



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

Διπλωματική Εργασία:

**Μελέτη, Σχεδίαση & Κατασκευή Βάσης Δοκιμών & Μετρήσεων
Πρωτότυπων Ηλεκτρικών Οχημάτων**



ΚΡΑΧΤΟΥΔΗΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΤΣΟΥΡΒΕΛΟΥΔΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

Ευχαριστίες

Αυτούς τους τελευταίους 12 μήνες ως φοιτητής στο τμήμα Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης, βρέθηκα στην ευχάριστη θέση να συνεργαστώ με τον καθηγητή κ. Τσουρβελούδη Νικόλαο για τη διεκπεραίωση της διπλωματικής εργασίας μου. Θα ήθελα να τον ευχαριστήσω προσωπικά για τη βοήθειά του όλον αυτόν τον καιρό και να τονίσω πόσο σημαντική ήταν η συνεργασία μας για την πρόοδο και την εκπόνηση της εργασίας μου. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Σπανουδάκη Πολυχρόνη για τη στήριξη που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια συγγραφής της εργασίας μου εντός και εκτός του εργαστηρίου Εργαλειομηχανών του Πολυτεχνείου Κρήτης. Ένα μεγάλο ευχαριστώ στον συμφοιτητή μου Κούβελη Χρήστο, ο οποίος με τις γνώσεις και την εμπειρία του στον τομέα των συγκολλήσεων παρείχε αμέτρητες εργατοώρες βοήθειας. Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω, επίσης, σε όλους τους φοιτητές του ηλεκτρονικού τομέα της ομάδας TUCER του Πολυτεχνείου Κρήτης, Τζώρτζη Γιάννη, Σωτήρη Ζορμπά και Αμαργιανό Αλέξανδρο, για την βοήθεια τους στα ηλεκτρονικά μέρη της εργασίας και την συλλογή των δεδομένων. Τέλος, θα ήθελα να αφιερώσω την διπλωματική εργασία σε όλους τους ανθρώπους, φίλους και συγγενείς, που στάθηκαν δίπλα μου καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου και με υποστήριζαν με κάθε τρόπο.

Περίληψη & Στόχοι

Το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αφορά στην μελέτη, σχεδίαση και κατασκευή μίας βάσης δοκιμών και μετρήσεων πρωτότυπων ηλεκτρικών οχημάτων πόλης χαμηλής κατανάλωσης. Το Πολυτεχνείο Κρήτης και πιο συγκεκριμένα η ομάδα TUCER (TUC Eco Racing) εξειδικεύεται στην μελέτη, σχεδίαση και κατασκευή πρωτότυπων ηλεκτρικών οχημάτων πόλης μηδενικών ρύπων που κινούνται έχοντας ως καύσιμο το υδρογόνο. Στα πλαίσια της εξέλιξης και της προόδου της ομάδας παρουσιάστηκε η ανάγκη ανάπτυξης βάσης δοκιμών και μετρήσεων για την συλλογή δεδομένων και τη βέλτιστη ρύθμιση διάφορων συστημάτων του οχήματος εκτός δρόμου. Η βάση αυτή έπρεπε, επίσης, να μπορεί να μεταφέρεται εύκολα και να αποθηκεύεται σε ειδικό κιβώτιο μεταφοράς για χρήση εκτός Πολυτεχνείου.

Στόχος, λοιπόν, της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας είναι να κατασκευαστεί μία φορητή βάση δοκιμών για πρωτότυπα ηλεκτρικά οχήματα πόλης προκειμένου:

α). να μπορούν να συλλέγονται δεδομένα και πληροφορίες τόσο για τον μηχανολογικό εξοπλισμό του οχήματος όπως κιβώτια ταχυτήτων και σχέσεις μετάδοσης, συστήματα πέδησης, πιέσεις ελαστικών,

β). για τα ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά μέρη του όπως ο κινητήρας και ο ελεγκτής του, οι κυψέλες υδρογόνου και γενικότερα όλο το σύστημα διαχείρισης ενέργειας. Τα πειραματικά δεδομένα βοηθούν, τόσο σε πραγματικό χρόνο όσο και μετέπειτα με την εξαγωγή τους σε ηλεκτρονικά αρχεία, στη σύγκριση, αξιολόγηση και εν τέλει βελτίωση των παραμέτρων λειτουργίας του οχήματος με στόχο την βελτίωση της κατανάλωσης καυσίμου.

Αρχικά, η σχεδίαση και κατασκευή της βάσης γίνονται με βάση τη δυνατότητα φορητότητας, εργονομίας και κάλυψη συγκεκριμένων διαστασιολογικών περιορισμών. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται ο τρόπος λειτουργίας και συλλογής μετρήσεων. Για την αξιολόγηση της λειτουργίας της βάσης, πραγματοποιούνται πειραματικές δοκιμές όπου συγκρίνονται δύο διαφορετικοί ηλεκτρονικοί ελεγκτές που καθορίζουν τον τρόπο λειτουργίας του ηλεκτροκινητήρα, με στόχο την επιλογή του οικονομικότερου, σε κατανάλωση ενέργειας, για δεδομένες συνθήκες οδήγησης. Η σύγκριση πραγματοποιείται για συγκεκριμένη μέση ωριαία ταχύτητα του οχήματος τα 25km/h, σε διάφορα φορτία που ασκούνται στον κινητήριο τροχό και κατ' επέκταση στον κινητήρα. Οι πληροφορίες συλλέγονται από τον κινητήριο τροχό του αυτοκινήτου ο οποίος έρχεται σε επαφή με έναν κύλινδρο ολίσθησης στο ηλεκτρομηχανολογικό σύστημα της.

Η κατασκευή και η χρήση της βάσης πειραματισμού αποτέλεσε και αποτελεί χρήσιμο εργαλείο για την παραμετροποίηση και βελτιστοποίηση της λειτουργίας του ενεργειακού συστήματος του προς δοκιμή πρωτότυπου ηλεκτρικού οχήματος.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1: Ομάδα TUCER Πολυτεχνείου Κρήτης.....	7
1.1 Ποια Είναι Η Ομάδα TUCER.....	7
1.2 Ιστορικά Στοιχεία.....	8
Κεφάλαιο 2: Δυναμόμετρα.....	9
2.1 Δυναμόμετρα.....	9
2.2 Ιστορική Αναφορά Στα Δυναμόμετρα.....	9
2.3 Ορισμός Δυναμόμετρου.....	10
2.4 Εφαρμογές Δυναμόμετρων.....	10
2.5 Αρχές Λειτουργίας Δυναμόμετρου.....	10
2.6 Περιγραφή Τμημάτων Δυναμόμετρου.....	11
2.7 Κατηγορίες Δυναμόμετρων.....	12
2.7.1 Δυναμόμετρα Κινητήρα.....	12
2.7.2 Δυναμόμετρα Σασί.....	13
2.8 Είδη Δυναμόμετρων & Σύνοψη Περιγραφή Τους.....	14
2.8.1 Δυναμόμετρα Eddy Current.....	14
2.8.2 Δυναμόμετρα Μαγνητικής Σκόνης.....	15
2.8.3 Δυναμόμετρα Υστέρησης.....	16
2.8.4 Ηλεκτρικά Δυναμόμετρα/Δυναμόμετρα Γεννήτριας.....	16
2.8.5 Δυναμόμετρα Πτερωτής.....	17
2.8.6 Υδραυλικά Δυναμόμετρα.....	18
2.8.7 Δυναμόμετρα Νερού.....	19
2.9 Δυναμόμετρα Ηλεκτρικών & Υβριδικών Αυτοκινήτων.....	20
2.10 Συχνές Παρερμηνείες Στην Λειτουργία Των Δυναμόμετρων.....	21
Κεφάλαιο 3: Μελέτη Βάσης Δοκιμών & Μετρήσεων.....	22

3.1	Εισαγωγή.....	22
3.2	Περιορισμοί Δυναμόμετρου.....	22
3.2.1	Διαστάσεις.....	22
3.2.2	Φορητότητα.....	23
3.2.3	Ισχύς.....	24
3.2.4	Κόστος.....	24
3.3	Επιλογή Δυναμόμετρου.....	24
3.4	Περιορισμοί Βάσης.....	27
3.4.1	Υλικά Κατασκευής.....	27
3.4.2	Επιλογή Διαστάσεων.....	30
3.4.3	Φορητότητα, Εργονομία & Αποθηκευτικός Χώρος.....	30
Κεφάλαιο 4: Σχεδίαση Βάσης Δοκιμών & Μετρήσεων.....		33
4.1	Εισαγωγή.....	33
4.2	Κυρίως Πλαίσιο.....	33
4.3	Ηλεκτρομηχανολογικός Εξοπλισμός Βάσης Δοκιμών & Μετρήσεων.....	34
4.3.1	Κινητήρας Αρχικοποίησης.....	34
4.3.2	Ράουλα Ολίσθησης & Έδραση.....	35
4.3.3	Ελεύθερο.....	38
4.3.4	Σύνδεσμος Άξονα.....	41
4.3.5	Ποδηλατικό Εργόμετρο Tacx Satori Smart T2400.....	42
4.3.6	Ρόδες Με Ελεύθερο Άξονα Κίνησης & Μηχανικό Φρένο.....	43
Κεφάλαιο 5: Κατασκευή Βάσης Δοκιμών & Μετρήσεων.....		44
5.1	Εισαγωγή.....	44
5.2	Κοπή Δοκών Αλουμινίου.....	44
5.3	Προετοιμασία & Συγκόλληση Κυρίως Πλαισίου.....	45

5.4 Κατασκευή Επιφάνειας Αποθηκευτικού Χώρου & Ροδών.....	47
5.5 Κατασκευή & Τοποθέτηση Ράουλου Ολίσθησης, Συνδέσμου Αξονα, Ελεύθερου & Κινητήρα Αρχικοποίησης.....	50
5.6 Κατασκευή & Τοποθέτηση Βάσης Εργόμετρου.....	52
5.7 Πρώτη Λειτουργία Ασφαλείας.....	57
5.8 Έλεγχος Καλής Λειτουργίας.....	58
5.9 Προσομοίωση Δοκιμής.....	58
5.10 Αρχικοποίηση Εργόμετρου.....	60
Κεφάλαιο 6: Πειραματικές Μετρήσεις & Αποτελέσματα.....	61
6.1 Εισαγωγή.....	61
6.2 Σχεδίαση Δοκιμών και Πειραματικών Μετρήσεων.....	63
6.3 Παρουσίαση & Ανάλυση Αποτελεσμάτων.....	64
Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα & Προοπτικές.....	65
7.1 Συμπεράσματα.....	65
7.2 Προοπτικές.....	65
Κεφάλαιο 8: Βιβλιογραφία.....	67

Κεφάλαιο 1: Ομάδα TUCER Πολυτεχνείου

Κρήτης

1.1. Ποια είναι η Ομάδα TUCER

TUCER (Technical University of Crete Eco Racing) είναι η ερευνητική ομάδα του Πολυτεχνείου Κρήτης που αναπτύσσει και εξελίσσει οχήματα πόλης χαμηλής κατανάλωσης και μηδενικών ρύπων. Το λογότυπο της ομάδας παρουσιάζεται στην Εικόνα 1.1. Τα πρωτότυπα οχήματα της ομάδας που αναπτύσσονται από την TUCER κατασκευάζονται σχεδόν εξ' ολοκλήρου στο Διατμηματικό Εργαστήριο Εργαλειομηχανών και στο Εργαστήριο Ευφών Συστημάτων και Ρομποτικής της Σχολής των Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης.

Στο Εργαστήριο Εργαλειομηχανών κατασκευάζεται οτιδήποτε αφορά στο μηχανολογικό τομέα του πρωτότυπου οχήματος. Μηχανές κατεργασίας μετάλλων όπως τόρνοι, φρέζες, κάθετα τρυπάνια με ρυθμιζόμενες τράπεζες, γραναζοκόφτες, μηχανές αυτομάτου ελέγχου CNC και μηχανές συγκόλλησης χρησιμοποιούνται από τους φοιτητές της ομάδας υπό την επίβλεψη των εργαστηριακών υπευθύνων. Κάθε εργασία που γίνεται από τα μέλη της ομάδας σχεδιάζεται και παρουσιάζεται στους εργαστηριακούς υπευθύνους προς συμφωνία για την εκτέλεσή της.

Αντίστοιχα, στο εργαστήριο Ευφών Συστημάτων και Ρομποτικής κατασκευάζονται τα ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά μέρη του πρωτότυπου οχήματος της ομάδας που στην συνέχεια μεταφέρονται στο εργαστήριο Εργαλειομηχανών, προς τοποθέτηση επί του οχήματος.



Εικόνα 1.1: Λογότυπο Ομάδας TUCER

1.2. Ιστορικά Στοιχεία

Το 2008 κατασκευάστηκε το πρώτο όχημα της ομάδας και το 2010 ήταν ήδη έτοιμο το δεύτερο πρωτότυπο όχημα ER10. Τα οχήματα χρησιμοποιούνται ως πλατφόρμες καινοτομίας για την ανάπτυξη και την εφαρμογή νέων τεχνολογιών ενώ ταυτόχρονα η ομάδα συμμετέχει σε διεθνείς διαγωνισμούς οικονομίας καυσίμου, και συγκεκριμένα στον Πανευρωπαϊκό Διαγωνισμό που διοργανώνει η Shell και ονομάζεται Shell Eco Marathon, ανταγωνιζόμενη μεγάλα και σημαντικά ιδρύματα του εξωτερικού. Το 2011, η ομάδα παρουσίασε το εξελιγμένο μοντέλο Eco Racer με τον κωδικό ER11 ενώ την επόμενη χρονιά συμμετείχε με ένα εξ' ολοκλήρου νέο όχημα, το ER12 στο διαγωνισμό της Shell και κατετάχθει 4^η στην δύσκολη και απαιτητική κατηγορία οχημάτων πόλης που κινούνται με υδρογόνο. Το ER12, είναι το τρίτο όχημα που κατασκευάστηκε εξ' ολοκλήρου μέσα σε μόλις πέντε χρόνια. Με αυτό, το 2013 η ομάδα βρέθηκε ξανά στην 4^η θέση της κατανάλωσης ενώ ταυτόχρονα έφερε δύο ακόμα διακρίσεις, 1^ο Βραβείο Ενεργειακής Πρόκλησης και 1^ο Βραβείο Ψηφοφορίας του κοινού. Το 2014 και το 2015 διαγωνίστηκε για έβδομη και όγδοη, αντίστοιχα, συνεχόμενη χρονιά στην ίδια κατηγορία των Πρωτοτύπων Οχημάτων Πόλης όπου κράτησε την 4^η θέση και πάλι, ανταγωνιζόμενη τουλάχιστον άλλες 15 ομάδες από διάφορα εκπαιδευτικά ιδρύματα της Ευρώπης.



Εικόνα 1.2: Ομάδα TUCER στο Rotterdam της Ολλανδίας. Έτος 2013

Κεφάλαιο 2: Δυναμόμετρα

2.1. Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αναλυτική περιγραφή του τρόπου με τον οποίο μπορούν να μετρηθούν τα τεχνικά χαρακτηριστικά των ηλεκτροκινητήρων και των μηχανών εσωτερικής καύσης με τις διατάξεις που ονομάζονται δυναμόμετρα. Γίνεται ιστορική αναδρομή και πληροφόρηση σχετικά με το πώς ξεκίνησε η ιδέα αυτή και στο ποιά ήταν και είναι η χρησιμότητά της και στην συνέχεια αναλύονται τόσο τα επιμέρους βασικά τμήματα ενός δυναμόμετρου όσο και οι αρχές λειτουργίας που το διέπουν. Δίνεται ο ορισμός του δυναμόμετρου και αναλύονται, επίσης, όλα τα είδη δυναμόμετρων που υπάρχουν στην αγορά και η επιλογή που έγινε στην απόκτηση του δυναμόμετρου που χρησιμοποιήθηκε για τον σκοπό της εργασίας αυτής. Ταυτόχρονα, παρουσιάζονται τα κριτήρια και οι περιορισμοί επιλογής.

2.2. Ιστορική Αναφορά Στα Δυναμόμετρα

Το 1821 ο *Gaspard de Prony* εφηύρε το δυναμόμετρο Prony Brake που θεωρείται ίσως το πρώτο δυναμόμετρο που κατασκευάστηκε [1].

Ο *Froude Hofmann* από το Worcester του Ηνωμένου Βασιλείου κατασκευάζει κινητήρες και δυναμόμετρα οχημάτων από το 1869 και το 1877 του αναγνωρίζεται η εφεύρεση και κατασκευή του υδραυλικού δυναμόμετρου και το 1881 προσφέρει στην αγορά προς πώληση τα πρώτα εμπορικά δυναμόμετρα της εταιρείας Heenan & Froode που ίδρυσε.

Το 1928 η γερμανική εταιρία *Carl Schenck Eisengießerei & Waagenfabrik* κατασκευάζει τα πρώτα δυναμόμετρα για δοκιμές πέδησης που μέχρι και σήμερα χρησιμοποιούνται σε εξελιγμένη προφανώς μορφή.

Τα δυναμόμετρα τύπου Eddy Current εφευρέθηκαν από τον *Martin* και *Antony Winther* το 1931.

Εκείνη την περίοδο δυναμόμετρα με κινητήρες συνεχούς ρεύματος υπήρχαν ήδη για αρκετά χρόνια. Μία εταιρία ιδρυμένη από τον οργανισμό *Winthers Dynamic Corporation* κατασκεύαζε δυναμόμετρα στην Kenosha στο Wisconsin μέχρι και το 2002. Η εταιρία αυτή ήταν μέλος της *Eaton Corporation* από το 1946 μέχρι το 1995. Το 2002 η *Dyne Systems of Jackson* στο Wisconsin απέκτησε την γραμμή της *Dynamic* αγοράζοντάς την.

Τα δυναμόμετρα Eddy Current βρίσκοντουσαν κάτω από την άδεια της *Dynamic* και *Eaton* από το 1938 και έπειτα.

2.3. Ορισμός Δυναμόμετρου

Το δυναμόμετρο είναι μία συσκευή μέτρησης δύναμης. Για παράδειγμα, η δύναμη που προέρχεται από μία μηχανή εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ), έναν ηλεκτροκινητήρα ή οποιονδήποτε περιστρεφόμενο άξονα μπορεί να υπολογιστεί με ένα δυναμόμετρο μετρώντας ταυτόχρονα την ροπή και την ταχύτητα σε στροφές ανά λεπτό (rpm) του άξονα που περιστρέφεται.

Ένα δυναμόμετρο μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να ελέγχει και να καθορίζει τη δύναμη και την ροπή που χρειάζονται για την λειτουργία μιας συσκευής με περιστρεφόμενο άξονα, όπως μιας αντλίας. Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιείται ο τύπος δυναμόμετρου που ονομάζεται **Καθοδηγούμενο Δυναμόμετρο** (Motoring Dynamometer ή αλλιώς Driving Dynamometer). Ένα δυναμόμετρο που είναι σχεδιασμένο να λειτουργεί υπό την επίδραση του κινητήρα που εξετάζεται ονομάζεται **Δυναμόμετρο Απορρόφησης** ή **Παθητικό Δυναμόμετρο** (Absorption Dynamometer ή Passive Dynamometer). Υπάρχει και ο υβριδικός τύπος δυναμόμετρων που μπορεί να εκτελεί τις λειτουργίες και των δύο ανωτέρων και ονομάζεται **Ενεργητικό Δυναμόμετρο** (Universal Dynamometer ή Active Dynamometer) [2].

2.4. Εφαρμογές Δυναμόμετρων

Τα δυναμόμετρα βρίσκουν πολλές εφαρμογές στην βιομηχανία με στόχο την καθημερινή ζωή αλλά και τον τομέα των αγώνων όπου η βελτιστοποίηση της απόδοσης ενός κινητήρα είναι αναγκαία. Χρησιμοποιούνται, δηλαδή, από τις αυτοκινητοβιομηχανίες ώστε να προσδιορίσουν τα χαρακτηριστικά των κινητήρων των αυτοκινήτων που μας προσφέρουν σε διάφορες συνθήκες λειτουργίας όπως εντός και εκτός πόλης, με φορτίο ή χωρίς κτλ αλλά και για να μπορούν να καλύπτουν ταυτόχρονα τις απαραίτητες προδιαγραφές στις εκπομπές ρύπων. Στον αγωνιστικό χώρο η επαναληπτική διαδικασία δοκιμής στην οποία τίθεται ο κινητήρας ή και ολόκληρο το αυτοκίνητο σε διαφορετικού τύπου δυναμόμετρα δίνει τη δυνατότητα στους μηχανικούς να ρυθμίζουν παραμέτρους ώστε να επιτύχουν τη μέγιστη δυνατή απόδοση και αξιοπιστία. Τα δυναμόμετρα στα οποία συνδέεται ο κινητήρας μόνος του ονομάζονται **Δυναμόμετρα Κινητήρα** (Engine Dynamometers) και σε εκείνα στα οποία τοποθετείται ολόκληρο το όχημα και μετράνε τη δύναμη από τον ή τους κινητήριους τροχούς, ονομάζονται **Δυναμόμετρα Σασί** (Chassis Dynamometers) [3].

Επιπλέον, τα δυναμόμετρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βάσεις δοκιμών που χρησιμεύουν στην **Αρχικοποίηση Κινητήρων** (Calibration) και των ελεγκτών που τους χειρίζονται, στη μελέτη των καύσεων όταν αναφερόμαστε σε ΜΕΚ αλλά και στην τριβολογία [4].

2.5. Αρχές Λειτουργίας Δυναμόμετρου

Ένα **Δυναμόμετρο Απορρόφησης Ενέργειας** (Absorbing Dynamometer) επιδρά ως ένα φερόμενο φορτίο στον περιστρεφόμενο άξονα που εξετάζεται στην συγκεκριμένη δοκιμή. Το δυναμόμετρο πρέπει να μπορεί να λειτουργεί σε οποιαδήποτε ταχύτητα και κάτω από οποιοδήποτε φορτίο και άσκηση ροπής που ο άξονας που περιστρέφεται επιβάλλει.

Είναι εξοπλισμένο με όργανα μέτρησης της ροπής και της ταχύτητας, μεγέθη τα οποία χρειάζονται για τον υπολογισμό της δύναμης που ασκείται από τον άξονα.

Το δυναμόμετρο πρέπει να απορροφά την ενέργεια που παράγεται από τον άξονα περιστροφής και να την αποβάλλει στον αέρα ή να την μεταφέρει στο ψυκτικό υγρό που το ψύχει. Τα *Δυναμόμετρα Ανάκτησης Ενέργειας* (Regenerative Dynamometers) διαθέτουν σύστημα μετατροπής της ενέργειας αυτής σε ηλεκτρική με χρήση γεννητριών.

Ορισμένα δυναμόμετρα είναι εξοπλισμένα με συστήματα σταθεροποίησης ροπής ή σταθεροποίησης της ταχύτητας περιστροφής. Ένα, λοιπόν, δυναμόμετρο με ρυθμιστή ροπής μπορεί να παρέχει στον περιστρεφόμενο άξονα μία συγκεκριμένη τιμή ροπής για οποιαδήποτε ταχύτητα αυτός κινείται. Αντίστοιχα, ένα δυναμόμετρο με ρυθμιστή ταχύτητας μπορεί να παρέχει στον περιστρεφόμενο άξονα οποιαδήποτε τιμή ροπής είναι απαραίτητη προκειμένου να παραμένει σταθερή η ταχύτητά του.

Ένα *Καθοδηγούμενο Δυναμόμετρο* (Motoring Dynamometer) λειτουργεί σαν ένας ηλεκτρικός κινητήρας που κινεί την προς δοκιμή μηχανή. Πρέπει να μπορεί να την κινεί σε οποιαδήποτε ταχύτητα και να αναπτύσσει την απαιτούμενη ροπή για τη δοκιμή που χρειάζεται.

Όπως αναφέρθηκε, στα περισσότερα δυναμόμετρα η δύναμη (ισχύς P) δεν μπορεί να μετρηθεί απευθείας με κάποιο όργανο μέτρησης. Υπολογίζεται από τη ροπή (τ) και τη γωνιακή ταχύτητα περιστροφής (ω). Η δύναμη είναι ανάλογη ασκούμενης ροπής και της γωνιακής ταχύτητας.

$$P = \tau \cdot \omega \quad (1)$$

Όπου,

P : η ισχύς σε Watts

τ : η ροπή σε $N \cdot m$

ω : η γωνιακή ταχύτητα σε rad/sec

2.6. Περιγραφή Τμημάτων Δυναμόμετρου

Ένα δυναμόμετρο διαθέτει μία μονάδα απορρόφησης ενέργειας που ονομάζεται *απορροφητής* (Absorber) η οποία περιλαμβάνει και τα όργανα μέτρησης της ροπής και της ταχύτητας περιστροφής. Η μονάδα αυτή αποτελείται από έναν εδραζόμενο ρότορα. Ο ρότορας είναι συνδεδεμένος με τον άξονα της μηχανής η οποία δοκιμάζεται και περιστρέφεται με τις ίδιες στροφές με αυτήν. Ανάλογα με τον τύπο του δυναμόμετρου η άσκηση ροπής μπορεί να πραγματοποιείται με διάφορους τρόπους όπως υλικά τριβής, υδραυλικά μέσα, ηλεκτρομαγνήτες κτλ.

Ένας τρόπος μέτρησης της ασκούμενης ροπής είναι η έδραση του δυναμόμετρου να γίνει με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να είναι ελεύθερη περιστροφής αλλά να συγκρατείται ταυτόχρονα από έναν βραχίονα. Η έδραση μπορεί να περιστρέφεται ελεύθερα εάν εδραστεί σε έδρανα ολίσθησης που είναι ενσωματωμένα σε βάσεις. Ο βραχίονας στην ελεύθερη άκρη του έρχεται σε επαφή με μία ζυγαριά η οποία μετρά την ασκούμενη δύναμη που ασκείται από την έδραση του ρότορα που περιστρέφεται. Φυσικά το μέγεθος του βραχίονα (μήκος μοχλοβραχίονα) πολλαπλασιασμένο με την ένδειξη της ζυγαριάς που μετρά την ασκούμενη δύναμη, μας υπολογίζει την ασκούμενη ροπή. Με κατάλληλη ηλεκτρονική διάταξη και εκμετάλλευση του πιεζοηλεκτρικού φαινομένου υπάρχει η δυνατότητα παραγωγής

ηλεκτρικού σήματος από την ζυγαριά και την άκρη του βραχίονα που έρχεται σε επαφή με αυτήν και το οποίο θα είναι προφανώς ανάλογο της ασκούμενης ροπής.

Ο εξελιγμένος τρόπος μέτρησης της ροπής είναι να παρεμβάλλεται μεταξύ του κινητήρα και του δυναμόμετρου ένας αισθητήρας ροπής που παράγει ηλεκτρικά σήματα ανάλογα της ασκούμενης ροπής. Η ροπή μπορεί να υπολογιστεί επίσης και με ηλεκτρικά σήματα που παράγονται κατευθείαν από την μονάδα απορρόφησης (absorber). Η μέθοδος αυτή βρίσκει διάφορες απλές εφαρμογές όπου η ακρίβεια δεν είναι τόσο σημαντική αλλά γενικότερα δεν προτιμάται για αυτόν ακριβώς τον λόγο.

Μία μεγάλη ποικιλία από ταχύμετρα που παράγουν μετρήσιμα ηλεκτρικά σήματα είναι διαθέσιμα στην αγορά. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, με γνώση της ροπής επίσης, μπορεί να εξαχθεί αυτόματα η τιμή της ταχύτητας και να καταγράφεται σε ηλεκτρονικά αρχεία συναρτήσει των στροφών (rpm). Γραφήματα παράγονται από το ηλεκτρονικό σύστημα του δυναμόμετρου ακόμα και σε ρεαλιστικό χρόνο κατά την διάρκεια των δοκιμών.

2.7. Κατηγορίες Δυναμόμετρων

2.7.1. Δυναμόμετρα Κινητήρα

Τα *Δυναμόμετρα Κινητήρα* (Engine Dynamometers) μετράνε τη δύναμη και τη ροπή απευθείας από τον στροφαλοφόρο άξονα ή το βολάν του κινητήρα που εξετάζεται και ο οποίος έχει αφαιρεθεί από το όχημα. Με αυτού του είδους τα δυναμόμετρα δε μετρούνται οι απώλειες λόγω τριβών που προέρχονται από το κιβώτιο ταχυτήτων, τη μετάδοση της κίνησης και το διαφορικό (ή διαφορικά) [5]. Είναι όμως ιδιαίτερα χρήσιμα διότι με τη χρήση ενός ακόμα δυναμόμετρου σασί και με απλή αφαίρεση των αποτελεσμάτων της δύναμης (δύναμη από δυναμόμετρο κινητήρα-δύναμη από δυναμόμετρο σασί) προκύπτουν οι απώλειες που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Ακόμα όμως και με την απευθείας μέτρηση του κινητήρα έχει παρατηρηθεί ότι το δυναμόμετρο προσθέτει τριβές στον στροφαλοφόρο άξονα ή βολάν του κινητήρα μέχρι και 10% της συνολικής δύναμής του και που δεν μπορεί να μετρηθεί από αυτό.



Εικόνα 2.1: Δυναμόμετρο Κινητήρα (Engine Dynamometer)

2.7.2. Δυναμόμετρα Σασί

Τα *Δυναμόμετρα Σασί* (Chassis Dynamometers) χρησιμοποιούνται κυρίως για τη δυναμομέτρηση αυτοκινήτων, μοτοσυκλετών, φορτηγών κτλ και μπορούν και μετράνε τη δύναμη από τους κινητήριους τροχούς αυτών. Τα οχήματα τοποθετούνται πάνω σε ειδικές βάσεις και οι τροχοί τους βρίσκονται πάνω σε ράουλα ολίσθησης (Εικόνα 2.2). Τα ράουλα αυτά ανήκουν στον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό του δυναμόμετρου και από αυτά μετρείται η δύναμη των οχημάτων.

Στα σύγχρονα δυναμόμετρα σασί χρησιμοποιούνται ράουλα ολίσθησης κατασκευασμένα από συνθετικό υλικό που προσφέρει καλύτερη πρόσφυση στα ελαστικά των οχημάτων συγκριτικά με τα εκείνα που είναι κατασκευασμένα από σίδηρο.

Προκειμένου να απαλειφθεί ολοκληρωτικά το πρόβλημα της ολίσθησης των ελαστικών των οχημάτων πάνω στα ράουλα του δυναμόμετρου, υπάρχει η δυνατότητα προσαρμογής των δυναμόμετρων κατευθείαν στον κινητήριο άξονα που φέρει τον τροχό. Με αυτόν τον τρόπο εκμηδενίζεται και το πρόβλημα διόγκωσης του ελαστικού σε υψηλές ταχύτητες, κάτι το οποίο προσφέρει σημαντικό σφάλμα έως και 10% στην μετρούμενη ροπή.

Στο ηλεκτρονικό πρόγραμμα των δυναμόμετρων παρουσιάζονται σε πραγματικό χρόνο (κατά τη διάρκεια της δοκιμής) οι στροφές ανά λεπτό του κινητήρα, η ιπποδύναμη και η ροπή. Με την τεχνολογία που υπάρχει σήμερα και την γρήγορη ανάδραση δεδομένων των ηλεκτρονικών συστημάτων του δυναμόμετρου όπως επίσης και της χαμηλής αδράνειας των τυμπάνων (ράουλων) μπορεί εύκολα να επιτευχθεί εύκολα βελτιστοποίηση των ρυθμίσεων του κινητήρα ακόμα και κατά την διάρκεια των δοκιμών. Αισθητήρες μέτρησης της ροής του αέρα στην εισαγωγή των κινητήρων εσωτερικής καύσης προσδίδουν μεγαλύτερο εύρος ρυθμίσεων αφού η παράμετρος του αέρα στην καύση είναι ιδιαίτερα σημαντική.

Πληροφοριακά, λόγω τριβών και μηχανικών απωλειών στο σύστημα μετάδοσης, το κιβώτιο ταχυτήτων κτλ, η μετρούμενη ιπποδύναμη ενός αυτοκινήτου με κίνηση στους πίσω τροχούς κυμαίνεται από 15% μέχρι 20% συγκριτικά με αυτήν που θα μετρούταν στον στροφαλοφόρο άξονα του κινητήρα του με ένα δυναμόμετρο κινητήρα.

Τέλος, τα δυναμόμετρα σασί μπορούν να είναι είτε φορητά είτε εγκατεστημένα στο εργαστήριο μετρήσεων και ρυθμίσεων.



Εικόνα 2.2: Δυναμόμετρο Σασί (Chassis Dynamometer)

2.8. Είδη Δυναμόμετρων & Σύντομη Περιγραφή Τους

Τα δυναμόμετρα μπορούν να καταταχθούν και σε περισσότερες από τις αναφερθείσες κατηγορίες με κριτήριο τον αποσβεστήρα που χρησιμοποιούν. Μερικά από αυτά που διαθέτουν μόνο *Αποσβεστήρα* (Passive Dynamometers) μπορούν να συνδυαστούν με κάποιον ηλεκτρικό κινητήρα και να μετατραπούν σε *Ενεργητικά Δυναμόμετρα* (Active Dynamometers) [6].

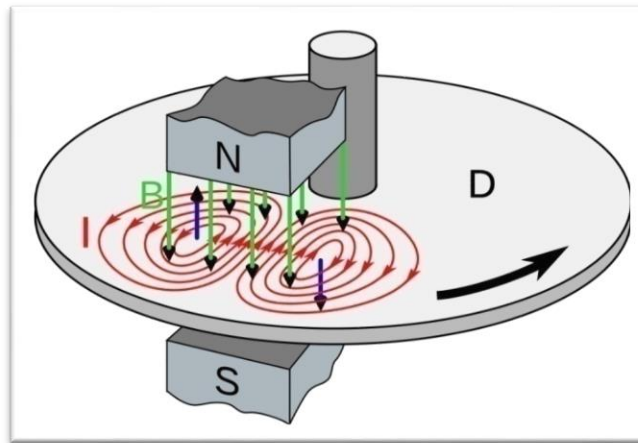
Τα συνδυασμένα είδη αποσβεστήρα είναι:

- *Ηλεκτρομαγνητικό Φρένο* (Eddy Current ή Electromagnetic Brake)
- *Φρένο Μαγνητικής Σκόνης* (Magnetic Powder Brake)
- *Φρένο Υστέρησης* (Hysteresis Brake)
- *Ηλεκτρικός Κινητήρας/Γεννήτρια* (Electric Motor/Generator)
- *Φρένο μέσω Πτερωτής* (Fan Brake)
- *Υδραυλικό Φρένο* (Hydraulic Brake)
- *Μηχανικό Φρένο* (Mechanical Friction Brake or Prony brake)
- *Φρένο μέσω Νερού* (Water Brake)

2.8.1. Δυναμόμετρα Eddy Current

Τα δυναμόμετρα με αυτόν τον τύπο αποσβεστήρα (Eddy Current Dynamometers) είναι κατά κύριο λόγο δυναμόμετρα σασί χάρη στην ιδιότητά τους να αλλάζουν με γρήγορο ρυθμό το φορτίο τους ανάλογα με το φορτίο που τους ζητείται από το υπό εξέταση όχημα [7]. Τα περισσότερα από αυτά είναι αερόψυκτα ενώ κάποια διαθέτουν σύστημα ψύξης με ψυκτικό υγρό (συνήθως νερό).

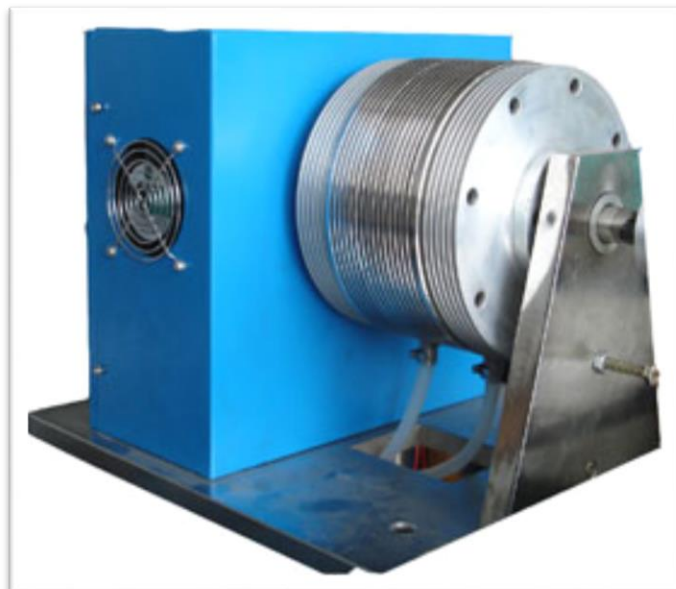
Τα Eddy Current δυναμόμετρα διαθέτουν ένα αγωγίμο στο ηλεκτρικό ρεύμα πυρήνα και έναν μεταλλικό δίσκο τοποθετημένο στον άξονα κίνησής τους ο οποίος βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο το οποίο ασκεί τη δύναμη αντίστασης σε αυτόν (Εικόνα 2.3). Σαν υλικό για τον άξονα και το δίσκο χρησιμοποιείται κυρίως σίδηρος αλλά συναντάται επίσης χαλκός και αλουμίνιο σε μικρότερη έκταση. Οι μεταλλικοί δίσκοι στα δυναμόμετρα αυτά είναι παρόμοιοι με τους δίσκους που χρησιμοποιούνται στο σύστημα πέδησης των αυτοκινήτων οι οποίοι με μεταβολές στο μαγνητικό πεδίο που τους περιβάλλει ελέγχουν την ασκούμενη αντίσταση. Το μαγνητικό πεδίο ελέγχεται από ηλεκτρονικό υπολογιστή που λειτουργεί το σύστημα με σταθερότητα και ακρίβεια χάρη στο σταθερό και ομοιογενές μαγνητικό πεδίο που ρυθμίζει. Λόγω ηλεκτρονικού ελέγχου μπορούν να πραγματοποιούνται και προσομοιώσεις επιταχύνσεων και επιβραδύνσεων στο υπό εξέταση όχημα όπως συμβαίνει στην πραγματικότητα στην οδήγηση σε δρόμο με κλίσεις.



Εικόνα 2.3: Αρχή Λειτουργίας Δυναμόμετρου Eddy Current

2.8.2. Δυναμόμετρα Μαγνητικής Σκόνης

Το *Δυναμόμετρο Μαγνητικής Σκόνης* (Magnetic Powder Dynamometer) είναι παρεμφερές με το Eddy Current Δυναμόμετρο. Η διαφορά τους έγκειται στο ότι στο δυναμόμετρο σκόνης μία ποσότητα μαγνητικής σκόνης είναι τοποθετημένη μεταξύ του ρότορα και των πηνίων που παράγουν το μαγνητικό πεδίο [8]. Η σκόνη προσανατολίζεται λόγω ισχυρού μαγνητικού πεδίου και οι προκύπτουσες ηλεκτρομαγνητικές γραμμές ροής που στιγμιαία διαλύονται και ξαναδημιουργούνται λόγω περιστροφής του ρότορα έχουν σαν αποτέλεσμα ιδιαίτερα μεγάλη αντίσταση (Εικόνα 2.4). Δυναμόμετρα αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται κυρίως σε εφαρμογές όπου απαιτούνται χαμηλές rpm λόγω των προβλημάτων που δημιουργούνται εξ' αιτίας της μεγάλης θερμότητας που παράγεται και πρέπει να απάγεται.



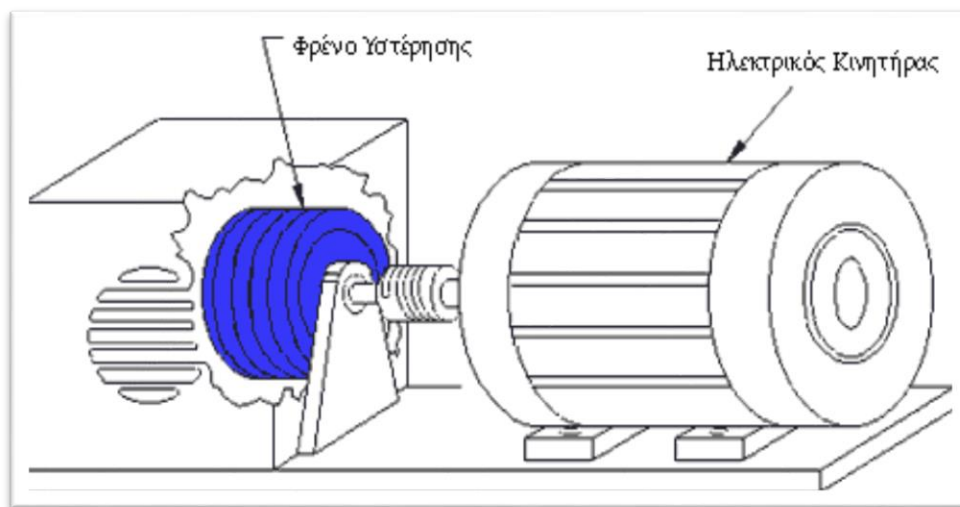
Εικόνα 2.4: Δυναμόμετρο Μαγνητικής Σκόνης (Magnetic Powder Dynamometer)

2.8.3. Δυναμόμετρα Υστέρησης

Τα *Δυναμόμετρα Υστέρησης* (Hysteresis Dynamometers) χρησιμοποιούν έναν ρότορα κατασκευασμένο από χάλυβα ο οποίος κινείται μέσα από μαγνητικές γραμμές ροής που δημιουργούνται μεταξύ πόλων μαγνητών που τον περιβάλλουν [9]. Όπως και στο δυναμόμετρο τύπου Eddy Current, η άσκηση ροπής μπορεί να ξεκινήσει ακόμα και με μηδενικές στροφές του μετρούμενου κινητήρα μέχρι και τις μέγιστες του. Η ψύξη του συγκεκριμένου δυναμόμετρου πραγματοποιείται με την παροχή πεπιεσμένου ατμοσφαιρικού αέρα.

Ένα δυναμόμετρο υστέρησης είναι στην ουσία ένα δυναμόμετρο τύπου Eddy Current με την διαφορά ότι οι ηλεκτρομαγνήτες βρίσκονται μέσα σε έναν ραβδωτό κύλινδρο που περιστρέφεται αντί να περιστρέφεται ο μεταλλικός δίσκος ανάμεσα σε ηλεκτρομαγνήτες (Εικόνα 2.5). Το πλεονέκτημα αυτών των δυναμόμετρων είναι ότι με την μεταβολή της διαμέτρου του εξωτερικού κυλίνδρου επιτυγχάνεται αύξηση των στροφών/λεπτό και μετρούνται έτσι με ακρίβεια και ηλεκτροκινητήρες με ιδιαίτερα υψηλές rpm.

Τα δυναμόμετρα αυτά έχουν μεγάλη ακρίβεια στις μετρήσεις και τα αποτελέσματά τους όταν μετρούν κινητήρες με ιπποδύναμη μικρότερη των 200 ίππων.



Εικόνα 2.5: Δυναμόμετρο Υστέρησης (Hysteresis Dynamometer)

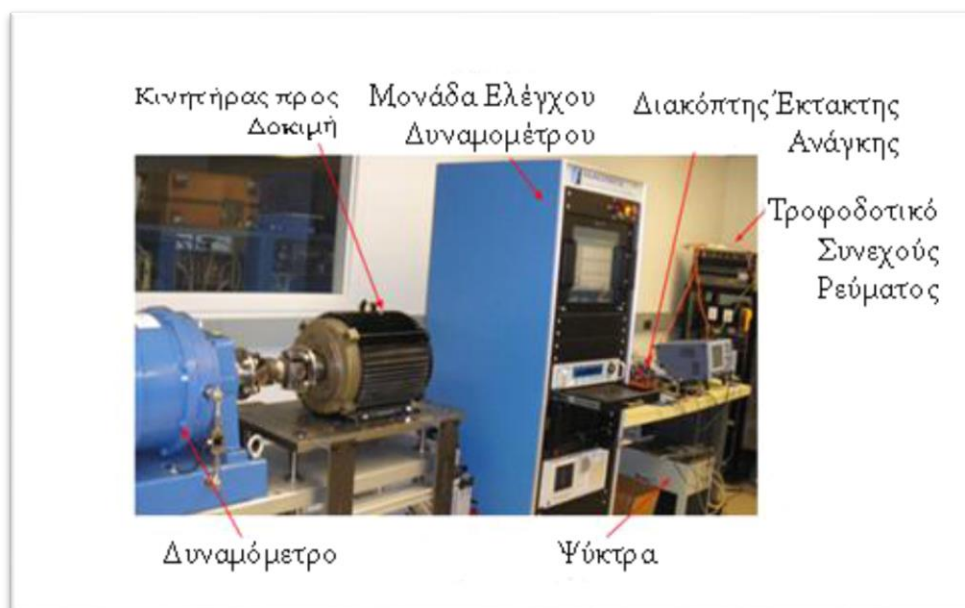
2.8.4. Ηλεκτρικά Δυναμόμετρα/Δυναμόμετρα Γεννήτριας

Τα *Ηλεκτρικά Δυναμόμετρα* ή αλλιώς *Δυναμόμετρα Γεννήτριας* (Electric Motor/Generator Dynamometers) είναι ένας εξειδικευμένος τύπος δυναμόμετρων ρυθμιζόμενης ταχύτητας περιστρεφόμενου άξονα [10]. Ο ηλεκτρικός τους κινητήρας μπορεί να είναι είτε συνεχούς είτε εναλλασσόμενου ρεύματος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μία γεννήτρια η οποία απορροφά ενέργεια από τον κινητήρα που δοκιμάζεται (Εικόνα 2.6). Με τον κατάλληλο ηλεκτρονικό εξοπλισμό ένα

δυναμόμετρο γεννήτριας μπορεί να μετατραπεί σε ένα ενεργητικό δυναμόμετρο (Universal Dynamometer) [11].

Και στις δύο περιπτώσεις δυναμόμετρων ένα **Σύστημα Ανάκτησης Ενέργειας** (Regenerative System) μεταφέρει ηλεκτρική ενέργεια από τον κινητήρα που δοκιμάζεται στην ηλεκτρική εγκατάσταση του δυναμόμετρου η οποία και αποθηκεύεται. Στα δυναμόμετρα κινητήρα αυτό χρησιμεύει προκειμένου να μπορεί το δυναμόμετρο να στρέφει τον βολάν ή τον στροφαλοφόρο άξονα του κινητήρα με σκοπό την μέτρηση της συμπίεσης των κυλίνδρων και τις τριβές στα κινούμενα μέρη του κινητήρα.

Τα ηλεκτρικά δυναμόμετρα γεννήτριας αποτελούν την πιο περίπλοκη μορφή δυναμόμετρων και είναι σαφέστερα τα πιο εξελιγμένα και με το μεγαλύτερο κόστος δυναμόμετρα μέχρι σήμερα.

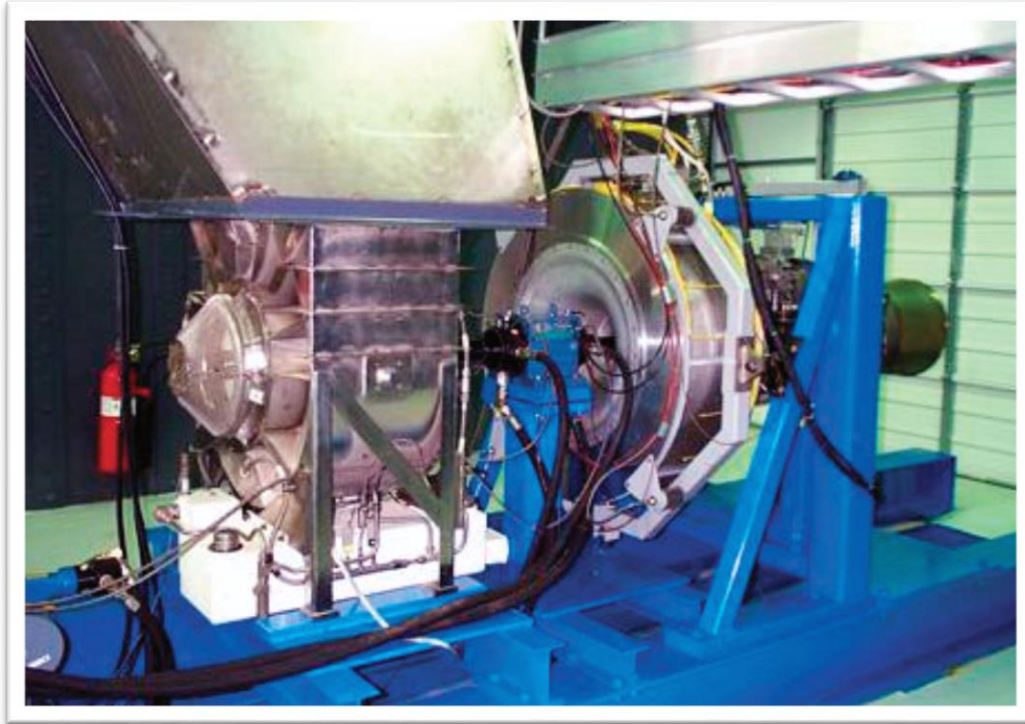


Εικόνα 2.6: Ηλεκτρικό Δυναμόμετρο Συνεχούς Ρεύματος (DC Electric Dyno)

2.8.5. Δυναμόμετρα Πτερωτής

Τα **Δυναμόμετρα Πτερωτής** αυτού του τύπου (Fan Brake Dynamometers) είναι από τα παλαιότερα και δε χρησιμοποιούνται πλέον. Η λειτουργία τους βασίζεται στη δύναμη αντίστασης που ασκεί μία περιστρεφόμενη πτερωτή συνδεδεμένη με τον στροφαλοφόρο άξονα του κινητήρα που μετράται [12]. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι η πτερωτή λειτουργεί σε ένα μόνο συγκεκριμένο και πολύ μικρό εύρος στροφών/λεπτό (rpm) και αυτό βρίσκεται στις μέγιστες στροφές του κινητήρα. Για τη διεύρυνση των στροφών αυτών οι μηχανικοί κατασκεύασαν ένα κέλυφος που περιέβαλε την πτερωτή και που διέθετε ανοίγματα στην περιφέρειά του (Εικόνα 2.7). Με το άνοιγμα και το κλείσιμο των θυρών αυτών άλλαζε η ποσότητα του εισερχόμενου αέρα και κατά συνέπεια η λειτουργία της πτερωτής και το φορτίο που μετέδιδε στον κινητήριο άξονα. Η διαδικασία μετρήσεων και η κατασκευή

πτερωτών και κελυφών ήταν ιδιαίτερα χρονοβόρα και με μεγάλο κόστος και κατά συνέπεια αυτός ο τύπος δυναμόμετρου καταργήθηκε σύντομα.



Εικόνα 2.7: Δυναμόμετρο Πτερωτής (Fan Brake Dyno)

2.8.6. Υδραυλικά Δυναμόμετρα

Τα **Υδραυλικά Δυναμόμετρα** (Hydraulic Brake Dynamometers) διαθέτουν μία υδραυλική αντλία (συνήθως αντλία με γρανάζια), μία δεξαμενή του υγρού που χρησιμοποιούν και το σύστημα σωληνώσεων μεταξύ τους [13]. Στους σωλήνες είναι προσαρμοσμένα μία ένδειξη της πίεσης και μία ρυθμιζόμενη βαλβίδα (Εικόνα 2.8). Το λάδι που χρησιμοποιείται είναι συνήθως συνθετικό λάδι για τέτοιου είδους υδραυλικές εφαρμογές.

Σε αυτά τα δυναμόμετρα ο κινητήρας που δοκιμάζεται έρχεται στις επιθυμητές rpm και η βαλβίδα αρχίζει να κλείνει σταδιακά και καθώς η έξοδός της είναι περιορισμένη, το φορτίο που έχει να διαχειριστεί ο κινητήρας αυξάνεται. Ο υπολογισμός της δύναμης (ροπής) γίνεται μέσω της μέτρησης της ροής του όγκου του υγρού από την αντλία, της μέτρησης της πίεσης και των rpm του κινητήρα.

Τα υδραυλικά αποτελούν τα δυναμόμετρα με το μεγαλύτερο εύρος χρήσης μαζί με τα Eddy Current δυναμόμετρα και έχουν αποδεδειγμένα την πιο γρήγορη απόκριση στην μεταβολή του επιθυμητού φορτίου. Το σημαντικό τους μειονέκτημα όμως, είναι η απαίτηση σε μεγάλες ποσότητες υδραυλικού λαδιού και η υψηλή πίεση που ανεβάζει ιδιαίτερα το κόστος εγκατάστασης.

Η ψύξη του λαδιού είναι ιδιαίτερα σημαντική προκειμένου να μην αλλάζει το ιξώδες του υγρού κατά τη θέρμανσή του στη χρήση του δυναμόμετρου. Η ψύξη πραγματοποιείται με παρόμοιο τρόπο με αυτόν του ψυκτικού υγρού του αυτοκινήτου,

περνώντας δηλαδή μέσα από μία επιφάνεια με πολλές πτυχώσεις στο εξωτερικό της για γρήγορη απαγωγή της θερμότητας προς το περιβάλλον.

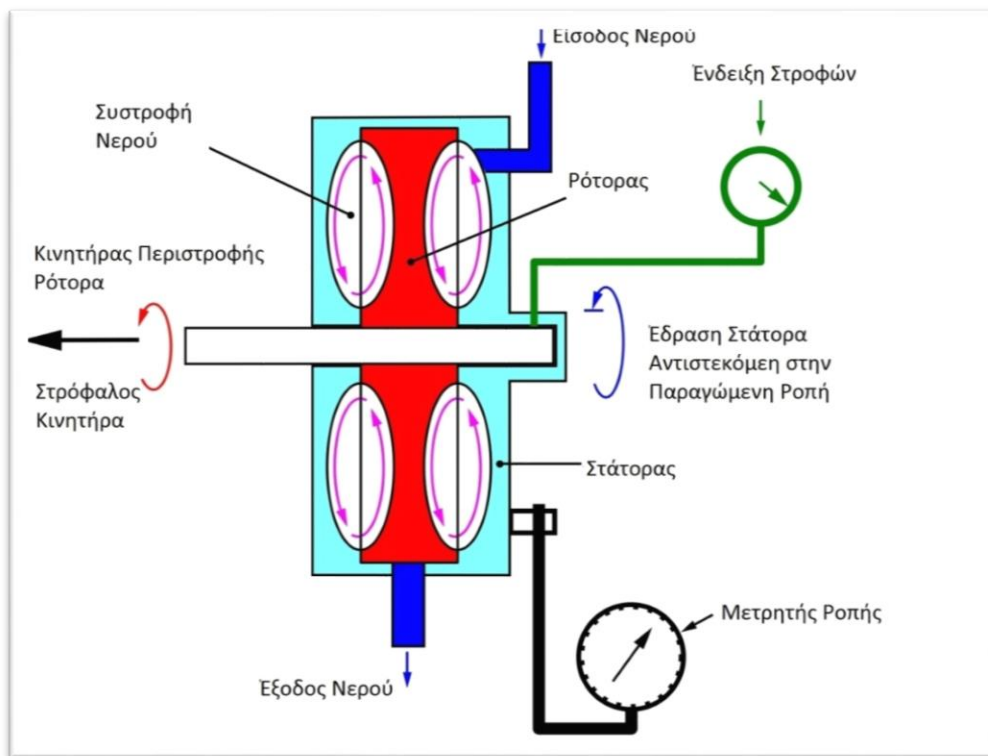


Εικόνα 2.8: Υδραυλικό Δυναμόμετρο (Hydraulic Dynamometer)

2.8.7. Δυναμόμετρα Νερού

Τα *Δυναμόμετρα Νερού* (Water Brake Dynamometers) είναι ιδιαίτερα δημοφιλή χάρη στη δυνατότητά τους να διαχειρίζονται μεγάλες δυνάμεις και συνεπώς κινητήρες, είναι μικρά σε μέγεθος, ελαφριά και κατασκευάζονται εδώ και πολλά χρόνια με σχετικά χαμηλό κόστος συγκρινόμενα με τα υπόλοιπα είδη δυναμόμετρων [14]. Ένα σημαντικό τους μειονέκτημα είναι ότι χρειάζονται αρκετό χρόνο για να σταθεροποιήσουν το φορτίο που προσφέρουν στον άξονα περιστροφής του κινητήρα που εξετάζεται όπως επίσης και το ότι χρειάζονται συνεχώς παροχή κρύου νερού προς ψύξη κάτι το οποίο δυσκολεύει την σταθεροποίηση που μόλις αναφέρθηκε. Σχετική νομοθεσία καλύπτει το συγκεκριμένο ζήτημα σε αρκετές πολιτείες της Αμερικής καθώς επίσης και το Ηνωμένο Βασίλειο για χρήση μεγάλων δεξαμενών νερού όπου το ζεστό νερό θα πρέπει πρώτα να ψύχεται πριν αφηθεί στο περιβάλλον για την προστασία του.

Η εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 2.9) παρουσιάζει τον πιο κοινό τύπου δυναμόμετρου νερού και τα μέρη από τα οποία αποτελείται. Προστίθεται νερό μέχρι να σταθεροποιηθούν οι στροφές του κινητήρα στο υποκείμενο φορτίο. Αυτή η ποσότητα του νερού πρέπει να διατηρηθεί σταθερή με το νερό συνεχώς να ανανεώνεται για την ψύξη του συστήματος.



Εικόνα 2.9: Αρχή Λειτουργίας Δυναμόμετρου Νερού

2.9. Δυναμόμετρα Ηλεκτρικών & Υβριδικών Αυτοκινήτων

Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια για να κινήσουν τους κινητήρες τους και η ενέργεια αυτή αντλείται από τις επαναφορτιζόμενες μπαταρίες (συσσωρευτές) που διαθέτουν. Οι ηλεκτρικοί κινητήρες που χρησιμοποιούνται στα αυτοκίνητα αυτού του είδους είναι κατά κύριο λόγο κινητήρες συνεχούς ρεύματος και κινητήρες τριφασικού ρεύματος. Φορτίζονται σε σταθμούς φόρτισης μέσα στις πόλεις και τους αυτοκινητόδρομους και στο σπίτι του ιδιοκτήτη με τη χρήση του οικιακού δικτύου ρεύματος. Έχουν μεγαλύτερο συντελεστή ενεργειακής απόδοσης συγκριτικά με τα αυτοκίνητα που καταναλώνουν καύσιμο και διαφοροποιούνται από τα υβριδικά αυτοκίνητα που διαθέτουν και κάποιον κινητήρα εσωτερικής καύσης (είτε βενζίνης είτε πετρελαίου) ο οποίος είτε φορτίζει τους συσσωρευτές είτε κινεί το όχημα αντί του ηλεκτρικού κινητήρα φορτίζοντάς το ταυτόχρονα.

Τόσο τα ηλεκτρικά όσο και τα υβριδικά αυτοκίνητα μπορούν να τοποθετηθούν σε δυναμόμετρα όλων των τύπων και να μετρηθούν τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους με εξαίρεση τα δυναμόμετρα κινητήρα τα οποία είναι εξειδικευμένα για τους ηλεκτρικούς κινητήρες γενικά. Ένας ηλεκτρικός κινητήρας ενός ηλεκτρικού ή υβριδικού οχήματος περιστρέφεται μέχρι και στις 15.000rpm, στροφές ιδιαίτερα υψηλότερες από αυτές ενός συμβατικού αυτοκινήτου. Συνεπώς, τα

δυναμόμετρα κινητήρα για ηλεκτρικούς κινητήρες είναι κατασκευασμένα να λειτουργούν σε υψηλότερες στροφές και να ασκούν τα απαραίτητα φορτία στον άξονα περιστροφής.

Όλοι οι υπόλοιποι τύποι των σύγχρονων δυναμόμετρων ρυθμίζουν στις διαστάσεις τους τα κινούμενα μέρη τους (ράουλα ολίσθησης, γεννήτριες κτλ) και μπορούν να προσαρμόζονται ακόμα και στα μικρότερα ηλεκτρικά αυτοκίνητα πόλης που κυκλοφορούν σήμερα στην αγορά για τις μετρήσεις τους. Η διαδικασία μέτρησης δε διαφέρει σε τίποτα από αυτήν ενός συμβατικού αυτοκινήτου καθώς τα χαρακτηριστικά είναι ιδιαίτερα παρεμφερή. Ο τρόπος μέτρησης των στροφών του ηλεκτρικού κινητήρα πραγματοποιείται όπως και στην περίπτωση των συμβατικών αυτοκινήτων από το ηλεκτρονικό σύστημα του αυτοκινήτου (ηλεκτρονικός εγκέφαλος αυτοκινήτου) που είναι συνδεδεμένο με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή που χειρίζεται το δυναμόμετρο και η ροπή μετρείται ανάλογα με το κάθε τύπο δυναμόμετρου όπως αναφέρθηκε στις παραπάνω παραγράφους.

2.10. Συχνές Παρερμηνείες Στην Λειτουργία Των Δυναμόμετρων

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι οι πραγματικές συνθήκες οδήγησης του οχήματος, και πιο συγκεκριμένα η επιτάχυνση και η επιβράδυνση διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό από τις δοκιμές πάνω σε δυναμόμετρα. Διαφορετικές δυνάμεις G, θερμοκρασίες, πρόσφυση ελαστικών, δονήσεις και τυχόν συντονισμοί στα περιστρεφόμενα τους μέρη (άξονες, κινητήρας κτλ) είναι μερικοί από τους παράγοντες που διαφοροποιούν την πραγματικότητα από τα αποτελέσματα του δυναμόμετρου.

Οι πλειονότητα των ιδιοκτητών των οχημάτων και κινητήρων που θέλουν να τα εξετάσουν μέσω δυναμόμετρου αναρωτιούνται εάν θα μπορούσαν να φθαρούν κατά την δυναμομέτρηση. Ένα σύγχρονο δυναμόμετρο δεν μπορεί να φθείρει τον κινητήρα ενός οχήματος (αλλά ούτε και το ίδιο το όχημα με εξαίρεση προφανώς τα ελαστικά του) καθώς μεταφέρει σε αυτόν το ίδιο φορτίο με το οποίο θα επιβαρυνόταν ο κινητήρας και σε πραγματικές συνθήκες οδήγησης. Ένας, για παράδειγμα, κινητήρας αποδίδει 200 ίππους στις 5000rpm, τότε το δυναμόμετρο θα μεταφέρει σε αυτόν ακριβώς 200 ίππους αντίστασης στις 5000rpm.

Στο παρελθόν, βέβαια, όταν χρησιμοποιούνταν δυναμόμετρα με νερό ως το μέσο τριβής, τότε το φορτίο μπορούσε να μεταβληθεί απότομα με την απλή πρόσθεση περισσοτέρου όγκου νερού στο σύστημα προς αύξηση των τριβών. Αντιστρόφως, η αφαίρεση του νερού που λόγω τριβών έφτανε σε σημείο βρασμού με σκοπό την προσθήκη νέου και κρύου δημιουργούσε πολλές φορές «κενά» στο φορτίο που ο κινητήρας διαχειριζόταν με αποτέλεσμα την απότομη αύξηση των στροφών του με κίνδυνο πιθανή ζημιά του. Αυτό συνέβαινε γιατί τα παλιότερα ηλεκτρονικά συστήματα και αισθητήρες των δυναμόμετρων χρειαζόντουσαν περισσότερο χρόνο για την επεξεργασία των δεδομένων εισόδου με αποτέλεσμα την καθυστερημένη ανάδραση των παραμέτρων όπως την ψύξη του.

Στις μέρες μας όμως και παρόλο που δυναμόμετρα νερού χρησιμοποιούνται ακόμα, ο κίνδυνος ζημιάς και καταστροφής του εξεταζόμενου κινητήρα είναι εκμηδενισμένος αφού τα ηλεκτρονικά συστήματα είναι σχεδόν τελειοποιημένα.

Κεφάλαιο 3: Μελέτη Βάσης Δοκιμών & Μετρήσεων

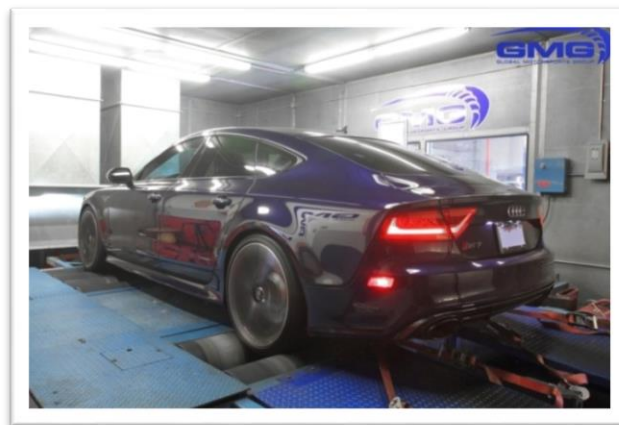
3.1. Εισαγωγή

Η μελέτη που πραγματοποιήθηκε για την κατασκευή της βάσης δοκιμών και μετρήσεων κινήθηκε με γνώμονα τους διαστασιολογικούς περιορισμούς, τις ανάγκες φορητότητας, τους περιορισμούς του ηλεκτρομηχανολογικού συστήματος που επρόκειτο να τοποθετηθεί σε αυτήν και φυσικά τους περιορισμούς τους κόστους. Η βάση έπρεπε να κατασκευαστεί κατά τρόπο προσαρμοσμένο σε όσα αναφέρθηκαν παραπάνω και αναλύονται στην συνέχεια παρακάτω.

3.2. Περιορισμοί Δυναμόμετρου

3.2.1. Διαστάσεις

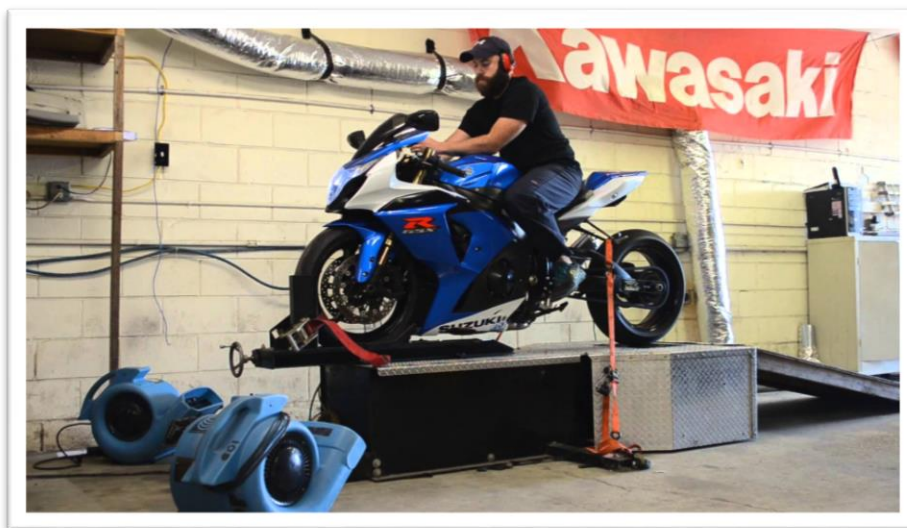
Τα πρωτότυπα οχήματα της ομάδας μεταφέρονται στο εξωτερικό για τους διεθνείς αγώνες σε ένα ειδικά διαμορφωμένο για αυτήν μεταλλικό κιβώτιο (κοντέινερ) που οι διαστάσεις του δεν επιτρέπουν την μεταφορά παρά μόνο συγκεκριμένων και περιορισμένων σε όγκο αντικειμένων. Το μεταφορικό αυτό κιβώτιο χωρίζεται σε δύο τμήματα. Το πρώτο και μεγαλύτερο φέρει το όχημα και το δεύτερο και αρκετά μικρότερο φέρει τον εξοπλισμό της ομάδας όπως εργαλεία, ανταλλακτικά κτλ. Στο πρώτο, λοιπόν, τμήμα θα πρέπει να μπορεί να χωρέσει η βάση δοκιμών μαζί με το όχημα τοποθετημένο επάνω της. Αναπόφευκτα, λοιπόν, περιορίζονται και οι διαστάσεις που το όργανο μέτρησης του οχήματος, το δυναμόμετρό μας, μπορεί να έχει.



Εικόνα 3.1: Αυτοκίνητο με κίνηση και στους 4 τροχούς υπό δυναμομέτρηση

Η πλειονότητα των δυναμόμετρων αυτοκινήτων αλλά και μοτοσυκλετών της αγοράς είναι κατά πολύ μεγαλύτερα των διαστασιολογικών περιορισμών του μεταφορικού κοντέινερ. Πιο συγκεκριμένα, τα δυναμόμετρα τόσο των συμβατικών όσο και των υβριδικών/ηλεκτρικών αυτοκινήτων έχουν διαστάσεις παραπλήσιες των ιδίων των αυτοκινήτων και σε συνδυασμό με το πλαίσιο που τα περιβάλλει οι διαστάσεις δεν είναι μικρότερες των 4 μέτρων σε μήκος και τουλάχιστον 2,5 μέτρων σε πλάτος. Αυτό εξηγείται δεδομένου ότι οι διαστάσεις των μετατροχίων και των μεταξονίων στα συμβατικά οχήματα κυμαίνονται σε τέτοιες περίπου τιμές. Το ύψος, από την άλλη μεριά, κυμαίνεται μεταξύ 45 και 65 εκατοστών, ανάλογα με το μέγεθος τους μεταλλικού αδρανειακού τυμπάνου.

Αντίστοιχα, όσον αφορά στα δυναμόμετρα των μοτοσυκλετών που το πλάτος τους δεν θα αποτελούσε πρόβλημα, το μήκος και το ύψος τους αποτελούν αποτρεπτικούς παράγοντες για την προμήθειά τους.



Εικόνα 3.2: Μοτοσυκλέτα υπό δυναμομέτρηση

Το μεταφορικό κοντέινερ της ομάδας TUCer έχει συνολικό μήκος 3,5 μέτρα. Έπρεπε, συνεπώς, να βρεθεί ένα δυναμόμετρο που θα ήταν αρκετά μικρό για να μπορεί να τοποθετηθεί στο αλουμινένιο πλαίσιο της βάσης και να ικανοποιεί ταυτόχρονα τις ανάγκες της ομάδας για αξιόπιστα δεδομένα. Το μέγιστο ύψος δεν θα έπρεπε να ξεπερνά τα 28cm και το μήκος και το πλάτος να είναι, προφανώς, μικρότερο από τις διαστάσεις της βάσης.

3.2.2. Φορητότητα

Η δυνατότητα μεταφοράς του δυναμόμετρου ήταν ιδιαίτερα σημαντικός παράγοντας για την επιλογή του. Το δυναμόμετρο σε συνδυασμό με το πλαίσιο αλουμινίου της βάσης θα έπρεπε να μπορεί να μετακινείται εύκολα χωρίς τη χρήση οποιουδήποτε μηχανικού μέσου όπως κάποιου τροχήλατου φορητού γερανού ή την συμβολή πολλών ατόμων ταυτόχρονα. Το βάρος, δηλαδή, έπρεπε να είναι και αυτό όσο το δυνατόν μικρότερο. Ενημερωτικά, ένα δυναμόμετρο αυτοκινήτου ζυγίζει έως και 800 Kgr, ενώ αντίστοιχα ένα δυναμόμετρο μοτοσυκλέτας αγγίζει εύκολα τα 250

Kgr. Γίνεται εύκολα κατανοητό ότι η επιλογή ενός δυναμόμετρου είτε για αυτοκίνητο είτε για δίκυκλο ήταν τουλάχιστον αδύνατη.

3.2.3. Ισχύς

Ο τριφασικός ηλεκτρικός κινητήρας του πρωτότυπου ηλεκτρικού οχήματος της ομάδας έχει μέγιστη ονομαστική ισχύ το 1 KW δηλαδή τα 1,34bhp. Τα δυναμόμετρα αυτοκινήτων λειτουργούν για ισχύ που ξεκινά από περίπου τα 40bhp και τα αντίστοιχα των μοτοσυκλετών από περίπου 10bhp ώστε να εξάγουν ασφαλή και αξιόπιστα δεδομένα για τιμές μεγαλύτερης αυτής. Χρειαζόμασταν, δηλαδή, ένα δυναμόμετρο που να μπορεί να μπορεί να εξάγει με μεγάλη ακρίβεια δεδομένα για τιμές κατανάλωσης ενέργειας στον κινητήριο τροχό που θα ξεκινούσαν από λίγα μόλις Watt. Η χαμηλή ισχύς, λοιπόν, στην οποία θα λειτουργούσε το δυναμόμετρο ήταν ένας ακόμη αποτρεπτικός παράγοντας στην επιλογή κάποιου δυναμόμετρου αυτοκινήτου ή μοτοσυκλέτας.

3.2.4. Κόστος

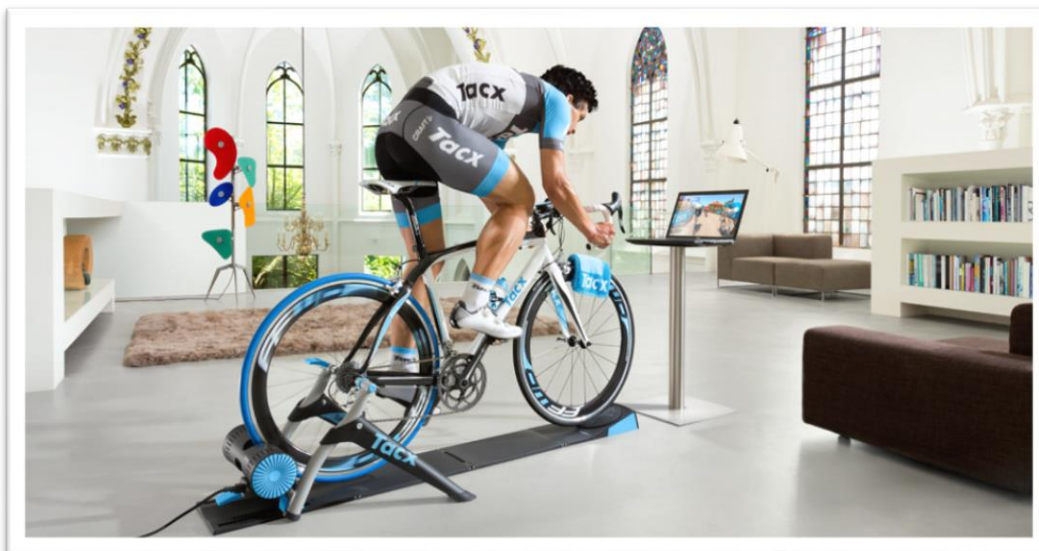
Ακόμα και αν το εύρος λειτουργίας των εμπορικών δυναμόμετρων για αυτοκίνητα και μοτοσυκλέτες κάλυπτε τις ανάγκες του πρωτότυπου οχήματος της ομάδας, και αν ακόμα οι διαστάσεις μπορούσαν να περιοριστούν στις επιθυμητές, το κόστος προμήθειας του ξεπερνούσε κατά πολύ τα οικονομικά πλάνα της ομάδας του Πολυτεχνείου. Μετά από σχετική έρευνα στο διαδίκτυο σημειώνεται ότι για την αγορά ενός δυναμόμετρου για δίκυκλα οι τιμές ξεκινούν από τουλάχιστον μερικές δεκάδες χιλιάδων ευρώ ενώ τα αντίστοιχα των αυτοκινήτων ξεκινούν από τουλάχιστον τριπλάσιες τιμές.

Ήταν, λοιπόν, αναγκαίο να αγοραστεί ή να κατασκευαστεί κάποιο κατάλληλο (υπό τους περιορισμούς) δυναμόμετρο με το ελάχιστο δυνατό κόστος.

3.3. Επιλογή Δυναμόμετρου

Έπειτα, λοιπόν, από σχετική έρευνα στο διαδίκτυο, τόσο σε ιστοσελίδες με επίσημη βιβλιογραφία περί δυναμόμετρων, όσο και σε ιστοσελίδες εταιρειών που διαθέτουν δυναμόμετρα προς πώληση είτε καινούρια είτε μεταχειρισμένα, αλλά και σε εταιρίες που προσφέρουν υπηρεσίες δυναμομέτρησης διαπιστώθηκε ότι η καλύτερη λύση δεν θα μπορούσε να είναι η αγορά ενός δυναμόμετρου εμπορικού τύπου.

Η λύση η οποία ικανοποιούσε κατά τρόπο μέγιστο όλες τις απαραίτητες προϋποθέσεις ήταν αυτή της επιλογής ενός ποδηλατικού προπονητηρίου [15]. Πληρούσε, δηλαδή, όλες τις απαραίτητες προϋποθέσεις όσον αφορά το κόστος, την χαμηλή μετρούμενη ισχύ, την φορητότητα (χαμηλό βάρος) και τις μικρές διαστάσεις (Εικόνα 3.3). Πιο συγκεκριμένα, το ποδηλατικό προπονητήριο ή αλλιώς εργόμετρο ή εν γένει δυναμόμετρο ποδηλάτου, προσφέρει την δυνατότητα προπόνησης του αθλητή-αναβάτη σε στατικό περιβάλλον και κλειστό χώρο.



Εικόνα 3.3: Ποδηλάτης σε προπόνηση σε κλειστό χώρο με εργόμετρο Tacx

Αποτελείται από τρία επί της ουσίας μέρη. Τη βάση πάνω στην οποία στηρίζεται το ποδήλατο, το ίδιο το εργόμετρο που βρίσκεται και αυτό πάνω στην βάση και το λογισμικό που το συνοδεύει.

Η βάση δεν είναι κάτι παραπάνω από έναν μεταλλικό τρίποδα βαρέος τύπου που συγκρατεί με ασφάλεια τον πίσω τροχό του ποδηλάτου «κλειδώνοντας» τον σε μία σταθερή απόσταση από το ράουλο το οποίο έρχεται σε επαφή μαζί του. Επιλέγεται να μην γίνει περεταίρω ανάλυση στη βάση του προπονητηρίου καθώς δεν αποτέλεσε μέρος της κατασκευής που επήλθε στην συνέχεια διότι αφαιρέθηκε.

Αξίζει να σημειωθεί ότι το ποδηλατικό αυτό εργόμετρο είναι στην ουσία ένα απλοποιημένο Δυναμόμετρο Υστέρησης (γενικότερη κατηγορία Eddy Current) και ακολουθεί τη δομή και τις αρχές λειτουργίας που περιγράφηκαν στην αντίστοιχη παράγραφο παραπάνω. Το εργόμετρο, λοιπόν, αποτελείται από ένα ράουλο ολίσθησης που είναι συνδεδεμένο με έναν μεγαλύτερο μεταλλικό δίσκο (τύμπανο) έτσι ώστε να περιστρέφονται μαζί προσφέροντας την απαραίτητη αδράνεια κατά την περιστροφική επιτάχυνση. Το εργόμετρο διαθέτει επίσης και έναν μαγνητικό μηχανισμό άσκησης αντίστασης στο ράουλο ολίσθησης σε κλίμακα από το 1 μέχρι το 10 με χειριστήριο που τοποθετείται κανονικά στο τιμόνι του ποδηλάτου. Με την χρήση του μαγνητικού φρένου ο αναβάτης-αθλητής μπορεί να ελέγχει την αντίσταση που ασκείται στο ράουλο ολίσθησης και να την προσαρμόζει στις ανάγκες προπόνησής του. Στο εσωτερικό του εργομέτρου υπάρχουν αισθητήρες που μετρούν την καταναλισκόμενη ισχύ, τις στροφές ανά λεπτό, την μέση ωριαία ταχύτητα κ.α και ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα που μπορεί και στέλνει τα δεδομένα αυτά στον υπολογιστή, tablet ή Smartphone που φέρουν το λογισμικό από το οποίο το προπονητήριο συνοδεύεται.



Εικόνα 3.4: Προπονητήριο Tacx Satori Smart T2400

Το λογισμικό του προπονητηρίου εγκαταστάθηκε στον ηλεκτρονικό φορητό υπολογιστή της ομάδας TUCER (Εικόνα 3.5). Μέσω του λογισμικού καταγράφονται αλλά και παρουσιάζονται σε πραγματικό χρόνο η καταναλισκόμενη ισχύ (μετρούμενη σε Watt) στο εργόμετρο συναρτήσει του χρόνου, η ταχύτητα συναρτήσει χρόνου, η μέση ωριαία ταχύτητα, η διανυθείσα απόσταση και άλλες πληροφορίες που όμως δεν έχουν χρησιμότητα για την ομάδα και τη μελέτη που πραγματοποιείται.



Εικόνα 3.5: CD Λογισμικού, USB κεραία μετάδοσης δεδομένων, Χειριστήριο Τιμονιού

Παρουσιάζονται στην συνέχεια το μοντέλο και τα χαρακτηριστικά του προπονητηρίου και του συνεργαζόμενου λογισμικού:

Εργόμετρο

Μοντέλο: Tacx Satori Smart T2400

Χαρακτηριστικά:

- Λειτουργία Αντίστασης με μοχλό (10 θέσεων)
- Μαγνητική Αντίσταση (950 Watt μέγιστη)
- Μάζα Αδράνειας 16,93 kgr
- Προσαρμογή σε κάθε Διάμετρο Τροχού
- Ασύρματη Bluetooth επικοινωνία με το λογισμικό Tacx Trainer - Software 4

Λογισμικό

Μοντέλο: Tacx Trainer Software 4

Χαρακτηριστικά:

- Σύνδεση με Windows PC, Smartphone, Tablet
- Καταγραφή Δεδομένων Προπόνησης
- Εξαγωγή Δεδομένων Προπόνησης σε αρχείο XTL

3.4. Περιορισμοί Βάσης

3.4.1. Υλικά Κατασκευής

Για την κατασκευή της βάσης δοκιμών των οχήματος έπρεπε να μελετηθεί το υλικό από το οποίο θα κατασκευαζόταν και να επιλεγεί συναρτήσει του κόστους του, της αντοχής του και της δυνατότητάς του προς κατεργασία. Μελετήθηκαν και συγκρίθηκαν τα υλικά που παρουσιάζονται στην συνέχεια και επιλέχθηκε το καταλληλότερο για την εφαρμογή που το χρειαζόμασταν.

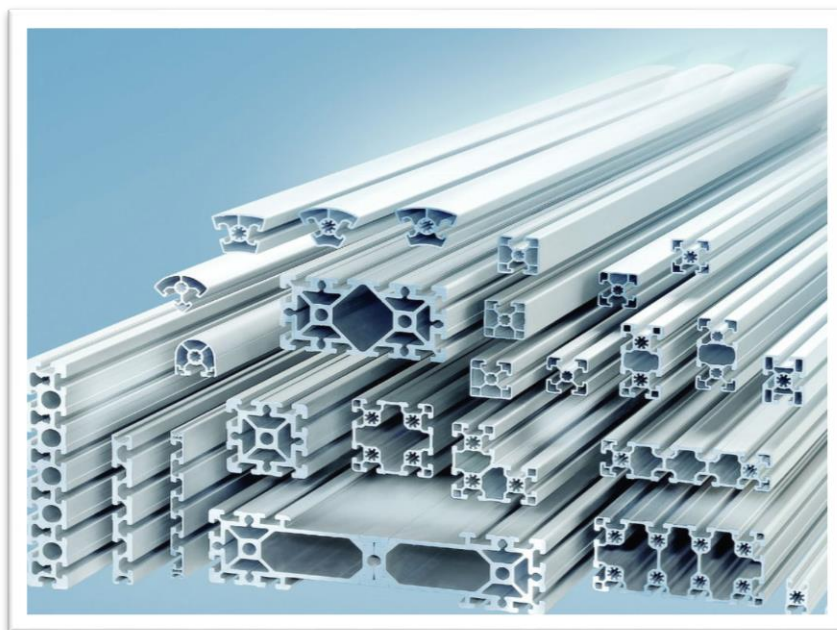
Χάλυβας



Εικόνα 3.6: Ράβδοι χάλυβα για οικοδομική χρήση

Αρχικά, για λόγους κόστους εξετάστηκε το ενδεχόμενο κατασκευής της βάσης από χάλυβα. Πρόκειται για ένα οικονομικό υλικό με υψηλές αντοχές σε εφελκυσμό, στρέψη και κάμψη. Η ευκολία στην συγκόλλησή του ήταν επίσης ένας ακόμη θετικός παράγοντας προς την επιλογή του υλικού αυτού. Παρόλα αυτά, οι υπολογισμοί για το συνολικό βάρος της κατασκευής (περί τα 65kg, απουσία του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού της), του κόστους βαφής αυτής προς αποφυγή της οξείδωσης αλλά και του συνολικού χρόνου των παραπάνω εργασιών έδειξαν ότι η επιλογή του χάλυβα δεν είναι η κατάλληλη.

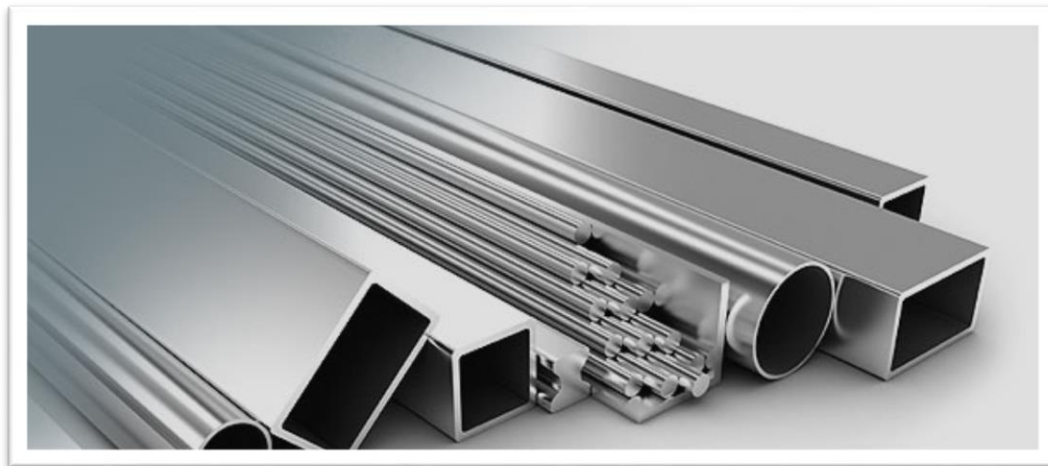
Έτοιμα Προφίλ Αλουμινίου



Εικόνα 3.7: Εξωθημένα προφίλ αλουμινίου της BoschRexroth

Στην συνέχεια εξετάστηκε η κατασκευή της βάσης από αλουμίνιο και συγκεκριμένα με τυποποιημένα προφίλ αλουμινίου που διαθέτουν αυλακώσεις και κατάλληλες διατομές για την συναρμολόγησή τους με χρήση συνδέσμων [16]. Με την χρήση των συγκεκριμένων προφίλ αποφεύγεται η δυσκολία συγκόλλησης του αλουμινίου η οποία απαιτεί λεπτομερείς ρυθμίσεις στην μηχανή συγκόλλησης και μεγάλη δεξιότητα και εμπειρία από τον χειριστή. Η συγκόλληση αποφεύγεται χάρη στην χρήση ειδικών συνδέσμων όπως αναφέρθηκε, κοχλιών και περικοχλίων που επιλέγονται βάσει του εκάστοτε προφίλ αλουμινίου και κάνουν την συναρμολόγηση εύκολη και με ελάχιστη καταβολή χρόνου. Η στιβαρότητα, λοιπόν, της κατασκευής και η αντοχή της θα ήταν δεδομένη χάρη στα τεχνικά χαρακτηριστικά των προφίλ που ξεπερνούσαν κατά πολύ τις απαιτήσεις μας σε αντοχές κάμψης και εφελκυσμού, ακόμα και με τον αυστηρό συντελεστή ασφαλείας που θέτουμε πάντοτε. Αναπόφευκτα, χάρη στην φύση του υλικού η κατασκευή θα προέκυπτε ιδιαίτερα ελαφριά και όχι παραπάνω από 40kg, χωρίς, βέβαια, να υπολογίζεται ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός που θα τοποθετούσαμε πάνω της στην συνέχεια. Ο χρόνος κατασκευής επίσης, που θα ελαχιστοποιούταν αφού θα περιελάμβανε μόνον την κοπή των προφίλ αλουμινίου (προμήθεια σε δοκούς των 5 μέτρων) και την συναρμολόγησή τους με τους συνδέσμους που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Το κόστος, όμως, ήταν ο αποτρεπτικός παράγοντας για την συγκεκριμένη επιλογή αφού εκτοξευόταν σε τουλάχιστον 7πλάσιο ύψος σε σύγκριση με την επιλογή κατασκευής της βάσης από σίδηρο ακόμα και δεδομένου ότι κάποια περαιτέρω βαφή θα ήταν παντελώς περιττή.

Αλουμίνιο



Εικόνα 3.8: Διάφορα προφίλ αλουμινίου βιομηχανικού τύπου

Ως τελευταία επιλογή εξετάστηκε και εν τέλει προτιμήθηκε η κατασκευή της βάσης από τα “κλασσικά” προφίλ αλουμινίου ορθογωνικής διατομής. Η επιλογή βασίστηκε κυρίως στους παράγοντες του βάρους και του κόστους της κατασκευής. Προέκυπτε, δηλαδή, βάσει υπολογισμών, κατασκευή με μικρότερο βάρος συγκριτικά με τις άλλες δύο εναλλακτικές λύσεις (περίπου 20-25 kg) και με κόστος που μπορούσε να καλυφθεί. Πιο συγκεκριμένα, επιλέχθηκε ορθογωνικό προφίλ

αλουμινίου διαστάσεων 40mm X 20mm και πάχους 2mm. Η δυσκολία της συγκόλλησης αντιμετωπίστηκε χάρη στην πολύωρη δοκιμή και εξάσκηση σε δοκίμια του ιδίου υλικού είτε σε οριζόντια θέση είτε σε κάθετη είτε υπό κλίση, και αφότου φυσικά ρυθμίστηκε η μηχανή συγκόλλησης στα επιθυμητά επίπεδα βάσει του συγκεκριμένου τύπου αλουμινίου. Ελαχιστοποιήθηκε έτσι και ο συνολικός χρόνος υλοποίησης της βάσης. Τέλος, δεν εξετάστηκε το ενδεχόμενο βαφής της καθώς η επιφάνεια του αλουμινίου ήταν άψογη όπως επίσης και οι “ραφές” των συγκολλήσεων.

3.4.2. Επιλογή Διαστάσεων

Η βάση δοκιμών του οχήματος εκτός των περιορισμών σε υλικά και κόστος, όφειλε να πληροί και διαστασιολογικές προϋποθέσεις. Το πρωτότυπο όχημα της ομάδας τοποθετημένο στη βάση δοκιμών θα έπρεπε να μπορεί να τοποθετηθεί με εύκολο τρόπο και με ασφάλεια στο μεταφορικό κιβώτιο της ομάδας. Συνεπώς, οι διαστάσεις της βάσης έπρεπε να επιλεγθούν με τέτοιο τρόπο αφού κατά τη κατασκευή του κιβωτίου μεταφοράς του οχήματος δεν είχε προβλεφθεί η χρήση βάσης για αυτό. Τουλάχιστον όχι μη συναρμολογούμενης. Πιο συγκεκριμένα οι διαστάσεις της βάσης επιλέχθηκαν ως εξής:

Μήκος: 230cm

Πλάτος: 130cm

Ύψος: 37,5 cm

Με αυτές τις διαστάσεις της βάσης και με το όχημα τοποθετημένο σε αυτήν το πάνω μέρος του μεταφορικού κοντέινερ της ομάδας απείχε 5cm από τον “ουρανό” του αυτοκινήτου. Κατά μήκος και πλάτος οι αποστάσεις από τα τοιχώματα του κοντέινερ είναι τουλάχιστον 20cm προκειμένου να επιτρέπεται η πρόσβαση για την πρόσδεση της βάσης με ιμάντες για αποφυγή μετακίνησης και προφανώς ζημιών κατά την μεταφορά του οχήματος στο εξωτερικό.

3.4.3. Φορητότητα, Εργονομία & Αποθηκευτικός Χώρος

Στην βάση τοποθετήθηκαν ρόδες με ελεύθερο φορέα κίνησης (τετραδιεύθυνση) που επιτρέπουν τη μετακίνησή της χωρίς να χρειάζεται η ανύψωσή της (Εικόνα 3.9). Κάθε ρόδα διαθέτει σύστημα πέδησης το οποίο κλειδώνει για αποφυγή ανεπιθύμητων μετακινήσεων.



Εικόνα 3.9: Ρόδες με δυνατότητα κίνησης προς κάθε κατεύθυνση και μηχανικό φρένο

Το πίσω μέρος της βάσης κατασκευάστηκε με τέτοιο τρόπο ώστε τα άτομα που εργάζονται στο όχημα να μπορούν να κάθονται και να έχουν σε εργονομικό ύψος τα χέρια τους για τις εργασίες που πραγματοποιούνται στο όχημα. Πιο αναλυτικά, τοποθετήθηκε ξύλινη επιφάνεια η οποία προσαρμόστηκε στο κυρίως πλαίσιο της βάσης δοκιμών (Εικόνα 3.10). Η θέση αυτή δεν επιλέχθηκε τυχαία, αφού η στο πίσω μέρος του οχήματος βρίσκονται η πλειονότητα των μηχανικών, ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών μερών καθώς επίσης η φιάλη και η κυψέλη υδρογόνου.



Εικόνα 3.10: Ξύλινη επιφάνεια για εργασία στο όχημα σε καθιστή θέση

Το ύψος της βάσης επιλέχθηκε να είναι αυτό για πρακτικούς λόγους και συγκεκριμένα, για τις ανάγκες αποθήκευσης και μεταφοράς των εργαλείων, όπως επίσης και ανταλλακτικών του οχήματος της ομάδας από και προς την πίστα όπου αγωνίζεται. Πιο αναλυτικά, τοποθετήθηκαν φύλλα γαλβανιζέ λαμαρίνας στο κάτω πλαίσιο της βάσης δημιουργώντας μία αρκετά μεγάλη επιφάνεια διαστάσεων:

Μήκος: 130cm

Πλάτος: 120cm

η οποία διατίθεται προς τοποθέτηση εργαλαιοφορέων, κουτιών αποθήκευσης ανταλλακτικών κτλ (Εικόνα 3.11). Η τοποθέτηση των λαμαρινών έγινε με τη χρήση περτσινιών αφότου πρώτα τρυπήθηκαν με κατάλληλο διαμέτρημα οι λαμαρίνες και το κάτω πλαίσιο της βάσης αλουμινίου.



Εικόνα 3.11: Τοποθετημένες λαμαρίνες αποθηκευτικού χώρου

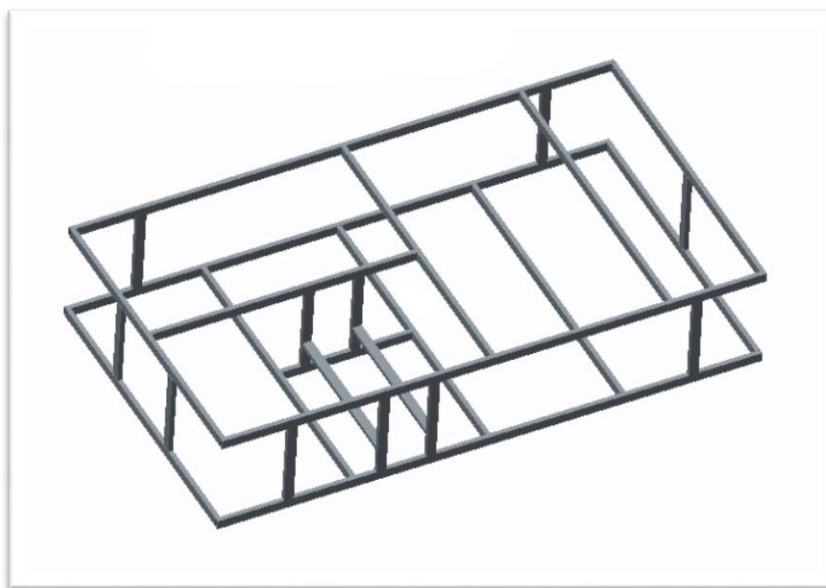
Κεφάλαιο 4: Σχεδίαση Βάσης Δοκιμών & Μετρήσεων

4.1. Εισαγωγή

Η βάση δοκιμών και μετρήσεων σχεδιάστηκε αμέτρητες φορές και με πολλές παραλλαγές σε σκαριφήματα. Οι διαστασιολογικοί περιορισμοί, η εργονομία που έπρεπε να έχει καθώς και εύρεση του ευκολότερου τρόπου κατασκευής ήταν μερικοί από τους παράγοντες που εμποδίζαν την εξ'ολοκλήρου σχεδίαση από την αρχή. Έπειτα από αρκετές προσπάθειες και πειραματισμούς έγινε, λοιπόν, σχέδιο για το κυρίως πλαίσιο της και του χώρου στον οποίο θα τοποθετούνταν ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός που περιγράφηκε στα παραπάνω κεφάλαια. Στην συνέχεια ξεκίνησε η κατασκευή της. Αρκετά προβλήματα, κυρίως διαστασιολογικής φύσεως, παρουσιάστηκαν στην πορεία που όμως αντιμετωπίστηκαν χωρίς να επηρεαστεί το οικονομικό και το χρονικό πλαίσιο το οποίο ακολουθούνταν.

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί παρουσιάζονται μηχανολογικά σχέδια και εικόνες για τα διάφορα τμήματα της βάσης. Γίνονται αναφορές στις διαστάσεις τους όπου κρίνεται λογικό και χρήσιμο. Παρουσιάζονται επίσης τα χαρακτηριστικά του τριφασικού ηλεκτροκινητήρα που χρησιμοποιείται για τη διαδικασία της αρχικοποίησης (Calibration) του ποδηλατικού εργόμετρου καθώς επίσης και του ελεγκτή του. Το μηχανολογικό σχέδιο του προπονητηρίου απουσιάζει καθώς αποτελεί σχέδιο εμπορικού και ανταγωνιστικού προϊόντος και δεν διατίθεται στο εμπόριο για τους προφανείς λόγους.

4.2. Κυρίως Πλαίσιο



Εικόνα 4.1: Κυρίως πλαίσιο βάσης δοκιμών και μετρήσεων σχεδιασμένη στο πρόγραμμα Creo Parametric 2

4.3. Ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός βάσης

4.3.1. Κινητήρας Αρχικοποίησης

Μοντέλο

AXI 5360/20 Gold Line

Κωδικός Προϊόντος:

536020

Χαρακτηριστικά

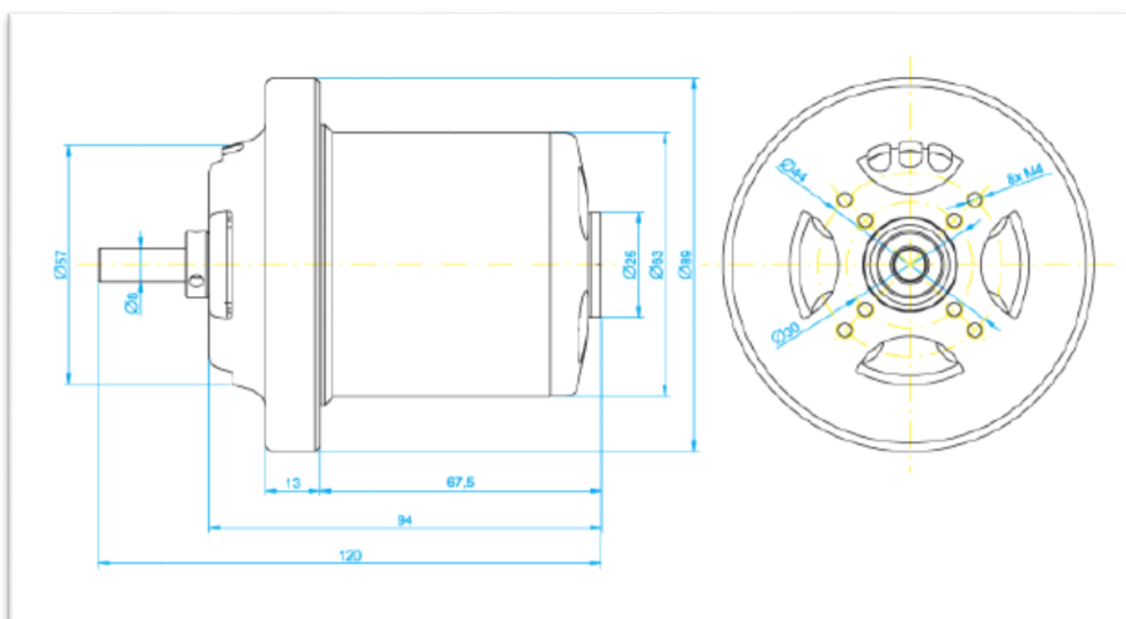
- Αριθμός Κυψελών Μπαταριών: 10s τύπου Li-Poly
- Μέγιστος Αριθμός Περιστροφών Άνευ Φορτίου:120
- Μέγιστη Απόδοση: 94%
- Εύρος Μέγιστης Απόδοσης: 20 - 59 A (>85%)
- Ένταση Άνευ Τάσης: 30 V 1,8 A
- Μέγιστη Ένταση: 65 A/20 s
- Εσωτερική Αντίσταση: 68 mohm
- Διαστάσεις (Μέγιστη Διάμετρος X Μέγιστο Μήκος): 89x94 mm
- Διάμετρος Άξονα: 8 mm
- Βάρος (συμπεριλαμβανομένων των καλωδίων):1350 gr

Περιγραφή Κινητήρα

Ο κινητήρας αυτός προορίζεται κανονικά για χρήση στον αερομοντελισμό [17] Είναι χαμηλών στροφών αλλά μεγάλης ροπής και είναι σχεδιασμένος για να τοποθετείται σε μοντέλα βάρους μέχρι και 15Kgr. Διαθέτει 3 έδρανα ολίσθησης (ένσφαιρα ρουλεμάν) στον άξονα περιστροφής και ένα ακόμα ένσφαιρο έδρανο ολίσθησης στον ρότορα. Ο κινητήρας αυτός διαθέτει ιδιαίτερα μεγάλο βαθμό απόδοσης σε όλο το εύρος στροφών του. Χρησιμοποιείται στο συγκεκριμένο πρωτότυπο όχημα που μετράται με σχέση μετάδοσης 10:1.



Εικόνα 4.2: Τριφασικός κινητήρας Axi 5360/20



Εικόνα 4.3: Μηχανολογικό σχέδιο ηλεκτρικού κινητήρα Axi 5360/20

4.3.2. Ράουλα Ολίσθησης & Έδραση

Τα ράουλα ολίσθησης χρησιμοποιούνται ιδιαίτερα συχνά στην σύγχρονη βιομηχανία κάθε είδους (από εταιρείες συσκευασίας τροφίμων μέχρι εταιρείες κατασκευής αυτοκινήτων) και αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι κάθε γραμμής παραγωγής και ταινιοδρόμου (Εικόνα 4.4). Υπάρχουν διαφόρων ειδών ράουλα. Στην

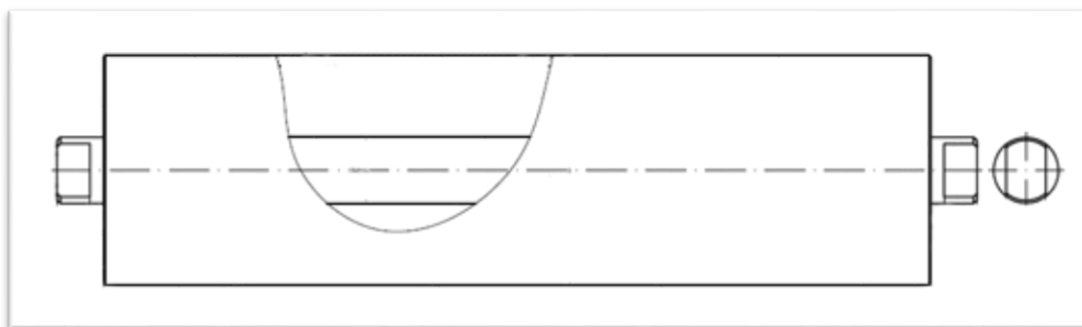
παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται ένα είδος το οποίο διαθέτει έδρανα ολίσθησης τοποθετημένα στο κέντρο του καθώς επίσης και τον άξονα που ολισθαίνει πάνω τους.



Εικόνα 4.4: Ράουλο ολίσθησης με ενσωματωμένα ρουλεμάν και άξονα κύλισης

Στην κατασκευή της βάσης η αρχική ιδέα ήταν να χρησιμοποιηθεί ένα ράουλο αυτής της κατηγορίας αλλά για λόγους εξοικονόμησης χρήματος και χρόνου αξιοποιήθηκαν υλικά που υπήρχαν ήδη στο εργαστήριο όπως κύλινδροι τεφλόν της επιθυμητής διαμέτρου και ράβδοι κυλινδρικού προφίλ από αλουμίνιο.

Αρχικά, σχεδιάστηκε η μορφή που έπρεπε να έχει το ράουλο ολίσθησης με συγκεκριμένη εσωτερική οπή και διάμετρο και στην συνέχεια σχεδιάστηκε και ο άξονας που θα περνούσε από αυτήν (Εικόνα 4.5). Επιθυμούμε μηδενική ολίσθηση μεταξύ ράουλου και άξονα οπότε το διάκενο θα έπρεπε να είναι αρνητικό για ιδιαίτερα σφικτή συναρμογή. Η εσωτερική οπή του ράουλου διαμορφώθηκε στα 15mm ενώ ο άξονας στα 15,05mm.



Εικόνα 4.5: Μηχανολογικό σχέδιο ράουλου ολίσθησης με οπή

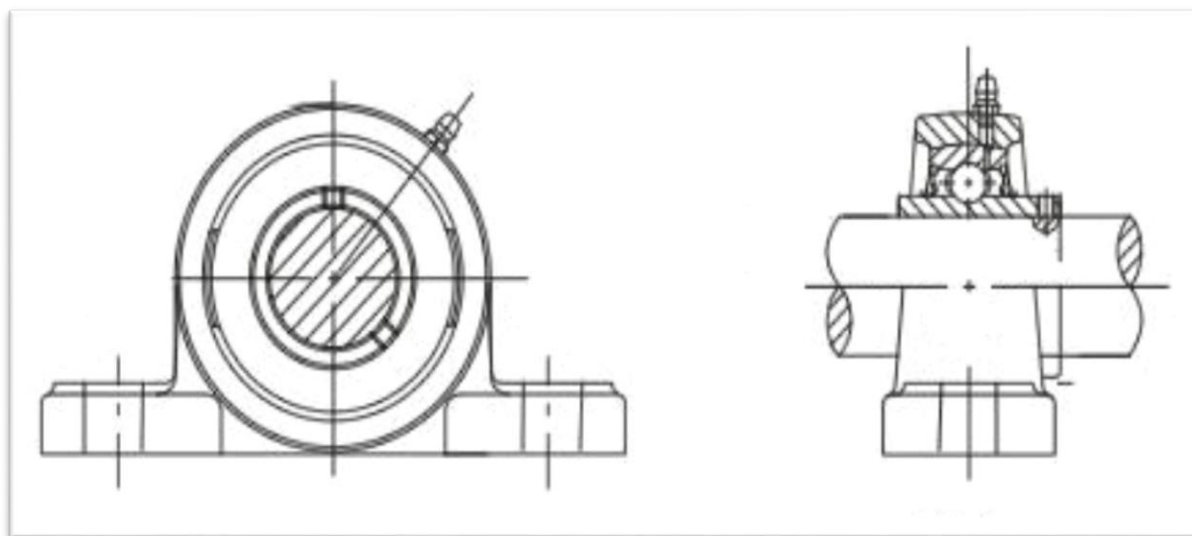


Εικόνα 4.6: Ράουλα ολίσθησης από τεφλόν πριν το τελικό στάδιο μορφοποίησης

Η έδραση του άξονα έγινε χάρη στη χρήση ενσωματωμένων εδράνων ολίσθησης σε βάσεις [18]. Οι συγκεκριμένες βάσεις με τα ενσωματωμένα ένσφαιρα ρουλεμάν ονομάζονται τύπου «Ω» (ωμέγα) και παρουσιάζονται στις παρακάτω φωτογραφίες αναλυτικά. Η μικρή βαλβίδα που διακρίνεται στο πάνω δεξιά τμήμα της βάσης ονομάζεται γρασαδόρος και χρησιμεύει στη διοχέτευση λιπαντικού (γράσου) στις σφαίρες του ρουλεμάν.

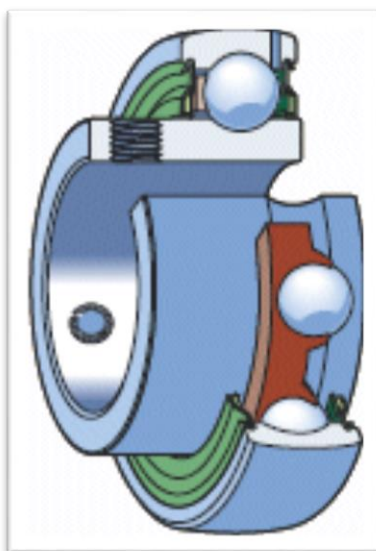


Εικόνα 4.7: Έδρανο ολίσθησης σε ρυθμιζόμενη βάση με γρασαδόρο



Εικόνα 4.8: Μπροστινή και αριστερή πλάγια όψη βάσης ρουλεμάν με άξονα

Ο εξωτερικός δακτύλιος του ρουλεμάν έχει κυρτή επιφάνεια όπως και το εσωτερικό τμήμα της βάσης του, κάτι το οποίο επιτρέπει την αυτορύθμιση σε τυχόν μικρές αποκλίσεις καθετότητας (Εικόνα 4.9). Ο εσωτερικός δακτύλιος του ρουλεμάν διαθέτει δύο «ακέφαλες» βίδες τύπου άλλεν προκειμένου να συγκρατείται ο άξονας που περιστρέφεται. Το σχέδιο που ακολουθεί παρουσιάζει αναλυτικά τη δομή των εδράσεων τύπου Ω.

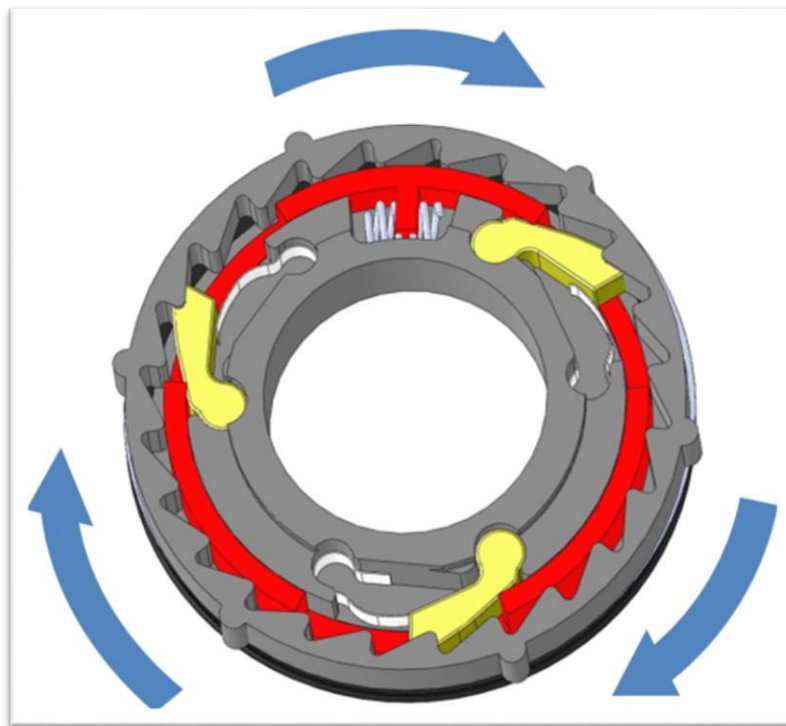


Εικόνα 4.9: Ένσφαιρο ρουλεμάν βάσης. Διακρίνεται ο κυρτός εξωτερικός δακτύλιος

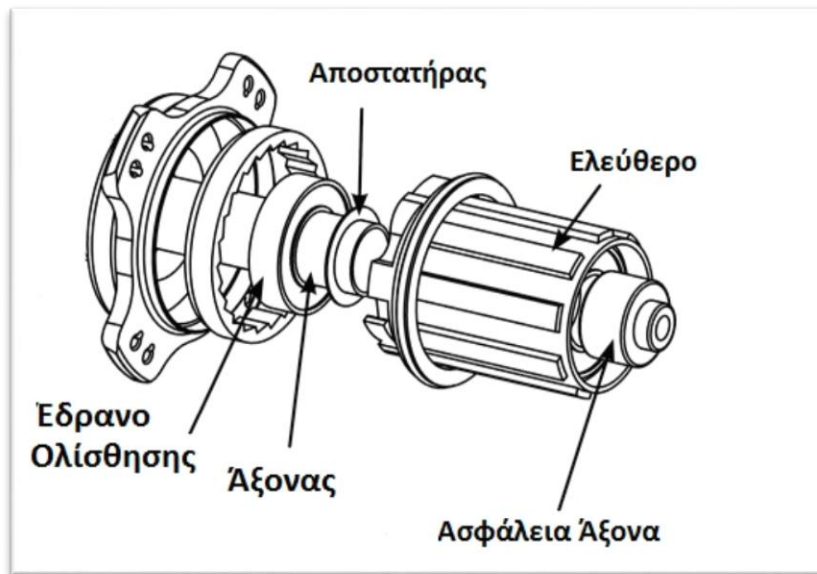
4.3.3. Ελεύθερο

Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζονται σχέδια και εικόνες για το ελεύθερο (ή αλλιώς και καστάνια ή freewheel) που χρησιμοποιήθηκε όπως επίσης και του Silent Block στην μετάδοση του άξονα κίνησης του κινητήρα αρχικοποίησης. Το ποδηλατικό ελεύθερο και ο αθόρυβος σύνδεσμος σχεδιάστηκαν και τοποθετήθηκαν για την προστασία του κινητήρα αρχικοποίησης από τυχόν απότομες μεταβολές του κινητήριου τροχού αλλά και από τυχόν κραδασμούς κατά την περιστροφή του που σε επίπεδο συντονισμού θα επέφερε μεγάλη φθορά και κατά συνέπεια ζημιά στα έδρανα ολίσθησης του κινητήρα.

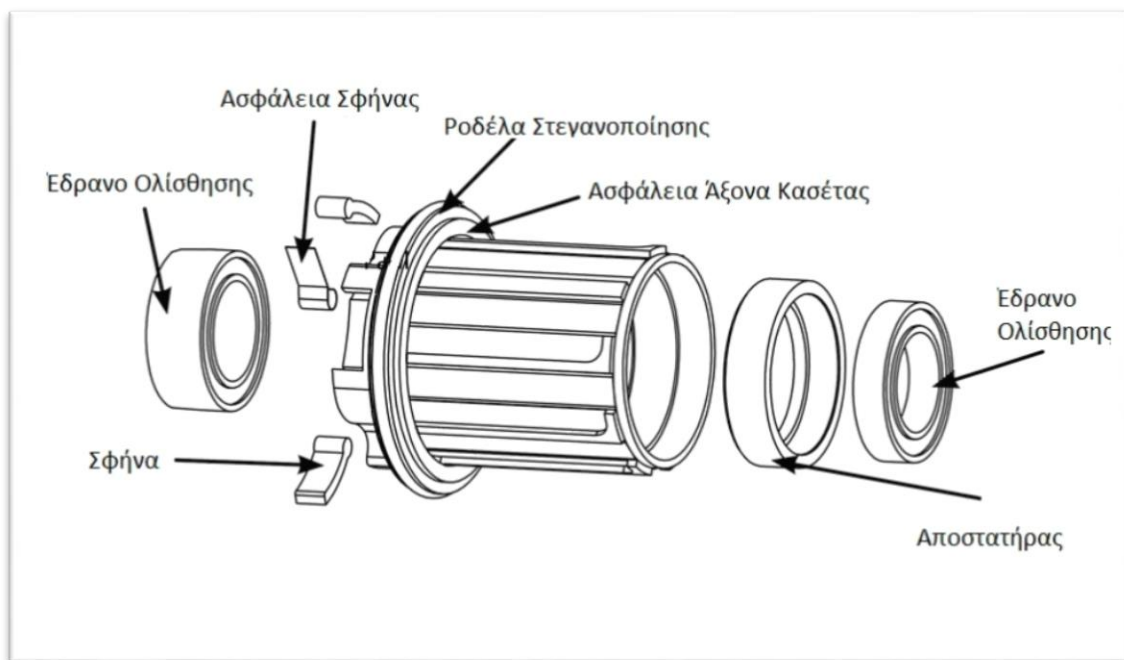
Η αρχή λειτουργίας του ελεύθερου είναι αρκετά απλή [19]. Το εσωτερικό τμήμα το ονομάζουμε ρότορα και το εξωτερικό στάτορα. Ο ρότορας φέρει ελατήρια και κινούμενα μέρη (κίτρινο χρώμα) και περιστρέφεται μόνος του αριστερόστροφα με τα κίτρινα μέρη να ολισθαίνουν πάνω στο εσωτερικό τμήμα του στάτορα. Κατά την δεξιόστροφη, όμως, περιστροφή του τα κίτρινα μέρη πιεζόμενα από τα ελατήρια παρασέρνουν μαζί τους και τον ρότορα προς την ίδια κατεύθυνση (Εικόνα 4.10). Σε επίπεδο καθημερινότητας, όταν κάνουμε ποδήλατο και χρησιμοποιούμε τα πετάλια για την κίνησή μας η λειτουργία του ελεύθερου είναι η δεξιόστροφη (φορά κίνησης των δεικτών του ρολογιού) ενώ όταν βρισκόμαστε σε μία κατηφόρα και δεν κάνουμε πετάλι ο άξονας της πίσω ρόδας του ποδηλάτου περιστρέφεται ελεύθερα (εξού και ο ορισμός) μέσα στον μηχανισμό (αριστερόστροφη λειτουργία) κάνοντας τον χαρακτηριστικό ήχο που όλοι γνωρίζουμε.



Εικόνα 4.10: Εικονική αναπαράσταση λειτουργίας ελεύθερου



Εικόνα 4.11: Μηχανολογικό σχέδιο ελεύθερου



Εικόνα 4.12: Μηχανολογικό σχέδιο ελεύθερου

Από προηγούμενες εργαστηριακές εφαρμογές είχε κατασκευαστεί μία «φωλιά» για το ποδηλατικό ελεύθερο που εκτελεί χρέη στάτορα στην κατασκευή μας και χρησιμοποιείται για τη μετάδοση της κίνησης από τον κινητήρα προς το ράουλο ολίσθησης σε συνδυασμό φυσικά με το ελεύθερο (Εικόνα 4.13). Το «ελεύθερο» μπαίνει στο εσωτερικό μέρος της φωλιάς η οποία διαθέτει έπειτα από κατεργασία στην φρέζα τις απαραίτητες αυλακώσεις ώστε να μην υπάρχει διάκενο και συντονισμός κατά την περιστροφή.



Εικόνα 4.13: Η «φωλιά» κατασκευασμένη από αλουμίνιο

4.3.4. Σύνδεσμος Άξονα

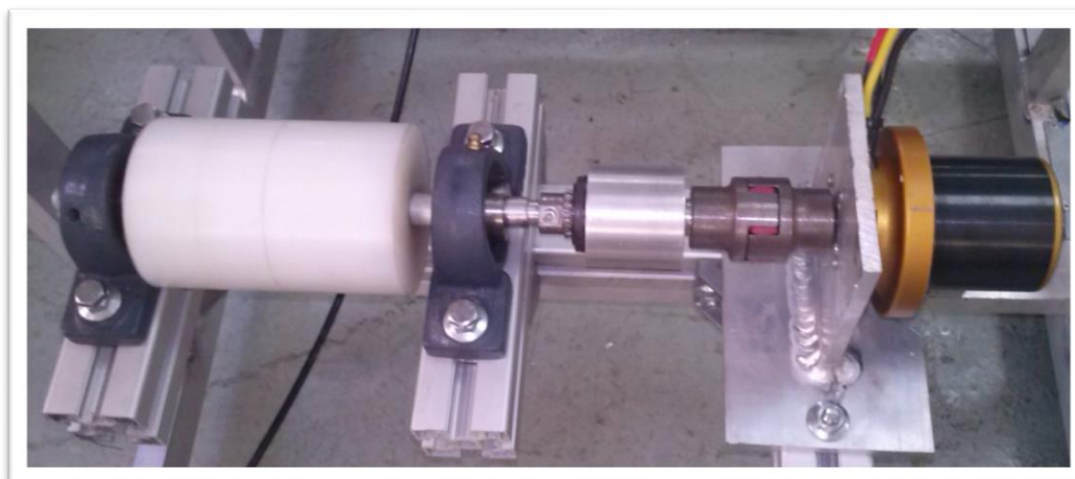
Ο σύνδεσμος άξονα (κόμπλερ), Silent Block, στην συγκεκριμένη εφαρμογή αποτελείται από τρία μέρη που συνεργάζονται μεταξύ τους και είναι διαιρετός. Αυτό επισημαίνεται διότι υπάρχουν και πολλά είδη συνδέσμων άξονα που δεν αποσπώνται τα επί μέρους τμήματά τους. Το συγκεκριμένο κόμπλερ χρησιμοποιείται για την ομαλή περιστροφή του άξονα που αποτελείται από διάφορα μέρη που περιστρέφονται ταυτόχρονα με αυτόν. Τόσο σε χαμηλές όσο και σε υψηλές rpm (στροφές ανά λεπτό) εξομαλύνονται τυχόν κραδασμοί και συντονισμοί κατά την περιστροφή που δεν φαίνονται εύκολα με γυμνό οφθαλμό.

Το αριστερό και το δεξιό τμήμα του συνδέσμου είναι κατασκευασμένα από σίδηρο και διαθέτουν κατάλληλο σχηματισμό ώστε να μπορεί να προσαρμόζεται το ένα μέσα στο άλλο. Σε κάθε ένα από τα μεταλλικά μέρη υπάρχουν δύο ακέφαλες βίδες τύπου Allen που φροντίζουν ώστε να ασφαρίζεται ο άξονας και στην δεξιά αλλά και στην αριστερή πλευρά με τα τμήματα αυτά. Ανάμεσα τους τοποθετείται ένα ελαστικό υλικό στο σχήμα των μεταλλικών εξαρτημάτων που απορροφά τις ανεπιθύμητες έκκεντρες περιστροφές και έτσι δεν τις μεταδίδει στον κινητήρα προς προστασία του (Εικόνα 4.14).

Θεωρούμε προφανώς ότι ο άξονας του κινητήρα περιστρέφεται χωρίς την παραμικρή εμφάνιση εκκεντρότητας και ότι οι κραδασμοί και αστοχίες κατά την περιστροφή προέρχονται από τα υπόλοιπα περιστρεφόμενα μέρη της κατασκευής.



Εικόνα 4.14: Σύνδεσμος Άξονα (Silent Block)



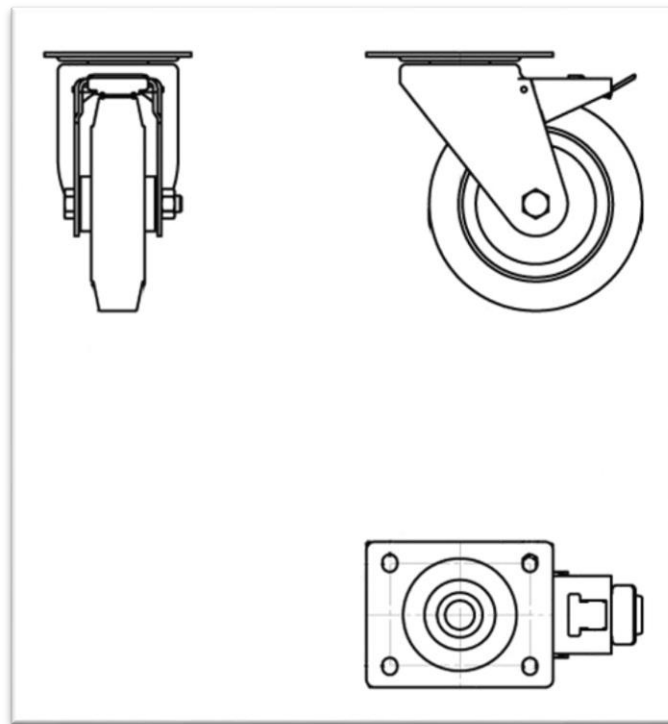
Εικόνα 4.15: Ράουλο Ολίσθησης, Ελεύθερο, Σύνδεσμος Άξονα, Κινητήρας Axi (από αριστερά προς τα δεξιά)

4.3.5. Ποδηλατικό Εργόμετρο Tacx Satori Smart T2400

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο εισαγωγικό κεφάλαιο, στην συσκευασία του προπονητηρίου υπήρχε και η βάση του στην οποία τοποθετείται το εργόμετρο και η πίσω ρόδα του ποδηλάτου με ασφάλιση του άξονά του. Για την εφαρμογή του εργόμετρου στην βάση δοκιμών και μετρήσεων η βάση αυτή δεν θα μπορούσε να τοποθετηθεί λόγω διαστάσεων. Για αυτό τον λόγο σχεδιάστηκε μία απλουστευμένη βάση παρόμοια με την αρχική του εργοστασίου η οποία όμως εφαρμόζε απόλυτα στις ανάγκες για μικρό όγκο και βάρος και κυρίως έδινε την δυνατότητα ρύθμισης της κλίσης που μπορούσε να τοποθετηθεί το εργόμετρο συναρτήσει του εκάστοτε κινητήριου τροχού.

4.3.6. Ρόδες Με Ελεύθερο Άξονα Κίνησης & Μηχανικό Φρένο

Κρίθηκε ιδιαίτερα σημαντικό το να μπορεί ένα και μόνο άτομο να μετακινήσει τη βάση δοκιμών και μετρήσεων προς κάθε κατεύθυνση χωρίς να χρειάζεται να την σηκώσει [20]. Επίσης, η δυνατότητα σταθεροποίησής της ήταν ιδιαίτερα σημαντικός παράγοντας για λόγους τόσο ασφαλείας όσο και εργονομίας. Παρακάτω παρουσιάζεται το μηχανολογικό σχέδιο των ροδών που χρησιμοποιήθηκαν (Εικόνα 4.16).



Εικόνα 4.16: Μπροστινή, Αριστερή και Κάτω όψη περιστρεφόμενης ρόδας με μηχανικό φρένο

Κεφάλαιο 5^ο: Κατασκευή Βάσης Δοκιμών & Μετρήσεων

5.1. Εισαγωγή

Η κατασκευή της βάσης πέρασε από διάφορα στάδια τα οποία περιγράφονται στην συνέχεια και παρουσιάζονται με το απαραίτητο φωτογραφικό υλικό το οποίο βοηθάει στην πλήρη κατανόηση των σταδίων αυτών και δίνουν μία πλήρη και γλαφυρή εικόνα της πραγματικότητας. Όλες οι εργασίες κατά την κατασκευή της βάσης δοκιμών παρουσιάστηκαν αρχικά στους υπευθύνους του εργαστηρίου. Έπειτα από την έγκρισή τους, η υλοποίηση πραγματοποιήθηκε πάντοτε υπό την επίβλεψη και τις οδηγίες τους. Τα μέτρα ασφαλείας τηρούνταν ανελλιπώς κάθε χρονική στιγμή.

5.2. Κοπή Δοκών Αλουμινίου

Η αγορά των δοκών αλουμινίου μπορούσε να γίνει μόνο σε δοκούς των 5μέτρων οι οποίες στην συνέχεια θα κοβόντουσαν στις απαραίτητες διαστάσεις για την κατασκευή του πλαισίου αλουμινίου της βάσης δοκιμών. Οι φωτογραφίες παρακάτω δείχνουν τη διαδικασία που ακολουθήθηκε προς την κοπή τους. Τηρήθηκαν όλα τα απαραίτητα μέτρα ασφαλείας κατά την κοπή. Η κοπή των άκρων έγινε υπό γωνία 90 μοιρών προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η αντοχή στην προς συγκόλληση επιφάνεια αφού έτσι η μεγιστοποιούταν σε μήκος η «ραφή» και αναπόφευκτα η αντοχή της. Αρχικά κόπηκαν τα τμήματα με τις μεγαλύτερες διαστάσεις και στην συνέχεια τα μικρότερα για μέγιστη οικονομία στο υλικό (Εικόνα 5.1).



Εικόνα 5.1: Κοπή δοκών αλουμινίου έξω από το εργαστήριο εργαλειομηχανών



Εικόνα 5.2: Στήριξη των δοκών αλουμινίου για εύκολη και ασφαλή κοπή

Με τα περισσεύματα (ρετάλια) αλουμινίου έγιναν και οι πρώτες δοκιμές συγκόλλησης με την μηχανή συγκόλλησης του εργαστηρίου τεχνολογίας TIG για να εντοπιστούν οι ρυθμίσεις της. Ένταση και τάση ρεύματος, συχνότητα παλμικού ρυθμού, ρύθμιση για το βάθος της συγκόλλησης και επίσης το μήκος της ακίδας που προεξέχει από το κεραμικό ακροφύσιο της λαβίδας.

5.3. Προετοιμασία & Συγκόλληση Κυρίως Πλαισίου

Η προετοιμασία των προς συγκόλληση επιφανειών περιελάμβανε δύο κυρίως διαδικασίες. Το τρίψιμο με συρματόβουρτσα των σημείων συγκόλλησης και την σωστή ευθυγράμμιση τους (Εικόνα 5.3).

Χάρη στο τρίψιμο, οι επιφάνειες προς συγκόλληση συγκολλούνται ευκολότερα και η τήξη προχωρά σε μεγαλύτερο βάθος καθώς οι επιφάνειες είναι καθαρές από λίπη και τυχόν άλλες ακαθαρσίες όπως σκόνη, γρέζια κτλ. Το προστιθέμενο τηκόμενο ηλεκτρόδιο εισχωρεί εύκολα ανάμεσα στις δύο επιφάνειες προσφέροντας ομοιογενή συγκόλληση με τα απαραίτητα χαρακτηριστικά αντοχής.

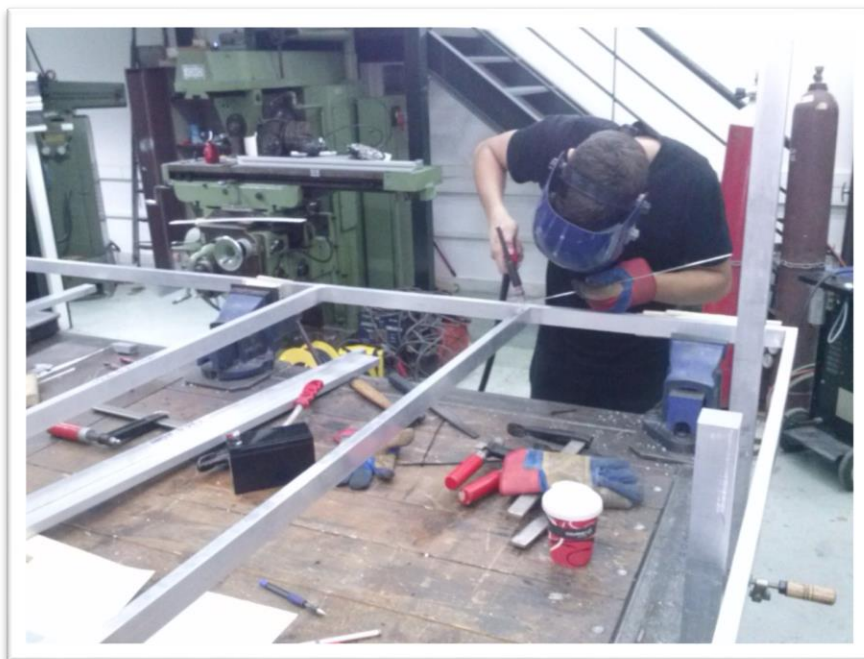


Εικόνα 5.3: Βούρτσισμα και ευθυγράμμιση σημείου συγκόλλησης

Η ευθυγράμμιση των κομματιών προς συγκόλληση είναι ιδιαίτερα σημαντική αφού μετά την ψύξη τους η διαδικασία δεν επιστρέφει σε προηγούμενο στάδιο (Εικόνα 5.4). Αξίζει να αναφερθεί ότι οι επιφάνειες όχι μόνο κρατούνται σε απόλυτη καθετότητα αλλά συγκρατούνται και δυνατά με ειδικούς σφιγκτήρες (νταβίδια) προκειμένου να παραμείνουν στην θέση τους κατά την ψύξη αποφεύγοντας τυχόν μεταβολή στις επιθυμητές γωνίες λόγω συστολής.



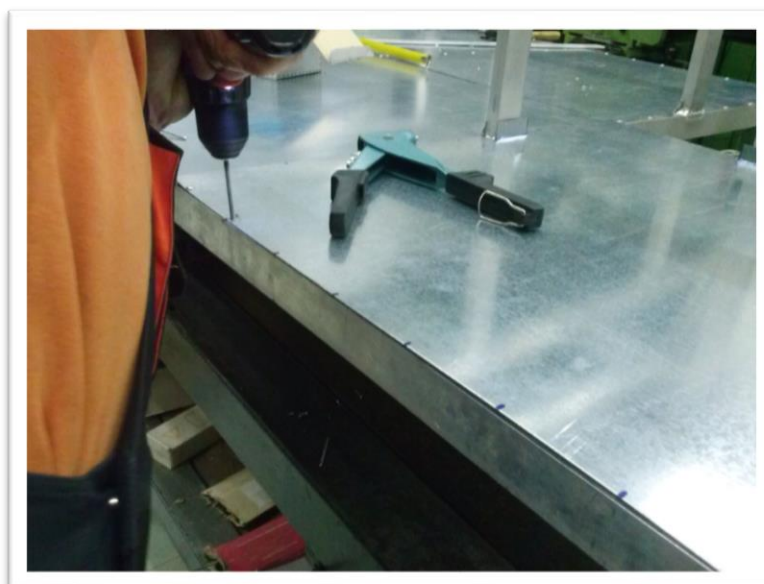
Εικόνα 5.4: Κάθετη συγκράτηση πλαισίου βάσης προς συγκόλληση



Εικόνα 5.5: Συγκόλληση με μηχανή TIG (χρήση αργού για περιβάλλον αποστείρωση στο λουτρό της συγκόλλησης)

5.4. Κατασκευή Επιφάνειας Αποθ. Χώρου & Ροδών

Αφότου λοιπόν κατασκευάστηκε ολόκληρο το πλαίσιο ήταν η στιγμή να τοποθετηθεί η επιφάνεια που θα δημιουργούσε τον αποθηκευτικό χώρο όπως επίσης και η τοποθέτηση των ροδών στις 4 άκρες της βάσης.



Εικόνα 5.6: Διάτρηση πριν την τοποθέτηση περτσινιών

Αρχικά μετρήθηκαν οι διαστάσεις του κάτω πλαισίου της βάσης και σχεδιάστηκε σκαρίφημα της κάτω όψης της. Η γαλβανιζέ λαμαρίνα που αγοράστηκε

είχε ακατάλληλες διαστάσεις (προφανώς μεγαλύτερης της απαραίτητης) και έπρεπε να κοπεί κατάλληλα για να εφαρμοστεί στο πλαίσιο.



Εικόνα 5.7: Συναρμογές μετά το πέρας της κατασκευής του αποθηκευτικού χώρου

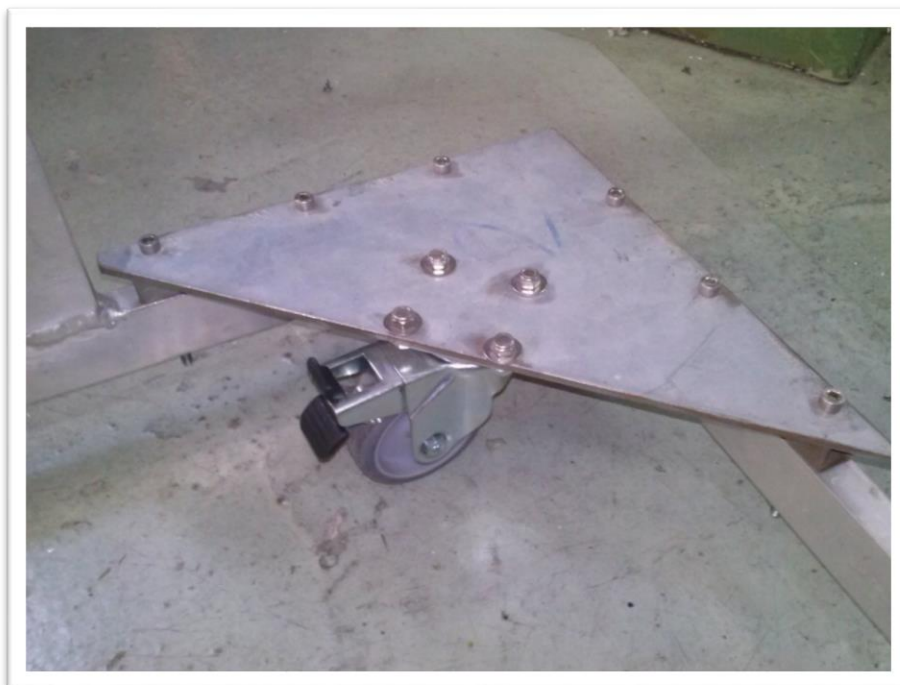
Το βάρος το οποίο θα φόρτιζε τους 4 τροχούς της βάσης συμπεριλαμβανομένου του αυτοκινήτου, των εργαλείων και ανταλλακτικών στο τμήμα αποθήκευσης αλλά και δύο ατόμων που ενδέχεται να εργάζονται καθήμενοι σε αυτήν ξεπερνούσε τα 350kg. Έπρεπε να μπορούν να περιστρέφονται προς κάθε κατεύθυνση, να είναι αντοχής και να έχουν αρκετά μικρή διάσταση στο ύψος προκειμένου η βάση να μην ανυψωθεί σε ύψος μεγαλύτερο του επιθυμητού. Διαφορετικά δεν θα μπορούσε να τοποθετηθεί η βάση με το αυτοκίνητο στο μεταφορικό κοντέινερ. Επιλέχθηκαν τελικά τροχοί που πληρούσαν όλες τις προδιαγραφές αλλά όχι και αυτή του ύψους. Για την επίλυση του προβλήματος αυτού, κατασκευάστηκαν βάσεις στις οποίες θα προσαρμοζόντουσαν οι ρόδες χωρίς να επηρεάζουν το ύψος της όλης κατασκευής. Παρουσίαση της ιδιοκατασκευής στις φωτογραφίες που ακολουθούν (Εικόνα 5.8 έως 5.10).



Εικόνα 5.8: Κατά την διαδικασία τοποθέτησης των ροδών



Εικόνα 5.9: Αποστατήρες για τις ρόδες



Εικόνα 5.10: Τοποθέτηση ροδών με κίνηση προς όλες τις κατευθύνσεις και μηχανικό φρένο

5.5. Κατασκευή & Τοποθέτηση Ράουλου Ολίσθησης, Συνδέσμου Άξονα, Ελεύθερου & Κινητήρα Αρχικοποίησης

Όπως σημειώθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, δεν θα μπορούσε ολόκληρο το βάρος του αυτοκινήτου να φορτίζει το εργόμετρο και για αυτό τον λόγο κατασκευάστηκε ένα ράουλο ολίσθησης από τεφλόν στο οποίο ολισθαίνει ο κινητήριος τροχός του πρωτότυπου οχήματος. Στο ράουλο έγινε οπή 15mm μέσα από την οποία «πέρασε» ο άξονας χάρη στον οποίο περιστρέφεται διαμέτρου 15,05mm για σφικτή συναρμογή. Ο άξονας εδράστηκε και ασφαλίστηκε στα δύο του άκρα με αυτορυθμιζόμενες βάσεις εδράνων κύλισης (κοινώς, ρουλεμάν) τύπου «ωμέγα» (Εικόνα 5.11). Η έδραση αυτή παρουσιάζεται στις παρακάτω εικόνες:



Εικόνα 5.11: Ράουλο ολίσθησης και έδραση του

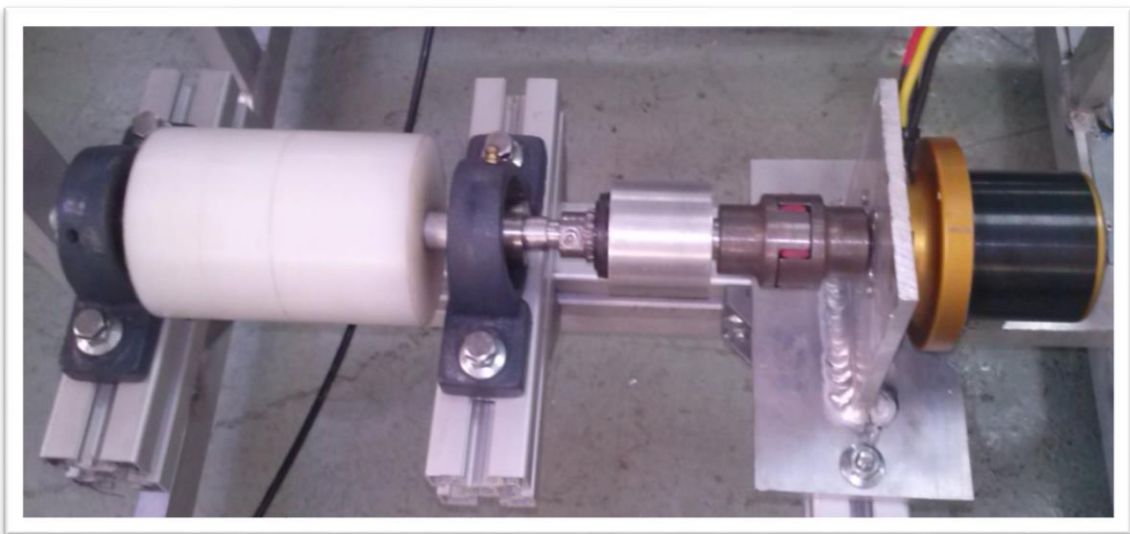
Στην συνέχεια τοποθετήθηκε το ποδηλατικό ελεύθερο μέσα στην ειδική «φωλιά» και ασφαλίστηκε με κοχλία και περικόχλιο ασφαλείας. Ακολούθησε η τοποθέτηση του Silent Block συνδέσμου για την αποφυγή κραδασμών και συντονισμών όπως επίσης και σε περίπτωση απότομης επιβράδυνσης του κινητήριου τροχού.



Εικόνα 5.12: Κατασκευή σφηναύλακας στην φρέζα

Στην προέκταση του άξονα του τοποθετήθηκε ο κινητήρας που χρησιμεύει για την αρχικοποίηση του εργομέτρου κατά την εκκίνησή του με την αυτοσχέδια βάση του.

Ο κινητήρας αρχικοποίησης τοποθετήθηκε με ακρίβεια στο κατάλληλο ύψος με χρήση αυτοσχέδιας συγκολλημένης βάσης από αλουμίνιο όπως φαίνεται και στις εικόνες παρακάτω. Προσαρμόστηκε με 8 κοχλίες στο σώμα της βάσης η οποία συγκρατιέται δυνατά πάνω στην δοκό αλουμινίου με 2 κοχλίες και περικόχλια διαμέτρου M8 (Εικόνα 5.13).



Εικόνα 5.13: Συνολική παρουσίαση ράουλο ολίσθησης, ελεύθερου, Silent Block και κινητήρα αρχικοποίησης

5.6. Κατασκευή & Τοποθέτηση Βάσης Εργόμετρου

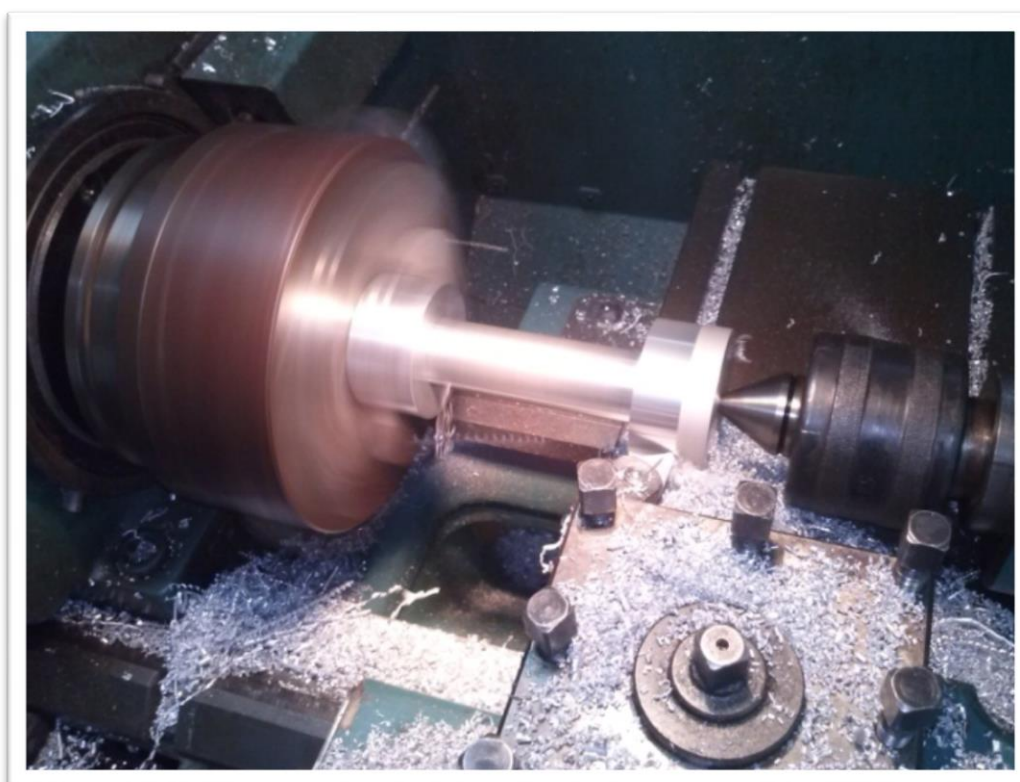
Η τοποθέτηση του προπονητηρίου ήταν μία διαδικασία απαιτητική. Όφειλε να είναι στιβαρή, ελαφριά και ρυθμιζόμενη προκειμένου να προσαρμόζεται στον κινητήριο τροχό εκμηδενίζοντας την ολίσθηση και κατά συνέπεια το σφάλμα στις μετρήσεις. Δεν θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί η βάση η οποία συνόδευε το προπονητήριο αρχικά λόγω του όγκου της. Η αυτοσχέδια κατασκευή της, λοιπόν, πέρασε από τα στάδια της κοπής, της τόννευσης, της διάτρησης και της κοπής σπειρώματος ενός αρχικού κυλίνδρου ο οποίος μορφοποιήθηκε στο τελικό επιθυμητό τεμάχιο. Στις παρακάτω φωτογραφίες παρουσιάζονται τα στάδια κατεργασίας ξεκινώντας από την αρχική σύλληψη της ιδέας που βασιζόταν στην εργοστασιακή βάση (Εικόνες 5.14 έως 5.19).



Εικόνα 5.14: Εργοστασιακή βάση Εργόμετρου



Εικόνα 5.15: Σημείο έδρασης εργόμετρου στην εργοστασιακή βάση



Εικόνα 5.16: Κατεργασία τórνευσης



Εικόνα 5.17: Κατεργασία διάτρησης στην φρέζα



Εικόνα 5.18: Ολοκληρωμένη βάση εργόμετρου για τοποθέτηση στην βάση δοκιμών



Εικόνα 5.19: Έλεγχος εφαρμογής του εργομέτρου στην αυτοσχέδια βάση

Το τελικό τεμάχιο που αποτελούσε πλέον την βάση του εργομέτρου τοποθετήθηκε στην βάση με την χρήση δύο γωνιακών συνδέσμων που του επέτρεπαν με την χρήση κοχλιών να περιστρέφεται μέχρι την κατάλληλη κλίση όπου και μπορούσε να σταθεροποιηθεί με το σφίξιμο αυτών.



Εικόνα 5.20: Εργόμετρο τοποθετημένο στην αυτοσχέδια βάση του. Διακρίνονται οι σύνδεσμοι-γωνίες

Στις δύο επόμενες φωτογραφίες (Εικόνες 5.21 και 5.22) παρουσιάζεται το προπονητήριο σε θέση αναμονής όπου δεν εφάπτεται με τον κινητήριο τροχό του ηλεκτρικού οχήματος και σε θέση ασφαλισμένης εμπλοκής όπου εφάπτεται. Η εμπλοκή πραγματοποιείται πιέζοντας τον μπλέ μοχλό προς τα κάτω.



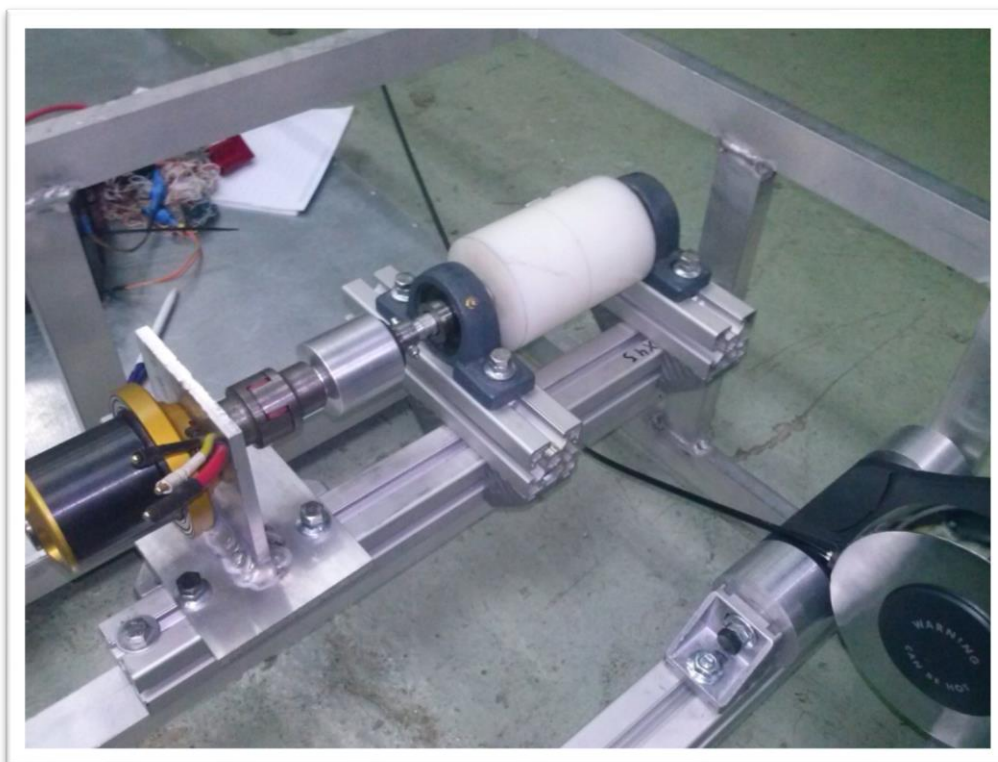
Εικόνα 5.21: Θέση αναμονής εργομέτρου



Εικόνα 5.22: Θέση εμπλοκής εργομέτρου

Το καλώδιο με το χειριστήριο ρύθμισης της αντίστασης στο προπονητήριο τοποθετήθηκε στο εξωτερικό μέρος της βάσης και σε εργονομικό για τον χειριστή ύψος. Η ένδειξη για την αντίσταση ήταν ευανάγνωστη και ο χειρισμός ρυθμιστή του δεν απαιτούσε κανέναν κόπο.

Σημειώνεται ότι τόσο το ράουλο ολίσθησης, ο κινητήρας όσο και το εργόμετρο εδράστηκαν πάνω σε πλήρη ρυθμιζόμενα προφίλ αλουμινίου Rexroth για την ευκολότερη προσαρμογή τους συναρτήσει του πρωτότυπου οχήματος.



Εικόνα 5.23: Τοποθετημένος ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός σε αλουμίνια Rexroth για πλήρη διαστασιολογική ρύθμιση ανάλογα το όχημα και τον κινητήριο τροχό του

5.7. Πρώτη Λειτουργία Ασφαλείας

Από την στιγμή που ολοκληρώθηκε η κατασκευή της βάσης δοκιμών και τοποθετήθηκε ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός στο πλαίσιο της, έπρεπε να γίνουν οι απαραίτητοι έλεγχοι ασφαλείας και καλής λειτουργίας ώστε να είναι σίγουρο ότι δεν θα προκύψει κανένας τραυματισμός στους χειριστές αλλά ούτε και ζημιές στο εκάστοτε όχημα ή την ίδια τη βάση και τον εξοπλισμό της στις πρώτες δοκιμές αλλά και στο μέλλον. Μέχρι τώρα, τίποτα παρόμοιο δεν είχε κατασκευαστεί στο εργαστήριο εργαλειομηχανών, κάτι το οποίο απαιτούσε ακόμα μεγαλύτερη προσοχή και λεπτότητα κινήσεων από τους χειριστές της βάσης. Σημειώνεται ότι τόσο οι χειριστές όσο και οι υπεύθυνοι ασφαλείας του εργαστηρίου καθ' όλη την διάρκεια των δοκιμών φορούσαν τον απαραίτητο προστατευτικό εξοπλισμό που περιελάμβανε γάντια, προστατευτικά γυαλιά και τις μακρυμάνικες στολές του

εργαστηρίου. Για κάθε ενδεχόμενο, τοποθετήθηκε και πυροσβεστήρας με ξεχωριστό άτομο για τον χειρισμό του σε περίπτωση ανάγκης δίπλα ακριβώς στην βάση κατά την διάρκεια των πρώτων ελέγχων.

5.8. Έλεγχος Καλής Λειτουργίας

Προκειμένου να διασφαλιστεί ότι όλα τα περιστρεφόμενα μέρη της βάσης δοκιμών αλλά και του κινητήριου τροχού του οχήματος λειτουργούν με τρόπο ασφαλή έπρεπε να πραγματοποιηθεί μία πρώτη δοκιμή. Η δοκιμή αυτή θα είχε αρχικά μικρές ταχύτητες περιστροφής, στην συνέχεια τις επιθυμητές για τις μετρήσεις που μας ενδιέφεραν και τέλος σε στροφές μεγαλύτερες από αυτές των προδιαγεγραμμένων μετρήσεων για να είναι σίγουρο ότι η κατασκευή δεν λειτουργεί σε οριακές και επικίνδυνες συνθήκες. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε χωρίζεται σε δύο μέρη τα οποία περιγράφονται λεπτομερώς στην συνέχεια.

5.9. Προσομοίωση Δοκιμής

Με το πρωτότυπο όχημα τοποθετημένο στη βάση και έτοιμο για εκκίνηση, τέθηκε η θέση του εργόμετρου στην θέση μέτρησης στην οποία το ράουλο ολίσθησής τους εφάπτεται δυνατά πάνω στο ελαστικό του κινητήριου τροχού. Ο τροχός ολισθαίνει επίσης και πάνω σε ένα ράουλο ολίσθησης κατασκευασμένο από τεφλόν προκειμένου να μην φορτίζεται το εργόμετρο με βάρος μεγαλύτερο από το προβλεπόμενο. Στην συνέχεια, κατ' εντολή των χειριστών της βάσης, ο οδηγός εκκινεί ομαλά το όχημα μέχρι την ταχύτητα των 10km/h όπου όλα λειτουργούσαν χωρίς κάποιο πρόβλημα ή το οτιδήποτε θα μπορούσε να θεωρηθεί μη φυσιολογικό. Η ταχύτητα αυξήθηκε στα 25km/h, όπου είναι και η ταχύτητα στην οποία θα πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις στην συνέχεια, στην οποία όλα επίσης λειτουργούσαν με τρόπο σωστό. Η ταχύτητα αυξήθηκε μέχρι την ταχύτητα των 34km/h (μέγιστη τελική ταχύτητα πρωτότυπου οχήματος ER15) στην οποία και πάλι όλα τα περιστρεφόμενα μέρη της βάσης καθώς επίσης και ο κινητήριος τροχός εξακολούθουσαν να λειτουργούν ομαλά δίχως ίχνος αμφιβολίας.

Βάσει του εγχειριδίου χρήσης του εργόμετρου, για τη διαδικασία της αρχικοποίησης (calibration process) το όχημα θα έπρεπε να αναπτύξει ταχύτητα 40km/h και να την διατηρήσει σταθερή για τουλάχιστον 10 δευτερόλεπτα. Όπως, όμως, αναφέρθηκε και προηγουμένως, το όχημα έχει σαν τελική μέγιστη ταχύτητα τα 34km/h. Για αυτό τον λόγο χρησιμοποιήθηκε ο κινητήρας που είναι συνδεδεμένος με το ράουλο ολίσθησης με μετάδοση κίνησης 8:1 (λόγω διαφοράς διαμέτρων άξονα-ράουλου) που έχει τη δυνατότητα να περιστρέψει τον κινητήριο τροχό μέχρι και 47km/h. Το εργόμετρο τέθηκε, λοιπόν, στην θέση μέτρησης και ο ξεχωριστός κινητήρας για τη διαδικασία της αρχικοποίησης τέθηκε σε λειτουργία. Με ομαλή επιτάχυνση έφτασε τον κινητήριο τροχό στα 40km/h όπου παρέμεινε για 15sec και

στην συνέχεια επιβραδύνθηκε μέχρι την στάση του. Όλα τα περιστρεφόμενα μέσα της βάσης και επίσης ο κινητήριος τροχός παρουσίασαν άψογη λειτουργία και στην τελική ταχύτητα των 47km/h όπου ελέγχθηκαν προς αποφυγή οποιουδήποτε προβλήματος. Σημειώνεται ότι κατά την διαδικασία της προσομοίωσης της αρχικοποίησης ο κινητήρας του πρωτότυπου οχήματος δεν βρισκόταν υπό τάση.

Η διαδικασία αρχικοποίησης από μηχανολογική άποψη ήταν πλέον έτοιμη και χρειαζόταν να δοκιμαστεί και με τα ηλεκτρονικά συστήματα σε λειτουργία για την επιβεβαίωση της επιτυχίας της.

Σημειώνεται ότι τόσο το πρόγραμμα στον υπολογιστή που καταγράφει τα δεδομένα του εργόμετρου όσο και το εργόμετρο παρέμειναν κλειστά σε όλη την διάρκεια των ελέγχων καθώς μας ενδιέφερε μόνο η σωστή λειτουργία των περιστρεφόμενων μερών και κατά πόσο αυτά λειτουργούν με τρόπο αξιόπιστο και στιβαρό χωρίς κραδασμούς και τοπικές υπερθερμάνσεις.

5.10. Αρχικοποίηση Εργόμετρου

Η διαδικασία αρχικοποίησης (calibration) περιλαμβάνει μία σειρά κινήσεων που πρέπει να πραγματοποιηθούν με την συγκεκριμένη σειρά που περιγράφεται παρακάτω προκειμένου να είναι επιτυχημένη και να είναι έτσι το εργόμετρο έτοιμο για δοκιμές και συλλογή αξιόπιστων δεδομένων από την κίνηση του τροχού του πρωτότυπου οχήματος. Η σειρά των κινήσεων εξηγούνται στην συνέχεια:

- (1). Εκκίνηση του προγράμματος του εργόμετρου στον φορητό ηλεκτρονικό υπολογιστή
- (2). Σύνδεση κεραίας Bluetooth με τον φορητό υπολογιστή
- (3). Εκκίνηση του εργόμετρου που βρίσκεται στην βάση δοκιμών
- (4). Ανίχνευση του εργόμετρου και της κεραίας μέσω του προγράμματος Tacx Trainer Software
- (5). Εισαγωγή της διάστασης της διαμέτρου του κινητήριου τροχού σε αυτό
- (6). Εμπλοκή του ράουλου ολίσθησης του προπονητηρίου στον κινητήριο τροχό
- (7). Έναρξη λειτουργίας αρχικοποίησης στο πρόγραμμα
- (8). Εκκίνηση εξωτερικού κινητήρα μέχρι τα 40km/h (του κινητήριου τροχού)
- (9). Παραμονή στα 40km/h για 20sec
- (10). Ενημέρωση μέσω του προγράμματος για επιτυχή αρχικοποίηση
- (11). Παύση εξωτερικού κινητήρα
- (11). Επιτυχής Αρχικοποίηση

Το εργόμετρο είναι πλέον έτοιμο για μετρήσεις που αποστέλλονται προς ζωντανή παρουσίαση και καταγραφή στο εγκατεστημένο λογισμικό.

Κεφάλαιο 6^ο: Πειραματικές Μετρήσεις & Αποτελέσματα

6.1. Εισαγωγή

Για την αξιολόγηση της συνολικής ορθής λειτουργίας της βάσης, πραγματοποιήθηκαν πειραματικές δοκιμές και μετρήσεις σε συγκεκριμένα συστήματα του οχήματος. Οι δοκιμές παρουσιάζονται σε αυτό το κεφάλαιο και σχετίζονται με την εύρεση του καταλληλότερου ηλεκτρονικού ελεγκτή για τον τριφασικό κινητήρα του πρωτότυπου ηλεκτρικού οχήματος. Πιο συγκεκριμένα, μετρώνται και ελέγχονται δύο διαφορετικοί ηλεκτρονικοί ελεγκτές (Controllers) και αναζητείται ο προτιμότερος, δηλαδή αυτός που αποδεικνύεται ότι λειτουργεί τον κινητήρα με τις λιγότερες δυνατές απώλειες. Ο πρώτος αποτελεί και αυτός προϊόν ηλεκτροκίνητου αεροπορικού μοντελισμού και ονομάζεται Jeti 90 Pro Opto (Εικόνα 7.1) [21] και ο δεύτερος είναι προϊόν της εταιρείας Texas Instruments (Εικόνα 7.2) [22] και αποτελεί έναν ελεγκτή που προγραμματίζεται εξ' ολοκλήρου από τον χρήστη σε αντίθεση με τον Jeti στον οποίο ο χρήστης απλά να επέμβει σε ορισμένες παραμέτρους μόνο. Ο T.I. (Texas Instruments) βρίσκει συνήθως εφαρμογές σε αντλίες, ηλεκτρικά ποδήλατα και scooters, ιατρικές αντλίες και τρυπάνια, εργαλεία κοινής χρήσης και ρομποτικά συστήματα.

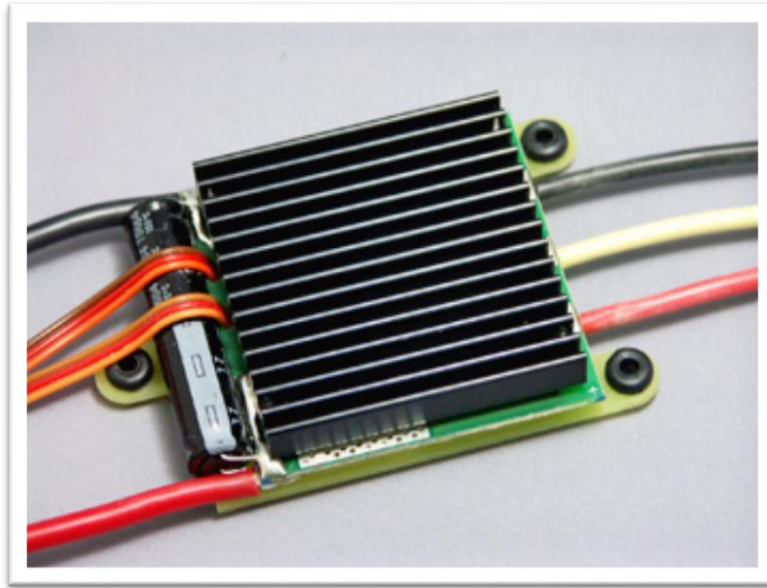
Παρακάτω παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των δύο ελεγκτών:

Ελεγκτής 1^{ος}

Μοντέλο: Jeti 90 Pro Opto

Χαρακτηριστικά:

- Βάρος: 90gr
- Διαστάσεις: 65mm X 55mm X 17mm
- Μέγιστη Συνεχόμενη Ένταση: 90A
- Τηλεμετρία: Όχι
- Θερμοκρασία Λειτουργίας: -10→85
- Παρεχόμενη Τάση: 12→42
- Κυψέλες LiPo μπαταριών: 4→10



Εικόνα 7.1: Ηλεκτρονικός Ελεγκτής Jeti 90 Pro Opto

Ελεγκτής 2^{ος}

Μοντέλο: Texas Instruments DRV8301

Χαρακτηριστικά:

- Μέγιστη Τάση: 60V
- Μέγιστη Ένταση: 82,5A
- Ελεύθερες Πλατφόρμες Προγραμματισμού
- Δυνατότητα σύνδεσης με ηλεκτρονικό υπολογιστή Windows



Εικόνα 7.2: Ηλεκτρονικός Ελεγκτής Texas Instruments DRV8301

6.2. Σχεδίαση Δοκιμών και Πειραματικών Μετρήσεων

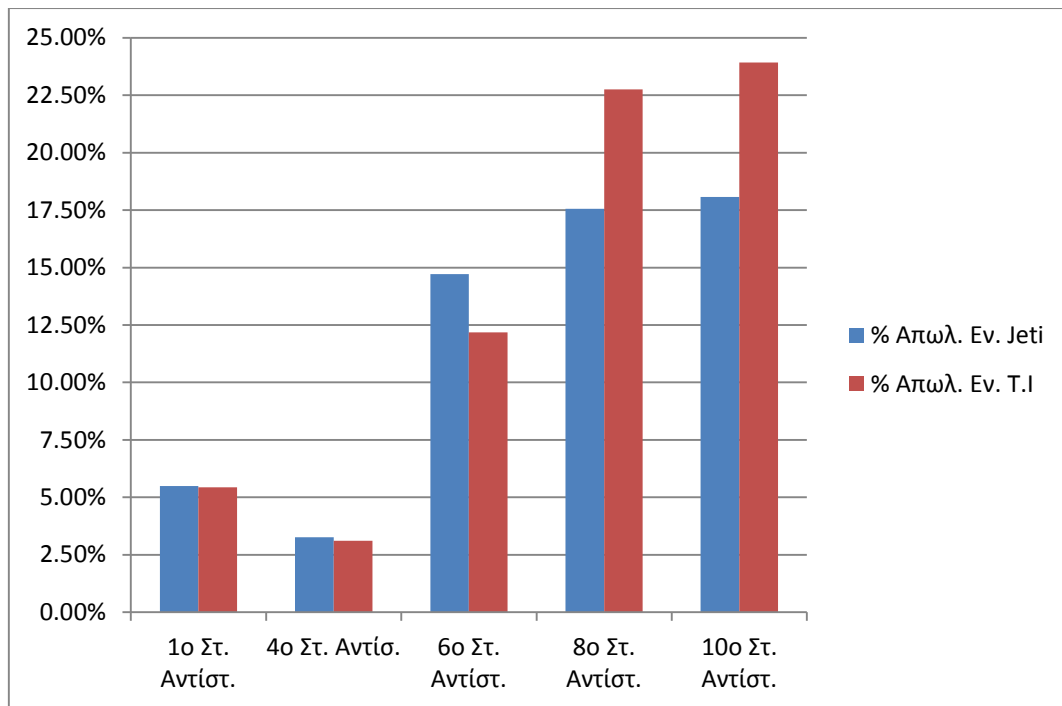
Οι δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν σχεδιάστηκαν με γνώμονα τις συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα στο περιβάλλον του αγώνα στον οποίο το όχημα συμμετέχει. Οι στροφές ανά λεπτό στις οποίες λειτουργεί ο κινητήρας είναι 2.500rpm.

Έτσι καθορίζονται σταθερές στροφές του κινητήρα και μεταβάλλεται η αντίσταση στον κινητήριο τροχό με την χρήση του ποδηλατικού εργόμετρου. Η επιλογή αντίστασης πραγματοποιείται χειροκίνητα μέσω ενός μοχλού που διαθέτει το εργόμετρο ο οποίος δρα μαγνητικά στο τύμπανο περιστροφής. Στον ίδιο χρόνο, μέσω του ηλεκτρονικού συστήματος του αυτοκινήτου υπήρχε καταγραφή της κατανάλωσης ενέργειας του κινητήρα. Το σύστημα καταγραφής βρίσκεται πριν τους ηλεκτρονικούς ελεγκτές προκειμένου να μπορεί να μετρά και να προσδιορίζει και τις θερμικές απώλειες σε αυτούς. Με τον τρόπο αυτό καταφέραμε να δούμε όλες τις απώλειες που δημιουργούνται από την είσοδο του ρεύματος στον εκάστοτε ελεγκτή μέχρι την επιφάνεια του ελαστικού που έρχεται σε επαφή με το δυναμόμετρο. Πιο συγκεκριμένα, υπολογίζονται αθροιστικά:

- (1) Απώλειες ενέργειας στις ηλεκτρονικές πλακέτες των ελεγκτών (πυκνωτές, τρανζίστορ, αντιστάσεις, δίοδοι κτλ)
- (2) Απώλειες ενέργειας στα κινούμενα μέρη στο εσωτερικό του κινητήρα (ρότορα, στάτορα, έδρανα ολίσθησης)
- (3) Απώλειες ενέργειας στα κινούμενα μέρη στο εσωτερικό του κέντρου του τροχού (έδρανα ολίσθησης)
- (4) Απώλειες ενέργειας στο κιβώτιο του οχήματος (τελική σχέση μετάδοσης 10:1)
- (5) Απώλειες ενέργειας στο ελαστικό του οχήματος προς μέτρηση

Δεδομένου ότι η ταχύτητα του οχήματος ήταν σταθερή στα 25km/h, μετρούμενη με 3 διαφορετικά όργανα μέτρησης (το χειρότερο εκ των οποίων υπολόγιζε την ταχύτητα με σφάλμα μόλις 2,13%), μπορέσαμε και συγκρίναμε τους ελεγκτές μεταξύ τους ως προς την κατανάλωση ρεύματος. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν αποτυπώνονται γραφικά στο παρακάτω ραβδόγραμμα το οποίο και εξηγείται (Εικόνα 7.3).

6.3. Παρουσίαση & Ανάλυση Αποτελεσμάτων



Εικόνα 7.3: Ραβδόγραμμα Ποσοστού Απωλειών Ηλεκτρονικών Ελεγκτών Jeti και Texas Instruments

Στο παραπάνω ραβδόγραμμα παρουσιάζονται σε ποσοστό επί τοις εκατό οι συνολικές απώλειες ενέργειας που εμφανίζει ο κάθε ελεγκτής στα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν. Οι διαβαθμίσεις 1^η Κλίμακα Αντίστασης, 4^η Κλίμακα Αντίστασης κτλ. αποτελούν τα διαφορετικά πειράματα που πραγματοποιήθηκαν σε διαφορετικές τιμές αντίστασης στον κινητήριο τροχό του οχήματος και παρουσιάζονται αναλυτικά στην εικόνα 7.4 μαζί με τις ποσοστιαίες απώλειες ενέργειας για τον κάθε ελεγκτή:

	<i>Ισχύς στον Τροχό(Watt)</i>	<i>Jeti</i>	<i>Texas Instruments</i>
1	181,4	5,49%	5,43%
4	244,26	3,26%	3,11%
6	289,26	14,71%	12,18%
8	320,35	17,56%	22,75%
10	336,71	18,07%	23,93%

Πίνακας 7.4: Ποσοστιαίες Απώλειες Ενέργειας στους Ηλεκτρονικούς Ελεγκτές

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα των μετρήσεων είμαστε σε θέση να εξάγουμε κάποια ασφαλή συμπεράσματα τόσο για του ελεγκτές που συγκρίνονται όσο και για τον κινητήρα που χρησιμοποιήθηκε για τις δοκιμές.

Εύκολα, λοιπόν, παρατηρούμε, ότι στην 1η κλίμακα αντίστασης τα ποσοστά απωλειών ενέργειας μεταξύ των δύο ηλεκτρονικών ελεγκτών μας είναι ιδιαίτερα χαμηλά όντας 5,49% για τον Jeti και 5,43% για τον Texas Instruments αντίστοιχα, κάτι το οποίο μας αποδεικνύει ότι και οι δύο ελεγκτές κινούν τον κινητήρα του οχήματος με σχεδόν ταυτόσημες καταναλώσεις ενέργειας και με μικρές απώλειες.

Παρόμοια εικόνα φαίνεται να έχουν οι λειτουργίες των ηλεκτρονικών ελεγκτών του οχήματος και στην 2η κλίμακα ασκούμενης αντίστασης. Με συνολικό ποσοστό απωλειών ενέργειας μόλις 3,26% για τον Jeti και μόλις 3,11% για τον T.I αποδεικνύεται εύκολα ότι ο κινητήρας λειτουργεί στην περιοχή μέγιστης απόδοσής του που αγγίζει βάσει των αναγραφόμενων προδιαγραφών του το 94% και ότι η πλειονότητα των υπολοίπων απωλειών βρίσκεται στο σύστημα του κιβωτίου και της θερμότητας που χάνεται στο ηλεκτρονικό κύκλωμα του κάθε ελεγκτή και του ελαστικού του οχήματος.

Στην 6η κλίμακα ασκούμενης αντίστασης το ποσοστό απωλειών μεγαλώνει ιδιαίτερα φτάνοντας το 14,71% για τον ελεγκτή Jeti και το 12,18% για τον T.I. Παρατηρούμε ότι ο Jeti προσφέρει σαφέστερα οικονομικότερη λειτουργία στον κινητήρα αλλά είναι προφανές ότι τα ποσοστά αυτά δηλώνουν λειτουργία του κινητήρα εκτός ότι της περιοχής μέγιστης απόδοσής του.

Στην 8η και 10η κλίμακα ασκούμενη αντίστασης οι απώλειες ενέργειας είναι ιδιαίτερα μεγάλες με ποσοστά της τάξης του 21% με τον ελεγκτή Jeti έχει τις μικρότερες συγκριτικά με τον T.I. Ο κινητήρας λειτουργεί και πάλι σε περιοχή εκτός της μέγιστης απόδοσής του και ακόμα πιο αντισυμβατικά από πριν.

Συμπεραίνουμε, λοιπόν, βάσει των παραπάνω αποτελεσμάτων ότι η επιλογή του καταλληλότερου ηλεκτρονικού ελεγκτή βασίζεται στην ανάγκη για Watt σε κάθε εφαρμογή. Σε περιοχές τιμών μέχρι τα 300 Watt η επιλογή του ελεγκτή Texas Instruments κρίνεται ως καλύτερη λόγω της ικανότητάς του να λειτουργεί τον κινητήρα στη περιοχή μέγιστης απόδοσής του με τις μικρότερες δυνατές απώλειες ενέργειας ενώ σε περιοχές τιμών από τα 300 Watt και άνω διαπιστώθηκε ότι ο ηλεκτρονικός ελεγκτής Jeti καταφέρνει να έχει μικρότερες ενεργειακές απώλειες.

Κεφάλαιο 7^ο: Συμπεράσματα & Προοπτικές

7.1. Συμπεράσματα

Το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αφορά στην μελέτη, σχεδίαση και κατασκευή μίας βάσης δοκιμών και μετρήσεων πρωτότυπων ηλεκτρικών οχημάτων πόλης χαμηλής κατανάλωσης.

Με την ολοκλήρωση της εργασίας αυτής είμαστε σε θέση να αναφέρουμε ότι οι αρχικοί στόχοι επιτεύχθηκαν. Συλλέχθηκαν όλες οι απαραίτητες πληροφορίες που χρειαζόνταν για την κατασκευή της βάσης δοκιμών, σχεδιάστηκαν τα επί μέρους τμήματα της, μελετήθηκαν οι προδιαγραφές και ανάγκες που θα έπρεπε να πληρούνται και στην συνέχεια, κοστολογήθηκε και εν τέλει κατασκευάστηκε.

Η βάση χρησιμοποιήθηκε στην εργασία αυτή για την σύγκριση των δύο ηλεκτρονικών ελεγκτών του κινητήρα του οχήματος. Βάσει της κάθε ανάγκης που καλείται να εξυπηρετεί το όχημα, διαλέγεται και ο κατάλληλος ηλεκτρονικός ελεγκτής.

Η βάση δοκιμών και μετρήσεων εξακολουθεί να χρησιμοποιείται στο εργαστήριο της ομάδας TUCER από τα μέλη αυτής για την δοκιμή των οχημάτων της και την εξαγωγή δεδομένων από το ηλεκτρομηχανολογικό της σύστημα.

7.2. Προοπτικές

Προοπτική εξέλιξης της παρούσας εργασίας που πραγματοποιήθηκε, θα μπορούσε να αποτελέσει η αναβάθμιση του ποδηλατικού εργόμετρου στο μοντέλο i-Genius Multiplayer Smart T2010 με πληθώρα μεγαλύτερων δυνατοτήτων και χαρακτηριστικών όπως η εισαγωγή μίας διαδρομής στο ηλεκτρονικό του σύστημα και λογισμικό μέσω του Google Maps και η αυτόματη δράση αυτού βάσει αυτής της διαδρομής. Το σύστημα αναγνωρίζει μέσω της χαρτογραφημένης διαδρομής τις χιλιομετρικές αποστάσεις και τις κλίσεις του οδοστρώματος και με αυτόματο τρόπο ασκεί το κατάλληλο φρένο στον κινητήριο τροχό επιτυγχάνοντας προσομοίωση της πραγματικής κίνησης στην διαδρομή αυτήν. Το εργόμετρο αυτό μπορεί να λειτουργήσει με μεγαλύτερους κινητήρες μέχρι και 1500Watt και να προσφέρει αδρανειακή μάζα 125kgf στον τύμπανο περιστροφής.

Όπως αναφέρθηκε η κατασκευή και η χρήση της βάσης αυτής αποτέλεσε και αποτελεί χρήσιμο εργαλείο για την παραμετροποίηση και βελτίωση της λειτουργίας πληθώρας συστημάτων του πρωτότυπου ηλεκτρικού οχήματος. Η αναβάθμισή της μπορεί να προσφέρει ακόμα καλύτερες προσεγγίσεις των πραγματικών συνθηκών οδήγησης εκτός δρόμου. Στα διεθνή πεδία δράσης της ομάδας TUCER η βάση αυτή κρίνεται ιδιαίτερα σημαντική καθώς επιτυγχάνεται μικρότερη διάρκεια δοκιμών στο δρόμο και άρα βοηθά σημαντικά στην επίτευξη καλύτερων αποτελεσμάτων σε μικρότερο χρόνο.

Κεφάλαιο 8ο:Βιβλιογραφία

- [1] National Renewable Energy Lab. *Dynamometer Testing (Fact Sheet)*. Ιστότοπος: <http://dx.doi.org/10.2172/993331>, 2010.
- [2] John Dinkel, "Chassis Dynamometer", *Road and Track Illustrated Automotive Dictionary*, Bentley Publishers, 2000, p. 46.
- [3] *Dynamometers Information on GlobalSpec*. Τεχνικές Πληροφορίες Δυναμόμετρων Σασί Ιστότοπος: http://www.globalspec.com/LearnMore/Sensors_Transducers_Detectors/Torque_Sensing/Dynamometers.
- [4] A.J. Martyr and M.A. Plint, "Dynamometers and the measurement of torque," in *Engine Testing: Theory and Practice*, 3rd ed. Oxford: Butterworth-Heinemann. Ιστότοπος:<http://www.engineeringvillage.com/www.library.gatech.edu:2048/controller/servlet/Controller?CID=quickSearchCitationFormat&RERUN=1bbc77912df8172215M6bdfprod4data1&database=131072&STEP=1>, 2007, pp. 153-157.
- [5] Winther, J. B. *Dynamometer Handbook of Basic Theory and Applications*. Cleveland, Ohio: Eaton Corporation, 1975.
- [6] Martyr, A; Plint M. *Engine Testing -Theory and Practice* (Third Editioned.). Oxford, UK: Butterworth-Heinemann. ISBN 978-0-7506-8439-2, 2007.
- [7] Winther, Martin P. *Eddy Currents*. Cleveland, Ohio: Eaton Corporation, 1976.
- [8] Τεχνικές Πληροφορίες και Χαρακτηριστικά Δυναμόμετρων Μαγνητικής Σκόνης. Ιστότοπος: <http://www.anguime.com/english/products/dynamometer-cf.htm>.
- [9] Τεχνικές Πληροφορίες Δυναμόμετρων Υστέρησης: Dyne Systems. *AC Dynamometers for Engine and Motor Testing*. [Company Website]. Ιστότοπος: <http://www.dynesystems.com/ac-dynamometers.htm>, 2010.
- [10] Τεχνικές Πληροφορίες και Χαρακτηριστικά Δυναμόμετρων Γεννήτριας. Ιστότοπος: <http://www.feec.ece.vt.edu/NewProjects/Freedomcar.php>.
- [11] Αθανάσιος Ζερβάκος, «Μελέτη και κατασκευή ηλεκτρονικής διάταξης για υβριδικό αυτοκίνητο – ανάκτηση ενέργειας», Διπλωματική εργασία υπ' αριθμόν 270, Εργαστήριο Ηλεκτρομηχανικής Μετατροπής Ενέργειας, Πανεπιστήμιο Πατρών, 2009.
- [12] Ορισμός και Τεχνικά Χαρακτηριστικά Δυναμόμετρων Φτερωτής. Ιστότοπος: <http://naca.central.cranfield.ac.uk/report.php?NID=30>.
- [13] Τεχνικά Χαρακτηριστικά και Πληροφορίες Υδραυλικών Δυναμόμετρων. Ιστότοπος: <http://www.kahn.com/hydraulic/dynamometers.html>.

- [14] Elisa Faustrum. "DynoJet Data-Link Module". *Modular Fords*. Τεχνικές Πληροφορίες και Χαρακτηριστικά Δυναμόμετρων Νερού. Ιστότοπος: http://www.modularfords.com/articles/DynoJet_DataLink_Module/1.html, 2007.
- [15] Τεχνικά Χαρακτηριστικά Ποδηλατικού Προπονητηρίου Tacx Satori Smart T2400. Ιστότοπος: https://www.tacx.com/en/products/trainers/satori-smart#tab_1.
- [16] Τεχνικές Πληροφορίες και Χαρακτηριστικά Εξωθημένων Αλουμινίων Bosch Rexroth. Ιστότοπος: <https://www.boschrexroth.com/en/xc/products/product-groups/assembly-technology/basic-mechanic-elements/index>.
- [17] Τεχνικά Χαρακτηριστικά και Μηχανολογικό Σχέδιο Κινητήρα Axi 5360. Ιστότοπος: <https://www.modelmotors.cz/product/detail/255/>.
- [18] Τεχνικά Χαρακτηριστικά και Μηχανολογικό Σχέδιο Ρουλεμάν τύπου SY512M. Ιστότοπος: <http://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/bearing-units/ball-bearing-units/y-bearing-plummer-block-units/plummer-block-housings-Y-bearings/index.html?designation=SY%20512%20M&nfp=NFP-SY%20512%20M>.
- [19] Τεχνικά Χαρακτηριστικά και Μηχανολογικό Σχέδιο Ποδηλατικού Ελεύθερου. Ιστότοπος: <http://www.rolfprima.com/hubs/>.
- [20] Τεχνικά Χαρακτηριστικά για Ρόδες με φρένο. Ιστότοπος: <https://us.misumi-ec.com/vona2/detail/110302234610/?Inch=0>.
- [21] Τεχνικά Χαρακτηριστικά Ηλεκτρονικού Ελεγκτή Jeti A90. Ιστότοπος: <http://www.jetimodel.com/en/katalog/Speed-Controllers/@produkt/Advance-90-Pro-opto/>.
- [22] Τεχνικά Χαρακτηριστικά και Πληροφορίες Ηλεκτρονικού Ελεγκτή Texas Instruments. Ιστότοπος: <http://www.ti.com/tool/DRV8301-HC-C2-KIT>.

