί λύση στα μεγαλύτερα προβλήματα που αντιμετωπίζει αυτή τη στιγμή η σύγχρονη κοινωνία, δηλαδή τη μείωση αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων, την ρύπανση του περιβάλλοντος και κατά συνέπεια την υπερθέρμανση του πλανήτη. Ενώ τα συμβατικά οχήματα αποτελούν τον κύριο λόγο κατανάλωσης καυσίμων προκαλώντας ρύπανση, τα ηλεκτρικά οχήματα προκαλούν ελάχιστη, ακόμη και μηδενική ρύπανση, εφόσον η ηλεκτρική ενέργεια προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας [1]. Αναλογιζόμενοι τις βλάβες που η ρύπανση μπορεί να επιφέρει τόσο στο περιβάλλον, όσο και στον ανθρώπινο οργανισμό, όπως έδειξαν πολλές έρευνες, φαίνεται πως το ηλεκτρικό όχημα θα μας προσέφερε πολλά οφέλη με την ένταξή του στις ζωές μας. Γι' αυτό τον λόγο, το 2018 η Ευρωπαϊκή Ένωση, ωθούμενη από την παγκόσμια συμφωνία για το περιβάλλον που έγινε το 2015, ψήφησε την υποχρεωτική μείωση ρύπων κατά 40% μέχρι το 2030 και άρχισε να ωθεί τη χρησιμοποίηση ηλεκτρικών οχημάτων [2]. Έτσι, τελευταία παρατηρείται από τις αυτοκινητοβιομηχανίες μια στροφή στην κατασκευή ηλεκτρικών οχημάτων. Σημειώνεται ότι σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Σύνδεσμο Κατασκευαστών Αυτοκινήτων, το 2,1% των οχημάτων που πουλήθηκαν στην Ε.Ε το 2018 ήταν ηλεκτρικά [3], ενώ στις αρχές του 2019 στην Νορβηγία πωλήθηκαν περισσότερα ηλεκτρικά, παρά συμβατικά οχήματα, με ποσοστό πωλήσεων 58.4%, που θεωρείται ιστορικά υψηλό [4].

Το 2012 στην Αμερική, με την ίδρυση της NEDRA (National Electric Drag Racing Association), τα ηλεκτρικά οχήματα άρχισαν να απασχολούν και τους λάτρεις του Drag Racing [5], επειδή οι ηλεκτρικοί κινητήρες είναι πιο αποδοτικοί σε σύγκριση με τις Μηχανές Εσωτερικής Καύσης (MEK) και πιο συγκεκριμένα, δίνουν σταθερό και μεγάλο φάσμα ροπής / στροφών. Λαμβάνοντας υπόψη ότι σε τέτοιου τύπου αγώνες οι ρύποι που παράγονται είναι αρκετά υψηλοί, γίνεται αντιληπτό ότι η αξιοποίηση ηλεκτρικών οχημάτων στο Drag Racing μπορεί να επιφέρει σημαντικά αποτελέσματα στο πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής που αναφέρθηκε πιο πάνω. Έτσι, φαίνεται πως με την εισαγωγή του ηλεκτρικού οχήματος σε τέτοιους αγώνες, επιτυγχάνονται δυο σκοποί ταυτόχρονα. Μειώνονται οι ρύποι που παράγονται και ταυτόχρονα κατασκευάζονται οχήματα με καλύτερες αγωνιστικές επιδόσεις.

Ενώ στην Αμερική έχουν ήδη δημιουργηθεί νέες κατηγορίες για ηλεκτρικά οχήματα στο Drag Racing, στην Ευρώπη το ηλεκτρικό Drag Racing είναι ακόμη υπό ανάπτυξη.

Η γενική προσπάθεια που γίνεται παγκοσμίως ώστε να μειωθούν οι ρύποι που προκαλούν τα οχήματα στο περιβάλλον, όπως και τα θετικά που προκύπτουν μέσα από την ένταξη του ηλεκτρικού οχήματος σε αγώνες Drag Racing, ενέπνευσαν την ενασχόληση με την έρευνα και τη μελέτη αυτής της προοπτικής, ως μια προσπάθεια διάδοσης της συγκεκριμένης ιδέας και στις Ευρωπαϊκές χώρες.

Συγκεκριμένα, σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας, είναι η μετατροπή ενός συμβατικού οχήματος σε ηλεκτρικό, για αγωνιστική χρήση σε Drag Racing στην Ευρώπη. Ερωτήματα της έρευνας είναι αν υπάρχει εξοπλισμός στην αγορά που να καλύπτει τις ανάγκες για ένα ηλεκτρικό όχημα Drag Racing (μοτέρ, μπαταρίες κτλ.) και κατ' επέκταση το αν το ηλεκτρικό όχημα μπορεί να πετύχει ψηλές επιδόσεις σε αγωνιστικά πλαίσια, σε σύγκριση με τα συμβατικά οχήματα. Τέλος, στην παρούσα εργασία θα συζητηθούν τόσο τα θετικά, όσο και τα αρνητικά στοιχεία που θα προκύψουν με την ένταξη ενός ηλεκτρικού οχήματος σε τέτοιου είδους αγώνες. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την επίτευξη του σκοπού, χωρίστηκε σε τρεις φάσεις. Στην πρώτη φάση, επιλέχθηκε το συμβατικό όχημα το οποίο θα μετατραπεί σε ηλεκτρικό και ορίστηκαν κάποιες επιθυμητές προσεγγιστικά επιδόσεις, βασισμένες σε ένα όχημα με κινητήρα ΜΕΚ. Ακολούθως, υπολογίστηκαν οι συνολικές απώλειες που θα έχει το όχημα κατά την κίνησή του (π.χ αδράνεια, αντίσταση κύλισης, αεροδυναμική αντίσταση και λοιπές απώλειες) και μέσω αυτής της διαδικασίας, υπολογίστηκε η απαιτούμενη ισχύς του κινητήρα που θα επιλεγεί. Στη συνέχεια, ακολουθήθηκε μια έρευνα στο διαδίκτυο για την αναζήτηση του κατάλληλου κινητήρα και κατ' επέκταση όλων των υπολοίπων εξαρτημάτων που θα προστεθούν στο όχημα (π.χ πακέτο μπαταριών, ελεγκτής, κιβώτιο ταχυτήτων κτλ), τα οποία θα ανταποκρίνονται στις προδιαγραφές του κινητήρα. Τέλος, εντοπίστηκε το νέο βάρος του οχήματος, υπολογίστηκαν οι νέες του αντιστάσεις και κατ' επέκταση η νέα ισχύς του κινητήρα, τόσο για να δούμε αν η ισχύς του κινητήρα που επιλέχθηκε καλύπτει τα νέα δεδομένα, όσο και για σκοπούς επαλήθευσης.

Στο σημείο αυτό, θα παρουσιαστούν τα κεφάλαια της παρούσας εργασίας και θα αναφερθεί συνοπτικά το περιεχόμενό τους. Το δεύτερο κεφάλαιο της εργασίας, αφορά το θεωρητικό υπόβαθρο το οποίο μελετήθηκε. Αρχικά, γίνεται μια ιστορική αναδρομή για το ηλεκτρικό όχημα, το Drag Racing και την αξιοποίηση του ηλεκτρικού οχήματος στους αγώνες Drag

Racing. Ακολούθως, η βιβλιογραφική ανασκόπηση εστιάζει στην έννοια του ηλεκτρικού οχήματος, όπως στα είδη του, τα μειονεκτήματα και τα πλεονεκτήματά του και στην αρχή λειτουργίας του. Αναφέρονται και επεξηγούνται τα μέρη του συστήματος power train του ηλεκτρικού οχήματος και τα τεχνικά του χαρακτηριστικά και τέλος, γίνεται ανάλυση των σημαντικότερων εξαρτημάτων του (π.χ ηλεκτροκινητήρες, ελεγκτές, μπαταρίες). Ακολουθεί το τρίτο κεφάλαιο, στο οποίο θα επεξηγηθεί λεπτομερώς η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε, καθώς θα παρουσιαστεί τόσο το σκεπτικό, όσο και οι υπολογισμοί που έγιναν για την εξαγωγή αποτελεσμάτων. Το τέταρτο κεφάλαιο, είναι το κεφάλαιο των αποτελεσμάτων, όπου θα γίνει η επιλογή των εξαρτημάτων που επιλέχθηκαν να προστεθούν στο ηλεκτρικό όχημα. Θα παρουσιαστούν τα εξαρτήματα ξεχωριστά, όπως και τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά και θα αιτιολογηθούν τα κριτήρια επιλογής τους. Στο τελευταίο κεφάλαιο θα συνοψιστούν τα βασικά συμπεράσματα της εργασίας και θα συζητηθούν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που εντοπίστηκαν μέσα από την έρευνα όσον αφορά την ένταξη του ηλεκτρικού οχήματος σε αγώνες Drag Racing. Επιπρόσθετα, θα αναφερθούν προβληματισμοί, όπως και ερωτήματα που προέκυψαν μέσα από την παρούσα εργασία, για σκοπούς περαιτέρω μελλοντικής έρευνας.

2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

2.1.ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

Η ιστορία του ηλεκτρικού αυτοκινήτου θα μπορούσαμε να πούμε ότι χωρίζεται σε τρεις περιόδους, με την πρώτη περίοδο να ξεκινά πριν περίπου 170 χρόνια, δηλαδή στα μέσα του 19^{ου} αιώνα [1].

2.1.1. ΠΡΩΤΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ

Οι πρώτες απόπειρες να κατασκευαστούν ηλεκτρικά οχήματα ήταν από τον Σκωτσέζο Robert Anderson το 1834 και τον Ολλανδό Staitingh στο Groningen, το 1835. Και τα δύο οχήματα ήταν πρόχειρα και μη εφαρμόσιμα, λόγω μη αποδοτικών κινητήρων. Το πρόβλημα με τους μη αποδοτικούς κινητήρες έρχεται να επιλύσει το 1837 ο Thomas Davenport, κατασκευάζοντας τους δικούς του κινητήρες, τους οποίους και τοποθετούσε στα οχήματα που κατασκεύαζε. Η ανακάλυψη του νέου τύπου κινητήρα είχε ως αποτέλεσμα να συνεχιστεί η έρευνα πάνω στο ηλεκτρικό όχημα. Τα περισσότερα επιτυχημένα πρακτικά οχήματα της εποχής ήταν από τον Thomas Davenport και τον Robert Davidson. Το 1847, ο Moses Farmer από τη Μασαχουσέτη, κατασκεύασε ένα όχημα που τροφοδοτείτο από 48 ηλεκτρικά κελιά και μπορούσε να μεταφέρει δύο άτομα. Ο καθηγητής Charles Page έφτιαξε ένα όχημα με 100 συσσωρευτές και κινητήρα 16 ίππων που μετέφερε 12 άτομα, με ταχύτητα μέχρι και 30 Km/h. Επίσης, το 1847 κατασκευάστηκε το πρώτο ηλεκτρικό τρένο από τους Lilly και Golton από την Καλιφόρνια, το οποίο τροφοδοτείτο από τον κεντρικό σταθμό με την βοήθεια ηλεκτροφόρων ραγών [6].

Τα προβλήματα με τους ηλεκτροκινητήρες είχαν σχεδόν εξαλειφθεί, εκτός από το σημαντικότερο πρόβλημα που ήταν οι συσσωρευτές, αφού δεν υπήρχε η δυνατότητα επαναφόρτισής τους. Αυτό το μεγάλο πρόβλημα επιλύθηκε από τον Γάλλο Gaston Plante, ο οποίος το 1859 ανακάλυψε το στοιχείο μολύβδου – οξέος (Pd- Acid). Μέχρι αυτά τα στοιχεία να φτάσουν σε επίπεδο ώστε να μπορέσουν να αξιοποιηθούν κατάλληλα, πέρασαν 22 χρόνια έρευνας και δοκιμών. Το 1881 τελειοποιήθηκαν από τον Camille Faure και ήταν πλέον έτοιμα για χρήση [6].

Το ηλεκτρικό όχημα ήταν στην προτίμηση του κοινού, καθώς το 1890 από τα 4200εκ. οχήματα που πουλήθηκαν, το 38% ήταν ηλεκτροκίνητα, το 22% βενζινοκίνητα, και το 40% ατμοκίνητα. Επίσης, την ίδια εποχή προέκυψε ένα ρεκόρ ταχύτητας από το ηλεκτρικό όχημα

του Camille Jenatzy, το οποίο έσπασε το φράγμα των 100 Km/h και ακούμπησε την ταχύτητα των 105,8 Km/h [7].

Ένα σημαντικό γεγονός για την εξέλιξη των συσσωρευτών, σημειώθηκε το 1910 από τον Edison, ο οποίος ανακάλυψε τον συσσωρευτή Νικελίου – Σιδήρου (Ni – Fe) και ο ίδιος τοποθετούσε τους συσσωρευτές του στα οχήματα που κατασκεύαζε. Το 1900 οι ηλεκτρικές άμαξες «Bfougham» και «Victoria» ήταν η πρώτη επιλογή των αριστοκρατών στην Νέα Υόρκη, καθώς ήταν αθόρυβες. Η πιο γόνιμη περίοδος για το ηλεκτρικό όχημα στις Η.Π.Α. ήταν το 1912, καθώς 34000 οχήματα βρίσκονταν σε κυκλοφορία, με ταχύτητες που δεν ξεπερνούσαν τα 48 Km/h. Γενικότερα, μέχρι την δεκαετία του 1920 η ανάπτυξη της εμπορικότητας του ηλεκτρικού αυτοκινήτου ήταν αρκετά μεγάλη [7].

Όντας, λοιπόν, περιορισμένα για αστική χρήση και μόνο, τα ηλεκτρικά οχήματα επικρατούσαν έναντι των άλλων τύπων μέχρι τη δεκαετία του 1920. Αυτή η δεκαετία σηματοδότησε στις Η.Π.Α. την μεταστροφή στη χρήση των βενζινοκίνητων οχημάτων, γεγονός που έφερε την παγοποίηση της έρευνας αναφορικά με το ηλεκτρικό όχημα. Σε αυτό συνετέλεσαν η βελτίωση του υπεραστικού δικτύου με άμεσο αποτέλεσμα την αύξηση της ανάγκης για οχήματα μεγάλης αυτονομίας, τα οποία θα παρείχαν τη δυνατότητα για υπεραστικές μετακινήσεις σε μεγάλες αποστάσεις. Σε αυτό υπερτερούσαν τα βενζινοκίνητα, τα οποία, εκτός από την αυξημένη αυτονομία, το κόστος των καυσίμων τους είχε πέσει σημαντικά, λόγω της ανακάλυψης μεγάλων αποθεμάτων πετρελαίου στο Τέξας. Κάτι ακόμη που συνετέλεσε στη μεταστροφή στη βενζινοκίνηση, ήταν η εφεύρεση του ηλεκτρικού εκκινητή (Starter) από τον Charles Kettering το 1911, η οποία έδωσε τη δυνατότητα στα βενζινοκίνητα οχήματα για εύκολη εκκίνηση χωρίς χειροκίνητη παρέμβαση. Η μαζική παραγωγή από τον Henry Ford έκανε τα οχήματα αυτά διαθέσιμα σε αρκετά χαμηλές τιμές, μεταξύ 500\$ και 1000\$. Αντίθετα, οι τιμές των ηλεκτρικών οχημάτων συνεχώς αυξάνονταν λόγω της συνεχούς έρευνας αναφορικά με τους συσσωρευτές. Γενικότερα, κάπου εδώ κλείνει η πρώτη περίοδος του ηλεκτρικού οχήματος. Ακολουθεί μια νεκρή περίοδος, καθώς από το 1930 μέχρι το 1990 το ηλεκτρικό όχημα έμεινε στην αφάνεια και ελάχιστες προσπάθειες έγιναν για την εξέλιξή του [6].

2.1.2. ΜΕΣΑΙΑ ΠΕΡΙΟΔΟΣ

Η μεσαία περίοδος για το ηλεκτρικό όχημα, μπορούμε να πούμε ότι ξεκινά περίπου το 1960, καθώς άρχισε πάλι να αναζωπυρώνεται το ενδιαφέρον και να συζητείται η μεταστροφή και αναθέρμανση της έρευνας γύρω από τα ηλεκτρικά οχήματα. Ο κύριος λόγος γι' αυτό, ήταν η

αύξηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Έτσι, διάφορες εταιρείες, όπως η General Motors, Ford, American Motors, Fiat, Mercedes, VolksWagen, Nissan, Toyota κ.ά. άρχισαν τον σχεδιασμό και την έρευνα γύρω από το ηλεκτρικό όχημα. Σημαντικό είναι να αναφερθούν τα οχήματα της General Motors, ξεκινώντας από το “Electrovair II” του 1966, το οποίο χρησιμοποιούσε συσσωρευτές “silver-zinc” και συνολικά το πακέτο είχε τάση 532V. Τα πλεονεκτήματα αυτών των μπαταριών, ήταν η δυνατότητα μεγάλης ισχύος σε μεγάλες εκφορτώσεις, αλλά είχαν ως μειονέκτημα τους 100 κύκλους εκφόρτωσης. Το “Electrovair II” είχε ισχύ 115 ίππων, με κινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος, μέγιστη ταχύτητα 129Km/h και αυτονομία 65 - 130Km. Μια άλλη πρόταση της General Motors, ήταν το “Handivan” του 1966, το οποίο διέθετε κυψέλες καυσίμου (fuel cells), αυτονομία 200Km, αρκετά πιο πολύπλοκο σύστημα με αρκετά προβλήματα. Συγκριτικά με το “Electrovair II”, ήταν σαφώς πιο βαρύ (με βάρος 3219Kg), με μεγάλο κίνδυνο διαρροής υδρογόνου και μεγάλο κόστος αγοράς. Γενικά, η τεχνολογία σχετικά με τις κυψέλες καυσίμου εκείνη την εποχή ήταν ακόμα σε πρώιμο στάδιο. Το 1966 κατασκευάστηκε το πρώτο υβριδικό όχημα. Το “GM512”, είχε ένα δικύλινδρο κινητήρα κυβισμού 195cm³ και έναν ηλεκτροκινητήρα συνεχούς ρεύματος, ισχύς 6.3Kw. Οι 7 συσσωρευτές του ήταν συνολικής χωρητικότητας 85Ah, βάρους 21kg και είχε μέγιστη ταχύτητα συνδυασμένη και από τους δύο κινητήρες 16 - 21km/h. Άλλα μοντέλα εκείνης της εποχής, ήταν το Ford “Commuta” 1967, στα τέλη του 1960 το “Amitron” της American Motors, το Fiat X1/23 του 1974, το Fiat “Enel850T” του 1976, το Fiat 242, το Fiat 900T, το IVECO “Daily” του 1978, το IVECO “Daily E3” του 1983, το “PGE M8” της Progetti Gestioni Ecologiche του 1980, το “Eco” της Pininfarina Company σε συνεργασία με την Fiat, το “Elektr Transporter” της Volkswagen του 1969, το Mercedes-Benz 307E του 1969, το Datsun 200L του 1974, το Nissan “Laurel”, το Nissan EV-4 και το Toyota EV-2 του 1976 [1].

Λόγω αυτής της προσπάθειας στη μεσαία εποχή, υπήρξε μια σημαντική εξέλιξη στην τεχνολογία των ηλεκτρικών οχημάτων. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα το ηλεκτροκίνητο όχημα να φτάσει σε ένα αρκετά αξιόλογο επίπεδο και τελικά στη σύγχρονη εποχή, να είναι συγκρίσιμο με ένα συμβατικό βενζινοκίνητο όχημα κ.ά.

2.1.3. ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ

Η σύγχρονη εποχή ξεκινά περίπου το 1980, όταν και οι κυβερνήσεις των διαφόρων κρατών πίεζαν τις βιομηχανίες οχημάτων στην έρευνα της ηλεκτροκίνησης και γενικότερα στην έρευνα της κίνησης με οχήματα μηδενικών εκπομπών ρύπων. Τα αποτελέσματα έρευνας για

την ρύπανση και τις βλάβες που μπορεί να επιφέρει στον ανθρώπινο οργανισμό αλλά και στο περιβάλλον, τέθηκαν στο τραπέζι συζήτησης στη διεθνή σύσκεψη, η οποία έλαβε χώρα στο Rio de Janeiro της Βραζιλίας το 1992 και στην οποία υπογράφηκε σύμβαση από 154 χώρες σχετικά με τις κλιματικές αλλαγές. Στη διεθνή σύσκεψη αποφασίστηκε να πραγματοποιηθεί διεθνής προσπάθεια, ώστε μέχρι το 2000 να σταθεροποιηθούν τα επίπεδα CO στην ατμόσφαιρα και να φτάσουν στα ίδια επίπεδα με αυτά του 1990 [6].

Στην πολιτεία της California τέθηκε σε εφαρμογή ένας νόμος που έλεγε ότι μέχρι το 1998, ποσοστό 2% - και μέχρι το τέλος του 2003 ποσοστό 10% - των οχημάτων που θα κυκλοφορούν στους δρόμους και προέρχονται από τις τρεις μεγαλύτερες αμερικανικές και τις τέσσερις μεγαλύτερες ιαπωνικές αυτοκινητοβιομηχανίες, θα έπρεπε να είναι οχήματα μηδενικών εκπομπών (ZEV). Επίσης, στο Ηνωμένο Βασίλειο ψηφίστηκε παρόμοιος νόμος, ο οποίος έλεγε ότι μέχρι το 2020 το 40% των οχημάτων που θα κυκλοφορούν εντός της πόλης θα πρέπει να είναι ηλεκτροκίνητα [8].

Σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι το 2018 η Ευρωπαϊκή Ένωση, ψήφισε την υποχρεωτική μείωση ρύπων κατά 40% μέχρι το 2030 και άρχισε να ωθεί τη χρησιμοποίηση ηλεκτρικών οχημάτων [2]. Έτσι, οι αυτοκινητοβιομηχανίες στράφηκαν αναγκαστικά στην κατασκευή ηλεκτρικών οχημάτων. Σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Σύνδεσμο Κατασκευαστών Αυτοκινήτων, το 2,1% των οχημάτων που πουλήθηκαν στην Ε.Ε το 2018 ήταν ηλεκτρικά [3], ενώ αναφέρεται ότι στις αρχές του 2019 στην Νορβηγία πωλήθηκαν περισσότερα ηλεκτρικά, παρά συμβατικά οχήματα, με ποσοστό πωλήσεων 58.4%, που θεωρείται ιστορικά υψηλό [4].

2.2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ DRAG RACING

2.2.1. ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ

Το “Dragster” προήλθε από τους παράνομους αγώνες ταχύτητας, που πραγματοποιούνταν στους δρόμους των ΗΠΑ πριν περίπου 80 χρόνια, στα τέλη της δεκαετίας του '30. Ακόμα και ο τρόπος με τον οποίο διεξάγονται οι αγώνες αυτοί, φανερώνουν την προέλευσή τους, καθώς δύο οχήματα μπροστά σε μια ευθεία πλάι-πλάι περιμένουν να ανάψει το πράσινο φως για να εκκινήσουν. Την εποχή εκείνη, οι παράνομοι αγώνες ταχύτητας διεξάγονταν σε διάφορους δρόμους των ΗΠΑ, μεταξύ των οποίων η Καλιφόρνια, η Φλόριντα, το Τέξας κ.α. Ακόμη, υπήρχε ανακρίβεια ως προς τους κανονισμούς διεξαγωγής των αγώνων, καθώς το μήκος διαδρομής και γενικότερα οι συνθήκες διεξαγωγής των αγώνων θέτονταν από τους οδηγούς πριν τον αγώνα. Μπορεί ο τρόπος αυτός να ήταν αποτελεσματικός ώστε να καθοριστεί ο

νικητής μεταξύ των οχημάτων που αγωνίζονταν σε κάθε αγώνα, όμως οι επιδόσεις των οχημάτων, θα ήταν αδύνατο να συγκριθούν με τις επιδόσεις άλλων οχημάτων από άλλους αγώνες, εφόσον κάθε αγώνας διεξαγόταν κάτω από διαφορετικούς κανόνες και συνθήκες. Ο πρώτος νόμιμος αγώνας έγινε τον Απρίλιο του 1949, από τους Fran Hernandez και Torn Cobbs κοντά στη Σάντα Μπάρμπαρα και δόθηκε το έναυσμα για τη δημιουργία νόμιμων συνθηκών σε αθλητικό επίπεδο, με νόμους και παραμέτρους διεξαγωγής και γενικότερα αποτέλεσε την απαρχή στο να μελετηθεί καλύτερα το αγώνισμα πλέον Dragster. Η πρώτη πίστα Dragster ήταν ένα αχρησιμοποίητο αεροδρόμιο στη Σάντα Άννα της Καλιφόρνια, το 1950. Τη δεκαετία του 1950, η Καλιφόρνια ήταν ο κόμβος ανάπτυξης των αγώνων ταχύτητας, της προώθησης της ασφαλούς διεξαγωγής αγώνων ταχύτητας σε ειδικά διαμορφωμένες πίστες με τυποποιημένους κανονισμούς. Σε αυτό έπαιξαν καθοριστικό ρόλο τα διάφορα περιοδικά που ασχολούνταν με το αυτοκίνητο, προωθώντας τους αναγνώστες να δοκιμάσουν τις επιδόσεις τους σε πίστες με ασφάλεια και νομότυπα. Ένα περιοδικό εκείνης της εποχής ήταν το θρυλικό “HOT ROD”. Το 1951, ιδρύεται και η NHRA (National Hot Rod Association) από τον Wally Parks, που είναι ο επίσημος οργανισμός που θέτει κανόνες σχετικά με το Drag Racing και διοργανώνει εκδηλώσεις στις ΗΠΑ και τον Καναδά [9,10].

Αρχικά, οι αγώνες πραγματοποιούνταν από οχήματα δρόμου, τα οποία τροποποιούνταν, αλλά με την πάροδο του χρόνου και έχοντας ως πρωταρχικό σκοπό τις καλύτερες επιδόσεις, οι οδηγοί και οι μηχανικοί έγιναν πιο εφευρετικοί, τα οχήματα πιο νευρικά και γρηγορότερα. Δεν άργησε να αναγνωριστεί ότι το βάρος παίζει σημαντικό ρόλο στις επιδόσεις. Κάπου εδώ δημιουργήθηκε η ανάγκη για να χωριστεί το κομμάτι του Dragster σε διάφορες κατηγορίες, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του οχήματος, όπως η χρονολογία κατασκευής, η μάρκα, ο κυβισμός του κινητήρα κ.α.

Μέχρι το 1955, η καλύτερη επίδοση ήταν από τον τότε δημοφιλή οδηγό Art Christman στον αγώνα του Santa Anna Dragstrip το 1953, το όχημα του οποίου είχε στο ένα τέταρτο του μιλίου την ταχύτητα των 139.88μίλια/ώρα. Μερικοί ακόμα δημοφιλείς οδηγοί της δεκαετίας του 1950 ήταν οι Arnett Johansen, Nick Arias και Dick Kraft [10].

2.2.2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ DRAG RACING

Το ηλεκτρικό όχημα τα τελευταία χρόνια, άρχισε να απασχολεί τους λάτρεις του Drag Racing, καθώς η ανάπτυξη τεχνογνωσίας πάνω στις μπαταρίες, είχε ως συνέπεια να κατασκευάζονται μπαταρίες πιο ελαφριές και αποδοτικότερες σε σχέση με παλαιότερα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την τελευταία δεκαετία να παρατηρηθεί η εμφάνιση ηλεκτροκίνητων

οχημάτων επιδόσεων. Μαζί με αυτό, προκύπτει και η ανάγκη ίδρυσης ξεχωριστών κατηγοριών για αυτά τα οχήματα, καθώς οι ηλεκτροκινητήρες είναι αποδοτικότεροι (δίνουν ροπή από μηδενικές στροφές) σε σύγκριση με τις Μηχανές Εσωτερικής Καύσης (Μ.Ε.Κ.).

Συγκεκριμένα, ένας από τους κανόνες της NHRA (National Hot Rod Association), που τέθηκαν το 1953 με την ίδρυσή της, ήταν η συμμετοχή οχημάτων στους αγώνες Drag Racing με μηχανές εσωτερικής καύσης. Το 1999, η NHRA τροποποίησε τους κανόνες της, έτσι ώστε τα ηλεκτρικά οχήματα να ενταχθούν στο Drag Racing. Κατόπιν, το 2012 ιδρύθηκε η “N.E.D.R.A.” (National Electric Drag Racing Association) η οποία προχώρησε στη συνέχεια στην ίδρυση ξεχωριστών κατηγοριών και κανόνων, που είχαν να κάνουν κυρίως με την τάση, τον αριθμό των κινητήρων και τον τύπο των μπαταριών, εφόσον οι κανόνες για την ασφάλεια δεν είχαν καμία διαφοροποίηση [5, 9].

Αναφορικά με τις επιδόσεις ηλεκτροκίνητων οχημάτων, κάποιες από τις πιο σημαντικές που αξίζει να αναφερθούν είναι: στην κατηγορία Drag Motorcycle class, στα 7.8sec στο 1/8 του μιλίου και με ταχύτητα 129Km/h στις 16/06/2010 από το “Silver Gian II” στο Moten της Δανίας. Η μοτοσικλέτα αυτή είχε μπαταρίες ιόντων - λιθίου πολυμερούς 48V και 600A τροφοδοτώντας τέσσερις κινητήρες 24V με συνδυασμένη ισχύ 100KW. Η ψύξη των κινητήρων ήταν με ξηρό πάγο και χρησιμοποιούσε κιβώτιο ταχυτήτων (Κ.Τ.) δύο σχέσεων, που άλλαζε την σχέση αυτόματα στα 65Km/h [5].

Η μοτοσικλέτα που κατέχει σήμερα το παγκόσμιο ρεκόρ στην κατηγορία DC3/MC, ονομάζεται “Rocket Bike” του Shawn Lawless και είχε έξοδο στο ¼ του μιλίου στα 6.940sec και με ταχύτητα 324.07Km/h στο Virginia Motorsport Park τον Μάιο 2012 [5].

Στα Dragster DR/A3 στο ¼ μιλίου, το “QF200” του Don Garlits είχε έξοδο 7.224sec και ταχύτητα 298.69Km/h στις 10/08/2014 στο Eradenton Motorsport Park. Το όχημα είχε μια μπαταρία ισχύος 1.5MW [5].

Το πιο γρήγορο ηλεκτρικό αυτοκίνητο στην κατηγορία XS/A2 είναι το “Black Current III”, το οποίο στο ¼ μιλίου είχε έξοδο 9.64sec και ταχύτητα 214.38Km/h στο Santa Pod Raceway στο Northampton Shire της Αγγλίας, στις 23/07/2011. Το “Black Current III” ανήκει στα αδέρφια Sam και Olly Young από την Αγγλία [5].

2.3. ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΟΧΗΜΑ

Ηλεκτρικό ονομάζεται το όχημα που χρησιμοποιεί ηλεκτρική ενέργεια για την κίνησή του, την οποία αποθηκεύει σε επαναφορτιζόμενα στοιχεία συσσωρευτών. Μπορεί να χρησιμοποιεί εξ' ολοκλήρου την ηλεκτρική ενέργεια για να κινηθεί ή να την χρησιμοποιεί σε συνδυασμό με άλλες πηγές ενέργειας, π.χ. βενζίνη, πετρέλαιο, φυσικό αέριο κ.ά (υβριδικό όχημα). Τα ηλεκτρικά οχήματα έχουν πολλές εφαρμογές, όπως επιβατικά οχήματα, ελαφρά φορτηγά, λεωφορεία, ποδήλατα, ανυψωτικά, οχήματα Golf κτλ. Επίσης, φημίζονται για τον μεγάλο συντελεστή απόδοσής τους, συγκριτικά με τις Μ.Ε.Κ.

Είναι γεγονός ότι σε όλων των τύπων εφαρμογές, συνυπάρχουν τόσο τα θετικά, όσο και τα αρνητικά στοιχεία. Το ίδιο ισχύει και για τα ηλεκτρικά οχήματα.

Πλεονεκτήματα

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα στην εποχή που βρισκόμαστε, είναι η ρύπανση που δημιουργείται από την καύση καυσίμων. Ιδιαίτερα μεγάλη ρύπανση δημιουργείται από τα συμβατικά οχήματα. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των ηλεκτρικών οχημάτων, είναι ότι προκαλούν ελάχιστη ρύπανση, ενώ όταν οι πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται για την επαναφόρτιση των μπαταριών τους είναι από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, η ρύπανση είναι μηδενική [1, 11, 12]. Με αυτόν τον τρόπο μετριάζεται η υπερθέρμανση του πλανήτη που προκαλείται από το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Ταυτόχρονα, μειώνεται και η εξάρτηση της ανθρωπότητας από το πετρέλαιο και τη συνεχή ανάγκη για ανακάλυψη καινούργιων αποθεμάτων πετρελαίου [11, 12].

Ένα άλλο πλεονέκτημα των ηλεκτρικών οχημάτων, είναι ότι λόγω απουσίας θερμικού κινητήρα, δεν υπάρχει θόρυβος και συνεπώς, τα ηλεκτρικά οχήματα είναι σχεδόν αθόρυβα [1, 11, 12]. Οι ηλεκτροκινητήρες έχουν συνεχή ροπή από μηδενικές στροφές, σχεδόν σε όλο το φάσμα στροφών. Ακόμη, οι κινητήρες είναι απλούστεροι, με λίγα εξαρτήματα και βαθμό απόδοσης τριπλάσιο από τους συμβατικούς θερμικούς κινητήρες, με μεγαλύτερο όριο ζωής, περίπου 1.000.000Km [11]. Τέλος, είναι πιο πολύστροφες μηχανές από τους συνηθισμένους θερμικούς κινητήρες με ονομαστικές στροφές ανά λεπτό που ξεπερνούν τις 15.000rpm.

Σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι το ηλεκτρικό όχημα δεν χρειάζεται συνεχή συντήρηση και αλλαγές λιπαντικών ανά τακτά χρονικά διαστήματα, με αποτέλεσμα το χαμηλό κόστος συντήρησης. Δεν καταναλώνουν ενέργεια, ενώ είναι σε στάση και έχουν τη δυνατότητα

ανάκτησης ενέργειας με την αναγεννητική πέδηση [11]. Ακόμη, τα ηλεκτρικά οχήματα αποτελούν απλούστερο σύστημα από το συμβατικό όχημα.

Μειονεκτήματα

Παρόλη την πληθώρα πλεονεκτημάτων που έχουν τα ηλεκτρικά οχήματα, όπως παρατηρείται σε όλες τις εφαρμογές, υπάρχουν και κάποια μειονεκτήματα, τα οποία θα αναφερθούν πιο κάτω.

Ένα μειονέκτημα του ηλεκτρικού οχήματος που αποτελεί σημαντικό λόγο στη μη προτίμησή του από το κοινό, είναι το κόστος του. Η υψηλή τιμή αγοράς οφείλεται στις υψηλές δαπάνες κατασκευής. Ένα εξίσου σημαντικό μειονέκτημα, είναι η μικρή αυτονομία σε απόσταση που μπορεί να διανύσει με μια πλήρη φόρτιση, συγκριτικά με τα συμβατικά οχήματα. Ωστόσο, η τεχνολογία κατάφερε τα τελευταία χρόνια από αυτονομία της τάξης των 100Km με μια πλήρη φόρτιση να φτάσει στα 250-350Km [1], ενώ συγκεκριμένα, το Tesla Model 3 κατάφερε να ανεβάσει τον πήχη στα 530Km με μία πλήρη φόρτιση [13]. Στο σημείο αυτό, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι μακροχρόνια έρευνα που διεξάχθηκε στις Η.Π.Α., έδειξε ότι το 98% των καθημερινών δρομολογίων είναι κάτω από 80km, ενώ δρομολόγια άνω των 160km αποτελούν μόνο το 17% [11]. Ακόμη, ο μεγάλος χρόνος που χρειάζεται το ηλεκτρικό όχημα για μια πλήρη επαναφόρτιση, καταχωρείται στα μειονεκτήματα, καθώς χρειάζεται περίπου 6 ώρες για τα παλιά συστήματα [1], ενώ τα καινούρια μοντέλα έχουν τη δυνατότητα με μία φόρτιση 30 λεπτών να παρέχουν περίπου 270Km [13]. Αξιοσημείωτη είναι και η διάρκεια ζωής των μπαταριών που κυμαίνεται περίπου στα 3-5 χρόνια και πολύ σπάνια στα 8 χρόνια. Γενικότερα, τα μειονεκτήματα του ηλεκτρικού οχήματος αφορούν σε μεγάλο βαθμό τις μπαταρίες [13].

2.3.1. ΕΙΔΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

Τα ηλεκτρικά οχήματα χωρίζονται σε τέσσερις βασικές κατηγορίες: Υπάρχουν τα αμιγώς ηλεκτροκίνητα οχήματα (Battery Electric Vehicle, BEV), τα υβριδικά οχήματα που συνδέονται στο δίκτυο (Plug-in Hybrid Electric Vehicles, PHEVs), τα συμβατικά υβριδικά οχήματα (Hybrid Electric Vehicle, HEVs) και τα οχήματα με κυψέλες καυσίμου (Fuel Cell Electric Vehicle, FCEVs) [11]. Αυτά τα τέσσερα είδη εξηγούνται αναλυτικότερα πιο κάτω.

i. Αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα (BEVs)

Τα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα κινούνται αποκλειστικά με ηλεκτρική ενέργεια, την οποία έχουν αποθηκευμένη σε συσσωρευτές, που βρίσκονται εντός του οχήματος χωρίς τη χρήση μηχανής εσωτερικής καύσης. Για τη φόρτιση των συσσωρευτών τους, απαιτείται εξωτερική πηγή τροφοδοσίας, είτε από οικιακή φόρτιση, είτε από ταχυφορτιστές από ειδικά διαμορφωμένους σταθμούς φόρτισης που μπορεί να είναι δημόσιοι ή ιδιωτικοί [8]. Όπως όλα τα ηλεκτροκίνητα οχήματα, έτσι και τα BEVs μπορούν να φορτίσουν τις μπαταρίες μέσω αναγεννητικής πέδησης. Σε αυτή την διαδικασία, ο ηλεκτρικός κινητήρας μετατρέπεται σε γεννήτρια, εκμεταλλευόμενος την κινητική ενέργεια του οχήματος. Ουσιαστικά, η αναγεννητική πέδηση βοηθάει το όχημα στο φρενάρισμα, αποταμιεύοντας ενέργεια στους συσσωρευτές, που συνήθως διαφεύγει στο περιβάλλον σαν θερμότητα [16].

ii. Επαναφορτιζόμενα υβριδικά οχήματα (PHEVs)

Τα Plug-in Hybrid Electric Vehicles είναι υβριδικά οχήματα τα οποία έχουν τα χαρακτηριστικά ενός υβριδικού οχήματος και ενός αμιγώς ηλεκτρικού οχήματος. Δηλαδή, έχουν τη δυνατότητα να ανακτούν την ηλεκτρική τους ενέργεια από εξωτερικές πηγές ενέργειας, όπως σταθμούς φόρτισης, οικιακή φόρτιση, αλλά και από τον ίδιο τον κινητήρα εσωτερικής καύσης που διαθέτουν (αναγεννητική πέδηση). Αυτό αυξάνει τη διάρκεια που χρησιμοποιείται η ηλεκτρική ενέργεια ως κινητήριος δύναμη ή ο συνδυασμός ηλεκτροκινητήρα και μηχανής εσωτερικής καύσης, μειώνοντας σημαντικά την κατανάλωση καυσίμου σε αυτού του τύπου υβριδικά οχήματα [14, 15, 16].

iii. Συμβατικά υβριδικά οχήματα (HEVs)

Τα συμβατικά υβριδικά οχήματα για την κίνησή τους διαθέτουν μια μηχανή εσωτερικής καύσης και έναν ηλεκτροκινητήρα. Οι δύο κινητήρες συνεργάζονται για να κινήσουν τους κινητήριους τροχούς του οχήματος. Τα υβριδικά αυτού του τύπου, δεν έχουν τη δυνατότητα οικιακής φόρτισης ή γενικότερα φόρτισης από εξωτερικές πηγές ενέργειας. Τα συμβατικά υβριδικά οχήματα φορτίζουν τους συσσωρευτές τους τα ίδια, με τη βοήθεια του ηλεκτροκινητήρα, ο οποίος μετατρέπεται σε γεννήτρια, που κινείται είτε από τους τροχούς (αναγεννητική πέδηση), είτε από τον κινητήρα εσωτερικής καύσης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η κατανάλωση καυσίμου να είναι μεγαλύτερη συγκριτικά με την κατανάλωση των PHEVs [14, 15, 16].

iv. Οχήματα με κυψέλες καυσίμου (FCEVs)

Τα οχήματα με κυψέλες καυσίμου είναι ένα άλλο είδος ηλεκτροκίνητου οχήματος που ουσιαστικά εκμεταλλεύεται, όπως όλα τα ηλεκτρικά οχήματα, τη χημική αντίδραση του ηλεκτρολύτη και της ανόδου και καθόδου για να δημιουργήσει ηλεκτρική ενέργεια. Η διαφορά των κυψελών καυσίμου από τους κοινούς συσσωρευτές, είναι ότι οι κοινοί συσσωρευτές φορτίζονται από πηγές ηλεκτρικής ενέργειας και έχουν μια συγκεκριμένη ονομαστική ενέργεια για κατανάλωση, ενώ στις κυψέλες καυσίμου όσο υπάρχει καύσιμο (υδρογόνο συνήθως) και οξυγόνο να τροφοδοτείται στην κυψέλη, τότε παράγεται ηλεκτρική ενέργεια. Η ανακάλυψη των κυψελών καυσίμου χρονολογείται από το 1838. Παρόλα αυτά, λόγω πολυπλοκότητας συστήματος και απαίτησης ειδικών υποδομών για την αποθήκευση του υδρογόνου, η παραγωγή ενός τέτοιου οχήματος δεν ξέφυγε από το ερευνητικό και πειραματικό στάδιο, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι οι βιομηχανίες οχημάτων έπαψαν να ασχολούνται μαζί του. Ένα από τα πρώτα οχήματα με κυψέλες καυσίμου ήταν το GMC Handivan του 1966, το οποίο ζύγιζε 3219Kg και είχε αυτονομία 200Km [11, 15, 16].

2.3.2. ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

Αρχικά, θα ήταν σημαντικό να αναφερθεί η κυριότερη διαφορά του ηλεκτρικού οχήματος από το συμβατικό όχημα, η οποία παρουσιάζεται στο σύστημα παραγωγής της κίνησης. Συγκεκριμένα, το σύστημα παραγωγής της κίνησης του ηλεκτρικού οχήματος είναι απλούστερο από του συμβατικού οχήματος, καθώς αποτελείται από λιγότερα μέρη [11]. Ειδικότερα, το σύστημα παραγωγής της κίνησης του ηλεκτρικού οχήματος, αποτελείται από 3 κύρια μέρη: Τον ελεγκτή (controller), το πακέτο μπαταριών (battery pack), και τον ηλεκτροκινητήρα (electric motor) [11]. Αφαιρώντας το σύστημα παραγωγής κίνησης ενός συμβατικού οχήματος (π.χ μηχανή εσωτερικής καύσης, ντεπόζιτο καυσίμου κτλ) και αντικαθιστώντας τα τρία μέρη που προαναφέρθηκαν, ένα συμβατικό όχημα μπορεί να μετατραπεί σε ηλεκτρικό. Αυτό που περιεγράφηκε είναι και αυτό στο οποίο αποσκοπεί η παρούσα πτυχιακή εργασία.

Όσον αφορά την αρχή λειτουργίας του ηλεκτρικού οχήματος, πιέζοντας το πεντάλ επιτάχυνσης, μετακινείται μια μεταβλητή αντίσταση (ποτενσιόμετρο), η οποία δίνει σήμα στον ελεγκτή σχετικά με τη θέση που βρίσκεται το πεντάλ. Έπειτα, ο ελεγκτής, τροφοδοτούμενος από το πακέτο μπαταριών, αφήνει να περάσει η ανάλογη ισχύς προς τον ηλεκτροκινητήρα κι έτσι δημιουργείται η παραγωγή ισχύος-ροπής από τον ηλεκτροκινητήρα προς το σύστημα μετάδοσης της κίνησης και εν τέλει στους κινητήριους τροχούς.

2.3.3. ΜΕΡΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, το σύστημα παραγωγής της κίνησης, αποτελείται από τον ελεγκτή, το πακέτο μπαταριών και τον ηλεκτροκινητήρα [11]. Στη συνέχεια, τα τρία αυτά μέρη θα αναπτυχθούν ξεχωριστά αναλυτικότερα.

2.3.3.1. ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ

Οι μπαταρίες αποτελούν το κυριότερο μέρος ενός ηλεκτρικού οχήματος και περισσότερο από το 1/3 του βάρους του. Τα τελευταία χρόνια γίνονται συνεχείς έρευνες γύρω από τις μπαταρίες, έτσι ώστε να αυξηθεί η χωρητικότητά τους, σε σχέση με το βάρος τους. Οι ηλεκτροχημικοί συσσωρευτές, όπως λέγονται, αποθηκεύουν την ηλεκτρική ενέργεια σε χημική μορφή. Κάθε μια μπαταρία αποτελείται από πολλά κελιά (cells) τα οποία έχουν δύο στοιχεία, την άνοδο και την κάθοδο [14]. Μεταξύ της ανόδου και της καθόδου, υπάρχει κάποιος ηλεκτρολύτης, ο οποίος καθορίζει το είδος της μπαταρίας. Όταν στην ηλεκτροχημική μπαταρία συνδεθεί ένα εξωτερικό κύκλωμα, τότε υπάρχει ροή ηλεκτροδίων ανάμεσα στην άνοδο και στην κάθοδο του συσσωρευτή, εξ' αιτίας ηλεκτροχημικής αντίδρασης που συμβαίνει μεταξύ των ηλεκτροδίων και του ηλεκτρολύτη που εκφράζεται στο εξωτερικό κύκλωμα ως ηλεκτρικό ρεύμα. Αυτή η διαδικασία, ονομάζεται εκφόρτιση (Discharging). Σε περίπτωση που εφαρμοστεί εξωτερικό ρεύμα στην μπαταρία, τότε συμβαίνει η αντίστροφη διαδικασία και η ηλεκτρική ενέργεια αποθηκεύεται με τη μορφή χημικής ενέργειας. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται φόρτιση (Charging) [14, 17].

Καθ' όλη τη διάρκεια έρευνας, ανακαλύφθηκαν αρκετά είδη μπαταριών και κάθε είδος εφαρμόζει κάποια τεχνικά χαρακτηριστικά, όσον αφορά τις ηλεκτρικές του ιδιότητες. Πέρα από τα γνωστά σε όλους τάση (V) και ένταση (A), οι μπαταρίες έχουν και κάποιες άλλες ιδιότητες οι οποίες είναι εξίσου σημαντικές, όπως η χωρητικότητα (Ah), η ηλεκτρική αντίσταση (Ohm), η ειδική ενέργεια (Wh/Kg), η ειδική ισχύς (W/Kg), ο ρυθμός φόρτισης – εκφόρτισης (Charging – Discharging) και ο αριθμός των κύκλων φόρτισης – εκφόρτισης (life cycles) [14].

2.3.3.1.1. ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

i. Ηλεκτρική τάση (Electrical Voltage) (V)

Ορίζεται ως η διαφορά δυναμικού μεταξύ δύο σημείων ενός αγωγού, όταν διέρχεται από αυτόν σταθερό ρεύμα ενός Ampere και καταναλώνεται ισχύς ενός Watt. Είναι παράγωγη

μονάδας του Διεθνούς συστήματος μονάδων (SI) και έλαβε το όνομά της προς τιμήν του Ιταλού φυσικού Alessandro Volta [14]. Η ονομαστική τάση ποικίλει από τις μπαταρίες που βρίσκουμε στο εμπόριο. Οι πιο συνήθεις μπαταρίες για οχήματα που μπορούμε να βρούμε στο εμπόριο, είναι οι μπαταρίες 6V, 12V, 24V, αλλά σε ηλεκτρικά οχήματα βρίσκουμε και στοιχεία 3,6V.

ii. Ένταση ρεύματος (Amperage) (A)

Ένταση ηλεκτρικού ρεύματος ορίζεται ως ο ρυθμός διέλευσης των ελεύθερων ηλεκτρονίων που διέρχονται από μια κάθετη διατομή ενός αγωγού σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα προς την μονάδα του χρόνου. Είναι παράγωγο μονάδας του διεθνούς συστήματος μονάδων (SI) και έχει μονάδα μέτρησης το (Ampere).

iii. Χωρητικότητα μπαταρίας (Battery capacity) (Ah)

Χωρητικότητα είναι η ποσότητα του ηλεκτρικού φορτίου που μπορεί να παρέχει μια πλήρως φορτισμένη μπαταρία σε ποσοστό χρόνου, χωρίς να πέσει η τάση της κάτω από προκαθορισμένα όρια ανάλογα με το είδος μπαταρίας. Είναι παράγωγο μονάδας του διεθνούς συστήματος μονάδων (SI) και έχει μονάδα μέτρησης τα Ampere-Hour (Ah). Για παράδειγμα, μια μπαταρία 10Ah μπορεί να παρέχει 1A για 10 ώρες ή 5A για 2 ώρες [14].

iv. Ηλεκτρική αντίσταση (electrical resistance) (Ohm)

Η τάση της μπαταρίας είναι άμεσα συνδεδεμένη με την ροή του ρεύματος και με την αντίσταση που αυτή συναντά. Αυτό εκφράζεται με την μαθηματική σχέση του νόμου του Ohm: **$V=IR$** .

Όπου V η τάση σε Volts, I η ένταση σε Ampers και όπου R η αντίσταση σε Ohms. Στην πραγματικότητα, υπάρχουν δύο είδη αντίστασης: η εξωτερική αντίσταση από το φορτίο και η εσωτερική αντίσταση της μπαταρίας. Η εσωτερική αντίσταση της μπαταρίας είναι σημαντική για την αποδοτικότητα της μπαταρίας, για την μεταφορά της ισχύος και για τα επίπεδα φόρτισής της [18].

v. Ρυθμός Φόρτισης – Εκφόρτισης (Charging – Discharging Rate) (C)

Ορίζεται ως το ρεύμα φόρτισης – εκφόρτισης διαιρούμενο με τη θεωρητική ένταση ρεύματος κάτω από την οποία η μπαταρία θα έδινε την ονομαστική χωρητικότητά της σε μια ώρα. Για παράδειγμα, μια μπαταρία 100Ah με ρυθμό Φόρτισης – Εκφόρτισης 2C, έχει τη δυνατότητα να παρέχει ή να λαμβάνει 200A για 30 λεπτά, ή μια μπαταρία 100Ah με ρυθμό Φόρτισης –

Εκφόρτισης 0.5C, έχει τη δυνατότητα να παρέχει ή να λαμβάνει 50A για 2 ώρες. Επίσης, ο ρυθμός Φόρτισης μπορεί να έχει διαφορετικές τιμές από τον ρυθμό Εκφόρτισης [19].

vi. Ειδική ενέργεια (Wh/Kg) και Ειδική ισχύς (W/Kg)

Ειδική ενέργεια ονομάζεται η χωρητικότητα μιας μπαταρίας σε Ah, πολλαπλασιασμένη με την ονομαστική τάση της, συγκριτικά με το βάρος το οποίο έχει [14].

Ειδική ισχύς είναι η ένταση που μπορεί να παρέχει μια μπαταρία σε Amperes πολλαπλασιασμένη με την ονομαστική τάση της, συγκριτικά με το βάρος το οποίο έχει [14]. Αυτά τα δύο στοιχεία είναι εξίσου σημαντικά για τα ηλεκτρικά οχήματα, εφόσον το βάρος είναι σημαντικός παράγοντας στα ηλεκτρικά οχήματα, όπως προαναφέρθηκε πιο πάνω.

vii. Κύκλοι φόρτισης – εκφόρτωσης (life cycles)

Ως κύκλο φόρτισης ορίζεται η κατάσταση κατά την οποία μια πλήρως φορτισμένη μπαταρία εκφορτιστεί πλήρως και μετέπειτα επαναφορτιστεί πλήρως. Αυτό το χαρακτηριστικό χρησιμοποιούν οι κατασκευαστές για να περιγράψουν τη διάρκεια ζωής μιας μπαταρίας. Μετά από αυτό το θεωρητικό επίπεδο που ορίζει ο κατασκευαστής με κύκλους φόρτισης, η μπαταρία ενδέχεται να αρχίσει να παρουσιάζει μείωση στη χωρητικότητα και την ονομαστική τάση και γενικότερα, αλλοίωση των ονομαστικών χαρακτηριστικών της [14].

2.3.3.1.2. ΕΙΔΗ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ

Αν και υπάρχουν διάφορα είδη μπαταριών, πιο κάτω θα αναφερθούν και θα επεξηγηθούν τα βασικότερα είδη μπαταριών που έχουν εφαρμογή στα οχήματα.

i. Μπαταρίες Μολύβδου – Οξέος (Lead – Acid)

Η μπαταρία μολύβδου οξέος εφευρέθηκε το 1859 και αποτελεί τον πιο διαδεδομένο τύπο μπαταριών στην αυτοβιομηχανία των οχημάτων. Είναι η πρώτη επαναφορτιζόμενη μπαταρία, η οποία διατέθηκε στο εμπόριο το 1881. Η άνοδος και η κάθοδος των μπαταριών αυτών είναι φτιαγμένες από μολύβδο και στο ενδιάμεσο ως ηλεκτρολύτης χρησιμοποιείται θειικό οξύ. Αυτού του είδους η μπαταρία μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε ηλεκτρικά οχήματα, αν και δεν αποτελεί τον πρωταρχικό της σκοπό, λόγω χαμηλής ειδικής ενέργειας (μεγάλο βάρος μπαταρίας). Στην αυτοβιομηχανία χρησιμοποιείται κυρίως για την εκκίνηση μηχανών εσωτερικής καύσης, λόγω της υψηλής ειδικής ισχύς της, όπως και του υψηλού ρυθμού

εκφόρτισης. Οι μπαταρίες μολύβδου – οξέος, έχουν χαμηλότερο κόστος συγκριτικά με άλλες μπαταρίες, λόγω των φθηνών υλικών κατασκευής τους [20].

Παρόλα τα πλεονεκτήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω, η μπαταρία μολύβδου – οξέος έχει και αρκετά μειονεκτήματα, ένα εκ των οποίων είναι το ότι δεν είναι φιλικές προς το περιβάλλον, λόγω της τοξικότητας του μολύβδου. Ακόμη, δεν παρουσιάζουν καλή απόδοση σε χαμηλές θερμοκρασίες, εφόσον η ειδική τους ενέργεια και η ειδική τους ισχύ μειώνονται σε μεγάλο βαθμό. Ένα άλλο μειονέκτημά τους, είναι οι λίγοι κύκλοι φόρτισής τους [20].

ii. Μπαταρίες Νικελίου – Καδμίου (NiCd)

Η άνοδος και η κάθοδος των μπαταριών νικελίου καδμίου αποτελούνται από κάδμιο και υδροξείδιο του νικελίου ως ηλεκτρολύτη. Διατίθενται στο εμπόριο από το 1956 και έχουν υψηλή ειδική ισχύ. Μερικές από τις εφαρμογές των μπαταριών αυτών είναι σε μικρές συσκευές, ιατρικά εργαλεία και παιχνίδια, ενώ σε πιο μεγάλη κλίμακα, μπορούμε να τις βρούμε ως μπαταρίες εκκίνησης κινητήρα αεροσκαφών και σε ηλεκτρικά οχήματα [20].

Κάποια από τα πλεονεκτήματά τους, είναι το ότι παρουσιάζουν καλή απόδοση σε χαμηλές θερμοκρασίες, παρέχουν υψηλούς ρυθμούς εκφόρτισης και έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής. Τέλος, είναι αρκετά οικονομικές, αφού το κόστος τους είναι σχετικά χαμηλό. Από την άλλη, ένα από τα βασικά τους μειονεκτήματα είναι το ότι δεν είναι φιλικές προς το περιβάλλον, εφόσον το κάδμιο είναι τοξικό, αλλά και καρκινογόνο. Επίσης, έχουν χαμηλή ειδική ενέργεια και υψηλό ρυθμό αυτοεκφόρτισης [20].

iii. Μπαταρία Νικελίου Μετάλλου Υδριδίου (NiMH)

Η επαναφορτιζόμενη μπαταρία Νικελίου Μετάλλου Υδριδίου, είναι παρόμοια με τις μπαταρίες NiCd, με τη διαφορά ότι στην μπαταρία NiMH, η άνοδος αντικαταστάθηκε με ένα κράμα μετάλλου (σύνθετη μεταλλική ένωση), αντί του επιβλαβούς καδμίου που έχουν οι μπαταρίες NiCd. Στην κάθοδο χρησιμοποιείται νικέλιο όπως και στις μπαταρίες NiCd. Τις βρίσκουμε σε εφαρμογές ηλεκτρικών και υβριδικών οχημάτων, λόγω του ότι παρουσιάζουν μεγαλύτερη ειδική ενέργεια από τις μπαταρίες NiCd, περισσότερους κύκλους λειτουργίας, υψηλή ειδική ισχύς καθώς και δύο με τρεις φορές μεγαλύτερη χωρητικότητα συγκριτικά. Παρόλα αυτά, έχουν μικρότερη διάρκεια ζωής, λόγω των μεγάλων ρυθμών εκφόρτισης. Μερικά άλλα μειονεκτήματα των μπαταριών αυτών, είναι η ανάγκη για συγκεκριμένες θερμικές συνθήκες λειτουργίας, λόγω της σημαντικής μείωσης της απόδοσής τους σε

συνθήκες περιβάλλοντος, το αυξημένο κόστος, η παραγωγή θερμότητας κατά τη φόρτισή τους και ο μεγάλος ρυθμός αυτοεκφόρτισης [20].

iv. Μπαταρία Νατρίου - Θείου (Sodium-Sulfur)

Η άνοδος και η κάθοδος σε μια μπαταρία νατρίου – θείου αποτελούνται από νάτριο και θειάφι αντίστοιχα. Επίσης, οι μπαταρίες νατρίου – θείου είναι αεροστεγώς κλεισμένες με αλουμινένιο μεταλλικό καπάκι. Αυτού του τύπου μπαταρίες είναι επικίνδυνες προς τη χρήση τους λόγω αυτανάφλεξης του νατρίου, όταν έρθει σε επαφή με υγρασία και αέρα. Αυτός είναι και ο κυριότερος λόγος που δεν εμφανίζεται συχνά σε οχήματα [21].

Λόγω της υψηλής πυκνότητας ενέργειας, η μπαταρία νατρίου - θείου έχει προταθεί για διαστημικές εφαρμογές. Μάλιστα, στην αποστολή του διαστημικού λεωφορείου STS-87 το 1997, χρησιμοποιήθηκε μπαταρία θεικού νατρίου. Η πρώτη χρήση των μπαταριών νατρίου - θείου ήταν το δοκιμαστικό ηλεκτρικό όχημα Ford “Ecostar”, το 1991. Ωστόσο, εφόσον η υψηλή θερμοκρασία λειτουργίας των μπαταριών νατρίου - θείου παρουσιάζει δυσκολίες στην ηλεκτρική χρήση των οχημάτων, το “Ecostar” δεν βγήκε ποτέ στην παραγωγή [21].

v. Μπαταρίες Ιόντων Λιθίου (Li-ion)

Οι μπαταρίες Ιόντων – Λιθίου τα τελευταία χρόνια αποτελούν την ταχύτερα αναπτυσσόμενη μπαταρία και απασχολούν αρκετούς κατασκευαστές παραγωγής ηλεκτροκίνητων οχημάτων και όχι μόνο. Πρόκειται για μια επαναφορτιζόμενη μπαταρία με αρκετά πλεονεκτήματα συγκριτικά με τις προαναφερθέντες μπαταρίες. Συγκεκριμένα, πρόκειται για μια μπαταρία με υψηλή ειδική ενέργεια, υψηλή ειδική ισχύ, εξαιρετικά ελαφριά, με έλλειψη του φαινομένου μνήμης, χαμηλή απαίτηση συντήρησης, με χαμηλό ρυθμό αυτοεκφόρτισης και υψηλή διάρκεια ζωής, πλεονεκτήματα που την τοποθετούν στις πρώτες επιλογές για ηλεκτρικά-υβριδικά οχήματα [20].

Παρόλη την πληθώρα των θετικών που έχουν αυτές οι μπαταρίες, παρουσιάζουν και κάποια αρνητικά. Μερικά από αυτά, είναι το αυξημένο κόστος, η ανάγκη για ύπαρξη ενός συστήματος B.M.S. (battery management system) για τον έλεγχο της ακριβούς τάσης των κελιών, ώστε να καθορίζεται ασφαλές η φόρτισή τους και να αποφευχθεί η μείωση της διάρκειας ζωής τους. Επίσης, ένα ακόμη μειονέκτημα είναι ότι οι μπαταρίες Ιόντων – Λιθίου έχουν “ημερομηνία λήξης”, ανεξαρτήτως κύκλων λειτουργίας. Δηλαδή, η ζωή τους αρχίζει να μειώνεται από την μέρα κατασκευής, ανεξαρτήτως αν υπάρχει χρήση ή όχι [20].

vi. Μπαταρίες Λιθίου - πολυμερών (LiFePO₄)

Οι μπαταρίες λιθίου – πολυμερών είναι παρόμοιες με τις μπαταρίες Li-ion. Πρόκειται για μπαταρίες στερεάς μορφής, καθώς ο ηλεκτρολύτης τους είναι στερεός και λιγότερο επικίνδυνος από τις μπαταρίες Li-ion. Η απουσία υγρού ηλεκτρολύτη καθιστά τις μπαταρίες αυτές πιο ασφαλείς, σε περίπτωση τροχαίου ατυχήματος. Τα ηλεκτρόδια είναι φτιαγμένα από άνθρακα και από οξείδιο του μετάλλου και έχουν την ικανότητα να αποθηκεύουν μεγαλύτερη ενέργεια από τις μπαταρίες Lead-Acid. Ένα ακόμη πλεονέκτημα των μπαταριών LiFePO₄, είναι το πιο βολικό σχήμα, που είναι σημαντικό πλεονέκτημα στη χωροταξία και στην προσαρμογή του κέντρου βάρους του οχήματος [20].

Ένα σημαντικό μειονέκτημα είναι η ανάγκη ειδικής εγκατάστασης για τη θέρμανση των μπαταριών, ώστε οι συνθήκες λειτουργίας να είναι μεταξύ 80°C έως 120°C. Αυτή η ανάγκη προκύπτει γιατί η αγωγιμότητα του στερεού ηλεκτρολύτη είναι πολύ χαμηλή σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος [20].

2.3.3.2. ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

Ο ηλεκτροκινητήρας είναι το εξάρτημα που παράγει περιστροφική κίνηση, εκμεταλλευόμενο την ηλεκτρική ενέργεια, η οποία τροφοδοτείται από το πακέτο μπαταριών. Επίσης, έχει τη δυνατότητα αντίστροφης λειτουργίας. Δηλαδή, την μετατροπή της κινητικής ενέργειας (περιστροφικής κίνησης) του οχήματος σε ηλεκτρική ενέργεια (αναγεννητική πέδηση). Αυτή η δυνατότητα αποτελεί ένα σημαντικό πλεονέκτημα συγκριτικά με τις Μ.Ε.Κ., καθώς παρέχεται η δυνατότητα ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας [6, 22, 23]. Επιπλέον, ένας ηλεκτροκινητήρας για να έχει εφαρμογή σε οχήματα, θα πρέπει να έχει κάποια χαρακτηριστικά, όπως ευέλικτο έλεγχο λειτουργίας, υψηλό βαθμό απόδοσης, χαμηλό θόρυβο, χαμηλή απαίτηση συντήρησης, υψηλή ταχύτητα λειτουργίας, μεγάλη περιοχή σταθερής ισχύος, μεγάλο λόγο ονομαστικής ροπής/ροπής αδράνειας και μεγάλο λόγο ονομαστικής ισχύος/βάρους [23].

Οι ηλεκτροκινητήρες χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες, αυτούς που λειτουργούν με συνεχόμενο ηλεκτρικό ρεύμα DC και αυτούς που λειτουργούν με εναλλασσόμενο ρεύμα AC. Τα πρώτα ηλεκτρικά οχήματα χρησιμοποιούσαν ηλεκτροκινητήρες συνεχούς ρεύματος, καθώς στη συγκεκριμένη χρονική περίοδο οι ηλεκτροκινητήρες συνεχούς ρεύματος ήταν πιο εξελιγμένοι και εύκολα διαχειρίσιμοι, σε σχέση με τους πολύπλοκους και απαιτητικούς ηλεκτροκινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος. Ο λόγος αυτής της πολυπλοκότητας, ήταν η

αδυναμία μετατροπής του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο και η διαχείριση του ηλεκτρικού κινητήρα. Μετά την ανακάλυψη των ηλεκτρικών ισχύος που επιτρέπουν την μετατροπή του συνεχούς ρεύματος μιας μπαταρίας σε εναλλασσόμενο ρεύμα και τον πιο ακριβή έλεγχο της απόδοσης του κινητήρα (ροπή, ταχύτητα, ισχύς), βλέπουμε όλο και περισσότερες εφαρμογές ηλεκτροκινητήρων εναλλασσόμενου ρεύματος σε ηλεκτρικά - υβριδικά οχήματα. Στη σημερινή εποχή, μπορούμε να βρούμε ηλεκτροκινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος και ηλεκτροκινητήρες συνεχούς ρεύματος. Συγκεκριμένα, τα ηλεκτρικά οχήματα χρησιμοποιούν επαγωγικούς κινητήρες, κινητήρες μόνιμου μαγνήτη (BLDC) και κινητήρες μεταβλητής μαγνητικής αντίστασης (SRM) κ.ά [6, 23].

Πιο κάτω, θα επεξηγηθούν αναλυτικότερα τα τρία προαναφερθέντα είδη των σύγχρονων ηλεκτροκινητήρων που χρησιμοποιούνται συχνότερα σε εφαρμογές οχημάτων:

i. Σύγχρονος Κινητήρας Μόνιμου Μαγνήτη (BLDC, Brushless)

Ο σύγχρονος κινητήρας μόνιμου μαγνήτη, αποτελεί έναν τύπο ηλεκτροκινητήρα που τα τελευταία χρόνια εξελίσσεται ευρέως. Ο ρότορας του συγκεκριμένου κινητήρα, αποτελείται από μόνιμους μαγνήτες, ενώ τα τυλίγματα των φάσεων βρίσκονται τοποθετημένα στον στάτη. Ο όρος “Brushless”, φανερώνει ότι ο κινητήρας αυτός δεν χρησιμοποιεί ψήκτρες κι έτσι η μετάβαση του ρεύματος γίνεται ηλεκτρονικά. Επίσης, ο όρος “σύγχρονοι κινητήρες”, φανερώνει ότι ο ρότορας περιστρέφεται με την ίδια ταχύτητα, συγχρονισμένος με το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο του διακένου [20, 22, 23].

Οι σύγχρονες μηχανές μόνιμου μαγνήτη μπορεί να είναι μονοφασικές, διφασικές και τριφασικές. Το τύλιγμα κάθε φάσης μπορεί να αποτελείται από μια ή περισσότερες περιελίξεις που τοποθετούνται στον στάτη. Όσον αφορά τα τυλίγματα των ηλεκτροκινητήρων BLDC, υπάρχουν τρεις τύποι [24]:

Ο πρώτος τύπος, μας παρέχει δύο υποτυλίγματα (περιελίξεις) για κάθε φάση στον στάτη και τέσσερις μαγνητικού πόλους στον ρότορα, δηλαδή ο ρότορας καλύπτεται από δύο ζεύγη μαγνητικών πόλων (αντίθετης μαγνητικής πολικότητας).

Ο δεύτερος τύπος, μας παρέχει τρία υποτυλίγματα (περιελίξεις) για κάθε φάση στον στάτη και οκτώ μαγνητικού πόλους στον ρότορα, δηλαδή ο ρότορας καλύπτεται από τέσσερα ζεύγη μαγνητικών πόλων (αντίθετης μαγνητικής πολικότητας).

Ο τρίτος τύπος, μας παρέχει τέσσερα υποτυλίγματα (περιελίξεις) για κάθε φάση στον στάτη και οκτώ μαγνητικού πόλους στον ρότορα, δηλαδή ο ρότορας καλύπτεται από τέσσερα ζεύγη μαγνητικών πόλων (αντίθετης μαγνητικής πολικότητας) [24]

Πιο κάτω θα αναλυθούν τα μέρη ενός ηλεκτροκινητήρα BLDC και τα χαρακτηριστικά τους.

Ο στάτης μιας μηχανής τύπου Brushless αποτελείται από ατσάλινα φύλλα ελασμάτων πάχους 0.3-0.5mm ελασματοποιημένα, προκειμένου να αποφευχθεί όσο το δυνατόν γίνεται το φαινόμενο των δινορρευμάτων. Τα τυλίγματα τοποθετούνται στην εσωτερική επιφάνεια του στάτη σε ειδικές αυλακώσεις, οι οποίες είναι κομμένες ακτινωτά [25].

Οι BLDC κινητήρες έχουν τρία τυλίγματα στον στάτη, τα οποία συνδέονται σε μορφή αστεριού. Κάθε ένα τυλίγμα από τα τρία, αποτελείται από μικρότερες περιελίξεις. Κάθε τυλίγμα κατανέμεται στην περιφέρεια του στάτη, έτσι ώστε να δημιουργείται ζυγός αριθμός πόλων. Ο BLDC κινητήρας κατά τη λειτουργία του παράγει δονήσεις, με συνέπεια τα τυλίγματα να προκαλούν θόρυβο. Έτσι, χρησιμοποιείται ένα “κάλυμμα” γύρω από τον στάτη, το οποίο αποτρέπει αυτές τις δονήσεις και μειώνει αρκετά τον θόρυβο [25].

Οι BLDC κινητήρες χωρίζονται σε δύο τύπους μηχανών που διαφοροποιούνται ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης των περιελίξεων. Στο ένα είδος τα τυλίγματα είναι κατανεμημένα τραπεζοειδώς στην περίμετρο του στάτη, ενώ στο δεύτερο είδος τα τυλίγματα είναι κατανεμημένα ημιτονοειδώς. Η μορφή της ηλεκτρεγερτικής δύναμης αιτιολογεί και το όνομα του κάθε τύπου [20, 24].

Ο ρότορας είναι κατασκευασμένος από ατσάλι και έχει κυλινδρικό σχήμα. Πάνω στην επιφάνειά του τοποθετούνται οι μόνιμοι μαγνήτες, τους οποίους μπορούμε να συναντήσουμε με διάφορους συνδυασμούς. Οι συνδυασμοί αφορούν τον αριθμό των πόλων στην περιφέρεια του ρότορα (με δύο ή τέσσερα ζεύγη πόλων, αντίθετης πολικότητας) και τον τρόπο τοποθέτησης στην περιφέρειά του. Μπορούν να τοποθετηθούν στην περιφέρεια του ρότορα με κενά ανάμεσά τους, ή μπορεί να είναι ορθογώνιοι και να σφηνώνονται κάτω από την επιφάνεια, είτε οριζόντια, είτε κάθετα. Ανάλογα με το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένος ο μαγνήτης, διαφοροποιείται η δύναμη του μαγνητικού πεδίου. Υπάρχουν αρκετά υλικά κατασκευής μόνιμων μαγνητών, όμως στις μέρες μας συνήθως συναντάμε μαγνήτες από κράματα σπάνιων γαιών, λόγω της μεγάλης πυκνότητας ροής, η οποία έχει ως αποτέλεσμα τον μειωμένο όγκο του δρομέα. Μια πιο φθηνή λύση που χρησιμοποιείται

περισσότερο παλαιότερα, είναι οι μαγνήτες από φερρίτη, που όμως έχουν ως σημαντικό μειονέκτημα την χαμηλή πυκνότητα ροής για συγκεκριμένο όγκο [24].

Ο αισθητήρας Hall τοποθετείται στους κινητήρες μόνιμου μαγνήτη, ως αντικαταστάτης των παλιών, και με πολλά μειονεκτήματα, ψηκτρών. Δουλειά του είναι να διαβάσει την ακριβή θέση του δρομέα, ανά πάσα χρονική στιγμή. Γνωρίζοντας πλέον την θέση του δρομέα, ξέρουμε από ποιο τύλιγμα πρέπει να διαρρεύσει το ρεύμα για τη λειτουργία του κινητήρα. Συνήθως, οι «brushells» κινητήρες διαθέτουν τρεις αισθητήρες Hall, εκ των οποίων ένας ή δυο μπορούν να ενεργοποιηθούν ταυτόχρονα. Όταν οι αισθητήρες ενεργοποιηθούν, τροφοδοτούνται τα ανάλογα τυλίγματα του στάτη με ρεύμα [26].

Οι αισθητήρες Hall λειτουργούν με τον εξής τρόπο: Κάθε φορά που ένας μαγνητικός πόλος του δρομέα περνά κοντά από τους αισθητήρες, δίνει ένα υψηλό ή ένα χαμηλό σήμα, το οποίο υποδηλώνει ανάλογα, αν ο πόλος είναι θετικός ή αρνητικός. Έτσι, μπορούμε να γνωρίζουμε ποια είναι η ακριβής θέση του δρομέα. Ο συνδυασμός των σημάτων των τριών αισθητήρων, καθορίζει την ακριβή σειρά της μετάβασης [26].

Τέλος, θα αναλυθούν τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των μηχανών μόνιμου μαγνήτη. Το βασικότερο πλεονέκτημα των μηχανών μόνιμου μαγνήτη, σε σύγκριση με τις άλλες μηχανές, είναι η απουσία των ψηκτρών. Λόγω της απουσίας των ψηκτρών, αυξάνεται η διάρκεια ζωής των μηχανών, εφόσον δεν είναι αναγκαία η συντήρηση (φθορά και αλλαγή ψηκτρών). Ακόμη, μένει χώρος για τα τυλίγματα του στάτη, ενώ ταυτόχρονα βελτιώνεται και η αγωγή της θερμότητας. Τέλος, προκύπτει μείωση του μήκους της μηχανής, λόγω της απουσίας του συλλέκτη και του άξονα των ψηκτρών. Όσα προαναφέρθηκαν, σε συνδυασμό με την απουσία της τριβής των ψηκτρών, οδηγούν σε υπολογίσιμη αύξηση του ηλεκτρικού φορτίου και της ροπής [20].

Από την άλλη, η απουσία των ψηκτρών επιφέρει και κάποια μειονεκτήματα. Λόγω της απουσίας τους, προκύπτει η ανάγκη ύπαρξης αισθητήρων, έτσι ώστε να μπορούμε να γνωρίζουμε ανά πάσα στιγμή τη θέση του δρομέα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την πολυπλοκότητα της λειτουργίας των κινητήρων μόνιμου μαγνήτη, λόγω αναγκαίας ύπαρξης ηλεκτρονικού ελέγχου. Λόγω του παραπάνω, αλλά και του μεγάλου κόστους των μόνιμων μαγνητών και της ανάγκης συγκόλλησής τους, αυξάνεται το κόστος των κινητήρων μόνιμου μαγνήτη. Επίσης, είναι απαγορευτικές οι μεγάλες ταχύτητες των μηχανών, λόγω πιθανής αποκόλλησης των μαγνητών από τον δρομέα [20].

ii. Επαγωγικός κινητήρας

Επαγωγικό κινητήρα (ή αλλιώς ασύγχρονο κινητήρα), ονομάζουμε ένα ηλεκτροκινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος, ο οποίος για να παράξει ροπή στον ρότορα, χρησιμοποιεί ηλεκτρομαγνητική επαγωγή, εκμεταλλευόμενος το μαγνητικό πεδίο των τυλιγμάτων του στάτη. Αυτό το περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο του στάτη, διέρχεται στους αγωγούς του ρότορα, στους οποίους περνά ρεύμα και έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή ροπής [20, 22].

Οι επαγωγικοί κινητήρες μπορεί να είναι είτε μονοφασικοί, είτε τριφασικοί. Όσον αφορά τους τριφασικούς κινητήρες, τους συναντάμε κυρίως για βιομηχανικές εφαρμογές (λόγω της υψηλής αξιοπιστίας, του χαμηλού κόστους κ.ά.) και ως κινητήρες σε οχήματα. Βέβαια, λόγω του ότι είναι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος, οι μπαταρίες δεν μπορούν να τους θέσουν σε λειτουργία κι έτσι χρειάζεται ένα επιπλέον εξάρτημα για την μετατροπή του συνεχές ρεύματος της μπαταρίας σε εναλλασσόμενο. Αυτή τη δουλειά καλείται να εκτελέσει ο τριφασικός inverter. Οι μονοφασικοί κινητήρες χρησιμοποιούνται ως επί το πλείστον για μικρότερα φορτία, όπως στις οικιακές συσκευές. Και σε αυτή την περίπτωση, είναι αναγκαία η ύπαρξη του εναλλακτή (inverter), για την μετατροπή του συνεχές ρεύματος της μπαταρίας σε εναλλασσόμενο, με τη διαφορά ότι εδώ χρησιμοποιούνται μονοφασικά inverter [20, 22].

iii. Κινητήρες μεταβλητής μαγνητικής αντίστασης (SRM)

Ένας άλλος ευρέως διαδεδομένος τύπος κινητήρα, είναι ο κινητήρας μεταβλητής μαγνητικής αντίστασης (SRM). Οι κινητήρες SRM έχουν παρόμοιο στάτη με τους επαγωγικούς και BLDC κινητήρες. Ο συγκεκριμένος κινητήρας διαφοροποιείται από τους κινητήρες που αναλύθηκαν πιο πάνω, κυρίως στην κατασκευή του δρομέα τους. Ο δρομέας αποτελείται από δύο προεξέχοντες πόλους και συνήθως είναι κατασκευασμένος από στρώσεις μαλακού σιδήρου. Λόγω του ότι στον δρομέα απουσιάζουν οι μαγνήτες, απουσιάζει και το μέσο που παράγει μαγνητικό πεδίο. Η λειτουργία του στηρίζεται στα τυλίγματα των φάσεων του στάτη, που παράγουν το μαγνητικό πεδίο, το οποίο ασκείται στον ρότορα, με αποτέλεσμα την παραγωγή ροπής. Πιο συγκεκριμένα, η κίνηση του δρομέα προκύπτει από το συνεχές μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο, από τα τυλίγματα των φάσεων, με σειρά η οποία καθορίζεται από έναν αισθητήρα θέσης. Ο αισθητήρας αυτός δίνει ανά πάσα στιγμή στον ελεγκτή τη θέση του δρομέα και ο ελεγκτής ενεργοποιεί το ανάλογο τύλιγμα [20, 26].

Τον δρομέα του συγκεκριμένου κινητήρα μπορούμε να τον συναντήσουμε σε δύο διαφορετικές εκδοχές. Στην πρώτη περίπτωση, ο δρομέας είναι ένα ενιαίο σώμα φτιαγμένο εξ

ολοκλήρου από μαλακό σίδηρο, ενώ στη δεύτερη περίπτωση, το σώμα του δρομέα είναι φτιαγμένο από αλουμίνιο και ανά πολικό βήμα υπάρχουν τμήματα σιδήρου, όπως στις μηχανές μόνιμων μαγνητών υπάρχουν επιφανειακοί μαγνήτες [20, 26].

2.3.3.3. ΕΛΕΓΚΤΕΣ

Ελεγκτής ονομάζεται μια κεντρική μονάδα η οποία είναι υπεύθυνη για τον χειρισμό και τον έλεγχο του κινητήρα και του πακέτου μπαταριών. Κάθε ηλεκτροκινητήρας επιβάλλεται να έχει ως απαραίτητο αξεσουάρ έναν ελεγκτή και ένας από τους κυριότερους λόγους είναι η ανάγκη αυξομείωσης των στροφών και ροπής. Οι ελεγκτές των ηλεκτρικών κινητήρων ποικίλουν ανάλογα με το είδος εργασίας που προορίζονται, με το εύρος στροφών, το είδος ρεύματος, το είδος κινητήρα κτλ. Μπορούμε να τους χωρίσουμε σε Dc-Dc controllers (Chopper), Dc-Dc controllers (Chopper) τριφασικούς, σε Dc-Ac controllers (inverters), σε Dc-Ac controllers (inverters) τριφασικούς [27].

i. Dc-Dc controllers (Chopper controllers)

Ο Chopper controller, σε μια γενική απλοποιημένη έννοια, είναι ένας διακόπτης ο οποίος ανάλογα με το σήμα του πεντάλ γκαζιού (ποτενσιόμετρο), τροφοδοτεί τον κινητήρα με την ανάλογη επιθυμητή ισχύ. Πιο συγκεκριμένα, ο ελεγκτής διαβάζει τον αισθητήρα γκαζιού και αναλόγως, δημιουργεί ένα παλμό. Για παράδειγμα, αν το πεντάλ γκαζιού βρίσκεται στη θέση 50%, ο ελεγκτής θα δημιουργήσει έναν παλμό 50% off, 50% on. Με αυτό τον τρόπο, θα τροφοδοτήσει τον κινητήρα, ώστε να του παρέχει την επιθυμητή ισχύ. Αυτός ο παλμός διαφοροποιείται συνεχώς, ανάλογα και με την διαφοροποίηση της θέσης του πεντάλ γκαζιού. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι ο ελεγκτής δημιουργεί παλμό με συχνότητα που ξεπερνά τους 15.000 κύκλους ανά δευτερόλεπτο. Αυτή η συχνότητα δεν είναι τυχαία, καθώς με αυτή την συχνότητα, το παλλόμενο ρεύμα ξεπερνά τα όρια της ανθρώπινης ακοής κι έτσι τα ανθρώπινα αυτιά δεν αντιλαμβάνονται τον ήχο από το παλλόμενο ρεύμα [27].

ii. Dc-Ac controllers (inverters)

Οι Dc-Ac controllers έχουν αρκετές ομοιότητες με τους Dc-Dc controllers, όσον αφορά την αρχή λειτουργίας, την ανάγκη ύπαρξης σήματος από το πεντάλ γκαζιού (ποτενσιόμετρο), την άμεση σύνδεση του controller με τον κινητήρα κτλ. Η βασικότερη διαφορά του Dc-Ac controller από τον Dc-Dc controller είναι η ανάγκη ύπαρξης ενός εναλλακτή (inverter), ο οποίος μετατρέπει το συνεχές ρεύμα του πακέτου μπαταριών σε εναλλασσόμενο ημιτονοειδές ρεύμα, μερικές φορές μονοφασικό και άλλες τριφασικό, αναλόγως με το είδος του κινητήρα

που απευθύνεται. Κάθε φάση έχει έξι σερ τρανζίστορ για την ανάγκη αναστροφής πολικότητας 60 φορές το δευτερόλεπτο, σε αντίθεση από το ένα σερ τρανζίστορ που χρειάζεται ένας Dc-Dc controller [27].

Επιπλέον, υπάρχουν και οι έξυπνοι ελεγκτές, που τους συναντάμε και ως Dc-Dc controllers και Dc-Ac controllers. Πέρα από τις ιδιότητες που έχει ένας ελεγκτής, ανάλογα με το είδος ρεύματος και της φάσης των πόλων, μπορεί να έχει και επιπλέον δυνατότητες, όπως να χρησιμοποιεί μικροεπεξεργαστή ώστε να μπορεί να διαχειριστεί τις ηλεκτρονικές συσκευές που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο του κινητήρα, του πακέτου μπαταριών, αλλά και ακόμα και του ιδίου του ελεγκτή. Η θερμοκρασία στο πακέτο μπαταριών, στον ελεγκτή και στον κινητήρα είναι ένα σημαντικό κομμάτι που επηρεάζει άμεσα την απόδοση του όλου συστήματος. Η παρακολούθηση του φορτίου ενός κινητήρα και η ανάλογη συμπεριφορά του ελεγκτή στις διαφορές συνθήκες, επιφέρει σημαντική αύξηση της ενεργειακής απόδοσης του όλου συστήματος, άρα και μείωση θερμότητας, αύξηση οικονομίας και μειωμένο θόρυβο [11, 27].

3. ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΥ DRAGSTER ΣΕ ΑΜΙΓΩΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ

Στο παρόν κεφάλαιο, θα αναλυθεί και θα εξηγηθεί ο τρόπος και η διαδικασία που ακολουθήθηκε, έτσι ώστε να φτάσουμε στα συμπεράσματα για την τελική μετατροπή, που θα παρουσιαστούν στο επόμενο κεφάλαιο.

Με σκοπό να καταλήξουμε στην επιθυμητή ισχύ του κινητήρα, κρίθηκε αναγκαία η επιλογή συγκεκριμένων επιδόσεων. Οι επιδόσεις αυτές, βασίστηκαν σε ένα άλλο όχημα που έχει τις επιθυμητές προσεγγιστικά επιδόσεις, ώστε βάσει αυτών να γίνουν οι απαραίτητοι υπολογισμοί. Συγκεκριμένα, επιλέχθηκαν οι επιδόσεις ενός οχήματος με κινητήρα ΜΕΚ. Οι επιδόσεις του οχήματος δίνονται σε τρία σημεία (0-100Km/h, 0-200Km/h, 0-300Km/h), τα οποία παρουσιάζονται στον πιο κάτω πίνακα.

α/α	ΠΕΡΙΘΩΡΙΟ ΤΑΧΥΤΗΤΑ (Km/h)	ΧΡΟΝΟΣ (s)
1	0-100	3
2	0-200	11.4
3	0-300	37.4

Πίν. 3.1 Προσεγγιστικές επιδόσεις οχήματος.

Για να υπολογιστεί η ισχύς που θα πρέπει να έχει ο κινητήρας, πρέπει πρώτα να υπολογιστούν οι συνολικές απώλειες που θα έχει το όχημα κατά την κίνησή του. Αυτές οι απώλειες, αφορούν διάφορες τριβές σε μηχανικά μέρη, στα ελαστικά των τροχών, στην αεροδυναμική του οχήματος και στις αδρανειακές δυνάμεις [11, 14, 20, 28]. Πιο κάτω, θα αναφερθούν και θα εξηγηθούν λεπτομερώς τα στάδια που θα ακολουθηθούν, ώστε να εξάγουμε τα αποτελέσματα.

i. Επιλογή οχήματος και μελέτη τεχνικών χαρακτηριστικών:

Τα μέρη με τα οποία θα ασχοληθεί η παρούσα πτυχιακή εργασία, ανήκουν στο σύστημα παραγωγής και μετάδοσης της κίνησης. Αρχικά, έγινε η επιλογή μοντέλου οχήματος και των τεχνικών χαρακτηριστικών του, όπως το βάρος, ο συντελεστής οπισθέλκουσας, ο συντελεστής αντίστασης της κύλισης και οι διαστάσεις οχήματος. Το μοντέλο του οχήματος που επιλέχθηκε για να μετατραπεί, είναι το MITSUBISHI COLT 1995. Οι λόγοι που επιλέχθηκε το συγκεκριμένο μοντέλο, είναι το χαμηλό κόστος αγοράς, το μικρό μεταξόνιο, το

οποίο βοηθάει στην εύκολη ρύθμιση του κέντρου βάρους, το σχετικά ελαφρύ αμάξωμα κ.ά. Τα χαρακτηριστικά του οχήματος παρουσιάζονται πιο αναλυτικά στον πιο κάτω πίνακα [29].

Μάρκα	Mitsubishi
Μοντέλο	Colt
Χρονολογία κατασκευής	1992 – 1996
Μήκος	3950mm
Πλάτος	1690mm
Ύψος	1370mm
Κίνηση	4WD
Βάρος	995Kg
Μετωπική επιφάνεια	2m ²
Συντελεστής οπισθέλκουσας	0.3

Πίν. 3.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά MITSUBISHI COLT 1995 [29].

ii. Υπολογισμός της επιθυμητής ισχύος του κινητήρα.

Στο σημείο αυτό, θα αναλυθούν όλες οι απώλειες που θα έχει το όχημα κατά την κίνησή του, με βάση τις επιθυμητές επιδόσεις. Τα συστήματα παραγωγής και μετάδοσης της κίνησης των οχημάτων παρέχουν στους τροχούς την απαραίτητη δύναμη και ενέργεια για να ξεπεραστούν οι αντιστάσεις που ασκούνται στο όχημα, ώστε αυτό είτε να διατηρήσει, είτε να μεταβάλει την κινητική του κατάσταση. Οι βασικές αντιστάσεις που εμφανίζονται κατά την κίνηση και που πρέπει να υπερνικηθούν είναι οι αεροδυναμικές αντιστάσεις, οι αντιστάσεις τριβής κύλισης, οι αντιστάσεις κλίσης του οδοστρώματος, οι απώλειες στο ΣΜΚ, όπως και οι δυνάμεις αδράνειας κατά την επιτάχυνση. Από τις αντιστάσεις που μόλις αναφέρθηκαν, οι αεροδυναμικές αντιστάσεις, οι αντιστάσεις κύλισης όπως και οι απώλειες στο ΣΜΚ, πάντα αντιτίθενται στην κίνηση του οχήματος. Από την άλλη, οι δυνάμεις αδράνειας σε φάσεις επιβράδυνσης, έχουν τη φορά της ταχύτητας, ενώ σε φάση επιτάχυνσης, είναι αντίθετη της φοράς της ταχύτητας. Το χαρακτηριστικό της αδράνειας είναι ότι μεταβάλλει τη φορά της, ανάλογα με τη φορά της επιτάχυνσης [11, 14, 20, 28].

Οι αντιστάσεις που αναφέρθηκαν πιο πάνω, αρχικά θα οριστούν και έπειτα θα υπολογιστούν οι τιμές τους σε κάθε περίπτωση ξεχωριστά. Αφού τα δεδομένα τα οποία βρέθηκαν είναι σε τρεις φάσεις, θα υπολογιστούν αντίστοιχα και τρεις διαφορετικές επιθυμητές ισχύεις, δηλαδή σε τρία επίπεδα ταχύτητας: 0-100Km/h, 0-200Km/h, 0-300Km/h.

✓ Επιτάχυνση

Ο πρώτος νόμος του Νεύτωνα, ορίζει ότι εάν το σύνολο των δυνάμεων που ασκούνται πάνω σε ένα σώμα είναι ίσο με μηδέν, το σώμα αυτό είτε κινείται με σταθερή ταχύτητα, είτε παραμένει ακίνητο. Σε περίπτωση, όμως, που το σύνολο των δυνάμεων που ασκούνται στο σώμα δεν είναι μηδέν, τότε η ταχύτητα του σώματος μεταβάλλεται και εδώ εισέρχεται η έννοια της επιτάχυνσης. Επιτάχυνση ενός κινητού ονομάζουμε τον ρυθμό με τον οποίο αλλάζει η ταχύτητα του κινητού, σε μια τυχαία χρονική στιγμή και εκφράζεται μέσω του πηλίκου της ταχύτητας του κινητού, προς τον χρόνο που αυτό χρειάστηκε για να την αποκτήσει. Όπως και η ταχύτητα, η επιτάχυνση αποτελεί διανυσματικό μέγεθος [30]. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται ο τύπος της επιτάχυνσης, ο οποίος αξιοποιήθηκε στην εύρεση της επιτάχυνσης των τριών σημείων που ορίστηκαν πιο πάνω. (α_1 : 0-100 Km/h, α_2 : 0-200 Km/h, α_3 : 0-300 Km/h).

$$\alpha = \frac{u}{t}$$
$$\alpha_1 = \frac{27,77}{3} = 9,259 \frac{m}{s^2}$$
$$\alpha_2 = \frac{55,55}{11,4} = 4,873 \frac{m}{s^2}$$
$$\alpha_3 = \frac{83,33}{37,4} = 2,22 \frac{m}{s^2}$$

Όπου α η επιτάχυνση σε m/s^2 , u η ταχύτητα σε m/s , και t ο χρόνος σε sec .

✓ Αδράνεια

Η αδράνεια αποτελεί μια από τις βασικές αρχές της Φυσικής. Με τον όρο αυτό, ονομάζουμε την ιδιότητα που έχουν τα σώματα να αντιστέκονται στη μεταβολή της ταχύτητάς τους και κατά συνέπεια την ιδιότητά τους να διατηρούν την ταχύτητά τους σταθερή. Η αδράνεια των σωμάτων εκφράζεται με το γινόμενο της μάζας επί την επιτάχυνση των σωμάτων, όπως φαίνεται και στον τύπο που παρουσιάζεται ακολούθως. Στη συνέχεια, ο τύπος αυτός

αξιοποιείται ώστε να υπολογιστούν οι αδράνειες των τριών σημείων που ορίστηκαν [11, 20, 30].

$$F\alpha\delta = m * a$$

$$F\alpha\delta_1 = 995 * 9,259 = 9,21 \text{ KN}$$

$$F\alpha\delta_2 = 995 * 4,873 = 4,849 \text{ KN}$$

$$F\alpha\delta_3 = 995 * 2,22 = 2,21 \text{ KN}$$

Όπου m η μάζα σε Kg, και a η επιτάχυνση σε m/s^2 .

✓ Αντίσταση κύλισης

Αντίσταση κύλισης ονομάζουμε την ενέργεια που δαπανάται κατά την παραμόρφωση του ελαστικού, κατά την επαφή με το έδαφος και την τριβή που προκύπτει. Η αντίσταση κύλισης εξαρτάται από τις ελαστικές ιδιότητες του καουτσούκ, στις οποίες αναφερόμαστε συχνά ως υστέρηση. Ακόμη, εξαρτάται από το είδος της επιφάνειας με την οποία το ελαστικό έρχεται σε επαφή. Για παράδειγμα, όταν το ελαστικό έρχεται σε επαφή με επιφάνειες όπως σκυρόδεμα και άσφαλτο, ο συντελεστής κύλισης κυμαίνεται 0,01 – 0,02. Σε επιφάνειες όπως είναι ο χωματόδρομος, ο συντελεστής κυμαίνεται 0,04 - 0,08, ενώ σε χαλαρή άμμο, ο συντελεστής κυμαίνεται 0,15 – 0,30. Λόγω του ότι το όχημα στο οποίο αναφέρεται η παρούσα εργασία θα κινείται εξολοκλήρου σε άσφαλτο, για την εύρεση της αντίστασης κύλισης, θα χρησιμοποιηθεί ο συντελεστής 0,02. Πρέπει είναι να αναφερθεί ότι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζει την αντίσταση κύλισης, είναι το βάρος που ασκείται στους τροχούς από το όχημα [11, 14, 28].

Όπως φαίνεται και στον πιο κάτω τύπο, εκφράζεται ως το γινόμενο του συντελεστή κύλισης, επί την μάζα του σώματος, επί την επιτάχυνση της βαρύτητας.

$$F\kappa\lambda = Cr * m * g$$

$$F\kappa\lambda_1 = 0,02 * 995 * 9,81 = 0,195 \text{ KN}$$

$$F\kappa\lambda_2 = 0,02 * 995 * 9,81 = 0,195 \text{ KN}$$

$$F\kappa\lambda_3 = 0,02 * 995 * 9,81 = 0,195 \text{ KN}$$

Όπου Cr ο συντελεστής κύλισης, m η μάζα σε Kg, και g η επιτάχυνση της βαρύτητας σε m/s^2 .

✓ Αεροδυναμική αντίσταση

Η αεροδυναμική αποτελεί μια επιστήμη που εμπίπτει στον κλάδο της Μηχανικής ρευστών και μελετά την ροή ρευστού (αερίου ή υγρού) γύρω από ένα σώμα αεροδυναμικής μορφής και τις δυνάμεις που αναπτύσσονται πάνω σε αυτό.

Αεροδυναμική αντίσταση ή δύναμη της οπισθέλκουσας, ονομάζεται η δύναμη που έχει τον ίδιο φορέα με αυτόν της ταχύτητας, αλλά αντίθετη φορά και εμφανίζεται κατά την κίνηση αντικειμένων εντός ρευστού. Η παρουσία της δύναμης οφείλεται στη διαφορετική πίεση, η οποία επικρατεί στις δύο πλευρές ενός σώματος, λόγω αποκολλήσεων του ρευστού, όταν κινείται σε αυτό ένα σώμα. Ακόμη, οφείλεται στις τριβές που αναπτύσσονται καθώς ένα σώμα κινείται εντός ρευστού ή όταν το ρευστό κινείται γύρω από ένα σώμα. Συνήθως, το μέγεθος αυτό συμβολίζεται ως $F_{αερ}$ και ορίζεται από την παρακάτω σχέση και εκφράζεται ως το γινόμενο του συντελεστή οπισθέλκουσας, επί τη μετωπική επιφάνεια, επί την πυκνότητα ρευστού (η οποία σχετίζεται άμεσα με τις καιρικές συνθήκες), επί το μισό του τετραγώνου της ταχύτητας. Από τη σχέση αυτή, γίνεται αντιληπτό πως όσο αυξάνεται η ταχύτητα του οχήματος, τόσο αυξάνεται με τη σειρά της και η αεροδυναμική αντίσταση [11, 14, 28].

$$F_{αερ} = C_d * A * \rho * \frac{u^2}{2}$$

$$F_{αερ_1} = 0,3 * 2 * 1,2 * \frac{27,77^2}{2} = 0,277 \text{ KN}$$

$$F_{αερ_2} = 0,3 * 2 * 1,2 * \frac{55,55^2}{2} = 1,11 \text{ KN}$$

$$F_{αερ_3} = 0,3 * 2 * 1,2 * \frac{83,33^2}{2} = 2,499 \text{ KN}$$

Όπου C_d ο συντελεστής οπισθέλκουσας, A η μετωπική επιφάνεια m^2 , και ρ η πυκνότητα του αέρα Kg/m^3 .

✓ Ολικές αντιστάσεις

Η ολική αντίσταση είναι το άθροισμα των αντιστάσεων της κύλισης, της αεροδυναμικής και της αδράνειας. Πιο κάτω, παρουσιάζεται η ολική αντίσταση του οχήματος στα τρία σημεία που ορίστηκαν [14, 20, 28].

$$F_{ολ} = F_{αδ} + F_{κλ} + F_{αε}$$

$$F_{ολ_1} = 9,21 + 0,195 + 0,277 = 9,682 \text{ KN}$$

$$\mathbf{Fol}_2 = 4,849 + 0,195 + 1,11 = 6,154 \text{ KN}$$

$$\mathbf{Fol}_3 = 2,21 + 0,195 + 2,499 = 4,904 \text{ KN}$$

✓ Ισχύς τροχού

Η ισχύς τροχού υπολογίζεται από το γινόμενο της ολικής αντίστασης με την ταχύτητα του οχήματος. Πιο κάτω, παρουσιάζεται η ισχύς που θα πρέπει να καταλήξει στον τροχό, ώστε να υπερνικηθούν οι αντιστάσεις [14, 20, 28].

$$P_{\tau\rho} = F_{ol} * u$$

$$\mathbf{P}_{\tau\rho_1} = 9.682 * 27,77 = 268,87 \text{ Kw}$$

$$\mathbf{P}_{\tau\rho_2} = 6,154 * 55,55 = 341,85 \text{ Kw}$$

$$\mathbf{P}_{\tau\rho_3} = 4,904 * 83,33 = 408,65 \text{ Kw}$$

✓ Ισχύς κινητήρα

Το σύστημα μετάδοσης της κίνησης είναι το σύστημα που μεταφέρει την κίνηση, και κατά συνέπεια τη ροπή και την ισχύ, από τον κινητήρα στους τροχούς και αποτελείται από το κιβώτιο ταχυτήτων, το διαφορικό και τους άξονες μεταφοράς της κίνησης. Το σύστημα μετάδοσης της κίνησης έχει κάποιο βαθμό απόδοσης, λόγω της απώλειας ισχύος κατά τη μεταφορά της από τον κινητήρα στους τροχούς. Η απώλεια ισχύος οφείλεται κυρίως σε τριβές στη σύμπλεξη των γραναζιών, στο ιξώδες του λαδιού και στη μεταφορά της κίνησης διαμέσου των μπιλιοφόρων [11, 28].

Η ισχύς του κινητήρα υπολογίζεται από το πηλίκο της ισχύος τροχού, η οποία υπολογίστηκε πιο πάνω, διά του συντελεστή μετάδοσης της κίνησης.

$$P_e = \frac{P_{\tau\rho}}{\eta}$$

$$\mathbf{P}_{e_1} = \frac{P_{\tau\rho_1}}{\eta} = \frac{268,87}{0,84} = 320,08 \text{ Kw}$$

$$\mathbf{P}_{e_2} = \frac{P_{\tau\rho_2}}{\eta} = \frac{341,85}{0,84} = 406,96 \text{ Kw}$$

$$\mathbf{P}_{e_3} = \frac{P_{\tau\rho_3}}{\eta} = \frac{408,65}{0,84} = 486,49 \text{ Kw}$$

Όπου η ο συντελεστής μετάδοσης της κίνησης.

Στον πίνακα 3.3 παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τους πιο πάνω υπολογισμούς.

Επίπεδα Ταχύτητας (Km/h)	Επιτάχυνση (m/s ²)	Αδράνεια (KN)	Αντίσταση Κύλισης (KN)	Αεροδυναμική Αντίσταση (KN)	Ολικές Αντιστάσεις (KN)	Ισχύς Τροχού (KW)	Ισχύς Κινητήρα (KW)
0-100	9,259	9,21	0,195	0,277	9,682	268,87	320,08
0-200	4,873	4,849	0,195	1,11	6,154	341,85	406,96
0-300	2,22	2,21	0,195	2,499	4,904	408,65	486,49

Πίν. 3.3 Αποτελέσματα υπολογισμών ολικών αντιστάσεων, ισχύος τροχού και ισχύος κινητήρα, στις τρεις επιθυμητές επιδόσεις.

Από τις τιμές της ισχύος κινητήρα που προέκυψαν, θα πρέπει να επιλέξουμε την πιο μεγάλη, ώστε ο κινητήρας που θα επιλεγεί να καλύπτει την απαιτούμενη ισχύ. Σε αυτή την περίπτωση η ισχύς του κινητήρα που θα επιλεγεί, θα πρέπει να είναι ίση ή μεγαλύτερη των **486,49KW (652,13Hp)**.

iii. Κριτήρια επιλογής εξαρτημάτων

Μετά το στάδιο αυτό, γνωρίζουμε την επιθυμητή ισχύ που πρέπει να έχει ο κινητήρας και έτσι, μετά από έρευνα, θα είμαστε σε θέση να επιλέξουμε τον κινητήρα ο οποίος πληροί τις προδιαγραφές που έχουν τεθεί. Στη συνέχεια, με τον ίδιο τρόπο θα επιλεγεί το πακέτο μπαταριών, το κιβώτιο ταχυτήτων, ο ελεγκτής, το ποτενσιόμετρο, το ρελέ ισχύος (contactor), όπως και άλλα δευτερεύοντα εξαρτήματα, τα οποία θα πρέπει να πληρούν τις προδιαγραφές του κινητήρα. Το επόμενο στάδιο, είναι να υπολογιστεί το βάρος των αντικειμένων που θα αφαιρεθούν από το όχημα, από τα οποία τα κυριότερα είναι η ΜΕΚ, το ντεπόζιτο καυσίμων, το σύστημα εξάτμισης και το συμβατικό κιβώτιο ταχυτήτων. Κατόπιν, υπολογίζεται το συνολικό βάρος των εξαρτημάτων που θα τοποθετηθούν στο όχημα, όπως του ηλεκτροκινητήρα, του πακέτου μπαταριών, του controller, του κιβωτίου ταχυτήτων που επιλέχθηκε, καθώς και των άλλων μερών. Εντέλει, αφού αφαιρεθεί το συνολικό βάρος των εξαρτημάτων που θα αφαιρεθούν και προστεθεί το βάρος των εξαρτημάτων που θα αντικαταστήσουν, θα καταλήξουμε στο νέο βάρος του οχήματος. Ακολούθως, θα γίνει μια επαλήθευση όλων των αντιστάσεων που προαναφέρθηκαν, έτσι ώστε να υπολογιστούν τόσο οι νέες αντιστάσεις του οχήματος, όσο και κατ' επέκταση η νέα απαιτούμενη ισχύς από τον ηλεκτροκινητήρα. Στο σημείο αυτό θα γίνει ένας έλεγχος, σχετικά με το αν ακόμη η ισχύς του κινητήρα που επιλέχθηκε, καλύπτει τα νέα δεδομένα.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Μετά τους απαραίτητους υπολογισμούς που έγιναν και επεξηγήθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται, με βάση τα κριτήρια που έχουν τεθεί, τα εξαρτήματα τα οποία επιλέχθηκαν να προστεθούν στο όχημα. Τα εξαρτήματα αυτά είναι ο κινητήρας, ο ελεγκτής, το πακέτο μπαταριών, το κιβώτιο ταχυτήτων, το ρελέ ισχύος (contactor) και το ποτενσιόμετρο. Πιο κάτω, θα παρουσιαστούν όλα τα εξαρτήματα ξεχωριστά μαζί με τα χαρακτηριστικά τους και θα εξηγηθούν περαιτέρω τα κριτήρια επιλογής τους.

✓ Κινητήρας

Επίπεδα Ταχύτητας (Km/h)	Ισχύς Κινητήρα (KW)
0-100	320,08
0-200	406,96
0-300	486,49

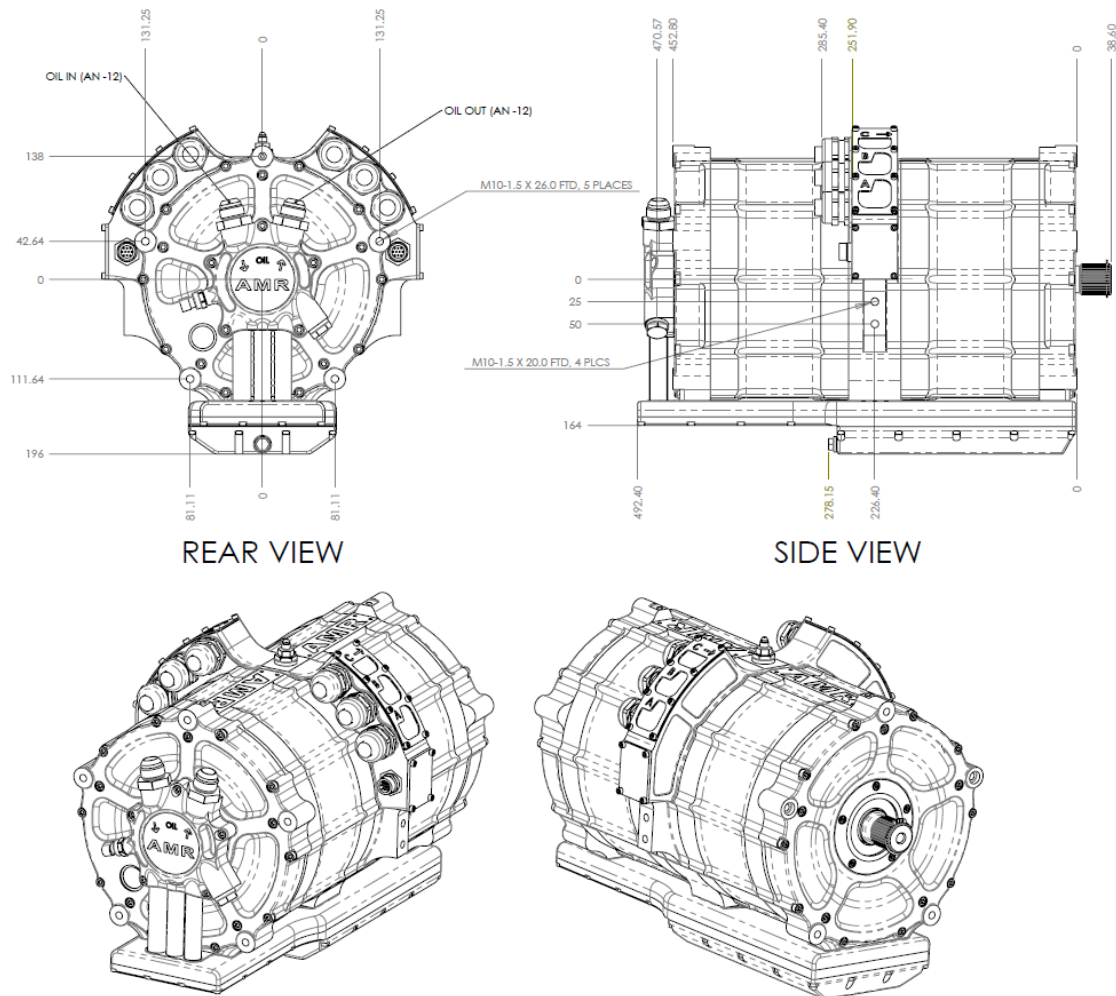
Πίν. 4.1 Ισχύς κινητήρα που υπολογίστηκε στα τρία σημεία.

Με βάση τον πίνακα 4.1, ο οποίος παρουσιάζει συνοπτικά την ισχύ που υπολογίστηκε ότι θα πρέπει να έχει ο κινητήρας που θα επιλεγεί στα τρία σημεία, ο κινητήρας είναι απαραίτητο να έχει ισχύ ίση ή και μεγαλύτερη των 486,49KW (652,13Hp). Το δεδομένο αυτό, αποτελεί το κυριότερο κριτήριο επιλογής του κινητήρα.

Ο κινητήρας που επιλέχθηκε μετά από έρευνα στο διαδίκτυο είναι ένας κινητήρας της εταιρίας AMRacing και είναι ο EVD250/115P2, που παρουσιάζεται στην εικόνα 4.1. Οι διαστάσεις του απεικονίζονται στο σχεδιάγραμμα 4.1 [31].



Εικόνα 4.1 Κινητήρας EVD250/115P2 της AMRacing [31]



Σχεδιάγραμμα 4.1 Ο κινητήρας στις 4 διαστάσεις [31]

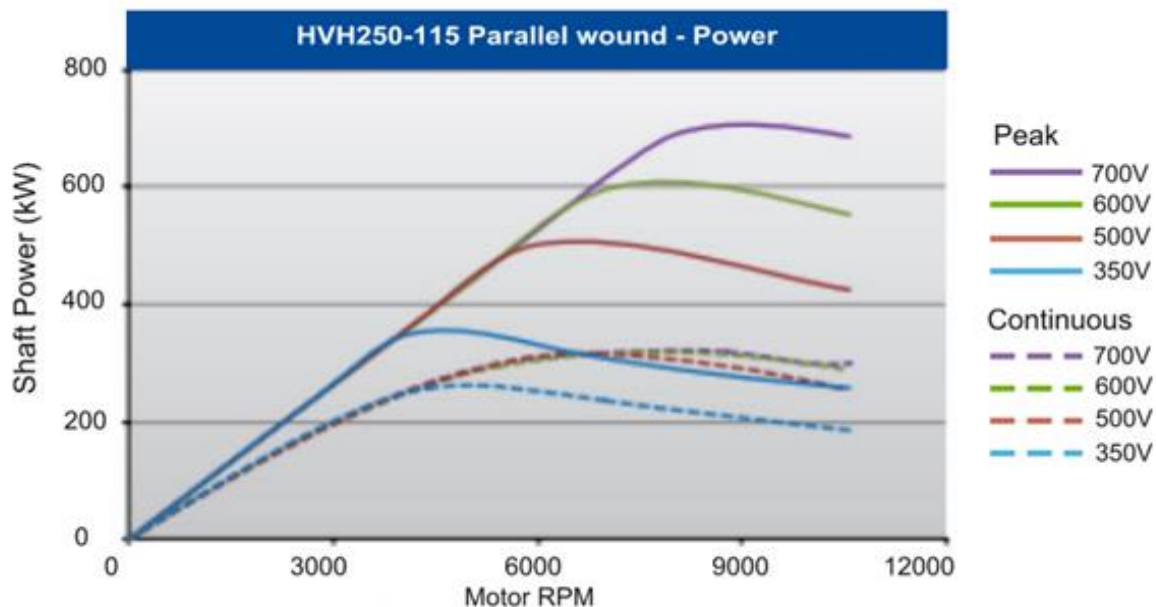
Τα χαρακτηριστικά του κινητήρα παρουσιάζονται στον πίνακα 4.2 που ακολουθεί, ενώ στη συνέχεια θα σχολιαστούν οι λόγοι επιλογής του [31].

Τύπος κινητήρα	Παράλληλου μόνιμου μαγνήτη με δυο ρότορες των 115mm και μια έξοδο (Parallel Dual Core Motor)
Δύναμη	560KW / 750Hr μέγιστη, 523KW / 700Hr συνεχόμενα
Τάση	Κυμαίνεται 300VDC - 800 VDC
Ένταση	2 x 600 ARMS (600 ARMS σε κάθε ρότορα)
Στροφές	0 – 10000 RPM
Διαστάσεις	Ø 280 mm x 450 mm
Βάρος	110 kg
Σύστημα ψύξης	Ψυχόμενοι ρότορες / στάτορες με ενσωματωμένη αντλία λαδιού και εναλλακτές θερμότητας για εσωτερική ψύξη με τη βοήθεια γλυκόζης /

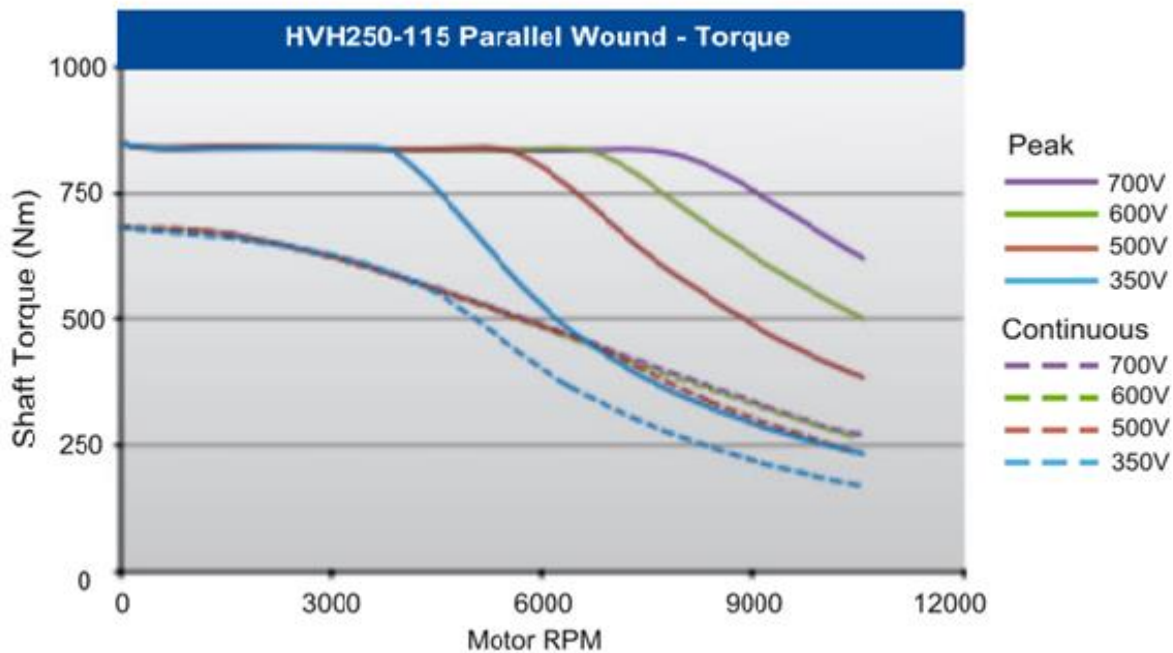
	νερού και λαδιού (Μέγιστη θερμοκρασία 90°C)
Κόστος	€16000

Πίν. 4.2 Χαρακτηριστικά του κινητήρα EVD250/115P2 της AMRacing [31]

Ο συγκεκριμένος κινητήρας είναι διπλού μόνιμου μαγνήτη, χωρίς ψήκτρες, με ένα άξονα εξόδου και έχει την ικανότητα να διατηρεί την απόδοσή του σε μεγάλο εύρος στροφών, γεγονός που αποτέλεσε έναν από τους λόγους επιλογής του. Κατασκευάστηκε εξ' ολοκλήρου για αγωνιστική χρήση, γεγονός που επίσης ήταν θετικό ως προς την επιλογή του. Διαθέτει επίσης ισχυρό ρότορα / στάτορα, κατασκευασμένο από το τμήμα Remy της Brog Warner. Ο συγκεκριμένος κινητήρας διαθέτει ένα αυτόνομο σύστημα ψύξης, με εσωτερική αντλία λαδιού, που επιτρέπει στον στάτορα και στον ρότορα να ψύχονται ενεργά, στοιχείο αρκετά πρωτότυπο, για μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Ακόμα ένας λόγος που επιλέχθηκε ο κινητήρας αυτός, είναι λόγω του μικρού του μεγέθους - βάρους, σε σχέση με την ισχύ που παράγει (μικρός συντελεστής βάρους / ισχύος). Η μεγάλη απόδοση του κινητήρα χωρίς ψήκτρες, είναι πολύ συνδεδεμένη με την υψηλή σταθερή τάση του πακέτου μπαταριών σε πλήρες φορτίο. Εδώ επισημαίνεται ο σημαντικός σκοπός του σωστά σχεδιασμένου πακέτου μπαταριών. Όσο υψηλότερη είναι η τάση, τόσο υψηλότερες είναι και οι στροφές και συνεπώς, η υψηλότερη υποδύναμη, όπως φαίνεται και στα διαγράμματα που ακολουθούν [31].



Διάγραμμα 4.1 Ισχύς κινητήρα – Στροφές κινητήρα αναλογικά με την τάση [31]



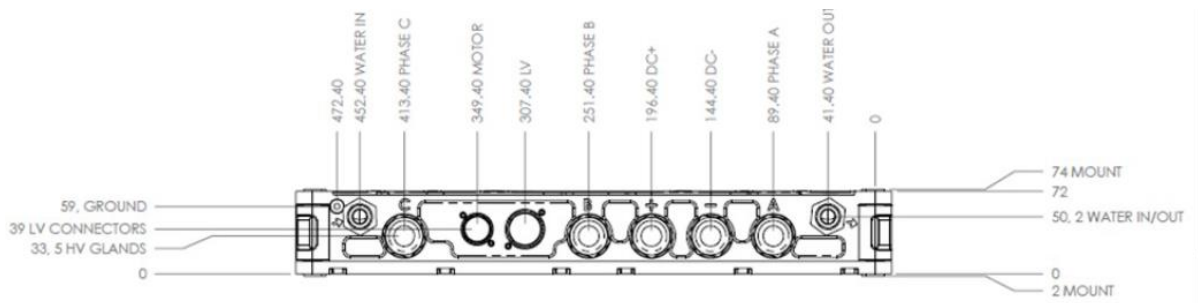
Διάγραμμα 4.2 Ροπή κινητήρα – Στροφές κινητήρα αναλογικά με την τάση [31]

✓ Ελεγκτές

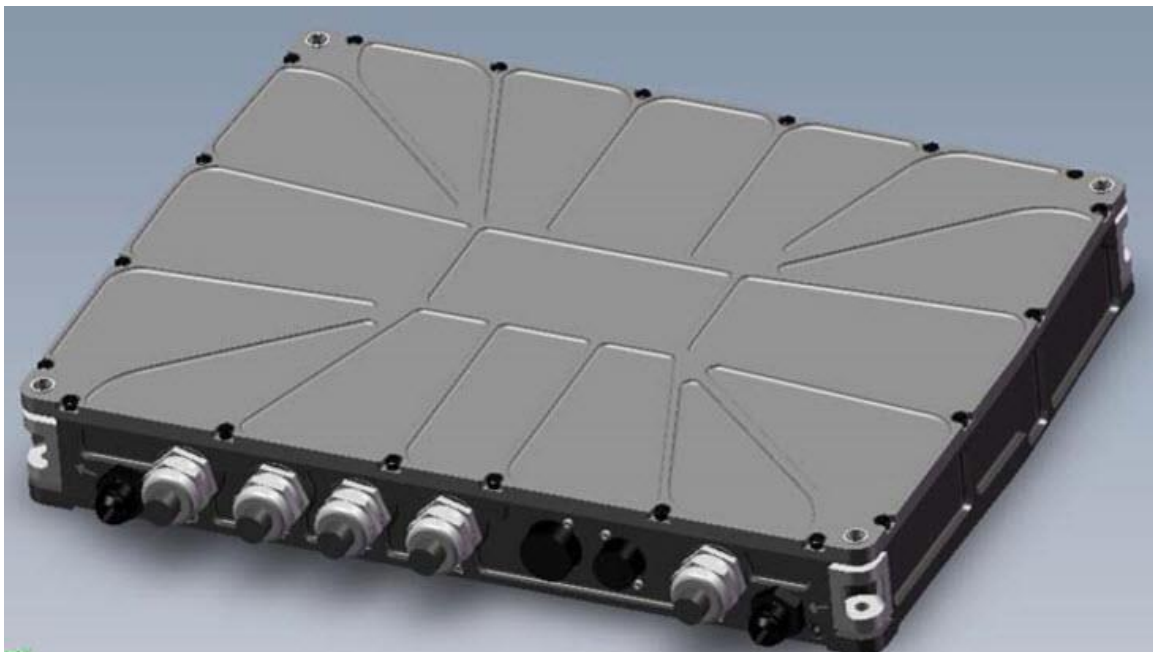
Από τον κατασκευαστή του κινητήρα που επιλέχθηκε, προτείνεται να χρησιμοποιηθούν στη θέση των ελεγκτών, δυο ελεγκτές RMS PM250DZ με χαρακτηριστικά 50V - 800V ονομαστική ισχύ, με δυνατότητα διαχείρισης 450ARMS συνεχόμενα και 600ARMS peak 30sec. Έχουν βάρος 20kg και διαστάσεις 523mm x 391mm x 75mm. Επίσης, έχουν τη δυνατότητα υδρόψυξης, που τους προσφέρει τον καλύτερο συντελεστή απόδοσης λόγω της ελεγχόμενης θερμοκρασίας του, ενώ το σημαντικότερο είναι πως έχουν τη δυνατότητα σύνδεσης σε CAN bus. Άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό τους, είναι ότι μας δίνουν δυο τύπους για επιλογή καλωδίων, το 2AWG και το 3/0AWG (min 11mm / max 21mm). Επιπρόσθετα, ένα άλλο σημαντικό στοιχείο είναι ότι παρέχεται προστασία σε βραχυκύκλωμα, σε over-current και σε over-voltage. Εξίσου σημαντικό, είναι το γεγονός ότι μας παρέχει τη δυνατότητα διαχείρισης μπαταριών BMS (Battery Management System). Ο ελεγκτής αυτός μας δίνει την επιλογή να προγραμματίσουμε τον ελεγκτή ανάλογα με την εφαρμογή που τον προορίζουμε. Το κόστος του συγκεκριμένου ελεγκτή ανέρχεται στα €7000, οπότε και οι δυο ελεγκτές μαζί στοιχίζουν €14000. Σύμφωνα με την ιστοσελίδα της εταιρίας, αυτοί οι ελεγκτές RMS διαθέτουν την κορυφαία πυκνότητα ισχύος της βιομηχανίας και είναι σε θέση να εξάγουν την απαιτούμενη ισχύ για να αξιοποιήσουν πλήρως το δυναμικό των κινητήρων AMR. Ακόμη, υποστηρίζεται από τους ίδιους ότι για εφαρμογές που απαιτούν τα υψηλότερα

επίπεδα απόδοσης, δεν υπάρχει πακέτο που ξεπερνά τον κινητήρα AMR και τον ελεγκτή RMS [32].

Ο ελεγκτής RMS PM250DZ, απεικονίζεται στην Εικόνα 4.2 και στο Σχεδιάγραμμα 4.2 .



Σχεδιάγραμμα 4.2 Ελεγκτής RMS PM250DZ [32]



Εικόνα 4.2 Ελεγκτής RMS PM250DZ [32]

✓ Πακέτο μπαταριών

Από τα όρια λειτουργίας του κινητήρα που επιλέχθηκε, γνωρίζουμε ότι η τάση λειτουργίας του κυμαίνεται από 300VDC – 800VDC και η μέγιστη ένταση φτάνει τα 600ARMS, ανά ρότορα / ελεγκτή. Λόγω του ότι θα πρέπει να τροφοδοτήσουμε δυο ξεχωριστούς ελεγκτές, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι είναι αναγκαίο να δημιουργηθούν δυο ξεχωριστά πακέτα μπαταριών με ονομαστική τάση 800VDC και με δυνατότητα έντασης 600ARMS το καθένα. Μέσα από έρευνα, επιλέχθηκε η μπαταρία ZXBATTERIES IMR18650-30Z, που φαίνεται

στην πιο κάτω φωτογραφία με κριτήρια το βάρος ανά χωρητικότητα, το βάρος ανά ένταση αποφόρτισης και το κόστος [33].

Πρόκειται για μια μπαταρία με ονομαστική χωρητικότητα 3000MAH, μέγιστη τάση αποφόρτισης 50A και ονομαστική τάση 3,7V ανά κελί. Επίσης, πρόκειται για ένα τύπο μπαταρίας 18650 επαναφορτιζόμενη Li-Ion, με βάρος 48,5g ανά κελί. Για να πετύχουμε την επιθυμητή τάση και ένταση, καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι πρέπει να δημιουργήσουμε 12 μπαταρίες των 800V, οι οποίες θα διαθέτουν 216 κελιά η κάθε μια, συνδεδεμένα σε σειρά. Συνδέοντας τις 12 μπαταρίες των 800V παράλληλα, πετυχαίνουμε τη δυνατότητα της μέγιστης έντασης που μπορεί να μας προσφέρει το πακέτο, που είναι τα 600ARMS. Για τις ανάγκες που έχουμε προαναφέρει, θα πρέπει να φτιάξουμε συνολικά δυο από αυτά τα πακέτα, ένα για κάθε ελεγκτή / ρότορα. Συνολικά, θα δημιουργηθούν δυο πακέτα μπαταριών, που θα αποτελούνται από 5184 κελιά, με συνολικό βάρος και των δυο πακέτων 251,5kg, με ονομαστική τάση 800VDC και χωρητικότητα 72Ah (57,6kWh). Σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι ο χρόνος εκφόρτισης της μπαταρίας σε πλήρες φορτίο, υπολογίζεται προσεγγιστικά στα 4 λεπτά. Δηλαδή, ο χρόνος αυτός είναι υπέρ αρκετός γι' αυτού του τύπου αγώνες, εφόσον σε κάθε πέρασμα χρειαζόμαστε φουλ φορτίο περίπου 10 δευτερολέπτων. Όσον αφορά το κόστος, κάθε κελί στοιχίζει €2,5 και συνεπώς το συνολικό κόστος των δυο μπαταριών είναι €12960 [33].

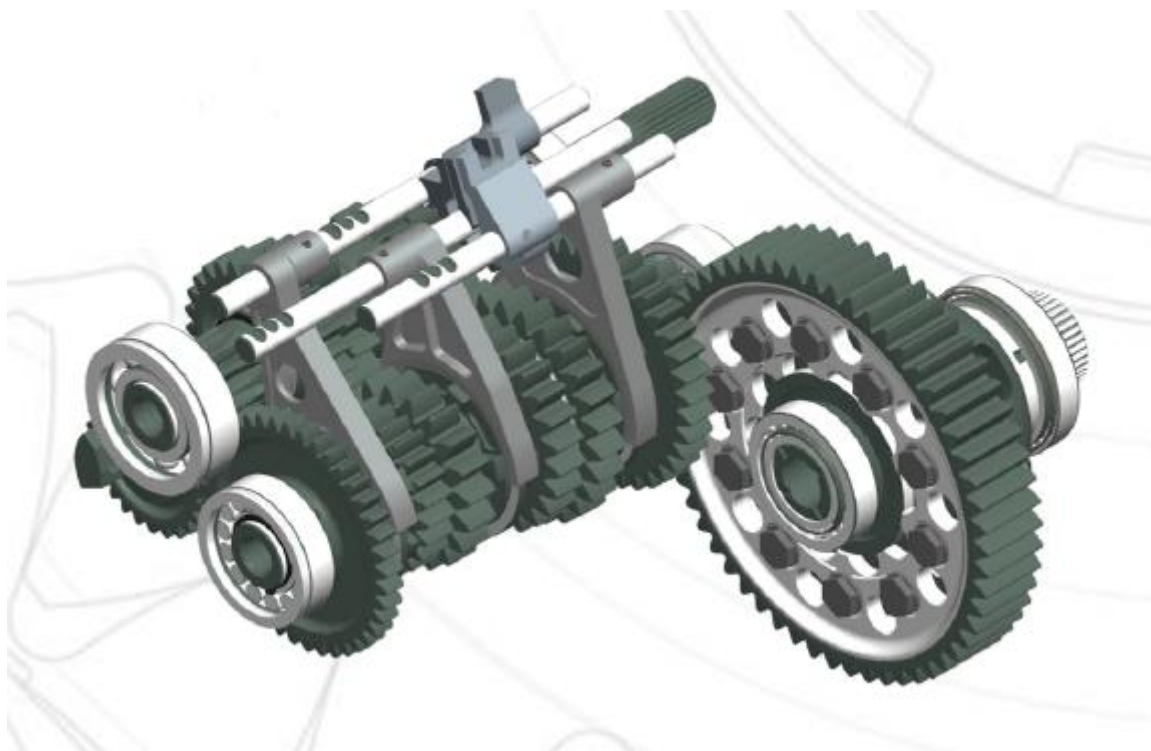


Εικόνα 4.3 Μπαταρίες IMR18650 – 30Z ZXBATTERIES [33]

✓ Κιβώτιο ταχυτήτων

Βάσει των επιπέδων ροπής του κινητήρα, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το συμβατικό κιβώτιο ταχυτήτων, δεν είναι σε θέση να μεταφέρει τα ποσοστά ροπής του ηλεκτροκινητήρα. Κάνοντας μια έρευνα στο διαδίκτυο, εντοπίστηκε ένα kit αναβάθμισης του συγκεκριμένου κιβωτίου ταχυτήτων, το οποίο ανήκει στην εταιρία Drenth Motorsport Gearboxes και κοστίζει €6225 (τιμή που δόθηκε μετά από επικοινωνία με την εταιρία). Με την αναβάθμιση αυτή, το κιβώτιο θα είναι σε θέση να μεταφέρει ροπή κινητήρα μέχρι και 900Nm, τιμή που είναι αρκετή, εφόσον ο κινητήρας που επιλέχθηκε παράγει 800Nm [34].

Το kit για την αναβάθμιση του κιβωτίου ταχυτήτων της εταιρία Drenth Motorsport Gearboxes, απεικονίζεται στην Εικόνα 4.4 [34].

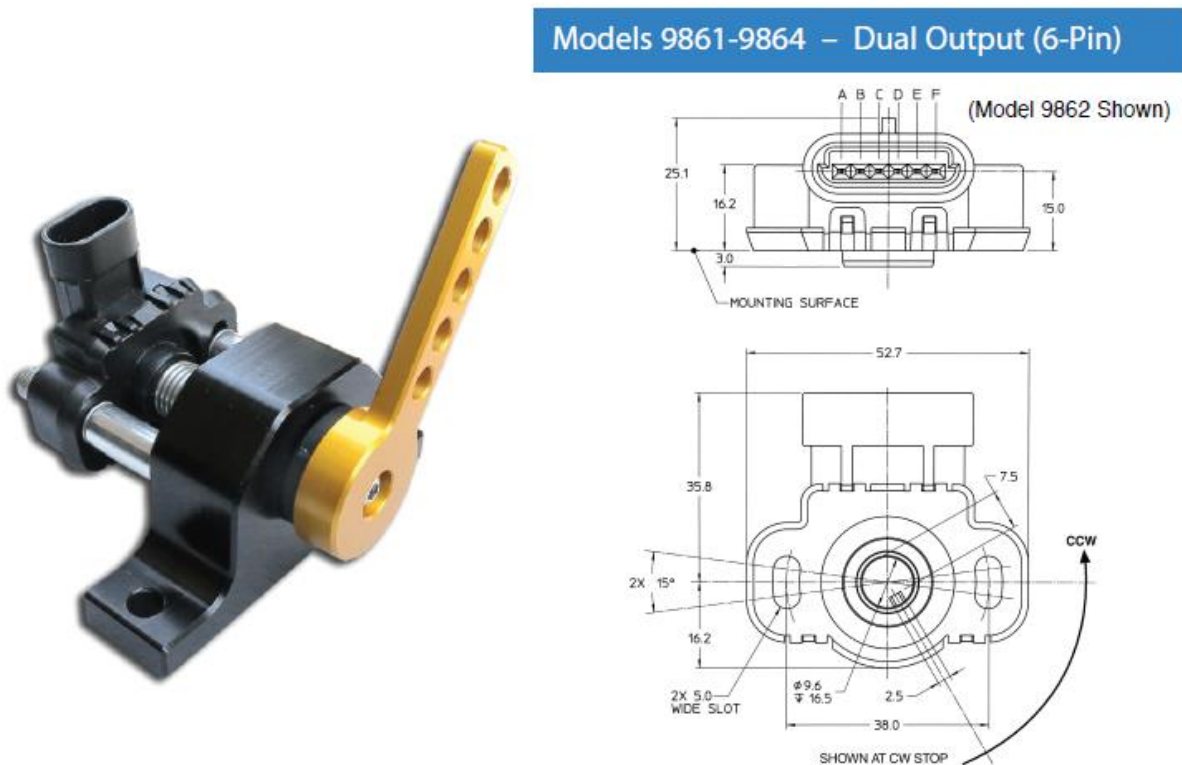


Εικόνα 4.4 Kit Drenth Motorsport Gearboxes [34]

✓ Ποτενσιόμετρο

Το ποτενσιόμετρο που επιλέχθηκε είναι το EVWThrottle που κατασκευάζεται από την EV West και απεικονίζεται στην πιο κάτω φωτογραφία. Ο κυριότερος λόγος επιλογής του, είναι η δυνατότητα δυο σημάτων εξόδου της θέσης του πεντάλ γκαζιού. Αυτό μας βοηθά να παρέχουμε σε κάθε ελεγκτή ξεχωριστά το δικό του σήμα για τη θέση του πεντάλ γκαζιού, γεγονός που συμβάλλει στον συγχρονισμό των δυο ελεγκτών. Λειτουργεί με 5V και στοιχίζει

€180. Προορίζεται εξολοκλήρου για ηλεκτρικά αυτοκίνητα και διαθέτει αλουμινένια βάση για εύκολη εφαρμογή [35].



Εικόνα 4.5 Ποντεσιόμετρο EVWThrottle [35]

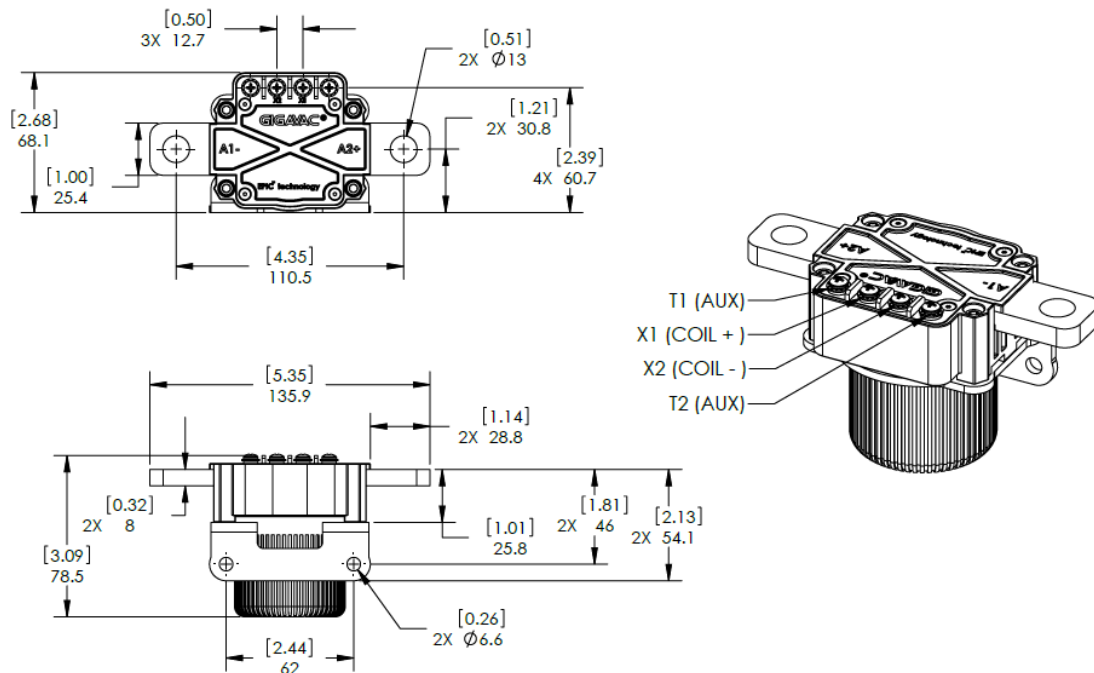
✓ Contactor (Ρελέ ισχύος)

Ένα σημαντικό εξάρτημα που αφορά την ασφάλεια τόσο των εξαρτημάτων, όσο και του οδηγού, είναι το contactor, εφόσον σε περίπτωση ανάγκης ή / και όποτε το θελήσει ο οδηγός, θα μπορεί αυτόματα να διακόψει το ρεύμα του πακέτου μπαταριών με τον ελεγκτή. Το contactor που επιλέγηκε είναι το GX56, το οποίο έχει ικανότητα διαχείρισης 12 – 800V και έντασης 600+Amp. Θα χρειαστούν δυο contactors, ένα για κάθε πακέτο μπαταριών, όπως και ένα διακόπτη ενεργοποίησης / απενεργοποίησης. Είναι αδιάβροχος και κατάλληλος για ηλεκτρικά οχήματα με πιστοποιητικά ISO. Κοστίζει €395 κι έτσι η τιμή των δυο ανέρχεται στα €790 [36].

Το Contactor GX56, απεικονίζεται στην Εικόνα 4.6 και το Σχεδιάγραμμα 4.3 [36].



Εικόνα 4.6 Contactor GX56 [36]



Σχεδιάγραμμα 4.3 Contactor GX56 [36]

✓ Λοιπά εξαρτήματα

Στην κατηγορία αυτή, εμπίπτουν άλλα εξαρτήματα που θα αξιοποιηθούν, όπως καλώδια, connectors, ασφάλειες, αντλίες κενού, αντλία νερού κ.ά. Οι τιμές υπολογίζονται συνολικά περίπου στα €500.

Στον πίνακα 4.3, παρουσιάζεται αναλυτικά το κόστος όλων των εξαρτημάτων, τόσο ξεχωριστά, όσο και συνολικά.

ΚΟΣΤΟΛΟΓΙΟ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ	
ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ	€16000
ΕΛΕΓΚΤΕΣ	€14000
ΠΑΚΕΤΟ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ	€12960
ΚΙΤ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ Κ.Τ.	€6225
ΠΟΝΤΕΣΙΟΜΕΤΡΟ	€180
CONTACTOR	€790
ΛΟΙΠΑ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ	€500
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ	€50655

Πίν. 4.3 Κοστολόγιο εξαρτημάτων

Επαλήθευση:

Αφού έγινε η εκλογή των εξαρτημάτων, ακολουθήθηκε μια επαλήθευση λαμβάνοντας υπόψη τα νέα δεδομένα, όπως το νέο βάρος του οχήματος και οι νέες αντιστάσεις του συστήματος μετάδοσης της κίνησης. Με βάση τα νέα δεδομένα που προέκυψαν από την αφαίρεση των εξαρτημάτων που σχετίζονται με το συμβατικό όχημα και την πρόσθεση των εξαρτημάτων που επιλέχθηκαν πιο πάνω, ακολουθήθηκε για ακόμη μια φορά η διαδικασία που περιγράφηκε στο κεφάλαιο 3, ώστε να καταλήξουμε στη νέα ισχύ που πρέπει να έχει ο κινητήρας, η οποία είναι 561KW. Από την ισχύ αυτή, επαληθεύτηκε το ότι ο κινητήρας ανταποκρίνεται στα νέα δεδομένα που προέκυψαν.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο κεφάλαιο αυτό, θα αναφερθούν μερικά από τα βασικά συμπεράσματα της παρούσας εργασίας και θα εξηγηθούν τόσο τα θετικά, όσο και τα αρνητικά στοιχεία που προκύπτουν σχετικά με την ένταξη των ηλεκτρικών οχημάτων στο Drag Racing. Ακόμη, θα γίνει αναφορά σε διάφορους προβληματισμούς και επιπλέον ερωτήματα που προέκυψαν κατά τη διάρκεια συγγραφής της παρούσας εργασίας και θα συζητηθούν θέματα σχετικά με την υλοποίηση της κεντρικής ιδέας της εργασίας.

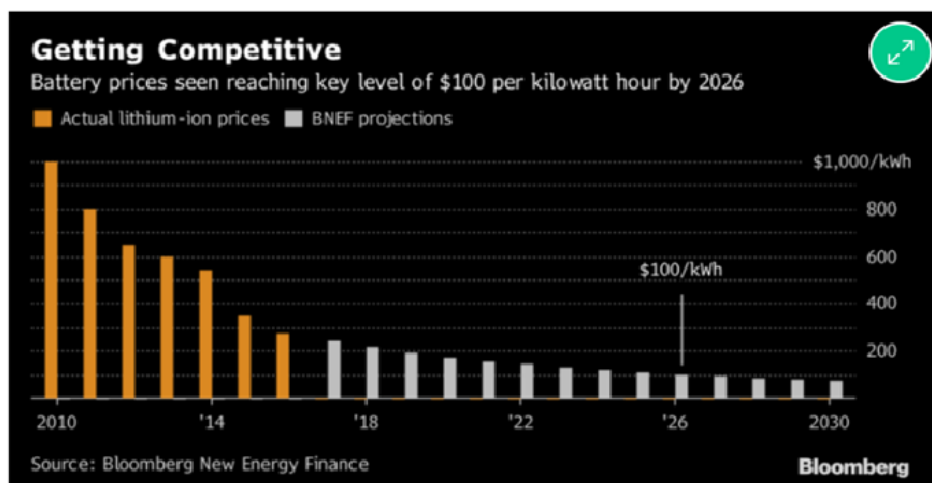
Κατ' αρχάς, μέσα από τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, φάνηκε ότι η υλοποίηση της ιδέας της μετατροπής ενός συμβατικού οχήματος σε ηλεκτρικό όχημα για χρήση σε Drag Racing, είναι εφικτή πρακτικά. Κύριο ερώτημα της έρευνας, αποτέλεσε το αν οι επιδόσεις ενός ηλεκτρικού οχήματος, μπορούν να συγκριθούν με τις επιδόσεις ενός συμβατικού οχήματος, που αξιοποιείται σε αγώνες Drag Racing. Μέσα από τα αποτελέσματα της έρευνας, φάνηκε ότι ένα ηλεκτρικό όχημα, μπορεί όχι μόνο να έχει τις ίδιες επιδόσεις με ένα συμβατικό όχημα, αλλά και να έχει ακόμη καλύτερες. Φτάνουμε στο συμπέρασμα αυτό, κυρίως μέσω της μελέτης διαγραμμάτων ροπής του κινητήρα, που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο των αποτελεσμάτων, τα οποία απεικονίζουν τη ροπή να έχει τη μέγιστη τιμή από μηδενικές στροφές, σχεδόν σε όλο το φάσμα στροφών του κινητήρα, σε αντίθεση με τον κινητήρα MEK, του οποίου η μέγιστη τιμή ροπής είναι στις μεσαίες προς υψηλές στροφές, για ένα μικρό φάσμα στροφών.

Στο σημείο αυτό θα αναλυθούν και θα συζητηθούν τόσο τα πλεονεκτήματα, όσο και τα μειονεκτήματα που θεωρώ πως μπορούν να προκύψουν από την ένταξη του ηλεκτρικού οχήματος σε αγώνες Drag Racing, μέσα από την έρευνα που έκανα. Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα, είναι αυτό το οποίο αποτέλεσε και το βασικό συμπέρασμα της έρευνας, δηλαδή οι υψηλές επιδόσεις που μπορεί να έχει ένα ηλεκτρικό όχημα σε τέτοιου είδους αγώνες, που μπορεί, όπως προαναφέρθηκε, να είναι και υψηλότερες από αυτές που θα είχε ένα συμβατικό όχημα. Ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα, είναι οι μηδενικές εκπομπές ρύπων, σε αντίθεση με τα συμβατικά οχήματα σε αγωνιστικά πλαίσια, τα οποία παράγουν ανεξέλεγκτα ρύπους. Ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα, είναι η μεγαλύτερη διάρκεια ζωής με μειωμένη έως καθόλου ανάγκη συντήρησης μετά από κάθε αγώνα και άρα το μειωμένο κόστος συντήρησης, σε αντίθεση με τα συμβατικά οχήματα που σε συγκεκριμένες ώρες λειτουργίας σε αγώνες, χρειάζεται πολυέξοδη συντήρηση. Ακόμη, οι ηλεκτροκινητήρες είναι απλούστεροι και ελαφρύτεροι συγκριτικά με τους κινητήρες MEK, με μέγιστες στροφές που

σε κάποιες περιπτώσεις ξεπερνούν τις 15000gpm. Τέλος, τα ηλεκτρικά οχήματα δεν μεταφέρουν εύφλεκτα υλικά, γεγονός που τα καθιστά περισσότερο ασφαλή για αγωνιστική χρήση.

Παρόλα τα πλεονεκτήματα που έχουν τα ηλεκτρικά οχήματα, είναι σημαντικό να αναφερθούν και κάποια από τα βασικά μειονεκτήματά τους. Ένα βασικό μειονέκτημα, αποτελεί το υψηλό κόστος κατασκευής των ηλεκτρικών οχημάτων και συγκεκριμένα του συστήματος παραγωγής και μετάδοσης κίνησης, όπως φαίνεται και στο κοστολόγιο που παρουσιάστηκε στην παρούσα εργασία (Πίν. 4.3, σελ. 42). Παρόλα αυτά, το ηλεκτρικό όχημα, όπως έχει προαναφερθεί, δεν απαιτεί συχνή και τακτική συντήρηση, σε αντίθεση με το συμβατικό, το οποίο απαιτεί πολυέξοδη συντήρηση σε κάθε αγώνα. Έτσι, θεωρώ πως εν τέλει το κόστος στην κατασκευή και συντήρηση ισοσταθμίζεται στο πέρασμα του χρόνου και μπορούμε να πούμε πως παύει να είναι «μειονέκτημα».

Κύριο μειονέκτημα του ηλεκτρικού οχήματος αποτελούν οι μπαταρίες, οι οποίες έχουν μικρή διάρκεια ζωής, υψηλό κόστος αγοράς και αρκετά μεγάλο βάρος. Για παράδειγμα, στην παρούσα εργασία, το πακέτο μπαταριών που επιλέχθηκε ζυγίζει 251,5kg και στοιχίζει €12960, τιμές αρκετά υψηλές, τόσο σχετικά με το βάρος, όσο και με το κόστος. Στο μέλλον, αναμένεται το μειονέκτημα αυτό να εξομαλυνθεί, εφόσον η έρευνα και η πρόοδος που γίνεται όσον αφορά τις μπαταρίες, είναι ήδη εμφανής και σημαντική. Με αυτή τη σημαντική βελτίωση, αναμένεται ένα ηλεκτρικό όχημα να είναι αρκετά πιο ελαφρύ, λόγω του μικρού όγκου μπαταριών, με μεγαλύτερη χωρητικότητα και άρα μεγαλύτερη αυτονομία και ισχύ, γεγονός που θα ωφελήσει στη διάδοσή του στον κόσμο του αγωνιστικού οχήματος. Όσον αφορά το κόστος, αναμένεται επίσης να υπάρξει μείωση τιμών στο πέρασμα του χρόνου [37].



Διάγραμμα 5.1 Κόστος Μπαταριών – Χρονολογία [37]

Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 5.1, μέχρι το 2030, οι μπαταρίες ιόντων λιθίου που συγκεκριμένα επιλέχθηκαν για τη μετατροπή που έγινε στην παρούσα έρευνα, αναμένεται να κοστίζουν λιγότερο από \$100/kWh. Ακόμη, σύμφωνα με το Bloomberg New Energy Finance, το 2026 τα ηλεκτρικά οχήματα θα κοστίζουν λιγότερο από τα αντίστοιχα συμβατικά [38]. Έτσι, αυτόματα φαίνεται πως το κόστος των μπαταριών θα μειωθεί αρκετά στο μέλλον και δεν θα αποτελεί μειονέκτημα, αντίθετα θα συμβάλει σε μεγάλο βαθμό στη μείωση του συνολικού κόστους κατασκευής ηλεκτρικών οχημάτων και κατ' επέκταση θα βοηθήσει στη διάδοσή του.

Συμπερασματικά, τα μειονεκτήματα του ηλεκτρικού οχήματος που αναλύθηκαν πιο πάνω, θεωρούνται σε γενικό βαθμό επιλήψιμα, με αποτέλεσμα στο μέλλον τα ηλεκτρικά οχήματα να υπερτερούν κατά πολύ των συμβατικών οχημάτων.

Οι περισσότερες ανησυχίες που υπάρχουν όσον αφορά την πρακτική υλοποίηση της μετατροπής ενός συμβατικού σε ηλεκτρικό όχημα, έτσι όπως εισηγείται η παρούσα εργασία, αφορούν τη χωροταξία των πακέτων μπαταριών και γενικότερα όλου του συστήματος παραγωγής και μετάδοσης κίνησης. Ένα ακόμη προβληματισμό αποτελεί η πραγματική ζωή των μπαταριών, στις σκληρές συνθήκες που καλούνται να εργαστούν, δηλαδή σε συνεχή μέγιστη ένταση. Ένα άλλο κομμάτι στο οποίο ίσως προκύψουν εμπόδια στην υλοποίηση του οχήματος, είναι το σύστημα διεύθυνσης και σύστημα πέδησης. Συγκεκριμένα, στο σύστημα πέδησης, θα πρέπει να δοθεί μια άλλη λύση αντικατάστασης του σερβομηχανισμού και του συστήματος διεύθυνσης και επίσης θα πρέπει να δοθεί μια άλλη λύση, στην υποβοήθηση. Όλα όσα προαναφέρθηκαν στην τελευταία παράγραφο, αποτελούν θεωρητικούς προβληματισμούς, οι οποίοι μπορούν να επιλυθούν μόνο με την πρακτική υλοποίηση της παρούσας πρότασης. Μελλοντικά θα ήταν επιθυμητή μια τέτοια υλοποίηση, ώστε να εντοπιστούν τα πρακτικά προβλήματα που μπορεί να προκύψουν και παράλληλα να βρεθούν τρόποι προς επίλυσή τους. Ακόμη, με την υλοποίηση θα εντοπιστούν τρόποι για μείωση συνολικού βάρους του οχήματος για καλύτερες επιδόσεις. Τέλος, θα μπορούσε να κατασκευαστεί στη θέση του κιβωτίου ταχυτήτων ένας μονοβάθμιος μειωτήρας, ο οποίος να έχει αντοχή στη δύναμη του κινητήρα.

Μέσα από την παρούσα έρευνα, φάνηκε ότι τα πλεονεκτήματα του ηλεκτρικού οχήματος υπερτερούν των μειονεκτημάτων του, τα οποία όπως υποστηρίχθηκε στο μέλλον αναμένεται να εξομαλυνθούν, με αποτέλεσμα τη διεθνή προτίμησή του από το ευρύ κοινό και πιο συγκεκριμένα, από τους λάτρεις του αγωνιστικού οχήματος.

6. Βιβλιογραφία

- [1] D. Naunin, “Electric Vehicles”, *International Symposium on Industrial Electronics '96*, Warsaw, 1996.
- [2] N. Muzi. (2018, Oct). EU Parliament votes to accelerate the electric car transformation. *Transport & Environment*. [Online]. Available: <https://www.transportenvironment.org/press/eu-parliament-votes-accelerate-electric-car-transformation>
- [3] F. Piazza. (2018, Nov). New passenger car registrations by fuel type in the European Union. *ACEA*. [Online]. Available: <https://www.acea.be/press-releases/article/fuel-types-of-new-cars-diesel-18.2-petrol-15.2-electric-30.0-in-third-quart>
- [4] In Norway, electric cars outsell traditional ones for the first time. (2019, Apr). *Market Watch*. [Online]. Available: <https://www.marketwatch.com/story/in-norway-electric-cars-outsell-traditional-ones-for-the-first-time-2019-04-01>
- [5] *NEDRA*© (National Electric Drag Racing Association). [Online]. Available: http://www.nedra.com/about_us.html
- [6] Ε. Ρίκος, *Μέθοδοι εξοικονόμησης ενέργειας σε ηλεκτροκίνητα οχήματα*. [Διδακτορική Διατριβή]. Πανεπιστήμιο Πατρών, 2005.
- [7] Δ. Νέγκας, “Ηλεκτροκίνητα αυτοκίνητα στην Ελλάδα – Δυνατότητες και προοπτικές”, παρουσιάστηκε στο Συνέδριο: *Ηλεκτροκίνητα Μέσα Μεταφοράς στην Ελλάδα, Υφιστάμενη Κατάσταση και Προοπτικές*, Ιαν. 12-13, 2006.
- [8] C.C. Chan & K.T Chau, “An overview of power electronics in electric vehicles”. *IEEE transactions on Industrial Electronics*, 44(1), 1997.
- [9] *NHRA*© (National Hot Rod Association). [Online]. Available: <https://www.nhra.com/nhra>.
- [10] B.K. Nakadashi. (2015, Sept.). The history of Drag Racing. *Nitto Driving line*. [Online]. Available: <https://www.drivingline.com/articles/the-history-of-drag-racing/>
- [11] S. Leitman and B. Brant, *Build your own Electric Vehicle*, 2nd Edition, USA: The McGraw-Hill Companies, 2009.

- [12] J. Larminie and J. Lowry. *Electric vehicle technology explained*, 2nd Edition, UK: John Wiley & Sons, 2012.
- [13] TESLA©. (2019). [Online]. Available: <https://www.tesla.com/>
- [14] I. Guwhati. (2013, Feb.). Introduction to Hybrid and Electric Vehicles (Web): Lecture 3 – Motion and dynamic equations for vehicles. NPTEL. [Online]. Available: <https://nptel.ac.in/courses/108103009/3>
- [15] S.E. Gay et al., *Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles: fundamentals, theory, and design*. CRC press, 2004.
- [16] A. Emadi, J.L. Young & R. Kaushik, "Power electronics and motor drives in electric, hybrid electric, and plug-in hybrid electric vehicles", *IEEE Transactions on industrial electronics* 55.6, 2008.
- [17] L. Pauling, "Oxidation-Reduction Reactions; Electrolysis". *General Chemistry*. New York: Dover Publications, 1988.
- [18] Η ηλεκτρεγερτική δύναμη και η εσωτερική αντίσταση μπαταριών αυτοκινήτου. (2018, Jan). *BatteryClub*. [Online]. Available: <https://www.batteryclub.gr/blog-news/ilektregertiki-dinami-esoteriki-antistasi-batarias>.
- [19] Χωρητικότητα μπαταρίας σε Ah και ρυθμοί εκφόρτισης (C Rates). (n.d). *Amperorio*. [Online]. Available: <https://amperorio.gr/index.php/el/texnika-themata-sysshvreurwn/item/204-xwritikotita-rithmos-ekfortisis.html>
- [20] Α. Μανώλας, *Προσομοίωση ηλεκτρικού οχήματος με το λογισμικό Matlab / Simulink*. [Πτυχιακή εργασία], Α.Τ.Ε.Ι Θεσσαλονίκης, 2012.
- [21] H. Sezera et.al, A Computational Model for Sodium Sulfur Battery Analysis, *ECS Transactions* 69.1, 2015.
- [22] S.J Chapman, *Ηλεκτρικές μηχανές*, 4^η Έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2014.
- [23] Ν.Ι. Μαρινόπουλος. (2019, May). Λίγα λόγια για τους κινητήρες των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. *Caroto.gr (tech&blog)*. [Online]. Available: <https://www.caroto.gr/2019/05/24/%CE%BB%CE%AF%CE%B3%CE%B1->

- [24] P.P Acarnley & J.F. Watson, "Review of position-sensorless operation of brushless permanent-magnet machines." *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 53.2, 2006.
- [25] P. Moreton, *Industrial brushless servomotors*. Elsevier, 1999.
- [26] Κ. Στάμος, *Ανάπτυξη υλικού και λογισμικού για sensorless έλεγχο Brushless DC κινητήρα με χρήση DSP processor*. [Διπλωματική εργασία]. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2016.
- [27] M. Brain. (2002, March). How Electric Cars Work. *HowStuffWorks*. [Online]. Available: <https://auto.howstuffworks.com/electric-car2.htm>
- [28] T.D Gillespie, *Fundamentals of Vehicle Dynamics*. Warrendale: Society of Automotive Engineers Inc, 1992.
- [29] 1995 Mitsubishi Colt 1600 GLXi 16V 4WD (man. 5) (GLXi-S) carspecifications & performance data review. *Automobile Catalog™*. [Online]. Available: https://www.automobile-catalog.com/car/1995/1952480/mitsubishi_colt_1600_glxi_16v_4wd.html?fbclid=iwar0uouzojgnnligr5e16jurod7_pgelfl1dbqxplrd_yt9gza0abd3e2a0
- [30] Α. Παπαδιάς, *Αρχές Φυσικής* [Σημειώσεις μαθήματος]. Α.Τ.Ε.Ι Θεσσαλονίκης, 2006.
- [31] Dual Core Motor. *AM Racing INK*. [Online]. Available: <https://www.amracinginc.com/dual-core>.
- [32] PM250 Propulsion Inverters. *RMS™ (Rinnehart Motion Systems LLC)*. [Online]. Available: http://www.rinehartmotion.com/uploads/5/1/3/0/51309945/pm250datasheet_1a.pdf?fbclid=IwAR0OCDGDSekW2X6fMufwyvH-f_y_6mn5hD3DnFEqFlgpBucSkbYq0GN0BAY
- [33] Zxbattery 3000mah 50A 18650 battery shrink wrap Batteries. *Alibaba.com*. [Online]. Available: https://www.alibaba.com/product-detail/Zxbattery-3000mah-50A-18650-battery-shrink_60568917722.html?fbclid=IwAR1AxdxsLkH297xYfh2IO7GjEZcTwlQdKP3Ubc_r_wjqD-FD4uKiORSckY
- [34] Mitsubishi EVO VI-IX 5-Speed Sequential. *Drenth Motorsport Gearboxes*. [Online]. Available: <https://www.drenth-gearboxes.com/products/mitsubishi-evo-vi-ix-5-speed-gearbox->

[sequential/?fbclid=IwAR3m2Wv6b4JZYy0myMMHxQYFnJiV6QDB1MTxhpr5HImGOUQ7us_fwK_5KU](https://www.evwest.com/catalog/product_info.php?products_id=418&fbclid=IwAR3m2Wv6b4JZYy0myMMHxQYFnJiV6QDB1MTxhpr5HImGOUQ7us_fwK_5KU)

[35] EV West Billet Aluminum Throttle Potentiometer. *EV WEST*. [Online]. Available: https://www.evwest.com/catalog/product_info.php?products_id=418&fbclid=IwAR0KrtIqMjX5N1L8a8eK8un8UCs2N10Zej6HpbOIVqW0LPh40sXDrTtEltw

[36] GX56. *GIGAVAC: Sensata Technologies*. [Online]. Available: <https://www.gigavac.com/products/gx56>

[37] N. Santhanam. (2018, Dec.). [Cost of Li-ion Batteries – Cost Trends 2018-2030](http://www.eai.in/blog/2018/12/cost-of-batteries.html). *EAI*. [Online]. Available: <http://www.eai.in/blog/2018/12/cost-of-batteries.html>

[38] Φθινότερα από τα συμβατικά τα ηλεκτρικά οχήματα από το 2026. (2017, May). *Energy News*. [Online]. Available: <http://energy.reporter.com.cy/saving/article/76619/fthinotera-apo-ta-symbatika>