



ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΚΑΙ ΑΝΑΡΤΗΣΕΩΝ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

**ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΚΑΙ ΑΝΑΡΤΗΣΕΩΝ
ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ**



Εργασία που υπεβλήθη για την μερική ικανοποίηση των
απαιτήσεων απόκτησης διπλώματος

ΥΠΟ ΤΟΝ

Ευύχιο Γ. Παπαδοκοκολάκη

Επιβλέπων: Πολυχρόνης Σπανουδάκης

Συνεπιβλέπων: Νικόλαος Τσουρβελούδης

Copyright © Ευτύχιος Γ. Παπαδοκοκολάκης, 2020

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All Rights reserved.



Σε συνεργασία με το Διατμηματικό Εργαστήριο Εργαλειομηχανών του Πολυτεχνείου Κρήτης

Περίληψη

Σε κάθε αυτοκινούμενη κατασκευή υπάρχει ένα πλαίσιο στήριξης των επιμέρους τμημάτων της, αναφέρεται ως αμάξωμα ή σασί και αποτελεί το βασικότερο στοιχείο ενός οχήματος. Στόχος της συγκεκριμένης εργασίας είναι η σχεδίαση, μελέτη και ανάπτυξη πλαισίου και αναρτήσεων για το πρωτότυπο όχημα υδρογόνου «Σπύρος Λούις» της ομάδας TUCER του Πολυτεχνείου Κρήτης. Στον σχεδιασμό λαμβάνονται υπόψιν παράγοντες όπως, οι κανονισμοί συμμετοχής στον διεθνή διαγωνισμό οικονομίας καυσίμου “Shell Eco Marathon”, η βέλτιστη τοποθέτηση και στήριξη των λοιπών συστημάτων του οχήματος καθώς και η αυξημένη ασφάλεια του οδηγού. Επίσης μελετάται η εφαρμογή αναρτήσεων, με στόχο την επίτευξη καλύτερης κατανομής των φορτίσεων στο πλαίσιο, ώστε να απορροφώνται πρόσθετες φορτίσεις από ανωμαλίες στο οδόστρωμα. Στη συνέχεια ακολουθεί η διαδικασία μοντελοποίησης της κατασκευής και εφαρμογή ανάλογων φορτίων. Έπειτα με την χρήση εξειδικευμένου προγράμματος γίνεται ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων για τον έλεγχο της στατικής αντοχής της κατασκευής. Η ανάλυση αυτή πραγματοποιείται σε διαφορετικά σχέδια πλαισίων του οχήματος, στα οποία γίνεται σύγκριση και προκύπτει η τελική σχεδίαση του πλαισίου η οποία και κατασκευάζεται.

Abstract

In each self-propelled structure there is a support frame for its individual parts, referred to as frame or chassis and is the most essential element of a vehicle. The aim of this thesis is the design, study and development of the frame and suspensions for the "Spyros Louis" hydrogen-powered prototype vehicle of the TUCER team of the Technical University of Crete. Factors such as the Shell Eco Marathon International Fuel Economy Competition, optimal positioning and support for other vehicle systems as well as increased driver safety are considered for the design. The installation of a suspension system is also researched and developed, targeting better stress formulation due to additional forces from the road. Following the design is the process of modeling the assembly and applying loads and forces. Then, a finite element analysis is performed to control the static strength of the structure. This analysis is carried out by comparing different chassis designs, resulting in the final design of the frame to be constructed.

Ευχαριστίες

Η εργασία αυτή δεν πραγματοποιήθηκε απλά για την απόκτηση διπλώματος μηχανικού. Ήταν αποτέλεσμα του πάθους και της ανάγκης για τεχνολογική εξέλιξη η οποία πηγάζει από την ομάδα TUCER. Θα ήθελα να ευχαριστήσω τα άτομα που μου μετέδωσαν το πνεύμα της ομάδας και μου επέτρεψαν να κάνω αυτή τη μελέτη όχι απλά εργασία, αλλά εμπειρία ζωής.

Τον συνεπιβλεποντα καθηγητή, Κοσμήτορα της Σχολής Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης και καθηγητή μου, Νικόλαο Τσουρβελούδη. Τον ευχαριστώ για την εμπιστοσύνη και τη βοήθεια του από την αρχή της συνεργασίας μας τόσο στα πλαίσια των μαθημάτων όσο και της ομάδας TUCER.

Τον συνάδελφο μου Γεώργιο Κουμαρτζάκη για την βοήθεια του στην κατανόηση και χειρισμό των προγραμμάτων ανάλυσης αλλά και στη φιλοσοφία της σχεδίασης ενός πλαισίου. Τον συνάδελφο μου Χρήστο Κούβελι για την βοήθεια όσον αφορά τα κατασκευαστικά θέματα. Επίσης τα μέλη της ομάδας TUCER που με την επιμονή και την ακούραστη εργασία τους μέχρι αργά τη νύχτα, έδωσαν σάρκα και οστά σε ένα απλό σχέδιο στον υπολογιστή.

Την οικογένεια και τους φίλους μου για την κατανόηση, σεβασμό στις ώρες εργασίας και υπομονή από την αρχή των σπουδών μου μέχρι και το τέλος. Όποτε χρειάστηκα βοήθεια ήταν δίπλα μου.

Τέλος θέλω να ευχαριστήσω ιδιαίτερος τον επιβλέποντα της εργασίας, Διδάκτορα της Σχολής Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης και αρχηγό της ομάδας TUCer, Σπανουδάκη Πολυχρόνη. Από την αρχή της γνωριμίας μας με εμπιστεύτηκε να γίνω μέλος της ομάδας και οδηγός του οχήματος. Τον επόμενο χρόνο πίστεψε σε μένα ως team manager και μου ανέθεσε τον σχεδιασμό του πλαισίου δίνοντας μου έτσι την πρώτη επαφή με τον τομέα της έρευνας και ανάπτυξης. Χάρη στην εμπιστοσύνη του αποκόμισα εμπειρίες ζωής που άλλαξαν τον επαγγελματικό προσανατολισμό μου και τον ευχαριστώ από καρδιάς.

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη	6
Abstract	6
Ευχαριστίες	8
Πίνακας Περιεχομένων	9
1.Εισαγωγή	12
1.1 Ιστορική εξέλιξη οχημάτων	12
1.2 Είδη πλαισίων.....	14
1.2.1 Πλαίσιο τύπου σκάλας	14
1.2.2 Πλαίσιο τύπου χωροδικτυώματος	15
1.2.3 Αυτοφερόμενα πλαίσια	16
1.3 Είδη αναρτήσεων	18
1.3.1 Συρόμενων άκρων (Trailing arm)	18
1.3.2 Διπλά άκρα τύπου 'A' (Double wishbone)	19
1.3.3 Σύστημα MacPherson	20
1.4 Ηλεκτρικά οχήματα μηδενικών ρύπων	20
1.5 Ομάδα TUCer	21
1.5.1 Τα οχήματα της ομάδας TUCer	22
1.5.2 Ο διαγωνισμός "Shell Eco Marathon"	22
1.5.3 Ο σκοπός της εργασίας	23
1.6 Μεθοδολογία ανάπτυξης	23
2. Σχεδιασμός	25
2.1 Περιορισμοί	25
2.1.1 Κανόνες διαγωνισμού	25
2.1.2 Περιορισμοί καλύμματος	26
2.1.3 Απαιτήσεις οδηγού	27

2.1.4 Ασφάλεια	28
2.2 Αναρτήσεις	28
2.2.1 Τύπος διάταξης αναρτήσεων	29
2.2.2 Επιλογή αποσβεστήρων	34
2.2.3 Λειτουργικά χαρακτηριστικά	35
2.3 Πλαίσιο	39
2.3.1 Τύπος πλαισίου	39
2.3.2 Επιλογή υλικών	39
2.3.3 Βασικός σχεδιασμός	41
3. Ανάλυση & Μοντελοποίηση	44
3.1 Εισαγωγή	44
3.2 Μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων (FEA)	44
3.3 Είδη αστοχίας	45
3.4 Στατικές φορτίσεις πλαισίου	47
3.5 Μοντελοποίηση	48
3.5.1 Δημιουργία πλέγματος πεπερασμένων στοιχείων	49
3.5.2 Μοντελοποίηση συνδέσεων, υλικών, αποσβεστήρων, πακτώσεων	50
3.5.3 Μοντελοποίηση δυνάμεων	53
4.Αποτελέσματα & Σύγκριση	54
4.1 Αποτελέσματα στατικής ανάλυσης	54
4.2 Αποτελέσματα στατικής ανάλυσης πλαισίου 2015	54
4.3 Αποτελέσματα στατικής ανάλυσης πλαισίου 2017	55
4.4 Αποτελέσματα στατικής ανάλυσης τελικού πλαισίου 2017	58
4.5 Συμπέρασμα	60
5.Υλοποίηση	62
5.1 Προετοιμασία κατασκευής	62
5.2 Κατασκευή πλαισίου αλουμινίου	62

5.3 Κατασκευή συστημάτων ανάρτησης	64
5.4 Κοπή και συγκόλληση τμημάτων ανθρακονήματος	65
5.5 Συναρμολόγηση λοιπών εξαρτημάτων	66
6.Επιδόσεις & Συμπεράσματα	68
6.1 Αποτελέσματα διαγωνισμού 2017	68
6.2 Τελικά συμπεράσματα	72
6.3 Μελλοντικές βελτιώσεις	73
Βιβλιογραφία	74

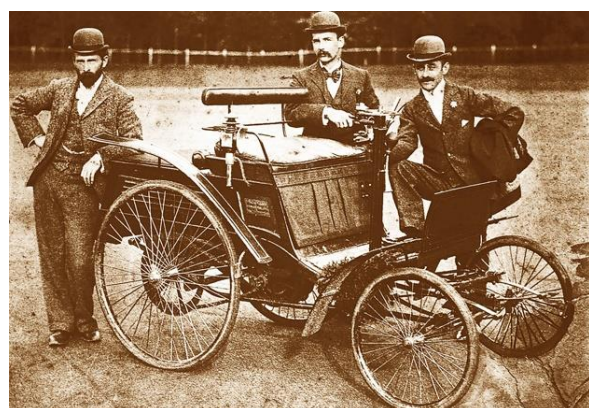
1.

Εισαγωγή

1.1 Ιστορική εξέλιξη οχημάτων

Από την αρχαιότητα η ανάγκη του ανθρώπου να μετακινείται και να μετακινεί φορτία οδήγησε σε πληθώρα ανακαλύψεων με σημαδιακή την εφεύρεση του τροχού. Από εκείνη την στιγμή κρίθηκε αναγκαία η σχεδίαση και κατασκευή μιας διάταξης η οποία θα συνδέει τους τροχούς και θα αποτελεί τη βάση του οχήματος. Επίσης η κατασκευή πρέπει να έχει τον απαραίτητο χώρο και ανάλογη αντοχή για την στήριξη των φορτίων.

Κατά την περίοδο της βιομηχανικής επανάστασης η σχεδίαση των οχημάτων εξελίχθηκε ραγδαία θυμίζοντας ολοένα και περισσότερο τη σημερινή τους μορφή. Τα πρώτα πλαίσια οχημάτων με κινητήρα βγήκαν από τις γραμμές παραγωγής μεταξύ 1896 και 1910. Το 1906 ο γερμανός Μηχανικός Karl Blau περιγράφει το σασί ενός οχήματος ως “ τους τροχούς του οχήματος και το αναρτώμενο πλαίσιο που συγκρατεί τον κινητήρα και όλα τα περιφερειακά αναγκαία για την κανονική λειτουργία του οχήματος” [12,14].



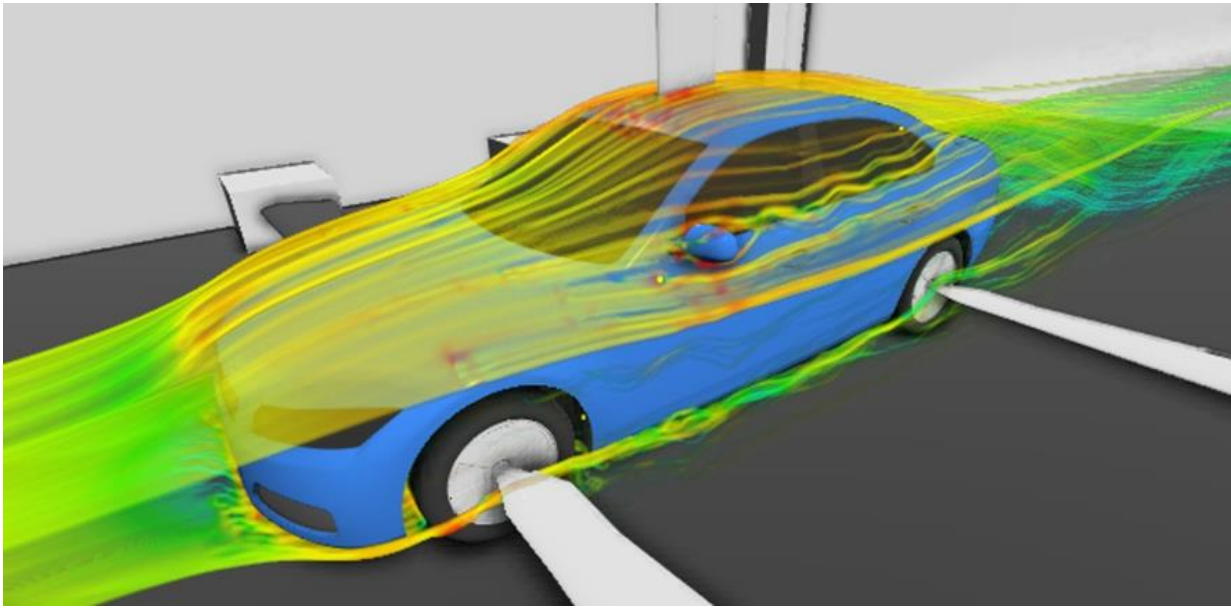
Εικόνα 1.1 Benz Velo, Η πρώτη “Άμαξα δίχως άλογο” στην Αφρική

Οι πιο σημαντικές εφευρέσεις κατά την διάρκεια εκείνης της περιόδου περιλαμβάνουν τα ακτινικά ελαστικά, τα ελικοειδή και πνευματικά ελατήρια σε συνδυασμό με υδραυλικούς αποσβεστήρες, τους σφαιρικούς συνδέσμους και την ανεξάρτητη πέδηση όλων των τροχών του οχήματος.

Τα χρόνια που ακολούθησαν η ισχύς των κινητήρων και οι ταχύτητες που ήταν ικανοί να ωθήσουν το όχημα αυξήθηκε ραγδαία οπότε δημιουργήθηκε η ανάγκη για δυνατότερα πλαίσια και συστήματα αναρτήσεων τα οποία θα παρείχαν αυξημένη αίσθηση άνεσης, ασφάλειας και ελέγχου στον οδηγό. Αυτό το γεγονός έκανε εξαιρετικά περίπλοκη την μελέτη και σχεδίαση, ως αποτέλεσμα στα μέσα του 20ού αιώνα η ανάπτυξη ενός πλαισίου για όχημα μαζικής παραγωγής απαιτούσε 5 με 10 χρόνια [14] .

Αργότερα η ανάπτυξη και εισαγωγή των ηλεκτρονικών υπολογιστών και της τεχνολογίας CAD (Computer Aided Design) επέτρεψε στους μηχανικούς την σχεδίαση πολύπλοκων γεωμετριών και διατάξεων. Έδωσε επίσης τη δυνατότητα προσομοίωσης και ανάλυσης της συμπεριφοράς του

πλαίσιου με μεγάλη αποτελεσματικότητα με επακόλουθο την μείωση του χρόνου σχεδιασμού αλλά και του κόστους ανάπτυξης [13].



Εικόνα 1.2 Προσομοίωση μοντέλου οχήματος (www.beta-cae.com)

Πλέον οι κατασκευαστές των οχημάτων παραγωγής αναπτύσσουν συνεχώς διαφορετικές μεθόδους σχεδίασης και παραγωγής με σκοπό την ελαχιστοποίηση του κόστους και την εναρμόνιση με διεθνείς προδιαγραφές [13,14]. Από την άλλη οι κατασκευαστές μικρότερης κλίμακας οχημάτων υψηλών επιδόσεων πειραματίζονται συνδυάζοντας μέταλλα με εξωτικά υλικά όπως ανθρακόνημα (carbon fiber), ίνες αραμίδιου (Kevlar) και υαλόνημα (glass fiber) με σκοπό την μέγιστη ακαμψία με το μικρότερο βάρος [12, 13].



Εικόνα 1.3 Υβριδικό πλαίσιο ανθρακονήματος-αλουμινίου Lamborghini Huracan

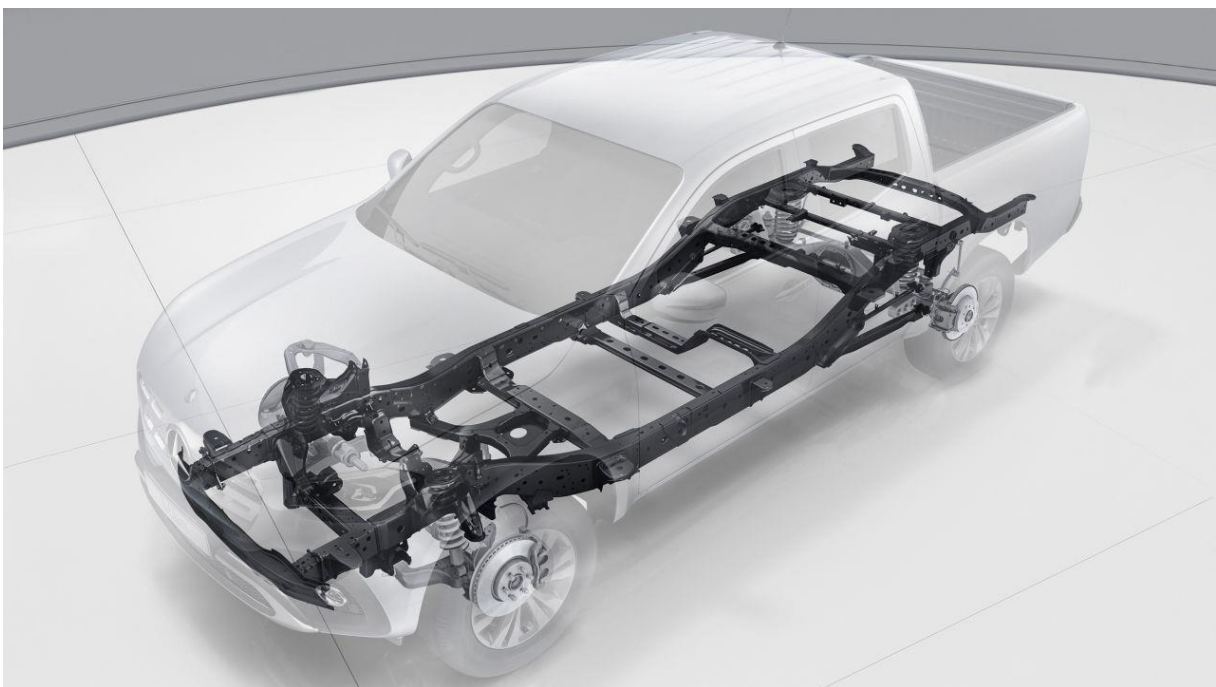
1.2 Είδη πλαισίων

Ο σχεδιασμός του κάθε πλαισίου και η διαδικασία που ακολουθείται εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως το μέγεθος του οχήματος, την χρήση, το κόστος αλλά και τις διάφορες προδιαγραφές που θα πρέπει να καλύπτει. Έτσι ορισμένα είδη πλαισίων σχεδιάζονται χρησιμοποιώντας παραδοσιακές τεχνικές ενώ άλλα απαιτούν συνεχή εξέλιξη των διαδικασιών σχεδιασμού και κατασκευής, υποβοηθούμενα από την ραγδαία εξέλιξη των ηλεκτρονικών μέσων [3, 13, 14].

1.2.1 Πλαίσιο τύπου σκάλας

Τα πλαίσια τύπου σκάλας ήταν από τις παλαιότερες και πιο διαδεδομένες διατάξεις για οχήματα μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του '60. Η φιλοσοφία της σχεδίασης του περιλαμβάνει 2 κύριες διαμήκεις δοκούς και ενδιάμεσες εγκάρσια τοποθετημένες ενισχύσεις, όπως χαρακτηριστικά και μία ξαπλωμένη «σκάλα» όταν την κοιτάμε από την κάτοψη. Τα παλαιότερα χρόνια οι δοκοί είχαν απλή μορφή χωρίς σκαλίσματα και περίπλοκες γεωμετρίες. Καθώς όμως άλλαζαν οι ανάγκες και οι απαιτήσεις στον σχεδιασμό η μορφή τους απέκτησε καμπύλες και σκαλίσματα με σκοπό την μείωση του βάρους, την αύξηση της εργονομίας αλλά και της αντοχής [3, 13].

Συγκριτικά με άλλους τύπους πλαισίων, ο τύπος σκάλας αποτελεί μια γενικά απλή διάταξη όπου κάθε μέρος έχει ξεχωριστές δυνάμεις να αντιμετωπίσει κατά την οδήγηση. Οι μεγάλες διαμήκεις δοκοί καταπονούνται στην επιτάχυνση και το φρενάρισμα αλλά και είναι υπεύθυνες για την στήριξη των τροχών και του φερόμενου φορτίου. Από την άλλη οι εγκάρσιες δοκοί είναι υπεύθυνες για την αντοχή του οχήματος στις πλευρικές και στρεπτικές δυνάμεις κατά τις στροφές, αλλά και για την στήριξη ορισμένων υποσυστημάτων του οχήματος [3, 13].



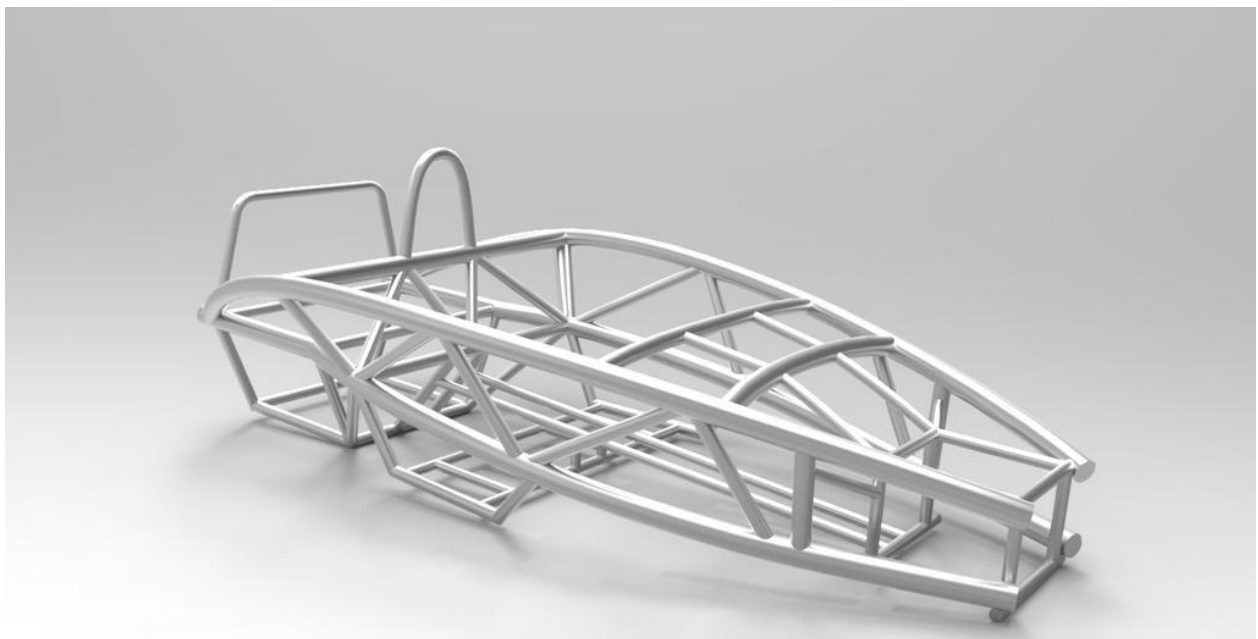
Εικόνα 1.4 Πλαίσιο τύπου σκάλας Mercedes-Benz X-Class

Τα σασί τύπου σκάλας είναι ευρέως χρησιμοποιούμενα καθώς διακρίνονται από πολλά πλεονεκτήματα όπως απλότητα στην κατασκευή, προσαρμογή σε πολλούς τύπους αυτοκινήτων με ελάχιστες παρεμβάσεις όπως τροποποίηση του μήκους και του πλάτους του. Επίσης διακρίνονται για την υψηλή αντοχή τους σε μεγάλα φορτία και την ιδιότητα της μεγάλης στρέβλωσης χωρίς πλαστική παραμόρφωση. Για αυτούς τους λόγους είναι τα πλέον κατάλληλα για φορτηγά, γερανούς, οχήματα τύπου pick-up και αγροτικά οχήματα [3].

Τα μειονεκτήματα του τύπου συναντώνται στο μεγάλο βάρος της κατασκευής αλλά και την χαμηλή στρεπτική ακαμψία, λόγοι που επιβαρύνουν την κατανάλωση, τις επιδόσεις και την οδηγική συμπεριφορά [3].

1.2.2 Πλαίσιο τύπου χωροδικτυώματος

Ένα πλαίσιο τύπου χωροδικτυώματος αποτελείται από μικρού μήκους σωλήνες τετραγωνικής, κυκλικής ή άλλης διατομής οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους σχηματίζοντας πληθώρα τριγωνικών, τετραγωνικών ή πολύγωνων διατάξεων. Οι σωλήνες μπορεί να είναι μόνιμα συγκολλημένοι μεταξύ τους ή βιδωμένοι ανάλογα με την σχεδίαση και τις ανάγκες του πλαισίου [3].



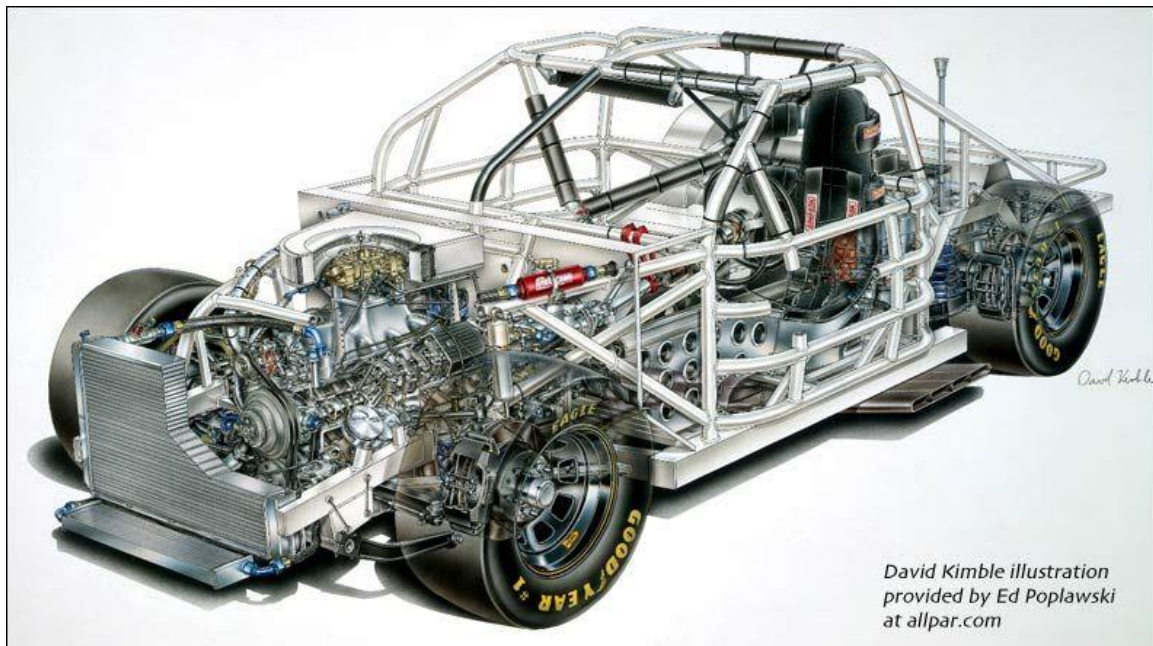
Εικόνα 1.5 Πλαίσιο Ariel Atom

Ο συγκεκριμένος τύπος πλαισίου δημιουργήθηκε με σκοπό να αντιμετωπίσει ένα από τα δυσκολότερα προβλήματα στην σχεδίαση ενός σασί, τα στρεπτικά φορτία! Χρησιμοποιώντας πολλαπλούς δοκούς οι οποίοι λειτουργούν σαν στηρίγματα στην βασική δομή του πλαισίου, τα στρεπτικά φορτία 'αναλύονται' σε απλούστερα θλιπτικά και εφελκύστηκα με αποτέλεσμα να μην εμφανίζεται καθαρή στρέψη σε κανένα μέρος του πλαισίου [3].

Τα σασί με αυτή τη σχεδίαση διακρίνονται για την υψηλή αντοχή και συμπεριφορά τους σε τρισδιάστατα φορτία αλλά και το χαμηλό τους βάρος εν αντιστοιχία, αφού οι δοκοί τοποθετούνται στα βέλτιστα δυνατά σημεία. Επίσης η μέθοδος κατασκευής είναι σχετικά απλή και τα υλικά φτηνά

και με μεγάλη διαθεσιμότητα και ποικιλία κραμάτων, μορφών και διατομών. Όμως λόγω του τρόπου σχεδίασης η διαδικασία κατασκευής είναι αρκετά πιο χρονοβόρα και περίπλοκη σε σχέση με άλλες διατάξεις με αποτέλεσμα να είναι περιορισμένη η χρήση αυτόματων μηχανημάτων σε γραμμή παραγωγής. Επίσης λόγω της σταθερής μορφής των δοκών, ο χώρος στην καμπίνα των επιβατών είναι γενικά πιο περιορισμένος [3].

Συνεπώς τα συγκεκριμένα πλαίσια είναι ιδανικότερα για αγωνιστικά οχήματα υψηλών επιδόσεων και χαμηλού βάρους τα οποία παράγονται σε μικρές μονάδες και με μικρή σημασία στην άνεση των επιβατών και στην εύκολη είσοδο και έξοδο από το όχημα [3].



Εικόνα 1.6 Σασί αγωνιστικού οχήματος NASCAR

1.2.3 Αυτοφερόμενα πλαίσια

Η ανάγκη για ασφαλέστερα αλλά και ελαφρύτερα (αποδοτικότερα) οχήματα, οδήγησε τους κατασκευαστές στην χρήση νέου τύπου σχεδίου. Πλέον το 80% των οχημάτων που παράγονται σήμερα έχουν ως βάση αυτοφερόμενο πλαίσιο ή «monocoque» από κράματα μετάλλων [3, 14].

Πρόκειται για μια ενιαία κατασκευή περίπλοκης γεωμετρίας αποτελούμενη από επιμέρους φύλλα μετάλλου τα οποία διαμορφώνονται με χρήση πρέσας ή άλλων μεθόδων και στη συνέχεια συγκολλώνται δημιουργώντας ένα περίβλημα γύρω από την καμπίνα. Στη σχεδίαση του πλαισίου συμπεριλαμβάνονται και μέρη από τα εξωτερικά πάνελ του οχήματος με αποτέλεσμα το σασί να αποτελεί πολύ περισσότερο από το σύνολο του οχήματος απ' ότι σε άλλες διατάξεις [3, 14].



Εικόνα 1.7 Αλουμινένιο πλαίσιο Jaguar XJ

Αυτό το είδος του πλαισίου ενδείκνυται για επιβατικά οχήματα αλλά και επαγγελματικά κλουβάκια μικρού μεγέθους, αφού προσφέρει μεγάλο μέγεθος καμπίνας αναλογικά με τις εξωτερικές διαστάσεις. Τα πλαίσια αυτά γίνονται ως επί το πλείστον από κράματα σιδήρου λόγω υψηλής αντοχής και χαμηλού κόστους. Όταν σε ένα όχημα έχει μεγάλη σημασία το βάρος τότε δύναται το αμάξωμα να κατασκευαστεί από αλουμίνιο το οποίο όμως είναι αρκετά ακριβότερο τόσο στη μελέτη όσο και στις πρώτες ύλες [3, 14].

Σε αγωνιστικά ή υπερύψηλης απόδοσης οχήματα συναντούμε και monocoque κατασκευασμένα από σύνθετα υλικά αποτελούμενα από ειδική ρητίνη και πλέγματα ινών όπως ανθρακόνημα, υαλόνημα ή αραμίδιο. Τα υλικά αυτά χαρακτηρίζονται από εξαιρετικά μεγάλη αντοχή και πολύ μικρό βάρος ενώ μπορούν να καμπυλώνονται και να δημιουργούν περίπλοκες γεωμετρίες. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό τους είναι η τοποθέτηση σε στρώσεις η μία πάνω από την άλλη, έτσι δύναται η ενίσχυση της αντοχής ή η μείωση του βάρους τοπικά σε μέρη που κρίνεται απαραίτητο [3, 12, 14].

Η σχεδίαση ενός τέτοιου πλαισίου είναι χρονοβόρα και περίπλοκη ενώ η κατασκευή απαιτεί τεχνογνωσία, ειδικές εγκαταστάσεις αλλά και εξειδικευμένο προσωπικό. Επίσης τα υλικά είναι ιδιαίτερα ακριβά και η διαθεσιμότητα τους πολύ μικρότερη σε σχέση με τα μέταλλα [11, 12, 14].



Εικόνα 1.8 Monocoque Lamborghini Aventador

1.3 Είδη Αναρτήσεων

Οι αναρτήσεις αποτελούν πολύ σημαντικό παράγοντα στην συμπεριφορά ενός οχήματος καθώς είναι υπεύθυνες για [4, 14, 15] :

- Την συνεχή επαφή του ελαστικού με το οδόστρωμα με τις μικρότερες δυνατές αυξομειώσεις στο φορτίο
- Την απομόνωση του πλαισίου από τις ανωμαλίες του οδοστρώματος
- Αντίσταση στις στρεπτικές δυνάμεις στις στροφές
- Αντίδραση στις δυνάμεις ασκούμενες από το ελαστικό κατά το φρενάρισμα, την επιτάχυνση και το φρενάρισμα

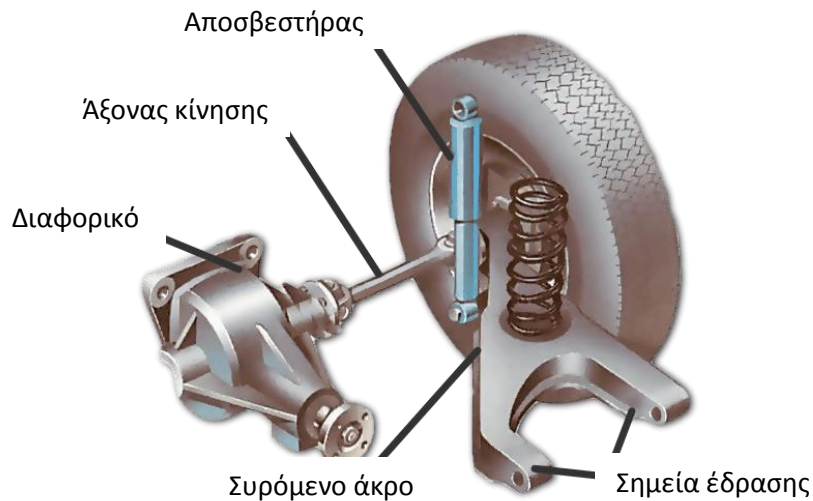
Όπως συμβαίνει με το πλαίσιο, για κάθε όχημα επιλέγεται κατάλληλο σύστημα αναρτήσεων το οποίο θα ταιριάζει καλύτερα σε σχέση με [4, 14]:

- Κόστος
- Βάρος
- Διαθέσιμος χώρος
- Ευκολία κατασκευής
- Ευκολία συναρμολόγησης
- Συμπεριφορά του οχήματος

Υπάρχουν δύο μεγάλες κατηγορίες συστημάτων αναρτήσεων, α) οι συμπαγείς άξονες, και β) οι ανεξάρτητες αναρτήσεις. Στη συνέχεια εξετάζονται τα ανεξάρτητα συστήματα [4].

1.3.1 Συρόμενων άκρων (Trailing arm)

Ένα από τα πιο απλά και οικονομικά συστήματα αναρτήσεων είναι οι διατάξεις συρόμενων άκρων οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν σε μεγάλο βαθμό από τις ευρωπαϊκές αυτοκινητοβιομηχανίες κατά την περίοδο του Β΄ παγκοσμίου πολέμου. Αποτελείται από δύο παράλληλα ίσου μήκους άκρα ενωμένα στην άκρη τους με τον τροχό ή από ένα μεγαλύτερο. Τα άκρα αυτά είναι τοποθετημένα κατά τον διαμήκη άξονα όσον αφορά το σασί και οι βάσεις τους δύναται να βρίσκονται είτε στο εμπρός και πίσω μέρος του σασί είτε στα πλάγια μειώνοντας κατά πολύ τον απαιτούμενο χώρο για την τοποθέτηση. Με αυτό το σύστημα οι τροχοί παραμένουν συνεχώς με παράλληλη στο σασί με σταθερή μηδενική γωνία κάμπερ σε όλη την διαδρομή των αναρτήσεων αλλά επηρεάζεται πολύ η συμπεριφορά του οχήματος στο φρενάρισμα και την επιτάχυνση [4].



Εικόνα 1.9 Σύστημα Ανάρτησης Συρόμενου Άκρου

1.3.2 Διπλά άκρα τύπου 'Α' (Double wishbone)

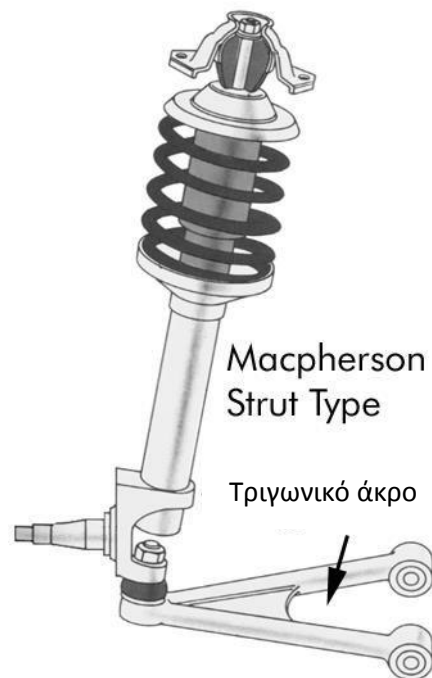
Το σύστημα αυτό αποτελείται από δύο εγκάρσια τοποθετημένα άκρα στα πλάγια του σασί που μοιάζουν με το γράμμα 'Α' τα οποία είναι η ίσου ή ανόμοιου μήκους. Η διάταξη αυτή προσφέρει μεγάλες επιδόσεις και αυξημένες δυνατότητες ρύθμισης όσον αφορά τη συμπεριφορά ανάλογα με την χρήση και τις συνθήκες, αλλά απαιτεί μεγάλο χώρο στα πλάγια του αμαξώματος και αυξημένη πολυπλοκότητα. Αν τα άκρα είναι ανομία, η γωνία κάμπερ μεταβάλλεται κατά την μετακίνηση του τροχού ανάλογα με την διαδρομή της ανάρτησης, φαινόμενο πολύ χρήσιμο για την ευστάθεια του οχήματος αλλά απαιτεί πολύπλοκη και προσεκτική μελέτη. Σε περίπτωση που τα άκρα είναι πανομοιότυπα η γωνία κάμπερ παραμένει σταθερή με αποτέλεσμα ομαλή και προβλέψιμη συμπεριφορά του οχήματος [4, 15].



Εικόνα 1.10 Σύστημα Ανάρτησης Διπλών Ανόμοιων Α Ακρων

1.3.3 Σύστημα MacPherson

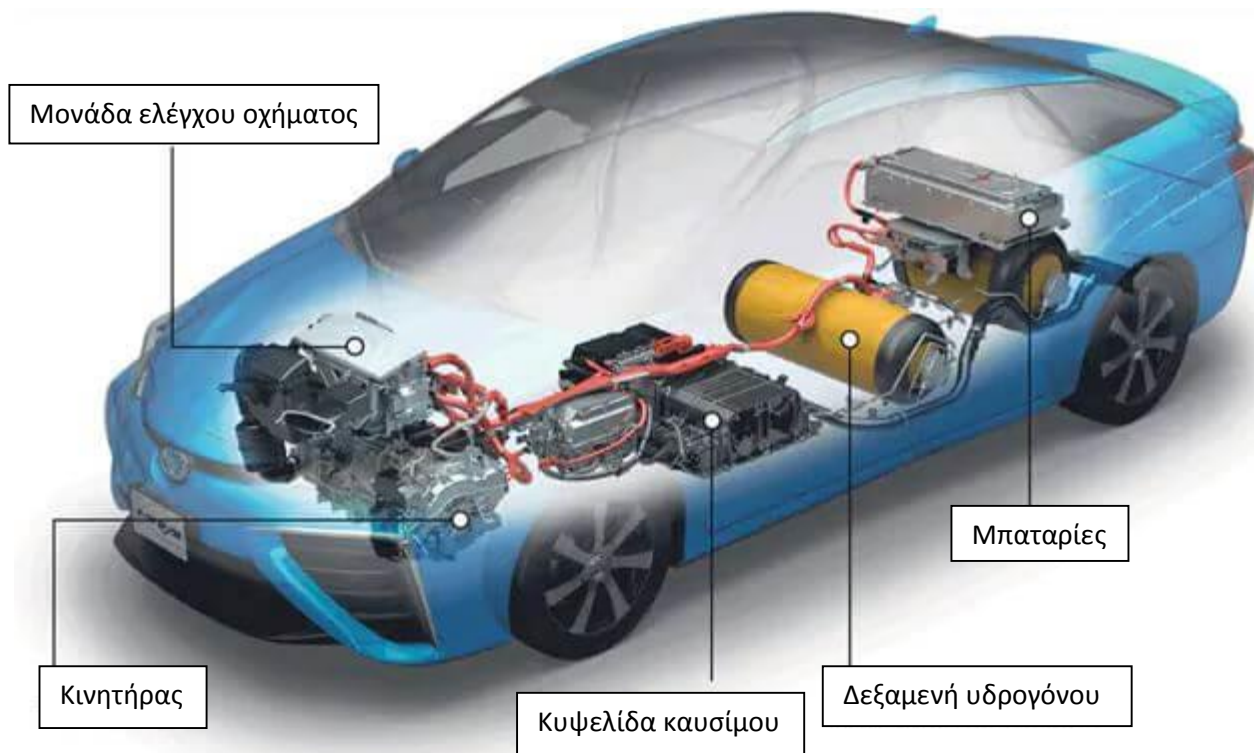
Σχεδιασμένο από τον Earle S. MacPherson με φιλοσοφία παρόμοια με των ανόμοιων Α άκρων, το σύστημα χρησιμοποιεί ένα 'Α' κάτω άκρο και αντί για άνω χρησιμοποιείται ένας υδραυλικός τηλεσκοπικός κύλινδρος πακτωμένος στην έδραση του τροχού, ο οποίος έχει και τον ρόλο της απόσβεσης. Το σύστημα αυτό καταλαμβάνει εξαιρετικά μικρό χώρο στον εγκάρσιο και διαμήκη άξονα και αποτελείται από μικρό αριθμό εξαρτημάτων με απλή λειτουργία. Όμως καταλαμβάνει μεγάλο ύψος και μεταβάλλεται κατά πολύ η γωνία κάμπερ ανάλογα με την διαδρομή του τροχού. Συνεπώς είναι το πιο διαδεδομένο σύστημα για μικρού κόστους-επιδόσεων καθημερινά αυτοκίνητα πόλης ή επαγγελματικά ελαφρού τύπου [4].



Εικόνα 1.11 Σύστημα MacPherson

1.4 Ηλεκτρικά οχήματα μηδενικών ρύπων

Τα τελευταία χρόνια η πετρελαϊκή κρίση αλλά και η ατμοσφαιρική ρύπανση ώθησε την βιομηχανία στην αναζήτηση εναλλακτικών τρόπων μεταφοράς έναντι των κινητήρων εσωτερικής καύσης. Έτσι έκαναν την εμφάνισή τους τα ηλεκτροκίνητα ή ηλεκτρικά οχήματα τα οποία συναντώνται ως υβριδικά με συνδυασμό ηλεκτροκινητήρα και κινητήρα εσωτερικής καύσης ή ως αμιγώς ηλεκτρικά – μηδενικών ρύπων. Τα ηλεκτρικά οχήματα μηδενικών ρύπων διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, αυτά που χρησιμοποιούν μπαταρίες ως αποθήκη ενέργειας και αυτά που φέρουν αποθηκευμένο καύσιμο σε άλλη μορφή. Τα πρώτα συνδέονται με μία πηγή ηλεκτρικής ενέργειας ώστε να φορτίσουν τις μπαταρίες τους ενώ τα δεύτερα από σταθμό ανεφοδιασμού ίδιας νοοτροπίας με αυτήν των συμβατικών οχημάτων [12, 14].



Εικόνα 1.12 Όχημα υδρογόνου TOYOTA MIRAI

Στα οχήματα αυτά το υδρογόνο βρίσκεται σε μια δεξαμενή υπό πίεση σε υγρή μορφή απ' όπου διοχετεύεται σε μια συσκευή λεγόμενη "κυψέλη καυσίμου" (fuel cell). Η συσκευή αυτή συνδυάζει το καύσιμο υδρογόνο με οξυγόνο από την ατμόσφαιρα και με την διαδικασία της αντίστροφης ηλεκτρόλυσης παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα και νερό. Στη συνέχεια μέσω μιας ηλεκτρονικής διάταξης ελέγχου τροφοδοτείται ένας ή περισσότεροι ηλεκτροκινητήρες οι οποίοι παρέχουν την κινητήρια δύναμη στους τροχούς [12].

Απώτερος σκοπός της συγκεκριμένης διάταξης σε σχέση με τους κινητήρες εσωτερικής καύσης είναι η μείωση των ρύπων. Άλλο πλεονέκτημα των ηλεκτρικών αυτοκινήτων είναι η πιο ομαλή και ελεγχόμενη λειτουργία καθώς και υψηλή ροπή σε όλο το φάσμα των στροφών του κινητήρα [12].

1.5 Ομάδα TUCer και ο σκοπός της εργασίας

Η ομάδα TUCer είναι ομάδα του Πολυτεχνείου Κρήτης που κατασκευάζει πρωτότυπα οχήματα πόλης, χαμηλής κατανάλωσης. Από το 2008 που δημιουργήθηκε έχει αναπτύξει και κατασκευάσει αρκετά οχήματα πόλεως. Κάθε όχημα αποτελεί ένα τετράτροχο, μονοθέσιο, ηλεκτρικό όχημα πόλης που κατασκευάζεται εξ' ολοκλήρου στα εργαστήρια του Πολυτεχνείου Κρήτης. Τα συγκεκριμένα οχήματα αποτελούν πλατφόρμα πειραματισμού πάνω σε θέματα μηχανολογικού σχεδιασμού, χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας, οδηγικής ασφάλειας και αυτόνομης πλοήγησης.

Κάθε χρόνο η ομάδα αναπτύσσει και βελτιώνει το πρωτότυπο της με σκοπό να διαγωνιστεί στο διεθνή διαγωνισμό οικονομίας καυσίμου "Shell Eco Marathon". Από εκεί έχει αποσπάσει 6 πρωτίες σε θέματα ασφάλειας οχημάτων και ενεργειακών προκλήσεων. Όσον αφορά την κατανάλωση καυσίμου, η ομάδα βρίσκεται τα τελευταία χρόνια μέσα στις 4 καλύτερες ομάδες της Ευρώπης.



Εικόνα 1.13 Το όχημα Spyros Louis της Ομάδα TUC Eco Racing στον διαγωνισμό Shell Eco Marathon, Λονδίνο 2017

1.5.1 Τα οχήματα της ομάδας TUCer

Τα οχήματα με τα οποία ασχολείται η ομάδα TUCer είναι ηλεκτρικά οχήματα πόλεως τα οποία κινούνται με καύσιμο υδρογόνο. Τα πρωτότυπα αυτά είναι χαμηλού βάρους και διαθέτουν κυψέλη υδρογόνου. Το υδρογόνο που βρίσκεται υπό πίεση μέσα σε φιάλη, διοχετεύεται μαζί με ατμοσφαιρικό οξυγόνο στην κυψέλη. Εκεί με τη διαδικασία της αντίστροφης ηλεκτρόλυσης παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα. Το ρεύμα αυτό κινεί έναν ηλεκτροκινητήρα ο οποίος με τη σειρά του κινεί και το όχημα. Σκοπός αυτών των πρωτοτύπων είναι η μεγαλύτερη δυνατή αυτονομία καυσίμου. Αυτό πρακτικά σημαίνει τη διάνυση όσων περισσότερων χιλιομέτρων γίνεται με το λιγότερο δυνατό καύσιμο.

1.5.2 Ο διαγωνισμός “Shell Eco Marathon”

Ο διαγωνισμός “Shell Eco Marathon” πραγματοποιείται επί 30 χρόνια και αποτελεί σημείο αναφοράς της ερευνητικής δραστηριότητας που σχετίζεται με μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και την εξέλιξη νέων τεχνολογιών οχημάτων. Η διοργάνωση του γίνεται κάθε χρόνο στην Ευρώπη και τον υπόλοιπο κόσμο συγκεντρώνοντας πάνω από 200 ερευνητικές ομάδες πανεπιστημίων.

Η ομάδα TUCer λαμβάνει μέρος στην κατηγορία οχημάτων πόλεως με καύσιμο το υδρογόνο. Σκοπός είναι να διανύσει μια συγκεκριμένη απόσταση σε συγκεκριμένο χρόνο. Η απόσταση αυτή χωρίζεται σε γύρους κατά τους οποίους το όχημα πρέπει να σταματήσει και να εκκινήσει κάθε φορά που περνάει την αφετηρία. Κάθε ομάδα έχει τέσσερις διαθέσιμες προσπάθειες οι οποίες υπάγονται

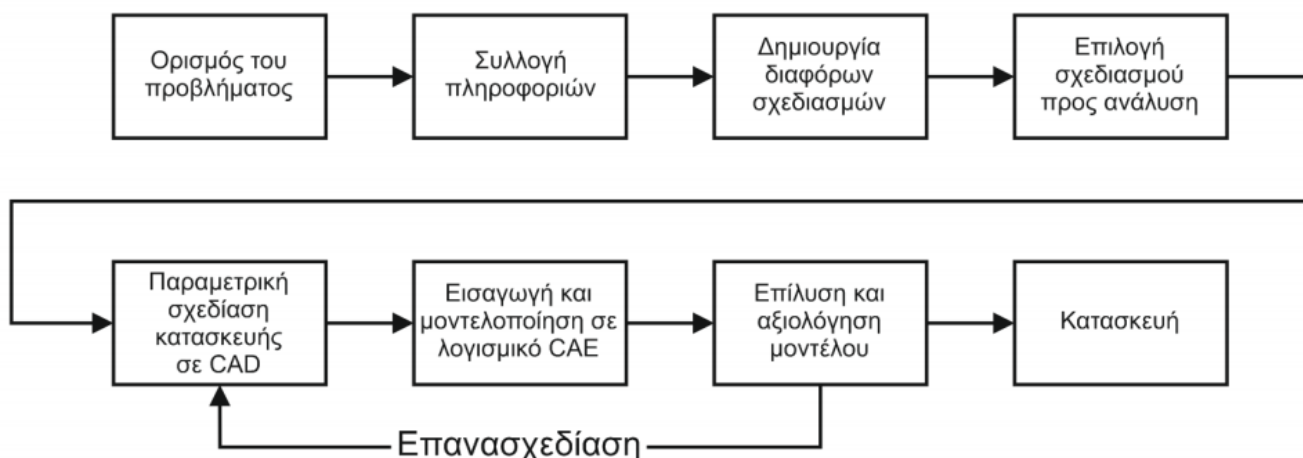
σε κανονισμούς και στενά χρονικά περιθώρια. Στόχος είναι το όχημα να έχει την απαραίτητη τεχνολογία αλλά και να κινηθεί σωστά ώστε η κατανάλωση του να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη.

1.5.3 Ο σκοπός της εργασίας

Αντικείμενο της εργασίας αυτής αποτελεί ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη του πλαισίου και των αναρτήσεων του οχήματος που καλείται να πάρει μέρος στον παραπάνω διαγωνισμό. Ο βασικός στόχος είναι η πολύ χαμηλή κατανάλωση καυσίμου, επομένως ζητούμενα είναι το όσο δυνατόν μικρότερο βάρος αλλά και η προβλεπόμενη οδηγική συμπεριφορά του οχήματος. Ο λόγος λοιπόν για τον οποίο υλοποιείται η στατική ανάλυση είναι για να κατασκευασθεί ένα πλαίσιο αρκετά ελαφρύ και ανθεκτικό στις καταπονήσεις που θα δεχθεί κατά την κίνηση του οχήματος.

1.6 Μεθοδολογία ανάπτυξης

Όπως το πλαίσιο ενός οχήματος παραγωγής έτσι και το σασί του Spyros Louis πρέπει να ακολουθεί συγκεκριμένη μεθοδολογία για την πορεία ανάπτυξης του (Εικόνα 1.14). Αυτή είναι μια διαδικασία που ακολουθείται για κάθε μηχανολογική κατασκευή με σκοπό την αποφυγή λαθών, τη βελτιστοποίηση της και τη μείωση του χρόνου παραγωγής. Παρακάτω φαίνεται η πορεία ανάπτυξης του συγκεκριμένου πλαισίου



Εικόνα 1.14 Διαδικασία ανάπτυξης του πλαισίου του Spyros Louis

Η αρχική διαδικασία προϋποθέτει τον ορισμό του τι ακριβώς πρέπει να κατασκευαστεί και τη συλλογή παντός είδους πληροφοριών για την κατασκευή αυτή. Έπειτα δημιουργούνται κάποια πιθανά σχέδια του πλαισίου τα οποία περνούν μια διαδικασία εκτίμησης και διόρθωσης. Στη

συνέχεια επιλέγεται ένα σχέδιο το οποίο θεωρητικά ικανοποιεί τις απαιτήσεις που έχουν τεθεί. Το τελευταίο σχεδιάζεται σε πρόγραμμα CAD και μετά μοντελοποιείται για ανάλυση σε λογισμικό CAE (Computer Aided Engineering). Η ανάλυση αυτή θα δώσει την πληροφορία για το αν ο σχεδιασμός είναι κατάλληλος. Αν η απάντηση σε αυτό είναι θετική, η διαδικασία προχωρά στην κατασκευή. Αν όχι, τότε γίνεται επανασχεδίαση με βάση τις πληροφορίες που προέκυψαν και ακολουθείται η ίδια διαδικασία έως ότου το μοντέλο είναι ικανό προς κατασκευή.

2.

Σχεδιασμός

2.1 Περιορισμοί

Τα οχήματα της ομάδας TUCER κατασκευάζονται με γνώμονα την συμμετοχή και διάκριση της ομάδας στον διαγωνισμό SHELL ECO MARATHON. Όπως όλοι οι διαγωνισμοί έτσι και ο συγκεκριμένος είναι βασισμένος σε ένα σύστημα αυστηρών κανόνων όσον αφορά τον τύπο της κατασκευής, τις διαστάσεις του οχήματος, τα συστήματα ασφαλείας αλλά και την πρόσβαση και ταχεία έξοδο του οδηγού σε περίπτωση ατυχήματος. Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την σχεδίαση του πλαισίου είναι το χαμηλό βάρος, η εργονομία αλλά και η ασφάλεια.

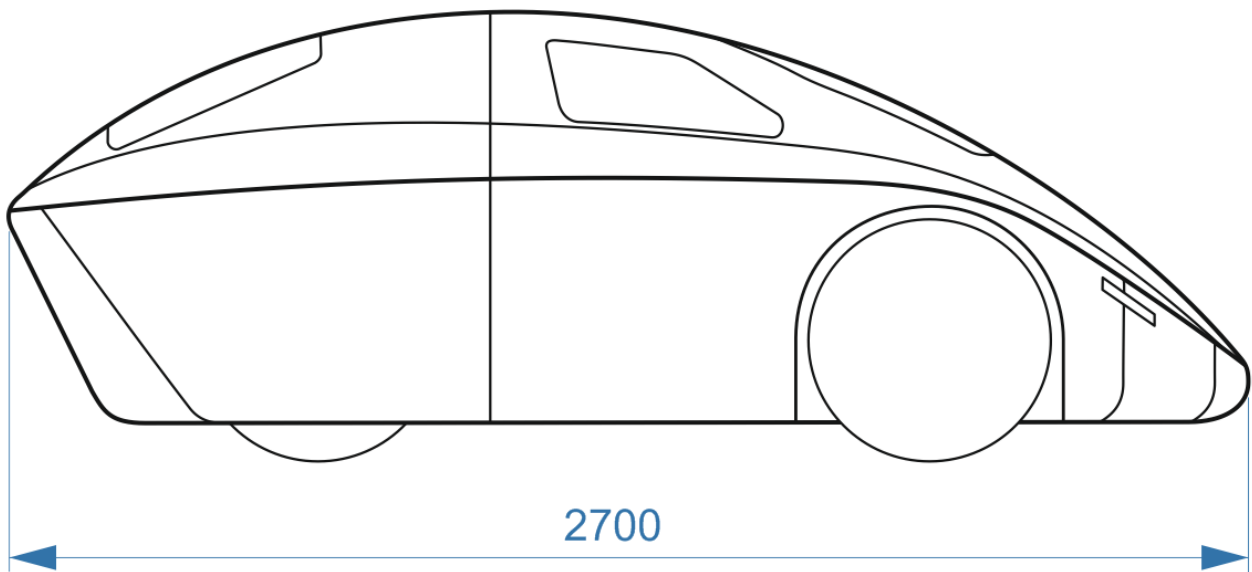
2.1.1 Κανόνες διαγωνισμού

Κάθε χρόνο δημοσιεύονται από τους διοργανωτές του διαγωνισμού οι νέοι κανόνες που πρέπει να πληρεί ένα όχημα για να λάβει μέρος. Οι κανόνες για το 2017 ήταν οι ακόλουθοι :

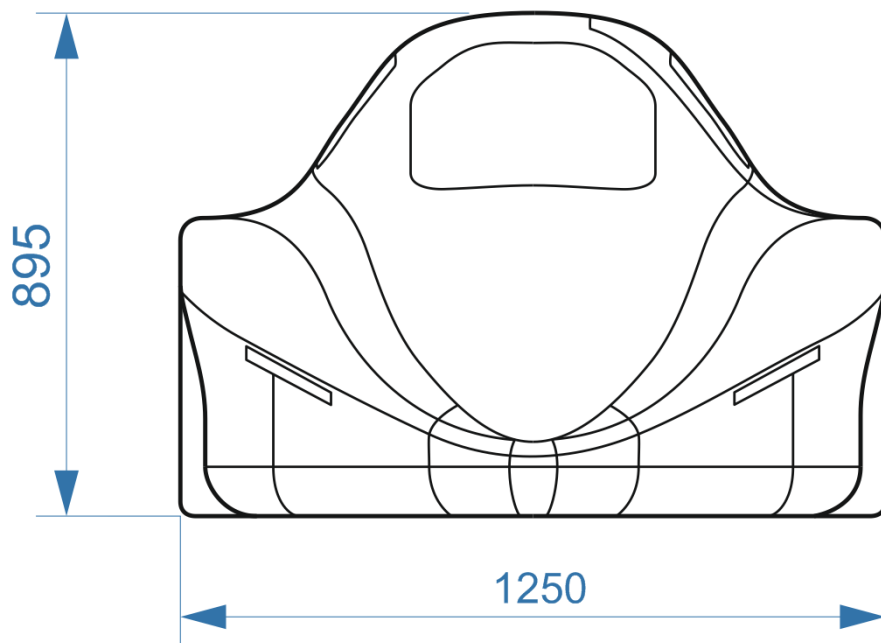
- Το σασί του οχήματος πρέπει να έχει σχεδιαστεί ώστε το μήκος, το πλάτος και το ύψος του να προστατεύουν το σώμα του οδηγού σε περίπτωση σύγκρουσης ή ανατροπής.
- Το σασί του οχήματος πρέπει να είναι εξοπλισμένο με roll-bar προστασίας του οδηγού. Η μπάρα πρέπει να εκτείνεται 5 εκατοστά γύρω από το κράνος του, όταν κάθεται σε κανονική θέση οδήγησης και η ζώνη ασφαλείας είναι κλειστή.
- Το roll-bar πρέπει να αποτελεί αναπόσπαστο τμήμα του σασί και να διαχωρίζει την καμπίνα του οδηγού από την κυψέλη υδρογόνου και τον κινητήρα.
- Το roll-bar θα πρέπει να μπορεί να αντέξει στατική φόρτιση 70 kg χωρίς να παραμορφώνεται σε οποιαδήποτε κατεύθυνση.
- Το μεταξόνιο πρέπει να είναι τουλάχιστον 120 cm.
- Το μετατρόχιο πρέπει να είναι τουλάχιστον 100 cm για το μπροστινό άξονα, και τουλάχιστον 80 cm για τον πίσω. Οι αποστάσεις μετρούνται μεταξύ των κέντρων των ελαστικών.
- Η απόσταση του οχήματος από το οδόστρωμα, με τον οδηγό μέσα, πρέπει να είναι τουλάχιστον 10 cm.

2.1.2 Περιορισμοί καλύμματος

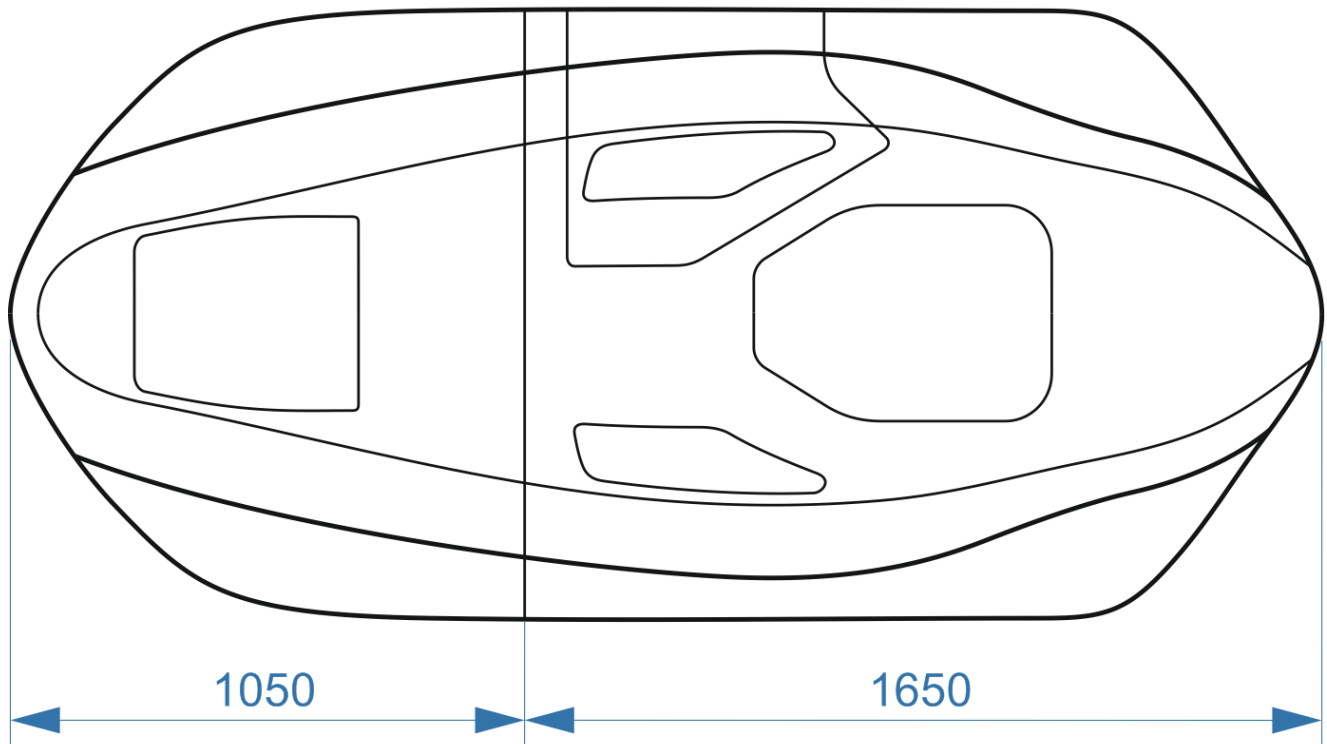
Το κάλυμμα του Spyros Louis είναι κατασκευασμένο από ανθρακόνημα και αποτελείται από δύο επιμέρους κομμάτια τα οποία καλύπτουν εξολοκλήρου το σασί διαμορφώνοντας τα αεροδυναμικά χαρακτηριστικά του οχήματος (Εικόνες 2.1-2.3). Επιπλέον προστατεύει τον οδηγό απομονώνοντας τον πλήρως από τις εξωτερικές συνθήκες και τυχόν θραύσματα κατά τη διάρκεια του αγώνα [17]. Το κάλυμμα αποτελεί ένα εξαιρετικά περίπλοκο και δαπανηρό μέρος του οχήματος το οποίο δεν δύναται να επανασχεδιάζεται συνεχώς, επομένως η στήριξη αλλά και οι εξωτερικές διαστάσεις του είναι περιορισμοί για την σχεδίαση του σασί.



Εικόνα 2.1 Πλάγια όψη του καλύμματος με βασικές διαστάσεις



Εικόνα 2.2 Εμπρόσθια όψη του καλύμματος με βασικές διαστάσεις



Εικόνα 2.3 Κάτοψη του καλύμματος με βασικές διαστάσεις

2.1.3 Απαιτήσεις οδηγού

Λόγο του εξαιρετικά χαμηλού ύψους του καλύμματος, το σασί αποτελείται από ένα ομοιόμορφου ύψους δάπεδο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το κάθισμα του αλλά και τα πετάλια να βρίσκονται στο ίδιο ύψος (εν αντιθέσει με τα σύγχρονα οχήματα πόλης). Επακόλουθο χαρακτηριστικό της διάταξης είναι ότι το σύστημα διεύθυνσης αλλά και ο άξονας του τιμονιού διέρχονται ανάμεσα από τα πόδια του οδηγού. Βάση αυτών των περιορισμών διαμορφώθηκαν οι ελάχιστες εσωτερικές διαστάσεις του σασί έτσι ώστε να διασφαλιστεί η άνεση του οδηγού κατά τον χειρισμό του οχήματος.

Ενδεικτικά :

- Ελάχιστο πλάτος στα πέλματα : 50cm
- Ελάχιστο πλάτος στα γόνατα : 55cm
- Ελάχιστο πλάτος στο κάθισμα: 55cm
- Ελάχιστο ύψος βάσης στήριξης τιμονιού: 30cm
- Ελάχιστο ύψος τιμονιού: 42cm
- Απόσταση τιμονιού από πλάτη του καθίσματος: 74cm
- Ύψος roll-bar: 75cm
- Πλάτος roll-bar: 63cm

2.1.4 Ασφάλεια

Η ασφάλεια του οδηγού ανέκαθεν ήταν πρώτη προτεραιότητα της ομάδας TUCER και αυτό αποδεικνύεται με τις τέσσερις διακρίσεις στον τομέα της ασφάλειας, μακράν οι περισσότερες από κάθε ελληνική ομάδα και από τις καλύτερες στην ιστορία του διαγωνισμού. Πέραν των βασικών προδιαγραφών του κανονισμού, η σχεδίαση του σασί επηρεάστηκε για να προσφέρει αυξημένη ασφάλεια με ενισχύσεις σε καίρια σημεία του. Έτσι εξασφαλίζεται μεγαλύτερη ακαμψία σε περίπτωση μετωπικής ή πλάγιας πρόσκρουσης με άλλο όχημα ή σταθερό αντικείμενο.

Μεγάλη σημασία δόθηκε στην έγκαιρη έξοδο του οδηγού από το όχημα σε περίπτωση ατυχήματος. Η σχεδίαση του σασί επηρεάστηκε σε μεγάλο βαθμό από αυτόν τον παράγοντα καθώς οι μικρές διαστάσεις του οχήματος και η θέση οδήγησης καθιστούν εξαιρετικά δύσκολη την έξοδο. Έτσι κατά την διάρκεια της επίσημης χρονομέτρησης από τους διοργανωτές, ο οδηγός εξήλθε σε λιγότερο από 4 δευτερόλεπτα (αντί για 10).

2.2 Αναρτήσεις

Από την δημιουργία της ομάδας (2008) μέχρι και το 2015 ο διαγωνισμός γινόταν σε πίστες αγώνων. Στις διαδρομές αυτές το οδόστρωμα ήταν πολύ ομαλό ενώ το πλάτος του δρόμου ήταν αρκετά μεγάλο καθώς ήταν κατασκευασμένο για οχήματα μεγάλου μεγέθους. Έτσι οι πίστες αυτές παρείχαν τις ιδανικές συνθήκες που επέτρεπαν στα μονοθέσια να μην έχουν συστήματα αναρτήσεων, οπότε η έδραση των τροχών γινόταν απευθείας στο σασί. Τα πλεονεκτήματα ήταν η σαφώς πιο μικρή πολυπλοκότητα και ευκολία στην κατασκευή αλλά και το μειωμένο βάρος.

Από το 2016 ο διαγωνισμός μεταφέρθηκε στο Λονδίνο όπου και γινόταν σε μία διαδρομή δημόσιου δρόμου η οποία διερχόταν σε διάφορα σημεία από ράγες τραμ. Ως αποτέλεσμα η κλειστή διαδρομή αυτή ήταν εξαιρετικά ανώμαλη (Εικόνα 2.4) και ιδιαίτερα στα σημεία που ήταν οι ράγες είχε απότομες ξύλινες ράμπες μεγάλου μήκους. Επιπλέον το πλάτος της διαδρομής στις στροφές ήταν πολύ μικρό εμποδίζοντας την ομαλή οδήγηση. Έτσι μετά από λίγους γύρους το υπάρχον πλαίσιο άρχισε να αστοχεί ενώ παράλληλα η οδήγηση χωρίς αναρτήσεις σε αυτό το οδόστρωμα ήταν μετα βίας ελεγχόμενη.

Τα δυναμικά φορτία από ανωμαλίες του δρόμου είναι ιδιαίτερα απρόβλεπτα στην συχνότητα και το μέγεθος και είναι εξαιρετικά δύσκολο να μοντελοποιηθούν και αναλυθούν. Δύναται όμως να οδηγήσουν ένα όχημα στην αστοχία καθώς ακόμα και με μικρές ταχύτητες οι δυνάμεις που ασκούνται στο πλαίσιο είναι πολλαπλάσιες σε σύγκριση με των στατικών φορτίων [4, 14].



Εικόνα 2.4 Μέρη της ειδικής διαδρομής του διαγωνισμού στο Λονδίνο

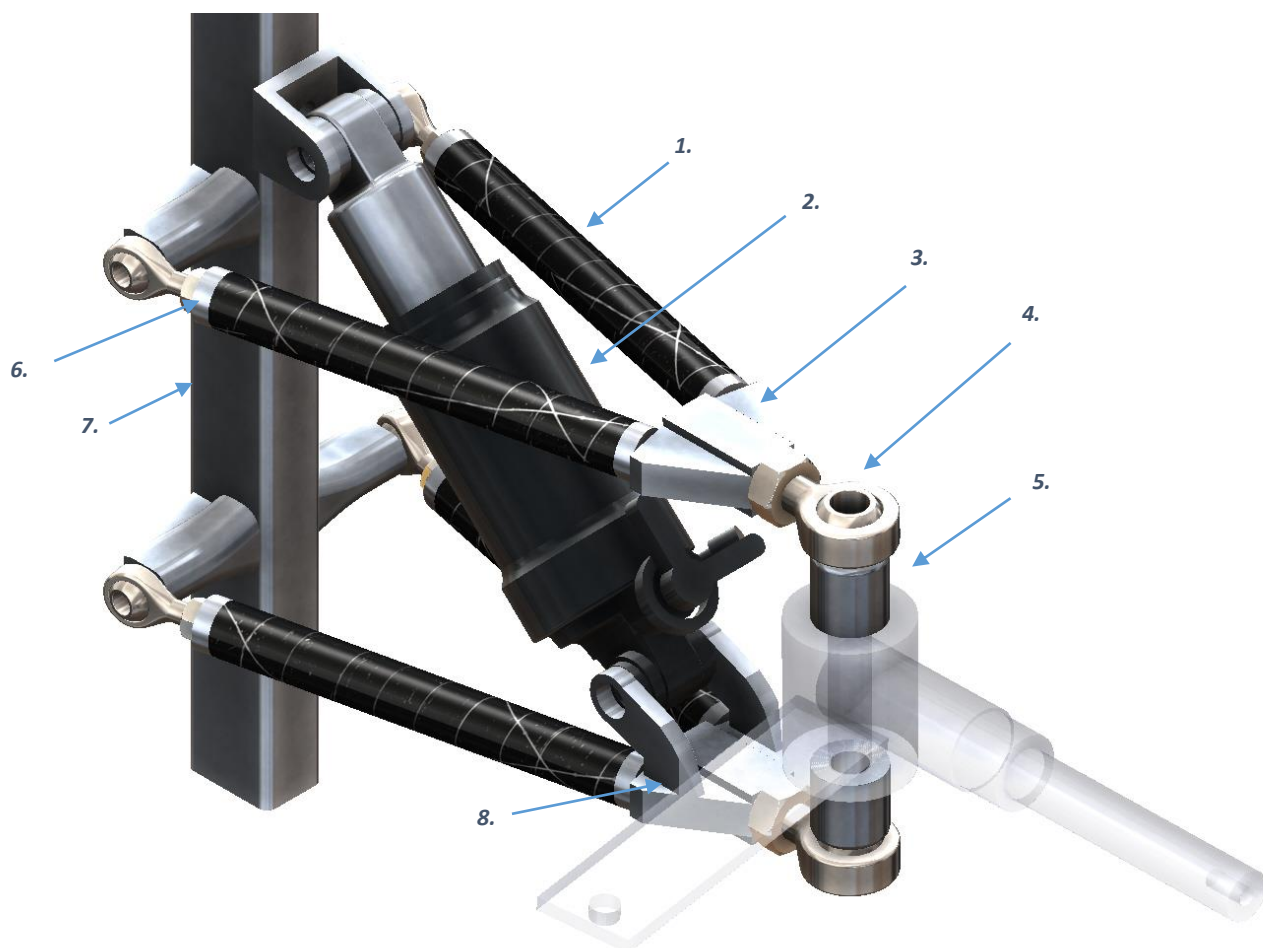
Η οδήγηση με σκοπό την μικρότερη κατανάλωση καυσίμου συνεπάγεται όσο δυνατόν ομαλότερη επιτάχυνση και ελάχιστη χρήση φρένων η οποία είναι σπατάλη ενέργειας. Ένα όχημα με αναρτήσεις παρέχει πιο μεγάλη προβλεψιμότητα και έλεγχο κατά τη διάρκεια ελιγμών δίνοντας έτσι την δυνατότητα στον οδηγό να διατηρεί ομαλή κίνηση και μεγαλύτερη μέση ταχύτητα στην διαδρομή. Επιπλέον δίνεται η δυνατότητα χρήσης πολύ υψηλότερων πιέσεων στα ελαστικά με μεγαλύτερη ασφάλεια (καθώς καταπονούνται λιγότερο) το οποίο συνεπάγεται μικρότερη επιφάνεια επαφής με το οδόστρωμα και άρα μικρότερη τριβή [4, 14].

Γι' αυτόν τον λόγο κρίθηκε αναγκαία η ανάπτυξη ενός συστήματος αναρτήσεων οι οποίες θα προστατέψουν το πλαίσιο στις ανωμαλίες του δρόμου ενώ παράλληλα θα δώσουν στον οδηγό μεγαλύτερη προβλεψιμότητα και έλεγχο κατά τις κλειστές στροφές.

2.2.1 Τύπος διάταξης αναρτήσεων

Το σύστημα ανάρτησης που επιλέχθηκε για τους εμπρός τροχούς είναι τα διπλά ίσου μήκους άκρα τύπου A (Εικόνα 2.5) καθώς προσφέρουν [4, 15] :

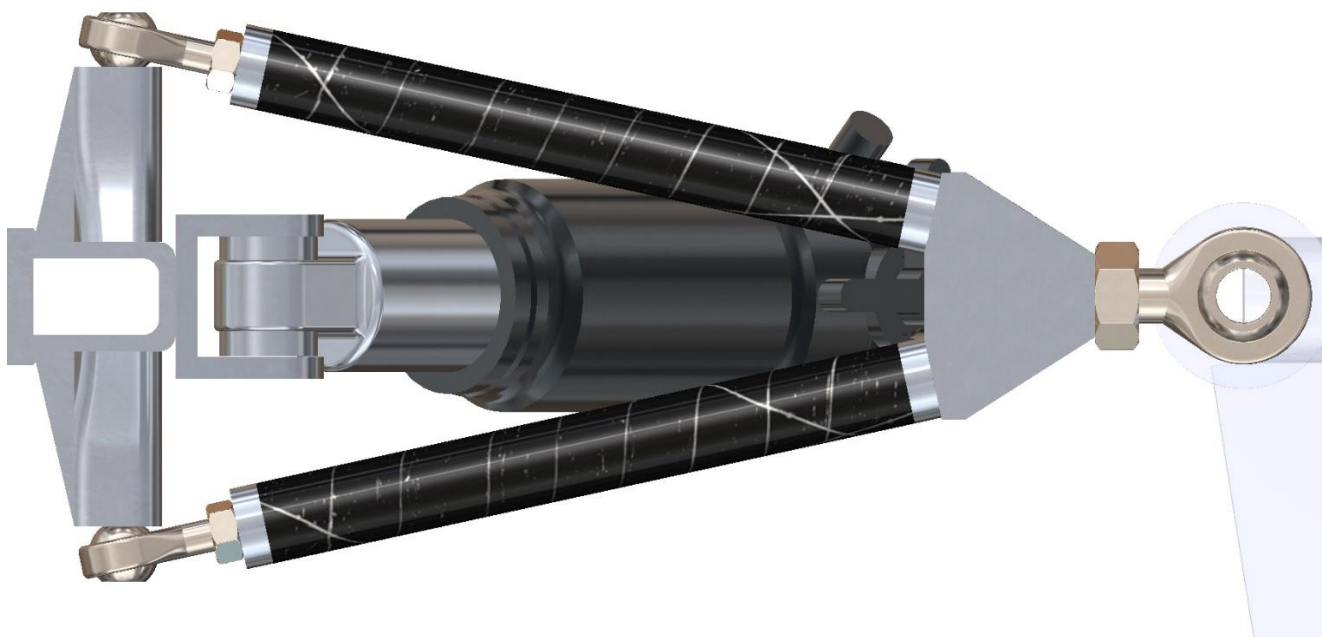
- Άριστη σχέση αντοχής-βάρους
- Απλής μορφής επιμέρους κομμάτια
- Μεγάλη δυνατότητα ρύθμισης
- Εύκολη αντικατάσταση-επιδιόρθωση σε περίπτωση βλάβης
- Αυξημένη προβλεψιμότητα και έλεγχο στις στροφές



Εικόνα 2.5 Όψη του εμπρός συστήματος ανάρτησης

Πίνακας 2.1 Λίστα εξαρτημάτων ανάρτησης

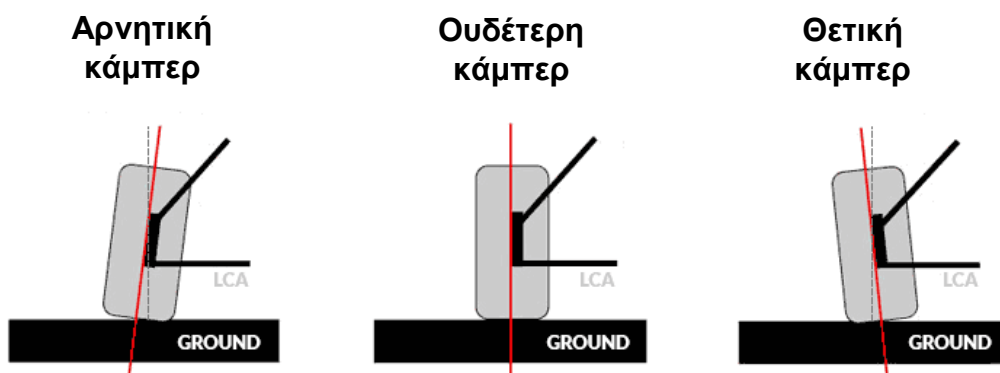
1	Άκρο από ανθρακόνημα 15x2.5mm
2	Αποσβεστήρας αερίου
3	Τριγωνικός σύνδεσμος αλουμινίου
4	Γοφός – ρουλεμάν άκρου 10mm
5	Αποστάτης ημιαξονίων
6	Σύνδεσμος αλουμινίου με σπείρωμα M6
7	Κολώνα έδρασης συστήματος στο σασί
8	Τριγωνικός σύνδεσμος – βάση αποσβεστήρα



Εικόνα 2.6 Κάτοψη συστήματος ανάρτησης

Οι γοφοί που χρησιμοποιούνται είναι ρυθμιζόμενοι στο μήκος τους σχηματίζοντας ένα τρίγωνο στο κάτω και ένα στο πάνω άκρο, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα ρύθμισης του συστήματος μεταβάλλοντας τις βασικές γωνίες κάμπερ και κάστερ.

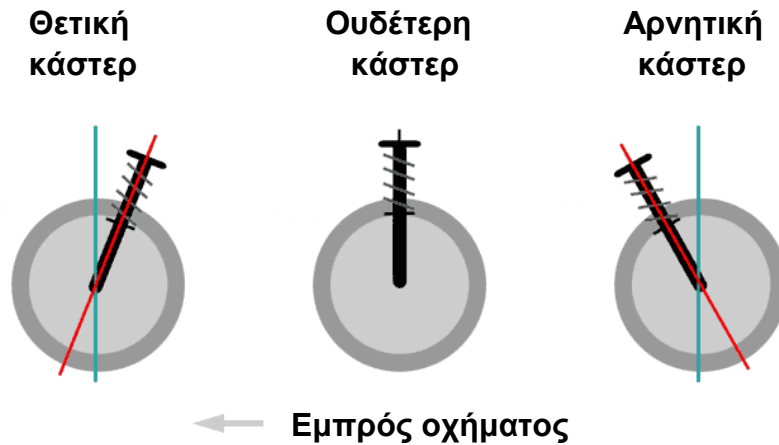
Γωνία Κάμπερ



Εικόνα 2.7 Κλίσεις γωνίας κάμπερ

Η κάθετη γωνία μεταξύ του τροχού και του οδοστρώματος (Εικόνα 2.7) [14]. Όσο αυξάνεται τόσο μικρότερη είναι η επιφάνεια επαφής του ελαστικού με το οδόστρωμα όταν το όχημα κινείται ευθεία, αλλά προσφέρει μεγαλύτερη ευστάθεια στις στροφές. Στο σύστημα που αναπτύχθηκε για το όχημα μας δίνεται η δυνατότητα ρύθμισης $\pm 10^\circ$.

Γωνία Κάστερ

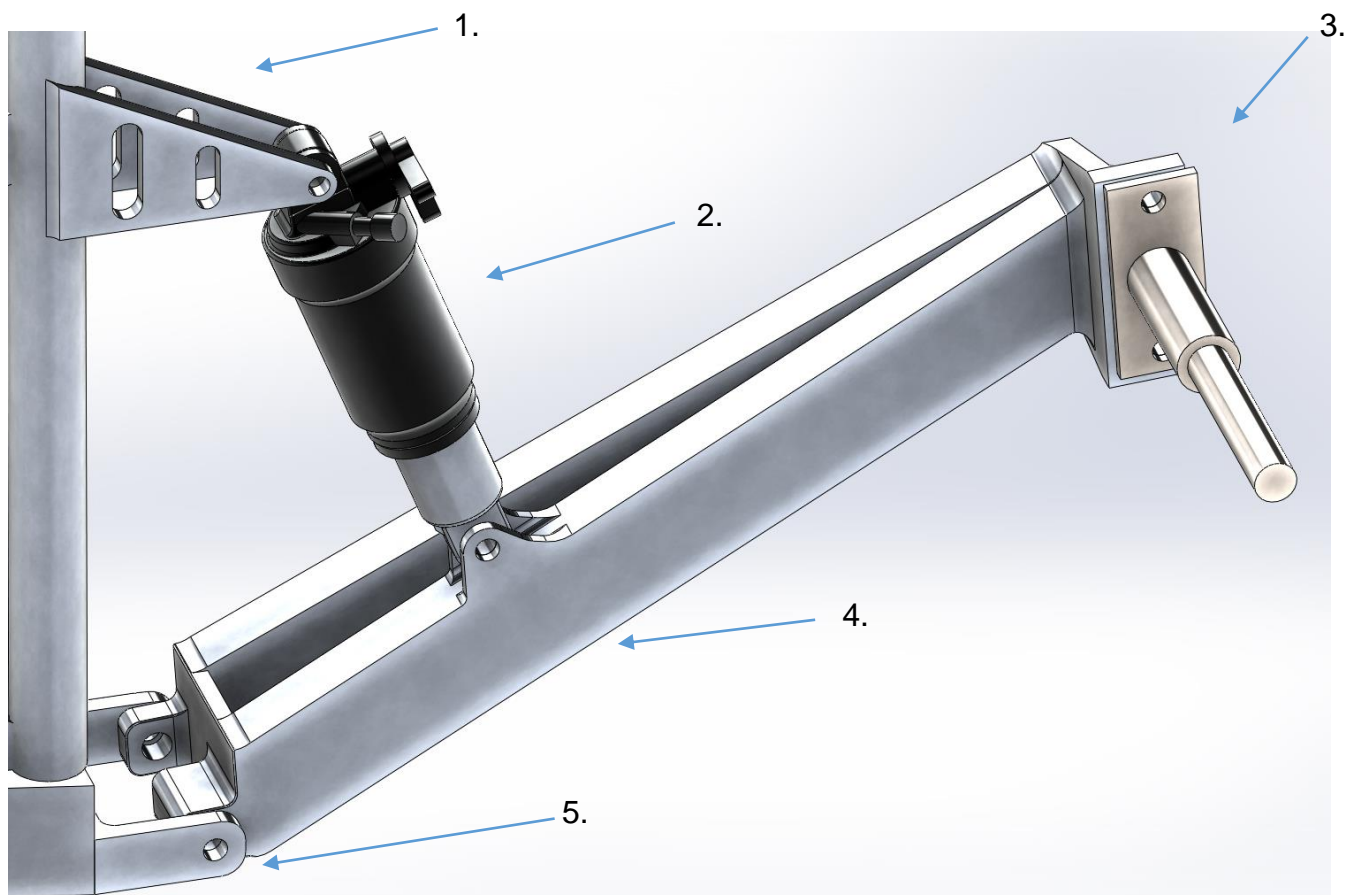


Εικόνα 2.8 Κλίσεις γωνίας κάστερ

Η γωνία μεταξύ του κάθετου άξονα περιστροφής του τροχού και του εδάφους κατά τον διαμήκη άξονα (Εικόνα 2.8) [14]. Όσο μεγαλύτερη τόσο καλύτερη η σταθερότητα του οχήματος και πιο αργή απόκριση στις εντολές του οδηγού. Στο σύστημα που αναπτύχθηκε για το όχημα μας δίνεται η δυνατότητα ρύθμισης $\pm 6,3^\circ$.

Το αντίστοιχο σύστημα για τους πίσω τροχούς είναι τα μονά συρόμενα άκρα (Εικόνα 2.9) με πλεονεκτήματα:

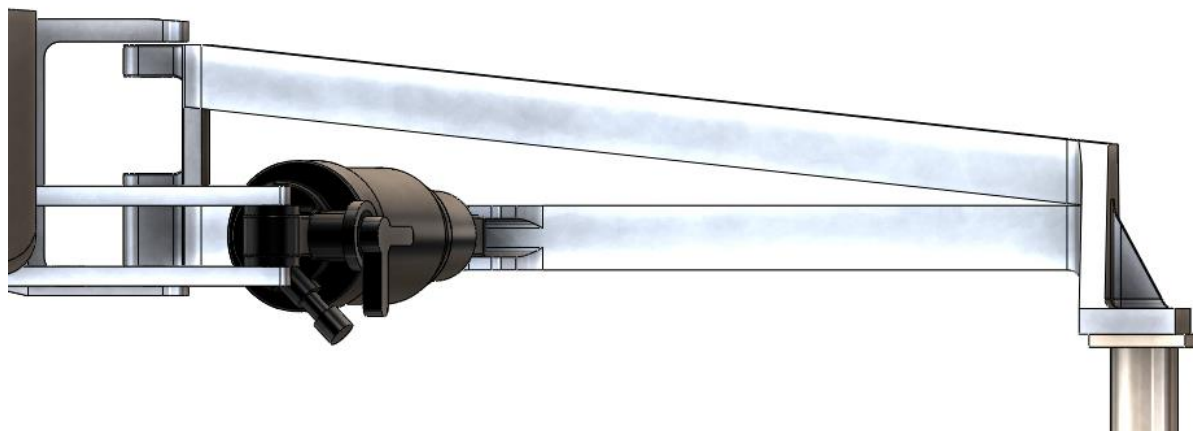
- Έδραση κοντά στον οδηγό – σχεδίαση μικρότερου και ελαφρύτερου σασί
- Μικρή εγκάρσια διάσταση - περισσότερος χώρος για τα ηλεκτρονικά
- Δυνατότητα απευθείας στερέωσης του κινητήρα χωρίς άξονα μετάδοσης
- Απλή και εύκολη κατασκευή
- Οι τροχοί κινούνται με σταθερή γωνία κάμπερ – μπορούν να περιβάλλονται εξολοκλήρου από το κάλυμμα



Εικόνα 2.9 Όψη πίσω συστήματος ανάρτησης

Πίνακας 2.2 Λίστα εξαρτημάτων ανάρτησης

1	Βάση στήριξης αποσβεστήρα από αλουμίνιο
2	Αποσβεστήρας αερίου
3	Πίσω ημιαξόνιο
4	Συρόμενο άκρο αλουμινίου
5	Βάση στήριξης άκρου από αλουμίνιο



Εικόνα 2.10 Κάτοψη πίσω συστήματος ανάρτησης

2.2.2 Επιλογή αποσβεστήρων

Για την επιλογή των αποσβεστήρων κριτήρια ήταν το χαμηλό βάρος, μικρές διαστάσεις αλλά και η δυνατότητα ρύθμισης των επιμέρους λειτουργιών.

- Το συνολικό βάρος είναι υψίστης σημασίας καθώς έχει άμεσο ρόλο στην κατανάλωση καυσίμου και πρέπει να διατηρείται όσο πιο μικρό γίνεται. Η ανάρτηση επιπλέον αποτελεί μη αναρτώμενο βάρος το οποίο επηρεάζει αρνητικά σε μεγάλο βαθμό την οδηγική συμπεριφορά του οχήματος.
- Η δυνατότητα ρύθμισης (όπως π.χ. το ύψος οχήματος, ποσοστό απόσβεσης και προοδευτικότητα) δίνει την ευελιξία στην ομάδα να πειραματιστεί σε διάφορες συνθήκες οδήγησης με σκοπό την βέλτιστη συμπεριφορά του οχήματος σε κάθε πίστα ή διαφορετικό οδηγό.
- Όσο το δυνατόν μικρότερες διαστάσεις αφού το μέγεθος του αποσβεστήρα έχει άμεση επίδραση στις συνολικές διαστάσεις της κατασκευής.

Με βάση τα παραπάνω κριτήρια επιλέχθηκαν αποσβεστήρες με τα εξής χαρακτηριστικά :

- Εξολοκλήρου από αλουμίνιο 7075 – βάρος 215gr
- Υδραυλική πλήρως ρυθμιζόμενη απόσβεση
- Επαναφορά με χρήση πεπιεσμένου αέρα – αδιαβάθμιτη ρύθμιση 20 - 200psi
- Δυνατότητα μηχανικού κλειδώματος με μοχλό
- Διαστάσεις 165x38mm



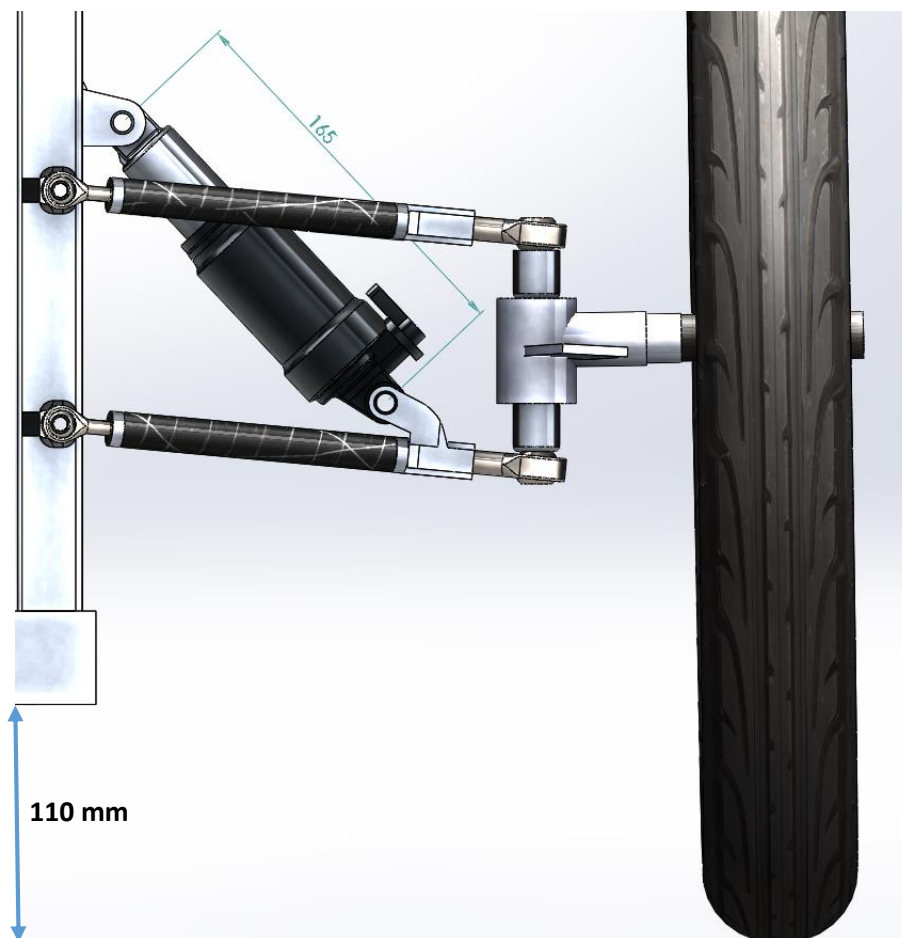
Εικόνα 2.11 Αποσβεστήρας Rock Shock RT3

Η δυνατότητα κλειδώματος είναι ιδιαίτερα σημαντική στα πλαίσια του διαγωνισμού καθώς δίνει την δυνατότητα στην ομάδα TUCER να πειραματιστεί κατά τη διάρκεια των δοκιμών και να καταλήξει στην οικονομικότερη σε καύσιμο λύση.

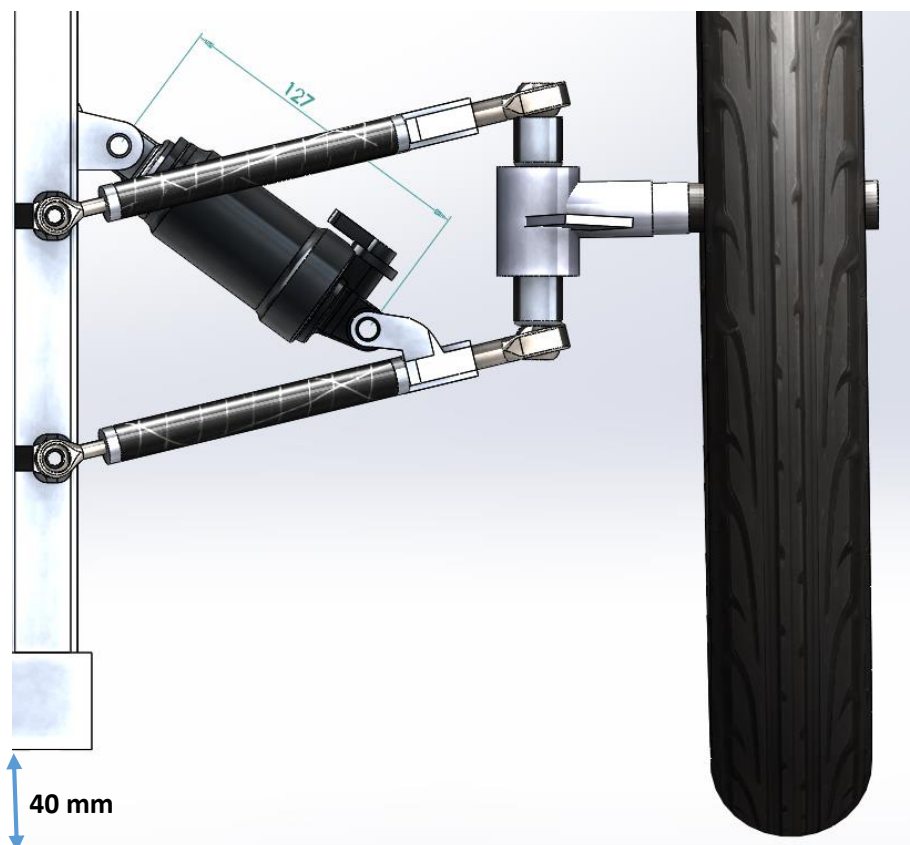
2.2.3 Λειτουργικά χαρακτηριστικά

Λόγο των διαφόρων φυσικών περιορισμών οι διαστάσεις και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του εμπρός συστήματος διαμορφώνονται ως εξής :

- Διαδρομή αποσβεστήρα : 38mm
- Διαδρομή τροχού : 70mm
- Μέγιστη απόσταση οχήματος από το έδαφος : 110mm
- Ελάχιστη απόσταση οχήματος από το έδαφος : 40mm
- Δυνατότητα ρύθμισης γωνίας κάμπερ : $\pm 10^\circ$
- Δυνατότητα ρύθμισης γωνίας κάστερ : $\pm 6,3^\circ$



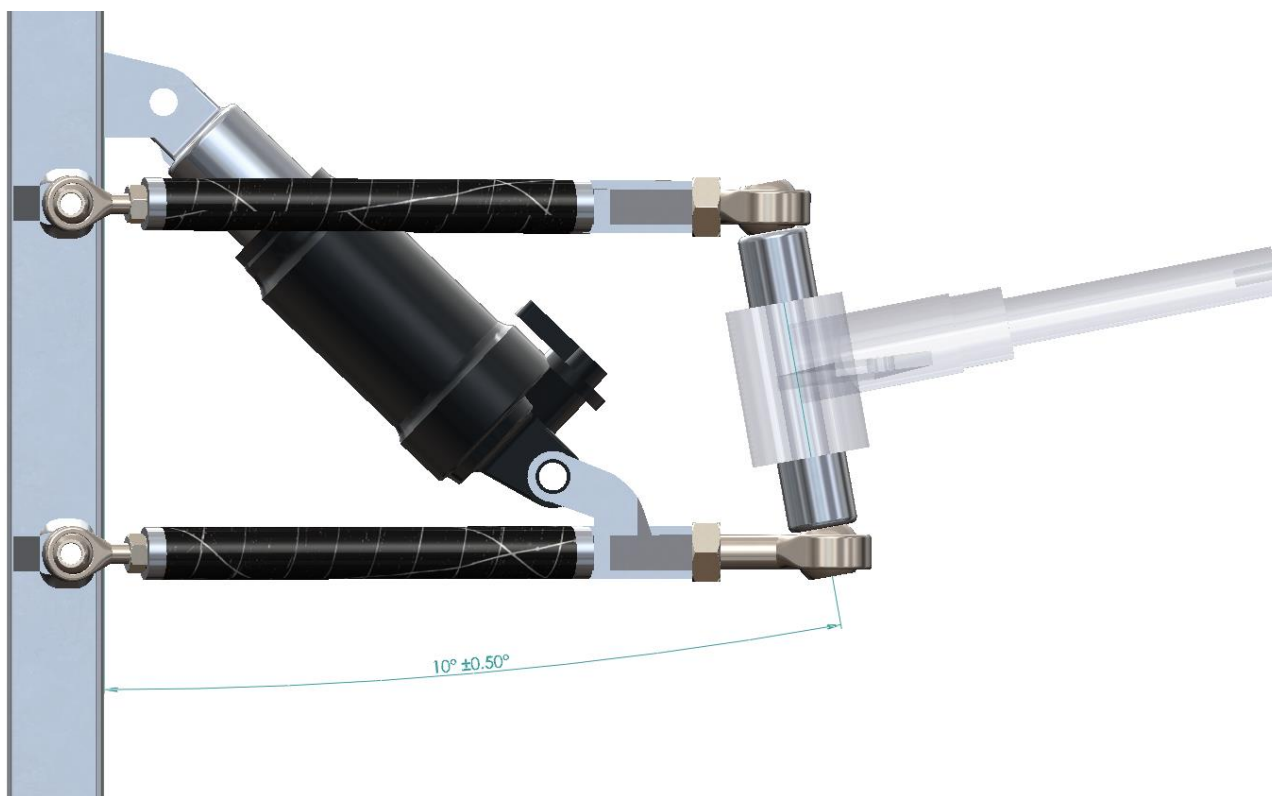
Εικόνα 2.12 Σύστημα ανάρτησης σε πλήρη έκταση



Εικόνα 2.13 Σύστημα ανάρτησης σε πλήρη σύμπτυξη



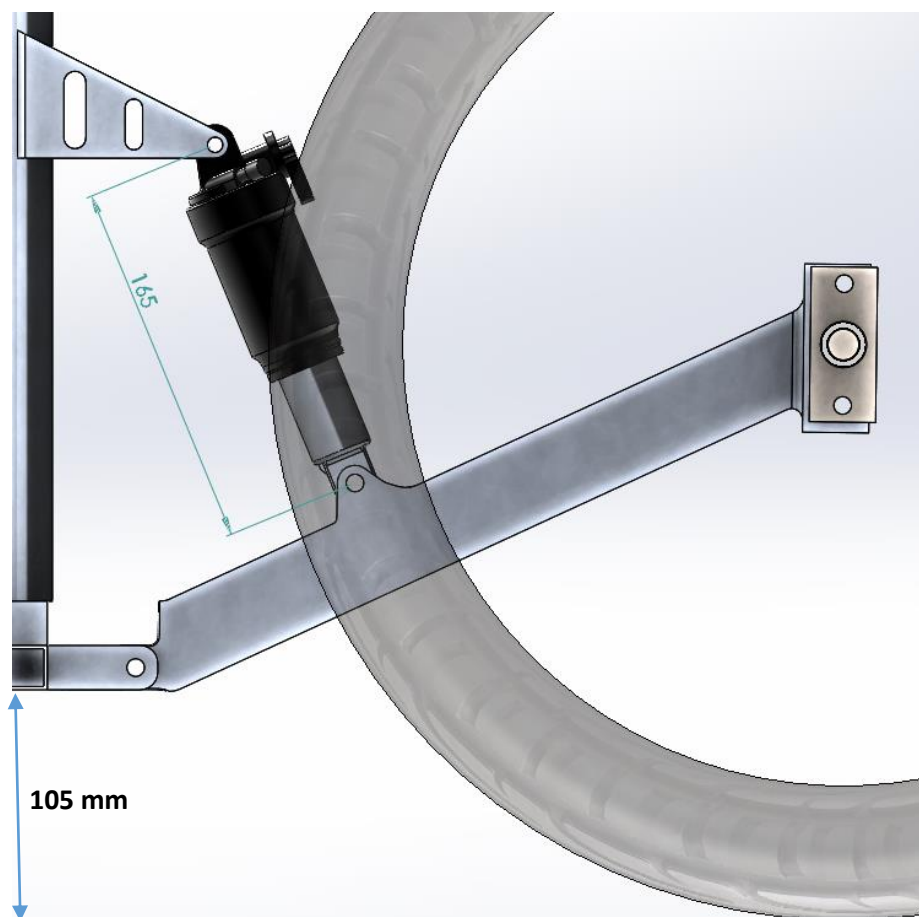
Εικόνα 2.14 Μέγιστη μεταβολή γωνίας κάστερ



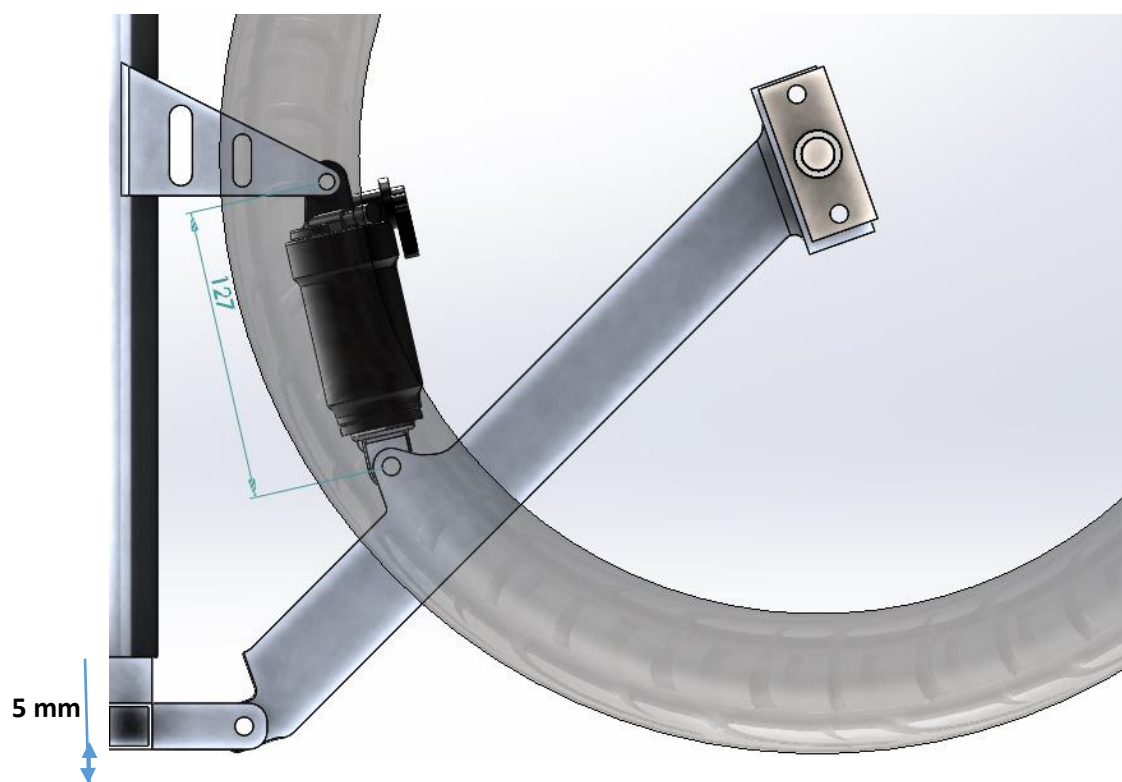
Εικόνα 2.15 Μέγιστη μεταβολή γωνίας κάμπερ

Για το πίσω σύστημα τα χαρακτηριστικά διαμορφώνονται ως εξής :

- Διαδρομή αποσβεστήρα : 38mm
- Διαδρομή τροχού : 100mm
- Μέγιστη απόσταση οχήματος από το έδαφος : 105mm
- Ελάχιστη απόσταση οχήματος από το έδαφος : 5mm



Εικόνα 2.16 Σύστημα πίσω ανάρτησης σε πλήρη έκταση



Εικόνα 2.17 Πίσω σύστημα ανάρτησης σε πλήρη σύμπτυξη

2.3 Πλαίσιο

Λόγο των προαναφερθέντων συνθηκών του οδοστρώματος αλλά και την προσθήκη αναρτήσεων, ήταν αναγκαία η ολοκληρωτική επανασχεδίαση του πλαισίου του μονοθέσιου. Η σχεδίαση από το στάδιο των προσχεδίων μέχρι την τελική μορφή ήταν καθοδηγούμενη από τους παραπάνω περιορισμούς, αλλά και από την ανάγκη της ομάδας TUCER για τεχνολογική εξέλιξη και εφευρετικότητα, λαμβάνοντας επιπλέον υπόψιν τον διαγωνισμό ασφαλείας. Η κατασκευή και συναρμολόγηση του πλαισίου θα λάβει μέρος εξολοκλήρου στις εγκαταστάσεις του δια τμηματικού εργαστηρίου εργαλειομηχανών του πολυτεχνείου Κρήτης.

2.3.1 Τύπος πλαισίου

Επιλέχθηκε ένα πλαίσιο τύπου χωροδικτυώματος καθώς συνδυάζει απλής μορφής μεμονωμένα μέρη εύκολα στην κατασκευή αλλά και δυνατότητα συνδυασμού διαφορετικών υλικών ανάλογα με τις δυνάμεις. Τα σύνθετα φορτία αναλύονται σε απλές θλιπτικές και εφελκυστικές τάσεις εύκολες στην αντιμετώπιση στο στάδιο του σχεδιασμού. Επίσης χαρακτηρίζεται από χαμηλό κόστος κατασκευής και επιδιόρθωσης σε περίπτωση βλάβης

2.3.2 Επιλογή υλικών

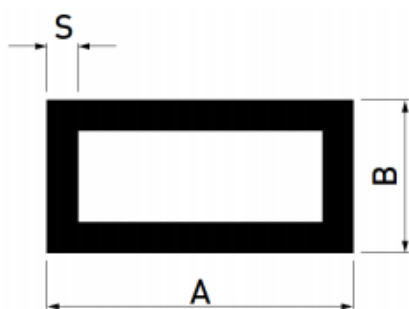
Με γνώμονα το χαμηλότερο δυνατό βάρος, τη μέγιστη ακαμψία αλλά και τη διαθεσιμότητα των υλικών, για την κατασκευή του πλαισίου έγινε χρήση αλουμινίου σε συνδυασμό με ανθρακόνημα.

Τα κράματα αλουμινίου που επιλέχθηκαν και ήταν διαθέσιμα στην ελληνική αγορά ήταν το αεροπορικού τύπου θερμικά επεξεργασμένο 6061 – T5 για τα ορθογώνια προφίλ και τις πλάκες, και το γενικής χρήσης επίσης θερμικά επεξεργασμένο 6063 – T5 για το κυκλικό [10, 12].

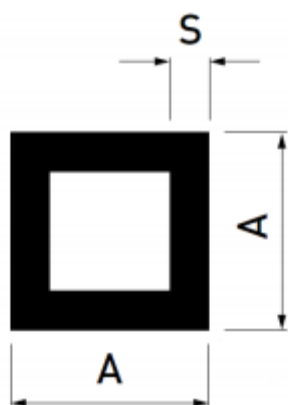
Πίνακας 2.3 Μηχανικές ιδιότητες των κραμάτων αλουμινίου

Κράμα	6061 – T5	6063 – T5
Πυκνότητα	2,7 g/cm ³	2,69 g/cm ³
Μέτρο ελαστικότητας	69 GPa	69 GPa
Λόγος Poisson	0,33	0,33
Όριο διαρροής	206 MPa	140 MPa

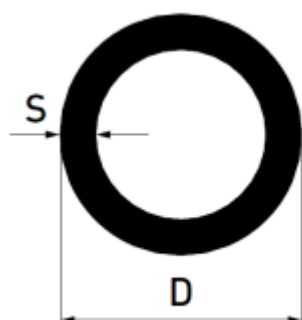
Προφίλ που χρησιμοποιήθηκαν :



A	40 mm
B	20 mm
S	2 mm



A	30 mm
B	30 mm
S	1.5 mm



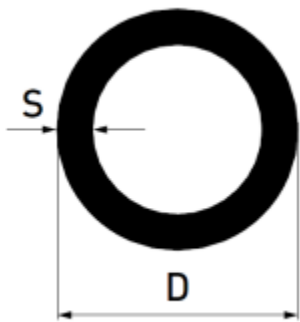
D	25 mm
S	3 mm

Το σύνθετο υλικό που χρησιμοποιήθηκε αποτελείται από ίνες ανθρακονήματος τύπου πλέξης T700S εμποτισμένες με ειδική εποξική ρητίνη θερμικά επεξεργασμένη για την επίτευξη όσο το δυνατόν μεγαλύτερης αντοχής [11].

Πίνακας 2.4 Μηχανικές ιδιότητες σύνθετου υλικού ανθρακονήματος- ρητίνης

Πυκνότητα	1,6 g/cm ³
Μέτρο ελαστικότητας	135 Gpa
Λόγος Poisson	0,1
Όριο διαρροής	2550 MPa

Προφίλ που χρησιμοποιήθηκαν :



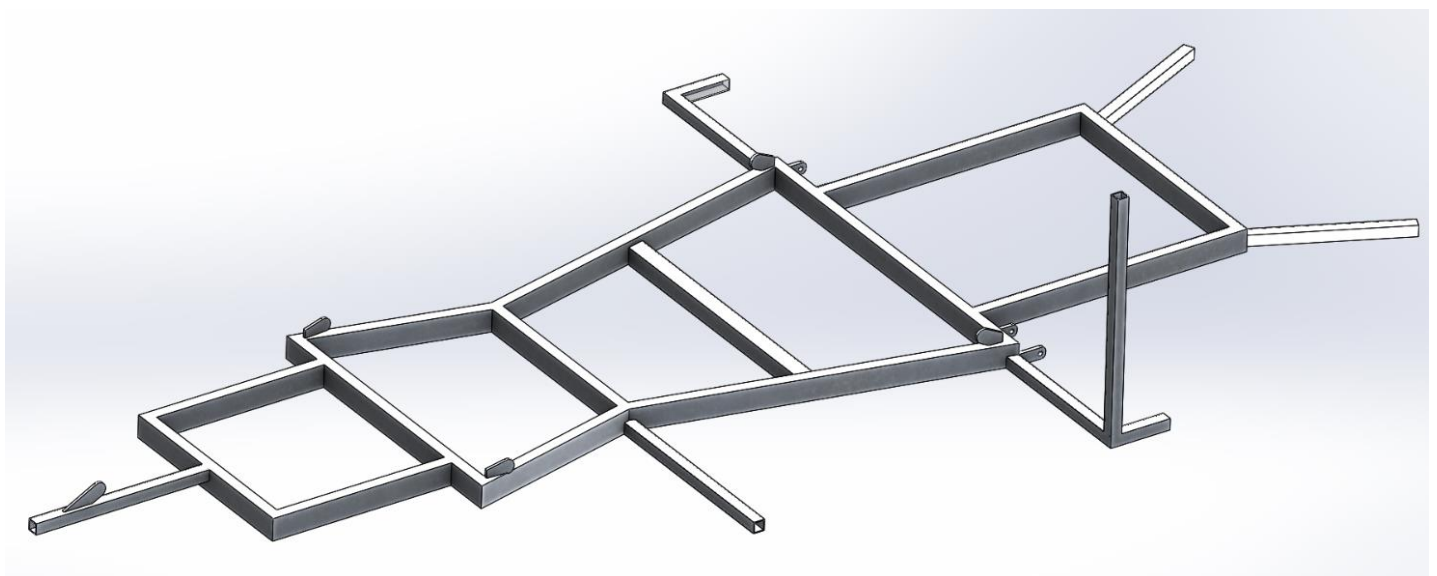
D	22 mm
S	1,5 mm

D	15 mm
S	2,5 mm

2.3.3 Βασικός σχεδιασμός

Το προτεινόμενο υβριδικό σασί του οχήματος αποτελείται από δύο συναρμογές διαφορετικής φιλοσοφίας σχεδίασης αλλά και χρήση διαφορετικών υλικών. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται ένα πλαίσιο που συνδυάζει την ευκολία του αλουμινίου όσον αφορά την κατασκευή και συγκόλληση στα εργαστήρια της ομάδας, αλλά και την μεγάλη αντοχή και χαμηλό βάρος του ανθρακονήματος.

Η πρώτη κατασκευή αποτελεί την βάση πάνω στην οποία στερεώνονται όλα τα αφαιρούμενα τμήματα του πλαισίου, τα συστήματα αναρτήσεων και όλα τα υπόλοιπα περιφερειακά του οχήματος. Πρόκειται για μία ενιαία συγκολλημένη κατασκευή από προφίλ αλουμινίου 40x20mm και 20x20mm (Εικόνα 2.18).



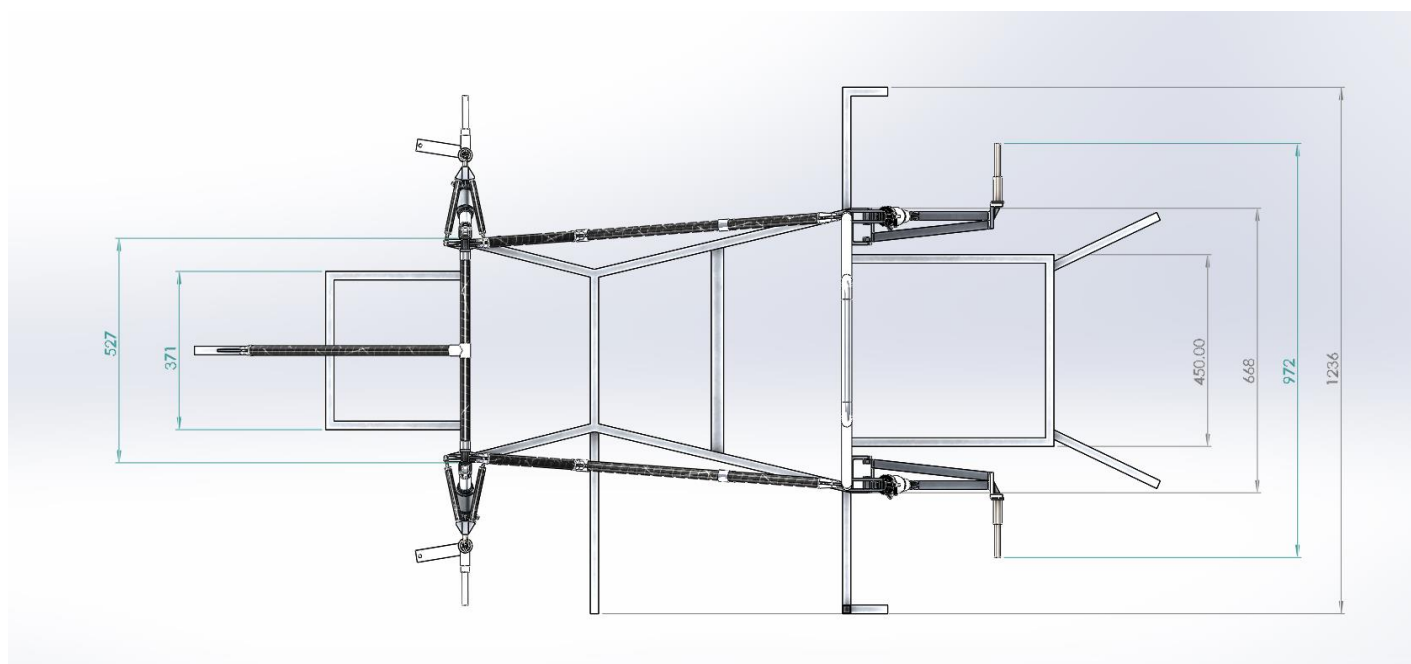
Εικόνα 2.18 Όψη πλαισίου βάσης

Το δεύτερο μέρος του πλαισίου πρόκειται για χωροδικτύωμα αποτελούμενο από ανθρακόνημα κυλινδρικού προφίλ με συνδέσμους αλουμινίου στα άκρα του (Εικόνα 2.19). Η κατασκευή αυτή προσδίδει μεγάλη ακαμψία στο σασί αλλά και προστασία στον οδηγό με πολύ χαμηλό βάρος. Επίσης παρέχει την πρόσθετη ευελιξία στην ομάδα εάν θεωρήσει σκόπιμο για λόγους δοκιμών, την αφαίρεση κάποιων μερών εύκολα απλά αφαιρώντας δύο βίδες ανά εξάρτημα.

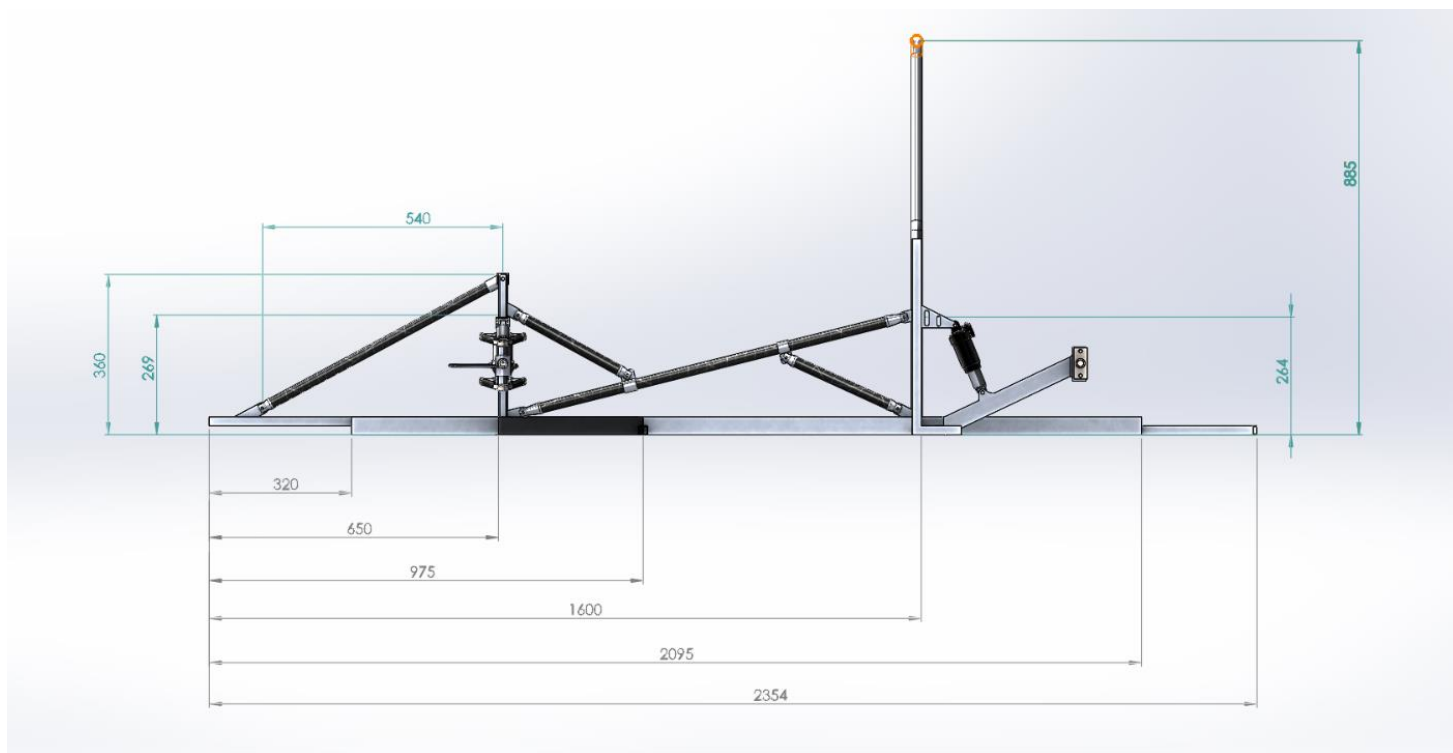


Εικόνα 2.19 Όψη χωροδικτύωματος από ανθρακόνημα

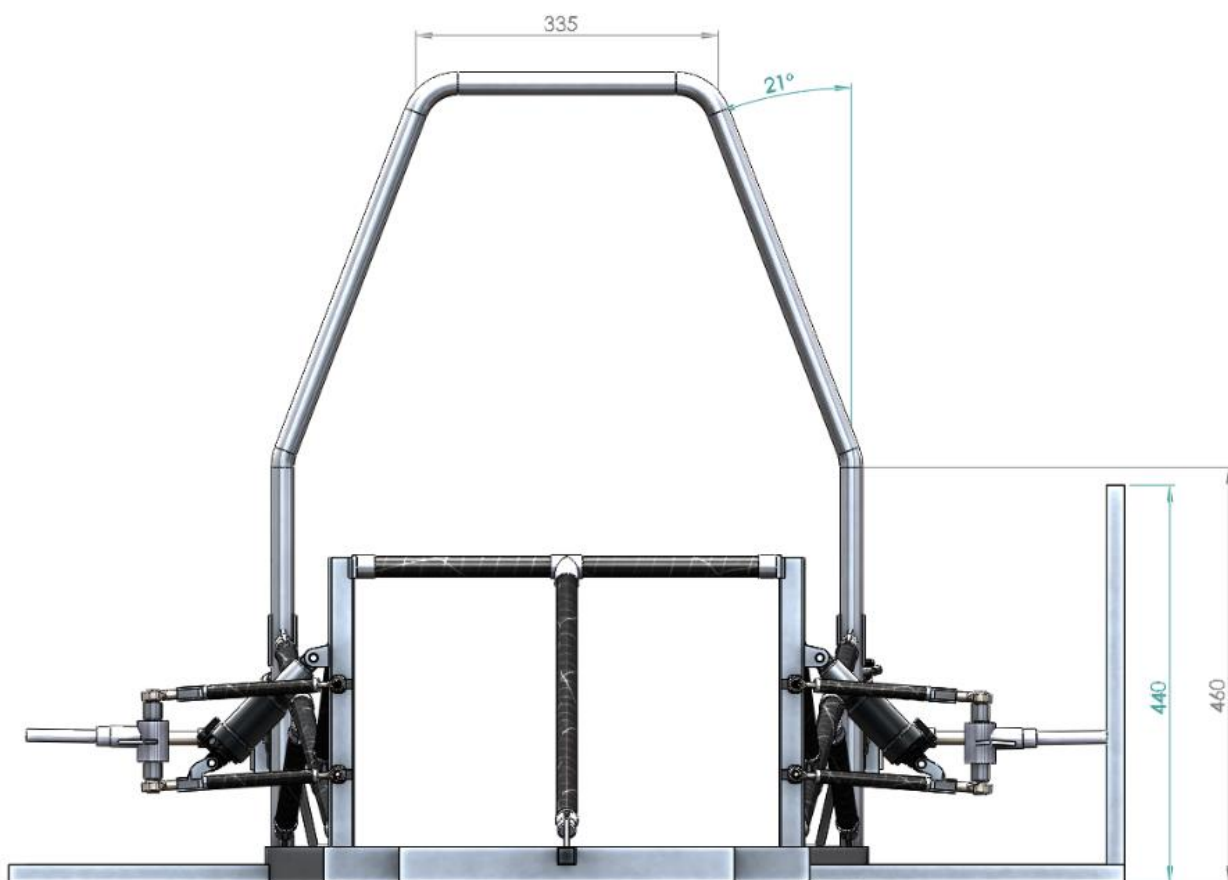
Τοποθετώντας το roll bar από κυλινδρικό προφίλ διαμέτρου 25mm και πάχους 3mm αλλά και τα συστήματα αναρτήσεων, το ολοκληρωμένο πλαίσιο του οχήματος διαμορφώνεται ως εξής :



Εικόνα 2.20 Κάτοψη πλαισίου



Εικόνα 2.21 Πλάγια όψη πλαισίου



Εικόνα 2.22 Εμπρόσθια όψη πλαισίου

3.

Ανάλυση & Μοντελοποίηση

3.1 Εισαγωγή

Για τον έλεγχο της αντοχής αλλά και πρόληψη τυχών αστοχίας του πλαισίου θα χρησιμοποιηθεί προσομοίωση και ανάλυση με χρήση υπολογιστή. Υπάρχουν πολλές τεχνικές ανεπτυγμένες από την βιομηχανία με στόχο την μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια ή την ταχύτητα επεξεργασίας. Για την συγκεκριμένη μελέτη θα πραγματοποιηθεί μια γραμμική στατική ανάλυση [12, 13].

Η έννοια της «γραμμικής» ανάλυσης υποδηλώνει ότι οι υπολογιζόμενες παραμορφώσεις στο μοντέλο εξαρτώνται γραμμικά από το μέγεθος των εφαρμοζόμενων δυνάμεων ενώ η έννοια «στατική» σημαίνει ότι οι δυνάμεις αυτές είναι σταθερές στον χρόνο και δεν μεταβάλλεται το μέγεθος τους κατά τη διάρκεια της ανάλυσης. Τα προγράμματα που πραγματοποιούν τέτοιες αναλύσεις χρησιμοποιούν τη μέθοδο πεπερασμένων στοιχείων ή FEA (Finite Element Analysis) [12, 18].

Τα προγράμματα αυτά έχουν ως στόχο την μείωση του κόστους και του χρόνου κατά την εξέλιξη μίας κατασκευής. Παρέχουν αποτελέσματα τα οποία βοηθούν στην όσο το δυνατόν μείωση των πολυέξοδων και χρονοβόρων πειραματικών δοκιμών. Έτσι εάν μία κατασκευή εμφανίσει αδυναμία και δεν πληρεί τις επιθυμητές προδιαγραφές μπορεί να διορθωθεί εγκαίρως στο στάδιο του σχεδιασμού [12, 13].

3.2 Μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων (FEA)

Η μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων (FEA) παρέχει μεγάλη ακρίβεια αποτελεσμάτων σε πολύπλοκες κατασκευές αλλά χρησιμοποιεί πολλούς και χρονοβόρους υπολογισμούς. Όμως με την ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας τις τελευταίες δύο δεκαετίες είναι δυνατόν να πραγματοποιηθούν αναλύσεις μεγάλου μεγέθους σε χρονικό πλαίσιο λεπτών και όχι ημερών [7, 12].

Η FEA είναι μια αριθμητική μέθοδος βασισμένη σε υπολογιστή που χρησιμοποιείται για μεγάλο εύρος προβλημάτων εφαρμοσμένης μηχανικής. Βασική αρχή της είναι η θεώρηση ενός στερεού ή συνεχούς ρευστού ως δομημένο από μεγάλο αριθμό μικρού μεγέθους συνδεδεμένα στοιχεία. Τα

στοιχεία αυτά μπορούν να τοποθετηθούν με οποιονδήποτε τρόπο καθιστώντας έτσι δυνατή την διαμόρφωση πολύπλοκων μορφών [7, 12].

Στη μέθοδο αυτή η κατασκευή μοντελοποιείται ως ένα πλέγμα ξεχωριστών συγκεκριμένου (πεπερασμένου) αριθμού στοιχείων. Τα στοιχεία αυτά συνδέονται μεταξύ τους στις άκρες τους και τα σημεία αυτά ονομάζονται κόμβοι. Για μία ανάλυση τάσεων χρησιμοποιούνται βασικές εξισώσεις ορθών τάσεων και παραμορφώσεων οι οποίες υπολογίζουν την μετατόπιση κάθε ενός στοιχείου και στη συνέχεια από την εκτροπή των κόμβων υπολογίζεται η παραμόρφωση και η ορθή τάση των κόμβων [7, 12].

Για τον υπολογισμό όμως της δύναμης σε ένα κόμβο λαμβάνεται υπόψιν και οι δυνάμεις των γειτονικών. Κατά τη διάρκεια της επίλυσης τα στοιχεία συμπεριφέρονται σαν ένα σύστημα ελατηρίων τα οποία εκτρέπονται έως ότου όλες οι δυνάμεις να βρεθούν σε ισορροπία. Ως αποτέλεσμα έχουμε ένα σύνθετο σύστημα ταυτόχρονων εξισώσεων όπου απαιτεί άλγεβρα πινάκων [12].

3.3 Είδη αστοχίας

Στα πλαίσια της Ο συντελεστής ασφαλείας είναι ο λόγος της μέγιστης τάσης που μπορεί να αντέξει μία κατασκευή ως προς την τάση που ασκείται από τις παρούσες δυνάμεις, δηλώνει δηλαδή πόσο δυνατότερη είναι μία κατασκευή απ' όσο χρειάζεται για να ανταπεξέλθει στα απαιτούμενα φορτία [9].

$$n = \sigma / \sigma_{\text{επ}} > 1$$

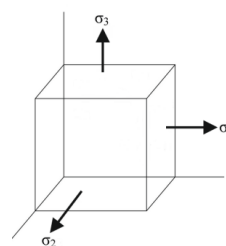
Όταν ένα στοιχείο φορτίζεται προς μία διεύθυνση τότε η τάση που εμφανίζεται μπορεί να συγκριθεί απευθείας με τις μηχανικές ιδιότητες του υλικού και να υπολογιστεί ο συντελεστής ασφαλείας. Όταν όμως ασκούνται δυσδιάστατα ή τρισδιάστατα φορτία το πρόβλημα γίνεται πιο περίπλοκο καθώς έχουμε πολλές τάσεις αλλά μόνο μια σημαντική αντοχή [7, 12]. Για να πραγματοποιηθεί λοιπόν ο υπολογισμός του συντελεστή ασφαλείας αναπτύχθηκαν οι εξής θεωρίες:

- **Θεωρία μέγιστης ορθής τάσης**

Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή αστοχία θα προκύψει όταν μία από τις τρεις βασικές τάσεις φτάσει την αντοχή του υλικού. Έτσι αν κατατάξουμε τις τάσεις για οποιαδήποτε κατάσταση στην παρακάτω σειρά: $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$, τότε η θεωρία αυτή προβλέπει ότι θα έχουμε αστοχία όταν:

$$\sigma_1 = S_y \text{ ή } \sigma_3 = -S_c$$

όπου S_y και S_c είναι οι αντοχές θλίψης και εφελκυσμού που αφορούν, είτε το όριο διαρροής, είτε το μέγιστο όριο αντίστοιχα [7, 12].



- **Θεωρία μέγιστης διατμητικής τάσης**

Στη θεωρία αυτή η διαρροή ξεκινάει όταν η μέγιστη διατμητική τάση σε οποιοδήποτε τμήμα γίνει ίση με την μέγιστη ορθή τάση ενός δείγματος του τεμαχίου σε εφελκυσμό. Προϋπόθεση είναι το μοντέλο να αποτελείται από το ίδιο υλικό όταν το δείγμα αυτό αρχίσει να διαρρέει [7, 12]. Αν καταταχθούν και πάλι οι τάσεις σαν $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$, τότε η θεωρία αυτή προβλέπει ότι η διαρροή θα προκύψει όταν:

- **Θεωρία ενέργειας παραμόρφωσης ή Von Mises**

Σε αυτή τη θεωρία προβλέπεται ό,τι η αστοχία από διαρροή προκύπτει όταν η Von Mises ή αλλιώς ισοδύναμη τάση σ' , ισούται με το όριο διαρροής του υλικού [12]. Η τιμή της τάσης αυτής προκύπτει χρησιμοποιώντας μια υπόθεση για την ενέργεια παραμόρφωσης και δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$\tau_{\max} \geq \frac{S_y}{2} \quad \text{ή} \quad \sigma_1 - \sigma_3 \geq S_y$$

Το σημαντικό στοιχείο αυτής της θεωρίας είναι ότι μπορεί να αναπαραστήσει ολόκληρη την κατάσταση των τάσεων, όσο πολύπλοκη και αν είναι, ενώ παράλληλα δίνει ακριβέστερα αποτελέσματα από τις άλλες δύο [7, 12].

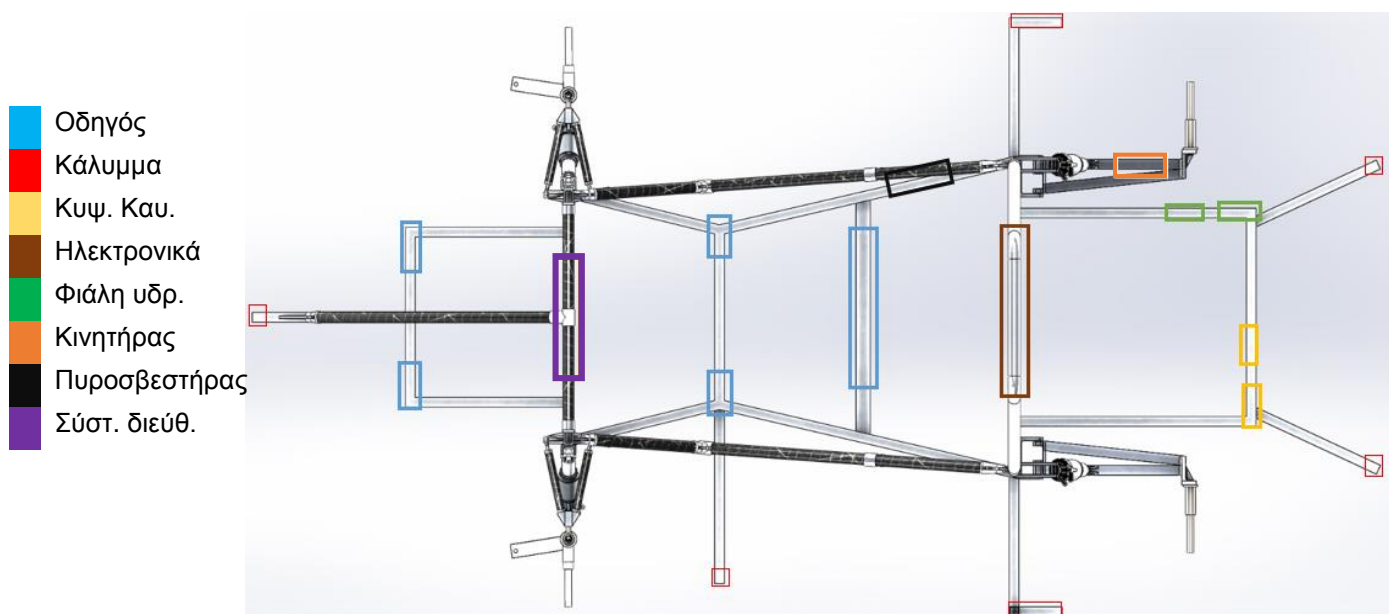
$$\sigma' = \left[\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2}{2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

3.4 Στατικές φορτίσεις πλαισίου

Για να πραγματοποιηθεί η στατική ανάλυση θα τοποθετήσουμε στο μοντέλο του πλαισίου τα βάρη που ασκούνται στατικά (Εικόνα 3.1). Αυτά τα βάρη εκφρασμένα σε Newton είναι οι δυνάμεις που θέλουμε να μελετήσουμε την επίδραση τους στο σασί. Τα μέρη του οχήματος που δεν ασκούν δυνάμεις πάνω στο σασί (τροχοί και σύστημα πέδησης) παραλείπονται.

Πίνακας 3.1 Βάρη πλαισίου Spyros Louis 2017

Είδος	kg	N
Οδηγός	70	686
Σασί	9,2	90,5
Εμπρός κάλυμμα	8	78,5
Κυψέλη καυσίμου	6,5	63
Πίσω κάλυμμα	6	58
Ηλεκτρονικά	6	58
Φιάλη υδρογόνου	3	29
Κινητήρας	3	29
Κάθισμα - ζώνη	3	29
Πυροσβεστήρας	2,5	24,5
Σύστημα διεύθυνσης	2	19,5
Σύνολο	119,45	1168



Εικόνα 3.1 Τοποθετήσεις φορτίων

Η θέση οδήγησης επιβάλλει το κάθισμα του οδηγού να βρίσκεται στο κέντρο του οχήματος (Εικόνα 3.2) με τον πυροσβεστήρα δίπλα του, ενώ τα πόδια του εκτείνονται εμπρός κάτω από το σύστημα διεύθυνσης. Ο κύριος όγκος των ηλεκτρονικών τοποθετήθηκε καθώς, πίσω από τον οδηγό στο διαχωριστικό τοίχωμα το οποίο στηρίζετε από το roll bar. Με αυτόν τον τρόπο εξοικονομήθηκε βάρος από το πλαίσιο μειώνοντας τις υποστηρικτικές ενισχύσεις. Το σύστημα κυψέλης καυσίμου τοποθετήθηκε στο πίσω μέρος του πλαισίου αφενός για να παρέχεται η απαραίτητη ροή αέρα που χρειάζεται η κυψέλη και αφετέρου για να υπάρχει εύκολη πρόσβαση στην φιάλη υδρογόνου.

Με στόχο την περεταίρω μείωση βάρους αφαιρέθηκαν από την ανάλυση και οι δύο πρόσθετες ενισχύσεις στο πίσω μέρος του σασί οπότε η άποψη του σασί προς ανάλυση και η θέση οδήγησης διαμορφώνονται όπως στην Εικόνα 3.2 :



Εικόνα 3.2 Αναπαράσταση θέση οδήγησης

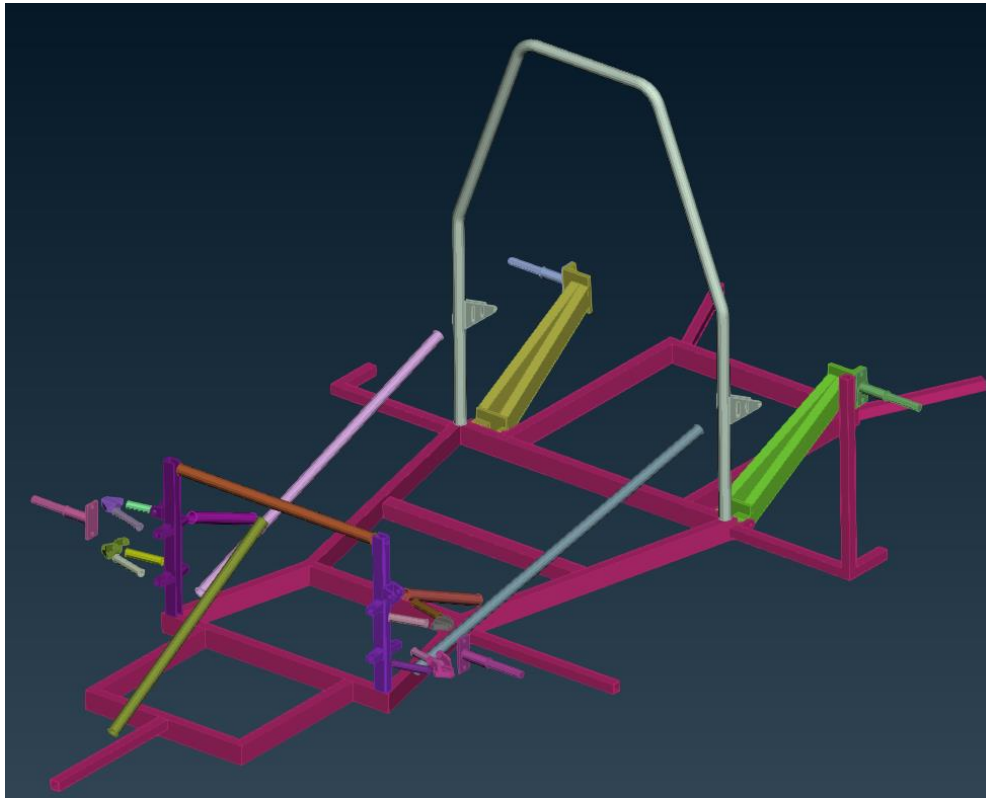
Μέχρι πρότινος ο κινητήρας στηριζόταν πάνω στο πλαίσιο με σταθερές βάσεις αφού η απόσταση του από τον τροχό ήταν αμετάβλητη όμως με την εισαγωγή συστήματος ανάρτησης αυτό δεν ήταν δυνατόν. Ένα σύστημα με άξονα κίνησης και σταυρούς θεωρήθηκε περίπλοκο, βαρύ και μηδενικής χρησιμότητας στα πλαίσια του διαγωνισμού οπότε τοποθετήθηκε απευθείας πάνω στο ψαλίδι μέσω αφαιρούμενης βάσης. Αυτό το σύστημα παρέχει επιπλέον ευελιξία καθώς δίνει τη δυνατότητα άμεσης εναλλαγής της θέσης του κινητήρα για χρήση διαφορετικών σχέσεων μετάδοσης, αλλά και απολύτως ελεύθερη επιλογή για τοποθέτηση στον δεξί ή αριστερό τροχό.

3.5 Μοντελοποίηση

Μετά την σχεδίαση σε πρόγραμμα CAD το μοντέλο εισάγεται στο πρόγραμμα CAE ANSA v20.1.0 ώστε να μοντελοποιηθεί, να εφαρμοστούν τα φορτία και οι συνδέσεις και να πραγματοποιηθεί η γραμμική στατική ανάλυση. Επίσης εισάγουμε δεδομένα όπως μηχανολογικές

ιδιότητες των υλικών και επιτάχυνση της βαρύτητας με σκοπό η ανάλυση να πλησιάζει όσο το δυνατόν στην πραγματικότητα.

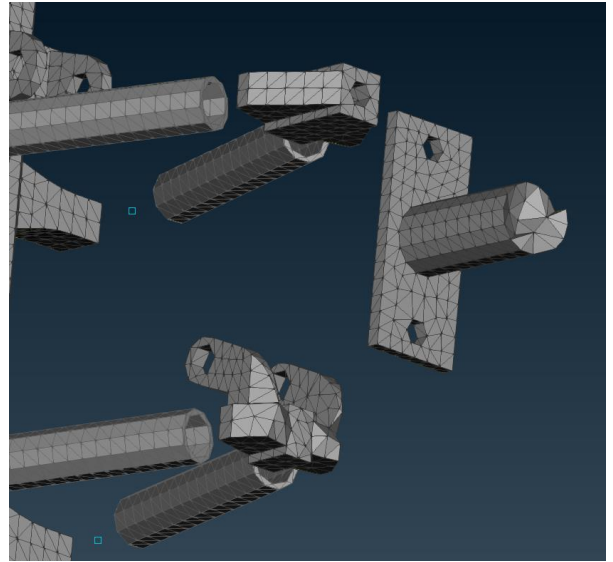
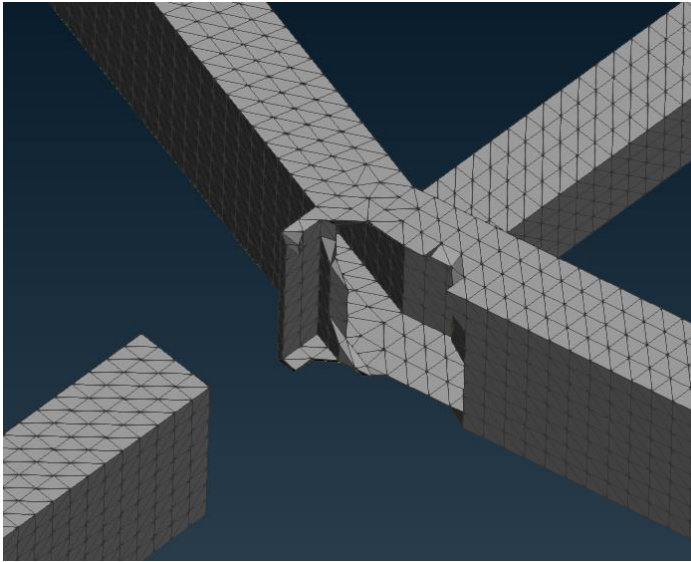
Το μοντέλο που εισήγαμε στο πρόγραμμα CAE (Εικόνα 3.3) είναι απλοποιημένης μορφής με σκοπό την αποφυγή σφαλμάτων επίλυσης κατά τη διάρκεια της ανάλυσης, οπότε αφαιρέθηκαν στρογγυλεμένες γωνίες (fillet-round-chamfer), οι σύνδεσμοι στα άκρα των μερών από ανθρακόνημα, οι σφαιρικοί γοφοί αλλά και τα σχέδια των αποσβεστήρων [2].



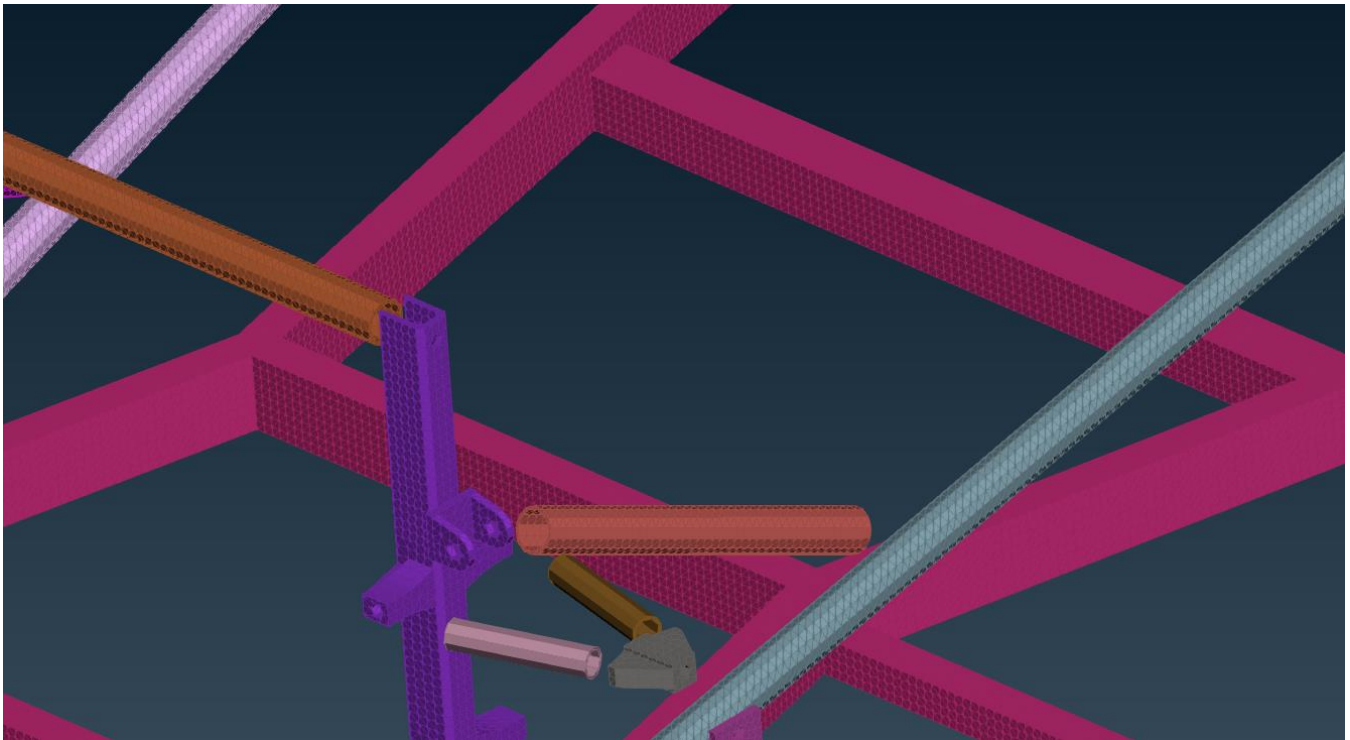
Εικόνα 3.3 Μορφή σχεδίου όπως εισήχθη στο CAE

3.5.1 Δημιουργία πλέγματος πεπερασμένων στοιχείων

Για την δημιουργία του πλέγματος χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνικές που έχουν ως στόχο την επίτευξη όσο το δυνατόν καλύτερα αποτελέσματα με το μικρότερο δυνατό κόστος σε υπολογιστική ισχύς. Λόγο του μικρού μεγέθους του μοντέλου μας αλλά και τις περίπλοκης γεωμετρίας ορισμένων εξαρτημάτων, επιλέχθηκε για το σύνολο πλαισίου το πλέγμα στερεού όγκου (solid mesh ή volume mesh) με 380.355 στοιχεία (Εικόνα 3.4). Αυτή η επιλογή μας προσφέρει μεγάλη ακρίβεια αφού το πλέγμα πλαισιώνει όλο τον τρισδιάστατο όγκο του κάθε εξαρτήματος [2]. Πάραυτα η ανάλυση απαιτήσε λιγότερο από ένα λεπτό για να ολοκληρωθεί σε έναν μοντέρνο υπολογιστή.



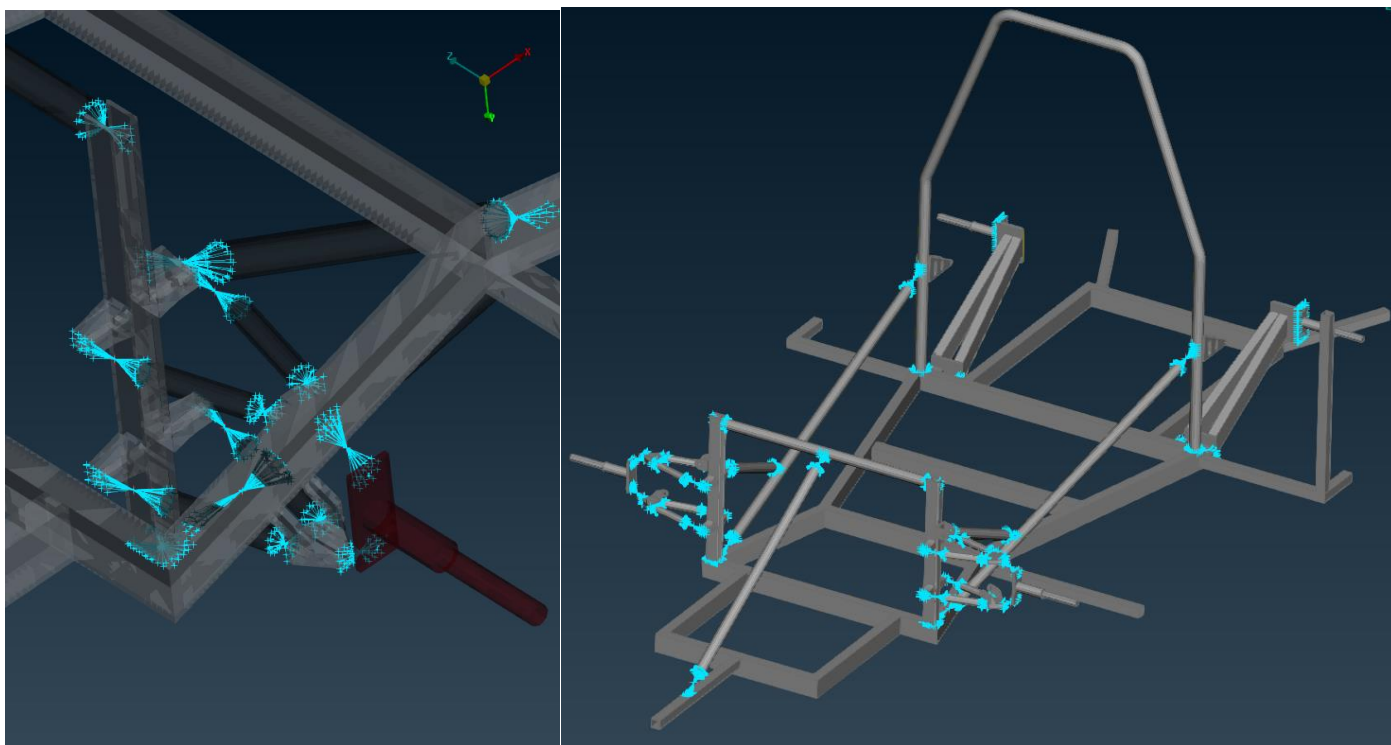
Εικόνα 3.4 Τμήματα του πλαισίου που με πλέγμα στερεού όγκου



Εικόνα 3.5 Μερική άποψη πλαισίου μετά την ολοκλήρωση του πλέγματος

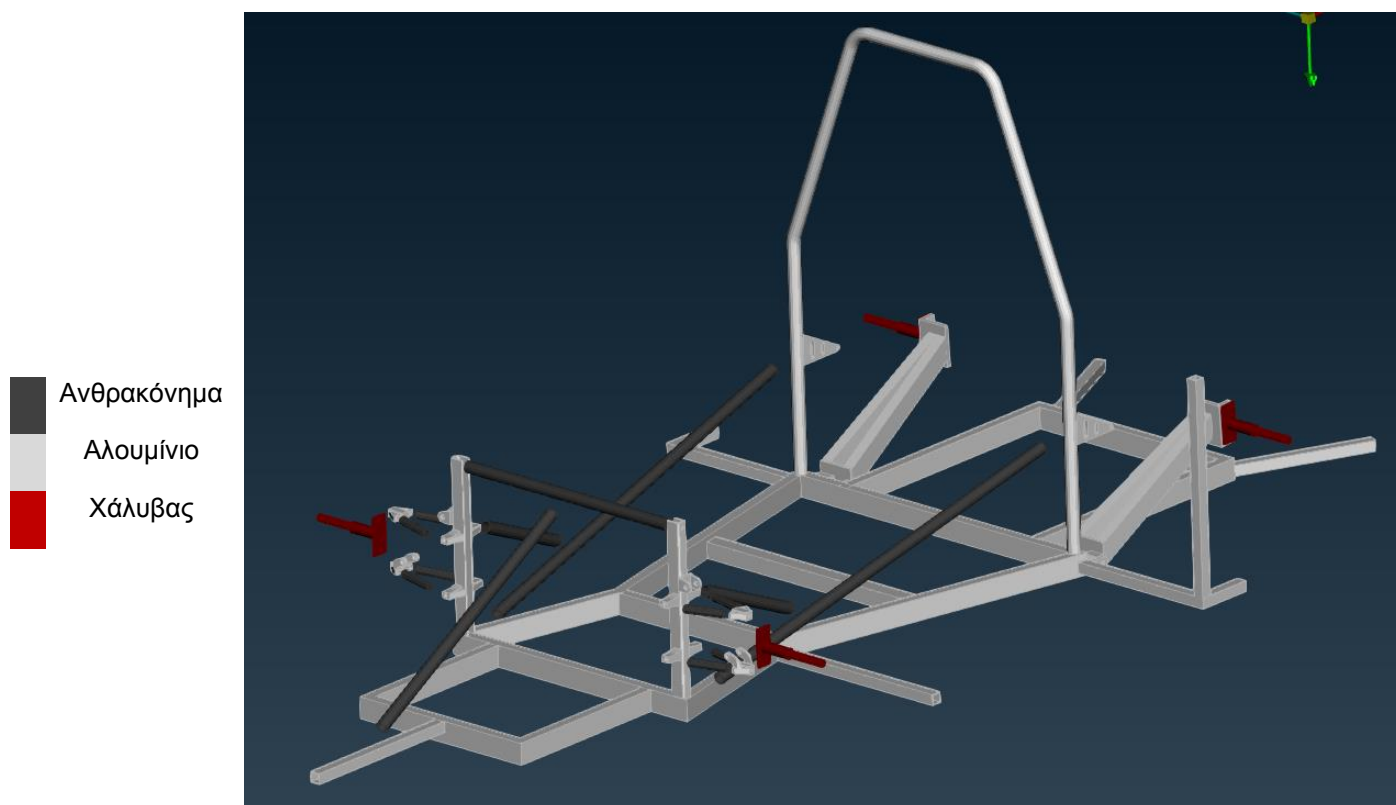
3.5.2 Μοντελοποίηση συνδέσεων, υλικών, αποσβεστήρων, πακτώσεων

Στα μέρη του πλαισίου που υπάρχει ανάγκη σύνδεσης διαφορετικών εξαρτημάτων χρησιμοποιείται η εντολή RBE2 η οποία συνδέει τα δύο εξαρτήματα προσομοιώνοντας έναν σταθερό σύνδεσμο (Εικόνα 3.6). Η διαφορά με άλλες εντολές είναι ότι εδώ μπορούμε να επιλέξουμε ανάμεσα σε 6 βαθμούς ελευθερίας, δηλαδή στους άξονες τους οποίους θα είναι ακινητοποιημένα τα δύο εξαρτήματα και αυτούς που θα επιτρέπεται η κίνηση ή περιστροφή. Έτσι μπορούμε να προσομοιώσουμε τους κινητούς συνδέσμους των συστημάτων ανάρτησης αλλά και των πακτωμένων στα μέρη από ανθρακόνημα [2].



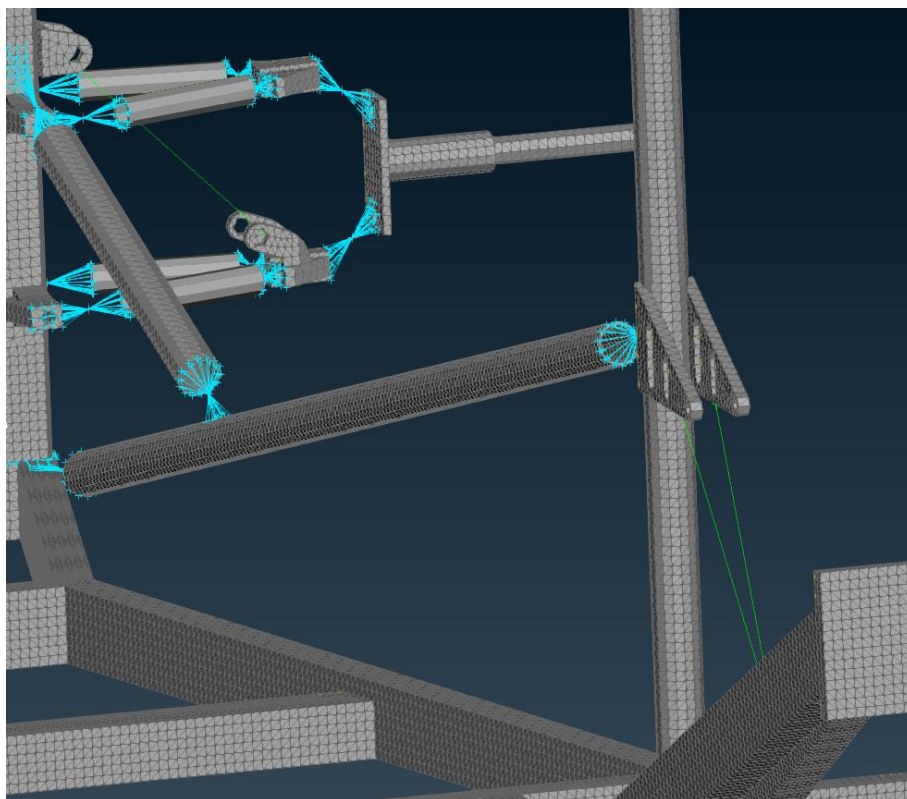
Εικόνα 3.6 Μοντελοποίηση συνδέσμων RBE2

Η γεωμετρία και το πάχος των υλικών έχει μεταφερθεί στο πρόγραμμα CAE από το πρόγραμμα CAD αλλά όχι και οι μηχανικές ιδιότητες των υλικών. Οπότε αφού δημιουργήσουμε ξεχωριστά τα τρία υλικά που χρησιμοποιούμε (ανθρακόνημα, αλουμίνιο και ανοξείδωτος χάλυβας) ομαδοποιούμε τα εξαρτήματα ανάλογα με το υλικό και το μοντέλο διαμορφώνεται ως εξής (Εικόνα 3.7) [1, 2] :



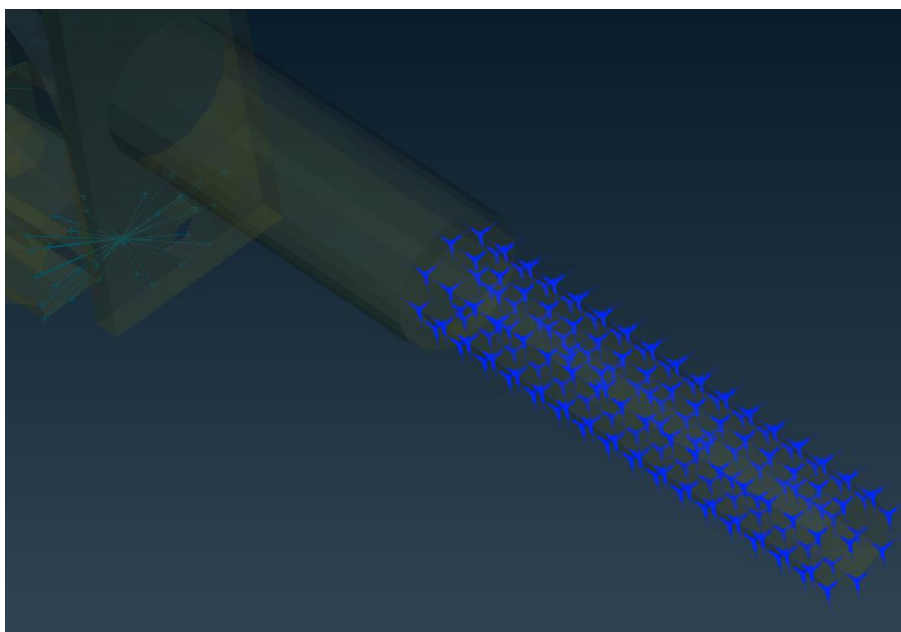
Εικόνα 3.7 Ορισμός υλικών στα εξαρτήματα

Καθώς αναζητάμε την αντοχή του πλαισίου αλλά και την εύρεση τυχόν αδύναμων σημείων στις καταπονήσεις, θεωρούμε ότι οι αποσβεστήρες δεν συνεισφέρουν στην εξομάλυνση των δυνάμεων οπότε μοντελοποιούνται ως μία άκαμπτη μπάρα με την επιλογή CROD (Εικόνα 3.8) [2].



Εικόνα 3.8 Μοντελοποίηση ανάρτησης με εντολή CROD

Οι πακτώσεις στο μοντέλο θα τοποθετηθούν απευθείας στην επιφάνεια των ημιαξονίων που εδράζονται οι τροχοί προσομοιώνοντας έτσι την αντίδραση του εδάφους στις δυνάμεις που ασκούνται στο σασί (Εικόνα 3.9).



Εικόνα 3.9 Μοντελοποίηση πακτώσεων

3.5.3 Μοντελοποίηση δυνάμεων

Για την εφαρμογή των δυνάμεων χρησιμοποιούμε τις ανάλογες εντολές του προγράμματος υπό τον επιλυτή NASTRAN. Τα βάρη όπως αναφέρθηκαν παραπάνω μετατρέπονται σε newton και εφαρμόζονται σαν δυνάμεις με συγκεκριμένη διεύθυνση στους κόμβους. Τα φορτία είναι ομοιόμορφα κατανεμημένα και όχι σημειακά με στόχο την όσο το δυνατόν ρεαλιστική αναπαράσταση. Επίσης χρησιμοποιείται η εντολή GRAV η οποία μοντελοποιεί τη δύναμη λόγο βαρύτητας σε όλο το σασί [1].

Το τελικό στάδιο της μοντελοποίησης είναι η σύνταξη του αρχείου επιλυτή Nastran header. Σε αυτό το αρχείο εισάγουμε πληροφορίες όπως το είδος της ανάλυσης, ποιες δυνάμεις και πακτώσεις θα ληφθούν υπόψιν αλλά και τι δεδομένα θα θέλαμε να λάβουμε ως αποτέλεσμα. Στην προκειμένη περίπτωση θα εξετάσουμε τις τάσεις κατά Von Misses και τις παραμορφώσεις σε όλους τους κόμβους (Εικόνα 3.10) [16].

1	SOL 101
2	CEND
3	\$
4	SPC=1
5	LOAD=1
6	STRESS=ALL
7	DISPLACEMENT=ALL
8	\$
9	PARAM, POST, -1
10	PARAM, MAXRATIO, 1.E17

Εικόνα 3.10 Header file για την ανάλυση

4.

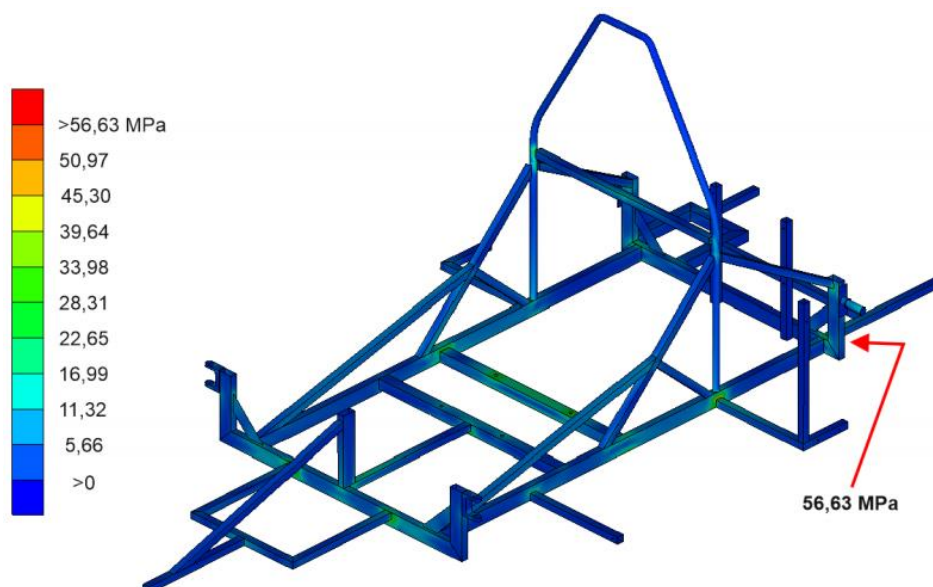
Αποτελέσματα & Σύγκριση Μοντέλων

4.1 Αποτελέσματα στατικής ανάλυσης

Η γραμμική στατική ανάλυση των δύο μοντέλων σασί εκτελέστηκε από τον επιλυτή Epilysis της εταιρίας BETA CAE Systems S.A. Για το κάθε μοντέλο ζητήθηκε από τον επιλυτή να υπολογίσει τις ορθές τάσεις κατά Von Mises και τις παραμορφώσεις των κατασκευών. Στο τελικό στάδιο τα επιλυμένα αρχεία εισάγονται στον post processor META ώστε να γίνει η γραφική αναπαράσταση και επεξήγηση των αποτελεσμάτων.

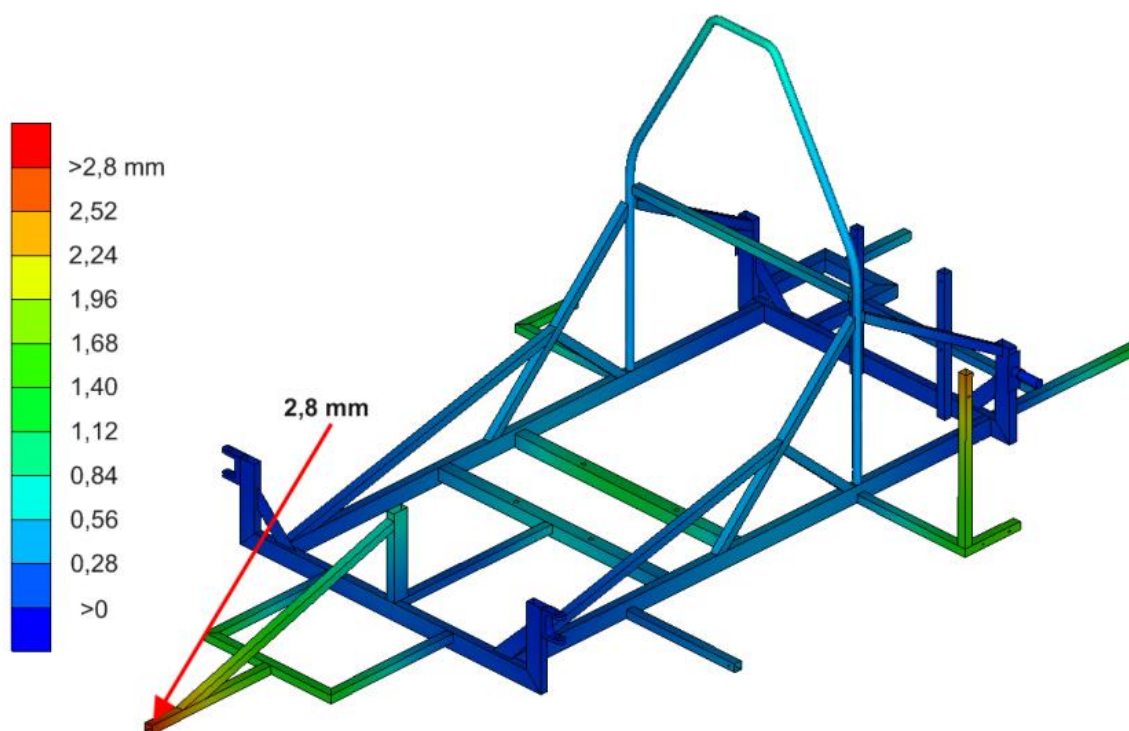
4.2 Αποτελέσματα στατικής ανάλυσης πλαισίου ER2015

Τα αποτελέσματα της στατικής ανάλυσης για το πλαίσιο του 2015 μετά από την εφαρμογή των φορτίων (Εικόνα 4.1):



Εικόνα 4.1 Αποτελέσματα τάσεων ανάλυσης πλαισίου 2015

Όπως παρατηρούμε το πλαίσιο του 2015 αποτελεί μία υπερελαφρά και αρκετά στιβαρή κατασκευή σχεδιασμένη με τις απαραίτητες ενισχύσεις με γνώμονα το ελάχιστο δυνατό βάρος και επίτευξη όσον το δυνατόν καλύτερης επίδοσης στον διαγωνισμό. Αποτελείται εξολοκλήρου από αλουμίνιο και εκτείνεται όσο το δυνατόν πιο κοντά στις εδράσεις των τροχών με σκοπό την μείωση των ροπών οι οποίες εμφανίζουν έντονες τοπικές τάσεις. Παρατηρούμε μέγιστη τάση 56,63 MPa με όριο διαρροής 130 το οποίο θέτει τον συντελεστή ασφαλείας πάνω από 2 το οποίο θεωρείται ανεκτό για κατασκευές τέτοιου είδους [7], [12]. Επίσης οι τάσεις είναι κατανεμημένες σε όλη την επιφάνεια του και διατηρούνται κοντά στα 30MPa.

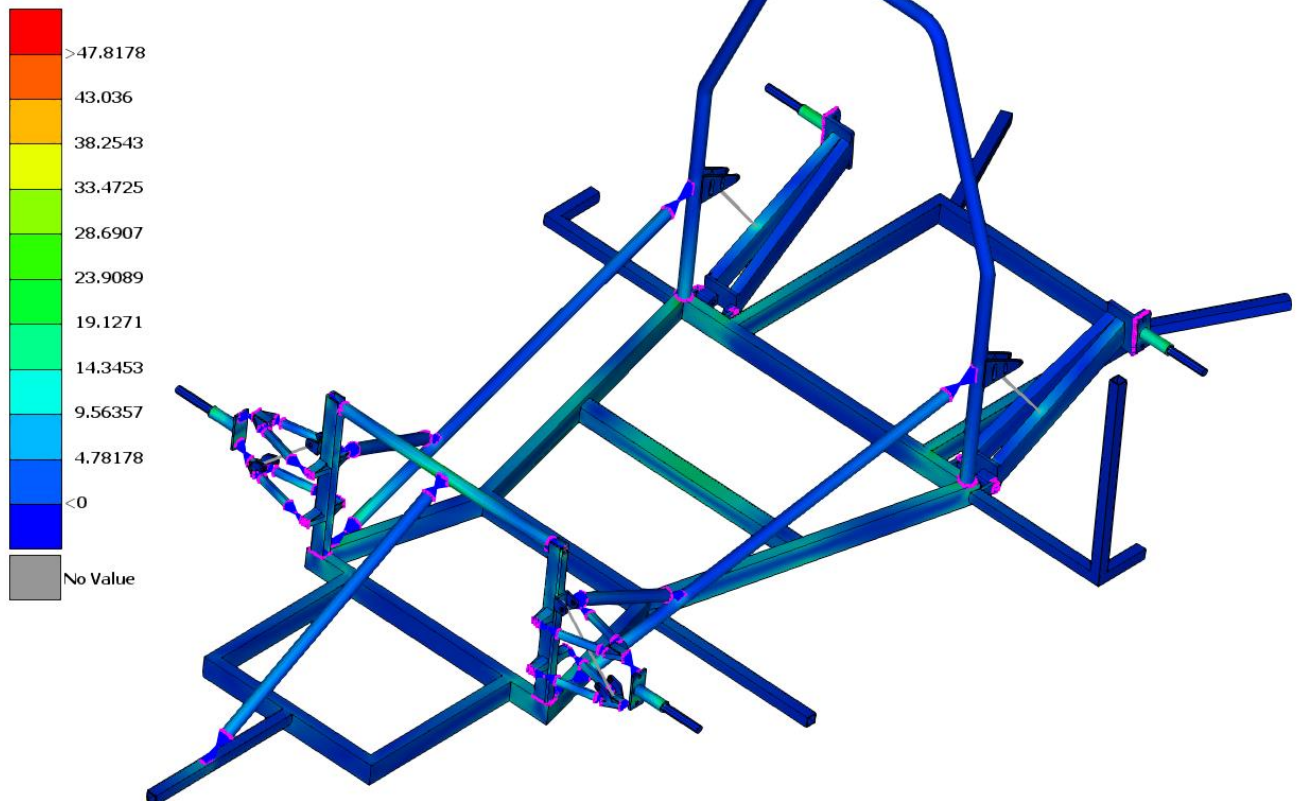


Εικόνα 4.2 Αποτελέσματα παραμορφώσεων ανάλυσης πλαισίου 2015

Παρατηρώντας τις παραμορφώσεις στο πλαίσιο του 2015 (Εικόνα 4.2) βλέπουμε τις μέγιστες τιμές να εμφανίζονται στα σημεία έδρασης του καλύμματος τα οποία είναι δευτερεύοντος σημασίας. Επίσης γύρω από τον οδηγό βλέπουμε χαμηλές παραμορφώσεις κάτω από 1mm με την μέγιστη κοντά στο 1,4mm. Η μέγιστη παραμόρφωση που παρατηρείται στο εμπρός μέρος του πλαισίου στα 2.8mm δεν αποτελεί πρόβλημα στις συνθήκες του αγώνα σε πίστα. Όμως κατά την οδήγηση στο Λονδίνο με τις ανωμαλίες του δρόμου να καταπονούν του όχημα, αυτή η παραμόρφωση μεταφερόταν μεγεθυμένη στο τιμόνι αφού είναι απευθείας συγκολλημένη με την βάση στήριξης του συστήματος διεύθυνσης.

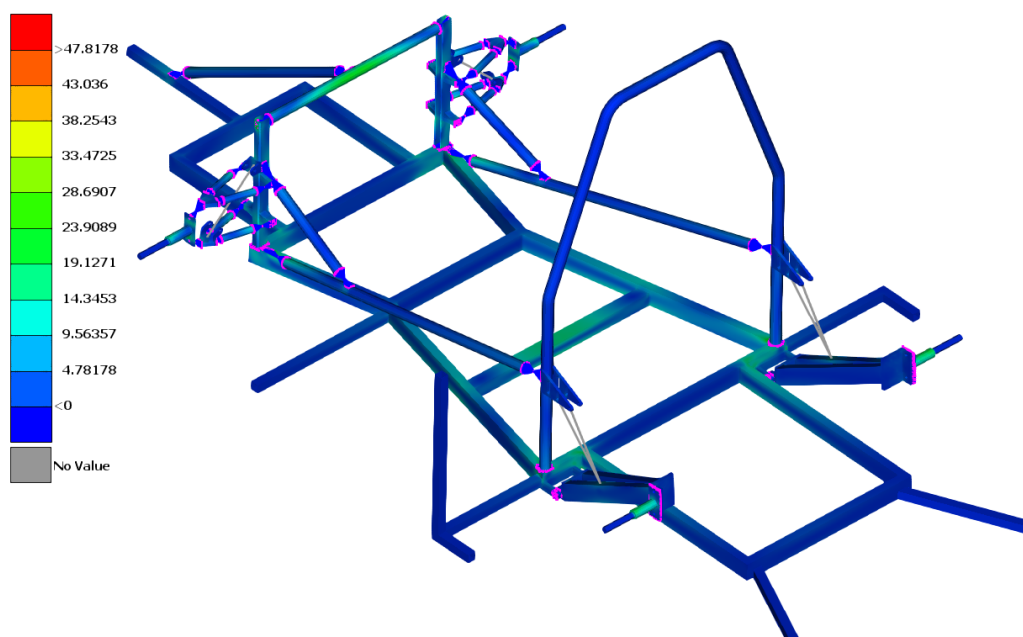
4.3 Αποτελέσματα στατικής ανάλυσης πλαισίου 2017

Μετά την επίλυση για το πλαίσιο του 2017 παίρνουμε τα εξής αποτελέσματα (Εικόνα 4.3) :



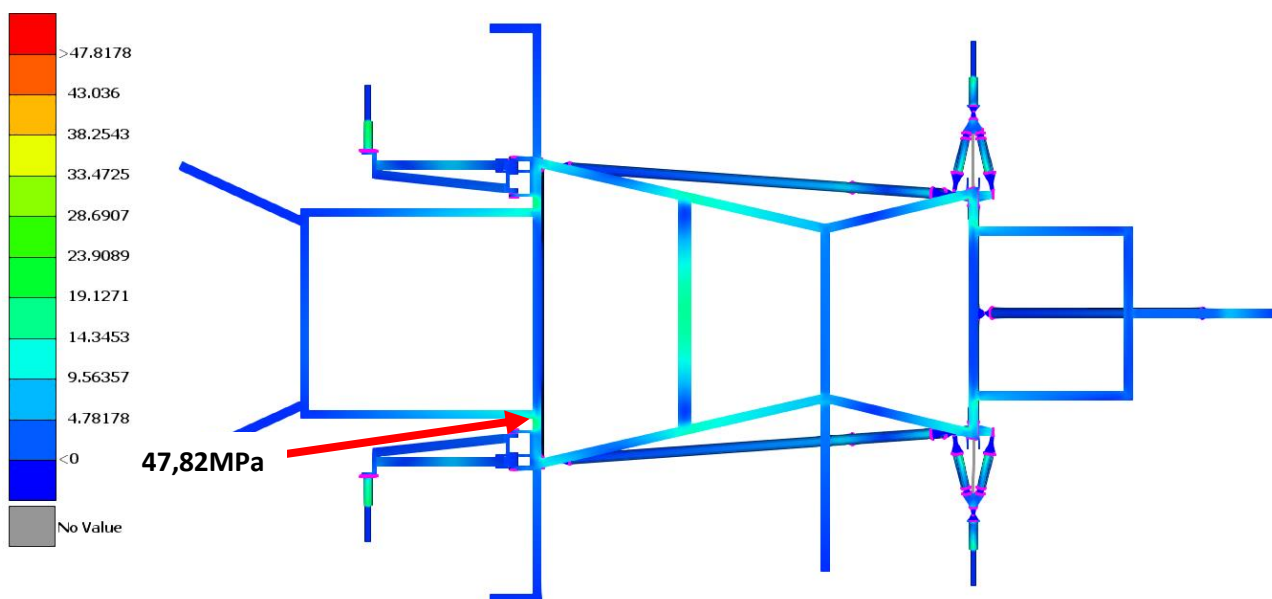
Εικόνα 4.3 Αποτελέσματα τάσεων ανάλυσης πλαισίου 2017

Στα αποτελέσματα της ανάλυσης παρατηρούμε ότι οι τάσεις εμφανίζονται στο μεγαλύτερο ποσοστό του πλαισίου αλλά με τιμές κάτω από τα 25 MPa. Αυξημένες τάσεις παρατηρούνται στα σημεία έδρασης των πίσω αναρτήσεων στο κυρίως πλαίσιο, στην θέση του οδηγού καθώς και στα ημιαξόνια.



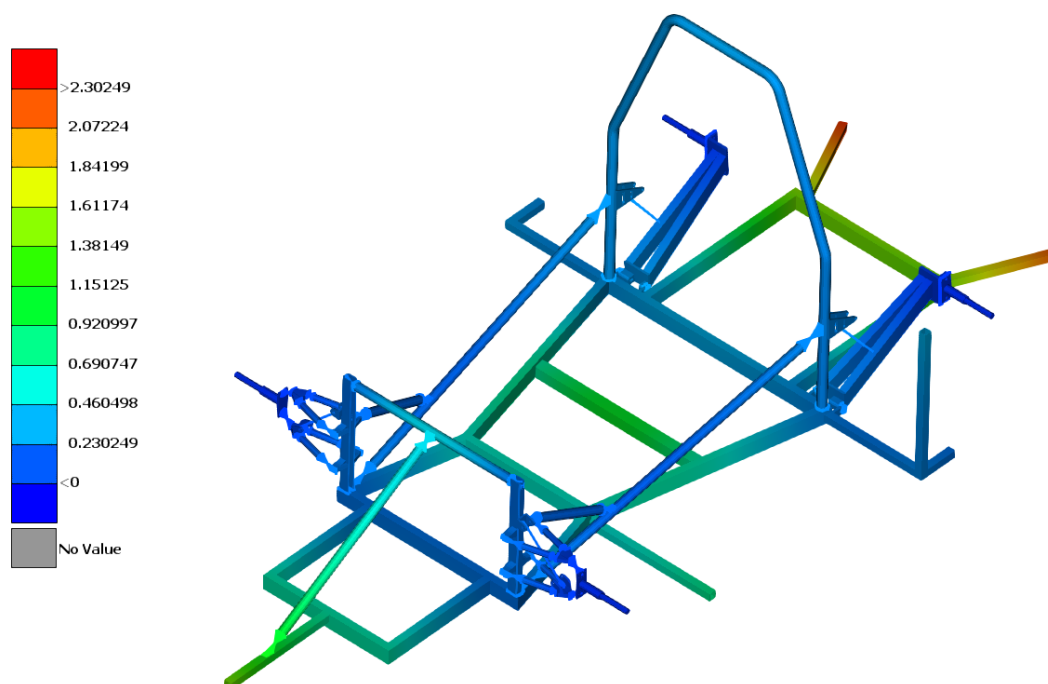
Εικόνα 4.4 Αποτελέσματα τάσεων πλαισίου 2017

Η μέγιστη τάση εμφανίζεται στη βάση του δεξιού πίσω συρόμενου άκρου στο οποίο εδράζεται και ο κινητήρας με τάση 47,82MPa (Εικόνα 4.5). Άξιο αναφοράς είναι ότι παρόμοιες τάσεις της τάξης των 30MPa επίσης παρατηρούνται στον σημείο έδρασης του τιμονιού όπως και στο πλαίσιο του 2015.



Εικόνα 4.5 Αποτελέσματα τάσεων πλαισίου 2017

Στα αποτελέσματα των μετατοπίσεων (Εικόνα 4.6) παρατηρούμε μέγιστη παραμόρφωση 2,3mm στις πίσω εδράσεις του καλύμματος οι οποίες δεν αποτελούν πρόβλημα. Παρατηρούμε όμως μία συνολική παραμόρφωση ενός χιλιοστού σε όλο την χώρο του οδηγού. Επίσης συναντάμε παραμόρφωση 1.2mm στο εμπρος μέρος του πλαισίου η οποία θεωρείται σχετικά μικρή και δεν θα αποτελέσει πρόβλημα στο σύστημα διεύθυνσης.



Εικόνα 4.6 Αποτελέσματα μετατοπίσεων πλαισίου 2017

4.4 Αποτελέσματα ανάλυσης τελικού πλαισίου 2017

Από την οδηγική εμπειρία της ομάδας στο Λονδίνο το 2016 παρατηρούμε το μικρό πλάτος της διαδρομής αλλά και τις κλειστές στροφές όπου υπάρχει κυκλοφοριακή συμφόρηση αγωνιζομένων. Οπότε για την επίτευξη της καλύτερης κατανάλωσης πρέπει να υιοθετηθεί ένας πιο επιθετικός τρόπος οδήγησης. Αυτό προκύπτει καθώς ο οδηγός προκειμένου να μην χρησιμοποιήσει φρένα στις στροφές αναγκάζεται να προβεί σε απότομους ελιγμούς. Επομένως η προβλεψιμότητα, στιβαρότητα και γενικά η οδηγική αίσθηση του οχήματος θεωρήθηκε υψίστης σημασίας.

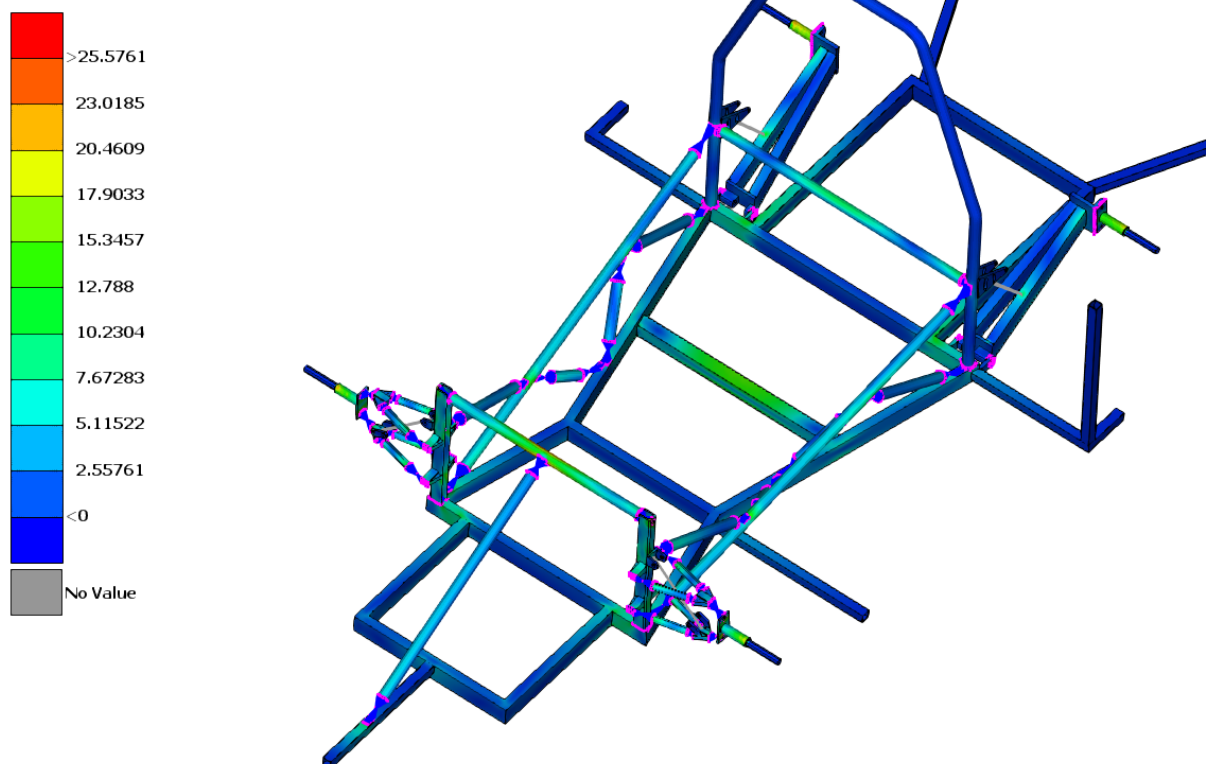
Λαμβάνοντας υπόψιν τα δυναμικά φορτία κατά την διάσχιση ανωμαλιών του οδοστρώματος όπως στην διαδρομή του διαγωνισμού, τα στοιχεία των αναλύσεων σε συνδυασμό με την οδηγική εμπειρία στις συνθήκες του Λονδίνου κρίθηκε απαραίτητη η ενίσχυση το πλαισίου στον χώρο του οδηγού. Κύριος στόχος αντιμετώπισης είναι η συνολική παραμόρφωση περιφερειακά της θέσης του οδηγού. Για τις ενισχύσεις διατηρούμε την νοοτροπία της όσο το δυνατόν ελαφρύτερης κατασκευής χρησιμοποιώντας ανθρακόνημα στα βέλτιστα σημεία.

Χρησιμοποιώντας τα προγράμματα σχεδιασμού και ακολουθώντας την ίδια διαδικασία ανάλυσης – βελτιστοποίησης με σκοπό την ενίσχυση στα προβληματικά σημεία, προκύπτει το νέο σχέδιο του σασί (Εικόνα 4.7) :



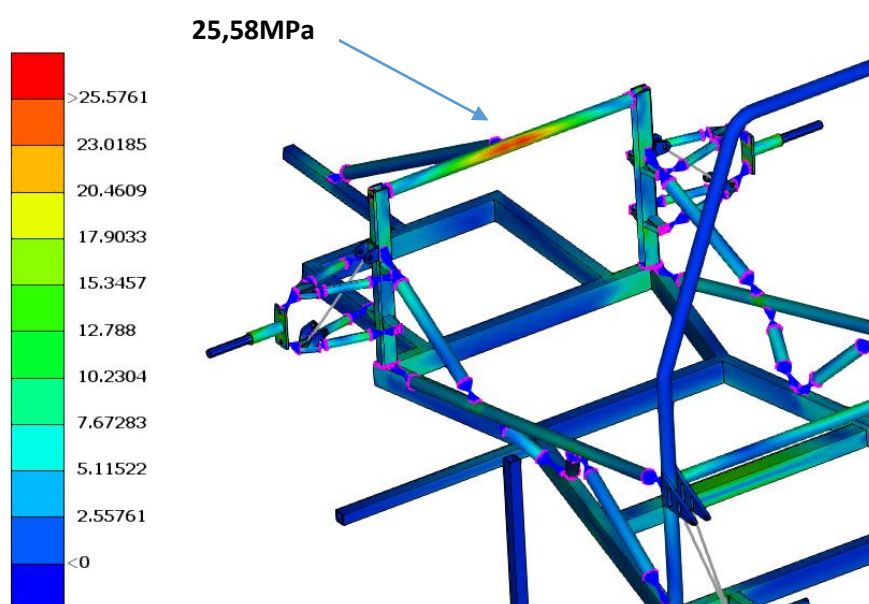
Εικόνα 4.7 Άποψη νέου σχεδίου 2017 με επιλεγμένες τις νέες προσθήκες

Πέρα από τα χαρακτηριστικά αντοχής, το σασί πλέον περιβάλλει το σώμα του οδηγού προσθέτοντας στην ασφάλεια του σε περίπτωση πλάγιας σύγκρουσης, γεγονός που επισημάνθηκε στον διαγωνισμό ασφαλείας. Το νέο μοντέλο εισήχθη στο πρόγραμμα μοντελοποίησης και ανάλυσης CAE χρησιμοποιώντας τα ίδια φορτία και πακτώσεις και πραγματοποιήθηκε γραμμική στατική ανάλυση με τα εξής αποτελέσματα (Εικόνα 4.8):

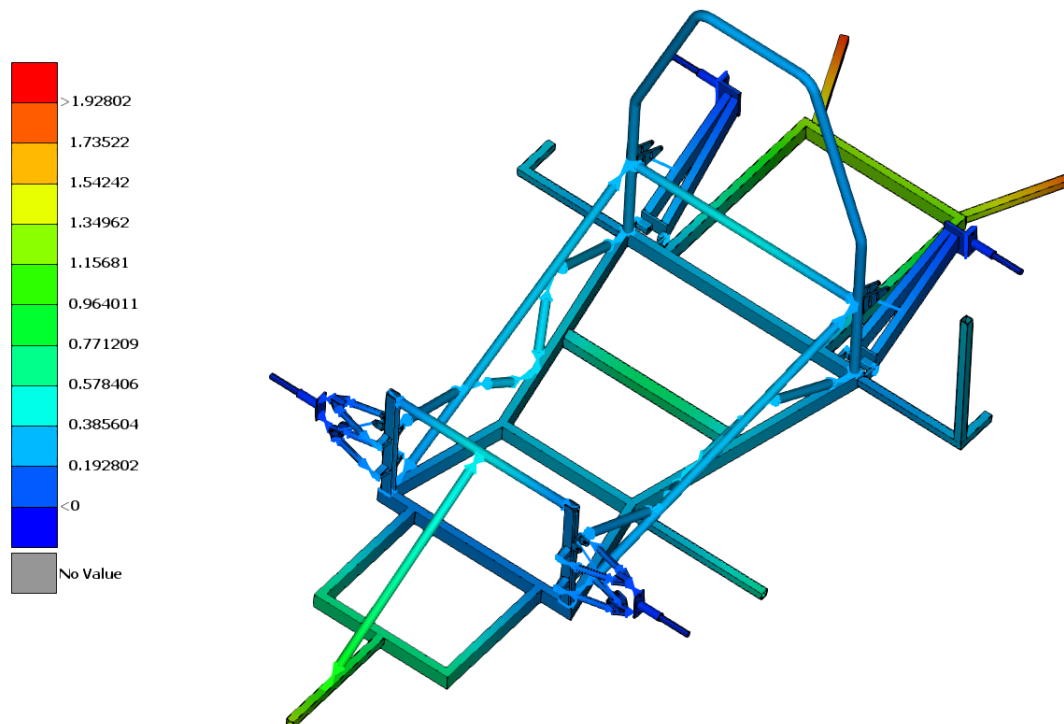


Εικόνα 4.8 αποτελέσματα τάσεων ανάλυσης νέου πλαισίου 2017

Όπως βλέπουμε η μέγιστη τάση μειώθηκε σχεδόν στο μισό στα 25,58MPa και πλέον συναντάται σε μεγάλη επιφάνεια από ανθρακόνημα και όχι τοπικά ή σε κάποια ένωση (Εικόνα 4.9). Ακόμα πιο σημαντικό είναι το γεγονός ότι οι πρόσθετες ενισχύσεις λαμβάνουν ενεργό μέρος στις τάσεις διαιρώντας τις δυνάμεις σε πολλαπλές διευθύνσεις. Ιδιαίτερως η εγκάρσια πίσω ενίσχυση και οι αντίστοιχες που εδράζονται στην βάση του roll-bar έχουν σημαντικό ρόλο στην εξομάλυνση των φορτίων από τα πίσω άκρα όπου βλέπαμε πριν ότι εμφανίζεται η μέγιστη τάση.



Εικόνα 4.9 Αποτελέσματα τάσεων πλαισίου 2017



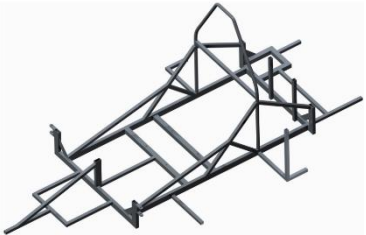
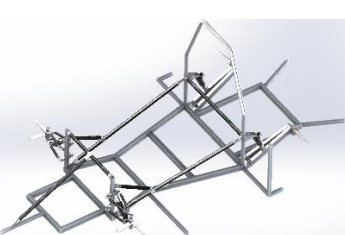

Εικόνα 4.10 Αποτελέσματα μετατοπίσεων πλαισίου 2017

Ακόμα μεγαλύτερη διαφορά παρατηρούμε στα αποτελέσματα των μετατοπίσεων όπου βλέπουμε βελτίωση στη μέγιστη μετατόπιση κατά 0.4mm (Εικόνα 4.10). Πιο σημαντική είναι η μείωση μετατόπισης στην θέση του οδηγού κατά 60% καταλήγοντας στα 0.4mm με την μέγιστη στα 0.7mm.

4.5 Συμπεράσματα

Αφού ολοκληρώθηκε η διαδικασία της ανάλυσης των τριών πλαισίων προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα όσον αφορά το βάρος, το συντελεστή ασφαλείας και την μέγιστη παραμόρφωση:

Πίνακας 4.1 Συμπεράσματα και σύγκριση πλαισίων

	ER2015	SL2017 I	SL2017 II
			
Βάρος	7 Kg	9,2 Kg	9,95 Kg
Μέγιστη τάση	56,63 MPa	47,82 MPa	25,58 MPa
Μέγιστη παρ/ση	2,8 mm	2,3 mm	1,93 mm
Συντ. Ασφαλ.	2	3	5

Από τη σύγκριση βλέπουμε μια σταδιακή ανοδική πορεία όσων αφορά την αντοχή του πλαισίου και την μείωση των παραμορφώσεων. Το βάρος έχει αυξηθεί κατά 2,2 kg από το πλαίσιο του 2015 όπως όμως και ο συντελεστής ασφαλείας, γεγονός απαραίτητο λόγο των συνθηκών του διαγωνισμού. Ανάμεσα στο αρχικό σχέδιο του 2017 και το τελικό παρατηρούμε μόνο 0,75 kg αύξηση βάρους αλλά μεγάλη διαφορά στον συντελεστή ασφαλείας. Όπως αναφέρθηκε ήδη επιθυμούμε υψηλό συντελεστή ασφαλείας καθώς δεν είναι εφικτός ο προσδιορισμός των δυνάμεων που ασκούνται από τις ανωμαλίες του οδοστρώματος. Το γεγονός αυτό μας οδήγησε στην επιλογή της τρίτης λύσης. Ταυτόχρονα πρέπει να τονιστεί ότι ο συγκεκριμένος σχεδιασμός επιτρέπει τη δυνατότητα αφαίρεσης τμημάτων (ανθρακονήματος) από το χωροδικτύωμα του πλαισίου. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί πολύ εύκολα αφαιρώντας δύο βίδες ανά εξάρτημα, εφόσον κριθεί σκόπιμο για λόγους δοκιμών ή στον αγώνα, προσδίδοντας πλεονέκτημα στην επίτευξη χαμηλότερης κατανάλωσης.

5.

Υλοποίηση

5.1 Προετοιμασία κατασκευής

Ο χώρος κατασκευής του πλαισίου ήταν το Διατμηματικό Εργαστήριο Εργαλειομηχανών του Πολυτεχνείου Κρήτης το οποίο αποτελεί την βάση για κάθε όχημα της ομάδας TUCER από την ίδρυση της το 2008. Μετά τις απαραίτητες αναλύσεις και την καθιέρωση των τελικών σχεδίων έλαβε χώρα η παραγγελία των μετάλλων, των αξόνων, κοχλίων και εξαρτημάτων για τα μηχανήματα που θα χρησιμοποιηθούν. Πρώτα έγινε η κατασκευή του πλαισίου βάσης από αλουμίνιο, στη συνέχεια προστέθηκαν οι βάσεις στήριξης των αναρτήσεων και κατασκευάστηκαν τα μέρη των συστημάτων ανάρτησης. Στη συνέχεια συγκολλήθηκαν οι βάσεις για το χωροδικτύωμα, μετά κατασκευάστηκαν οι αλουμινένιοι σύνδεσμοι του χωροδικτύωματος και αφού κόπηκαν στις απαιτούμενες διαστάσεις οι σωλήνες από ανθρακόνημα, τοποθετήθηκαν στο πλαίσιο.

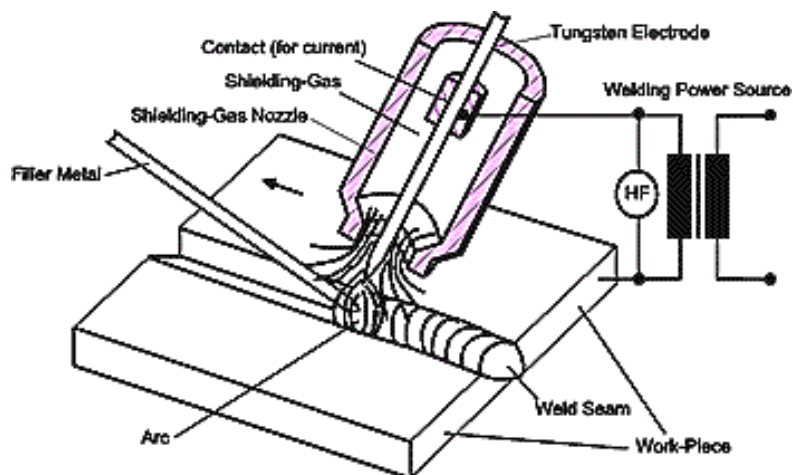
5.2 Κατασκευή πλαισίου αλουμινίου

Για την διασφάλιση της ορθής συγκόλλησης αλλά και της ακρίβειας του τελικού πλαισίου χρησιμοποιήθηκε ένα τεμάχιο 3x1.5m κατεργασμένου ξύλου MDF ως βάση συγκόλλησης. Πάνω σε αυτή την βάση επικολλήθηκε μία μονοκόμμη εκτύπωση της κάτοψης του πλαισίου με ακριβείς διαστάσεις, γεγονός που επιτάχυνε σημαντικά την διαδικασία αφού δεν χρειαζόταν να υπολογιστούν περίπλοκες γωνίες και μήκη από την ομάδα. Τα μεμονωμένα μέρη από προφίλ αλουμινίου αφού κόπηκαν, τοποθετήθηκαν στη βάση σύμφωνα με το σχέδιο και κρατήθηκαν στη θέση τους με πολλαπλές μπάρες και σφικτήρες (Εικόνα 5.1).



Εικόνα 5.1 Κατασκευή πλαισίου από αλουμίνιο

Η μέθοδος συγκόλλησης που χρησιμοποιήθηκε ήταν η TIG (Tungsten Inert Gas). Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί μη καταναλισκόμενο ηλεκτρόδιο βολφραμίου για να δημιουργήσει ηλεκτρικό τόξο και να τηχθεί το μέταλλο. Στη συνέχεια ανάλογα με τις ανάγκες μπορεί να προστεθεί υλικό ή όχι καθώς και να πραγματοποιηθεί ετερογενής κόλληση (Εικόνα 5.2). Αν και δύσκολη στην εκμάθηση δίνει τη δυνατότητα μεγάλης παραμετροποίησης των ρυθμίσεων ανάλογα το είδος του μετάλλου, το πάχος του και την μορφή της συγκόλλησης [8, 9].



Εικόνα 5.2 Αρχή λειτουργίας TIG

Στη συνέχεια διαμορφώθηκαν οι βάσεις των συστημάτων ανάρτησης από αλουμίνιο αλλά και οι σύνδεσμοι του χωροδικτυώματος με τη χρήση κάθετης φρέζας, τόννου και εργαλείων χειρός. Σε αυτό το στάδιο συγκολλήθηκε και το roll – bar με τις βάσεις για τον αποσβεστήρα.



Εικόνα 5.3 Συγκολλημένα μέρη πλαισίου από αλουμίνιο

Παράλληλα με τη συγκόλληση των βασικών χαρακτηριστικών στο πλαίσιο γίνεται και η προσαρμογή των επιμέρους περιφερειακών (Εικόνα 5.3). Σε αυτό τη στάδιο η ομάδα προσαρμόζει τις βάσεις για το σύστημα πέδησης, το σύστημα διεύθυνσης, το χειρόφρενο και την φιάλη υδρογόνου. Ιδιαίτερη σημασία δόθηκε στην τοποθέτηση του πυροσβεστήρα αλλά και της κυψελίδας καυσίμου. Μετα το πέρας της διαδικασίας το πλαίσιο υπέστη βαφή για αισθητικούς λόγους.

5.3 Κατασκευή συστημάτων ανάρτησης

Για το εμπρός σύστημα ανάρτησης έπρεπε να κατασκευαστούν οι τριγωνικοί σύνδεσμοι που συνδέουν τα άκρα από ανθρακόνημα μεταξύ τους και στην συνέχεια μέσο γοφού το ημιαξόνιο (Εικόνα 5.4). Η κατασκευή τους έγινε από ένα συμπαγές κομμάτι αλουμινίου το οποίο κατεργάστηκε στην κάθετη φρέζα εξ ολοκλήρου χειροκίνητα. Στη συνέχεια συγκολλήθηκαν στον κάτω σύνδεσμο οι βάσεις για τους αποσβεστήρες. Επίσης κατεργάστηκε μία ράβδος αλουμινίου στον τόρνο για να διαμορφωθούν οι αποστάτες των ημιαξονίων.



Εικόνα 5.4 Τριγωνικός σύνδεσμος με γοφό

Για το πίσω σύστημα ανάρτησης διαμορφώθηκε στην φρέζα η βάση του άκρου που θα συνδέεται στο σασί, μετά συγκολλήθηκαν δύο πλάκες αλουμινίου για να δημιουργηθεί η έδραση του ημιαξονίου. Τέλος κόπηκαν ανάλογα τα δύο προφίλ 20x40mm τα οποία σύνδεσαν τα δύο μέρη μεταξύ τους (Εικόνα 5.5).



Εικόνα 5.5 Πίσω συρόμενο άκρο

5.4 Κοπή και συγκόλληση τμημάτων ανθρακονήματος

Η κοπή και διαμόρφωση μερών από ανθρακόνημα αποτελεί μία ιδιαίτερη διαδικασία καθώς εύκολα καταστρέφετε το εξάρτημα από την αποκόλληση ινών, αλλά και δύναται να ελευθερωθούν επικίνδυνα σωματίδια τα οποία δεν πρέπει να εισπνευσθούν.

Παράλληλα έγινε και η κατασκευή των 25 συνδέσμων εσωτερικής διαμέτρου 19mm για το χωροδικτύωμα και των 16 με 10mm για το εμπρός σύστημα ανάρτησης. Η κατασκευή τους έγινε από επεξεργασία στον τόρνο μίας συμπαγούς ράβδου αλουμινίου στην οποία δημιουργήθηκε εγκοπή στην φρέζα. Στη συνέχεια στους 10mm δημιουργήθηκε σπείρωμα 6mm και στους 19mm μία διαμπερής οπή.

Για την ένωση του ανθρακονήματος με τον σύνδεσμο χρησιμοποιήθηκε εποξική κόλλα δύο συστατικών με αντοχή 25 MPa και για επιπλέον ασφάλεια τοποθετήθηκε διαμπερής κοχλίας με παξιμάδι ασφαλείας (Εικόνα 5.6).



Εικόνα 5.6 Εμπρός άκρο συστήματος ανάρτησης με γοφό και συνδέσμους στα άκρα

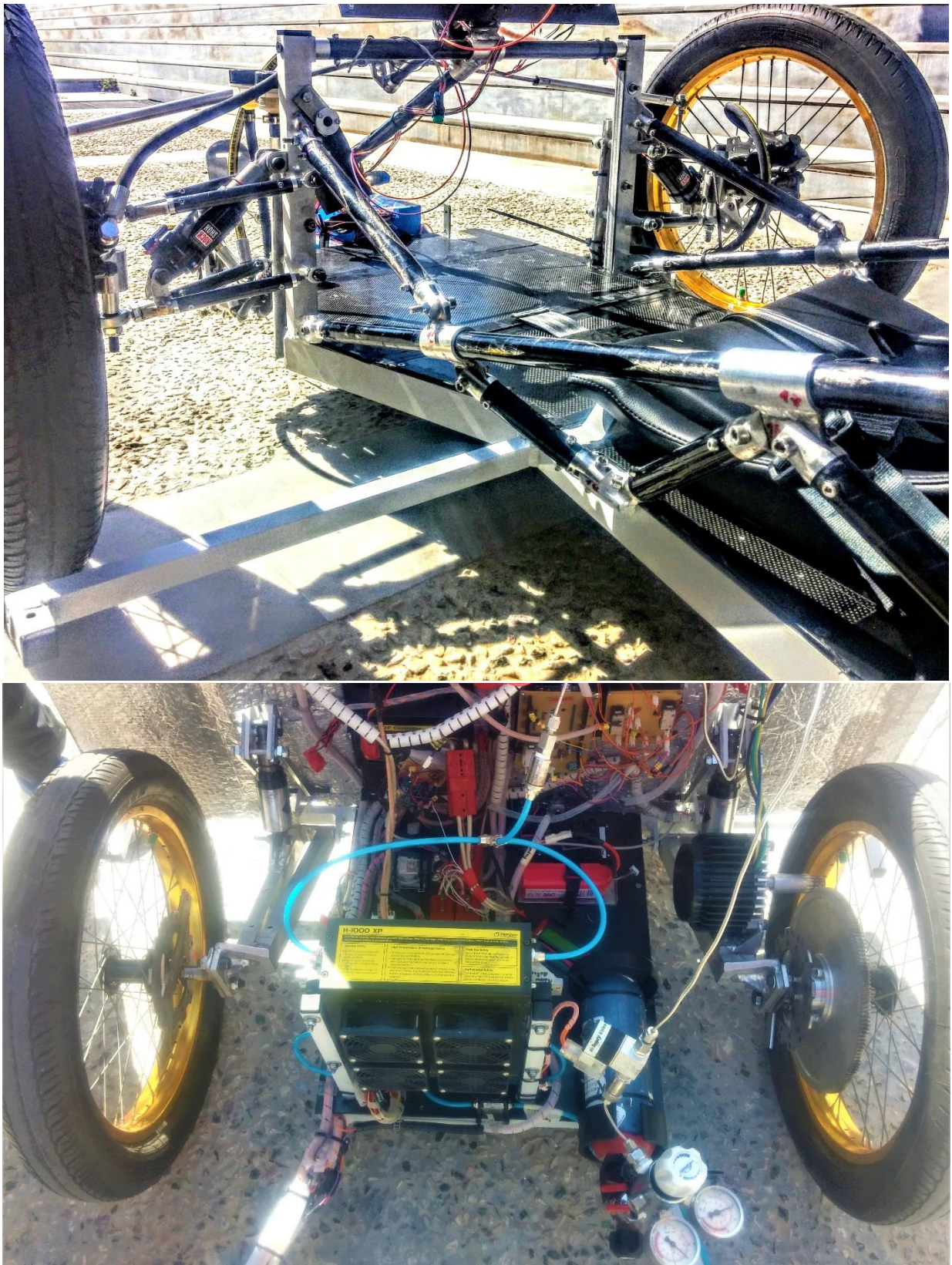
Σε αυτό το σημείο τοποθετούνται και τα μέρη του χωροδικτυώματος (Εικόνα 5.7) με πρώτες τις μεγάλες διαμήκεις μπάρες, στη συνέχεια τις ενισχύσεις των αναρτήσεων και τέλος τις μικρές στο κάθισμα του οδηγού. Κατά τη συναρμολόγηση το κάθε ένα εξάρτημα αριθμήθηκε ως προς τον προσανατολισμό και την πλευρά που τοποθετήθηκε. Έτσι σε περίπτωση αφαίρεσης, η επανατοποθέτηση να είναι εύκολη.



Εικόνα 5.7 Χωροδικτύωμα από ανθρακόνημα

5.5 Συναρμολόγηση λοιπών εξαρτημάτων

Έπειτα έλαβε μέρος η τελική συναρμολόγηση των εξαρτημάτων με σκοπό το όχημα να είναι έτοιμο για την πρώτη δοκιμή (Εικόνα 5.8). Πρώτα τοποθετήθηκαν τα συστήματα ανάρτησης, το σύστημα διεύθυνσης, οι τροχοί, στη συνέχεια η κυψελίδα καυσίμου και τα ηλεκτρονικά.



Εικόνα 5.8 Το όχημα Spyros Louis έτοιμο για δοκιμή

6.

Επιδόσεις & Συμπεράσματα

6.1 Διαγωνισμός και Αποτελέσματα 2017

Αφού ολοκληρώθηκε η κατασκευή του οχήματος Spyros Louis 2017 η ομάδα ταξίδεψε στο Λονδίνο όπου διαγωνίστηκε για 10^η συνεχή χρονιά στον διαγωνισμό Shell Eco Marathon (Εικόνα 6.1). Πρόκειται για μεγάλο φοιτητικό διαγωνισμό με συμμετοχή 5000 σπουδαστών, πάνω από 200 ιδρύματα και 50 χώρες.



Εικόνα 6.1 Ομαδική φωτογραφία διαγωνισμού Shell Eco Marathon 2017

Πρίν μπορέσει να διαγωνιστεί το όχημα στην πίστα πρέπει να περάσει από σχολαστικό έλεγχο από τους κριτές με σκοπό να διασφαλιστεί η συμμόρφωση με τις προδιαγραφές αλλά και η ασφάλεια των διαγωνιζομένων (Εικόνα 6.3). Κατά τη διάρκεια του ελέγχου εξετάζονται οι εξωτερικές διαστάσεις, το σύστημα του υδρογόνου για διαρροές, το σύστημα πέδησης, η ορατότητα του οδηγού κ.α. (Εικόνα 6.2). Ταυτόχρονα η ομάδα δουλεύει πυρετωδώς στα paddock για να διασφαλίσει την επιτυχία στους ελέγχους κάνοντας δοκιμές και ρυθμίσεις.



Εικόνα 6.2 Προετοιμασίες της ομάδας πριν τον τεχνικό έλεγχο

Ιδιαίτερη σημασία δίνεται από τους κριτές στην έξοδο του οδηγού από το όχημα σε περίπτωση ατυχήματος. Κατά την δοκιμή αυτή ο οδηγός με πλήρη εξάρτηση βρίσκεται στο όχημα με ασφαλισμένη τη ζώνη και κλειστή τη πόρτα και ο κριτής μετράει τον χρόνο που χρειάζεται για να εξέλθει. Λόγο του μικρού πλάτους του πλαισίου αλλά και την αφαίρεση της κάθετης κολώνας του τιμονιού, ο οδηγός κατάφερε να εξέλθει σε μόλις 4 δευτερόλεπτα έναντι του ορίου των 10.



Εικόνα 6.3 Διαδικασία τεχνικού ελέγχου και ελέγχου ασφαλείας

Μετά τον έλεγχο η ομάδα μπορεί να κάνει μία μέρα δοκιμαστικά και μέσα σε δύο μέρες να κάνει 4 επίσημες προσπάθειες. Για να θεωρηθεί έγκυρη προσπάθεια πρέπει το όχημα να διανύσει 10 γύρους της διαδρομής δηλαδή συνολικά 17 km σε μέγιστο χρόνο 39 λεπτά.



Εικόνα 6.4 Προετοιμασία πρώτης προσπάθειας



Εικόνα 6.5 Το όχημα από την διάρκεια του αγώνα

Η ομάδα κατάφερε 2 έγκυρες προσπάθειες με καλύτερη επίδοση 153 km/m^3 και κατατάχθηκε στην 4^η θέση πανευρωπαϊκά. Επίσης ανακηρύχθηκε νικήτρια στον διαγωνισμό ασφαλείας για 4^η φορά στην ιστορία της χάρη στο πάθος των μελών της και την τεχνολογική εξέλιξη του νέου οχήματος.



Εικόνα 6.6 Ομάδα TUCER νικήτρια διαγωνισμού ασφαλείας



Εικόνα 6.7 Ομάδα TUCER 2017

6.2 Τελικά συμπεράσματα

Σκοπός της μελέτης ήταν η ανάπτυξη πλαισίου που θα ήταν δυνατό να ανταπεξέλθει στις δύσκολες συνθήκες του διαγωνισμού Shell Eco Marathon 2017. Την τελική του μορφή καθόρισαν οι προδιαγραφές του διαγωνισμού, οι δυνατότητες κατασκευής της ομάδας και πάνω απ' όλα η ασφάλεια όλων των μελών. Καθ' όλη την διάρκεια σχεδίασης, ανάλυσης και κατασκευής αξιολογήθηκαν διαφορετικές λύσεις αξιοποιώντας την εμπειρία και την αντίληψη της ομάδας.

Ο βασικός σχεδιασμός του σασί περιλάμβανε βάση από κράμα αλουμινίου σε συνδυασμό με χωροδικτύωμα από ανθρακόνημα, ώστε να καλύπτει όλες τις βασικές προδιαγραφές που έχουν τεθεί. Ταυτόχρονα αποφασίστηκε η χρήση αναρτήσεων, αλλάζοντας ριζικά προηγούμενους σχεδιασμούς και μελετήθηκε διεξοδικά η επιλογή του τύπου αλλά και του τρόπου τοποθέτησης στο πλαίσιο. Έτσι με γνώμονα τα παραπάνω, το βάρος και τη δυνατότητα μετατροπής ανάλογα με τις ανάγκες του αγώνα προέκυψε η πρώτη σχεδιαστική λύση. Στη συνέχεια μέσω εξειδικευμένου λογισμικού CAE μοντελοποιήθηκε και αναλύθηκε με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Τα αποτελέσματα ήταν θετικά προσφέροντας αυξημένο συντελεστή ασφαλείας και μικρότερες παραμορφώσεις σε σχέση με το πλαίσιο του 2015. Όμως παρατηρήθηκαν παραμορφώσεις στις διαμήκεις δοκούς του πλαισίου βάσης, γύρω από το χώρο που κάθεται ο οδηγός. Καθώς δεν είναι εφικτός ο πλήρης προσδιορισμός των δυνάμεων που ασκούνται από τις ανωμαλίες του

οδοστρώματος κρίνεται ότι στην περίπτωση αυτή θα υπάρξει αύξηση των παραμορφώσεων με αποτέλεσμα το πλαίσιο να μην τηρεί τις προβλεπόμενες προδιαγραφές που τέθηκαν. Για το λόγο αυτό κρίθηκε αναγκαία η περαιτέρω ενίσχυση του με στόχο τη μεγαλύτερη ακαμψία των σημείων αυτών.

Οπότε το σχέδιο αναθεωρήθηκε, προσθέτοντας ενισχύσεις με τμήματα από ανθρακόνημα σε καίρια σημεία. Από τις αναλύσεις προέκυψε υψηλότερος συντελεστής ασφαλείας και ακόμα καλύτερος λόγος συντελεστή ασφαλείας ανά βάρος, που ήταν και το επιθυμητό, με μικρή αύξηση το βάρους. Στη συνέχεια κατασκευάστηκε το σασί από την ομάδα και το όχημα έλαβε μέρος στον διαγωνισμό Shell Eco Marathon, όπου η κατάταξη που επιτεύχθηκε στον τομέα οικονομίας καυσίμου ισοδυναμεί με την καλύτερη θέση σε προηγούμενα χρόνια της ομάδας.

Το όχημα είχε την προβλεπόμενη συμπεριφορά κατά την διάρκεια του αγώνα προσφέροντας σιγουριά και πρόσφυση κατά την διάρκεια ελιγμών αποτρέποντας την χρήση φρένου. Τα συστήματα αναρτήσεων λειτουργούσαν προοδευτικά απομονώνοντας το πλαίσιο από τις υπερβολικές και επικίνδυνες καταπονήσεις των ανωμαλιών του οδοστρώματος.

6.3 Μελλοντικές βελτιώσεις

Η ανάλυση που πραγματοποιήθηκε αποτελεί συνέχεια της διαδικασίας που ακολουθεί η ομάδα TUCER για την εξέλιξη των πλαισίων για τα οχήματα της. Όλη η μεθοδολογία της κατασκευής βασίστηκε στην ευελιξία και δίνει τη δυνατότητα αφαίρεσης ή πρόσθεσης μερών με πολύ μεγάλη ευκολία. Μελλοντικές μελέτες θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν το υπάρχον σασί σαν βάση πειραματισμού. Να προσαρμοστεί, να ανταποκρίνεται σε περιορισμούς όπως ελάχιστο βάρος ή μέγιστη αντοχή, ευελιξία ή σταθερότητα χωρίς να χρειαστεί ολοκληρωτική επανασχεδίαση.

Το παρόν σασί έθεσε τη βάση για χρήση σύνθετων υλικών σε κύρια δομικά σημεία του πλαισίου, με εμφανή πλεονεκτήματα στο βάρος και την αντοχή. Σε επόμενη κατασκευή θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί αυτή η λογική για χρήση εξωτικών υλικών ή εκτεταμένη χρήση σύνθετων υλικών για ακόμα μεγαλύτερα οφέλη στον διαγωνισμό.

Βιβλιογραφία

- [1] BETA CAE Systems S.A., A guide for setting up NASTRAN load cases in ANSA, Thessaloniki, BETA CAE Systems S.A publishing, 2015
- [2] BETA CAE Systems S.A., ANSA version 15.2.x User's Guide, Thessaloniki, BETA CAE Systems S.A publishing, 2015
- [3] Brown, Robertson, serpent. Motor vehicle structures. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002
- [4] Thomas Gillespie., Fundamentals of vehicle dynamics, Warrendale, Society of automotive engineers, 1992
- [5] Hughes, T.J.R., The Finite Element Method – Linear Static and Dynamic Finite Element Analysis, New York, Dover publications, 2000
- [6] MSC Software, MSC Nastran 2012 Quick Reference Guide, MSC Software publishing, 2011
- [7] Σπανουδάκης, Π., Σχεδίαση νέου μη – επανδρωμένου κάθετης απογείωσης – Προσγείωσης, Χανιά, Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης, 2003
- [8] Τσουρβελούδης, Χ.Ν. & Νικολός, Ι.Κ., Τεχνολογίες Παραγωγής, Χανια, Εκδόσεις Πολυτεχνείου Κρήτης, 2014
- [9] Σπάρταλης, Λ. & Χαιρέτης Ν., Σημειώσεις Τεχνολογίας Παραγωγής Ι – Εργαστήριο, Χανιά, Εκδόσεις Πολυτεχνείου Κρήτης, 2003
- [10] E.T.E.M., Industrial Aluminium Profiles, Αθήνα, Έκδοση E.T.E.M., 2017
- [11] Toray, T700s data sheet, Santa Ana, Έκδοση TORAY CARBON FIBERS AMERICA, 2017
- [12] Κουμαρτζάκης Γ., ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ, Χανιά, Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης, 2016
- [13] Morello, L., Rossini, R.L., Pia, G., Tonoli, A., The Automotive Body – Volume I: Component Design & Volume II: System Design: Components Design, Springer, 2011
- [14] Heibing B, Ersoy M., Chassis handbook, Wiesbaden, Vieweg and Teubner, 2011
- [15] Popp K, Schiehlen W., Ground Vehicle Dynamics, Stuttgart, Springer, 2010
- [16] MSC Software, MSC Nastran 2012 Quick Reference Guide, MSC Software publishing, 2011

- [17] Tzanakis A., Conceptual and Aerodynamic Design of an Urban Vehicle, Chania, Technical University of Crete, School of Production Engineering and Management, 2012
- [18] G. Koumartzakis, P. Spanoudakis, N. Tsourveloudis, "Design and development of a prototype electric vehicle's chassis", 7th BETA CAE International Conference, Greece, 2017