
**ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ Τ.Ε.**



**ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΟΥ ΜΟΝΟΘΕΣΙΟΥ
ΟΧΗΜΑΤΟΣ FORMULA STUDENT**

Α' ΜΕΡΟΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΩΝ

Τζώρτζογλου Αθανάσιος

Τυροβούζης Ιωακείμ

ΚΩΔΙΚΟΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ

Επιβλέπων: Κοσμάνης Θεόδωρος, Αναπληρωτής Καθηγητής

ΣΙΝΔΟΣ, 2019



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	4
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	5
1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	6
1.2 ΠΕΡΙΛΗΨΗ	7
1.3 ΔΙΑΓΩΝΙΣΜΟΣ FSAE.....	8
2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	15
2.1 ΣΧΕΤΙΚΑ PROJECTS.....	20
3. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	23
3.1 ΠΛΑΙΣΙΟ - ΣΑΣΙ	23
3.1.1 ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ	23
3.1.2 ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΥΛΙΚΩΝ.....	24
3.1.3 ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΚΥΡΙΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΠΛΑΙΣΙΟΥ	27
3.1.4 ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΘΕΣΕΩΣ ΟΔΗΓΗΣΗΣ.....	38
3.1.5 ΣΩΜΑ ΠΛΑΙΣΙΟΥ	41
3.1.6 ΜΕΤΑΞΟΝΙΟ	41
3.1.7 ΜΕΤΑΤΡΟΧΙΟ	41
3.1.8 ΟΠΤΙΚΗ ΠΡΟΣΒΑΣΗ.....	41
3.2 ΜΕΤΑΔΟΣΗ – ΠΛΑΝΗΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ.....	42
3.2.1 ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ	42
3.3 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΥΨΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ.....	43
3.3.1 ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ	44
3.3.1.1 ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ	47
3.3.1.2 ΜΟΝΑΔΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ (BMS).....	50
3.3.1.3 ΜΟΝΑΔΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ - ΕΛΕΓΚΤΗΣ	51
3.3.1.4 ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ	52
3.3.1.5 ΦΟΡΤΙΣΤΗΣ	57
4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΜΟΝΟΘΕΣΙΟΥ	59
4.1 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΠΛΑΙΣΙΟΥ	59
4.1.1 ΤΡΟΠΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ	60
4.1.2 ΌΨΕΙΣ ΠΛΑΙΣΙΟΥ.....	64
4.1.3 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΠΛΑΙΣΙΟΥ	66



4.2 ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΛΑΙΣΙΟΥ	68
4.2.1.ΜΕΤΡΟ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΚΑΙ ΣΗΜΕΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥΣ ΣΤΟ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑ ΚΡΟΥΣΗΣ.....	69
4.2.1 ΜΕΤΡΟ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΚΑΙ ΣΗΜΕΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥΣ ΣΤΟ ΕΜΠΡΟΣΘΙΟ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑ	73
4.2.2 ΜΕΤΡΟ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΚΑΙ ΣΗΜΕΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥΣ ΣΤΟ ΚΥΡΙΟ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑ	75
4.3 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΨΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ.....	77
4.3.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ.....	78
4.3.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ.....	81
4.3.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΩΝ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ	86
4.3.4 ΕΠΑΝΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΩΝ ΕΠΙΔΟΣΕΩΝ.....	89
4.3.5 ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ – CONTROLLER.....	91
4.3.6 ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ – BMS.....	93
4.3.7 ΦΟΡΤΙΣΗ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ	97
4.3.8 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΥΠΕΡΦΟΡΤΩΣΗΣ ΚΑΙ ΚΑΛΩΔΙΩΣΗΣ	100
4.3.9 ΧΩΡΟΤΑΞΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	102
4.4 ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ.....	104
4.5 ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΕΔΗΣΗΣ	106
4.5.1 ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΕΔΗΣΗΣ – ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΗ.....	106
5 ΚΟΣΤΟΛΟΓΙΟ	111
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	112
6.1 ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	112
7.ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	
8.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	125



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την παρούσα πτυχιακή εργασία κλείνει ένας μεγάλος κύκλος φοίτησης στο Αλεξάνδρειο ΤΕΙ Θεσσαλονίκης και μελέτης του αντικειμένου των οχημάτων. Η τελική φάση ολοκλήρωσης των σπουδών μας συμπληρώνεται με τη σημερινή κατάθεση της διπλωματικής εργασίας μου με τίτλο: “Μελέτη και σχεδιασμός ηλεκτροκίνητου μονοθέσιου οχήματος τύπου μαθητικής φόρμουλα.

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον καθηγητή μας, κύριο Θεόδωρο Κοσμάνη, Αναπληρωτή Καθηγητή για την αρωγή του, τη συμπαράστασή του, την επιστημονική του καθοδήγηση, την ανθρώπινη κατανόησή του, καθώς και για την στήριξη του, όλο αυτό το χρονικό διάστημα κάθε φορά που είχαμε ανάγκη να τον συμβουλευτούμε, εκθέτοντας τους προβληματισμούς μας. Θα θέλαμε επίσης να τον ευχαριστήσουμε για την τιμή που μας έκανε και την εμπιστοσύνη που μας έδειξε, προτείνοντάς μας το εξαιρετικά ενδιαφέρον αυτό θέμα.

Θα θέλαμε επίσης να ευχαριστήσουμε θερμά τους λοιπούς καθηγητές της σχολής για τις πολύτιμες γνώσεις που μας μεταδώσανε και την καθοδήγησή τους, καθώς και το διοικητικό προσωπικό της σχολής για την συμπαράστασή του.

Τέλος, θέλουμε επίσης θερμά να ευχαριστήσουμε τους γονείς και τα αδέρφια μας, για την κατανόηση και την συμπαράσταση κατά τη διάρκεια των σπουδών μας και ειδικότερα κατά την περίοδο της πρακτικής μας άσκησης και εκπόνησης της διπλωματικής μας εργασίας.

Θεσσαλονίκη 19 Απριλίου 2019



1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Περατώνοντας το τέταρτο έτος φοίτησης στο Αλεξάνδρειο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Θεσσαλονίκης και συγκεκριμένα στο τμήμα Μηχανολόγων Οχημάτων ΤΕ, έπρεπε με τη σειρά μας να εργαστούμε για τη δική μας πτυχιακή εργασία, που θα μας έδινε το προτέρημα να εμβαθύνουμε σε μονοπάτια που εμείς θέλαμε. Κατά αυτόν το τρόπο το θέμα που επιλέχθηκε από εμάς του ίδιους, φυσικά δεν θα μπορούσε να διαφέρει από κάτι που να είχε μέσα το αγωνιστικό κομμάτι, το κομμάτι της αδρεναλίνης αυτής που γεμίζει τους νέους με ενθουσιασμό και παρόρμηση για κάτι το οποίο σε εξυψώνει ψυχολογικά. Προσπαθήσαμε να διερευνήσουμε ένα νέο κομμάτι στο χώρο της αυτοκινητοβιομηχανίας, τουλάχιστον για τα Ελληνικά δεδομένα και αυτό είναι η ηλεκτροκίνηση των οχημάτων. Όλα αυτά μπορεί κανείς να τα βρει στο πλαίσιο μίας ηλεκτροκίνητης formula. Για το αναφερόμενα θέμα υπάρχει και συγκεκριμένος διαγωνισμός (FSAE) για τον οποίο θα μιλήσουμε παρακάτω επεξηγώντας όλες τις πτυχές του. Η τελική μας απόφαση πάρθηκε και δεν ήταν άλλη από τη μελέτη και κατασκευή μίας Ηλεκτροκίνητης Formula σύμφωνα με τους κανονισμούς FSAE.

Δεδομένου όλου αυτού του μεγάλου εγχειρήματος είναι προφανές ότι χρειάζονται αρκετοί συμμετέχοντες με όρεξη για συνεχή δουλειά. Έτσι και εμείς όντας σε αριθμό τέσσερις, πλαισιώνοντας μία ολιγομελή ομάδα καταφέραμε να βγάλουμε εις πέρας μέχρι ένα βαθμό τη μελέτη που απαιτεί μία ηλεκτροκίνητη φόρμουλα. Η ομάδα μας ξεκίνησε μετά από πρωτοβουλία προπτυχιακών φοιτητών του τμήματος Μηχανολόγων Οχημάτων του Αλεξάνδρειου Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Θεσσαλονίκης. Με κύρια μέλη τους φοιτητές: Αλέξανδρο Τσίτος, Αθανάσιος Τζώρτζογλου, Ιωακείμ Τυροβούζης, Νικόλαος Μπέικος και ως επιβλέπων καθηγητή τον Θεόδωρο Κοσμάνη ξεκινάνε οι πρώτες προσπάθειες πάρα τις δυσκολίες.

Πρωταρχική ιδέα είναι η δημιουργία ενός ηλεκτροκίνητου μονοθέσιου πληρώνοντας τις προϋποθέσεις διεθνή διαγωνισμών FSAE Student. Με αφορμή λοιπόν τα παραπάνω, “παντρέψαμε” δύο αγγλικές λέξεις, το **Bee** που σημαίνει μέλισσα εξαιτίας του ήχου που προξενεί ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο και το **Electric** που δείχνει τη χρήση της ηλεκτροκίνησης. Θα μπορούσαμε να περιγράψουμε το project και σαν ηλεκτρική μέλισσα.



Το όνομα **BeE**, προέρχεται από δύο χαρακτηριστικά της ομάδας. Το πρώτο και κύριο είναι η ηλεκτροκίνηση που θα χρησιμοποιηθεί εξολοκλήρου για το μονοθέσιο, Be Electric δηλαδή. Το δεύτερο προέρχεται από την εργατικότητα και ομαδικότητα που διακρίνει τις μέλισσες. Χαρακτηριστικά που πληροί η ομάδα προκειμένου να ανταπεξέλθει στις απαιτήσεις του project. **BeElectric** λοιπόν.



Εικόνα 1 Λογότυπο ομάδας.

1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο σκοπός της αναφερόμενης εργασίας είναι η πλήρης σχεδιαστική και υπολογιστική μελέτη για κατασκευή ηλεκτροκίνητης φόρμουλα για το φοιτητικό διαγωνισμό FSAE Electric. Αναφέρεται επακριβώς σε όλες τις μεθόδους και υπολογισμούς που απαιτούνται για την υλοποίηση μίας τέτοιου είδους κατασκευής, καθώς πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τους κανονισμούς του διαγωνισμού καλύπτοντας όλες τις προϋποθέσεις συμμετοχής στο διαγωνισμό, τουλάχιστον σε θεωρητικό επίπεδο.

Η συγκεκριμένη εργασία περιέχει αναλυτικά κάθε πληροφορία σχετικά με το όλο εγχείρημα της ομάδας και το σημείο στο οποίο αυτή έφτασε, ανοίγοντας ορίζοντες για τη συνέχιση και την τελειοποίηση του μονοθέσιου, καθώς και την τελική κατασκευή του.

Η ιδέα πίσω από το θεσμό είναι η δημιουργία μίας ομάδας σχεδιαστών φοιτητών με στόχο την ανάπτυξη ενός μικρού μονοθέσιου τύπου Formula και να είναι ικανό να δοκιμαστεί σε συγκεκριμένα αγωνίσματα.

Το μονοθέσιο καλείται να αξιολογηθεί για το δυναμικό του ως στοιχείο παραγωγής. Κάθε ομάδα σπουδαστών σχεδιάζει, κατασκευάζει και δοκιμάζει ένα πρωτότυπο βασισμένο σε μία σειρά κανόνων, σκοπός των οποίων είναι η εξασφάλιση της ασφάλειας σε τροχιά. Τα αυτοκίνητα οδηγούνται από τους ίδιους τους φοιτητές οι οποίοι καλούνται να επιλύσουν διάφορα προβλήματα.



1.2 ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρακάτω πτυχιακή εργασία αποτελεί την συνολική μελέτη για τον σχεδιασμό και την κατασκευή ενός ηλεκτρικού μονοθέσιου το οποίο να πληροί τις προδιαγραφές και τους κανονισμούς του διαγωνισμού FSAE καθώς επίσης να εισάγει καινοτόμες ιδέες στον τομέα της ηλεκτροκίνησης αποτελώντας συνάμα έναν ανταγωνιστικό αντίπαλο ανάμεσα στα μονοθέσια των άλλων ιδρυμάτων, πετυχαίνοντας όσο τον δυνατό βέλτιστες επιδόσεις. Η απόδοση των ηλεκτρικών κινητήρων είναι τεράστια σε σχέση με αυτή που προσφέρουν οι κινητήρες εσωτερικής καύσης. Οι απώλειες ενέργειας είναι σχεδόν μηδενικές με αποτέλεσμα όλη η δοθείσα χημική ενέργεια από τις μπαταρίες να μετατρέπεται έως και το 99% σε μηχανική. Ξεκινώντας από την τροφοδοσία των κινητήρων, από τις μπαταρίες, στον έλεγχο από τον ελεγκτή, στα συστήματα μετάδοσης κίνησης καθώς και στα συστήματα διεύθυνσης, παρουσιάζονται αναλυτικά τα βήματα μέχρι την κατασκευή ενός μονοθέσιου τύπου μαθητικής formula. Παράλληλα γίνεται μια γενική έρευνα πάνω σε τομείς της χημείας, της αεροδυναμικής, της μετάδοσης θερμότητας, του σχεδιασμού ενός αγωνιστικού οχήματος μέσω προσομοιωτικών προγραμμάτων, τους τρόπους κατεργασιών, τα στοιχεία μηχανών, του προγραμματισμού και της μηχανικής ρευστών.

Γενικεύοντας, η ηλεκτροκίνηση αν και δεν είναι καινούριο φαινόμενο, ακόμα δεν έχει πάρει μεγάλες διαστάσεις και θα καθορίσει την ανάπτυξη του άμεσου μέλλον. Για τα Ελληνικά δεδομένα ακόμα είναι σε πρώιμο στάδιο και έτσι δίνει την ευκαιρία στο τμήμα μας να είναι πρωταγωνιστής σε τέτοιου είδους εγχειρήματα. Στο project BeE Automotive, συμπεριλαμβάνουμε στην αποστολή μας να κατανοήσουμε, να αναπτύξουμε και να εφαρμόσουμε τις τελευταίες καινοτομίες πράσινης τεχνολογίας, καθώς και να την προωθήσουμε τοπικά.

Στόχος μας είναι να είμαστε ζωντανές αποδείξεις ότι οι αειφόρες τεχνολογίες δεν είναι μόνο αξιόπιστες και αποτελεσματικές, αλλά εξαιρετικά ισχυρές και διασκεδαστικές.



1.3 ΔΙΑΓΩΝΙΣΜΟΣ FSAE

Ο θεσμός του Formula SAE είναι ένας φοιτητικός σχεδιαστικός διαγωνισμός που διοργανώνεται από την SAE International (πρώην Society of Automotive Engineers). Ο πρώτος διαγωνισμός έγινε το 1978 και αρχικά ήταν γνωστός με το όνομα Mini Indy. Το όλο σκεπτικό πίσω από τον θεσμό είναι ότι μία φανταστική κατασκευάστρια εταιρεία έχει δώσει εργολαβία σε μία σχεδιαστική ομάδα να αναπτύξει ένα μικρό αγωνιστικό αυτοκίνητο σε τύπου φόρμουλα. Κατόπιν το πρωτότυπο αυτοκίνητο εξετάζεται ως προς το δυναμικό του ως ένα προϊόν που πρέπει να κατασκευαστεί και να πουληθεί. Το αγοραστικό κοινό ενός τέτοιου μονοθέσιου είναι ο ερασιτέχνης οδηγός που τα σαββατοκύριακα αρέσκεται να περνάει την ώρα του ευχάριστα σε πίστες. Κάθε φοιτητική ομάδα σχεδιάζει, κατασκευάζει και εν τέλει δοκιμάζει ένα πρωτότυπο βάσει κάποιων κανόνων των οποίων το πνεύμα είναι η ασφάλεια και το να εξασφαλίσουν και να προωθήσουν έξυπνες λύσεις σε διάφορα προβλήματα. Σήμερα ο διαγωνισμός έχει επεκταθεί αρκετά και περιλαμβάνει μια σειρά από δρώμενα. Στις ΗΠΑ μόνο υπάρχουν 3 τοποθεσίες: California, Michigan και Virginia. Διεθνώς, ως μέρος του επίσημου διοργανωτή και με τους ίδιους κανονισμούς της SAE, κατόπιν συμφωνίας γίνονται οι ακόλουθοι διαγωνισμοί:

- Formula SAE Australasia*
- Formula SAE Brazil*
- Formula SAE Italy*
- Formula Student UK*
- Formula Student Germany*
- Formula Student Hungary*



Εικόνα 2 Λογότυπο διεθνή διαγωνισμού.



Ο διαγωνισμός εξετάζει όλους τους τομείς δραστηριότητας ενός μηχανικού, από την αντίληψη και την ανάλυση σε σχεδιαστικό επίπεδο, μέχρι την κατασκευή και την κοστολόγηση σε πραγματικές συνθήκες. Πιο αναλυτικά, ο κάθε διαγωνισμός αποτελείται από πολλές διαφορετικές δοκιμασίες, στις οποίες οι φοιτητές καλούνται να ανταπεξέλθουν. Αυτές χωρίζονται σε στατικές και δυναμικές, ως ακολούθως:

Στατικά

- Σχεδίαση (*Design*)
- Κόστος (*Cost*)
- Παρουσίαση (*Presentation*)



Εικόνα 3 Στιγμιότυπο στατικής δοκιμασίας διαγωνισμού.

Δυναμικά

- Τεχνικός έλεγχος (*Tech inspection*)
- Επιτάχυνση (*Acceleration*)
- Ελιγμοί (*Skidpad*)
- Αγώνας (*sprint*)
- Αντοχή (*Endurance*)
- Οικονομία καυσίμου (*Fuel economy*)



Εικόνα 4 Στιγμιότυπο δυναμικής δοκιμασίας διαγωνισμού.

Για τις στατικές δοκιμασίες δεν είναι απαραίτητη η λειτουργία του οχήματος. Όλες διεξάγονται απέναντι από μια ομάδα κριτών, συνήθως καταξιωμένων ανθρώπων της αυτοκινητοβιομηχανίας. Η κάθε μια έχει διαφορετικά κριτήρια και εξετάζει διαφορετικά δεδομένα.

Σχεδίαση (Design)

Στη δοκιμασία της σχεδίασης, η ομάδα κρίνεται για τις σχεδιαστικές επιλογές που έχει κάνει. Καλείται να εξηγήσει ποια κριτήρια σχεδιασμού είχαν τεθεί και πως αυτά εκπληρώθηκαν. Δικαιολογεί την επιλογή των διαστάσεων, των υλικών και της μορφής για κάθε εξάρτημα πάνω στο όχημα, σύμφωνα πάντα με τις αρχικές προδιαγραφές. Για να πειστούν οι κριτές, η ομάδα παραθέτουν σχέδια, αναλύσεις, διαγράμματα και υπολογισμούς, ενώ γίνεται εκτενής συζήτηση πάνω σε όλες τις πτυχές του οχήματος.

Κόστος (Cost)

Στη δοκιμασία του κοστολογίου, το ζητούμενο είναι η ακριβής κοστολόγηση του οχήματος. Αυτό γίνεται βάση της παραδοχής ότι η παραγωγή είναι 1000 μονοθέσια το χρόνο. Αυτό σημαίνει ότι όλα τα κόστη ανάγονται σε σχετικά μεγάλες παρτίδες παραγωγής και δεν αντιπροσωπεύουν το κόστος του πρωτοτύπου που παρουσιάζει η ομάδα.

Παρουσίαση (Presentation)

Η δοκιμασία της παρουσίασης, περιλαμβάνει την κατάστρωση ενός επιχειρηματικού σχεδίου (business plan) που αφορά την επένδυση σε εταιρία με σκοπό την παραγωγή μονοθέσιων παρόμοιων με το πρωτότυπο της ομάδας. Το πλάνο πρέπει να περιλαμβάνει όλα τα έξοδα, τα πάγια, σχέδια εργοστασίων, δίκτυα διανομής, πρέπει να δικαιολογεί πωλήσεις, και γενικότερα να πείσει τους κριτές-επενδυτές να παρέχουν τα απαιτούμενα κονδύλια για μια τέτοια επένδυση. Η ομάδα βαθμολογείται για την πληρότητα και τη ρεαλιστικότητα του πλάνου της.

Τα δυναμικά αγωνίσματα απαιτούν τη λειτουργία του μονοθέσιου σε πραγματικές συνθήκες. Αντικειμενικός κριτής σε όλα είναι το χρονόμετρο, και η κάθε ομάδα προσπαθεί να πετύχει καλύτερο χρόνο από τις υπόλοιπες.



Τεχνικός έλεγχος (Tech inspection)

Το πρώτο στάδιο των δυναμικών αγωνισμάτων είναι ο τεχνικός έλεγχος. Οι κριτές ελέγχουν αν το όχημα είναι σύμφωνο με τους κανονισμούς στατικά. Αφού ελέγξουν διεξοδικά το όχημα για παρατυπίες, αφιερώνοντας χρόνο σε κάθε άρθρο των κανονισμών, το όχημα εξετάζεται και δυναμικά. Το πρώτο στάδιο είναι η σταθερότητα έναντι ανατροπής. Χρησιμοποιείται ειδική διάταξη, και το όχημα πρέπει να μην ανατραπεί σε γωνία 60 μοιρών, σε πλήρως λειτουργική κατάσταση. Το επόμενο στάδιο είναι η μέτρηση του θορύβου του κινητήρα και ο έλεγχος ότι τα συστήματα ασφαλείας λειτουργούν σωστά. Τέλος, ελέγχεται η ικανότητα του συστήματος πέδησης να ακινητοποιήσει γρήγορα και ασφαλώς το όχημα. Μόνο όταν καταφέρει να περάσει τον τεχνικό έλεγχο ένα όχημα είναι έτοιμο να συμμετέχει στα υπόλοιπα δυναμικά αγωνίσματα.

Επιτάχυνση (Acceleration)

Στο αγώνισμα της επιτάχυνσης κρίνεται η δυνατότητα του οχήματος να επιταχύνει. Σημαντικό ρόλο παίζει η ιπποδύναμη του κινητήρα, το συνολικό βάρος του οχήματος, η πρόσφυση των ελαστικών αλλά και το κιβώτιο ταχυτήτων με την τελική σχέση μετάδοσης. Σύμφωνα με τη διαδικασία, το κάθε μονοθέσιο πρέπει να καλύψει 75 μέτρα, με αρχική μηδενική ταχύτητα. Η ομάδα με τον μικρότερο χρόνο κερδίζει τους περισσότερους βαθμούς.



Εικόνα 5 Αναπαράσταση εκκίνησης αγωνίσματος επιτάχυνσης.

Ελιγμοί (Skidpad)

Η δοκιμασία των ελιγμών εστιάζει στην αξιολόγηση του συστήματος ανάρτησης-ελαστικών, υπολογίζοντας τη μέγιστη πλευρική επιτάχυνση που μπορεί να αναπτύξει το όχημα, κάτω από σταθερές συνθήκες (steady state). Καταλυτικό ρόλο παίζουν τα γεωμετρικά στοιχεία της ανάρτησης σε συνδυασμό με τα ελαστικά. Η διαδικασία περιλαμβάνει τη χρονομέτρηση μιας αριστερόστροφης καμπής 360 μοιρών και μιας αντίστοιχης δεξιόστροφης. Στόχος είναι και πάλι ο μικρότερος χρόνος.

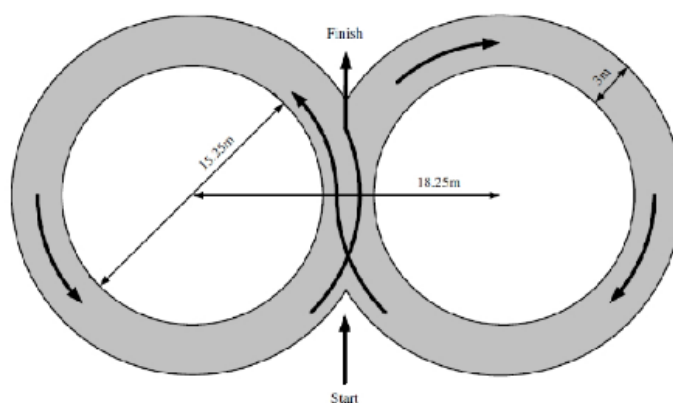


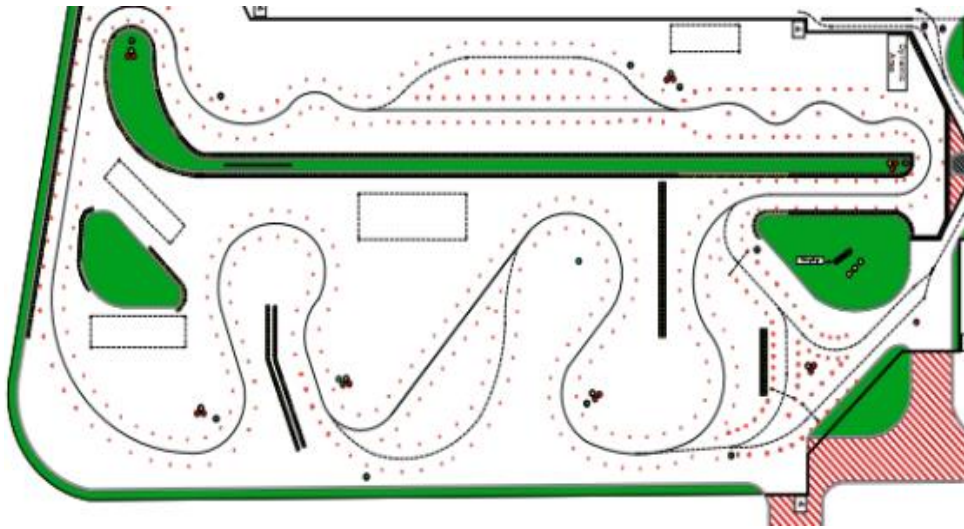
Figure 1.1. Skid-Pad layout and driving directions.

Εικόνα 6 Απεικόνιση αγωνίσματος ελιγμών.

Αγώνας (Sprint)

Το αγώνισμα αυτό, αξιολογεί την ευκολία χειρισμών του οχήματος. Το μονοθέσιο πρέπει να διανύσει μια απόσταση 800 μέτρων περίπου, σε περιβάλλον πίστας, με διάφορες καμπές και ευθείες. Η διαδρομή οριοθετείται από κώνους. Επαφή με κώνο επιφέρει ποινή 2 δευτερολέπτων. Η ομάδα με τον καλύτερο χρόνο κερδίζει. Η διαδρομή έχει τις εξής προδιαγραφές:

- Ευθείες όχι μεγαλύτερες των 60 μέτρων, με 45 μέτρα πλάτος όλη η διαδρομή.
- Στροφές - από 23 έως 45 μέτρα σε διάμετρο.
- Κώνοι σε ευθεία γραμμή με απόσταση 7,62m έως 12,19m για ελιγμούς.
- Πολλαπλές στροφές, στροφές μειωμένης ακτίνας.
- Το ελάχιστο κομμάτι το πλάτος θα είναι 3,5 μέτρα
- Μήκος - περίπου 0,805χλμ.



Εικόνα 7 Κάτοψη διαδρομής αγωνίσματος sprint.

Αντοχή (Endurance)

Η δοκιμασία της αντοχής κρίνει την αξιοπιστία του οχήματος. Το μονοθέσιο πρέπει να καλύψει μια απόσταση 22km χωρίς να υποστεί κάποια βλάβη. Στο μισό της απόστασης γίνεται αλλαγή οδηγού και οι κριτές κρίνουν αν το αυτοκίνητο είναι σε καλή λειτουργική κατάσταση για να συνεχίσει τη δοκιμασία. Η διαδρομή είναι παρόμοια με αυτή του αγώνα που αναφέρθηκε προηγουμένως, οπότε το όχημα καταπονείται συνεχώς. Οι προδιαγραφές της διαδρομής είναι οι εξής:

- Οι ευθείες δεν υπερβαίνουν τα 77 μέτρα.
- Θα υπάρχουν ζώνες προσπεράσεων σε διάφορες τοποθεσίες.
- Σταθερές στροφές από 30 έως 54 μέτρα σε διάμετρο.
- Στροφές με ελάχιστη εξωτερική διάμετρος 9 μ.
- Ελιγμοί σε ευθεία γραμμή με απόσταση 9m έως 15m.
- Διάφορες πολλαπλές στροφές.
- Το ελάχιστο πλάτος τροχιάς θα είναι 4,5 μέτρα.

Μεταξύ των οχημάτων που κατάφεραν να τερματίσουν, βαθμολογείται ο συνολικός τους χρόνος.



Οικονομία καυσίμου (Fuel economy)

Η δοκιμασία της οικονομίας καυσίμου, αφορά την κατανάλωση καυσίμου κάθε μονοθέσιου. Γίνεται σε συνδυασμό με αγώνισμα της αντοχής. Μετά το τέλος της αντοχής, μετράται η κατανάλωση κάθε οχήματος που τερμάτισε και έτσι προκύπτει η κατανάλωση ανά χιλιόμετρο. Η ομάδα με το πιο οικονομικό όχημα κερδίζει. Όπως γίνεται αντιληπτό ο διαγωνισμός κρίνει την ομάδα σε πολλά επίπεδα και ο σχεδιασμός ενός ανταγωνιστικού μονοθέσιου είναι εξαιρετικά πολύπλοκος, αφού υπάρχουν αντικρουόμενοι στόχοι. Το κάθε αγώνισμα έχει ένα συντελεστή βαρύτητας, οπότε η συνολική βαθμολογία προκύπτει ως εξής:

Static Events	Points	Dynamics Events	Points
Presentations	75	Acceleration	75
Engineering Design	150	Skid-Pad	50
Cost Analysis	100	Sprint	150
		Fuel Economy	50
		Endurance	350
		Total Points	1000

Πίνακας 1 Αναφορά βαθμών από κάθε αγώνισμα.

Αξίζει να σημειωθεί επίσης ότι στο συγκεκριμένο αγώνισμα, αναφέρεται στα αποτελέσματα των διαγωνισμών κάθε χρόνο ότι πολλές είναι οι ομάδες που δεν καταφέρνουν να φέρουν εις πέρας το εν λόγω αγώνισμα και έτσι δεν συλλέγουν βαθμούς από αυτό.



2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Οι αγώνες ράλι, που είχαν αρχίσει να αναπτύσσονται με γοργούς τη δεκαετία του '30, σαρώθηκαν από τη λαίλαπα του Β' Παγκοσμίου Πόλεμου, όπως και κάθε αθλητική δραστηριότητα στη γηραιά ήπειρο. Η Ευρώπη ήταν τότε η κυρίαρχη δύναμη στον μηχανοκίνητο αθλητισμό, όπως συμβαίνει εν πολλοίς και σήμερα.

Με γοργούς ρυθμούς μετά το τέλος του πολέμου άρχισε να συζητείται στους κόλπους της Διεθνούς Ομοσπονδίας Αυτοκινήτου (FIA) η διοργάνωση ενός ενιαίου πρωταθλήματος με κάποια κοινά χαρακτηριστικά. Το νέο σχέδιο ονομάστηκε Formula A, όπου Φόρμουλα αναφέρεται σ' ένα σύνολο κανόνων, που πρέπει να τηρούνται από τις ομάδες, ενώ το A (1 αργότερα) αναφέρεται στις προδιαγραφές των αυτοκινήτων που παίρνουν μέρος στο πρωτάθλημα.

Την 1η Σεπτεμβρίου 1946 έγινε ο πρώτος δοκιμαστικός αγώνας Φόρμουλα 1 (Formula 1) στο Τορίνο, υπό την επωνυμία Βαλεντίνο Γκραν Πρι.

- Στις 2 Οκτωβρίου 1947 η FIA παίρνει την οριστική απόφαση να διοργανώσει ένα αγώνα Φόρμουλα 1, αρχής γενομένης από το 1950. Ο πρώτος αγώνας του Παγκοσμίου Πρωταθλήματος διεξάγεται στις 13 Μαΐου 1950 στο Σίλβερστοουν. Τα αυτοκίνητα είναι μεταλλικά, με τον κινητήρα εμπρός και τους τροχούς ακάλυπτους και έχουν μέγιστο κυβισμό τα 4500 κ.ε. για ατμοσφαιρικούς κινητήρες και 1500 κ.ε. για τους υπερτροφοδοτούμενους. Οι περισσότεροι αγώνες διαρκούν 500 χιλιόμετρα ή 5 ώρες και επιτρέπεται η αλλαγή οδηγών.
- Το 1954 θεσπίζονται νέοι κανονισμοί, οι οποίοι θα ισχύσουν μέχρι το 1960. Ο μέγιστος κυβισμός καθορίζεται στα 2500 κ.ε. για τους ατμοσφαιρικούς κινητήρες και τα 750 κ.ε. για του υπερσυμπιεζόμενους. Το 1958 καθιερώνεται η χρήση βενζίνης αντί των καυσίμων αλκοόλης και μειώνεται το μήκος των αγώνων από τα 500 χλμ. ή τρεις ώρες σε 300 χλμ. ή δύο ώρες



- Στις 4 Ιουνίου 1967 παρουσιάζεται στο ολλανδικό Γκραν Πρι ο κινητήρας V8 Cosworth, ο οποίος για τα επόμενα 16 χρόνια θα είναι ο κυρίαρχος. Ο μέγιστος κυβισμός καθορίζεται στο 1,5 λίτρο, που θα ισχύσει ως το 1965. Ένα χρόνο αργότερα ανεβαίνει στα 3,5 λίτρα και με μικρές εναλλαγές διαρκεί μέχρι και σήμερα.
- Τη δεκαετία του '70, Lotus και Ferrari μοιράζονται τα πρωταθλήματα κατασκευαστών, ενώ οι αγγλοσάξονες εξακολουθούν να κυριαρχούν στο πρωτάθλημα οδηγών.
- Τη δεκαετία του '80 κυριαρχούν οι McLaren και Williams, ενώ στους οδηγούς Γάλλοι και Βραζιλιάνοι κάνουν αισθητή την παρουσία τους.
 - Η πρώτη δεκαετία του 21ου αιώνα ανήκει στον Michael Schumacher και τη Ferrari.

Η Φόρμουλα 1 είναι σήμερα μια ιδιαίτερα επικερδής επιχείρηση θεάματος, η οποία προσελκύει χιλιάδες θεατές στις πίστες και δισεκατομμύρια τηλεθεατές. Μα πάνω απ' όλα, παραμένει ένα πεδίο δοκιμών για την εξέλιξη και την ασφάλεια της αυτοκίνησης.

Η συνεχής ζήτηση για μεγαλύτερες επιδόσεις, καθώς και ο τρομερός ανταγωνισμός μεταξύ των ομάδων και των μηχανικών δημιούργησε την ανάγκη για μικρότερους διαγωνισμούς που θα προετοιμάσουν τους νέους μηχανικούς, για μια καριέρα ανάμεσα στις μεγαλύτερες ομάδες του χώρου. Πρώτη η Κοινότητα των Μηχανολόγων Οχημάτων SAE το 1981 θεσπίζει και ξεκινάει το πρόγραμμα Formula SAE

- Το 1998 - Τρία αμερικανικά αυτοκίνητα και τέσσερα αυτοκίνητα του Ηνωμένου Βασιλείου συναγωνίστηκαν σε μια επίδειξη στο Ηνωμένο Βασίλειο, η οποία πραγματοποιήθηκε στο MIRA Proving Ground, Warwickshire. Οι UT Arlington (ΗΠΑ) ήταν οι γενικοί νικητές με το Πανεπιστήμιο του Μπέρμιγχαμ να κατέχει την πρώτη θέση για τις ομάδες του Ηνωμένου Βασιλείου.

Το Ινστιτούτο Μηχανολόγων Μηχανικών iMechE δέχθηκε τη διαχείριση του ευρωπαϊκού εγχειρήματος σε συνεργασία με το SAE και ο διαγωνισμός πραγματοποιήθηκε στο τέλος κάθε ακαδημαϊκού έτους από τότε.



- 1999 - Η εκδήλωση πραγματοποιήθηκε στο Εθνικό Εκθεσιακό Κέντρο (NEC) στο Μπέρμιγχαμ, με το Ινστιτούτο Τεχνολογίας του Ρότσεστερ (Η.Π.Α.) να πάρει τη συνολική νίκη και το Πανεπιστήμιο του Λιντς να σημειώνει την κορυφαία θέση των ομάδων του Ηνωμένου Βασιλείου.
- 2000 - Η CSU Pomona (ΗΠΑ) πήρε τη γενική νίκη στο NEC, με το Πανεπιστήμιο Brunel να σημειώνει την κορυφή των ομάδων του Ηνωμένου Βασιλείου.
- 2001 - Η Georgia Tech (Η.Π.Α.) πήρε τη γενική νίκη στο NEC, με το Πανεπιστήμιο του Λιντς να σημειώνει την κορυφή των ομάδων του Ηνωμένου Βασιλείου.
- 2002 - Η εκδήλωση μεταφέρθηκε στο Bruntingthorpe, Leicestershire. Η Georgia Tech (ΗΠΑ) πήρε την πρώτη θέση για δεύτερη συνεχή χρονιά και ο Brunel πήρε τη νίκη για τις ομάδες του Ηνωμένου Βασιλείου.

Η πρώτη δοκιμασία με οδηγό πραγματοποιήθηκε στο Wigan. Ήταν ανοιχτή σε όλες τις ομάδες που είχαν τελειώσει την κατασκευή των αυτοκινήτων FS και ήθελαν να εξασκήσουν στην πίστα πριν από το κύριο γεγονός τον Ιούλιο.

- 2003 - Το Πανεπιστήμιο του Τορόντο (Καναδάς) πήρε τη γενική νίκη, με το Πανεπιστήμιο Oxford Brookes να κατέχει την πρώτη θέση για τις ομάδες του Ηνωμένου Βασιλείου.
- 2004 - Το Πανεπιστήμιο RMIT (Αυστραλία) ήταν η κορυφαία ομάδα βαθμολογίας, με το Πανεπιστήμιο Oxford Brookes να οδηγεί τις ομάδες του Ηνωμένου Βασιλείου για δεύτερη συνεχή χρονιά.
- 2005 - Το Πανεπιστήμιο του Τορόντο (Καναδάς) πήρε τη γενική νίκη, με το Πανεπιστήμιο του Hertfordshire να κατέχει την πρώτη θέση για τις ομάδες του Ηνωμένου Βασιλείου.

Χρονιά που ο διαγωνισμός εγκρίθηκε από το Learning Grid, και χρηματοδοτήθηκε από το σωματείο Motorsport Development UK για να προωθήσει τη μηχανική και να ενθαρρύνει τους μαθητές να επιλέξουν μια σταδιοδρομία στον κλάδο.

- Το ετήσιο πρόγραμμα των εκδηλώσεων FS διευρύνθηκε. Μάθετε να κερδίζετε πραγματοποιήθηκε στο Silverstone τον Οκτώβριο του 2005, ενσωματώνοντας σεμινάρια μιας μέρας για νέες ομάδες για να μάθουν πώς να κατασκευάσουν τα αυτοκίνητά τους και να αποδίδουν καλά στο τέλος του έτους, καθώς και



κατάρτιση οδηγών, ώστε να δοθεί στις ομάδες η ευκαιρία να πάρουν την προηγούμενη χρονιά αυτοκίνητα στο κύκλωμα.

Οι περιφερειακές ομάδες διοργάνωσαν επίσης εκδηλώσεις σχετικές με το FS, όπως παρουσιάσεις και διαλέξεις πανεπιστημιακών ομάδων.

Την πρώτη ομιλία στην εκδήλωση και το έναυσμα της διοργάνωσης έδωσε ο Ross Brawn, πρώην τεχνικός διευθυντής της Scuderia Ferrari.

- 2006 - Πανεπιστήμιο του Τορόντο (Καναδάς) πήρε τη νίκη για δεύτερη συνεχή χρονιά, με το Πανεπιστήμιο Oxford Brookes να πάρει πίσω το στέμμα για τις ομάδες του Ηνωμένου Βασιλείου.

Ο Ross Brawn έγινε πρεσβευτής του διαγωνισμού Formula Student.

- 2007 - Ιούλιος 2007 πραγματοποιήθηκε η εκδήλωση στο Silverstone Circuit, Northampton. Οι μαθητές δούλεψαν στα αυτοκίνητά τους στα γκαράζ που χρησιμοποιούσαν οι ομάδες Grand Prix μόλις μια εβδομάδα πριν! Τα δυναμικά γεγονότα του διαγωνισμού διεξήχθησαν στη συνέχεια στο περίφημο Εθνικό Κύπελλο.
- 2008 - Εισήχθη η κατηγορία 1A. Αυτή η συναρπαστική νέα κατηγορία, υποστηριζόμενη από την Flybrid Systems και υποστηριζόμενη από το EEMS, ευνόησε τη χαμηλή περιεκτικότητα σε CO₂ των καυσίμων και τη μικρότερη χωρητικότητα του κινητήρα.
- 2009 - Ο Damon Hill OBE, παρακολούθησε το live event στο Silverstone.

Το Πανεπιστήμιο της Στουτγάρδης (Γερμανία) διατήρησε τον τίτλο του με το Πανεπιστήμιο του Bath να κατέχει την πρώτη θέση για τις ομάδες του Ηνωμένου Βασιλείου για ένα ρεκόρ τριών ετών.

- 2010 - Ο Bob Bell (Διευθύνων Σύμβουλος Τεχνικών Υποχρεώσεων) έγινε πρέσβης της FS.

TU Μόναχο (Γερμανία) ήταν συνολικά νικητές και το Πανεπιστήμιο του Hertfordshire πήρε την τιμή για τις ομάδες του Ηνωμένου Βασιλείου.



Ένα πρότυπο ηλεκτρικό κιβώτιο FS αναπτύχθηκε για όλες τις ομάδες κλάσης 1A, οι οποίες μετρούν το ρεύμα και την τάση που διέρχεται μεταξύ του ηλεκτρικού χώρου αποθήκευσης (μπαταρίας) και του κινητήρα (ών) ηλεκτροκίνητων οχημάτων, ηλεκτρικής κατανάλωσης οχημάτων κατά τη διάρκεια του συμβάντος αντοχής. Η συσκευή λειτουργεί επίσης ως καταγραφέας δεδομένων για την καταγραφή πληροφοριών.

- 2011 - Ο James Allison (Μηχανικός της Ferrari) έγινε πρέσβης της FS.

Το Πανεπιστήμιο της Στουτγάρδης (Γερμανία) διατήρησε τον τίτλο του με το Πανεπιστήμιο του Hertfordshire να κατέχει την πρώτη θέση για τις ομάδες του Ηνωμένου Βασιλείου για το δεύτερο έτος.

- 2012 - Η κλάση 1A και η κλάση 1 συγχωνεύονται. οι συμβατικές μηχανές καύσης ανταγωνίζονται πλέον κεφαλές με ηλεκτρικά και άλλα εναλλακτικά καύσιμα οχήματα.
- Το Πανεπιστήμιο Chalmers (Σουηδία) κέρδισε τη συνολική νίκη και το Πανεπιστήμιο Oxford Brookes ήταν η κορυφαία ομάδα του Ηνωμένου Βασιλείου.

2013 - Οι Leena Gade (μηχανικός της FIA και ο Paddy Lowe (μηχανικός Williams Martini) έγιναν πρεσβευτές της FS.

- Το ETH Zurich (Ελβετία) κέρδισε τον συνολικό τίτλο και το Πανεπιστήμιο του Χάντερσφιλντ πήρε την εναρκτήρια θέση του στο Ηνωμένο Βασίλειο.
- 2014 - TU Delft (Ολλανδία) πήρε τη νίκη με την Oxford Brookes κορυφή της Βρετανίας leaderboard.
- 2015 - Ο David Brabham (οδηγός αγώνων) έγινε Πρεσβευτής της FS.
- Η TU Delft (Ολλανδία) πήρε τη δεύτερη συνεχόμενη νίκη στο διαγωνισμό και η University of Bath ήταν η κορυφαία ομάδα του Ηνωμένου Βασιλείου.
- 2016 - Το Πανεπιστήμιο της Στουτγάρδης (Στουτγάρδη) αποκαταστήσει το στέμμα και το Πανεπιστήμιο του Bath διατηρεί την πρώτη θέση στο Ηνωμένο Βασίλειο.
- 2017 - Οι Cardiff Racing παίρνουν τον τίτλο με τη μηχανή καύσης τους "Gwyneth" και έχουν στεφθεί τους εναρκτήριους Βρετανούς νικητές του FSUK
- **2018 - Η 20η επέτειος!**



2.1 ΣΧΕΤΙΚΑ PROJECTS

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αναφορά και παρουσίαση σχετικών Projects ομάδων που αδιαμφισβήτητα έχουν γίνει γνωστές στον χώρο τόσο για τις μεγάλες επιτυχίες τους και τις πολυάριθμες νίκες, όσο και για τις καινοτομίες που εφάρμοσαν κάνοντας τον κόσμο της αυτοκίνησης πλουσιότερο. Οι ομάδες οι οποίες θα παρουσιαστούν είναι οι AMZ (ETH Zurich) , FS Team Tallinn (Tallinn University of Technology – Tallinn University of Applied Sciences), RennTeam Uni Stuttgart (University of Stuttgart).

AMZ – Πανεπιστήμιο Ζυρίχης.

Η ονομασία της ομάδας αυτής αποτελεί αρκτικόλεξο των Academic Motorsports Club Zurich (AMZ Zurich). Όπως γίνεται κατανοητό και από την ονομασία, έδρα της ομάδας αυτής αποτελεί η Ζυρίχη της Ελβετίας, ιδρύθηκε το 2006 και αποτελεί την πρώτη Ελβετική ομάδα που έλαβε συμμετοχή στο διαγωνισμό Formula Student. Πλέον στην ομάδα της AMZ δραστηριοποιούνται φοιτητές όχι μόνο του ETH Zurich αλλά και του Hochschule Luzern.

Μεταξύ των ετών 2006 – 2010 η ομάδα κατασκεύασε τρία μονοθέσια για το διαγωνισμό Formula Student με κινητήρες εσωτερικής καύσης, ενώ από το 2010 και έπειτα προχώρησε και στην κατασκευή ηλεκτροκίνητων μονοθέσιων. Για την κατασκευή των δύο οχημάτων (ηλεκτροκινητήρα – ΜΕΚ) υπάρχουν δύο ομάδες οικονομικά ανεξάρτητες μεταξύ τους. Η ομάδα AMZ αποτελείται από παθητικά και ενεργητικά μέλη. Τα ενεργά μέλη σχεδιάζουν, μελετούν και εργάζονται πάνω στο αγωνιστικό όχημα για την επικείμενη σεζόν Formula Student, ενώ τα παθητικά μέλη αποτελούνται ως επί το πλείστον από τους λεγόμενους «βετεράνους». Οι βετεράνοι είναι φοιτητές που έχουν συμμετάσχει στον διαγωνισμό με την ίδια ομάδα για τουλάχιστον ένα έτος κατά το παρελθόν. Ο ρόλος αυτών είναι να βοηθή την «κεντρική» ενεργητική ομάδα με τις γνώσεις και την εμπειρία τους.



FS Team Tallinn – Πανεπιστήμιο Ταλίν.

Αποτελεί την μοναδική ομάδα Formula Student της Εσθονίας και ιδρύθηκε το 2006 από φοιτητές των πανεπιστημίων Tallinn University of Technology και Tallinn University of Applied Sciences. Έδρα και των δύο πανεπιστημίων είναι όπως γίνεται σαφές από την ονομασία το Ταλίν, δηλαδή η πρωτεύουσα της Εσθονίας. Κατά την συμμετοχή της στα διάφορα πρωταθλήματα Formula Student η ομάδα του Ταλίν έχει χρησιμοποιήσει τόσο κινητήρες εσωτερικής καύσης όσο και με ηλεκτροκινητήρες με τους δεύτερους να χρησιμοποιούνται αποκλειστικά σήμερα από την ομάδα.

RennTeam Uni Stuttgart – Πανεπιστήμιο Στουτγάρδης.

Η RennTeam αποτελεί την ομάδα του πανεπιστημίου της Στουτγάρδης όπως γίνεται κατανοητό και από το όνομα. Η ίδρυση της ομάδας έγινε το 2005 και από τότε μέχρι σήμερα αποτελεί μια από τις πιο επιτυχημένες ομάδες σε κάθε κατηγορία τόσο σε επίπεδο ευρωπαϊκό όσο και παγκόσμιο. Σύνθημα της ομάδας είναι "Complete, Finish, Win", δηλαδή ολοκληρώστε το έργο, τερματίστε, νικήστε. Η αγάπη για τον μηχανοκίνητο αθλητισμό είναι το κίνητρο των μελών της ομάδας αλλά και αυτό που τους ενώνει. Η ομάδα αποτελείται από ενθουσιώδεις άτομα για τον μηχανοκίνητο αθλητισμό που θέλουν να προκαλέσουν τους εαυτούς τους και να επιτύχουν τους στόχους που έχουν θέσει για τον εαυτό τους. Μέχρι σήμερα η ομάδα έχει κατασκευάσει 13 οχήματα με ηλεκτροκινητήρες ή κινητήρα εσωτερικής καύσης.

Η ομάδα αποτελείται από πέντε υποομάδες και το τριμελές όργανο διοίκησης. Κάθε μέλος της ομάδας έχει μια συγκεκριμένη λειτουργία στην ομάδα για ένα χρόνο, ώστε να μπορεί να μάθει τις διεπιστημονικές μεθόδους εργασίας που χρησιμοποιούνται συνήθως στη βιομηχανία ενώ έπειτα μπορεί να προσφέρει τις γνώσεις του στην ομάδα όταν αυτό απαιτείται χωρίς να ανήκει όμως πλέον στην βασική ομάδα. Στην τρέχουσα περίοδο, συμμετέχουν στο έργο 45 μαθητές με ποικίλες ειδικότητες (μηχανολογία, τεχνολογία οχημάτων και κινητήρων, αεροδιαστημική, τεχνική κυβερνητική, τεχνολογική διαχείριση, διοίκηση επιχειρήσεων, οικονομία). Όλοι είναι από κοινού υπεύθυνοι για τη σύλληψη της ιδέας, το σχεδιασμό και την κατασκευή του δέκατου τρίτου αγωνιστικού οχήματος της ομάδας: το F0711-13.



Texas A&M University – Πανεπιστήμιο Τέξας.

Το Texas A & M FSAE έχει ένα ισχυρό ιστορικό νίκης. Από το πρωτοεμφανιζόμενο έτος της ομάδας στο διαγωνισμό το 1999, στο οποίο η Texas A & M στέφθηκε με τον τίτλο Rookie of the Year, έχουν καταλάβει έξι πρώτες θέσεις, δύο δεύτερες θέσεις,, το βραβείο Honda για το Top Dynamic Performance το 2006 και το 2007 τους Πρωταθλητές του Triathlon Road & Track το 2004, το 2005 και το 2006. Η ομάδα σήμερα παραμένει μια από τις ισχυρότερες στις Ηνωμένες Πολιτείες συνεχίζοντας να παρουσιάζει νίκες και καινοτομίες στο χώρο του Formula student αλλά και της αυτοκίνησης.

Το πρόγραμμα FSAE στο Πανεπιστήμιο Texas A & M προσφέρει στους φοιτητές μηχανικών την ευκαιρία να συμμετέχουν σε μια ομάδα που σχεδιάζει, κατασκευάζει, δοκιμάζει και, τελικά, ανταγωνίζεται με ένα μικρό αγωνιστικό αυτοκίνητο τύπου formula. Αυτό επιτρέπει στους μαθητές να μάθουν διεξοδικά τις αρχές του σχεδιασμού, της διαχείρισης του έργου, των επιχειρήσεων και της μηχανικής, προκειμένου να τις εφαρμόσουν για την κατασκευή ενός αγωνιστικού αυτοκινήτου. Μετά από μια διαδικασία υποβολής αιτήσεων, επιλέγονται περίπου 20 ανώτεροι σπουδαστές μηχανικών στην αρχή κάθε χειμερινού εξαμήνου. Η ομάδα σχεδιάζει το αυτοκίνητο κατά τη διάρκεια του χειμερινού εξαμήνου και το κατασκευάζει κατά τη διάρκεια του εαρινού. Μόλις κατασκευαστεί το αυτοκίνητο, δοκιμάζεται αυστηρά μέχρι να φτάσει σε σημείο τέτοιο που να μπορεί να λάβει συμμετοχή στο διαγωνισμό Formula student καθώς και να είναι αρκετά ανταγωνιστικό. Η ομάδα έχει χωριστεί σε πέντε υποομάδες: αεροδυναμική, πλαίσιο, μετάδοση κίνησης, ηλεκτρικά - κινητήρας και ανάρτηση. Η ομάδα διαθέτει επίσης ξεχωριστή ομάδα οδηγών που επικεντρώνεται στην ανάπτυξη δεξιοτήτων προκειμένου να αντλήσει τα μέγιστα από το αυτοκίνητο στο διαγωνισμό.



3. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Στο παρόν κεφάλαιο θα ακολουθήσει μια εισαγωγική περιγραφή των κυρίων μερών και λειτουργιών του συγκριμένου μονοθέσιου οχήματος τύπου Formula Student. Πιο συγκεκριμένα, θα αναλυθούν οι βασικές αρχές, η νομοθεσία, και τα κριτήρια για την κατασκευή και επιλογή τόσο των μηχανικών όσο και των ηλεκτρικών - ηλεκτρονικών τμημάτων του οχήματος. Τμήματα όπως το πλαίσιο – σασί, το σύστημα διεύθυνσης, η ανάρτηση και τα ψαλίδια, το σύστημα μετάδοσης, καθώς και τα ηλεκτρικά χαμηλής και υψηλής τάσης τα οποία υπάρχουν πάνω στο όχημα, θα διατυπωθούν με όσο το δυνατό μεγαλύτερη λεπτομέρεια σύμφωνα με τις πρότυπες οδηγίες του FSAE Rules για το έτος 2017-2018.

3.1 ΠΛΑΙΣΙΟ - ΣΑΣΙ

3.1.1 ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ

Για την σωστή μελέτη και διατύπωση των κανονισμών που αφορούν την κατασκευή του πλαισίου του οχήματος θα πρέπει πρώτα να επεξηγηθούν οι βασικοί ορισμοί που ορίζει ο διαγωνισμός. [1]

Ορισμοί:

- **Main Hoop:** Κύριο διάφραγμα ή αλλιώς κλειστή επίπεδη διαμόρφωση που βρίσκεται δίπλα ή ακριβώς πίσω από τον οδηγό.
- **Front Hoop:** Εμπρόσθιο διάφραγμα ή αλλιώς κλειστή επίπεδη διαμόρφωση που βρίσκεται πάνω από τα πόδια του οδηγού κοντά στο τιμόνι.
- **Roll Hoops:** Πλαϊνά διαφράγματα ή αλλιώς κλειστές επίπεδες διαμορφώσεις σωλήνων που σχηματίζουν και οριοθετούν το όχημα. Οριοθετούν την θέση του οδηγού (cockpit) και στόχος τους είναι η ασφάλεια του οδηγού σε περίπτωση ανατροπής του οχήματος.
- **Roll Hoop Bracing Supports:** Διαφράγματα στήριξης ή αλλιώς ράβδοι στήριξης των Roll Hoops, τόσο του Main, όσο και του Front.
- **Primary Structure:** Η βασική (κεντρική) δομή του σκελετού η οποία αποτελείται από τα ακόλουθα στοιχεία του Frame: 1) Main Hoop 2) Front Hoop 3) Roll Hoop Braces και Supports 4) Side Impact Structure 5) Front Bulkhead 6) Front Bulkhead Support System και 7) όλα τα μέλη του πλαισίου και οι στηρίξεις που μεταφέρουν τις φορτίσεις από το σύστημα συγκράτησης του οδηγού (Driver's Restraint System) από τα στοιχεία 1 έως 6.



- **Side Impact Structure:** Διάφραγμα θέσης οδήγησης ή αλλιώς η δομή του σκελετού στις δύο πλαϊνές πλευρές του οχήματος που εκτείνεται από το πάτωμα του οχήματος έως και 350mm (13,8in) πάνω από το έδαφος και από το Front Hoop πίσω στο Main Hoop.
- **Front Bulkhead:** Προστατευτικό διάφραγμα ή αλλιώς μια επίπεδη κατασκευή που καθορίζει το μπροστινό επίπεδο του σκελετού και έχει ως στόχο την προστασία των ποδιών του οδηγού. Πάνω του στηρίζεται ο προφυλακτήρας (Impact Attenuator) και η μεταλλική πλάκα που δρα ως στήριξη του προφυλακτήρα (Anti-Intrusion Plate).
- **Back Bulkhead:** Οπίσθιο διάφραγμα ή αλλιώς διάφραγμα που καθορίζει το τελικό επίπεδο του σκελετού. Δεν ορίζεται από τους κανονισμούς, ωστόσο αναφέρεται με αυτόν τον τρόπο σε αυτήν την εργασία.

3.1.2 ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΥΛΙΚΩΝ

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του πλαισίου (αλλά και των επιμέρους στοιχείων) διέπονται από κανονισμούς ιδιαίτερα αυστηρούς και απαιτητικούς για τα συνήθη μεταλλικά υλικά κατασκευών. Βέβαια, παρέχεται μεγαλύτερη ελευθερία επιλογών σε ομάδες που ενδιαφέρονται να πειραματιστούν και να αναπτύξουν υλικά πιο νέα και σύγχρονα καθώς και τη γεωμετρική μορφή τους.

Έτσι οι κανονισμοί χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία αφορά ομάδες οι οποίες θα κάνουν χρήση μεταλλικών υλικών και η δεύτερη στις ομάδες που αφορούν η χρήση σύνθετων υλικών. Τόσο στην πρώτη όσο και στην δεύτερη αναφέρονται αναλυτικά οι ελάχιστες απαιτήσεις που οφείλουν να πληρούνται από την κατασκευή.

Η ομάδα μας, έπειτα από έρευνες, κατέληξε στην χρήση μεταλλικών υλικών. Οι λόγοι για τους οποίους έγινε αυτή η επιλογή ήταν κυρίως οικονομικοί και τεχνικοί. Στους οικονομικούς λόγους κατατάσσονται το πολύ χαμηλό κόστος αγοράς της πρώτης ύλης, το χαμηλό κόστος επεξεργασίας και τελικής μορφοποίησής της. Όσον αφορά το τεχνικό μέρος, η επιλογή των μεταλλικών υλικών έγινε λόγω της ήδη υπάρχουσας υλικοτεχνικής υποδομής επεξεργασίας και μορφοποίησης των μετάλλων στους εργαστηριακούς χώρους του τμήματος καθώς και την τεχνογνωσία και γενική υποστήριξη. Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της χρήσης των μεταλλικών στοιχείων έναντι των σύνθετων.



Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<ul style="list-style-type: none"> Χαμηλό κόστος αγοράς πρώτων υλών 	<ul style="list-style-type: none"> Μεγαλύτερο βάρος
<ul style="list-style-type: none"> Χαμηλό κόστος επεξεργασίας 	<ul style="list-style-type: none"> Μικρότερη αντοχή
<ul style="list-style-type: none"> Εύκολη επεξεργασία 	<ul style="list-style-type: none"> Περιορισμένη χρήση

Πίνακας 2 Πλεονεκτήματα μεταλλικών στοιχείων έναντι συνθετικών.

- Μεταλλικά υλικά

Αντικείμενα ή Εφαρμογές	Εξωτερική διάμετρος X Πάχος τοιχώματος
Κύριο και εμπρόσθιο διάφραγμα	Κυκλική διατομή: 1,0inch (25,4mm) X 0.095inch (2.4mm) Κυκλική διατομή: 25mm X 2.5mm
Διάφραγμα θέσης οδήγησης, προστατευτικό διάφραγμα, διαφράγματα θέσης οδήγησης	Κυκλική διατομή: 1,0inch (25,4mm) X 0.065inch (1,65mm) Κυκλική διατομή: 25mm X 1.75mm Κυκλική διατομή: 25.4mm X 1.60mm Τετραγωνική διατομή: 1,00inch X 1.00inch X 0.047inch Τετραγωνική διατομή: 25.0mm X 25.0mm X 1.20 mm
Προστατευτικό διάφραγμα, κύριο διάφραγμα, οπίσθιο διάφραγμα	Κυκλική διατομή: 1,0inch (25,4mm) X 0.047inch (1.20mm) Κυκλική διατομή: 25.0mm X 1.5mm Κυκλική διατομή: 25,0mm X 1.2mm
Εμπρόσθιο διάφραγμα – πλαϊνό διάφραγμα	Κυκλική διατομή: 1,375inch (35mm) X 0.047inch (1.20mm)

Πίνακας 3 Επιτρεπόμενες διαστάσεις στρόγγυλων σωλήνων.

Ο σκελετός ή αλλιώς το σασί του οχήματος μπορεί να είναι κατασκευασμένο από σωλήνες κυκλικής διατομής, καθαρού ή κραματωμένου χάλυβα (κατά το ελάχιστο 0,1% περιεκτικότητα σε άνθρακα), με διαστάσεις, αυτές που δίνονται στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 7).

Είναι εφικτό να χρησιμοποιηθούν μεταλλικοί σωλήνες εναλλακτικών διατομών (πέρα από την κυκλική), διατάσεων ή και υλικών (μεταλλικών πάντα) από αυτούς που δίνονται στον πίνακα. Ένας περιορισμός είναι ότι το κύριο διάφραγμα καθώς και τα στηρίγματα του οφείλουν να είναι από χάλυβα με απαγορευτική την χρήση του αλουμινίου, τιτανίου ή κάποιου άλλου σύνθετου υλικού. Ενώ μια επιλογή εναλλακτικών σωληνώσεων επιβάλλει στην σύνταξη εγγράφου ισοδυναμίας (Structural Equivalency Form ή SEF). Με αυτό το έγγραφο, οι ομάδες υποβάλουν υπολογισμούς για το υλικό το οποίο έχουν επιλέξει αποδεικνύοντας ισοδυναμία με τις ελάχιστες απαιτήσεις. (Παραρτήματα)



Η ισοδυναμία αφορά το όριο διαρροής και την μέγιστη αντοχή του υλικού στην περίπτωση του εφελκυσμού της κάμψης και του λυγισμού ακόμη και το γινόμενο του μέτρου ελαστικότητας E με την ελάχιστη ροπή I αδράνειας στον ασθενέστερο άξονα) αλλά και την σκέδαση της ενέργειας. Τέλος, οι σωλήνες δεν μπορούν να έχουν μικρότερο πάχος από τις ελάχιστες απαιτήσεις που δίνονται στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 8).

Υλικό και εφαρμογή	Ελάχιστο πάχος τοιχώματος
Σωλήνες χάλυβα για το εμπρόσθιο και κύριο διάφραγμα και διαφράγματα στήριξης.	2,00mm (0.079 inch)
Σωλήνες χάλυβα για τα διαφράγματα στήριξης, διαφράγματα θέσης οδήγησης, πλαϊνά διαφράγματα, προστασία ηλεκτρονικών διατάξεων.	1,2mm (0.047 inch)

Πίνακας 4 Επιτρεπόμενες διαστάσεις συνθετικών σωλήνων.

Είναι προφανές ότι για να διατηρηθεί το γινόμενο μέτρου ελαστικότητας με την ροπή αδράνειας με λεπτότερο σωλήνα, η εξωτερική διάμετρος θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη. Επιπλέον για να διατηρηθεί η αντοχή σε εφελκυσμό του σωλήνα των κανονισμών θα πρέπει να διατηρηθεί και το εμβαδόν A της διατομής του . Σε περίπτωση ορθογωνικής διατομής οι ροπές αδράνειας στους άξονες του επιπέδου της διατομής του σωλήνα δεν είναι ίσες. Οπότε, δίνεται έμφαση στην ελάχιστη ροπή.

- Συνθετικά Υλικά (Composite Materials) [1]

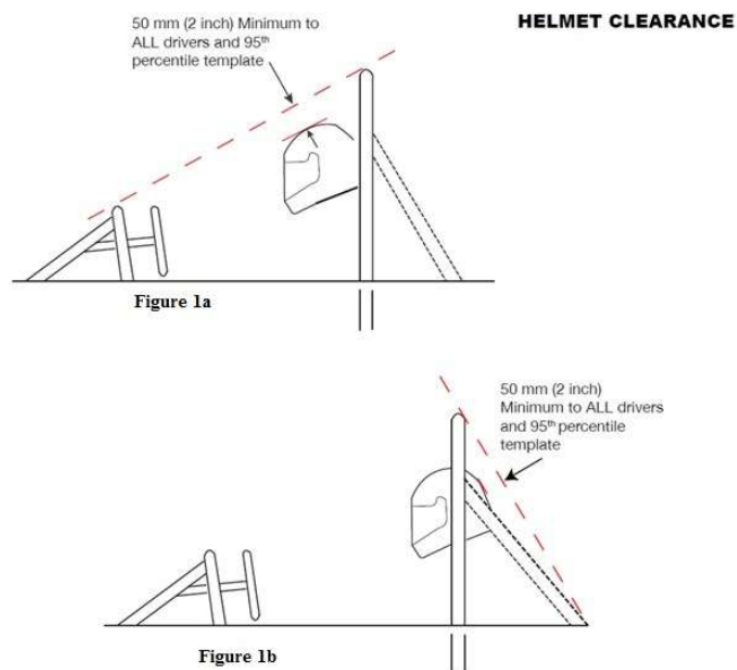
Εάν χρησιμοποιηθούν σύνθετα υλικά, τότε η ομάδα οφείλει να παρουσιάσει έγγραφα για την αγορά, τον τύπο και την ποιότητα των υλικών, καθώς και τις ιδιότητες αυτών. Επίσης, οφείλει να παρουσιάσει στοιχεία από τον τρόπο χρήσης των υλικών, όπως για την παράδειγμα, τεχνική επίστρωσης των υλικών και τις ρητίνες που θα χρησιμοποιηθούν. Τέλος, η ομάδα οφείλει να συντάξει και πάλι ένα έγγραφο ισοδυναμίας πού είναι πιο πολύπλοκο από αυτό των εναλλακτικών μεταλλικών υλικών. Σε περίπτωση που συνδυαστούν η χρήση μεταλλικών και σύνθετων υλικών στην κατασκευή του πλαισίου, αν τηρούνται όλοι οι κανόνες για το μεταλλικό πλαίσιο και επιπρόσθετα τοποθετούνται τα σύνθετα υλικά είναι προφανές πως δεν είναι απαραίτητη η σύνταξη εγγράφου ισοδυναμίας.



3.1.3 ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΚΥΡΙΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΠΛΑΙΣΙΟΥ

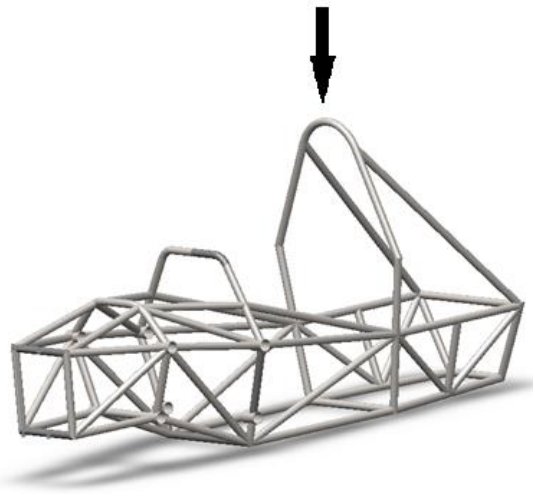
Τα πλαϊνά διαφράγματα είναι οι βασικές δομές που βρίσκονται μπροστά και πίσω από τον οδηγό και αποτρέπουν τα χέρια και τα κεφάλια του οδηγού από την επαφή με το έδαφος σε περίπτωση ανατροπής του οχήματος. Μαζί με την πλευρική δομή του οδηγού σχηματίζουν το χώρο του οδηγού. Έτσι είναι σημαντικό να σχεδιάζονται με προσοχή ώστε να διασφαλίζουν την ασφάλεια του σώματος του οδηγού. Οι γενικοί κανόνες που πρέπει να ισχύουν είναι οι παρακάτω:

Το κράνος κάθε οδηγού της ομάδας πρέπει να βρίσκεται τουλάχιστον 50,8mm (2inches) κάτω από την επαπτόμενη των δύο διαφραγμάτων, την νοητή ευθεία, δηλαδή, που ενώνει τα υψηλότερα σημεία των κυριών και εμπρόσθιων διαφραγμάτων. Επίσης πρέπει να βρίσκεται τουλάχιστον 50,8 χιλιοστά (2inches) κάτω από την νοητή ευθεία που ενώνει το υψηλότερο σημείο του κύριου διαφράγματος με το κατώτερο άκρο του διαφράγματος θέσης οδήγησης. Η παρακάτω εικόνα βοηθάει στην κατανόηση αυτού του κανονισμού.[1]



Εικόνα 8 Επιτρεπόμενες αποστάσεις προστασίας οδηγού.

- Κύριο διάφραγμα

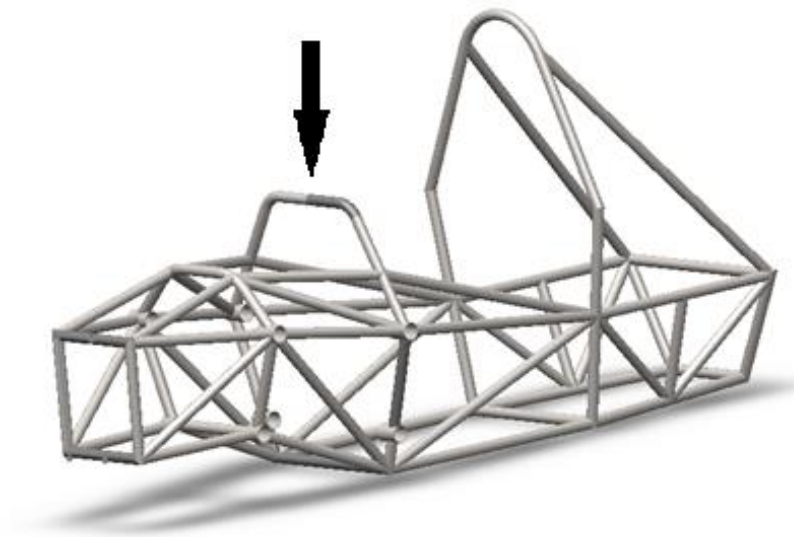


Εικόνα 9 Κύριο διάφραγμα πλαισίου.

Το κύριο διάφραγμα πρέπει να κατασκευάζεται από έναν μονοκόμματο, κλειστής διατομής χαλύβδινο σωλήνα, πληρώντας τις γνωστές προδιαγραφές των υλικών. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, δεν επιτρέπεται η χρήση σωλήνων αλουμινίου, τιτανίου ή κάποιου άλλου σύνθετου υλικού. Το κύριο διάφραγμα οφείλει να εκτείνεται από το χαμηλότερο τμήμα (σωλήνα) του σκελετού στη μία πλευρά του πλαισίου ως το χαμηλότερο τμήμα από την άλλη πλευρά του πλαισίου. Δηλαδή, να ανεβαίνει, να περνάει πάνω από την θέση του οδηγού και να κατεβαίνει και πάλι. Το τμήμα του κύριου διαφράγματος που βρίσκεται πάνω από την βασική δομή μπορεί να έχει κλίση η οποία όμως δεν πρέπει να ξεπερνάει τις 10° από το κατακόρυφο επίπεδο. Στην μπροστινή όψη του οχήματος και στο σημείο όπου ενώνεται το κύριο διάφραγμα με την βασική δομή, το άνοιγμα πρέπει να είναι τουλάχιστον 380mm. Ο περιορισμός αυτός διασφαλίζει την προστασία και την άνεση της πλάτης του εκάστοτε οδηγού του οχήματος. Στην περίπτωση που η βασική δομή του σκελετού είναι από σύνθετα υλικά ο κανονισμός έχει συγκεκριμένες προδιαγραφές τόσο για το κύριο διάφραγμα όσο και για την σύνδεση του με το monocoque, ενώ και πάλι απαιτείται η ανάλυση ισοδυναμίας των δομών (SEF).



- Εμπρόσθιο διάφραγμα



Εικόνα 10 Εμπρόσθιο διάφραγμα πλαισίου.

Το εμπρόσθιο διάφραγμα πρέπει να κατασκευάζεται από μεταλλικό σωλήνα κλειστής διατομής. Οφείλει να εκτείνεται από το χαμηλότερο τμήμα (σωλήνα) του σκελετού στη μία πλευρά του πλαισίου, μέχρι το χαμηλότερο τμήμα στην άλλη πλευρά. Δηλαδή να ανεβαίνει, να περνάει πάνω από τα πόδια του οδηγού και να κατεβαίνει ξανά. Σε αντίθεση με το κύριο, το εμπρόσθιο διάφραγμα μπορεί με τις κατάλληλες ενισχύσεις και τριγωνοποιήσεις να διαμορφωθεί από τους περισσότερους του ενός σωλήνες. [1]

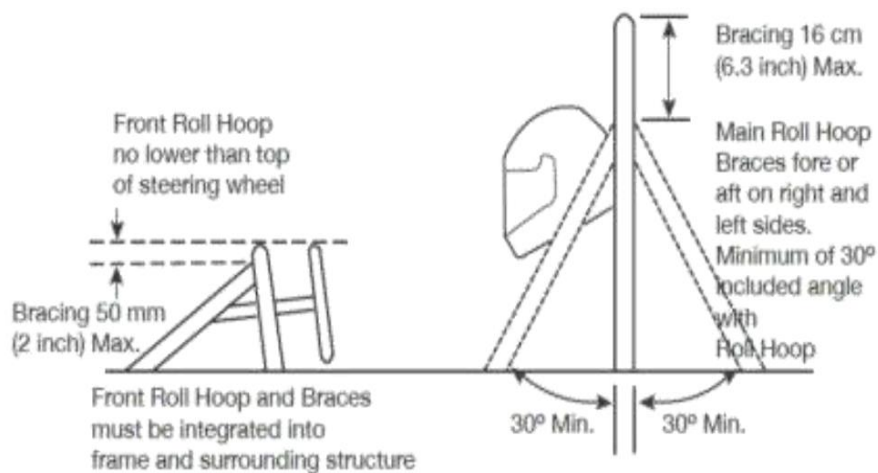


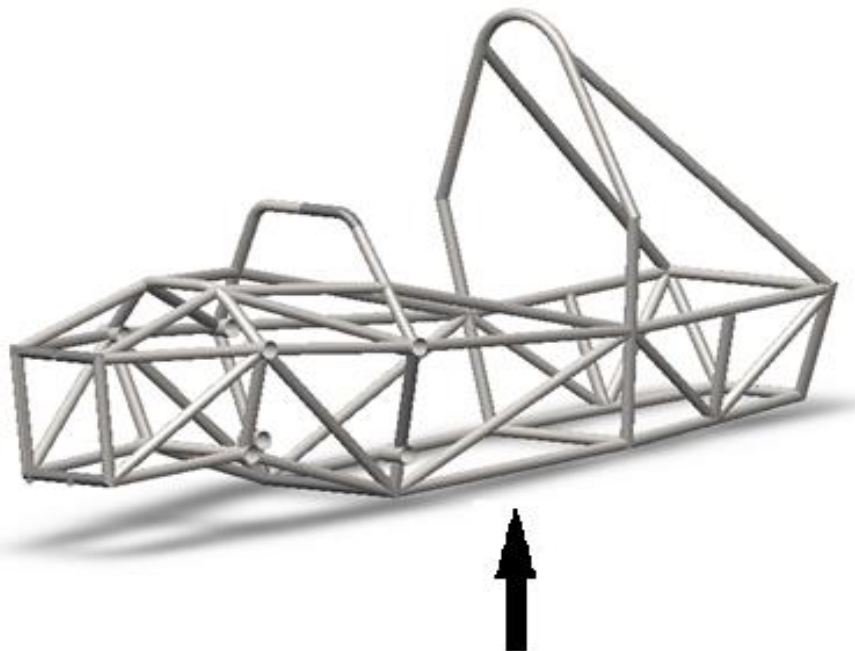
FIGURE 3

Εικόνα 11 Επιτρεπόμενες αποστάσεις στηριγμάτων κύριου διαφράγματος.



Το υψηλότερο σημείο του εμπρόσθιου διαφράγματος δεν πρέπει να βρίσκεται σε καμία περίπτωση χαμηλότερα από το υψηλότερο σημείο του τιμονιού για οποιαδήποτε γωνιακή θέση του τιμονιού. Το εμπρόσθιο διάφραγμα δεν πρέπει να βρίσκεται περισσότερο από 250 mm μπροστά από το τιμόνι. Αυτή η απόσταση μετράται οριζόντια, στην αξονική του οχήματος, από την πίσω επιφάνεια του εμπρόσθιου διαφράγματος μέχρι και την μπροστινή επιφάνεια της στεφάνης του τιμονιού, με το σύστημα διεύθυνσης να βρίσκεται σε ευθεία θέση. Ακόμα, στην πλάγια όψη του οχήματος, κανένα τμήμα του εμπρόσθιου διαφράγματος δεν μπορεί να έχει μεγαλύτερη κλίση από είκοσι μοίρες (20°) από το κατακόρυφο επίπεδο.

- Στηρίγματα κύριου διαφράγματος



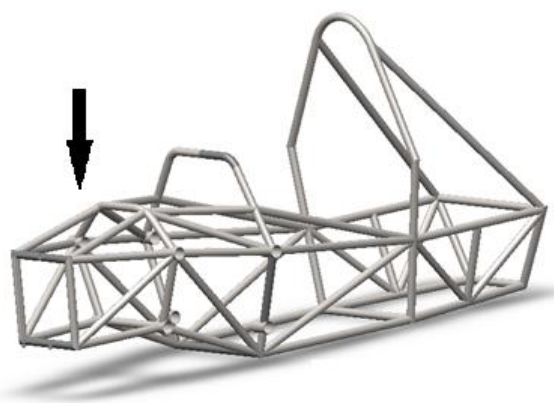
Εικόνα 12 Στηρίγματα κύριου διαφράγματος πλαισίου.

Τα στηρίγματα κύριου διαφράγματος πρέπει να κατασκευάζονται από χαλύβδινο σωλήνα κλειστής διατομής και πάντα σύμφωνα με τις προδιαγραφές των υλικών. Απαγορεύεται η χρήση αλουμινίου, τιτανίου ή κάποιου άλλου σύνθετου υλικού πλην του χάλυβα. Επίσης, το κύριο διάφραγμα πρέπει να στηρίζεται με δύο ράβδους στήριξης, από τη δεξιά και την αριστερή πλευρά του, οι οποίες μπορούν να βρίσκονται είτε μπρος είτε πίσω. Στην πλάγια, όμως όψη, εάν το κύριο διάφραγμα έχει κλίση προς κάποια πλευρά, τα στηρίγματα οφείλουν να έχουν την αντίθετη.



Τα δύο κύρια στηρίγματα πρέπει να συνδέονται με το κύριο διάφραγμα όσο ψηλότερα γίνεται, αλλά ποτέ χαμηλότερα από 160mm από το υψηλότερο σημείο του κύριου διαφράγματος. Επίσης, η περιεχόμενη γωνία μεταξύ του κύριου και των στηρίξεών του δεν μπορεί να είναι λιγότερη από 30°. Οι στηρίξεις πρέπει να είναι ίσοι σωλήνες καθώς δεν επιτρέπεται η καμπύλωση τους. Οι συνδέσεις των στηριγμάτων θα πρέπει να είναι ικανές να μεταφέρουν όλα τα πιθανά φορτία από το κύριο διάφραγμα στο κύριο μέρος του σκελετού. Επιπλέον, από το κατώτερο σημείου του στηρίγματος θα πρέπει να ξεκινάει τριγωνική δομή που θα καταλήγει στο κατώτερο σημείο του κύριου διαφράγματος. Τα στηρίγματα δεν πρέπει να φορτίζουν τον κινητήρα και άλλα εξαρτήματα του αυτοκινήτου, όπως το σύστημα μετάδοσης ισχύος ή την ανάρτηση.

- Στηρίγματα εμπρόσθιου διαφράγματος



Εικόνα 13 Στηρίγματα εμπρόσθιου διαφράγματος πλαισίου.

Τα υλικά για την κατασκευή των στηριγμάτων του εμπρόσθιου διαφράγματος, πρέπει να πληρούν τις ήδη γνωστές προδιαγραφές για τα υλικά. Το εμπρόσθιο διάφραγμα πρέπει να στηρίζεται με δύο ράβδους στήριξης, στη δεξιά και την αριστερή πλευρά, οι οποίες να έχουν διεύθυνση προς την εμπρός ώστε να προστατεύουν τα πόδια το οδηγού. Τα στηρίγματα πρέπει να ενώνονται όσο πιο κοντά στο υψηλότερο σημείο του εμπρόσθιου τμήματος, αλλά ποτέ πιο κάτω από 50,8mm από αυτό.

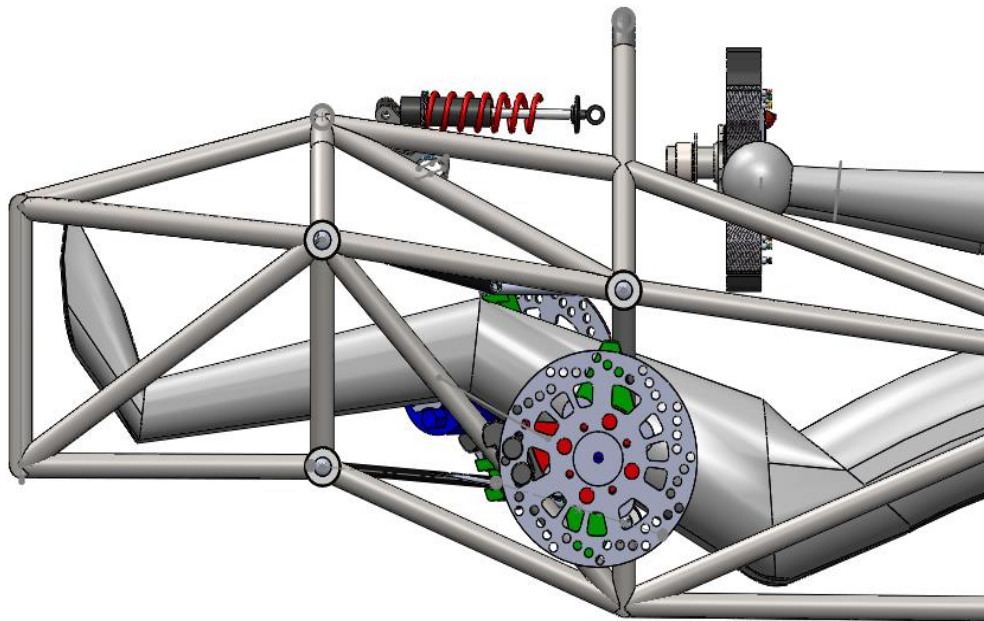


- ✓ Συνολικά για τα στηρίγματα

Σε περίπτωση που τα στηρίγματα δεν είναι συγκολλημένα στο πλαίσιο τότε πρέπει να συνδέονται χρησιμοποιώντας κοχλίες τουλάχιστον 8mm σκληρότητας 8.8 (ή 5/16 σκληρότητας 5), και πάχος της πλάκας στήριξης τουλάχιστον 2mm. Αν τα στηρίγματα ή άλλος σωλήνας είναι κατά μήκος του οδηγού στο ύψος του λαιμού τότε η χρήση άλλου σωλήνα ή πλάκας θα πρέπει να αποφευχθεί να περάσει ο ώμος του οδηγού κάτω από τον διαμήκη σωλήνα και να τραυματιστεί ο λαιμός του.

- ✓ Δομή εμπρόσθιου τμήματος πλαισίου

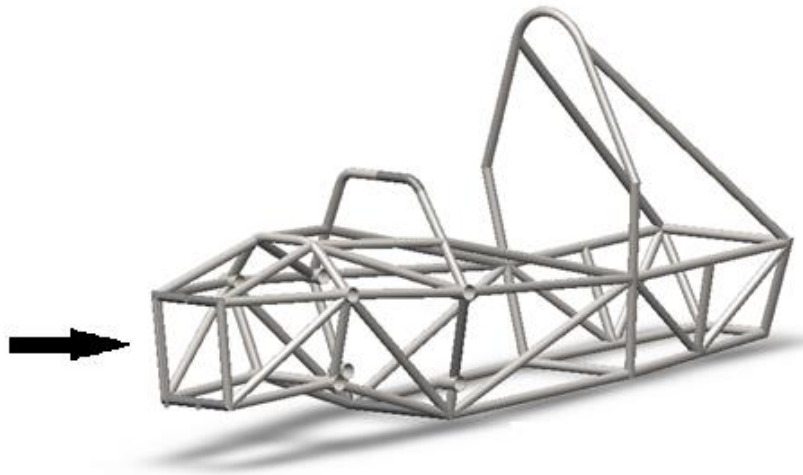
Τα πόδια του οδηγού θα πρέπει να είναι εντός της δομής του πλαισίου. Όταν ο οδηγός θα πατάει το πεντάλ να μην προεξέχει καθόλου το πόδι του από τα όρια του πλαισίου. Αυτό γίνεται πιο εύκολα αντιληπτό εικόνα 14.



Εικόνα 14 Θέση οδήγησης.



✓ Διάφραγμα κρούσης



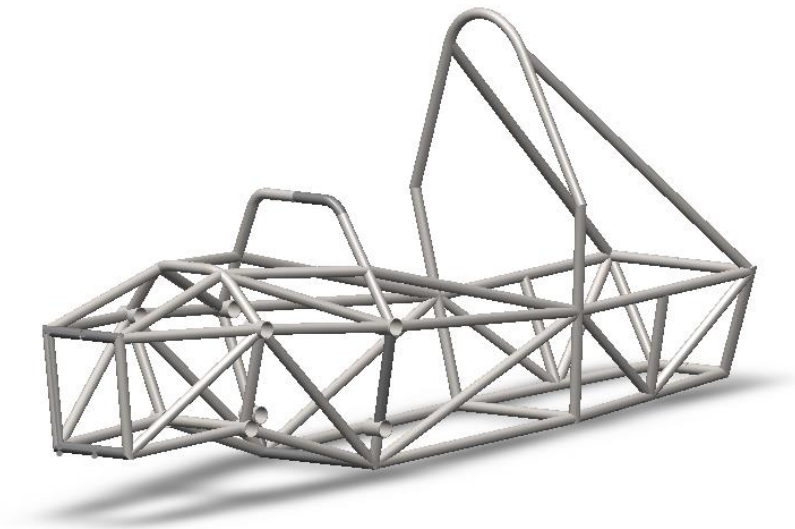
Εικόνα 15 Διάφραγμα κρούσης πλαισίου.

Υπενθυμίζεται ότι το διάφραγμα κρούσης είναι μια επίπεδη δομή που σχηματίζεται από σωλήνες ή κάποια άλλη διαμόρφωση και καθορίζει το μπροστινό επίπεδο του σκελετού, με στόχο την προστασία των ποδιών του οδηγού. Οι κανονισμοί για αυτήν τη δομή θέτουν τις παρακάτω απαιτήσεις. [1]

- Πρέπει να κατασκευάζεται από σωλήνες κλειστής διατομής, και από υλικό σύμφωνα με τις απαιτήσεις του διαγωνισμού.
- Πρέπει να βρίσκεται μπροστά από όλα τα αντικείμενα που είναι επικίνδυνα στις συγκρούσεις, π.χ. μπαταρίες, αντλίες φρένου κτλ.
- Πρέπει να βρίσκεται σε σημείο όπου τα πέλματα του οδηγού όταν πατάει τα πετάλια, να βρίσκονται πίσω από αυτό και κατά την φορά του αυτοκινήτου.

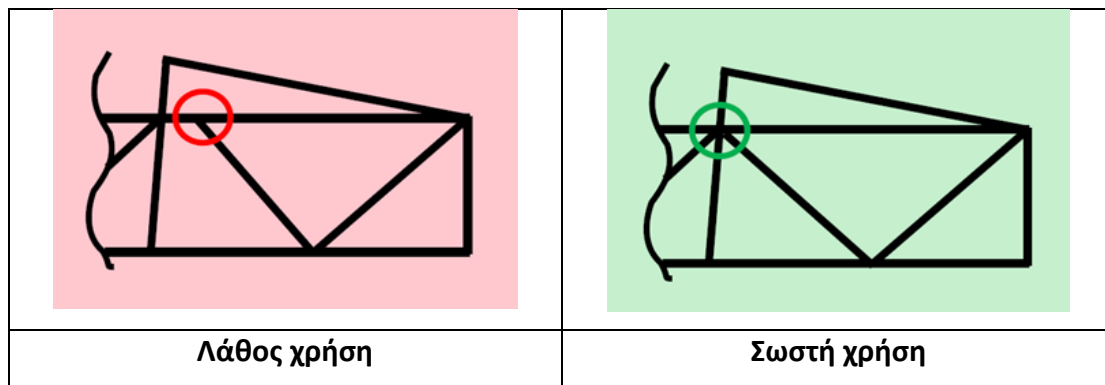


- ✓ Στηρίγματα διαφραγμάτων κρούσης



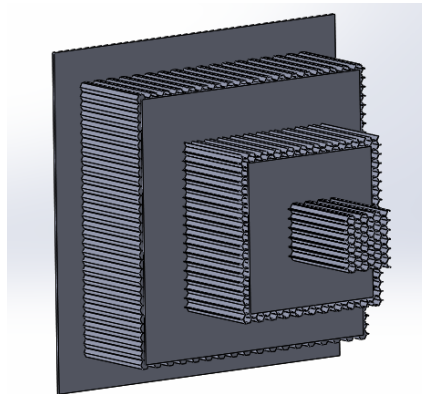
Εικόνα 16 Τελική μορφή πλαισίου.

Πρόκειται για την στήριξη του διαφράγματος κρούσης, δηλαδή την δομή που περικλείει τα πόδια του οδηγού. Με την δομή αυτή θα πρέπει να διασφαλίζεται η καλή συνοχή του με το υπόλοιπο πλαίσιο. Το διάφραγμα κρούσης πρέπει να συνδέεται με το εμπρόσθιο διάγραμμα (για να στηρίζετε σε αυτό) το λιγότερο με 3 σωλήνες σε κάθε πλευρά οχήματος. Η μια θα ξεκινάει από το ψηλότερο σημείο του εμπρόσθιου διαφράγματος (ή το πολύ 50,8mm πιο κάτω), η δεύτερη από το κατώτερο και η τρίτη θα είναι διαγώνια για να υπάρχει τριγωνοποίηση. Η τριγωνοποίηση πρέπει να είναι από κόμβο σε κόμβο, με τα τρίγωνα να σχηματίζονται με το εμπρόσθιο διάφραγμα το διαγώνιο στοιχείο και ένα από τους σωλήνες που απαιτούνται. Όλοι οι σωλήνες της δομής πρέπει να είναι κλειστής διατομής και σύμφωνοι με τους κανονισμούς για τα υλικά. Οι ελάχιστες απαιτήσεις των κανονισμών αναφέρονται σε 3 σωλήνες ευθείς και ενιαίους με τις διατομές που δόθηκαν παραπάνω. Στην περίπτωση που μορφοποιηθεί ή δεν είναι ευθύς κάποιος από αυτούς, τότε είναι κατανοητό ότι η αντοχή της δομής αυτής είναι μειωμένη. Γι' αυτό τον λόγο ο κανονισμός απαιτεί σε κάθε τέτοια περίπτωση να συνεχίσει η λογική της τριγωνοποίησης με τοποθέτηση παραπάνω σωλήνων. Στόχος είναι να δημιουργηθούν τρίγωνα από κόμβο σε κόμβο μεταξύ τους του διαφράγματος κρούσης και του εμπρόσθιου διαφράγματος, όπως αναλύεται στην εικόνα 17.[2]



Εικόνα 17 Σωστή χρήση τριγωνοποίησης.

- ✓ Προσκραστήρας - Impact Attenuator



Εικόνα 18 Τρισδιάστατη απεικόνιση προσκραστήρα.

Σε όλα τα οχήματα, κυρίως στα αυτοκίνητα, πρέπει να υπάρχει μια χαλύβδινη πλάκα 1,5mm ή 4mm από αλουμίνιο, ενσωματωμένη στον προσκραστήρα. Αν είναι βιδωμένη στο διάφραγμα κρούσης πρέπει να έχει την εξωτερική διάσταση του. Αν είναι συγκολλητή τότε μπορεί να έχει τη μέση διάσταση του διαφράγματος κρούσης. Γενικά ο τρόπος με τον οποίο συνδέεται το προσκραστήρας με το πλαίσιο θα πρέπει να αποτρέπει την λανθασμένη μεταφορά φορτίσεων σε κάθε περίπτωση σύγκρουσης.

Ο προσκραστήρας θα πρέπει:

- ✓ Να έχει μήκος τουλάχιστον 200mm (7.8 in)
- ✓ Να έχει 100mm (3,9 in) και ελάχιστη απόσταση 200mm από το διάφραγμα κρούσης
- ✓ Να έχει ασφαλή στερέωση πάνω στην πλάκα ή πάνω στο διάφραγμα κρούσης



Η πλάκα πρόσκρουσης θα πρέπει:

- ✓ Να είναι στερεός χάλυβας πάχους 1,5mm (0.06 in) ή στερεό αλουμίνιο 4mm (0.157 in) ή κάποια εναλλακτική χρήση με την απαραίτητη δοκιμή και έγκριση.
- ✓ Να είναι ασφαλώς στερεωμένη πάνω στο διάφραγμα κρούσης.

Οι τρόποι με τους οποίους μπορεί να γίνει η στερέωση της διάταξης αυτής είναι:

- ✓ Συγκόλληση, η οποία θα είναι συνεχής και το μήκος της θα πρέπει να είναι κατά το ελάχιστο 25mm.
- ✓ Σύνδεση με την χρήση κοχλιών ελάχιστου πάχους τα 8mm και σκληρότητας 8,8 κατά DIN. Η ελάχιστη απόσταση μεταξύ των δύο κοχλιών μπορεί να είναι 50mm (2 in).
- ✓ Κόλληση, με την χρήση δομικής κόλλας η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν πρόσθετο και στους δύο παραπάνω τρόπους σύνδεσης.

Απαραίτητη προϋπόθεση για την επιτυχή συμμετοχή στον διαγωνισμό είναι η δημιουργία μιας λεπτομερούς αναφοράς στην οποία θα αναλύονται τα υλικά τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του σημείου κρούσης (impact), ο τρόπος στερέωσής του καθώς και τα αποτελέσματα που έλαβε ομάδα ύστερα από τα πειράματα κρούσης.

Δεδομένα του πειράματος είναι ότι διαθέτουμε έναν προσκρουστήρα σε πλήρη στερέωση πάνω στο σασί ενός οχήματος με μέγιστο βάρος τα 300kg (661 lbs.) και ταχύτητα 7m/sec (23 ft/sec). Θα πρέπει να υπολογίσουμε την δύναμη που θα δεχτεί το όχημα και ποιο ποσοστό αυτής απορροφάται λόγω του σχεδιασμού. Επίσης, θα πρέπει να σχεδιαστεί το αντίστοιχο διάγραμμα και να παρουσιαστούν οι αντίστοιχες φωτογραφίες που θα αποτυπώνουν το αρχικό και το τελικό ύψος του σημείου κρούσης.[3]

- ✓ Πλευρική δομή πρόσκρουσης για οχήματα με σωληνωτό πλαίσιο (Side Impact Structure)

Η πλευρική δομή πρόσκρουσης είναι η δομή του σκελετού στις δύο πλευρές του οχήματος που προστατεύει το σώμα (κορμός) του οδηγού. Το τμήμα αυτό οφείλει να αποτελείται από 3 σωλήνες, με προδιαγραφές που αναφέρονται.



➤ Άνω σωλήνας

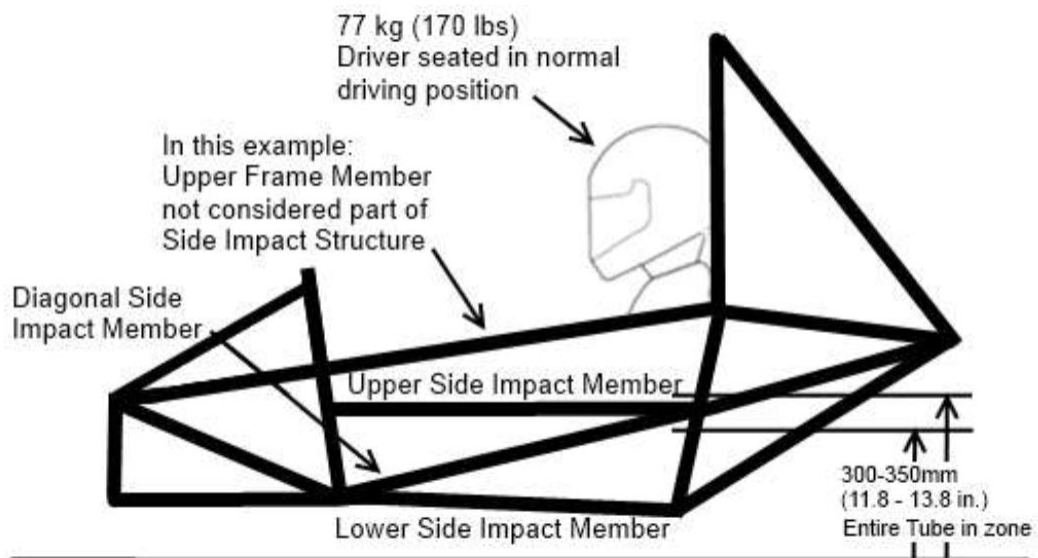
Συνδέει το main με το front hoop σε ύψος μεταξύ 300mm και 350mm, πάνω από το επίπεδο του δρόμου, όταν στο όχημα επιβαίνει άνθρωπος 77kg.

➤ Κάτω σωλήνας

Συνδέει το κάτω μέρος του κυρίως και του εμπρόσθιου διαφράγματος.

➤ Διαγώνιος σωλήνας

Συνδέει το πάνω με το κάτω μέρος της πλευρικής δομής από το εμπρόσθιο έως το κύριο διάφραγμα.



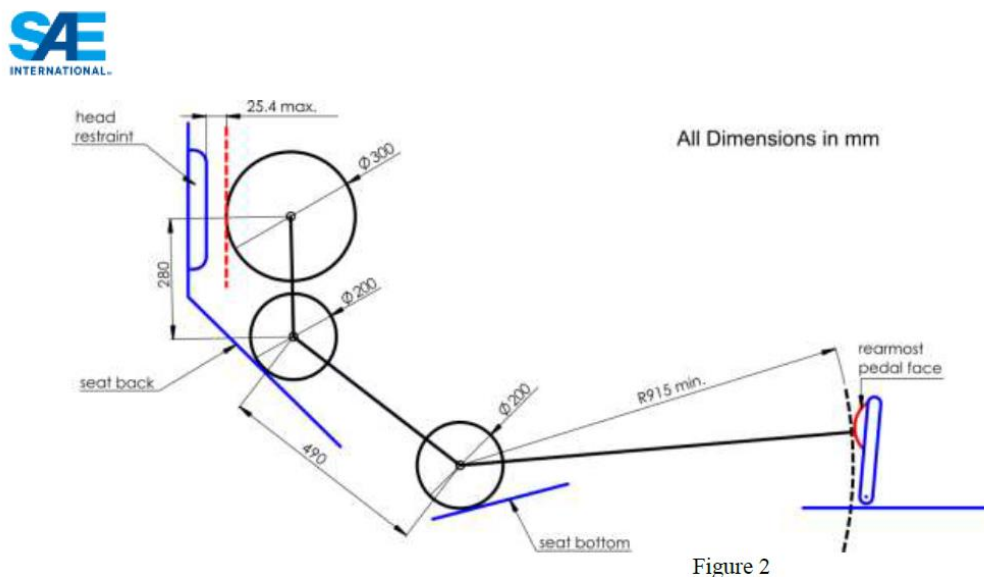
Εικόνα 19 Επιτρεπόμενα ύψη πλευρικής δομής από το έδαφος.

✓ Οπή ελέγχου

Για να γίνει έλεγχος του πάχους των σωλήνων θα πρέπει να υπάρχει μια οπή 4,5mm στο κύριο και στο εμπρόσθιο διάφραγμα σε σημείο που δεν είναι κρίσιμο για την αντοχή του. Στην περίπτωση που οι κριτές θελήσουν, θα ελέγξουν και άλλους σωλήνες με την χρήση συσκευής υπέρηχων ή με τρύπημα όπου αυτοί ζητήσουν. Οι τρύπες θα πρέπει να είναι σε τέτοιο σημείο ώστε να μπορεί να μετρηθεί ότι χρειάζεται μόνο με την χρήση παχύμετρου.

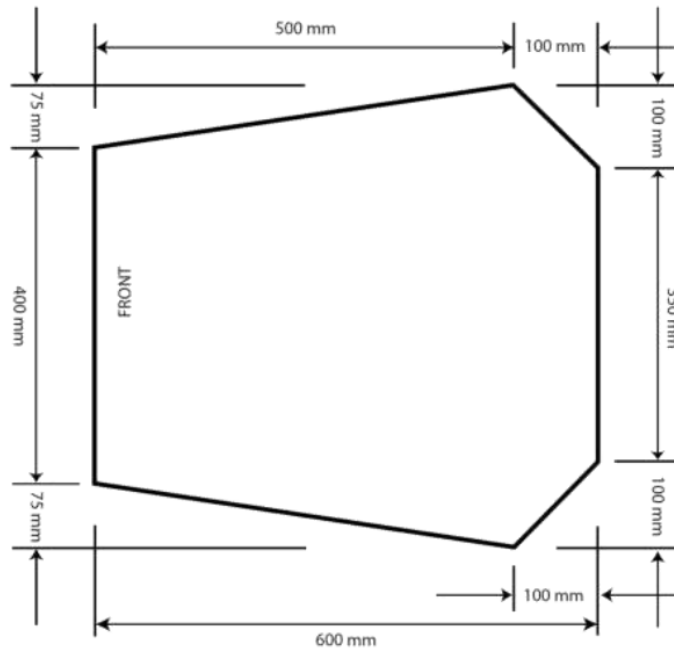
3.1.4 ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΘΕΣΣΕΩΣ ΟΔΗΓΗΣΗΣ.

Μέσα στους κανονισμούς προτείνεται ένα ανθρώπινο μοντέλο που αντιπροσωπεύει το 95% του αντρικού πληθυσμού που χρησιμοποιείται από τους κριτές και τον έλεγχο του οχήματος. Το μοντέλο αποτελείται από τρεις (3) κύκλους διαφορετικής διαμέτρου, που βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο. Ο κάθε κύκλος αναπαριστά το κεφάλι (με κράνος), την περιοχή των ώμων και την περιοχή της λεκάνης. Το παρακάτω σχήμα παρουσιάζει το μοντέλο οδηγού το οποίο εξαρτάται από τους οδηγούς της εκάστοτε ομάδας.[1]



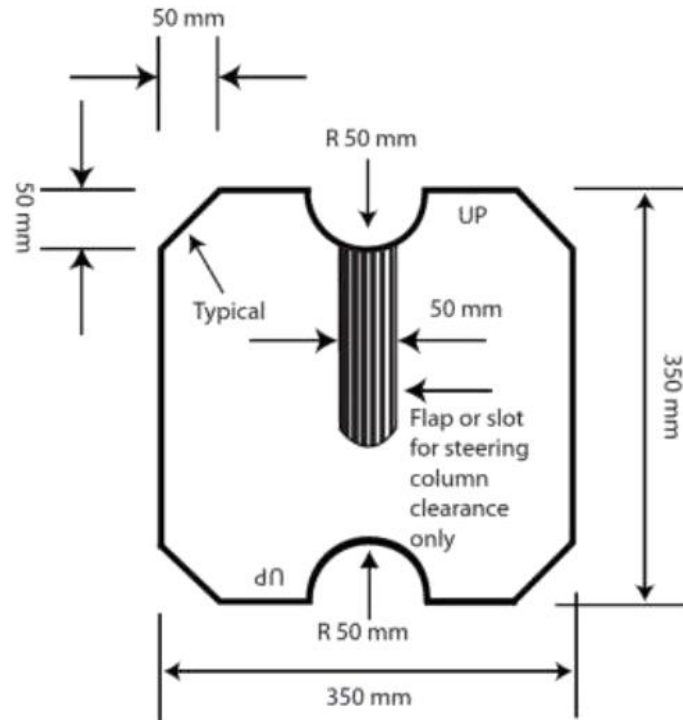
Εικόνα 20 Ενδεικτική θέση οδήγησης βάσει των κανονισμών.

Για να επιβεβαιωθεί ότι το άνοιγμα του σημείου κρούσης είναι επαρκές σε μέγεθος, μια πλάκα με το παρακάτω περίγραμμα θα εισαχθεί στο όχημα. Θα είναι σε οριζόντια θέση και θα εισχωρήσει κατακόρυφα μέχρι να περάσει κάτω από τον σωλήνα της πλευρικής δομής πρόσκρουσης. Κατά την διάρκεια του ελέγχου το τιμόνι, η κολώνα του τιμονιού, το κάθισμα και όλα τα προστατευτικά μπορούν να αφαιρεθούν. Τα προστατευτικά μέρη δεν μπορούν να αφαιρεθούν ή να μετακινηθούν.



Εικόνα 21 Πλάκα ελέγχου πλαισίου.

Για να επιβεβαιωθεί ότι ο εσωτερικός χώρος οδήγησης είναι επαρκής, θα πρέπει να υπάρχει ελεύθερος χώρος έτσι ώστε μια πλάκα με το παρακάτω σχήμα να μπορεί να περάσει οριζόντια μέσα σε αυτό και να φτάσει 100mm πίσω από το τελευταίο πεντάλ. Το πεντάλ θα πρέπει να είναι σε κανονική θέση λειτουργίας. Σε περίπτωση που τα πεντάλ είναι ρυθμιζόμενα, θα πρέπει να είναι στην πιο μπροστινή θέση. Το πρότυπο, με μέγιστο πάχος 7mm, θα είναι σε κατακόρυφη θέση και θα εισχωρήσει σε οριζόντια θέση στο άνοιγμα της θέσης οδήγησης ξεκινώντας από το εμπρόσθιο διάφραγμα. Τα μόνα αντικείμενα που μπορούν να αφαιρεθούν γ' αυτόν τον έλεγχο είναι το τιμόνι, τα προστατευτικά για τα πόδια του οδηγού στην θέση του. Το κάθισμα δεν μπορεί να αφαιρεθεί. Ομάδες που δεν συμμορφώνονται με τους κανόνες δεν θα συμμετέχουν στα δυναμικά αγωνίσματα.[4]



Εικόνα 22 Πλάκα ελέγχου πλαισίου ποδιών.

Τοίχος προστασίας (Firewall)

Το τοίχος προστασίας πρέπει να διαχωρίζει τον χώρο του οδηγού από όλα τα κομμάτια του συστήματος τροφοδοσίας καυσίμου, του συστήματος λίπανσης, και του συστήματος ψύξης. Πρέπει να προστατεύει τον αυχένα του ψηλότερου οδηγού και πρέπει να εκτείνεται επαρκώς προς τα επάνω και προς τα πίσω έτσι ώστε κάθε σημείο 100mm κάτω από το κατώτερο σημείο του κράνους του ψηλότερου οδηγού να μην είναι ορατό σε ευθεία με κανένα αντικείμενο από τα παραπάνω συστήματα. Το τοίχος προστασίας πρέπει να είναι από μη διαπερατό άκαμπτο και πυρίμαχο υλικό. Επίσης, πρέπει να στεγανοποιεί καλά για να μην επιτρέψει να περάσουν υγρά ειδικά στα πλαϊνά και στο πάτωμα της θέσης οδήγησης. Δεν μπορεί να υπάρχουν τρύπες στο τοίχος προστασίας απ' όπου θα περάσουν ζώνες ασφαλείας. Καλώδια και σύρματα επιτρέπεται να περάσουν μέσα από αυτό αν χρησιμοποιούνται ροδέλες στεγανοποίησης. Επίσης, αν το firewall αποτελείται από πολλά κομμάτια τότε οι ενώσεις τους πρέπει να στεγανοποιούνται.



3.1.5 ΣΩΜΑ ΠΛΑΙΣΙΟΥ

Στο μονοθέσιο τύπου formula student δεν επιτρέπεται να υπάρχει κανένα άνοιγμα στο εξωτερικό σώμα του που να οδηγεί στην θέση οδήγησης, από το μπροστινό μέρος του οχήματος μέχρι το κύριο διάφραγμα ή το τοίχος προστασίας. Μοναδική εξαίρεση αποτελούν τα ανοίγματα που αφορούν το δέσιμο των αναρτήσεων.

3.1.6 ΜΕΤΑΞΟΝΙΟ

Το όχημα πρέπει να έχει τουλάχιστον 1525mm (60inches) μήκος μεταξονίου. Το μεταξόνιο μετράται από το κέντρο επαφής του μπροστά ελαστικού μέχρι το αντίστοιχο σημείο του πίσω τροχού με τους εμπρόσθιους τροχούς να είναι ευθυγραμμισμένοι ευθεία.

3.1.7 ΜΕΤΑΤΡΟΧΙΟ

Με τον όρο μετατρόχιο εννοούμε την απόσταση των δύο εμπρόσθιων ή δύο οπίσθιων τροχών μεταξύ τους. Η απόσταση αυτή δεν μπορεί να είναι πάνω το 75% μικρότερη από την αντίστοιχη μεγαλύτερη.

3.1.8 ΟΠΤΙΚΗ ΠΡΟΣΒΑΣΗ

Όλα τα εξαρτήματα που εξετάζονται από τους διοργανωτές πριν την έναρξη του αγώνα, πρέπει να είναι εμφανή χωρίς την χρήση εργαλείων όπως καθρέπτες.



3.2 ΜΕΤΑΔΟΣΗ – ΠΛΑΝΗΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο μετάδοσης κίνησης, οι κυριότερες εφαρμογές είναι αυτή της μαντοκίνησης και αυτής της αλυσοκίνησης. Αναφορικά για τη πρώτη περίπτωση χρησιμοποιείται για μετάδοση κίνησης και μεταφορά ισχύος μεταξύ ατράκτων σε μεγάλη απόσταση, όπως το ίδιο ισχύει και στην περίπτωση της αλυσοκίνησης. Υπάρχουν δύο είδη ιμάντων, οι επίπεδοι που είναι για μεγάλες αποστάσεις ατράκτων και μικρές σχέσεις μετάδοσης, και οι τραπεζοειδής που είναι για μικρές αποστάσεις ατράκτων και μεγάλες σχέσεις μετάδοσης.

Για την αλυσοκίνηση υπάρχουν πάλι διαφορετικές εφαρμογές αλυσίδων ανάλογα με τη λειτουργία που καλούνται να εκτελέσουν και έτσι έχουν τα αρνητικά και τα θετικά τους. Μερικά από αυτά είναι η μεταφορά μεγάλων δυνάμεων, μικρότερη φόρτιση στα έδρανα και μικρότερες διαστάσεις έναντι των ιμάντων.

3.2.1 ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ

Για τη μετάδοση της κίνησης από τον κινητήρα στους τροχούς δεν μπορεί να πει κανείς ότι υπάρχουν συγκεκριμένες οδηγίες από τους διοργανωτές, καθώς το πεδίο είναι ελεύθερο.

Ο μόνος περιορισμός που αναφέρεται στους κανονισμούς είναι το μέσο μετάδοσης της κίνησης να καλύπτεται με ικανό τρόπο, ώστε να αποφευχθεί κάποιο τυχόν ατύχημα στον οδηγό ή στους παρευρισκόμενους, που μπορεί να είναι οι διοργανωτές, τα υπόλοιπα μέλη της ομάδας του μονοθέσιου ή το κοινό που βλέπει το διαγωνισμό. Πρέπει δηλαδή, να υπάρχει κάλυμμα στα περιστρεφόμενα ή κινούμενα αντικείμενα που μπορεί να απαρτίζουν τη τελική μετάδοση της κίνησης.

Ο κανονισμός αυτός είναι ξεκάθαρα για λόγους ασφαλείας και μόνο χωρίς να παρεμποδίζει την αποτελεσματικότητα του οχήματος στην απόδοσή του.

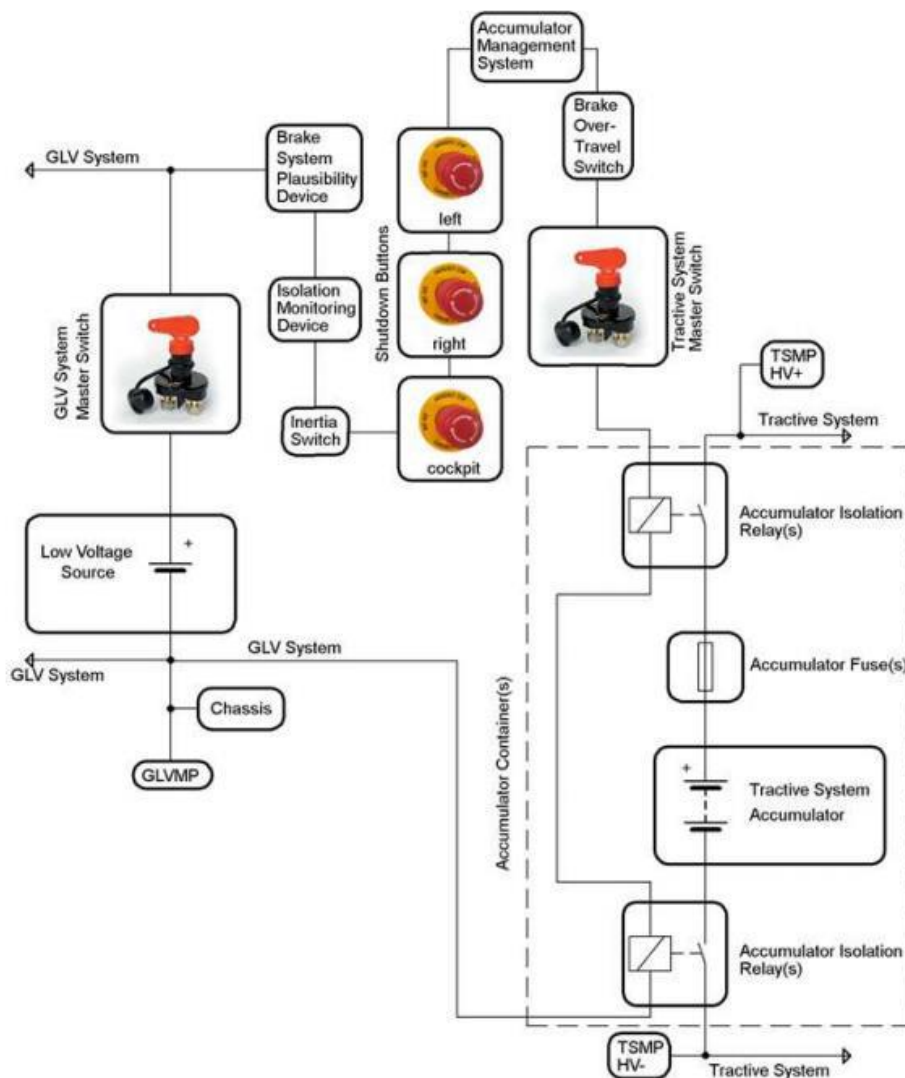


Εικόνα 23 Προστατευτικό περίβλημα.



3.3 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΥΨΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ.

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο αναλύεται η χρήση και οι περιορισμοί της ηλεκτρικής ισχύος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί και με αυτό το τρόπο ώστε να είναι ασφαλής για όλους. Παρακάτω αναλύονται οι κανονισμοί που θέτει η διοργάνωση του θεσμού για την αποφυγή στοιχειωδών λαθών που μπορεί απλά να μην επιτρέψουν την ομάδα να αγωνισθεί, αλλά και λαθών που μπορούν να αποδειχθούν μοιραία λόγω τραυματισμού.



Εικόνα 24 Ηλεκτρικό διάγραμμα διακοπών ασφαλείας.



3.3.1 ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ

Στα ηλεκτρικά αγωνιστικά μονοθέσια οι κανονισμοί του διαγωνισμού διαφέρουν σε κάποια σημεία αλλά η βασική ιδέα παραμένει ίδια. Κατ' αυτό το τρόπο, οι διοργανωτές επιβάλουν κάποιους πρόσθετους κανονισμούς για τη προστασία του οδηγού από το ηλεκτρικό κύκλωμα του μονοθέσιου.

Το όχημα θα πρέπει να είναι εξοπλισμένο με δύο κεντρικούς διακόπτες (Master Switch) οι οποίοι θα είναι ικανοί να κλείνουν το κύκλωμα του μονοθέσιου σε περίπτωση ατυχήματος για να προστατέψει τον οδηγό από τυχόν αθέμιτες επιπτώσεις. Πρέπει να είναι τοποθετημένοι στη δεξιά μεριά από τον οδηγό, στο Main Hoop και να είναι ευκολά προσβάσιμο έξω από το αυτοκίνητο. Το διεθνές σύμβολο ηλεκτρισμού θα πρέπει να είναι τοποθετημένο σε ένα λευκό πλαίσιο και να είναι εμφανές για τους διοργανωτές. Ως υψηλής τάσης κυκλώματα ορίζονται όλα αυτά που είναι μεγαλύτερα από 60VDC ή 25VAC, και χαμηλής τάσης όλα αυτά που είναι κατώτερα τον προηγούμενων ορίων που αναφέρθηκαν. *(Article 4, IC4.1)*



Εικόνα 25 Κεντρικός διακόπτης ασφαλείας ηλεκτρικού κυκλώματος.

Κάθε ηλεκτρική μονάδα ισχύος πάνω στο όχημα θα πρέπει να έχει σταθεροποιηθεί πλήρως στο πλαίσιο, χωρίς να υπάρχει κίνδυνος ατυχήματος κατά το δυναμικό διαγωνισμό του αυτοκινήτου. Τυχόν θερμικές δραστηριότητες του συστήματος θα πρέπει να είναι προστατευμένο και να μη μπορεί να έρθει σε άμεση επαφή χωρίς την απομάκρυνση κάποιου καλύμματος. Τα πακέτα μπαταριών θα πρέπει να είναι διαχωρισμένα από το θάλαμο οδήγησης με ένα τοίχος θερμικής προστασίας σε περίπτωση βραχυκυκλώματος. Πρέπει να είναι καλυμμένα με ειδικό υλικό ώστε να αποφεύγεται η υψηλή αύξηση θερμοκρασίας. *(Article 4, IC4.4)*



Επιτρέπονται μόνο ηλεκτροκινητήρες οποιουδήποτε τύπου ηλεκτρικού κινητήρα. Ο αριθμός των κινητήρων είναι μη περιορισμένος. Το περιστρεφόμενο τμήμα του κινητήρα πρέπει να περιέχεται μέσα σε ένα δομικό περίβλημα όπου το πάχος είναι στο τουλάχιστον 3,0mm για κράμα αλουμινίου 6061-T6 ή 2,0mm για χάλυβα. Η χρήση κράματος υψηλότερης ποιότητας δεν επιτρέπει τη χρήση μειωμένου πάχους. *(Article 2 Electric Powertrain, EV2.1)*

Πρέπει να υπάρχει περιορισμός ισχύος και τάσης στο κύκλωμα του μονοθέσιου, καθώς η μέγιστη ισχύς που αντλείται από την μπαταρία δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 80kW. Αυτό θα ελεγχθεί από τους οργανωτές αξιολογώντας τα δεδομένα του μετρητή ενέργειας. Η παραβίαση αυτών των τιμών θα οδηγήσει σε αποκλεισμό για ολόκληρο το δυναμικό συμβάν στο οποίο υπάρχει παραβίαση. *(Article 2 Electric Powertrain, EV2.2)*

Στο πεντάλ επιταχυντή πρέπει να υπάρχει ένας αισθητήρας θέσης – APPS, το οποίο θα ενεργοποιείται με ένα πεντάλ ποδιού (ποτενσιόμετρο). Η διαδρομή πεντάλ ορίζεται ως το ποσοστό της διαδρομής από μία πλήρες θέση απελευθέρωσης σε μια πλήρως εφαρμοζόμενη θέση όπου το 0% απελευθερώνεται πλήρως και το 100% εφαρμόζεται πλήρως. *(Article 2 Acceleration Pedal Position Sensor, EV2.3)*



Εικόνα 26 Αισθητήρας ποτενσιόμετρου για το πεντάλ γκαζιού.

Κωδικοποιητής συστήματος φρένων – BSE, Πρέπει να είναι ένας κωδικοποιητής ή διακόπτης συστήματος πέδησης για τη μέτρηση της θέσης του πεντάλ φρένου ή της πίεσης του συστήματος πέδησης τοποθετημένος για να ελέγξει την αξιοπιστία. *(Article 2 Brake System Encoder, EV2.4)*



Οι κανονισμοί στο ηλεκτρικό κομμάτι του διαγωνισμού και συγκεκριμένα σε αυτό της υψηλής τάσης, είναι αρκετοί και κυρίως γύρω από την ασφάλεια των διαγωνιζόμενων και των διοργανωτών. Η επικινδυνότητα όπως αντιλαμβανόμαστε είναι αρκετά μεγάλη και δεν συγχωρούνται τυχόν λάθη που μπορεί να προκληθούν. Κατ' αυτόν το τρόπο οι φοιτητική ομάδα που είναι έτοιμη να προβεί σε ένα τόσο μεγάλο εγχείρημα, πρέπει να λειτουργήσει με γνώμονα την ορθότητα των μελετών της για τη σωστή αποτελεσματικότητα τους.



Εικόνα 27 Σήμα ηλεκτρισμού που πρέπει να υπάρχει πάνω σε κάθε ηλεκτροκίνητη φόρμουλα.



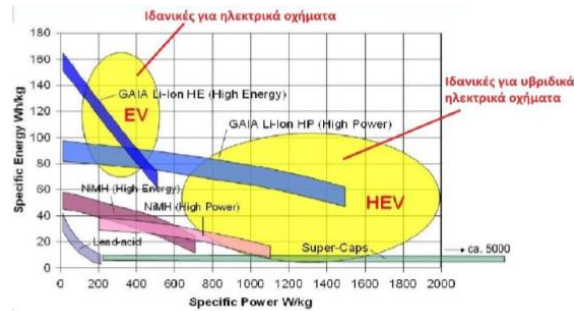
3.3.1.1 ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ

Ο συσσωρευτής ή αλλιώς μπαταρία, είναι μία διάταξη που αποτελείται από μονάδες κελιών και χρησιμοποιείται για να αποθηκεύει την ηλεκτρική ενέργεια μετατρέποντάς την σε χημική και την απελευθερώνει με τον αντίστροφο τρόπο. Αυτό επιτυγχάνεται έχοντας δύο διαφορετικά αγώγιμα υλικά σε μικρή απόσταση μεταξύ τους βυθισμένα σε ένα αγώγιμο υγρό, τον ηλεκτρολύτη. Οι συσσωρευτές διακρίνονται από τα αγώγιμα υλικά που χρησιμοποιούνται. Ανάλογα με τα χρησιμοποιούμενα στοιχεία τους μεταβάλλονται σημαντικά χαρακτηριστικά, όπως η ενέργεια ανά μονάδα μάζας (Wh/kg), το κόστος, ο ρυθμός φόρτισης, ο ρυθμός εκφόρτισης ή το βάθος εκφόρτισης.

Δυστυχώς, βασικό μειονέκτημα των συσσωρευτών, που υφίσταται μέχρι και σήμερα, είναι ο χαμηλός λόγος ενέργειας προς βάρος που έχουν καθώς και ο μεγάλος χρόνος φόρτισής τους. Στα πλαίσια του τομέα της ηλεκτροκίνησης, όμως, έχουν γίνει σημαντικές προσπάθειες για την αύξηση της ενεργειακής πυκνότητας των συσσωρευτών, αφού το ελάχιστο δυνατό μέγεθος και βάρος είναι άκρως απαραίτητα για τις καλές επιδόσεις ενός ηλεκτροκίνητου οχήματος. Παράλληλα, έχουν κάνει την εμφάνισή τους νέοι τύποι συσσωρευτών.

Οι τεχνολογίες βιομηχανικώς παραγόμενων ηλεκτροχημικών συσσωρευτών οι οποίες συγκεντρώνουν τις περισσότερες ελπίδες επιτυχούς χρήσεως σε ηλεκτροκίνητα οχήματα είναι οι παρακάτω:

1. Συσσωρευτές μόλυβδού - οξέος
2. Συσσωρευτές νικελίου - καδμίου
3. Συσσωρευτές νικελίου - μεταλλικού υβριδίου
4. Συσσωρευτές λιθίου - ιόντων
5. Συσσωρευτές λιθίου – πολυμερούς



Διάγραμμα Ragone: Απεικόνιση εφαρμογών σχετικά με πηγές ενέργειας.

Η κατηγορία συσσωρευτών λιθίου - πολυμερούς πλεονεκτεί έναντι των υπολοίπων λόγω της χαμηλότερης πυκνότητας που έχει το λίθιο καθώς και της χαμηλότερης ηλεκτροχημικής αναλογίας. Άλλωστε, ενδείκνυνται και για τον τομέα της ηλεκτροκίνησης. Μπαταρίες λιθίου με μη υγρό ηλεκτρολύτη δίνουν δυνατότητα για υψηλότερη τάση και πυκνότητα ενέργειας. Η υψηλή πυκνότητα ενέργειας που έχουν μπορεί να ανέρχεται σε 160Wh/kg. Παρουσιάζουν κύκλο φόρτισης/εκφόρτισης με πολύ χαμηλές απώλειες. Επίσης, εξασφαλίζουν λειτουργία σε ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών που κυμαίνεται από -40°C έως και 120°C . Βέβαια παρουσιάζουν το μειονέκτημα ότι έχουν μικρή διάρκεια ζωής και ότι πέφτουν οι επιδόσεις τους λόγω γήρανσης. Μερίμνα πρέπει επίσης να ληφθεί κατά τη φόρτισή τους καθώς εγκυμονεί κίνδυνο ανάφλεξης. Παρόλο που αυτή η κατηγορία μπαταριών έχει υψηλό κόστος, αποτελεί τη βέλτιστη λύση για χρήση σε ηλεκτροκίνητα οχήματα.

Μερικές βασικές έννοιες του ηλεκτρισμού που βοηθήσουν στην κατανόηση των τεχνικών χαρακτηριστικών:

Τάση ρεύματος (V):

Είναι η διαφορά δυναμικού που αναπτύσσεται μεταξύ της θετικής και της αρνητικής πλάκας του κελιού. Η ονομαστική τάση του κελιού αντιστοιχεί κατά προσέγγιση στην τάση του κελιού όταν αυτό παρέχει ηλεκτρική ενέργεια. Η τάση των μπαταριών που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές ηλεκτρικών οχημάτων κυμαίνεται από 300V έως 600V.



Ένταση ρεύματος (I):

Έχει να κάνει με τον αριθμό των ηλεκτρονίων που διέρχονται από ένα σημείο σε διάρκεια ενός δευτερολέπτου. Μονάδα μέτρησης είναι το 1 Ampere και συμβολίζεται με I.

Χωρητικότητα (Q):

Είναι η ποσότητα του ηλεκτρικού φορτίου που είναι αποθηκευμένο στη μπαταρία. Μονάδα μέτρησης της χωρητικότητας (ή του ηλεκτρικού φορτίου) στο SI είναι το Coulomb. Για παράδειγμα, 1 Coulomb είναι η ποσότητα του ηλεκτρικού φορτίου που ρέει σ' έναν αγωγό από ρεύμα έντασης 1 Ampere σε 1 sec. Ωστόσο, λόγω του ότι το Coulomb είναι αρκετά μικρή μονάδα μέτρησης του ηλεκτρικού φορτίου, στη βιβλιογραφία η χωρητικότητα των μπαταριών δίνεται πάντα σε A·h (1 A·h=3600 C).

Ρυθμός εκ φόρτισης/φόρτισης:

Ο ρυθμός εκ φόρτισης είναι το ηλεκτρικό ρεύμα με το οποίο εκφορτίζεται μια μπαταρία. Ο ρυθμός εκφράζεται ως ρυθμός Q/h όπου Q είναι η χωρητικότητα της μπαταρίας και h είναι ο χρόνος εκ φόρτισης σε ώρες. Για μια μπαταρία με χωρητικότητα Q (Ah) που εκφορτίζεται σε χρόνο Δt, ο ρυθμός εκ φόρτισης είναι Q/Δt.

Κατάσταση φόρτισης (State of Charge)

Η κατάσταση φόρτισης (SoC) είναι η τρέχουσα χωρητικότητα της μπαταρίας. Πρόκειται για την ποσότητα φορτίου που απομένει μετά την εκ φόρτιση από την πλήρη φόρτιση. Η κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας μπορεί πολύ εύκολα να υπολογιστεί από ένα απλό κύκλωμα μπαταρίας με φορτίο. Λαμβάνοντας υπόψη ότι ως ηλεκτρικό ρεύμα ορίζεται ο ρυθμός μεταβολής των ηλεκτρικών φορτίων δια μέσου μιας διατομής. Ολοκληρώνοντας από την αρχική στιγμή, t0, μέχρι τη χρονική στιγμή t, η στιγμιαία κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας δίνεται από τη σχέση:

$$Soc(t) = Qt - \int_0^t i(t)dt$$



Κατάσταση εκ φόρτισης (State of Discharge)

Η κατάσταση εκ φόρτισης (SoD) είναι ένα μέτρο του φορτίου που απομακρύνεται από τη μπαταρία. Μαθηματικά, η κατάσταση εκ φόρτισης υπολογίζεται από τη σχέση:

$$SoD(t) = \int_0^t i(t)dt = Qt - Soc(t)$$

3.3.1.2 ΜΟΝΑΔΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ (BMS)

Η μονάδα μπαταριών είναι αρκετά ευαίσθητη και απαιτεί μεγάλη προσοχή κατά τη χρησιμοποίησή της. Ο ρόλος αυτής της μονάδας είναι να διατηρεί τα ρεύματα και τις τάσεις φόρτισης στη βέλτιστη για τη μπαταρία κατάσταση κατά τη φόρτιση αλλά και κατά την εκφόρτιση της. Ελέγχει τις μπαταρίες και τη θερμοκρασία η οποία αναπτύσσεται στα κελιά μίας μπαταρίας. Προειδοποιεί τον οδηγό όταν ενεργοποιείται εξωτερική φόρτιση ώστε το όχημα να μην μπορεί να ξεκινήσει και ελέγχει το σύστημα κινητήρα. Συνδέεται με τον πίνακα οργάνων για να ενημερώνει τον οδηγό για την κατάσταση του συστήματος.

Τρία είδη είναι αυτά που εντοπίζονται όσο αφορά τη μονάδα διαχείρισης μπαταριών.

1^οείδος: Κατανεμημένη

Περιέχει μία κεντρική μονάδα που συνδέεται με καλωδίωση σε αυτόνομες ηλεκτρονικές πλακέτες.

2^οείδος: Κεντρική συγκεντρωμένη

Περιέχει μία μονάδα που συνδέεται με καλωδίωση, συνήθως, στους θετικούς πόλους των κελιών.

3^οείδος: Δομημένη

Αποτελείται από δύο ή περισσότερες κεντρικές συγκεντρωμένες μονάδες, όπου η κάθε μία αναλαμβάνει ένα μέρος των κελιών.

Η μονάδα επιτρέπει την ασφαλή λειτουργία των κελιών, καθώς αποτρέπει:

- ✓ Την αυξημένη τάση κατά τη φόρτιση.
- ✓ Την μειωμένη τάση κατά την εκφόρτιση.



- ✓ Την διαρροή ρεύματος σε περίπτωση βραχυκυκλώματος.
- ✓ Την υψηλή ή χαμηλή θερμοκρασία λειτουργίας.

Η μονάδα επιτυγχάνει τους στόχους που προ αναφέρθηκαν με:

- ✓ Μείωση κατανάλωσης ενέργειας
- ✓ Διακοπή ροής ρεύματος στο κύκλωμα με χρήση ρελέ ισχύος
- ✓ Αδιάκοπος έλεγχος της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος πλησίον στο σημείο λειτουργίας του πακέτου μπαταριών.

Εν κατακλείδι, η μονάδα διαχείρισης είναι αυτή που εξισορροπεί τα χαρακτηριστικά των κελιών ενός πακέτου μπαταριών, η οποία επιτυγχάνεται με τον έλεγχο του ρυθμού φόρτισης και εκφόρτισης, ώστε να απορροφάτε ή να προσδίδεται το ίδιο ποσοστό φορτίου. Μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη μεταφορά ενέργειας από τα περισσότερα στα λιγότερο φορτισμένα κελιά, έτσι ώστε η κατάσταση φόρτισης των κελιών να εξισορροπείται. Αυτό ονομάζεται **ενεργητική εξισορρόπηση**. Επίσης, θα μπορούσε να καταναλωθεί η περίσσεια ενέργειας των ήδη φορτισμένων κελιών με τη βοήθεια ενός βοηθητικού φορτίου, ώστε η ενέργεια τους να μειωθεί και να φτάσει αυτή των κελιών με τη χαμηλότερη ενέργεια. Αυτό ονομάζεται **παθητική εξισορρόπηση**.

Συνοψίζοντας ο ρόλος της μονάδας διαχείρισης μπαταριών έχει καθοριστικό ρόλο για την ορθή λειτουργία ενός πακέτου μπαταριών στον τομέα των ηλεκτροκίνητων οχημάτων.

3.3.1.3 ΜΟΝΑΔΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ - ΕΛΕΓΚΤΗΣ

Ο όρος ελεγκτής αναφέρεται σε μία ηλεκτρονική μονάδα που έχει τη δυνατότητα να λαμβάνει ηλεκτρικά σήματα από αισθητήρες. Πιο συγκεκριμένα, τα ηλεκτρικά σήματα τα οποία διαχειρίζεται έχουν υψηλές τιμές τάσης V και έντασης του ρεύματος I με αποτέλεσμα να καθορίζουν τις αποφάσεις που θα παρθούν από μία τέτοιου είδους μονάδα. Με άλλα λόγια είναι ένας εγκέφαλος που έχει τη δυνατότητα να δέχεται πληροφορίες, να τις μεταφράζει, να έχει την ικανότητα να εκτελέσει συγκεκριμένες λειτουργίες με σκοπό τη διοίκηση των αγαθών που του έχουν ανατεθεί και μέσω αυτού να έχει τη δυνατότητα ο άνθρωπος να λαμβάνει κάποιες εσωτερικές πληροφορίες του συστήματος μεταφρασμένες σε απλή γλώσσα μέσα σε μία οθόνη.

Μερικές από τις εφαρμογές που αναλαμβάνουν να εκτελέσουν αναφέρονται παρακάτω:



- ✓ Συνεχής καταγραφή της ταχύτητας περιστροφής και της ροπής του κινητήρα.
- ✓ Έλεγχος εισόδων από πεντάλ γκαζιού και φρένου.
- ✓ Έλεγχος κατεύθυνσης του οχήματος για επιλογή στροφών κάθε κινητήρα.
- ✓ Επεξεργασία των σημάτων εισόδου και αποτύπωση αυτών σε οθόνη.
- ✓ Έλεγχος της κατεύθυνσης περιστροφής του κινητήρα.
- ✓ Σύνδεση με το σύστημα διαχείρισης μπαταριών.
- ✓ Ικανότητα μετατροπής ρεύματος ισχύος από εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές.

Οι μονάδες διαχείρισης κινητήρων χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες ανάλογα με τη μορφή της ισχύος εισόδου και εξόδου.

Μετατροπείς εναλλασσόμενου σε συνεχές AC-DC (Rectifiers).

Ανάλογα με τη μορφή του εναλλασσόμενου ρεύματος διακρίνονται σε μονοφασικούς ή πολυφασικούς.

Μετατροπείς DC-AC συνεχούς σε εναλλασσόμενο (Inverters).

Η έξοδος τους είναι μονοφασική ή πολυφασική (τριφασική), ενώ η συχνότητα και το πλάτος της τάσης ή της έντασης είναι ελεγχόμενα.

Μετατροπείς συνεχούς ρεύματος DC-DC (Converters).

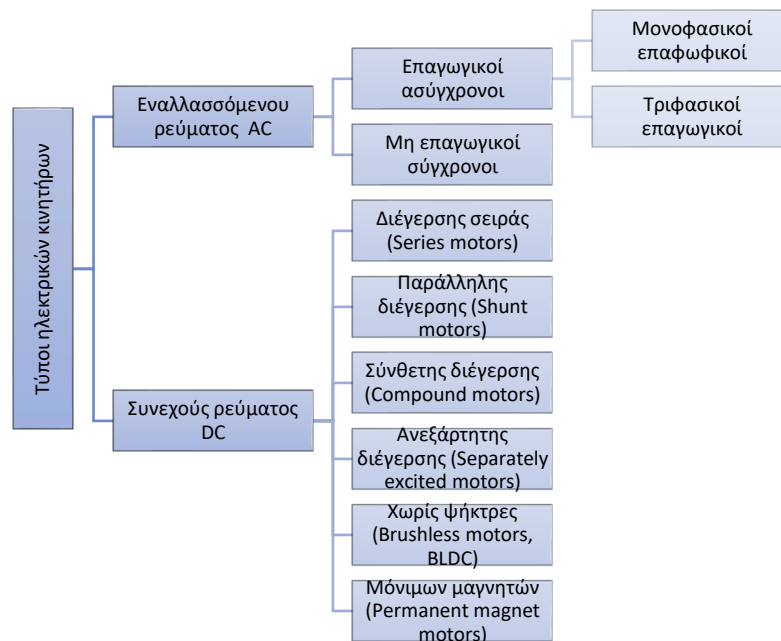
Μετατρέπουν τη συνεχή τάση με ορισμένο πλάτος και πολικότητα σε συνεχή τάση με διαφορετικό πλάτος ή και πολικότητα. Διακρίνονται σε μετατροπείς υποβιβασμού και ανύψωσης της τάσης ανάλογα με τη σχέση των τάσεων εισόδου και εξόδου.

3.3.1.4 ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ

Ο ηλεκτρικός κινητήρας αποτελεί την κύρια πηγή κίνησης του ηλεκτρικού αυτοκινήτου καθώς αναλαμβάνει να μετατρέψει την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική ροπή στρέψης στους τροχούς. Λόγω του ότι η ηλεκτρική μηχανή πρέπει να μπορεί να ελεγχθεί επακριβώς (έλεγχος ταχύτητας ή και ροπής), αρχικά είχε επικρατήσει η χρήση του DC κινητήρα. Τα σοβαρά μειονεκτήματα όμως αυτού, όπως το μεγάλο βάρος και η μικρή διάρκεια ζωής, τον αντικατέστησαν με την επαγωγική μηχανή. Επίσης, υπάρχουν τύποι κινητήρων που μπορούν να εκτελούν αντίστροφη λειτουργία



(γεννήτριες) και να μετατρέπουν τη μηχανική σε ηλεκτρική ενέργεια και να παρέχουν φόρτιση μπαταρίας κατά την κίνηση ή τη πέδηση.



Πίνακας 5 Είδη ηλεκτροκινητήρων.

• Ηλεκτρικοί κινητήρες συνεχούς ρεύματος DC

Ρότορας: αποτελεί ένα βασικό εξάρτημα για τη λειτουργία του κινητήρα και είναι το μέσο με το οποίο παράγεται η ροπή του κινητήρα. Περιέχει ένα μαλακό κομμάτι σιδήρου πάνω στο οποίο διαμορφώνονται προκαθορισμένες θέσεις για τη τοποθέτηση του τυλίγματος οπλισμού, το οποίο αποτελείται από αρκετές περιελίξεις αγωγού και τα άκρα του κάθε τυλίγματος συνδέονται με τους τομείς του συλλέκτη.

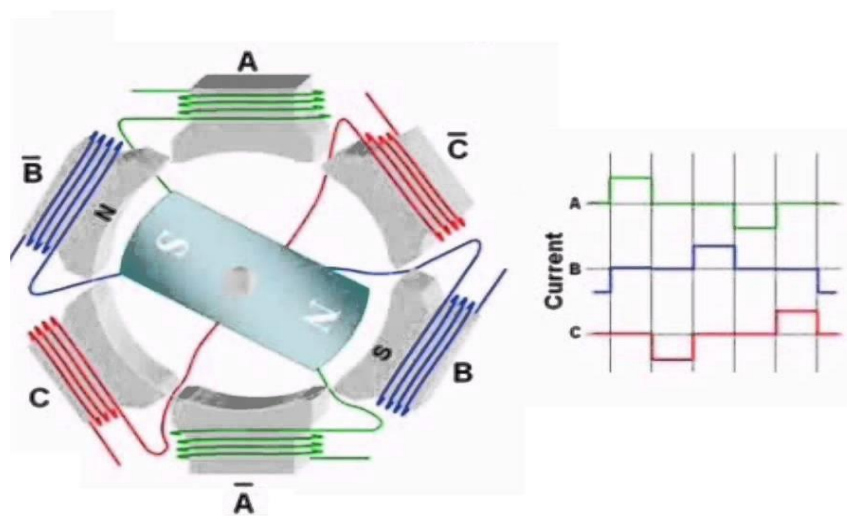
Συλλέκτης: μεταφέρει ρεύμα από τις ψήκτρες στα τυλίγματα του ρότορα. Αποτελείται από μεταλλικούς τομείς τοποθετημένους με τέτοιο τρόπο ώστε ο κάθε τομέας να έρχεται διαδοχικά σε επαφή με τις ψήκτρες κατά τη περιστροφή του. Έτσι, το ρεύμα αλλάζει κατεύθυνση κάθε φορά που ο τομέας έρχεται σε επαφή με διαφορετική ψήκτρα και με αυτό το τρόπο δεν μηδενίζεται η ροπή του ρότορα.

Ψήκτρες: κύριο υλικό τους είναι ο γραφίτης ή ο άνθρακας και βρίσκονται στο εσωτερικό ενός μονωμένου καλύμματος, ο ψηκτροφορέας. Βρίσκονται στη περιφέρεια του συλλέκτη και έρχονται σε επαφή με τους τομείς του. Συνδέονται κατευθείαν με τη πηγή ενέργειας και τα τυλίγματα του στάτη. Με αυτό το τρόπο τροφοδοτούν τα τυλίγματα, ενώ οι τομείς του συλλέκτη τροφοδοτούνται από την επαφή με τις ψήκτρες.

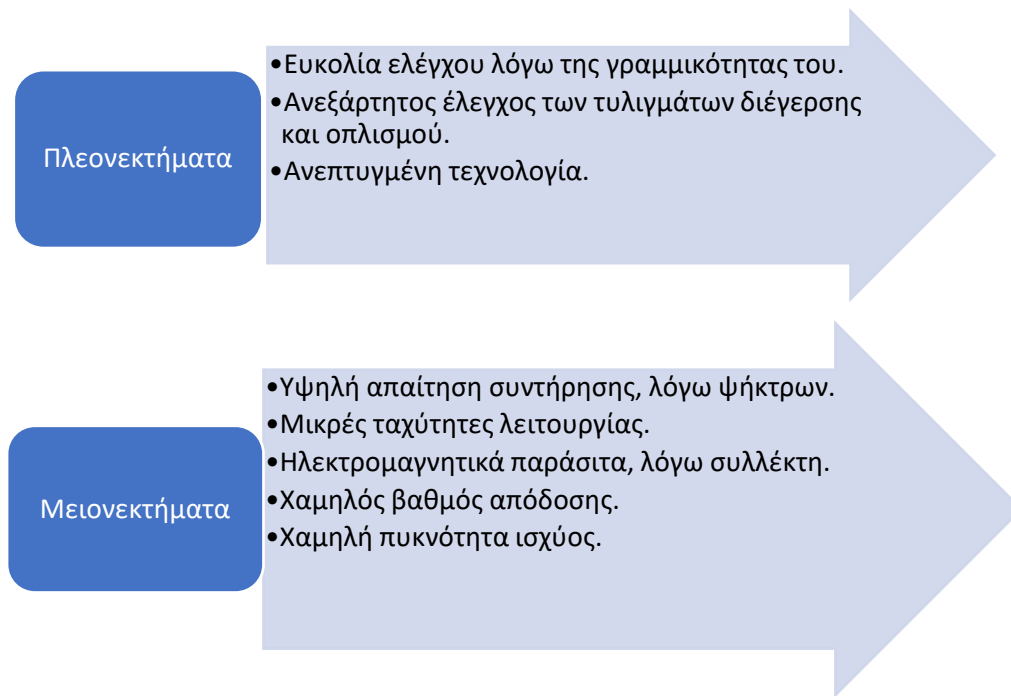


Στάτης: συνήθης χρήση ηλεκτρομαγνητών έναντι μόνιμων μαγνητών και είναι κατασκευασμένοι από χάλκινους αγωγούς περιτυλιγμένους γύρω από μαλακό σίδηρο. Η τροφοδότηση των αγωγών με ρεύμα έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα σταθερό ηλεκτρομαγνητικό πεδίο γύρω από το στάτη. Με τη χρήση μαλακού σιδήρου στο στάτη, έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των δινορρευμάτων και την ομοιόμορφη κατανομή του σταθερού μαγνητικού πεδίου στο εσωτερικό του κινητήρα.

Αναφορικά στους κινητήρες συνεχούς ρεύματος χωρίς ψήκτρες (Brush Less DC Motors, BLDC), μπορούμε να πούμε ότι εμφανίζει αρκετές ομοιότητες με τους επαγωγικούς κινητήρες οι οποίοι ταιριάζουν αρκετά στις απαιτήσεις ενός ηλεκτρικού οχήματος σε αντίθεση με τους επαγωγικούς κινητήρες που η εφαρμογή τους είναι μηδαμινή. Το βασικό χαρακτηριστικό αυτών των κινητήρων είναι η απουσία του συλλέκτη και των ψηκτρών όπως προαναφέρθηκε, και ο ρότορας είναι μόνιμος μαγνήτης και όχι ηλεκτρομαγνήτης όπως στους υπόλοιπους κινητήρες συνεχούς ρεύματος. Ένα ακόμη διαφορετικό χαρακτηριστικό τους είναι η περιστροφή του κινητήρα, η οποία επιτυγχάνεται με τον έλεγχο της τροφοδοσίας του στάτη από τον ελεγκτή του και τα τυλίγματα του στάτη τροφοδοτούνται ανά ζεύγη και όχι όλα μαζί όπως συμβαίνει σε άλλες εφαρμογές. Σε γενικά πλαίσια τα χαρακτηριστικά του μοιάζουν πολύ με τους κινητήρες μόνιμων μαγνητών, παρ'όλ'αυτά, παρουσιάζουν μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης και μακροβιότητα λόγω απώλειας ψηκτρών και συλλέκτη.



Εικόνα 28 Δομή τυλιγμάτων στο στάτη και ενδεικτικές καμπύλες ρεύματος στα τυλίγματα.



• Ηλεκτρικοί κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος AC

Η κατηγορία των κινητήρων εναλλασσόμενου ρεύματος είναι αυτή που στις μέρες μας χρησιμοποιείται ευρέως σε κάθε είδος εφαρμογή, όπου η ισχύς παρέχεται με ηλεκτρικό μέσω και πλέον και στην ηλεκτροκίνηση. Συγκεκριμένα, η χρήση του εναλλασσόμενου ρεύματος διευκολύνει τη χρήση του στη καθημερινότητα, καθώς μπορεί η υψηλή τάση να μετατραπεί σε ηλεκτρική ισχύς χαμηλής τάσης για τη χρήση που προορίζεται. Με αυτόν τον τρόπο η εφαρμογή τους, καθίσταται η πλέον επιθυμητή λόγω των επιδόσεων που μπορεί να προσφέρουν και στο κομμάτι της ηλεκτροκίνησης σε σχέση με ένα κινητήρα συνεχούς ρεύματος.

Ο συνδυασμός τους για την ορθή τους λειτουργία πρέπει να γίνει σε συνδυασμό κατάλληλου ελεγκτή για να μπορεί να διαχειριστή τις διαφορετικές απαιτήσεις από αυτές του συνεχούς ρεύματος. Έτσι, ένα εύκολο παράδειγμα μπορεί να ειπωθεί όταν το πακέτο μπαταριών ενός οχήματος παρέχει την ενέργεια που χρειάζεται με συνεχές ρεύμα, από εκεί ο ελεγκτής και συγκεκριμένα, ο μετατροπέας συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο DC-AC (Inverter), μετατρέπει το ρεύμα για να τροφοδοτήσει τον κινητήρα σωστά και να μπορέσει να τεθεί σε λειτουργία.



Η κατηγορία των μόνιμων μαγνητών σύγχρονων κινητήρες (PMSM) χρησιμοποιούνται συνήθως για υψηλής απόδοσης εφαρμογές και ο έλεγχος τους χαρακτηρίζεται από ομαλή περιστροφή σε όλο το εύρος ταχυτήτων του κινητήρα. Για να επιτευχθεί αυτός ο έλεγχος, οι τεχνικές που εφαρμόζονται στο φορέα αναφέρονται ως έλεγχος προσανατολισμού πεδίου (FOC). Η βασική ιδέα του φορέα είναι το τμήμα που παράγει πεδία και ένα τμήμα που παράγει ροπή να αποσυντεθεί ένα ρεύμα στάτη σε ένα μαγνητικό πεδίο.

Πλεονεκτήματα

- Ευκολότερη και φθηνότερη κατασκευή.
- Λιγότερη θερμότητα, τριβή και κινούμενα μέρη
- Περισσότερη αποδοτικότητα καθώς έχει μικρή απώλεια ενέργειας.

Μειονεκτήματα

- Παραγωγή δινορευμάτων και καλύτερη μόνωση και θωράκιση.
- Σταθεροποίηση της τάσης.
- Αυξημένη ανισυχία παρεμβολών σε άλλο ηλεκτρονικό εξοπλισμό.



3.3.1.5 ΦΟΡΤΙΣΤΗΣ

Η διάταξη φόρτισης των συσσωρευτών αποτελεί ένα από τα πλέον σημαντικά μέρη που απαρτίζουν ένα ηλεκτροκίνητο όχημα. Κατά τη διαδικασία της φόρτισης, ο φορτιστής είναι εκείνο το μέσο που συνδέει το ηλεκτρικό όχημα με το δίκτυο παροχής ενέργειας. Καθίσταται, λοιπόν, σαφές ότι πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην επιλογή του φορτιστή. Η καταλληλότητά του θα καθοριστεί από το κατά πόσον ανταποκρίνεται σε προδιαγραφές οι οποίες αφορούν όχι μόνο την ασφάλεια του ανθρώπινου παράγοντα αλλά και το βαθμό κατά τον οποίο επιβαρύνει το δίκτυο.

Σημαντικό κριτήριο για την επιλογή ενός φορτιστή είναι η κατηγορία συσσωρευτών που καλείται να φορτίσει. Είναι αναγκαίο, επίσης, να έχει υψηλό βαθμό απόδοσης έτσι ώστε να μην υπάρχουν απώλειες οι οποίες είναι υπεύθυνες για υπερθέρμανση. Απαραίτητος είναι και ο υψηλός συντελεστής ισχύος προκειμένου να αποφευχθεί η έγχυση ανώτερων αρμονικών στο δίκτυο, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει αστάθεια και τυχόν άλλα προβλήματα στο δίκτυο. Παράλληλα, η ευκολία στη χρήση και η φορητότητα είναι χαρακτηριστικά τα οποία σίγουρα ενισχύουν την πρακτικότητά του

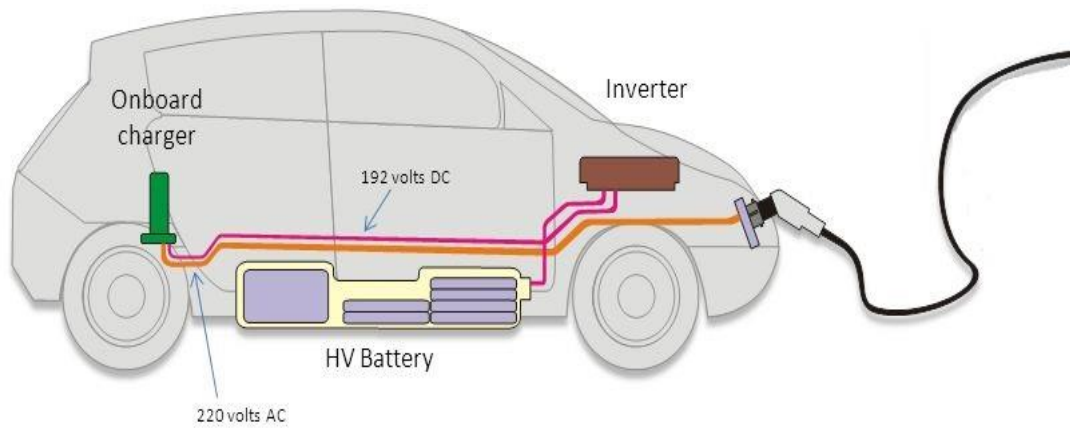
Αγωγήμη φόρτιση

- Μέσω ηλεκτρικού αγωγού και του φορτιστή διοχετεύεται η ηλεκτρική ενέργεια στο πακέτο μπαταριών.

Επαγωγική φόρτιση

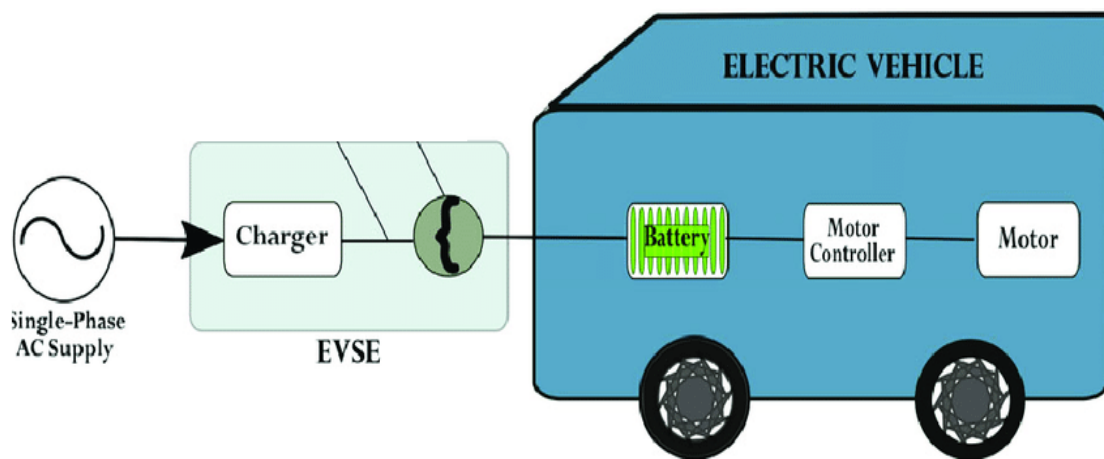
- Μέσω της δημιουργίας ηλεκτρομαγνητικού πεδίου διοχετεύεται η ενέργεια στο πακέτο μπαταριών χωρίς την ανάγκη αγωγού ή επαφής.

On Board φορτιστές, οι οποίοι βρίσκονται επάνω στο όχημα και δεν μπορεί να γίνει ο διαχωρισμός αυτών των δύο. Στη περίπτωση της φόρτισης του οχήματος απλώς τοποθετούμε το βύσμα του φορτιστή στη παροχή ρεύματος και αυτό φορτίζει χωρίς να θέλει κάποια ιδιαίτερη ενέργεια από εμάς.



Εικόνα 29 Σχηματική απεικόνιση φορτιστή πάνω στο όχημα.

Off Board φορτιστές, βρίσκονται εκτός του οχήματος και κυρίως λαμβάνουν χώρα σε περιπτώσεις πιο αγωνιστικού χαρακτήρα αυτοκινήτου καθαρά για λόγο επιδόσεων. Σε αυτή τη περίπτωση θα πρέπει σαν κάτοχοι των συγκεκριμένων οχημάτων να τοποθετήσουμε το φορτιστή στη παροχή ηλεκτρικού ρεύματος και στη συνέχεια να συνδέσουμε το βύσμα στην υποδοχή του οχήματος για να φορτίσουμε το πακέτο μπαταριών μας.



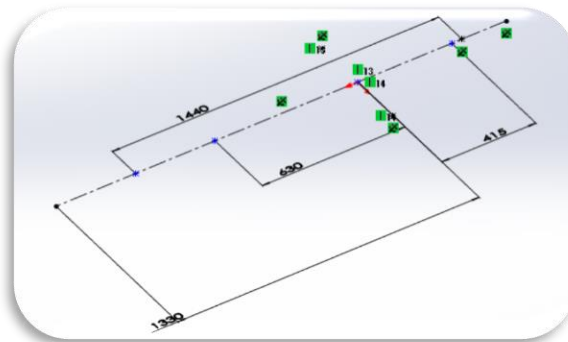
Εικόνα 30 Σχηματική απεικόνιση φορτιστή εκτός οχήματος..



4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΜΟΝΟΘΕΣΙΟΥ.

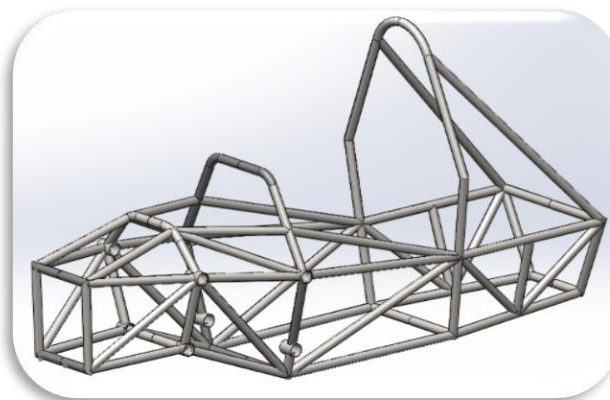
4.1 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΠΛΑΙΣΙΟΥ

Για την σχεδίαση του πλαισίου ολοκληρώθηκε με την χρήση της τρισδιάστατης σχεδίασης Solidworks 2016. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως η σχεδίαση του πλαισίου έγινε με την τήρηση των κανόνων τριγωνοποίησης και σύνδεσης πολλών σωλήνων σε κόμβους για την ευκολότερη και πιο ομαλή μεταφορά δυνάμεων. Για αυτούς τους λόγους το πλαίσιο σχεδιάστηκε σε μορφή 3D τμηματικά μέχρι και την τελική μορφή του. Στις παρακάτω εικόνες απεικονίζεται η διαδικασία σχεδίασης.



Εικόνα 31 Αρχικές διαστάσεις πλαισίου.

Στην εικόνα αυτή βλέπουμε τις αρχικές διαστάσεις του πλαισίου. Κάθε σημείο, (μπλε κουκίδες), αποτελεί κάθε ένα από τα διαφράγματα. Κατά σειρά αριστερά απεικονίζεται το crash hoop, έπειτα τα front, main hoops.



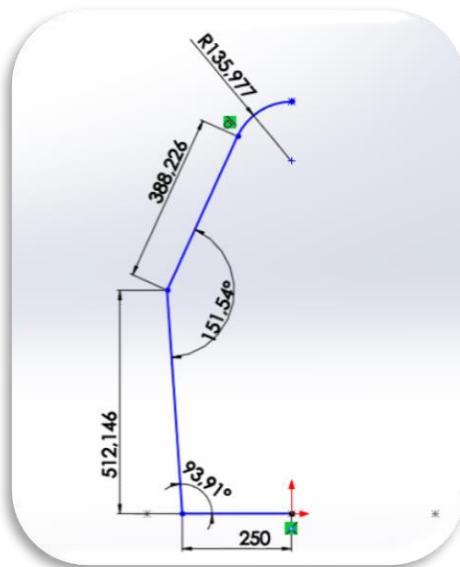
Εικόνα 32 Τελική τρισδιάστατη μορφή πλαισίου.

Σε αυτήν την εικόνα απεικονίζεται το πλαίσιο στην τελική ρεαλιστική μορφή του. Ακόμα μπορούμε να διακρίνουμε την επαλληλία των τριγώνων αλλά και τα κύρια μέρη του πλαισίου.



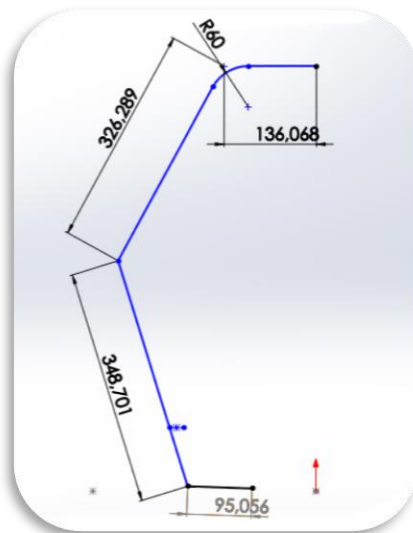
4.1.1 ΤΡΟΠΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ

Στο λογισμικό πακέτο 3D σχεδίασης Solidworks 2017 έχουμε την δυνατότητα να σχεδιάσουμε να σχεδιάσουμε σε ένα τρισδιάστατο και φιλικό περιβάλλον το οποίο διευκολύνει αρκετά την ομάδα μας. Σε τέτοιου είδους σχέδια αρχικά σχεδιάζεται σε μορφή 3D Wireframe και στην συνέχεια γίνεται η μετατροπή του σε τρισδιάστατη μορφή. Η ομάδα μας έκανε την χρήση της τεχνικής half wireframe λόγω ότι το σχέδιο μας είναι απόλυτα συμμετρικό ως προς τον άξονα χ, επιτυγχάνοντας έτσι την εξοικονόμηση χρόνου, μείωση πολυπλοκότητας και απόλυτης συμμετρίας. Έτσι το πρώτο μέρος του πλαισίου που σχεδιάστηκε ήταν το Main Hoop το οποίο αποτελεί το πιο κύριο και δομικό κομμάτι του πλαισίου.



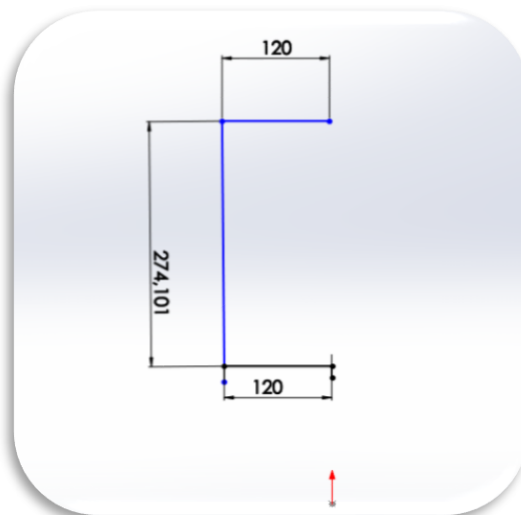
Εικόνα 33 Σχεδίαση Main Hoop.

Έπειτα, σχεδιάστηκε το Front Hoop πάνω στο οποίο θα γίνει η στήριξη του τιμονιού και είναι ένα από το κυριότερα σημεία για την ασφάλεια του οδηγού.



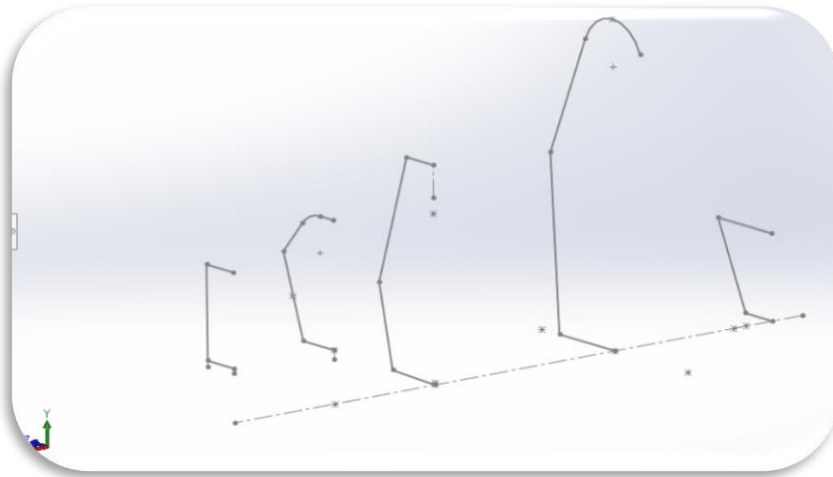
Εικόνα 34 Σχεδίαση Front Hoop.

Στη συνέχεια σχεδιάστηκε το Front Bulkhead, το οποίο αποσκοπεί στην ασφάλεια του οδηγού και το ενδιάμεσο hoop το οποίο αποσκοπεί στην στήριξη της ανάρτησης.



Εικόνα 35 Σχεδίαση Front Bulkhead.

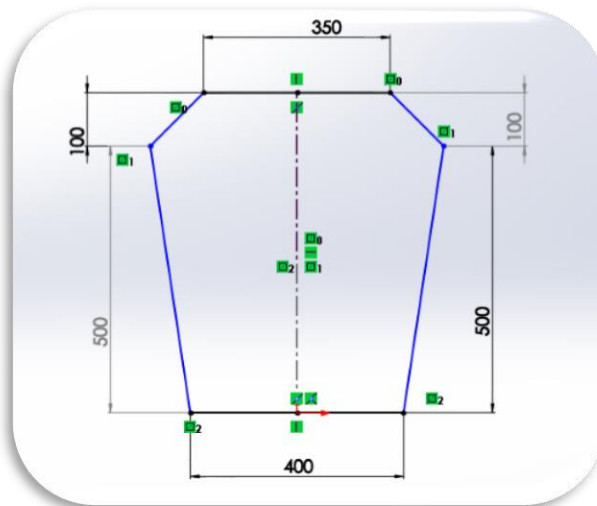
Αντίστοιχα σχεδιάζουμε και για το πίσω μέρος του μονοθέσιου μας τηρώντας πάντοτε τις αρχικές μας διαστάσεις.



Εικόνα 36 Ολοκλήρωση σχεδιασμού στηριγμάτων σύμφωνα με αρχικές διαστάσεις.

Αφού ολοκληρώθηκε η σχεδίαση τους επόμενο βήμα είναι η σχεδίαση των Roll Hoop Supports τα οποία πρέπει να τοποθετηθούν με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να τηρείται η τριγωνοποίηση. Έπειτα από τον σχεδιασμό τους σειρά είχε η εκτέλεσης της εντολής καθρεπτισμού (mirror) στο σχεδιαστικό μας πρόγραμμα έτσι ώστε το πλαίσιο να πάρει την τελική γραμμική μορφή του.

Επόμενος στόχος της ομάδας ήταν η σωστή σχεδίαση της θέσης του οδηγού σύμφωνα με τους κανόνες του διαγωνισμού Formula Student 2017-2018.



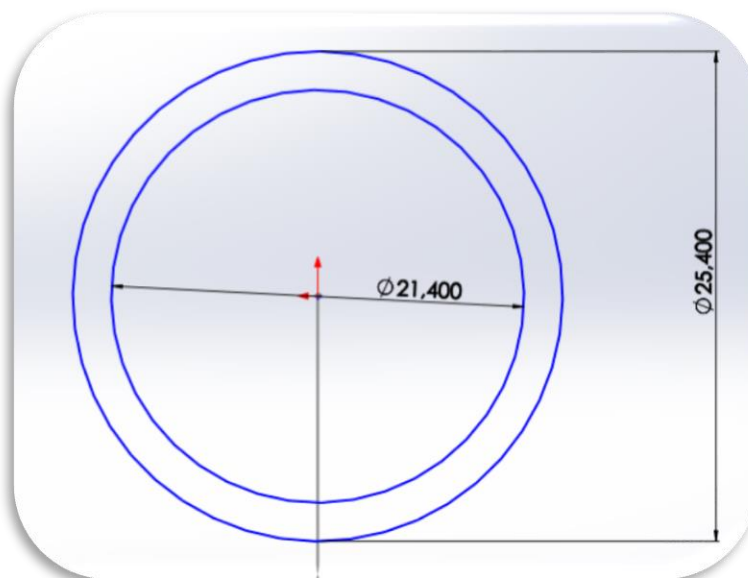
Εικόνα 37 Διαστάσεις θέσεως οδήγησης.



Τέλος, υπομείνετε η ολοκλήρωση του πίσω μέρος του πλαισίου έτσι ώστε να μπορούν να τοποθετηθούν τα πακέτα των μπαταριών και να γίνει η στήριξη των αναρτήσεων.

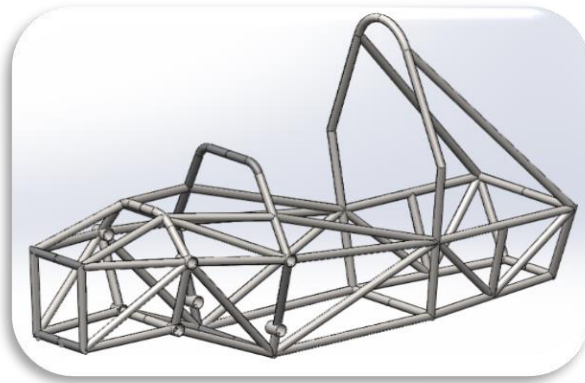
Στο τέλος κάθε βήματος – κομματιού του σχεδίου γινόταν η αντικατάσταση των απλών γραμμών (ευθύγραμμα τμήματα, γωνίες) με σωλήνες εξωτερικής διαμέτρου 25,4mm (1inch) και πάχους 2mm. Αυτή η διαδικασία ολοκληρώθηκε με την επαναλαμβανόμενη χρήση μιας εντολής του Solidworks η οποία ονομάζεται Boss Extrude. Στην εντολή δίνουμε ως στοιχεία το προφίλ που θέλουμε να έχει ως τελική μορφή καθώς και την αρχή και το τέλος αυτού.

Για να δημιουργήσουμε το προφίλ του σωλήνα σχεδιάσαμε δύο ομόκεντρους κύκλους ο ένας εκ των οποίων έχει 25,4mm διάμετρο και ο άλλος 21,4mm διάμετρο.



Εικόνα 38 Διατομή σωλήνων.

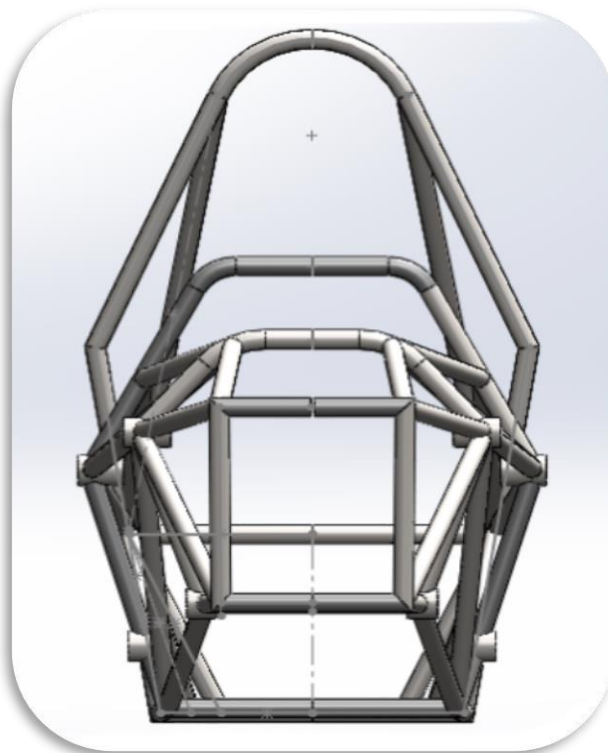
Εφαρμόζοντας αυτή την εντολή σε όλα τα επιμέρους τμήματα του μονοθέσιου μας το σχέδιο μας παίρνει την εξής τρισδιάστατη μορφή.



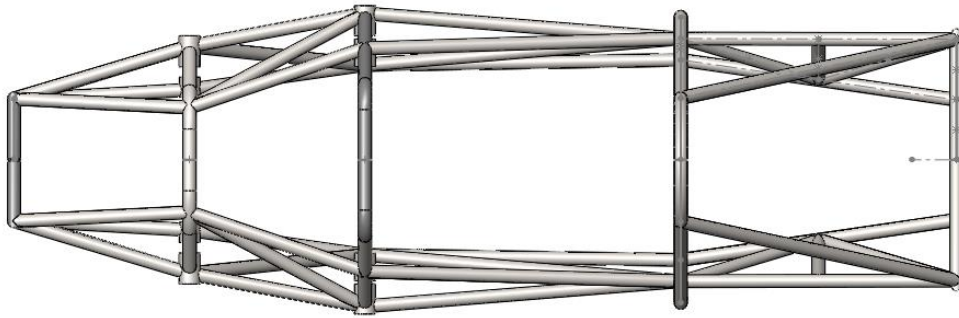
Εικόνα 39 Τελική τρισδιάστατη μορφή πλαισίου.

4.1.2 ΟΨΕΙΣ ΠΛΑΙΣΙΟΥ

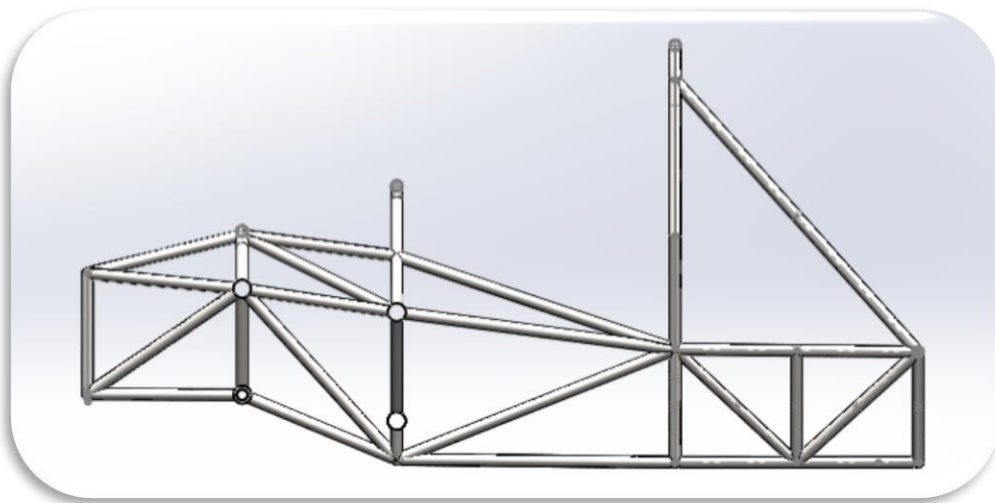
Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζονται οι όψεις του πλαισίου στην ολοκληρωμένη τρισδιάστατη μορφή του.



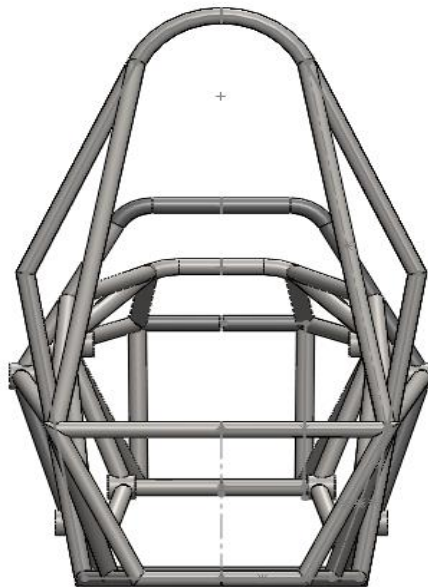
Εικόνα 40 Πρόσοψη.



Εικόνα 41 Κάτοψη.



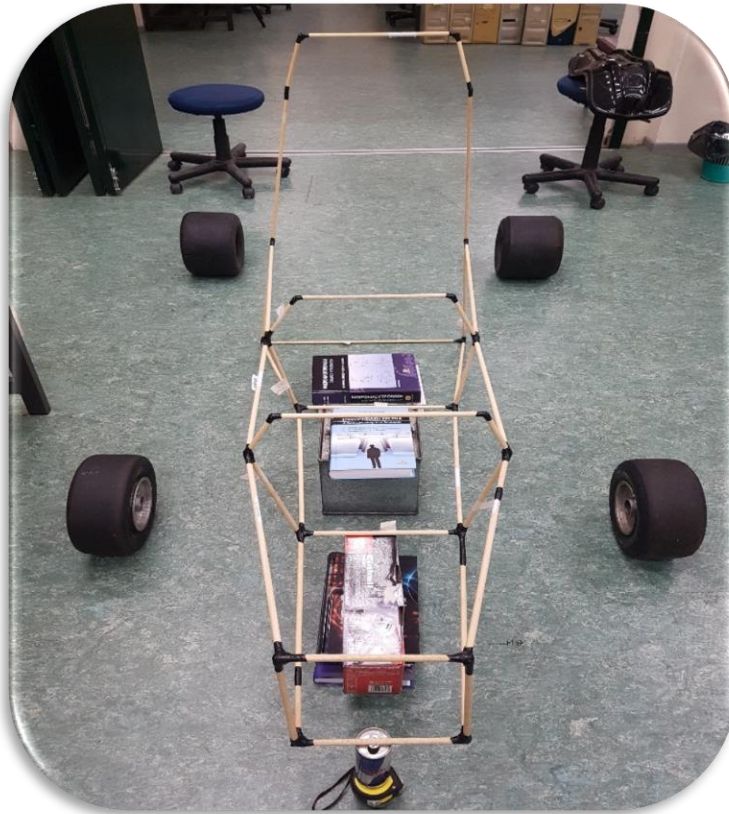
Εικόνα 42 Πλάγια όψη.



Εικόνα 43 Πίσω όψη.



4.1.3 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΠΛΑΙΣΙΟΥ



Εικόνα 44 Πρόσοψη πρότυπου μοντέλου.

Για την πλήρη κατανόηση και αντίληψη της κατασκευής του πλαισίου προβήκαμε στην κατασκευή ενός πρότυπου μοντέλου. Κύριος στόχος αυτής της προσπάθειας ήταν η διόρθωση τυχόν λαθών και ατελειών όσον αφορά τόσο την θέση οδήγησης, την εργονομία καθώς και την δυνατότητα κατασκευής του πλαισίου.

Για την σωστή κατασκευή αυτού του μοντέλου ακολουθήσαμε τα ίδια βήματα κατά τα οποία έγινε και η σχεδίαση στο σχεδιαστικό πρόγραμμα. Πρώτο βήμα ήταν η τοποθέτηση σημείων στο δάπεδο τα οποία συμβόλιζαν τις αρχικές διαστάσεις του πλαισίου. Έπειτα, ενώνοντας τις ξύλινες ράβδους για την επιτεύχθηκε δημιουργία όλων των κύριων διαφραγμάτων. Επόμενο βήμα ήταν η τοποθέτηση των ξύλινων διαφραγμάτων στις αρχικές μας διαστάσεις. Στη συνέχεια, τα ενώσαμε μεταξύ τους δημιουργώντας τα αντίστοιχα χωροδικτυώματα του σχεδίου (bracings). Το τελικό αποτέλεσμα διαμορφώθηκε όπως φαίνεται στην εικόνα 45.



Εικόνα 45 Πλάγια όψη πρότυπου μοντέλου.

Μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής του παραπάνω προτύπου σειρά είχε η διασφάλιση της εργονομίας του οδηγού και την θέση οδήγησης του. Με την τοποθέτηση του οδηγού στην πρότυπη αυτή κατασκευή διορθώθηκαν λάθη που υπήρξαν όσον αφορά τις αρχικές διαστάσεις του πλαισίου καθώς και την διόγκωση της θέσης οδήγησης έτσι ώστε ο οδηγός να μπορεί να εισέρχεται και να εξέρχεται από το όχημα με μια σχετική ευκολία αλλά ταυτόχρονα να προστατεύεται από αυτό.



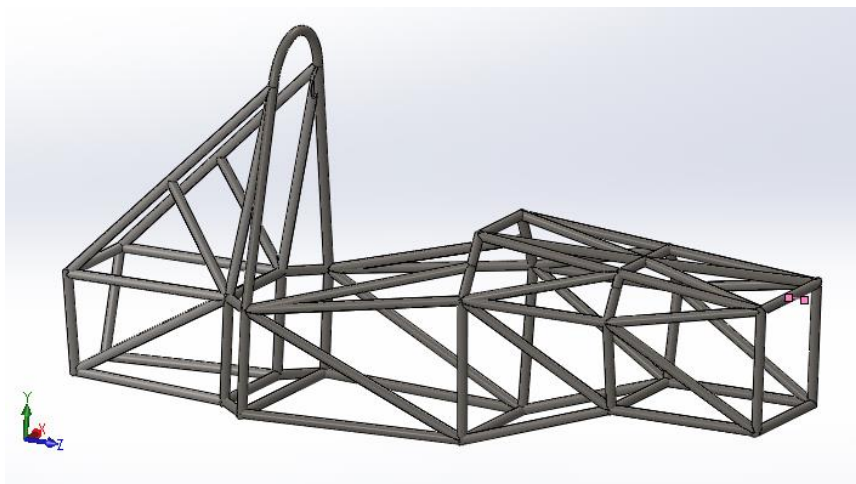
4.2 ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΛΑΙΣΙΟΥ

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει αναφορά στην στατική ανάλυση του πλαισίου, για τον τρόπο με το οποίο έγινε, τις τιμές μετατόπισης και τάσεων στις οποίες πρέπει να κυμαίνεται το πλαίσιο, τα σημεία τα οποία ασκούνται οι δυνάμεις καθώς και τα σημεία συγκράτησης του.

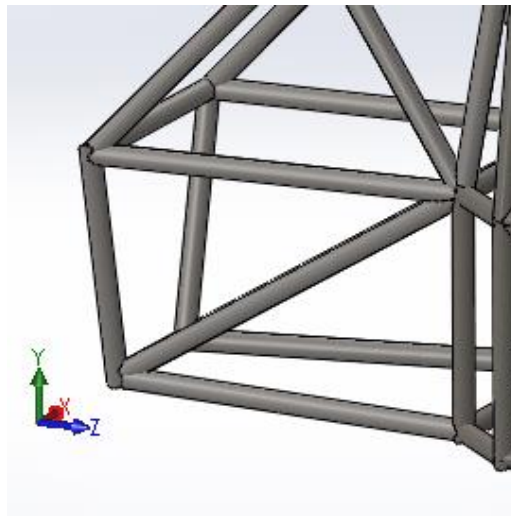
Τα μέρη του πλαισίου που εξετάστηκαν είναι τα ακόλουθα:

1. Το διάφραγμα κρούσης
2. Το εμπρόσθιο διάφραγμα
3. Το κύριο διάφραγμα

Η στατική ανάλυση του πλαισίου πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του λογισμικού προγράμματος SolidWorks 2017 το οποίο μας παρέχει πληθώρα δυνατοτήτων ανάλυσης τέτοιου είδους κατασκευών. Για την μια επιτυχημένη και πιο ακριβής στατική ανάλυση του πλαισίου του οχήματος πρέπει πρώτα να επέλθει έλεγχος στην τελική μορφή του έτσι ώστε να μην υπάρχουν ασυνέχειες σε αυτό. Σε περίπτωση ύπαρξης τέτοιου είδους ατελειών θα προκύψουν και λάθος αποτελέσματα. Κάθε επιμέρους τμήμα του πλαισίου μελετάται ξεχωριστά και βελτιώνεται έτσι ώστε να καλύπτει τα όρια του διαγωνισμού. Επιπλέον, η ανάλυση αυτή τελείται στους τρεις κύριους άξονες x , y και z .



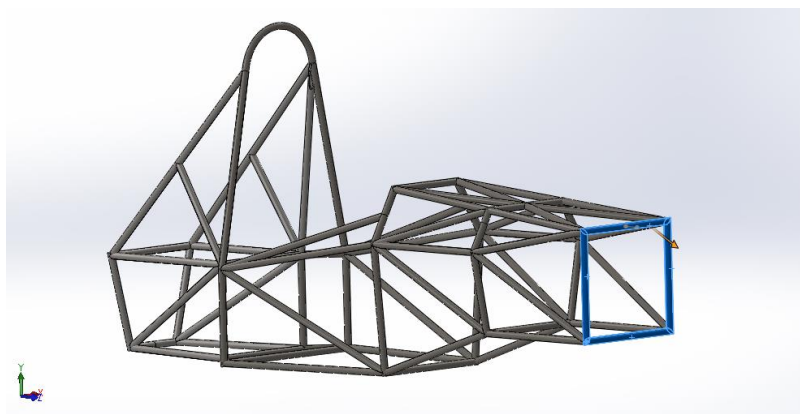
Εικόνα 46 Τρισδιάστατη απεικόνιση πλαισίου στους άξονες x, y, z .



Εικόνα 47 Σύστημα συντεταγμένων x, y, z .

4.2.1. ΜΕΤΡΟ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΚΑΙ ΣΗΜΕΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥΣ ΣΤΟ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑ ΚΡΟΥΣΗΣ

Πρώτη μελέτη που κάνουμε πάνω στο πλαίσιο είναι πρόσκρουση κατά τη διεύθυνση Z όπως ορίζουν και οι κανονισμοί. Διάφραγμα κρούσης είναι το τμήμα του πλαισίου πάνω στο οποίο στηρίζεται ο αποσβεστήρας κρούσης. Στην παρακάτω εικόνα το διάφραγμα κρούσης σημειώνεται με μπλε χρώμα. Το φορτίο που εφαρμόζεται είναι 12kN δηλαδή περίπου 1200 kg. [1]



Εικόνα 48 Σημεία εφαρμογής δύναμης.



Διεύθυνσης εφαρμογής της δύναμης:

$$F_z = 12 \text{ kN}$$

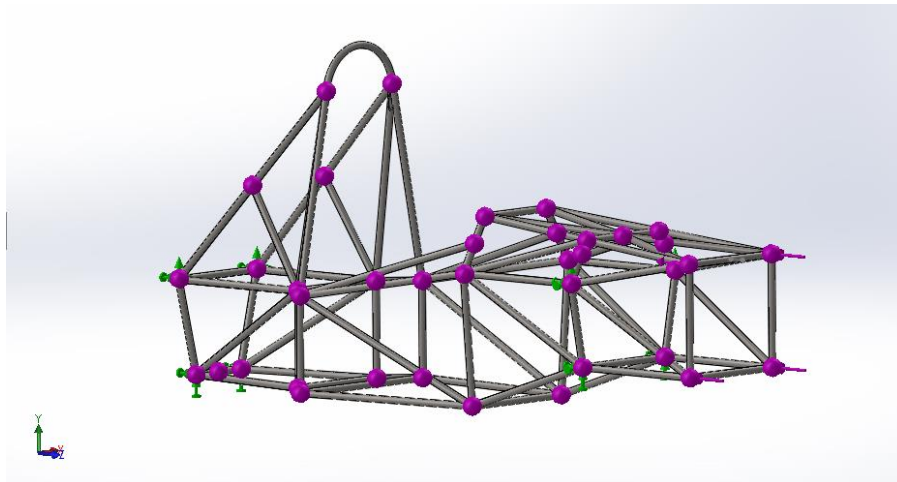
$$F_x = 0 \text{ kN}$$

$$F_y = 0 \text{ kN}$$

Σημείο εφαρμογής αυτών των δυνάμεων είναι τα σημεία στα οποία θα τοποθετηθεί το προστατευτικό σύγκρουσης. Η μέγιστη επιτρεπόμενη μετατόπιση είναι τα 25mm.

Εμφάνιση τάσεων

Πρώτο και κύριο βήμα είναι ο προσδιορισμός των θέσεων στήριξης του πλαισίου. Τα σημεία αυτά είναι και σημεία στήριξης των αναρτήσεων όπως αυτό φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα.[5]



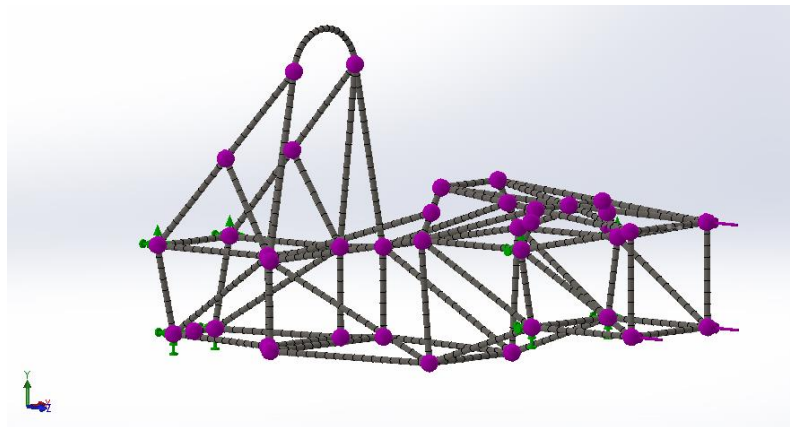
Εικόνα 49 Προσδιορισμός σημείων στήριξης πλαισίου.

Επόμενο βήμα είναι ο χωρισμός του πλαισίου σε πεπερασμένα στοιχεία έτσι ώστε να μπορούμε να αντλήσουμε τα στοιχεία που μας είναι χρήσιμα. Ο αριθμός των στοιχείων στο οποίο χωρίστηκε το πλαίσιο είναι 789 σε χρόνο 36 δευτερολέπτων.



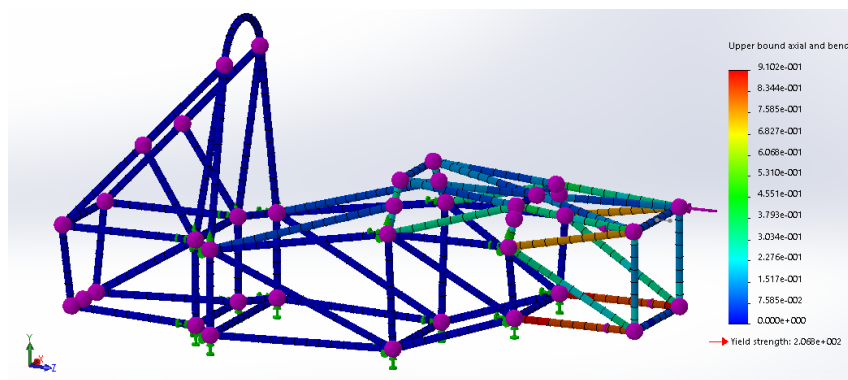
Λεπτομέρειες πεπερασμένων στοιχείων	
Όνομα μελέτης	Διάφραγμα κρούσης
Μέθοδος χωρισμού στοιχείων	Πλέγμα
Συνολικά σημεία	841
Συνολικά στοιχεία	789
Χρόνος ολοκλήρωσης διαδικασίας	00:00:36

Πίνακας 6 Λεπτομέρειες πεπερασμένων στοιχείων.



Εικόνα 50 Χωρισμός πλαισίου σε πεπερασμένα στοιχεία.

Στη συνέχεια γίνεται η εκτέλεση της ανάλυσης του πλαισίου με την εντολή Run έτσι ώστε να παραχθούν τα αποτελέσματα.

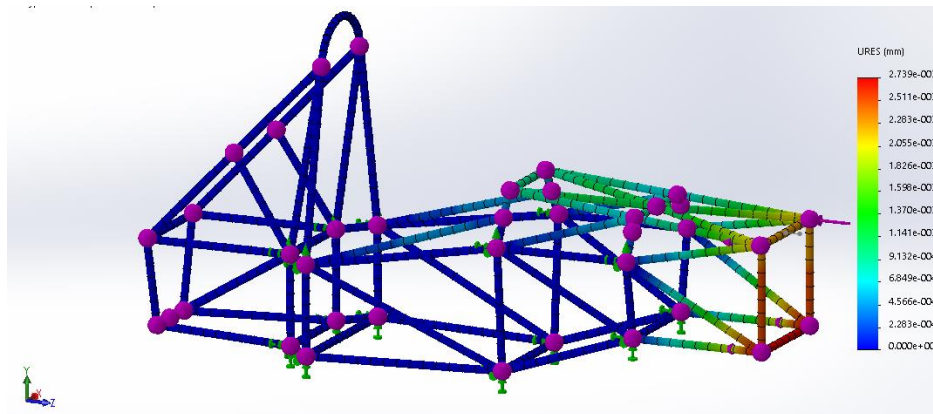


Εικόνα 51 Εμφάνιση τάσεων πλαισίου.



Όπως προκύπτει από το πείραμα οι μέγιστες τάσεις που δημιουργούνται στο διάφραγμα κρούσης είναι 9,102 MPa τιμή η οποία είναι απόλυτα αποδεκτή και συμβιβάζεται με τις προδιαγραφές.

Εμφάνιση παραμορφώσεων



Εικόνα 52 Εμφάνιση παραμορφώσεων πλαισίου.

Ο απαιτούμενος χρόνος διεξαγωγής των μετρήσεων είναι το 1 λεπτό και 35 δευτερόλεπτα (01:35') και οι παραμορφώσεις που δημιουργούνται από τις δυνάμεις που επιδρούν στο διάφραγμα κρούσης είναι 2.739mm. Η μέγιστη επιτρεπόμενη παραμόρφωση που μπορεί να δεχτεί σύμφωνα με τους κανονισμούς του διαγωνισμού είναι 25mm. Οπότε, προκύπτει το συμπέρασμα ότι το διάφραγμα κρούσης μπορεί να φέρει με ασφάλεια τα προβλεπόμενα φορτία.



4.2.1 ΜΕΤΡΟ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΚΑΙ ΣΗΜΕΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥΣ ΣΤΟ ΕΜΠΡΟΣΘΙΟ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑ

Δεύτερη μελέτη που διεξάγεται στο πλαίσιο είναι πρόσκρουση κατά των διευθύνσεων x, y και z όπως ορίζουν και οι κανονισμοί. Το φορτίο που εφαρμόζεται είναι 6 kN δηλαδή περίπου 600kg στον άξονα z, 5 kN κατά τον χ άξονα και -9 kN στο y άξονα. Το πρόσημο μείον οφείλεται στην αντίθετη φορά της δύναμης από τη θετική φορά των αξόνων. [1]

Διεύθυνσης εφαρμογής της δύναμης:

$$F_z = 6 \text{ kN}$$

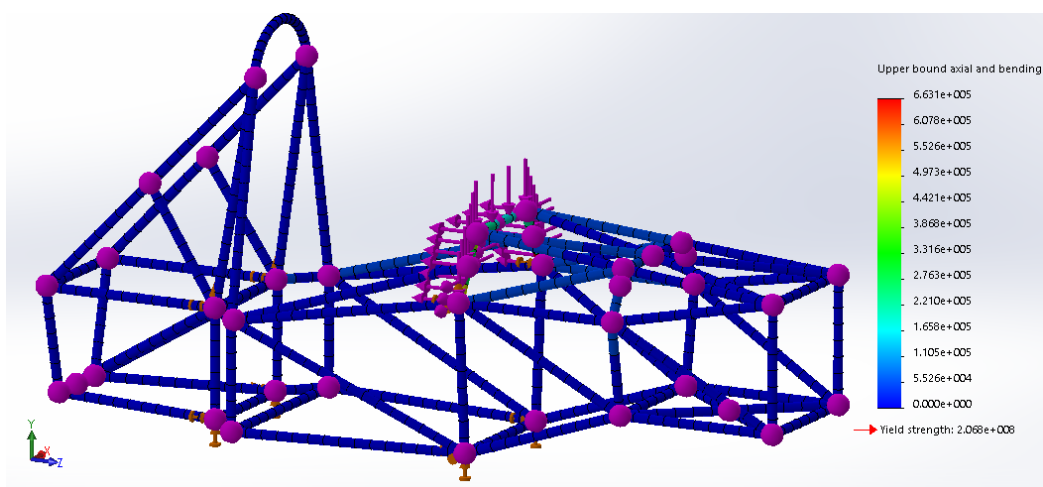
$$F_x = 5 \text{ kN}$$

$$F_y = -9 \text{ kN}$$

Σημείο εφαρμογής αυτών των δυνάμεων είναι τα σημεία στα οποία θα τοποθετηθεί το προστατευτικό σύγκρουσης. Η μέγιστη επιτρεπόμενη μετατόπιση είναι τα 25mm.

Εμφάνιση τάσεων

Με κοινά σημεία στήριξης όπως στο προηγούμενο βήμα γίνεται η ανάλυση στατικών δυνάμεων στο εμπρόσθιο διάφραγμα του πλαισίου.

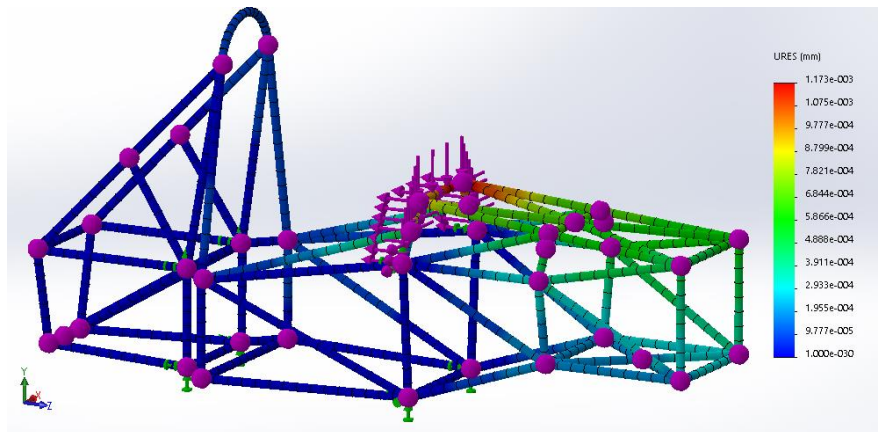


Εικόνα 53 Εμφάνιση εμπρόσθιου τμήματος πλαισίου.



Όπως προκύπτει από το πείραμα οι μέγιστες τάσεις που δημιουργούνται στο εμπρόσθιο διάφραγμα είναι 6,631 MPa, τιμή η οποία είναι απόλυτα αποδεκτή και συμβιβάζεται με τις προδιαγραφές.

Εμφάνιση παραμορφώσεων



Εικόνα 54 Εμφάνιση παραμορφώσεων εμπρόσθιου τμήματος πλαισίου.

Ο απαιτούμενος χρόνος διεξαγωγής των μετρήσεων είναι το 2 λεπτά και 12 δευτερόλεπτα (02:12'). Οι παραμορφώσεις που δημιουργούνται από τις δυνάμεις που επιδρούν στο εμπρόσθιο διάφραγμα είναι 1.173mm. Η μέγιστη επιτρεπόμενη παραμόρφωση που μπορεί να δεχτεί σύμφωνα με τους κανονισμούς του διαγωνισμού είναι 25mm. Οπότε, προκύπτει το συμπέρασμα ότι το εμπρόσθιο διάφραγμα μπορεί να φέρει με ασφάλεια τα προβλεπόμενα φορτία.

4.2.2 ΜΕΤΡΟ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΚΑΙ ΣΗΜΕΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥΣ ΣΤΟ ΚΥΡΙΟ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑ

Στο κύριο διάφραγμα του πλαισίου ασκούνται δυνάμεις των 6kN, 5kN και -9kN στις διευθύνσεις Z, X και Y αντίστοιχα. Στον άξονα Y το πρόσημο της δύναμης είναι αρνητικό διότι και σε αυτό το τμήμα του πλαισίου θα εξεταστεί η αντοχή σε περίπτωση ανατροπή του οχήματος. Το σημείο εφαρμογής των δυνάμεων αυτών είναι το άνω μέρος του κύριου διαφράγματος.[1]

Διεύθυνσης εφαρμογής της δύναμης:

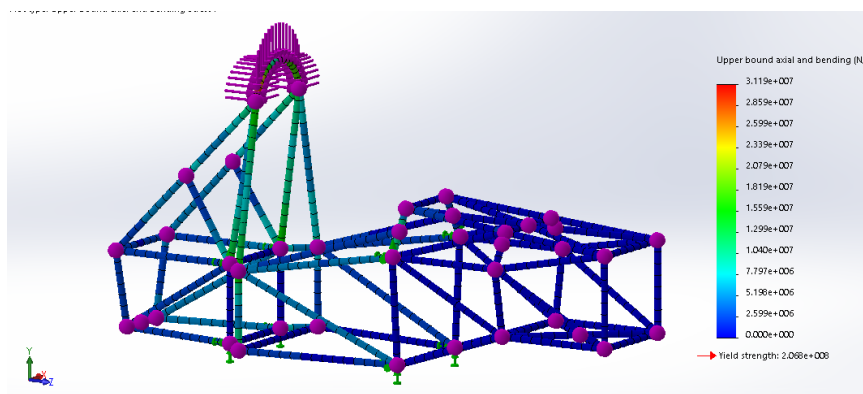
$$F_z = 6.0\text{kN}$$

$$F_x = 5.0\text{kN}$$

$$F_y = -9.0\text{kN}$$

Σημείο εφαρμογής αυτών των δυνάμεων είναι τα σημεία στα οποία θα τοποθετηθεί το προστατευτικό σύγκρουσης. Η μέγιστη επιτρεπόμενη μετατόπιση είναι τα 25mm.

Εμφάνιση τάσεων

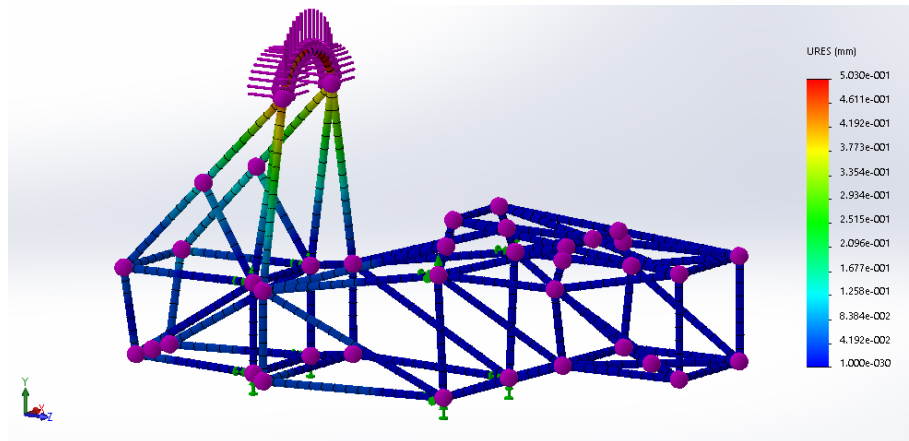


Εικόνα 55 Εμφάνιση τάσεων κύριου τμήματος πλαισίου.



Όπως προκύπτει από το πείραμα οι μέγιστες τάσεις που δημιουργούνται στο εμπρόσθιο διάφραγμα είναι 3,119MPa τιμή η οποία είναι απόλυτα αποδεκτή και συμβιβάζεται με τις προδιαγραφές.

Εμφάνιση παραμορφώσεων



Εικόνα 56 Εμφάνιση παραμορφώσεων κυρίους τμήματος πλαισίου.

Ο απαιτούμενος χρόνος διεξαγωγής των μετρήσεων είναι το 1 λεπτό και 58 δευτερόλεπτα (01:58'). Οι παραμορφώσεις που δημιουργούνται από τις δυνάμεις που επιδρούν στο κύριο διάφραγμα είναι 5.030mm. Η μέγιστη επιτρεπόμενη παραμόρφωση που μπορεί να δεχτεί σύμφωνα με τους κανονισμούς του διαγωνισμού είναι 25mm. Οπότε, προκύπτει το συμπέρασμα ότι το κύριο διάφραγμα μπορεί να φέρει με ασφάλεια τα προβλεπόμενα φορτία.

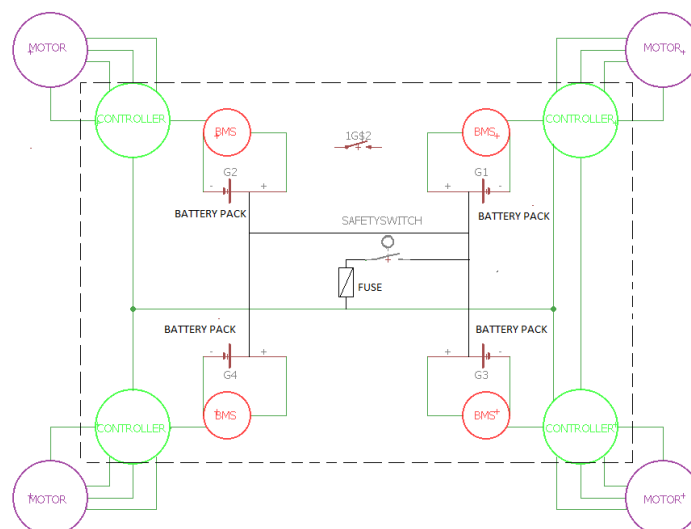


4.3 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΨΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ.

Εμβαθύνοντας περισσότερο στη κατασκευή μίας ηλεκτροκίνητης φόρμουλας σύμφωνα με τα πρότυπα της FSAE, φτάσαμε στο συμπέρασμα να μελετήσουμε αναλυτικότερα τους κανονισμούς που αναφέρονται σε κινητήρα με συνεχή παροχή ηλεκτρικού ρεύματος (DC) με μέγιστη τάση 600 volt για 2 κυρίως λόγους:

- Ο πρώτος αναφέρεται στην ευκολότερη προγραμματιστική διαχείριση του συστήματος που δίνεται από τους κινητήρες συνεχούς ρεύματος (DC) σε σχέση με αυτούς του εναλλασσόμενου ρεύματος (AC).
- Ο δεύτερος λόγος θεσπίζεται καθαρά σε λογικές αποφάσεις, καθώς με την επιλογή κινητήρα συνεχούς ρεύματος (DC) μας δίνεται η δυνατότητα να συμμετάσχουμε στον ίδιο θεσμό αλλά και στις δύο διαφορετικές χώρες διεξαγωγής του διαγωνισμού.

Μετά από εκτεταμένη έρευνα στην αναζήτηση ηλεκτρικών κινητήρων, η κατάλληλη επιλογή έγινε σύμφωνα με τις επιδόσεις που θέλουμε να έχει το μονοθέσιο και τα τεχνικά χαρακτηριστικά που ενδεχομένως θα πληροί. Υπολογίζοντας το συνολικό βάρος συνολικά του μονοθέσιου στα 300kg, καθώς ο οδηγός θα φέρει και τον απαραίτητο εξοπλισμό που είναι υποχρεωμένος να φοράει κατά τη διάρκεια του διαγωνισμού.[6]



Εικόνα 57 Διάγραμμα ηλεκτρικής ισχύος.



4.3.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ.

Για να μπορέσουμε να ξεκινήσουμε τη μελέτη των ηλεκτρικών τάσεων πρέπει να λάβουμε σαν δεδομένα τα επιθυμητά στοιχεία επιδόσεων του μονοθέσιου σχετικά με τις δοκιμασίες που καλείται να εκτελέσει. Κατά αυτόν το τρόπο λαμβάνουμε υπόψιν:

Μέγιστη τελική ταχύτητα των 120 km/h .

Επιτάχυνση 0-100 km/h σε 4 sec.

Αυτονομία 20 min.

Για να μπορέσει το μονοθέσιο να έχει αυτές τις επιδόσεις θα πρέπει να ικανοποιεί τις παρακάτω συνθήκες.

Επιτάχυνση:

Η απαιτούμενη επιτάχυνση υπολογίζεται από τον τύπο:

$$a = \frac{U}{t}$$

συγκεκριμένα για να μπορεί το μονοθέσιο να είναι ανταγωνιστικό στο διαγωνισμό πρέπει να φτάνει τα **0 - 100 km/h σε 4 sec** ή **0 - 27.777 m/s.**

Αυτό μεταφράζεται σε **6.95 m/s²**.

Δύναμη:

Ενδεικτικά, σαν δεδομένα για τις αντίρροπες δυνάμεις που θα ασκούνται στο όχημα λαμβάνουμε την **αεροδυναμική αντίσταση** και την **αντίσταση κύλισης** για να βρεθεί η συνολική δύναμη που αντιστέκεται.

Τις συγκεκριμένες αντιστάσεις θα πρέπει να τις συνυπολογίσουμε αρνητικά στις απαιτούμενες δυνάμεις που πρέπει να αναπτύσσει το όχημα μας, καθώς θα πρέπει να τις υπερνικήσει το όχημα με στόχο αρχικά να ξεκινήσει και έπειτα να πετύχει τις απαραίτητες ανταγωνιστικές επιδόσεις.



Αεροδυναμική αντίσταση:

Υπάρχει εξαιτίας του αέρα στη κίνηση του οχήματος και υπολογίζεται από το τύπο:

$$F_{air} = \frac{1}{2} \cdot C_{drag} \cdot \rho_{air} \cdot A \cdot V_{max}^2$$

C_{drag} = Συντελεστής αεροδυναμικής αντίστασης = 0.9 (Βιβλιογραφία των κανονισμών)

ρ_{air} = Πυκνότητα αέρα = 1.202 kg/m³ (Συμβατικές συνθήκες διαγωνισμού)

A = Επιφάνεια πρόωσης = 1.6 m² (Βιβλιογραφία των κανονισμών)

V_{max} = Τελική ταχύτητα 120 km/h = 33.33 m/s (Ταχύτητα για την επίδοση του μονοθέσιου)

Αποτέλεσμα $F_{air} = 961.407 N$

Αντίσταση κύλισης:

Υπάρχει εξαιτίας της επαφής των ελαστικών με το έδαφος που είναι αναπόφευκτο και υπολογίζεται από το τύπο:

$$F_{wheel} = W \cdot f_o = M \cdot g \cdot f_o$$

M = Βάρος οχήματος 300 kg

g = Επιτάχυνση της βαρύτητας 9.81 m/s²

f_o = Αντίσταση οδοστρώματος 0.015

Αποτέλεσμα $F_{wheel} = 44.145 N$

Έχοντας όλες τις δυνάμεις αντίστασης, υπολογίζουμε τη συνολική δύναμη αντίστασης και έπειτα τη συνολική απαιτούμενη δύναμη που θα πρέπει το όχημα μας να αναπτύξει με σκοπό να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις.

Συνολική απαιτούμενη δύναμη:

$$F = M \cdot a + F_{air} + F_{wheel}$$

$$F = 2085 + 961.407 + 44.145$$

Αποτέλεσμα $F = 3090.552 N$

Άρα η συνολική απαιτούμενη ισχύ που χρειάζεται είναι:

$$P = F \cdot U = 103.008 KW$$

Συνοψίζοντας, το όχημα μας καλείται να αναπτύξει δυνάμεις που να υπερνικά ή να είναι ίσες με το αποτέλεσμα της συνολικής απαιτούμενης δύναμης που υπολογίστηκε προηγουμένως.

Στη συνέχεια, θα προβούμε στον υπολογισμό των απαιτούμενων τεχνικών επιδόσεων που θα πρέπει να έχουμε από τον κινητήρα με σκοπό να πετύχουμε τα επιθυμητά στοιχεία.



Ακτίνα τροχού:

Λαμβάνοντας υπόψιν ότι η διάμετρος της ζάντας είναι,

$$13''/2=6,5'' = 165.1\text{mm}$$

και το προφίλ του ελαστικού

6'' (inches)

η συνολική διάμετρος **R είναι 12.5''**.

Η μετάφραση αυτού σε μέτρα είναι: **0.6172m** και η ακτίνα είναι **0.3086mm** μετατρέποντας τη μονάδα μέτρησης της ίντσας σε χιλιοστά, λαμβάνοντας υπόψιν τη σχέση:

$$\text{mm} = \frac{\text{in}}{0.039370}$$

Απαιτούμενη ροπή:

Η οποία θα πρέπει να επιτυγχάνεται στον τροχό του οχήματος.

$$T=F \cdot R = 3090.552*0,3086 \quad \underline{\underline{T=953.744 Nm.}}$$

Στροφές τροχού:

Λαμβάνοντας σαν δεδομένο τη μέγιστη τελική ταχύτητα που θέλουμε να έχει το όχημα μπορούμε να υπολογίσουμε τη σχέση μετάδοσης και τις στροφές εξόδου του κινητήρα.

$$\text{Τελική ταχύτητα } V_{\max} = 120 \text{ km/h} = \underline{\underline{33.3333 \text{ m/sec}}}$$

Υπολογίζουμε την γωνιακή ταχύτητα, καθώς γνωρίζουμε την ταχύτητα και την ακτίνα του τροχού.

$$\Omega = \frac{V}{R} = \frac{33.33}{0.3086} \quad \underline{\underline{\Omega = 108.003 \text{ rad/sec}}}$$

Η γωνιακή ταχύτητα σχετίζεται και με τις στροφές του τροχού.

$$\Omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \Rightarrow n = \frac{30 \cdot \omega}{\pi} = \frac{30 \cdot 108.003}{3,14},$$

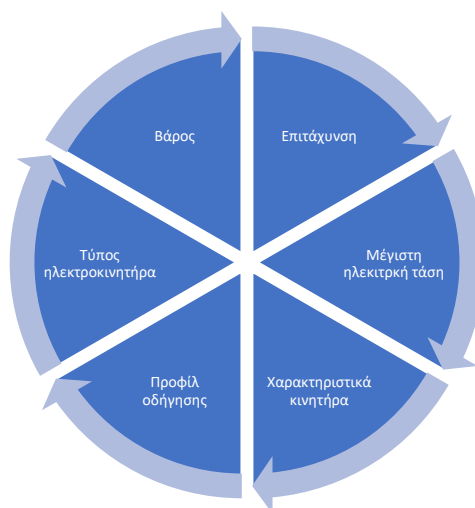
λύνοντας την εξίσωση ως προς τις στροφές του τροχού έχουμε:

$$\underline{\underline{N_w = 1031.875 \text{ rpm}}}$$



4.3.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ

Για τη σωστή επιλογή κατάλληλου ηλεκτροκινητήρα στην αναφερόμενη εφαρμογή μιας αμιγώς ηλεκτροκίνητης φόρμουλας πρέπει να ληφθούν υπόψιν αρκετές παράμετροι ώστε το μονοθέσιο να ικανοποιεί τις απαιτούμενες επιδόσεις.



Πίνακας 7 Παράγοντες εκλογής ηλεκτρικού κινητήρα.

Με βάση τις επιδόσεις του οχήματος, τους περιορισμούς των κανονισμών και τα χαρακτηριστικά που πρέπει να πληροί το όχημα, καταλήξαμε σε τρεις επιλογές. Ως πρώτη επιλογή για το εγχείρημα μας έδειχνε να είναι η εταιρεία EMRAX με του κινητήρες της τύπου 188. Οι συγκεκριμένοι κινητήρες έχουν αρκετά ελαφριά κατασκευή και τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους με τις επιδόσεις τους να είναι στα πλαίσια του επιθυμητού. Παρ'όλ'αυτά δεν καταλήξαμε στην επιλογή τους, καθώς θα ήταν αρκετά δύσκολο να υλοποιηθεί η πρώτη μας σκέψη της χρήσης τεσσάρων κινητήρων, έναν σε κάθε τροχό, γιατί λόγω ιδιαίτερης σχεδίασης και λειτουργίας του κινητήρα δεν θα μπορούσε να τοποθετηθεί εσωτερικά του τροχού με σκοπό να αποφευχθεί η χρήση μέσου μετάδοσης όπως αλυσοκίνηση ή ιμαντοκίνηση.

Μία αξιότιμη δεύτερη επιλογή ήταν η εταιρεία Elarhe με αποκλειστικότητα στους κινητήρες εσωτερικά των τροχών. Η συγκεκριμένη επιλογή αρχικά έδειχνε εξαιρετική για τη δική μας περίπτωση από τη μεριά των επιδόσεων, αλλά κάποιοι περιορισμοί στη διαστασιολόγηση των τροχών του οχήματος δεν μας επέτρεπαν να χρησιμοποιήσουμε τους εν λόγω κινητήρες. Σε συνέχεια της επικοινωνίας μας με την εταιρία δεν μπορούσε να μας παρέχει τις απαραίτητες πληροφορίες μιας και δεν μπορούσε να μας προμηθεύσει με τους κινητήρες της λόγω δυσχερειών της εταιρείας.



Πίνακας 8 Σύγκριση κινητήρων

Κινητήρας	Βάρος(kg)	Ροπή(Nm)	Ισχύς(kw)	Διάμετρος(mm)	Στροφές(rpm)
Elaphe	17,6	200	29	175	1.560
EMRAX	7	50	32	188	7.000
AMK	3,55	21	12,3	96	12.000

Τελικά, έχοντας όλα τα απαιτούμενα δεδομένα από τη μελέτη, είμαστε έτοιμοι να προβούμε στη κατάλληλη επιλογή του κινητήρα που καλύπτει τις απαιτήσεις μας. Μέσα από χιλιάδες επιλογές που υπάρχουν για την επιλογή κινητήρων, η ομάδα μας αποφάσισε να επιλέξει μία αξιόπιστη, ανταγωνιστική και εξειδικευμένη εταιρεία σχετικά με το διαγωνισμό fsae electric, η οποία είναι η AMK Group. Μετά από αρκετές συγκρίσεις κινητήρων καταλήξαμε σε αυτή την επιλογή, καθώς καταφέραμε να βρούμε αρκετές πληροφορίες που να μας καλύπτουν για στις απαιτήσεις μονοθέσιου. Πιο συγκεκριμένα, ο κινητήρας που επιλέχθηκε είναι της κατηγορίας DYNASYN Synchronous Servo Motors (DD5-14-10-POW). [7]

Μας δίνει τη δυνατότητα διαχείρισης του κινητήρα με ένα καλώδιο μόνο.

- Ευχέρεια βάρους, σύνδεσης καλωδίων και απωλειών.
- Πακέτο 4 κινητήρων με 1 ελεγκτή που περιέχει 4 μικροελεγκτές για κάθε κινητήρα.
- Ευκολία για τη διαχείριση της τετρακίνησης με ένα ποτενσιόμετρο.
- Βάρος κάθε κινητήρα μόνο 3,55kg.

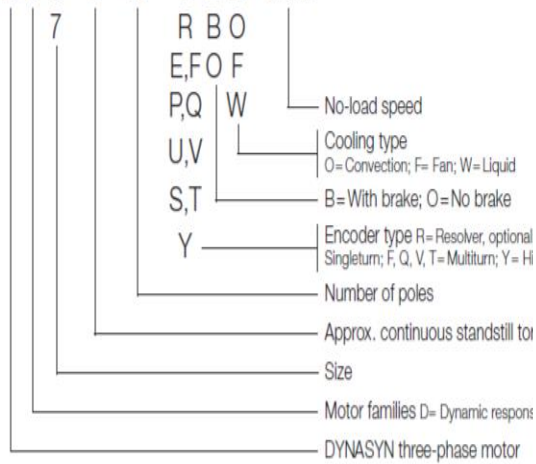
Χαρακτηριστικά κινητήρων.

- Υγρόψηξη.
- Ενδεικτική λειτουργία τάσης στα 350v.
- Συνεχές στροφές κινητήρα 12.000rpm, με μέγιστες στιγμιαία στροφές 20.00rpm.
- Συνεχές ισχύ 12,3Kw και ροπής 9,8Nm που με τη μείωση περίπου 12:1 η ροπή θα 12πλασιαστεί.



Type key

DD 5 - x - 10 - x x x - xxxx



D: Κινητήρας τριφασικού ρεύματος.

D: Δυναμικής απόκρισης.

5: Μέγεθος κινητήρα.

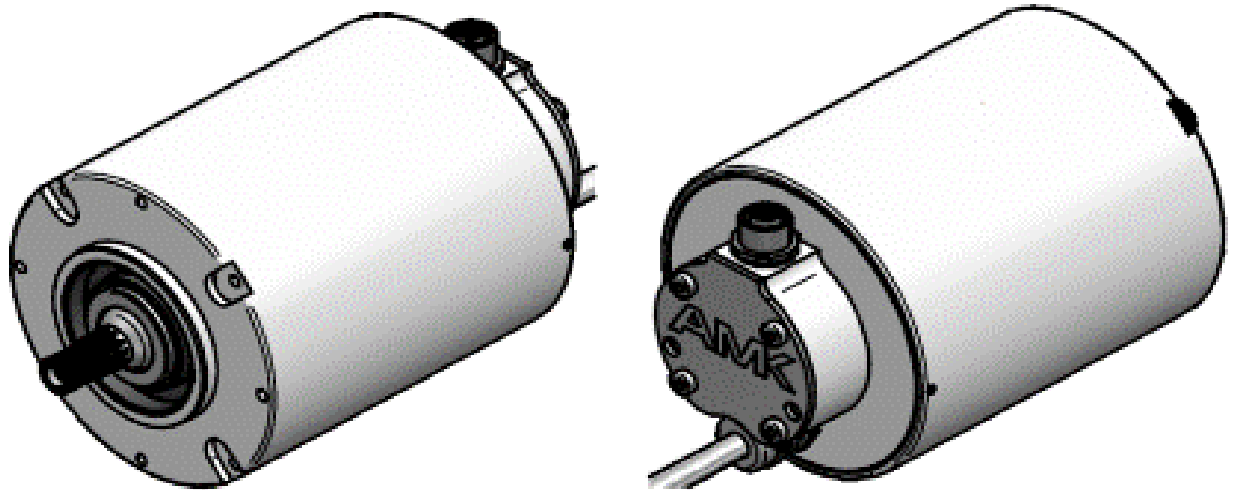
14: Μέγιστη συνεχής ροπή σε Nm.

10: Αριθμός πόλων.

P: Μονής φοράς.

O: Χωρίς πέδηση.

W: Υγρόψυξη



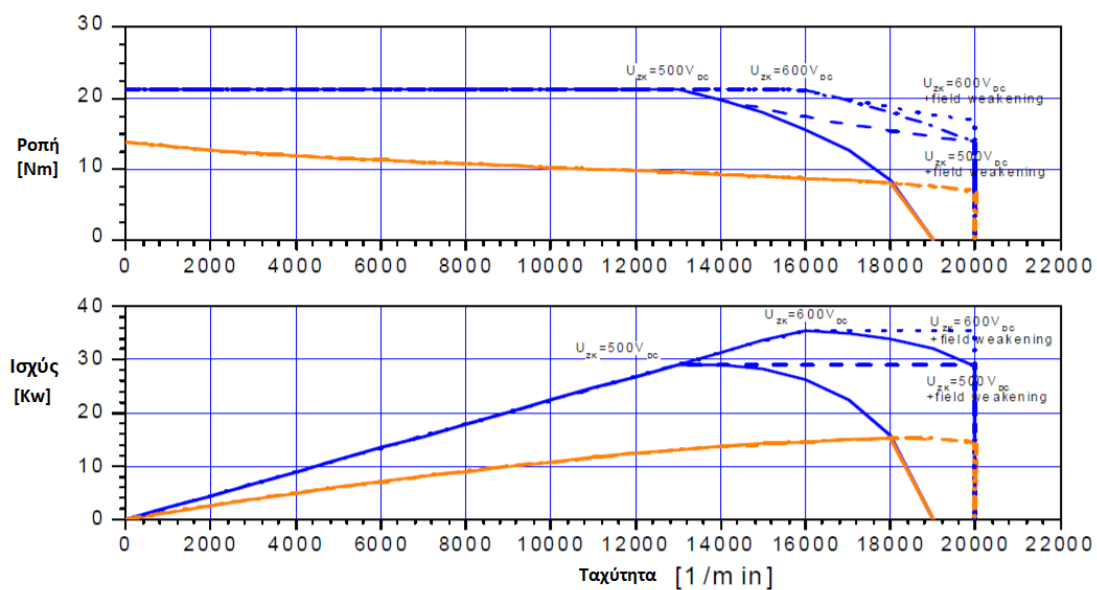
Εικόνα 58 Αναπαράσταση ηλεκτρικού κινητήρα.



Ο παραπάνω κινητήρας λειτουργεί με μόνιμους μαγνήτες και έχει ως μέθοδο ψύξης για την προστασία και τη μέγιστη απόδοση την ψύξη μέσω ειδικού υγρού. Επίσης, είναι πιστοποιημένος με προστασία IP65 η οποία δηλώνει τη μερική αντοχή του κινητήρα σε νερό. Στη συνέχεια, ο συγκεκριμένος κινητήρας βάση των χαρακτηριστικών του αποδίδει 13.8Nm συνεχούς ροπής και 21Nm μέγιστης. Η ονομαστική ισχύς του κινητήρα είναι 12,3kW και η ονομαστικές στροφές του είναι 12000 rpm. Σε θεωρητικό επίπεδο ο κινητήρας μπορεί να αποδώσει ονομαστικά 18617 rpm στην περίπτωση που δεν εφαρμόζεται φορτίο στον άξονα περιστροφής του.[8]

Όμως, τα παραπάνω δεδομένα μπορούν να διαφέρουν ανάλογα με τον τρόπο και την περιοχή λειτουργίας του εκάστοτε κινητήρα. Οι περιοχές λειτουργίας μπορεί να είναι οι εξής:

1. Λειτουργία κινητήρα με ονομαστική τάση μέχρι 500V DC
2. Λειτουργία κινητήρα με ονομαστική τάση 500 - 600V DC



Εικόνα 59 Διάγραμμα λειτουργίας ηλεκτροκινητήρα.



Πίνακας 9 Χαρακτηριστικά ηλεκτροκινητήρα AMK DD5.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΙΝΗΤΗΡΑ

Τύπος κινητήρα	synchron
Τύπος ψύξης	liquid
Τύπος στήριξης	IMB5
Βαθμός προστασίας	IP 65
Κλάση μόνωσης	F

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΠΙΔΟΣΕΩΝ

Μέγιστη στιγμιαία ροπή	13,8 Nm
Ονομαστική ροπή	21 Nm
Ονομαστική ισχύς	9,8 Nm
Ονομαστικές στροφές	12,3 kW
Ονομαστικές στροφές χωρίς φορτίο	12000 rpm
	18617 rpm

Σχέση μετάδοσης:

Γνωρίζοντας πλέον τις επιθυμητές στροφές που πρέπει να έχει ο τροχός μπορούμε να υπολογίσουμε τη σχέση μετάδοσης I και τις στροφές του κινητήρα, γνωρίζοντας ένα στοιχείο από αυτά.

$$I = \frac{n_m}{n_w} = \frac{12000}{1031.875} = 11.63 \sim 12$$

Λαμβάνοντας υπόψιν το όχημα να κινείται στο μέγιστο με ταχύτητα δηλαδή τα 120 km/h ο απαιτούμενος χρόνος για να διανύσει τα 30 km είναι: **15min**.



4.3.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΩΝ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ

Αναφορικά με το κομμάτι των συσσωρευτών ενέργειας, υπάρχουν αρκετές επιλογές στο εμπόριο και πρέπει να γνωρίζεις προς τα που να κινηθείς, εννοώντας χαρακτηριστικά, κατηγορία, απαιτήσεις, προμηθευτή και αρκετά ακόμα προβλήματα που όσο αναλύεται το θέμα τόσο πιο πολλά εμπόδια συναντάς στο δρόμο σου. Το θετικό της υπόθεσης ήταν ότι είχαμε πλάνο, γνωρίζαμε τι ακριβώς ζητούσαμε από το όλο εγχείρημα. Αρχικά, από τα προηγούμενα κεφάλαια ο αναγνώστης μπορεί να διαπιστώσει μόνος του σε ποια κατηγορία συσσωρευτών πρέπει να απευθυνθεί για μία τέτοια εφαρμογή από το γράφημα Ragone που αναγράφεται στο θεωρητικό μέρος των συσσωρευτών. Κατά αυτό το τρόπο, επιλέχθηκε η κατηγορία των μπαταριών λιθίου πολυμερούς (LiPo), η οποία εμπεριέχει αρκετές παραλλαγές στα υλικά που απαρτίζουν το συσσωρευτή θέτοντας κάποιες μικρές διαφορές μεταξύ τους.

Αρχικά, σαν πρώτη επιλογή υπήρχε η χρήση των ευρέως γνωστών στην ηλεκτροκίνηση μπαταριών 18650, οι οποίες έχουν μέγεθος και βάρος παρόμοιο με τις AA που χρησιμοποιούνται συνήθως σε τηλεχειριστήρια. Οι συγκεκριμένες μπαταρίες είναι λιθίου ιόντων και χαρακτηρίζονται από τη μεγάλη χωρητικότητα τους και το εξαιρετικά μικρό βάρος. Οι εν λόγω συσσωρευτές, φαινόταν αρκετά καλή επιλογή, παρ'όλ'αυτά δεν κάλυπταν τις απαιτήσεις καθώς χρειαζόμασταν πολύ περισσότερο ρεύμα εκ φόρτισης ώστε να παρέχουν στο κινητήρα μας την απαραίτητη ενέργεια για να αποδώσει την απαιτούμενη ισχύ. Κατά αυτό το τρόπο, απορρίφθηκαν και στραφήκαμε σε κάποιες παραπλήσιες μπαταρίες ονομαζόμενες ως 26650, οι οποίες βασίζοντας στα ίδια χαρακτηριστικά και ήταν παρόμοιες με τη μόνη μικρή διαφορά στο βάρος και στο μέγεθος που είχαν. Παρ' όλη τη αλλαγή των υπολογισμών καθώς η αναφερόμενη μπαταρία έχει λίγο μεγαλύτερο ρεύμα εκ φόρτισης από τη 18650, πάλι δεν κάλυπτε τις απαιτήσεις του οχήματος εξαιτίας της σημαντικής βαριάς κατασκευής που υπολογίστηκε να έχει το μονοθέσιο στο άθροισμα όλων των επιμέρους τμημάτων μαζί με τον οδηγό. Τελικά, η λύση βρέθηκε με μία περαιτέρω αναζήτηση σχετικά με της επιλογές των συσσωρευτών και έτσι στραφήκαμε σε στη κατηγορία λιθίου σιδήρου φωσφόρου (Lithium Iron Phosphate, LiFePO₄-LFP) της εταιρίας A123systems που θα αναλύσουμε λεπτομερειακά παρακάτω.[9]



Εικόνα 60 Σχηματική απεικόνιση μπαταριών.

Έχοντας επιλέξει πλέον τον κινητήρα DD5-14-10 POW της εταιρείας AMK και όλα τα χαρακτηριστικά του καταφέραμε να ολοκληρωθεί η έρευνα σχετικά με το πακέτο μπαταριών που θα λειτουργεί το μονοθέσιο.

Αναφορικά για τον 1 κινητήρα μόνο χρησιμοποιώντας τον με υγρόψηξη και αερόψηξη (combined cooled) για καλύτερη απόδοση και για να πετύχουμε τη μέγιστη ισχύ, επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε μπαταρίες Λιθίου-Σιδήρου-Φωσφόρου τύπου A123.

Πακέτο μπαταριών (110s1p).

- 110 κελιά συνδεδεμένα σε σειρά
- 1 κελί παράλληλα
- Συνολική τάση 363v
- Χωρητικότητα 20 Ah
- Ένταση εκ φόρτισης 455 A
- Ενέργεια 7,3 Kwh
- Βάρος πακέτου 55 kg.

Πίνακας 10 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Μπαταρίας A123 LFP Nanophosphate Amp20LHD-A.

Όνομαστική τάση	3.3V	Χωρητικότητα	20Ah
Μέγιστο ρεύμα εξόδου	455A	Τάση φόρτισης	4.2V +/- 0.05v
Βάρος	496g	Τάση αποφόρτισης	2V

Με τα παραπάνω χαρακτηριστικά της μπαταρίας θα χρησιμοποιηθούν για την εφαρμογή μας:

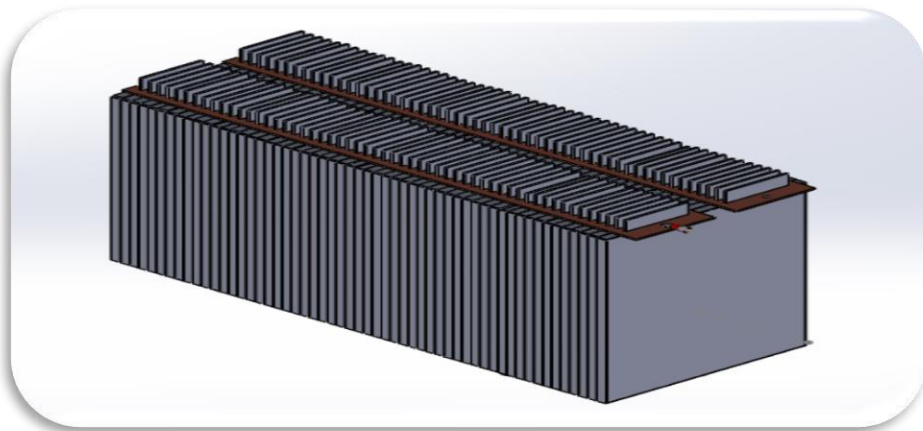
$$38 \text{ κελιά σύνδεση σειράς} = 110 \cdot 3.3 = 363V$$

$$2 \text{ κελιά σύνδεση παράλληλα} = 1 \cdot 455 = 455A$$



Στο άθροισμα για τους 4 κινητήρες θα χρησιμοποιηθεί ένα πακέτο μπαταριών των **110 κελιών** συνολικού βάρους **54,56 kg** και ισχύς $P=V \cdot I = 363 \cdot 455 = 165 \text{ KW}$ (**peak**) και δεδομένου ότι ο κινητήρας μας δίνει μέγιστη ροπή 21 Nm με την επιλεγμένη σχέση μετάδοσης 1:12, η συνολική ροπή του μονοθέσιου θα φτάνει τα **960 Nm (peak)**.

Αναλυτικότερα, ο συγκεκριμένος κινητήρας σε συνδυασμό με τις κατάλληλες μπαταρίες λειτουργώντας στα 363V και 455 A μέγιστο ρεύμα εκ φόρτισης, θα μας αποδίδει 41 kw στιγμιαία σε κάθε 1 τροχό από τους 4 που θα τοποθετηθεί.



Εικόνα 61 Απεικόνιση πακέτου μπαταριών μέσω του σχεδιαστικού προγράμματος SolidWorks.

Ενώ η συνολική ενέργεια που θα πετύχουμε με αυτή τη μέθοδο σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά της μπαταρίας, θα είναι $363\text{V} \cdot 20\text{Ah} = 7.260\text{kWh}$.



Εικόνα 62 Μπαταρία A123 LFP Nanophosphate.



Πίνακας 11 Τεχνικά χαρακτηριστικά μπαταρίας.

AMP20 Cell Specifications	
Διαστάσεις (mm)	7.25 x 160 x 227
Βάρος (g)	496
Χωρητικότητα (Ah)	19.6
Ονομαστική ενέργεια (Wh)	65
Ενέργεια εκφόρτωσης (W)	1200
Ονομαστική τάση (V)	3.3
Specific Power (nominal, W/kg)	2400
Specific Energy (nominal, Wh/kg)	131
Energy Density (nominal, Wh/L)	247

Συγκεκριμένα, 4 κινητήρες του αναφερόμενου τύπου κινητήρα, 1 σε κάθε τροχό για το μέγιστο έλεγχο του οχήματος σε ότι έχει να κάνει σχέση με τη συμπεριφορά του, το βάρος του, την επιτάχυνση του.

Σε περίπτωση που το συνολικό βάρος του μονοθέσιου πέσει αισθητά, υπάρχει η δυνατότητα αλλαγής του πακέτου με μπαταρίες ίδιας τεχνολογίας αλλά μικρότερης χωρητικότητας, συνεπώς και μικρότερου βάρους γιατί δεν θα χρειαζόμαστε τόση ενέργεια αφού η μάζα θα έχει μειωθεί και η ενέργεια που θα χρειαστεί να καταναλωθεί το ίδιο.

4.3.4 ΕΠΑΝΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΩΝ ΕΠΙΔΟΣΕΩΝ

Γνωρίζουμε ότι η τάση των μπαταριών του μονοθέσιου βρίσκεται πλέον στα 363 volt. Για να μπορούμε να κάνουμε τον υπολογισμό των στροφών του ηλεκτρικού κινητήρα πρέπει πρώτα να ανατρέξουμε στο διάγραμμα λειτουργίας του κινητήρα στο οποίο παρατηρούμε ότι στα 500V ονομαστική τάση ο κινητήρας περιστρέφεται με 12000 rpm. Ειδικότερα υπολογίζουμε ότι για κάθε 1 V που τροφοδοτούμε τον κινητήρα αυτός αυξάνει τη περιστροφή του κατά : $\frac{12000rpm}{500V} = 24rpm$.

Οπότε προκύπτουν οι στροφές κινητήρα:

$$N_m = 363V * 24rpm / 1Vdc \approx 8712 rpm$$



Δεδομένων των απαιτούμενων στροφών που πρέπει να έχει ο τροχός για να πετύχει την επιθυμητή τελική ταχύτητα και με την επιλογή του παραπάνω ηλεκτρικού κινητήρα, προκύπτει η σχέση μετάδοσης:

$$I = \frac{Nm}{N_w} = \frac{8712rpm}{1031.875rpm} = 8.45 \quad N_m = 8712 rpm$$

$$N_w = 1031.875 rpm$$

Με τον ίδιο τρόπο υπολογίζοντας τη ροπή που θα μεταφερθεί στους τροχούς με τη σχέση μετάδοσης δεδομένου ότι ο κινητήρας προσφέρει 21 Nm μέγιστη στιγμιαία ροπή, η ροπή στους τροχούς φτάνει τα: $21 * 8.45 = 177.45 \text{ Nm}$. θα έχουμε 4 κινητήρες: $4 * 177.45 = 709.8 \text{ Nm}$

Υπολογισμός πραγματικού χρόνου επιτάχυνσης μονοθέσιου

Αρχικά υπολογίζουμε την δύναμη που μπορεί να αναπτύξει το όχημα:

$$T = F * R \Rightarrow F = \frac{T}{R} = \frac{709.8}{0.3086} = 2300 N$$

Έπειτα βρίσκουμε την πραγματική επιτάχυνση του μονοθέσιου:

$$F = m * a \Rightarrow a = \frac{F}{m} = \frac{2300}{300} = 7.6 \text{ m/s}^2$$

Τέλος, βρίσκουμε το χρόνο απόκρισης 0-100 του μονοθέσιου:

$$a = \frac{u}{t} \Rightarrow t = \frac{u}{a} = \frac{27.77}{7.6} = 3.65 \text{ sec}$$

Υπολογίζοντας, προκύπτει ότι η τελική ροπή στους τροχούς είναι μεγαλύτερη, βγαίνει ότι η επιτάχυνση που μπορεί να πετύχει το μονοθέσιο είναι $a = 7.6 \text{ m/s}^2$

Πίνακας 12 Πίνακας τεχνικών χαρακτηριστικών μονοθέσιου.

Ισχύς	41 kw	Τελική Ταχύτητα	<120 Km/h
Ροπή	709,8 Nm	Επιτάχυνση	7,6 m/s ²
Βάρος	300 kg	0 – 100 km/h	3,65 sec

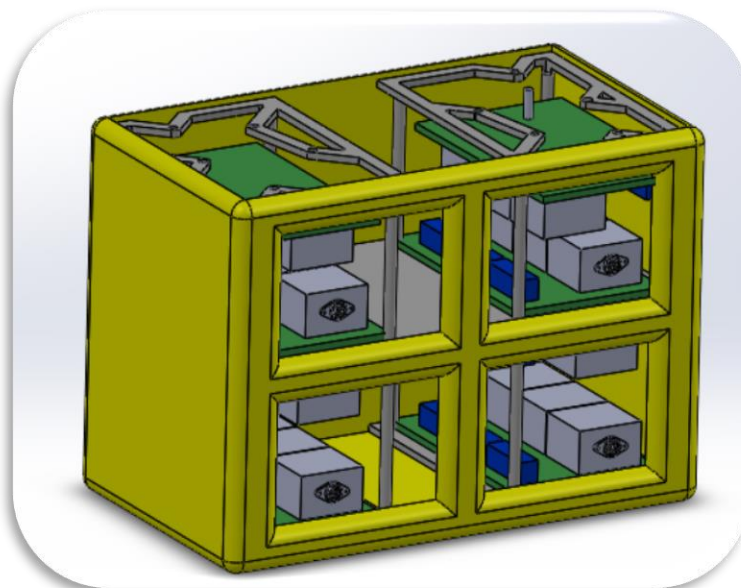
Σύμφωνα με τα πραγματικά υπολογισμένα δεδομένα που μπορεί να αναπτύξει το όχημα μας, καταλαβαίνουμε ότι οι πραγματικές επιδόσεις είναι σε σημαντικό βαθμό υποβιβασμένες σε σχέση με το επιθυμητό αποτέλεσμα.



4.3.5 ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ – CONTROLLER

Σε αυτή τη περίπτωση για τις πρώτες δύο επιλογές κινητήρων που υπήρχε περίπτωση να χρησιμοποιηθούν, σαν επιλογή συστήματος διαχείρισης κινητήρα σαν πρώτη επιλογή υπήρχαν τα μοντέλα της εταιρείας Sevcon. Η εν λόγω εταιρεία ήταν από τις λίγες που διέθετε της πληροφορίες των προϊόντων με ευκολία και έτσι μπορούσαμε να επιλέξουμε το κατάλληλο για την εφαρμογή μας. Αναφορικά, από τους συγκεκριμένους ελεγκτές καταλήξαμε στον Sevcon Gen5-S7, ο οποίος μας κάλυπτε με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του να αναφέρουν την ορθή λειτουργία του μέχρι τα 420v. Παρ'όλ'αυτά, για τον ελεγκτή όλης της μονάδας ηλεκτρικού ισχύος, συγκεκριμένα για τον έλεγχο των τεσσάρων κινητήρων του πακέτου μπαταριών και τη διαχείριση τους αναλαμβάνει να φέρει εις πέρας ο προτεινόμενος από την εταιρεία παροχής των ηλεκτροκινητήρων ΑΜΚ. Μαζί με την αγορά των ηλεκτροκινητήρων από την εταιρεία παρέχεται και ο ελεγκτής τους που συνεργάζεται άψογα μαζί τους.

Ουσιαστικά πρόκειται για ένα κουτί το οποίο συνδέεται με όλες τις μονάδες κίνησης του μονοθέσιου, το οποίο δέχεται τις πληροφορίες που έρχονται από τη μονάδα ελέγχου χαμηλής τάσης του οδηγού, τα επεξεργάζεται και στη συνέχεια εκτελεί τις απαραίτητες διαδικασίες ώστε αυτό να μεταφραστεί στο κύκλωμα υψηλής τάσης και να μετατραπεί η πληροφορία σε εντολή. Είναι ένα μέσο που επικοινωνεί με το πιλοτήριο του οδηγού και με τους ηλεκτροκινητήρες προκειμένου το μονοθέσιο να εκτελέσει τις επιθυμητές ενέργειες του οδηγού.



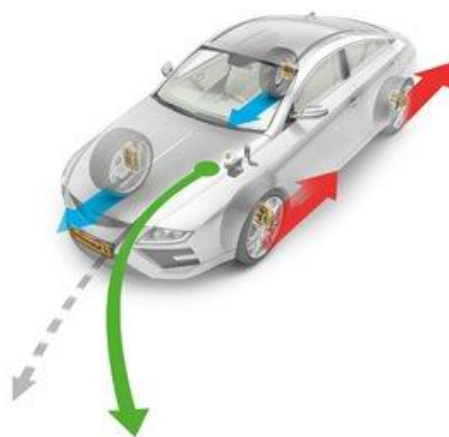
Εικόνα 63 Απεικόνιση ελεγκτή μέσα από το σχεδιαστικό πρόγραμμα SolidWorks.



Δίνεται η δυνατότητα προγραμματισμού της μονάδας από το χρήστη, ανάλογα με τις απαιτήσεις του από την εφαρμογή. Πιο λεπτομερειακά για τη διαχείριση των κινητήρων, χρειάζεται μία προγραμματιστική τετραδιεύθυνση του μονοθέσιου τέτοια ώστε να μην εκτραπεί από τη πορεία του σε περίπτωση πλαγιολίσθησης. Πρέπει οι κινητήρες να μπορούν να ελέγξουν τις στροφές, τη ταχύτητα και τη διεύθυνση τους για να μπορούν να αποτρέψουν τη πλαγιολίσθηση, μέσω του προγραμματιστικού κώδικα που θα έχει ορίσει ο χρήστης.

Ίσως τα πιο ευεργετικά οφέλη απόδοσης του ηλεκτρικού οχήματος είναι η ικανότητα ελέγχου ανεξάρτητα τους τέσσερις τροχούς μέσω ενός αλγόριθμου διόρθωσης ροπής. Η διάρθρωση ροπής είναι μια μέθοδος διανομής ισχύος στους τέσσερις τροχούς του οχήματος με βάση την τρέχουσα κατάσταση του οχήματος που προσδιορίζεται από τη χρήση πολλαπλών αισθητήρων. Η χρήση ηλεκτρικών κινητήρων είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για διανυσματική ροπή λόγω της μεγαλύτερης στιγμιαίας απόκρισης ροπής του κινητήρα έναντι κινητήρα καύσης.

Η κύρια παράμετρος της δυναμικής του οχήματος που επωφελείται είναι η δυνατότητα να «στρέψει» ή να περιστρέψει το όχημα. Η δυνατότητα γρήγορης αλλαγής της κατεύθυνσης οδήγησης του οχήματος επιτρέπει στον οδηγό να φρενάρει αργότερα όταν εισέρχεται σε μια γωνία και περιστρέφει το αυτοκίνητο έξω από τη γωνία πιο γρήγορα. Το όχημα θα έχει μέγιστη ικανότητα πρόσφυσης σταθερής κατάστασης, η οποία δεν μπορεί να αυξηθεί από το προγραμματισμό, αλλά το όχημα μπορεί να φτάσει ταχύτερα σε αυτή τη σταθερή κατάσταση, επιτρέποντας έτσι στο αυτοκίνητο να διατηρεί υψηλότερη μέση ταχύτητα.



Εικόνα 64 Εικονογράφημα λειτουργίας διαχείρισης τετρακίνησης.



4.3.6 ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ – BMS

Κατά την αναζήτηση μας για την επιλογή του καταλληλότερου συστήματος διαχείρισης μπαταριών, καταλήξαμε στο συμπέρασμα να χρησιμοποιήσουμε της εταιρείας Orion Original. Η δυνατότητα μέτρησης έως και 180 κελιών συνδεδεμένων σε σειρά με βάση τη διαμόρφωση ανάλογα με το μέγεθος του περιβλήματος, ο πλήρης προγραμματιστικός έλεγχος, η υποστήριξη διαγνωστικού πρωτοκόλλου OBD2, καθώς και πληθώρα πληροφοριών από τη προθυμία της εταιρείας μας έκανε να επιλέξουμε το συγκεκριμένο σύστημα.



Εικόνα 65 Μονάδα διαχείρισης μπαταριών.

Το Orion BMS υλοποιεί έναν εκτενή κατάλογο χαρακτηριστικών που έχουν σχεδιαστεί για την προστασία της μπαταρίας. Αυτά τα χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν:

- Υπολογισμοί κατάστασης φόρτισης.
- Προστασία υπέρτασης τάσης κυψέλης και υπό τάση.
- Ευφυής εξισορρόπηση μπαταρίας (παθητική).
- Έλεγχος φορτιστή μπαταρίας.
- Παρακολούθηση θερμοκρασίας πακέτου.
- Παρακολουθεί την υγεία της μπαταρίας.

Τα κελιά προστατεύονται από την υπερβολική τάση, την υπό-τάση, το υπερβολικό ρεύμα, την υπέρβαση της θερμοκρασίας και την υπό-θερμοκρασία, με βάση τις προγραμματισμένες ελάχιστες και μέγιστες τιμές στο προφίλ της μπαταρίας.



Το αναφερόμενο σύστημα παρακολουθεί επίσης την ισορροπία τόσο των ατομικών κελιών όσο και του συνολικού πακέτου μπαταριών και θα ενεργοποιήσει τους κωδικούς προβλημάτων ενός σφάλματος, είτε το πακέτο ή τα μεμονωμένα κελιά αντιμετωπίζουν απότομη πτώση τάσης.

Το Orion BMS συλλέγει δεδομένα από διάφορους αισθητήρες για χρήση σε υπολογισμούς και αποφάσεις που πρέπει να πάρει η μονάδα, γι' αυτό το λόγο η τάση κάθε κελιού μετράται περίπου κάθε 30 mS Το BMS μετρά τη διαφορά τάσης από ένα κελί στο άλλο.

Η ένταση του ρεύματος μέσα και έξω από την μπαταρία μετράται κάθε 8mS χρησιμοποιώντας έναν αισθητήρα εξωτερικού χώρου τύπου Hall Effect, ο οποίος θα είναι στερεωμένος γύρω από ένα καλώδιο που μεταφέρει όλο το ρεύμα και το μετατρέπει το μετρημένο σήμα σε δύο αναλογικές τάσεις 0-5 volt

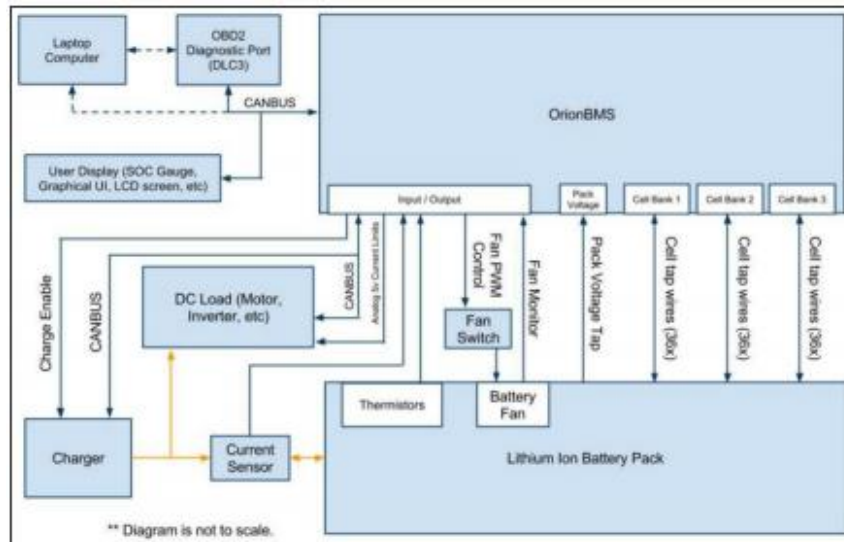
Τα δεδομένα του αισθητήρα ρεύματος χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο για τον υπολογισμό της κατάστασης φόρτισης της μπαταρίας (μέσω coulomb καταμέτρηση) και διασφαλίζοντας έτσι ότι η συνδεδεμένη εφαρμογή παραμένει εντός των σωστών ορίων. Το μετρημένο ρεύμα χρησιμοποιείται επίσης για τον υπολογισμό της εσωτερικής αντίστασης και της ισορροπίας των κελιών της μπαταρίας



Εικόνα 66 Απεικόνιση μονάδας ελέγχου μέσω του σχεδιαστικού προγράμματος SolidWorks.

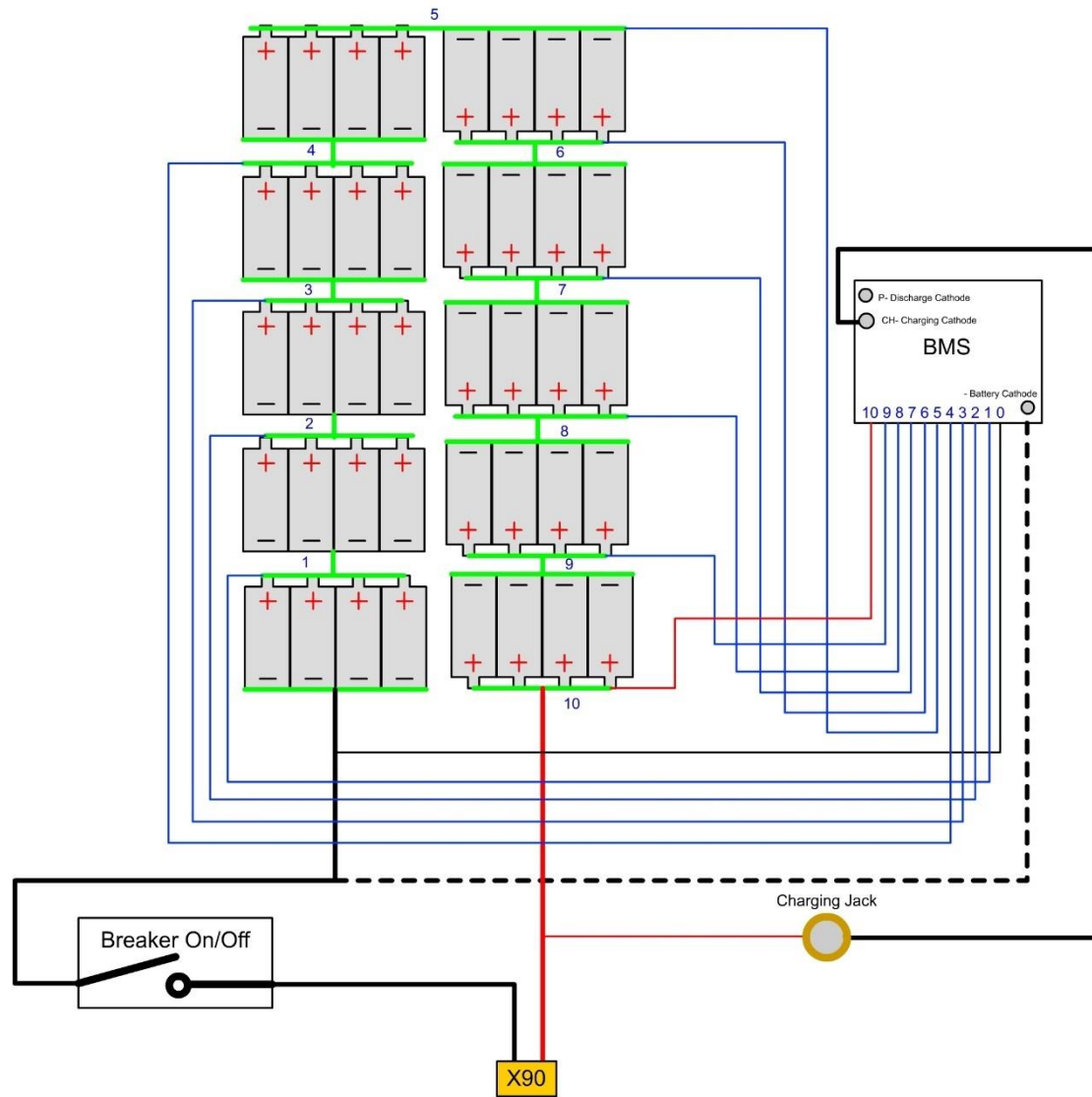


Το Orion BMS είναι φτιαγμένο για ηλεκτρικά οχήματα, αυτό σημαίνει ότι είναι υψηλής ποιότητας τόσο σε επιδόσεις όσο και σε λειτουργικότητα. Είναι ικανό να διαβάσει πολύ μικρές τάσεις της τάξης του 0,5 έως 5 Volt και λειτουργεί σε θερμοκρασίες από -40 έως 80 βαθμούς κελσίου. Δίνει τη δυνατότητα ρύθμισης της μέγιστης και ελάχιστης τάσης του ανοιχτού κυκλώματος.[10]



Εικόνα 67 Διάγραμμα εισόδων/εξόδων της μονάδας.

Επίσης η διάθεση του γίνεται μαζί με έναν αισθητήρα ρεύματος με μία εκτίμηση έντασης της τάξης των 500 A. Έχει τη δυνατότητα καταγραφής δεδομένων για διαγνωστικά μηχανήματα συμβατά με αυτά των συνηθισμένων οχημάτων για μελλοντικές δοκιμές.



Εικόνα 68 Συνδεσμολογία BMS με το πακέτο μπαταριών.



4.3.7 ΦΟΡΤΙΣΗ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ

Άλλο ένα πολύ σημαντικό κομμάτι στον σχεδιασμό συσσωρευτών είναι ο φορτιστής. Στόχος της έρευνας αυτής είναι η εύρεση ενός τύπου φορτιστή ο οποίος θα είναι συμβατός με την μπαταρία καθώς και με το σύστημα διαχείρισης μπαταριών (BMS) και έχει πρωτόκολλα επικοινωνίας CAN.

Τα κύρια χαρακτηριστικά της μπαταρίας μας είναι ότι αποτελείται από 110 κελιά, με τάση τα 363V και ένταση 455A πράγμα που σημαίνει ότι η τάση και το ρεύμα είναι σε πολύ υψηλά επίπεδα. Όσον αφορά την ισχύ εξόδου, το υψηλότερο ρεύμα εξόδου μας δίνει και την ταχύτερη φόρτιση. Όμως θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν ότι όσο πιο υψηλό είναι το ρεύμα εξόδου, τόσο υψηλότερη είναι και η παραγόμενη θερμότητα. Αν το περιβάλλον φόρτισης είναι ζεστό τότε αυτό σημαίνει ότι η απόδοση του φορτιστή θα μειωθεί. Αρχικά υπήρχε η ανάγκη εύρεσης ενός φορτιστή ο οποίος θα μας παρέχει ταχεία φόρτιση έτσι ώστε να μειωθεί και συνολικός χρόνος φόρτισης και έτσι καταλήξαμε στον Elcon PFC 5000.



Εικόνα 69 Φορτιστής μπαταριών ELCON PFC 5000.



Ωστόσο, ο χρόνος φόρτισης δεν αποτελεί και κύρια προτεραιότητα μας λόγω ότι σύμφωνα με τους κανονισμούς του διαγωνισμού θα υπάρχουν μεγάλα χρονικά διαστήματα φόρτισης μπαταριών ανάμεσα των δοκιμασιών. Οπότε ο φορτιστής που επιλέξαμε τελικά είναι ο Elcon PFC 2500 ο οποίος μας παρέχει πρωτίστως μια πολύ υψηλή απόδοση φόρτισης με ένταση φόρτισης στα 6A και με κόστος πολύ μικρότερο από τον Elcon PFC 5000. Η εταιρεία Elcon είναι από τις ελάχιστες εταιρείες κατασκευής φορτιστών οι οποίοι είναι απόλυτα συμβατοί με το σύστημα διαχείρισης μπαταριών της εταιρείας Orion.



Εικόνα 70 Φορτιστής μπαταριών ELCON PFC 2500.

Τεχνικά Χαρακτηριστικά	
Εύρος τάσης εισόδου AC	AC 85V – AC 265V
Συχνότητα εισόδου	45 – 65Hz
Παραγωγή ενέργειας	>=0,98
Απόδοση μέγιστης φόρτισης	>=96%
Αντοχή μηχανικών μερών και ασφάλεια	SAE J1378 Standard
Αντοχή σε περιβαλλοντολογικές συνθήκες	IP46
Θερμοκρασία λειτουργίας	-40°C - +55°C
Θερμοκρασία αποθήκευσης	-40°C - +100°C
Διαστάσεις	352*195*139
Καθαρό βάρος	7,07kg

Πίνακας 13 Τεχνικά χαρακτηριστικά ELCON PFC 2500.



Αφού έχουμε πλέον επιλέξει τον φορτιστή που θα χρησιμοποιηθεί στην φόρτιση των μπαταριών μπορούμε σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά του και με την χρήση της παρακάτω εξίσωσης να βρούμε και τον συνολικό χρόνο φόρτισης του πακέτου μπαταριών. Δεδομένου ότι το πακέτο μπαταριών έχει 20Ah χωρητικότητα και ρεύμα φόρτισης τα 6A, τότε ο χρόνος φόρτισης είναι ο εξής:

$$\text{Χρόνος φόρτισης} = \frac{\text{Ah (Χωρητικότητα μπαταρίας)}}{\text{A (Ρεύμα φόρτισης)}} = \frac{20\text{Ah}}{6\text{A}} = 3,5\text{h(ώρες)}$$

Σύμφωνα με τους κανονισμούς του διαγωνισμού, όταν πρέπει να γίνει η φόρτιση των μπαταριών τότε υπάρχει η απαίτηση οι μπαταρίες να αφαιρεθούν από το όχημα και να μεταφερθούν στον σταθμό φόρτισης πράγμα που είναι πολύ σημαντικό λόγω ότι έχουμε την χρήση ενός outboard φορτιστή κάτι που μειώνει κατά πολύ ο βάρος του οχήματος. Όσον αφορά την μεταφορά των μπαταριών αυτή γίνεται με ένα αυτοσχέδιο καρότσι που απαιτείται να έχει η ομάδα το οποίο να περιέχει τροχούς με μηχανισμό πέδησης για λόγους ασφάλειας.

4.3.8 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΥΠΕΡΦΟΡΤΩΣΗΣ ΚΑΙ ΚΑΛΩΔΙΩΣΗΣ

Εκτός από τις εσωτερικές ασφάλειες που βρίσκονται στις διάφορες μονάδες υπάρχουν και μια κύρια ασφάλεια και δυο ρελέ τα οποία προστατεύουν το σύστημα. Τα ρελέ αυτά είναι και γνωστά ως ρελέ απομόνωσης συσσωρευτή (Relays Isolation Accumulator – AIRS). Σύμφωνα με τους κανόνες του διαγωνισμού, η κύρια ασφάλεια πρέπει να έχει ονομαστική ισχύ μικρότερη από το συνεχές ρεύμα των στοιχείων που προστατεύει το οποίο στην περίπτωση μας είναι ο συσσωρευτής με σταθερό ρεύμα εξόδου 455A. Η ασφάλεια επίσης πρέπει και αυτή με την σειρά της να έχει ονομαστική τιμή για την μέγιστη τάση του συστήματος. Η ασφάλεια που επιλέχθηκε από την ομάδα μας είναι η FWH-500A της εταιρείας Eaton με κύρια χαρακτηριστικά την ονομαστική ένταση ρεύματος τα 500A και μέγιστη τάση 500VDC. Άλλα χαρακτηριστικά είναι τα εξής:



Εικόνα 71 Ασφάλεια FWH-500A.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ FWH-500A	
Κατηγορία	Ειδικές ασφάλειες
Τύπος	Κασέτα
Ονομαστική τάση	500VDC
Ένταση ρεύματος	500A

Πίνακας 14 Χαρακτηριστικά ασφάλειας FWH-500A.

Οι κανόνες επίσης αναφέρουν ότι απαραίτητη προϋπόθεση είναι η ύπαρξη ενός κεντρικού διακόπτη με ένταση ρεύματος μεγαλύτερη από την τιμή της ασφάλειας. Τα ρελέ πρέπει να είναι ανοικτού τύπου και να συνδέονται στους πόλους της μπαταρίας, έναν σε κάθε πλευρά. Τα ρελέ που επιλέχθηκαν είναι τα Lev200A4NAA της εταιρείας Kilonac με ρεύμα απενεργοποίησης τα 500A και μέγιστη τάση τα 900VDC. Τα ρελέ πρέπει επίσης να τροφοδοτούνται με τροφοδοσία 12V.[1]



Εικόνα 72 Ρελέ LEV200A4NAA της εταιρείας Kilovac.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΙΛΟΒΑΚ LEV200A4NAA	
Κατηγορία	Ειδικές ρελέ
Τάση λειτουργίας	12VDC
Ρεύμα λειτουργίας	1.1A
Ένταση ρεύματος	500A

Πίνακας 15 Χαρακτηριστικά ρελέ LEV200A4NAA.

Τα τμήματα της μπαταρίας πρέπει να διαχωρίζονται με ηλεκτρικά βύσματα. Η εταιρεία EV-WEST προσφέρει κύριους διακόπτες με ένταση ρεύματος τα 500A. Στην βάση τους έχουν κοχλίες σπειρώματος M8 οι οποίοι μπορούν να συνδεθούν με τους ακροδέκτες χρησιμοποιώντας καλώδια υψηλής τάσης όπως και στα ρελέ.



Εικόνα 73 Κεντρικός διακόπτης BD9523 της εταιρείας GIGAVAC.



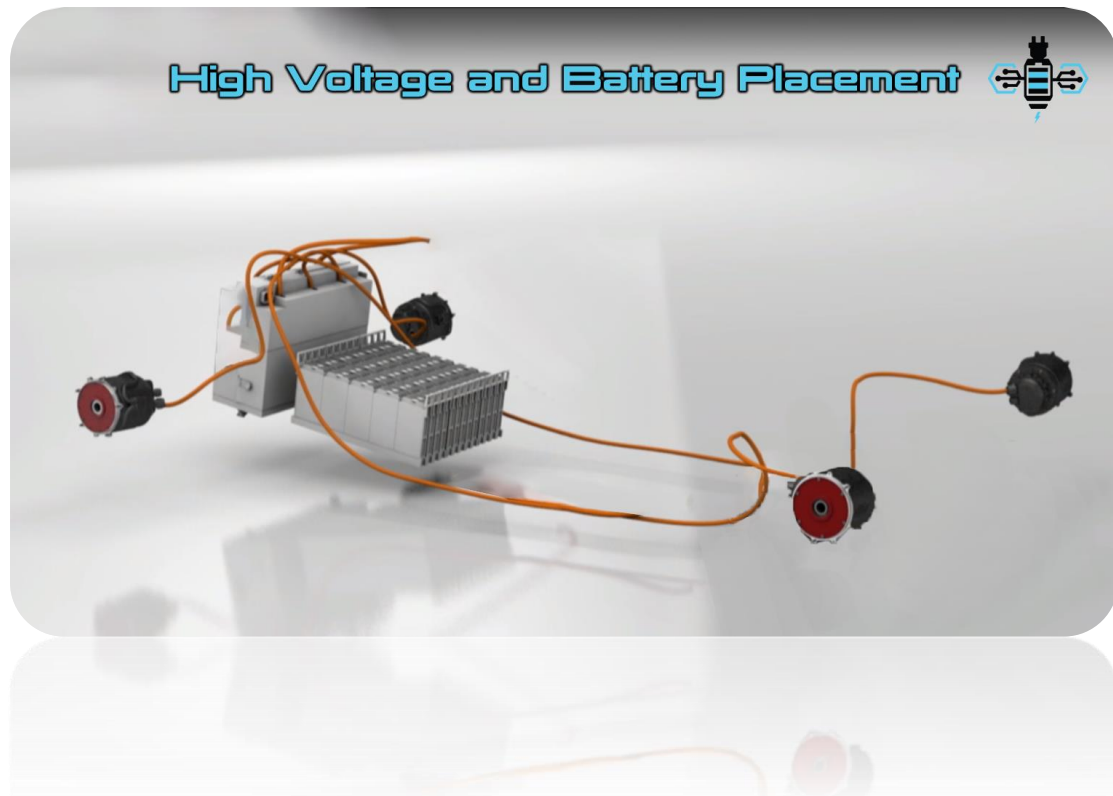
4.3.9 ΧΩΡΟΤΑΞΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Τα χωροταξικά προβλήματα ελαττώθηκαν με την επιλογή κινητήρων εντός των τροχών, καθώς απαλείφεται η ύπαρξη μετάδοσης της κίνησης από απόσταση και επίσης με αυτό το τρόπο μειώνεται το αναρτημένο βάρος του μονοθέσιου.

Έχοντας ένα κινητήρα σε καθένα από τους τέσσερις τροχούς, έχουμε να μεριμνήσουμε μόνο για τη μεταφορά της εντολής από τον ελεγκτή στον κινητήρα, που αυτή η ενέργεια γίνεται μέσω της σύνδεσης με καλώδιο υψηλής τάσης. Στη συνέχεια, μας μένει ο ελεγκτής με το πακέτο μπαταριών, τα οποία θα τοποθετηθούν στο πίσω μέρος του οδηγού, χωρίς να απέχουν σημαντικά εκτός του νοητού πίσω άξονα τον τροχών ώστε να μεταβάλει αρκετά το κέντρο μάζας του οχήματος. Με αυτό το τρόπο, φέρνοντας κοντά τον ελεγκτή με το πακέτο μπαταριών και συνεπώς με τη μονάδα διαχείρισης μπαταριών που βρίσκεται μέσα στο πακέτο, γλιτώνουμε αρκετά μέτρα καλωδίων που και θα αύξαναν τις απώλειες λόγω της εσωτερικής αντίστασης τους εξαιτίας της μεγάλης διατομής τους για τα ηλεκτρικά υψηλής τάσης, αλλά και εξαιτίας του υλικού τους. Έτσι και απώλειες γλιτώνουμε και πιθανό βάρος που θα πρόκυπτε από τη πληθώρα καλωδίων στο σύστημα.

Το επόμενο πρόβλημα που προκύπτει είναι η ψύξη των μπαταριών, το οποίο είναι ένα τεράστιο και μεγαλειώδους σημασίας πρόβλημα για τη καλύτερη εκμετάλλευση της παραγόμενης ενέργειας των μπαταριών. Εύκολη και χωρίς δυσκολία σχεδιασμού ήταν η ίδια χρήση των πλαϊνών τμημάτων που υπάρχουν και χρησιμοποιούνται με την ίδια λογική, μόνο που ψύχουν ένα κινητήρα εσωτερικής καύσης και όχι ένα πακέτο μπαταριών ενός ηλεκτρικού μονοθέσιου. Άρα το μόνο που μένει είναι η ρευστομηχανική μελέτη για τη ροή της ψύξης του πακέτου μπαταριών που είναι ένα μεγάλο κεφάλαιο το οποίο δυστυχώς δεν θα αναλυθεί περαιτέρω. [9]

Συμπερασματικά, έχουμε όλες τις μονάδες ηλεκτρικής ισχύος να βρίσκονται στο πίσω μέρος του οδηγού και κατά το πλείστον να ψύχονται μέσω των πλαϊνών αεροδυναμικών τμημάτων του οχήματος, χωρίς να μετατοπίζουν ιδιαίτερος το κέντρο μάζας του, με τη μόνη διαφορά να μην υπάρχει μετάδοση της κίνησης από απόσταση ώστε να χρησιμοποιηθούν μέσα τα οποία έχουν αναφερθεί στο κεφάλαιο της μετάδοσης κίνησης, παρά μόνο ένα κινητήρα σε κάθε τροχό με ένα πλανητικό σύστημα δύο φετών για να πετυχαίνουμε την επιθυμητή σχέση μετάδοσης, το οποίο θα φέρνει σε σύνδεση τον κινητήρα με το άκρο κάθε τροχού.



Εικόνα 74 Σχηματική απεικόνιση ρευμάτων ισχύων υψηλής τάσης.

Στη παραπάνω εικόνα φαίνεται η δομή των ρευμάτων υψηλής τάσης. Αριστερά στην εικόνα είναι το πίσω μέρος του οχήματος και μπορεί ο καθένας να διακρίνει τους δύο κινητήρες στους δύο πίσω τροχούς, αριστερά και δεξιά του μονοθέσιου και στο κέντρο του είναι η μονάδα διαχείρισης κινητήρων – ελεγκτής και ακριβώς μπροστά του και πίσω – κάτω από τη θέση του οδηγού βρίσκεται το πακέτο μπαταριών που τροφοδοτεί όλο το σύστημα μας.

Η ψύξη του πακέτου μπαταριών καθώς και του ελεγκτή θα γίνεται από τα αεροδυναμικά τμήματα του οχήματος, τα οποία θα παρέχουν ψύξη στα συστήματα από τα πλαϊνά του τμήματα που βρίσκονται αριστερά και δεξιά του οδηγού, στο ίδιο σημείο που βρίσκονται και τα ψυγεία ψύξης των ηλεκτρικών κινητήρων και μέσω αγωγού θα οδηγούνται ακριβώς πίσω από τον οδηγό όπου βρίσκονται το σύστημα διαχείρισης κινητήρων και το πακέτο μπαταριών.



4.4 ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

Για το σύστημα μετάδοσης της κίνησης από το κινητήρα προς τους τροχούς, θα γίνει μία μικρή αναφορά σχετικά με την επιλογή καθώς δεν μελετήθηκε επακριβώς και σε βάθος ώστε να είμαστε σε θέση να διεξάγουμε δυναμικές αναλύσεις.

Έχοντας ως επιλογές μετάδοσης την αλυσοκίνηση, την μμαντοκίνηση, αλλά και την επιλογή του πλανητικού μέσου μετάδοσης, ισχυρότερη επιλογή ήταν αυτή του πλανητικού μετατροπέα, καθώς στις άλλες δύο επιλογές παρατηρούνται αρκετά μειονεκτήματα, μερικά από αυτά θα αναφερθούν παρακάτω:

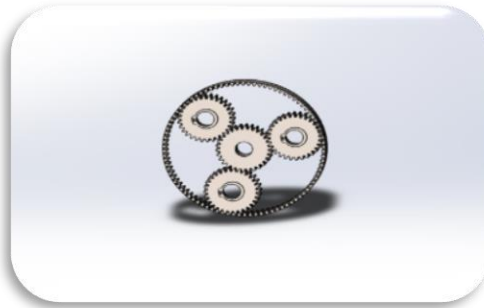
Συγκεκριμένα για την μετάδοση κίνησης μέσω αλυσίδας τα κυριότερα μειονεκτήματα είναι η θορυβώδης λειτουργία λόγω ταλαντώσεων και κρουστικών φορτίων κατά την τύλιξη της αλυσίδας στον τροχό, η φθορά στις συνδέσεις που αυξάνει το βήμα της αλυσίδας και επομένως φθείρεται και ο αλυσοτροχός, πρέπει να έχει συγκεκριμένη τάνηση και τέλος οι αλυσίδες χρειάζονται λίπανση ανά τακτά χρονικά διαστήματα.

Για τη κίνηση με μάντα τα μειονεκτήματα, θα μπορούσε να πει κανείς ότι μοιάζουν με αυτά της αλυσοκίνησης, καθώς μπορεί να μειώνεται σχετικά ο θόρυβος αλλά αυξάνεται η φθορά λόγω της τριβής που αναπτύσσεται και η σωστή τάνηση του μάντα, που μπορεί να προκαλέσουν δυσφορία μέχρι και ανυπολόγιστες συνέπειες στην ομάδα.[11]



Για το δικό μας πλανητικό σύστημα δεδομένου κινητήρα με 8712 rpm και 21 Nm ροπή Ξεκινήσαμε μια διαστασιολόγηση για πλανητικό με μια συνολική μείωση περίπου 8,5:1

Για να μην έχουμε μια τέτοια μείωση σε μια φέτα επιλέξαμε να κάνουμε σε δυο



Εικόνα 75 Επίπεδα πλανητικού συστήματος.

1. Πρώτο επίπεδο με μείωση 2,957:1

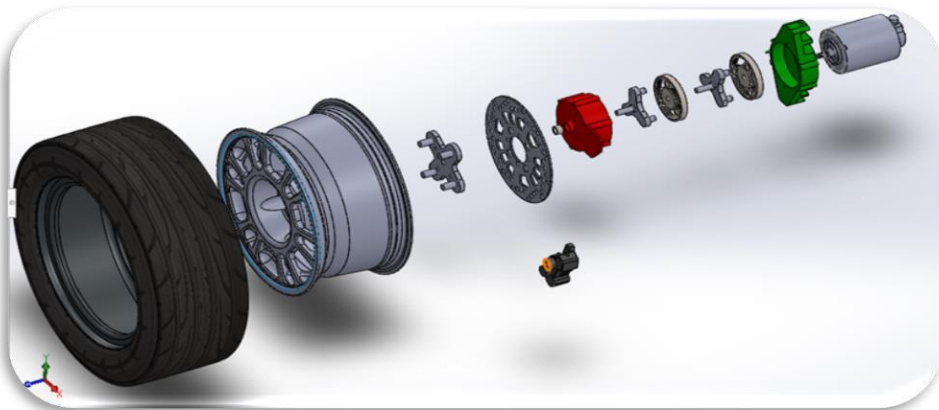
Αριθμός δοντιών στεφάνης 90 , πλανητών 22 (τρεις πλανήτες), ήλιου 46.

Κίνηση από ήλιο και έξοδο από το φορέα πλανητών, σταθερή η στεφάνη.

2. Δεύτερο επίπεδο με μείωση 2,876:1

Αριθμός δοντιών εξωτερικού οδοντωτού τροχού 90 , πλανητών 21 (τρεις πλανήτες), ήλιου 48

Κίνηση από ήλιο και έξοδο από το φορέα πλανητών, σταθερή η στεφάνη.



Εικόνα 76 Συναρμολογημένο τμήμα τροχού.



4.5 ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΕΔΗΣΗΣ

4.5.1 ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΕΔΗΣΗΣ – ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΗ

Ο κύριος στόχος του συστήματος πέδησης είναι η μετατροπή της κινητικής ενέργειας του οχήματος σε θερμική ενέργεια, επιτρέποντας έτσι στο όχημα να επιβραδύνει. Το σύστημα πέδησης επιλέχθηκε και σχεδιάστηκε ως υδραυλικό με δύο κύριους κυλίνδρους, ένας για την πέδηση των εμπρός δύο τροχών και ένας για την πέδηση των δύο πίσω τροχών. Σε κάθε κύριο κύλινδρο αντιστοιχούν δύο δαγκάνες, κάθε μια τοποθετημένη σε ένα τροχό. Σαν σύνολο προκύπτει ότι έχουμε στο σύστημα τέσσερις δαγκάνες, καθώς και τέσσερις δίσκους φρένων.

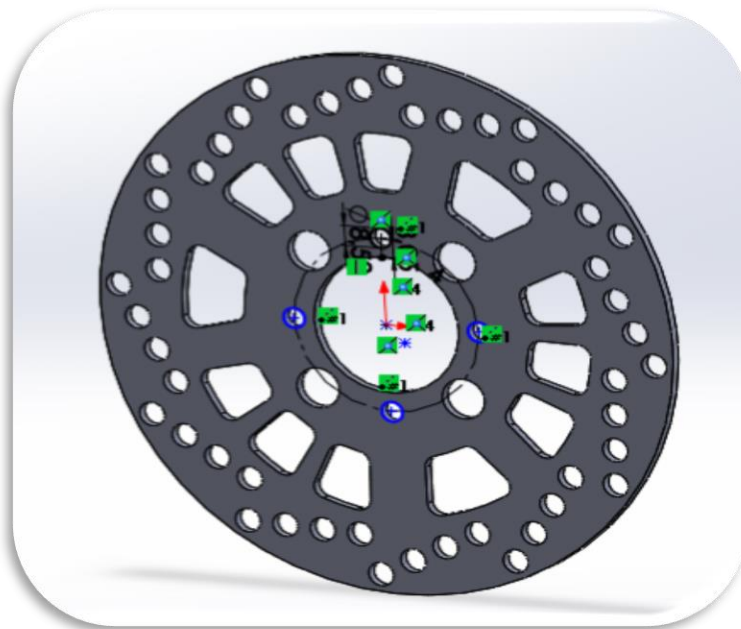
Η ροή του συστήματος πέδησης έχει ως εξής: ο οδηγός ασκεί δύναμη στο πεντάλ του φρένου, το υγρό φρένων εξαναγκάζεται να περάσει μέσα από τα κανάλια λόγω της πίεσης που του ασκείται από τους κύριους κυλίνδρους (master cylinders), μεταφέροντας έτσι το ρευστό πέδησης στους κυλίνδρους της δαγκάνας. Ο κύλινδρος της δαγκάνας με τη σειρά του πιέζει τη δισκόπλακα που περιστρέφεται μαζί με τον τροχό ενώ μεταξύ τους μεσολαβούν τα τακάκια, υλικό κατάλληλο για τριβή. Η τελευταία αυτή επαφή έχει σαν αποτέλεσμα την επίτευξη πέδησης. Ως εκ τούτου, η είσοδος του συστήματος είναι η ισχύς του ποδιού του οδηγού και η έξοδος είναι η δύναμη σύσφιξης των δαγκανών που ασκούνται στις δισκόπλακες.

Βάσει των κανόνων του διαγωνισμού το σχεδιασμένο σύστημα πέδησης πρέπει να είναι σε θέση να ασφαλίσει και τα τέσσερα ελαστικά του οχήματος εντελώς σε ένα πιθανό σενάριο πέδησης έκτακτης ανάγκης. Επομένως, για τον σχεδιασμό του υδραυλικού συστήματος πέδησης, κύριος στόχος είναι να σχεδιαστεί το σύστημα έτσι ώστε ο οδηγός να τοποθετήσει ουσιαστική, αλλά όχι υπερβολική δύναμη στο πεντάλ του φρένου, προκειμένου να κλειδώσει πλήρως τα ελαστικά του οχήματος. Η δύναμη αυτή ορίζεται εμπειρικά στα 600 περίπου Newton (N) σύμφωνα με εφαρμογές πολλών παλαιότερων ομάδων που έλαβαν μέρος στο διαγωνισμό.



Επιλογή των τμημάτων του συστήματος

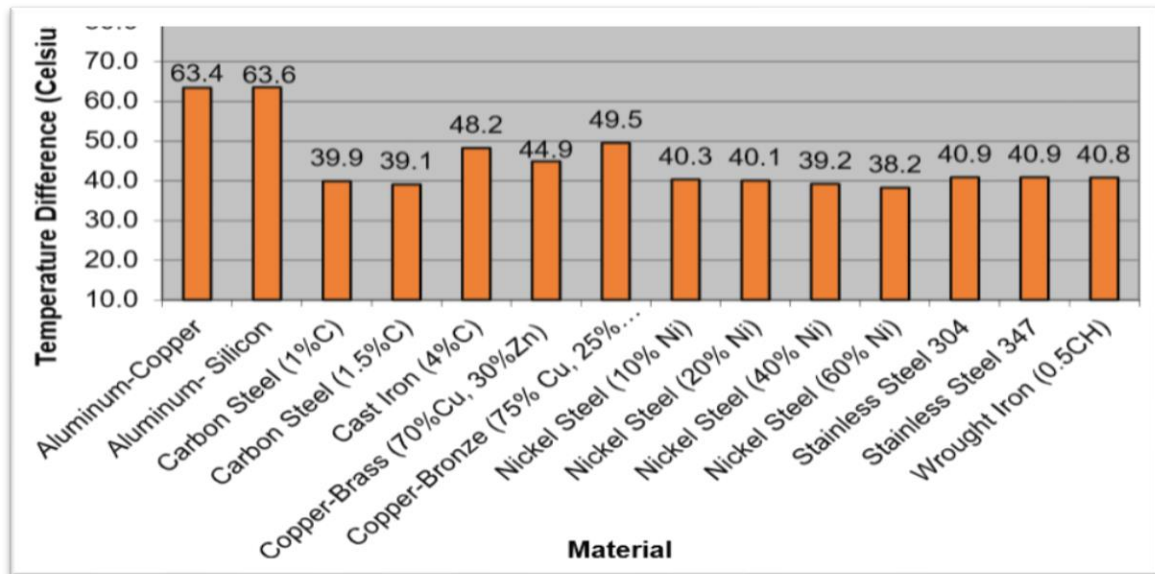
Για την επιλογή της δισκόπλακας λαμβάνουμε υπόψιν την ικανότητα πέδησης που θα προσφέρει αυτή και το κόστος. Σε ένα ηλεκτροκίνητο όχημα, πόσο μάλλον σε ένα όχημα τύπου formula student όπου το βάρος του οχήματος είναι πολύ μικρό, σημαντικό ποσοστό της πέδησης πραγματοποιείται μέσω των ηλεκτροκινητήρων δίνοντας έτσι τη δυνατότητα επιλογής μικρότερης και ίσως οικονομικότερης δισκόπλακας χωρίς να θυσιάσουμε την συνολική απόδοση του συστήματος. Σύμφωνα με τις επιλογές πολλών ομάδων που λαμβάνουν μέρος στο διαγωνισμό, οι σύνηθες επιλογές διαμέτρου είναι μεταξύ 200mm – 260mm. Ο δίσκος που επιλέχθηκε έχει διάμετρο 230mm και χρησιμοποιείται στο δίκυκλο της Yamaha DT200 (1991-1996), εικόνα 37. Η επιλογή αυτή είναι ιδανική καθώς το μέγεθος του δίσκου είναι ικανοποιητικό ενώ το κόστος είναι πολύ χαμηλό. Το υλικό κατασκευής είναι ανοξείδωτος χάλυβας τύπου 420 ενώ η γεωμετρία του δίσκου εξασφαλίζει καλή διάχυση θερμότητας κάτω από έντονη πέδηση, μειώνοντας τη φθορά του, ελαχιστοποιώντας τη στρέβλωση και εξασφαλίζοντας τη μακροζωία του. Οι οπές στο δίσκο, εκτός από καλύτερη διαχείριση θερμότητας εξασφαλίζουν ότι το νερό και η βρωμιά διασκορπίζονται γρήγορα κατά την πέδηση. [12]



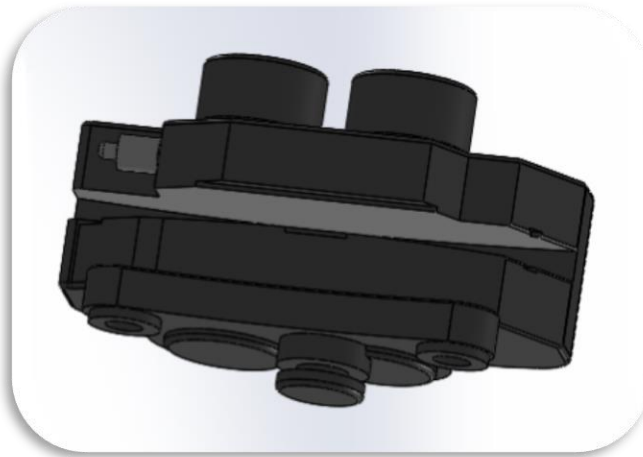
Εικόνα 77 Δισκόπλακα 230mm.



Πίνακας 16 Αναφορές υλικών σχετικά με την ανάπτυξη θερμοκρασιών στο έμβολο δαγκάνας.

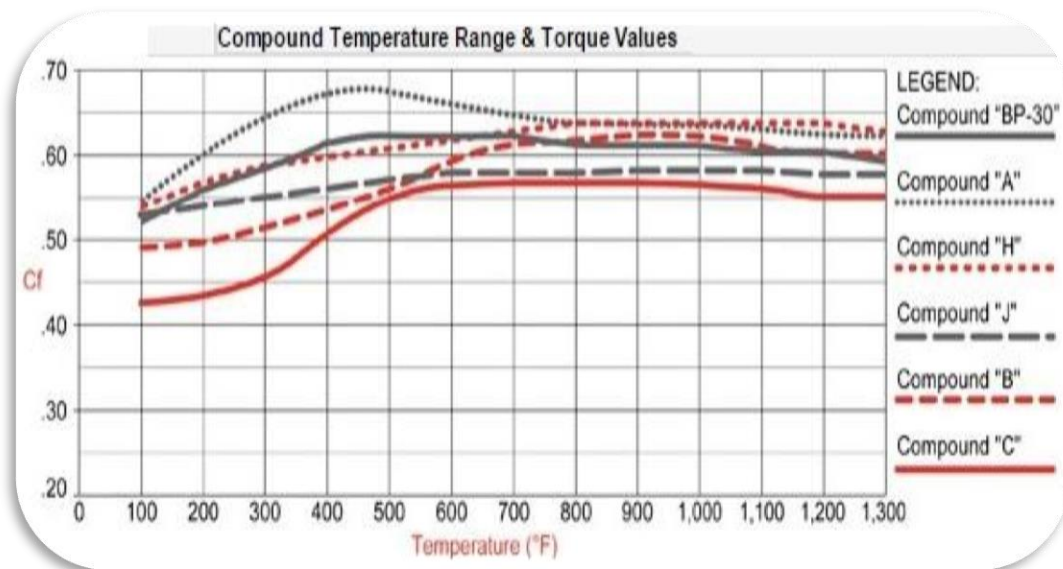


Σε αυτό το στάδιο του σχεδιασμού, είναι απαραίτητη η επιλογή δαγκάνας καθώς και σετ από τακάκια που θα συνεργάζονται με τη δισκόπλακα για την πέδηση του οχήματος. Ο αριθμός των εμβόλων της δαγκάνας και ο συντελεστής τριβής από τα τακάκια των φρένων είναι ελεύθερες μεταβλητές για αυτές τις επιλογές. Αφού έγινε έρευνα στο διαδίκτυο επιλέχθηκε βάσει του αριθμού των εμβόλων, του βάρους, του μεγέθους και του κόστους η Wilwood Billet Dynalite εικόνα 38. Η συγκεκριμένη δαγκάνα είναι κατασκευασμένη από ανοξείδωτο αλουμίνιο, που την καθιστά από της πιο ελαφριές στην κατηγορία της. Δέχεται δίσκο πάχους έως και 9mm, διαθέτει δύο έμβολα ενώ το εμβαδό του κάθε εμβόλου είναι 61mm^2 .



Εικόνα 78 Σχεδιαστική απεικόνιση δαγκάνας μέσω του SolidWorks.

Μετά την επιλογή ενός δαγκάνας Wilwood, γίνεται η επιλογή από τακάκια Wilwood τα οποία θα ταιριάζουν με το στυλ και το μέγεθος της δαγκάνας. Το πέλμα φρένων Polymatrix Compound A Wilwood επιλέχθηκε για το συνολικό υψηλό συντελεστή τριβής του. Με βάση το διάγραμμα απόδοσης της εταιρείας, εικόνα 4.9.1-5 μεταξύ των θερμοκρασιών των 100 °F (37°C) & 700 °F (371°C), ο μέσος συντελεστής τριβής ήταν περίπου 0.6215.



Εικόνα 79 Διάγραμμα απόδοσης από τα τακάκια της εταιρείας Wilwood.



Σε αυτό το σημείο είναι απαραίτητη η επιλογή των κύριων κυλίνδρων. Η επιλογή διαμέτρου του κύριου κυλίνδρου είναι ελεύθερη από τη διοργάνωση. Η διάμετρος του κύριου κυλίνδρου, επιπρόσθετα της πίεσης σε κάθε μία από τις γραμμές, ορίζει τη συνολική εφαρμοζόμενη δύναμη του ποδιού του οδηγού που απαιτείται για την ασφάλιση των ελαστικών κατά τη διάρκεια της πέδησης. Μετά από έρευνα στο διαδίκτυο και σύνταξη ενός πίνακα επιλογών κύριου κυλίνδρου, εικόνα 4.9.1-6, επιλέχθηκαν κύριοι κύλινδροι της σειράς Tilton 77 με διάμετρο 25,4mm τόσο για το εμπρόσθιο όσο και για το οπίσθιο άξονα.

Πίνακας 17 Διάφορες επιλογές κύριου κυλίνδρου.

Master Cylinder Component Matrix	Part #	Price- each	Stroke in.	Bore in.	Length (end of rod to center of bearing)	MC Area
Tilton						
	77-Series	395-340	1.1	1	5.66	0.785
	77-Series	395-340	1.1	0.9375	5.66	0.690
	77-Series	395-340	1.1	0.8750	5.66	0.601
	77-Series	395-340	1.1	0.8125	5.66	0.518
	77-Series	395-340	1.1	0.7500	5.66	0.442
	77-Series	395-340	1.1	0.7000	5.66	0.385
	77-Series	395-340	1.1	0.6250	5.66	0.307
Brembo						
	BRE-XA3G144	827.45	.906	.669		0.352
	BRE-XA3G145	827.45	.907	.75		0.442
	BRE-XA2L2A8	827.45	.908	.886		0.617
	BRE-XA2L2A9	827.45	.909	.789		0.489
AP Racing						
	CP7855-88PRTE	291.54?	1.1	.5	6.13	0.196
	CP7855-89PRTE	291.54?	1.1	.59	6.13	0.273
	CP7855-90PRTE	291.54?	1.1	.625	6.13	0.307
	CP7855-905PRTE	291.54?	1.1	.66	6.13	0.342
	CP7855-91PRTE	291.54?	1.1	.7	6.13	0.385
	CP7855-92PRTE	291.54?	1.1	.75	6.13	0.442
	CP7855-93PRTE	291.54?	1.1	0.8125	6.13	0.518
	CP7855-94PRTE	291.54?	1.1	0.8750	6.13	0.601
	CP7855-95PRTE	291.54?	1.1	0.9375	6.13	0.690
	CP7855-96PRTE	291.54?	1.1	1.0000	6.13	0.785



5 ΚΟΣΤΟΛΟΓΙΟ

Για να γίνει εφικτή η συμμετοχή της ομάδας στο διαγωνισμό, εκτός από την ορθότητα της μελέτης και τη γνώση που χρειάζεται, απαιτεί και ένα οικονομικό πλάνο αναφορικά με το εγχείρημα που στόχο έχει να καλύψει τους πιθανούς επενδυτές, οι οποίοι πρέπει να γνωρίζουν το κόστος της κατασκευής. Εκτός από του επενδυτές το οικονομικό πλάνο βοηθά και τα μέλη της ομάδας στην αναζήτηση χορηγών για τη συμμετοχή στο διαγωνισμό, καθώς όπως θα δείτε και παρακάτω τα έξοδα έχουν αρκετά μεγάλη βαρύτητα στην υλοποίηση και τη συμμετοχή του διαγωνισμού.

ΣΑΣΙ	Εμπρός	AISI 304 INOX	26,9x1,5 (3/4)	3,75	24	90
ΣΑΣΙ	Hoop x2	AISI 304 INOX	26,9x2,5 (3/4) (7.5m)	5,8	12	69,6
ΣΑΣΙ	Crash Box	HONEYCOMB	ΟΛΟΚΛΗΡΟ ΦΥΛΟ	1200	1	1200
ΣΑΣΙ	ΒΑΣΗCrashBox	ΛΑΜΑΡΙΝΑ	5mm – 1X1	5	1	5
ΣΑΣΙ	ΠΑΝΕΛ	ΛΑΜΑΡΙΝΑ	1mm – 3X3	15	1	15
ΣΑΣΙ	ΒΑΣΕΙΣ	ΠΛΑΚΑ ΣΙΔΗΡΟ	Σίδηρος	3	6	18
ΥΠΟΣΥΝΟΛΟ					1397,6	0

ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΕΔΗΣΗΣ	ΔΙΣΚΟΠΛΑΚΑ	YAMAHA	Ατσάλι	10	4	40
ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΕΔΗΣΗΣ	ΔΑΓΚΑΝΑ	YAMAHA	Χυτό	30	4	120
ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΕΔΗΣΗΣ	ΣΩΛΗΝΑΚΙ	Αγορά	ΥΨΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ	15	6	90
ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΕΔΗΣΗΣ	ΑΝΤΛΙΑ	Αγορά		20	2	40
ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΕΔΗΣΗΣ	ΔΟΧΕΙΟ	Αγορά		10	2	20
ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΕΔΗΣΗΣ	ΥΓΡΑ ΦΡΕΝΟΥ	A35	DOT-4	8	1	8
ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΕΔΗΣΗΣ	ΠΕΝΤΑΛ	Κατασκευή	Πλάκα αλουμινίου	50	1	50
ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΕΔΗΣΗΣ	ΒΙΔΑ	Αγορά	ΔΑΓΚΑΝΑΣ	1,5	8	12
ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΕΔΗΣΗΣ	ΒΙΔΑ	Αγορά	ΔΙΣΚΟΠΛΑΚΑΣ	0,5	16	8
ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΕΔΗΣΗΣ	ΒΙΔΑ	Αγορά	ΠΙΕΣΗΣ	2,5	60	150
ΥΠΟΣΥΝΟΛΟ					538	0

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ	Στρ κινητήρα	Controller	Αισθητήρες		4	0
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ	Στρ τροχού		Αισθητήρες		4	0
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ	Θερμ κινητ.	Controller	Αισθητήρες		4	0
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ	Θερμ περιβ.	Αγορά	Αισθητήρες	5	1	5
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ	Θερμ ελαστ.	Αγορά	Αισθητήρες	25	4	100
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ	Πίεση ελαστ.	Αγορά	Αισθητήρες	25	4	100
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ	Ελεγκτής	Αγορά	National Instruments RIO	2000	1	2000
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ	DRS	Αγορά	Υδραυλικός Κύλινδρος	200	1	200
ΥΠΟΣΥΝΟΛΟ					2405	0

ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ	CONTROLLER	AMK	Quadruple Inverter Custom		1	
ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ	Αισθ. Ρεύματος	EV WEST	500A	50	2	100
ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ	ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ	AMK	DD5-14-10-POW	5250	4	21000
ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ	Καλώδια	Αγορά	Χαλκός	5	10	50
ΥΠΟΣΥΝΟΛΟ					21150	0

ΜΠΑΤΑΡΙΑ	BMS	Αγορά	ORION BMS2	1100	1	1100
ΜΠΑΤΑΡΙΑ	ΚΕΛΙΑ	Αγορά	A123 AMP20ml HD-A	110	25	2750
ΜΠΑΤΑΡΙΑ	ΚΑΛΩΔΙΑ	Αγορά	Χαλκός	5	10	50
ΜΠΑΤΑΡΙΑ	SAFE BUTTON	Αγορά	Πλαστικό	10	1	10
ΜΠΑΤΑΡΙΑ	CHARGER	GWL/Charger	48V/30A + BMS con.	300	1	300
ΥΠΟΣΥΝΟΛΟ					4210	0

ΣΥΝΟΛΟ					56335,6	0
---------------	--	--	--	--	----------------	----------



6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Εν κατακλείδι, συμπεραίνουμε ότι το εγχείρημα μας είναι απαιτητικό, τεχνογνωστικά χρονοεξαρτώμενο και αυξημένων διαστάσεων και προϋποθέτει σοβαρή και λεπτομερειακή ανάλυση και πολύπλευρη μελέτη σε όλους τους τομείς που περιπλέκει ένα όχημα. Πιο συγκεκριμένα, το πλάνο μας δεν αναπτύχθηκε στην περαιτέρω ανάλυση των συστημάτων μετάδοσης κίνησης καθώς δεν ήταν το κύριο στοιχείο και απαρτίζει ένα αρκετά δύσκολο και απαιτητικό πλάνο και χρειάζεται τόσο τεχνικές γνώσεις όσο και πρακτικές σε αρκετά καλό βαθμό για να μπορέσει να βγει εις πέρας.

6.1 ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Κλείνοντας, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά όλους όσους βοήθησαν ώστε να υλοποιηθεί έστω και σε θεωρητικό πλαίσιο η μελέτη μίας αμιγώς ηλεκτροκίνητης φοιτητικής αγωνιστικής φόρμουλας σύμφωνα με τους κανονισμούς FSAE. Βασικός στόχος μας είναι η πρωτοτυπία όσον αφορά την ηλεκτροκίνητη τετραδιεύθυνση και τετρακίνηση με πρωταρχικό μέλημα τη καλύτερη δυνατή απόδοση στο διαγωνισμό για τον οποίο προορίζεται. Παρ'όλες τις αυξημένες τεχνικές και χρηματοοικονομικές δυσκολίες που αντιμετωπίσαμε, κατακτήσαμε ένα ικανοποιητικό τεχνογνωστικό επίπεδο άξιο των προσδοκιών μας με απώτερες βλέψεις ύψιστης εξέλιξης στον τομέα της ηλεκτροκίνησης στο κοντινό μέλλον.



Εικόνα 80 Φωτογραφία μέσα στα εργαστήρια της ομάδας FS Team Tallinn.



7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

FSAE™ STRUCTURAL EQUIVALENCY FORM – Formula Student Version

This form must be completed and submitted no later than the date specified in the

Action Deadlines. The FSAE Technical Committee will review all submissions

which deviate from the FSAE® rules and reply with a decision about the requested deviation. All requests will have a confirmation of receipt sent to the team. Structural

Equivalency Forms (SEF) and supporting calculations must be submitted electronically in Adobe Acrobat Format (*.pdf). The submissions must be named as follows: TeamXXX_schoolname_sef_revX.pdf using the team number issued by the Formula Student, complete school name and revision number. Please submit to the person indicated in the Action Deadlines for each event.

University Name _____

Car Number(s) & Event(s) _____

Team Contact _____ E-mail Address _____

Faculty Advisor _____ E-mail Address _____

Is proof of equivalency for your design required for any of the rules?

Yes. Rule(s) deviated (indicate which below) No. Chassis did not deviate from baseline requirements

Deviation Requested	No Deviations	Rule No.	Rule Description	Design Description
x		3.10	Main Roll Hoop Material	
		3.10.6	Main Roll Hoop Attach. to Monocoque	
x		3.11	Front Roll Hoop Materials	
x		3.12	Main Roll Hoop Bracing	
x		3.13	Front Roll Hoop Bracing	
		3.14	Monocoque Bracing Attachment	
x		3.18	Front Bulkhead	
		3.18.4	Monocoque Front Bulkhead	
	x	3.19.4	Front Bulkhead Support	
		3.19.5	Impact Attenuator Attachment	
	x	3.20.3	Impact Attenuator Anti-intrusion Plate	
	x	3.20.3	Tube Frames Side Impact Structure	

Εικόνα 81 Ειδική φόρμα στοιχείων πλαισίου προς συμπλήρωση 2



x		3.20.6	Composite Monocoque Side Impact	
		3.24	Metal Monocoque Side Impact	
		3.25	Monocoque Safety Harness Attach	
x		3.26	Shoulder Harness Bar	

Πίνακας 1 Συμπλήρωση τεχνικών χαρακτηριστικών φόρμας

Attachment Checklist (make sure all are included in your report)

- Receipt, letter of donation or proof for non-steel materials (composite, honeycomb, resin, etc).
- Properties for all non-steel materials
- Holes drilled in any regulated tubing require a deviation, include area and moment of inertia

ATTACH PROOF OF EQUIVALENCY

Please see "Structural Equivalency Guide" on SAE website for details of proof of equivalency calculations and supporting documentation and the "SEF – the basics that must be covered" on the FS website

TECHNICAL COMMITTEE DECISION/COMMENTS

Approved by _____

Date _____

**NOTE: THIS FORM AND THE APPROVED COPY OF THE SUBMISSION
MUST BE PRESENTED
AT TECHNICAL INSPECTION AT EVERY FORMULA SAE EVENT
ENTERED**

Structural Equivalency Form

Εικόνα 82 Ειδική φόρμα στοιχείων πλαισίου προς συμπλήρωση 2



+ Nanophosphate[®] Lithium Ion Prismatic Pouch Cell AMP207M1HD-A

KEY FEATURES AND BENEFITS

- High usable energy over a wide state of charge (SOC) range and very low cost per Watt-hour
- Excellent abuse tolerance and superior cycle life from A123's patented Nanophosphate[®] lithium ion chemistry
- High power with over 2,400 W/kg and 4,500 W/L



AMP20 Cell Specifications	
Cell Dimensions (mm)	7.25x 160x 227
Cell Weight (g)	496
Cell Capacity (minimum, Ah)	19.6
Energy Content (nominal, Wh)	65
Discharge Power (nominal, W)	1200
Voltage (nominal, V)	3.3
Specific Power (nominal, W/kg)	2400
Specific Energy (nominal, Wh/kg)	131
Energy Density (nominal, Wh/L)	247
Operating Temperature	-30°C to 55°C
Storage Temperature	-40°C to 60°C

Abuse Test	Test Result
Nail Penetration	Pass – EUCAR 3
Overcharge	Pass – EUCAR 3
Over-discharge	Pass – EUCAR 3
Thermal Stability	Pass – EUCAR 4
External Short	Pass – EUCAR 3
Crush	Pass – EUCAR 3

APPLICATIONS



PHEV and EV Passenger Vehicles



PHEV and EV Commercial Vehicles



Utility-scale Storage

www.a123systems.com

A123
SYSTEMS

©2011 A123 Systems, Inc. All rights reserved.
WD100105-02

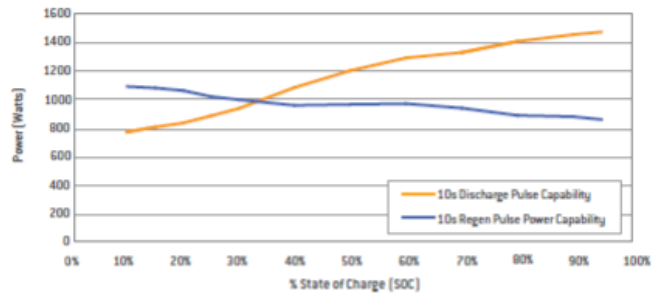
Εικόνα 83 Χαρακτηριστικά κελιού μπαταρίας.



+ Nanophosphate[®] Lithium Ion Prismatic Pouch Cell AMP207M1HD-A

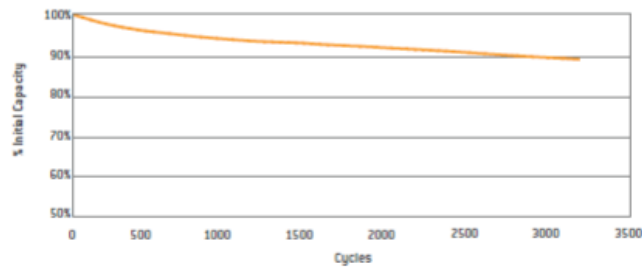
POWER

10s Pulse Power Capability vs State of Charge at 23°C, Using FreedomCAR HPPC
 $V_{max} = 3.8V, V_{min} = 1.6V$



CYCLE LIFE

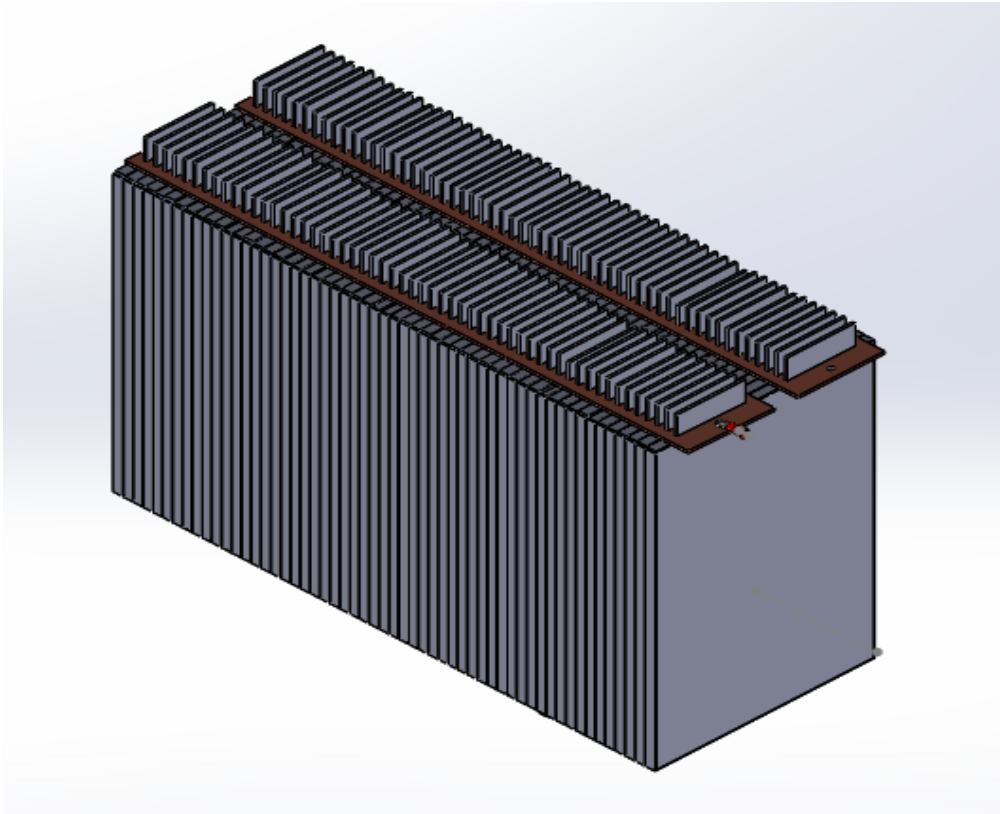
Capacity vs Cycles
100% Depth of Discharge (DOD), +1C/-2C, 23°C



Εικόνα 84 Τεχνικά διαγράμματα κελιού μπαταρίας.



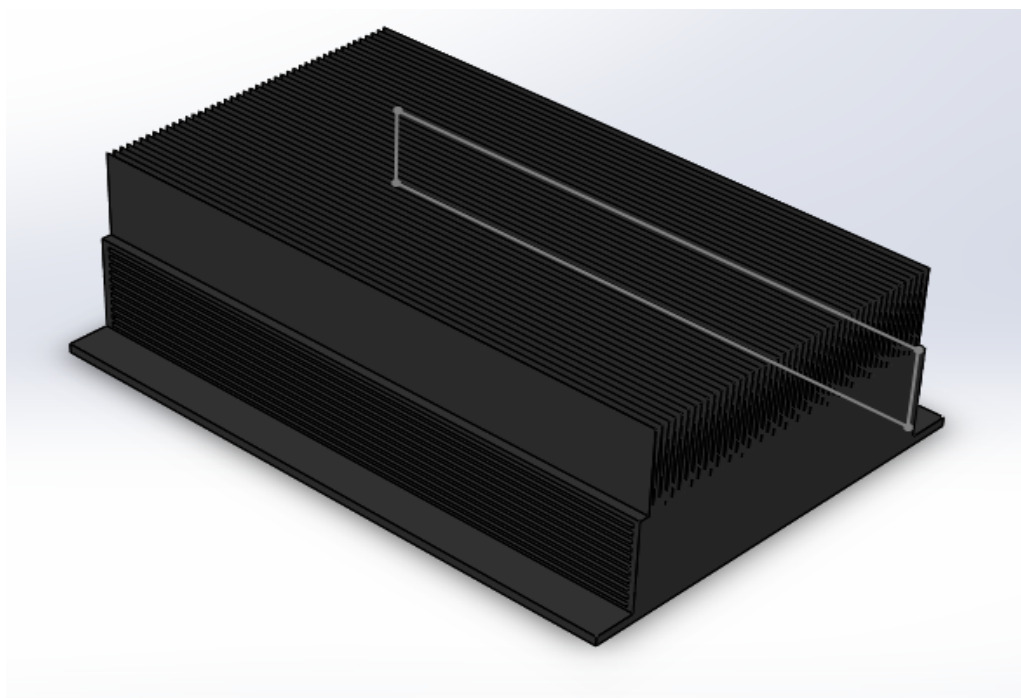
Εικόνα 85 Απεικόνιση κελιού A123.



Εικόνα 86 Πακέτο μπαταριών με το SolidWorks.



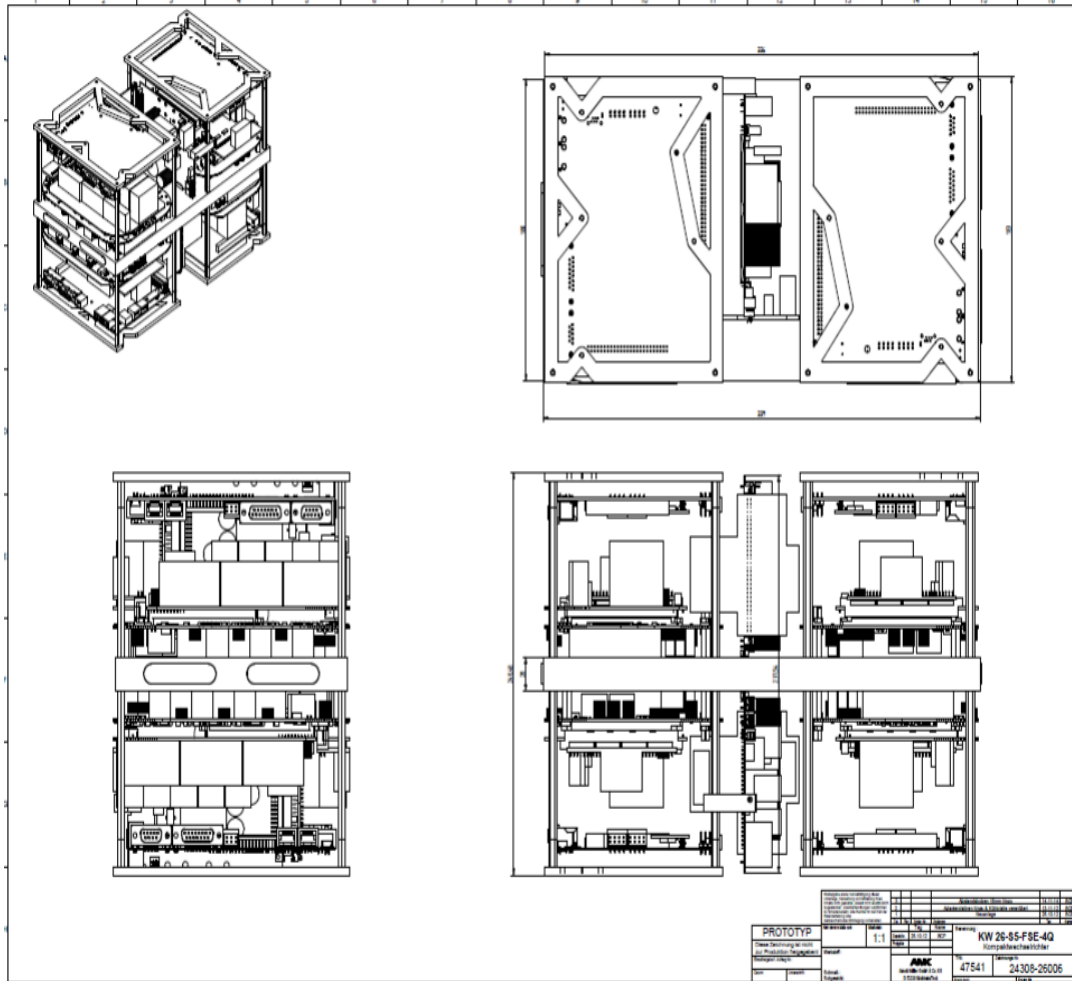
Εικόνα 87 Κεντρικός διακόπτης ασφαλείας.



Εικόνα 88 Σχεδιαστική απεικόνιση BMS με το SolidWorks.



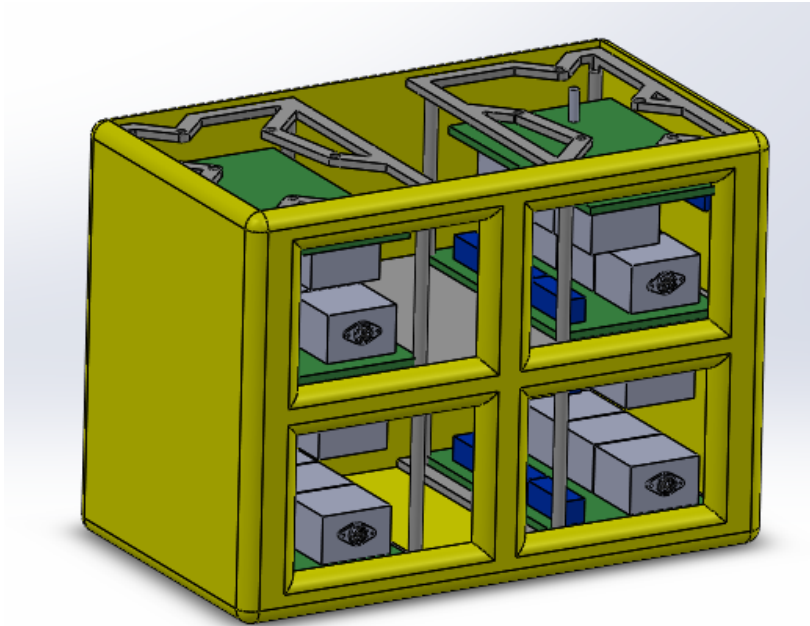
Εικόνα 89 Απεικόνιση μονάδας διαχείρισης μπαταριών.



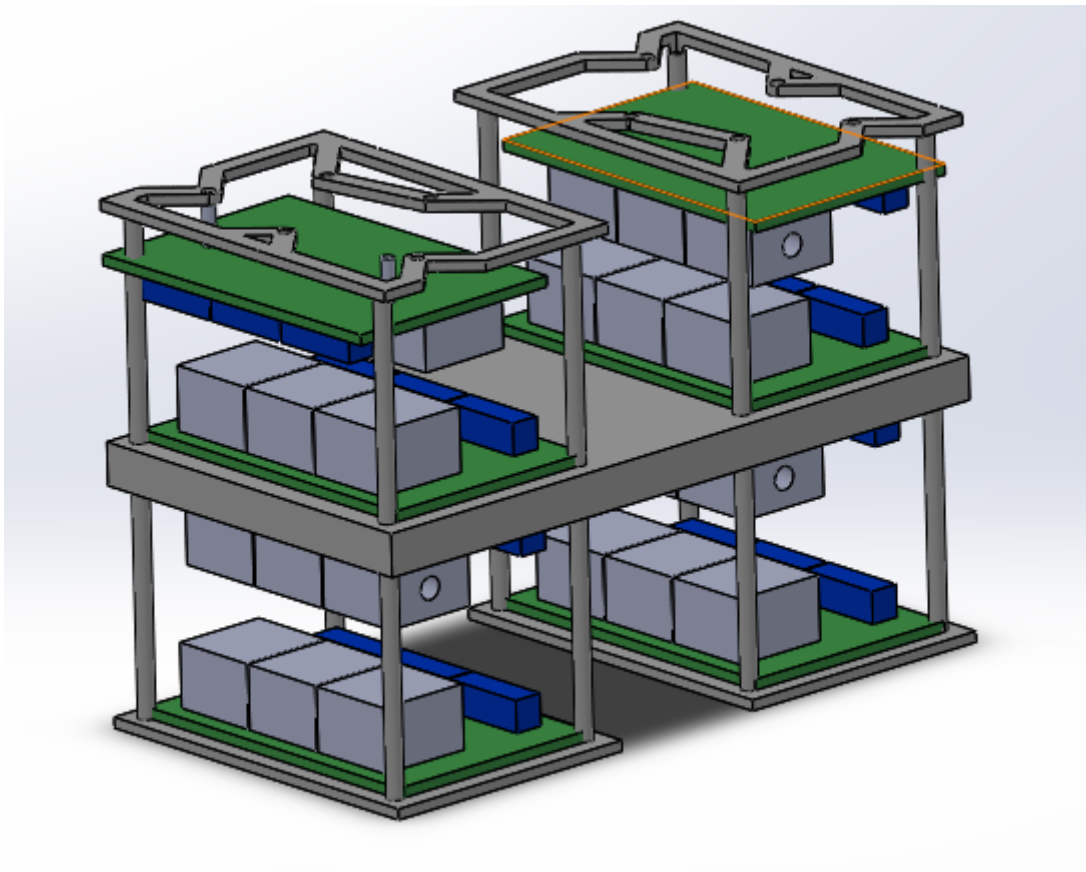
Εικόνα 90 Μηχανολογικό σχέδιο Μονάδας Διαχείρισης Κινητήρων.



Εικόνα 91 Μηχανισμός μέτρησης έντασης ρεύματος.



Εικόνα 92 Μονάδα διαχείρισης κινητήρων με το προστατευτικό κάλυμμα από το SolidWorks.



Εικόνα 93 Μονάδα διαχείρισης κινητήρων μέσω του σχεδιαστικού προγράμματος SolidWorks.



AKM[®] Servo Motor Series

AKM Motors Offer Extremely High Torque Density and High Acceleration

The AKM high-performance motor series offers a wide range of mounting, connectivity, feedback and other options. These motors offer superb flexibility to meet application needs with:

- 8 frame sizes (40 to 260 mm)
- 28 frame-stack length combinations
- More than 120 standard windings



Features

Torque

0.10 to 180 Nm continuous stall torque (1.4 to 1590 lb-in) in 28 frame/stack combinations. Specific torques are often available from multiple frame sizes to optimize mounting and inertia matching capabilities.

Speed

Spools up to 8000 rpm meet high speed application requirements. Windings tailored to lower speeds are also available.

Voltage

AKM motors can be applied to all standard global voltages. Windings are specifically tailored to work with drives powered by 75 Vdc, 120, 240, 400 or 480 Vdc.

Mounting

Multiple mounting standards are available to meet common European, North American, and Japanese standards.

Feedback

AKM motors include resolver, encoder (commutating), Sine Absolute encoder or SFD (Smart Feedback Device) feedback options to meet specific application requirements.

Smoothness

Smooth performance results from low cog, low-harmonic distortion magnetic designs.

Connectivity

Reusable IP65 connectors, straight IP67 connectors or low cost IP20 Molex plugs are both available to provide flexibility. Single connectors/plugs (combined power and feedback) are also available to minimize motor and cable cost (SFD and CSL only).

Thermal

Windings are rated conservatively at 100°C rise over a 40°C ambient while using 155°C (class F) insulation materials. Motors meet applicable UL, CSA, and CE requirements and include thermistors.

Additional Options:

- Holding Brakes
- Shaft sealing options available
- Feedback devices
- Shaft and mounting variations
- Custom windings
- Connectivity

Kollmorgen Cables Offer the Complete Solution



Kollmorgen offers complete cable solutions for connecting drives and motors. This includes static, low cost cable sets for simple applications to high bend, high flex, hybrid cables that combine feedback and power in one cable. Not sure which cable offering would best suit your needs? No problem. Kollmorgen Customer Support is available to discuss cable options and what makes the most sense for your machine.

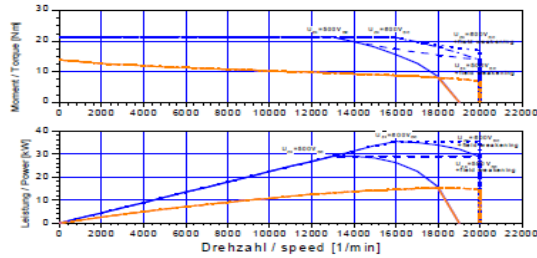
Εικόνα 94 Πληροφορίες ηλεκτρικών κινητήρων AMK.



Motor-Datenblatt motor data sheet



Bezeichnung/name	DD5-14-10-POW - 18600-B5	Formula Student	Datum/date:	15.03.2017
Teile-Nr./part number	A2370DD		Zeichn.-Nr./drawing no.:	12703-01260
Motorbeschreibung motor description:		Elektrische Daten electrical data:		
Motorprinzip/motor principle:	synchron	Nennspannung/rated voltage "Un" (ID32768):	350 V	
Kühlart/cooling type:	Flüssigkeit	Nennstrom/rated current "In" (ID111):	41 Arms	
Bauform/mounting type:	IMB5	Dauerstillstandsstrom/cont. stall current "Io" (ID34096):	53.1 Arms	
Schutzart/degree of protection:	IP 65	Maximalstrom/maximum current "Imax" (ID109):	105 Arms	
Isolierklasse/insulation class:	F	Maximale Dauer für/duration for "Imax" (ID34168):	1.24 s	
Leistungsdaten performance data:		Drehmomentkonstante/torque constant "kt":	0.26 Nm/Arms	
Betriebsart/duty type:	S1 dT=100K	Spannungskonstante/voltage constant "ke" (ID 34234):	18.8 V/kU/min	
Dauerstillstandsmoment/continuous Stall Torque "Mo":	13.8 Nm	Schaltung/connection type:	D	
Maximales Moment/maximum torque "Mmax":	21 Nm	Polzahl/number of poles "2p" (ID32775):	10 Pole	
Bemessungsmoment/rated torque "Mn" (ID32771):	9.8 Nm	Klemmenwiderstand/terminal resistance "Rtt" (ID34164):	0.135 Ohm	
Bemessungsleistung/rated power "Pn":	12.3 kW	Klemmeninduktivität/terminal inductance "Ltt" (ID34167):	0 mH	
Bemessungsdrehzahl/rated speed "Nn" (ID32772):	12000 rpm	Querachseninduktivität/quadrature axis inductance "Lq" (ID34046):	0.12 mH	
Theo. Leerlaufdrehzahl/theor. no-load-speed "No":	18617 rpm	Hauptachseninduktivität/direct axis inductance "Ld" (ID34045):	0.24 mH	
Motorkennlinien performance - characteristics:		Magn.-Strom/magn. current "Im" (ID32769):	35 Arms	
		Magn.-Strom/magn. current "Im1" (ID32770):	0 Arms	
		Rotorzeitkonstante/rotor time constant "Tr" (ID32774):	0.01 s	
		Reglereinstellungen controller settings:		
		Stromregler current controller:		
		Verstärkung q-Achse/gain q-axis "Kpq" (ID34151):	0.64 V/A	
		Verstärkung d-Achse/gain d-axis "Kpd" (ID34152):	0.58 V/A	
		Nachstellzeitkonstante/time constant "Tnq" (ID34050):	1.2 ms	
		Nachstellzeitkonstante/time constant "Tnd" (ID34052):	1.2 ms	
		Adaption Verstärkung/adaption gain "Kpq2" (ID 34179)	20 %	
		Adaption Nachstellzeit/adaption time constant "Tnq2" (ID 34180)	400 %	
		Untere Anpaßschwelle/lower adaption limit "Iua" (ID34177):	19 %	
		Obere Anpaßschwelle/upper adaption limit "Ioa" (ID34178):	68 %	
		Drehzahlregler speed controller (default for plain motor):		
		Verstärkung/gain "Kp_n" (ID100):	40	
		Nachstellzeitkonstante/time constant "Tn_n" (ID101):	20 ms	
		Spannungsregler voltage controller:		
		Spannungsregler/voltage controller "Kp" (ID34148):	0.08 A/V	
		Spannungsregler/voltage controller "Tn" (ID34149):	6 ms	
		Spannungsüberhöhung "du" (ID34235):	116 %	
		Systemwiderstand "Rs" (ID34233):	0 Ohm	



Kennlinie kann die maximal zulässige Drehzahl übersteigen / Characteristic may exceed mechanical speed limit of motor

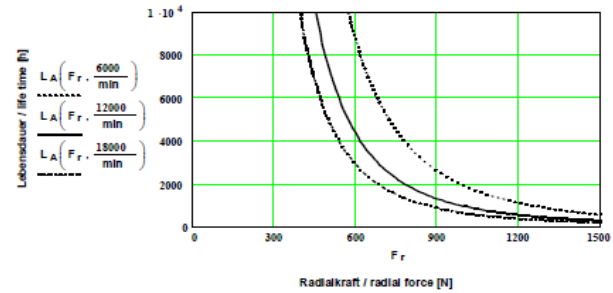
Für dieses Dokument und die darin enthaltenen Angaben behalten wir uns alle Rechte und technische Änderungen vor
All rights reserved for this document and all information included. Technical modifications reserved (c) AMK Antriebs- und Steuerungstechnik GmbH Co. KG

Εικόνα 95 Τεχνικά χαρακτηριστικά ηλεκτρικού κινητήρα AMK.

Motor-Datenblatt motor data sheet



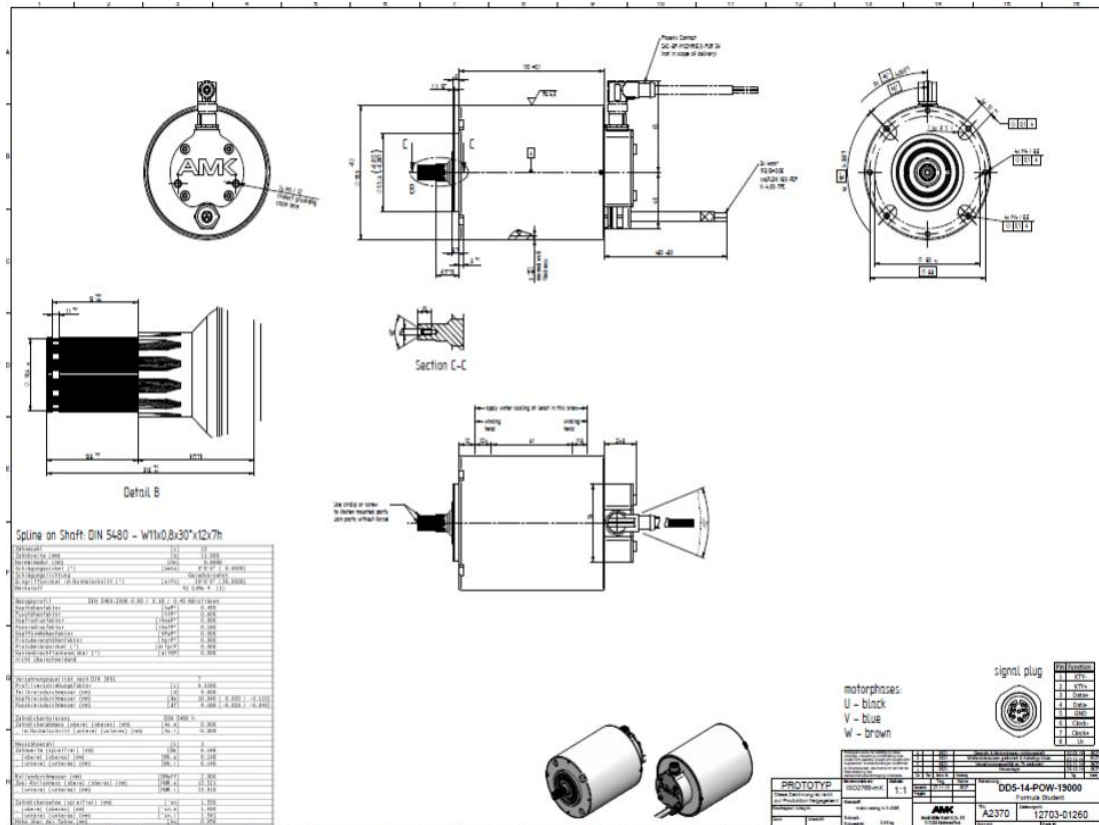
Bezeichnung/name	DD5-14-10-POW - 18600-B5	- Formula Student	Datum/date:	15.03.2017
Teile-Nr./part numbe	A2370DD		Zeichn.-Nr./drawing no.:	12703-01260
Mechanische Daten mechanical data:		Lagerbelastung bearing load:		
Gesamtmasse/motor mass "m":	3,55 kg	(Lastangriff Mitte Abtriebswelle: (Force to the middle of the shaft:		
Motorträgheitsmoment/inertia "J":	2,74 kgcm ²	A/B - Lager/A/B - side bearing:		
Mech. zul. Drehzahl/mech. speed limit "Nmax":	20000 rpm	Lagertyp/bearing type:	6005 / 6003	
Rundlauf/run out (DIN 42955):	N	Fettsorte/type of grease:	GE2 / GE2	
Wuchtgüte/balancing quality:	G2,5	theo. Fettgebrauchsdauer/grease life time:	13000 / 18000 h	
Schwingstärke/vibration level (DIN ISO 2373):	N	bei Nenndrehzahl und 70°C Lageraußenringtemplat rated speed and 158°F at outer bearing ring erforderliche Fettmenge/necessary grease quantity: 0 / g		
Passfeder/shaft key:	-	Maximale Axialkraft bei Montage/max. axial force for assembly: 3275 N		
Bremsdaten brake data:		A - Lager/A - side bearing:		
Typ/type:	-	-		
Bremsmoment/brake torque:	Nm			
Bremsstrom/brake current:	A			
Bremsenspannung/brake voltage:	V			
Spannungsart/voltage type:	-			
Einfallzeit/engage time "Te":	0 ms			
max. Bremsenergie/max. braking energy:	J			
einmalig/single engagement:	J			
Lebenslang/lifetime:	J			
Lüfterdaten fan data:		Geberdaten position encoder data:		
AMK-TNr./AMK part number:	-	AMK-TNr./AMK part number:	108072	
Lüfterspannung/fan voltage:	V	Typ/type:	P	
Strom/current:	A	Impulszahl/number of pulses:	262144	
Frequenz/frequency:	Hz	Bemerkungen remarks:		
Wicklungsschutz thermistor:		automatisch erstellt, Geber 18 Bit, Sonderparameter FSE		
Typ/type (ID34166):	KTY84	Daten nur gültig mit entsprechender Wasserkühlung		
Ansprechtemp./operation temp:	- °C			
Widerstand/resistance (25°C) <=:	629 Ω			



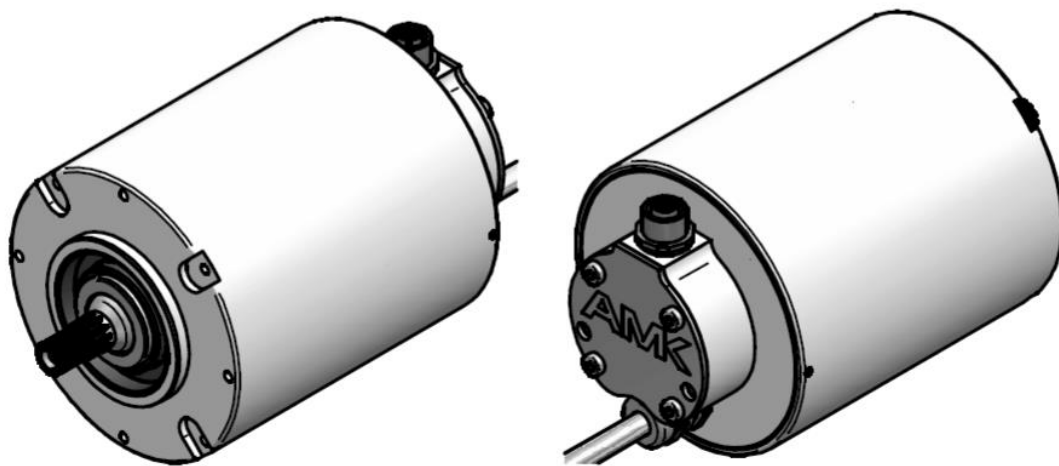
* Typenschildbezeichnung unterstrichen; bitte bei Rückfragen immer angeben /Nameplatedata underlined; please state with every inquiry
Ersteller/created by: SMM Änderungsstand Mechanik/revision motor-mechanics: 0.00 Änderungsdatum/motor revision motor date 28.10.2018

Für dieses Dokument und die darin enthaltenen Angaben behalten wir uns alle Rechte und technische Änderungen vor
All rights reserved for this document and all information included. Technical modifications reserved (c) AMK Antriebs- und Steuerungstechnik GmbH Co. KG

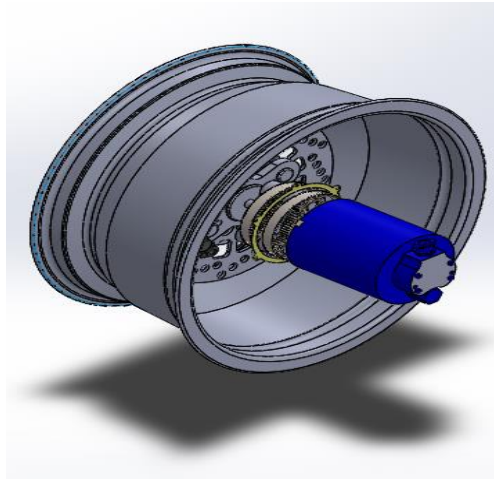
Εικόνα 96 Τεχνικά χαρακτηριστικά κινητήρα.



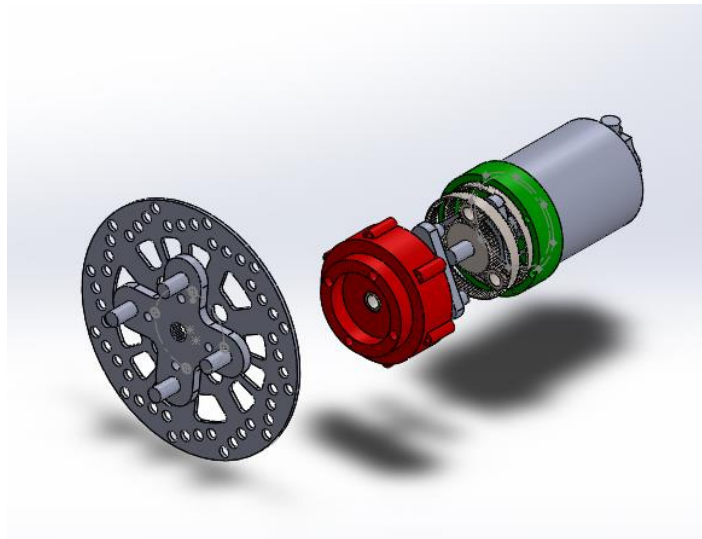
Εικόνα 97 Μηχανολογικό σχέδιο ηλεκτρικού κινητήρα.



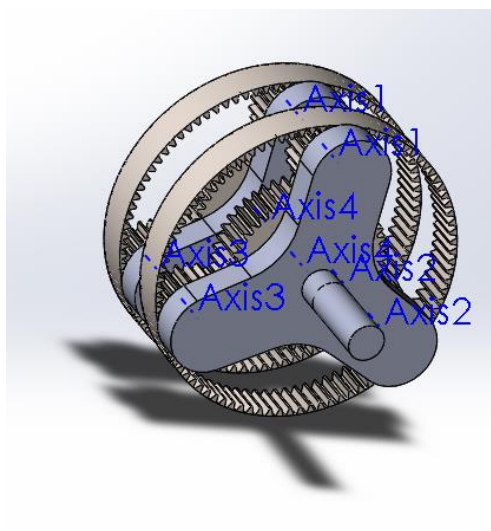
Εικόνα 98 Σχεδιαστική απεικόνιση μέσω του SolidWorks.



Εικόνα 99 Εσωτερική όψη του συστήματος μετάδοσης.



Εικόνα 100 Σχέδιο συναρμολόγησης συστήματος κίνησης.



Εικόνα 101 Εσωτερική οδόντωση πλανητικού μέσου μετάδοσης.



8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Κανονισμοί Formula Student 2017-2018.
2. Johmsen Reimpell, Helmut Stoll, Jurden W. Betzer, The Automotive Chassis: Engineering Principles Second Edition.
3. A. Van Berkum, Chassis and Suspension Design FRESTE02, Technische Universiteit Eindhoven 2006.
4. E. Mariotti, B. Jawad, «Formula SAE race car cockpit design. An ergonomics study for the cockpit», SAE 2000.
5. W. B. Riley, A. R. George, «Design, Analysis and Testing of a Formula SAE Car Chassis», SAE 2002.
6. Muhammad Mansoor, Muzammil Kashan, M. Ihsan Ul Haq. “Design Analysis of Formula SAE Electric Vehicle Integrated with Battery Management and Protection Systems”, 4th International Conference on Energy, Environment and Sustainable Development. Pakistan, 2016.
7. Amk-group. Technical details & manuals. Details dd5 servo motor (PDF), amk_dd5_14_10_POW (PDF). https://amk-group.com/en/product/servomotors_dd5.
8. Peder August Aune. “Four Wheel Drive System for a Formula Style Electric Racecar”. Industrial Design Engineering. Norwegian University of Science and Technology. February 2016.
9. Uta Racing. “Cooling and Packaging of Batteries for Formula SAE Electric Racecar”. Arlington. 2015.
10. Orion BMS. Documentation & Resources. Wiring & Installation Manual (PDF), Operation Manual (PDF), Software Utility Manual (HTML), Troubleshooting Guide (HTML). <https://www.orionbms.com/products/orion-bms-original/>.
11. William Kucinski, Rocky Liang, Chad Davis, Matt Masucci. “Formula Electric In-Hub Motor System for Formula SAE Electric”. University of Wisconsin – Madison. October 2017.
12. Θ. Ζαχμάνογλου, Γ. Καπετανάκης, Π. Καραμπίλος, Γ. Πατσιαβός. Τεχνολογία Αυτοκινήτου πέρα από το 2000. 13^η Έκδοση, Αθήνα, Οκτώβριος 2015.