



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ. ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΣΥΜΒΑΤΙΚΗΣ
ΜΟΤΟΣΙΚΛΕΤΑΣ ΣΕ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ**



ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΓΤΗΣ
Χρηστάκης Δημήτρης

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ
Μινασιάν Αλέξανδρος
ΤΜ 5535

ΙΟΥΝΙΟΣ 2016

ABSTRACT

In this thesis I describe the advantages of the electric cars due to great need in sustainable transportation we have in our days. The first chapter includes the history of the electric car from the end of the 19th century until today. Second chapter speaks about the battery development through early years and the technology of the lead acid and lithium ion batteries is been described. In the third chapter I speak about advantages and disadvantages of electric cars and present the technical characteristics of Tesla Model S electric car. The last chapter is where I present the conversion of a Yamaha Super Tenere 750 1989 to electric drive. I describe the conversion and explain the reason I made it and in the end I speak about the final results and conclusions.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγή	3
1. Ιστορική αναδρομή των ηλεκτρικών αυτοκινήτων	
1.1 Η άνοδος και η πτώση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων	4
1.2 Πρώτα Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα	5
1.3 Προσπάθειες για την ταχύτερη φόρτιση και αύξηση αυτονομίας	7
1.4 Πρώτα ρεκόρ ταχύτητας	9
1.5 Περίοδος 1930 –Σήμερα	10
2. Τεχνολογία μπαταριών	
2.1 Ιστορική αναδρομή της εξέλιξης των μπαταριών	15
2.2 Μπαταρίες μολύβδου-οξέως	17
2.3 Μπαταρίες λιθίου-ιόντων	22
3. Ηλεκτρικό αυτοκίνητο	
3.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ηλεκτρικών αυτοκινήτων	28
3.2 Tesla Model S	31
4. Πρακτικό Μέρος	
4.1 Εισαγωγή	34
4.2 Ηλεκτρικό μέρος	35
4.3 Μηχανολογικό μέρος.....	39
4.4 Συμπεράσματα.....	53
Παραρτήματα	
Παράρτημα 1: ενέργεια , βαθμοί απόδοσης.....	54
Παράρτημα 2: Υβριδικά οχήματα	54
Παράρτημα 3: ειδική ισχύς ή πυκνότητα ισχύος και ειδική ενέργεια μπαταριών ...	55
Παράρτημα 4: EV1	56
Παράρτημα 5: MPGe	56
Παράρτημα 6: χαρακτηριστικά ηλεκτροκινητήρα.....	57
Παράρτημα 7: χαρακτηριστικά ηλεκτρονικού ελεγκτή.....	57
Βιβλιογραφία	58

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μπήκα στο τμήμα μηχανολόγων μηχανικών του ΤΕΙ Κρήτης το 2010 επειδή έχω ένα μικρό πάθος με τα αυτοκίνητα και γενικά με τα μηχανοκίνητα, καθώς πίστευα ότι θα αποκτήσω πολλές καινούργιες γνώσεις για αυτά. Πράγματι έμαθα πολλά και από τα πρώτα πράγματα που έμαθα για τους κινητήρες εσωτερικής καύσης είναι ο σχετικά μικρός βαθμός απόδοσης που έχουν, η συμβολή των κινητήρων αυτών στην ατμοσφαιρική ρύπανση και στην δαπανηρή σπατάλη του πετρελαίου για τις μετακινήσεις μας. Το 2012 βγήκε στη παραγωγή το Tesla Model S και της εταιρίας Tesla Motors και με αυτό το αυτοκίνητο η συγκεκριμένη εταιρία έδειξε ότι το ηλεκτρικό αυτοκίνητο πλέον ξεπέρασε τα μεγάλα προβλήματα του παρελθόντος όπως είναι η μικρή αυτονομία, αργή φόρτιση, χαμηλές επιδόσεις και ταυτόχρονα ήταν πολύ όμορφο σχεδιαστικά και πολύ ευρύχωρο για την κατηγορία του. Ο συνδυασμός των ηλεκτρικών οχημάτων με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας τα καθιστά ως οχήματα μηδενικών ρύπων και αυτό δίνει κάποιες ελπίδες για την μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και κάποια απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα. Υπάρχουν χώρες όπως η Νορβηγία και Ολλανδία οι οποίες σκοπεύουν να απαγορεύσουν την εισαγωγή αυτοκινήτων στις αγορές τους που λειτουργούν με ορυκτά καύσιμα μέχρι το 2025. Η γνώμη μου είναι πως η ηλεκτροκίνηση αποτελεί πλέον μονόδρομο για τις αναπτυγμένες χώρες λόγω της συνεχόμενης αύξησης της τιμής του πετρελαίου και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προκαλεί η καύση των παραγώγων του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ

1.1 Η άνοδος και η πτώση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων

Τα ηλεκτρικά οχήματα πρωτοεμφανίστηκαν στα τέλη του 19^{ου} αιώνα και ήταν αρκετά δημοφιλή μιας και είχαν σειρά πλεονεκτημάτων σε σχέση με αυτοκίνητα εσωτερικής καύσης και τα ατμοκίνητα τα οποία κυκλοφορούσαν εκείνη την εποχή. Τα σημεία στα οποία υπερερούσαν τα ηλεκτρικά ήταν η ευκολία στην οδήγηση, δεν απαιτούσαν μέχρι και 45 λεπτά προετοιμασίας όπως τα ατμοκίνητα, δεν απαιτούσαν κουραστικές και επικίνδυνες προσπάθειες χειροκίνητης εκκίνησης (μανιβέλα) και τις δύσκολες τότε αλλαγές ταχυτήτων όπως στα οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης μιας και η μίζα και τα συγχρονιζέ ταχυτήτων δεν είχαν εφευρεθεί ακόμα. Δεν είχαν κραδασμούς, ήταν αθόρυβα, δεν βρωμούσαν βενζίνη και καυσαέρια και είχαν ελάχιστη συντήρηση. Επίσης αξίζει να σημειωθεί ότι και η αυτονομία των ηλεκτρικών οχημάτων ήταν μεγαλύτερη από των ατμοκίνητων αμαξών. Το σημαντικότερό τους πλεονέκτημα, βέβαια, είναι ο υψηλότερος βαθμός απόδοσης (βλέπε παράρτημα 1) έναντι των κινητήρων εσωτερικής καύσης και παλαιότερα των κινητήρων εξωτερικής καύσης(ατμοκίνητα) για τον οποίο θα μιλήσουμε στα επόμενα κεφάλαια. Λόγο αυτών των πλεονεκτημάτων, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα διαφημιζόνταν ως κατάλληλη επιλογή και για τις γυναίκες. Στη διάδοση των ηλεκτρικών οχημάτων βοήθησε και το γεγονός ότι μέχρι την αρχή του 20^{ου} αιώνα, το οδικό δίκτυο στις ΗΠΑ και την Ευρώπη περιοριζόταν σε στενά δρομάκια μέσα στα αστικά όρια και η αυτονομία τους δεν αποτελούσε μέχρι τότε πρόβλημα.

Στην αλλαγή του αιώνα, στις ΗΠΑ, το 40% των αυτοκινήτων που κυκλοφορούσαν ήταν ατμοκίνητα, το 38% ηλεκτρικά και 22% βενζινοκίνητα. Το 1912 τα περισσότερα σπίτια στις μεγάλες πόλεις είχαν ηλεκτροδοτηθεί και οι πωλήσεις των ηλεκτροκίνητων αυτοκινήτων βρίσκονταν ψηλότερα από ποτέ. Όμως μία σειρά από τεχνολογικά επιτεύγματα έρχονται και ανατρέπουν την ανοδική πορεία των ηλεκτρικών οχημάτων. Το 1990 στην Νέα Υόρκη κυκλοφορούν σχεδόν 10.000 αυτοκίνητα, ενώ το 1921 ο αριθμός αυτός αυξάνεται σε σχεδόν 10.000.000. Στην

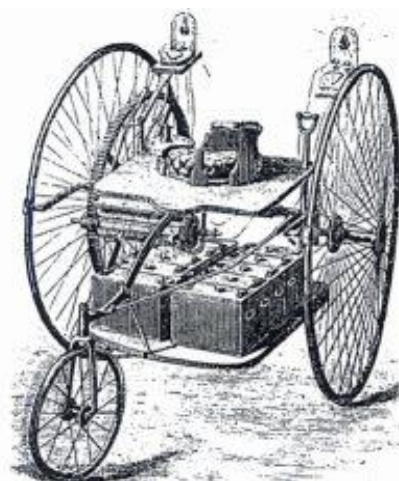
Ευρώπη σημειώνεται επίσης πολύ μεγάλη αύξηση του αριθμού των αυτοκινήτων, κάτι που οδηγεί στην επέκταση του οδικού δικτύου. Το οδικό δίκτυο βελτιώνεται και κατασκευάζονται νέοι δρόμοι μέχρι και διακρατικοί και πλέον οι απαιτήσεις από τα αυτοκίνητα αυξάνονται. Απαιτήσεις ως προς την αξιοπιστία, μεγαλύτερη αυτονομία, ταχύτερος ανεφοδιασμός. Τα ζητήματα αυτά καθιστούν τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα μη πρακτικά. Επιπλέον, η ταχύτητά τους ήταν μικρή σε σχέση με αυτή των βενζινοκίνητων (24-32χλμ./ώρα) και η αυτονομία της τάξης των 50-65 χιλιομέτρων τα περιόριζε αυστηρά εντός των αστικών ορίων. Παγκοσμίως ανακαλύπτονται νέα κοιτάσματα πετρελαίου και η τιμή της βενζίνης σταδιακά πέφτει. Επιπλέον, το ηλεκτρικό δίκτυο παραμένει εντός των αστικών ορίων κάτι που καθιστά αδύνατη τη φόρτιση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων στην επαρχία, αλλά και η ίδια η φόρτιση των μπαταριών κρατούσε αρκετές ώρες. Κάτι που ενισχύει τις πωλήσεις των αυτοκινήτων βενζίνης είναι λύση που έρχεται στην εκκίνηση του βενζινοκινητήρα με την ανακάλυψη της μίζας το 1912 από τον Τσάρλς Κέτερινγκ και την εφαρμογή του σιγαστήρα εξάτμισης που είχε εφευρεθεί το 1897 από τον Χιράμ Πέρσι Μαξίμ. Ο Χένρι Φόρντ βγάζει στην παραγωγή το 1908 ένα βενζινοκίνητο αυτοκίνητο με ονομασία Model-T. Η αρχική του τιμή ήταν 850 δολάρια, όμως η τιμή αυτή πέφτει χρόνο με το χρόνο μιας και η παραγωγή με τις πωλήσεις έχουν σταθερά ανοδική πορεία. Ήδη από το 1909 το Model-T αρχίζει να κυριαρχεί στην αγορά. Το 1913 υιοθετείται από τη Ford γραμμή μαζικής παραγωγής εκτινάσσοντας των αριθμό παραγωγής στα 308.000 αυτοκίνητα, εκείνη τη χρονιά. Η τιμή του Model-T το 1925 πέφτει κάτω από 300 δολάρια όταν οι τιμές των ηλεκτρικών οχημάτων είναι 1700 δολάρια. Το τελευταίο 'χτύπημα' για τα ηλεκτρικά οχήματα έρχεται με την εφεύρεση των συγχρονιζέ ταχυτήτων, για τα κιβώτια ταχυτήτων των βενζινοκινητήρων, από τον μηχανολόγο της General Motors (GM), Έαρλ Τόμπσον, το 1928 και έτσι λύνεται και το τελευταίο μηχανικό πρόβλημα των βενζινοκίνητων. Τα ηλεκτρικά οχήματα σχεδόν εξαφανίζονται από τους δρόμους μέχρι το 1930.

1.2 Τα Πρώτα Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα

Η πρώτη καταγεγραμμένη προσπάθεια δημιουργίας ηλεκτρικού αυτοκινήτου σημειώθηκε το 1837 από τον χημικό Ρόμπερτ Ντάβιντσον. Ήταν ένα πειραματικό όχημα με τελική ταχύτητα 6,5χλμ./ώρα και αυτονομία 2,4 χιλιόμετρα.

Λόγω της πολύ μικρής ειδικής ενέργειας των μπαταριών που χρησιμοποιούνταν (βλέπε παράρτημα 3), η εξέλιξη αυτού το οχήματος σταμάτησε.

Το πρώτο πρακτικό ηλεκτρικό αυτοκίνητο έκανε την εμφάνισή του στη πρώτη διεθνή έκθεση του ηλεκτρισμού στο Παρίσι το 1881, δίπλα στους λαμπτήρες του Τόμας Έντισον. Ο δημιουργός του ήταν ο ηλεκτρολόγος μηχανικός και εφευρέτης, Γάλος Γκουστάβ Τρουβέ(1839-1902). Το αυτοκίνητο που παρουσίασε ήταν ένα τρίκυκλο με τελική ταχύτητα 9 χλμ/ώρα και χρησιμοποιούσε μπαταρίες μολύβδου τις οποίες είχε εφεύρει ο γάλλος φυσικός Γκαστόν Πλαντέ(1834-1889) το 1859. Την ίδια χρονιά, οι άγγλοι Ουίλλιαμ Άιρτον και Τζον Πέρι κατασκευάζουν το δικό τους τρίκυκλο το οποίο είχε τελική ταχύτητα 9 χλμ./ώρα. Χρησιμοποιήθηκαν και εδώ οι συσσωρευτές μολύβδου του Γκαστόν Πλαντέ. Ήταν μία συστοιχία δέκα μπαταριών συνδεδεμένες σε σειρά η οποία απέδιδε συνολική ισχύ μισού ίππου. Το τρίκυκλό τους είχε αυτονομία 16-45 χιλιομέτρων, ανάλογα με την επιφάνεια του εδάφους στο οποίο ταξίδευε. Αξίζει να σημειωθεί εδώ ότι η παρουσίαση του πρώτου οχήματος με κινητήρα εσωτερικής καύσης έγινε από τον μηχανικό και εφευρέτη, γερμανό Κάρλ Φρήντριχ Μπέντς(1844-1929) το 1885. Στις ΗΠΑ το πρώτο ηλεκτρικό όχημα, το οποίο έμοιαζε περισσότερο με βαγόνι, έκανε την εμφάνισή του το 1890 χάρη στον χημικό Ουίλλιαμ Μόρρισον. Το αυτοκίνητο ήταν ικανό να αναπτύξει ταχύτητα μέχρι 22,5χλμ./ώρα και να μεταφέρει έξι άτομα. Είχε μια συστοιχία από 24 μπαταρίες, τάσης 48V και 112 Ah τις οποίες κατασκεύασε ο ίδιος και τις πατένταρε το 1891. Ο χρόνος φόρτισης ήταν 10 ώρες. Η ισχύς του ηλεκτροκινητήρα ήταν 4 ίπποι και το αυτοκίνητο ζύγιζε γύρω στους δύο τόνους. Από το 1880 μέχρι το 1900 είχαν γίνει πολύ μεγάλες πρόοδοι στον τομέα της ηλεκτροκίνησης με συνεχείς παρουσιάσεις καινούργιων οχημάτων. Η άνοδός τους κράτησε μέχρι περίπου το 1912.



Εικόνα 1: Το ηλεκτροκίνητο τρίκυκλο των Ουίλλιαμ Άιρτον και Τζον Πέρι (1881)



Εικόνα 2: Το ηλεκτροκίνητο αυτοκίνητο του Ουίλλιαμ Μόρρισον (1891)

1.3 Προσπάθειες για την ταχύτερη φόρτιση και αύξηση αυτονομίας

Από το 1900 άρχισαν να γίνονται σημαντικές πρόοδοι στο τομέα της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων. Είχε δημιουργηθεί ολόκληρη υποδομή με σταθμούς φόρτισης και το θέμα της ταχυφόρτισης ήταν συνέχεια στο προσκήνιο. Αυτές οι υποδομές όμως, δεν θα μπορούσαν ποτέ να ανταγωνιστούν το δίκτυο σταθμών ανεφοδιασμού βενζίνης. Στη Νέα Υόρκη, γύρω στο 1900, είχε δημιουργηθεί ένα σύστημα φόρτισης με φορτιστές που δέχονταν κέρματα. Το σύστημα αυτό εγκαταστάθηκε από μια εταιρεία παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Οι φορτιστές είχαν εγκατεστημένο βολτόμετρο και μετρητή κιλοβατώραν . Όταν ο οδηγός κατέθετε το απαιτούμενο ποσό σε κέρματα, μπορούσε να καταναλώσει την ηλεκτρική ενέργεια που απαιτούνταν για την φόρτιση του οχήματός του. Στις μέρες μας υπάρχουν ακριβώς ίδιας φιλοσοφίας σταθμοί φόρτισης στις πόλεις όπου κυκλοφορούν ηλεκτρικά οχήματα. Αναπτύχθηκαν επίσης αυτοκίνητα με εύκολα αποσπώμενη μπαταρία ώστε να μπορεί εύκολα να αντικατασταθεί με μια πλήρως φορτισμένη ώστε ο οδηγός να μη χάνει χρόνο. Μία εταιρία που παρείχε στις ΗΠΑ τέτοιες υπηρεσίες, δηλαδή άμεσης αντικατάστασης των μπαταριών, ήταν η Hartford Electric Light Company. Ήδη από το 1910 αυτή η εταιρία αντικαθιστούσε τις μπαταρίες των αρκετά δημοφιλών, για εκείνη την εποχή, ηλεκτρικών φορτηγών,

αργότερα για εταιρείες ταξί και τέλος, για οχήματα ιδιωτών. Ο ιδιοκτήτης αγόραζε το αυτοκίνητό του χωρίς μπαταρίες και πλήρωνε μια μηνιαία συνδρομή στην Hartford Electric Light Company με μια επιπλέον χρέωση ανάλογα με τα χιλιόμετρα που έκανε. Η τεχνολογία αντικατάστασης μπαταριών έχει παρουσιαστεί, στις μέρες μας, από την εταιρία Tesla Motors. Πέρα των προσπαθειών που είχαν γίνει για την επέκταση της αυτονομίας και μείωση χρόνου φόρτισης, έγιναν άλλα δύο μεγάλα επιτεύγματα σε αυτόν τον τομέα. Το πρώτο ήταν η ανάκτηση ενέργειας κατά το φρενάρισμα του αυτοκινήτου, δηλαδή την μετατροπή της κινητικής ενέργειας του αυτοκινήτου σε ηλεκτρική μέσω του ηλεκτροκινητήρα, ο οποίος σε κατάσταση φρεναρίσματος λειτουργεί ως γεννήτρια, για την επαναφόρτιση των μπαταριών. Η αρχή λειτουργίας της ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας κατά την επιβράδυνση του οχήματος, παρουσιάστηκε στο Παρίσι, το 1887. Αρχικοί υπολογισμοί έδειχναν αύξηση της αυτονομίας κατά 40%. Σήμερα επικρατεί σαν τιμή το 25%, για οδήγηση εντός πόλης και η τεχνολογία αυτή υπάρχει στα περισσότερα σύγχρονα ηλεκτρικά αυτοκίνητα.

Η δεύτερη σημαντική τεχνολογία που αναπτύχθηκε για την αύξηση της αυτονομίας, ήταν η κατασκευή των λεγόμενων “υβριδικών συστημάτων” (βλέπε παράρτημα 2) τα οποία είναι σε μεγάλη εφαρμογή και στις μέρες μας. Από τους πρώτους εφευρέτες στον τομέα των υβριδικών ήταν ο καθηγητής, σχεδιαστής και μηχανικός Φέρντιναντ Πόρσε(1875-1951) . Το υβριδικό του όχημα παρουσιάστηκε στην έκθεση του Παρισιού το 1900. Αρκετά από τα μοντέλα που παρουσιάζονταν αυτή την εποχή, είχαν και σύστημα ανάκτησης ενέργειας κατά το φρενάρισμα. Το πρώτο υβριδικό που ήταν διαθέσιμο προς πώληση, παρουσιάστηκε το 1911 από την Woods Motor Vehicle. Το συγκεκριμένο αυτοκίνητο θεωρήθηκε εμπορική αποτυχία λόγω χαμηλών επιδόσεων για την τιμή του και της πολυπλοκότητας συντήρησης. Τα υβριδικά αυτοκίνητα όμως ήταν και είναι πιο ακριβά στην παραγωγή και έτσι εξαφανίστηκαν κατά τον Πρώτο Παγκόσμιο Πόλεμο και ξαναβγήκαν στο προσκήνιο αρκετές δεκαετίες αργότερα. Σήμερα τα υβριδικά έχουν ένα σταθερό, μικρό μερίδιο στις πωλήσεις ενώ οι πωλήσεις των πλήρως ηλεκτρικών αυξάνουν συνεχώς.

1.4 Πρώτα ρεκόρ ταχύτητας

Το πρώτο καταγεγραμμένο ρεκόρ ταχύτητας εδάφους σημειώθηκε το Δεκέμβριο του 1898 από τον γάλλο κόμη Gaston de Chasseloup-Laubat. Το αυτοκίνητό του διένυσε απόσταση ενός χιλιομέτρου σε χρόνο 57 δευτερολέπτων σημειώνοντας έτσι μία μέση ταχύτητα 63,13χλμ/ώρα. Ο ίδιος, ένα μηνά αργότερα, στις 17 Ιανουαρίου του 1899, έκανε νέο ρεκόρ σημειώνοντας ταχύτητα 66,65 χλμ./ώρα. Το ρεκόρ δεν κράτησε για πολύ μιας και δέκα μέρες αργότερα ο βέλγος οδηγός αγώνων Kamille Jenatzy στις 27 Ιανουαρίου 1899 έπιασε 80,35 χλμ/ώρα. Η απάντηση ήρθε από τον Gaston de Chasseloup-Laubat τον Μάρτιο του 1899 με νέο ρεκόρ στα 92,69 χιλ./ώρα. Τελικά σε αυτόν τον ‘αγώνα’ των ρεκόρ ταχύτητας επικράτησε ο Kamille Jenatzy. Το 1899 στις 29 Απριλίου, οδηγώντας το ηλεκτρικό αυτοκίνητο με την ονομασία La Jemais Contenete, κάνει για τρίτη φορά παγκόσμιο ρεκόρ ταχύτητας πιάνοντας 105,9 χλμ/ώρα. Ήταν η πρώτη φορά που έσπασε το όριο των 100χλμ./ώρα. Το ρεκόρ αυτό κράτησε για 3 χρόνια μέχρι το 1902 όταν ο γάλλος βιομήχανος Léon Serpollet, για πρώτη φορά με μη ηλεκτρικό όχημα, έθεσε νέο παγκόσμιο ρεκόρ στα 120,8 χλμ./ώρα με ένα ατμοκίνητο.



Εικόνα 3: Το ηλεκτροκίνητο αυτοκίνητο La Jemais Contenete με το οποίο ο Kamille Jenatzy 1899 έθεσε παγκόσμιο ρεκόρ ταχύτητας στα 105,9 χλμ/ώρα

1.5 Περίοδος 1930 –Σήμερα

Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα, κατά το 1930 τα ηλεκτρικά οχήματα εξαφανίστηκαν από τους δρόμους λόγω της υπεροχής των αυτοκινήτων εσωτερικής καύσης. Το ενδιαφέρον για τα ηλεκτρικά οχήματα ξαναεμφανίστηκε κατά την περίοδο του Δεύτερου Παγκοσμίου Πολέμου λόγω της έλλειψης βενζίνης και πετρελαίου που υπήρχε. Στη Γερμανία λειτουργούσαν περίπου 30.000 ηλεκτρικά αυτοκίνητα κυρίως για ταχυδρομικούς σκοπούς . Στη Βρετανία δημιουργήθηκε στόλος από ηλεκτρικά βαν που μετέφεραν γάλα και ψωμί. Οι διανομές γάλακτος με ηλεκτρικά βαν συνεχίζονται μέχρι και σήμερα σε κάποιες περιοχές της Βρετανίας. Το 1950 ο αριθμός των ηλεκτρικών αυτών βαν έφτασε τις 30.000 και κρατήθηκε σταθερός στις δεκαετίες που ακολούθησαν. Οι Βρετανικές Αρχές κατά τον πόλεμο προσπάθησαν να προωθήσουν τα ηλεκτρικά οχήματα με διαφημιστικές εκστρατείες που χρησιμοποιούνταν σχεδόν 30 χρόνια πριν. Μακροπρόθεσμα όμως το σχέδιο απέτυχε και έτσι για άλλη μια φορά τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα με το τέλος του πολέμου ξεχάστηκαν. Στα μέσα της δεκαετίας του 1970, βγήκαν στο προσκήνιο τα θέματα περί ατμοσφαιρικής ρύπανσης την οποία προκαλούν τα καυσαέρια, της δημιουργίας νέφους στις μεγαλουπόλεις και μόλυνσης του περιβάλλοντος που προκαλεί ο μόλυβδος μιας και εκείνη την περίοδο ο μόλυβδος αποτελούσε πρόσθετο βενζίνης και οι καταλυτικοί μετατροπείς δεν είχαν εφευρεθεί ακόμα. Οι κατηγορίες έπεφταν στους κινητήρες εσωτερικής καύσης και η ηλεκτροκίνηση παρουσιαζόταν σαν λύση του προβλήματος.

Έτσι οι μεγάλες αυτοκινητοβιομηχανίες παρουσίαζαν συνεχώς πρωτότυπα ηλεκτρικά οχήματα τα οποία όμως ποτέ δεν προχωρούσαν στη παραγωγή. Μερικά τέτοια πρωτότυπα ήταν το Electrovair και το Opel Kadette της GM στα μέσα της δεκαετίας του 70'. Το Electrovair είχε τριφασικό AC κινητήρα, χρησιμοποιούσε μπαταρία αργύρου-ψευδάργυρου (silver-zink) 500 βολτ, αυτονομία μέχρι 130 χιλιόμετρα και χρόνος επαναφόρτισης, 6 ώρες. Το Kadette αποτελούσε μετατροπή και είχε αυτονομία πάνω από 200 χιλιόμετρα χάρη στη μπαταρία αργύρου-αέρα η οποία είχε μεγάλη πυκνότητα ισχύος. Εκείνη την περίοδο η GM παρουσίασε και το πρώτο αυτοκίνητο που λειτουργούσε με κυψέλες καυσίμου, το Electrovap. Αμέσως μετά την παρουσίαση στους δημοσιογράφους, η περεταίρω εξέλιξη του συστήματος σταμάτησε λόγω του απαγορευτικού κόστους που είχαν οι κυψέλες καυσίμου λόγω της πλατίνας που χρησιμοποιούσαν.



Εικόνα 4: Chevrolet Electrovair 1966

Τη δεκαετία του 80' οι γάλλοι έκαναν μία προσπάθεια να κατασκευάσουν ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο με το όνομα VEL. Ήταν ιδέα μίας ομάδας μηχανολόγων μίας εταιρίας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Το όραμά τους ήταν αρκετά φιλόδοξο μιας και υποστήριζαν ότι οι τεχνικές δυσκολίες μπορούν να ξεπεραστούν αρκετά εύκολα, πράγμα που δεν ίσχυε ειδικά ότι αφορούσε τις μπαταρίες. Συνάντησαν μεγάλη αντίσταση, την οποία δεν περίμεναν, από διαφορετικούς τομείς και αναγκάστηκαν να εγκαταλείψουν το σχέδιό τους.

Τον Ιανουάριο του 1990, η GM παρουσίασε ένα ηλεκτρικό πρωτότυπο όχημα, στην έκθεση αυτοκινήτου του Λος Άντζελες, με την ονομασία Impact. Την ίδια χρονιά στην Καλιφόρνια, λόγω της μεγάλης ρύπανσης της ατμόσφαιρας, αποφασίζεται, από το Συμβούλιο για την Ποιότητα του Αέρα (CARB), να τεθεί σε ισχύ ένας περιβαλλοντικός νόμος ο οποίος λέει ότι το 2% των αυτοκινήτων που θα πουληθούν στην Καλιφόρνια μέχρι το 1998 πρέπει να είναι με μηδενικές εκπομπές ρύπων και ότι το ποσοστό αυτό έπρεπε να ανέβει στο 10% μέχρι το 2003. Ο νόμος περί οχημάτων μηδενικών ρύπων ψηφίζεται. Η αυτοκινητοβιομηχανίες είχαν δύο επιλογές, είτε να συμμορφωθούν με τον νόμο είτε να τον πολεμήσουν. Η GM βγάζει

στην παραγωγή το 1996 το διάσημο EV1(βλέπε παράρτημα 4), το οποίο ήταν ίδιο με το πρωτότυπο Impact. Το αυτοκίνητο διατίθεται με τη προσωρινή μίσθωση ή αλλιώς λίζινγκ με μηνιαίο κόστος 250-500 δολάρια. Με τον ίδιο τρόπο διαθέτουν τα δικά τους ηλεκτρικά, οι εταιρείες όπως Toyota, Nissan, Ford, Chrysler και Honda. Όταν όμως τελείωσαν οι περίοδοι και των τελευταίων συμβολαίων λίζινγκ, η GM σταμάτησε την παραγωγή των EV1 υποστηρίζοντας ότι το πρόγραμμα απλά δεν ήταν κερδοφόρο. Οι ιδιοκτήτες δεν είχαν την κυριότητα των οχημάτων και παρά τις διαμαρτυρίες τους, τα EV1 συλλέχθηκαν και μαζικά καταστράφηκαν. Ο νόμος της Καλιφόρνιας περί οχημάτων μηδενικών ρύπων καταργήθηκε.



Εικόνα 5: το EV1 της GM, περίοδος παραγωγής 1996-2003.

Το 2006 βγήκε μια ταινία με τίτλο ‘Who Killed The Electric Car’, που μεταφράζεται ‘Ποιος Σκότωσε Το Ηλεκτρικό Αυτοκίνητο’. Στη ταινία υποστηρίζεται ότι τα πραγματικά αίτια για την διακοπή παραγωγής ήταν οι πιέσεις που δεχόταν η GM από τις αυτοκινητοβιομηχανίες και την βιομηχανία πετρελαιοειδών οι οποίες έκαναν μαζί με την τότε κυβέρνηση του Μπους, αγωγή στην Πολιτεία της Καλιφόρνιας για τον νόμο περί αυτοκινήτων μηδενικών ρύπων. Η ίδια η GM βρισκόταν στη λίστα με τις αυτοκινητοβιομηχανίες που συμμετείχαν στην αγωγή. Όσοι κατέθεσαν την αγωγή υποστήριζαν ότι δεν υπήρχε αρκετή πρόοδος στην τεχνολογία μπαταριών, ότι δεν υπήρχε όφελος για το περιβάλλον επειδή το ρεύμα δεν προερχόταν από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ότι το κόστος παραγωγής των

οχημάτων ήταν υψηλό και απλά δεν υπήρχε οικονομικό όφελος. Ενώ οι πραγματικοί λόγοι ήταν η μείωση τζίρου για τις αυτοκινητοβιομηχανίες από την ελάχιστη συντήρηση που απαιτούσαν τα ηλεκτρικά και οι δυσάρεστες οικονομικές επιπτώσεις για την κυβέρνηση και τις πετρελαϊκές, που θα έρχονταν με την εξάπλωση των ηλεκτρικών οχημάτων.



Εικόνα 6: καταστροφή των EV1

Το EV1 μπορεί να καταστράφηκε όμως η ανάγκη για περιορισμό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, του νέφους στις μεγάλες πόλεις, των περιορισμών των αερίων θερμοκηπίου, την ανεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα και την ανάγκη για βιώσιμη ενέργεια υπάρχει σήμερα όσο ποτέ άλλοτε . Στις μέρες μας πλέον, δεν υπάρχει αυτοκινητοβιομηχανία που να μην έχει στο εμπόριο κάποιο ηλεκτρικό ή υβριδικό μοντέλο ή να μην ασχολείται τουλάχιστον σε εργαστηριακό επίπεδο με την εξέλιξη αυτής της τεχνολογίας. Οι δυο μεγαλύτερες εταιρείες παραγωγής ηλεκτρικών οχημάτων σήμερα είναι Tesla Motors και η Nissan. Η Tesla Motors έγινε γνωστή με την παραγωγή του Tesla Roadster την περίοδο 2008-2012 στην Καλιφόρνια. Πρόκειται για το πρώτο πλήρως ηλεκτρικό spor αυτοκίνητο στο οποίο χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά μπαταρίες ιόντων λιθίου-ιόντων επιτρέποντάς του να διανύει 320 χιλιόμετρα με μία φόρτιση. Έχει τριφασικό AC κινητήρα ισχύος 215 KW στην έκδοση 2.5 Sport. Έχει μια σταθερή σχέση μετάδοσης 8,27:1 με την οποία

πετυχαίνει χρόνο 0-100χλμ./ώρα σε 3,7 δευτερόλεπτα και τελική 200 χλμ./ώρα. Η κατανάλωση ενέργειας του Tesla Roadster είναι 13,5 kWh/100χλμ. ή αλλιώς 120 MPGe (βλέπε παράρτημα 5) που αντιστοιχούν στα 2 λίτρα βενζίνης ανά 100 χιλιόμετρα. Το πρώτο σε πωλήσεις παγκοσμίως, ανάμεσα στα αμιγώς ηλεκτρικά αυτοκίνητα το 2015 ήταν το Tesla Model S και δεύτερο ήταν το Nissan Leaf. Πιο συγκεκριμένη αναφορά θα γίνει για το Tesla Model S σε επόμενο κεφάλαιο.



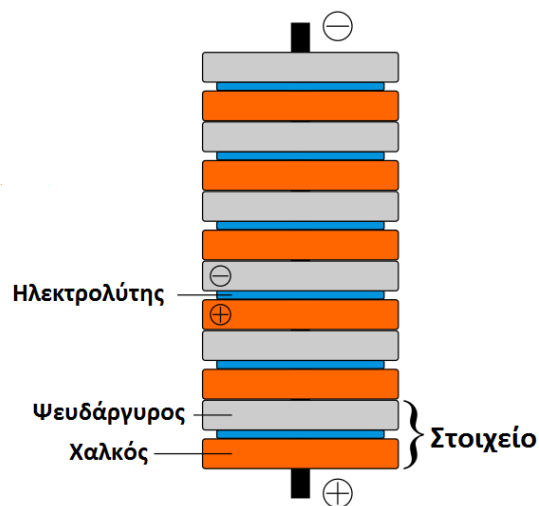
Εικόνα 7: Tesla Roadster 2.5 Sport

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ

2.1 Ιστορική αναδρομή της εξέλιξης των μπαταριών

Ο όρος ‘μπαταρία’ χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1749 από τον Αμερικανό Μπέντζιαμιν Φράνκλιν που ήταν ένας από τους εθνοπατέρες των ΗΠΑ, όταν περιέγραψε την σύνδεση των πυκνωτών που είχε φτιάξει για τα πειράματά του με τον ηλεκτρισμό. Το 1780 ο Ιταλός φυσικός και βιολόγος, Λουίτζι Γκαλβάνι (1737-1798) παρατήρησε ότι όταν ακουμπούσε με το σιδερένιο νυστέρι το πόδι ενός βατράχου το οποίο συγκρατιόταν στο τραπέζι με ένα μπρούτζινο γάντζο, τότε αυτό τινάζοταν. Ο συμπατριώτης του, φυσικός, Αλεσσάντρο Βόλτα(1745-1827) απέδωσε το φαινόμενο στην επαφή δύο διαφορετικών μετάλλων μέσω μιας βρεγμένης (αγώγιμης) ‘γέφυρας’. Στηριζόμενος σε αυτό το γεγονός ο Αλεσσάντρο Βόλτα κατασκεύασε την πρώτη μπαταρία η οποία έμεινε στην ιστορία ως ‘βολταϊκή στήλη’. Η στήλη αποτελούνταν από εναλλαγή δίσκων χαλκού και ψευδαργύρου χωρισμένων από ένα κομμάτι ύφασμα ή χαρτόνι εμβαπτισμένο σε άλμη(ηλεκτρολύτη).



Εικόνα 8: βολταϊκή στήλη του βόλτα

Ο Βόλτα δοκίμασε πολλά διαφορετικά ζεύγη μετάλλων και κατέληξε στο συμπέρασμα ότι ο ψευδάργυρος με τον άργυρο (ασήμι) δίνουν τα καλύτερα αποτελέσματα. Πίστευε ότι το ρεύμα ήταν αποτέλεσμα απλά της επαφής δύο διαφορετικών μετάλλων και όχι ηλεκτροχημικών αντιδράσεων και έτσι θεωρούσε την διάβρωση στις πλάκες του ψευδαργύρου ως κάποιο ελάττωμα του υλικού. Όμως με τον καιρό παρατηρούνταν ότι η διάβρωση ήταν μεγαλύτερη όταν η ένταση του ρεύματος αυξανόταν. Έτσι έγινε ξεκάθαρο ότι η διάβρωση συνδέεται άμεσα με την ικανότητα της μπαταρίας να παράγει ρεύμα. Ακολούθησαν διάφορες βελτιώσεις, από πολλούς επιστήμονες, στο μοντέλο του Βόλτα, όμως η δική του βολταϊκή στήλη αποτέλεσε τη βάση για τις μπαταρίες που ακολούθησαν. Όλες οι μπαταρίες εκείνης της εποχής ήταν μη επαναφορτιζόμενες καθώς αποφορτιζόνταν τελείως όταν εξαντλούνταν οι χημικές αντιδράσεις. Η πρώτη επαναφορτιζόμενη μπαταρία παρουσιάστηκε το 1859 από τον Γκαστόν Πλαντέ ο οποίος εφηύρε την μπαταρία μολύβδου-οξέως όπως την ξέρουμε σήμερα. Η βασική αρχή λειτουργίας αυτής της μπαταρίας δεν έχει αλλάξει από το 1859. Στις αρχές τις δεκαετίας του 40' βγήκε στην παραγωγή μια παραλλαγή της μπαταρίας μολύβδου. Η διαφορά βρισκόταν στον ηλεκτρολύτη. Πλέον δεν ήταν υγρός αλλά παχύρευστος (Gel). Η μπαταρία ήταν αεροστεγώς σφραγισμένη. Δεν απαιτούσε προσθήκη νερού και μπορούσε να χρησιμοποιηθεί υπό κλίσεις χωρίς τον κίνδυνο διαρροής του ηλεκτρολύτη.

Το 1866, ο Γάλλος ηλεκτρολόγος μηχανικός Georges Leclanche εφηύρε μια μπαταρία η οποία είχε για άνοδο ηλεκτρόδιο ψευδαργύρου και για κάθοδο ηλεκτρόδιο από διοξείδιο του μαγνησίου. Ως ηλεκτρολύτης χρησιμοποιήθηκε το χλωρίδιο αμμωνίας. Ο Σουηδός επιστήμονας Waldemar Junger εφηύρε το 1899 την επαναφορτισμένη μπαταρία με ηλεκτρόδια από νικέλιο και κάδμιο με υδροξείδιο καλίου για ηλεκτρολύτη. Ο πρώτος αλκαλικός ηλεκτρολύτης. Αυτές οι μπαταρίες είχαν μεγαλύτερη πυκνότητα ενέργειας από τις μπαταρίες μολύβδου όμως ήταν πολύ πιο ακριβές.

Ο Αμερικανός εφευρέτης Τόμας Έντισον(1847-1931) προσπαθούσε να φτιάξει πιο αποδοτικές μπαταρίες και έτσι το 1901 δημιούργησε μια μπαταρία νικελίου-σιδήρου την εποχή που τα ηλεκτρικά οχήματα είχαν ζήτηση. Η μπαταρία είχε 40% μεγαλύτερη πυκνότητα ισχύος από τις μπαταρίες μολύβδου. Όμως και εδώ

το κόστος ήταν πολύ υψηλό. Στην αρχή του 19^{ου} εμφανίστηκαν και οι τεχνολογίες μπαταριών όπως νικελίου-ψευδαργύρου και ψευδαργύρου-αέρα. Οι νικελίου-ψευδαργύρου είχαν χρησιμοποιηθεί στα πρώτα ηλεκτρικά οχήματα και μελλοντικά σε φορητές ηλεκτρικές συσκευές. Σημερινές πυκνότητες ενέργειας αυτών των μπαταριών είναι γύρω στα 100Wh/kg που είναι διπλάσια από τις μπαταρίες μολύβδου. Οι μπαταρίες ψευδαργύρου-αέρα έχουν για άνοδο έχουν το ηλεκτρόδιο ψευδαργύρου, ως ηλεκτρολύτη υδροξείδιο του καλίου και για κάθοδο έχουν τον ατμοσφαιρικό αέρα. Η πυκνότητα ενέργειάς τους είναι περίπου 450Wh/kg που είναι πολύ περισσότερο από τις σημερινές μπαταρίες ιόντων-λιθίου όμως το μεγάλο μειονέκτημά τους είναι ο μικρός χρόνος ζωής.

Το 1959 βγήκαν στη παραγωγή οι κοινές πλέον αλκαλικές μπαταρίες. Είχαν σχετικά μεγάλη διάρκεια ζωής. Χρησιμοποιούσαν για άνοδο το διοξείδιο του μαγνησίου και για κάθοδο, ψευδάργυρο.

Μπαταρίες νικελίου-μετάλλων (NiMH) εμφανίστηκαν στην αγορά το 1989. Μπαταρίες τέτοιας τεχνολογίας χρησιμοποιήθηκαν στη δεύτερη γενιά του EV1. Έχουν σχεδόν ίδια πυκνότητα ενέργειας με τις μπαταρίες λιθίου-ιόντων. Το αρνητικό ηλεκτρόδιο αποτελείται από κάποιο κράμα μετάλλων και το θετικό ηλεκτρόδιο από νικέλιο. Ο ηλεκτρολύτης είναι αλκαλικός και συνήθως είναι υδροξείδιο του καλίου.

Σήμερα έχουν επικρατήσει οι μπαταρίες λιθίου-ιόντων. Πειράματα με τις μπαταρίες λιθίου ξεκίνησαν το 1912 και το 1970 οι πρώτες μπαταρίες βγήκαν στη παραγωγή. Η λειτουργία και τα χαρακτηριστικά των μπαταριών λιθίου ιόντων θα αναλυθούν σε ξεχωριστό υποκεφάλαιο όπως και των μπαταριών μολύβδου-οξέως.

2.2 Μπαταρίες μολύβδου-οξέως

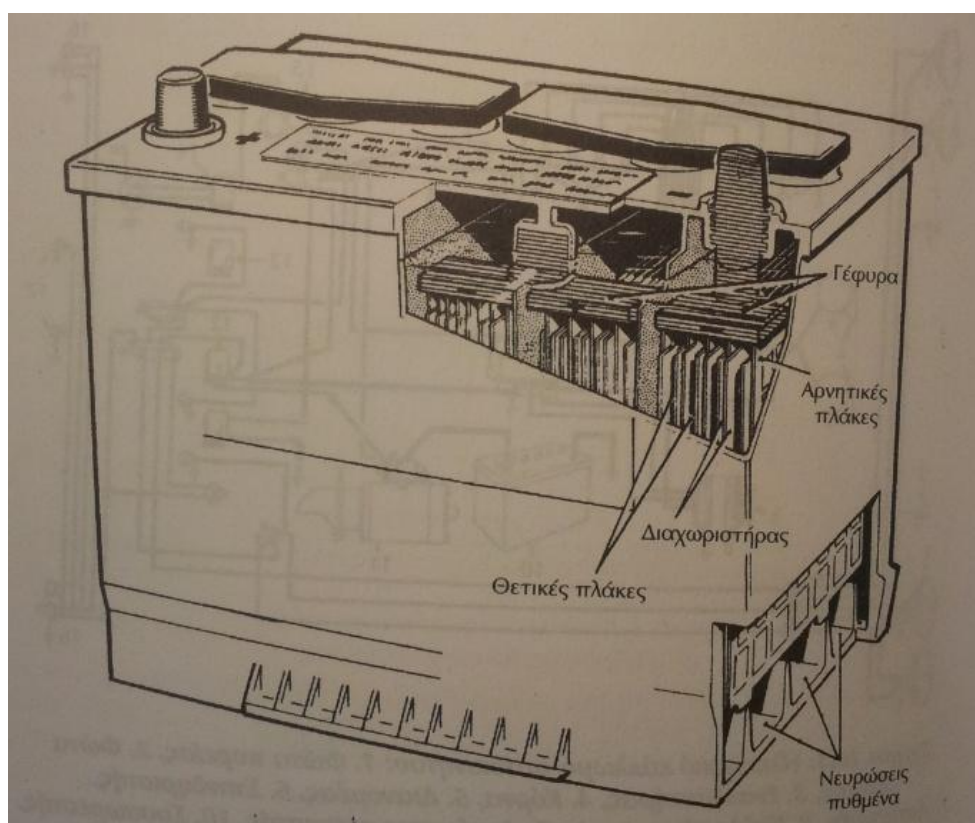
Οι μπαταρίες μολύβδου-οξέως υπάρχουν ήδη πάνω από 100 χρόνια και είναι ίσως ο δημοφιλέστερος τύπος μπαταρίας. Σήμερα αποτελούν την καλύτερη επιλογή ως προς τη σχέση κόστους και αποθήκευσης ενέργειας. Το πεδίο εφαρμογής τους είναι αρκετά μεγάλο. Οι πιο γνωστές εφαρμογές περιλαμβάνουν αυτοκίνητα, UPS, μπαταρίες φωτοβολταϊκών, ηλεκτρικά οχήματα όπως ανυψωτικά και αυτοκίνητα του γκολφ και έχουν χρησιμοποιηθεί πολύ στα υποβρύχια. Έχουν αρκετά μειονεκτήματα

σε σχέση με τις σύγχρονες μπαταρίες ως προς χαρακτηριστικά όπως διάρκεια ζωής και πυκνότητα ενέργειας όμως αυτή η τεχνολογία είναι η πιο παλιά και χρησιμοποιείται ακόμα. Για αυτό το λόγο σε αυτό το υποκεφάλαιο θα αναλυθούν οι τεχνικές της ιδιαιτερότητας όπως τα υλικά από τα οποία αποτελείται, την διάρκεια ζωής της, την φόρτιση και την εκφόρτιση, τα τεχνικά χαρακτηριστικά και κατά πόσο είναι ανακυκλώσιμη και φιλική προς το περιβάλλον.

Οι μπαταρίες μολύβδου ξεκίνησαν παρέχοντας ηλεκτρική ενέργεια στα πρώτα ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Σήμερα αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι των σύγχρονων αυτοκινήτων βενζίνης παρέχοντας ηλεκτρική ενέργεια στο ηλεκτρικό σύστημα του αυτοκινήτου. Οι μπαταρίες μολύβδου έχουν πολλές εφαρμογές, όμως μιας και η αρχή λειτουργίας είναι ίδια, σε αυτό το κεφάλαιο θα δοθεί βαρύτητα στις μπαταρίες του ηλεκτρικού συστήματος των αυτοκινήτων εσωτερικής καύσης. Ο κινητήρας ενός σύγχρονου αυτοκινήτου για να τεθεί σε λειτουργία πρέπει να περιστραφεί μερικές φορές ο στροφαλοφόρος άξονας. Αυτές τις αρχικές περιστροφές παρέχει η μίζα, η οποία είναι ένας ηλεκτροκινητήρας ο οποίος τροφοδοτείται από την μπαταρία. Αμέσως μόλις εκκινήσει ο κινητήρας εσωτερικής καύσης τότε την τροφοδοσία του ηλεκτρικού κυκλώματος αναλαμβάνει ο εναλλακτήρας(γεννήτρια) ή αλλιώς, πιο παλιά, το δυναμό, στον οποίο μεταδίδεται η κίνηση μέσω ενός ιμάντα. Επίσης η φόρτιση της ίδιας της μπαταρίας αναλαμβάνεται από τον εναλλακτήρα. Όταν η μπαταρία αποφορτίζεται τότε η χημική ενέργεια των συστατικών της μετατρέπεται σε ηλεκτρική. Ενώ κατά την φόρτιση το ρεύμα φόρτισης αποθηκεύεται ως χημική ενέργεια στην μπαταρία. Η διαδικασία αυτή θα περιγραφεί αναλυτικότερα στη συνέχεια. Ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα των μπαταριών μολύβδου –οξέως είναι η ικανότητά τους να φορτίζονται και να εκφορτίζονται πολλές φορές κατά τη διάρκεια ζωής τους.

Ανάλογα με το όχημα για το οποίο προορίζονται, οι συσσωρευτές διακρίνονται σε κατηγορίες τάσεων 6V, 12V και 24V. Οι πλάκες που αποτελούν το αντίστοιχο ‘θετικό ηλεκτρόδιο’, αποτελούνται από υπεροξείδιο του μολύβδου(PbO₂) και το ρόλο του αρνητικού ηλεκτροδίου παίζουν οι πλάκες από σπογγώδη μολύβδο (Pb). Οι πλάκες αποτελούνται από ένα πλέγμα αντιμονίου σε ποσοστό μέχρι 10% με σκοπό την αύξηση της μηχανικής τους αντοχής καθώς ο μολύβδος είναι πολύ μαλακός. Το κέλυφος της μπαταρίας κατασκευάζεται από υλικά όπως το καουτσούκ

ή εβονίτη ώστε να μη διαβρώνονται από τα οξέα. Οι θετικές και οι αρνητικές πλάκες χωρίζονται μεταξύ τους με κάποιο μονωτικό υλικό όπως νήματα γυαλιού ή κάποιου ελαστικού. Οι πλάκες του θετικού πόλου συνδέονται μεταξύ τους με μία 'γέφυρα' η οποία αποτελείται από ένα μολύβδινο έλασμα το οποίο καταλήγει στον θετικό πόλο κυλινδρικού σχήματος συνήθως. Ίδια εικόνα επικρατεί και στις αρνητικές πλάκες οι οποίες έχουν, σε σχέση με τις θετικές πλάκες, μια πλάκα παραπάνω. Ανεξάρτητα από την ονομαστική τάση της μπαταρίας, όλες τους αποτελούνται από στοιχεία των 2V περίπου. Το κάθε στοιχείο βρίσκεται στον δικό του ξεχωριστό χώρο. Ο κάθε χώρος γεμίζει με ηλεκτρολύτη ώστε οι πλάκες να μην εκτίθενται στον αέρα. Οι πλάκες έχουν πόρους για να διευκολύνεται η επίδραση του ηλεκτρολύτη.



Εικόνα 9: ένας τυπικός συσσωρευτής μολύβδου

Ο ηλεκτρολύτης είναι μείγμα θεικού οξέως (H_2SO_4) και αποσταγμένου νερού (H_2O). Το θεικό οξύ αποτελεί περίπου το 36% του μείγματος. Είναι αρκετά ισχυρό και προκαλεί ερεθισμό όταν έρθει σε επαφή με το δέρμα και σε επαφή με τα μάτια, μπορεί να προκαλέσει μέχρι και τύφλωση. Ο ρόλος του ηλεκτρολύτη είναι να

μεταφέρει τα ηλεκτρικά φορτία που έχουν τη μορφή ιόντων, ή αλλιώς του ρεύματος, μεταξύ των πλακών. Στο επάνω μέρος της μπαταρίας υπάρχουν πόματα από όπου συμπληρώνεται αποσταγμένο νερό καθώς κατά τη λειτουργία της μπαταρίας ένα μέρος του νερού εξατμίζεται και ένα άλλο μετατρέπεται σε οξυγόνο και υδρογόνο. Για την εξαγωγή των παραγόμενων αερίων υπάρχουν ειδικά ακροφύσια . Κατά την φόρτιση των μπαταριών η παραγωγή υδρογόνου εγκυμονεί κινδύνους όπως πυρκαγιές, αν η φόρτιση γίνεται σε κλειστό, μη αεριζόμενο χώρο. Συγχρόνως με την παραγωγή υδρογόνου και οξυγόνου, κατά την φόρτιση έχουμε αύξηση της πυκνότητας του ηλεκτρολύτη επειδή παράγεται θειικό οξύ. Η πυκνότητα του ηλεκτρολύτη μιας φορτισμένης μπαταρίας σε θερμοκρασία 20⁰C περιβάλλοντος κυμαίνεται μεταξύ 1,240 και 1,280gr/cm³ .

Κατά την διαδικασία εκφόρτισης, ο ηλεκτρολύτης που βρίσκεται σε επαφή με τις πλάκες του αρνητικού πόλου από σπογγώδη μόλυβδο (Pb), μετατρέπεται σε θειικό μόλυβδο (PbSO₄). Το ενεργό υλικό των θετικών πλακών οι οποίες αποτελούνται από υπεροξείδιο του μολύβδου(PbO₂), μετατρέπονται επίσης σε θειικό μόλυβδο (PbSO₄). Μέρος του θειικού οξέως μετατρέπεται σε νερό(H₂O).

Κατά την φόρτιση, η μπαταρία τροφοδοτείται με ρεύμα φοράς αντίθετης από αυτήν του ρεύματος εκφόρτισης και οι χημικές αντιδράσεις είναι αντίθετες από αυτές της εκφόρτισης. Οι πλάκες του θετικού πόλου μετατρέπονται σε υπεροξείδιο του μολύβδου (PbO₂) και οι πλάκες αρνητικού πόλου μετατρέπονται σε σπογγώδη μόλυβδο (Pb).

Η φόρτιση των συσσωρευτών μολύβδου πρέπει να γίνεται με ρεύμα C/10. 1C είναι το ρεύμα το οποίο αντιστοιχεί στη χωρητικότητα της μπαταρίας διαιρεμένη με μια ώρα. Αν έχουμε μπαταρία 20Ah, τότε το ρεύμα φόρτισης δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 2 αμπέρ. Μπορεί να γίνει και η λεγόμενη ταχυφόρτιση με περισσότερα αμπέρ για τη μείωση χρόνου φόρτισης, όμως αυτό μειώνει τη ζωή της μπαταρίας.

Η χωρητικότητα μιας μπαταρίας εκφράζεται σε αμπερώρια. Αν έχουμε μια μπαταρία 100 αμπερωρίων(Ah) αυτό σημαίνει ότι η συγκεκριμένη μπαταρία μπορεί να εκφορτίζεται με ρεύμα 10 αμπέρ για χρονική διάρκεια 10 ωρών. Η χωρητικότητα

συνδέεται άμεσα με τον αριθμό των πλακών του κάθε στοιχείου. Περισσότερες πλάκες, μεγαλύτερη χωρητικότητα. Με την πτώση θερμοκρασίας περιβάλλοντος έχουμε μείωση της χωρητικότητας επειδή αυξάνεται η εσωτερική αντίσταση της μπαταρίας και οι χημικές αντιδράσεις πραγματοποιούνται με μεγαλύτερη δυσκολία. Η εσωτερική αντίσταση γενικά παίζει μεγάλο ρόλο στην αυτοεκφόρτιση του συσσωρευτή. Με την αύξηση της θερμοκρασίας στις πλάκες έχουμε μεγαλύτερους ρυθμούς αυτοεφόρτισης. Ακόμα και όταν ο συσσωρευτής δεν χρησιμοποιείται, αυτοεκφορτίζεται σε ποσοστό 1% της χωρητικότητάς του καθημερινά. Αυτό οφείλεται στο ότι το υπεροξείδιο του μολύβδου, που είναι το υλικό των θετικών πλακών, μαζί με τον μεταλλικό μολύβδο του σκελετού της πλάκας αποτελούν γαλβανικό στοιχείο με τη βοήθεια του ηλεκτρολύτη. Για το λόγο αυτό, μια μπαταρία προκειμένου να διατηρείται σε καλή κατάσταση πρέπει να φορτίζεται κάθε 20 μέρες.

Οι βλάβες των μπαταριών τις περισσότερες φορές έχουν να κάνουν με τη θείκωση των πλακών. Αν μια αποφορτισμένη μπαταρία μείνει για κάποιο χρονικό διάστημα χωρίς φόρτιση τότε αποκαλύπτονται οι πλάκες και μένουν εκτεθειμένες στον αέρα, καθώς η στάθμη του ηλεκτρολύτη πέφτει σιγά-σιγά. Τότε η βλάβη που προκαλείται στη μπαταρία ονομάζεται θείκωση των πλακών. Η θείκωση είναι αναπόφευκτη. Προκύπτει είτε λόγω γήρανσης είτε λόγω κακής συντήρησης, όπως έλλειψης φόρτισης. Αυτό που γίνεται στη πράξη είναι ο σχηματισμός μιας λευκής κρυσταλλικής ένωσης πάνω στις πλάκες της μπαταρίας η οποία προκύπτει από την ένωση του θείουχου μολύβδου με το νερό του ηλεκτρολύτη κατά την διάρκεια εκφόρτισης. Η στρώση της κρυσταλλικής αυτής ένωσης απομονώνει της πλάκες από τον ηλεκτρολύτη. Αυτή η στρώση με τον καιρό παχαίνει και η χωρητικότητα της μπαταρίας σταδιακά μειώνεται έως ότου η μπαταρία καταστραφεί τελείως. Η διάρκεια ζωής μίας μπαταρίας μολύβδου κυμαίνεται από 3 έως 6 χρόνια, τις περισσότερες φορές, και αυτό εξαρτάται από τον τρόπο χρήσης. Παράγοντες που επηρεάζουν αρνητικά την διάρκεια ζωής ενός συσσωρευτή είναι η φόρτιση με ρεύμα είτε πολύ μεγάλο είτε πολύ μικρό. Η διάρκεια ζωής συνδέεται άμεσα με το πάχος των θετικών πλακών. Στις μπαταρίες αυτοκινήτων το πάχος των θετικών πλακών είναι περίπου 1 χιλιοστό, στα αμαξάκια του γκολφ από 1,8 έως 2-8 χιλιοστά ενώ στα ανυψωτικά παλετών υπάρχουν πλάκες που ξεπερνάνε τα 6 χιλιοστά.

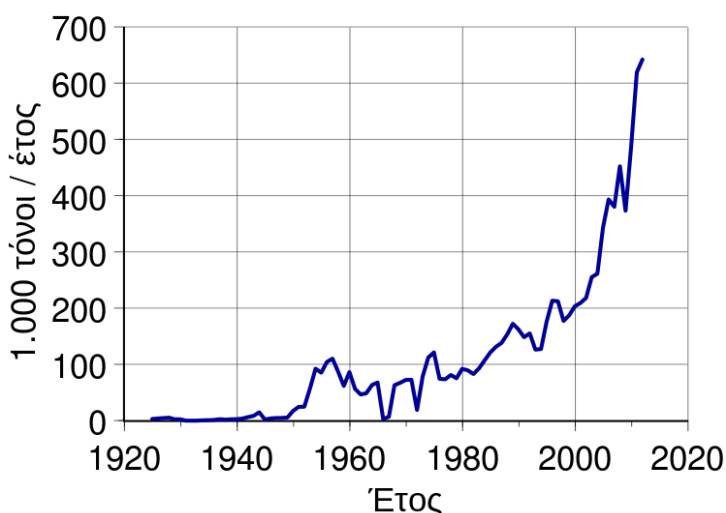
Τα όργανα με τα οποία ελέγχεται η κατάσταση κάποιου συσσωρευτή είναι το πυκνόμετρο και το βολτόμετρο ταχείας εκφορτίσεως . Το πυκνόμετρο αποτελείται από έναν γυάλινο σωλήνα ο οποίος στο επάνω μέρος έχει έναν ελαστικό αναρροφητήρα και στο κάτω μέρος υπάρχει ένα στένεμα από όπου αναρροφάται ο ηλεκτρολύτης. Μέσα στον γυάλινο σωλήνα του πυκνόμετρου υπάρχει ένας πλωτήρας ο οποίος ανάλογα με τη πυκνότητα του ηλεκτρολύτη σταματάει σε κάποια θέση στο υγρό. Από την κλίμακα που υπάρχει πάνω στον πλωτήρα διαβάζεται η πυκνότητα του ηλεκτρολύτη. Το βολτόμετρο ταχείας εκφόρτισης αποτελείται από ένα βολτόμετρο και μια αντίσταση. Το ρεύμα εκφόρτισης φτάνει τα 200 αμπερ. Για τον έλεγχο ορίζουμε στον επιλογέα πλακών τον αριθμό πλακών, αν το βολτόμετρο ταχείας εκφόρτισης μας παρέχει αυτή τη δυνατότητα, και στη συνέχεια ελέγχουμε κάθε στοιχείο ξεχωριστά. Η τάση ενός στοιχείου πρέπει να είναι πάνω από 1,8 βολτ . Για σωστή μέτρηση και για να μη φθαρεί ο συσσωρευτής από τον έλεγχο, ο χρόνος μέτρησης δεν πρέπει να είναι πάνω από 15 δευτερόλεπτα. Πριν μετρήσουμε την τάση πρέπει να μετρηθεί πρώτα η πυκνότητα του ηλεκτρολύτη και αν χρειάζεται να τον φορτίσουμε. Αν μεταξύ κάποιων στοιχείων υπάρχει διαφορά μεγαλύτερη από 30%, αυτό σημαίνει ότι το στοιχείο είναι ελαττωματικό. Εφόσον διαπιστώσουμε ότι η πυκνότητα του ηλεκτρολύτη είναι μεγαλύτερη από $1,265 \text{ gr/cm}^3$ τότε ελέγχουμε την τάση. Αν ο δείκτης του βολτομέτρου φτάσει στην πράσινη περιοχή τότε η μπαταρία είναι φορτισμένη ενώ αν φτάσει στην κίτρινη περιοχή τότε χρειάζεται φόρτιση. Σε περίπτωση που τα στοιχεία είναι στη πράσινη περιοχή εκτός από ένα τότε το συγκεκριμένο στοιχείο είναι ελαττωματικό.

Η μπαταρίες μολύβδου είναι ανακυκλώσιμες κατά 90% . Τα οξέα που περιέχουν οι μπαταρίες είναι τοξικά για το περιβάλλον και για το λόγο αυτό οι μπαταρίες στο τέλος της ζωής τους πρέπει να καταλήγουν στα κέντρα ανακύκλωσης όπου τα οξέα εξουδετερώνονται. Στις ΗΠΑ το 99% του μολύβδου από τις μπαταρίες ανακυκλώνεται. Κατά την ανακύκλωση του μολύβδου οι χημικές ιδιότητές του δεν αλλοιώνονται.

2.3 Μπαταρίες λιθίου-ιόντων

Το λίθιο είναι ένα χημικό στοιχείο και ανήκει στην οικογένεια των αλκαλικών μετάλλων. Είναι το πιο ελαφρύ μέταλλο και όπως όλα τα αλκαλικά μέταλλα είναι

ηλεκτροχημικά πολύ δραστικό και για τον λόγο αυτό φυλάσσεται συνήθως σε ορυκτέλαιο. Είναι τόσο ελαφρύ που επιπλέει στο νερό και τόσο δραστικό που στην επαφή του με το νερό, αυτό-αναφλέγεται. Λόγο της δραστικότητας του, το λίθιο δεν βρίσκεται ποτέ ελεύθερο στη φύση αλλά πάντα σε ένωση με κάποιο άλλο στοιχείο. Θεωρείται σπάνιο στοιχείο όμως βρίσκεται σχεδόν παντού στη φύση σε πολύ μικρές ποσότητες. Είναι πολύ καλός αγωγός θερμότητας και του ηλεκτρισμού. Ίχνη λιθίου έχουν εντοπιστεί στο θαλασινό νερό, στο έδαφος ακόμα και σε ζωντανούς οργανισμούς και φυτά. Η παραγωγή του λιθίου περιορίζεται κυρίως στον διαχωρισμό των αλάτων λιθίου από αλυκές, ορυκτά άλατα και το μεταλλικό νερό φυσικών πηγών. Η Χιλή είναι η πρώτη χώρα σε παραγωγή λιθίου με 11.700 τόνους το 2015 όταν η συνολική παγκόσμια παραγωγή έφτασε τους 32.500 τόνους ενώ η Βολιβία εκτιμάται ότι έχει τα μεγαλύτερα αποθέματα.



Εικόνα 10: παγκόσμια παραγωγή λιθίου

Το λίθιο μαζί με τις χημικές του ενώσεις χρησιμοποιείται σε αρκετές βιομηχανικές εφαρμογές όπως στην κατασκευή κεραμικών και γυαλιών με μεγάλη ανοχή σε υψηλές θερμοκρασίες, γράσα λιθίου, στην παραγωγή σιδήρου και αλουμινίου και στην κατασκευή μπαταριών.

Η τεχνολογία μπαταριών που έχει επικρατήσει στις μέρες μας στις επαναφορτιζόμενες μπαταρίες σε εφαρμογές όπως τα ηλεκτρικά οχήματα, στις

φορητές ηλεκτρικές συσκευές, στρατιωτικές εφαρμογές και την αεροναυπηγική είναι αυτή της λιθίου-ιόντων (Li-ion). Αυτές οι μπαταρίες σιγά-σιγά αντικαθιστούν τις μπαταρίες μολύβδου επειδή τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν οι μπαταρίες αυτές είναι η μεγαλύτερη πυκνότητα ενέργειας της τάξης των 140Wh/kg, έναντι περίπου των 55Wh/kg των μπαταριών μολύβδου, μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, μικρός ρυθμός αυτοεκφόρτισης και η τιμή ανά κιλοβατώρα πέφτει με τα χρόνια. Η GM έχει δηλώσει ότι πλέον το κόστος των μπαταριών λιθίου τους στα ηλεκτρικά οχήματα έχει πέσει στα 145\$/KWh. Η κατανάλωση ενέργειας ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου 1500 κιλών είναι γύρω στις 18 KWh ανά 100 χιλιόμετρα, όπως είναι για παράδειγμα του Nissan Leaf.

Οι μπαταρίες τεχνολογίας λιθίου-ιόντων εμφανίστηκαν τη δεκαετία το 80. Τότε το υλικό των πλακών ήταν το λίθιο και το titanium(IV) sulphide. Από εκείνη την περίοδο η τεχνολογία συνεχώς βελτιωνόταν. Το λίθιο είναι άκρως ενεργό ηλεκτροχημικά και έτσι η κατασκευή πλακών εξ ολοκλήρου από αυτό το μέταλλο, προκαλούσε πολλά προβλήματα ασφάλειας. Για το λόγο αυτό οι πλάκες λιθίου αντικαταστάθηκαν από κράματα μετάλλων λιθίου και νέα υλικά δοκιμάζονταν συνεχώς. Το 1991 η Sony έβγαλε στο εμπόριο την πρώτη επαναφορτιζόμενη μπαταρία λιθίου-ιόντων. Η συγκεκριμένη μπαταρία χρησιμοποιούσε οξείδιο λιθίου κοβαλτίου ως κάθοδο και άνθρακα για άνοδο. Το 1996 κατασκευάστηκε η μπαταρία φωσφορικού λιθίου σιδήρου. Αργότερα το 2002, ο καθηγητής Yet-Ming Chiang του MIT και η ομάδα έδειξαν ότι τα τεχνικά χαρακτηριστικά των μπαταριών λιθίου μπορούν να βελτιωθούν με την χρήση υλικών όπως αλουμίνιο, νιόβιο και ζιρκόνιο. Ο Chiang βελτίωσε την απόδοση και την χωρητικότητα το 2004, χρησιμοποιώντας σωματίδια φωσφορούχου σιδήρου διαμέτρου μικρότερης από 100 νανόμετρα. Το 2011 στην Ιαπωνία το 66% των επαναφορτιζόμενων φορητών μπαταριών ήταν τεχνολογίας λιθίου-ιόντων.

Στην πραγματικότητα πρόκειται για μια μεγάλη οικογένεια μπαταριών. Οι μπαταρίες λιθίου αποτελούνται από τρία κύρια μέρη. Την άνοδο, κάθοδο και τον ηλεκτρολύτη. Η άνοδος ή αλλιώς οι αρνητικές πλάκες αποτελούνται από άνθρακα και η κάθοδος από οξείδιο κάποιου μετάλλου. Κάθοδο λέμε το ηλεκτρόδιο στο οποίο γίνεται εναπόθεση ηλεκτρονίων μέσω του ηλεκτρολύτη από την άνοδο. Έτσι κατά την εκφόρτιση, κάθοδο αποτελούν οι θετικές πλάκες της μπαταρίας. Κατά την

φόρτιση το ρεύμα αντιστρέφεται και τα ηλεκτρόνια να εναποτίθενται στις πλάκες του αρνητικού πόλου και κατά συνέπεια κατά την φόρτιση κάθοδο αποτελούν οι αρνητικές πλάκες και άνοδο οι θετικές. Ο ηλεκτρολύτης είναι είτε άλας του λιθίου είτε κάποιο οργανικό διάλυμα .

Υπάρχουν πολλές διαφοροποιήσεις ως προς τα υλικά που χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρόδια των μπαταριών λιθίου. Ο κάθε συνδυασμός έχει τα δικά του πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ως προς το κόστος, την απόδοση, τα τεχνικά χαρακτηριστικά και την ασφάλεια. Οι φορητές ηλεκτρικές συσκευές χρησιμοποιούν κυρίως μπαταρίες λιθίου-iónτων με θετικό ηλεκτρόδιο φτιαγμένο από οξείδιο του λιθίου κοβαλτίου. (lithium cobalt oxide-LiCoO). Αυτές οι μπαταρίες χαρακτηρίζονται από μεγάλη πυκνότητα ενέργειας όμως δεν είναι οι ασφαλέστερες ειδικά αν καταστραφούν σε κάποιο ατύχημα. Τα θετικά ηλεκτρόδια(κάθοδος) από φωσφορούχο σίδηρο (Lithium iron phosphate-LiFePo), οξειδίου του λιθίου μαγνησίου(Lithium ion manganese oxide-LMnO ή LMO) και οξείδιο του λιθίου νικελίου μαγνησίου κοβαλτίου (Lithium nikel manganese cobalt oxide(LiNiMnCoO₂ ή NMC) προσφέρουν χαμηλότερη πυκνότητα ισχύος όμως μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και καλή ασφάλεια. Μπαταρίες με τέτοιες καθόδους χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπως εργαλεία χειρός και ιατρικό εξοπλισμό και στα σύγχρονα ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Οι μπαταρίες με καθόδους από οξείδιο λιθίου νικελίου κοβαλτίου αλουμινίου και(Lithium nickel cobalt aluminum oxide-LiNiCoAlO₂ ή NCA) και λιθίου τιτανίου(Lithium titanate-Li₄Ti₅O₁₂ ή LTO) είναι ιδικά σχεδιασμένες για εξειδικευμένες εφαρμογές.

Έχουν γίνει κάποιες ανακλήσεις από εταιρίες μπαταριών λιθίου íόντων επειδή έχουν σημειωθεί πυρκαγιές που οφείλονταν στις μπαταρίες. Οι μπαταρίες λιθίου κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, γίνονται επικίνδυνες και για το λόγο αυτό οι έλεγχοι στα εργοστάσια παραγωγής έχουν γίνει πιο αυστηροί .

Οι μπαταρίες λιθίου βρίσκονται στο εμπόριο σε διαφορετικά σχήματα όπως διαφορετικού μεγέθους κυλινδρικές και οι λεγόμενες πρισματικές που έχουν σχήμα ορθογωνίου παραλληλογράμμου. Οι πιο διαδεδομένες μπαταρίες λιθίου είναι τύπου 18650 οι οποίες έχουν μεγάλη εφαρμογή στους φορητούς υπολογιστές και στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα της εταιρίας Tesla Motors. Οι μπαταρίες 18650 της Panasonic

χωρητικότητας 2700mAh έχουν πυκνότητα ενέργειας 214Wh/kg και 577Wh/liter. Να σημειωθεί ότι οι μπαταρίες λιθίου-ιόντων που έχουν ως άνοδο οξείδιο του λιθίου-κοβαλτίου-αλουμινίου που τους επιτρέπει να έχουν μεγάλη πυκνότητα ισχύος και ενέργειας όμως υστερούν, σε σχέση με μπαταρίες καθόδου από φωσφορούχο σίδηρο, ως προς τη διάρκεια ζωής και την ανοχή στην υπερφόρτιση η οποία μπορεί να οδηγήσει σε πυρκαγιά. Ένα παράδειγμα μπαταρίας με κάθοδο από φωσφορούχο σίδηρο είναι η Calb CAM L135F72. Έχει πυκνότητα ισχύος 121Wh/kg και ο κατασκευαστής δηλώνει ότι υπό σωστές συνθήκες λειτουργίας η διάρκεια ζωής μπορεί να ξεπεράσει τους 2000 κύκλους φόρτισης-εκφόρτισης. Η εσωτερική της αντίσταση είναι μικρότερη από 1 mOhm. Γενικά οι κατασκευαστές μπαταριών λιθίου δηλώνουν ότι οι μπαταρίες λιθίου έχουν ποσοστό εκφόρτισης της τάξης του 1,5-2%.



Εικόνα 11: μπαταρία λιθίου φωσφορούχου σιδήρου Calb L135F72.

Η συγκεκριμένη μπαταρία παρέχει ρεύμα εκφόρτισης 216A(3C) και μέγιστο ρεύμα εκφόρτισης 576(8C) για 10 δευτερόλεπτα. Το ρεύμα φόρτισης είναι 72A που μεταφράζεται σε χρόνο φόρτισης μίας ώρας. Οι θερμοκρασίες λειτουργίας για την φόρτιση είναι από 0 έως 45⁰C ενώ για την εκφόρτιση, από -20 έως 55⁰C. Το κόστος των μπαταριών που είναι διαθέσιμες για τους καταναλωτές είναι πολύ μεγαλύτερο από αυτό που πληρώνουν οι αυτοκινητοβιομηχανίες για τις δικές τους μπαταρίες. Το κόστος της είναι γύρω στα 120 δολάρια (εξαρτάται από τον προμηθευτή). Έχει χωρητικότητα 72Ah και όπως όλες οι μπαταρίες λιθίου φωσφορούχου σιδήρου έχει

ονομαστική τάση 3,2 V και τάση φόρτισης 3,65V. Μια τυπική τιμή είναι 3,6V. Έτσι προκύπτει ότι το κόστος των μπαταριών για ένα όχημα με αυτονομία 100 χιλιόμετρα το οποίο καταναλώνει 18KWh/100χλμ. ανέρχεται σχεδόν στις 9500 δολάρια.

Οι μπαταρίες λιθίου περιέχουν λιγότερα τοξικά υλικά από άλλων τεχνολογιών μπαταρίες οι οποίες μπορεί να περιέχουν μόλυβδο ή κάδμιο. Η εξόρυξη όμως εξακολουθεί να είναι πιο φθηνή από την ανακύκλωση. Γίνονται λίγες επενδύσεις στην ανακύκλωση των μπαταριών λιθίου κυρίως λόγω του κόστους και της πολυπλοκότητας . Από τα πιο ακριβά μέταλλα που χρησιμοποιούνται στις μπαταρίες λιθίου είναι το κοβάλτιο του οποίου η παραγωγή μαζί με το νικέλιο εγκυμονούν πιθανούς κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ

3.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ηλεκτρικών αυτοκινήτων

Ο λόγος που υπάρχει συνεχώς αυξανόμενο ενδιαφέρον, στις μέρες μας, για τα ηλεκτρικά οχήματα είναι τα πλεονεκτήματα που έχουν σε σχέση με τα συμβατικά οχήματα. Έτσι λοιπόν, στη συνέχεια, θα περιγραφούν τα σημεία στα οποία υπερτερούν τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα έναντι του ανταγωνισμού. Το πρώτο τους πλεονέκτημα είναι το χαμηλό κόστος χρήσης που οφείλεται στον καλύτερο βαθμό απόδοσης που έχουν σε σύγκριση με τα αυτοκίνητα με κινητήρα εσωτερικής καύσης. Ο πιο αντικειμενικός τρόπος για να διαπιστωθεί το πόσες φορές είναι πιο αποδοτικό ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο σε σύγκριση με ένα συμβατικό ίδιου βάρους, πιστεύω ότι είναι η σύγκριση των καταναλώσεων ενέργειας ανά κάποια απόσταση και σαφώς υπό τις ίδιες συνθήκες λειτουργίας. Για να γίνει η σύγκριση αυτή, θα παρουσιαστούν μερικά αυτοκίνητα από την κάθε κατηγορία αυτοκινήτων, δηλαδή ηλεκτρικών και συμβατικών, με τις καταναλώσεις τους και στη συνέχεια θα συγκριθεί ο μέσος όρος της κάθε κατηγορίας. Να σημειωθεί ότι το κάθε αυτοκίνητο της μίας κατηγορίας με κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά όπως είναι η ισχύς και το βάρος αντιστοιχείται σε ένα όχημα της δεύτερης κατηγορίας με ανάλογα τεχνικά χαρακτηριστικά. Οι τιμές καταναλώσεων ενέργειας των ηλεκτρικών οχημάτων, στον συγκριτικό πίνακα, δημοσιεύτηκαν από το Πρακτορείο Προστασίας Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (EPA).

Ηλεκτρικό Όχημα	Κατανάλωση	Συμβατικό Όχημα	Κατανάλωση
BMW i3	17,2KWh/100χλμ.	Mercedes –Benz A220d	4,1λιτ./100χλμ. (41 KWh/100χλμ.)
Chevrolet Spark	18KWh/100χλμ.	Chevrolet Aveo 1.3 Diesel	4,1λιτ./100χλμ. (41 KWh/100χλμ.)
Volkswagen e-Golf	18,4 KWh/100χλμ.	Volkswagen Golf 1,6 TDI	3,8λιτ./100χλμ. (38KWh/100χλμ.)
Nissan Leaf	18,7 KWh/100χλμ.	Mercedes –Benz B180d	4,2λιτ./100χλμ. (42 KWh/100χλμ.)
Tesla Model S P90D	23KWh/100χλμ.	Mercedes –Benz S65 AMG	11,9λιτ./100χλμ. (107,1 KWh/100χλμ.)

ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ	19,06 KWh/100χλμ.	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ	5,62 λιτ./100χλμ. (53,82KWh/100χλμ.)
--------------------------	----------------------	--------------------------	---

Έτσι προκύπτει ότι τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα είναι τουλάχιστον 2,82 φορές πιο αποδοτικά. Το κόστος χρήσης εξαρτάται από την τιμή του ρεύματος του κράτους για το οποίο μιλάμε. Στη Κρήτη, η τιμή της κιλοβατώρας τη περίοδο Δεκέμβριος 2015-Μάρτιο 2016, ήταν γύρω στα 0,22 ευρώ,(η τιμή προέκυψε από τον λογαριασμό της ΔΕΗ του σπιτιού μου, 331 ευρώ για 1499KWh) το λίτρο βενζίνης βρισκόταν γύρω στα 1,45 ευρώ και το λίτρο πετρελαίου κίνησης γύρω στα 1,12 ευρώ. Συνεπώς το κόστος χρήσης ανά 100χλμ. για τα ηλεκτρικά προκύπτει 4,2 ευρώ και για τα αυτοκίνητα βενζίνης η πετρελαίου 8,15 και 6,3 ευρώ αντίστοιχα. Τα ηλεκτρικά οχήματα δεν χρειάζονται την συντήρηση που χρειάζονται τα βενζινοκίνητα όπως είναι η αλλαγή λαδιών και διάφορων φίλτρων, αλλαγή των μπουζί και μάντων και γενικά λόγω της πολύ πιο απλής κατασκευής είναι πιο απίθανο να παρουσιάσουν κάποιο μηχανικό πρόβλημα σε σχέση με τα συμβατικά. Οι ηλεκτροκινητήρες ίσως χρειαστούν αλλαγή των δυο ρουλεμάν στα οποία στηρίζεται ο στάτης στα 100.000 χιλιόμετρα. Τα δυο ρουλεμάν είναι τα μόνα μηχανικά μέρη σε έναν ηλεκτροκινητήρα. Οι μπαταρίες των ηλεκτρικών αυτοκινήτων συνήθως βρίσκονται στο πάτωμα του

οχήματος με τον ηλεκτροκινητήρα (αν είναι ένας) να είναι αρκετά μικρότερος από τον αντίστοιχης ισχύος ΜΕΚ και τοποθετημένος πολύ χαμηλά. Επίσης απουσιάζει το κιβώτιο ταχυτήτων μιας και η σταθερή απόδοση ροπής των ηλεκτροκινητήρων σε μεγάλο εύρος στροφών επιτρέπει την χρήση μιας και μόνο σχέσης μετάδοσης. Έτσι τα ηλεκτρικά έχουν πολύ χαμηλό κέντρο βάρους κάτι που συνεπάγεται καλύτερη οδηγική συμπεριφορά. Ένα άλλο δυνατό σημείο είναι το ότι τα ηλεκτρικά δεν εκπέμπουν ρυπογόνα αέρια στο περιβάλλον τα οποία εκτός από διάφορα περιβαλλοντικά προβλήματα που προκαλούν όπως το φαινόμενο του θερμοκηπίου, έχουν αρνητικές επιπτώσεις και στην υγεία των ανθρώπων. Η ηλεκτρική ενέργεια όμως που παράγεται παγκοσμίως προέρχεται κυρίως από ορυκτά καύσιμα και έτσι το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης μεταφέρεται από τις πόλεις στους σταθμούς παραγωγής. Όταν όμως η ηλεκτρική ενέργεια προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, των οποίων οι μονάδες παραγωγής αυξάνονται παγκοσμίως κάθε χρόνο, τότε βέβαια η εκπομπή ρύπων στην ατμόσφαιρα από την χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων είναι μηδενική.



Εικόνα 12: φωτοβολταϊκός σταθμός φόρτισης ηλεκτρικών αυτοκινήτων

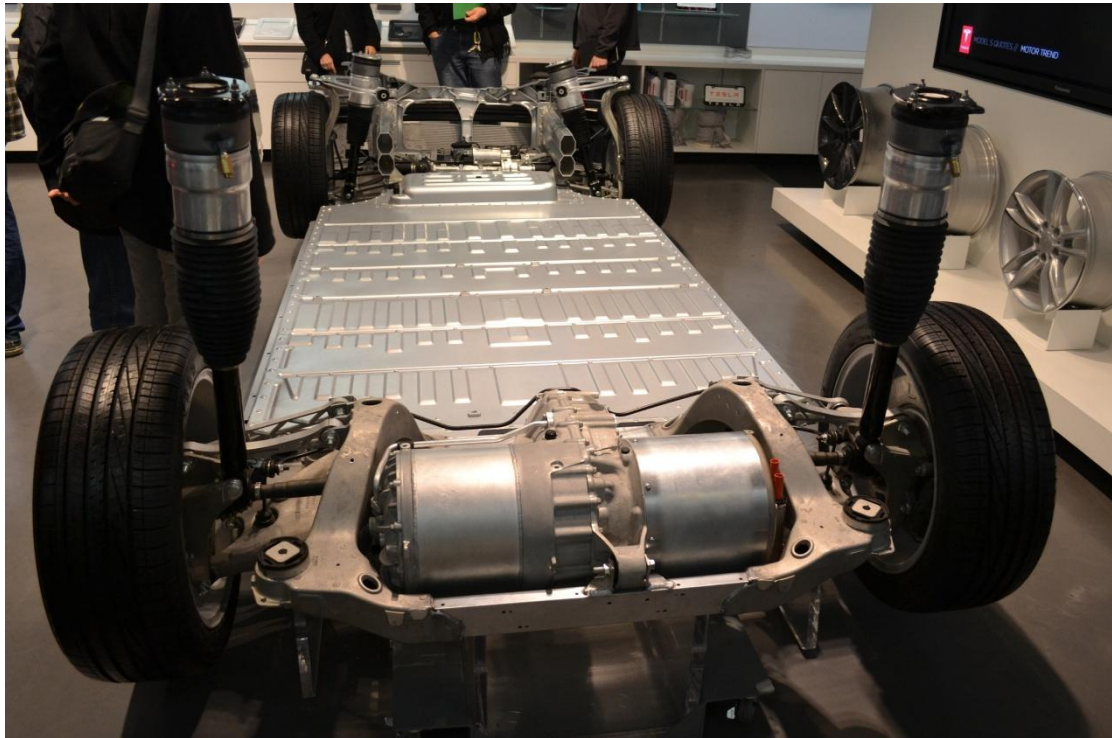
Στα μειονεκτήματα ανήκουν η αργή φόρτιση που κρατάει σε πολλές περιπτώσεις μέχρι 10 ώρες όμως η διάρκεια της φόρτισης εξαρτάται από τη χωρητικότητα της μπαταρίας, το επίπεδο στο οποίο έχει εκφορτιστεί και από την πηγή τροφοδοσίας. Οι οικιακές πρίζες έχουν έναν περιορισμό ως προς το ρεύμα που μπορούν να παρέχουν όμως στους σταθμούς φόρτισης οι οποίοι διαθέτουν ταχυφορτιστές ισχύος της τάξης των 22KW, ο οποίος μπορεί να βρεθεί και στην Ελλάδα αφού ανήκει στο δίκτυο σταθμών φόρτισης 'FORTIZO' , μπορούν σε μια ώρα να φορτίσουν μια εντελώς άδεια μπαταρία η οποία παρέχει αυτονομία περίπου 140χιλιομέτρων. Ένα άλλο θέμα είναι το κόστος απόκτησης το οποίο ξεπερνάει σε γενικές γραμμές τις 30.000 ευρώ (BMW i3, Nissan leaf) και η εγγύηση για τη μπαταρία είναι 8 χρόνια ή 160.000 χιλιόμετρα. Η αντικατάσταση της μπαταρίας καλύπτεται από την εγγύηση αν η χωρητικότητά της πέσει κάτω από το 70% της αρχικής πριν το πέρας 8 ετών λειτουργίας(BMW i3, Nissan leaf). Ωστόσο, αν το αυτοκίνητο χρειαστεί αλλαγή μπαταρίας μετά τη λήξη της εγγύησης τότε αυτή θα κοστίσει 5.499 δολάρια για το Leaf(έκδοση με 24KWh μπαταρία) με την προϋπόθεση ότι η παλιά μπαταρία θα δοθεί στην αντιπροσωπεία και 13.725 δολάρια για το i3.

3.2 Tesla Model S

Το αυτοκίνητο που έφερε την επανάσταση στον σύγχρονο κόσμο των ηλεκτρικών αυτοκινήτων με τις απίστευτες επιδόσεις και την πολύ καλή ποιότητα κατασκευής είναι το Model S της Tesla. Η παραγωγή αυτού του μοντέλου ξεκίνησε το 2012. Η Tesla χρησιμοποιεί μπαταρίες λιθίου-ιόντων σε όλα της τα αυτοκίνητα, οι οποίες αποτελούν προϊόν συνεργασίας με την Panasonic και είναι τύπου 18650. Το 18 αντιστοιχεί σε διάσταση της διαμέτρου της μπαταρίας σε χιλιοστά και το 65 δηλώνει το μήκος της σε χιλιοστά. Το μέγεθος αυτό χρησιμοποιείται σε πολλούς φορητές υπολογιστές. Στο Model S σε έκδοση 85KWh γίνεται εγκατάσταση 7104 μπαταριών σε διαφορετικές συνδεσμολογίες μεταξύ τους.



Εικόνα 13: μπαταρία 18650 που χρησιμοποιείται στα αυτοκίνητα Tesla.



Εικόνα 14: σασί του Model S με τις μπαταρίες να καταλαμβάνουν όλο το πάτωμα και πίσω φαίνεται ο ηλεκτροκινητήρας με τον inverter(έκδοση με ένα ηλεκτροκινητήρα)

Η βασική έκδοση του Model S κοστίζει στις ΗΠΑ 66.000 δολάρια με έναν ηλεκτροκινητήρα στον πίσω άξονα ισχύος 285KW(382 Hp) και μπαταρία 60KWh. Υπάρχουν πολλές εκδόσεις με διαφορετικής απόδοσης ηλεκτροκινητήρες και χωρητικότητας των μπαταριών με την κορυφαία να κοστίζει 118.000 δολάρια και να διαθέτει μπαταρία 90KWh και δύο ηλεκτροκινητήρες. Η μπαταρία επιτρέπει στο αυτοκίνητο να διανύει σύμφωνα με τον Νέο Ευρωπαϊκό Κύκλο Οδήγησης (NEDC),μέχρι και 509 χιλιόμετρα με μία φόρτιση. Ο δύο ηλεκτροκινητήρες βρίσκονται στον πίσω και μπροστινό άξονα και έχουν συνδυασμένη απόδοση 568KW(762Hp) και 967Nm ροπής. Αυτή επιτρέπει στο αυτοκίνητο να επιταχύνει από στάση μέχρι τα 96χλμ./ώρα σε 2,8 δευτερόλεπτα πετυχαίνοντας κατά το πρώτο δευτερόλεπτο της επιτάχυνσης δυνάμεις 1,12g και είναι το πρώτο παγκοσμίως σεντάν με τέτοια επιτάχυνση. Η τελική του αυτοκινήτου είναι ηλεκτρονικά περιορισμένη στα 250 χλμ./ώρα και οι επιδόσεις αυτές πετυχαίνονται χωρίς κιβώτιο ταχυτήτων καθώς χρησιμοποιείται μια σταθερή σχέση μετάδοσης.



Εικόνα 15: Tesla Model S 2012

Σημειώνονται μεγάλα βήματα και στη τεχνολογία των κυψελών καυσίμου οι οποίες παράγουν ηλεκτρισμό με τη χρήση του υδρογόνου, μάλιστα η Toyota έβγαλε στη παραγωγή το Mirai το 2014 και λειτουργεί με την τεχνολογία κυψελών καυσίμου. Κοστίζει 57.500 δολάρια στις ΗΠΑ και έχει αυτονομία 502 χιλιόμετρα καταναλώνοντας 5κιλά υδρογόνου. Όμως η παραγωγή του ίδιου του υδρογόνου χρειάζεται μεγάλες ποσότητες ενέργειας και είναι πολύ ακριβή. Κάτι που μελλοντικά δε φαίνεται να αλλάζει. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε συνδυασμό με τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα φαίνεται να είναι από τις λίγες τεχνολογίες που μελλοντικά μπορούν να επιφέρουν μεγάλες αλλαγές στο πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και της απεξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΠΡΑΚΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

4.1 Εισαγωγή

Είδαμε στο θεωρητικό μέρος τις καταναλώσεις ενέργειας διάφορων ηλεκτρικών αυτοκινήτων και τη σύγκριση της μέσης τιμής κατανάλωσης ενέργειας ανά 100 χιλιόμετρα των ηλεκτρικών οχημάτων με αυτή της μέσης τιμής κατανάλωσης βενζίνης, και κατά συνέπεια ενέργειας, των αντίστοιχων σύγχρονων αυτοκινήτων βενζίνης. Έτσι, διαπιστώθηκε το πόσες φορές αποδοτικότερα ως προς την αξιοποίηση ενέργειας είναι τα ηλεκτρικά οχήματα. Για να δω και στη πράξη αυτή τη διαφορά απόδοσης, αποφάσισα να μετατρέψω ένα όχημα που αρχικά χρησιμοποιούσε κινητήρα εσωτερικής καύσης σε ηλεκτρικό, δηλαδή με αντικατάσταση του κινητήρα εσωτερικής καύσης και όλων των υποσυστημάτων που απαιτούνται για την λειτουργία του όπως είναι το σύστημα τροφοδοσίας βενζίνης, η εξάτμιση, σύστημα λίπανσης, σύστημα ψύξης και τα ηλεκτρικά-ηλεκτρονικά συστήματα, με έναν ηλεκτρικό κινητήρα για την πρόωση του οχήματος, μια συστοιχία μπαταριών που αντικαθιστά την δεξαμενή καυσίμου και τέλος μια ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου των στροφών του ηλεκτροκινητήρα. Αν στο τέλος κατάφερα να το κάνω να κινείται με ταχύτητα τουλάχιστον 40 χλμ./ώρα σε επίπεδο δρόμο, τότε θα σύγκρινα τις καταναλώσεις πριν και μετά την μετατροπή υπό τις ίδιες συνθήκες λειτουργίας. Βασικός περιορισμός για αυτή τη δουλειά ήταν το οικονομικό θέμα. Ήθελα να κάνω την μετατροπή όμως ξοδεύοντας όσο το δυνατόν λιγότερα χρήματα. Το όχημα που μετατράπηκε είναι μια μοτοσυκλέτα Yamaha Super Tenere, μοντέλο του 1989, με δικύλινδρο μοτέρ σε σειρά 750 κυβικών και απέδιδε ισχύ 70 ίππων στις 7500στροφές και 68 Nm ροπής στις 6750 στροφές. Το συνολικό βάρος ήταν 236 κιλά (με υγρά). Τη μοτοσυκλέτα μου τη παραχώρησε ένας φίλος και εξαρχής είχε πρόβλημα στον κινητήρα και για αυτό η απόφαση της μετατροπής ήταν πιο εύκολη. Η μετατροπή γίνεται μόνο για τον σκοπό του πρακτικού μέρους της πτυχιακής και όχι για χρήση.

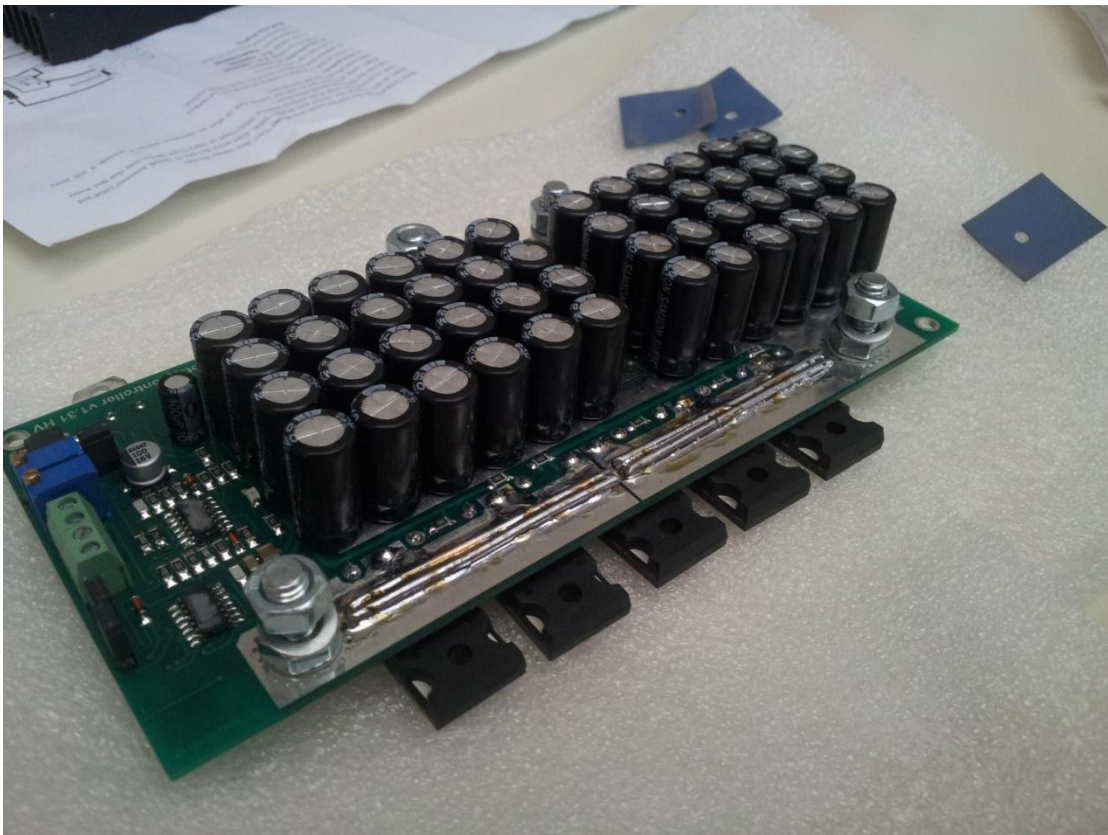
4.2 Ηλεκτρικό μέρος

Ο ηλεκτρικός κινητήρας ήταν διαθέσιμος ήδη μιας και αποτελούσε εργαστηριακό εξοπλισμό όπως και ο ελεγκτής στροφών του κινητήρα. Όμως επειδή ο πρώτος ελεγκτής κάηκε λόγω δικού μου λάθους στην προσπάθεια εγκατάστασής του, στη πορεία αγόρασα έναν καινούργιο. Όταν έκαψα τον αρχικό ελεγκτή, σκέφτηκα ότι έπρεπε να εγκαταλείψω την μετατροπή επειδή κατάλαβα ότι είχα υπερεκτιμήσει τις ικανότητές μου στον ηλεκτρολογικό τομέα. Όμως αποφασίστηκε να αγοραστεί νέος ελεγκτής με ικανότητα διαχείρισης μικρότερης ισχύος από τον αρχικό, λόγω κόστους. Ο ηλεκτροκινητήρας είναι της Αμερικάνικης εταιρίας Briggs & Stratton. Πρόκειται για έναν ηλεκτροκινητήρα συνεχούς ρεύματος, μέγιστης τάσης εισόδου 48V με μόνιμους μαγνήτες στον στάτη. Οι μέγιστες στροφές λειτουργίας του είναι 3456 στροφές το λεπτό στα 48V. Έχει ονομαστική ισχύ 6 ίππων και μέγιστη ισχύ 15 ίππων για 1 λεπτό. Το βάρος του είναι 9 κιλά. Πιο αναλυτικά χαρακτηριστικά του κινητήρα βρίσκονται στο παράρτημα 6. Η τιμή διαδικτύου είναι γύρω στα 500 δολάρια.

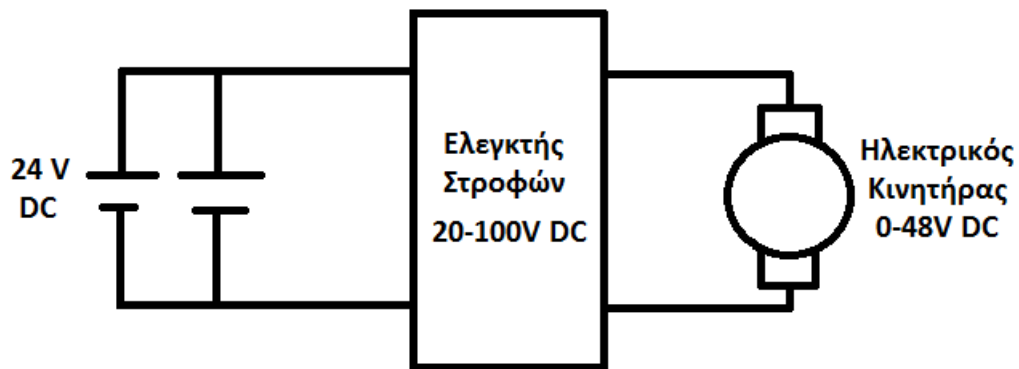


Εικόνα 16: ηλεκτροκινητήρας ETEC DC 48V

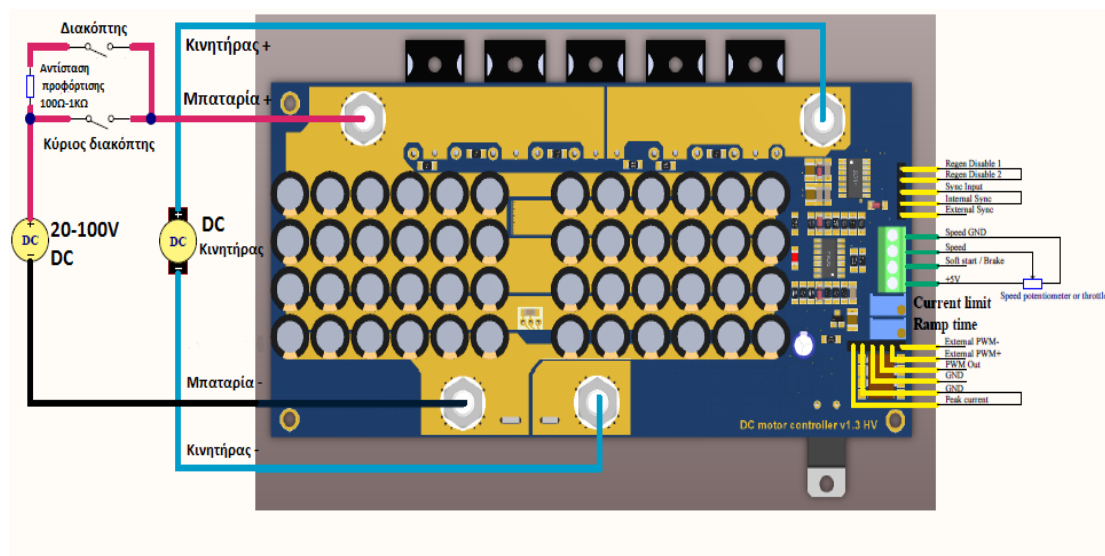
Ο ελεγκτής που αγοράστηκε ήταν ονομαστικού ρεύματος 100A και μέγιστου ρεύματος 200A για 5 δευτερόλεπτα και τάσης εισόδου από 20 έως 100V. Ο αρχικός ήταν ο Altrax AXE4834 για τάση 24-48V και ρεύμα έως 300A. Η δουλειά του ελεγκτή είναι η μεταβολή της τάσης της μπαταρίας, μέσω της διαμόρφωσης εύρους παλμών (PWM), που συνεπάγεται και μεταβολή των στροφών του ηλεκτροκινητήρα. Το κόστος του καινούργιου ελεγκτή ήταν 110 δολάρια και αγοράστηκε από το διαδίκτυο. Τα αναλυτικά του χαρακτηριστικά βρίσκονται στο παράρτημα 7.



Εικόνα 17: ελεγκτής στροφών DC ηλεκτροκινητήρα 100A 0-100V



Εικόνα 18: Συνδεσμολογία μπαταριών-ελεγκτή-ηλεκτροκινητήρα



Εικόνα 19: διάγραμμα συνδεσμολογίας του ελεγκτή

Όπως αποδείχτηκε στη πορεία, η ισχύς που μπορούσε να διαχειριστεί αυτή η πλακέτα δεν ήταν αρκετή για να κινήσει την μοτοσυκλέτα επαρκώς. Κατά τις απότομες εκκινήσεις είχα μετρήσει πάνω από μια φορά ρεύμα της τάξης των 400A όμως για χρονική διάρκεια όχι μεγαλύτερη από 2 δευτερόλεπτα. Αυτό συνέβαινε επειδή η πλακέτα του ελεγκτή διαθέτει κύκλωμα προστασίας, ρόλος του οποίου είναι διπλός, να μειώνει την ένταση του ρεύματος όταν αυτή ξεπερνάει τα 200A και τη θερμοκρασία του ελεγκτή όταν αυτή ξεπερνάει τους 75 °C. Αποτέλεσμα αυτού ήταν το ρεύμα που ήταν διαθέσιμο στην εκκίνηση, 400A, να περιορίζεται στα 75A. Πιο συγκεκριμένα, τα 400A που αντιστοιχούν σε ισχύ 9,6KW (24*400) ήταν αρκετά για

μία δυνατή εκκίνηση. Ενώ τα 75A που αντιστοιχούν σε ισχύ 1,8KW επαρκούσαν μόνο για ταχύτητα 15χλμ/ώρα σε επίπεδο ασφαλοστρωμένο δρόμο.

Οι μπαταρίες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν της εταιρίας Exide, ήταν μολύβδου-οξέως, 4 σε αριθμό. Η κάθε μία ήταν τάσης 12V και χωρητικότητας 19Ah. Συνδέθηκαν παράλληλα (2+2) για τάση 24V. Η κάθε μπαταρία ζύγιζε 6 κιλά και συνολικά κόστισαν 60 ευρώ λόγω φιλικής προσφοράς. Η φόρτισή τους γινόταν έξω από τη μοτοσικλέτα με συνηθισμένους φορτιστές αυτοκινήτου.



Εικόνα 20: δύο από τις τέσσερις μπαταρίες που χρησιμοποιήθηκαν πάνω στη βάση η οποία βρίσκεται υπό κατασκευή.

Πραγματοποιήθηκαν στη συνέχεια μετρήσεις ταχύτητας, ρεύματος και τάσης, αρχικά σε επίπεδο και στη συνέχεια σε κατηφορικό δρόμο, κλίσης 5%. Αναλυτικά, σε επίπεδη επιφάνεια επιτεύχθηκε ταχύτητα 15χλμ/ώρα, ένταση ρεύματος 76A και τάση στον ηλεκτροκινητήρα 8,1V. Σε κατηφορικό δρόμο η μηχανή έφτασε τα 40χλμ/ώρα, οι τιμές ρεύματος και τάσης ήταν 23V και 72A αντίστοιχα. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε υπολογισμός της αποδιδόμενης ισχύος και του βαθμού απόδοσης του ηλεκτροκινητήρα (αναλυτικά παρακάτω). Ήταν ξεκάθαρο πως χρειαζόταν

ισχυρότερος ελεγκτής. Η ανάγκη αυτή προέκυπτε από το γεγονός ότι τα 400A που είχα κατά τις εκκινήσεις ήταν πολύ περισσότερα από το ονομαστικό ρεύμα των 100A του ελεγκτή . Χρειαζόμουν έναν ελεγκτή ονομαστικού ρεύματος 400A. Παρ' όλα αυτά, ενθουσιασμένος από το ότι η μηχανή λειτουργούσε και προχωρούσε έστω και πολύ αργά, συνέχισα να τη κυκλοφορώ ξέροντας όμως ότι ο ελεγκτής δε θα άντεχε για πολύ. Την τρίτη μέρα χρήσης η πλακέτα κάηκε. Όπως και να έχει τα 400A στα 24V παρείχαν καλή εκκίνηση όμως ήταν απαγορευτικά για τον ελεγκτή.

4.3 Μηχανολογικό μέρος

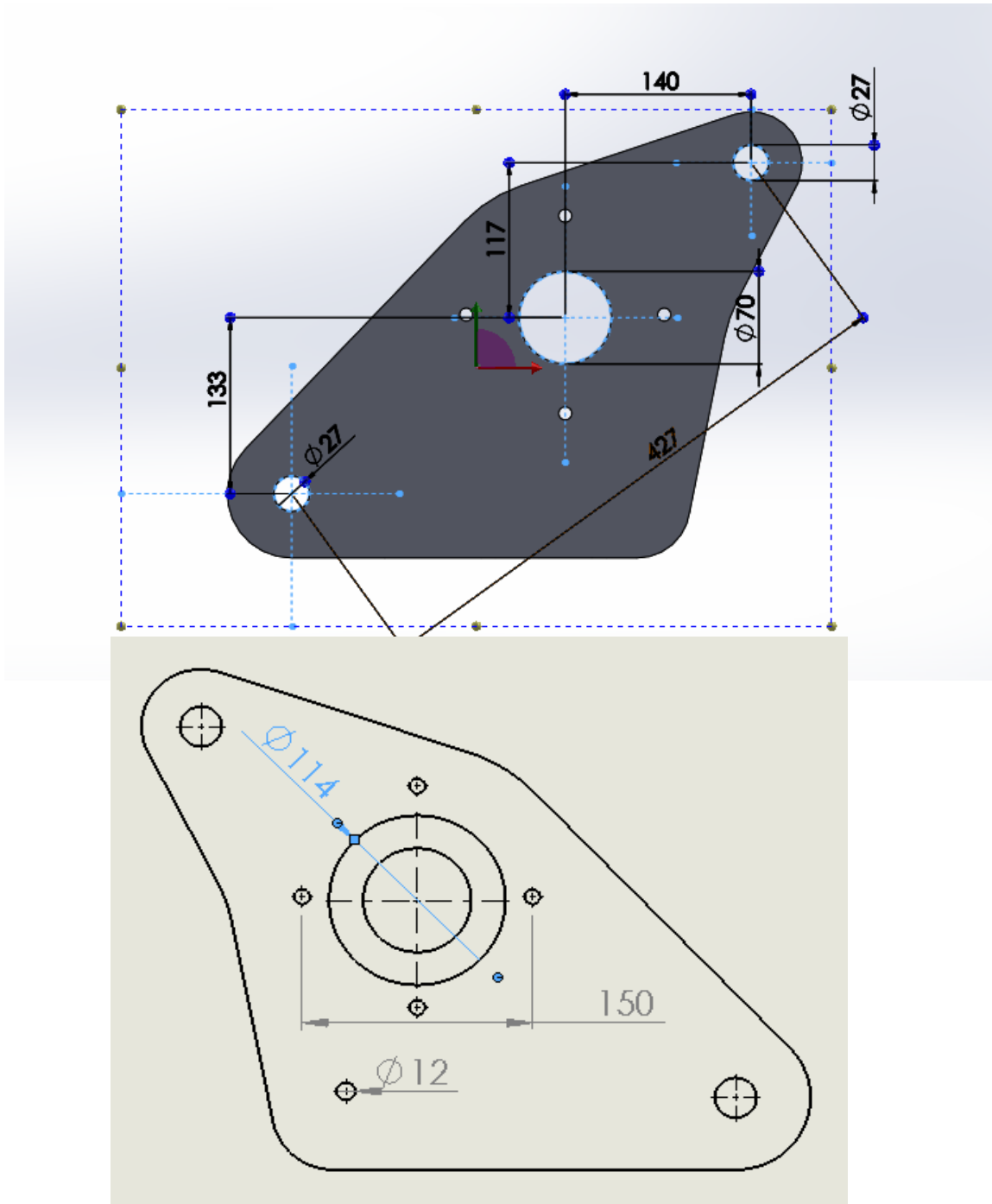
Το μηχανολογικό μέρος περιλάμβανε την στερέωση του κινητήρα και των μπαταριών και επιλογή γραναζιού για των ηλεκτροκινητήρα ώστε η σχέση μετάδοσης να είναι αρκετά μεγάλη ώστε η ροπή εκκίνησης να είναι μεγάλη και κατά συνέπεια το ρεύμα εκκίνησης, να είναι μικρότερο, όμως ταυτόχρονα η τελική ταχύτητα της μηχανής να είναι γύρω στα 50 χιλιόμετρα την ώρα δεδομένου των 3456 στροφών του ηλεκτροκινητήρα, μιας και επρόκειτο για πειραματική εργασία και όχι ένα όχημα που προοριζόταν για χρήση. Για να μεγαλώσω την σχέση μετάδοσης έπρεπε είτε να μικρύνω το κινητήριο γρανάζι είτε να μεγαλώσω το γρανάζι του τροχού είτε και τα δύο. Από το εργοστάσιο, η μηχανή είχε γρανάζι μπροστά με 16 δόντια και γρανάζι πίσω(του τροχού), 46 δόντια. Η αλλαγή του πίσω γραναζιού ήταν πολύ πιο ακριβή από την αλλαγή του μπροστινού και έτσι αποφασίστηκε να μπει μπροστά όσο γίνεται πιο μικρό και αυτό προέκυψε να είναι 10 δοντιών. Με 10 δόντια στο κινητήριο γρανάζι και 46 δόντια πίσω προέκυπτε μια σχέση μετάδοσης 4,6:1. Αυτό σημαίνει ότι για μια περιστροφή του τροχού, ο άξονας του ηλεκτροκινητήρα πρέπει να περιστραφεί 4,6 φορές που ταυτόχρονα σημαίνει πολλαπλασιασμός της αποδιδόμενης ροπής του ηλεκτροκινητήρα κατά 4,6 φορές. Με αυτήν την σχέση μετάδοσης προκειμένου να υπολογιστεί η τελική ταχύτητα της μηχανής(θεωρητική) έπρεπε να υπολογιστεί η περιφέρεια του πίσω τροχού. Αυτή υπολογίστηκε 1,95μιας και η διάμετρος του τροχού ήταν 0,62 μέτρα. Οι στροφές του τροχού είδαμε ότι είναι λιγότερες κατά 4,6 φορές από τις στροφές του ηλεκτροκινητήρα. Έτσι επειδή οι μέγιστες στροφές του κινητήρα είναι 3456 στροφές το λεπτό τότε οι μέγιστες στροφές του τροχού θα είναι 751,3 στροφές το λεπτό. Με 751,3 στροφές το λεπτό του πίσω τροχού, μοτοσυκλέτα θα διανύσει απόσταση $751,3 \cdot 1,95$ μέτρα που είναι η

περιφέρειά του, 1465 μέτρα σε χρόνο ενός λεπτού. Αυτή θα είναι και η θεωρητική, μέγιστη ταχύτητα της μηχανής, δηλαδή 1465 μέτρα το λεπτό ή αλλιώς 87,9 χλμ/ώρα. Η ταχύτητα προέκυψε αρκετά μεγαλύτερη από τον αρχικό στόχο τον 50χλμ/ώρα όμως για να μη ξοδευτούν γύρω στα 120 ευρώ για μεγαλύτερο πίσω γρανάζι και αλυσίδα, συγκεκριμένα το πίσω γρανάζι έπρεπε να έχει 80 δόντια ώστε να υπάρχει μείωση στροφών 8 φορές για την μέγιστη ταχύτητα των 50 χλμ./ώρα, (το μπροστινό γρανάζι έκανε 6 ευρώ και η αλυσίδα έμενε εργοστασιακή) η σχέση μετάδοσης έμεινε 4,6:1. Αν η σχέση μετάδοσης αντιστοιχούσε στα 50 χλμ/ώρα με τις μέγιστες στροφές του ηλεκτροκινητήρα τότε και η ροπή εκκίνησης θα ήταν περίπου κατά 45% μεγαλύτερη και το ρεύμα εκκίνησης μικρότερο.



Εικόνα 21: κινητήριο γρανάζι 10 δοντιών και εργοστασιακό γρανάζι τροχού 46 δοντιών με την εργοστασιακή αλυσίδα.

Δεύτερο ζήτημα αποτελούσε ο σχεδιασμός και κατασκευή μιας βάσης για τον ηλεκτροκινητήρα. Η βάση σχεδιάστηκε πρώτα σε ένα υπολογιστικό πρόγραμμα σχεδιασμού(SolidWorks) και όταν πήρα την έγκριση από τον επιβλέπων καθηγητή, ζήτησα από το εργαστήριο των CNC εργαλειομηχανών να μου κατασκευάσουν τη βάση από το φύλλο μετάλλου 8 χιλιοστών που τους πήγα μαζί με το σχέδιο.



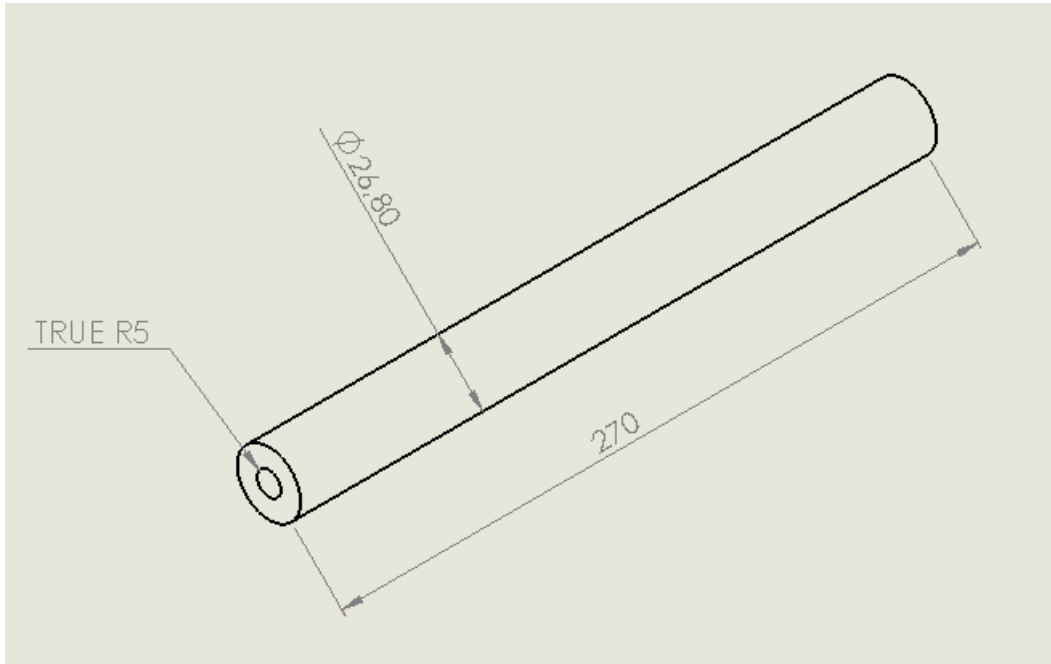
Εικόνα 22: βάση ηλεκτροκινητήρα σχεδιασμένη στο SolidWorks

Για την στήριξη της βάσης αυτής στον σκελετό της μοτοσικλέτας χρησιμοποιήθηκαν τα εργοστασιακά σημεία στήριξης του σκελετού που συγκρατούσαν τον κινητήρα εσωτερικής καύσης. Ο κινητήρας εσωτερικής καύσης είχε τρία σημεία στήριξης με τον σκελετό όπως φαίνεται στην από κάτω φωτογραφία.



Εικόνα 23: τα τρία σημεία στήριξης του κινητήρα MEK

Η στήριξη γινόταν με τον κινητήρα να βρίσκεται μέσα στον σκελετό και να συγκρατείται με τρεις κοχλίες που διαπερνούσαν τον σκελετό με τον κινητήρα και από την άλλη μεριά του σκελετού βίδωναν περικόχλια. Τα τρία σημεία του εργοστασιακού κινητήρα που χρησιμοποιούνταν για στήριξη προσομοιάστηκαν με τρεις σιδερένιους κυλίνδρους, οι οποίοι φτιάχτηκαν στον τόρνο, διαμέτρου περίπου 26,8 χιλιοστών με διαμπερή οπή στο κέντρο τους διαμέτρου 10 χιλιοστών για να περαστούν οι εργοστασιακοί κοχλίες και να συγκρατήσουν σταθερά τους κυλίνδρους στον σκελετό της μηχανής.



Εικόνα 24: ένας από τους τρεις κύλινδρους

Η βάση του ηλεκτροκινητήρα που κατασκευάστηκε περιέχει δυο οπές των 27 χιλιοστών από τους οποίους περνάνε οι δύο από τους τρεις κύλινδρους. Η βάση στηρίζεται και αυτή σε τρία σημεία, δύο εκ των οποίων είναι οι μεταλλική κύλινδροι και το τρίτο σημείο στήριξης θα περιγραφεί αργότερα. Από κάτω στην εικόνα φαίνεται η μεταλλική βάση και οι κύλινδροι στήριξης, εκτός και εντός του σκελετού.



Εικόνα 25: βάση ηλεκτροκινητήρα και οι κύλινδροι στήριξης εκτός σκελετού



Εικόνα 26: βάση πάνω στον σκελετό με ένα από τα δύο πλαϊνά 'νεύρα' του σκελετού αφαιρεμένο



Εικόνα 27: η βάση τοποθετημένη στον σκελετό

Έπρεπε να στηριχθεί όμως και η κάτω γωνία της βάσης η οποία ουσιαστικά βρισκόταν στον αέρα μιας και ο σιδερένιος κύλινδρος που αντιστοιχούσε στο τρίτο σημείο πρόσδεσης του εργοστασιακού κινητήρα, βρισκόταν εκτός κατάλληλης θέσης. Όπως φαίνεται και στις φωτογραφίες από πάνω, σε κάθε μεταλλικό κύλινδρο ηλεκτροκολλήθηκαν μακρόστενα παξιμάδια στα οποία βιδώνουν κοχλίες από τη μεριά της βάσης και υπάρχουν και ενδιάμεσα δύο παξιμάδια με τα οποία ρυθμίζεται η ευθυγράμμιση της βάσης με τον πίσω τροχό η αλλιώς η ευθυγράμμιση του γραναζιού του ηλεκτροκινητήρα με το γρανάτζι του τροχού καθώς η βάση σχεδιάστηκε ώστε να μπορεί να κινείται πάνω στους δύο κυλίνδρους που λειτουργούν σαν οδηγοί. Με αυτό το σύστημα λύθηκε και το μικρό πρόβλημα της στήριξης του τρίτου σημείου. Όταν σφίγγονταν όλα τα παξιμάδια, η βάση πακτωνόταν σε μια θέση ως προς το σκελετό και έτσι και το τρίτο σημείο της βάσης που έμενε στον αέρα, ακινητοποιούταν σε μία θέση. Οι κοχλίες που ρύθμιζαν την θέση της βάσης ως προς τους κυλίνδρους, που λειτουργούσαν σαν οδηγοί για τη βάση, είχαν σπείρωμα M12.

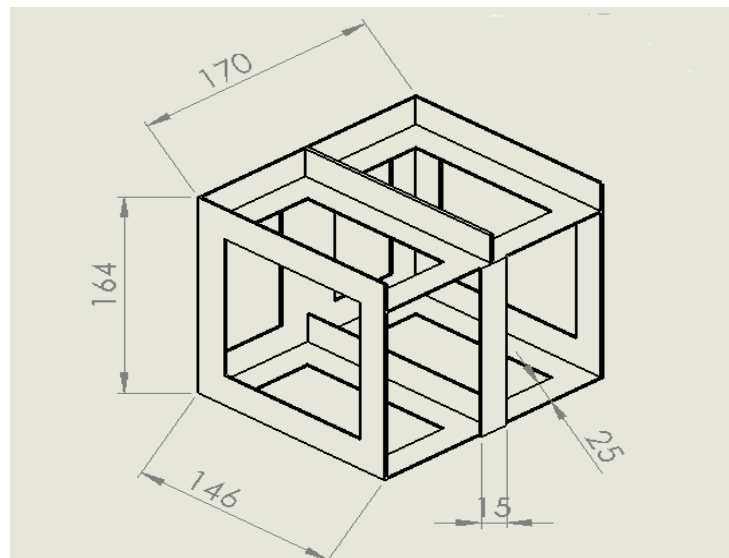


Εικόνα 28: στήριξη του τρίτου σημείου της βάσης

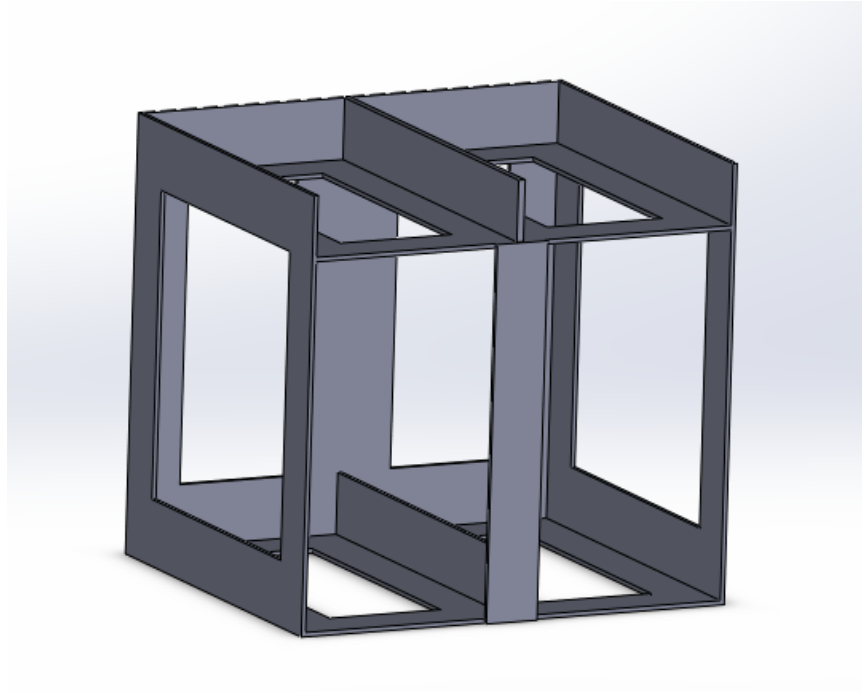
Στη συνέχεια φτιάχτηκε η βάση για τις μπαταρίες τα οποία στερεωνόταν στη μοτοσυκλέτα σε δύο σημεία. Το ένα σημείο ήταν ο κοχλίας που φαίνεται στην από πάνω φωτογραφία και το δεύτερο σημείο φαίνεται στην από κάτω φωτογραφία.



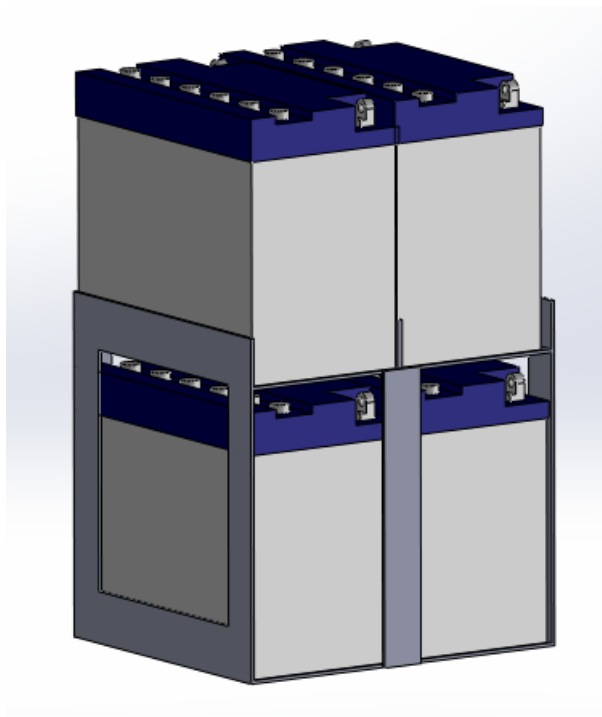
Εικόνα 29: τα δύο σημεία στήριξης της βάσης των μπαταριών



Εικόνα 30: σχέδιο της βάσης των μπαταριών



Εικόνα 31: σχέδιο βάσης των μπαταριών στο SolidWorks



Εικόνα 32: σχέδιο συναρμολόγησης της βάσης με τις μπαταρίες



Εικόνα 33: βάση μπαταριών κατασκευασμένη με τα σημεία στήριξης

Στην από κάτω φωτογραφία φαίνεται το πώς γινόταν η στήριξη της βάσης των μπαταριών στον μεταλλικό κύλινδρο.

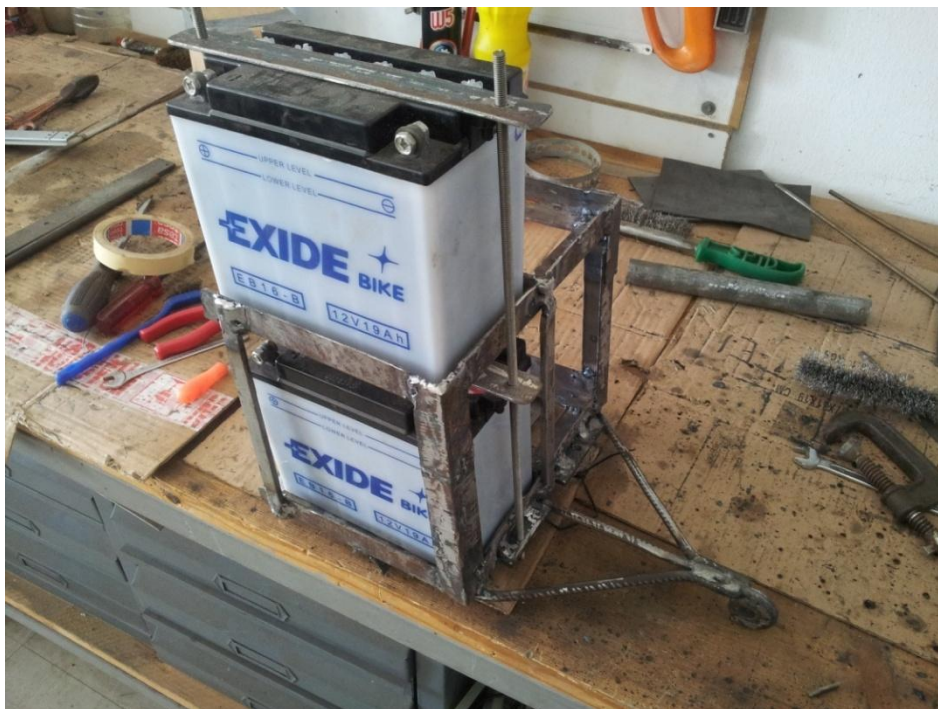


Εικόνα 34: ένας από τους δύο τρόπους συγκράτησης της βάσης των μπαταριών

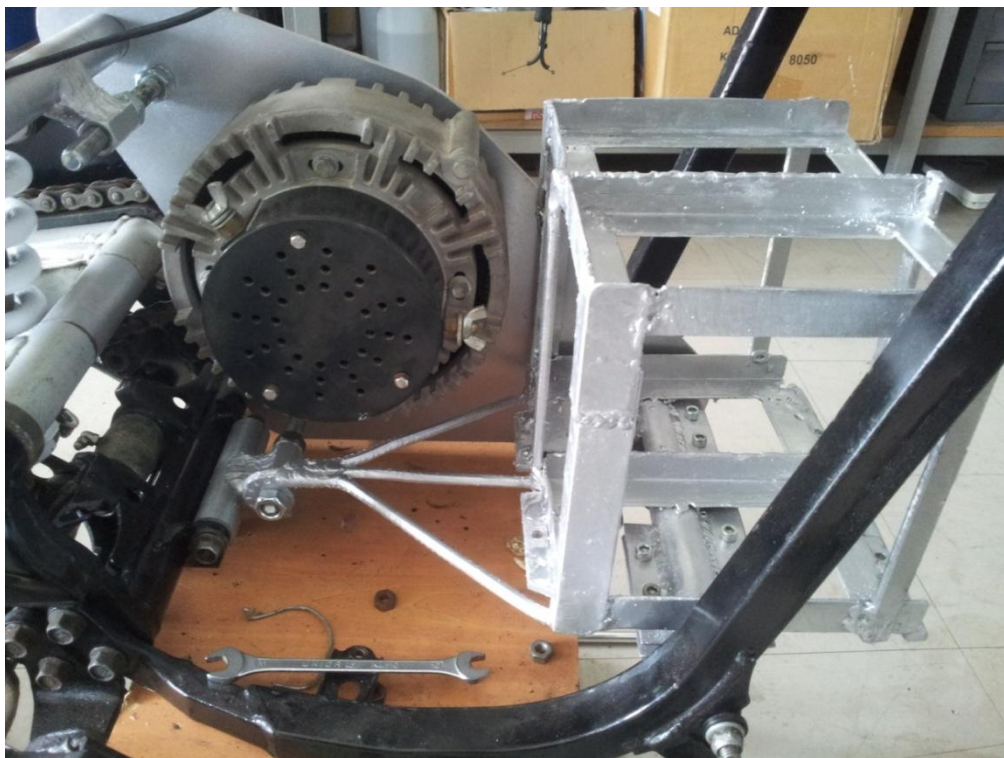


Εικόνα 35: τρόπος συγκράτησης της βάσης

Οι μπαταρίες στερεώνονταν στη βάση με τη βοήθεια νιζών οι οποίες έφεραν μεταλλικές λάμες που σφίγγονταν με παξιμάδια και ακινητοποιούσαν τις μπαταρίες.



Εικόνα 36: τρόπος συγκράτησης των μπαταριών



Εικόνα 37: τοποθετημένος κινητήρας και βάση των μπαταριών



Εικόνα 38: η μηχανή σε φάση μετρήσεων ισχύος

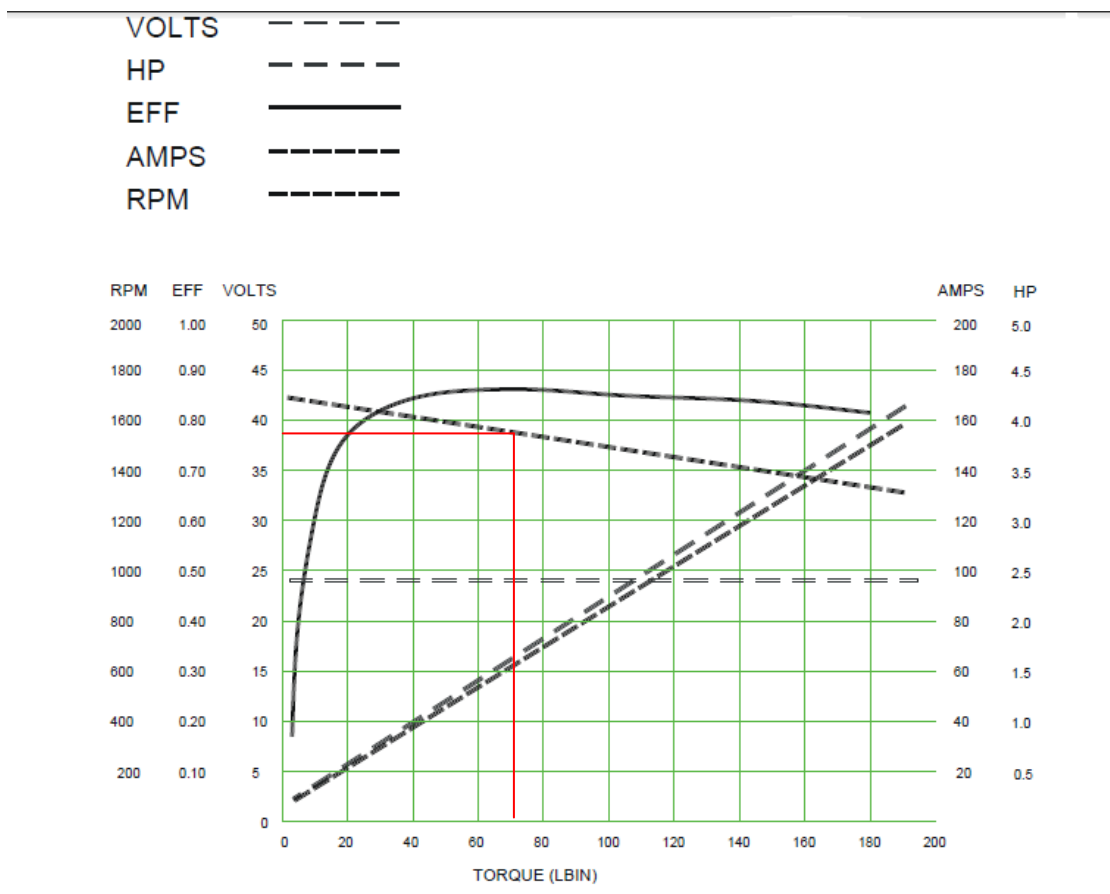


Εικόνα 39: η μηχανή στην τελική της μορφή

Κατά τις δοκιμές, όπως και προανέφερα, διαπιστώθηκε ότι η ισχύς που μπορεί να διαχειριστεί ο ελεγκτής είναι μικρότερη από όση χρειάζεται. Με αποτέλεσμα η μηχανή να κινείται σε επίπεδη επιφάνεια με ταχύτητα 15 χιλιομέτρων την ώρα και σε κατηφόρα κλίσης 5% μπόρεσε να φτάσει τα 40 χλμ./ώρα με τις τιμές της τάσης στον κινητήρα και του ρεύματος που τον διέρρηε να είναι 23V και 70A αντίστοιχα, κάτι που μεταφράζεται σε ισχύ 1610watt. Ισχύς η οποία θα κινούσε καλά ένα ποδήλατο όμως όχι μια μοτοσικλέτα βάρους περίπου 150 κιλών.

Η απόδοση του ηλεκτροκινητήρα υπό αυτές τις συνθήκες υπολογίζεται από τον τύπο $\eta = (T \cdot \omega) / (V \cdot I)$. Όπου $T \cdot \omega$ είναι το γινόμενο της αποδιδόμενης ροπής επί την γωνιακή ταχύτητα περιστροφής, το οποίο αντιστοιχεί στη μηχανική ισχύ. Το γινόμενο $V \cdot I$ είναι η τιμή της τάσης επί το ρεύμα και αντιστοιχεί στην ηλεκτρική ισχύ και είναι στη περίπτωση μας 1610W. Η γωνιακή ταχύτητα του ηλεκτροκινητήρα για ταχύτητα της μηχανής 40 χλμ./ώρα και σχέση μετάδοσης 4,6:1 είναι

164,68rad/sec. Η τιμή αυτή προέκυψε ως εξής: 40 χλμ./ώρα είναι 40000/60 μέτρα το λεπτό που αν διαιρεθεί με την περίμετρο του τροχού μας δίνει τις στροφές του το λεπτό και έτσι έχουμε $(40000\text{m}/60\text{min})/1,95\text{m}=342 \text{ rpm}$. Με μια σχέση μετάδοσης 4,6:1, έχουμε 1572 rpm του ηλεκτροκινητήρα που από την σχέση $2\pi n/60$ μας δίνει 164,68rad/sec. Η αποδιδόμενη ροπή του ηλεκτροκινητήρα για 1572 rpm, η οποία προκύπτει από το διάγραμμα του κατασκευαστή και βρίσκεται από κάτω, είναι 72LBIN η αλλιώς 8,13Nm.



Εικόνα 38: διάγραμμα χαρακτηριστικών καμπυλών του ηλεκτροκινητήρα

Έτσι προκύπτει ένας βαθμός απόδοσης

$$n = (T \cdot \omega) / (V \cdot I) = (8,13\text{Nm} \cdot 164,68\text{rad/sec}) / (23\text{V} \cdot 70\text{A}) = 0,83 \text{ η αλλιώς } 83\%.$$

4.4 Συμπεράσματα

Ο αρχικός στόχος του πρακτικού μέρους της εργασίας, που ήταν η σύγκριση καταναλώσεων ενέργειας της βενζινοκίνητης και της ηλεκτρικής εκδοχής της μηχανής υπό τις ίδιες συνθήκες λειτουργίας, είχε τεθεί με βάση τις επιδόσεις που επιδίωκα να έχει η μηχανή μετά την ολοκλήρωση της μετατροπής (κίνηση σε επίπεδο δρόμο με ταχύτητα τουλάχιστον 40 χλμ/ώρα). Οι επιδόσεις αυτές όμως δεν επιτεύχθηκαν, λόγω του αδύναμου ελεγκτή που διέθετα και του μικρού λόγου μετάδοσης της κίνησης 4,6:1. Έτσι, δεν προχώρησα στη σύγκριση των καταναλώσεων. Όπως διαπίστωσα στη πορεία, χρειαζόμουν έναν ελεγκτή 24-48V και ονομαστικού ρεύματος 300A και πάνω καθώς και μία σχέση μετάδοσης 8:1. Το μηχανολογικό μέρος της μετατροπής λειτούργησε χωρίς πρόβλημα όμως θα μπορούσα να βελτιώσω τις επιδόσεις της μηχανής, έχοντας τα ίδια ηλεκτρικά εξαρτήματα, όπως ανέφερα και νωρίτερα, αλλάζοντας και το πίσω γρανάζι ώστε να έχω αύξηση των στροφών του ηλεκτροκινητήρα κατά 8 φορές βελτιώνοντας έτσι την ροπή εκκίνησης και μειώνοντας το ρεύμα εκκίνησης. Αν ξαναέκανα την μετατροπή με σκοπό να χρησιμοποιώ την μηχανή για καθημερινές μετακινήσεις, θα χρησιμοποιούσα έναν ηλεκτροκινητήρα τουλάχιστον 15KW ονομαστικής ισχύος, μπαταρίες λιθίου ιόντων τύπου της Calb CAM L135F72 που περιγράφηκε στο θεωρητικό μέρος της τεχνολογίας των μπαταριών και θα ανέθετα σε κάποιον γνωστό ηλεκτρολόγο να μου κατασκευάσει την ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου με συνολικό κόστος όλων αυτών υπολογίζω να φτάνει τις 2000 ευρώ. Ο αρχικός στόχος δεν επιτεύχθηκε αλλά αποκόμισα σημαντικές, βασικές γνώσεις και δεξιότητες σε ότι αφορά μια παρόμοια μετατροπή.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Παράρτημα 1: ενέργεια , βαθμοί απόδοσης

Η ενέργεια εκφράζει την ικανότητα ενός συστήματος να παράγει έργο. Προϋπάρχει στη φύση, δεν δημιουργείται και δεν καταστρέφεται, αλλάζει όμως μορφές. Συναντάται στη φύση σε 5 μορφές οι οποίες είναι θερμική, μηχανική, ηλεκτρική, χημική και πυρηνική. Μονάδα μέτρησης ενέργειας στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων (SI) είναι το Joule. Για την κίνηση των αυτοκινήτων χρειάζεται μηχανική ενέργεια. Προκειμένου να γίνει διαθέσιμη η μηχανική ενέργεια, ο άνθρωπος κατασκεύασε τις λεγόμενες μηχανές ή αλλιώς κινητήρες. Ο κάθε κινητήρας κατασκευάζεται για να μετατρέπει μία μορφή ενέργειας σε μηχανική. Στα αυτοκίνητα συναντάμε κινητήρες εσωτερικής καύσης, ηλεκτροκινητήρες και παλαιότερα, κινητήρες εξωτερικής καύσης. Ο κινητήρας εσωτερικής καύσης προκειμένου να αποδώσει μηχανική ενέργεια, καταναλώνει θερμική ενέργεια η οποία όμως προκύπτει από την χημική ενέργεια διάφορων καυσίμων όπως η βενζίνη. Ο ηλεκτροκινητήρας καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια και αποδίδει μηχανική. Κάθε φορά που μετατρέπουμε μία μορφή ενέργειας σε κάποια άλλη που επιθυμούμε, έχουμε οπωσδήποτε απώλειες τις αρχικής μορφής σε κάποια άλλη μορφή. Ο βαθμός απόδοσης μίας μετατροπής δείχνει τι απώλειες υπάρχουν κατά την μετατροπή ή αλλιώς τι μέρος από την αρχική μορφή ενέργειας αξιοποιείται. Δίνεται από τον λόγο της αποδιδόμενης ενέργειας προς την αρχική, εκφρασμένο σε επί τοις εκατό. Ποτέ δεν είναι 100%. Όσες περισσότερες μετατροπές γίνονται, τόσο περισσότερες είναι οι απώλειες. Για παράδειγμα ο κινητήρας εσωτερικής καύσης για να αποδώσει μηχανική ενέργεια, καταναλώνει πρώτα χημική η οποία κατά την καύση μετατρέπεται σε θερμική την οποία στη συνέχεια μετατρέπει σε μηχανική. Έτσι έχουμε, λόγο των δυο μεταβολών που μεσολαβούν, έναν συνολικό βαθμό απόδοσης τις τάξης του 30% για τους βενζινοκινητήρες ενώ για τους πετρελαιοκινητήρες ο βαθμός απόδοσης κυμαίνεται γύρω στο 37%. Οι ηλεκτροκινητήρες κατά την μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανική έχουν βαθμό απόδοσης της τάξης του 95%.

Παράρτημα 2: Υβριδικά οχήματα

Υβριδικά οχήματα ονομάζονται τα οχήματα τα οποία συνδυάζουν δυο διαφορετικά συστήματα κίνησης για την προώθησή τους. Τα συστήματα που συνδυάζονται είναι το συμβατικό σύστημα με κινητήρα εσωτερικής καύσης, που λειτουργεί με βενζίνη είτε πετρέλαιο, υγραέριο, φυσικό αέριο ή κάποιο βιοκαύσιμο

με ένα ηλεκτρικό σύστημα. Ο σκοπός δημιουργίας των υβριδικών αυτοκινήτων έχει αλλάξει λίγο από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα και σήμερα. Ο στόχος των υβριδικών οχημάτων είναι ο συνδυασμός των πλεονεκτημάτων των δύο συστημάτων, μόνο που παλαιότερα έπεφτε περισσότερη βαρύτητα στην αύξηση της αυτονομίας και την επίλυση των δυσκολιών φόρτισης, ενώ σήμερα οι στόχοι που καλούνται να ικανοποιήσουν τα υβριδικά είναι κυρίως ο περιορισμός των αερίων του θερμοκηπίου τα οποία εκπέμπονται και από τους βενζινοκινητήρες. Βέβαια και τα γνωστά πλεονεκτήματα αυτών των συστημάτων είναι η οικονομία καυσίμου που επιτυγχάνεται και η αθόρυβη λειτουργία που μειώνει την ηχορύπανση στις πόλεις . Στις μέρες μας έχουν παρουσιαστεί και τα λεγόμενα plug-in υβριδικά στα οποία μπορούν να φορτιστούν οι μπαταρίες απευθείας από μία οικιακή πρίζα ή κάποια άλλη πηγή τροφοδοσίας και όχι μόνο με τη βοήθεια του κινητήρα εσωτερικής καύσης ή με την ανάκτηση ενέργεια κατά το φρενάρισμα. Υπάρχουν δύο κατηγορίες υβριδικών οχημάτων. Στη πρώτη κατηγορία ανήκουν τα οχήματα τα οποία έχουν για κύριο σύστημα κίνησης έναν βενζινοκινητήρα και ο ηλεκτροκινητήρας αναλαμβάνει τη κίνηση του οχήματος μέχρι κάποια μικρή ταχύτητα, η οποία ενδείκνυται για την μετακίνηση μέσα στη πόλη και στις απότομες επιταχύνσεις όπου δουλεύουν και τα δύο συστήματα. Ένας γνωστός ‘εκπρόσωπος’ της πρώτης κατηγορίας στην εποχή μας είναι το Toyota Prius. Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν τα υβριδικά στα οποία την κίνηση του οχήματος αναλαμβάνει εξ ολοκλήρου ο ηλεκτροκινητήρας και ο κινητήρας βενζίνης χρησιμοποιείται για την λειτουργία της γεννήτριας για την φόρτιση των συσσωρευτών. Το πιο διαδεδομένο υβριδικό με τέτοια διάταξη είναι το Chevrolet Volt ή αλλιώς, στην Ευρωπαϊκή του έκδοση, Opel Ampera.

Παράρτημα 3: ειδική ισχύς ή πυκνότητα ισχύος και ειδική ενέργεια μπαταριών

Ο ρόλος μίας μπαταρίας ή αλλιώς ενός συσσωρευτή, είναι η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας σε μορφή χημικής ενέργειας. Τα μεγέθη που χαρακτηρίζουν μία μπαταρία είναι η ονομαστική της τάση, το ονομαστικό της ρεύμα, το μέγιστο ρεύμα εκφόρτισης, το οποίο ορίζεται από τον κατασκευαστή για ένα σύντομο χρονικό διάστημα και η ποσότητα ηλεκτρικού φορτίου που μπορεί να αποθηκεύσει εκφρασμένο σε αμπερώρια (Ah). Η ειδική ισχύς είναι ο λόγος του γινομένου της ονομαστικής τάσης της μπαταρίας επί το ονομαστικό ρεύμα που μπορεί να παρέχει η μπαταρία, προς τον όγκο ή τη μάζα της μπαταρίας. Συνήθως λαμβάνεται υπ’ όψιν η μάζα. Για παράδειγμα, έχουμε μια μπαταρία ονομαστικής τάσης 12 V και ρευμάτων

2A και 200A, ονομαστικό και μέγιστο (για 5 δευτερόλεπτα) αντίστοιχα, βάρους 10 κιλών και χωρητικότητας 40Ah. Τότε η ειδική ισχύς υπολογίζεται ως $(12V \cdot 2A) / 10kg = 2,4 \text{ Watt/kg}$. Η ειδική ενέργεια είναι ο λόγος του γινομένου της τάσης της μπαταρίας επί τη χωρητικότητα της μπαταρίας, με το βάρος της μπαταρίας. Για το δικό μας παράδειγμα έχουμε ειδική ενέργεια $= (12V \cdot 40Ah) / 10kg = 48wh/kg$.

Παράρτημα 4: EV1

Η πρώτη γενιά του EV1(1996-1998) είχε μπαταρίες μολύβδου, αυτονομία 130-160 χιλιομέτρων, ανάλογα με τις συνθήκες οδήγησης, κινητήρα τριφασικού εναλλασσόμενου ρεύματος απόδοσης 137 ίππων στις 7000 στροφ./λεπτ. και 149 Nm ροπής. Κατασκευάστηκαν 660 οχήματα πρώτης γενιάς. Το EV1 είχε πάρα πολύ μικρό συντελεστή οπισθέλκουσας 0,19 όταν ακόμα και σήμερα τα οικολογικά αυτοκίνητα όπως το Toyota Prius και το πλήρως ηλεκτρικό Tesla Model S έχουν συντελεστές 0,25 και 0,24 αντίστοιχα. Η δεύτερη γενιά του EV1(1998-1999) παρήχθη σε 457 αντίτυπα. Οι μπαταρίες άλλαξαν σε τεχνολογία νικελίου-μετάλλου (NiMH) οι οποίες έχουν μεγαλύτερη πυκνότητα ενέργειας. Έτσι η αυτονομία αυξήθηκε στα 160-225 χιλιόμετρα ενώ σε 200 αυτοκίνητα της πρώτης γενιάς αλλάχτηκαν οι παλιές μπαταρίες μολύβδου-οξέως με τις νέες νικελίου-μετάλλου.

Παράρτημα 5: MPGe

Στην Ευρώπη η κατανάλωση των αυτοκινήτων βενζίνης εκφράζεται σε λίτρα ανά 100 χιλιόμετρα. Στις ΗΠΑ η κατανάλωση εκφράζεται σε MPG (miles per gallon) που δείχνει πόσα μίλια (1 μίλι ξηράς = 1609 μέτρα) διανύει ένα αυτοκίνητο με ένα γαλόνι (1 γαλόνι = 3,78 λίτρα) βενζίνης. Το MPGe σημαίνει miles per gallon equivalent που μεταφράζεται 'μίλια ανά γαλόνι ισοδύναμο'. Η μέτρηση αυτή δείχνει την απόσταση που διανύει ένα όχημα ως προς την ενέργεια που καταναλώνει. Χρησιμοποιείται από το Πρακτορείο Προστασίας Περιβάλλοντος των ΗΠΑ για την σύγκριση των καταναλώσεων ενέργειας των αυτοκινήτων που χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια εκφρασμένη σε KWh/mile με τις καταναλώσεις καυσίμων των συμβατικών οχημάτων εκφρασμένη σε μίλια ανά γαλόνι. Οι υπολογισμοί γίνονται από το Πρακτορείο Προστασίας Περιβάλλοντος με την αντιστοίχιση 33,7KWh ή αλλιώς 121megajoules με 1 γαλόνι βενζίνης.

Παράρτημα 6: χαρακτηριστικά ηλεκτροκινητήρα

Τάση: 72 rpm/Volt

Ροπή: 0,13Nm/Ampere

Μέγιστο ρεύμα: 330A για ένα λεπτό

Βάρος κινητήρα: 9,45 κιλά

Ισχύς: 15Hp μέγιστη, 6 ονομαστική

Μέγιστη τάση λειτουργίας: 48V

Μέγιστο ρεύμα χωρίς φορτίο: 6A

Παράρτημα 7: χαρακτηριστικά ηλεκτρονικού ελεγκτή

Τάση λειτουργίας: 20-100V DC

Μέγιστο ρεύμα: 200A για 5 δευτερόλεπτα

Minimal duty cycle: 0%

Maximum duty cycle: 97-100%

Προστασία: προστασία υπερθέρμανσης (75⁰C)

προστασία υπερφόρτισης

προστασία βραχυκυκλώματος

Switching frequency: 18kHz

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Πατεράκης, Α. & Χρονάκης, Μ. (2010). *Σημειώσεις εργαστηριακών ασκήσεων μηχανών εσωτερικής καύσης και κινητήριων μηχανών σχολής Τεχνολογικών Εφαρμογών Τμήματος Μηχανολογίας*.

Φραγκιαδάκης, Ι. (2009, 3^η έκδοση). *Φωτοβολταϊκά Συστήματα*. Θεσσαλονίκη: Ζήτη.

<http://www.electricvehiclesnews.com/History/historyearlyIII.htm>

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957178707000768>

https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_the_electric_vehicle

<http://energy.gov/articles/history-electric-car>

https://en.wikipedia.org/wiki/Engine_efficiency

https://en.wikipedia.org/wiki/Camille_Jenatzy

https://en.wikipedia.org/wiki/Gaston_de_Chasseloup-Laubat

https://el.wikipedia.org/wiki/General_Motors_EV1

<http://www.cheatsheet.com/automobiles/wave-of-the-future-10-of-the-sleekest-cars-on-the-road.html/?a=viewall>

https://en.wikipedia.org/wiki/Tesla_Roadster#Gear_selector

<https://www.teslamotors.com/blog/engineering-update-powertrain-15>

https://en.wikipedia.org/wiki/Tesla_Motors

https://en.wikipedia.org/wiki/Nickel%E2%80%93zinc_battery

https://en.wikipedia.org/wiki/Zinc%E2%80%93air_battery

https://en.wikipedia.org/wiki/Nickel%E2%80%93metal_hydride_battery

https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion_battery

https://www.google.gr/search?q=lead+acid+battery&ie=utf-8&oe=utf-8&client=firefox-b&gfe_rd=cr&ei=thY_V_5ro7PzB9mEiKgK

https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion_battery

<http://en.calb.cn/product/show/?id-630>

<http://industrial.panasonic.com/cdbs/www-data/pdf2/ACA4000/ACA4000CE240.pdf>

<https://www.fueleconomy.gov/feg/evtech.shtml>

http://www.mercedes-benz.gr/content/greece/mpc/mpc_greece_website/grng/home_mpc/passengercars/home/new_cars/models/a-class/w176/facts_/technicaldata/models.html

https://en.wikipedia.org/wiki/Chevrolet_Spark#Spark_EV

<https://www3.epa.gov/>

http://www.gocar.gr/test-drives/test/14370,DOKIMH_Chevrolet_Aveo_Sedan_1_3_Diesel.html

<http://www.caranddriver.com/volkswagen/e-golf>

http://www.volkswagen.gr/content/medialib/vwd4/gr/pricelists-and-model-guides/golf/golf-pdf/_jcr_content/renditions/rendition_0.download_attachment.file/golf.pdf

https://en.wikipedia.org/wiki/Nissan_Leaf

http://www.mercedes-benz.gr/content/greece/mpc/mpc_greece_website/grng/home_mpc/passengercars/home/new_cars/models/b-class/w246/facts/technicaldata/models.html

<http://www.caranddriver.com/reviews/2015-tesla-model-s-p90d-test-review>

http://www.mercedes-benz.gr/content/greece/mpc/mpc_greece_website/grng/home_mpc/passengercars/home/new_cars/models/s-class/w222/facts/technicaldata/models.html

https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_car

<https://www.bmw.co.uk/dam/brandBM/marketGB/countryGB/newvehicles/i-series/i3/bmwi-aftersales/BMW-i3-Warranty-Handbook.PDF>

<http://www.nissanusa.com/electric-cars/leaf/charging-range/battery/>

https://en.wikipedia.org/wiki/Tesla_Model_S

<http://www.caranddriver.com/reviews/2015-tesla-model-s-p90d-test-review>

https://en.wikipedia.org/wiki/Toyota_Mirai#Fuel_economy_and_range