
**ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ**

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ Τ.Ε.



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

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΩΝ

Μπείκος Νικόλαος

Τσίτος Αλέξανδρος

ΚΩΔΙΚΟΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ

Επιβλέπων: Κοσμάνης Θεόδωρος, Αναπληρωτής Καθηγητής

ΣΙΝΔΟΣ, 2019



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	3
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	4
1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	5
1.2 ΠΕΡΙΛΗΨΗ	6
1.3 ΔΙΑΓΩΝΙΣΜΟΣ FSAE.....	7
2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	14
2.1 ΣΧΕΤΙΚΑ PROJECTS.....	18
3. ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	23
3.2 ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ	23
3.3 ΑΝΑΡΤΗΣΗ.....	24
3.3.1 ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ FORMULA STUDENT.....	27
3.3.2 ΤΡΟΧΟΙ	29
3.3.3 ΕΛΑΣΤΙΚΑ	30
3.4 ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ.....	31
3.4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ.....	31
3.4.2 ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ	31
3.4.3 ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ FORMULA STUDENT.....	33
4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΜΟΝΟΘΕΣΙΟΥ	35
4.2 ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ	35
4.3 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΧΑΜΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ.....	49
4.4 ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΡΤΗΣΗΣ	61
4.4.1 ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΣΥΓΚΡΑΤΗΣΗΣ ΤΡΟΧΟΥ	61
4.4.2 ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΑΣ ΚΑΙ ΕΛΑΤΗΡΙΟ.....	62
4.4.3 ΑΝΤΙΣΤΡΕΠΤΙΚΕΣ ΡΑΒΔΟΙ	68
4.5 ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ.....	70
4.5.1 ΕΠΙΛΟΓΗ ΥΛΙΚΟΥ.....	70
4.5.2 ΣΤΟΧΟΙ ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	71
4.5.3 ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΑ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	72
4.6.4 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΠΑΚΕΤΟΥ	78
5. ΚΟΣΤΟΛΟΓΙΟ	108
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	109
6.1 ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	109
7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	111
8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	123



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την παρούσα πτυχιακή εργασία κλείνει ένας μεγάλος κύκλος φοίτησης και μελέτης του αντικειμένου των οχημάτων στο Αλεξάνδρειο ΤΕΙ Θεσσαλονίκης. Σε αυτό το σημείο θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε όλους όσους συνέβαλαν στην εκπόνηση της πτυχιακής μας εργασίας “Μελέτη και σχεδιασμός ηλεκτροκίνητου μονοθέσιου οχήματος Formula Student” αλλά και σε όλη τη διαδρομή στη σχολή των Μηχανολόγων Οχημάτων του Αλεξάνδρειου Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος.

Θέλουμε να εκφράσουμε για αρχή τις θερμές μας ευχαριστίες στον καθηγητή μας, κύριο Θεόδωρο Κοσμάνη, Αναπληρωτή Καθηγητή για την εμπιστοσύνη που μας έδειξε και την υπόδειξη του εξαιρετικά ενδιαφέροντος αυτού θέματος. Οι συμβουλές που μας παρείχε καθ’ όλη την διάρκεια εκπόνησης της πτυχιακής μας εργασίας ήταν πολύτιμες. Η καθοδήγησή του ήταν άμεση, πάντα επί του θέματος και καθοριστική δίχως αοριστολογίες.

Θα θέλαμε επίσης να απευθύνουμε θερμές ευχαριστίες σε όλους τους καθηγητές για την επιστημονική συμβουλή τους καθώς και το χρόνο που διέθεσαν καθ’ όλη την διάρκεια της φοίτησης μας και της εκπόνησης της πτυχιακής μας εργασίας.

Τέλος, θέλουμε να ευχαριστήσουμε τους γονείς, τα αδέρφια και τους φίλους μας, για την κατανόηση και την συμπαράσταση που μας έδειξαν όλα αυτά τα χρόνια.

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 Ίδρυματος 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 διεθνών 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 αιεφόρες 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 Germany*
- Formula Student UK*
- Formula Student Hungary*



Εικόνα 2: Λογότυπο του 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

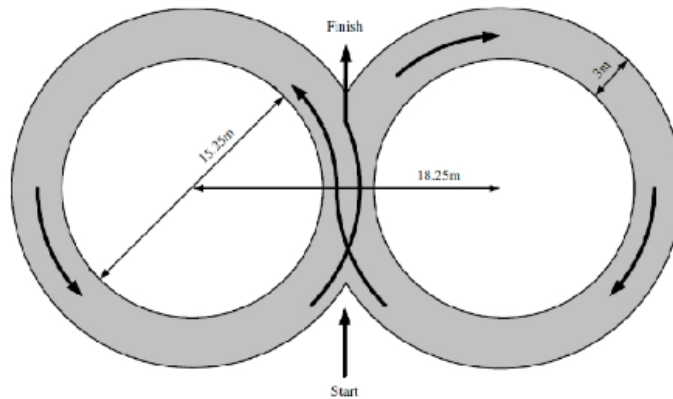


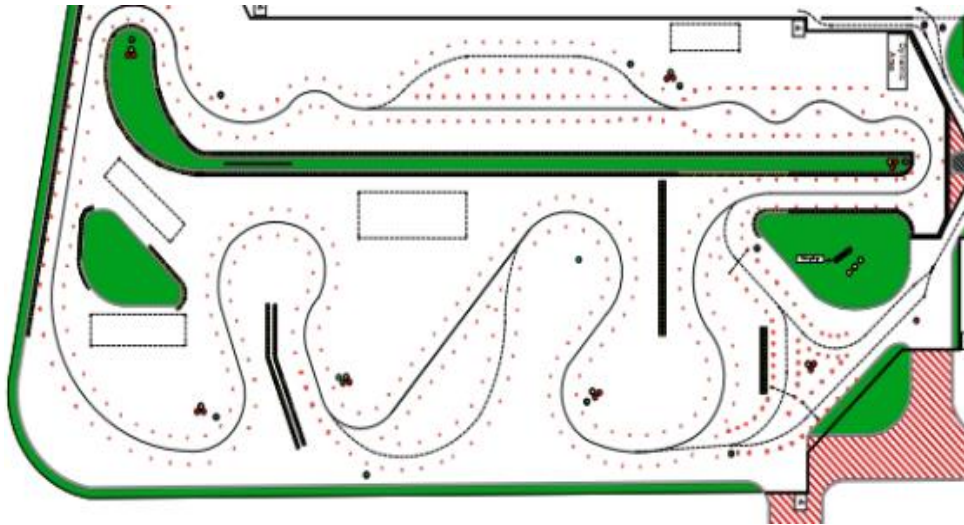
Figure 1.1. Skid-Pad layout and driving directions.

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 (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 βοηθά την «κεντρική» ενεργητική ομάδα με τις γνώσεις και την εμπειρία τους.

ΕΤΟΣ	ΔΙΑΓΩΝΙΣΜΟΣ	ΟΜΑΔΑ	ΘΕΣΗ
2012	Formula Student Hungary	AMZ electric	1st
2013	Formula Student Austria	AMZ combustion	1st
2014	Formula Student Germany	AMZ electric	1st
	Formula Student Austria	AMZ electric	1st
	Formula Student Hungary	AMZ electric	1st
2015	Formula Student Spain	AMZ electric	1st
	Formula Student Hungary	AMZ electric	1st
	Formula Student Austria	AMZ electric	1st
2016	Formula Student Austria	AMZ electric	World record 0-100 in 1.513 sec
2017	Formula Student Spain	AMZ electric	1st
2018	Formula Student Germany	AMZ electric	1st

Πίνακας 2: Διακρίσεις ομάδας AMZ

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.

ΕΤΟΣ	ΔΙΑΓΩΝΙΣΜΟΣ	ΟΜΑΔΑ	ΘΕΣΗ
2014	Formula Student Italy	FS Team Tallinn electric	1st
2018	Formula Student Italy	FS Team Tallinn electric	1st

Πίνακας 3: Διακρίσεις ομάδας FS Tallinn

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.

ΕΤΟΣ	ΔΙΑΓΩΝΙΣΜΟΣ	ΟΜΑΔΑ	ΘΕΣΗ
2007	Formula Student Germany	RennTeam	1st
2008	Formula SAE Australia	RennTeam	1st
2009	Formula Student Germany	RennTeam	1st
2012	Formula Student Germany	RennTeam	1st
2015	Formula Student Hungary	RennTeam	1st
2016	Formula Student Spain	RennTeam	1st
2017	Formula Student Germany	RennTeam Electric	1st
2018	Formula Student Germany	RennTeam	1st
	Formula Student Spain	RennTeam	1st
	Formula Student Spain	RennTeam Electric	1st

Πίνακας 4: Διακρίσεις ομάδας RennTeam

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.

ΕΤΟΣ	ΔΙΑΓΩΝΙΣΜΟΣ	ΟΜΑΔΑ	ΘΕΣΗ
2000	Formula Student Michigan	Texas A&M combustion	1st
2006	Formula Student Lincoln	Texas A&M combustion	1st
2007	Formula Student Lincoln	Texas A&M combustion	1st
2009	Formula Student Spain	Texas A&M combustion	1st
2017	Formula Student Lincoln	Texas A&M combustion	1st
2018	Formula Student Lincoln	Texas A&M combustion	1st

Πίνακας5: Διακρίσεις ομάδας Texas A&M

3.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

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.

3.2 ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ

Το σύστημα διεύθυνσης θα πρέπει να είναι μηχανικά συνδεδεμένο με τους μπροστινούς τροχούς καθώς συστήματα όπως steer-by-wire ή ηλεκτρονικά ελεγχόμενη διεύθυνση απαγορεύεται να χρησιμοποιηθούν. Στο σύστημα διεύθυνσης και ειδικότερα στο επάνω μέρος της κρεμαγιέρας θα πρέπει να τοποθετούν σημεία ασφαλείας τα οποία θα σταματούν το περεταίρω στρίψιμο του τιμονιού και κατ' επέκταση των τροχών έτσι ώστε να αποφευχθεί η επαφή του στο σύστημα ανάρτησης, το σασί ή τα αεροδυναμικά μέρη του οχήματος. Επιπλέον, η επιτρεπόμενη ελεύθερη στροφή ή διάκενο που θα μπορεί να έχει το τιμόνι του συστήματος διεύθυνσης είναι 7° (μοίρες).

Το τιμόνι που θα χρησιμοποιηθεί θα πρέπει να φέρει την λειτουργία γρήγορης αποσύνδεσης (quick release) όταν αυτό βρίσκεται σε ευθεία θέση την στιγμή που οδηγός έχει τα γάντια τοποθετημένα στα χέρια του. Επιπλέον, το τιμόνι σε οποιαδήποτε γωνιακή θέση και αν βρίσκεται απαγορεύεται να προεξέχει από το υψηλότερο σημείο ή επιφάνεια του front hoop. Ακόμα, η κολώνα και ο κανόνας του συστήματος διεύθυνσης θα πρέπει να είναι μηχανικά συνδεδεμένα πάνω στο πλαίσιο του οχήματος καθώς οι σφαιρικοί σύνδεσμοι που θα χρησιμοποιηθούν θα πρέπει να είναι σε ορατά σημεία για έλεγχο από τους κριτές του διαγωνισμού.

3.3 ΑΝΑΡΤΗΣΗ

Το συγκεκριμένο κεφάλαιο μη έχοντας αρκετά περιοριστικά μέτρα, πάρα μόνο κάποιους βασικούς κανόνες που καθορίζουν σημαντικά τα αποτελέσματα της προσπάθειας. Μπορεί η κάθε ομάδα να επιλέξει σύμφωνα με τη δυναμική μελέτη του μονοθέσιου τη κατάλληλη ανάρτηση που θα καλύπτει τις ανάγκες του οχήματος καθώς και της διοργάνωσης.



Εικόνα 8 Σύστημα ανάρτησης σπορ αυτοκινήτου.

Βασικοί ορισμοί

Κλίση άξονα διεύθυνσης (King pin inclination)

Η κλίση του άξονα διεύθυνσης (“Steering axis inclination”) ή αλλιώς η κλίση του βασικού πείρου είναι η γωνία της προβολής του άξονα διεύθυνσης σε επίπεδο κάθετο στον τροχό και σε επίπεδο κάθετο στο δρόμο που περνά από το κέντρο του τροχού. Η γωνία κλίσης του King pin επηρεάζει την ανύψωση του τροχού κατά τη στροφή. Ανυψώνει το αυτοκίνητο καθώς φέρει κλίση και κάνει τους τροχούς να θέλουν να κατευθύνουν ευθεία καθώς το βάρος του αυτοκινήτου επιστρέφει το τιμόνι στο κέντρο. Η γωνία κλίσης του πείρου επηρεάζει επίσης τη γωνία κλίσης των τροχών καθώς περιστρέφονται και ο τροχός αποκτά θετική καμπυλότητα. Αυτό μπορεί να είναι επωφελές για το χειρισμό του αυτοκινήτου όταν παρουσιάζονται έντονες στροφές [15].

Η γωνία κάστερ (Caster angle)

Γωνία caster είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της προβολής του άξονα διεύθυνσης σε επίπεδο παράλληλο στον τροχό και σε επίπεδο κάθετο στο δρόμο που περνά από το κέντρο του τροχού. Η μέτρηση της γωνίας αυτής γίνεται σε μοίρες. Αν το κάτω μέρος του νοητού αυτού άξονα βρίσκεται μπροστά από τον κατακόρυφο άξονα λέμε ότι έχουμε θετικό κάστερ, ενώ αν βρίσκεται πίσω (συνεπώς το επάνω μέρος μπροστά) το κάστερ έχει αρνητική τιμή. Το θετικό κάστερ προσφέρει ευστάθεια και καλή οδηγισιμότητα, ενώ τείνει να επαναφέρει τους μπροστινούς τροχούς στην ευθεία θέση μετά από στροφή, γι’ αυτό και η συντριπτική πλειοψηφία των αυτοκινήτων λειτουργεί με θετική τιμή στη γωνία αυτή. Οι προβλεπόμενες πάντως από τον κατασκευαστή τιμές διαφέρουν αισθητά από μοντέλο σε μοντέλο. Αποκλίσεις από τις ενδεδειγμένες τιμές έχουν σαν συνέπειες προβλήματα στην επαναφορά του τιμονιού στην ευθεία μετά από στροφή, αυξημένη δυσκολία (ή αντίθετα πολύ ελαφρύ τιμόνι) στο στρίψιμο και έντονη αστάθεια. Επίσης, αισθητή απόκλιση των τιμών κάστερ μεταξύ του δεξιού και του αριστερού τροχού προκαλούν τάση του αυτοκινήτου στην ευθεία να κατευθυνθεί προς την μεριά που έχει λιγότερο θετικό κάστερ.

Η γωνία κάμπερ (Camber angle)

Σύμφωνα με το διεθνές πρότυπο DIN 70 000, γωνία κάμπερ είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του επιπέδου του μέσου του τροχού και ενός επιπέδου κατακόρυφου προς το επίπεδο του δρόμου και μετρείται σε μοίρες. Η γωνία κάμπερ έχει θετικό πρόσημο όταν ο τροχός τείνει προς το εξωτερικό του αμαξώματος και αρνητικό όταν κλίνει προς το εσωτερικό. Στις στροφές, λόγω των πλευρικών δυνάμεων που αναπτύσσονται, τα ελαστικά των εξωτερικών τροχών τείνουν να στηρίζονται περισσότερο στο εξωτερικό τους τμήμα. Προκειμένου, λοιπόν, να αποφευχθεί η ανομοιόμορφη φθορά των ελαστικών και να αξιοποιηθεί όλη η επιφάνεια του πέλματός τους, χρησιμοποιείται συνήθως αρνητικό κάμπερ στους τροχούς. Με την κατάλληλη για κάθε εφαρμογή γωνία κάμπερ, το ελαστικό φθείρεται ομοιόμορφα σε όλο το πλάτος του πέλματος, γεγονός που σημαίνει πως αξιοποιείται πλήρως. Αποκλίσεις από την προβλεπόμενη γωνία κάμπερ αλλοιώνουν την αίσθηση του τιμονιού στην είσοδο της στροφής, ενώ μπορούν να προκαλέσουν έντονη φθορά στην εσωτερική ή εξωτερική πλευρά του πέλματος των ελαστικών.

Η ακτίνα καθορισμού (Scrub radius)

Είναι η οριζόντια απόσταση του σημείου τομής της προέκτασης του άξονα περιστροφής του τροχού και του κέντρου του πέλματος του τροχού. Η απόσταση έχει θετικό πρόσημο όταν το σημείο τομής του άξονα με το έδαφος είναι προς το εσωτερικό του οχήματος και αρνητικό στην αντίθετη περίπτωση. Η ακτίνα καθορισμού μπορεί να επηρεάσει το ίχνος του αυτοκινήτου λόγω των διαμηκών δυνάμεων που επενεργούν στον βραχίονα της ακτίνας [15].

Σύγκλιση/Απόκλιση τροχών (Toe in/out)

Γωνία σύγκλισης ή απόκλισης ονομάζεται η γωνία σχηματίζεται μεταξύ του επιπέδου που περνά από το μέσο του τροχού και ενός επιπέδου κάθετου στο έδαφος και παράλληλο με το διαμήκη άξονα του οχήματος. Η γωνία είναι θετική (σύγκλιση τροχών) όταν το εμπρόσθιο τμήμα του τροχού είναι στραμμένο προς το όχημα [16].

Άξονας κλυδωνισμού (Roll axis)

Άξονας κλυδωνισμού ονομάζεται ο άξονας που σχηματίζεται μεταξύ των κέντρων κλυδωνισμού των δύο αξόνων του οχήματος. Η θέση του άξονα, δηλαδή το ύψος του από το έδαφος και η κλίση του παίζουν ρόλο καθοριστικό στην οδική συμπεριφορά του οχήματος καθώς καθορίζουν την μεταβολή της γωνίας κάμπερ των τροχών. Ο κλυδωνισμός του οχήματος αποτελεί μέγεθος ικανό να δώσει στον οδηγό την αίσθηση του μεγέθους της πλευρικής επιτάχυνσης λόγω στροφής ή των ανωμαλιών του οδοστρώματος. Η θέση του και κλίση του άξονα κλυδωνισμού καθορίζεται από τη γεωμετρία των αναρτήσεων στους δύο άξονες του οχήματος [16].

Άξονας πρόνευσης (Pitch axis)

Άξονας πρόνευσης ονομάζεται ο άξονας που καθορίζεται από τη θέση των κέντρων πρόνευσης των δεξιά και αριστερά ζευγών τροχών του οχήματος. Για τον γεωμετρικό προσδιορισμό του άξονα πρέπει να είναι πλήρως γνωστές οι γεωμετρικές περιγραφές των μηχανισμών των αναρτήσεων του οχήματος. Η θέση του άξονα καθορίζεται από τη γεωμετρία της ανάρτησης και επιδρά στην οδική συμπεριφορά του οχήματος. Όπως ο κλυδωνισμός έτσι και η πρόνευση του οχήματος αποτελεί μέγεθος ικανό να δώσει στον οδηγό την αίσθηση του μεγέθους της διαμήκου επιτάχυνσης ή επιβράδυνσης.

3.3.1 ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ FORMULA STUDENT

Ο μόνος περιοριστικός όρος που θέτει η επιτροπή είναι ότι το όχημα θα πρέπει να είναι εφοδιασμένο με πλήρως λειτουργικό σύστημα ανάρτησης, εμπρός και πίσω, με δυνατότητα κίνησης του τροχού τουλάχιστον 50,8mm. Όλα τα σημεία τοποθέτησης της ανάρτησης πρέπει να είναι ορατά στη τεχνική επιθεώρηση των διοργανωτών, είτε άμεσα είτε αφαιρώντας οποιαδήποτε καλύμματα. Η απόσταση από το έδαφος πρέπει να είναι επαρκής ώστε να αποτρέπεται η επαφή οποιοδήποτε τμήματος του αυτοκινήτου κατά την εκτέλεση των αγωνισμάτων, εκτός από τα ελαστικά αγγίζοντας το έδαφος κατά τη διάρκεια της κίνησης του. Η επαφή οποιουδήποτε τμήματος του αυτοκινήτου διαφορετικό από τα ελαστικά, θα είναι υπαίτιο ώστε η ομάδα να χάσει κάποιους βαθμούς στη δυναμική δοκιμασία.

Υπάρχουν συγκεκριμένες απαιτήσεις που πρέπει να πληροί το σύστημα ανάρτησης σύμφωνα με τους κανόνες FS. Το σύστημα ανάρτησης όπως και όλα τα άλλα συστήματα του οχήματος θα πρέπει να ακολουθούν τους κανονισμούς οι οποίοι έχουν ορισθεί από το IMechE (Institution of Mechanical Engineers), έτσι ώστε να μπορεί το όχημα να λάβει συμμετοχή στο διαγωνισμό. Σύμφωνα με τους κανονισμούς της FS το σύστημα ανάρτησης θα πρέπει να ικανοποιεί τους ακόλουθους κανονισμούς :

- Όλα τα κινητά στοιχεία της ανάρτησης και του συστήματος διεύθυνσης και άλλες αιχμηρές άκρες στο εσωτερικό του χώρου οδήγησης μεταξύ του πρόσθιου στελέχους και ενός κατακόρυφου επιπέδου 100mm πίσω από τα πετάλια πρέπει να είναι θωρακισμένα με στερεό υλικό.
- Χρήση ενός πλήρους λειτουργικού συστήματος ανάρτησης (εμπρός – πίσω) με αποσβεστήρα κραδασμών.
- Η διαδρομή της ανάρτησης θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 50mm, με 25mm επιστροφή και 25mm βύθιση.
- Όλα τα σημεία σύνδεσης της ανάρτησης πρέπει να είναι ορατά για τεχνική επιθεώρηση, είτε με άμεση οπτική επαφή, είτε μετακινώντας κάποια τμήματα.
- Η μικρότερη επιτρεπτή στατική απόσταση από το έδαφος οποιουδήποτε τμήματος του οχήματος, πλην των τροχών, με τον οδηγό εντός αυτού, θα πρέπει να είναι 30mm τουλάχιστον.
- Τα καλύμματα επί της ανάρτησης και των εξαρτημάτων του συστήματος διεύθυνσης πρέπει να είναι αφαιρούμενα ώστε να επιτρέπουν την επιθεώρηση των σημείων στήριξης.
- Όλα τα άκρα σφαιρικών ράβδων και τα σφαιρικά έδρανα στο σύστημα διεύθυνσης ή ανάρτησης πρέπει να έχουν διπλή διάτμηση ή να έχουν καταληφθεί με κεφαλή κοχλία / μπουλονιού ή ροδέλα με εξωτερική διάμετρο μεγαλύτερη από την εσωτερική διάμετρο του περιβλήματος του σφαιρικού εδράνου.
- Η μικρότερη διαδρομή του οχήματος (μπροστά προς τα πίσω) δεν πρέπει να είναι μικρότερη από το 75% της μεγαλύτερης διαδρομής.
- Η τροχιά και το κέντρο βάρους του οχήματος πρέπει να συνδυάζονται ώστε να παρέχουν επαρκή σταθερότητα κατά την κύλιση.
- Το όχημα πρέπει να έχει μεταξόνιο τουλάχιστον 1525mm.

3.3.2 ΤΡΟΧΟΙ

Στη συγκεκριμένη ενότητα μπορεί να γίνει επιλογή μέσα από δυο διαφορετικού τύπου τροχών. Η πρώτη επιλογή είναι αυτή του μονού περικοχλίου, η οποία δίνει την έμφαση μίας πλήρης αγωνιστικής φόρμουλας και η δεύτερη επιλογή είναι αυτή με τέσσερα περικόχλια ανά τροχό, όπως συναντάμε και σε αρκετές εφαρμογές στα επιβατικά μας οχήματα.

Οι τροχοί του αυτοκινήτου πρέπει να έχουν τουλάχιστον διάμετρο 8,0 ίντσες. Κάθε σύστημα τοποθέτησης τροχού που χρησιμοποιεί ένα μόνο περικόχλιο συγκράτησης πρέπει να διαθέτει διάταξη για τη συγκράτηση του περικοχλίου και τον τροχό σε περίπτωση που το παξιμάδι χαλαρώσει. Οι τυποποιημένοι κοχλίες των πείρων τροχών εφόσον δεχθούν οποιαδήποτε τροποποίηση θα υπόκειται σε επιπλέον έλεγχο κατά την τεχνική επιθεώρηση της επιτροπής. Οι ομάδες που χρησιμοποιούν τροποποιημένες βίδες ή προσαρμοσμένα σχέδια θα πρέπει να αποδείξουν ότι έχουν ακολουθηθεί καλές τεχνικές πρακτικές στο σχεδιασμό τους.



Εικόνα 9 Ζάντα με στήριξη ενός μπουλονιού.



Εικόνα 10 Ζάντα με στήριξη τεσσάρων μπουλονιών.

3.3.3 ΕΛΑΣΤΙΚΑ

Τα μονοθέσια μπορούν να έχουν δύο τύπους ελαστικών, ένα ξηρά ελαστικά και βρόχινα. Τα ελαστικά του οχήματος, όταν παρουσιάζονται για τεχνικό έλεγχο, ορίζονται ως τα "ξηρά ελαστικά" του. Μπορεί να έχουν οποιοδήποτε μέγεθος ή τύπο. Μπορεί να είναι (επίπεδα) slick ή (ανάγλυφα) treaded. Τα ελαστικά βροχής μπορεί να είναι οποιουδήποτε μεγέθους ή τύπου ελαστικού. Το σχέδιο πέλματος ή οι αυλακώσεις πρέπει να έχουν δημιουργηθεί από τον κατασκευαστή του ελαστικού. Οποιοσδήποτε αυλακώσεις που έχουν κοπεί από την ομάδα, πρέπει να έχουν αποδεικτικό έγγραφο ότι έγινε σύμφωνα με κάποιους κανόνες. Το ελάχιστο βάθος πέλματος ορίζεται 2,4mm που θα πρέπει να έχει κάθε ελαστικό και μετά από το στατικό έλεγχο του μονοθέσιου δεν μπορεί να γίνει κάποια αλλαγή στα ελαστικά κατά τη διεξαγωγή των αγωνισμάτων. Η ομάδα πρέπει να επιλέξει ποιο τύπο ελαστικών θα επιλέξει πριν την έναρξη των ελέγχων.



Εικόνα 11 Ελαστικά επίπεδης και ανάγλυφης επιφάνειας

3. 4 ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ

3.4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ

Η αεροδυναμική αποτελεί ένα σημαντικό θέμα στο μηχανοκίνητο αθλητισμό τα τελευταία 40 χρόνια με κυριότερο στόχο την αύξηση του κανονικού φορτίου στα ελαστικά για αυξημένη πρόσφυση χωρίς την αντίστοιχη προσθήκη μάζας. Η ποσότητα πρόσφυσης που υπάρχει στα ελαστικά σε συνδυασμό με την αεροδυναμική αντίσταση και την ισχύ του κινητήρα καθορίζουν θεωρητικά τα όρια ενός οχήματος εντός μιας πίστας ταχύτητας, ιδιαίτερα στις στροφές. Παρουσιάζει επομένως ιδιαίτερο ενδιαφέρον ο σχεδιασμός ενός οχήματος όπου απαιτούμαι την μέγιστη επαφή με το έδαφος και την ελάχιστη οπισθέλκουσα δύναμη. Με τα χρόνια έχουν επιβληθεί κανόνες και περιορισμοί για να διατηρηθούν αυτά τα αεροδυναμικά πλεονεκτήματα σε λογική κλίμακα καθώς η τεχνολογία βελτιώθηκε ραγδαία στο τομέα αυτό.

Κατά το σχεδιασμό ενός αγωνιστικού αυτοκινήτου τύπου ανοικτού τροχού, παρατηρούνται πολλές περιπτώσεις σύνθετης γεωμετρίας όπως οι τροχοί , βραχίονες (A-arm) , το πιλοτήριο με τον οδηγό και πολλά ακόμα . Αυτή η φύση του οχήματος καθιστά δύσκολη, αν όχι αδύνατη, την προσέγγιση του προβλήματος της αεροδυναμικής βελτιστοποίησης του συνόλου του αυτοκινήτου αναλυτικά. Λόγω αυτών των δυσκολιών, έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι προσομοίωσης όπως η υπολογιστική ρευστοδυναμική (CFD) για να βοηθηθεί η έρευνα.

3.4.2 ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ

Η αεροδυναμική δύναμη είναι η δύναμη που ασκείται σε ένα σώμα από τον αέρα (ή κάποιο άλλο αέριο) στο οποίο το σώμα είναι βυθισμένο και οφείλεται στη σχετική κίνηση μεταξύ του σώματος και του αερίου.

Η αεροδυναμική δύναμη προκύπτει από δύο λόγους:

Η κανονική δύναμη λόγω της πίεσης στην επιφάνεια του σώματος

Η διατμητική δύναμη λόγω του ιξώδους του αερίου, γνωστή ως τριβή του σώματος.

Η πίεση δρα τοπικά, είναι κανονική στην επιφάνεια και η δύναμη διάτμησης δρα τοπικά, παράλληλα προς την επιφάνεια. Η καθαρή αεροδυναμική δύναμη επί του σώματος οφείλεται στις δυνάμεις πίεσης και διατμήσεως που ενσωματώνονται επί της συνολικής εκτεθειμένης περιοχής του σώματος.

Όταν μια αεροτομή (ή μια πτέρυγα) κινείται σε σχέση με τον αέρα παράγει μια αεροδυναμική δύναμη, σε μια οπίσθια κατεύθυνση υπό γωνία με την κατεύθυνση της σχετικής κίνησης. Αυτή η αεροδυναμική δύναμη συνήθως διαχωρίζεται σε δύο συνιστώσες:

Η οπισθέλκουσα είναι η συνιστώσα δύναμης παράλληλη προς την κατεύθυνση της σχετικής κίνησης.

Η ανύψωση είναι το στοιχείο δύναμης κάθετο προς την κατεύθυνση της σχετικής κίνησης.

Οπισθέλκουσα (drag force) ονομάζεται η δύναμη η οποία έχει τον ίδιο φορέα με αυτόν της ταχύτητας, αλλά αντίθετη φορά, και εμφανίζεται κατά την κίνηση αντικειμένων εντός ρευστού. Η παρουσία της δύναμης οφείλεται στη διαφορετική πίεση η οποία επικρατεί στις δύο πλευρές ενός σώματος [12].

Μαθηματικά η αντίσταση εκφράζεται ως:

$$D = \frac{1}{2} C_d \rho A u^2 \text{ (Σχέση 1)}$$

όπου:

- **C_d**: Συντελεστής αντίσταση σώματος (εξαρτάται κατά βάση από τη γεωμετρία)
- **ρ**: Πυκνότητα του ρευστού
- **A**: Η μέγιστη μετωπική επιφάνεια του κινούμενου σώματος
- **u**: Η σχετική ταχύτητα σώματος-ρευστού

Αεροδυναμική ανύψωση (lift)

Ένα ρευστό που ρέει πέρα από την επιφάνεια ενός σώματος ασκεί μια δύναμη πάνω του. Η ανύψωση είναι το στοιχείο αυτής της δύναμης που είναι κάθετο προς την προς τα πάνω κατεύθυνση ροής. [1] Αντιπαραβάλλεται με τη δύναμη ολίσθησης, η οποία αποτελεί το συστατικό της δύναμης παράλληλης προς την κατεύθυνση ροής. Η ανύψωση συμβατικά ενεργεί προς τα πάνω για να αντισταθμιστεί η δύναμη της βαρύτητας, αλλά μπορεί να ενεργήσει σε οποιαδήποτε κατεύθυνση σε ορθή γωνία με τη ροή.

Η κάθετη δύναμη (downforce)

Πρόκειται για την αρνητική ανύψωση (negative lift). Η κάθετη δύναμη (downforce) περιγράφει την καθοδική πίεση που δημιουργείται από τα αεροδυναμικά χαρακτηριστικά ενός αυτοκινήτου που του επιτρέπει να ταξιδεύει γρηγορότερα κρατώντας τους τροχούς του αυτοκινήτου στην επιφάνεια του δρόμου. Ορισμένα στοιχεία για την αύξηση της ολίσθησης του οχήματος θα αυξήσουν επίσης την αντίσταση. Είναι πολύ σημαντικό να δημιουργηθεί μια καλή αεροδυναμική δύναμη προς τα κάτω, επειδή επηρεάζει την ταχύτητα και το ίχνος του αυτοκινήτου [11].

3.4.3 ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ FORMULA STUDENT

Τα αεροδυναμικά στοιχεία πρέπει να πληρούν τις ακόλουθες απαιτήσεις σύμφωνα με τους κανόνες FS. Οποιοδήποτε αεροδυναμικό μέρος :

- Δεν πρέπει να προεξέχει περισσότερο από 762mm από τα μέτωπα των μπροστινών ελαστικών.
- Δεν πρέπει να προεξέχει περισσότερο από 305mm από τα πίσω ελαστικά.
- Κατά το πλάτος, δεν πρέπει να προεξέχει των ελαστικών εμπρόσθιου ή οπίσθιου (measured at the height of the hubs)
- Όλες οι συσκευές που μπορούν να έρθουν σε επαφή με έναν πεζό πρέπει να έχουν ελάχιστη ακτίνα 1,5mm.
- Δεν επιτρέπεται η χρήση συσκευής ισχύος για τη μετακίνηση ή την αφαίρεση αέρα από το όχημα εκτός από ανεμιστήρες σχεδιασμένους αποκλειστικά για ψύξη.

- Η έξοδος από το όχημα πρέπει να είναι μικρότερη από 5 δευτερόλεπτα και δεν πρέπει να απαιτεί καμία κίνηση οποιουδήποτε στοιχείου ή συσκευής.
- Το πτερύγιο/τα πτερύγια θα πρέπει να είναι τοποθετημένα σε τέτοιες θέσεις και να παρουσιάζουν αντοχή τέτοια, ώστε οποιοδήποτε ατύχημα να είναι απίθανο να παραμορφωθούν αυτά ή οι βάσεις τους κατά τρόπο που να εμποδίζει την έξοδο των οδηγών.
- Απαγορεύονται τα δυναμικά φαινόμενα εδάφους (power ground effects)

[Στο σχεδιασμό του αυτοκινήτου, το φαινόμενο εδάφους είναι μια σειρά αεροδυναμικών επιδράσεων που έχουν αξιοποιηθεί για να δημιουργήσουν πιέσεις, ιδιαίτερα σε αγωνιστικά αυτοκίνητα. Η Formula1 και πολλές άλλες σειρές αγώνων, κυρίως στην Ευρώπη, χρησιμοποιούν κανονισμούς (ή απαγορεύσεις) για να τα περιορίσουν για λόγους ασφαλείας.]

4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΜΟΝΟΘΕΣΙΟΥ

4.1 ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ

4.1.1 Τιμόνι

Το τιμόνι αποτελεί τον πιο κρίσιμο παράγοντα και την γέφυρα του οδηγού με το όχημα. Ενώνει το χάσμα μεταξύ ανθρώπου και μηχανής. Με τη χρήση διαφόρων διακοπών, κουμπιών και επιλογών, δίνεται η δυνατότητα στον οδηγό να κάνει πολλές αλλαγές τόσο στις μονάδες ισχύος, όπως επίσης και στα περιφερειακά συστήματα ελέγχου. Μέσα από το τιμόνι, ανά πάσα στιγμή ελέγχονται πλήρως όλα τα υποσυστήματα του μονοθεσίου χωρίς κυριολεκτικά να χρειαστεί ποτέ να σηκωθεί το πόδι από το γκάζι. [5]

Το τιμόνι μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την τοποθέτηση οργάνων, συνήθως μέσω μιας οθόνης LCD πολλαπλών λειτουργιών. Το τμήμα των μηχανικών μπορεί επίσης να επικοινωνεί με τον οδηγό μέσω ενός υποχρεωτικού συστήματος τοποθέτησης GPS που έχει τοποθετηθεί στο τιμόνι. [6]

Το συγκεκριμένο τιμόνι έχει σχεδιαστεί για άμεσο έλεγχο του οχήματος, με πολύ μικρή περιστροφή των χεριών. Συγκεκριμένα ο οδηγός έχει δυνατότητα να



περιστρέψει το όχημα γύρω από τον εαυτό του μόνο με περιστροφή 90 μοιρών του

τιμονιού. Σε αυτό βέβαια συμβάλει και το ηλεκτρονικό σύστημα διαφορισμού, το οποίο μπορεί μέσω υπολογιστή να ρυθμίσει τις στροφές σε ένα τροχό, ανάλογα τις επιθυμητές μοίρες του τιμονιού.

Επιπλέον, όλα τα πανεπιστημιακά οχήματα στην Ελλάδα αυτή την στιγμή έχουν τις οθόνες και τους διακόπτες ελέγχου διάσπαρτους μέσα στον χώρο του οδηγού, γεγονός πολύ δεσμευτικό καθώς δεν μπορεί εύκολα να τροποποιηθεί το σασί για μετέπειτα χρήση. Επιπροσθέτως, σε επίπεδο μόνωσης και προστασίας από την υγρασία και της βροχής κατά την διάρκεια λειτουργίας το τιμόνι αποτελεί μια ιδανική λύση για αποφυγή βραχυκυκλωμάτων.

Αναλύοντας λοιπόν όλες τις πτυχές, τα θετικά και τα αρνητικά καταλήξαμε πως μια τέτοια περίπτωση κατασκευής τιμονιού πέραν από καινοτομία αποτελεί την βέλτιστη λύση καθώς:

- Υπάρχει δυνατότητα απεικόνισης πολλών πληροφοριών καταλαμβάνοντας τον ελάχιστο δυνατό χώρο μέσα στο χώρο οδήγησης.
- Δεν υπάρχει δέσμευση με κάποιο συγκεκριμένο όχημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μετέπειτα δράσεις.
- Μικρό βάρος.
- Προσφέρει πλήρη έλεγχο στο οδηγό χωρίς να χρειαστεί να σηκώσει τα χέρια από το τιμόνι και να αποσπάσει το βλέμμα από τον αγωνιστικό χώρο.
- Εύκολη Τοποθέτηση.
- Βελτιώνει την θέση οδήγησης του οδηγού και χωροταξικής σχεδίασης του μονοθέσιου.

Αντιθέτως τα αρνητικά υστερούν, ωστόσο αναφορικά είναι:

- Το σχετικά υψηλό κόστος μελέτης – κατασκευής.
- Δεν υπήρχε πλήρης τεχνογνωσία για την περάτωση του συγκεκριμένου εγχειρήματος.
- Δυσκολία στην σχεδίαση λόγω πολύπλευρων παραγόντων, (μικροελεγκτές, δημιουργία πλακέτας ελέγχου, δυσκολία στην κατασκευή).

Αναλυτικότερα:

Οι πληροφορίες οι οποίες θα ληφθούν από τους αισθητήρες, και θα απεικονίζονται στο τιμόνι και οι δυνατότητες που θα έχει ο οδηγός και όχι μόνο για την κατάσταση του οχήματος είναι οι εξής:

- Στιγμαία μεταφορική ταχύτητα οχήματος
- Έλεγχος διαφορισμού
- Επικοινωνία με τμήμα μηχανικών
- Θερμοκρασία ψυκτικού υγρού μπαταριών
- Θερμοκρασία κάθε μονάδας ισχύος ξεχωριστά
- Θερμοκρασία ελαστικών.
- Πίεση ελαστικών
- Στροφές κινητήρων
- Απεικόνιση και μέτρηση εγκάρσιων και πλευρικών επιταχύνσεων
- Επιλογή διαφορετικών λειτουργιών κινητήρα
- Επίβλεψη αυτονομίας και παρακολούθησης εκφόρτισης των μπαταριών
- Ενεργοποίηση /Απενεργοποίηση συστήματος Αντιμπλοκαρίσματος Τροχών
- Έλεγχος λειτουργίας αεροτομής με δυνατότητα επιλογής της κλίσης.
- Ρύθμιση ταχύτητας οχήματος
- Απεικόνιση ποσοστών και θέσης γκαζιού-φρένου
- Παρακολούθηση μετατόπισης αναρτήσεων

Όπως θα αναλυθεί και παρακάτω, όλες αυτές οι λειτουργίες επιτυγχάνονται με την συνεργασία αισθητήρων-ελεγκτών-συστήματος ελέγχου τιμονιού-ενεργητών.



Εικόνα 13: Τελική μορφή τιμονιού.

Σχεδίαση τιμονιού

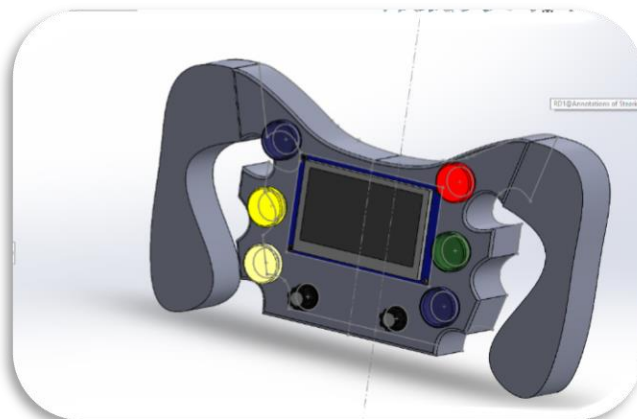
Μέχρι να βρεθεί το τελικό σχέδιο δημιουργήθηκαν πολλά σκαριφήματα και τρισδιάστατα σχέδια τα οποία μελετούνταν για την πρακτικότητα τους και την ευκολία στην χρήση τους. [2]



Εικόνα 14: Πρώτη έκδοση τιμονιού.

Μετά την δημιουργία του χώρου στον οποίο θα βρισκόταν ο οδηγός και μετρώντας την διαθέσιμη επιφάνεια -μέσω σχεδιαστικών προγραμμάτων- την οποία θα μπορούσαμε να εκμεταλλευτούμε για να τοποθετηθεί το τιμόνι, έγινε το πρώτο βήμα. Ξεκινώντας από ένα σκαρίφημα και στην συνέχεια δημιουργώντας το αρχείο στο σχεδιαστικό πρόγραμμα Solidworks ξεκίνησε ο σχεδιασμός του τιμονιού.

Για την βέλτιστη θέση των διακοπών καθώς η χρήση τους θα γινόταν κατά την διάρκεια του αγώνα, θα έπρεπε να ληφθεί υπ' όψη, ότι οι διακόπτες θα έπρεπε να βρίσκονται σε θέσεις του βεληνεκούς των δαχτύλων του οδηγού, (να μπορεί δηλαδή να τους χρησιμοποιήσει ενώ κρατάει το τιμόνι χωρίς να χρειαστεί να ανασηκώσει τα χέρια από την θέση οδήγησης. Για το λόγο αυτό δημιουργήθηκε μια μακέτα από πηλό, στην οποία τοποθετήθηκαν οι διακόπτες σε συγκεκριμένες θέσεις. [1]

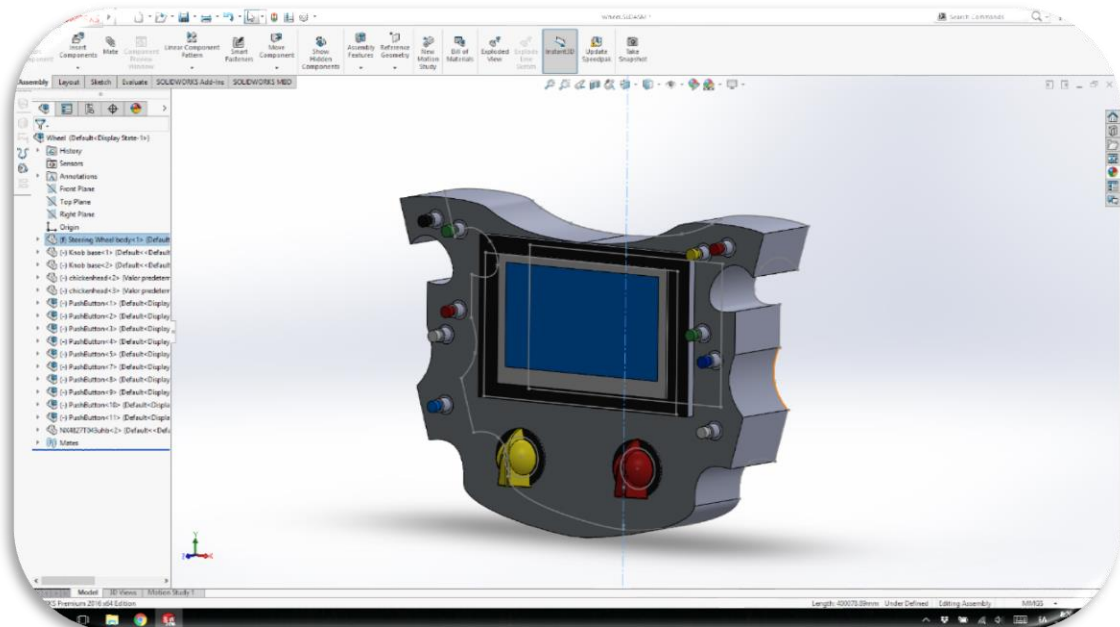


Εικόνα 15: Δεύτερη έκδοση τιμονιού.



Εικόνα 16: Ομοίωμα από πηλό.

Πρώτα δημιουργήθηκε το κεντρικό κομμάτι στο οποίο θα εδράζονταν όλα τα ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά στοιχεία.



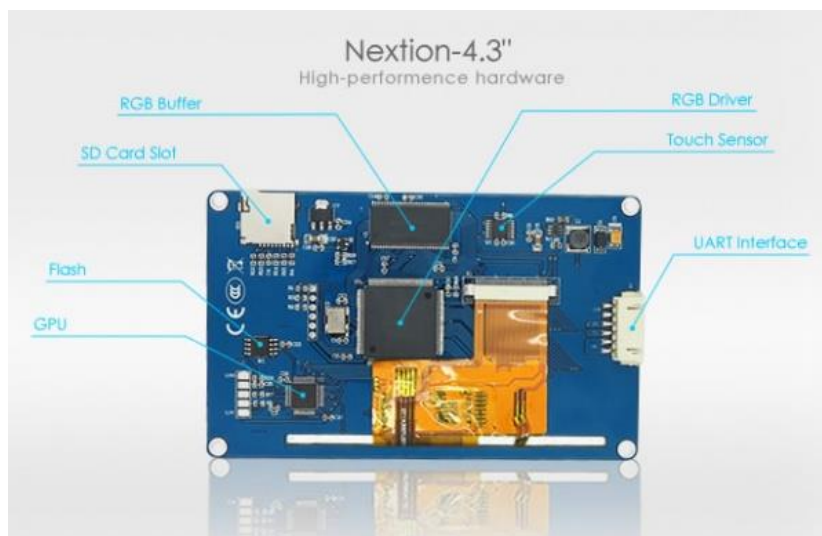
Εικόνα 17: Κεντρικό τμήμα τιμονιού.

Η οθόνη η οποία επιλέχτηκε να χρησιμοποιηθεί είναι το μοντέλο Nextion.



Εικόνα 18: Οθόνη

Το εγχείρημα της εταιρείας Nextion είναι να προσφέρει μια λύση δημιουργίας ενός ηλεκτρονικού περιβάλλοντος που παρέχει μια διασύνδεση ελέγχου και απεικόνισης μεταξύ ενός ανθρώπου και μιας διαδικασίας, μηχανής, εφαρμογής ή συσκευής. Είναι η καλύτερη λύση για την αντικατάσταση του παραδοσιακής LCD και LED οθόνης καθώς με το λογισμικό της εταιρείας οι χρήστες μπορούν να δημιουργήσουν και να σχεδιάσουν την δική τους γραφική απεικόνιση ανάλογα με τα δεδομένα που λαμβάνουν από τους αισθητήρες.



Εικόνα 19: Πίσω όψη οθόνης.

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Την τροφοδοσία της οθόνης όπως επίσης και την επεξεργασία και αποστολή των δεδομένων αναλαμβάνει να λύσει ένας μικροελεγκτής. Μικροελεγκτές μπορούν βρεθούν πολλοί στην αγορά, για κάθε χρήση. Στην αρχή χρησιμοποιήθηκε ένας μαθητικός μικροελεγκτής μικρού κόστους ο οποίος χρησιμοποιείται συνήθως για ακαδημαϊκούς και εκπαιδευτικούς σκοπούς. Ο λόγος γίνεται για τον Arduino Uno. Ένας μικρός σε επεξεργαστική δύναμη ελεγκτής, οποίος μας έδωσε την δυνατότητα να εξοικειωθούμε με την λήψη και κατασκευή του ηλεκτρονικών υποσυστημάτων και τον προγραμματισμό αυτών. Ωστόσο η μικρή επεξεργαστική του δύναμη δεν θα μας έδινε την δυνατότητα γρήγορης επεξεργασίας και προσαρμογής των δεδομένων, καθώς επίσης και σαν κατασκευή δεν είναι ιδιαίτερα στιβαρή.



Εικόνα 20 Μικροελεγκτής Arduino Uno

Μικροεπεξεργαστής	ATmega328P
Τάση Λειτουργίας	5V
Τάση Εισόδου (Προτεινόμενη)	7-12V
Τάση Εισόδου (όριο)	6-20V
Ψηφιακές είσοδοι I/O	14 (από τις οποίες οι 6 έχουν σήμα Παλμικής εξόδου)
Παλμικές Είσοδοι I/O Pins	6
Αναλογικές Είσοδοι	6
Ένταση Ρεύματος σε κάθε Πιν	20 mA
Ένταση Ρεύματος στα πιν με 3.3 V	50 mA
Μνήμη Χρήσης	32 KB (ATmega328P) από τα οποία τα 0.5 KB χρησιμοποιούνται για την εκκίνηση του συστήματος
Μνήμη RAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Χρονισμός	16 MHz
Εγκατεστημένα LED	13
Μήκος	68.6 mm
Πλάτος	53.4 mm
Βάρος	25 g

Η αμέσως επόμενη λύση, από οικονομικής άποψης ήταν ένας μικροελεγκτής της ίδιας εταιρείας, με μεγαλύτερη επεξεργαστική δύναμη.

Arduino Mega 2560

Εξοπλισμένο με 54 ψηφιακές εισόδους και εξόδους σημάτων, εκ των οποίων οι 15 μπορούν χρησιμοποιηθούν και σαν εξόδους παλμικού συστήματος, 16 αναλογικές εισόδους και 8KB επεξεργαστικής δύναμης.



Εικόνα 21 Μικροελεγκτής Arduino Mega

Μικροεπεξεργαστής	ATmega2560
Τάση Λειτουργίας	5V
Τάση Εισόδου (Προτεινόμενη)	7-12V
Τάση Εισόδου (όριο)	6-20V
Ψηφιακές είσοδοι I/O	54 (από τις οποίες οι 15 έχουν σήμα Παλμικής εξόδου)
Αναλογικές Είσοδοι	16
Ένταση Ρεύματος σε κάθε Πιν	20 mA
Ένταση Ρεύματος στα πιν με 3.3 V	50 mA
Μνήμη Χρήσης	265 KB (ATmega328P) από τα οποία τα 8 KB χρησιμοποιούνται για την εκκίνηση του συστήματος
Μνήμη RAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Χρονισμός	16 MHz
Εγκατεστημένα LED	13
Μήκος	101.52 mm
Πλάτος	53.3 mm
Βάρος	37 g

Η βέλτιστη επιλογή θα ήταν να χρησιμοποιηθούν πιο αξιόπιστοι ελεγκτές, οι οποίοι βέβαια κοστίζουν και περισσότερα χρήματα. Όπως είναι όμως αναμενόμενο, τα αποτελέσματα τα οποία παρουσιάζουν και η υποστήριξη τόσο από την εταιρεία όσο και από τεχνικό προσωπικό είναι αξιοσημείωτα. Κατασκευασμένοι από πολύ πιο ανθεκτικά υλικά, με αρκετά πιο ασφαλείς συνδέσεις, προσφέρουν στον χρήστη τόσο ευκολία στην κατασκευή όσο και φιλικότητα ως προς την χρήση.

ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΕΙΣ ΘΕΣΕΩΝ

Για την επιλογή των διάφορων λειτουργιών των κινητήρων, χρησιμοποιήθηκαν διακόπτες περιστροφικού τύπου:



Εικόνα 23



Εικόνα 22

Αντιθέτως για τις υπόλοιπες λειτουργίες χρησιμοποιήθηκαν :

Διακόπτες Θέσης



Εικόνα 25

Μπουτόν



Εικόνα 24

Όλα τα παραπάνω θα τοποθετηθούν στο εσωτερικό του τιμονιού το οποίο για λόγους ευκολίας θα είναι άδειο. Γνωρίζοντας πως στο εσωτερικό θα φιλοξενήσει ηλεκτρικά στοιχεία για τα οποία υπάρχει μεγάλη πιθανότητα βραχυκυκλώματος, το υλικό κατασκευής θα έπρεπε να μην είναι από αγώγιμο υλικό.

Οι διαθέσιμες επιλογές για την κατεργασία και την κατασκευή του τιμονιού ήταν δύο:

- Εκτύπωση σε τρισδιάστατο εκτυπωτή κατασκευασμένο από πλαστικό, υλικό μη αγώγιμο, με μικρή κατασκευαστική απόκλιση και μεγάλη διαστασιακή ακρίβεια. Αρκετά ελαφρύ σαν κατασκευή ωστόσο το κόστος κατασκευής αρκετά υψηλό.
- Κατασκευή μέσα στο εργαστήριο από φύλλα ανθρακονήματος και κέβλαρ. Δεδομένου ότι το ανθρακόνημα είναι αγώγιμο υλικό, το εσωτερικό του τιμονιού θα επενδυθεί με φύλλο κέβλαρ, το οποίο είναι μη αγώγιμο. Το υπόλοιπο κομμάτι θα κατασκευαστεί από ανθρακόνημα. Εφόσον θα κατασκευαστεί στο εργαστήριο, το κόστος του θα είναι αρκετά μικρό. Το μεγαλύτερο ζήτημα είναι η τεχνογνωσία στην δημιουργία καλουπιών και η κατεργασία προς την τελική μορφή. [7]

Επιγραμματικά, τα βήματα για μια τέτοια κατασκευή, θα ήταν:

- Κατασκευή ομοιώματος τιμονιού με όσον το δυνατόν μεγαλύτερη διαστασιακή ακρίβεια (πιθανότατα από κάποιο μαλακό υλικό).
- Δημιουργία αρνητικού καλουπιού από λάστιχο του πίσω και μπροστά μέρους του τιμονιού
- Επένδυση από φύλλα ανθρακονήματος στο εξωτερικό και κέβλαρ στο εσωτερικό
- Εμποτισμός με ρητίνη
- Τοποθέτηση σε θάλαμο υποπίεσης.
- Τοποθέτηση γρήγορου κουμπώματος.
- Κατεργασία και φινίρισμα.
- Τοποθέτηση ηλεκτρικών στοιχείων-οθόνης-πλακέτας.
- Ένωση επιμέρους τμημάτων.



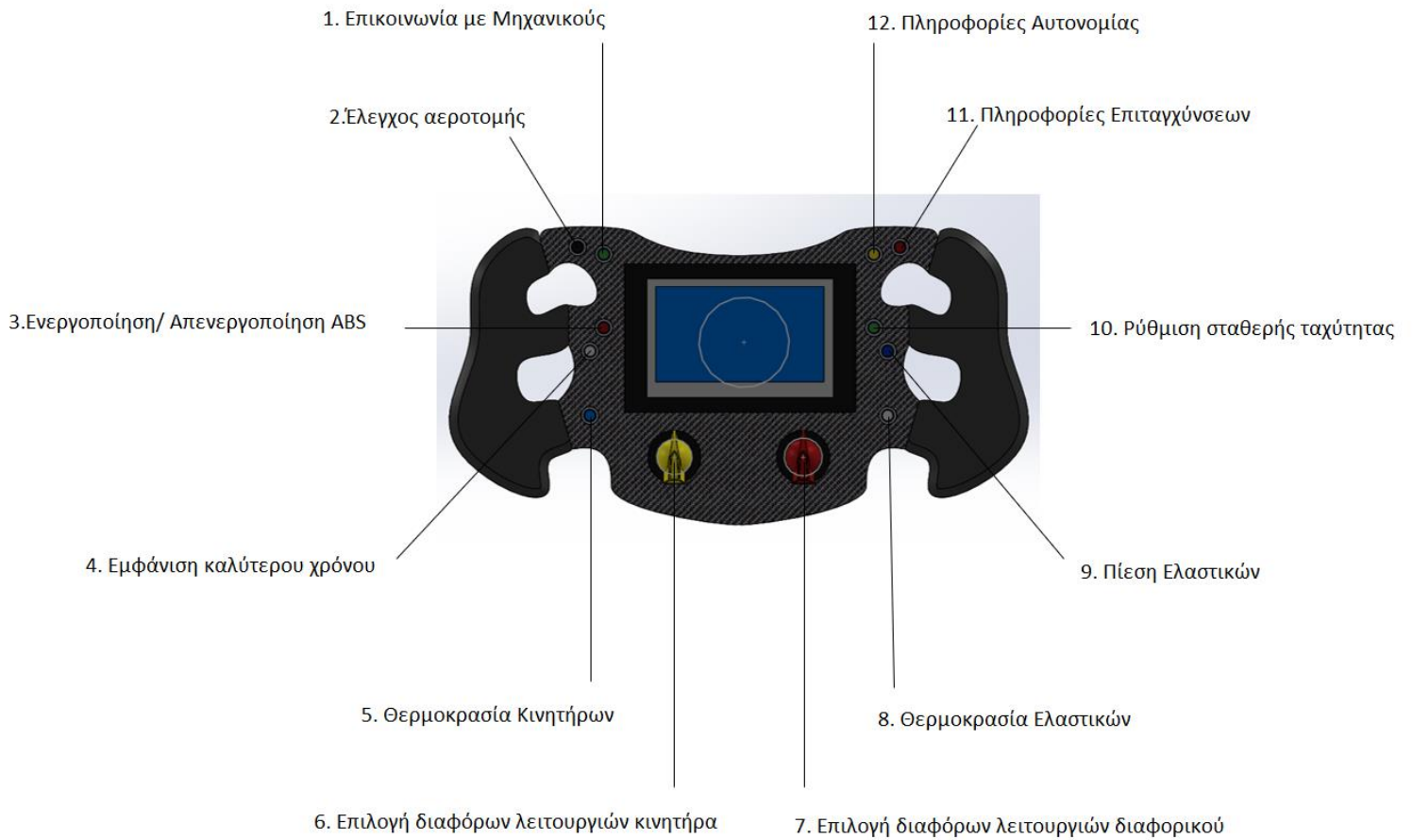
Εικόνα 26



Εικόνα 27

Για τον πλήρη έλεγχο του οχήματος χρειάζεται μια πληθώρα αισθητήρων. Τόσο για την ρύθμιση και το στήσιμο του οχήματος από τους μηχανικούς, όσο και κατά την διάρκεια των δυναμικών δοκιμασιών από τον οδηγό. Οι πληροφορίες δεν είναι μονο χρήσιμες από πλευράς επιδοσεων, αλλά και από πλευράς προστασίας του οχήματος και κατ'επέκταση του οδηγου. Μέσω μια σειράς αισθητήρων οι οποίοι λειτουργούν μεταξύ τους προγραμματισμένα και σε συνεργασία επιτυγχάνεται ένας κύκλος λειτουργίας και ελέγχου του οχήματος. [9]

ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΡΥΘΜΙΣΕΩΝ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ



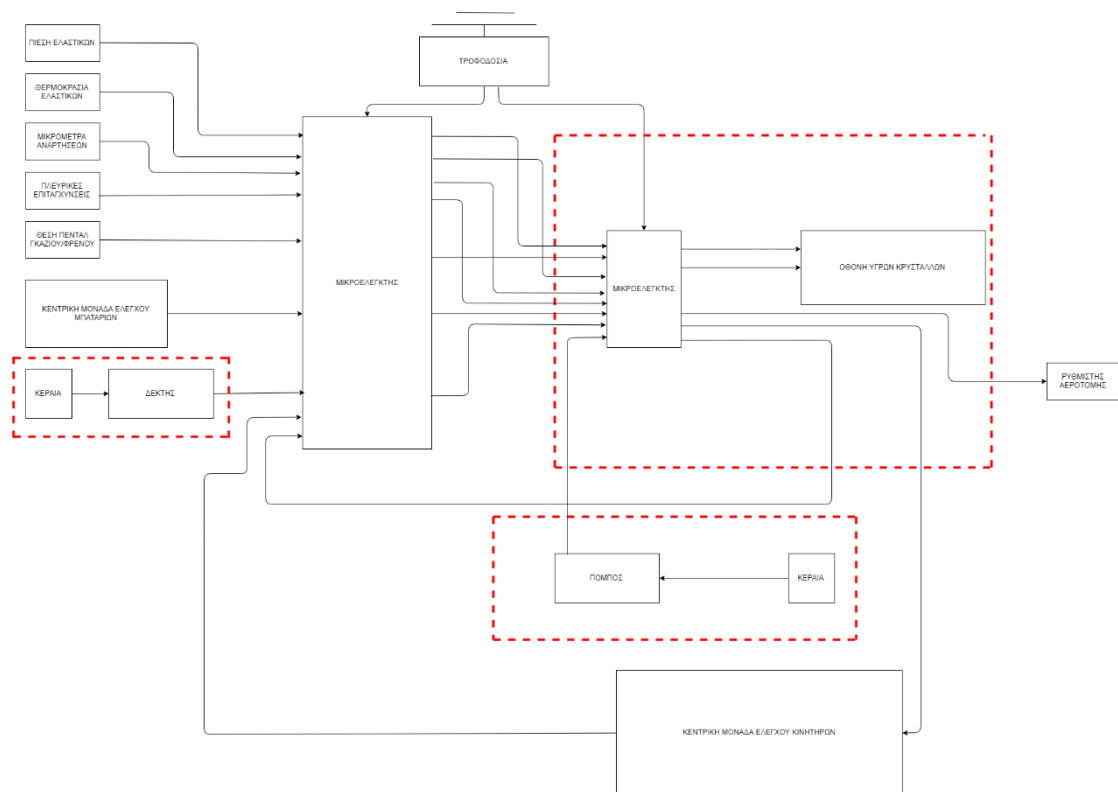
4.3 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΧΑΜΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ

4.3.1 ΤΗΛΕΜΕΤΡΙΑ

1. Επικοινωνία με τους μηχανικούς. Για πλήρη επικοινωνία και γεφύρωση του χάσματος μεταξύ μηχανικών-οδηγού-οχήματος, είναι αναγκαίο να χρησιμοποιηθεί μια διάταξη κατά την οποία όλα τα δεδομένα τα οποία απεικονίζονται στην οθόνη του οδηγού πρέπει να αποστέλλονται με κάποιον τρόπο σε πραγματικό χρόνο στην ομάδα των μηχανικών. [5]

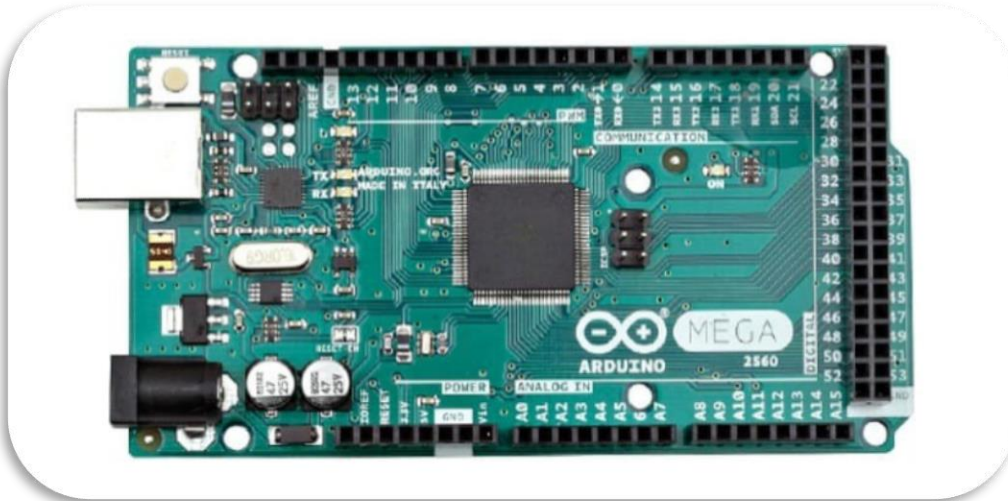
Οι πιθανές λύσεις ήταν δύο:

- Η πρώτη ήταν να χρησιμοποιηθεί μια διάταξη πομπών και δεκτών οι οποίοι θα επικοινωνούν μέσω ραδιοσυχνότητας.
- Η δεύτερη ήταν να χρησιμοποιηθεί διάταξη με σήμα WiFi ωστόσο τόσο το κόστος της, το περιορισμένο εύρος και η έλλειψη γνώσεων για ένα τέτοιο εγχείρημα μας ώθησε στην επιλογή του πρώτου.



Εικόνα 28: Διάγραμμα εγκεφάλου

4.3.2 ΤΜΗΜΑΤΑ ΤΗΛΕΜΑΤΙΚΗΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ

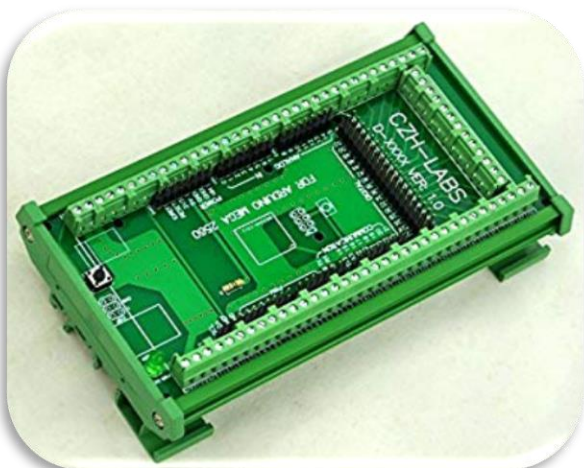


Εικόνα 29 Arduino Mega 2560

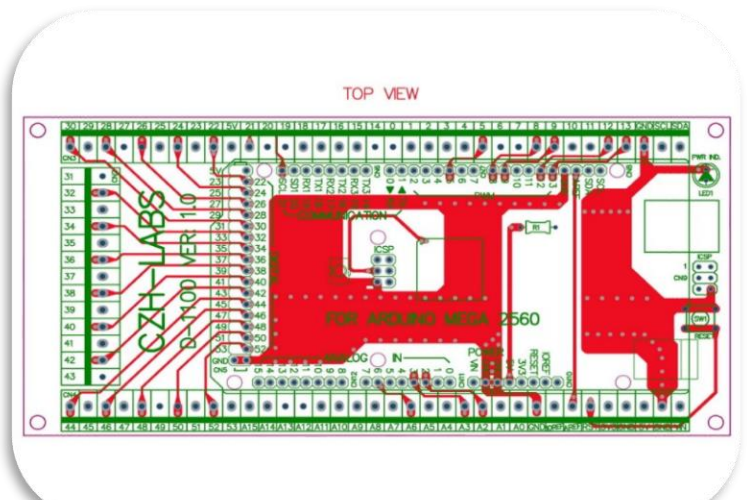
- Μικροελεγκτής τύπου Arduinio Mega 2560

Οπλισμένο με 54 ψηφιακές εισόδους και εξόδους σημάτων, εκ των οποίων οι 15 μπορούν χρησιμοποιηθούν και σαν εξόδους παλμικού συστήματος, 16 αναλογικές εισόδους και 8KB επεξεργαστικής δύναμης. [6]

- Τερματικός προσαρμογέας της εταιρείας Electronics- Saloon.



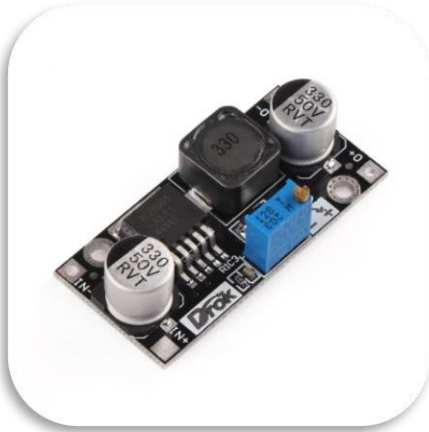
Εικόνα 31



Εικόνα 30

Η παραπάνω διάταξη, χρησιμοποιείται από μηχανικούς, ως προέκταση της βασικής πλακέτας με σκοπό την χρήση σε βιομηχανικές περιπτώσεις.

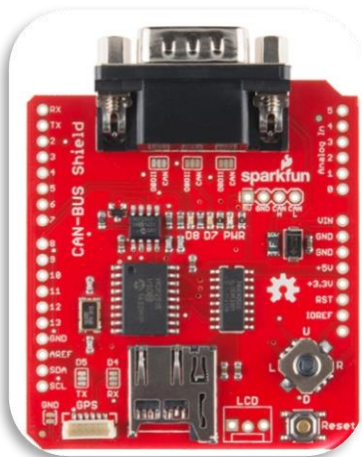
Μετατροπέας και ρυθμιστής 5V



Εικόνα 32

Ο σκοπός της παραπάνω διάταξης είναι να διατηρεί σταθερή την τάση εξόδου στα 5V. Με τάση λειτουργίας από 5V μέχρι 32V συνεχούς ρεύματος και ακρίβεια 2 δεκαδικών ψηφίων προσφέρει σταθερότητα στην τάση με απώλεια 0.1 V.

Ασπίδα διαύλου CAN-BUS



Εικόνα 33

Με τον διάυλο επικοινωνίας CAN-BUS επιτυγχάνεται η σάρωση των πληροφοριών από την κεντρική μονάδα ελέγχου των μονάδων ισχύος καθώς και ο έλεγχος όλων των υποσυστημάτων. Χάριν στην τεράστια ταχύτητα διαβάσματος δεδομένων μέχρι 1

Mbps, και την λειτουργία κάρτας SD, μπορούν όλα τα δεδομένα να αποθηκεύονται και να αναλύονται αργότερα από το τμήμα των μηχανικών.

Διάταξη επικοινωνίας R/F



Εικόνα 34

Η ανάγκη να δημιουργηθεί μια διεπαφή μεταξύ ραδιοεπικοινωνίας και USB χρησιμοποιήθηκε μια ασπίδα, η οποία συλλέγει αποστέλλει και δέχεται όλα τα δεδομένα από την κεντρική πλακέτα.



Εικόνα 35

Το στοιχείο Xbee-Pro 900 HP RF επιτρέπει την ασύρματη συνδεσιμότητα με συσκευές. Συνδεδεμένο με την ασπίδα UartSBee v4.0, η μονάδα ραδιοσυχνότητας θα λαμβάνει και θα μεταδίδει δεδομένα από το Arduino Mega 2560. Τα δεδομένα θα



αποθηκεύονται στην κάρτα SD της θύρας καταγραφής δεδομένων και ταυτόχρονα θα μεταδίδονται στο λογισμικό LabView που εκτελείται στον υπολογιστή των μηχανικών, το οποίο προσομοιώνει έναν εικονικό πίνακα οργάνων για την εμφάνιση τύπων δεδομένων.

Η θωράκιση έχει σειριακή διεπαφή συμβατή με USB 2.0. Έχει 3,3V και 5V / έξοδοι και 3,3V και 5V διπλές εξόδους ισχύος. Η τυπική και μέγιστη τάση εισόδου είναι 5Vdc και έχει κατανάλωση ρεύματος 500 mA. Η ελάχιστη τάση εξόδου είναι 3.3 Vdc, ενώ η μέγιστη τάση εξόδου είναι 5 Vdc

Πλατφόρμα	XBee-PRO® 900
Απόδοση	
Ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων	156 Kbps
Εσωτερική εμβέλεια	450 ft (140 m)
Εξωτερική εμβέλεια	μέχρι (3 km)
Εξωτερική εμβέλεια με χρήση κεραιάς	Μεχρι(10 km)
Ισχύς μετάδοσης	50 mW (+17 dBm)
Ευαισθησία δέκτη	-100 dBm
Χαρακτηριστικά	
Πρωτοκολλο δεδομένων	3.3V CMOS
Μέθοδος διαμόρφωσης	API η AT
Συχνότητα	900MHz ISM
Προστασία απο παρεμβολές	FHSS
Μεγιστη ταχύτητα	Μεχρι 230 Kbps
ADC Είσοδοι	Σε επόμενες εκδόσεις λογισμικού
Ψηφιακά I/O	Σε επόμενες εκδόσεις λογισμικού
Επιλογές κεραιάς	Καλωδιακή
Networking & Security	
Κρυπτογράφηση	128-bit AES
Reliable Packet Delivery	Retries/Acknowledgments
Addressing Options	PAN ID, channel, 64-bit address
Κανάλια	8 hopping patterns on 12 channels or single channel
Power Requirements	
Τάσης τροφοδοσίας	3.0 – 3.6 VDC
Ένταση αναμετάδοσης	210 mA
Ένταση δέκτη	80 mA
Ένταση απενεργοποίησης	60 uA @ 3.3V
Εγκεκριμένο	
(USA)	Ναι
(Canada)	Ναι
(Australia)	Όχι



Εικόνα 36: Κεραία μετάδοσης

Κεραία μετάδοσης

Η κεραία είναι τοποθετημένη στο όχημα και χειρίζεται τη μετάδοση της προσαρμοσμένης συμβολοσειράς bit από τον αρχικό επεξεργαστή (Arduino Mega). Με μέγεθος 7 ίντσες, λειτουργεί σε ένα εύρος συχνότητας (300MHz ~ 1GHz).

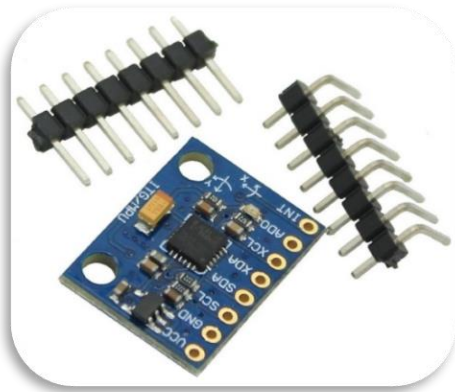


Εικόνα 37 :Κεραία – Δέκτης.

Κεραία - Δέκτης

Η παραπάνω κεραία λαμβάνει την προσαρμοσμένη συμβολοσειρά δυαδικών ψηφίων και προσαρμόζεται στον υπολογιστή των μηχανικών. Με μέγεθος 6 ίντσες λειτουργεί σε μια ομάδα εξαιρετικά υψηλής συχνότητας (300 MHz ~ 1 GHz).

4.3.3 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ



Εικόνα 38: Αισθητήρας Επιτάχυνσης

ΕΠΙΤΑΓΧΥΝΣΗΣ

Για την μέτρηση των πλευρικών και των κάθετων επιταχύνσεων, χρησιμοποιούνται 6 επιταχυνσιόμετρα συνολικά (4 στους τροχούς και 2 κατά μήκος του οχήματος. Το επιταχυνσιόμετρο μας επιτρέπει να μετρήσουμε την επιτάχυνση ενός σώματος και να έχουμε τη γραφική απεικόνιση του χρόνου ή τις τιμές που μας δίνουν οι άλλοι αισθητήρες που χρησιμοποιούμε. Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες επιτάχυνσης λειτουργούν σε τριπλό άξονα. Έχει τάση τροφοδοσίας από 1,95 V έως 3,6 V. Η τάση διασύνδεσής του είναι 1,6 V έως 3,6 V. Η κατανάλωση ρεύματος είναι 6mA έως 165μΑ. Το επιταχυνσιόμετρο διαθέτει μια διεπαφή ψηφιακής εξόδου I²C, η οποία λειτουργεί 2.25MHz με 4,7kΩ.

Αισθητήρας Θέσης πεντάλ



Το συγκεκριμένο ποτενσιόμετρο μετράει τη μετατόπιση του γκαζιού και του φρένου. Και απεικονίζει στην οθόνη τα ποσοστά πίεσης των δύο πεντάλ.

Εικόνα 39: Αισθητήρας Θέσης πεντάλ.

Χαρακτηριστικά

- Ακρίβεια: $\pm 0.5 \%$
- Εύκολη τοποθέτηση
- Τεχνολογία Μέτρησης: Εφε Χωλ
- Μοντέλο ενδεδειγμένο για έντονη και επίπονη χρήση

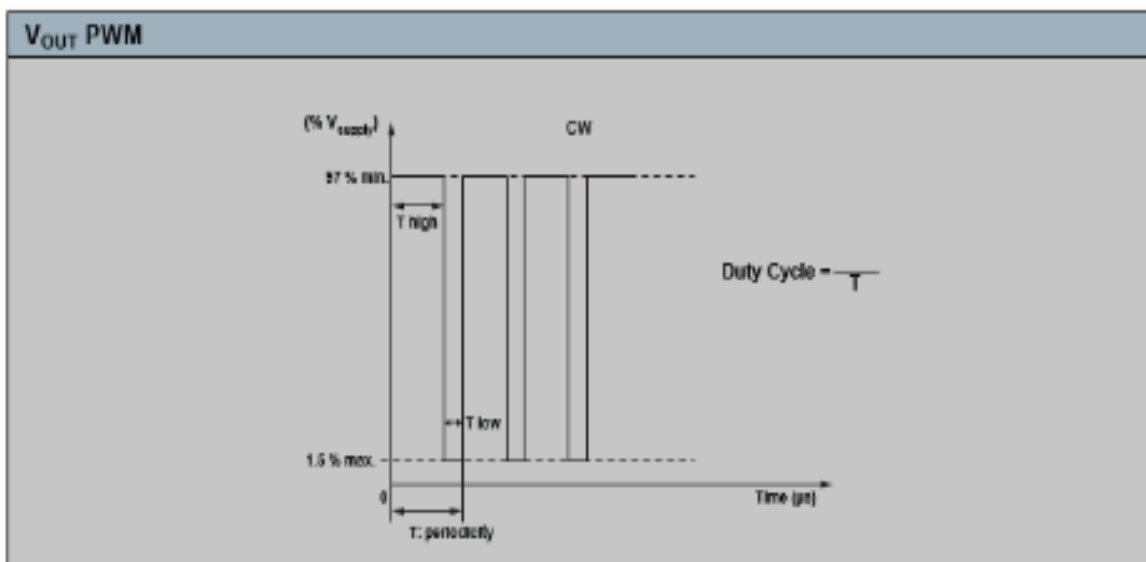
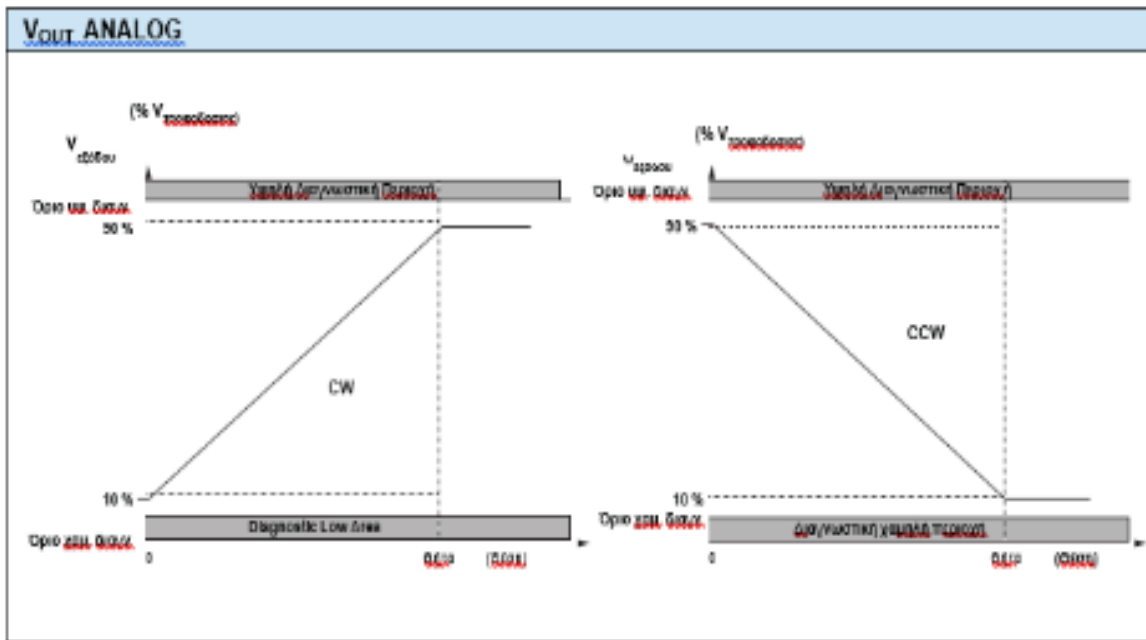


RoHS
COMPLIANT

Σύντομα Τεχνικά Χαρακτηριστικά	
Τύπος Αισθητήρα	Περιστροφικός, μονής περιστροφής
Τύπος εξόδου	Καλώδια
Χρήση	Βιομηχανική
Διαστάσεις	47 mm x 22 mm

Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά		
Παράμετροι	Βασική Χρήση	Εξειδικευμένη Χρήση
Ηλεκτρική Γωνία	90°, 120°, 180°, 270°, 360°	Οποιαδήποτε επιθυμητή γωνία
Ακρίβεια	$\pm 1 \%$	$\pm 0.5 \%$
Τάση Τροφοδοσίας	5 V _{DC} $\pm 10 \%$	Οποιαδήποτε επιθυμητή επιλογή
Ενταση Τροφοδοσίας	10 mA typical / 16 mA max.	16 mA για Παλμική χρήση
Σήμα Εισόδου	Αναλογικό 10 % to 90 % of V _{supply} ή Παλμικό σήμα 1 kHz, 10 % to 90 % κύκλου χρήσης	Οποιαδήποτε επιθυμητή επιλογή
Προστασία υπέρτασης		+20 V _{DC}
Προστασία ρεύματος επιστροφής		-10 V _{DC}
Προτεινόμενη αντίσταση		Min. 1 kΩ για αναλογική έξοδο
Γωνία υστέρησης		< 0.3°

Μηχανικά Χαρακτηριστικά	
Παράμετροι	
Μηχανική περιστροφή	360° συνεχής, ακινετοποιείται από τον χρήστη: 124° $\pm 3^\circ$
Τύπος ρουλεμάν	Ρουλεμάν τύπου sleeve
Τυποποίηση	IP 50
B	19 g ± 2 g μοντέλο κοίλου άξονα/22 g ± 2 g μοντέλο άξονα τύπου D



Συνδέσεις καλωδίων.



Εικόνα 40

Οι παραπάνω ακροδέκτες τριών επαφών θηλυκών συνδέσεων χρησιμεύουν ως συνδέσεις για τους αισθητήρες στον μικροελεγκτή του συστήματος τηλεμετρίας. Το προϊόν έχει μήκος 7 ίντσες, πλάτος 5 ίντσες και ύψος 1 ίντσας. Έχει ένα μαύρο πλαστικό κάλυμμα PVC για μόνωση. Η ονομαστική τάση του είναι μέχρι 220V, ενώ το ονομαστικό ρεύμα είναι 10Amps. Όπως επίσης και το πρωτόκολλο στεγανοποίησης είναι IP65.

Αισθητήρας Μέτρησης Μετατόπισης Αναρτήσεων.



Εικόνα 41

Το γραμμικό ποτενσιόμετρο 75 mm ανιχνεύει τη γραμμική μετατόπιση μεταξύ δύο σημείων όταν συνδέεται απευθείας στα σημεία μέτρησης. Αυτά τα γραμμικά ποτενσιόμετρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση της συμπίεσης ή της επέκτασης και της περιστροφής του συστήματος διεύθυνσης, η οποία μετράται με μετατόπιση του οδοντωτού τροχού. Το στοιχείο λειτουργεί καλύτερα σε

θερμοκρασίες από -40 μοίρες έως 125 μοίρες. Έχει μηχανική διάρκεια ζωής μεγαλύτερη των 25 εκατομμυρίων κύκλων και λειτουργεί με μέγιστη ταχύτητα 10 m / s. Η μέγιστη τάση τροφοδοσίας είναι 40 Vdc. Η ανάλυση του εξαρτήματος είναι ουσιαστικά άπειρη.

Μέγιστη Τάση Τροφοδοσίας:	40 Vdc
Ανάλυση:	Άπειρη
Επαναλαψιμότητα:	≤ 0.01 mm
Ταχύτητα Λειτουργίας:	10 m/s μέγιστο
Μηχανική Διάρκεια Ζωής:	>25 εκατομμύρια κύκλους
Ευρος Θερμοκρασίας:	Απο -40° εως +125°
Τυποποίηση σταγνότητας:	IP65
Αυτόνομη Γραμμικότητα:	≤±0.5%
Τύπος καλωδίου Σύνδεσης:	Raychem 55A 24 AWG
Μήκος Καλωδίου:	450 mm
Περίβλημα:	Αλουμίνιο
Σφαιρικό ρουλεμάν:	∅5 mm

ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΠΙΕΣΗΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΕΛΑΣΤΙΚΩΝ.



Εικόνα 42: Αισθητήρες κατάστασης ελαστικών.

Το Ασύρματο Σύστημα Μέτρησης Πίεσης Ελαστικών TPMS παρακολουθεί σε πραγματικό χρόνο την Πίεση και τη Θερμοκρασία των ελαστικών. Η μέτρηση της πίεσης των ελαστικών γίνεται με χρήση ασύρματου πομπού ραδιοσυχνότητας (RF)



ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΜΟΝΑΔΩΝ ΙΣΧΥΟΣ

Πληροφορίες Μονάδων Ισχύος

Όλες οι πληροφορίες οι οποίες σχετίζονται με τις μονάδες ισχύος, όπως:

- Θερμοκρασίες κινητήρων
- Επιλογές διαφόρων λειτουργιών κινητήρων
- Επιλογές διαφορισμού
- Στροφές κινητήρων
- Ταχύτητα οχήματος
- Τάσεις Ηλεκτρικού Συστήματος
- Εντάσεις Ηλεκτρικών Συστημάτων

Δίνονται μέσα από την Ηλεκτρονική Μονάδα Ελέγχου των κινητήρων, για αυτό τον λόγο δεν χρειάζεται κανένας εξωτερικός αισθητήρας.

ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ

Πληροφορίες όπως:

- Τάσεις μπαταρίας
- Αυτονομία
- Θερμοκρασίες μπαταριών
- Ένταση μπαταριών

4.4 ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΡΤΗΣΗΣ

4.4.1 ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΣΥΓΚΡΑΤΗΣΗΣ ΤΡΟΧΟΥ

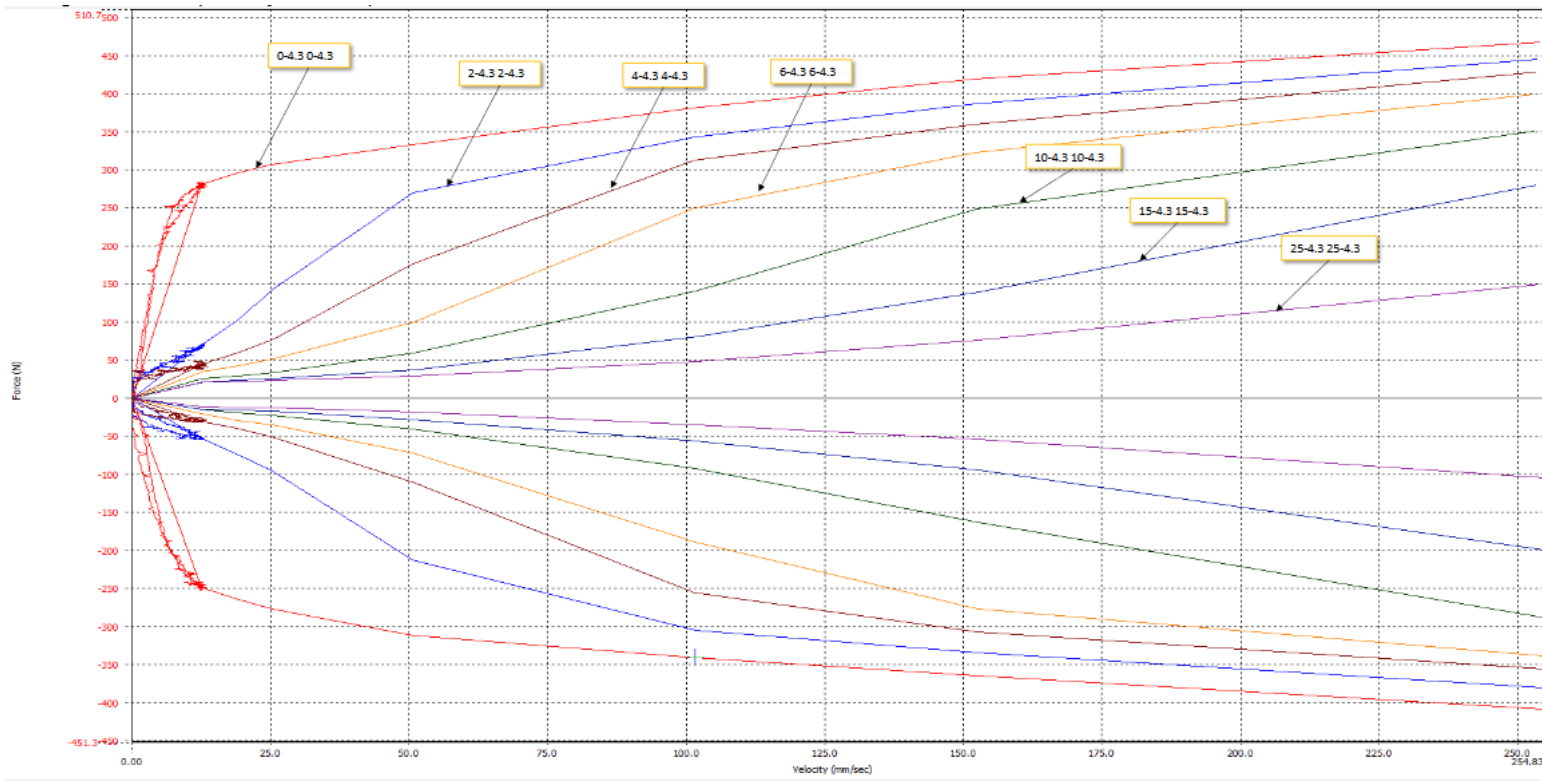
Ως σύστημα συγκράτησης τροχού επιλέχθηκε ο άνισος διπλός βραχίονας. Οι διπλοί βραχίονες γενικότερα (double wishbone ή A-arm) είναι το δημοφιλέστερο σύστημα ανάρτησης στο διαγωνισμό formula student. Οι κύριοι λόγοι για τη δημοτικότητά του είναι ότι αυτός ο τύπος συστήματος ανάρτησης είναι εύκολο να κατασκευαστεί και να σχεδιάσει ενώ παράλληλα προσφέρει εξαιρετική απόδοση. Υπάρχουν δύο τύποι τέτοιων συστημάτων, αυτό των ίσων και αυτό των άνισων σε μήκος βραχιόνων. Έχοντας το ίδιο μήκος βραχίονα η γωνία camber αλλάζει κατά τη διάρκεια της κίνησης της ανάρτησης και δεν είναι ιδανικό για στροφές, καθώς ο τροχός αποκτά θετική γωνία camber. Έχοντας άνισους βραχίονες όπου ο επάνω βραχίονας είναι συνήθως μικρότερος σε μήκος από τον κάτω η γωνία camber μεταβάλλεται κατά την κίνηση της ανάρτησης ενώ η ανάρτηση αποκτά αρνητική γωνία camber. Αυτό βελτιώνει το χειρισμό κατά τη στροφή, ειδικά στα μπροστινά ελαστικά. Λόγο του σχεδιασμού του πλαισίου των μονοθέσιων formula student, όπου είναι φαρδύτερο προς τα επάνω, το άνισο μήκος του διπλού βραχίονα ταιριάζει σε αυτά τα οχήματα πολύ καλά και σαν γεωμετρία. Ένα σύστημα διπλού βραχίονα σχεδιάζεται συνδέοντας τους ορθοστάτες με το πλαίσιο του αυτοκινήτου με ένα ζεύγος ζεύξεων που μοιάζουν με το γράμμα A. Στο σημείο τοποθέτησης στο πλαίσιο, οι βραχίονες συνδέονται με το πλαίσιο με άκρα ράβδων με σπείρωμα που επιτρέπουν τη ρύθμιση των βραχιόνων. Οι βραχίονες έχουν σχεδιαστεί όσο το δυνατόν ελαφρύτεροι, διατηρώντας ταυτόχρονα το κόστος όσο το δυνατόν χαμηλότερο, χρησιμοποιώντας κανονικούς αγωγούς S23516x2.0 mm χάλυβα και λαμαρίνα για διάφορα τμήματα και ενώσεις.

4.4.2 ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΑΣ ΚΑΙ ΕΛΑΤΗΡΙΟ

Το ελατήριο και το αποσβεστήρα όπως αναφέρθηκε προηγουμένως θα τοποθετηθούν στο πλαίσιο και θα συνδεθούν με τον τροχό μέσω του στρόφαλου (bell crank) και του ωστήρα. Αυτή η διαμόρφωση μειώνει την μη εξαρτημένη μάζα και βελτιώνει την απόκριση του συστήματος ανάρτησης. Το σύστημα ανάρτησης χρησιμοποιεί ελικοειδή ελατήρια όπου είναι τοποθετημένα στο εξωτερικό του αποσβεστήρα με ρυθμιζόμενη προ φόρτιση στο ελατήριο για ρύθμιση του ύψους οδήγησης του αυτοκινήτου.

Για την επιλογή ενός συστήματος ανάρτησης και κάνοντας αναζήτηση για προσφερόμενα συστήματα βρεθήκαμε εμπρός σε αρκετές επιλογές. Οι επιλογές αυτές προορίζονται αποκλειστικά για τοποθέτηση και χρήση σε οχήματα τύπου Formula Student. Μερικές από τις επιλογές είναι η TTX25 MkII της Öhlins, η MDS 860 της Bilstein και άλλα μοντέλα εταιριών γνωστών στο χώρο της ανάρτησης όπως η Konig, η Sachs ή συνδυασμός μερών από διάφορες κατασκευάστριες εταιρίες. Λόγω του ότι δεν υπάρχει στη διάθεση μας ο αναγκαίος πειραματικός εξοπλισμός για την μελέτη και τροποποίηση ενός συστήματος ανάρτησης, ο οποίος θα μας βοηθήσει να λάβουμε κάποια αποτελέσματα αναγκαία για την σωστή οδική συμπεριφορά του οχήματος, καταφύγαμε σε έτοιμα πακέτα συστήματος ανάρτησης τα οποία συνοδεύονται από μια πληθώρα δεδομένων και στοιχείων για τη συμπεριφορά του. Τα στοιχεία αυτά προκύπτουν κατόπιν εκτεταμένης έρευνας και πολλών δοκιμών κάτω από διάφορες συνθήκες. Έχοντας με τη σειρά μας αυτά τα δεδομένα μπορούμε να επιλέξουμε την καταλληλότερη των επιλογών. Τα δεδομένα αυτά γνωστοποιούνται σε όλους τους πιθανούς αγοραστές κατόπιν επικοινωνίας με την εκάστοτε εταιρία. Τα δεδομένα αυτά μπορεί να είναι είτε κάποια αριθμητική τιμή είτε κάποιο διάγραμμα από το οποίο θα πρέπει να αντλήσουμε κάποιες πληροφορίες και να τις συγκρίνουμε με αυτές άλλων διαγραμμάτων που συνοδεύουν κάποιο άλλο πακέτο ανάρτησης. Στη συνέχεια (εικόνα 43) παρουσιάζεται ενδεικτικά ένα από τα διαγράμματα συμπεριφοράς της ανάρτησης που επιλέχθηκε, διάγραμμα το οποίο μας παρέχει η κατασκευάστρια εταιρία.





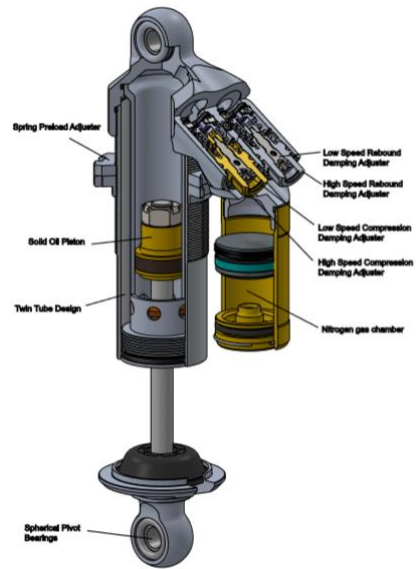
Εικόνα 43: Διάγραμμα δύναμης (N) – ταχύτητας (mm/sec) ανάρτησης Öhlins TTX25 MkII

Το παραπάνω ενδεικτικό διάγραμμα της εταιρείας πρόκειται για μια χαμηλή ταχύτητα ταλάντωσης της ανάρτησης. Αντίστοιχα διαγράμματα υπάρχουν για διάφορες ταχύτητες και φορτία. Ενώ μεγαλώνει η ταχύτητα ταλάντωσης υπάρχει και μεγαλύτερη συχνότητα. Στο διάγραμμα βλέπουμε τη λειτουργία των βαλβίδων του αποσβεστήρα σε συνδυασμό με το ελατήριο το οποίο συνοδεύει το εργοστασιακό πακέτο. Η συμπεριφορά των βαλβίδων παρουσιάζεται μεταβάλλοντας τις τιμές της ταχύτητας (Velocity) και της δύναμης (Force). Εξετάζοντας από τα αριστερά προς τα δεξιά το διάγραμμα παρατηρούμε αύξηση ταχύτητας και δυνάμεων. Με την αύξηση αυτή των τιμών υπάρχει και αύξηση λειτουργίας των βαλβίδων [18].

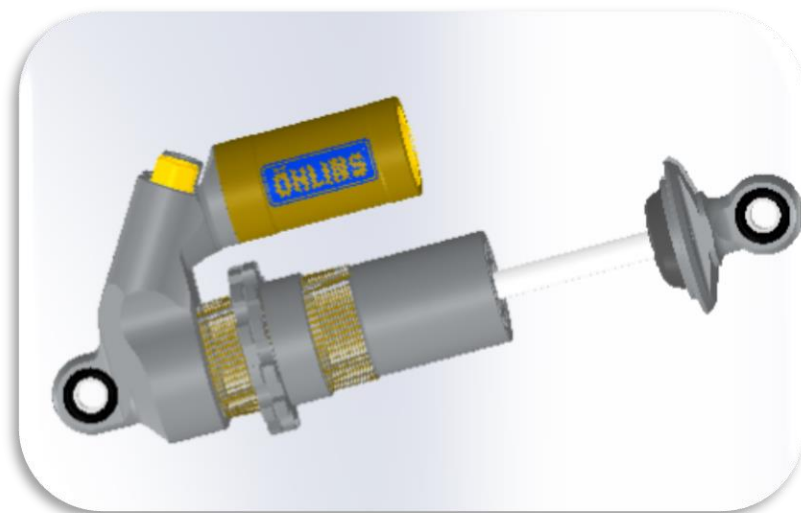
Οι αποσβεστήρες που επιλέγονται κατά το σχεδιασμό του συστήματος ανάρτησης είναι οι **Öhlins TTX 25 MkII** μήκους 200 mm με διαδρομή 57 mm. Το βάρος από τους αποσβεστήρες χωρίς το ελατήριο είναι μόνο 394 g. Οι αποσβεστήρες είναι διπλού σωλήνα με ρυθμιζόμενη προ φόρτιση και συμπίεση υψηλής και χαμηλής ταχύτητας, αυτές οι ρυθμίσεις είναι απαραίτητες για την ορθή ρύθμιση της ανάρτησης και αυτό γιατί οι ρυθμίσεις διαφέρουν τόσο μεταξύ των δοκιμασιών όσο και μεταξύ των διαφορετικών χώρων διεξαγωγής των αγώνων. Σε αποσβεστήρες διπλού σωλήνα, υπάρχουν δύο θάλαμοι γεμάτοι με λάδι όπου όταν ο αποσβεστήρας κινείται το έμβολο μετακινεί το λάδι μέσω των βαλβίδων μεταξύ των σωλήνων. Οι βαλβίδες αυτές ελέγχουν τη ροή του λαδιού μέσω μιας οπής (στόμιο) στην έδρα της βαλβίδας περιορίζοντας τη ροή του λαδιού και παρέχοντας έτσι ελεγχόμενη ροή. Οι Öhlins TTX MkII διαθέτουν επίσης θάλαμο αερίου που πιέζει το λάδι στο εσωτερικό του αποσβεστήρα με ένα έμβολο το οποίο διαχωρίζει το αέριο από το λάδι. Με το λάδι στο εσωτερικό του αποσβεστήρα υπό πίεση, βελτιώνεται η απόδοση του αποσβεστήρα και εμποδίζεται η δημιουργία φυσαλίδων αέρα στο λάδι που προκαλούν την κακή κυκλοφορία λαδιού εντός των οπών. Ακολουθούν στη συνέχεια οι εικόνες 44 έως 47 του συστήματος απόσβεσης όπου επιλέχθηκε. Η εταιρία προσφέρει γι' αυτό τον αποσβεστήρα αρκετές επιλογές ελατηρίου πέρα από τα 200mm. Η επιλογή αυτή έγινε με βάση το επιθυμητό ύψος που θέλουμε να έχει το όχημα και τις αεροδυναμικές ιδιότητες που θα αναφερθούν στο κεφάλαιο 4.5. Πρέπει να αναφερθεί ότι πληροφορίες, σχεδιαγράμματα και 3d σχέδια παρέχονται ελεύθερα από την εταιρία.



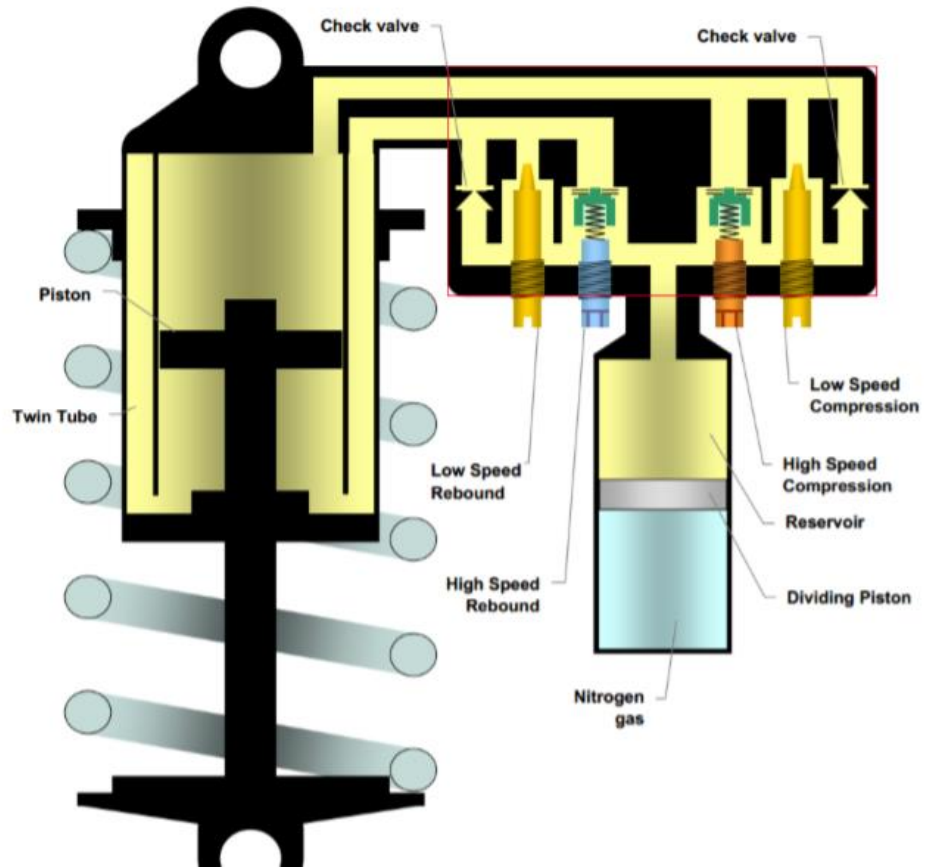
Εικόνα 44: Αποσβεστήρας Öhlins TTX [18]



Εικόνα 45: Τομή του αποσβεστήρα [18].



Εικόνα 46: Τρισδιάστατη απεικόνιση μέσα από το πρόγραμμα SolidWorks.



Εικόνα 47: Όψη βαλβίδων και διόδων εντός του αποσβεστήρα.

4.4.3 ΑΝΤΙΣΤΡΕΠΤΙΚΕΣ ΡΑΒΔΟΙ

Οι αντιστρεπτικές ράβδοι χρησιμοποιούνται για να αυξάνουν τη δυσκαμψία του οχήματος κατά τη διάρκεια της μεταγενέστερης επιβράδυνσης και αποτελούν σημαντικό παράγοντα για την ακριβή ρύθμιση της ακαμψίας του μονοθέσιου. Η αντιστρεπτική ράβδος λειτουργεί λαμβάνοντας τη γραμμική κίνηση της ανάρτησης και παρέχει στρεπτική ακαμψία μέσω ράβδου ή σωλήνα. Επίσης μεταφέρει ορισμένες δυνάμεις των κάθετων δυνάμεων στα ελαστικά κατά τη στροφή και αυξάνει τη πρόσφυση. Οι ράβδοι αυτοί επιλέχθηκε να τοποθετηθούν αρκετά χαμηλά στο πλαίσιο ώστε να παραμένει το κέντρο βάρους το μονοθέσιου κοντά στο έδαφος. Η στρεπτική ακαμψία των αντιστρεπτικών ράβδων υπολογίζεται μέσω των παρακάτω εξισώσεων. Για την κατασκευή χρησιμοποιούνται χαλύβδινοι σωλήνες.

$$M_{ARB} = F_{ARB}l \text{ (Σχέση 2)}$$

M_{ARB} : Ροπή στην αντιστρεπτική ράβδο (Nm)

F_{ARB} : Δύναμη στην αντιστρεπτική ράβδο (N)

$$\Theta = \frac{\pi}{180} \frac{L/2M_{ARB}}{GJ_0} \text{ (Σχέση 3)}$$

Θ : περιστροφή της αντιστρεπτικής ράβδου (°)

L : μήκος της αντιστρεπτικής ράβδου (mm)

G : Συντελεστής ακαμψίας (GPa)

J_0 : πολική στιγμή αδράνειας (mm⁴)

$$J_0 = \pi(D^4 - d^4)/32 \text{ (Σχέση 4)}$$

D : Εξωτερική διάμετρος ράβδου (mm)

d : Εσωτερική διάμετρος ράβδου (mm)

$$\frac{F_{ARB}}{\theta} = \frac{G(D^4 - d^4)180}{L/2I 32}$$

$\frac{F_{ARB}}{\theta}$ μας δίνει τη στρεπτική ακαμψία της αντιστρεπτικής δοκού(N/deg)

4.4.4 Καμπάνα (bell cranks)

Οι στρόφαλοι μεταδίδουν τις δυνάμεις του τροχού από τη ράβδο ώθησης (push rod) και αλλάζουν τη γωνία της δύναμης στο ελατήριο και τον αποσβεστήρα που είναι τοποθετημένο στο πλαίσιο. Σύμφωνα με τους κανόνες του διαγωνισμού, οι τροχοί πρέπει να έχουν διαδρομή τουλάχιστον 50mm και με αναλογία κίνησης 1: 1 ο αποσβεστήρας πρέπει να έχει την ίδια διαδρομή. Ο λόγος κίνησης, δηλαδή το πόσο μακριά κινείται το ελατήριο και ο αποσβεστήρας σε σχέση με την κάθετη κίνηση του τροχού, υπολογίζεται με την εξίσωση :

MR= διαδρομή ελατηρίου / διαδρομή τροχού

Οι στρόφαλοι είναι σχεδιασμένοι να εξάγονται (milled) από ένα συμπαγές μπλοκ αλουμινίου. Στο σημείο περιστροφής στο πλαίσιο, ο στρόφαλος θα περιστραφεί με τη χρήση δύο ρουλεμάν. Λόγο των έντονων φορτίων που δέχεται το τμήμα αυτό αλλά και της ανάγκης αυτού για μικρό βάρος σχεδιάστηκε με τη μικρότερη δυνατή γεωμετρία ώστε να είναι όσο το δυνατόν ελαφρύτερο και κατασκευάζεται από αλουμίνιο 7075-T6 ώστε να είναι όσο το δυνατόν ισχυρότερο.

4.5 ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ

4.5.1 ΕΠΙΛΟΓΗ ΥΛΙΚΟΥ

Κάθε αεροδυναμικό εξάρτημα πρέπει να φτιάχνεται από υλικό ελαφρύ και ανθεκτικό. Υπάρχουν πάρα πολλά υλικά πλέον διαθέσιμα στην βιομηχανία όπου είναι ιδανικά για εφαρμογή στην αυτοκίνηση και ιδιαίτερα για αεροδυναμικά εξαρτήματα. Οι ιδιότητες και το κόστος αυτών των υλικών ποικίλουν. Ένα σχετικά οικονομικό υλικό που έχει όλες τις αιτούμενες για την εφαρμογή αυτή ιδιότητες είναι και ο υαλοβάμβακας (fiberglass). Αυτό το μοναδικό υλικό παρέχει κατάλληλες αναλογίες αντοχής προς βάρος που το κάνει ιδανικό για χρήση αεροδυναμικών εξαρτημάτων. Είναι ένα υλικό που παρουσιάζει επίσης αυξημένη αντοχή σε πολυάριθμα διαβρωτικά μέσα. Τα πολυμερή ινών άνθρακα και υαλοβάμβακα χρησιμοποιούνται συνήθως για τα εμπρός, πίσω και πλαϊνά μέρη εμπορικών και όχι μόνο αυτοκινήτων παρέχοντας καλή αντοχή στην κρούση και υψηλή αντίσταση στη φθορά που προκαλούν οι καιρικές συνθήκες. Όλα τα αεροδυναμικά εξαρτήματα που παρουσιάζονται στη συνέχεια έχουν ως υλικό κατασκευής τον υαλοβάμβακα μιας και πληροί όλες τις απαραίτητες για τη εφαρμογή αυτή προϋποθέσεις ενώ το κόστος του είναι χαμηλό σε σχέση με άλλα συνθετικά υλικά. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι σημαντικότερες για εμάς ιδιότητες του υαλοβάμβακα.

ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΤΙΜΗ	ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
Κλάσμα όγκου ινών	0.43	
Πυκνότητα	1.85	g/cm ³
Διαμήκης συντελεστής	26	GPa
Εγκάρσιος συντελεστής	22	GPa
Μέτρο διάτμησης	7.2	GPa
Λόγος Poisson	0.13	-
Διαμήκης αντοχή σε εφελκυσμό	400	MPa
Διαμήκης αντοχή σε θλίψη	350	MPa
Εγκάρσια αντοχή σε εφελκυσμό	380	MPa
Διαμήκης αντοχή σε θλίψη	280	MPa
Επίπεδη δύναμη διάτμησης	45	MPa

4.5.2 ΣΤΟΧΟΙ ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Για τον ορθό και αποτελεσματικό σχεδιασμό των αεροδυναμικών εξαρτημάτων ενός οχήματος τύπου Formula Student απαιτείται να ληφθούν υπόψιν οι παρακάτω παράγοντες οι οποίοι είναι απόρροια των κανονισμών του διαγωνισμού, των χαρακτηριστικών που απαιτεί ένας καλό αεροδυναμικός σχεδιασμός αλλά και τους στόχους του έργου.

- Ένας αποτελεσματικός αεροδυναμικός σχεδιασμός, μεγιστοποιώντας την κάθετη δύναμη (down force) χωρίς την υπερβολική αύξηση της οπισθέλκουσας.
- Ο αεροδυναμικός σχεδιασμός πρέπει να είναι όσο το δυνατόν απλούστερος και χαμηλού κόστους ως προς την κατασκευή ώστε να είναι εύκολα υλοποιήσιμος.
- Απλό σχέδιο το οποίο μπορεί εύκολα να αλλάξει ή να αφαιρεθούν μέρη αυτού γρήγορα κατά τη διάρκεια του διαγωνισμού σε περίπτωση ελέγχου του μονοθέσιου ή αποκατάστασης τμημάτων του.

Ένας καλός αεροδυναμικός σχεδιασμός έχει ορισμένα χαρακτηριστικά που περιγράφονται λεπτομερώς παρακάτω:

- Ομαλά προφίλ με ευνοϊκές κλίσεις πίεσης.
- Αποφυγή κλίσεων αρνητικής πίεσης στο πίσω μέρος.
- Το κάτω μέρος του οχήματος πρέπει να είναι ομαλό και να παρουσιάζει συνέχεια.
- Αποφυγή αιχμηρών σημείων στο αμάξωμα.
- Το εμπρόσθιο σημείο του αμαξώματος ξεκινάει από χαμηλό σημείο, όσο το δυνατόν πλησιέστερα στο έδαφος και ανεβαίνει σε μια ομαλή γραμμή.
- Οι πλευρικοί πλωτήρες (side pontoons) για ψύξη έχουν σχεδιαστεί για ελαχιστοποίηση της οπισθέλκουσας.

4.5.3 ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΑ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ

Εμπρόσθιο τμήμα και φτερά

Σε μια πρώτη προσέγγιση ένα ψηλά τοποθετημένο εμπρόσθιο φτερό (αεροτομή) παράγει λιγότερη κάθετη δύναμη επειδή πιέζει μικρότερη ποσότητα αέρα επάνω από το όχημα. Αυτή η κατάσταση επιτρέπει στον αέρα να πάει ευθεία, κάτω από τη μύτη και το σώμα του αυτοκινήτου αντί να οδηγηθεί από το επάνω μέρος του πιέζοντάς το στο έδαφος. Το εμπρόσθιο φτερό μπορεί να παράγει κάθετη δύναμη που θα λάβει εφαρμογή στον εμπρόσθιο άξονα. Όλος ο αέρας που εισέρχεται κάτω από το εμπρόσθιο φτερό οδηγείται έπειτα είτε κάτω από το δάπεδο του οχήματος είτε διαχωρίζεται και κατευθύνεται στις πλευρικές εσοχές (siderods). Όσο γρηγορότερα διασχίζει ο αέρας το δάπεδο του οχήματος και εξέρχεται της οπίσθιας κάτω αεροτομής (diffuser) τόσο μεγαλύτερη κάθετη δύναμη παράγεται.

Το εμπρόσθιο μέρος – μύτη (nose cone) πρέπει να σχεδιαστεί ώστε να μεγιστοποιεί την αεροδυναμική αποτελεσματικότητα καθώς και να συμμορφώνεται με τις απαιτήσεις της αντοχής και των μετρήσεων που καθορίζονται από τους διοργανωτές του κάθε διαγωνισμού. Επίσης, πρέπει να είναι ικανό να απορροφήσει μια ορισμένη ποσότητα ενέργειας σε περίπτωση μετωπικής σύγκρουσης και να στηρίζει την εμπρόσθια αεροτομή κατά την ανάπτυξη αεροδυναμικών φαινομένων σε αυτή. Τα μέτρα αυτά λαμβάνονται για την προστασία του οδηγού, των διαγωνιζόμενων, των θεατών και των παρευρισκόμενων.

Σε ένα αγωνιστικό όχημα τα αεροδυναμικά φτερά είναι αυτά που λειτουργούν όπως τα φτερά ενός αεροπλάνου αλλά με αντίστροφο τρόπο, οπότε ο αέρας ωθεί το όχημα στο έδαφος. Όπως φαίνεται στη σχέση 5, όσο μεγαλύτερη είναι η κανονική δύναμη που εφαρμόζεται σε ένα αεροδυναμικό φτερό, τόσο μεγαλύτερη είναι η δύναμη τριβής με το έδαφος και στη συνέχεια ακόμα μεγαλύτερη η έλξη και η πρόσφυση.

$$F_f = \mu N \text{ (Σχέση 5)}$$

Όπου:

μ: συντελεστής τριβής

N: Ονομαστική Δύναμη

Η χρήση μικρών και πολλαπλών αεροδυναμικών στοιχείων διευκολύνει την προσαρμογή τους για την ρύθμιση της αεροδυναμικής κατά τη διάρκεια του αγώνα. Ορισμένα φτερά έχουν πτερύγια Gurney και πλευρικές μετατοπίσεις που στοχεύουν στην αποφυγή της διάσπασης του οριακού στρώματος μετατρέποντας ένα ελασματοειδές ρεύμα σε τυρβώδη ροή. Μια παραγμένη ροή είναι χειρότερη από μια ελασματοειδή ροή επειδή έχει ένα μεγαλύτερο οριακό στρώμα, αλλά αυτό είναι καλύτερο όσον αφορά τη σύζευξη και την ανύψωση απ' ότι η απόσπαση της ροής. Το πτερύγιο Gurney (ή wickerbill) είναι μια μικρή προεξοχή στην πίσω άκρη μιας αεροτομής. Συνήθως τοποθετείται σε ορθή γωνία ως προς την επιφάνεια της πλευράς πίεσης της αεροτομής και προβάλλει από 1% έως 2% της χορδής του φτερού. Αυτή η συσκευή μπορεί να βελτιώσει την απόδοση μιας απλής αεροτομής σχεδόν στο ίδιο επίπεδο με ένα πολύπλοκο σχέδιο υψηλής απόδοσης. Η συσκευή λειτουργεί με την αύξηση της πίεσης στην πλευρά πίεσης, μειώνοντας την πίεση στην πλευρά αναρρόφησης και βοηθώντας τη ροή του οριακού στρώματος να παραμείνει προσαρτημένη μέχρι το οπίσθιο άκρο στην πλευρά αναρρόφησης της αεροτομής. Ένα τέτοιο πτερύγιο βρίσκει εφαρμογή τόσο σε αεροτομές αγωνιστικών οχημάτων και οχημάτων υψηλών επιδόσεων όσο και στην αεροναυπηγική σε εφαρμογές όπως οριζόντιους σταθεροποιητές ελικοπτέρων και αεροσκάφη όπου είναι απαραίτητη η υψηλή ανύψωση. Το όνομα Gurney δόθηκε προς τιμήν του εφευρέτη και κατασκευαστή του, τον Αμερικάνο οδηγό αγώνων Dan Gurney.

Οι ιδανικές συνθήκες στον τομέα της αεροδυναμικής δεν υπάρχουν στον πραγματικό κόσμο για ένα όχημα, πόσο μάλλον σε ένα αγωνιστικό όχημα επειδή το αυτοκίνητο κινείται εντός διαφορετικών τμημάτων της πίστας ενώ οι τροχοί περιστρέφονται με χιλιάδες στροφές ανά λεπτό και ταυτόχρονα δρα η ανάρτηση, ενώ ίσως να υπάρχει προπορευόμενα όχημα που να δημιουργεί το φαινόμενο που ονομάζεται “dirty air”, δηλαδή αεροδυναμική ροή που δεν είναι στρωτή. Ένας καλός σχεδιασμός πρέπει να μειώσει την επίδραση αυτών των πραγματικών καταστάσεων.

Ένα αεροδυναμικό φτερό είναι σχεδιασμένο είτε με μια καμπύλη κι μια επίπεδη επιφάνεια, είτε με δύο καμπύλες επιφάνειες εκ των οποίων μία από τις δύο σε κάθε περίπτωση πρέπει να είναι μεγαλύτερη σε μήκος ώστε ο αέρας να περνά γρηγορότερα από το μικρότερο σε μήκος τμήμα. Σύμφωνα με την αρχή Bernoulli, δημιουργείται μια χαμηλότερη πίεση στη πλευρά όπου το ρευστό ρέει γρηγορότερα. Στη συνέχεια, υπάρχει μια προκύπτουσα δύναμη λόγω της διαφοράς των πιέσεων, όπως δείχνει η σχέση 6.

$$F_l = (P_{\text{down}} - P_{\text{up}}) \cdot A \text{ (Σχέση 6)}$$

Όπου:

P_{down} : Η πίεση κάτω της επιφάνειας.

P_{up} : Η πίεση άνω της επιφάνειας όπου μελετάμε.

A : Η επιφάνεια του φτερού.

Το σημείο στο οποίο ενεργούν θεωρητικά οι δυνάμεις ονομάζεται κέντρο πίεσης. Η αναλογία ανύψωσης και οπισθέλκουσας χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της αεροδυναμικής αποτελεσματικότητας. Στην περίπτωση ενός αεροδυναμικού φτερού, η δύναμη μεγαλώνει καθώς αυξάνεται η γωνία πρόσκρουσης της ροής με το φτερό μέχρι να φτάσει μια οριακή τιμή όπου από εκεί και έπειτα αρχίζει να μειώνεται, σε αυτή την περίπτωση, η ροή διαχωρίζεται τις επιφάνειες μειώνοντας την κάθετη δύναμη και αυξάνοντας την δύναμη οπισθέλκουσας.

Το ύψος και η διατομή της εμπρόσθιας αεροτομής είναι πολύ σημαντικό καθώς επειδή απαιτείται μια ελάχιστη διατομή στο μπροστινό μέρος για την μείωση της οπισθέλκουσας, η οποία είναι ανάλογη με την επιφάνεια διατομής και κατανέμει την ροή του αέρα στα πλευρικά τοιχώματα ή κάτω από το αυτοκίνητο, αυξάνοντας τη σταθερότητα και τη πρόσφυση. Το εμπρόσθιο τμήμα (nose cone) και φτερά έχουν στοιχεία γνωστά ως πυλώνες προσάρτησης. Αυτά τα στοιχεία, μπορούν να είναι σχεδιασμένα λαμβάνοντας υπόψη την αεροδυναμική επίδραση και τον τρόπο με τον οποίο ενεργούν οι δυνάμεις οπισθέλκουσας και ανύψωσης.

Πλαϊνοί διαχύτες και εισαγωγή αέρα

Όταν πρόκειται για ένα όχημα τύπου formula student ή και γενικότερα, με κινητήρα εσωτερικής καύσης στην εισαγωγή αέρα υπάρχει ένας θάλαμος εκτόνωσης που επιβραδύνει τον αέρα και προετοιμάζει την ροή για τη δίοδο του στην πολλαπλή εισαγωγή του κινητήρα. Η εισαγωγή αέρα είναι τοποθετημένη μακριά από πηγές θερμότητας, όπως οι τροχοί και το ψυγείο, ώστε να ελαχιστοποιείται η θερμοκρασία του αέρα, κάτι που επιτρέπει τη μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα στον κινητήρα.

Στην περίπτωση ενός ηλεκτροκίνητου όμως οχήματος όπως αυτό, οι ανάγκες για ψύξη μπορεί να μην είναι η ίδια σε μέγεθος με αυτή ενός κινητήρα εσωτερικής καύσης αλλά εξακολουθεί να υπάρχει. Τα ηλεκτρονικά, ο κινητήρας και η μπαταρία πρέπει να ψυχθούν για την καλύτερη λειτουργία τους. Όσο και αν απαιτείται η ελαχιστοποίηση των ανοιχτών σημείων για την μείωση της οπισθέλκουσας πάντα θα υπάρχει η ανάγκη για μερικά. Φυσικά οι μικρότερες απαιτήσεις σε παροχή αέρα ενός τέτοιου μονοθέσιου έναντι ενός με κινητήρα εσωτερικής καύσης κάνουν δυνατή μια πιο αποτελεσματική και αποδοτική αεροδυναμική προσέγγιση. Τελικά έχουμε ένα όχημα με λιγότερα αεροδυναμικά εξαρτήματα και ελάχιστα ανοικτά σημεία με αποτέλεσμα μικρότερο κόστος αλλά υψηλή αεροδυναμική απόδοση.

Η σκοπιμότητα των πλευρικών αγωγών εισαγωγής αέρα (side pontoons) είναι να παρέχουν αρκετή ροή αέρα στο σύστημα ψύξης, όπου συνήθως τοποθετούνται στο πλαϊνό και κάτω μέρος του αυτοκινήτου, χωρίς να θυσιάζουν την αεροδυναμική αποτελεσματικότητα και την ασφάλεια του οχήματος. Η γεωμετρία των αγωγών αυτών εξαρτάται από τις ιδιότητες της ροής του αέρα και καθορίζεται από το εμπρόσθιο τμήμα και τα φτερά του αυτοκινήτου.

Διαχύτης και γεωμετρία κάτω από το όχημα

Σε ένα όχημα formula student αλλά και σε οποιοδήποτε αγωνιστικό όχημα υπάρχει διαφορά μεταξύ της άνω αεροδυναμικής ροής, που περνάει επάνω από το κεφάλι του οδηγού, και της κατώτερης αεροδυναμικής ροής που εξέρχεται κάτω από το όχημα. Εάν το αυτοκίνητο έχει ακανόνιστη μορφή στο κάτω μέρος (ποδιές), αυτό συμβάλλει στην αύξηση του οριακού στρώματος επάνω από το έδαφος, εμποδίζοντας την αεροδυναμική ροή. Εξαιτίας αυτού αυξάνεται η δύναμη της οπισθέλκουσας και η τυρβώδης ροή πίσω από το όχημα. Αυτή η φραγμένη ροή δημιουργεί ζώνες υψηλής πίεσης στο κάτω μέρος όπου είναι το αντίθετο από το επιθυμητό για την ύπαρξη μεγαλύτερης κάθετης δύναμης και πρόσφυσης.

Για την ορθή σχεδίαση της γεωμετρίας των καλυμμάτων του κάτω μέρους του οχήματος λαμβάνουμε υπόψιν τα παρακάτω:

- Το ύψος του αυτοκινήτου σε σχέση με το έδαφος, όσο πιο μεγάλη είναι η απόσταση του αυτοκινήτου από το έδαφος, τόσο μικρότερη είναι η κάθετη δύναμη που σχηματίζεται.
- Η συμμετρία των καλυμμάτων. Η συμμετρικότερη γεωμετρία προσφέρει μεγαλύτερη κάθετη δύναμη.
- Το σχήμα των καλυμμάτων. Όσο ομαλότερος και χωρίς προεξοχές ο σχεδιασμός τόσο μεγαλύτερη η κάθετη δύναμη που μπορεί να παρουσιαστεί.

Για να μειωθεί η οπισθέλκουσα και να αυξηθεί η κάθετη δύναμη, μπορεί να σχεδιαστεί το κάτω μέρος του μονοθέσιου σαν ακροφύσιο (Bernoulli effect), να εξομαλυνθεί η είσοδος του αέρα και να καθυστερήσει η ανάπτυξη του οριακού στρώματος, αυξάνοντας επίσης την ταχύτητα του αέρα και δημιουργώντας χαμηλή πίεση στην έξοδο αποδίδοντας περισσότερη πρόσφυση.

Ο διαχύτης είναι ένα αεροδυναμικό εξάρτημα όπου βρίσκεται στο πίσω – κάτω μέρος του οχήματος. Αυτό το εξάρτημα επιτρέπει την ροή αέρα κάτω του οχήματος προς την άνω ροή που διέρχεται επάνω από το όχημα και την επίδραση της χαμηλής πίεσης που δημιουργείται από τις αεροδυναμικές τύρβες. Το σχήμα του κάτω μέρους προκαλεί αύξηση του όγκου του αέρα καθώς το αυτοκίνητο κινείται, οπότε ο αέρας πρέπει να επιταχύνει για να καλύψει τον όγκο αυτό, μειώνοντας την πίεση και αυξάνοντας την κάθετη δύναμη. Περνώντας τον διαχύτη ο αέρας γίνεται πιο αργός και γραμμικός ώστε να ενωθεί άμεσα με τις ροές αέρα που βρίσκονται πίσω του οχήματος επιτυγχάνοντας τη μικρότερη δυνατή οπισθέλκουσα. Με τη χρήση του διαχύτη διευκολύνεται η μετάβαση του αέρα που εξέρχεται από το κάτω μέρος του οχήματος και της ελεύθερης ροής του επάνω μέρους. Επιβραδύνει το διαχωρισμό της ροής του κάτω μέρους του οχήματος και την οπισθέλκουσα όσο είναι δυνατόν. Επίσης η δομή και γεωμετρία του διαχύτη επιταχύνει το ρευστό προτού αυτό εισέρθει σε αυτόν για να παράγει περισσότερη κάθετη δύναμη. Χρησιμοποιεί την αρχή Bernoulli και μια απλοποίηση των εξισώσεων Navier-Stokes, για μια μη συμπίεστη και σταθερή ροή, έτσι ώστε η πίεση μειώνεται ενώ η ταχύτητα αυξάνεται.

Αεροδυναμικά φτερά

Σε οποιοδήποτε σημείο του οχήματος που θέλουμε να βελτιώσουμε στην αεροδυναμική συμπεριφορά τοποθετούμε αεροτομές διαφόρων γεωμετριών και μεγεθών. Οι αεροτομές αυτές είτε αποτελούνται εξ ολοκλήρου είτε αποτελείται μεγάλο μέρος τους από αεροδυναμικά φτερά. Στα φτερά αυτά επιλέγονται το μέγεθος, η γεωμετρία αλλά και το σημείο και η γωνία τοποθέτησης με τρόπο τέτοιο ώστε να επιφέρουν το καλύτερο δυνατό επιθυμητό αποτέλεσμα. Υπάρχουν κάποια στοιχεία όμως που μας οδηγούν στην ορθή επιλογή αεροδυναμικών φτερών τα οποία στις μέρες μας είναι τυποποιημένα. Ένα πραγματικό ρευστό έχει ιξώδες και έτσι η ροή πρέπει να ικανοποιήσει την κατάσταση μη ολίσθησης. Αυτό σημαίνει ότι ροή (και δυνάμεις) που λαμβάνονται για ένα ιδανικό υγρό δεν είναι πανομοιότυπα με εκείνα που παρατηρούνται στην πραγματική ροή.

Σε μικρές γωνίες προσβολής, τα οριακά στρώματα που αναπτύσσονται στις άνω και κάτω επιφάνειες της αεροτομή δεν διαχωρίζονται και έτσι έχουμε μικρή αποκόλληση (ιξώδης περιοχή). Η αύξηση της γωνίας προσβολής οδηγεί σε διαχωρισμό της ροής και έτσι έχουμε αποκόλληση του οριακού στρώματος (παχύρρευστη περιοχή) σε μεγάλο βαθμό που οδηγούν στη μείωση της ανύψωσης. Η αύξηση της γωνίας προσβολής προκαλεί δυσμενείς διακυμάνσεις πίεσης που μπορεί να οδηγήσουν σε διαχωρισμό της ροής. Σε τέτοιες συνθήκες, η πραγματική ροή είναι σημαντικά διαφορετική από αυτή που επιτυγχάνεται θεωρητικά για ένα ιδανικό υγρό. Σημαντικές περιοχές διαχωριζόμενης ροής οδηγούν σε μια μείωση της δύναμης ανύψωσης και μια σημαντική αύξηση της δύναμης αντίστασης πίεσης (της οπισθέλκουσας). Η εμφάνιση του διαχωρισμού ροής σχετίζεται με την κατανομή της πίεσης, και κατ' επέκταση με το σχήμα της αεροτομής.

Λεπτά φτερά σε μεγάλες γωνίες προσβολής, εμφανίζουν έντονες διακυμάνσεις της πίεσης στην αρχική αιχμή. Ο διαχωρισμός εμφανίζεται κοντά στο στην αρχική αιχμή και το μήκος του διαχωρισμού μεγαλώνει με την αύξηση της γωνίας προσβολής.

Χοντρά φτερά σε μεγάλες γωνίες προσβολής, οδηγούν σε ήπιες κλίσεις δυσμενών πιέσεων όπου καλύπτουν εξ ολοκλήρου την άνω επιφάνεια ($\alpha > 0$). Ο διαχωρισμός εμφανίζεται στην πίσω άκρη σε αυτή τη περίπτωση και το σημείο διαχωρισμού κινείται προς τα πάνω με την αύξηση της γωνίας της προσβολής.

Πρόκειται για μια ομαλή αποκόλληση, χαρακτηριστικό των παχιών αεροτομών, που ορίζονται και ως "αποκόλλησης άκρου".

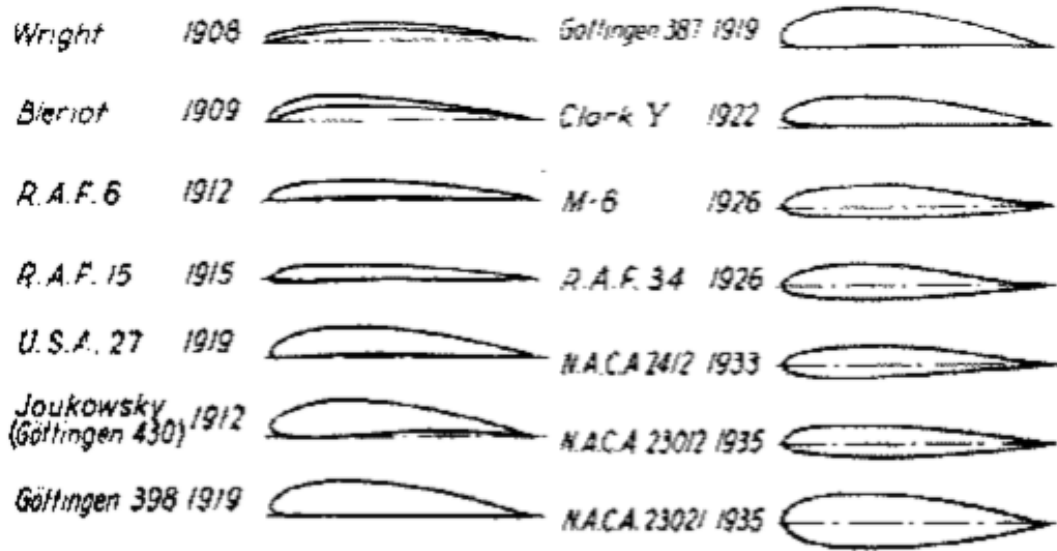
Γεωμετρία και τυποποίηση φτερών

Η εξέλιξη των αεροδυναμικών φτερών

Η αρχαιότερη σοβαρή δουλειά για την ανάπτυξη τμημάτων αεροτομής άρχισε στα τέλη του 1800. Παρόλο που ήταν γνωστό ότι οι επίπεδες πλάκες θα μπορούσαν να παράγουν ανύψωση όταν ήταν τοποθετημένες σε μια γωνία πρόσπτωσης, κάποιιοι υποψιάζονταν ότι τα σχήματα με καμπυλότητα, που μοιάζουν περισσότερο με τα πτερύγια πτηνών, θα παράγουν περισσότερη ανύψωση ή θα το κάνουν πιο αποτελεσματικά. Ο H.F. Phillips κατοχύρωσε μια σειρά από μορφές αεροτομής το 1884, αφού τις εξέτασε σε μία από τις πρώτες αεροδυναμικές σήραγγες. Ο Lilienthal αργότερα μελετώντας ιπτάμενα σώματα πίστευε ότι το κλειδί για την επιτυχημένη πτήση ήταν η καμπυλότητα του πτερύγιου ή η κάμψη. Επίσης πειραματίστηκε με διαφορετικές ακτίνες μύτης και διανομές πάχους.

Τα αεροδυναμικά φτερά που χρησιμοποιούσαν οι αδελφοί Wright έμοιαζαν πολύ με τα τμήματα του Lilienthal: λεπτά και με μεγάλη κλίση. Αυτό ήταν και λογικό για την εποχή επειδή οι πρώιμες δοκιμές των τμημάτων αεροτομής έγιναν σε εξαιρετικά χαμηλό αριθμό Reynolds, όπου τέτοιες λεπτές ενότητες συμπεριφέρονται πολύ καλύτερα από τις παχύτερες. Η λανθασμένη πεποίθηση ότι τα αποτελεσματικά αεροπλάνα έπρεπε να είναι λεπτά και πολύ καμπυλωμένα ήταν ένας λόγος που ορισμένα από τα πρώτα αεροπλάνα ήταν διπλανά. Η χρήση τέτοιων τμημάτων μειώθηκε σταδιακά κατά την επόμενη δεκαετία.

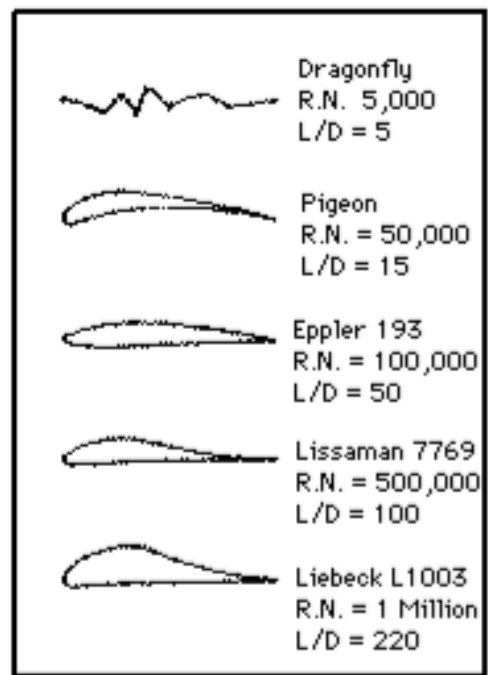
Ένα ευρύ φάσμα αεροτομών αναπτύχθηκε, βασισμένο κυρίως σε δοκιμές και σφάλματα. Μερικά από τα πιο επιτυχημένα τμήματα όπως το Clark Y και το Göttingen 398 χρησιμοποιήθηκαν ως βάση για μια οικογένεια τμημάτων που δοκιμάστηκαν από την NACA στις αρχές της δεκαετίας του 1920. Συνεχίζοντας, το



Εικόνα 48: Τυποποίηση φτερών με το πέρασμα των χρόνων.

1939, ο Eastman Jacobs στην NACA στο Langley, σχεδίασε και δοκιμάστηκε τα πρώτα τμήματα αεροτομής στρωτής ροής. Αυτά τα σχήματα είχαν εξαιρετικά χαμηλή οπισθέλκουσα.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί ότι η NACA (National Advisory Committee for Aeronautics) δηλαδή Εθνική Συμβουλευτική Επιτροπή Αεροναυτικής ήταν μια ομοσπονδιακή υπηρεσία των ΗΠΑ που ιδρύθηκε στις 3 Μαρτίου 1915 για να αναλάβει, να προωθήσει και να θεσμοποιήσει την αεροναυτική έρευνα. Την 1η Οκτωβρίου 1958 ο οργανισμός διαλύθηκε και τα περιουσιακά στοιχεία και το προσωπικό του μεταφέρθηκαν στη νεοσυσταθείσα Εθνική Διοίκηση Αεροναυτικής και Διαστήματος (NASA). Μεταξύ άλλων εξελίξεων, η NACA μελέτησε, εξέλιξε και παρήγαγε τον αγωγό NACA, έναν τύπο εισαγωγής αέρα που χρησιμοποιείται στις σύγχρονες αυτοκινητοβιομηχανικές εφαρμογές, το NACA cowling και αρκετές σειρές

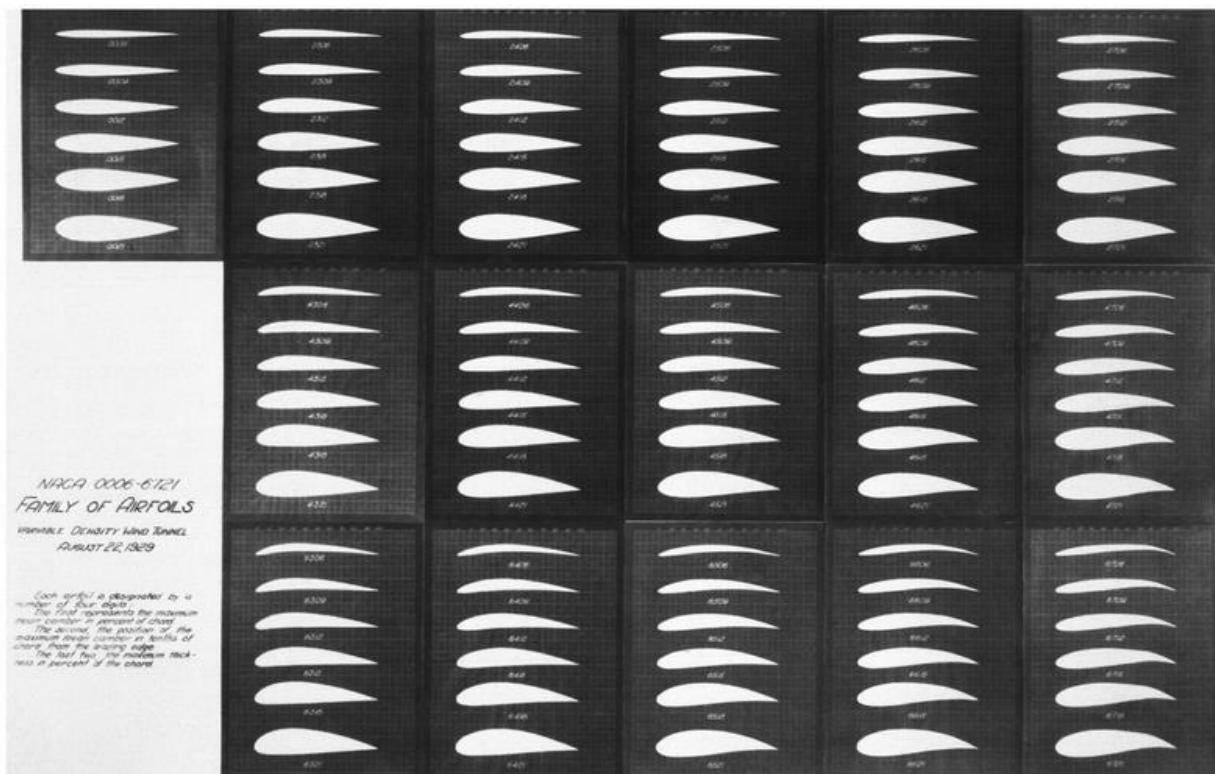


Εικόνα 49: Αριθμός Reynolds και γεωμετρίες.



αεροσκαφών της NACA που χρησιμοποιούνται ακόμα στην κατασκευή αεροσκαφών.

Ένας από τους λόγους για τους οποίους οι μοντέρνες αεροτομές, τόσο στα οχήματα αλλά και σε κάθε άλλη εφαρμογή, φαίνονται αρκετά διαφορετικές μεταξύ τους και οι σχεδιαστές δεν έχουν εγκατασταθεί στην καλύτερη αεροτομή είναι ότι οι συνθήκες ροής και οι στόχοι σχεδιασμού αλλάζουν από τη μια εφαρμογή στην άλλη. Δεξιά παρουσιάζονται μερικές αεροτομές χαμηλού αριθμού Reynolds. Ένα ευρύ φάσμα συνθηκών λειτουργίας και περιορισμών καθιστά τη γεωμετρία και το σχεδιασμό ενός αεροδυναμικού τμήματος και έτσι στις μέρες μας είναι ειδικά σχεδιασμένα για την κάθε εφαρμογή [17].



Εικόνα 50: Η οικογένεια τετραψήφιας τυποποίησης φτερών NACA.

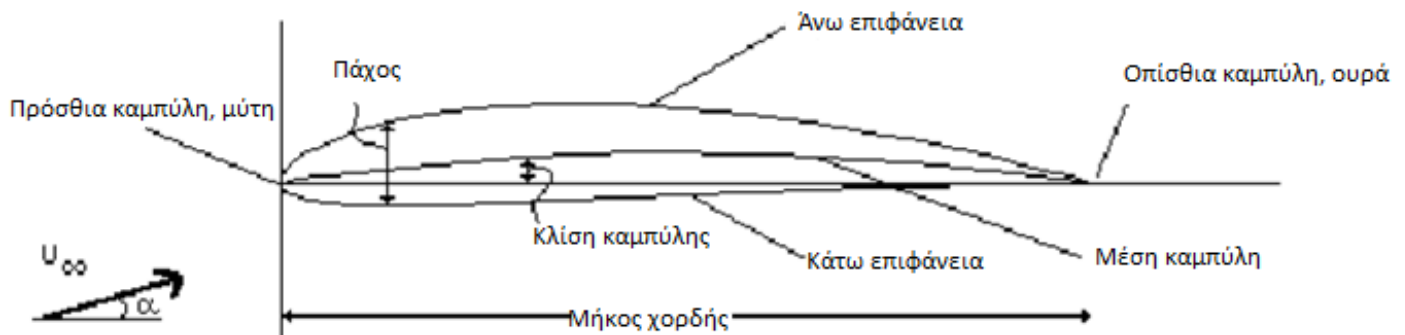
Σήμερα η τυποποίηση χαρακτηρίζεται από τέσσερα ή πέντε ψηφία που χαρακτηρίζουν τη γεωμετρία του φτερού. Κατά την τετραψήφια τυποποίηση NACA, όπου και χρησιμοποιήθηκε, το φτερό ορίζεται ως εξής: Πρώτο ψηφίο που περιγράφει τη μέγιστη κάμψη ως ποσοστό της χορδής. Δεύτερο ψηφίο που περιγράφει την απόσταση μέγιστης καμπυλότητας από την αιχμή της αεροτομής σε δεκάδες εκατοστά της χορδής.

Τα τελευταία δύο ψηφία που περιγράφουν το μέγιστο πάχος της αεροτομής ως ποσοστό της χορδής.

Για παράδειγμα, η αεροτομή **NACA 2412** έχει μέγιστη καμπυλότητα 2% που βρίσκεται 40% από την πρόσθια άκρη με μέγιστο πάχος 12% της χορδής. Η αεροτομή **NACA 0015** είναι συμμετρική, η τυποποίηση δείχνει ότι δεν έχει καμπύλη. Τα 15 δείχνουν ότι η αεροτομή έχει λόγο 15% πάχους προς χορδή: είναι 15% τόσο παχύ όσο είναι μακρύ.

Η γεωμετρία

Η γεωμετρία της αεροτομής μπορεί να χαρακτηριστεί από τις συντεταγμένες της άνω και κάτω επιφάνειας. Συχνά αυτή συνοψίζεται με μερικές παραμέτρους, όπως: το μέγιστο πάχος, η μέγιστη κάμψη, η θέση μέγιστου πάχους, η θέση μέγιστης καμπύλης και ακτίνα μύτης. Κάποιος μπορεί να δημιουργήσει ένα ικανοποιητικό τμήμα αεροτομής λαμβάνοντας υπόψη αυτές τις παραμέτρους. Η μελέτη και οργάνωση των παραμέτρων αυτών έγινε από τον Eastman Jacobs στις αρχές της δεκαετίας του 1930 όπου δημιούργησε μια οικογένεια αεροτομών γνωστών ως τμήματα NACA.



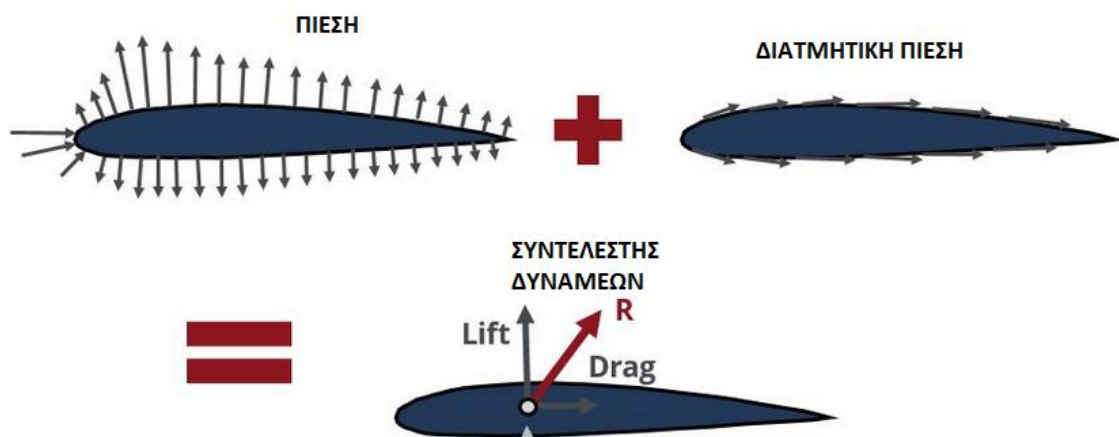
Εικόνα 51: Κύριες παράμετροι ενός αεροδυναμικού φτερού.

Κατανομή πίεσης

Η αεροδυναμική απόδοση των τμημάτων αεροτομής μπορεί να μελετηθεί πολύ εύκολα με αναφορά στην κατανομή της πίεσης πάνω στην αεροτομή. Η κατανομή αυτή εκφράζεται συνήθως με βάση τον συντελεστή πίεσης C_p :

$$\frac{P - P_{\infty}}{\frac{1}{2} \rho U_{\infty}^2}$$

Ο συντελεστής πίεσης C_p είναι η διαφορά μεταξύ της τοπικής στατικής πίεσης και της στατικής πίεσης ελεύθερης ροής, μη διαστασιοποιημένης από τη δυναμική πίεση ελεύθερης ροής. Το C_p ξεκινά από περίπου 1,0 στο σημείο στασιμότητας κοντά στην κορυφή. Αυξάνεται γρήγορα (μειώνεται η πίεση) τόσο στην άνω όσο και στην κάτω επιφάνεια και τελικά ανακτάται σε μια μικρή θετική τιμή της C_p κοντά στην άκρη [17].



Εικόνα 52: Ανάλυση δυνάμεων που ασκούνται σε ένα φτερό.

Ο συντελεστής των δυνάμεων της κάθετης και της διατμητικής πίεσης σε ένα φτερό αποτελούν τη συνολική δύναμη που δέχεται αυτό.

Επιλογή αεροδυναμικών φτερών

Η διαδικασία σχεδιασμού αεροτομής προχωρά από τη γνώση των ιδιοτήτων του οριακού στρώματος και τη σχέση μεταξύ γεωμετρίας και κατανομής πίεσης. Ο στόχος ενός σχεδιασμού αεροτομής ποικίλλει. Μερικές αεροτομές έχουν σχεδιαστεί για να παράγουν χαμηλή οπισθέλκουσα (και ίσως να μην απαιτείται να παράγουν ανύψωση καθόλου.) Άλλες μπορεί να χρειαστεί να παράγουν χαμηλή οπισθέλκουσα ενώ παράγουν μια δεδομένη ποσότητα ανύψωσης. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η οπισθέλκουσα δεν έχει σημασία αλλά είναι η μέγιστη ανύψωση που είναι σημαντική.

Μια προσέγγιση για τον σχεδιασμό αεροτομής είναι η χρήση ενός φτερού που σχεδιάστηκε ήδη από κάποιον που μελέτησε τη γεωμετρία, την πίεση και τις επιδόσεις του πετυχένοντας κάποιο επιθυμητό αποτέλεσμα. Αυτός ο "σχεδιασμός" λειτουργεί καλά όταν οι στόχοι ενός συγκεκριμένου προβλήματος - σχεδίου συμβαίνουν να συμπίπτουν με τους στόχους του αρχικού σχεδίου αεροτομής. Σε αυτές τις περιπτώσεις, τα φτερά μπορούν να επιλεγούν από καταλόγους όπως οι Abbott and von Doenhoff's Theory of Wing Sections, Althaus' and Wortmann's Stuttgarter Profilkatalog, Althaus' Low Reynolds Number Airfoil catalog, or Selig's "Airfoils at Low Speeds". Το πλεονέκτημα αυτής της προσέγγισης είναι ότι υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα δοκιμών. Από την άλλη πλευρά, τα διαθέσιμα εργαλεία είναι σήμερα επαρκώς εξευγενισμένα ώστε κάποιος να είναι αρκετά σίγουρος ότι η προβλεπόμενη απόδοση μπορεί να επιτευχθεί. Η χρήση "αυτοσχέδιων αεροτομών" ειδικά προσαρμοσμένων στις ανάγκες ενός συγκεκριμένου έργου είναι πλέον πολύ συνηθισμένη.

Διάφοροι σχεδιασμοί αεροδυναμικών φτερών

1. Άμεσες μέθοδοι σχεδιασμού πτέρυγας (Direct Methods for Airfoil Design)
2. Αντίστροφη σχεδίαση πτέρυγας (Inverse Design)
3. Πτέρυγα πάχους (Thick Airfoil Design)
4. Πτέρυγα υψηλής ανύψωσης (High Lift Airfoil Design)
5. Πτέρυγα στρωτής ροής (Laminar Airfoil Design)
6. Πτέρυγα χαμηλού αριθμού Reynolds (Low Reynolds Number Airfoil Design)

Τελική επιλογή

Η τελική επιλογή των διαφόρων φτερών που υπάρχουν στο όχημα, όπως στην πρόσθια ή την οπίσθια αεροτομή, έγινε έχοντας ως γνώμονα τη μορφή των πτερύγων που χρησιμοποιούνται στα διάφορα αεροδυναμικά εξαρτήματα στην αυτοκίνηση με ιδιαίτερα οχημάτων που έχουν λάβει μέρος στο διαγωνισμό Formula Student. Έχουμε δηλαδή τη χρήση ενός φτερών που σχεδιάστηκαν από ομάδες που μελέτησαν τη γεωμετρία, την πίεση και τις επιδόσεις του πετυχένοντας κάποιο επιθυμητό αποτέλεσμα. Αυτή η επιλογή στηρίζετε στο ότι οι στόχοι ενός του συγκεκριμένου προβλήματος - σχεδίου συμπίπτουν με τους στόχους του αρχικού σχεδίου αεροτομής (πρότυπο).

Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί ότι ακολουθήθηκε μια άμεση μέθοδος σχεδιασμού πτέρυγας (Direct Methods for Airfoil Design). Η μέθοδος άμεσου σχεδιασμού αεροτομής περιλαμβάνει την προδιαγραφή μιας γεωμετρίας τμήματος και τον υπολογισμό των πιέσεων και των επιδόσεων. Κάποιος αξιολογεί το δεδομένο σχήμα και στη συνέχεια τροποποιεί το σχήμα για να βελτιώσει την απόδοση.

Τα δύο κύρια ζητήματα που προκύπτουν κατά αυτή τη μέθοδο είναι:

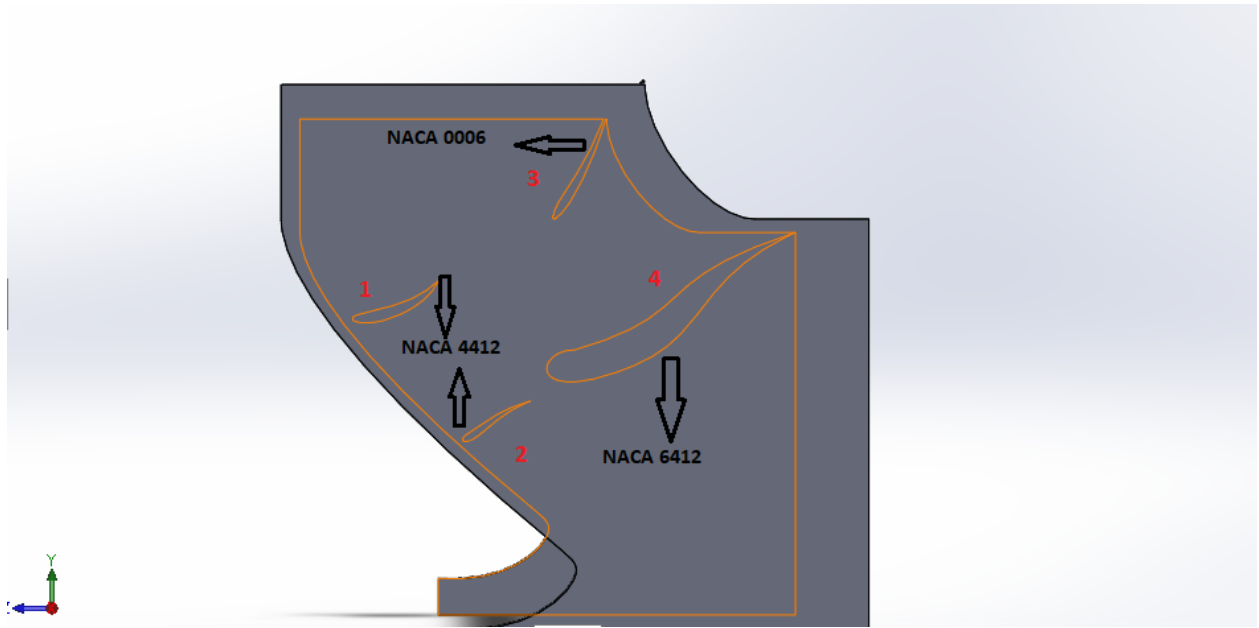
1. Ο προσδιορισμός του μέτρου απόδοσης
2. Η προσέγγιση αλλαγής του σχήματος ώστε να βελτιωθεί η απόδοση

Η απλούστερη μορφή άμεσης σχεδίασης αεροτομής περιλαμβάνει την εκκίνηση με ένα σχήμα αεροδυναμικής (όπως αεροτομή NACA), προσδιορισμό του χαρακτηριστικού αυτού του τμήματος που είναι πιο προβληματικό και επίλυση αυτού του προβλήματος. Αυτή η διαδικασία για τον καθορισμό των πιο προφανών προβλημάτων με μια δεδομένη αεροτομή επαναλαμβάνεται μέχρι να μην υπάρχει σημαντικό πρόβλημα με το τμήμα. Ο σχεδιασμός μιας τέτοιας αεροτομής δεν απαιτεί έναν συγκεκριμένο ορισμό μιας κλιμακωτής αντικειμενικής λειτουργίας, αλλά απαιτεί κάποια εμπειρογνωμοσύνη για τον εντοπισμό των πιθανών προβλημάτων και συχνά σημαντική εμπειρογνωμοσύνη για την επίλυσή τους.

Παρατηρώντας λοιπόν αντίστοιχα οχήματα προσπαθήσαμε να καταλήξουμε σε ένα τυποποιημένο κατά NACA φτερό, κάποιο να οποίο θα έμοιαζε όσο το δυνατό περισσότερο με αυτά που συνηθίζονται σε αντίστοιχες περιπτώσεις. Με αυτό τον τρόπο θα έχουμε διαθέσιμα δεδομένα δοκιμών τα οποία μπορούμε να αξιοποιήσουμε

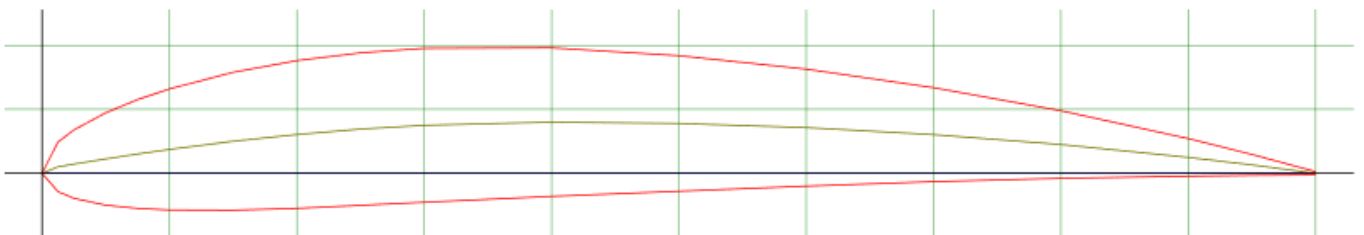
στην εφαρμογή μας. Έχοντας επίσης τα βασικά χαρακτηριστικά της τυποποιημένης γεωμετρίας κατά NACA μπορούμε να τροποποιήσουμε δευτερεύοντες παραμέτρους ώστε να είναι σε κάθε περίπτωση το πτερόγιο ιδανικό. Ακλουθώντας δηλαδή μια άμεση μέθοδο σχεδιασμού πτέρυγας (Direct Methods for Airfoil Design) συνεχίζουμε αναζητώντας το βέλτιστο σχεδιασμό για κάθε περίπτωση.

Στην οπίσθια αεροτομή όπως φαίνεται στην εικόνα 53 χρησιμοποιήθηκαν τέσσερα φτερά εκ των οποίων το ένα αποτελεί το φτερό του συστήματος DRS (φτερό 4), ενώ το φτερό 1 δεν είναι ενιαίο αλλά αποτελείται από δύο βοηθητικά τμήματα στην δεξιά και αριστερή κάθετη πλάκα (endplate) αντίστοιχα, η χρήση τους είναι να κατευθύνει μεγαλύτερη ποσότητα αέρα στο φτερό 4. Τα φτερά 1 και 2 πλησιάζουν στα πρότυπα τυποποίησης NACA 4412 (εικόνα 54), το φτερό 3 σε αυτό της NACA 0006 (εικόνα 55), ενώ το φτερό 4 είναι αυτό που δυσκολότερα από όλα μπορεί να ενταχθεί σε κάποια κατηγορία καθώς οι αλλαγές που έχει υποστεί είναι αρκετές, ενώ αρχικά πρόκειται για ένα φτερό τύπου NACA 6412 (εικόνα 56).



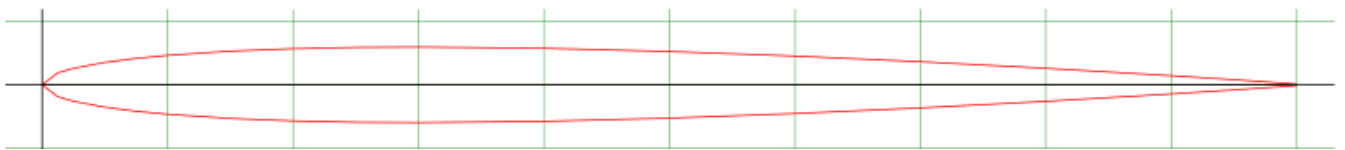
Εικόνα 53: Πλάγια όψη οπίσθιας αεροτομής και των φτερών που την αποτελούν.

NACA 4412 - NACA 4412 airfoil



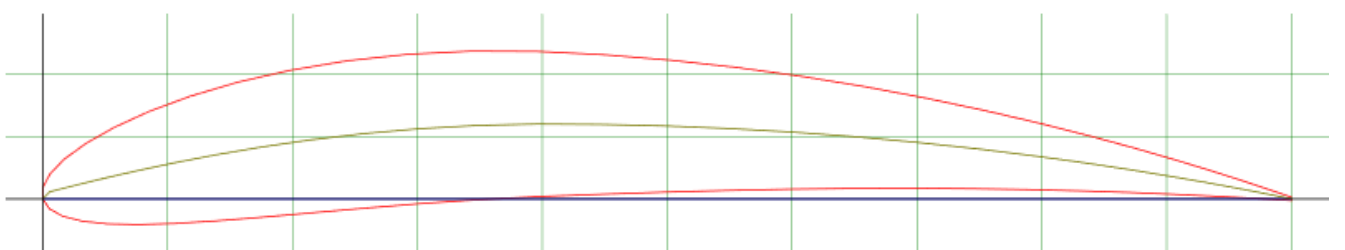
Εικόνα 54

NACA 0006 - NACA 0006 airfoil



Εικόνα 55

NACA 6412 - NACA 6412 airfoil

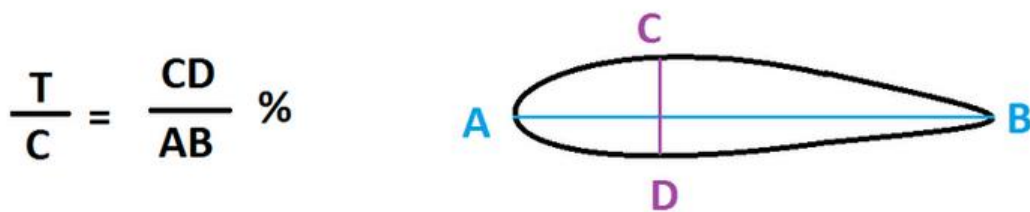


Εικόνα 56

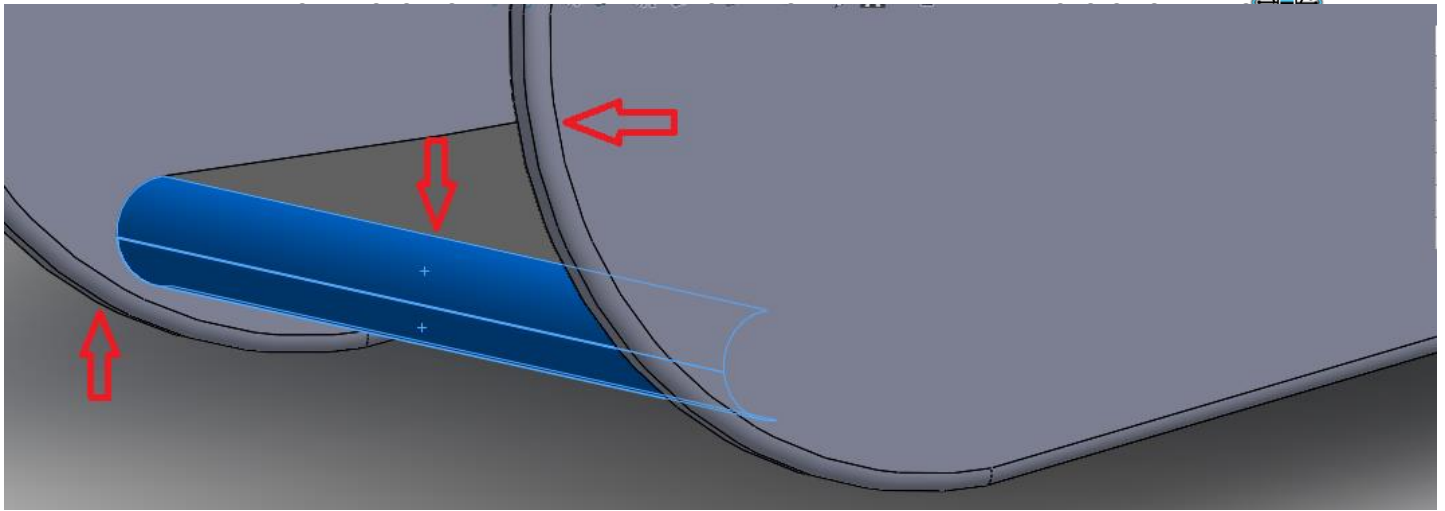
Τα φτερά 1, 2 επιλέχθηκαν και διαμορφώθηκαν έτσι ώστε να έχουν μικρό λόγο t/c (εικόνα 57) μιας που πρόκειται για βοηθητικά τμήματα τα οποία διαχειρίζονται και κατευθύνουν μέρος της αεροδυναμικής ροής. Επίσης τα δύο αυτά φτερά είναι τα πρώτα που έρχονται αντιμέτωπα με τις ακανόνιστες αεροδυναμικές ροές και γι αυτό το λόγο επιλέχθηκαν ώστε να υπάρχει σε πρώτη φάση μια πτέρυγα με μικρή μετωπική επιφάνεια για ελάχιστη οπισθέλκουσα σε πρώιμο στάδιο πριν η αεροδυναμική ροή αποχωρήσει της οπίσθιας αεροτομής.

Το φτερό 3 επιλέχθηκε για αντίστοιχο λόγο με τα 1, 2 με έναν επιπλέον παράγοντα να υποστηρίζει την επιλογή μας αυτή, το ότι πρόκειται για το φτερό DRS, δηλαδή ένα κινούμενο μέρος το οποίο θέλουμε να έχει μικρή μάζα. Το σημαντικότερο να έχει επίπεδη – κάθετη πλευρά κατά την κατάσταση φρεναρίσματος όπου θα παρουσιάζει μια μεγάλη επιφανειακή αντίσταση για αισθητή ενίσχυση του συστήματος πέδησης. Σε κατάσταση επιτάχυνσης θέλουμε τη μικρότερη δυνατή επιφανειακή αντίσταση και μικρή οπισθέλκουσα, πράγμα όπου μας προσφέρει ο τύπος NACA 0006.

Όσο για το κύριο πτερύγιο, δηλαδή το 4, επιλέχθηκε ένας τύπος όπου προσφέρει χαμηλό αριθμό Reynolds αλλά μεγάλο λόγο t/c με σκοπό να φιλοξενήσει απαραίτητους αισθητήρες για το όχημα ή ακόμα και μέρος του εξοπλισμού του συστήματος DRS.



Εικόνα 57: Λόγος t/c

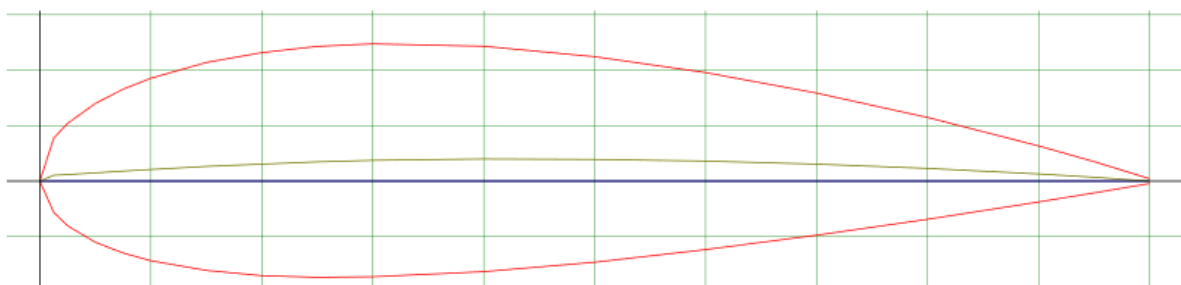


Εικόνα 58: Λεπτές επιφάνειες πρόσθιας αεροτομής – η αρχή κάθε επιφάνειας είναι καμπύλη

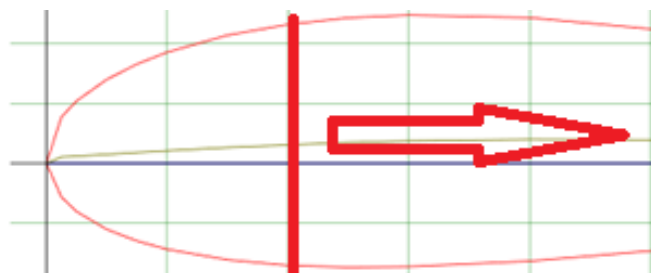
Στην πρόσθια αεροτομή (εικόνα 58) ακολουθείται μια διαφορετική τακτική καθώς δε χρησιμοποιούνται στη δομή της εξ ολοκλήρου τυποποιημένα φτερά ή παραλλαγές αυτών αλλά επιλέχθηκαν πολύ λεπτές επιφάνειες για όλες τις γεωμετρίες (μικρό πάχος) ώστε να είναι αμελητέα η επιφανειακή τους αντίσταση αλλά και να είναι εύκολη η επίτευξη μιας πολύπλοκης γεωμετρίας. Φυσικά για την αρχή κάθε επιφάνειας, όπως βλέπουμε και στην εικόνα , παραπάνω, δεν υπάρχει μια επίπεδη επιφάνεια αλλά μια καμπύλη γεωμετρία η οποία θυμίζει τη γεωμετρία του πρόσθιου τμήματος κάποιου φτερού. Στη περίπτωση αυτή το φτερό που πλησιάζει τη γεωμετρία αυτή κατά τη τετραψήφια τυποποίηση NACA είναι το 2421 (εικόνες 59, 60).

NACA 2421 (naca2421-il)

NACA 2421 - NACA 2421 airfoil



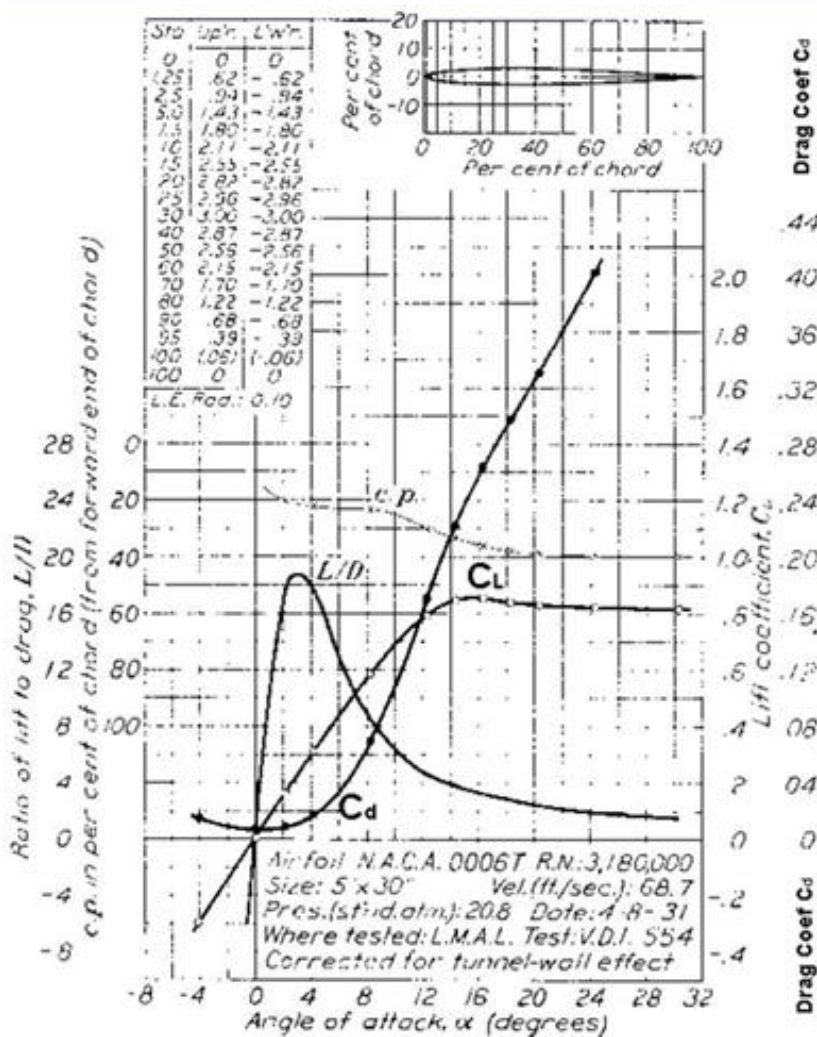
Εικόνα 59



Εικόνα 60: Πρόσθιο τμήμα φτερού τύπου NACA 24221

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ 1 : Ο αριθμός Reynolds είναι μια αδιάστατη τιμή που μετρά το λόγο των αδρανειακών δυνάμεων σε ιξώδεις δυνάμεις και αποδίδει τον βαθμό της στρωτής ή τυρβώδους ροής. Συστήματα που λειτουργούν με τον ίδιο αριθμό Reynolds θα έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά ροής, ακόμη και αν το ρευστό, η ταχύτητα και τα χαρακτηριστικά μήκη ποικίλλουν.

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ 2 : Στους χαμηλούς αριθμούς Reynolds, οι ροές τείνουν να είναι ομαλότερες και κυριαρχούνται από τη ροή σε σχήμα φύλλου, ενώ σε υψηλές αριθμούς Reynolds παρουσιάζονται αναταράξεις οι οποίες οφείλονται σε διαφορές στην ταχύτητα και στην κατεύθυνση του υγρού, οι οποίες μπορεί μερικές φορές να διασταυρώνονται ή ακόμα και να κινούνται σε αντίθεση με τη συνολική κατεύθυνση της ροής (δινορευτικά ρεύματα). Αυτά τα φουσκωμένα ρεύματα αρχίζουν να χύνουν τη ροή, χρησιμοποιώντας ενέργεια μέχρι τη διαδικασία, η οποία για τα υγρά αυξάνει τις πιθανότητες σπηλαίωσης.



NACA 0006 Data at Re = 3,180,000

Αναλογία ανύψωσης προς οπισθέλκουσα (L/D)

Σημείο κέντρου πίεσης (c.p.)
Συμβολισμός α

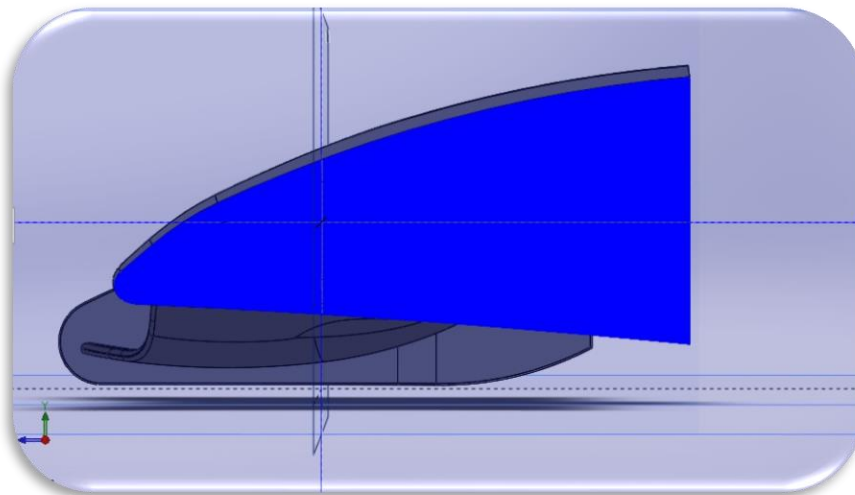
Εικόνα 61: Γωνία προσβολής – συντελεστές Cl, Cd

4.5.4 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΠΑΚΕΤΟΥ

Ο σχεδιασμός του αμαξώματος έγινε με το εμπορικό λογισμικό SolidWorks. Όλοι οι υπολογισμοί γίνονται για μέγιστη ταχύτητα 120 km/h, που αποτελεί απλώς μια υπόθεση της μέγιστης ταχύτητας του αυτοκινήτου κατά τη διάρκεια του αγώνα και λαμβάνοντας υπόψη την ισχύ του και το μήκος της διαδρομής.

Εμπρόσθιο τμήμα (Nose)

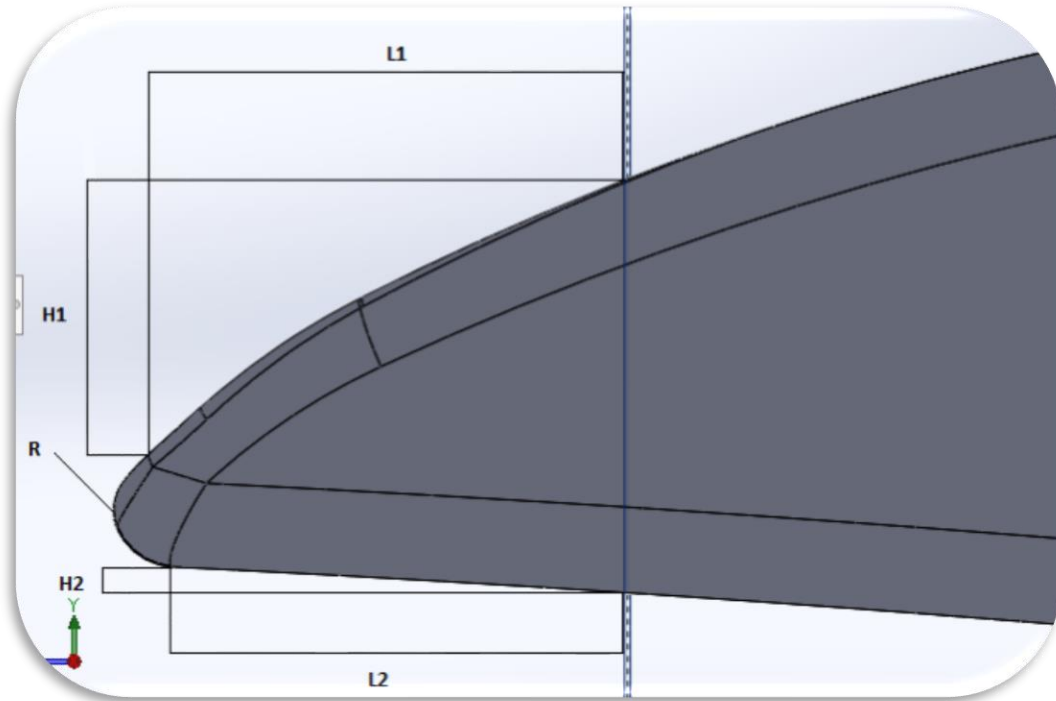
Το εμπρόσθιο τμήμα (μύτη) του μονοθέσιου είναι γνωστό και ως nose ή ως nose cone λόγω της κωνικότητας που παρουσιάζει σε ένα όχημα τύπου formula, όπως η formula student. Το τμήμα αυτό είναι το πρώτο που έρχεται σε επαφή με το τοίχος αέρα γι αυτό είναι πολύ σημαντικό το πώς διαχωρίζει τη ροή του αέρα που συνεχίζει έπειτα από αυτό καθώς και τη συμπεριφορά των ροών αυτών. Το τμήμα αυτό έχει καθοριστικό ρόλο και όσο αναφορά την ποσότητα αέρα που θα περάσει κάτω από το όχημα. Στο άνω μέρος, το ρευστό πρέπει να καθυστερήσει όσο το δυνατόν περισσότερο την αποκόλληση του οριακού στρώματος.



Εικόνα 62: Πλάγια τομή πρόσθιου τμήματος.

Κατά τον σχεδιασμό αναλύθηκε η επίδραση του ύψους της μύτης σε σχέση με τις δυνάμεις της οπισθέλκουσας (drag force) και της ανύψωσης (lift force). Στην εικόνα 62 απεικονίζεται σε πλάγια τομή το εμπρόσθιο τμήμα ενώ στην εικόνα 63 παρουσιάζονται μερικές από τις βασικές γεωμετρικές παραμέτρους του. Οι παράμετροι L1, H1 έχουν να κάνουν με την άνω κλίση ενώ οι L2, H2 με την κάτω, το

ύψος είναι το L_2 συν την ακτίνα του κύκλου. Το πλάτος τις μύτης καθορίζεται από το πλαίσιο καθώς επίσης και από την επιθυμία της ομάδας να προσθέσει κάποιο φτερό στο εμπρόσθιο αυτό τμήμα.



Εικόνα 63: Βασικοί γεωμετρικοί παράμετροι πρόσθιου τμήματος.

Όπως ορίζεται στους κανονισμούς το εμπρόσθιο τμήμα πρέπει να φέρει ένα στοιχείο για την εξασθένιση των επιπτώσεων σε περίπτωση σύγκρουσης. Αυτό το στοιχείο μπορεί να σχεδιαστεί από την ομάδα ή απλά να χρησιμοποιηθεί το μοντέλο που δίνει ο οργανισμός SAE για το διαγωνισμό αυτό. Σε αυτή την περίπτωση, λαμβάνοντας υπόψη ότι αυτό είναι το πρώτο αυτοκίνητο που σχεδιάστηκε και πρέπει να επενδυθούν πόροι σε άλλα μέρη, από την ομάδα αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθεί ένα έτοιμο από τη διοργάνωση στοιχείο καθώς μια τέτοια ιδιοκατασκευή απαιτεί πολλές ώρες μελέτης και μεγάλο κόστος υλικών και κατεργασίας.

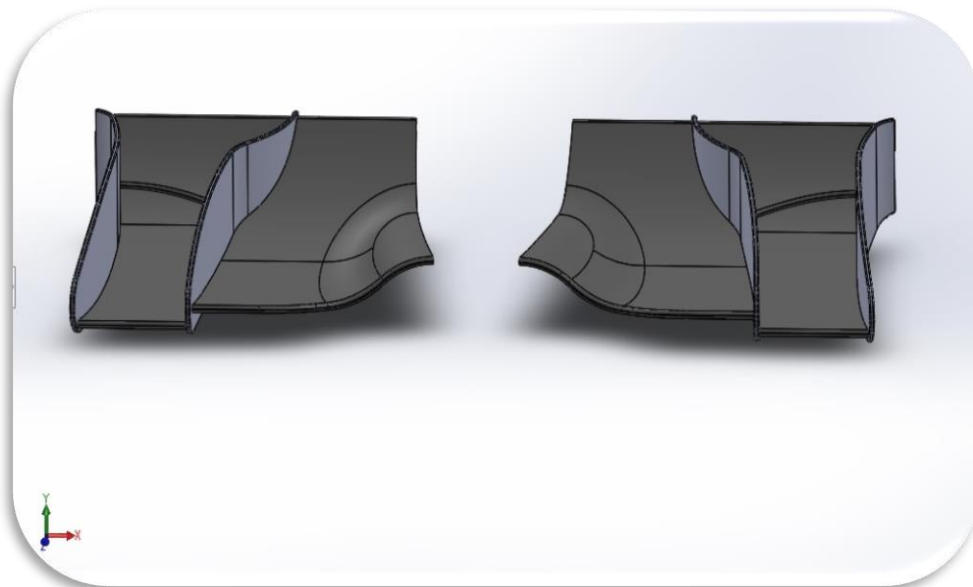
Εμπρόσθια αεροτομή

Ο σχεδιασμός της εμπρόσθιας αεροτομής έχει στόχο το μέγιστο δυνατό κέρδος κάθετης δύναμης αλλά σε συνδυασμό με το εμπρόσθιο τμήμα (nose cone) δεν πρέπει να περνά τις επιτρεπόμενες από τη διοργάνωση διαστάσεις. Η τακτική που εφαρμόστηκε είναι ο σχεδιασμός όσο το δυνατό μεγαλύτερης αεροτομής εντός το επιτρεπόμενων ορίων ενώ θα πρέπει να μελετηθεί η γωνία αυτής καθώς και η απόσταση της από το έδαφος. Η απόσταση από το έδαφος επιλέχθηκε κατόπιν διαφόρων προσομοιώσεων σε πρόγραμμα υπολογιστικής ρευστοδυναμικής. Μετά από σύγκριση της πυκνότητας και της πίεσης των αεροδυναμικών ροών που σχηματιζόταν έγινε η επιλογή της απόστασης από το έδαφος σε 85 mm, λαμβάνοντας πάντα το γεγονός ότι το όχημα θα οδηγηθεί και δοκιμαστεί μόνο εντός ειδικά διαμορφωμένων χώρων και αυτοκινητοδρομιών, όπου δεν θα υπάρξει κάποια έντονη ανωμαλία στο έδαφος.

Η έρευνα συνεχίστηκε με την γωνία της αεροτομής όπου τρεις γωνίες επιλέχθηκαν και μελετήθηκαν ξεχωριστά. Οι τελικές πλάκες στις άκρες της πτέρυγας σχεδιάστηκαν χωρίς καμία υποκείμενη ανάλυση, βασισμένη αποκλειστικά σε γνώσεις μελών της ομάδας και έρευνες από άλλες ομάδες. Οι γωνίες που επιλέχθηκαν ώστε να εξετασθούν έχουν χρησιμοποιηθεί από διάφορες ομάδες που είχαμε ως πρότυπα σύγκρισης. Οι γωνίες αυτές είναι 22, 24 και 26 μοίρες. Τα αποτελέσματα από τις προσομοιώσεις δίνουν περιορισμένη εικόνα της πλήρους συμπεριφοράς της εμπρόσθιας πτέρυγας, αλλά τουλάχιστον δείχνει ότι και οι τρεις γωνίες μπορούν να λειτουργήσουν σωστά και ότι η απόδοση αυξάνεται μέχρι τουλάχιστον μια γωνία 26°. Κατά την συνέχεια των προσομοιώσεων με την προσθήκη του οπίσθιου πτερυγίου, η εμπρόσθια πτέρυγα κρατήθηκε υπό γωνία προσβολής 26°.

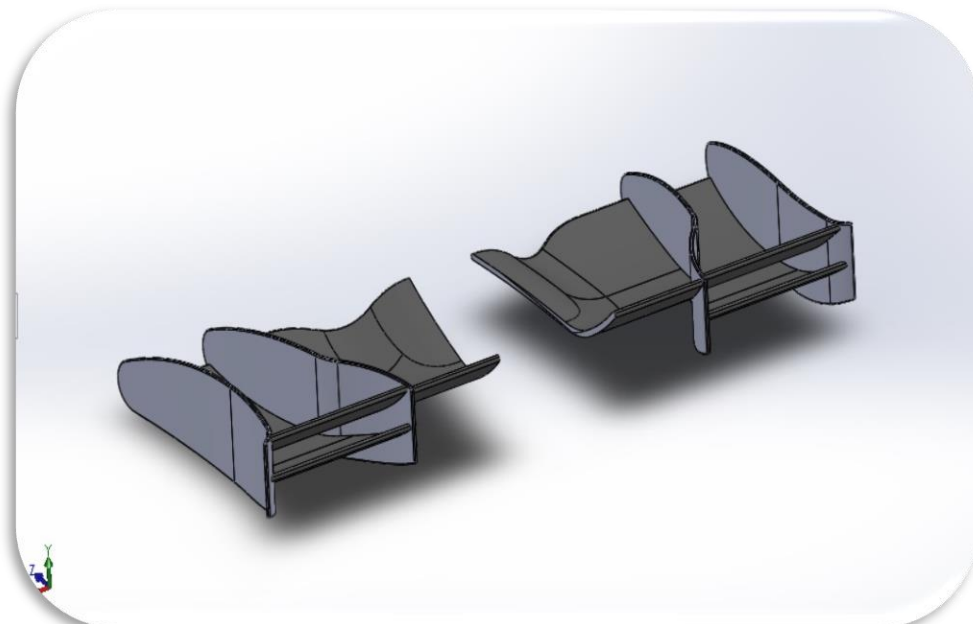
Πίνακας 2: Συντελεστής ανύψωσης C_L για διαφορετικές μοίρες της εμπρόσθιας αεροτομής.

$\alpha(^{\circ})$	C_L
22	0.7345
24	0.7742
26	0.7812



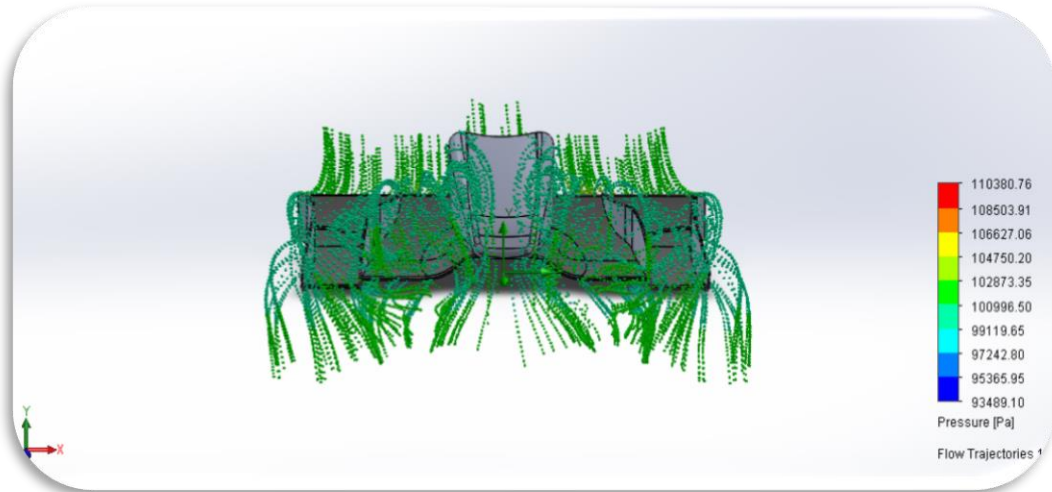
Εικόνα 64: Εμπρόσθια όψη αεροτομής.

Η γεωμετρία της εμπρόσθιας αεροτομής είναι τέτοια ώστε να εφαρμόζεται με ακρίβεια στο εμπρόσθιο τμήμα του μονοθέσιου. Οι διαστάσεις της μετά την εφαρμογή της στο εμπρόσθιο τμήμα δεν είναι μεγαλύτερες από τις επιτρεπτές.

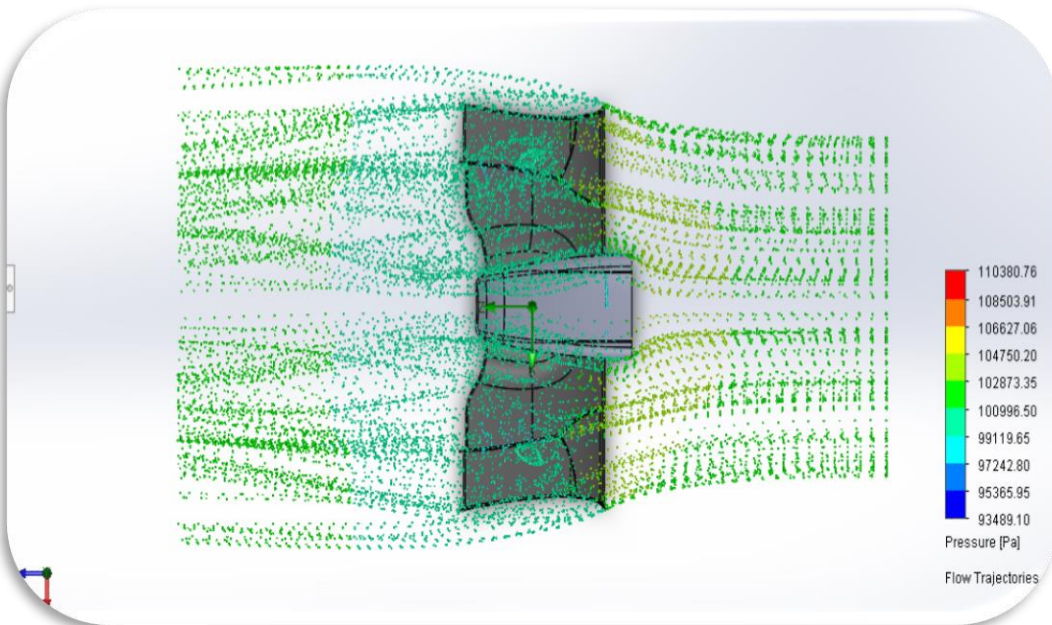


Εικόνα 65: Οπίσθια όψη αεροτομής.

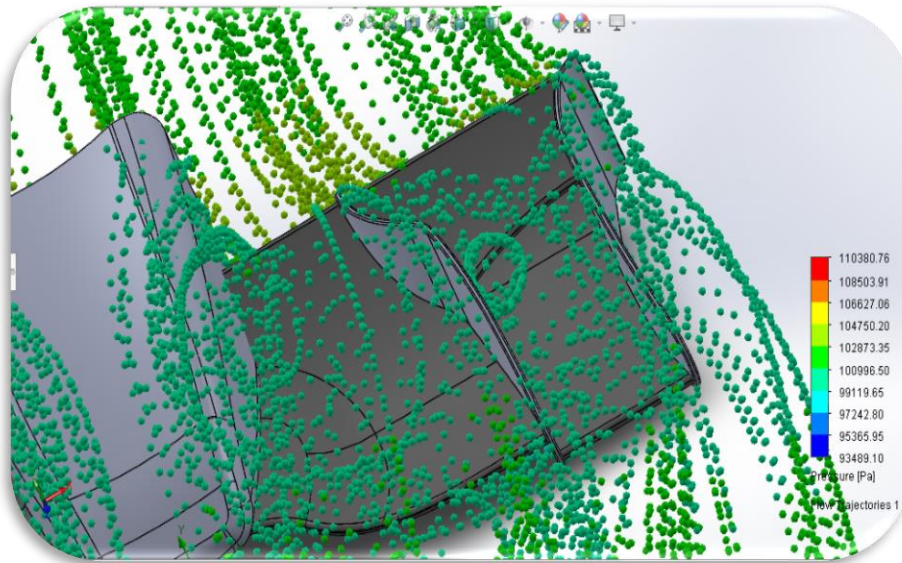
Κατά την αεροδυναμική μελέτη του πρόσθιου τμήματος, αεροδυναμικές ροές κατευθύνονται προς το εξεταζόμενο αντικείμενο όπου στη περίπτωση μας είναι το πρόσθιο μέρος του οχήματος σε συνδυασμό με την αεροτομή του (εικόνα 66, 67). Στη συνέχεια παρουσιάζεται από κοντά πλέον (εικόνα 68) η συμπεριφορά των αεροδυναμικών ροών όπου προσεγγίζουν την αεροτομή του πρόσθιου τμήματος.



Εικόνα 66: αεροδυναμική προσομοίωση πρόσθιου τμήματος του οχήματος, πρόσθια όψη.



Εικόνα 67: αεροδυναμική προσομοίωση πρόσθιου τμήματος του οχήματος, άνω όψη.

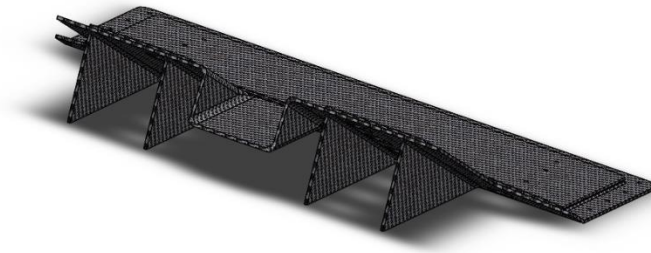


Εικόνα 68: Ελάχιστη ακανόνιστη κίνηση και στροβιλισμός των ροών του αέρα.

Αξίζει να σχολιαστεί στην εικόνα 68 πως εστιάζοντας σε συγκεκριμένα σημεία, όπως το εικονιζόμενο, παρατηρούμε ακανόνιστη κίνηση των ροών του αέρα. Η κίνηση αυτή θυμίζει στρόβιλο και ονομάζεται τύρβη. Δεν είναι επιθυμητό ένα τέτοιο φαινόμενο διότι υπάρχει αύξηση της αεροδυναμικής αντίστασης και μεγαλώνει το μέγεθος της οπισθέλκουσας. Δεν είναι δυνατή η εξάλειψη τέτοιων φαινομένων αλλά επιδιώκεται η μείωση τους για την επίτευξη ενός καλού αεροδυναμικού συντελεστή. Για να διασφαλίσουμε ότι ο αέρας οδηγήθηκε κάτω από το αυτοκίνητο και στην κύρια σήραγγα κάτω του οχήματος, εφαρμόσαμε θετική γωνία προσβολής του κεντρικού τμήματος της εμπρός πτέρυγας.

Διαχύτης

Ο διαχύτης είναι από τα πιο σημαντικά μέρη του αυτοκινήτου επειδή το ρευστό που κινείται γρήγορα στο κάτω μέρος του αυτοκινήτου πρέπει να επιβραδύνει και αυτή η κατάσταση παράγει οπισθέλκουσα και ανάλογα με το πόσο ομαλός είναι ο διαχύτης, μπορεί να δημιουργήσει ανύψωση ή πτώση (negative-positive lift). Κατά την σχεδίαση του διαχύτη υπήρξε η σκέψη αρχικά της χρήσης πολλών μικρών φτερών (endplates), στον διαχύτη, μια εικόνα όπου συχνά παρουσιάζεται σε σπορ αυτοκίνητα. Έπειτα της αεροδυναμικής μελέτης προέκυψε το συμπέρασμα ότι για την περίπτωση μας η χρήση αυτών δεν ήταν αναγκαία καθώς δεν υπήρξε κανένα όφελος. Τελικά καταλήξαμε στην απλοποίηση του σχεδίου τοποθετώντας μόνο τέσσερα κατά μήκος του διαχύτη φτερά αλλά μεγαλύτερου μεγέθους όπως φαίνεται στην εικόνα 90.



Εικόνα 69: Διαχύτης του μονοθέσιου.



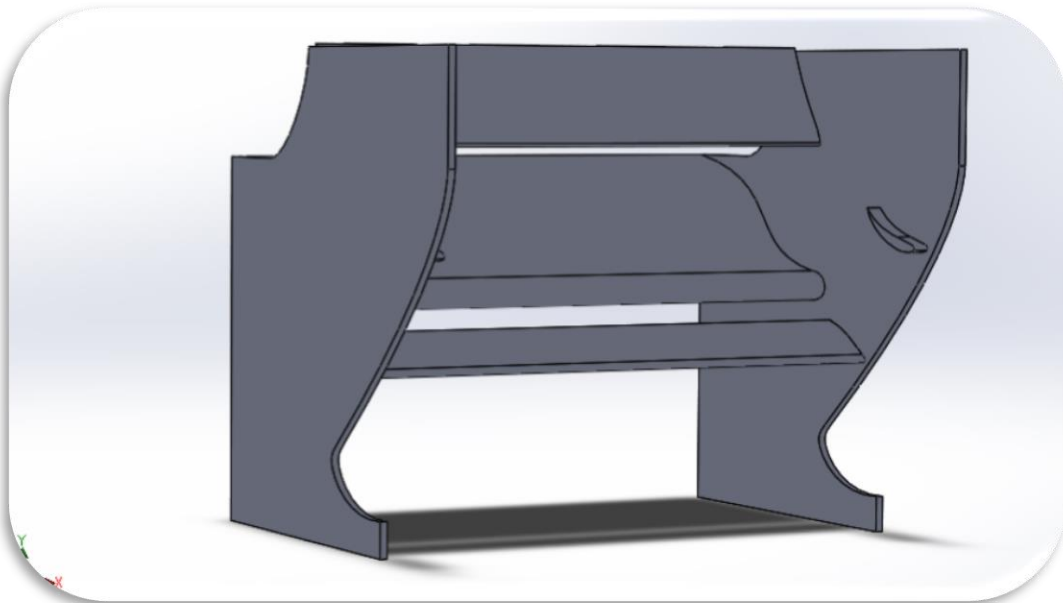
Εικόνα 70: Διαχύτης του μονοθέσιου.

Τα φτερά στο διαχύτη επιβραδύνουν την αεροδυναμική ροή που εξέρχεται από το κάτω μέρος του οχήματος αλλά και την κατευθύνουν με τρόπο τέτοιο ώστε να μειώνονται οι άμεσες αεροδυναμικές τύρβες πίσω από το όχημα. Επίσης τα φτερά αυτά χρησιμοποιούνται για να παρέχουν ακαμψία στο στοιχείο και να μειώσουν τη δημιουργία μεγάλων στροβίλων μετά το αυτοκίνητο. Τα αυλάκια που δημιουργούνται από την άλλη (όχι επίπεδο τελείωμα) έχουν σαν αποτέλεσμα την δημιουργία στροβίλων στην ταραχώδη ροή. Αυτές οι δίνες αλλάζουν την ροή σε ταραχώδη αλλά αποφεύγουν την αποκόλληση της στρωτής ροής όπου θα ήταν ακόμα χειρότερο για τη συμπεριφορά του αυτοκινήτου. Η μεταβολή της δύναμης οπισθέλκουσας είναι σταθερή, αλλά η δύναμη ανύψωσης μειώνεται όσο μεγαλύτερη είναι η γωνία του διαχύτη, αυτό είναι ωφέλιμο για την ύπαρξη κάθετης δύναμης. Αρνητικές τιμές την δύναμης ανύψωσης υποδηλώνουν κάθετη δύναμη όπου είναι και το επιθυμητό.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται μερικές από τις βασικότερες τιμές που αφορούν τον διαχύτη.

Εξάρτημα	Γωνία αποχώρησης αεροδυναμικής ροής	Οπισθέλκουσα	Ανύψωση	Πλευρική δύναμη
Διαχύτης	28(°)	52,35 N	27,56 N	-0,11 N

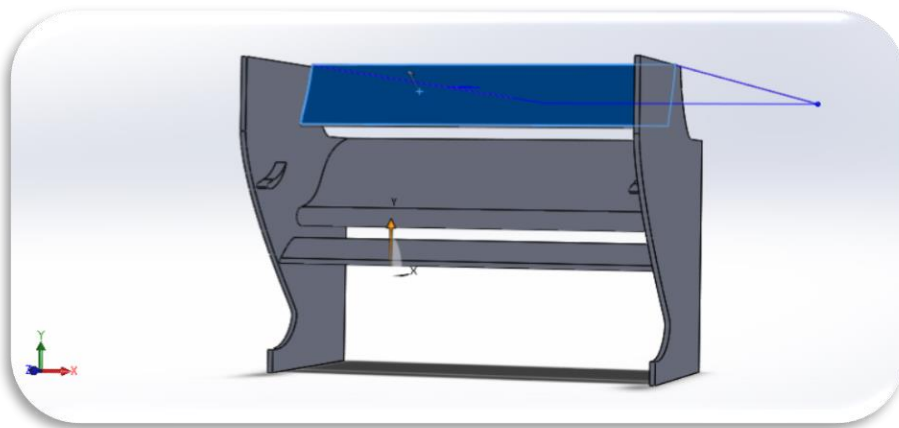
Οπίσθια αεροτομή



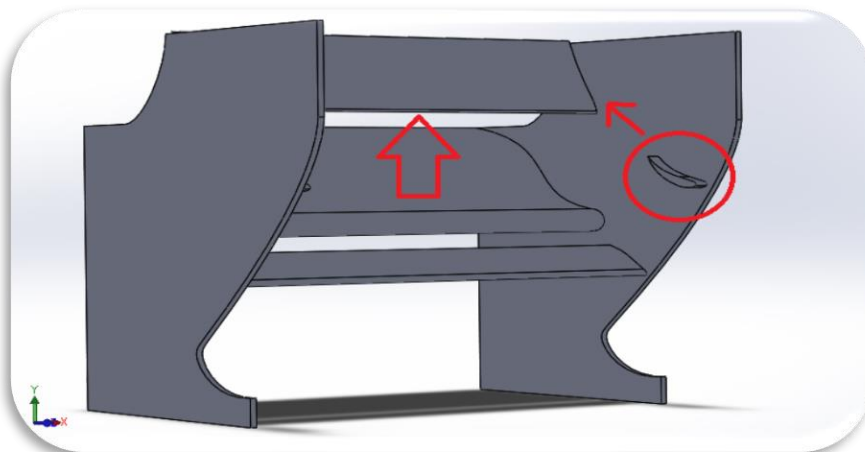
Εικόνα 71

Μετά την ολοκλήρωση των προσομοιώσεων των εμπρόσθιων πτερών, ήρθε η ώρα να σχεδιάσουμε και τοποθετήσουμε την πίσω αεροτομή στη θέση της. Η σχεδίαση του πτερυγίου ήταν τέτοια ώστε να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερο, τοποθετήθηκε πάνω από τους πίσω τροχούς και οι πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις που θα έλεγαν αν η τοποθέτηση έπρεπε να ρυθμιστεί για να επιτευχθεί η επιθυμητή κατανομή φορτίου. Για μεγαλύτερη απόδοση εφαρμόστηκε αεροτομή με σύστημα ελεγχόμενης μείωσης της οπισθέλκουσας ή όπως είναι ευρέως γνωστό DRS (Drag Reduction Systems) του οποίου θα ελέγχεται με ηλεκτρονικό τρόπο από τον οδηγό. Το σύστημα θα απενεργοποιείται όταν ο οδηγός αγγίζει τα φρένα, μετά τη χρήση της πίσω πτέρυγας. Κατά την κίνηση του μονοθέσιου στην

ευθεία η ελεγχόμενη πτέρυγα έρχεται σε μια πιο οριζόντια θέση με αποτέλεσμα να μειώνει την δύναμη της οπισθέλκουσας πετυχαίνοντας μεγαλύτερη επιτάχυνση και τελική ταχύτητα. Αντίθετα με το πάτημα του φρένου η πτέρυγα αυτή έρχεται σε κάθετη ως προς το επίπεδο αναφοράς (οδόστρωμα) θέση αυξάνοντας την οπισθέλκουσα και κάνοντας αποτελεσματικότερη την πέδηση. Η αεροδυναμική μελέτη της οπίσθιας αεροτομής και αναπαράσταση αεροδυναμικής ροής γύρω από αυτή πραγματοποιήθηκε και μέσω του προγράμματος προσομοίωσης SolidWorks Flow simulation. Στις εικόνες 60 έως 62 παρουσιάζεται το τελικό σχέδιο της οπίσθιας αεροτομής.

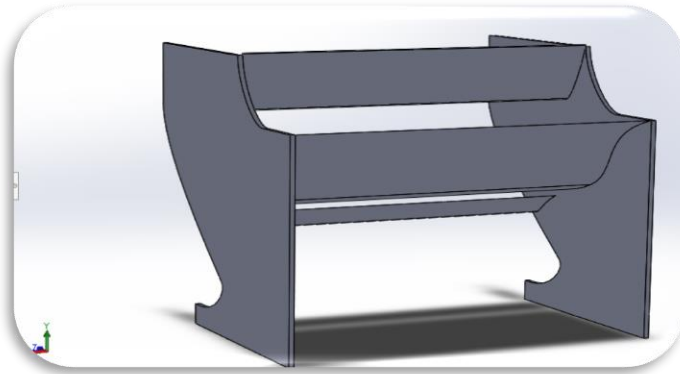


Εικόνα 72 Απεικόνιση ελεγχόμενης πτέρυγας αεροτομής DRS.



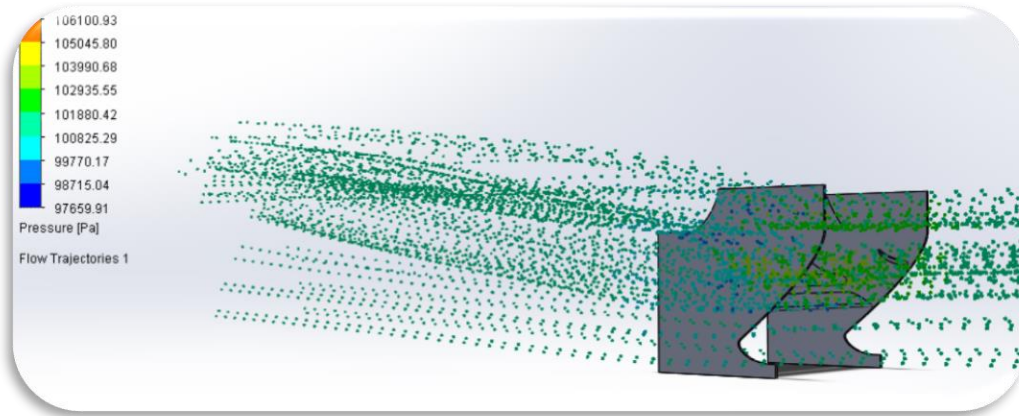
Εικόνα 73

Για τον καλύτερο έλεγχο της αεροδυναμικής ροής και την μεγαλύτερη ποσότητα εισερχόμενου αέρα από την ελεγχόμενη αεροτομή έχουν τοποθετηθεί από της δύο πλευρές πτερύγια υπό κλίση. Η γεωμετρία και η κλίση με την οποία έχουν τοποθετηθεί τα υπόλοιπα φτερά έχουν σαν αποτέλεσμα την κατεύθυνση μεγάλου μέρους της ροής προς την ελεγχόμενη πτέρυγα, εκεί όπου θα υπάρξει καλύτερη αξιοποίηση.

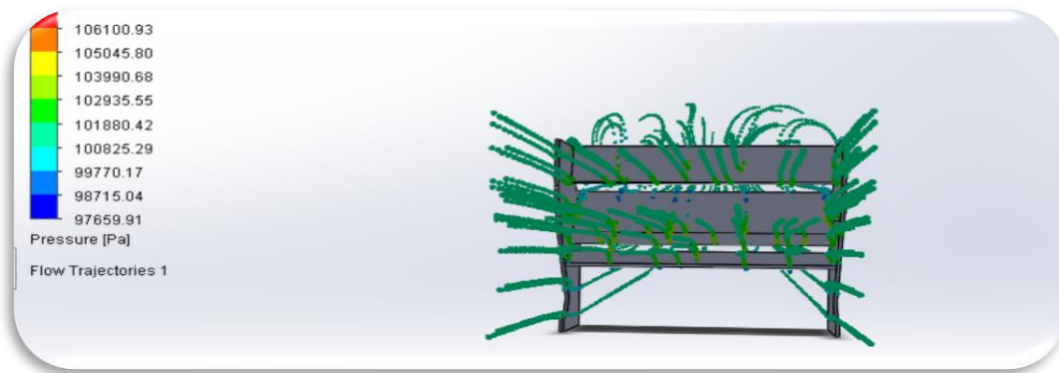


Εικόνα 74: Όψη της οπίσθιας αεροτομής.

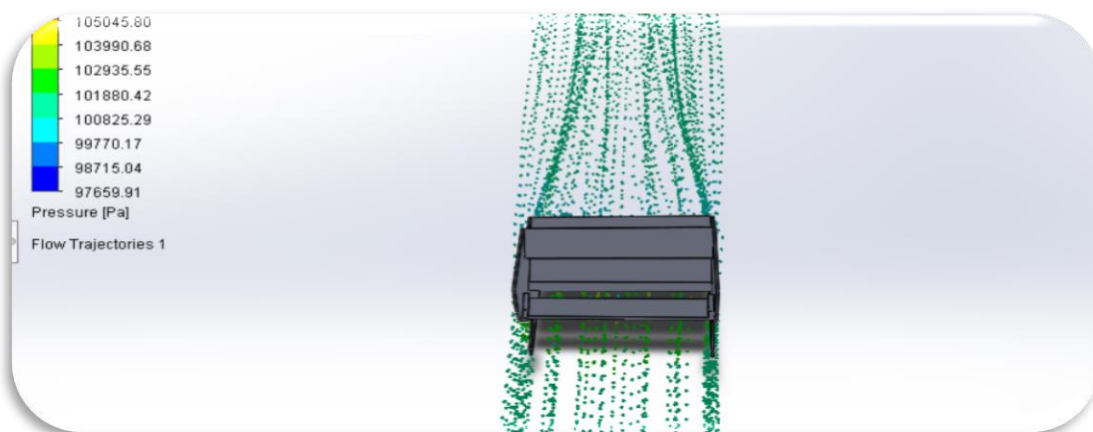
Πραγματοποιήθηκαν δύο προσομοιώσεις, μία με ταχύτητα εισόδου αέρα στα 17 m / s και άλλη με ταχύτητα 34 m / s για να ελεγχθεί πως η κατανομή φορτίου αλλάζει σύμφωνα με διαφορετικές ταχύτητες. Τα 34 m / s αντιστοιχούν στην θεωρητική μέγιστη ταχύτητα, περίπου δηλαδή 120 Km / h , επομένως σε αυτή την προσομοίωση παρατηρείται και η μέγιστη ικανότητα για κάθετη δύναμη της οπίσθιας αεροτομής. Στην εικόνα 63 έχουμε μια γενική εικόνα των ροών που κατευθύνονται και περνούν από την οπίσθια αεροτομή. Όπως είναι φανερό από τις ομαλές καμπύλες που σχηματίζονται κατά την έξοδο των ροών από την αεροτομή αλλά φυσικά και από το υπόμνημα του χρωματικού πίνακα, η οπίσθια αεροτομή εκτελεί βέλτιστα τη λειτουργία της. Έχοντας στην περίπτωση μας το σύστημα DRS ανοιχτό λαμβάνουμε όλες τις επιθυμητές συνέπειες, δηλαδή, μικρότερη αεροδυναμική αντίσταση, αποφυγή υψηλών πιέσεων οπισθέλκουσας και ακανόνιστων ροών – στροβιλισμών.



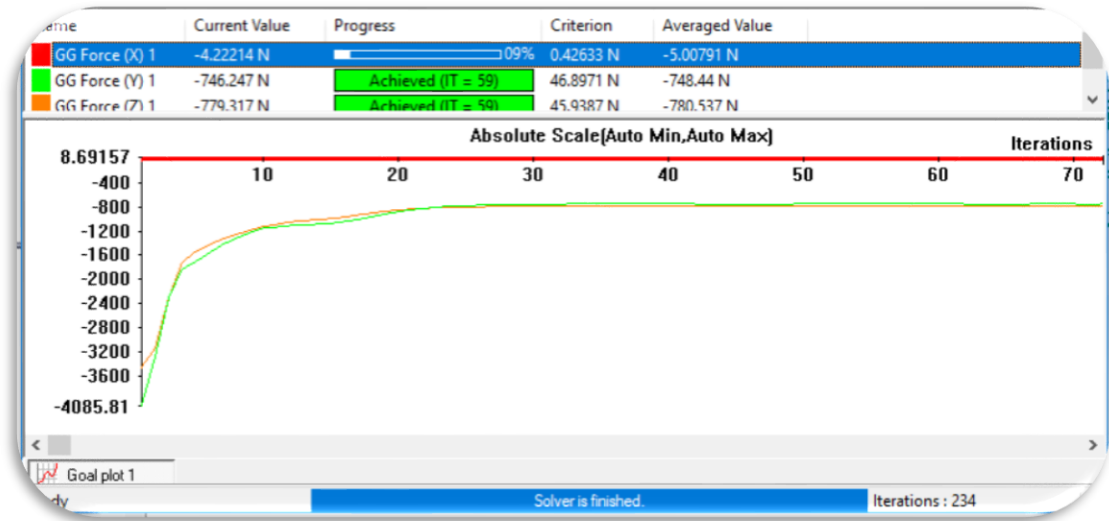
Εικόνα 75: Αεροδυναμικές ροές πριν και έπειτα της οπίσθιας αεροτομής, πλάγια όψη.



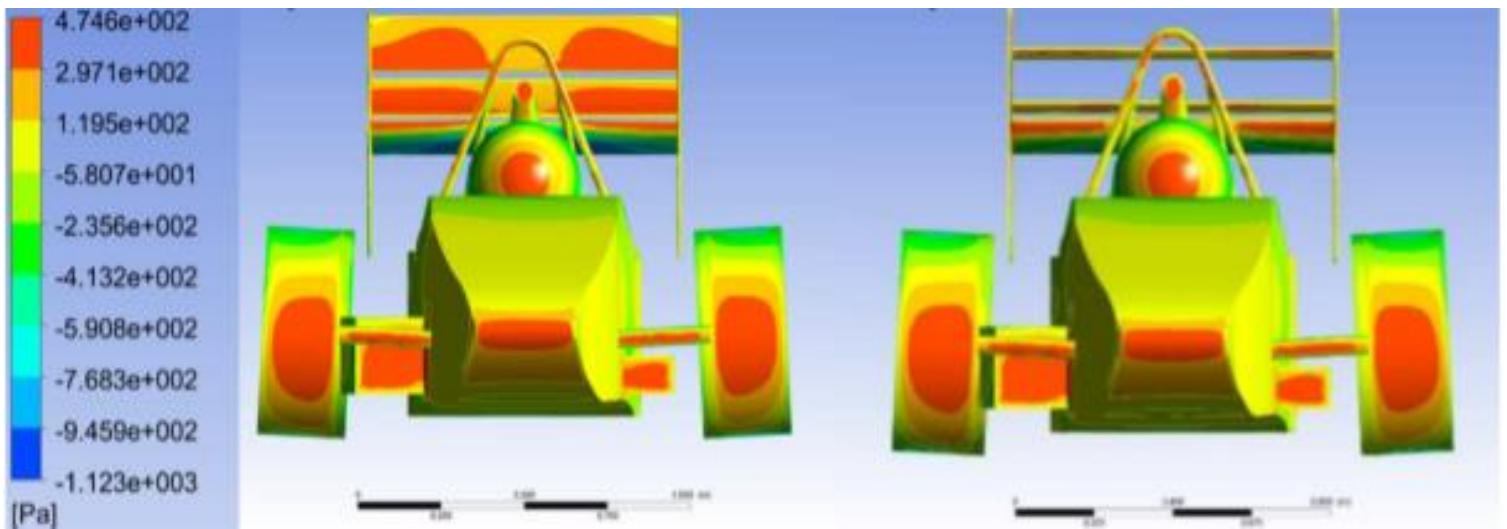
Εικόνα 76: Αεροδυναμικές ροές έπειτα της αεροτομής.



Εικόνα 77: Αεροδυναμικές ροές πριν και έπειτα της οπίσθιας αεροτομής, άνω όψη.



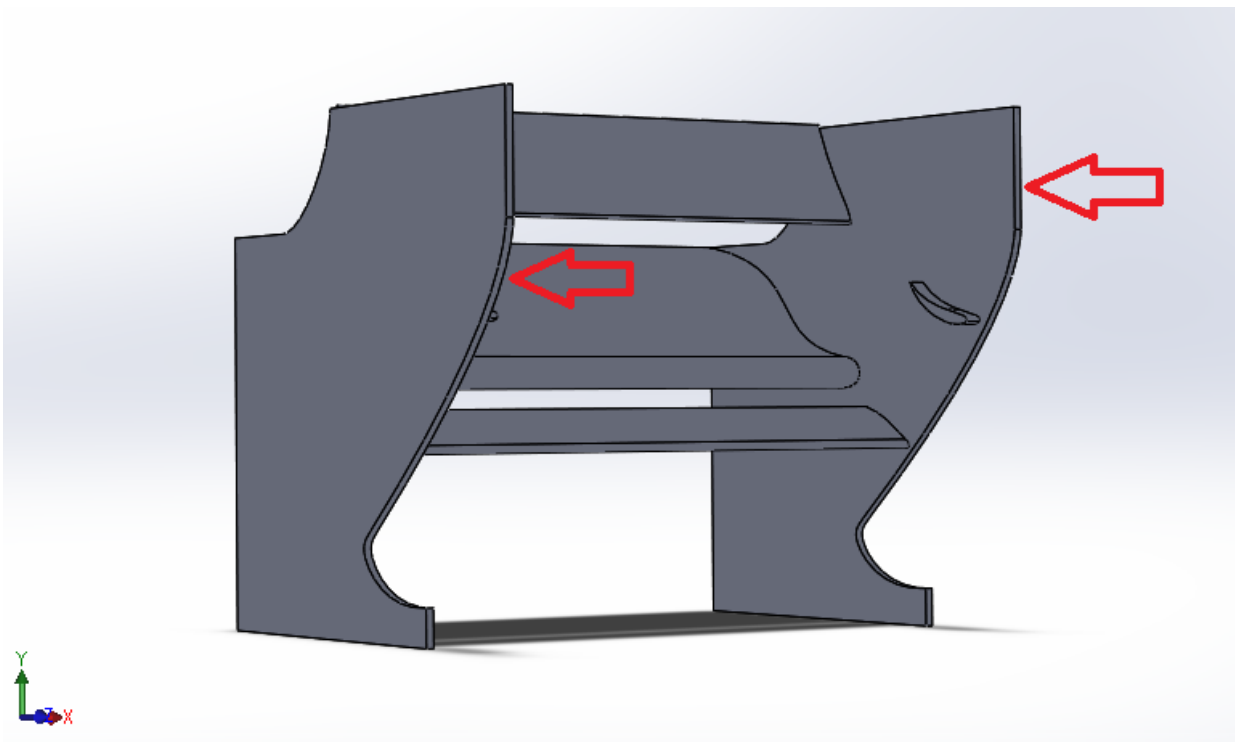
Εικόνα 78: Αποτελέσματα προσομοίωσης και τιμές ανά άξονα.



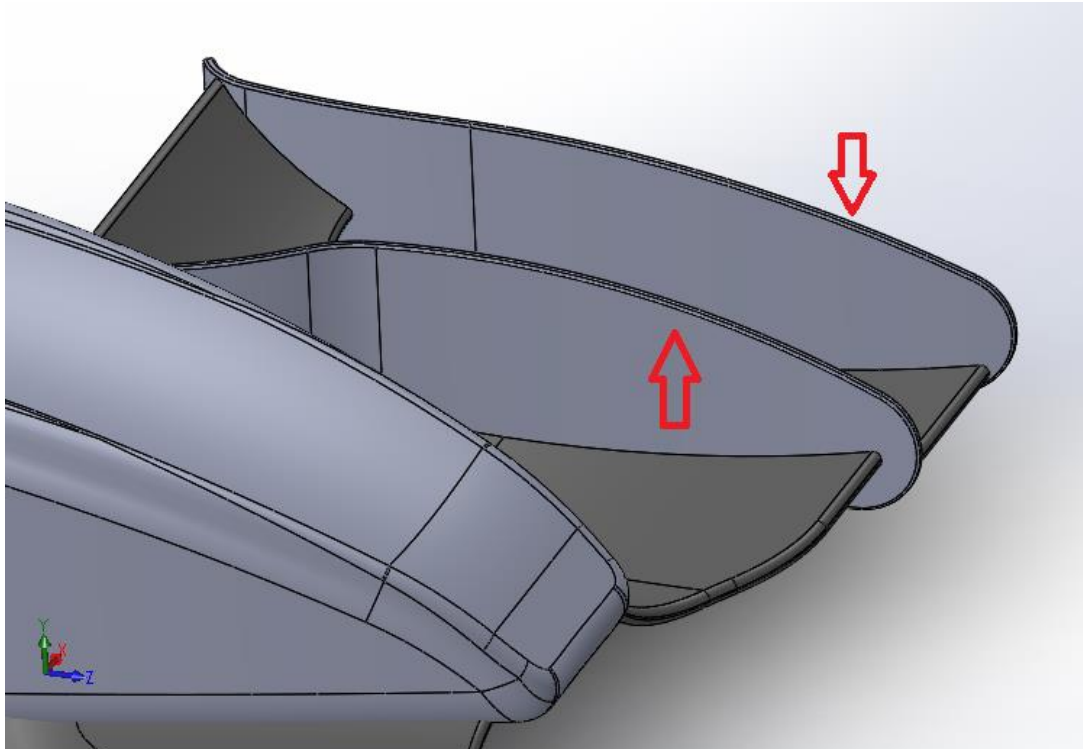
Εικόνα 79: Προσομοίωση του οχήματος με το σύστημα DRS ενεργοποιημένο (δεξιά), απενεργοποιημένο (αριστερά)

Τελικές πλάκες φτερών (Wing endplates)

Τόσο στη πρόσθια όσο και στην οπίσθια αεροτομή τα αεροδυναμικά φτερά σε κάθετες αεροδυναμικές πλάκες, τα endplates. Η χρήση τους έχει καθοριστικό ρόλο για την αεροδυναμική απόδοση και τελικά τη συμπεριφορά του μονοθεσίου. Στην οπίσθια αεροτομή οι δύο τελικές πλάκες των φτερών (δεξιά και αριστερά) αποτελούν επίσης μέσο στηρίξεις των φτερών αλλά και της όλης αεροτομής επάνω στο όχημα (εικόνα 65). Στην πρόσθια αεροτομή δεν υπάρχει μια τέτοια σκοπιμότητα μιας που οι τελικές πλάκες τοποθετούνται μόνο για την σωστή κατεύθυνση των αεροδυναμικών ροών και την καλύτερη αεροδυναμική απόδοση (εικόνα 66). Κατά την αεροδυναμική προσομοίωση των αεροτομών μέσω ρευστοδυναμικών προγραμμάτων επαληθεύουμε την χρήση αυτών μιας που πλέον οι ροές είναι καλύτερα ελεγχόμενες, έχουμε αποφυγή ανεπιθύμητων φαινομένων όπως αεροδυναμικών τυρβών και μπορούμε ευκολότερα να ελέγξουμε τα αεροδυναμικά φαινόμενα.



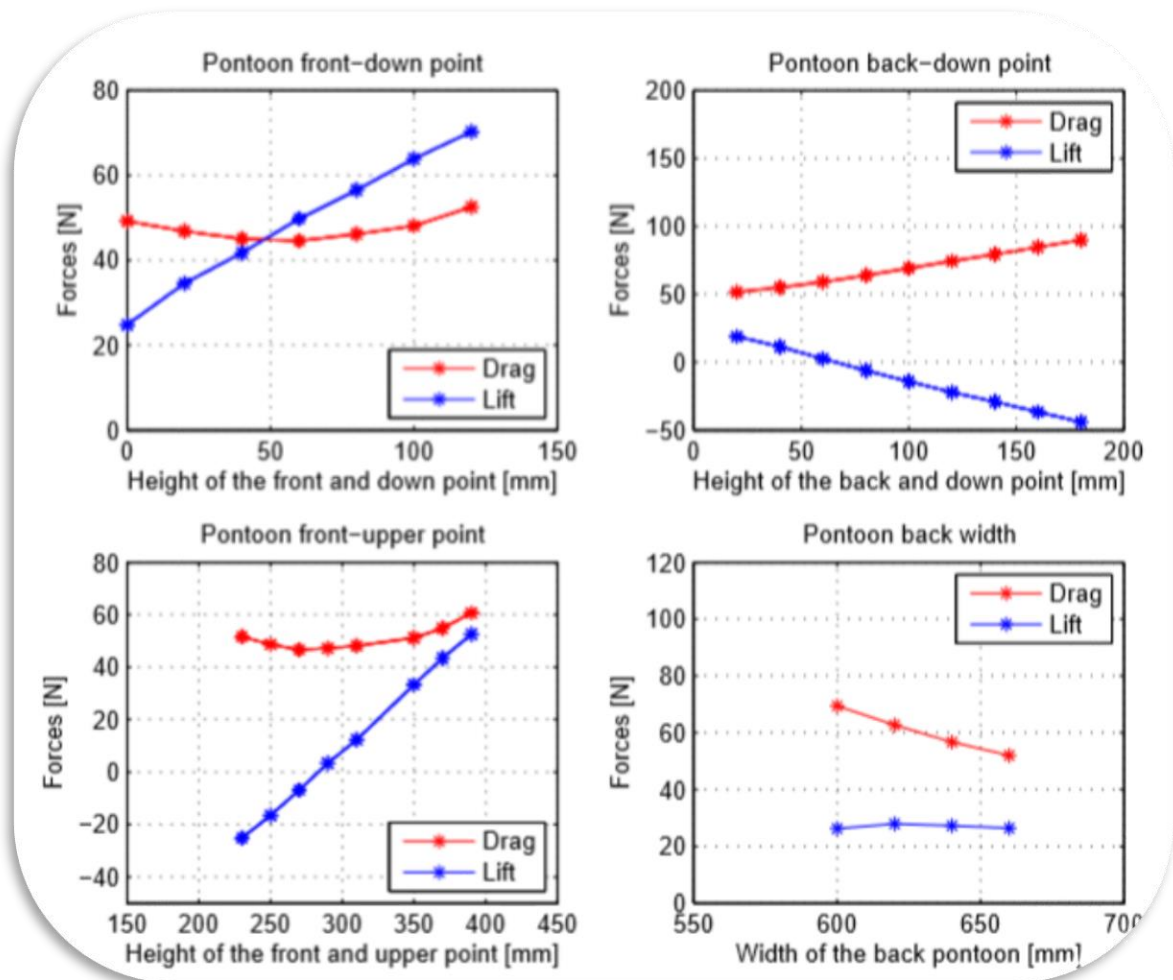
Εικόνα 80: Οπίσθια αεροτομή, endplates



Εικόνα 81: Endplates, πρόσθια αεροτομή

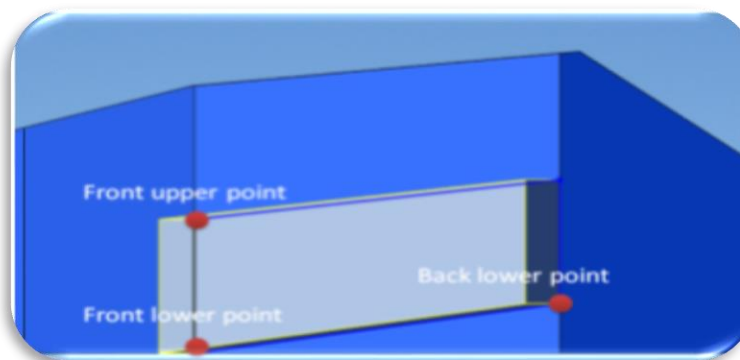
Εισαγωγή αέρα

Οι εισαγωγές αέρα επηρεάζουν τη συμπεριφορά του αυτοκινήτου επειδή αυξάνουν την μετωπική περιοχή του αυτοκινήτου, δηλαδή την αύξηση της οπισθέλκουσας. Ακόμα το αεροδυναμικό αυτό στοιχείο του οχήματος επηρεάζει την ροή του αέρα από του αυτή εισχωρήσει εντός ώστε να τον διαχειριστεί ανάλογα για την ψύξη του ηλεκτροκινητήρα, των μπαταριών και άλλων μερών. Στην εικόνα 82 παρουσιάζεται μια ανάλυση των πλευρικών εισαγωγών αέρα ως προς το εμβαδό τους και τη γεωμετρία αυτών. Το εμβαδό έχει να κάνει με την ποσότητα αέρα που χρειάζεται για τις ανάγκες το όχημα, η γεωμετρία επίσης έχει πολύ σημαντικό ρόλο στην ποσότητα εισαγωγής αέρα αλλά και στην ταχύτητα εισόδου της αεροδυναμικής ροής.



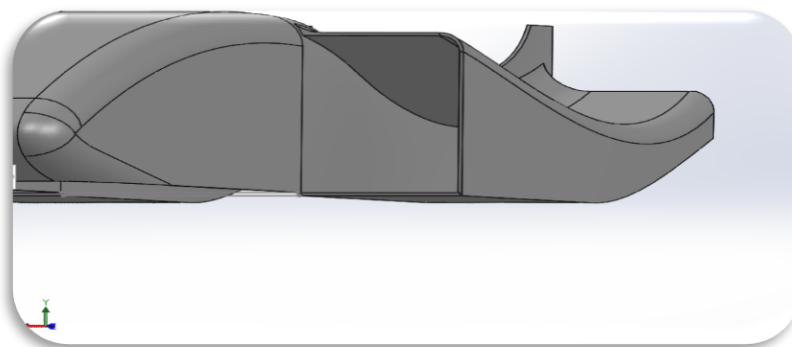
Εικόνα 82 : Εισαγωγή αέρα και γεωμετρία

Από το παραπάνω διάγραμμα βλέπουμε ότι η τελευταία επιλογή είναι η ιδανικότερη μιας και ο αέρας εισέρχεται με τη μικρότερη ταχύτητα και είναι ευκολότερα διαχειρίσιμος. Το πλάτος των οπών όμως είναι πολύ μεγάλο και έρχεται νοητά πίσω από τους εμπρόσθιους τροχούς με αποτέλεσμα να λαμβάνει μια διασκορπισμένη και ακατάλληλη ροή αέρα και ακόμα αέρα σε υψηλότερη θερμοκρασία. Για το λόγο αυτό επιλέχτηκε η πρώτη γεωμετρία όπου εμφανίζει μεν ελάχιστα μεγαλύτερη οπισθέλκουσα από τη δεύτερη σε σειρά επιλογή αλλά προσφέρει και πολύ μεγαλύτερη κάθετη δύναμη. Δύο ψυγεία χρησιμοποιούνται για τις ανάγκες ψύξης του οχήματος, κάθε ένα από τα οποία είναι τοποθετημένο στις δύο πλαϊνές εισαγωγές. Αυτά τα σώματα τοποθετούνται σε 45 μοίρες για να καταστήσουν την μετωπική περιοχή μικρότερη. Οι κλίση αυτή περιορίζει τη δυνατότητα εισαγωγής αλλά δεν είναι αρκετή ώστε να μην υπάρξει αρκετή ροή αέρα εντός του συστήματος.

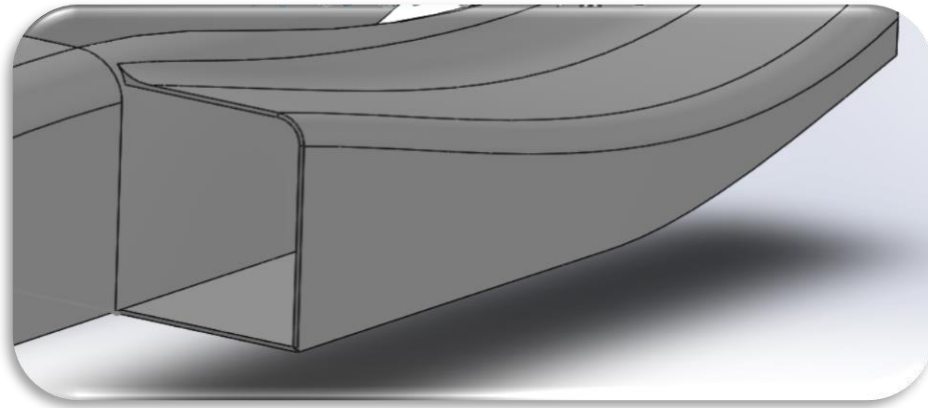


Εικόνα 83: Γεωμετρικοί παράμετροι πλαϊνών εισαγωγών.

Στις ακόλουθες εικόνες, 84 και 85 παρουσιάζονται το πλευρικό κάλυμμα του οχήματος και οι εισαγωγές αέρα αντίστοιχα.



Εικόνα 84: Πλευρικό κάλυμμα μονοθέσιου.



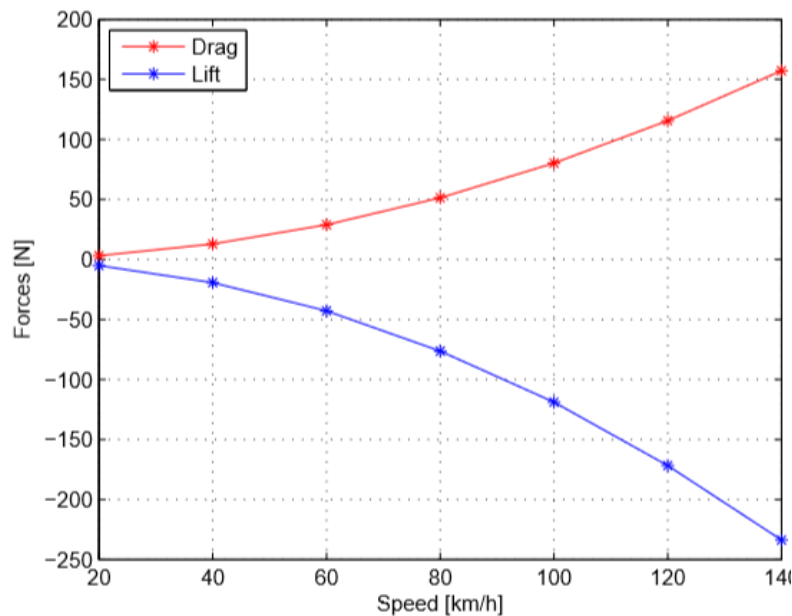
Εικόνα 85: Πλευρική εισαγωγή αέρα.

Αεροδυναμική προσομοίωση οχήματος – αποτελέσματα

Ταχύτητα (km / h)	Οπισθέλκουσα (N)	Ανύψωση (N)
20	3.199	-5.132
40	10.470	-22.509
60	31.643	-46.156
80	50.777	-85.993
100	79.984	-192.718
120	116.325	-256.890

Πίνακας 3 Δυνάμεις στο όχημα σε σχέση με τη ταχύτητα που αναπτύσσει

Ο συντελεστής οπισθέλκουσας και ανύψωσης υπολογιστικέ αυτόματα από το πρόγραμμα και οι τιμές τους είναι **Cd = 0,301** και **Cl= - 0,496**.



Εικόνα 86: Διάγραμμα δυνάμεων – ταχύτητας.



5. ΚΟΣΤΟΛΟΓΙΟ

ΤΜΗΜΑ	ΕΙΔΟΣ	ΠΡΟΜΗΘΕΙΑ	ΥΛΙΚΟ	ΤΙΜΗ ΜΟΝΑΔΑΣ	ΤΕΜΑΧΙΑ	ΚΟΣΤΟΣ
ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ	Πομπός	Αγορά	Πλακέτα	80	2	160
ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ	Δέκτης	Αγορά	Πλακέτα	80	2	160
ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ	Κεραία	Αγορά	Διάταξη	10	2	20
ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ	Μικρόφωνο/Ακουστικά	Αγορά	Διάταξη	25	5	125
ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ	Μικρόφωνο/Ακουστικά	Αγορά	Οδηγός	10	1	10
				ΥΠΟΣΥΝΟΛΟ		475
ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΡΤΗΣΗΣ						
ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΡΤΗΣΗΣ	Ψαλίδι	Αγορά	AISI 304 INOX	2,5	12	30
ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΡΤΗΣΗΣ	Ψαλίδι	Αγορά	AISI 304 INOX	1,75	6	10,5
ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΡΤΗΣΗΣ	Ακρόμπαρο	Αγορά	Χυτό	10	8	80
ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΡΤΗΣΗΣ	Μοχλικό	Κατασκευή	Αλουμίνιο	30	4	120
ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΡΤΗΣΗΣ	Ανάρτηση	Αγορά	S36D	375	4	1500
ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΡΤΗΣΗΣ	Βίδες	Αγορά	Χάλυβας	0,2	20	4
ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΡΤΗΣΗΣ	Βίδες	Αγορά	Χάλυβας	0,15	10	1,5
				ΥΠΟΣΥΝΟΛΟ		1746
ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΑ						
ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΑ	Αεροτομή Μπροστά	Κατασκευή	Ανθρακονήματα	200	1	200
ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΑ	Αεροτομή Πίσω	Κατασκευή	Ανθρακονήματα	200	1	200
ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΑ	Καλύμματα	Κατασκευή	Ανθρακονήματα	1000	1	1000
ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΑ	Πλαινά	Κατασκευή	Ανθρακονήματα	200	1	200
ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΑ	Βαφή	Κατασκευή	Χρώματα	100	1	100
ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΑ	Αυτοκόλλητα	Κατασκευή	Βινύλιο	50	1	50
ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΑ	Διαχύτες Κάτω	Κατασκευή	Ανθρακονήματα	200	1	200
				ΥΠΟΣΥΝΟΛΟ		1950
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ						
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ	Στροφές κινητήρα	Ελεγκτής	Αισθητήρες		4	0
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ	Στροφές τροχού	Ελεγκτής	Αισθητήρες		4	0
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ	Θερμοκρασία Κινητήρα	Ελεγκτής	Αισθητήρες		4	0
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ	Θερμοκρασία Περιβάλλοντος	Αγορά	Αισθητήρες	5	1	5
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ	Θερμοκρασία Ελαστικών	Αγορά	Αισθητήρες	25	4	100
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ	Πίεση Ελαστικών	Αγορά	Αισθητήρες	25	4	100
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ	Ελεγκτής	Αγορά	National Instr.	2000	1	2000
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ	DRS	Αγορά	Πνευματικός Κύλινδρος	200	1	200
				ΥΠΟΣΥΝΟΛΟ		2405
ΣΥΝΟΛΟ						6576

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Εν κατακλείδι, συμπεραίνουμε ότι το εγχείρημα μας, δηλαδή ο σχεδιασμός και η μελέτη ενός μονοθέσιου οχήματος τύπου formula student είναι απαιτητικό, τεχνολογικά 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. Εκτός αυτού όμως ο σχεδιασμός και η μελέτη μας εστιάζει στη δημιουργία ενός απλού, εργονομικού, χαμηλού βάρους και υψηλών επιδόσεων οχήματος. Η συμμόρφωση με τους κανονισμούς της SAE έχει ληφθεί υπόψιν καθώς είναι απαραίτητη και αποτελεί σημαντικό κομμάτι του εγχειρήματος. Ταυτόχρονα στόχοι όπως η ασφάλεια, η ευκολία στην κατασκευή, η αξιοπιστία και η ευκολία χειρισμών από τον οδηγό είναι κύριες παράμετροι του σχεδιασμού. Στην πλειονότητα των εξαρτημάτων έγινε ανάλυση, με στόχο την αύξηση της αντοχής, μείωση του βάρους, βελτίωση της απόδοσης αλλά και την μείωση του κόστους και της πολυπλοκότητας της κατασκευής.

6.1 ΕΠΙΛΟΓΟΣ

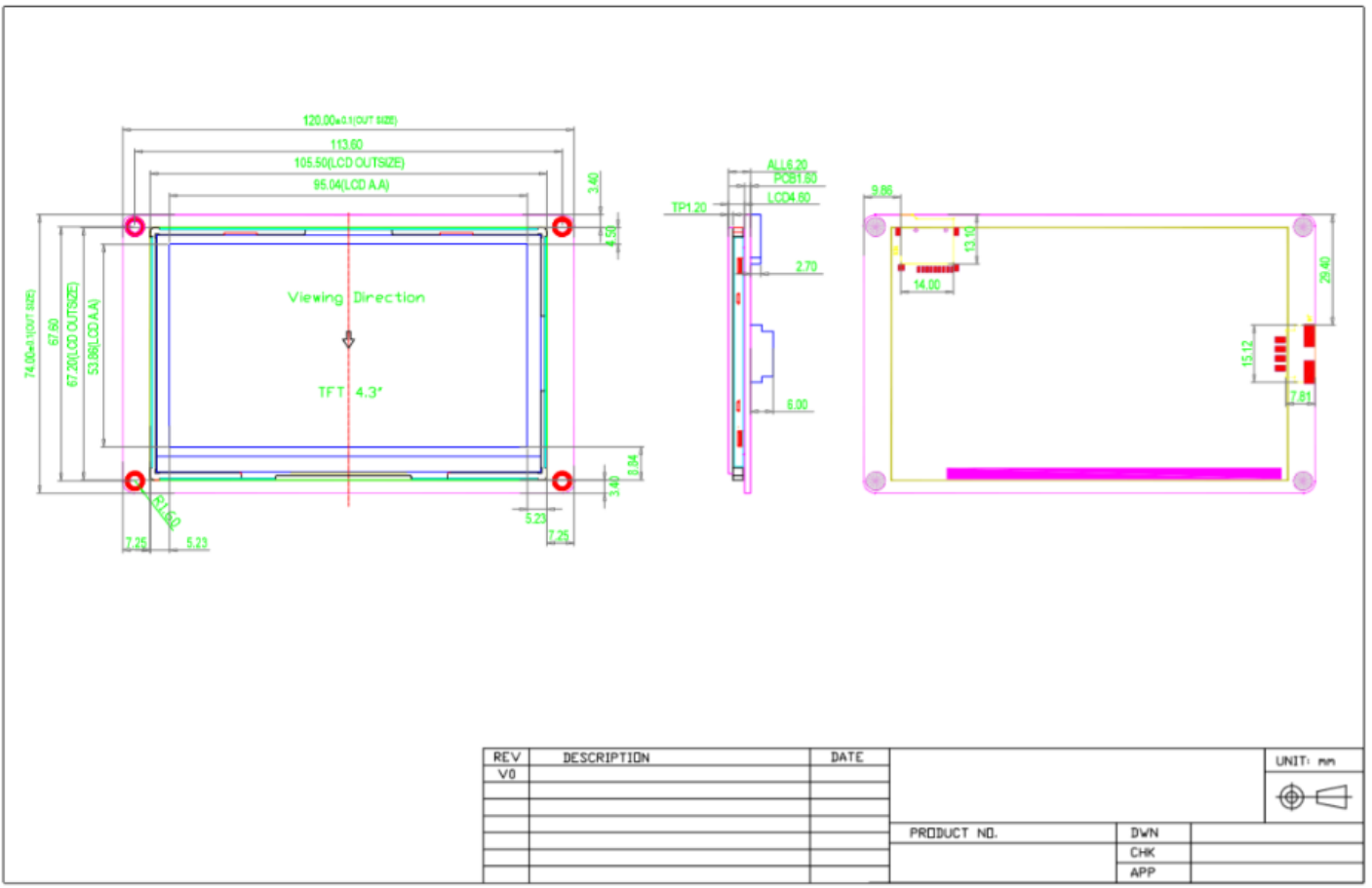
Αυτή η πτυχιακή εργασία στοχεύει στην εκπόνηση της μελέτης και του σχεδιασμού ηλεκτροκίνητου μονοθέσιου οχήματος Formula Student όπου μια μελλοντική πανεπιστημιακή ομάδα φοιτητών μπορεί να χρησιμοποιήσει σε ένα μελλοντικό διαγωνισμό. Εξαιτίας αυτού, σα στόχο είχαμε μια απλούστερη σχεδίαση σε όλους τους τομείς, όχι μόνο κατά τη διαδικασία της κατασκευής, αλλά και στη διαδικασία συναρμολόγησης του όπου η ομάδα θα πρέπει να επαναλάβει αρκετές φορές για την υλοποίηση των εργασιών. Καθοριστικό ρόλο στις επιλογές μας είχε βέβαια και το κόστος. Η υλοποίηση του όλου σχεδιασμού έγινε με γνώμονα τη διατήρηση ενός χαμηλού σχετικά συνολικού κόστους χωρίς φυσικά να αποκλίνουμε του αρχικού μας στόχου ή να μειώσουμε την ποιότητα της πιθανής και εκ προς μελέτη κατασκευής.

Το αμάξωμα - αεροδυναμικά εξαρτήματα, το ρεύμα χαμηλής τάσεως και η τηλεματική αποτελούν ουσιαστικό και αναπόσπαστο μέρος του αυτοκινήτου, διότι αν

και ένα συμβατικό αυτοκίνητο μπορεί να κινηθεί χωρίς αυτά, στη περίπτωση ενός ηλεκτροκίνητου μονοθέσιου ο ρόλος τους είναι καθοριστικός, Είναι αυτά που σε τελική ανάλυση κάνουν τη διαφορά βελτιώνοντας το όχημα σε πολυάριθμα σημεία. Το σύστημα ανάρτησης συνδέεται άμεσα με την άνεση , την ασφάλεια των επιβατών αλλά και τις επιδόσεις του οχήματος κατά την κίνηση του εντός ή εκτός του αγωνιστικού χώρου.

Τα διάφορα διαγράμματα, οι προσομοιώσεις και οι υπολογισμοί όπου έχουν πραγματοποιηθεί αποτελούν θεμέλια βάση για μια μελλοντική κατασκευή και μπορούν να βοηθήσουν στη κατανόηση του όλου εγχειρήματος και στην πιθανή τροποποίηση, εύκολα, γρήγορα και εκ του ασφαλούς αν αυτό είναι επιθυμητό από τον κατασκευαστή.

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	

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

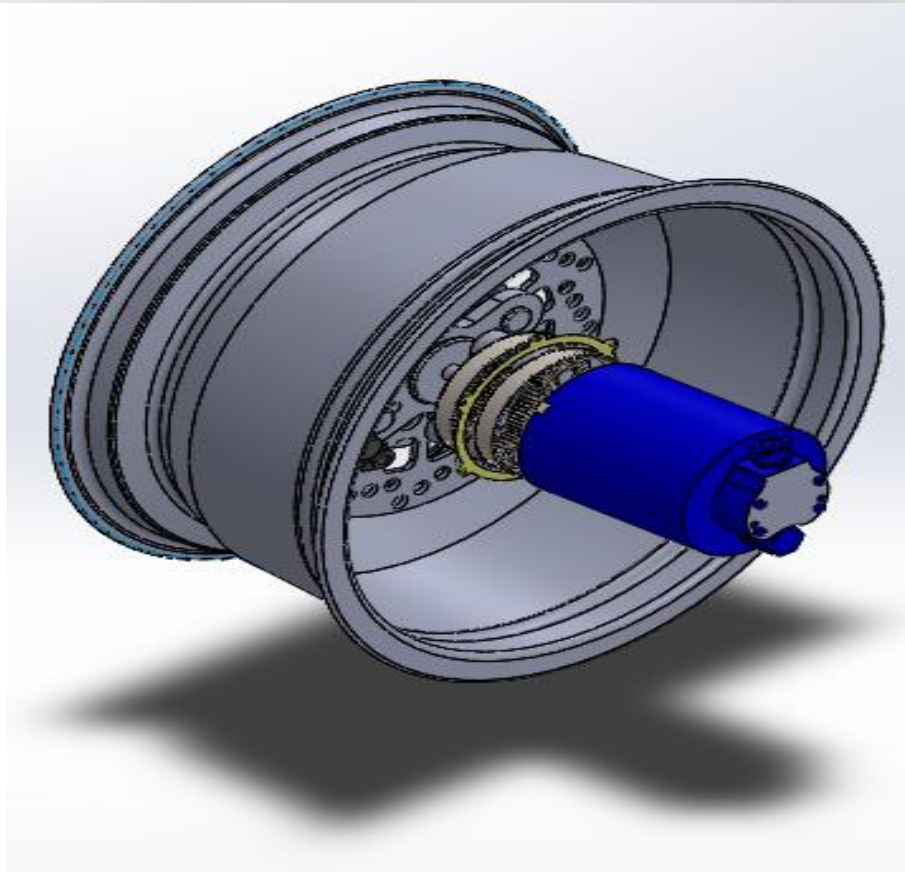
Approved by _____

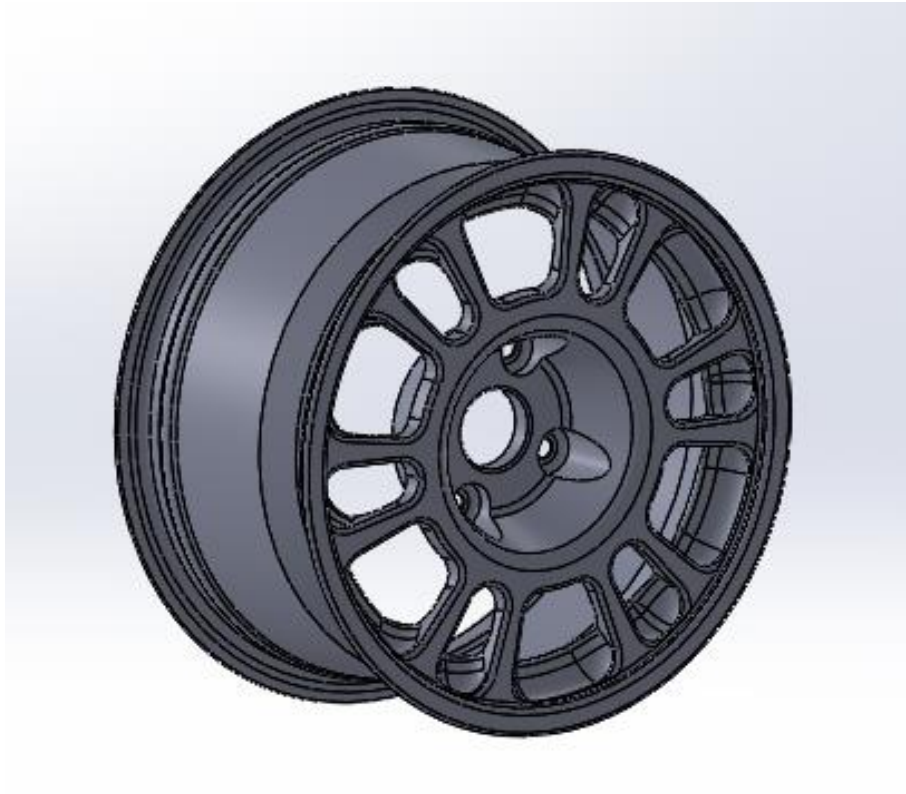
Date _____

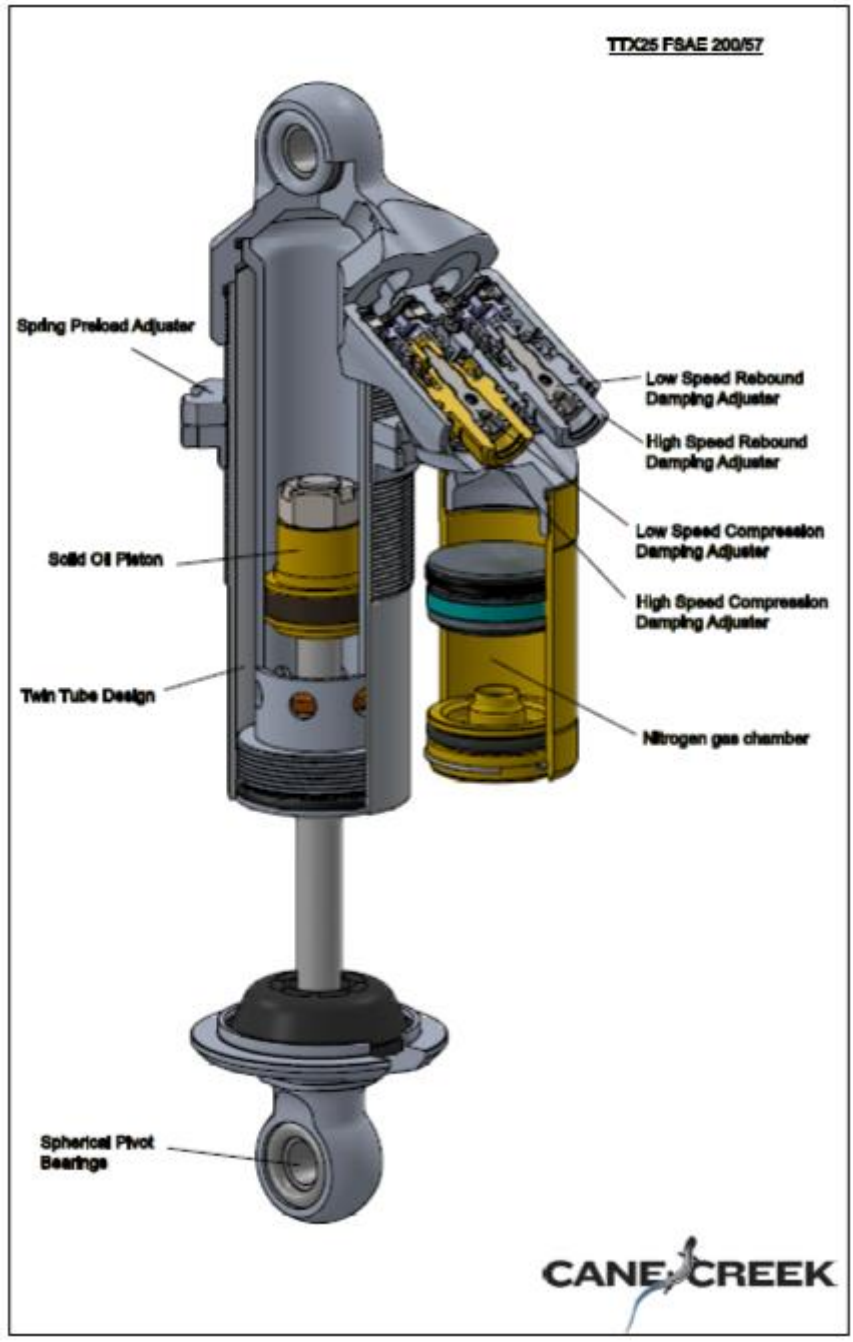
**NOTE: THIS FORM AND THE APPROVED COPY OF THE SUBMISSION
MUST BE PRESENTED**

**AT TECHNICAL INSPECTION AT EVERY FORMULA SAE EVENT
ENTERED**

Structural Equivalency Form









REV.	DESCRIPTION	ENGR	DATE
1	First Release	JAH	2/3/2014

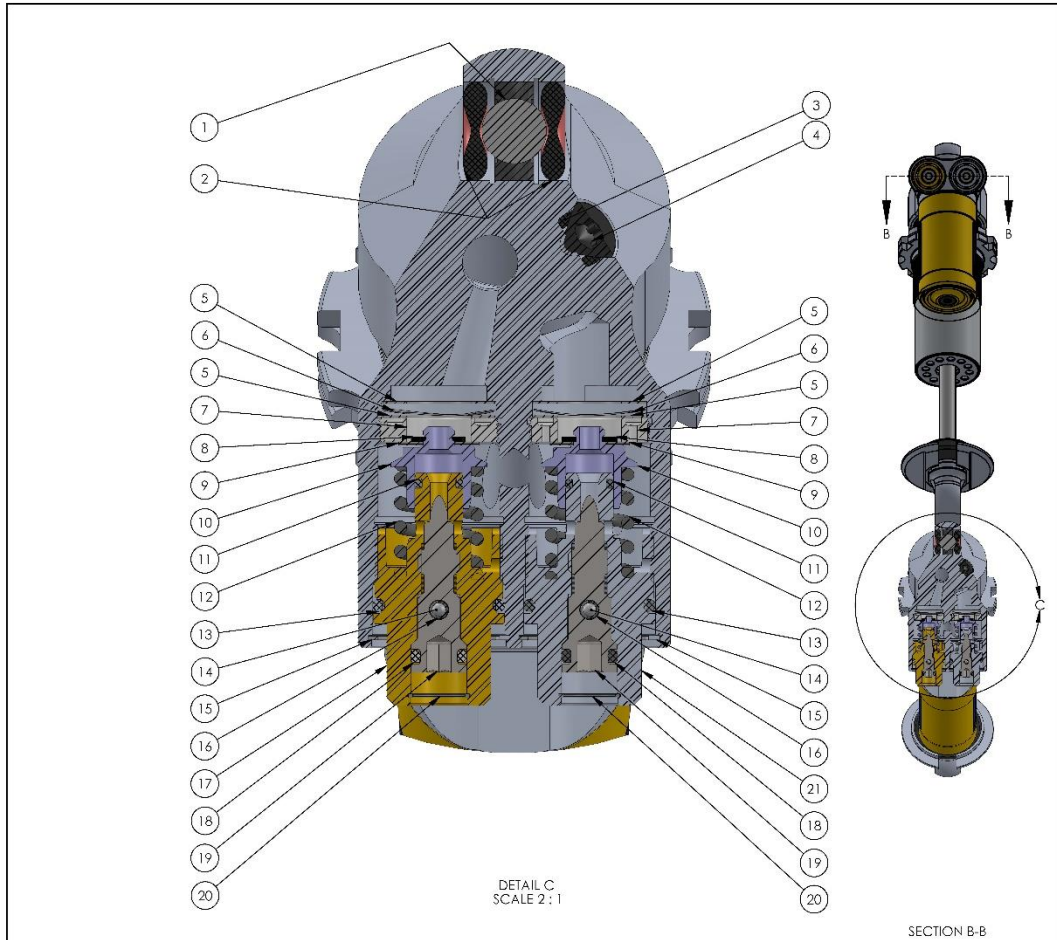
Spare Parts List

ITEM NO.	DESCRIPTION	QTY.
1	Cylinder Head - TTX25	1
2	Bearing - spherical	2
3	O-Ring - 28.0x1.50-a	1
4	O-Ring - 32.5x1.50-a	1
5	Inner Tube - 93mm - 57mm stroke	1
	Inner Tube - 126mm - 90mm stroke	*
6	Outer Tube - 96mm - 57mm stroke	1
	Outer Tube - 129mm - 90mm stroke	*
7	Spring Preload Locknut	1
8	Adjustment Nut - Silver	1
9	O-Ring - 23.52x1.78-a	1
10	Platform - Reservoir Tube - 54.0mm V1.5	1
11	Quad-Ring (20.29x2.62)	1
12	Piston Ring - 22.45 x 3 - 2.6mm Wall - Continuous	1
13	V1.25 Dividing Piston - Dome	1
14	Seal - gas fill	1
15	O-Ring - 20.29x2.62	1
16	Snap-Ring - 25x1.0 - Round Wire	1
17	O-Ring - 4.5x1.50-b	2
18	Screw - M4x0.7 - 6mm - Flat Head - Torx Drive	2
19	GGB Bushing - 0808DP4	1
20	Oil Seal Head	1
21	O-Ring - 26.7x1.78-a	1
22	quadring 7.59x2.62 -a	1
23	BackUp Ring (-109)	1
24	Shaft - 8mm x 115.8mm - 57mm stroke	1
	Shaft - 8mm x 148.8mm - 90mm stroke	*
25	Lock Nut - M8	1
26	Oil Piston - Solid - TTX25	1
27	Piston Ring - Wrapped - For 17.96mm Spindle	1
28	O-Ring - 14.0x2.00	1
29	Snap-Ring - 8x0.8 - Round Wire	1
30	Shaft Assembly Component - Top-Out Bumper	1
31	Washer - 8.1x20x1 - Nylon	1
32	Bottom-Out Bumper	1
33	Spring Clip - Silver	1
34	End Eye - DB-1, Convertible	1

SECTION A-A
SCALE 1 : 1

HSC 3 turns LSC 2 clicks	HSR 3 turns LSR 2 clicks	Damper Length/Stroke: 200/57 or 267/90
-----------------------------	-----------------------------	---

mm Dimensions Tolerances: A +0.2 B ±0.10 C ±0.05 Angles ±0.50 Concentricity: 0.2 Form Angle Provision: 0.2	This drawing and all information herein is the property of Cane Creek Cycling Components and is not to be made public or copied. It is based upon information supplied and can be void if any way that is different to the dimensions of the indicators.	CANE CREEK TTX25
Weight: 374.94 Material:	Part No: B	Rev: 1 Color: Silver/Gold SCALE: 1:2 Sheet: 1 OF 2

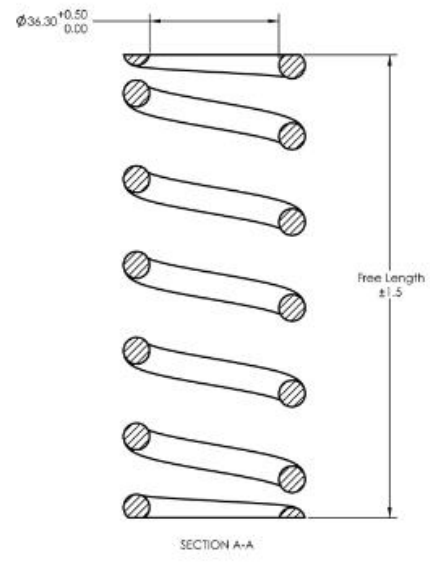
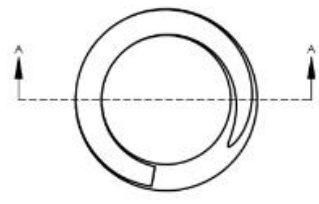
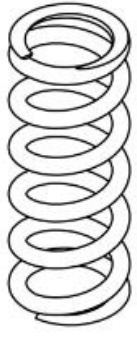


Spare Parts List

ITEM NO.	DESCRIPTION	QTY.
1	Bearing - spherical	2
2	O-Ring - 10.0x3.00	4
3	O-Ring - 4.5x1.50-b	2
4	Screw - M4x0.7 - 6mm - Flat Head - Torx Drive - Black Zinc	2
5	Shim - 8mm ID, T.25-14	4
6	Washer - Wave, DB-1, 0.75	2
7	Valve Seat - Suspension	2
8	Snap-Ring - E-Type - 4-5mm Shaft Diameter	2
9	Shim - 4mm ID, T.15-10	6
10	Poppet Valve - Suspension	2
11	O-Ring - 4.0x1.00-a	2
12	Valve Component - Poppet Spring - 20N/mm	2
13	O-Ring - 13.5x1.50	2
14	Ball - Detent	4
15	Cir-clip flat 17mm	2
16	Spring - Detent	2
17	Valve Component - End Piece	1
18	O-Ring - 4.5x1.50-a	2
19	Adjuster Needle - Stainless Steel - 2.2mm for TTX25	2
20	Retaining Ring - Square - 7mm Bore	2
21	Valve Component -End Piece	1

CANE CREEK

REV B	PART NO. TAX3010	ESC. 1
SCALE: 1:2		SHEET 2 OF 2



- Notes:
1. Material: Per part number table
 2. Finish: Per part number table
 3. Treatment: Heat treated, shot peened, and prestressed.
 4. End turns closed and ground (min. 75% of end plane must be flat).
 5. Spring rate tolerance $\pm 5\%$
 6. No hook marks allowed.
 7. Right hand winding.
 8. Marking: "Spring rate X Stroke" in 4mm text height placed on third coil. Text is white.
Example: **300 x 2.25**


Part No.	Spring Rate lb/in	Spring Rate kg/mm	Free Length mm	Material	Finish
DBB2 25/250	250	4.46	122	SRS60 Steel	Black Enamel
DBB2 25/300	300	5.36	122	SRS60 Steel	Black Enamel
DBB2 25/350	350	6.25	123	SRS60 Steel	Black Enamel
DBB2 25/400	400	7.14	124	SRS60 Steel	Black Enamel
DBB2 25/450	450	8.04	125	SRS60 Steel	Black Enamel
DBB2 25/500	500	8.93	125	SRS60 Steel	Black Enamel
DBB2 25/550	550	9.82	126	SRS60 Steel	Black Enamel
DBB2 25/600	600	10.71	130	SRS60 Steel	Black Enamel
DBB2 25/650	650	11.61	134	SRS60 Steel	Black Enamel
DBB2 25/700	700	12.50	136	SRS60 Steel	Black Enamel
DBB2 25/750	750	13.39	140	SRS60 Steel	Black Enamel

mm Dimensions
Tolerances:
± 0.03
± 0.10
± 0.15
± 0.20
ANGLES ± 0.5
CIRCULARITY
10A

THIS IS A COPY PROTECTED
DRAWING. ANY REPRODUCTION
WITHOUT THE WRITTEN
CONSENT OF CANCRO CREEK
CYCLING COMPONENTS, INC.
IS PROHIBITED.

Material: See Table
Weight: varies by part number
Finish: See Table

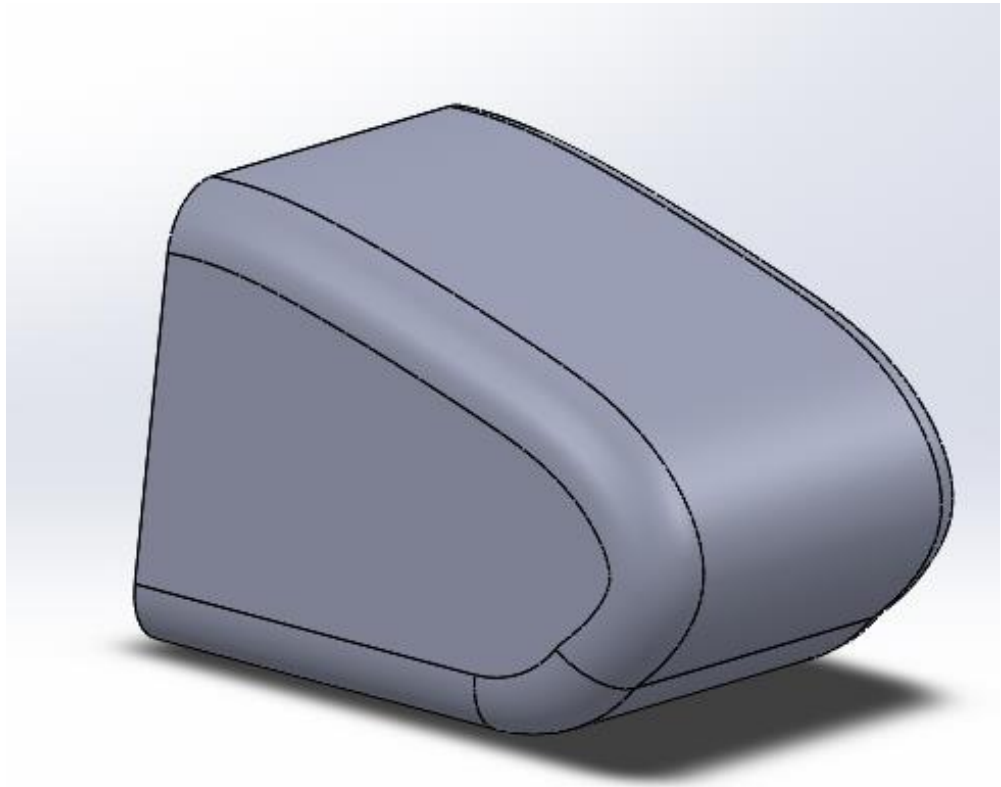
This drawing and all
information herein is
the property of
Cancro Creek Cycling
Components and its
customers. All information
may be made public
or copied. It is deemed
inappropriate to release upon
demand and is not to
be used in any way
that is detrimental to
our interests.

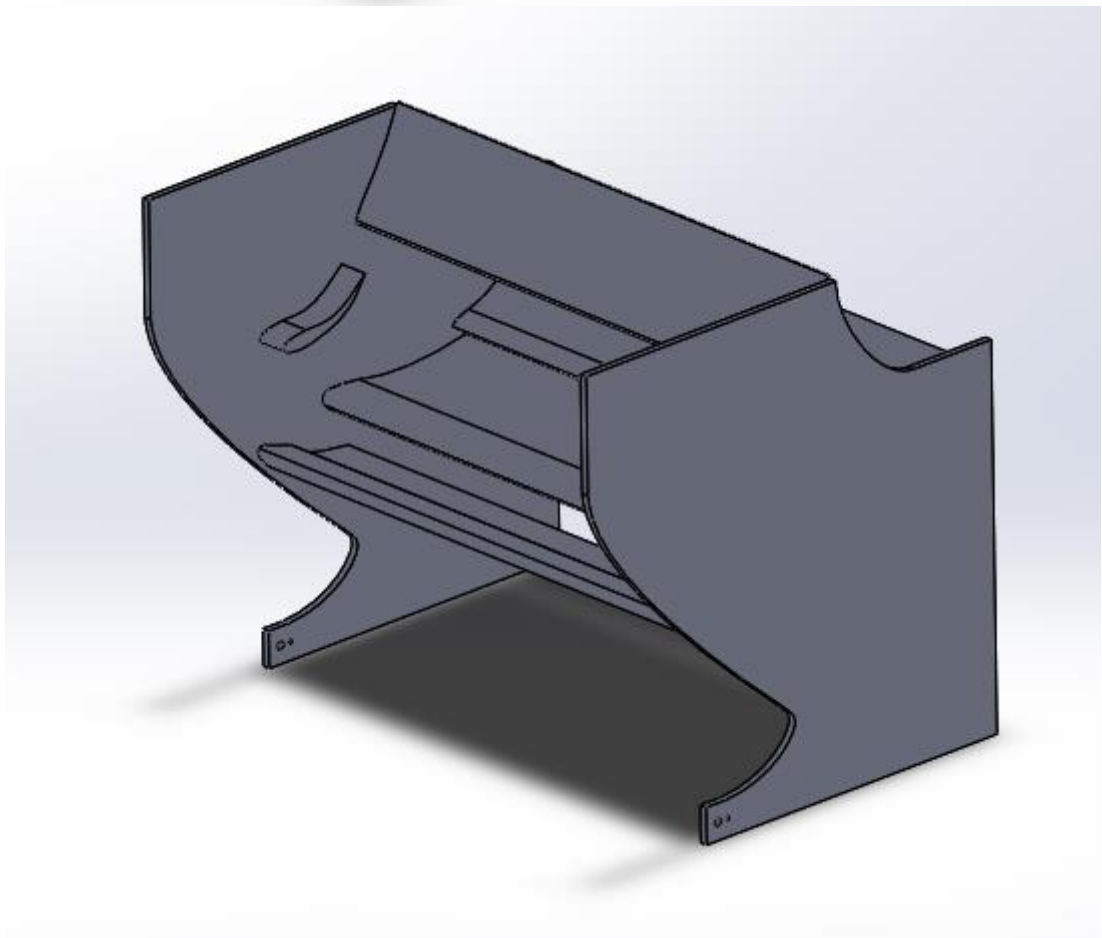
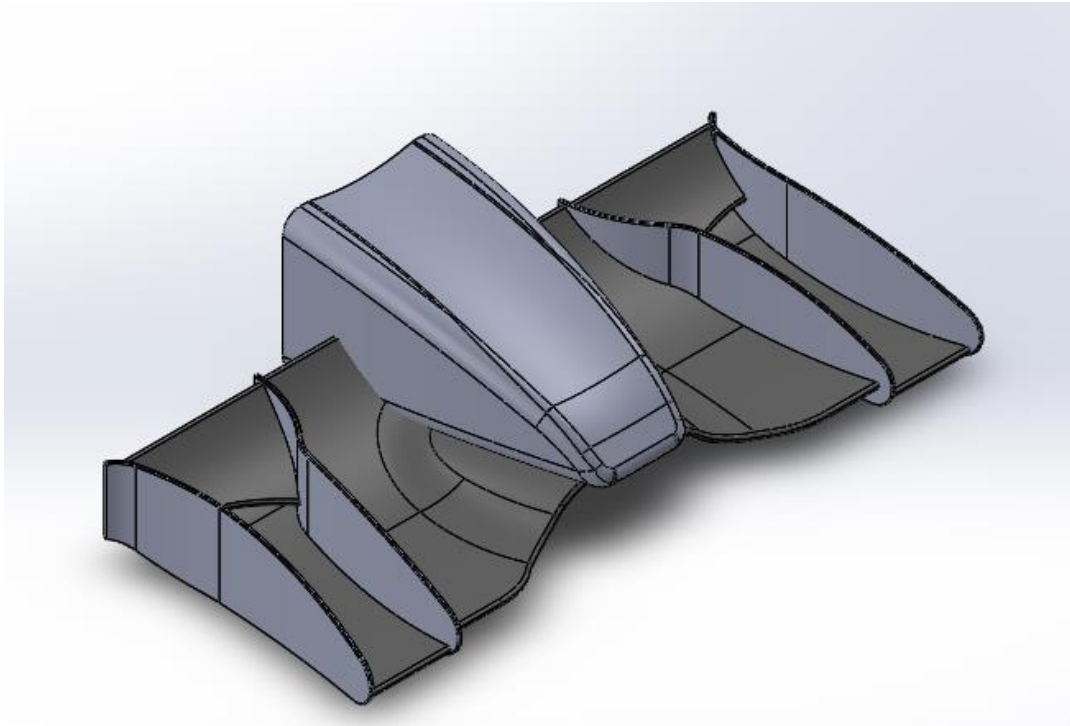


Spring
2.25" Travel

Part No: **B**
See Table

SCALE: 1:1 SHEET 1 OF 2





7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Race Technology. <http://www.race-technology.com>. accessed 2-Dez-2009.
- [2] Future Technology Devices International Ltd. Vinculum VNC1L Embedded USB Host Controller IC Datasheet Version 2.0, 2008
- [3] Future Technology Devices International Ltd. VDIP1 Vinculum VNC1L Prototyping Module Datasheet Version 0.92, 2007.
- [4] Telemotive AG. <https://www.telemotive.de/4/en/>. accessed 2-Dez-2009.
- [5] Automotive Electronics Design Fundamentals 1. September 2015 Springer
- [6] Getting Started with Arduino Massimo Banzi October 2008
- [7] Composite Material Fabrication Handbook #1 2009 John Wanberg
- [8] Composite Material Fabrication Handbook #2 2009 John Wanberg
- [9] Composite Material Fabrication Handbook #3 2009 John Wanberg
- [10] <https://amk-group.com/>
- [11] R.H. Barnard, Road Vehicle Aerodynamics. Εκδόσεις MechAero, Third edition, 2010.
- [12] Daniel Gomez Lendinez, “Aerodynamic Design of Formula Student Car”, University Carlos III of Madrid, Department of Mechanical Engineering, Madrid, July 2013.
- [13] Θ. Ζαχμάνογλου, Γ. Καπετανάκης, Π. Καραμπίλος, Γ. Πατσιαβός
Τεχνολογία Αυτοκινήτου πέρα από το 2000. 13^η Έκδοση, Αθήνα, Οκτώβριος 2015.
- [14] Γεωργαντόπουλος Χ. Γεωργαντόπουλος, Γ, Εφαρμοσμένη αεροδυναμική, εκδόσεις Τσότρας, 2015.
- [15] Εξαρτήματα συγκράτησης τροχού: Ingi Niels Karlsson, “Design of a suspension system for a formula student race car”. Reykjavik University, June 2018.
- [16] James Rampley, Jeremy Mariscal, Ryan Davis, “Formula SAE Design and Analysis”.
San Diego State University, Mechanical Engineering Department, August 2016.
- [17] Michael R. Wilson, Robert G. Dominy, Adam Straker, “The Aerodynamic Characteristics of a Race Car Wing Operating in a Wake”.
- [18] Öhlins Advanced Suspension Technology. Technical details & manuals. Available:
(PDF) <https://www.ohlinsusa.com/suspensionproducts/ttx25-mkii>
<https://www.ohlinsusa.com/files/files/TTX25%20MkII%20Dyno%20lbs%20vs%20ips.pdf>