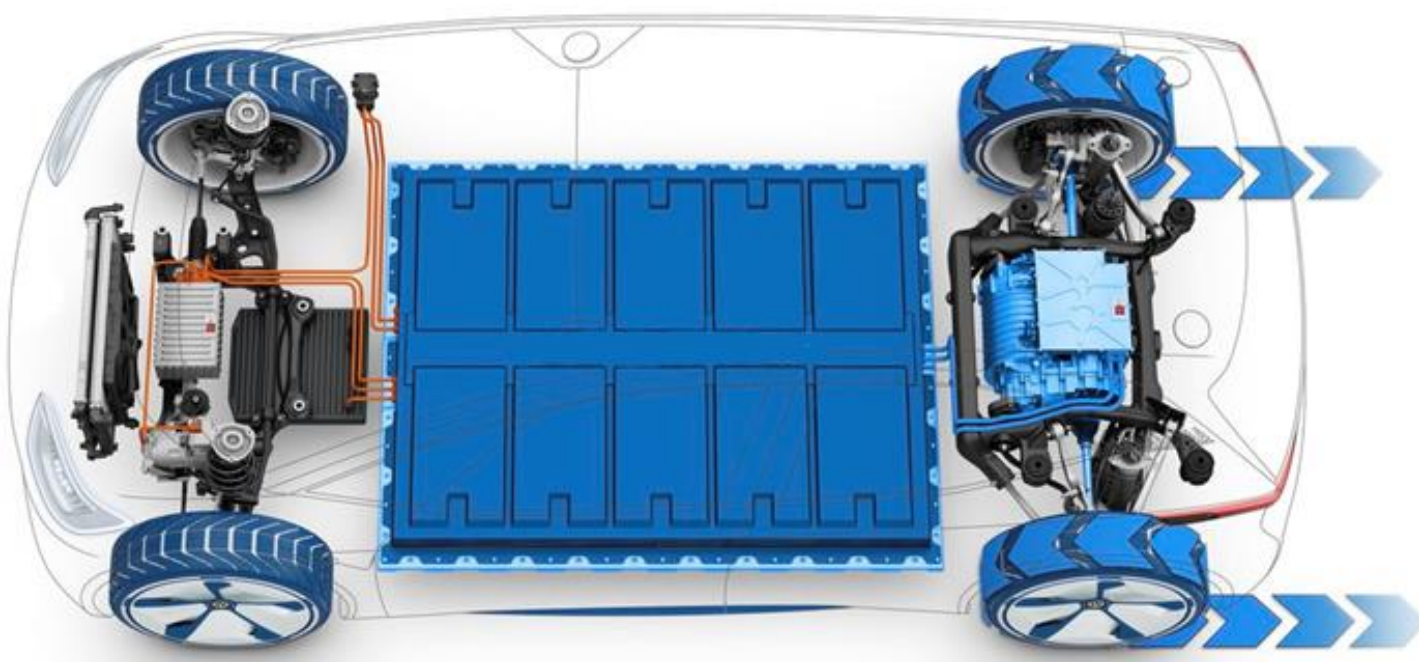


ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ



Υπό τον

Γεράσιμο Μοσχόπουλο

Επιβλέπων: Πολυχρόνης Σπανουδάκης

Νικόλαος Τσουρβελούδης

ΧΑΝΙΑ 2018

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Κατά την διάρκεια της συγγραφής αυτής της εργασίας υπήρξαν αρκετοί άνθρωποι που συνέβαλλαν στην υλοποίηση της, ο καθένας με ξεχωριστό τρόπο.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα της παρούσας εργασίας, Πολυχρόνη Σπανουδάκη. Η συνεργασία μαζί του ήταν μεγάλη τιμή για μένα. Η υποστήριξη και η εμπιστοσύνη που μου έδειξε ήταν κάτι παραπάνω από πολύτιμη στα 2 χρόνια που συνεργαστήκαμε μαζί.

Συνεχίζοντας θέλω να εκφράσω ένα μεγάλο ευχαριστώ σε όλα τα μέλη της ομάδας TUCer που συνεργαστήκαμε αψόγα στο πέρας μου από την ομάδα, και μου πρόσφεραν αξέχαστες στιγμές. Η συνεισφορά τους στην παρούσα εργασία ήταν πολύ σημαντική για την υλοποίηση της.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους φίλους μου και την οικογένεια μου για την στήριξη τους σε όλη την διάρκεια των σπουδών και των προσπαθειών μου.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής είναι να αναπτυχθεί το δυναμικό μοντέλο προσομοίωσης ενός πρωτότυπου ηλεκτρικού οχήματος και να μελετηθούν οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την κατανάλωση της ενέργειας. Αρχικά παρατίθενται εισαγωγικά στοιχεία για την δυναμική προσομοίωση ηλεκτρικών οχημάτων και αναλύονται οι βασικοί παράγοντες που συμβάλουν στην βελτίωση της ενεργειακής κατανάλωσης. Η ανάπτυξη του δυναμικού μοντέλου του οχήματος πραγματοποιείται σε εξειδικευμένο λογισμικό της αυτοκινητοβιομηχανίας (Carmaker-IPG). Ως όχημα αναφοράς χρησιμοποιείται το πρωτότυπο όχημα «Σπύρος Λούης» της ομάδας TUCer και πραγματοποιείται η μοντελοποίηση του σύμφωνα με τις απαιτήσεις του λογισμικού. Προκειμένου να αξιολογηθεί η εγκυρότητα του μοντέλου, χρησιμοποιούνται πειραματικά δεδομένα από πραγματικές δοκιμές οδήγησης σε πίστα, στα πλαίσια του πανευρωπαϊκού διαγωνισμού Shell Eco Marathon. Με βάση αυτά, γίνεται συσχετισμός των πειραματικών μετρήσεων και των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης. Για την αξιολόγηση της κατανάλωσης ενέργειας του οχήματος δημιουργούνται διαφορετικά σενάρια προσομοίωσης και παρουσιάζονται τα αποτελέσματά τους. Τέλος, έγινε προσομοίωση κίνησης του οχήματος σε πέντε πιστοποιημένους κύκλους οδήγησης και παρουσιάζονται οι επιδόσεις του οχήματος σε σύγκριση με ηλεκτρικά οχήματα παραγωγής.

Abstract

The aim of this diploma thesis is to simulate a dynamic model of a prototype electric vehicle and to study the key factors affecting energy consumption. Initial inputs are given for dynamic simulation of electric vehicles and the main factors contributing to the improvement of energy consumption are analysed. The development of the dynamic vehicle model is carried out in specialized automotive software (Carmaker-IPG). The prototype vehicle "Spyros Louis" of the TUCer team is used as a reference vehicle and its modelling is performed according to the software requirements. In order to evaluate the validity of the model, experimental data from real track driving tests are used in the framework of the Europe-wide Shell Eco Marathon competition. Based on these, experimental measurements and simulation results are correlated. To assess the vehicle's energy consumption, different simulation scenarios are generated and their results are presented. Finally, the vehicle was simulated in five certified driving cycles and the respective performances are presented and compared to production electric vehicles.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Ηλεκτρικά οχήματα	9
1.1 Εισαγωγή	9
1.2 Ηλεκτρικοί κινητήρες	10
1.3 Πηγές ενέργειας	11
1.3.1 Συσσωρευτές.....	11
1.3.2 Υπερπυκνωτές.....	14
1.3.3 Κυψέλες καυσίμου.....	15
1.4 Υβρικά συστήματα μετάδοσης ισχύος.....	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Δυναμικά μοντέλα προσομοίωσης	19
2.1 Εισαγωγή	19
2.2 Δυναμικά φορτία άξονα.....	19
2.3 Αεροδυναμική Αντίσταση	20
2.4 Αντίσταση Κύλισης	20
2.5 Δύναμη Επιτάχυνσης	21
2.6 Επίδραση ανηφορικής κλίσης.....	21
2.7 Σύστημα μετάδοσης και απαίτηση ροπής κατά την κίνηση	22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Λογισμικά προσομοίωσης	23
3.1 Εισαγωγή	23
3.2 Ipg Carmaker	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Κατανάλωση ενέργειας ηλεκτρικών οχημάτων	29
4.1 Εισαγωγή	29
4.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την κατανάλωση	29
4.3 Βελτίωση απόδοσης μέσω του συστήματος μετάδοσης κίνησης	32
4.4 Ενεργειακοί κύκλοι κατανάλωσης.....	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Παρουσίαση οχήματος δοκιμών.....	36
5.1 Εισαγωγή	36
5.2 Η ομάδα Tucser	36
5.3 Το όχημα.....	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Μοντελοποίηση του οχήματος	42
6.1 Εισαγωγή	42

6.2 Πλαίσιο	42
6.3 Μη αναρτώμενες μάζες οχήματος	44
6.4 Αναρτήσεις.....	45
6.5 Σύστημα μετάδοσης της ενέργειας	45
6.6 Ελαστικά	48
6.7 Σύστημα διεύθυνσης.....	48
6.8 Διαδρομή.....	49
6.10 Έλεγχος ελιγμών οχήματος.....	50
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 : Μετρήσεις και προσομοίωση	52
7.1 Εισαγωγή	52
7.2 Σενάρια πειραματικών δοκιμών.....	52
7.3 Αποτελέσματα.....	54
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: Αποτελέσματα προσομοίωσης ενεργειακών κύκλων κατανάλωσης.....	57
8.1 Εισαγωγή	57
8.2 Αποτελέσματα.....	57
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 : Συμπεράσματα	61
Βιβλιογραφία	62

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Σχέση κόστους φόρτισης-βενζίνης για εύρος 3000 μίλια [2].....	9
Εικόνα 2 : Ηλεκτρικός κινητήρας τύπου «brushless».	10
Εικόνα 3: Λειτουργία συσσωρευτή.	11
Εικόνα 4: Μέρη συσσωρευτή μόλυβδου οξέος [5].....	12
Εικόνα 5: Μέρη μπαταρίας λιθίου.	13
Εικόνα 6: Λειτουργία μπαταρίας μετάλλου-αέρα [6].....	14
Εικόνα 7: Τύποι συσσωρευτών της εταιρίας Maxwell [7].	14
Εικόνα 8: Λειτουργία κυψέλης καυσίμου.....	15
Εικόνα 9: Μέρη κυψέλης μεμβράνης ανταλλαγής πρωτονίων.....	16
Εικόνα 10: Αναπαράσταση σειριακού υβριδικού συστήματος.	17
Εικόνα 11: Αναπαράσταση παράλληλου υβριδικού συστήματος.	18
Εικόνα 12: Αναπαράσταση μικτού υβριδικού συστήματος.....	18
Εικόνα 13: Δυνάμεις που ασκούνται στο όχημα.	19
Εικόνα 14: Λογισμικά προσομοίωσης οχημάτων από την Beta CAE Systems [10]...23	
Εικόνα 15: Εικόνα από το λογισμικό IPG Movie [11].	25
Εικόνα 16: Απεικόνιση λειτουργίας του VVE [11].....	27
Εικόνα 17: Απεικόνιση λειτουργίας του CIT [11].....	28
Εικόνα 18 : Κατανάλωση ανά μίλι στις ΗΠΑ.	29
Εικόνα 19: Παράγοντες που επηρεάζουν την κατανάλωση.	30
Εικόνα 20 : Μέλη της ομάδας TUCer 2017.....	37
Εικόνα 21: Το όχημα "Σπύρος Λούης 2017".....	37
Εικόνα 22 : Το πλαίσιο του οχήματος.	38
Εικόνα 23 : Το σύστημα ανάρτησης του οχήματος.	38
Εικόνα 24: Αεροδυναμική ανάλυση του οχήματος.	39
Εικόνα 25 : Δεδομένα απόδοσης των ελαστικών [21].....	39
Εικόνα 26 : Ο κινητήρας του οχήματος.	40
Εικόνα 27 : Τεχνικά χαρακτηριστικά του fuel cell.....	40
Εικόνα 28 : Διάγραμμα λειτουργίας του καταγραφικού συστήματος.	41
Εικόνα 29: Εικόνα από το λογισμικό Carmaker.	42
Εικόνα 30 : Αλληλεπίδραση του vehicle body με τα υπόλοιπα μέρη του οχήματος...43	
Εικόνα 31: Μοντέλο CAD για την εύρεση της ροπής αδράνειας του οχήματος.....43	
Εικόνα 32: Εικόνα από την καρτέλα «bodies» του λογισμικού Carmaker.....44	
Εικόνα 33 : Αλλαγή συστήματος συντεταγμένων σε λογισμικό CAD.....44	
Εικόνα 34: Εικόνα από την καρτέλα «bodies» του λογισμικού Carmaker.....45	
Εικόνα 35: Εικόνα από την καρτέλα «powertrain» του λογισμικού Carmaker.....47	
Εικόνα 36: Εικόνα από την καρτέλα «powertrain» του λογισμικού Carmaker.....47	
Εικόνα 37: Μηχανισμός συστήματος διεύθυνσης.	48
Εικόνα 38: Εικόνα από την καρτέλα «road» του λογισμικού Carmaker.	49
Εικόνα 39:Διάγραμμα πίστας από το λογισμικό προσομοίωσης.....50	
Εικόνα 40 : Μοντελοποίηση του προφίλ ταχύτητας.....51	
Εικόνα 41: Εικόνα από το αρχείο εισαγωγής του προφίλ ταχύτητας.	51
Εικόνα 42 :Πρώτη διαδρομή δοκιμών.	52

Εικόνα 43 : Δεύτερη διαδρομή δοκιμών.....	52
Εικόνα 44 : Τρίτη διαδρομή δοκιμών.	53
Εικόνα 45: Πίστα αγώνα.....	53

ΛΙΣΤΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1: Καταγραφή δεδομένων από τους 10 γύρους του αγώνα.	54
Διάγραμμα 2: Προφίλ ταχύτητας 5ου γύρου.	56
Διάγραμμα 3: Αποτελέσματα σύγκρισης προσομοιώσεων με το καλύτερο προφίλ ταχύτητας.	56
Διάγραμμα 4: Διάγραμμα urban- NEDC με μείωση ταχύτητας 50%.	57
Διάγραμμα 5: Διάγραμμα Artemis με μείωση ταχύτητας 50%.	58
Διάγραμμα 6: Διάγραμμα Japanese cycle με μείωση ταχύτητας 50%.	58
Διάγραμμα 7: Διάγραμμα New York urban cycle με μείωση ταχύτητας 50%.	58
Διάγραμμα 8: Διάγραμμα WLTP cycle με μείωση ταχύτητας 50%.	58
Διάγραμμα 9 : Προφίλ ταχύτητας του δυναμικού μοντέλου για τον κύκλο οδήγησης Artemis.....	59
Διάγραμμα 10: Προφίλ ταχύτητας του δυναμικού μοντέλου για τον κύκλο οδήγησης Artemis με τροποποίηση των φρένων.	59

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Αποτελέσματα κατανάλωσης για αλλαγή σχέσης με διαφορετική ταχύτητα.....	32
Πίνακας 2: Τεχνικά χαρακτηριστικά φυσικού μοντέλου.....	37
Πίνακας 3 : Κανονικοποίηση τιμών κινητήρα.....	46
Πίνακας 4: Αποτελέσματα με τελική σχέση μετάδοσης 1:8.	54
Πίνακας 5: Αποτελέσματα με τελική σχέση μετάδοσης 1:6.	55
Πίνακας 6: Αποτελέσματα με τελική σχέση μετάδοσης 1:10.	55
Πίνακας 7 :Αποτελέσματα προσομοίωσης με διαφοροποίηση της σχέσης μετάδοσης.	56
Πίνακας 8: Αποτελέσματα προσομοίωσης για τους κύκλους κατανάλωσης.	59
Πίνακας 9: Σύγκριση οχημάτων ως προς την μέση κατανάλωση στον κύκλο οδήγηση NEDC.....	60

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα ηλεκτρικά οχήματα χρησιμοποιούν ηλεκτρικούς κινητήρες για την κίνηση τους σε συνδυασμό με μπαταρίες, κυψέλες υδρογόνου ή υπερπυκνωτές ως πηγή ενέργειας. Τα ηλεκτρικά οχήματα τείνουν να είναι η εξέλιξη της αυτοκίνησης διότι παρουσιάζουν πλεονεκτήματα σε τομείς που ακόμα και σήμερα δεν έχει βρεθεί λύση στα συμβατικά οχήματα εσωτερικής καύσης, όπως είναι η απουσία εκπομπής ρύπων, υψηλές επιδόσεις, ανεξαρτησία από ορυκτά καύσιμα και η ήσυχη και ομαλή λειτουργία τους. Οι θεμελιώδεις αρχές στα ηλεκτρικά οχήματα και στα οχήματα εσωτερικής καύσης είναι κοινές, ωστόσο παρουσιάζονται διαφορές στην απώλεια δεξαμενής καυσίμου, στην αντικατάσταση των μηχανών εσωτερικής καύσης έναντι ηλεκτρικών κινητήρων αλλά και στα σύστημα μετάδοσης της κίνησης. Στο κεφάλαιο αυτό θα αναπτυχθούν τα βασικά μέρη του συστήματος μετάδοσης ισχύος των ηλεκτρικών οχημάτων, και τα προηγμένα υβριδικά συστήματα [1].



Εικόνα 1: Σχέση κόστους φόρτισης-βενζίνης για εύρος 3000 μίλια [2].

1.2 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

Οι ηλεκτρικοί κινητήρες είναι βασικό δομικό μέρος των ηλεκτρικών οχημάτων, χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια και τη μετατρέπουν σε περιστροφική κίνηση. Η ποικιλία των κινητήρων είναι ιδιαίτερα μεγάλη και σχετίζεται με την απόδοση και τις χρήσεις που έχουν, γι' αυτό η κατάλληλη επιλογή τους πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή. Οι κινητήρες χωρίζονται σε συνεχούς (dc) και εναλλασσόμενης (ac) τάσης.

Οι βασικές κατηγορίες των μηχανών συνεχούς ρεύματος είναι:

- Κινητήρας Σ.Ρ.¹ με διέγερση εν σειρά
- Κινητήρας Σ.Ρ. με παράλληλη διέγερση
- Κινητήρας Σ.Ρ. με ανεξάρτητη διέγερση
- Κινητήρας Σ.Ρ. με σύνθετη διέγερση
- Κινητήρας Σ.Ρ. με μόνιμο μαγνήτη

Οι βασικές κατηγορίες των μηχανών εναλλασσόμενου ρεύματος είναι:

- Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας βραχυκυκλωμένου κλωβού
- Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας δακτυλιοφόρου δρομέα
- Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας δρομέα χωρίς αυλακώσεις
- Ασύγχρονος μονοφασικός κινητήρας
- Σύγχρονος τριφασικός με ή χωρίς μόνιμο μαγνήτη

Τέλος υπάρχει μια ειδική κατηγορία, η οποία έχει αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια και είναι οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος χωρίς ψήκτρες (brushless motors).

Από τους παραπάνω τύπους κινητήρων οι ευρύτερα χρησιμοποιούμενοι είναι ο τριφασικός ασύγχρονος με βραχυκυκλωμένο κλωβό, ο σύγχρονος κινητήρας με μόνιμο μαγνήτη, ο κινητήρας Σ.Ρ. με διέγερση σειράς, ο κινητήρας Σ.Ρ. με μόνιμο μαγνήτη και ο κινητήρας τύπου Brushless [3].



Εικόνα 2 : Ηλεκτρικός κινητήρας τύπου «brushless».

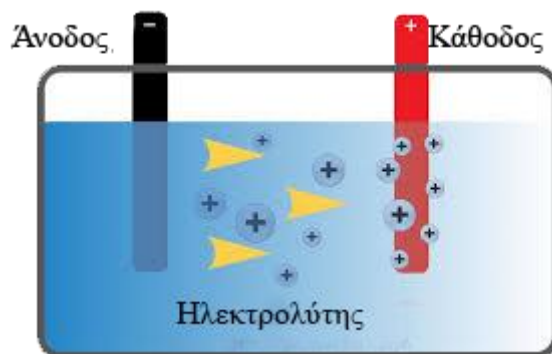
¹ Σ.Ρ.: Συνεχούς Ρεύματος

1.3 ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Κατά την μελέτη και ανάπτυξη των ηλεκτρικών οχημάτων έχουν προταθεί διάφοροι τύποι πηγών ενέργειας διότι ένα μειονέκτημα που παρουσιάζουν τα ηλεκτρικά οχήματα είναι η εμβέλεια τους. Σε εφαρμογές της αυτοκινητοβιομηχανίας η σωστή επιλογή πηγής ενέργειας εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως το βάρος, η ασφάλεια σε περίπτωση πρόσκρουσης και η εμβέλεια που μπορεί να προσφέρει στο όχημα. Οι πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται είναι κυρίως μπαταρίες, υπερπυκνωτές και κυψέλες καυσίμου.

1.3.1 ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ

Οι συσσωρευτές, γνωστοί στους περισσότερους με τον κοινό όρο «μπαταρίες» είναι οι ηλεκτροχημικές διατάξεις που μετατρέπουν την χημική ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια κατά την εκφόρτωση τους και το αντίστροφο κατά την φόρτιση τους. Μια μπαταρία αποτελείται από πολλές επιμέρους κυψέλες (cell). Κάθε κυψέλη έχει τρία βασικά στοιχεία, δύο ηλεκτρόδια (θετικό και αρνητικό) που είναι βυθισμένα σε έναν ηλεκτρολύτη (εικόνα 3). Οι τύποι των συσσωρευτών που χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρικά οχήματα αναλύονται εκτενέστερα στην συνέχεια [4].



Εικόνα 3: Λειτουργία συσσωρευτή.

1.3.1.1 ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΜΟΛΥΒΔΟΥ-ΟΞΕΟΣ

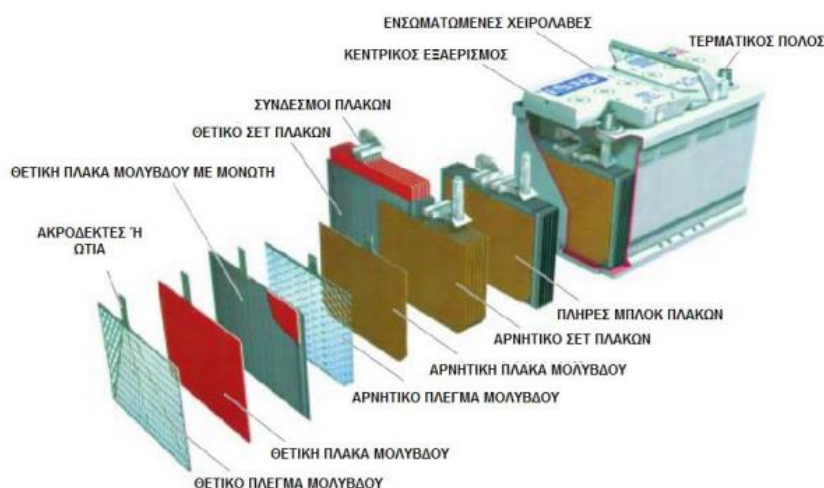
Οι μπαταρίες εμβάπτισης μολύβδου-οξέος είναι ο παλαιότερος τύπος επαναφορτιζόμενων μπαταριών. Βασίζονται σε χημικές αντιδράσεις, οι οποίες περιλαμβάνουν διοξείδιο του μολύβδου (PbO_2) για το σχηματισμό του ηλεκτροδίου καθόδου, μολυβδό (Pb) για το ηλεκτροδίου ανόδου και θεικό οξύ (H_2SO_4) που λειτουργεί ως ηλεκτρολύτης. Οι τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας μπαταρίας μολύβδου-οξέος, λόγω του χαμηλού τους κόστους, έχουν κυριαρχήσει στην αγορά.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η τεχνολογία μπαταριών εμβάπτισης μολύβδου σε οξύ βελτιώνεται σταδιακά και με ποικίλους τρόπους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι μπαταρίες VRLA, που χρησιμοποιούν την ίδια βασική ηλεκτροχημική

τεχνολογία με τις μπαταρίες μολύβδου-οξέος, με τη διαφορά ότι αυτές φράσσονται με μια βαλβίδα ρύθμισης της πίεσης και ο όξινος ηλεκτρολύτης είναι ακινητοποιημένος. Αυτό εξαλείφει την ανάγκη προσθήκης νερού στις κυψέλες για να διατηρείται η κατάλληλη λειτουργία του ηλεκτρολύτη. Η ανακύκλωση του οξυγόνου και οι βαλβίδες των VRLA αποτρέπουν τον εξαερισμό των αερίων υδρογόνου και οξυγόνου, καθώς και την είσοδο του αέρα στις κυψέλες. Το υποσύστημα των μπαταριών αυτών μπορεί να χρειάζεται να αντικαθίσταται συχνότερα από ότι με τις συμβατικές μπαταρίες μολύβδου-οξέος, αυξάνοντας το κόστος συντήρησής τους.

Οι μπαταρίες VRLA παρουσιάζουν δύο βασικά πλεονεκτήματα έναντι των μπαταριών εμβάπτισης σε οξύ:

- Μειώνεται δραματικά η απαραίτητη συντήρηση για να διατηρείται η μπαταρία σε λειτουργία.
- Οι κυψέλες των μπαταριών μπορούν να συσσωματώνονται πιο στενά λόγω της ερμητικής κλειστής κατασκευής τους και του ακινητοποιημένου ηλεκτρολύτη, έτσι μειώνεται το ίχνος και το βάρος τη μπαταρίας.



Εικόνα 4: Μέρη συσσωρευτή μολύβδου οξέος [5].

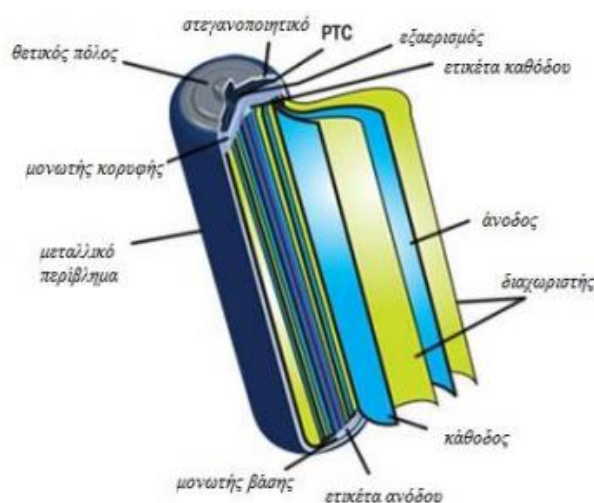
1.3.1.2 ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΝΙΚΕΛΙΟ

Οι μπαταρίες με βάση το νικέλιο είναι κυρίως οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου (NiCd) νικελίου-υδριδίου μετάλλου (NiMH) και οι νικελίου-ψευδαργύρου (NiZn). Και οι τρεις αυτοί τύποι χρησιμοποιούν το ίδιο υλικό για θετικό ηλεκτρόδιο και για τον ηλεκτρολύτη, το οποίο είναι υδροξείδιο του νικελίου και υδατικό διάλυμα υδροξείδιο του καλίου με υδροξείδιο του λιθίου αντίστοιχα. Όσον αφορά στο αρνητικό ηλεκτρόδιο, η μπαταρία νικελίου-καδμίου χρησιμοποιεί υδροξείδιο του καδμίου ως αρνητικό ηλεκτρόδιο, η νικελίου-υδριδίου μετάλλου ένα κράμα μετάλλων και η νικελίου-ψευδαργύρου, υδροξείδιο του ψευδαργύρου.

1.3.1.3 ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΛΙΘΙΟ

Το λίθιο είναι το ελαφρύτερο από όλα τα μέταλλα και παρουσιάζει πολύ ενδιαφέρον από ηλεκτροχημικής άποψης. Επιτρέπει πολύ υψηλή θερμοδυναμική τάση, η οποία έχει ως παράγωγο υψηλή ενέργεια και ισχύς. Υπάρχουν δύο βασικές τεχνολογίες:

- Μπαταρίες λιθίου-πολυμερούς: Χρησιμοποιούν μέταλλο λιθίου και οξείδιο παρεμβολής μετάλλου μεταπτώσεως (MyOz) για τα αρνητικά και θετικά ηλεκτρόδια αντίστοιχα. Το MyOz διαθέτει μια δομή σε στρώσεις στην οποία τα ιόντα λιθίου μπορούν να εισέρχονται και να εξέρχονται κατά την φόρτιση και εκφόρτωση της μπαταρίας. Χρησιμοποιείται ένας λεπτός ηλεκτρολύτης στερεού πολυμερούς (SPE), ο οποίος προσφέρει το πλεονέκτημα της ευελιξίας στον σχεδιασμό (εικόνα 5) και ασφάλεια.

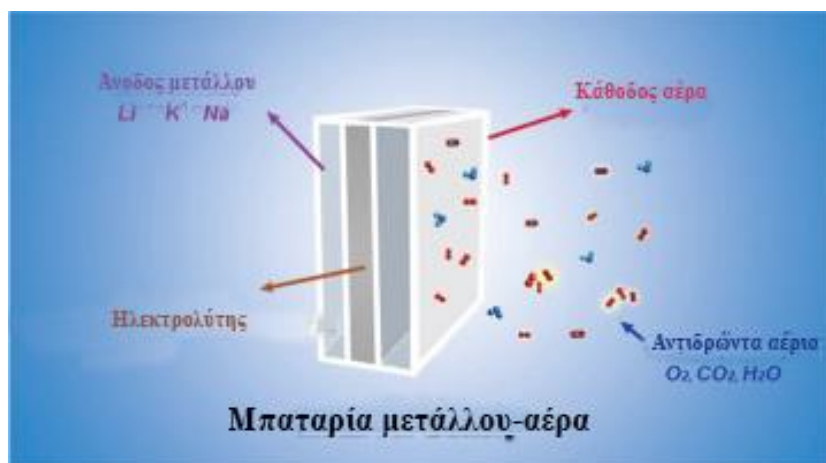


Εικόνα 5: Μέρη μπαταρίας λιθίου.

Μπαταρίες ιόντων λιθίου: Οι μπαταρίες αυτές έχουν ευρεία εφαρμογή σε υβριδικά οχήματα και αμιγώς ηλεκτρικά. Χρησιμοποιούν λιθοειδής δέσμευση άνθρακα (LixC) για αρνητικό πόλο αντί του μεταλλικού λιθίου και για τον θετικό πόλο ένα λιθοποιημένο οξείδιο παρεμβολής μετάλλου μεταπτώσεως (Li1x MyOz). Ο ηλεκτρολύτης τους είναι υγρό οργανικό διάλυμα ή ένα στερεό πολυμερές και κατά την διάρκεια της εκφόρτωσης και της φόρτισης τα ιόντα λιθίου ταλαντεύονται μέσω του ηλεκτρολύτη μεταξύ των θετικών και αρνητικών ηλεκτροδίων.

1.3.1.4 ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΜΕΤΑΛΛΟΥ-ΑΕΡΑ

Οι μπαταρίες μετάλλου-αέρα είναι υπό συνεχή έρευνα και τεχνολογική ανάπτυξη ώστε να γίνουν εμπορικά διαθέσιμες. Σε αυτές τις μπαταρίες, ως αρνητικό ηλεκτρόδιο χρησιμοποιούνται συνήθως μέταλλα όπως είναι το αλουμίνιο, ο ψευδάργυρος, ο μόλυβδος ή ακόμη και σίδηρος, τα οποία τοποθετούνται σε ρευστό ή πολυμερή ενσωματωμένο ηλεκτρολύτη και απελευθερώνουν ηλεκτρόνια κατά τη μετέπειτα αντίδραση οξείδωσης. Τα ηλεκτρόνια καθώς έλκονται από την κάθοδο καταλύτη και άνθρακα και καθώς ρέουν σε ένα εξωτερικό κύκλωμα, δημιουργούν διάφορα δυναμικού στα άκρα της μπαταρίας.



Εικόνα 6: Λειτουργία μπαταρίας μετάλλου-αέρα [6].

1.3.2 ΥΠΕΡΠΥΚΝΩΤΕΣ

Η τεχνολογία των υπερπυκνωτών είναι μία νέα τεχνολογία που χρησιμοποιείται στα ηλεκτρικά οχήματα, αντικαθιστώντας τους κοινούς πυκνωτές μεγάλου όγκου και βάρους. Η τεχνολογία των υπερπυκνωτών βασίζεται στην ανάπτυξη «έργου επιφάνειας» σε ολόκληρη τη μάζα των ηλεκτροδίων και όχι μόνο στην εξωτερική επιφάνεια, με τον τρόπο αυτό έγινε εφικτή η μείωση του συνολικού όγκου αλλά και η αύξηση της ενέργειας που μπορεί να αποθηκευτεί ανά μονάδα βάρους, παρ' όλα αυτά η ενέργεια που μπορούν να αποθηκεύσουν εξακολουθεί να είναι πολύ μικρή σε σχέση με αυτή που μπορούν να αποθηκεύσουν οι μπαταρίες.



Εικόνα 7: Τύποι συσσωρευτών της εταιρίας Maxwell [7].

Οι υπερπυκνωτές είναι ηλεκτροχημικοί πυκνωτές (EC capacitors) και συγκεκριμένα, μια παραλλαγή των ηλεκτρολυτικών πυκνωτών, όπου αντί το “παραδοσιακό” στρώμα του οξειδίου να παίζει το ρόλο του διηλεκτρικού, η εμφάνιση του διηλεκτρικού γίνεται κάθε φορά που ασκείται τάση στους ακροδέκτες του. Με τον τρόπο αυτόν, το φορτίο αποθηκεύεται ηλεκτροστατικά (χωρίς να πραγματοποιούνται δηλαδή χημικές αντιδράσεις) μέσα στα πολωμένα στρώματα υγρού που βρίσκεται ανάμεσα στον οργανικό ηλεκτρολύτη και στο ηλεκτρόδιο. Οι ηλεκτροχημικοί πυκνωτές διακρίνονται

σε ηλεκτρικούς πυκνωτές διπλού στρώματος (Electric Double Layer Capacitor - EDLC) και σε ψευδοπυκνωτές (pseudocapacitor). Στην πρώτη περίπτωση, οι οπλισμοί είναι κατασκευασμένοι από ενεργό άνθρακα, ενώ στη δεύτερη περίπτωση, από οξειδία μετάλλων (RuO_2 , MnO_2) πάνω σε φορέα από ενεργό άνθρακα. Και στις δυο περιπτώσεις, οι οπλισμοί είναι εμβαπτισμένοι σε ηλεκτρολύτη.

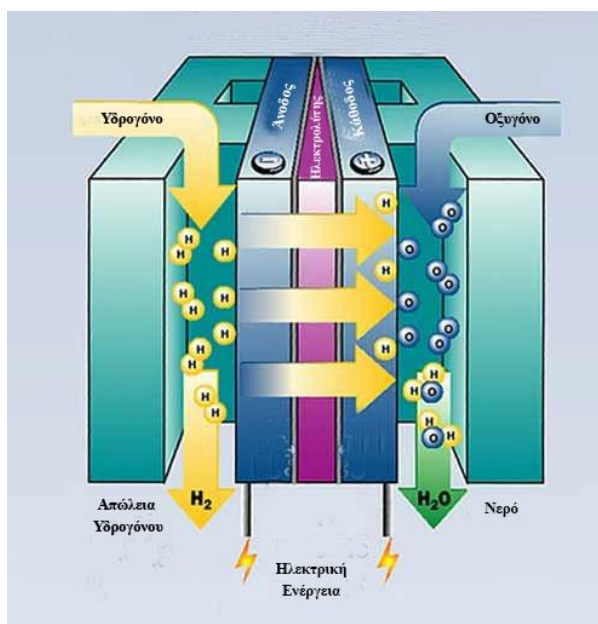
Αυτή την στιγμή, η πλέον εξελιγμένη γενιά υπερπυκνωτών έχουν σχεδόν διπλάσιο λόγο ισχύος εξόδου προς βάρος από τις μπαταρίες νικελίου-υδριδίου μετάλλου ενώ διατηρούν και όλα τα πλεονεκτήματα των πυκνωτών και προπαντός τη σημαντικά υψηλότερη ταχύτητα φόρτισης, σε σύγκριση με τις συμβατικές μπαταρίες ιόντων ή υδριδίων.

1.3.3 ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Η κυψέλη καυσίμου είναι μια ηλεκτροχημική συσκευή που μετατρέπει τη χημική ενέργεια του καυσίμου σε ηλεκτρισμό χωρίς τη μεσολάβηση της καύσης.

Στη βασική της μορφή, το υδρογόνο τροφοδοτεί την άνοδο της κυψέλης, το αρνητικό ηλεκτρόδιο, το οποίο ερχόμενο σε επαφή με τον καταλύτη διαχωρίζεται σε θετικά φορτισμένα ιόντα υδρογόνου και ηλεκτρόνια. Η άνοδος και ο καταλύτης είναι τέτοιας κατασκευής ώστε η διάχυση των ατόμων του υδρογόνου να γίνεται με ομογενή τρόπο.

Τα ηλεκτρόνια τα οποία απελευθερώθηκαν μεταφέρονται μέσω εξωτερικού ηλεκτρικού κυκλώματος προς την άνοδο δημιουργώντας ηλεκτρισμό αφού η μεμβράνη αποτρέπει τη διέλευση τους μέσω αυτής. Για αυτό το λόγο διαλέγονται αγωγιμα υλικά για την άνοδο και τον καταλύτη. Τα θετικά φορτισμένα ιόντα του υδρογόνου διαπερνούν τη μεμβράνη και ενώνονται με το οξυγόνο το οποίο τροφοδοτεί την κάθοδο και το θετικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο, και παράγεται νερό. Όπως και πριν, την ομογενή διάχυση του



Εικόνα 8: Λειτουργία κυψέλης καυσίμου.

οξυγόνου στον καταλύτη την εξασφαλίζει η κατασκευή του ηλεκτροδίου. Ο καταλύτης αναλαμβάνει την επιτάχυνση της δημιουργίας του νερού από τα συστατικά του. Στο σχηματισμό του νερού συμμετέχουν εκτός των μορίων του οξυγόνου και των ιόντων του υδρογόνου, τα ηλεκτρόνια τα οποία διοχετεύτηκαν μέσω του εξωτερικού ηλεκτρικού κυκλώματος στην κάθοδο, στην αρχή της διαδικασίας.

Οι κυψέλες καυσίμου διακρίνονται σε πέντε ήδη :

- Αλκαλική κυψέλη καυσίμου. (Alcaline Fuel Cell)
- Κυψέλη καυσίμου μεμβράνης ανταλλαγής πρωτονίων. (Proton Exchange Membrane Fuel Cell)
- Κυψέλη καυσίμου στερεών οξειδίων. (Solid Oxide Fuel Cell)
- Κυψέλη καυσίμου φωσφορικού οξέως. (Phosphoric Acid Fuel Cell)
- Κυψέλη καυσίμου τήγματος ανθρακικών αλάτων.(Molten Carbonate Fuel Cell)
- Κυψέλη καυσίμου μεθανόλης (Direct methanol Fuel Cell)

Η κυψέλη καυσίμου μεμβράνης ανταλλαγής πρωτονίων έχει κάποια σαφή πλεονεκτήματα για την χρήση σε οχήματα. Πρώτον, η λειτουργία της σε χαμηλές θερμοκρασίες και επομένως η γρήγορη εκκίνηση της. Δεύτερον, η πυκνότητα ισχύος της είναι υψηλότερη μεταξύ όλων των διαθέσιμων τύπων κυψελών καυσίμου, όσο μεγαλύτερη είναι η πυκνότητα ισχύος της κυψέλης τόσο μικρότερο είναι το μέγεθος που πρέπει να εγκατασταθεί για την επιθυμητή ζήτηση ισχύος. Τρίτον, ο στερεός ηλεκτρολύτης του δεν μεταβάλλεται, δεν κινείται ούτε εξατμίζεται από το κελί. Τέλος επειδή το μόνο υγρό στο κελί είναι νερό, η πιθανότητα οποιασδήποτε διάβρωσης είναι ουσιαστικά οριοθετημένη. Ωστόσο, το μειονέκτημα που παρουσιάζει είναι ότι απαιτείται ακριβό ευγενές μέταλλο για την κατασκευή της.



Εικόνα 9: Μέρη κυψέλης μεμβράνης ανταλλαγής πρωτονίων.

Τα κύρια δομικά στοιχεία μίας κυψέλης μεμβράνης ανταλλαγής πρωτονίων είναι:

- Η μεμβράνη πρωτονίων.
- Τα ηλεκτρόδια ανόδου και καθόδου.
- Το στρώμα διάχυσης αερίων.
- Η πλάκα ροής αερίων.
- Η συστοιχία κυψελών καυσίμου.

1.4 ΥΒΡΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

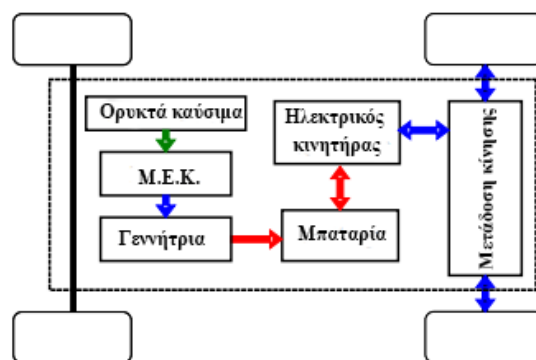
Τα ηλεκτρικά οχήματα χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τον σύστημα μετάδοσης ενεργείας τους. Εξ' ολόκληρου ηλεκτρικό όχημα (BEV) έχουμε μόνο όταν υπάρχει ένας συσσωρευτής και ένας ηλεκτρικός κινητήρας. Ωστόσο η ανάγκη για την κατασκευή οχημάτων με υψηλότερη απόδοση δημιούργησε τα υβριδικά συστήματα κίνησης. Υβριδικό λέγεται όποιο όχημα διαθέτει μετατροπέα ενέργειας ή παραπάνω από μία πηγή ενέργειας.

Τα υβριδικά συστήματα μετάδοσης ισχύος κατηγοριοποιούνται σε τρεις κυρίους τύπους ανάλογα με την συνδεσμολογία τους : Σειριακά, Παράλληλα και Μικτά (που είναι ουσιαστικά συνδυασμός σειριακό και παράλληλων).

Άλλη μία κατηγορία είναι τα ήπια υβριδικά οχήματα (MHEV), όπου σε οχήματα εσωτερικής καύσης αντικαθίσταται ο συμπλέκτης του οχήματος ή ο μετατροπέας ροπής με έναν κινητήρα μικρής δυναμικότητας, ωστόσο δεν θα αναλυθεί διότι η βασική μετάδοση ισχύος γίνεται συνεχώς μέσω κινητήρα εσωτερικής καύσης με μικρή υποβοήθηση του ηλεκτρικού κινητήρα [8].

1.4.1 ΣΕΙΡΙΑΚΑ ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Στα οχήματα με σειριακό υβριδικό σύστημα υπάρχει μια ενιαία διαδρομή για την μετάδοση ισχύς στους τροχούς, αλλά δύο πηγές ενέργειας. Μια δεξαμενή καυσίμου τροφοδοτεί έναν κινητήρα εσωτερικής καύσης ο οποίος συνδέεται με μία γεννήτρια για την φόρτιση της μπαταρίας. Η μπαταρία παρέχει ηλεκτρική ενέργεια στον ηλεκτρικό κινητήρα και ο κινητήρα μεταδίδει περιστροφική κινητική ενέργεια στους τροχούς. Τέλος, ο κινητήρα κατά την διαδικασία επιβράδυνσης ή πέδησης του οχήματος λειτουργεί ως γεννήτρια και φορτίζει την μπαταρία.



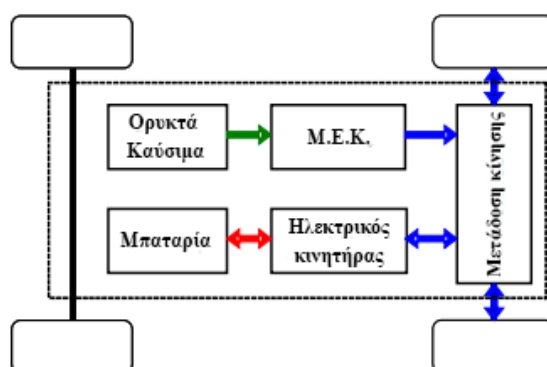
Εικόνα 10: Αναπαράσταση σειριακού υβριδικού συστήματος.

Στην ίδια κατηγορία εντάσσονται τα υβριδικά οχήματα με ηλεκτροκινητήρα και δυο πηγές ενέργεια, κυψέλες υδρογόνου και υπερπυκνωτές (FCEV). Μια φιάλη υδρογόνου τροφοδοτεί τις κυψέλες υδρογόνου, οι κυψέλες παράγουν ρεύμα και το διοχετεύουν στους υπερπυκνωτές και μέσω των υπερπυκνωτών τροφοδοτείται ο ηλεκτρικός

κινητήρας. Σε αρκετά οχήματα τύπου FCEV κατά την διάρκεια πέδησης του οχήματος ο ηλεκτρικός κινητήρας λειτουργεί ως γεννήτρια και φορτίζει τους υπερπυκνωτές.

1.4.2 ΠΑΡΑΛΛΗΛΑ ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

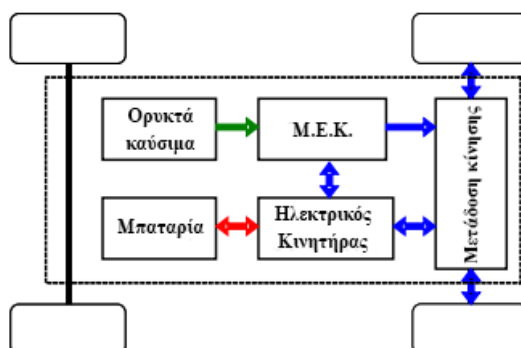
Στα παράλληλα υβριδικά οχήματα, η μετάδοση της κίνησης στους τροχούς γίνεται με δύο ή περισσότερους τρόπους, συνήθως η μετάδοση γίνεται μέσω μιας μηχανής εσωτερικής καύσης και από έναν ηλεκτρικό κινητήρα. Οι δύο κινητήρες μπορούν να δίνουν κίνηση στο σύστημα μετάδοσης συγχρόνως ή και ξεχωριστά. Το ηλεκτρικό σύστημα είναι ανεξάρτητο με αυτό του συστήματος εσωτερικής καύσης. Και στα παράλληλα υβριδικά συστήματα υπάρχει η λειτουργία της ανάκτησης ενέργειας κατά την διάρκεια πέδησης, με την ενέργεια να αποθηκεύεται στην πηγή ενέργειας του ηλεκτροκινητήρα.



Εικόνα 11: Αναπαράσταση παράλληλου υβριδικού συστήματος.

1.4.3 ΜΙΚΤΑ ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Στα μίκτα συστήματα μετάδοσης ισχύος υπάρχουν συνδυασμοί των δύο παραπάνω κατηγοριών και η πολυπλοκότητα τους αυξάνεται ανάλογα με τον αριθμό των ηλεκτροκινητήρων που χρησιμοποιούνται και από την συνδεσμολογία των πηγών ενέργεια. Ένα απλό παράδειγμα απεικονίζεται στο ακόλουθο σχήμα.



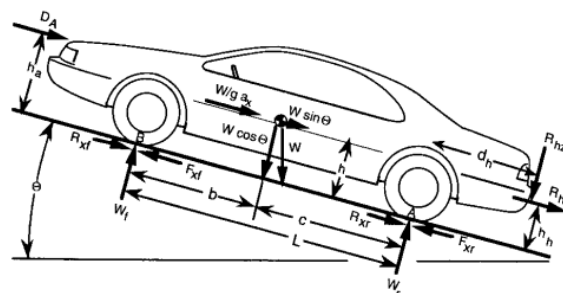
Εικόνα 12: Αναπαράσταση μικτού υβριδικού συστήματος.

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η δυναμική του οχήματος, μελετάει την αλληλεπίδραση μεταξύ του οχήματος, του οδηγού και του περιβάλλοντος και χωρίζεται σε τρία είδη δυνάμεων, στις διαμήκεις, εγκάρσιες και κατακόρυφες. Μέσω των προηγμένων λογισμικών δυναμικής προσομοίωσης των οχημάτων πλέον υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας αξιόπιστων μοντέλων [9].

2.2 ΔΥΝΑΜΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ ΑΞΟΝΑ

Ο καθορισμός των φορτίων σε ένα άξονα, σε ένα όχημα υπό αυθαίρετες συνθήκες είναι μια πρώτη απλή εφαρμογή του δεύτερου νόμου του Newton. Είναι ένα σημαντικό πρώτο βήμα στην ανάλυση της απόδοσης επιτάχυνσης και πέδησης, διότι τα φορτία του άξονα καθορίζουν την ελκυστική δύναμη που επιτυγχάνεται σε κάθε άξονα, επηρεάζοντας την προσπάθεια επιτάχυνσης, δυνατότητα ανάβασης και μέγιστης ταχύτητας του οχήματος.



Εικόνα 13: Δυνάμεις που ασκούνται στο όχημα.

Το W είναι το βάρος του οχήματος που ενεργεί στο CG (κέντρο βάρους) του με ένα μέγεθος ίσο με τη μάζα του κατά τη διάρκεια της επιτάχυνσης της βαρύτητας. Σε μια κλίση μπορεί να έχει δύο συνιστώσες, μια συνημιτονοειδή η οποία είναι κάθετη στην επιφάνεια του δρόμου και μια ημιτονοειδή συνιστώσα παράλληλη με το δρόμο. Αν το όχημα επιταχύνει κατά μήκος του δρόμου, είναι βολικό να αντιπροσωπεύουμε την επίδραση αυτή με μια ισοδύναμη αδρανειακή δύναμη, που δηλώνεται με $\frac{W}{g} * a_x$, ενεργώντας στο κέντρο βάρους αντίθετα προς την κατεύθυνση της επιτάχυνσης.

Τα ελαστικά επιδρούν με μια κανονική δύναμη στο δρόμο, που χαρακτηρίζεται από τις W_f και W_r και αντιπροσωπεύουν τα δυναμικά βάρη που μεταφέρονται στον εμπρόσθιο και στον οπίσθιο τροχό. Οι δυνάμεις τριβής F_{xf} και F_{xr} ή η αντίσταση κύλισης R_{xf} και R_{xr} μπορούν να δρουν στο επίπεδο γείωσης των ελαστικών με το οδόστρωμα

Το D_A είναι η αεροδυναμική δύναμη που ασκείται στο σώμα του οχήματος. Μπορεί να εκπροσωπείται ως μια δύναμη στον οδόστρωμα μεταβάλλοντας το ύψος h_A .

Οι R_{hz} και R_{hx} είναι κατακόρυφες και διαμήκειες δυνάμεις που δρουν στο σημείο σύνδεσης όταν το όχημα έλκει ρυμουλκό.

2.3 ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ

Το αεροδυναμικό φορτίο είναι η αντίσταση του αέρα κατά την κίνηση του οχήματος και είναι ανάλογη με το τετράγωνο της ταχύτητας. Είναι μία δύναμη δημιουργούμενη από την ίδια την κίνηση και αποτελείται από την αντίσταση λόγω σχήματος αλλά και την τριβή με την επιφάνεια του οχήματος. Η ανάλυση του φαινομένου για τη ροή του αέρα γύρω από το όχημα είναι εξαιρετικά πολύπλοκη για αυτό και ο υπολογισμός αυτής της δύναμης βασίζεται σε μια εμπειρική σταθερά, γνωστή ως συντελεστής οπισθέλκουσας (C_d). Κατά τη μελέτη και το σχεδιασμό ενός οχήματος, υπολογίζεται από προσομοιώσεις και είναι γνωστή για κάθε μοντέλο οχήματος. Ο συντελεστής αυτός εξαρτάται σημαντικά από τον τύπο του οχήματος, και οι τυπικές τιμές για ένα συνηθισμένο αυτοκίνητο είναι από 0.3 έως 0.19. Οι χαμηλότερες τιμές επιτυγχάνονται για ηλεκτρικά οχήματα, καθώς αυτά προσφέρουν μεγαλύτερες ελευθερίες στην χωροθέτηση των επιμέρους συστημάτων κατά το σχεδιασμό, ενώ συνήθως δεν υπάρχει και ανάγκη για αεραγωγούς. Ο συντελεστής λαμβάνει μεγαλύτερες τιμές σε οχήματα όπως λεωφορεία και μοτοσυκλέτες (κοντά στο 0.7).

Η αεροδυναμική αντίσταση μαθηματικά περιγράφεται από τον τύπο:

$$D_a = \frac{1}{2} * \rho * v^2 * C_d * A$$

Όπου:

- ρ : η πυκνότητα του αέρα
- v : η ταχύτητα του οχήματος
- C_d : ο αεροδυναμικός συντελεστής
- A : το εμβαδό της μετωπικής επιφάνειας

2.4 ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΚΥΛΙΣΗΣ

Η αντίσταση κύλισης είναι αποτέλεσμα της απώλειας ενέργειας στο εσωτερικό του ελαστικού, η οποία μπορεί να αναχθεί στην παραμόρφωση της επιφάνειας επαφής του ελαστικού και τις ιδιότητες απόσβεσης του ελαστικού. Αυτά οδηγούν στην μετατροπή της μηχανικής σε θερμική ενέργεια, που συμβάλλουν στην αύξηση της θερμοκρασίας του ελαστικού. Εκτός από την τριβή του ελαστικού του οχήματος στο δρόμο, η τριβή στα έδρανα και το κιβώτιο ταχυτήτων παίζουν επίσης το ρόλο τους. Η αντίσταση κύλισης είναι περίπου σταθερή, επηρεάζεται ελάχιστα από την ταχύτητα του οχήματος ενώ είναι ανάλογη με το βάρος του οχήματος.

Ο τύπος υπολογισμού είναι:

$$F_{rr} = \mu_{rr} * m * g$$

όπου:

- m : η μάζα του οχήματος
- g : η επιτάχυνση της βαρύτητας
- μ_{rr} : ο συντελεστής αντίστασης κύλισης

Η επίδραση της ταχύτητας του οχήματος στην τριβή ολίσθησης μπορεί να περιγράφει μέσα από τον τύπο του συντελεστή αντίστασης κύλισης, ο οποίος φυσικά εξαρτάται και από τις διαστάσεις και την κατάσταση των ελαστικών. Για συμβατικά οχήματα ο συντελεστής περιγράφεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\mu_{rr} = 0.01 * (1 + \frac{0.62 * v}{100})$$

2.5 ΔΥΝΑΜΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ

Εάν η ταχύτητα του οχήματος αλλάζει, τότε σαφώς η δύναμη θα πρέπει να εφαρμόζεται, η οποία θα παρέχει την γραμμική επιτάχυνση του οχήματος και δίνεται από τη γνωστή εξίσωση που προέρχεται από το δεύτερο νόμο του Νεύτωνα:

$$F_a = m * a$$

όπου a η γραμμική επιτάχυνση του οχήματος.

2.6 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΝΗΦΟΡΙΚΗΣ ΚΛΙΣΗΣ

Η δύναμη που απαιτείται για την οδήγηση του οχήματος σε κεκλιμένο επίπεδο είναι ουσιαστικά η συνιστώσα του βάρους του οχήματος που δρα κατά μήκος του κεκλιμένου επιπέδου με γωνία κλίσης θ . Στην ανηφόρα, η συνιστώσα δύναμη του βάρους δρα επιβραδύνοντας την κίνηση του οχήματος, ενώ στην κατηφόρα βοηθάει την κίνηση. Με απλή ανάλυση των δυνάμεων, η δύναμη αυτή μπορεί να περιγράφεται ως εξής:

$$F_{hc} = m * g * \sin \theta$$

2.7 ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΑΙΤΗΣΗΣ ΡΟΠΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΙΝΗΣΗ

Η επιτάχυνση του οχήματος παράγει δυνάμεις αντίστασης, όπως η αεροδυναμική τριβή και η αντίσταση κύλισης, όμως και το σύστημα μετάδοσης της κίνησης αυξάνει την απαίτηση ροπής λόγω της αδράνειας των στρεφόμενων μερών του οχήματος. Η απαιτούμενη δύναμη προώθησης (F_x) σε συνάρτηση με την απαιτούμενη ροπή του κινητήρα και τον λόγο μετάδοσης μπορεί να περιγραφεί ως εξής :

$$F_x = \frac{T_e * N_{tf} * n_{tf}}{r} - [(I_e + I_d + I_t) * N_{tf}^2 + I_w] * \frac{a_x}{r^2}$$

όπου:

- T_e : η απαιτούμενη ροπή στον κινητήρα
- N_{tf} : ο λόγος μετάδοσης κιβωτίου ταχυτήτων
- n_{tf} : η απόδοση συστήματος μετάδοσης
- r : η εξωτερική διάμετρος ελαστικών
- I_e : η ροπή αδράνειας κινητήρα
- I_t : η ροπή αδράνειας κιβωτίου ταχυτήτων
- I_d : η ροπή αδράνειας διαφορικού
- I_w : η ροπή αδράνειας τροχών και ελαστικών
- a_x : η γραμμική επιτάχυνση οχήματος

Συνεπώς, η περιγραφή συνολικά της επίδοσης ενός οχήματος δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$F_x = D_a + F_a + F_{rr} + F_{hc}$$

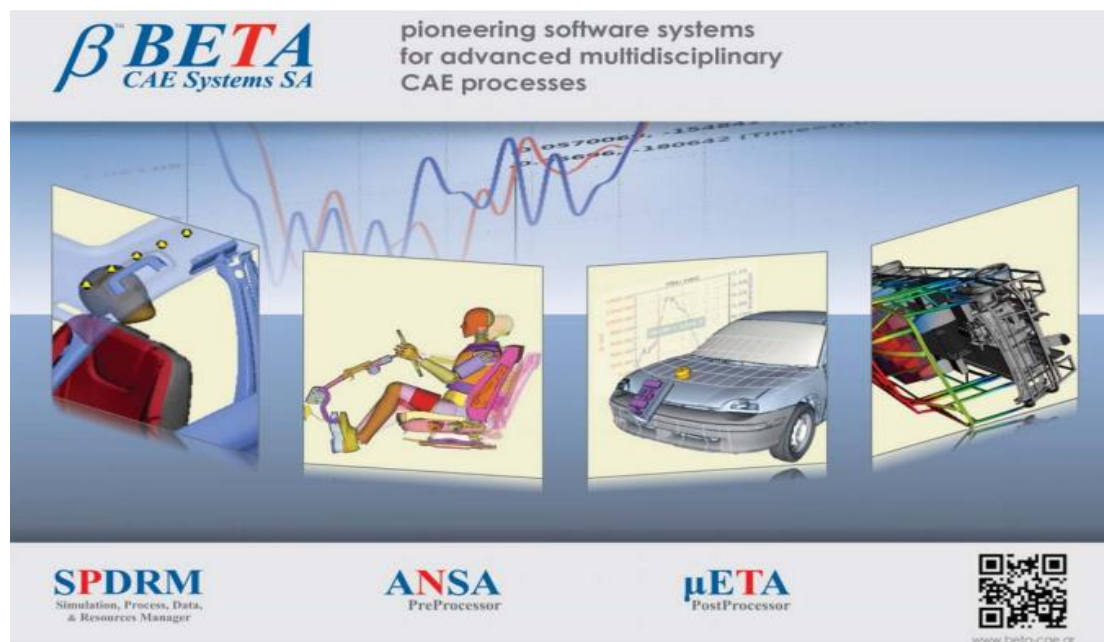
Από όπου και προκύπτει ότι ο τελικός τύπος της απαιτούμενης ροπής που πρέπει να δοθεί από τον κινητήρα κατά την κίνηση και την μεταβολή ταχύτητας.

$$T_e = \frac{r}{N_{tf} * n_{tf}} * \left[(I_e + I_d + I_t) * N_{tf}^2 + I_w \right] * \frac{a_x}{r^2} + D_a + F_a + F_{rr} + F_{hc}$$

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η κατασκευή ενός οχήματος είναι μια πολύ χρονοβόρα και πολύπλοκη διαδικασία που περιλαμβάνει διάφορα στάδια σχεδιασμού, ανάπτυξης, δοκιμών και βελτίωσης, προτού να μπορέσει να τεθεί σε παραγωγή και να πωληθεί σε έναν πελάτη. Σήμερα, τα σύγχρονα οχήματα είναι εξοπλισμένα με μια πληθώρα νέων τεχνολογιών. Αυτό, παράλληλα με τους αυστηρούς κανονισμούς ασφάλειας και τα περιβαλλοντικά πρότυπα, οδηγεί σε αυξημένη πολυπλοκότητα στον σχεδιασμό τους και σε τεράστιες προκλήσεις όσον αφορά το κόστος και την ποιότητα. Κατά συνέπεια αυξάνεται ο όγκος των εργασιών που απαιτούνται για τη δοκιμή και την αξιολόγηση όλων των μερών ενός οχήματος.

Οι κατασκευαστές οχημάτων αναζητούν ολοένα και περισσότερα εργαλεία προσομοίωσης (γνωστά ως εργαλεία CAE²) για την εκτέλεση των απαιτούμενων εργασιών δοκιμής και αξιολόγησης. Τα εργαλεία προσομοίωσης χρησιμοποιούνται σε διάφορα στάδια του σχεδιασμού των οχημάτων όπως είναι η μοντελοποίηση εξαρτημάτων και η διεξαγωγή ανάλυσης φορτίων και δυνάμεων όσο και στον αεροδυναμικό σχεδιασμό για την πραγματοποίηση προσομοιώσεων ροής και υπολογισμού όλων των αεροδυναμικών παραμέτρων.



Εικόνα 14: Λογισμικά προσομοίωσης οχημάτων από την Beta CAE Systems [10].

Εκτός αυτού, ένας τομέας όπου η χρήση εργαλείων προσομοίωσης έχει αυξηθεί σημαντικά είναι η προσομοίωση οχημάτων που περιλαμβάνει τη δυναμική κίνησης των

² CAE : Computer Aided Engineering

οχημάτων, τα συστήματα υποβοήθησης και ελέγχου των οχημάτων και την προσομοίωση της αποδοτικότητας τους.

Τα εργαλεία παρέχουν πολύ ακριβή αποτελέσματα προσομοίωσης, έχοντας καλή αντιστοιχία με τα οχήματα αναφοράς. Ως αποτέλεσμα, τα εργαλεία αυτά να χρησιμοποιούνται για τη διεξαγωγή σημαντικών δοκιμών αντί για την εκτέλεση τους σε δοκιμαστικές διαδρομές, εξοικονομώντας έτσι χρόνο και πόρους. Τα εργαλεία προσομοίωσης δεν χρησιμοποιούνται μόνο ως εναλλακτική λύση στις φυσικές δοκιμές, αλλά και για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας των οδικών δοκιμών. Πριν ξεκινήσει μια οδική δοκιμασία, οι μηχανικοί έχουν την δυνατότητα να χρησιμοποιούν τα εργαλεία για την προετοιμασία του οχήματος και να επιλέξουν ποιοι χειρισμοί πρέπει να εκτελεστούν για τα επιθυμητά αποτελέσματα, να επιλέξουν κατάλληλους δρόμους και να προγραμματίσουν συγκεκριμένους ελιγμούς από τους οδηγούς. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μια πιο δομημένη διάταξη δοκιμής, εξοικονομώντας χρόνο κατά τη διάρκεια της δοκιμής όσο και από την επεξεργασία των δεδομένων.

Παρακάτω είναι μια λίστα με τομείς εφαρμογών των εργαλείων προσομοίωσης μαζί με τις χρήσεις :

- Εκτέλεση αξιολόγησης σχεδιασμού σε πρώιμα στάδια.

Τα εργαλεία προσομοίωσης χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο για την αξιολόγηση των απαιτήσεων σχεδιασμού και των πρώιμων προδιαγραφών σχεδιασμού, προκειμένου να επικυρωθεί η επιλογή των προδιαγραφών χωρίς την ανάγκη για φυσικά πρωτότυπα.

- Εκτέλεση επαναληπτικών δοκιμών υπό ελεγχόμενο περιβάλλον.

Τα εργαλεία προσομοίωσης παρέχουν τη δυνατότητα εκτέλεσης επαναληπτικών δοκιμών, κάτι που δεν μπορεί να επιτευχθεί με τα φυσικά μοντέλα δοκιμών. Τα εργαλεία παρέχουν ένα ελεγχόμενο περιβάλλον για την εκτέλεση των δοκιμών, όπου όλες οι επιθυμητές παράμετροι όπως η τριβή, η τραχύτητα του δρόμου, η ταχύτητα του ανέμου, η θερμοκρασία και άλλες παρόμοιες παράμετροι μπορούν να ελέγχονται και να διατηρούνται σταθερές κατά τη διάρκεια των δοκιμών.

- Αξιολόγηση πολλαπλών εναλλακτικών λύσεων σχεδιασμού.

Εκτός από τη χρήση σε πρώιμο στάδιο της διαδικασίας σχεδιασμού, τα εργαλεία χρησιμοποιούνται επίσης για την αξιολόγηση πολλαπλών εναλλακτικών λύσεων σχεδιασμού με πολύ γρήγορο και αποτελεσματικό τρόπο χωρίς να χρειάζεται να παράγονται φυσικά μοντέλα των εναλλακτικών λύσεων.

➤ Χειρισμός και έλεγχος σταθερότητας.

Μια βασική εφαρμογή των εργαλείων προσομοίωσης είναι η εκτέλεση ελέγχων χειρισμού και σταθερότητας. Λόγω του γεγονότος ότι η προσομοίωση παράγει πολύ ακριβή αποτελέσματα, δεν απαιτείται η επανάληψη των δοκιμών με φυσικό μοντέλο.

➤ Ανάπτυξη ελεγκτών με βάση τα μοντέλα για προηγμένο έλεγχο των οχημάτων.

Οι ελεγκτές, όπως το ABS, το ESC και ο έλεγχος πρόσφυσης που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο των οχημάτων και αναπτύσσονται με εργαλεία όπως το Simulink, C κλπ. συνδέονται με τα εργαλεία προσομοίωσης που διευκολύνουν τη βαθμονόμηση και τον συντονισμό των παραμέτρων του ελεγκτή. Τα εργαλεία προσομοίωσης παρέχουν ένα αξιόπιστο περιβάλλον όπου οι δοκιμές μπορούν να επαναληφθούν με ακρίβεια.

➤ Ανάπτυξη προηγμένων συστημάτων υποστήριξης του οδηγού.

Τα εργαλεία προσομοίωσης παρέχουν το απαιτούμενο περιβάλλον και κατάλληλα δοκιμαστικά σενάρια για να αναπτυχθούν και να δοκιμαστούν τα συστήματα υποστήριξης οδηγού πριν τα εφαρμόσουν στα φυσικά οχήματα. Αυτό εξασφαλίζει ότι οι δοκιμές μπορούν να περιλαμβάνουν εμπόδια, κίνηση, ζώα και πεζούς, αλλά σε ένα εικονικό και ασφαλές περιβάλλον.



Εικόνα 15: Εικόνα από το λογισμικό IPG Movie [11].

➤ Διεξαγωγή δοκιμών - Hardware-In-the-Loop.

Τα εργαλεία προσομοίωσης χρησιμοποιούνται για τη δοκιμή και τη βαθμονόμηση εξαρτημάτων υλικού όπως το ECU³ και την ενσωμάτωση των νέων στοιχείων στις δοκιμές οδήγησης. Λόγω του γεγονότος ότι τα εργαλεία παράγουν πολύ ακριβή αποτελέσματα, η λειτουργία των εξαρτημάτων υλικού μπορεί να ελεγχθεί αυστηρά πριν χρησιμοποιηθεί σε ένα πραγματικό όχημα.

³ ECU : Electronic Control Unit

- Δοκιμή εναλλακτικών μοντέλων οδηγού.

Τα εργαλεία προσομοίωσης παρέχουν τη δυνατότητα χρήσης διαφορετικών μοντέλων οδηγού και παραμέτρων οδηγού. Αυτό είναι πολύ χρήσιμο για τη διεξαγωγή υποκειμενικών δοκιμών των λειτουργιών χειρισμού οχημάτων και ελέγχου οχημάτων.

- Ανταλλαγή δεδομένων με προμηθευτές.

Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ανάπτυξης ενός οχήματος, ανταλλάσσονται πολλά δεδομένα μεταξύ κατασκευαστών οχημάτων και προμηθευτών εξαρτημάτων. Τα εργαλεία προσομοίωσης επιτρέπουν την εύκολη ανταλλαγή δεδομένων επιτρέποντας στις εταιρείες να ανταλλάσσουν ένα κρυπτογραφημένο μοντέλο ενός πρωτότυπου οχήματος ή ενός μεμονωμένου υποσυστήματος.

- Ανάπτυξη προσομοιωτή οδήγησης.

Τα περίπλοκα προγράμματα κινούμενων σχεδίων που παρέχουν τα εργαλεία προσομοίωσης μαζί με την προσομοίωση σε πραγματικό χρόνο, κάνουν τα εργαλεία κατάλληλα για την ανάπτυξη του προσομοιωτή οδήγησης. Ο μεγάλος αριθμός παραμέτρων οχήματος που διατίθενται για τον έλεγχο καθιστά ευκολότερη την ανάπτυξη του προσομοιωτή και καθιστά επίσης πολύ ακριβή και ρεαλιστικά τα αποτελέσματα του.

Μια λίστα με λογισμικά δυναμικής προσομοίωσης :

- Mechanical Simulation CarSim
- IPG CarMaker
- VI-Grade CarRealTime
- MSC ADAMS/Car
- TESIS DYNAware veDYNA
- Modelon DYMOLA
- LMS Virtual lab
- Technalia Dynacar

Για την παρούσα εργασία επιλέχθηκε το λογισμικό της εταιρίας IPG, διότι παρείχε ένα ολοκληρωμένο πακέτο προσομοίωσης, εικονικής παρουσίασης και αξιολόγησης των αποτελεσμάτων και έγινε δυνατή η διάθεση αδειών χρήσης από την εταιρία.

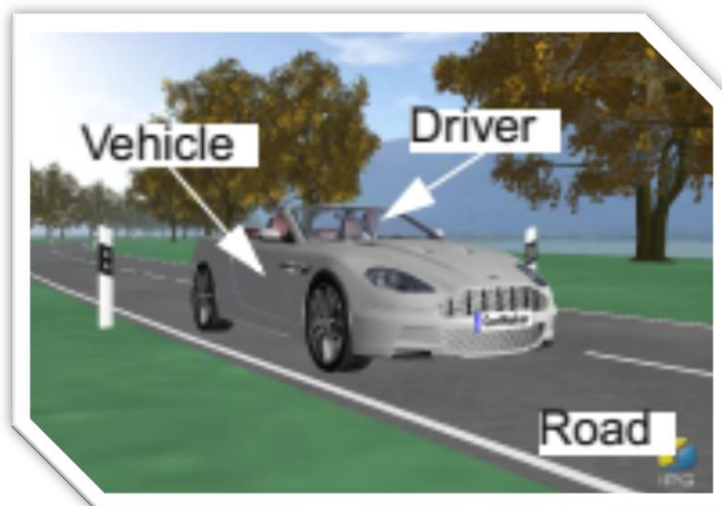
3.2 IPG CARMAKER

Το λογισμικό Carmaker της εταιρίας IPG είναι μια ολοκληρωμένη πλατφόρμα δυναμικής προσομοίωσης οχημάτων και προσφέρει την δυνατότητα να μοντελοποιήσουμε με ακρίβεια τα σενάρια δοκίμων του πραγματικού κόσμου [11].

Οι τεχνικές προσομοίωσης που χρησιμοποιεί είναι οι εξής :

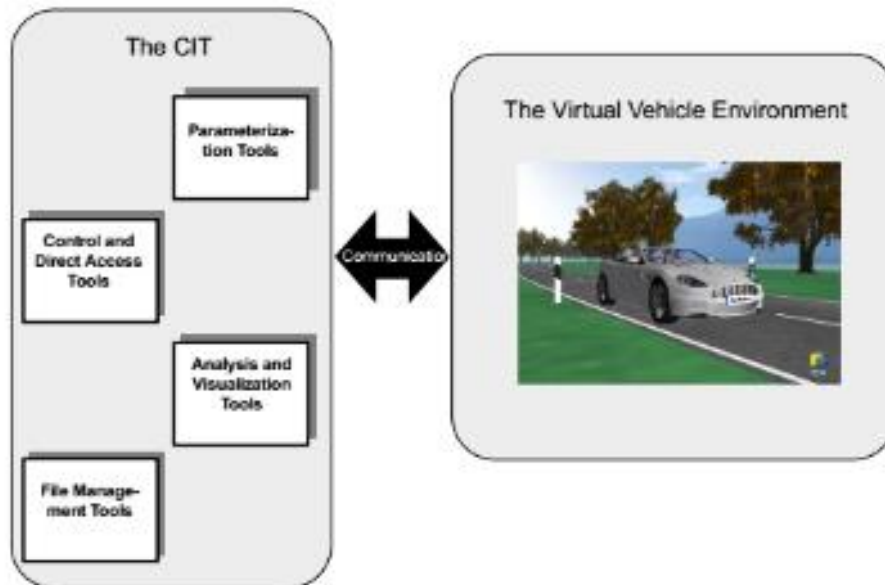
- HIL (hardware in loop)
- MIL (model in loop)
- VIL (vehicle in loop)
- SIL (software in loop)

Το λογισμικό αποτελείται από δύο βασικά μέρη. Το πρώτο μέρος είναι το VVE (Virtual Vehicle Environment) που αποτελείται από την ηλεκτρονική αναπαράσταση του οχήματος, δρόμου και του οδηγού. Η αναπαράσταση του οχήματος βασίζεται σε μαθηματικά μοντέλα που περιέχουν τις εξισώσεις του δυναμικού μοντέλου και παραμετροποιημένα δεδομένα που σχετίζονται άμεσα με το προς μελέτη όχημα. Ο εικονικός δρόμος είναι μια ψηφιοποιημένη ή υπολογιστική απεικόνιση ενός δρόμου που προσομοιώνει μια πραγματική πορεία ή μια πορεία που παράγεται ειδικά για δοκιμές και ένα εικονικό πρόγραμμα οδήγησης είναι ένας οδηγός, ο οποίος προσομοιώνει τις ενέργειες ενός πραγματικού οδηγού ανάλογα με τις απαιτήσεις του σεναρίου που θέλουμε να εφαρμόσουμε.



Εικόνα 16: Απεικόνιση λειτουργίας του VVE [11].

Το δεύτερο μέρος είναι το CIT (Carmaker Interface Toolbox) περιλαμβάνει όλα τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται για την διαχείριση του VVE. Εργαλεία ελέγχου των ενεργειών της προσομοίωσης, περιβάλλον εισαγωγής των παραμετροποιημένων τιμών εισόδου και εργαλεία ανάλυσης (IPG Control) και απεικόνισης (IPG Movie) για την προβολή και ανάλυση των δεδομένων είτε κατά την διάρκεια είτε μετά από μια προσομοίωση.



Εικόνα 17: Απεικόνιση λειτουργίας του CIT [11].

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα ασχοληθούμε με τους παράγοντες που αυξάνουν την κατανάλωση ενέργειας, με συνέπεια να μειώνουν τα ποσοστά απόδοσης των οχημάτων, αλλά και τις τεχνικές μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας.

4.2 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ

Πολλοί παράγοντες συμβάλλουν στο να επηρεάζουν την κατανάλωση ενέργειας, οι κυριότεροι από τους οποίους παρατίθενται παρακάτω :

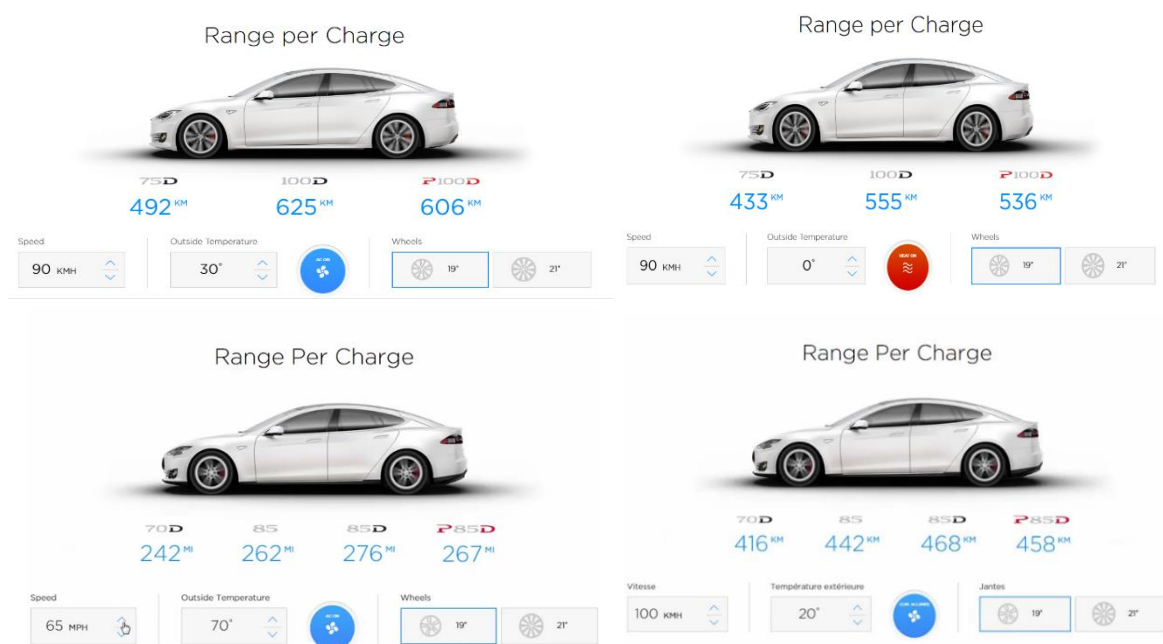
- **Θερμοκρασία περιβάλλοντος:** Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την απόδοση της μπαταρίας και την ικανότητα εξόδου ισχύος, με συνέπεια να μειώνεται η απόδοση και η αυτονομία των ηλεκτρικών οχημάτων. Η αυτονομία των οχημάτων μεταβάλλεται αισθητά από περιοχή σε περιοχή ανάλογα με το κλίμα. Σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε στην Αμερική από πολιτεία σε πολιτεία τα ηλεκτρικά οχήματα εμφάνιζαν μεταβολές στην κατανάλωση ενέργειας. Στο Φοίνιξ, όπου η ημερήσια μέση θερμοκρασία μπορεί να είναι στους 41 ° C στην περιοχή η αυτονομία του οχήματος μπορεί να πέσει στα 78[km/h] μείωση κατά 29% από τη μέση τιμή των 111[km/h]. Σε ψυχρά κλίματα, όπως το Rochester, MN, η μείωση της αυτονομίας σε σύγκριση με την μέση τιμή μπορεί να φτάσει το 36% [12].



Εικόνα 18 : Κατανάλωση ανά μίλι στις ΗΠΑ.

- Τύπος διαδρομής: Η κατανάλωσης ενέργειας ενός οχήματος εξαρτάται από την μέση ταχύτητα του, η μέση ταχύτητα ενός οχήματος όμως εξαρτάται από τον τύπο του δρόμου. Κάθε δρόμος έχει νομοθετημένα διαφορετικά όρια ταχύτητας που μπορεί ένα όχημα να κινείται κατά συνέπεια τα οχήματα παρουσιάζουν διαφορετική μέση κατανάλωση ανάλογα με τον τύπο του δρόμου που κινούνται [13].
- Στυλ οδήγησης: ένα επιθετικό στυλ οδήγησης με συνεχείς φάσεις επιτάχυνσης και επιβράδυνσης μειώνουν την αυτονομία της μπαταρίας, ενώ η οικονομική οδήγηση και οι ομαλές κινήσεις του πεντάλ με σταθερή ταχύτητα μειώνουν την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.

Χρήση πρόσθετων συστημάτων αυτοκινήτου: όταν χρησιμοποιούνται από τους οδηγούς πρόσθετα συστήματα του αυτοκινήτου όπως το κλιματιστικό ή το σύστημα αποψύξεως, μια σημαντική ποσότητα ενέργειας που δεν συμβάλλει στην κίνηση του οχήματος, θα καταναλώνεται μόνιμα [14] [15].



Εικόνα 19: Παράγοντες που επηρεάζουν την κατανάλωση.

Ωστόσο, οι παραπάνω παράγοντες που αυξάνουν την κατανάλωση ενέργειας εξαρτώνται από το περιβάλλον και τις συνήθειες των οδηγών, παράγοντες που δεν μπορούμε να αποτρέψουμε ή να λάβουμε υπόψη ως μηχανικοί. Έτσι, εφαρμόζουμε τεχνικές που θα κάνουν τα ηλεκτρικά οχήματα ακόμα πιο αποτελεσματικά. Η προσπάθεια βελτίωσης της οικονομίας ενέργειας των οχημάτων ήταν μια συνεχής διαδικασία στην αυτοκινητοβιομηχανία.

- Μείωση βάρους του οχήματος : Η μείωση του βάρους του οχήματος επηρεάζει την κατανάλωση ενέργειας και βελτιώνει την αποδοτικότητα. Το 12 -15% της ενέργειας ενός οχήματος καταναλώνεται για να ξεπεράσει τις δυνάμεις έλξης που αντιστέκονται στην κίνηση προς τα εμπρός. Από αυτές τις δυνάμεις έλξης το βάρος του οχήματος επηρεάζει σημαντικά τις δυνάμεις αδράνειας και αντίστασης της κύλισης. Σε ένα όχημα εσωτερικής καύσης έρευνες έχουν δείξει ότι μείωση τους βάρους κατά 10% αντιστοιχεί σε μείωση της κατανάλωσης καυσίμου 5,6%. Υπάρχει μια τεράστια ποικιλία υλικών που υποστηρίζουν τη μείωση του βάρους του οχήματος, ωστόσο πέντε απ' αυτά τηρούν τις προϋποθέσεις για την παραγωγή αυτοκινήτων που είναι οι επιδόσεις, η κατασκευαστική ικανότητα και το κόστος. Αυτά τα υλικά είναι τα κράματα αλουμινίου, κράματα μαγνησίου, σύνθετα πολυμερή ενισχυμένα με ίνες (συμπεριλαμβανομένων των ινών άνθρακα και γυαλιού) και προηγμένα πολυμερή [16].
- Ανάκτηση ενέργειας : Ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά των ηλεκτρικών οχημάτων (EVs) και των υβριδικών ηλεκτρικών οχημάτων (HEVs) είναι η ικανότητά τους να ανακτούν σημαντικά ποσά ενέργειας και την διάρκεια της πέδησης. Οι ηλεκτρικοί κινητήρες μπορούν να λειτουργούν σαν γεννήτριες για να μετατρέψουν την κινητική ή την δυνητική ενέργεια της μάζας του οχήματος σε ηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να αποθηκευτεί και να ξαναχρησιμοποιηθεί [17].
- Συστήματα διαχείρισης υβριδικών συστημάτων : Τα σύγχρονα ηλεκτρικά οχήματα πλέον διαθέτουν σύνθετα συστήματα μετάδοσης ισχύος, με παραπάνω από έναν κινητήρα ή και πηγή ενέργειας. Αυτά τα συστήματα για να λειτουργούν αποδοτικά και να πετυχαίνουν την μείωση της κατανάλωσης πρέπει να συνοδεύονται με ανεπτυγμένες μονάδες διαχείρισης της ενέργειας. Μια ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνική είναι η εκπαίδευση ηλεκτρικών εγκεφάλων με νευρωνικά δίκτυα για την βέλτιστη διαχείριση της ενέργειας [18].

4.3 ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

Για την επίτευξη της μειωμένης κατανάλωσης ενέργειας σε ένα ηλεκτρικό όχημα βασικός στόχος είναι να επιτύχουμε ο ηλεκτρικός κινητήρας να αποδίδει συνεχόμενα στην περιοχή βέλτιστης απόδοσης του. Είναι λογικό ότι όταν ένας κινητήρας δουλεύει κατά κύριο λόγο με υψηλή αποδοτικότητα μειώνει τη σπάταλη ενέργειας.

Ο πιο άμεσος τρόπος για να επιτευχθεί η αποδοτικότερη λειτουργία του κινητήρα είναι να μελετήσουμε το σύστημα μετάδοσης κίνηση του οχήματος. Για την βελτίωση της κατανάλωσης μέσω του συστήματος μετάδοσης της κίνησης έχουν χρησιμοποιηθεί τρεις βασικές τεχνικές.

Η πρώτη τεχνική περιλαμβάνει κιβώτιο ταχυτήτων και η βελτίωση γίνεται μέσω της επιλογής του κατάλληλου συστήματος μετάδοσης. Στην αυτοκινητοβιομηχανία χρησιμοποιούνται τρία είδη κιβωτίων ταχυτήτων, τα χειροκίνητα, τα αυτόματα κιβώτια με πλανητικό σύστημα γραναζιών και τα συνεχώς μεταβαλλόμενων σχέσεων (CVT⁴). Ωστόσο είναι δύσκολο να υπάρξει μια κλίμακα σύγκρισης μεταξύ των τριών αυτών κιβωτίων, διότι παρουσιάζουν διαφορετική απόδοση ανάλογα με την κατασκευή τους. Αν υποθέσουμε ότι δοκιμάζουμε τα τρία αυτά κιβώτια έχοντας όλα την ίδια απόδοση, το CVT σε εφαρμογές ηλεκτρικών οχημάτων αυξάνει την απόδοση του οχήματος σε σχέση με τη χρήση τελικής σχέσης μετάδοσης κατά 7% [19].

Η δεύτερη τεχνική περιλαμβάνει κιβώτιο ταχυτήτων αλλά σχετίζεται με τον βέλτιστο υπολογισμό της αλλαγής των ταχυτήτων και της κατάλληλης επιλογής των γραναζιών. Μελετώντας έρευνες που έχουν γίνει χρησιμοποιώντας αυτή την τεχνική η κατανάλωση ενός οχήματος μπορεί να μειωθεί 5-7% σε σχέση με το ένα τελικό γρανάζι μετάδοσης. Σε κιβώτιο ταχυτήτων δυο σχέσεων που είχε αναπτύξει η ομάδα Tucer μελέτησε την βέλτιστη αλλαγή της σχέσης μετάδοσης για να αυξήσει την απόδοση του οχήματος κατά την εκκίνηση. Με αυτή την τεχνική κατάφερε να μείωση κατά 3,4% την κατανάλωση σε σχέση με την μη χρησιμοποίηση του κιβωτίου [20].

Πίνακας 1: Αποτελέσματα κατανάλωσης για αλλαγή σχέσης με διαφορετική ταχύτητα.

Gear Change Speed (Km/h)	Mean Power Demand (W)
8	202.53
11	198.64
14	231.92

Στην παρούσα διπλωματική επιλέξαμε την τρίτη τεχνική με την χρησιμοποίηση ενός τελικού γραναζιού για την βελτίωση της απόδοσης του οχήματος. Επιλέξαμε να μην χρησιμοποιήσουμε κιβώτιο ταχυτήτων για λόγους βάρους αλλά και για τον λόγο ότι το όχημα σε συνθήκες αγώνα έχει ως σκοπό την διατήρηση μιας μέσης ταχύτητας χωρίς να ξεπερνά τα 35Km/h.

⁴ CVT: Continuously Variable Transmission

4.4 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΙ ΚΥΚΛΟΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ

Ένας κύκλος οδήγησης είναι μια σειρά δεδομένων ταχύτητας-χρόνου με επιπλέον ένδειξη των αλλαγών σχέσεων μετάδοσης του οχήματος και αποσκοπούν στην προσομοίωση των οχημάτων σε συγκεκριμένες συνθήκες οδήγησης. Οι κύκλοι οδήγησης παράγονται από διάφορες χώρες και οργανισμούς για την εκτίμηση της απόδοσης των οχημάτων, όπως η κατανάλωση καυσίμου και οι ρυπογόνες εκπομπές. Οι «κύκλοι οδήγησης» προσομοιώνουν σε δυναμομετρική εργαστηριακή εξέδρα πλαισίου, τον τρόπο οδήγησης από εξειδικευμένους οδηγούς.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΥΚΛΩΝ ΟΔΗΓΗΣΗΣ

Οι κύκλοι οδήγησης, ανάλογα με τη χρήση τους, διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- Κύκλοι οδήγησης, οι οποίοι κατ' εφαρμογή της νομοθεσίας χρησιμοποιούνται στους προβλεπόμενους ελέγχους που διενεργούνται κατά τη διαδικασία της χορήγησης έγκρισης κυκλοφορίας (έγκριση τύπου) και στους ελέγχους επιθεώρησης και συντήρησης αυτοκινήτων. Τέτοιοι κύκλοι είναι: ο ευρωπαϊκός κύκλος οδήγησης (NEDC), ο αμερικανικός FTP-75 και ο ιαπωνικός 10-15.
- Ειδικοί κύκλοι (“real world” κύκλοι), που δημιουργούνται για τον υπολογισμό των εκπεμπόμενων ρύπων και της κατανάλωσης καυσίμου, και που αντιστοιχούν σε συγκεκριμένες συνθήκες κυκλοφορίας (περιοχή, οδός, πόλη, όχημα κ.λπ.). Οι “συντελεστές εκπομπής” υπολογίζονται ως ο μέσος ρυθμός εκπομπών επί τη βάση διαφόρων κύκλων οδήγησης που προσομοιώνουν την πραγματική οδήγηση. Επειδή οι κύκλοι αυτοί αντιπροσωπεύουν τις πραγματικές συνθήκες, ονομάζονται “real word” κύκλοι οδήγησης και πρέπει να διαφοροποιούνται από τους κύκλους οδήγησης που χρησιμοποιούνται στην έγκριση των οχημάτων.

Οι κύκλοι οδήγησης, ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής τους, διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- Σε κύκλους που δημιουργούνται από «ευθείες» γραμμές (“modal cycles”) σταθερής επιτάχυνσης, σταθερής ταχύτητας και σταθερής επιβράδυνσης. Τέτοιοι κύκλοι είναι: ο ευρωπαϊκός κύκλος οδήγησης και ο ιαπωνικός κύκλος οδήγησης 10-15 mode.
- Σε κύκλους που αποτελούνται από καμπύλες, αφού συντίθενται από πραγματικά στοιχεία δοκιμών. Τέτοιος κύκλος είναι ο κύκλος FTP-75 των Η.Π.Α.

Οι κύκλοι που χρησιμοποιούν σταθερούς ρυθμούς επιτάχυνσης, σταθερές ταχύτητες και σταθερές επιβραδύνσεις δεν είναι αντιπροσωπευτικοί των πραγματικών συνθηκών οδήγησης. Αναλύσεις, που έχουν γίνει με τη μέθοδο “chase car” και με εξοπλισμένα

οχήματα, έχουν δείξει ότι υπάρχει συσχέτιση της μεταβολής της ταχύτητας από στιγμή σε στιγμή (επιτάχυνση) και της αντίστοιχης στιγμιαίας ταχύτητας του οχήματος. Αυτή η σχέση είναι αναμενόμενη, διότι η επιτάχυνση, που δημιουργείται από τη σταθερού μεγέθους αλλαγή στη θέση της βαλβίδας αέρα («πεταλούδας»), μειώνεται καθώς η ταχύτητα αυξάνεται, λόγω των όλο και μεγαλύτερων αεροδυναμικών αντιστάσεων που εμφανίζονται στις υψηλές ταχύτητες. Έρευνες έχουν δείξει ότι σε “modal” κύκλους οδήγησης έχουμε απώλεια μεταβατικών (transient) επιταχύνσεων. Συνεπώς τα προφίλ ταχύτητας-χρόνου αυτού του τύπου (“modal”) είναι χρήσιμα, αν χρησιμοποιούνται για να εκπροσωπήσουν κυκλοφοριακά χαρακτηριστικά χωρίς μεγάλες εναλλαγές στην κινητική κατάσταση του αυτοκινήτου.

ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΙΝΗΣΗΣ

Αρχικά για την δημιουργία κύκλων οδήγησης χρειάζονται δεδομένα κίνησης από οχήματα κατάλληλα να διεκπεραιώσουν το σκοπό αυτό. Ο τρόπος που ενδείκνυται είναι με εξοπλισμό καταγραφής των παραμέτρων κίνησης του. Έπειτα πρέπει να επιλεγεί ο κατάλληλος τρόπος κίνησης του οχήματος προκειμένου οι καταγραφές να είναι αντικειμενικές και αντιπροσωπευτικές του τρόπου κίνησης της πλειοψηφίας των κινούμενων οχημάτων στο πεδίο της δειγματοληψίας. Για το λόγο αυτό έχουν επινοηθεί από ερευνητές και ειδικούς μια σειρά από τεχνικές για τον τρόπο κίνησης των οχημάτων δοκιμών.

1. Η τεχνική της οδήγησης “κυνήγησε το αυτοκίνητο” (chase car) η οποία αναπτύχθηκε στην Αμερική από την υπηρεσία προστασίας του περιβάλλοντος των ΗΠΑ, χρησιμοποιείτε ευρύτατα από τους ερευνητές. Η συγκεκριμένη τεχνική χαρακτηρίζεται από δύο αρχές.

- Σύμφωνα με την πρώτη αρχή το όχημα δοκιμών ακολουθεί κάποιο όχημα παρόμοιων χαρακτηριστικών προσπαθώντας να αντιγράψει την κίνηση του, όπως τις εναλλαγές ταχύτητας, επιταχύνσεις, επιβραδύνσεις, από το ξεκίνημα αυτής μέχρι το τέλος.
- Η δεύτερη αρχή, έρχεται να συμπληρώσει την πρώτη, όπου στην περίπτωση που δεν υπάρχει συγκεκριμένο όχημα που να αποτελεί τον στόχο για την αντιγραφή της κίνησης η τακτική που ακολουθείτε είναι, οδήγηση ακολουθώντας τη γενική ροή των οχημάτων αποφεύγοντας τα πολύ αργά και τα πολύ γρήγορα κινούμενα οχήματα ή τις μεγάλες επιβραδύνσεις και τις μεγάλες επιταχύνσεις.

2. Συλλογή δεδομένων κίνησης μπορεί επίσης να επιτευχθεί μέσω κατάλληλου εξοπλισμού οχημάτων ιδιωτικής χρήσης τα οποία χρησιμοποιούνται από τους ιδιοκτήτες τους για τις καθημερινές τους διαδρομές.

3. Τα οχήματα δοκιμών μπορούν να οδηγούνται από επαγγελματίες οδηγούς που γνωρίζουν το σκοπό της έρευνας και μπορούν να ανταποκριθούν στις ανάγκες των μετρήσεων.

4. Τέλος μετρήσεις μπορούν να γίνουν με εξοπλισμένο αυτοκίνητο το οποίο οδηγούν πολλοί διαφορετικοί οδηγοί. Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείτε για την αξιολόγηση της συμπεριφοράς διαφορετικών οδηγών στο δρόμο.

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Όπως προαναφέρθηκε υπάρχουν δύο κατηγορίες κύκλων οδήγησης όσον αφορά την κατασκευή τους. Για την κατασκευή των “modal” κύκλων απαιτείτε η κατάλληλη επιλογή των τμημάτων που θα συνθέσουν το τελικό αποτέλεσμα και που θα συμφωνούν στατιστικά με τα δεδομένα κίνησης που συλλέχθηκαν. Για την κατηγορία των ρεαλιστικών “real world” κύκλων που αποτελούνται από πραγματικά γεγονότα, υπάρχουν αρκετές προτάσεις από διάφορους ερευνητές που κατά καιρούς έχουν καταθέσει την δική τους άποψη για την εκπόνηση των κύκλων οδήγησης.

Ανάλογα με τον τρόπο ορισμού του δείγματος, ο τελικός κύκλος οδήγησης μπορεί να αποτελείται από μια πραγματική διαδρομή ή από συνδυασμό φάσεων οδήγησης. Μεγάλο ρόλο στο τελικό αποτέλεσμα της κατασκευής ενός κύκλου και στο πόσο αντιπροσωπευτικός των δεδομένων κίνησης, εφόσον αυτός προέρχεται από πραγματικά δεδομένα, είναι ο τρόπος επεξεργασίας των δεδομένων αυτών. Η σχολαστική στατιστική επεξεργασία των δεδομένων θεωρείται αναγκαία για την εκπόνηση αντιπροσωπευτικών κύκλων οδήγησης.

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο με την παρουσίαση του οχήματος θα γίνει αρχικά μια αναφορά στην ομάδα TUCer που κατασκεύασε το όχημα για ερευνητικούς σκοπούς και αποτελεί το φυσικό μοντέλο της παρούσας εργασίας. Επίσης θα παρουσιαστούν όλα τα μέρη του φυσικού μοντέλου με τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για την μοντελοποίηση του.

5.2 Η ΟΜΑΔΑ TUCER

Η TUCer (Technical University of Crete Eco Racing) είναι η ομάδα του Πολυτεχνείου Κρήτης που δραστηριοποιείται στην ανάπτυξη οχημάτων μηδενικών ρύπων από το 2007. Υποστηρίζεται από το Διατμηματικό Εργαστήριο Εργαλειομηχανών και από το Εργαστήριο Ευφών Συστημάτων & Ρομποτικής του Πολυτεχνείου Κρήτης στα οποία γίνεται εξολοκλήρου κάθε κατασκευή. Αποτελείται από φοιτητές, μόνιμο προσωπικό και καθηγητές του Πολυτεχνείου Κρήτης. Τα οχήματα καλύπτουν εκπαιδευτικές ανάγκες των εργαστηρίων αλλά αποτελούν και αντικείμενο έρευνας με στόχο τη συνεχή εξέλιξη και τη βελτίωση των επιδόσεών τους. Το Μάιο του 2008 συμμετείχε για πρώτη φορά στο διεθνή Μαραθώνιο οικονομίας της Shell. Και οι διακρίσεις που έχεις καταφέρει να αποσπάσει είναι αρκετές :

- 🏆 Safety Award – 1st prize, 2017
Shell Eco Marathon 2017, London, U.K.
- 🏆 Safety Award – 1st prize, 2016
Shell Eco Marathon 2017, London, U.K.
- 🏆 Student Energy Challenge Award – 1st prize, 2013
Shell Eco Marathon 2013, Rotterdam, Netherlands.
- 🏆 Student Energy Challenge Award – People’s Choice, 2013
Shell Eco Marathon 2013, Rotterdam, Netherlands.
- 🏆 ADAC Safety Award – 1st prize, 2011
Shell Eco Marathon 2011, Lausitz, Germany.
- 🏆 Έπαινος για εξαιρετικά ερευνητικά επιτεύγματα, 2010
Υπουργός, Υπουργείο Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων, Ελλάδα.
- 🏆 ADAC Safety Award – 1st prize, 2010
Shell Eco Marathon 2010, Lausitz, Germany.
- 🏆 Έπαινος για εξαιρετικά ερευνητικά επιτεύγματα, 2010
Πολυτεχνείο Κρήτης, Ελλάδα.



Εικόνα 20 : Μέλη της ομάδας TUCer 2017.

Η ομάδα TUCer συμμετέχει στην κατηγορία των οχημάτων πόλης με πηγή ενέργειας το υδρογόνο. Απαιτήσεις του αγώνα είναι να πραγματοποιηθούν 10 γύροι με μικρή στάση στον τερματισμό κάθε γύρου, αυτή η διαδικασία αναπαριστά την στάση των οχημάτων σε σηματοδοτήσεις μέσα στην πόλη. Η κάθε προσπάθεια πρέπει να ολοκληρωθεί σε λιγότερο από 39 λεπτά.

5.3 ΤΟ ΟΧΗΜΑ

Το όχημα της ομάδας TUCer «Σπύρος Λούης 2017» είναι ένα πρωτότυπο όχημα πόλης που κατασκευάστηκε εξολοκλήρου στα εργαστήρια του τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης και αποτελεί το φυσικό μοντέλο δοκιμών της παρούσας διπλωματικής. Το όχημα συμμετείχε με επιτυχία στον διαγωνισμό Shell Eco Marathon 2017 και πήρε πιστοποίηση ασφάλειας και από τους διοργανωτές.



Εικόνα 21: Το όχημα "Σπύρος Λούης 2017".

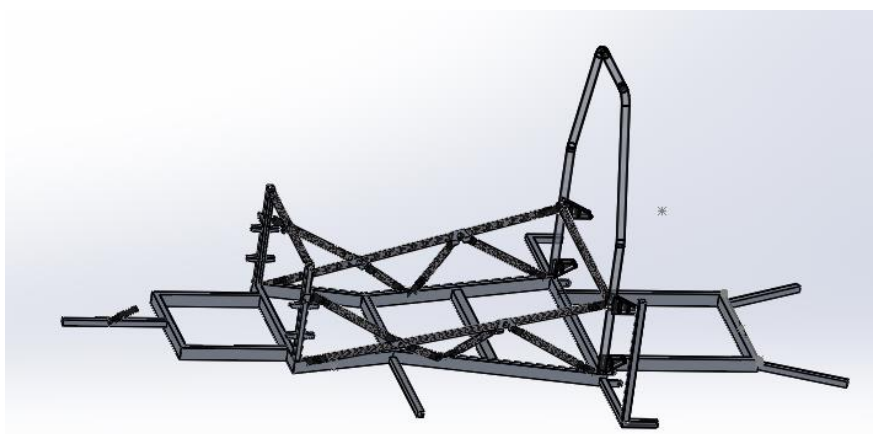
Πίνακας 2: Τεχνικά χαρακτηριστικά φυσικού μοντέλου

Πλαίσιο	<i>Αλουμίνιο & ανθρακόνημα</i>
Κέλυφος	<i>Ανθρακόνημα</i>
Κινητήρας	<i>Brushless electric motor</i>
Μέγιστη ροπή	<i>5.5 Nm</i>
Μέγιστες στροφές	<i>3000 RPM</i>
Πηγή ενέργειας	<i>Κυψέλη υδρογόνου 1kW</i>
Διαστάσεις	<i>2.5x1.25x1m (LxWxH)</i>
Βάρος	<i>90kg</i>
Μέγιστη ταχύτητα	<i>40km/h</i>

ΠΛΑΙΣΙΟ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

Το πλαίσιο του οχήματος χωρίζεται σε δυο βασικά μέρη :

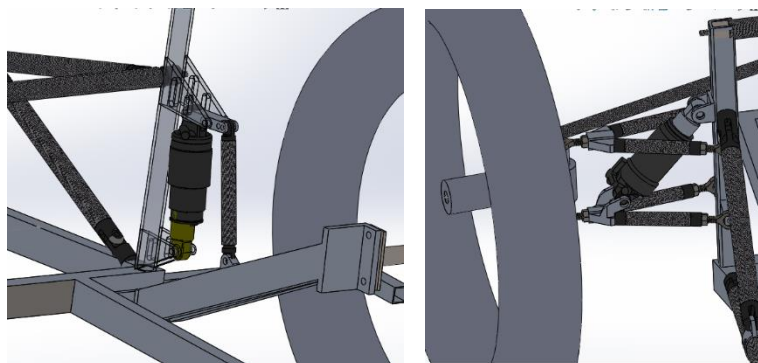
1. Το πρώτο μέρος απαρτίζεται από το πάτωμα του πλαισίου που κατασκευάστηκε από προφίλ αλουμίνιο υψηλής ποιότητας 6063. Στο πάτωμα του πλαισίου υπάρχουν προσθήκες που αποσκοπούν στην ασφάλεια του οδηγού, όπως η ράβδος κύλισης που προστατεύουν τον οδηγό σε περίπτωση ανατροπής, επιπροσθέτως διαθέτει πλευρικούς και οπίσθιους δοκούς που είναι σχεδιασμένα με τέτοιο τρόπο ώστε να χρησιμοποιούνται ως ζώνες παραμόρφωσης σε περίπτωση πρόσκρουσης.
2. Το δεύτερο μέρος αποτελείται από ένα χωροδικτύωμα κατασκευασμένο από σωλήνες ανθρακονήματος που βοηθούν στην ελάττωση της κάμψης του πλαισίου.



Εικόνα 22 : Το πλαίσιο του οχήματος.

ΑΝΑΡΤΗΣΗ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

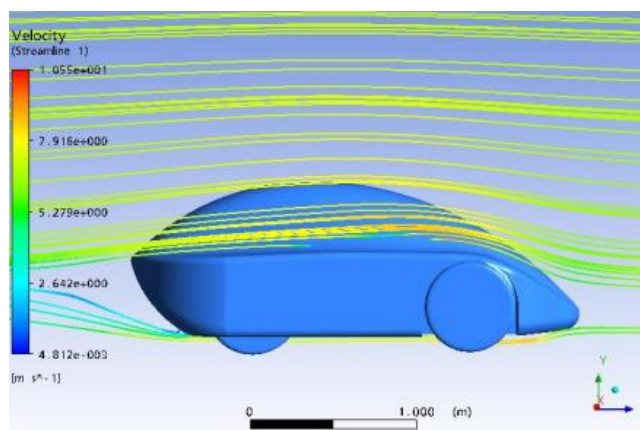
Το όχημα διαθέτει σύστημα ανάρτησης διαφορετικού τύπου για στους πίσω και μπροστά τροχούς. Για τους μπροστά τροχούς έχει κατασκευαστεί ένα σύστημα wish bone και για τους πίσω τροχούς υπήρχε ένα μονόμπρατσο σύστημα που η κάθε ρόδα μπορούσε να κινηθεί ξεχωριστά.



Εικόνα 23 : Το σύστημα ανάρτησης του οχήματος.

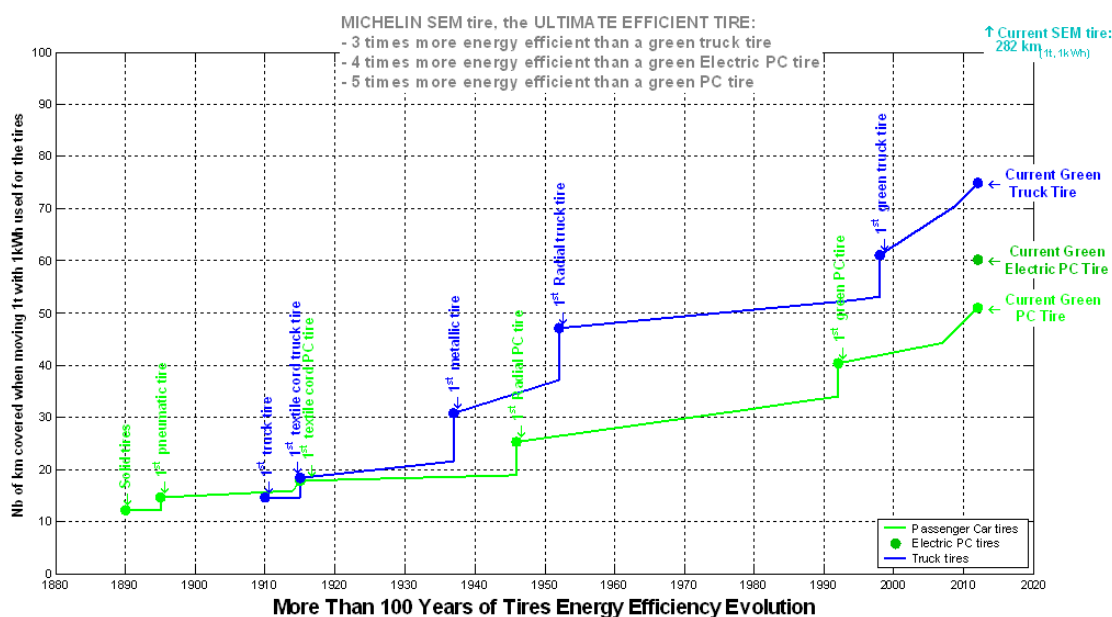
ΚΕΛΥΦΟΣ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

Το κέλυφος του οχήματος αποτελείται εξολοκλήρου από ανθρακονήματα υψηλής ποιότητας και έχει διαστάσεις και αντοχή που ανταποκρίνονται στους κανονισμούς της Shell για οχήματα που μπορούν να κινηθούν σε περιβάλλον πόλης, διαθέτει καθρέπτες, φωτά, φλάς και αποθηκευτικό χώρο. Το συνολικό του βάρος είναι 11kg και έχει συντελεστή αεροδυναμικής 0,23 (cd).



Εικόνα 24: Αεροδυναμική ανάλυση του οχήματος.

ΕΛΑΣΤΙΚΑ

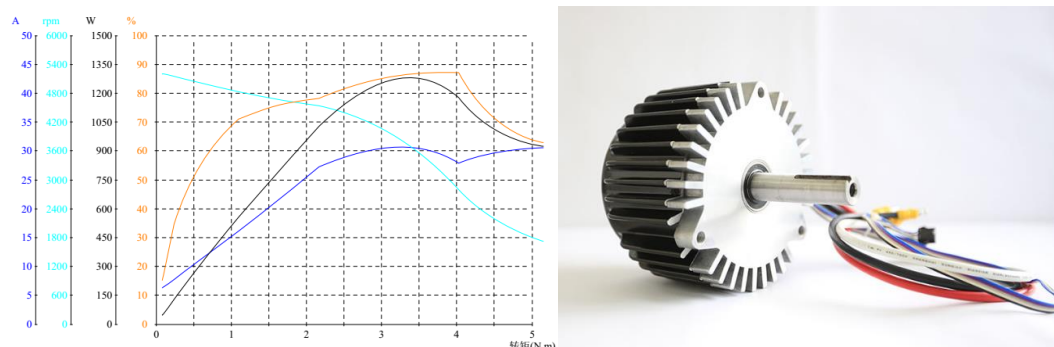


Τα ελαστικά του οχήματος είναι της εταιρίας Michelin 95/82 R16 και έχουν ειδικό σχεδιασμό για τις ανάγκες του διαγωνισμού οικονομίας. Η απόδοση των ελαστικών αυτών είναι πέντε φορές μεγαλύτερη από οποιαδήποτε άλλο ελαστικό μαζικής παραγωγής.

Εικόνα 25 : Δεδομένα απόδοσης των ελαστικών [21].

ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ

Ο ηλεκτρικός κινητήρας του οχήματος μας είναι συνεχούς ρεύματος χωρίς ψήκτρες της εταιρίας Mac motor με τεχνικά χαρακτηριστικά: 3000rpm, 5.5 Nm, 48V.



Εικόνα 26 : Ο κινητήρας του οχήματος.

ΠΗΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Το όχημα είναι εξοπλισμένο με κυψέλη υδρογόνου της εταιρίας Horizon με μέγιστη απόδοση 1000W. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της πηγής ενέργειας παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

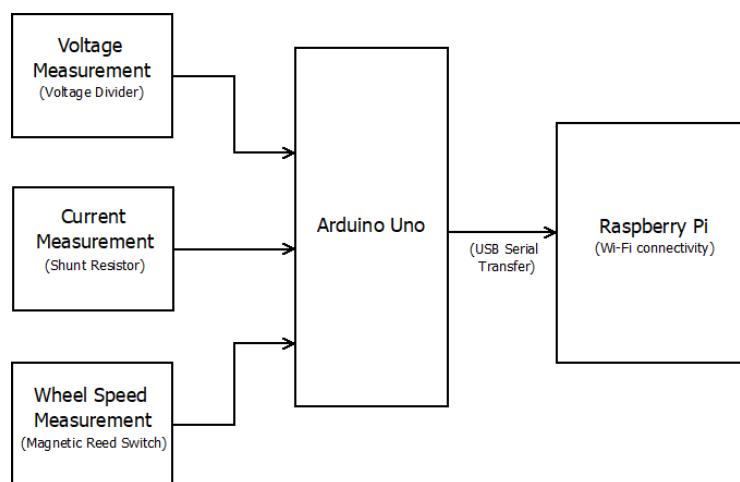
H-1000 XP	Type of fuel cell	PEM
	Number of cells	50
	Rated power	1000W
	Rated performance	30V@33.5A
	Reactants	Hydrogen and Air
	External temperature	5 - 35°C
	Max stack temperature	65°C
	Composition	99.99% dry H ₂
	H2 pressure	7.2-9.4 PSI
	Humidification	Self-humidified
	Cooling	Air
	Weight	5kg
	Dimensions	203 x 104 x 264mm
	Flow rate at rated output	12.5L/min
	Peak efficiency of stack	59%

Εικόνα 27 : Τεχνικά χαρακτηριστικά του fuel cell.

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Η καταγραφή των δεδομένων έγινε μέσω δύο διαφορετικών μηχανισμών. Το πρώτο αποτελείται από ένα προσαρμοσμένο καταγραφικό δεδομένων, προσαρμοσμένο για να εξυπηρετεί τις ανάγκες της ομάδας TUCer. Ο δεύτερος είναι ένας καταγραφέας δεδομένων γενικής χρήσης, που παρέχεται από τους διοργανωτές του διαγωνισμού, κοινό για κάθε αυτοκίνητο.

(α) Η συσκευή καταγραφής προσαρμοσμένων δεδομένων (καταγραφέας TUCer) καταγράφει δεδομένα σχετικά με την τάση τροφοδοσίας, το ρεύμα τροφοδοσίας και την ταχύτητα του οχήματος με συχνότητα ενός δείγματος κάθε 0,5 δευτερόλεπτα (2Hz). Ο πυρήνας του καταγραφέα είναι ο δημοφιλής μικροελεγκτής Arduino Uno. Η μέτρηση της τάσης γίνεται από διαιρέτη τάσης. Η μέτρηση του ρεύματος πραγματοποιείται μέσω αντιστάτη βραχυκύκλωσης και ενισχυτή οργάνων AD623. Η μέτρηση της ταχύτητας πραγματοποιείται μέσω μαγνητικού διακόπτη. Όλες οι είσοδοι μεταφέρονται στο Arduino για επεξεργασία και αξιολόγηση. Για την αντιμετώπιση της έλλειψης εσωτερικής μνήμης του Arduino (για σκοπούς καταγραφής), δημιουργείται μια σειριακή σύνδεση (μέσω USB) σε ένα Raspberry Pi. Το Raspberry Pi λαμβάνει τα δεδομένα από το Arduino και καταγράφει ένα αρχείο για ανάκτηση μετά τον αγώνα. Η αρχιτεκτονική που περιγράψαμε παραπάνω φαίνεται στην εικόνα 28.



Εικόνα 28 : Διάγραμμα λειτουργίας του καταγραφικού συστήματος.

(β) Η συσκευή καταγραφής που παρέχεται από τους διοργανωτές του διαγωνισμού είναι ένα εμπορικό προϊόν με βελτιωμένες δυνατότητες σε σχέση με το δικό μας καταγραφικό. Παρέχει σύνολα δεδομένων κάθε 0.1s (συχνότητα 10 Hz) σχετικά με πολλές πτυχές του οχήματος, όπως η θέση (GPS Tracking), ροή υδρογόνου (m^3 / min), κατανάλωση ενέργειας (V, A), θερμοκρασία κτλ. Για τους ερευνητικούς μας σκοπούς χρησιμοποιήσαμε μόνο δεδομένα GPS και ειδικότερα γεωγραφικό πλάτος, μήκος (μοίρες) και ταχύτητα (km / hr) σε συνδυασμό με τη χρονική σήμανση που παρέχεται στο αρχείο καταγραφής.

6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το προσομοιωμένο όχημα είναι ένα σύστημα πολλαπλών σωμάτων το οποίο χαρακτηρίζεται από διαφορετικά σώματα. Αυτά παράγονται και βελτιστοποιούνται με συναρτήσεις MESA VERDE⁵ [22]. Η παραμετροποίηση του οχήματος χωρίζεται σε οκτώ βασικά μέρη τα οποία θα αναλύσουμε με λεπτομέρεια στην συνέχεια αυτού του κεφαλαίου. Ιδιαίτερη αναφορά θα υπάρξει στις απαιτήσεις παραμετροποίησης του προγράμματος αλλά και στην διαδικασία ανάπτυξης του.

6.2 ΠΛΑΙΣΙΟ

Στην πρώτη καρτέλα παραμετροποίησης «vehicle bodies», εντάσσεται το πλαίσιο του οχήματος και όλες οι μάζες που είναι πακτωμένες πάνω του. Εξαιρούνται όλα τα πρόσθετα φορτία που τυχόν υπάρχουν στο όχημα (αποσκευές, εξοπλισμός μετρήσεων κλπ.) και οι περιστρεφόμενες μάζες.

Vehicle Data Set

Vehicle Body | Bodies | Engine Mount | Suspensions | St...

Vehicle Body: Rigid

Rigid Vehicle Body

☐ Override internally computed vehicle body proportioning

	x [m]	y [m]	z [m]	Mass [kg]	Ixx [kgm ²]	Iyy [kgm ²]	Izz [kgm ²]
Vehicle Body	0.95	0.01	0.18	73.28	5.4	22.35	25.92
Vehicle Body B	2.15	0.0	0.58	650.5	180.0	900.0	900.0
Joint A - B	1.17	0	0.229				

Calculated vehicle overall mass [kg] **168.28** Info

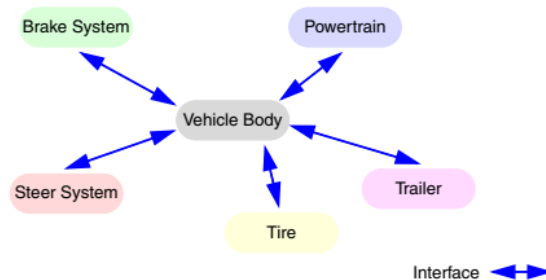
CM Vehicle Products of Inertia

Body	Iyz [kgm ²]	Ixz [kgm ²]	Ixy [kgm ²]
Vehicle Body A	0.05699	-0.27533	0.29629
Vehicle Body B	-0.0	-0.0	-0.0

Εικόνα 29: Εικόνα από το λογισμικό Carmaker.

Το σασί είναι ένα ιδιαίτερα σημαντικό σκέλος της μοντελοποίησης διότι παρεμβαίνει και σε άλλες μονάδες από τη βιβλιοθήκη του οχήματος (σύστημα διεύθυνσης, ελαστικά κλπ.) και τροποποιεί τις παραμέτρους και τις συντεταγμένες τους κατά την διάρκεια της προσομοίωσης.

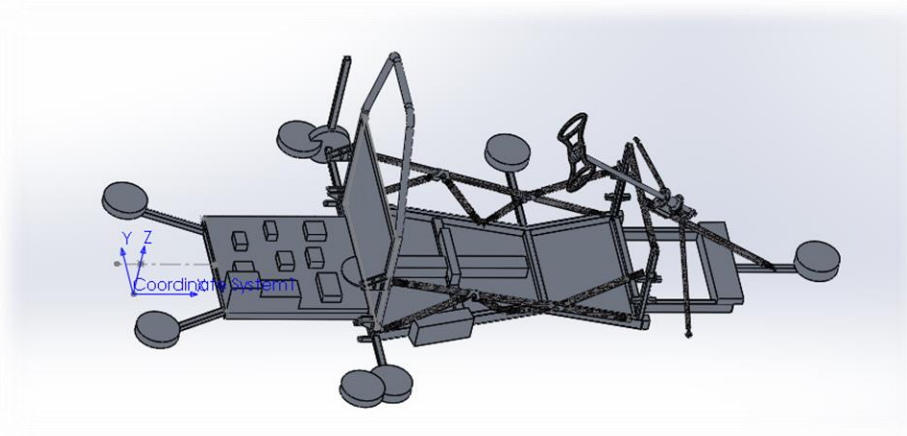
⁵ MESA VERDE: **M**echanism, **S**atellite, **V**ehicle and **R**obot Dynamics Equations



Εικόνα 30 : Αλληλεπίδραση του vehicle body με τα υπόλοιπα μέρη του οχήματος.

Για την μοντελοποίηση του οχήματος μας αρχικά καθορίζεται ο τύπος του πλαισίου, με διαθέσιμες επιλογές το άκαμπτο και το εύκαμπτο σώμα πλαισίου. Η επιλογή μοντελοποίησης ενός πλαισίου ως εύκαμπτο επιτρέπει να ληφθούν υπόψη οι συνέπειες κάμψης και στρέψης του κύριου σώματος ωστόσο μόνο πολύ ακριβείς τιμές για ένα εύκαμπτο σώμα έχουν νόημα. Λόγω της απουσίας τέτοιων δεδομένων επιλέξαμε να μοντελοποιήσουμε το πλαίσιο του οχήματος ως άκαμπτο.

Οι ζητούμενες τιμές για την παραμετροποίηση ενός άκαμπτου πλαισίου ήταν η συνολική μάζα του, οι συντεταγμένες του κέντρου βάρους και οι τιμές των ροπών αδράνειας (I_{xx} , I_{yy} , I_{zz} , I_{yz} , I_{xz} , I_{xy}). Για τον υπολογισμό αυτών των τιμών σχεδιάστηκε το πλαίσιο του οχήματος σε λογισμικό cad⁶ και όλα τα μη αναρτώμενα εξαρτήματα του μοντελοποιήθηκαν ως απλά γεωμετρικά σχήματα έτσι ώστε οι ροπές της αδράνειας να μπορούν εύκολα να υπολογιστούν (Εικόνα 31).



Εικόνα 31: Μοντέλο CAD για την εύρεση της ροπής αδράνειας του οχήματος.

Τα κινούμενα αντικείμενα στον εικονικό κόσμο βασίζονται στο δικό τους σύστημα συνδυαστικού άξονα το οποίο ονομάζεται Fr1, και όλες οι πράξεις έγιναν συναρτήση του Fr1. Το σύστημα άξονων είναι στερεωμένο στο κινούμενο αντικείμενο. Αυτό σημαίνει ότι το σύστημα άξονα εκτελεί όλες τις κινήσεις του συνημμένου αντικειμένου, όπως μετατοπίσεις και περιστροφές [23].

⁶ CAD : Computer-aided design

6.3 ΜΗ ΑΝΑΡΤΩΜΕΝΕΣ ΜΑΖΕΣ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

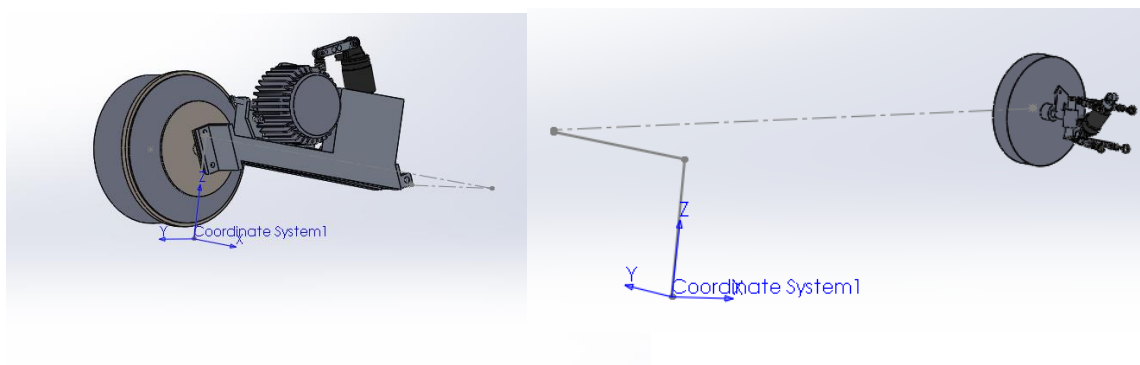
Στην καρτέλα «bodies» εισάγεται η παραμετροποίηση για τις μη αναρτώμενες μάζες του οχήματος. Κάθε μοντέλο προσομοίωσης βασίζεται στις μάζες των μεμονωμένων σωμάτων και στις στιγμές αδράνεια. Όσον αφορά τα οχήματα αυτές οι μάζες είναι το πλαίσιο του οχήματος με όλες τις πακτωμένες μάζες σ' αυτό και τις μάζες της ανάρτησης. Στο Carmaker αυτές οι δύο ομάδες χωρίζονται σε περαιτέρω τμήματα, οι αναρτώμενες μάζες χωρίζονται σε περιστρεφόμενες (π.χ. τροχός, πλήμνη τροχού) και μη περιστρεφόμενες μάζες (π.χ. δαγκάνα φρένου, ψαλίδι).

Vehicle Data Set								
File Close								
Vehicle Body	Bodies	Engine Mount	Suspensions	Steering	Tires	Brake	Powertrain	Aerodynamics Sensors
Body	x [m]	y [m]	z [m]	Mass [kg]	Ixx [kgm ²]	Iyy [kgm ²]	Izz [kgm ²]	
Wheel Carrier FL	1.67	0.582	0.26	1	0.03	0.03	0.03	
Wheel Carrier FR	1.67	-0.582	0.26	1	0.03	0.03	0.03	
Wheel Carrier RL	0.403	0.582	0.26	4	0.06	0.11	0.12	
Wheel Carrier RR	0.403	-0.582	0.26	1	0.03	0.05	0.04	
Wheel FL	1.67	0.582	0.26	2.5	0.05803	0.11048	0.05803	
Wheel FR	1.67	-0.582	0.26	2.5	0.05803	0.11048	0.05803	
Wheel RL	0.403	0.582	0.26	2.5	0.05803	0.11048	0.05803	
Wheel RR	0.403	-0.582	0.26	2.5	0.05803	0.11048	0.05803	
Number of Trim Loads:	1			Mounting				
<input checked="" type="checkbox"/> Trim Load 1	1.3	0.0	0.15	78	12.9	12.27	1.16	Fr1A

Εικόνα 32: Εικόνα από την καρτέλα «bodies» του λογισμικού Carmaker.

Επιπλέον, οι μη αναρτώμενες μάζες που συνδέονται με το πλαίσιο θεωρούνται κατά το ήμισυ του βάρους τους. Και ο οδηγός εισάγεται ως επιπλέον βάρος (trim load).

Για τον υπολογισμό των παραπάνω τιμών της εικόνας 33 χρησιμοποιήθηκε η ίδια διαδικασία στο λογισμικό cad έχοντας ως σημείο αναφοράς των υπολογισμών μας το σύστημα συντεταγμένων Fr1. Κάθε ένας από τους τέσσερις τροχούς και αναρτήσεις υπολογίστηκαν ξεχωριστά, όσο και ο οδηγός.



Εικόνα 33 : Αλλαγή συστήματος συντεταγμένων σε λογισμικό CAD.

Τέλος, για την καρτέλα «vehicle body» έπρεπε να εισάγουμε τις συντεταγμένες για τυχόν μετατόπιση του συστήματος συντεταγμένων Fr1. Και το σημείο που ανπτύσσεται η μεγαλύτερη αεροδυναμική αντίσταση στο όχημα. Τιμές όπως το σημείο σύνδεσης του τρέιλερ (Hitch) και τα τέσσερα σημεία ανύψωσης του οχήματος από γερανό δεν θεωρήθηκαν απαραίτητα να εισαχθούν.

Position	x [m]	y [m]	z [m]
Origin Fr1	0.0	0.0	0.0
Aero Marker	1.3	0.0	0.4
Hitch	0	0	0
Jack FL	0	0	0
Jack FR	0	0	0
Jack RL	0	0	0
Jack RR	0	0	0

● Origin Fr1 ● Positions
● Geometry Bodies ● Geometry Trim Loads

Εικόνα 34: Εικόνα από την καρτέλα «bodies» του λογισμικού Carmaker.

6.4 ΑΝΑΡΤΗΣΕΙΣ

Η μοντελοποίηση της ανάρτησης είναι μια ιδιαίτερα περίπλοκη διαδικασία και για να μοντελοποιηθεί σωστά απαιτεί την εισαγωγή προ επεξεργασμένων δεδομένων μέσω προγραμμάτων δυναμικής ανάλυσης. Η εταιρία IPG προσφέρει το λογισμικό «IPG Kinematics» που προσομοιώνει την κινηματική του οχήματος σε έναν πάγκο δοκιμών κινηματικής. Ωστόσο οι αναρτήσεις του οχήματος μας ήταν ρυθμισμένες με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε η ακαμψία τους να είναι πολύ υψηλή και μια λεπτομερής ανάλυσης της κινηματικής των αναρτήσεων δεν θα βοηθούσε σε μεγάλο βαθμό στον σκοπό της μελέτης που πραγματοποιήσαμε.

6.5 ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Στην καρτέλα «powertrain» γίνεται η μοντελοποίηση όλου του συστήματος κίνησης του οχήματος που αποτελείται από τον κινητήρα την πηγή ενέργειας αλλά και το σύστημα μετάδοσης της κίνησης. Το σύστημα μετάδοσης ισχύος του φυσικού μας μοντέλου έχει ως πηγή ενέργεια κυψέλη υδρογόνου και υπερπυκνωτές σε παράλληλη σύνδεση, οι υπερπυκνωτές χρησιμοποιούνται για να βοηθούν την λειτουργία της κυψέλης υδρογόνου αλλά και να προστατεύουν τον ηλεκτρικό κινητήρα από τις συνεχόμενες πτώσης τάσης. Λόγω της απουσία μοντέλου προσομοίωσης κυψέλης υδρογόνου στο Carmaker-Ipg, μοντελοποιήσαμε την πηγή ενέργειας του οχήματος μας ως μια μπαταρία που βασίζεται στο μοντέλο προσομοίωσης chen [1] που ήταν διαθέσιμο στην βιβλιοθήκη του λογισμικού. Για την εύρεση των τιμών που θα προσομοίωναν την λειτουργία της πηγής ενέργεια του οχήματος έγινε λεπτομερής ρύθμιση με πειραματικά δεδομένα από δοκιμές της ομάδας TUCer.

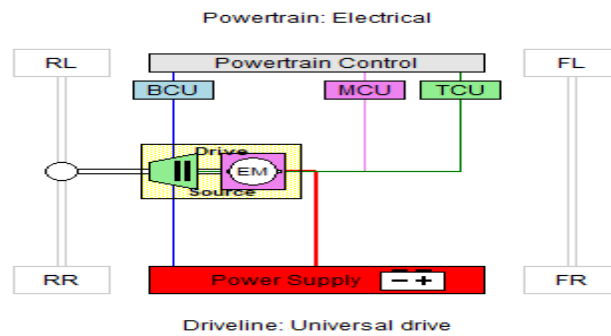
Στην πρώτη καρτέλα με τις γενικές ρυθμίσεις έπρεπε να ορίσουμε ότι μοντελοποιούμε ένα ηλεκτρικό σύστημα κίνησης με έναν ηλεκτρικό κινητήρα χρησιμοποιώντας 5 «integration Substeps», η επιλογή αυτή επιτρέπει των υπολογισμό της μηχανικής μονάδας και της μονάδας υποβοήθησης 5 φορές ανά κύκλο προσομοίωσης.

Στην συνέχεια έγινε η εισαγωγή των χαρακτηριστικών του κινητήρα, οι τιμές που εισάχθηκαν ήταν από μετρήσεις της κατασκευάστρια εταιρία με κανονικοποίηση στην μονάδα (Πίνακας 3).

Πίνακας 3 : Κανονικοποίηση τιμών κινητήρα.

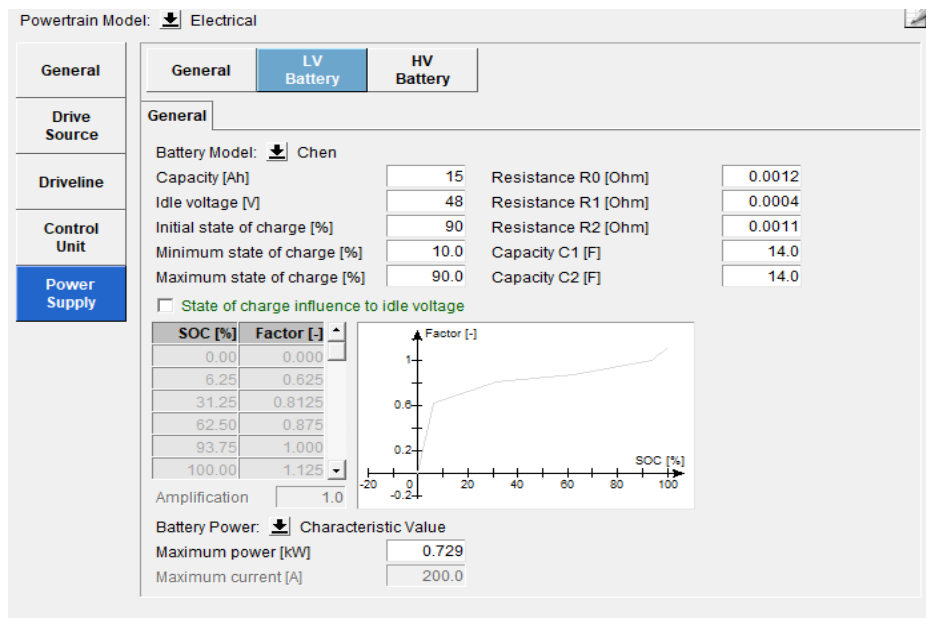
Rot. Speed norm.	Torque norm.	Eta
0.143	1.0	0.72
0.239	0.8273	0.79
0.393	0.7	0.895
0.429	0.6727	0.91
0.471	0.6455	0.924
0.5	0.6327	0.917
0.589	0.5818	0.91
0.704	0.5091	0.895
0.804	0.4182	0.878
0.857	0.3455	0.864
0.907	0.2545	0.847
0.929	0.2182	0.837
0.964	0.1545	0.822
0.971	0.1473	0.818
0.979	0.1364	0.81
0.982	0.1273	0.807
0.996	0.1091	0.8
1	0.0909	0.79

Το σύστημα μετάδοσης της κίνησης του οχήματος μας δινόντας μέσω του πίσω αριστερά τροχού χωρίς χρήση κιβώτιου ταχυτήτων, αυτή η επιλογή δεν ήταν διαθέσιμη και το μοντελοποιήσαμε μέσω διαφορικού συστήματος με μηδενικές μηχανικές απώλειες. Όλο το σύστημα κίνησης του οχήματος αποκοινίζεται αναλυτικά στην παρακάτω εικόνα σχηματικά (εικόνα 35).



Εικόνα 35: Εικόνα από την καρτέλα «powertrain» του λογισμικού Carmaker.

Η τελική μοντελοποίηση της πηγής ενέργειας έγινε στην καρτέλας «power supply» και ολοκληρώθηκε μέσω της εισαγωγής δεδομένων από τις πειραματικές δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν.



Εικόνα 36: Εικόνα από την καρτέλα «powertrain» του λογισμικού Carmaker.

6.6 ΕΛΑΣΤΙΚΑ

Τα ελαστικά του οχήματος μοντελοποιήθηκαν μέσω του μοντέλου «Pacejka Magic formula», το μοντέλο αυτό βασίζεται στην παρατήρηση ότι οι χαρακτηριστικές καμπύλες των ελαστικών έχουν πάντα το ίδιο σχήμα.

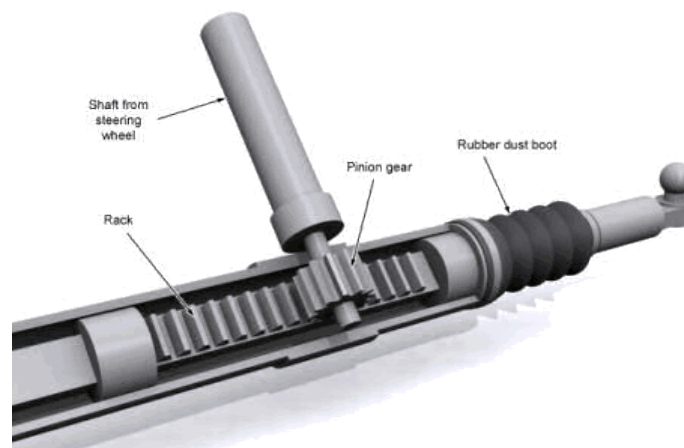
Το μαθηματικό μοντέλο :

$$y(x) = D \cdot \sin[C \cdot \operatorname{atan}\{Bx - E(Bx - \operatorname{atan}(B_{x^1}))\}]$$

Αυτές οι παράμετροι, δεν έχουν κανένα φυσικό νόημα. Ταυτοποιούνται με κατάλληλα πειράματα. Στο μοντέλο που δημιουργήσαμε δεν τροποίσαμε καμία από τις παραμέτρους που μοντελοποιούν την φύση του ελαστικού, τροποποιήσαμε τις διαστασιολογικές παραμέτρους και όσες τιμές ήταν διαθέσιμες από τις Michelin ως προς την τριβή ολίσθησης.

6.7 ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ

Το πρόγραμμα έχει πολυσύνθετες επιλογές που βοηθούν στην δυναμική ανάλυση του συστήματος διεύθυνσης, ωστόσο εμείς δεν επιθυμούσα τέτοιου είδους αποτελέσματα από την προσομοίωση μας. Το σύστημα διεύθυνσης του οχήματος μας ήταν μια πρωτότυπη κατασκευή και η μοντελοποίηση έγινε μέσω της επιλογής «rack pinion». Η επιλογή του γραναζιού έγινε με σκοπό να αποδοθεί ορθά η μέγιστη γωνιά που μπορεί να εκτελέσει το τιμόνι του οχήματος μας.

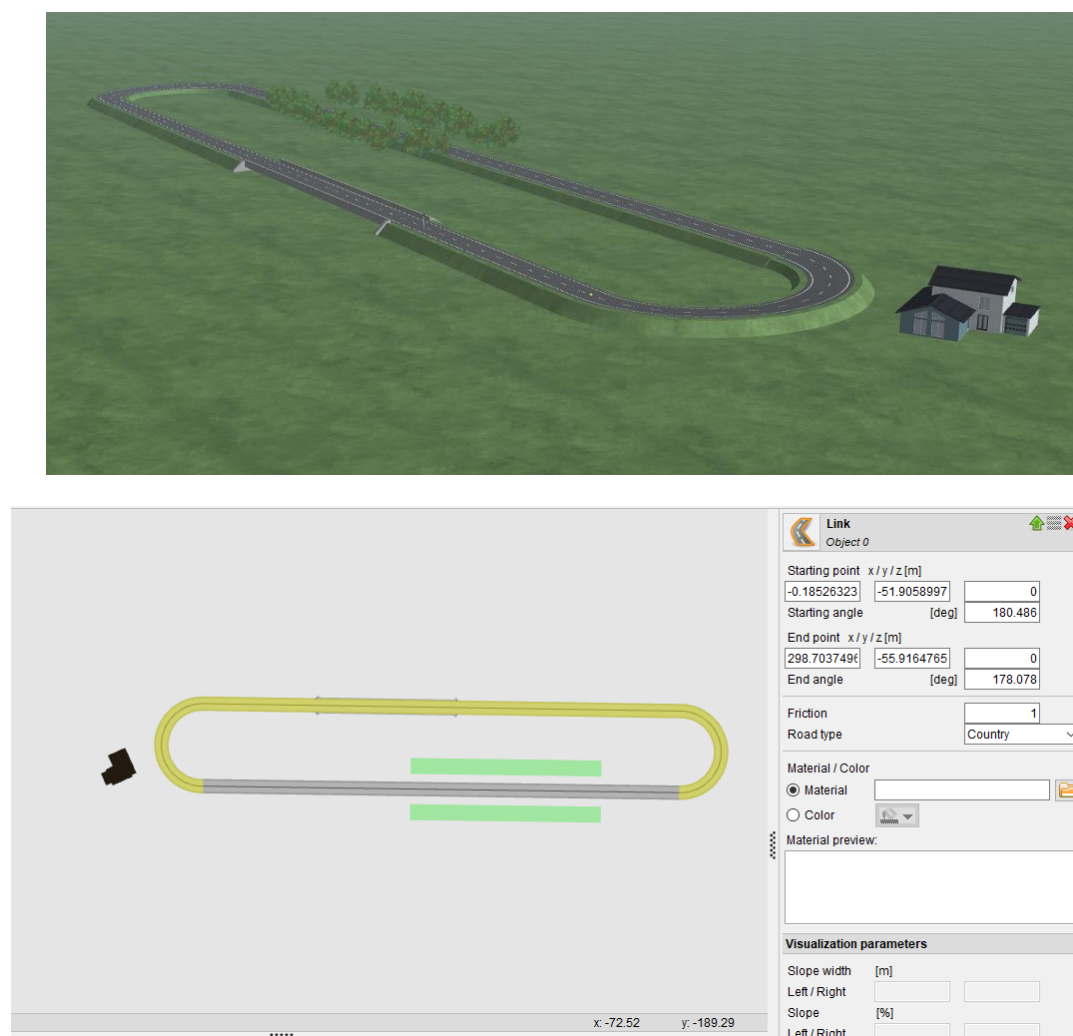


Εικόνα 37: Μηχανισμός συστήματος διεύθυνσης.

6.8 ΔΙΑΔΡΟΜΗ

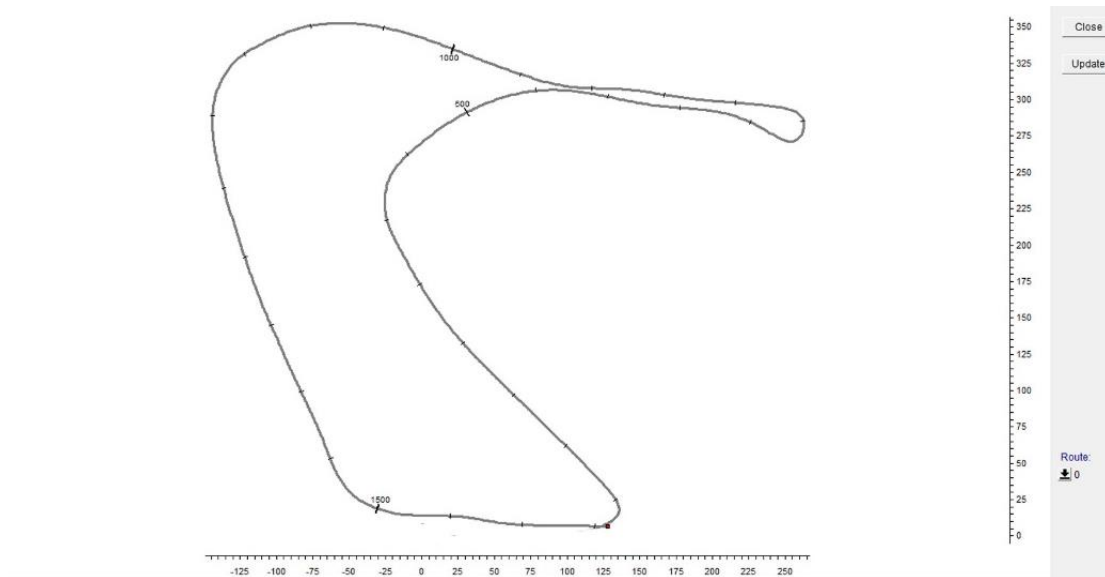
Στην μοντελοποίηση ενός δυναμικού μοντέλου, η διαδρομή είναι ένας ιδιαίτερα σημαντικός παράγοντας διότι επηρεάζει την συμπεριφορά του οχήματος ανάλογα με την μορφολογία που παρουσιάζει. Το λογισμικό carmaker διαθέτει δύο επιλογές εισαγωγής της διαδρομής, ανάλογα με τις δοκιμές που πραγματοποιήσαμε με την ομάδα TUCer χρησιμοποιήθηκαν και δύο μέθοδοι.

Αναλυτικότερα για την πρώτη μέθοδο το πρόγραμμα διέθετε ένα γραφικό περιβάλλον και η εισαγωγή της διαδρομής γινόταν χειροκίνητα χωρισμένη σε ευθείες και στροφές. Για κάθε κομμάτι της διαδρομής ήταν απαραίτητη η εισαγωγή παραμέτρων όπως, μήκος, κλίση, κλίση του οδοστρώματος, γωνία και κατεύθυνση στροφής. Ωστόσο αυτή η μέθοδος προϋποθέτει να υπάρχουν δεδομένα από την διαδρομή, ακόμα και για παραμέτρους που είναι πολύ δύσκολο να μετρηθούν όπως η κλίση του οδοστρώματος. Γι' αυτό τον λόγο την χρησιμοποιήσαμε για μοντελοποίηση διαδρομών που το οδόστρωμά δεν παρουσίαζε καμία κλίση και ήταν εφικτό να συλλέξουμε ακριβή μετρήσεις.



Εικόνα 38: Εικόνα από την καρτέλα «road» του λογισμικού Carmaker.

Στην δεύτερη μέθοδο η διαδρομή διαμορφωνόταν με εξωτερικό αρχείο που περιείχε δεδομένα όπως γεωγραφικό μήκος, γεωγραφικό πλάτος και κλίση του οδοστρώματος. Αυτή η μέθοδος ήταν ιδιαίτερα ακριβείς και είχαμε την δυνατότητα να εισάγουμε μεγάλες διαδρομές όπως αυτή της πίστα του Shell eco marathon που έγιναν οι δοκιμές. Για την μοντελοποίηση των απαιτούμενων αρχείων συλλέγαμε δεδομένα από τον gps του οχήματος μας και από τον μηχανισμό τηλεμετρίας της διοργάνωσης και δημιουργούσαμε αρχεία τύπου ASCII⁷.



Εικόνα 39: Διάγραμμα πίστας από το λογισμικό προσομοίωσης.

6.10 ΈΛΕΓΧΟΣ ΕΛΙΓΜΩΝ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

Για τον έλεγχο των ελιγμών του οχήματος (καρτέλα «maneuver» του λογισμικού) κατά την διάρκεια της προσομοίωσης χρησιμοποιήθηκε η επιλογή της εισαγωγής αρχείου με πραγματικά δεδομένα ταχύτητας-χρόνου, η επιλογή αυτή έγινε διότι κατά την διάρκεια των δοκιμών συλλέγαμε προφίλ ταχύτητας από την πορεία του οδηγού, που παρουσίαζαν μεγάλα ποσοστά απόδοσης του κινητήρα καθ' όλη την διάρκεια της δοκιμής. Σε αντίθεση με τις άλλες επιλογές που διέθετε το πρόγραμμα η διαμόρφωση του προφίλ ταχύτητας δημιουργούταν από έναν εικονικό οδηγό (Ipg driver) και οι αποφάσεις που έπαιρνε κατά την διάρκεια της προσομοίωσης είχαν ως αντίκτυπο την αύξηση της κατανάλωσης του οχήματος μας.

⁷ ASCII : American Standard Code for Information Interchange

Για την εισαγωγή των προφίλ ταχύτητας στο πρόγραμμα, έπρεπε να μετατρέπουμε τα δεδομένα των καταγραφών μας σε αρχεία μορφής ASCII. Ο χρόνος πρέπει να ακολουθεί ένα χρονικό μοτίβο και οι τιμές της ταχύτητας να είναι σε m/s. Τέλος σε κάθε αρχείο που δημιουργούσαμε προσθέταμε άλλες δυο στήλες με τα άνω και κάτω όρια της ταχύτητας, αυτές οι στήλες βοηθούσαν των προσομοιωτή να τηρήσει με μεγαλύτερη ακρίβεια τις τιμές του προφίλ ταχύτητας.

Model Quantity to override	Channel in File	Filter	Signal Conditioning	Signal Limits
		yes? Param.	Factor Offset	min max
<input checked="" type="checkbox"/> Speed - Target	[m/s] Vel	<input type="checkbox"/>	1.0 0.0	
<input checked="" type="checkbox"/> Speed - Upper Limit	[m/s] VelUp	<input type="checkbox"/>	1.0 0.0	
<input checked="" type="checkbox"/> Speed - Lower Limit	[m/s] VelLow	<input type="checkbox"/>	1.0 0.0	

Εικόνα 40 : Μοντελοποίηση του προφίλ ταχύτητας.

#Time	Vel	VelUp	VelLow
0	0	0.01	-0.01
0.5	0	0.01	-0.01
1.5	0	0.01	-0.01
2	0	0.01	-0.01
2.5	0	0.01	-0.01
3.5	1.005636	1.015636	0.995636
4.5	1.005636	1.015636	0.995636
5	1.005636	1.015636	0.995636

Εικόνα 41: Εικόνα από το αρχείο εισαγωγής του προφίλ ταχύτητας.

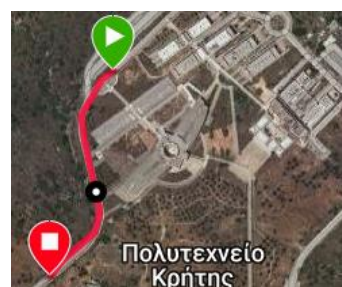
7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο πειραματικό μέρος της εργασίας πραγματοποιήθηκαν δοκιμές με την ομάδα TUCer στον περιβάλλοντα χώρο του Πολυτεχνείου Κρήτης και στην πίστα αγώνων του Shell Eco Marathon για την συλλογή απαραίτητων δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν στην μοντελοποίηση του οχήματος στο Carmaker. Τα δεδομένα που συλλέγονταν από κάθε δοκιμή ήταν η ταχύτητα και η κατανάλωση ενέργειας (Volt, Watt) σε συνάρτηση με τον χρόνο και το στίγμα gps του οχήματος. Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν τα σενάρια των πειραματικών δομικών και τα αποτελέσματα τους.

7.2 ΣΕΝΑΡΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

Αρχικά δημιουργήθηκαν τρία σενάρια με διαφορετικά χαρακτηριστικά ως προς την διαδρομή (υψόμετρο, στροφές, απόσταση) και τον τρόπο οδήγησης.

1^ο Σενάριο Δοκιμών: Στο πρώτο σενάριο η διαδρομή είχε ως βασικό χαρακτηριστικό μια συνεχώς ανηφορική πορεία και ο οδηγός προσπάθησε να χρησιμοποιήσει τις μέγιστες δυνατότητες του οχήματος, ώστε να έχουμε δεδομένα για την μέγιστη ταχύτητα του οχήματος μας σε ανηφορική διαδρομή.



Εικόνα 42 :Πρώτη διαδρομή δοκιμών.



Εικόνα 43 : Δεύτερη διαδρομή δοκιμών.

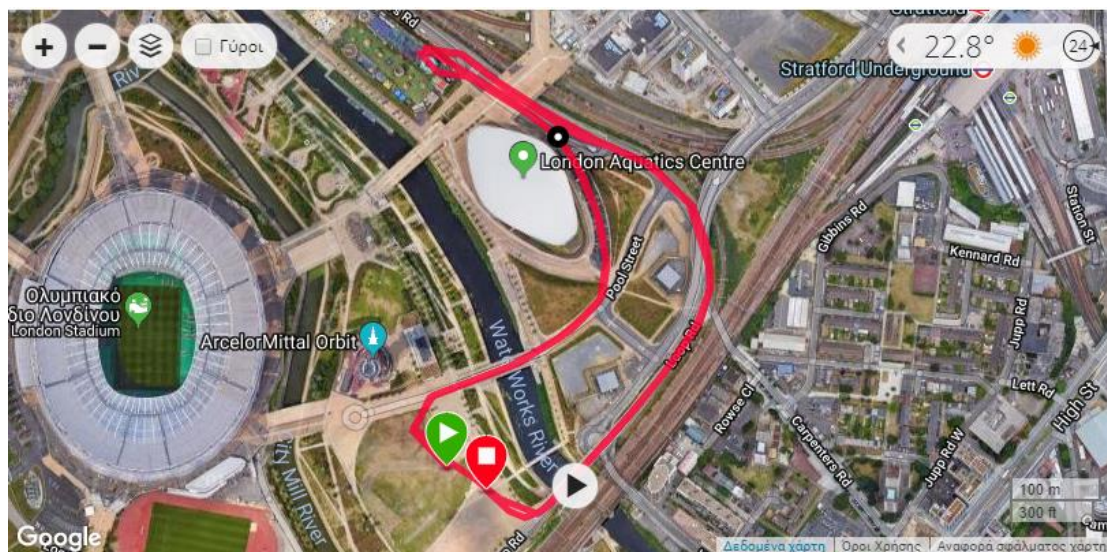
2^ο Σενάριο Δοκιμών: Στο δεύτερο σενάριο το όχημα δοκιμάστηκε σε μια κυκλική διαδρομή με στροφές που ήταν απαραίτητη η χρήση φρένων και ο οδηγός έπρεπε να έχει έναν ήπιο ρυθμό οδήγησης χωρίς άσκοπες επιβραδύνσεις ή επιταχύνσεις.

3^ο Σενάριο Δοκιμών: Το τρίτο σενάριο αποτελούταν από διάφορες υποπεριπτώσεις. Η διαδρομή αποτελούταν από μια ευθεία χωρίς καμία μεταβολή του υψόμετρου και ο οδηγός του οχήματος οδηγούσε στην ίδια διαδρομή αλλάζοντας τον ρυθμό που εκκινούσε κάθε φορά αλλά και τον ρυθμό που επιβράδυνε το όχημα. Με αυτές τις δοκιμές είχαμε δεδομένα για την κατανάλωση του κινητήρα σε διαφορετικές συνθήκες.



Εικόνα 44 : Τρίτη διαδρομή δοκιμών.

Με τις παραπάνω δοκιμές είχε δημιουργηθεί ένα αρκετά αξιόπιστο μοντέλο ωστόσο δεν ήταν το τελικό που παρουσιάζεται στο κεφάλαιο 5. Οι τελικές δοκιμές έγιναν στην πίστα του διαγωνισμού Shell Eco Marathon. Στις δοκιμές του αγώνα ο οδηγός προσπαθούσε να έχει μια σταθερή μέση ταχύτητα με ομαλές μεταβολές του γκαζιού. Μέσω των δοκιμών στην πίστα συλλέξαμε ένα προφίλ ταχύτητας που μπορούσαμε να το χρησιμοποιήσουμε για τον σχεδιασμό των ελιγμών του οχήματος κατά την προσομοίωση και για τις δοκιμές βελτίωσης της απόδοσης στον αγώνα.



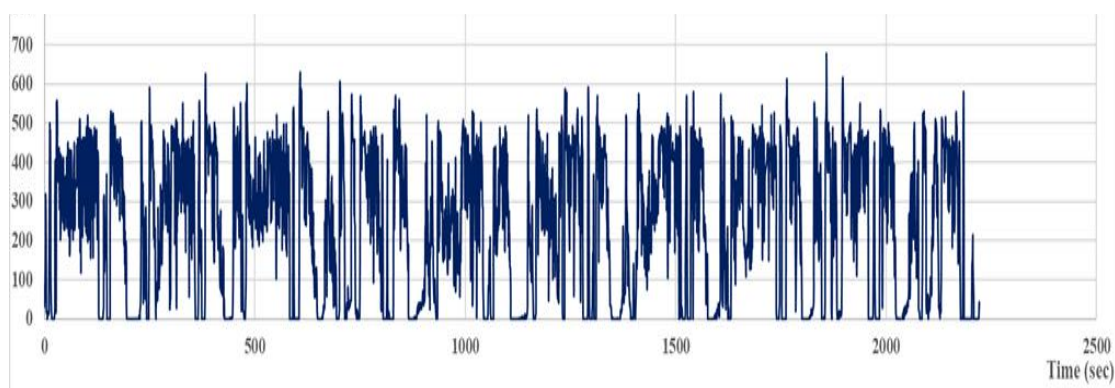
Εικόνα 45: Πίστα αγώνα.

7.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Ο σκοπός της προσομοίωσης στην παρούσα εργασία ήταν να μελετηθεί αν η αλλαγή της τελικής σχέσης μετάδοσης συμβάλλει στην μείωση της κατανάλωσης του οχήματος. Τα γρανάζια που χρησιμοποιήθηκαν ήταν 1:6, 1:8 και 1:10.

Για την πρώτη προσομοίωση χρησιμοποιήσαμε τα δεδομένα από τους 10 γύρους του οχήματος μας στην πίστα με τελική σχέση μετάδοσης 1:8, η προσομοίωση αυτή πραγματοποιήθηκε για να κάνουμε επαλήθευση του δυναμικού μας μοντέλου. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήσαμε ήταν τα πραγματικά προφίλ ταχύτητας (Διάγραμμα 1) του οχήματος.

Διάγραμμα 1: Καταγραφή δεδομένων από τους 10 γύρους του αγώνα.



Για την διαδικασία επαλήθευσης του μοντέλου, εργαστήκαμε για κάθε έναν από τους δέκα γύρους ξεχωριστά. Για τον έλεγχο του μοντέλου επικεντρωθήκαμε στην σύγκριση των τιμών του χρόνου, της απόστασης και της κατανάλωσης ενέργειας του οχήματος. Ως προς την κατανάλωση του οχήματος σε «watt» το δυναμικό μοντέλο είχε απόκλιση κατά μέσον όρο 4,16% από το φυσικό μοντέλο. Στην απόσταση εντοπίσαμε απόκλιση κατά μέσον όρο 1,54% συγκρίνοντας τις τιμές της προσομοίωσης με αυτές του gps και οι τιμές του χρόνου ολοκλήρωσης κάθε γύρου ταυτίζοντουσαν απόλυτα διότι η προσομοίωση γινόταν με βάση τα προφίλ ταχύτητας του αγώνα. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης παρουσιάζονται στον πίνακα 4.

RATIO 1:8									
Lap	Distance[m]	Time[s]	Real[watt]	Simulation[watt]	Deviation energy [%]	Efficiency[%]	Hydrogen Flow [m ³]	Distance Gps [m]	Deviation distance [%]
1	1551,1	237,5	205,12	221,6	7,44%	86,857%	12,323	1493,847	-3,833%
2	1523,48	221,5	247,4453	238,01	-3,96%	87,753%	13,057	1544,486	1,360%
3	1543,72	213,5	259,4453	246,94	-5,06%	87,824%	13,382	1550	0,405%
4	1557,74	221,5	222,898	241,49	7,70%	88,382%	12,322	1549,93	-0,504%
5	1518,58	229	213,32	211,84	-0,70%	89,065%	11,563	1545,125	1,718%
6	1555,02	236,5	219,51	212,349	-3,37%	88,098%	12,089	1539,292	-1,022%
7	1543,17	214	239,948	249,448	3,81%	88,088%	12,381	1555,389	0,786%
8	1529,54	216,5	242,349	230,3	-5,23%	88,145%	13,054	1540,416	0,706%
9	1542,22	215	244,308	246,72	0,98%	88,260%	13,626	1613,097	4,394%
10	1520,93	233,5	202,85	209,89	3,35%	87,276%	11,76	1531,403	0,684%

Πίνακας 4: Αποτελέσματα με τελική σχέση μετάδοσης 1:8.

Στην συνέχεια μέσω προσομοίωσης χρησιμοποιήσαμε τα πραγματικά προφίλ ταχύτητας που είχαμε στη διάθεση μας, (που είχαν δημιουργηθεί με τελική σχέση μετάδοσης 1:8) και τροποποιήσαμε το δυναμικό μοντέλο μόνο ως προς την τελική σχέση μετάδοσης σε 1:6 και σε 1:10 για να ερευνήσουμε αν η κατανάλωση του οχήματος θα ήταν καλύτερη με τον ίδιο τρόπο οδήγησης. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους (Πίνακες 5, 6).

RATIO 1:6					
Lap	Distance[m]	Time[s]	Real[watt]	Simulation[watt]	Deviation energy [%]
1	1550,46	237,5	205,12	215,85	4,97%
2	1518,76	221,5	247,4453	230,26	-7,46%
3	1540,06	213,5	259,4453	239,03	-8,54%
4	1555,33	221,5	222,898	233,832	4,68%
5	1517,25	229	213,32	206,79	-3,16%
6	1554,9	236,5	219,31	207,14	-5,88%
7	1540,94	214	239,948	241,3	0,56%
8	1529,45	216,5	242,349	233,24	-3,91%
9	1537,59	215	244,308	237,82	-2,73%
10	1516,37	233,5	202,85	202,84	0,00%

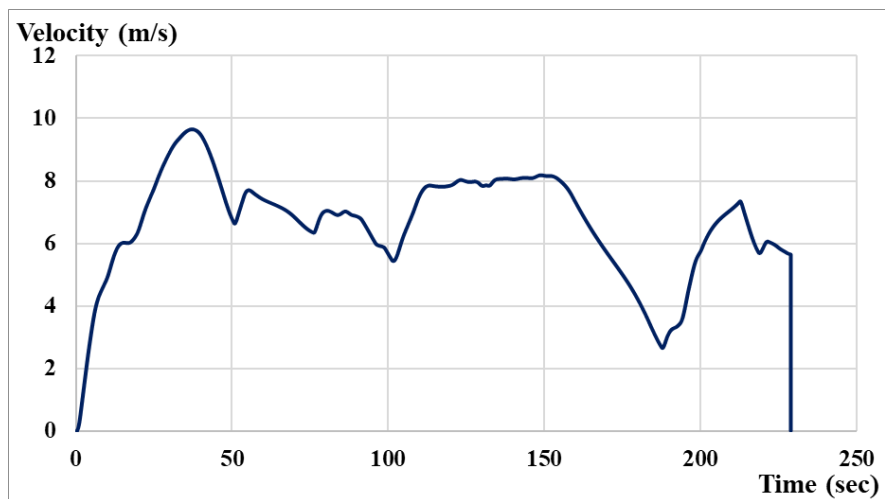
Πίνακας 5: Αποτελέσματα με τελική σχέση μετάδοσης 1:6.

RATIO 1:10					
Lap	Distance[m]	Time[s]	Real[watt]	Simulation[watt]	Deviation energy [%]
1	1515,86	237,5	205,12	229,43	10,60%
2	1490,6	221,5	247,4453	247,228	-0,09%
3	1505,68	213,5	259,4453	257,39	-0,80%
4	1524,66	221,5	222,898	245,27	9,12%
5	1511,01	229	213,32	222,1239	3,96%
6	1541,97	236,5	219,31	222,96	1,64%
7	1522,17	214	239,948	266,71	10,03%
8	1513,53	216,5	242,349	252,95	4,19%
9	1500,77	215	244,308	249,88	2,23%
10	1483,99	233,5	202,85	215,413	5,83%

Πίνακας 6: Αποτελέσματα με τελική σχέση μετάδοσης 1:10.

Τα αποτελέσματα αυτής της δοκιμής ήταν ότι αν είχαμε επιλέξει την σχέση 1:10 η συνολική κατανάλωση θα είχε αυξηθεί κατά 4,36% και αν είχαμε επιλέξει την σχέση 1:6 η συνολική κατανάλωση θα ήταν καλύτερη κατά 2,62%.

Τέλος, παρατηρήσαμε ότι ο καλύτερος γύρος που πραγματοποιήσαμε στον αγώνα ήταν ο 5^{ος} (Πίνακας 4), ως προς το χρόνο, την κατανάλωση ενέργειας και την κατανάλωση υδρογόνου. Για αυτό τον λόγο συγκρίναμε τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για κάθε τελική σχέση μετάδοσης που χρησιμοποιήσαμε μόνο για το καλύτερο πραγματικό προφίλ ταχύτητας (Διάγραμμα 2). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.

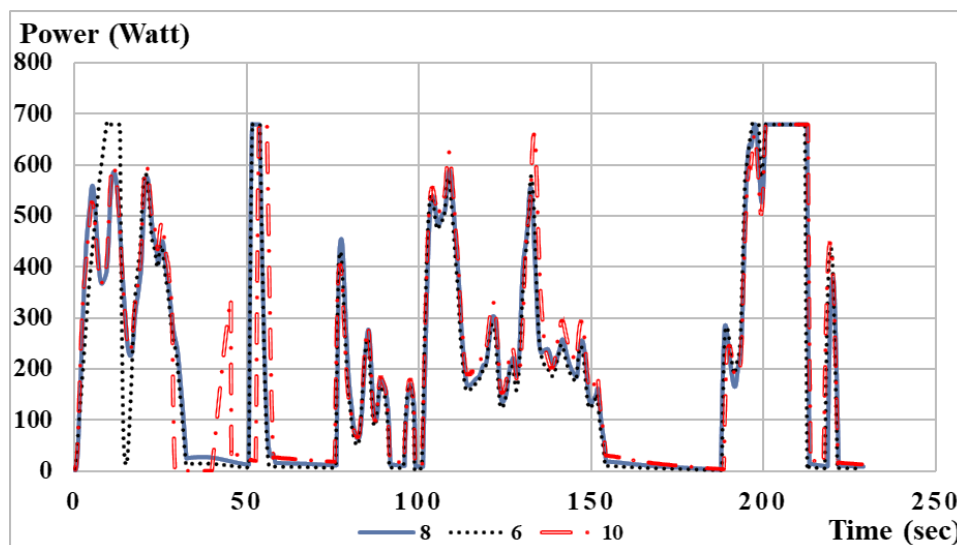


Διάγραμμα 2: Προφίλ ταχύτητας 5ου γύρου.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης θα είχαμε μείωση 2,4% κατανάλωσης με χρησιμοποίηση 1:6 αντί για 1:8. Και αυτή η μικρή διαφοροποίηση οφείλεται όπως βλέπουμε στο Διάγραμμα 3 σε συνάρτηση με το Διάγραμμα 2, ότι ο κινητήρας κατά την επιτάχυνση συνολικά χρειάστηκε λιγότερη ενέργεια με την μετάδοση 1:6, σε όλο το υπόλοιπο διάγραμμα οι μεταβολές της κατανάλωσης ταυτίζονται για όλες τι τελικές σχέσεις μετάδοσης.

Πίνακας 7 :Αποτελέσματα προσομοίωσης με διαφοροποίηση της σχέσης μετάδοσης.

Gear ratio	Distance[m]	Time[sec]	Simulation[watt]
1:6	1517,25	229	206,79
1:8	1551,1	229	211,84
1:10	1511,01	229	222,1239



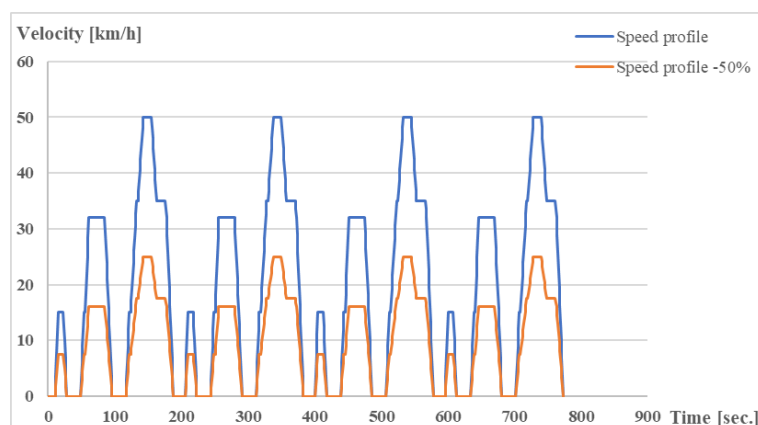
Διάγραμμα 3: Αποτελέσματα σύγκρισης προσομοιώσεων με το καλύτερο προφίλ ταχύτητας.

8.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

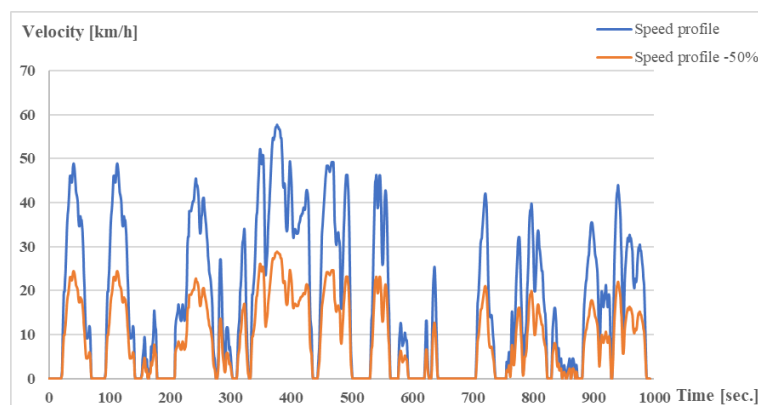
Για την αξιολόγηση της κατανάλωσης ενέργειας του οχήματος μας, εφόσον είχαμε ένα αξιόπιστο δυναμικό μοντέλο, πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις για πέντε ιδιαίτερα χρησιμοποιούμενους πιστοποιημένους κύκλους οδήγησης (NEDC, New York, Japanese, WLTP, Artemis urban).

8.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

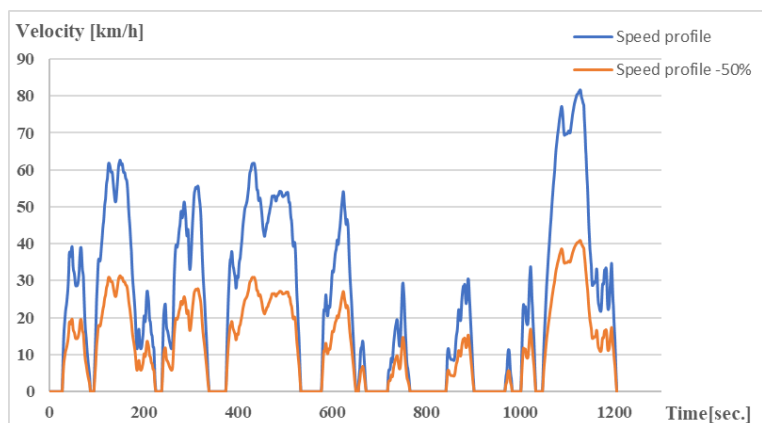
Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται δημιουργήθηκαν μέσω προσομοίωσης, με την διαφορά ότι τα προφίλ ταχύτητας μειώθηκαν κατά 50% σε σχέση με τα πραγματικά, για να μπορεί το όχημα μας να ακολουθήσει όσο το δυνατόν καλύτερα τα προφίλ ταχύτητας. Αυτό συνέβη διότι το όχημα μας δεν μπορούσε να φτάσει τόσο μεγάλες τελικές ταχύτητες που απαιτούσαν τα προφίλ ταχύτητας των κύκλων οδήγησης. Παρακάτω παρουσιάζονται οι γραφικές παραστάσεις από τους πέντε κύκλους που χρησιμοποιήθηκαν.



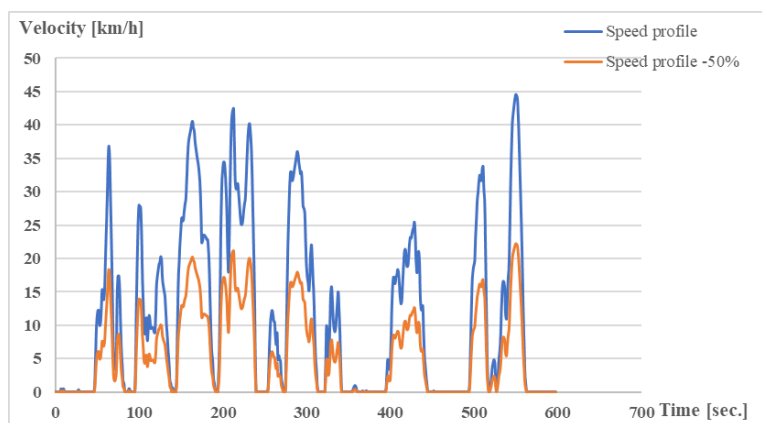
Διάγραμμα 4: Διάγραμμα urban- NEDC με μείωση ταχύτητας 50%.



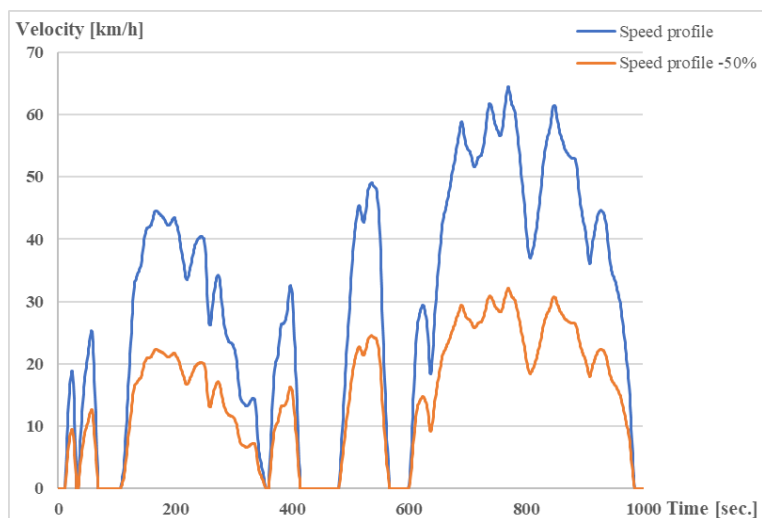
Διάγραμμα 5: Διάγραμμα Artemis με μείωση ταχύτητας 50%.



Διάγραμμα 6: Διάγραμμα Japanese cycle με μείωση ταχύτητας 50%.

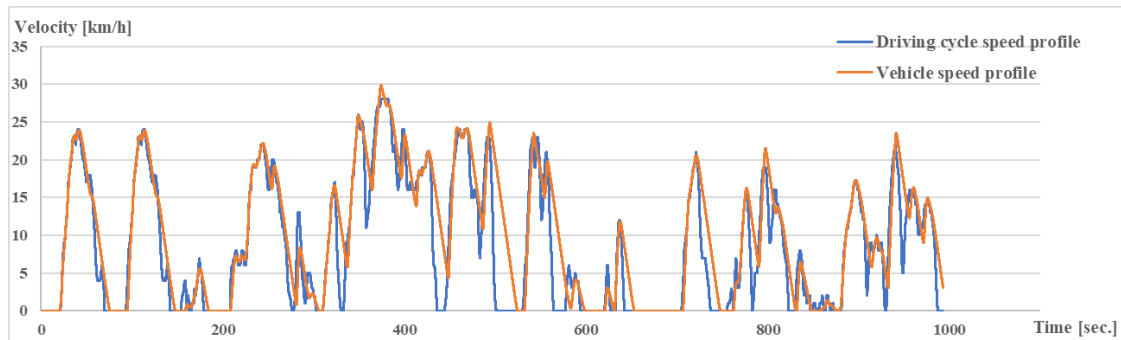


Διάγραμμα 7: Διάγραμμα New York urban cycle με μείωση ταχύτητας 50%.

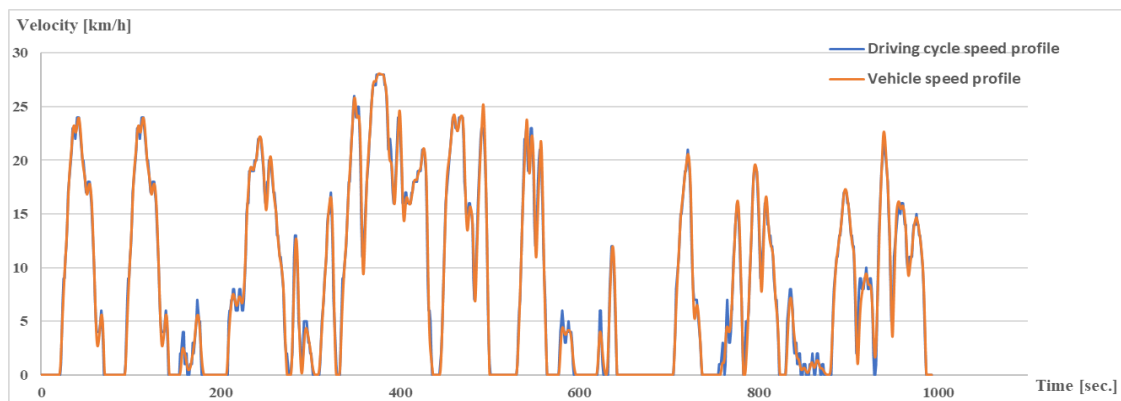


Διάγραμμα 8: Διάγραμμα WLTP cycle με μείωση ταχύτητας 50%.

Ωστόσο το μοντέλο που είχαμε ήδη αναπτύξει παρουσίαζε κάποιες αποκλίσεις ως προς την μείωση της ταχύτητας κατά την διάρκεια της προσομοίωσης σε σχέση με τα προφίλ ταχύτητας των κύκλων οδήγησης. Για το λόγο τροποποιήσαμε μόνο την επίδραση του φρένου στο δυναμικό μοντέλο. Ενδεικτικά παρουσιάζεται η αλλαγή αυτή στον κύκλο οδήγησης «Artemis driving cycle», όπου είχαμε εντοπίσει τις μεγαλύτερες αποκλίσεις.



Διάγραμμα 9 : Προφίλ ταχύτητας του δυναμικού μοντέλου για τον κύκλο οδήγησης Artemis.



Διάγραμμα 10: Προφίλ ταχύτητας του δυναμικού μοντέλου για τον κύκλο οδήγησης Artemis με τροποποίηση των φρένων.

Τα αποτελέσματα από τις προσομοιώσεις των κύκλων κατανάλωσης παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.

Πίνακας 8: Αποτελέσματα προσομοίωσης για τους κύκλους κατανάλωσης.

Driving Cycle	Μέση κατανάλωση [Kwh/100km]
NEDC-urban	0,908
Japanese	0,939
Artemis	1,304
New York urban	1,286
WLTP	0,705

Τέλος, στον πίνακα 9 συγκρίνουμε τα αποτελέσματα της μέσης κατανάλωσης του οχήματος μας με οχήματα μαζικής παραγωγής ως προς τον κύκλο οδήγησης «NEDC» [24] [25].

Πίνακας 9: Σύγκριση οχημάτων ως προς την μέση κατανάλωση στον κύκλο οδήγηση NEDC.

Όχημα	Σπύρος Λούης 2017	Renault Twizy Urban	Smart fortwo electric drive
Κινητήρας [Nm]	5,5	57	160
Βάρος [Kg]	90	474	1085
Μέση κατανάλωση [Kwh/100Km]	0,908	6,3	12,9

Επιλέξαμε να κάνουμε την σύγκριση με αυτά τα δυο οχήματα διότι είναι τα μικρότερα σε μαζική παραγωγή που υπάρχουν και έχουν ελεγχθεί με τον κύκλο οδήγησης «NEDC». Οι μεγάλες διαφορές που εμφανίζονται στον παραπάνω πίνακα οφείλονται αρχικά στη διαφορά βάρους των οχημάτων αλλά και στο γεγονός ότι τα οχήματα έχουν ελεγχθεί σε ολόκληρο τον κύκλο οδήγησης NEDC που περιέχει και το στάδιο της οδήγησης σε αυτοκινητόδρομο. Το όχημα μας δεν ολοκλήρωσε όλο το κύκλο οδήγησης του NEDC διότι στο στάδιο της οδήγησης σε αυτοκινητόδρομο οι ταχύτητες ήταν αρκετά υψηλές. Με βάση αυτό, πρέπει να τονιστεί ότι το όχημά μας θα είχε καλύτερη ακόμα κατανάλωση καθώς, η εκτίμηση του οχήματος μας πραγματοποιείται μόνο σε αστικό κύκλο οδήγησης, σε σύγκριση με τον μικτό κύκλο των άλλων δύο οχημάτων.

Στις μέρες μας η αγορά της αυτοκινητοβιομηχανίας έχει αρχίσει να αλλάζει ριζικά, επικεντρώνοντας τις έρευνες και την παραγωγή της στα ηλεκτρικά οχήματα. Ωστόσο ένα μεγάλο πρόβλημα που φρενάρει αυτή την εξέλιξη είναι η μικρή αυτονομία που έχουν τα ηλεκτρικά οχήματα. Σε αυτή την εργασία παρουσιάστηκαν οι σημαντικότερες τεχνικές βελτίωσης της κατανάλωσης των ηλεκτρικών οχημάτων και ιδιαίτερα στη μείωση της κατανάλωσης του ηλεκτρικού οχήματος της ομάδας TUCer, μέσω της κατάλληλης επιλογής του τελικού γραναζιού μετάδοσης κίνησης. Για την κατάλληλη επιλογή του τελικού γραναζιού, αναπτύχθηκε ένα πλήρες δυναμικό μοντέλο του οχήματος με απόκλιση 4.16% από το φυσικό μοντέλο και έγιναν δοκιμές βελτίωσης μέσω προσομοίωσης. Κατά την διάρκεια των δοκιμών χρησιμοποιήθηκαν σχέσεις μετάδοσης 1:6, 1:8 και 1:10. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι για τον τρόπο οδήγησης που επέλεξε ο οδηγός μας και για την συγκεκριμένη διαδρομή, η χρήση του γραναζιού 1:6 θα είχε την μικρότερη κατανάλωση. Τέλος πραγματοποιήθηκαν δοκιμές προσομοίωσης για τους πέντε πιο χρησιμοποιούμενους κύκλους οδήγησης με σκοπό να υπάρξει μια αξιολόγηση της επίδοσης του οχήματος μας σύμφωνα με τα παγκόσμια πρότυπα. Επίσης έγινε σύγκριση των κύκλων αυτών με ηλεκτρικά οχήματα παραγωγής.

- [1] M. Chen and G. Rincon-Mora, "Accurate Electrical Battery Model Capable of Predicting Runtime and I–V Performance", IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 21, no. 2, pp. 504-511, (2006).
- [2]"Electric Cars, Solar Panels & Clean Energy Storage | Tesla", Tesla.com, (2018). https://www.tesla.com/en_EU/?redirect=no.
- [3]Δ. Ευσταθίου, Ανάπτυξη Συστήματος Κίνησης για Πρωτότυπο Ηλεκτρικό. Χανιά, Κρήτης: Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης, (2012).
- [4]Θ. Καρπούζης, Προσομοίωση ηλεκτρικού οχήματος με κυψέλες υδρογόνου. Χανιά, Κρήτης: Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης.
- [5]Digilib.teiimt.gr,(2018).<http://digilib.teiimt.gr/jspui/bitstream/123456789/1655/5/012013033.pdf>.
- [6] X. Zhang, X. Wang, Z. Xie and Z. Zhou, "Recent progress in rechargeable alkali metal–air batteries", Green Energy & Environment, vol. 1, no. 1, pp. 4-17, (2016).
- [7]Maxwell.com.http://www.maxwell.com/images/products/Maxwell_Portfolio_Shot_new_June_2015.png.
- [8] Web.mit.edu, (2008).http://web.mit.edu/evt/summary_powertrains.pdf.
- [9] T. Gillespie, Fundamentals of Vehicle Dynamics. SAE International.
- [10]"BETA CAE Systems - Home page", Beta-cae.com, (2018). <https://www.beta-cae.com/>.
- [11] User's Guide Version 6.0.3. Carmaker, IPG, (2018).
- [12] T. Yuksel and J. Michalek, "Effects of Regional Temperature on Electric Vehicle Efficiency, Range, and Emissions in the United States", Environmental Science & Technology, vol. 49, no. 6, pp. 3974-3980, (2015).
- [13] E. Yao, Z. Lang, Y. Song and Y. Yang, "Microscopic Driving Parameters-Based Energy Consumption Rate Comparison between Electric Vehicle and Gasoline Vehicle", Applied Mechanics and Materials, vol. 361-363, pp. 2088-2091, (2013).
- [14] Z. Younes, L. Boudet, F. Suard, M. Gérard and R. Rioux, "Analysis of the main factors influencing the energy consumption of electric vehicles", IEEE, (2013).
- [15] R. Carlson, M. Shirk and B. Geller, "Factors Affecting the Fuel Consumption of Plug-In Hybrid Electric Vehicles", (2010).
- [16] W. Joost, "Reducing Vehicle Weight and Improving U.S. Energy Efficiency Using Integrated Computational Materials Engineering", JOM, vol. 64, no. 9, pp. 1032-1038, (2012).

- [17] G. Tzortzis, A. Amargianos, S. Piperidis, E. Koutroulis and N. C. Tsourveloudis, "Development of a compact regenerative braking system for electric vehicles," 23rd Mediterranean Conference on Control and Automation (MED), Torremolinos, (2015), pp. 102-108.
- [18] A. K. Petrou, D. S. Efstathiou and N. Tsourveloudis, "Modeling and control of the energy consumption of a prototype urban vehicle," 19th Mediterranean Conference on Control & Automation (MED), Corfu, (2011), pp. 44-48.
- [19] T. Hofman and C. H. Dai, "Energy efficiency analysis and comparison of transmission technologies for an electric vehicle," IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, Lille, (2010), pp. 1-6.
- [20] P. Spanoudakis, N. Tsourveloudis, G. Koumartzakis, A. Krahtoudis, T. Karpouzis and I. Tsinaris, "Evaluation of a 2-speed transmission on electric vehicle's energy consumption," IEEE International Electric Vehicle Conference (IEVC), Florence, (2014), pp. 1-6.
- [21] Michelin The tire digest, <https://thetiredigest.michelin.com/michelin-ultimate-energy-tire>.
- [22] A. Schmidt, "MESA VERDE Generation and Application of Complete Simulation Models for Multibody Systems", Vehicle System Dynamics, pp. 158-161, (1993).
- [23] Reference Manual Version 6.0.3. Carmaker, IPG.
- [24] "Renault Twizy Urban 2 door specs", *Cars-Data.com*, (2018). <https://www.cars-data.com/en/renault-twizy-urban-specs/59485>.
- [25] "Smart Fortwo Electric Drive 3 door specs", *Cars-Data.com*, (2018). <https://www.cars-data.com/en/smart-fortwo-electric-drive-specs/73040>.