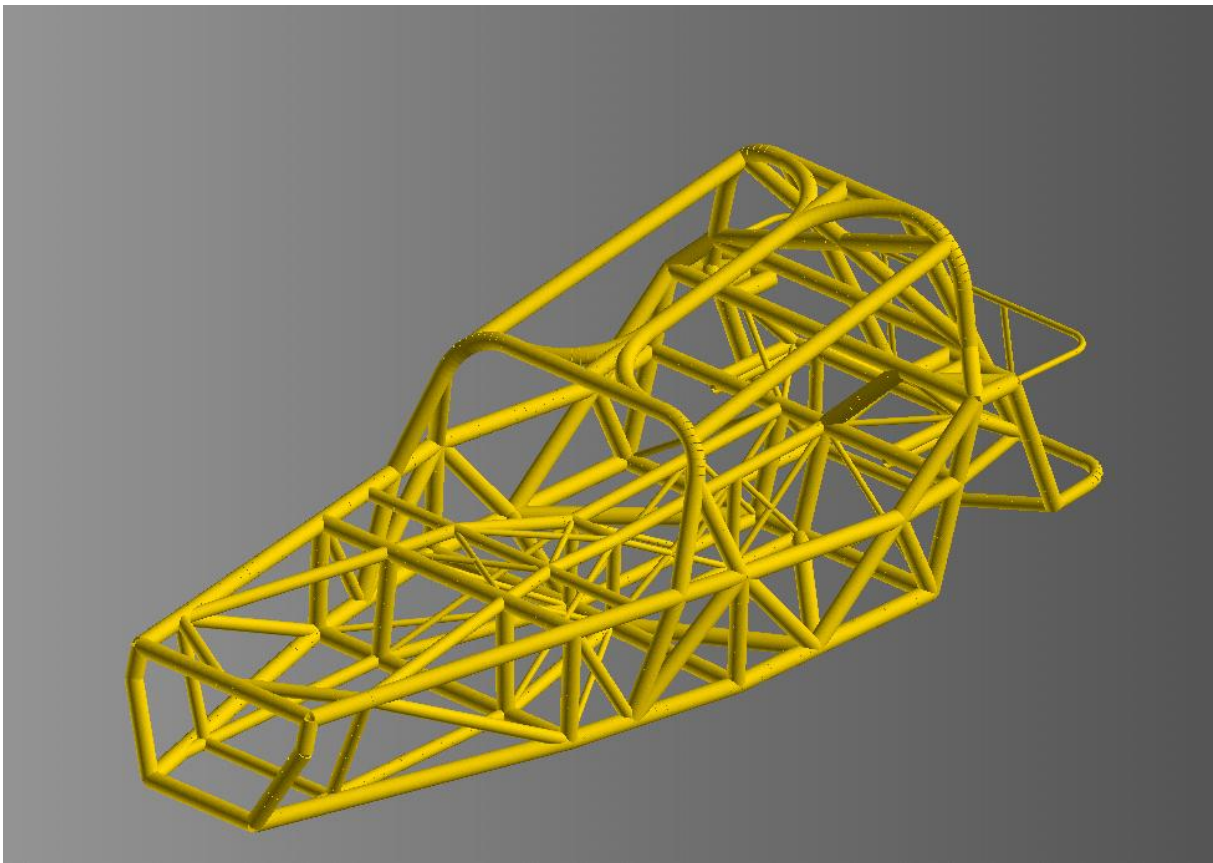


ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΚΑΙ ΤΑΣΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΥ ΜΟΝΟΘΕΣΙΟΥ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΠΑΠΑΪΩΑΝΝΟΥ ΙΩΑΝΝΗΣ (Α.Μ. 6267)

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΤΣΙΝΟΠΟΥΛΟΣ ΣΤΕΦΑΝΟΣ
ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΣΥΝΕΡΓΑΤΗΣ

ΠΑΤΡΑ 2015

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Πτυχιακή εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολογίας του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πάτρας και αναφέρεται στο σχεδιασμό πλαισίου του αυτοκινήτου Lotus Seven. Την σημερινή εποχή όπου οι αγώνες αυτοκινήτων γνωρίζουν άνθηση σε όλο τον κόσμο, με την είσοδο νέων τεράστιων αγορών όπως των αναπτυσσόμενων χωρών της Ασίας η κατασκευή πλαισίων από χωροδικτύωμα γνωρίζει μεγάλη άνθηση.

Στην αρχή γίνεται μια αναφορά στα είδη των πλαισίων αυτοκίνητων και την σημερινή τους μορφή μέσα από την αδιάκοπη εξέλιξη τους όλα αυτά τα χρόνια, από τις απαιτήσεις της αγοράς και των ανεξάρτητων φορέων στους τομείς της ασφάλειας αλλά και της άνεσης. Έπειτα ακολουθεί μια ιστορική αναδρομή για το συγκεκριμένο αυτοκίνητο του οποίου θα μελετήσουμε το πλαίσιο, τις αγωνιστικές του επιτυχίες και τι το καθιστά τόσο επιτυχημένο σε αυτόν τον τομέα μέχρι και σήμερα. Πρώτα ολοκληρώνεται η ιστορική και θεματική συνάμα ενημέρωση για το περιεχόμενο της εργασίας. Ύστερα ακολουθούν οι πρώτες αποτυπώσεις της γεωμετρίας στο πρόγραμμα τύπου CAD Solidworks, για την οπτικοποίηση σε τρεις διαστάσεις της γεωμετρίας και την ευκολότερη κατανόησή της. Επιπλέον ακολουθούν οι διάφορες δοκιμές με τα μοντέλα του πλαισίου στο πρόγραμμα ανάλυσης με πεπερασμένα στοιχεία ANSYS, η καταγραφή των αποτελεσμάτων για την ασφάλεια του και οι βελτιώσεις σε αυτή. Τέλος καταγράφονται τα αποτελέσματα και γίνεται η εξαγωγή συμπερασμάτων για την βελτίωση ενός ήδη υπάρχοντος πλαισίου.

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου, κύριο Τσινόπουλο Στέφανο, για την πολύτιμη βοήθεια του στην εργασία αυτή. Θα ήθελα να ευχαριστήσω επίσης και την οικογένεια μου και τους φίλους μου για την υποστήριξη τους που μου προσέφεραν, όλα αυτά τα χρόνια, για να καταφέρω να φέρω εις πέρας τις σπουδές μου.

Παπαϊωάννου Ιωάννης
Μάιος 2015

Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστή: Ο κάτωθι υπογεγραμμένος σπουδαστής έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, έχω δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μου όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία μου προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Ο σπουδαστής
(ονοματεπώνυμο)

.....
(Υπογραφή)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην σύγχρονη εποχή θεωρείται αναπόσπαστο κομμάτι μιας μελέτη μιας κατασκευής ή ενός συστήματος η χρήση τόσο κάποιου σχεδιαστικού πακέτου CAD όσο και η ανάλυση του προβλήματος με την χρήση με την χρήση αντίστοιχου λογισμικού. Με την ανάπτυξή τους ο άνθρωπος έχει καταφέρει να δημιουργήσει σημαντικά επιτεύγματα, όπως καλύτερη ασφάλεια σε οχήματα από συγκρούσεις, ασφαλέστερες κατασκευές από σεισμούς και πολλά άλλα.

Σκοπός της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας είναι ο έλεγχος της ασφάλειας του πλαισίου του Caterham Super 7 με βάση τους κανονισμούς Formula Student FSAE και η βελτίωση του με βάση τους κανονισμούς του παγκόσμιου οργανισμού αυτοκινήτων FIA.

Έτσι στο πρώτο κεφάλαιο αναφέρονται οι τύποι των πλαισίων αυτοκινήτου και τα χαρακτηριστικά τους που τους έχουν καθιερώσει στην αντίστοιχη κατηγορία οχημάτων που χρησιμοποιούνται.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται στην ιστορία του Lotus 7 και πως αυτό εξελίχτηκε στο Caterham Super 7. Αναφέρεται επίσης η μεγάλη ποικιλία των κινητήρων που χρησιμοποιήθηκαν και χρησιμοποιούνται ως σήμερα. Τέλος γίνεται αναφορά στις αντιγραφές αυτού του αυτοκινήτου.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναφέρονται οι πάμπολλες αγωνιστικές επιτυχίες του αυτοκινήτου που το κρατούν στο προσκήνιο μέχρι και σήμερα.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναφερόμαστε στο παγκόσμιο φαινόμενο του Locost. Πρόκειται για τον πιο προσιτό τρόπο απόκτησης ενός σπορ αυτοκινήτου με σκοπό την περιστασιακή συμμετοχή στους αγώνες αυτοκινήτων. Γίνεται αναφορά τόσο στις δυο εκδόσεις του βιβλίου που πυροδότησαν και συντήρησαν αυτό το φαινόμενο όσο και στο κόστος κτήσης αυτού του αυτοκινήτου. Ακόμη αναφέρονται τα προβλήματα έγκρισης του εν λόγω πλαισίου λόγω της χαμηλής ασφάλειας που παρείχε. Τέλος αναφέρονται και οι δημοφιλείς αγώνες στο ενωμένο βασίλειο όσο και παγκόσμια.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι αγώνες Formula Student και πως αυτοί πραγματοποιούνται. Επίσης παρουσιάζεται και φιλοσοφία κατασκευής των μονοθέσιων κάτι που συνδέεται και με το επόμενο κεφάλαιο που είναι οι κανόνες ασφαλείας.

Στο έκτο κεφάλαιο διατυπώνονται οι κανόνες ασφαλείας Formula Student και πως αυτοί εφαρμόζονται στην μελέτη μας.

Στο έβδομο κεφάλαιο γίνεται ο σχεδιασμός του πλαισίου με την χρήση του σχεδιαστικού πακέτου Solid works. Επίσης αναφέρεται και ο τρόπος εισαγωγής της γεωμετρίας στο πρόγραμμα ανάλυσης με πεπερασμένα στοιχεία Ansys.

Στο όγδοο κεφάλαιο αναφέρεται στην χρήση του προγράμματος ανάλυσης με πεπερασμένα στοιχεία Ansys. Αναφέρονται οι δυνατότητες επίλυσης οι βασικές λειτουργίες του προγράμματος αλλά και το περιβάλλον του προγράμματος.

Στο ένατο κεφάλαιο αναφέρεται πως έγινε η διακριτοποίηση και γιατί επιλέχθηκε αυτή. Τέλος ακολουθεί η ανάλυση του αρχικού πλαισίου με υλικό μαλακό χάλυβα και γίνεται μια πρώτη εξαγωγή συμπερασμάτων.

Στο δέκατο κεφάλαιο αναλύονται οι κανονισμοί του παγκόσμιου οργανισμού αυτοκινήτων FIA για την σχεδίαση του κλωβού ασφαλείας. Επίσης αναφέρονται τα υλικά και οι διατομές που επιτρέπονται με βάση τους κανονισμούς αυτούς. Τέλος ακολουθεί ανάλυση του αρχικού πλαισίου με τα δυο νέα υλικά που ο χάλυβας E355 και το χρωμιομολυβδαίνιο 4130.

Στο ενδέκατο κεφάλαιο αναλύεται το νέο πλαίσιο και με τα τρία υλικά και ακολουθεί ο συγκεντρωτικός πίνακας με τα αποτελέσματα και των τριών υλικών αλλά και τα συμπεράσματα.

Στο δωδέκατο κεφάλαιο γίνεται η εύρεση της στρεπτικής ακαμψίας του αρχικού πλαισίου και γίνεται σύγκριση με την ακαμψία του τελικού πλαισίου με υλικά το μαλακό χάλυβα και το χρωμιομολυβδαίνιο αντίστοιχα.

Στο δέκατο τρίτο κεφάλαιο υπολογίζεται το βάρος για το αρχικό πλαίσιο και το τελικό με υλικά το μαλακό χάλυβα και το χρωμιομολυβδαίνιο.

Στο δέκατο τέταρτο γίνεται μια προσομοίωση μετωπικής σύγκρουσης σε τοίχο με βάση το στάνταρ του αμερικανικού οργανισμού ασφαλείας NHTSA.

Τέλος στο δέκατο πέμπτο κεφάλαιο αναφέρονται τα τελικά συμπεράσματα της μελέτης και σχολιάζονται οι παράγοντες της ασφάλειας.

Εν κατακλείδι η πτυχιακή εργασία αποτελεί την πρώτη προσπάθεια για μια ολοκληρωμένη μελέτη από τους σπουδαστές. Αυτό το γεγονός τους κάνει να κατανοούν τις ευθύνες που αναλαμβάνουν τις απαιτήσεις που οφείλουν να ανταπεξέλθουν και το πόσο σοβαρά και υπεύθυνα οφείλουν να βλέπουν την εργασία τους. Προσωπικά μέσα από την εκπόνηση αυτής της πτυχιακής κατάφερα να αποκτήσω γνώσεις όχι μόνο για το αυτοκίνητο αλλά και για το σχεδιασμό και την μελέτη ενός πλαισίου για ένα τόσο απαιτητικό σύνολο όπως το αυτοκίνητο.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	iii
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	v
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1. ΠΛΑΙΣΙΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ	5
1.1 ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΥΠΟΥ ΣΚΑΛΑΣ	5
1.2 ΣΩΛΗΝΩΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΑΠΟ ΧΩΡΟΔΙΚΤΥΩΜΑ	6
1.3 ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ ΩΣ ΜΕΡΟΣ ΤΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ	7
1.4 ΑΥΤΟΦΕΡΟΜΕΝΟ ΠΛΑΙΣΙΟ, MONOCOQUE.....	8
1.5 ΑΜΑΞΩΜΑ ΑΠΟ ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ.....	14
1.6 CARBON FIBER MONOCOQUE	15
1.7 LOTUS ELISE	16
2. LOTUS SEVEN ΙΣΤΟΡΙΑ	19
2.1 ΑΝΤΙΓΡΑΦΕΣ.....	21
2.2 ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ.....	24
3. ΑΓΩΝΙΣΤΙΚΕΣ ΕΠΙΤΥΧΙΕΣ	27
4. ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ LOCOST	30
4.1 Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΑΥΣΤΡΑΛΙΑΣ	31
4.2 ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	32
4.3 ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΟΥ ΒΙΒΛΙΟΥ.....	33
4.4 ΔΕΥΤΕΡΗ ΕΚΔΟΧΗ	38
5. FORMULA STUDENT (FSAE).....	41
6. ΚΑΝΟΝΕΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ	47
7. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ	53
8. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ANSYS	57
8.1 ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ	57
8.1.1 Περιβάλλον Εργασίας.....	57
8.1.2 Βασικές Λειτουργίες Προγράμματος.....	59
9. ΔΙΑΚΡΙΤΟΠΟΙΗΣΗ.....	65
10. ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΤΥΠΟΥ FIA	73
10.1 ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΚΛΩΒΟΥ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ	78
11. ΝΕΟ ΠΛΑΙΣΙΟ	95
12. ΣΤΡΕΠΤΙΚΗ ΑΚΑΜΨΙΑ	115
13. ΒΑΡΟΣ	119
14. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΥΓΚΡΟΥΣΗΣ (CRASH TEST).....	123
15. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	128
16. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	129

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανάγκη του ανθρώπου για μετακίνηση είναι γνωστή από την αρχαιότητα. Μαζί με την πρόοδο της ανθρώπινης κοινωνίας βελτιωνόταν τόσο η τεχνολογία όσο και οι τρόποι μετακίνησης του. Η ανακάλυψη του τροχού σήμανε μια τεραστία τεχνολογική πρόοδο στον τομέα των μεταφορών για κάθε λογής σκοπό. Από τα πρώτα χειροκίνητα καρότσια μετακίνησης αγαθών που επιβιώνουν ακόμη και σήμερα μέχρι τα κάρα για την μεταφορά τόσο φορτίων όσο και ατόμων, ως τα άρματα τα οποία αργότερα σηματοδότησαν την πρώτη μορφή αγώνων με οχήματα, τις αρματοδρομίες, ξεκαθάρισαν πως ο τροχός ήρθε για να μείνει. Μαζί του ήρθε και η ανάγκη για την ανάπτυξη των πρώτων πλαισίων για αυτά τα οχήματα. Έτσι παρατηρήθηκε η ανάπτυξη του τομέα της κατασκευής αυτών με τα διαθέσιμα υλικά της εποχής. Ακόμη πραγματοποιήθηκαν οι πρώτες προσπάθειες για την βελτιστοποίηση της αντοχής μέσω των ποικίλων υλικών. Κυρίως διαφορετικών ειδών ξύλου όσο και ο πειραματισμός με το σχήμα της διατομής αλλά και με τη διάταξη αυτών, για την όσο δυνατόν αύξηση της αντοχής. Οι Ρωμαίοι μάλιστα χρησιμοποιούσαν ως ενίσχυση σίδηρο στα διάφορα ξύλινα μέρη που έκριναν ότι απαιτούνταν, όπως η περίμετρος των ξύλινων τροχών.

Καθώς περνούσαν τα χρόνια έδειχναν πως η τεχνολογία των οχημάτων είχε φτάσει στο απόγειο της εξέλιξης, έως τον ερχομό της βιομηχανικής επανάστασης. Η μεγάλη πρόοδος σε όλους τους τεχνολογικούς τομείς επηρέασε και τον τομέα των μεταφορών, ως φυσικό συνεπακόλουθο της ανάγκης διακίνησης των προϊόντων. Μεγάλη άνθηση τότε γνωρίζει ο σιδηρόδρομος, η οποία συνεχίζεται μέχρι και τις μέρες μας. Μέσω αυτής της εξέλιξης, άρχισαν να σχηματίζονται τα πρώτα πλαίσια στήριξης των βαγονιών που χρησιμοποιούν τους πρώτους τύπους ανάρτησης. Μέσα από την αξιόλογη αυτή πρόοδο καθιερώνονται νέα υλικά όπως ο χυτοσίδηρος και ο χάλυβας, που επιφέρουν επανάσταση στη σχεδίαση των πλαισίων των οχημάτων χάρης στις υψηλές μηχανικές ιδιότητες σε σχέση με το κύριο ως τότε υλικό το ξύλο. Τα πρώτα ατμοκίνητα φορτηγά κάνουν την εμφάνισή τους, χρησιμοποιώντας πλαίσιο από χάλυβα έχουν μεγάλο πλεονέκτημα στη μεταφορά μεγαλύτερου όγκου εμπορευμάτων σε σχέση με τα παλαιότερα ξύλινα κάρα της εποχής. Με την εφεύρεση του κινητήρα diesel αλλά και την ταυτόχρονη ανάπτυξη του βενζινοκινητήρα, τα οχήματα προσωπικής κυρίως χρήσης όπως τα αυτοκίνητα αλλά και τα επαγγελματικά φορτηγά αρχίζουν να γνωρίζουν μεγάλη ζήτηση. Φυσικό επακόλουθο ήταν και η ανάπτυξη της αυτοκινητοβιομηχανίας, η οποία πολλές φορές διαχωρίζονταν από τους κατασκευαστές πλαισίων. Η ανάγκη για την παραγωγή όλων και περισσότερων πλαισίων με καλύτερες μηχανικές ιδιότητες με όσο το δυνατόν χαμηλότερο κόστος οδηγεί στο πλαίσιο τύπου σκάλας. Πήρε το όνομα του από την εμφάνισή του αφού μοιάζει με σκάλα. Έχοντας ως κύριες υποστηρικτικές δομές δυο διαμήκεις δοκούς ορθογωνικής διατομής ενώ ταυτόχρονα χρησιμοποιούνται εγκάρσιες ενισχύσεις για την βελτίωση της ακαμψίας τους. Αποτελεί τον παλαιότερο τύπο πλαισίου ο οποίος επιβιώνει μέχρι τις μέρες μας. Αρχικά η συγκεκριμένη διάταξη ήταν η μόνη υπάρχουσα, με το αμάξωμα πολλές φορές να είναι κατασκευασμένο είτε από μεταλλικά τμήματα είτε από ξύλινα ή ακόμη

και από συνδυασμό αυτών. Με τον καιρό η ζήτηση για πιο ελαφρά πλαίσια και κυρίως πιο φθηνά, οδήγησε τους κατασκευαστές στην ανάπτυξη αυτοφερόμενων πλαισίων, όπου η καμπίνα των επιβατών και το πλαίσιο αποτελούν μια ενιαία μονάδα με αποτέλεσμα καλύτερη ακαμψία με χαμηλότερο βάρος. Η διάταξη αυτή αποτελεί την κύρια μέχρι σήμερα, μιας και αποτελεί την οικονομικότερη μέθοδο μαζικής παραγωγής. Μελέτες σε πλαίσια αυτοκινήτων γίνονται από τους κατασκευαστές, αφού οι απαιτήσεις για ασφάλεια τόσο παθητική όσο και ενεργητική είναι συνεχώς αυξανόμενες τόσο από τους αγοραστές όσο και από τους ανεξάρτητους οργανισμούς και θεσμούς, όπως η Ευρωπαϊκή Ένωση. Καλό θα ήταν εδώ να διασαφηνίσουμε τους προηγούμενους όρους. Με τον όρο παθητική ασφάλεια εννοούμε την προστασία των επιβατών σε περίπτωση σύγκρουσης. Ενώ αυτός της ενεργητικής ασφάλειας αναφέρεται στην ευκολία ελέγχου που παρέχεται στον οδηγό για την αποφυγή των τυχόν εμποδίων που μπορεί να προκύψουν. Η μελέτη της ακαμψίας του πλαισίου αποτελεί τον σημαντικότερο παράγοντα για την καλύτερη οδική συμπεριφορά. Επιτρέπει στην γεωμετρία της ανάρτησης να ανταποκριθεί καλύτερα, μιας και το πλαίσιο δεν παραμορφώνεται σε τέτοιο βαθμό ώστε να αποτελεί μέρος αυτής και να μην επηρεάζει αρνητικά στην λειτουργία της. Επίσης οι σύγχρονοι κατασκευαστές αυτοκινήτων δίνουν μεγάλη σημασία στις σχηματιζόμενες ζώνες παραμόρφωσης κατά τη διάρκεια μιας σύγκρουσης, ώστε να βελτιωθεί κι άλλο η ασφάλεια των επιβατών. Αυτή η ανάγκη οδήγησε στην ανάπτυξη της μελέτης των πλαισίων με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Έτσι μπορεί να προβλεφθεί η συμπεριφορά τους κάτω από τις συνθήκες φόρτισης και να γίνει η διόρθωση τυχόν λαθών με όσο το δυνατό μικρότερο κόστος. Ακόμη, οι σύνθετες γεωμετρικές επιφάνειες που σχηματίζονται από τον σχηματισμό των φύλλων λαμαρίνας των σύγχρονων πλαισίων, καθιστούν πάρα πολύ δύσκολη έως ακατόρθωτη, λόγω του όγκου της εργασίας που απαιτείται, την ανάλυσή τους με τις κλασικές μεθόδους της μηχανικής. Επιπλέον οι δυνατότητες που δίνονται από τα σχεδιαστικά προγράμματα τύπου CAD σε συνδυασμό με τα προγράμματα ανάλυσης με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων, επιτρέπουν την ελευθερία στο σχεδιασμό. Κάτι που οδήγησε σε χρήση νέων διατομών, όπως αυτή του τύπου οβάλ στα πλαίσια των μοτοσυκλετών. Έτσι εξασφαλίζεται ακόμη μεγαλύτερη ακαμψία, προβλέψιμη συμπεριφορά σε περίπτωση σύγκρουσης, ενώ το βάρος συγκρατείται σε χαμηλά επίπεδα ωφελώντας και την μείωση της κατανάλωσης καυσίμου.

Ο λόγος της πρόβλεψης της συμπεριφοράς του πλαισίου και της βελτίωσης αυτού όπου κρίνεται απαραίτητο μέσω της χρήσης προγραμμάτων τύπου ανάλυσης, αποτέλεσε το ερέθισμα για την σύνταξη της εν λόγω εργασίας. Το πλαίσιο που θα αναλυθεί αποτελεί έναν άλλο τύπο από αυτούς που προαναφέρθηκαν. Πρόκειται για ένα πλαίσιο από χωροδικτύωμα του Lotus Seven. Αποτελεί ένα τύπο πλαισίων που επιτρέπει πάρα πολύ μεγάλη στρεπτική ακαμψία, ασφάλεια και χαμηλό βάρος. Ακόμη, η απλότητα της κατασκευής του σε σύγκριση με αυτήν των αυτοφερόμενων πλαισίων ή των διαδόχων του τύπου monocoque από σύνθετα υλικά, τον καθιστά ένα προσιτό τρόπο κατασκευής για χαμηλά μεγέθη παραγωγής, από μικρές κυρίως εταιρείες. Οι ρίζες του ξεκινούν από την αεροναυπηγική όπου η ανάγκη για ένα ισχυρό πλαίσιο ικανό να σηκώνει μεγάλα φορτία, ενώ παράλληλα να αποτελεί ελαφρύ, οδήγησε στην ανάπτυξη του. Επιπλέον, η απλή του μορφή επέτρεπε και τα παλαιότερα χρόνια στους μηχανικούς την πρόβλεψη της συμπεριφοράς τους και την βελτίωσή τους. Αυτά τα χαρακτηριστικά τους έχουν προσδώσει τέτοια πλεονεκτήματα ώστε να χρησιμοποιούνται ευρύτατα ακόμη και σήμερα όπως στην αεροναυπηγική, στους αγώνες αυτοκινήτων για την διαφύλαξη της ασφάλειας σε περίπτωση σύγκρουσης αλλά και σε στρατιωτικές εφαρμογές. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα τους

δεν είναι άλλο από τον απαιτούμενο χρόνο κατασκευής τους. Η μη δυνατή χρήση ρομπότ συγκόλλησης λόγω του περιορισμένου χώρου ανάμεσα στους φορείς, οδηγεί πάντα σε μικρή παραγωγική δυνατότητα.

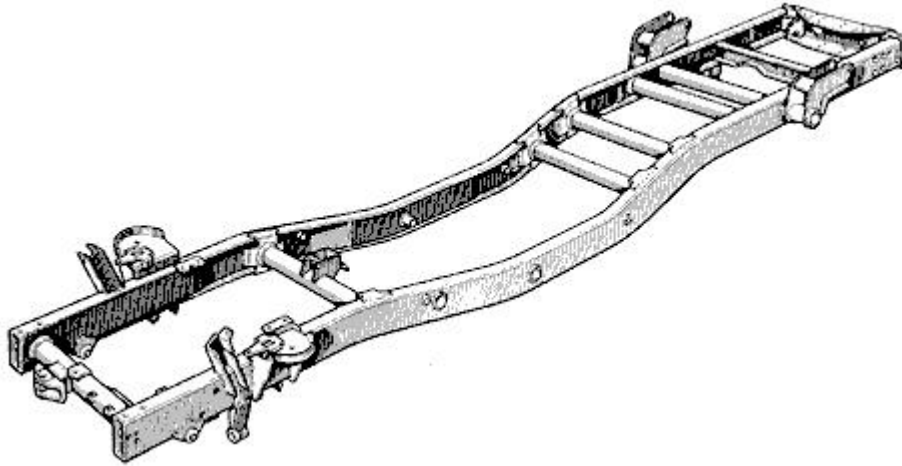
Στην εργασία που ακολουθεί, μετά από μια σύντομη ιστορική αναφορά αναλύονται οι τρόποι υπολογισμού της παραμόρφωσης μέσω της μεθόδου της ανάλυσης των πεπερασμένων στοιχείων και της βελτίωσης ενός από τα πιο αντιγραμμένα πλαίσια αυτού του είδους. Ακόμη εξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα για την βελτίωση μιας τέτοιας διάταξης τόσο με την χρήση διαφορετικών υλικών όσο και διατομών.

1. ΠΛΑΙΣΙΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ

Η ιστορία των πλαισίων στήριξης οχημάτων ξεκινά από την αρχαιότητα. Η ανάγκη του ανθρώπου για μετακίνηση τόσο του ίδιου αλλά και προϊόντων οδήγησε στα πρώτα οχήματα όπως τα κάρα, που η ανάγκη σχηματισμού ενός πλαισίου στήριξης ήταν μείζονος σημασίας μιας και τα τότε υπάρχοντα υλικά όπως το ξύλο δεν επέτρεπαν τη στήριξη μεγάλων φορτίων χωρίς υποστηρικτικές δομές. Ο ερχομός της βιομηχανικής επανάστασης σηματοδότησε μια τεράστια τεχνολογική πρόοδο σε όλους τους τομείς, χωρίς να αφήσει όπως ήταν φυσιολογικό τον τομέα των οχημάτων ανεπηρέαστο. Η εμφάνιση νέων υλικών όπως ο χάλυβας, με ιδιότητες κατά πολύ ανώτερες από τα τότε υπάρχοντα υλικά κατασκευής πλαισίων, κυρίως τα διάφορα είδη ξύλων, οδηγεί στην εξέλιξη των πρώτων πλαισίων αλλά και των πρώτων τύπων ανάρτησης. Η ανάπτυξη των κινητήρων εσωτερικής καύσης σε συνδυασμό με την ανάγκη για μεταφορά αγαθών οδηγεί στα πρώτα φορτηγά, ενώ οι πιο εύπορες κοινωνικές τάξεις στρέφονται στο τομέα του αυτοκινήτου για την προσωπική τους μετακίνηση. Μοιραία η ανάγκη για μεγαλύτερη παραγωγή πλαισίων που θα συγκέντρωναν τα χαρακτηριστικά όπως το χαμηλό κόστος κατασκευής, η αντοχή αλλά και ταχύτητα κατασκευής, οδήγησε στο πρώτους τύπους πλαισίου και την εξέλιξη τους με την πάροδο του χρόνου μιας και οι απαιτήσεις αυξάνονταν. Στη παρακάτω περιγραφή που ακολουθεί παρουσιάζονται συνοπτικά οι τύποι πλαισίων καθώς και τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους.

1.1 ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΥΠΟΥ ΣΚΑΛΑΣ

Η ονομασία του προήλθε από το σχήμα του που μοιάζει με σκάλα. Αποτελείται από δυο κύριες διαμήκεις δοκούς και εγκάρσιες ενισχύσεις σχηματίζοντας την χαρακτηριστική τους εμφάνιση. Ο ρόλος των κύριων δοκών διαμήκους προσανατολισμού είναι να αντεπεξέρχονται στις ομοαξονικές δυνάμεις που εμφανίζονται κατά την επιτάχυνση αλλά και κατά την επιβράδυνση. Ενώ των εγκάρσια τοποθετημένων στελεχών να ενισχύσουν την ακαμψία του πλαισίου αλλά και την αντίσταση του κατά τις εγκάρσιες δυνάμεις που αναπτύσσονται κατά την αλλαγή πορείας του οχήματος ή τις ανωμαλίες του οδοστρώματος. Πρόκειται για τον παλαιότερο τύπο πλαισίου και μέχρι το 1960 αποτελούσαν το κυριότερο τύπο. Χρησιμοποιείται ακόμη και σήμερα σε βαριά οχήματα όπως τα φορτηγά (Εικ. 1.1), τα οχήματα τύπου τζιπ αλλά και τα ελαφρά φορτηγά οχήματα με καρότσα τύπου Pick-up, μιας έχουν και το πλεονέκτημα της υψηλής αντοχής σε κάθετα φορτία αλλά και το χαμηλό κόστος. Επιπλέον, λόγω των χαμηλών ταχυτήτων που συνήθως αναπτύσσονται σε σύγκριση με τα υπόλοιπα επιβατηγά αυτοκίνητα, η ακαμψία του πλαισίου δεν διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην ενεργητική ασφάλειά τους.



Εικόνα 1.1: Πλαίσιο τύπου σκάλας από το τετρακίνητο φορτηγό Mercedes Unimog.

1.2 ΣΩΛΗΝΩΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΑΠΟ ΧΩΡΟΔΙΚΤΥΩΜΑ

Καθώς το πλαίσιο τύπου σκάλας αναπτύσσεται σε δυο διαστάσεις με αποτέλεσμα να μην είναι αρκετά άκαμπτο, οι μηχανικοί ανέπτυξαν ένα πλαίσιο τριών διαστάσεων ή όπως συνηθίζεται να αναφέρεται το χωροδικτύωμα. Τα πρώτα παραδείγματα άρχισαν να εμφανίζονται πριν το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο σε αγωνιστικά αυτοκίνητα, με πρώτο κατασκευαστή την εταιρεία Maserati. Τα σωληνωτά χωροδικτύωματα αποτελούνται από πάρα πολλές διατομές σωλήνων τοποθετημένα σε διαφορετικές θέσεις, ώστε να επιτυγχάνεται καλύτερη κατανομή των δυνάμεων από όλες τις πιθανές διευθύνσεις. Ο συνηθέστερος τύπος διατομής είναι ο στρογγυλός, μιας και παρέχει την καλύτερη κατανομή των δυνάμεων προς όλες τις διευθύνσεις. Πολλές φορές χρησιμοποιούνται και ορθογωνικής ή τετραγωνικής διατομής σωλήνες για καλύτερη επαφή με τα μέρη του αμαξώματος. Οι συγκεκριμένες σωλήνες συγκολλούνται σχηματίζοντας μια αρκετά περιπλοκή δομή με περιορισμένο χώρο ανάμεσα στις σωλήνες που το αποτελούν, όπως φαίνεται στις εικόνες που ακολουθούν, καθιστώντας τα συγκεκριμένα πλαίσια αδύνατο να συγκολληθούν με τη χρήση ρομπότ, άρα και να παραχθούν σε μαζική παραγωγή. Ακόμη η ανάγκη των αυτοκινήτων επιδόσεων για ακόμη μεγαλύτερη στρεπτική ακαμψία αλλά και ασφάλεια σε περίπτωση πλαγιομετωπικής σύγκρουσης, λόγω των ταχυτήτων που κινούνται, έχουν σαν αποτέλεσμα ένα αρκετό ψηλό κατώφλι της πόρτας, που μοιραία οδηγεί σε δυσκολία πρόσβασης στο εσωτερικό. Ο συγκεκριμένος τρόπος οδήγησε τους κατασκευαστές στην υιοθέτηση διαφορετικών τρόπων ανοίγματος της πόρτας, για να αυξηθεί στα μέτρα του δυνατού η πρακτικότητα στα αυτοκίνητα που χρησιμοποιούν τα συγκεκριμένα πλαίσια. Πρώτη διδάσσα η Mercedes-Benz με την θρυλική 300 SL Gullwing (Εικ. 1.2, 1.3), όπου οι πόρτες αποτελούν μέρος της οροφής. Από το 1960 ως τα μέσα του 1990 τα περισσότερα αυτοκίνητα επιδόσεων χρησιμοποιούσαν αυτόν τον τύπο πλαισίου ή ακόμη και τον συνδυασμό αυτοφερόμενο πλαισίου με τμήματα από χωροδικτύωμα για την μείωση του κόστους παραγωγής.



Εικόνα 1.2: Το πλαίσιο της Mercedes-Benz 300 SL Gullwing.



Εικόνα 1.3: Η Mercedes-Benz 300 SL Gullwing.

1.3 ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ ΩΣ ΜΕΡΟΣ ΤΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ

Μια υποκατηγορία αυτών των πλαισίων είναι αυτά που χρησιμοποιούν το κινητήρα και το κιβώτιο ταχυτήτων ως μέρος του πλαισίου για την περαιτέρω μείωση του βάρους. Συνήθως απαντάται σε καθαρόαιμες спор κατασκευές όπου η διάταξη κινητήρας-κιβώτιο ταχυτήτων βρίσκεται στο πίσω μέρος του αυτοκινήτου και δη στο

κέντρο πίσω από τους επιβάτες. Συνήθως τα τμήματα της πίσω ανάρτησης είναι απευθείας βιδωμένα πάνω στο κινητήρα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, πέρα από τη μείωση του βάρους και τη μείωση του ύψους στο πίσω μέρος με άμεσα οφέλη στην αεροδυναμική. Βασικό μειονέκτημα είναι ότι οι δονήσεις από τον κινητήρα περνούν απευθείας στη καμπίνα μειώνοντας και άλλο την άνεση, ενώ απαιτούνται κινητήρες με πιο ενισχυμένο κορμό για να ανταπεξέλθουν στις αυξημένες δυνάμεις που δέχονται. Εφευρέτης αυτής της διάταξης ήταν ο ιδρυτής της Lotus Colin Chapman, Εικ. 1.4, κάτι που του χάρισε το πρωτάθλημα στη Φόρμουλα 1 τη σεζόν του 1963. Σήμερα όλα τα αγωνιστικά της Φόρμουλα 1 εξακολουθούν να χρησιμοποιούν τον ίδιο τρόπο στήριξης της ανάρτησης καθώς και πολλά αυτοκίνητα επιδόσεων όπως η McLaren F1.



Εικόνα 1.4: Φόρμουλα 1 1963 της εταιρείας Lotus.

1.4 ΑΥΤΟΦΕΡΟΜΕΝΟ ΠΛΑΙΣΙΟ, MONOCOQUE

Σήμερα το 99% των αυτοκινήτων που παράγονται χρησιμοποιούν αυτό το τύπο πλαισίου, Εικ. 1.5. Αφού συγκεντρώνει πλεονεκτήματα όπως τη γρήγορη διαδικασία παραγωγής των μερών του πλαισίου μέσω καλουπιών και την δυνατότητα συγκόλλησης τους από ρομποτικούς βραχίονες, κάνοντας την διαδικασία παραγωγής ενός πλαισίου να διαρκεί λίγα μόνον λεπτά. Το αυτοφερόμενο πλαίσιο αποτελεί μια ενιαία κατασκευή η οποία καθορίζει και το σχεδιασμό ολόκληρου του αυτοκινήτου. Σε αντίθεση με τα πλαίσια τύπου σκάλας, το χωροδικτύωμα και το πλαίσιο τύπου σπονδυλικής στήλης (backbone), τα οποία παρέχουν μόνο τις υποστηρικτικές δομές και είναι απαραίτητο να σχηματισθούν γύρω τα διάφορα μέρη του αμαξώματος, τα αυτοφερόμενα πλαίσια συνδυάζουν τα τμήματα του αμαξώματος μαζί με τις υποστηρικτικές δομές. μέσω αυτού του τρόπου επιτυγχάνεται σαφώς ανώτερη

στρεπτική ακαμψία από τα πλαίσια τύπου σκάλας, προστασία στη περίπτωση της πλάγια σύγκρουσης, ενώ δεν απαιτούν χρόνο για την κατασκευή σαν τα πλαίσια από χωροδικτύωμα. Τέλος, η χρήση του χάλυβα ως κύριο υλικό τους τα καθιστά φθηνότερο από τα κορυφαία μεν, πανάκριβα δε, πλαίσια από ανθρακονήματα.



Εικόνα 1.5: Πλαίσιο αυτοφερόμενο συμβατικού αυτοκινήτου.

Στην πραγματικότητα η ενιαία κατασκευή που προκύπτει αποτελείται από πολλά επιμέρους τμήματα τα οποία παράγονται από καλούπια. Έπειτα ενώνονται είτε με συνεχόμενο γαζί είτε με ηλεκτροπόντες από τους ρομποτικούς βραχίονες. Αφού σχηματιστεί το κυρίως πλαίσιο, τοποθετούνται τα υπόλοιπα τμήματα όπως πόρτες, καπό, πλαϊνά φτερά και οροφή.

Τα αυτοφερόμενα πλαίσια παρέχουν επίσης το πλεονέκτημα της ασφάλειας σε περίπτωση σύγκρουσης. Επειδή χρησιμοποιείται μεγάλος όγκος μετάλλου, δημιουργούνται ζώνες παραμόρφωσης με βάση τη συγκέντρωση του υλικού αλλά και τη διατομή. Με τον όρο ζώνες παραμόρφωσης εννοούμε το διαχωρισμό των τμημάτων του αυτοκινήτου με βάση το βαθμό παραμόρφωσης σε περίπτωση σύγκρουσης. Έτσι το εμπρόσθιο τμήμα χωρίζεται στην πρώτη ζώνη χαμηλής ταχύτητας, όπου οι παραμορφώσεις λειτουργούν ως μια μορφή απορρόφησης της ενέργειας της σύγκρουσης. Τη δεύτερη, μεγάλης ταχύτητας, όπου και ο κινητήρας διαδραματίζει ρόλο στη μείωση της παραμόρφωσης. Σκοπός είναι να απορροφηθούν όσο το δυνατόν μεγαλύτερα ποσά ενέργειας από τη σύγκρουση μέσω της παραμόρφωσης του υλικού, για να μην τα υποστούν οι επιβάτες. Παράλληλα ο σχεδιασμός της καμπίνας γίνεται με στόχο όσο το δυνατόν γίνεται να παραμείνει απαραμόρφωτη, με σκοπό να μην εγκλωβιστούν οι επιβαίνοντες μέσα σε αυτή. Δυστυχώς αυτό είναι εφικτό αλλά όχι σε υψηλές ταχύτητες πρόσκρουσης, όπου η λύση των πλαισίων από χωροδικτύωμα αποτελεί μια σαφώς πιο ασφαλή επιλογή με την ασφαλέστερη όλων, το πλαίσιο από σύνθετα υλικά.

Ένα ακόμη βασικό πλεονέκτημα αυτών των πλαισίων σε αντίθεση με τους άλλους τύπους αμαξώματος είναι η ελευθερία χώρου που προσφέρουν, αφού το

αμάξωμα είναι ουσιαστικά ένα εξωτερικό κέλυφος χωρίς να είναι απαραίτητο ψηλό το κατώφλι της πόρτας, κάτι που διευκολύνει την καθημερινή χρήση. Επίσης δεν είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθούν μεγάλα σε διαστάσεις τούνελ κάλυψης του άξονα μετάδοσης ή μπάρες για την προστασία σε περίπτωση ανατροπής του οχήματος. Προφανώς τα προαναφερόμενα αποτελούν ιδιαίτερης σημασίας πλεονεκτήματα για ένα αυτοκίνητο μαζικής παραγωγής.

Ωστόσο υπάρχουν και αρκετά μειονεκτήματα, όπως το βάρος του πλαισίου λόγω της μεγάλης ποσότητας μετάλλου που χρησιμοποιείται. Επιπλέον η συγκεκριμένη μέθοδος είναι εφικτή μόνο από μεγάλες σε όγκο παραγωγής εταιρείες, λόγω του κόστους της γραμμής παραγωγής. Ακόμη το κέλυφος συνήθως σχεδιάζεται με γνώμονα τη πρακτικότητα και την εκμετάλλευση του χώρου και όχι την αντοχή στη σύγκρουση, την ασφάλεια. Ιδίως σε μικρά αυτοκίνητα πόλης, κάτι που οδηγεί σε χαμηλότερη ασφάλεια γεγονός που συνέβαινε ιδιαίτερα μέχρι πρότινος. Επιπλέον τα πρεσαριστά φύλλα λαμαρίνας έχουν μικρότερη αντοχή σε σχέση με τις σωλήνες που χρησιμοποιούνται στο πλαίσιο από χωροδικτύωμα ή από τα πλαίσια από ανθρακονήματα. Αυτό συμβαίνει επειδή το υλικό στις ακμές τους είναι πάντα λιγότερο από το υπόλοιπη επιφάνεια, λόγω της διαδικασίας παραγωγής τους μέσω καλουπιών διαμόρφωσης. Ως αποτέλεσμα, είναι απαραίτητη η χρήση παχύτερων φύλλων λαμαρίνας για να επιτευχθεί η απαραίτητη αντοχή, κάτι που οδηγεί στο χαμηλότερο λόγο ακαμψίας πλαισίου προς μάζα από όλους τους τύπους πλαισίου, εκτός του τύπου σκάλας.

Μια προσπάθεια για την μείωση του τελευταίου μειονεκτήματος που αναφέρθηκε, είναι αυτή της υιοθέτησης του Ultra Light Steel Auto Body (ULSAB Monocoque), σε ελεύθερη μετάφραση εξαιρετικά ελαφρύ χαλύβδινο πλαίσιο αυτοκινήτου. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1990 οι απαιτήσεις για ένα πιο ασφαλές πλαίσιο ανάγκασαν τους κατασκευαστές να κατασκευάσουν πιο άκαμπτα πλαίσια, με αποτέλεσμα το βάρος να αυξηθεί μαζί με την κατανάλωση καυσίμου. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα οι κατασκευαστές αυτοκινήτων να στραφούν σε άλλα υλικά πέραν του κλασικού χάλυβα. Κύριο υλικό αντικατάστασης είναι το αλουμίνιο, συγκεκριμένα τα κράματα του. Πέραν της Audi που είναι η μόνη εταιρεία μαζικής παραγωγής εξ ολοκλήρου αλουμινένιων πλαισίων, οι υπόλοιποι κατασκευαστές άρχισαν να χρησιμοποιούν όλο και περισσότερα τμήματα από αλουμίνιο ώστε να μειωθεί το βάρος των πλαισίων. Η εξέλιξη αυτή δεν είναι ότι καλύτερο για την βιομηχανία του χάλυβα, με αποτέλεσμα οι αμερικανικές κατασκευάστριες εταιρείες χάλυβα να προσλάβουν μηχανικούς της Porsche για να αναπτύξουν ένα νέο τρόπο κατασκευής αυτοφερόμενων πλαισίων, το οποίο ονομάστηκε όπως αναφέρθηκε πιο πάνω Ultra Light Steel Auto Body (ULSAB Monocoque), Εικ. 1.6. Η βασική του διαφορά από το πλαίσιο τύπου monocoque, είναι ότι γίνεται χρήση καλουπιών διαμόρφωσης που χρησιμοποιούν πίεση ρευστού για την μορφοποίηση φύλλων χάλυβα και όχι κάποιο έμβολο διαμόρφωσης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ισοπαχή τμήματα, δεδομένου ότι η πίεση είναι η ίδια σε όλο καλούπι. Επιπλέον η εξωτερική επιφάνεια των τμημάτων είναι απαλλαγμένη από επιφανειακές ατέλειες όπως αυλακώσεις, μειώνοντας το χρόνο προεργασίας για την βαφή. Επίσης χρησιμοποιείται και για την διαμόρφωση σωλήνων σε ποικίλες διατομές, για παράδειγμα κωνικές που χρησιμοποιούνται ως ενισχύσεις επιτυγχάνοντας καλύτερες ιδιότητες με μικρότερο βάρος.

Ακόμη χρησιμοποιείται και το υλικό τύπου σάντουιτς, το οποίο διαθέτει στη μέση ένα πυρήνα από θερμοπλαστικό (πολυπροπυλένιο) ανάμεσα σε δυο πολύ λεπτά φύλλα χάλυβα. Αυτός ο συνδυασμός δίνει ένα τμήμα το οποίο είναι πάνω από 50% πιο ελαφρύ χωρίς να υστερεί σε μηχανικές ιδιότητες. Βέβαια δεν μπορεί να

χρησιμοποιηθεί σε όλα τα τμήματα του αμαξώματος, διότι δεν αντέχει σε κλασικού τύπου κόλληση με αύξηση της θερμοκρασίας αλλά απαιτεί ειδικές ρητίνες και ηλώσεις.

Συγκρινόμενο με τα πλαίσια που παράγονται με τις παραδοσιακές μεθόδους, τα πλαίσια που παράγονται με την συγκεκριμένη μέθοδο είναι 36% πιο ελαφρά και 50% πιο άκαμπτα. Πρώτες εταιρείες που το χρησιμοποίησαν είναι η BMW στη σειρά 3 και η GM στα Opel Astra και Chevrolet Corvette. Πρόκειται για μια μέθοδο που χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο με προφανή πλεονεκτήματα τη μείωση του βάρους αλλά και τη διατήρηση του κόστους σε χαμηλά επίπεδα.



Εικόνα 1.6: ULSAB αυτοφερόμενο πλαίσιο (Monocoque).

Από την άλλη πλευρά η λύση που υιοθέτησε η Audi καταφέρνει να επιτυγχάνει να έχει ακόμη καλύτερο λόγο ακαμψίας πλαισίου προς μάζα. Πρόκειται για ένα πλαίσιο κατασκευασμένο από αλουμίνιο. Για την ανάπτυξη του υπήρξε συνεργασία με τη μεγαλύτερη εταιρεία κατασκευής αλουμινένιων εξαρτημάτων οχημάτων, την αμερικάνικη εταιρεία Alcoa. Σχεδιάστηκε με γνώμονα να αντικαταστήσει κάποια στιγμή το παραδοσιακό τύπο monocoque, κυρίως λόγω του πλεονεκτήματος του χαμηλού βάρους. Ωστόσο εξακολουθεί να είναι μια ακριβή μέθοδος παραγωγής που χρησιμοποιείται στα κορυφαία μοντέλα του Volkswagen Group. Σύμφωνα με την Audi, το συγκεκριμένο πλαίσιο είναι πάνω από 40% ελαφρύτερο και 40% πιο άκαμπτο, επιτρέποντάς της να χρησιμοποιήσει το σύστημα τετρακίνησης quattro χωρίς την προσθήκη περισσότερου βάρους.

Το συγκεκριμένο πλαίσιο κατασκευάζεται από μέρη που παράγονται με τη μέθοδο της εξώθησης, επιτυγχάνοντας ίδιο πάχος σε όλη την επιφάνεια μιας δοκού. Τα μεγάλα μέρη που κατασκευάζονται από φύλλα αλουμινίου διαμορφώνονται με τη χρήση υποπίεσης αέρα, μιας και το αλουμίνιο είναι πιο μαλακό μέταλλο και είναι εφικτό σε σχέση με το χάλυβα. Για την συγκόλληση αρχικά χρησιμοποιούνταν χυτά τμήματα από μασίφ αλουμίνιο, κάτι που αύξανε το κόστος παραγωγής. Στη δεύτερη εκδοχή του, αναπτύχθηκε τεχνολογία κόλλησης μέσω ακτινών λέιζερ κάτι που χαμήλωσε το κόστος παραγωγής σε τέτοιο βαθμό που ήταν εφικτό και να χρησιμοποιηθεί σε μαζικής παραγωγής αυτοκίνητα, όπως το μοντέλο πόλης A2. Ωστόσο το κόστος επισκευής σε περίπτωση ατυχήματος εξακολούθησε να είναι

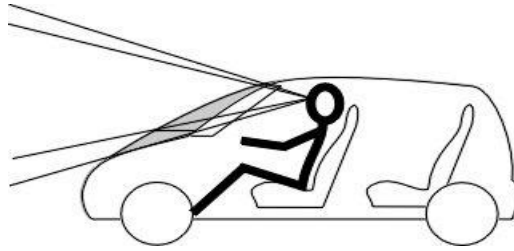
μεγάλο σε σύγκριση με τα παραδοσιακά πλαίσια, παράγοντας ιδιαίτερα σημαντικός για τα αυτοκίνητα παραγωγής, Εικ. 1.7.



Εικόνα 1.7: Πλαίσιο αλουμινίου της Audi για το A8.

Μια παραδοχή του πλαισίου τύπου monocoque είναι αυτή του πλαισίου τύπου σάντουιτς που χρησιμοποιεί η Mercedes Benz στα αυτοκίνητα πόλης. Ονομάζεται έτσι εξαιτίας της δομής του ως πλαίσιο, με το κινητήρα ανάμεσα στο πάτωμα και τη καμπίνα. Από τη μια η συγκεκριμένη διάταξη αυξάνει το συνολικό ύψος του αυτοκινήτου, άρα και το κέντρο βάρους του οχήματος, κάτι που επηρεάζει αρνητικά την ενεργητική του ασφάλεια. Από την άλλη επιτρέπει πιο εύκολη είσοδο και έξοδο των επιβατών, ενώ ο χώρος στην καμπίνα είναι αυξημένος κατά πολύ μιας και το πάτωμα είναι επίπεδο αφού η εξάτμιση περνά κάτω από αυτό. Επιπλέον η διάταξη αυτή βοηθά στην αύξηση της ασφάλειας σε περίπτωση σύγκρουσης, μιας και ο κινητήρας δε κατευθύνεται προς τον οδηγό αλλά αναδιπλώνεται κάτω από αυτόν. Ακόμη εξαιτίας του τελευταίου αυτού χαρακτηριστικού, δεν είναι απαραίτητη η τοποθέτηση ενισχυτικών δομών για την προστασία του οδηγού, εξοικονομώντας βάρος.

Τέλος, στο συγκεκριμένο αυτοκίνητο χρησιμοποιήθηκε και διάταξη όπου το παρμπρίζ είναι τοποθετημένο προς τα εμπρός για να αυξηθεί η αίσθηση της ευρυχωρίας. Χαρακτηριστικό που έχει υιοθετηθεί από πολλούς κατασκευαστές για τα μικρότερα αυτοκίνητα τους, Εικ. 1.8 και 1.9.

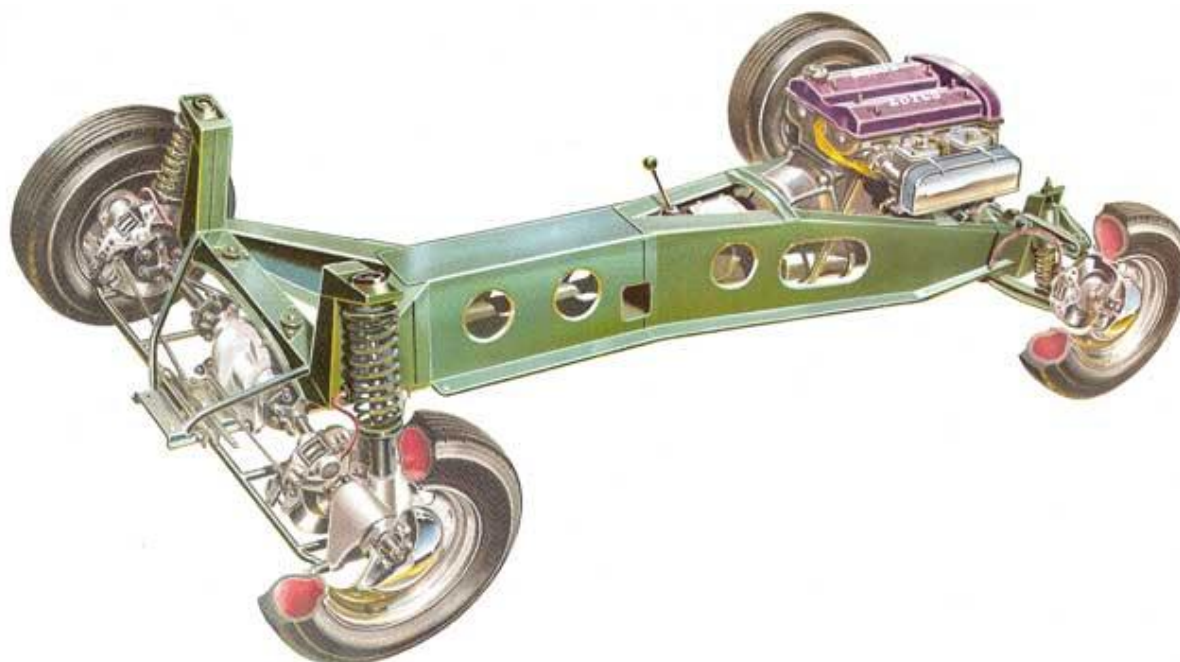


Εικόνα 1.8: Σχεδίαση ενός όγκου (One box design). Χρησιμοποιείται σε πολλά αυτοκίνητα πόλης.



Εικόνα 1.9: Mercedes A-Class. Στο συγκεκριμένο μοντέλο γίνεται χρήση του πατώματος τύπου σάντουιτς.

Για άλλη μια φορά ο ιδρυτής της Lotus Colin Chapman πρωτοτύπησε εφευρίσκοντας το πλαίσιο τύπου σπονδυλικής στήλης (Backbone), που πρωτοεμφανίστηκε στη Lotus Elanroadster, Εικ. 1.10. Η προσπάθεια του για ένα τύπο πλαισίου που θα ήταν αρκετά φθηνός ενώ παράλληλα αρκετά ισχυρός, τον οδήγησε στο συγκεκριμένο τύπο πλαισίου. Η δομή του είναι αρκετά απλή, αποτελούμενη από μια σωλήνα συνήθως ορθογωνικής διατομής που συνδέει το μπροστά και πίσω άξονα, παρέχοντας όλη τη μηχανική αντοχή που είναι απαραίτητη. Εντός της σωλήνας βρίσκονται το κιβώτιο ταχυτήτων, ο άξονας μετάδοσης και το διαφορικό, στη περίπτωση της πρώτης έκδοσης της Elan. Ο κινητήρας και οι αναρτήσεις εδράζονται στο πλαίσιο, όπως και το υπόλοιπο αμάξωμα συνήθως κατασκευασμένο από πολυεστέρα. Ως πλαίσιο είναι αρκετά ισχυρό για τα πιο ελαφρά και αδύναμα σπορ αυτοκίνητα. Αλλά όχι για τα πιο ισχυρά ιδίως όταν χρησιμοποιούν μεγάλες κινητήριες μονάδες. Χρήση τους έχει γίνει από τις εταιρείες De Tomaso και TVR, με την τελευταία να κρατά μόνο τη διάταξη από του συγκεκριμένου τύπου πλαισίου. Χρησιμοποιώντας αλουμινένιο πλαίσιο από χωροδικτύωμα για την ενίσχυση της ακαμψίας των μοντέλων της, βελτιώνοντας και τα επίπεδα ασφάλειας σε περίπτωση πλευρικής σύγκρουσης, το σημαντικότερο μειονέκτημα σε θέμα ασφάλειας αυτού του πλαισίου.



CHASSIS SPECIFICATION

Chassis Welded steel backbone type, fully rust proofed.
Front Suspension Unequal length wishbones, independent, coil spring telescopic shock absorbers.
Rear Suspension Fully independent, by wide based wishbones, coil springs and telescopic shock absorbers.
Brakes Hydraulically operated callipers on 8½ inch diameter discs on front wheels, 10 inch diameter discs on rear. Hand brake operating on rear wheels only.
Gearbox Four forward speeds and reverse. Synchromesh

on all forward ratios. Oil capacity 1½ imp. pints (2.1 U.S. pints, 0.99 litres).
Final Drive Chassis mounted hypoid unit, sound insulated. Oil capacity 2 imp. pints (2.4 U.S. pints, 1.13 litres).
Steering Rack and pinion, with telescopic and collapsible steering column. Optional right or left hand drive, 15 inch diameter dished wood-rimmed steering wheel, 2½ turns lock to lock.
Wheels 13 inch diameter special Lotus high speed pressed steel. Four stud fixing. Bright metal hub caps.
Tyres 520 x 13.

Εικόνα 1.10: Lotus Elan Mk I. Χρησιμοποιείται το πλαίσιο τύπου σπονδυλικής στήλης.

1.5 ΑΜΑΞΩΜΑ ΑΠΟ ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ

Η πρώτη προσπάθεια για την κατασκευή συνθετικού πλαισίου έγινε την δεκαετία του 1950 από τον Colin Chapman. Το αυτοκίνητο που το χρησιμοποίησε ήταν η Lotus Elite, Εικ. 1.11. Συγκέντρωνε τα πλεονεκτήματα του φθηνού για μικρής έκτασης παραγωγή αμαξώματος, καθώς επίσης και αυτό της υψηλής αντιδιαβρωτικής προστασίας. Ωστόσο η έλλειψη γνώσεων γύρω από την τεχνολογία υλικών, είχε ως αποτέλεσμα τα συγκεκριμένα πλαίσια να παρουσιάζουν προβλήματα κόπωσης και ξαφνικής θραύσης, ιδίως στα τμήματα που οι αναρτήσεις συνδέονταν με το αμάξιμο. Ως αποτέλεσμα η παραγωγή της Elite διακόπηκε και κανείς από τους κατασκευαστές δεν ασχολήθηκε ξανά με τη παραγωγή αμαξωμάτων εξ ολοκλήρου από πολυεστέρα περιορίζοντας την χρήση του ως τμήματα αμαξώματος που παίζουν ρόλο στην αεροδυναμική. Επιπλέον ο πολυεστέρας δεν μπορεί να παραμορφωθεί όπως τα μέταλλα σε περίπτωση σύγκρουσης, αποκλείοντας την δημιουργία ζωνών παραμόρφωσης.

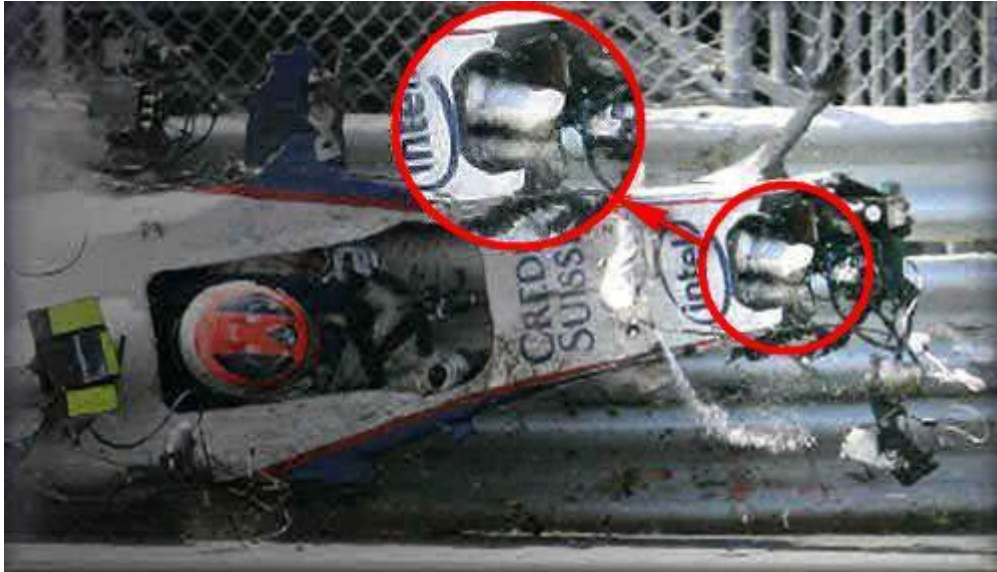


Εικόνα 1.11: Lotus Elite.

1.6 CARBON FIBER MONOCOQUE

Τα πλαίσια από ανθρακονήματα αποτελούν τα πιο προηγμένα πλαίσια αυτοκινήτου αυτή τη στιγμή. Πρώτη εταιρεία που τα εφάρμοσε ήταν η Mc Laren το 1983, με το αγωνιστικό μονοθέσιο Φόρμουλα 1 MP4/1C. Έκτοτε όλοι οι κατασκευαστές αυτοκινήτων στη Φόρμουλα 1 το χρησιμοποιούν για την κατασκευή των σασί των αυτοκινήτων τους. Το πλεονέκτημα αυτού του υλικού είναι ότι έχει πολύ μεγαλύτερη αντοχή από το χάλυβα, ζυγίζοντας πέντε φορές λιγότερο. Από την δεκαετία του 1990 άρχισε να χρησιμοποιείται και για πλαίσια των αυτοκινήτων δρόμου, με πρώτο αυτοκίνητο τη Mc Laren F1. Έπειτα ακολούθησαν και άλλοι κατασκευαστές, τείνοντας να θεωρείται πλέον αναγκαίο για όλα τα υπεραυτοκίνητα υψηλών επιδόσεων. Η ασφάλεια που παρέχουν τα συγκεκριμένα πλαίσια έχει αποδειχθεί πολλές φορές μέσα από τους αγώνες αυτοκινήτων. Με τελευταίο και πιο τρομακτικό το ατύχημα το 2007 του οδηγού αγώνων Robert Kubicha στη πίστα του Καναδά με μονοθέσιο της BMW, Εικ, 1.12. Η πρόσκρουση ήταν σφοδρή με 300 χιλιόμετρα πάνω στο τοίχο, έχοντας ως αποτέλεσμα να αναπτυχθούν δυνάμεις πάνω από 75 g. Παρόλη την αστοχία του πλαισίου στο ύψος των πεντάλ, ο οδηγός ράγισε μόνο τον αστράγαλο του και έπειτα από διάλειμμα δύο αγώνων επέστρεψε στο πρωτάθλημα.

Παράγοντες σαν και αυτούς έχουν καθιερώσει τα πλαίσια από ανθρακονήματα ως τα ανώτερα από πλευράς μηχανικών ιδιοτήτων αλλά συνάμα και τα πιο ακριβά, κάνοντας τα άπιαστο όνειρο για τα αυτοκίνητα μαζικής παραγωγής.

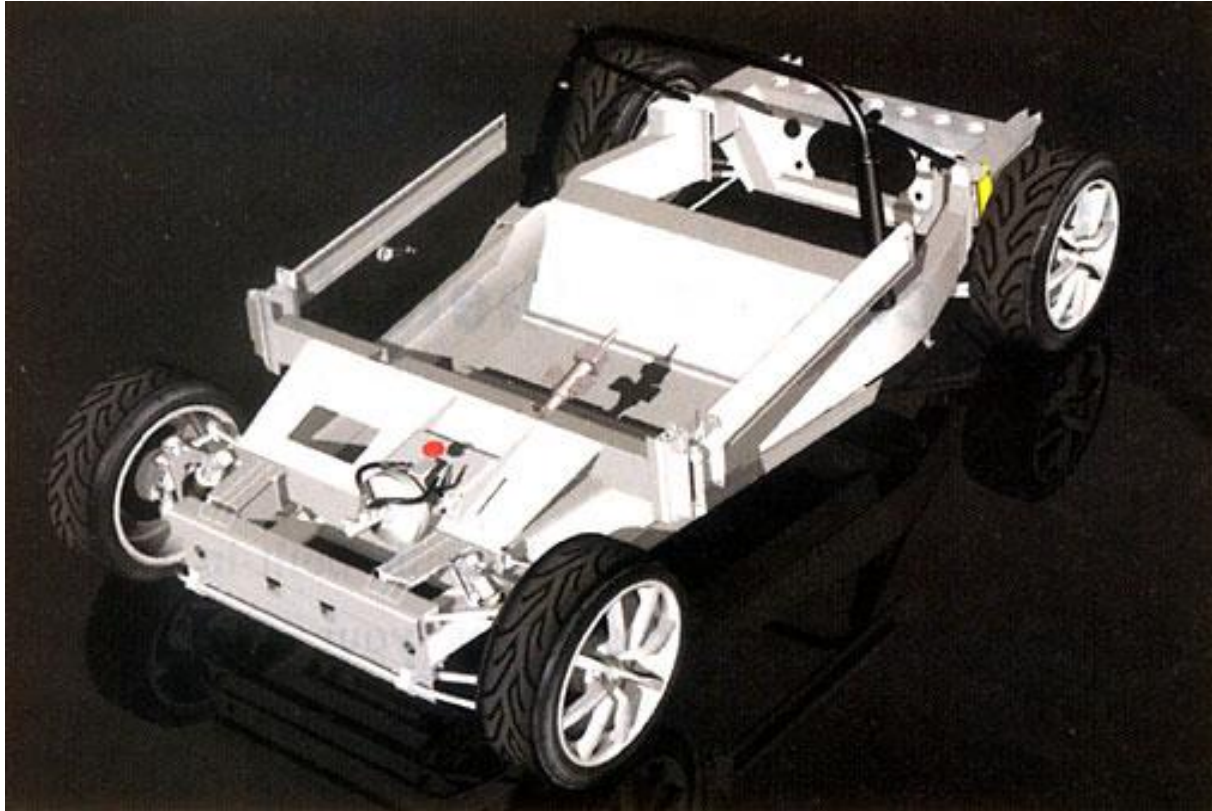


Εικόνα 1.12: Το ατύχημα του Robert Kubicha το 2007

1.7 LOTUS ELISE

Προηγουμένως αναφέρθηκε το πλαίσιο αλουμινίου της Audi, όπου συνδύαζε τμήματα που προέρχονταν από εξώθηση αλλά και από διαμόρφωση φύλλων λαμαρίνας με χρήση ρευστού και συγκεκριμένα αέρα. Το κόστος παραγωγής τέτοιων γραμμών παραγωγής είναι τεράστιο για πολλές εταιρείες κατασκευής σπορ αυτοκινήτων. Ωστόσο η εταιρεία Lotus κατάφερε να υποσκελίσει αυτό το πρόβλημα με την δημιουργία του πλαισίου αλουμινίου της Elise.

Το επαναστατικό πλαίσιο της Elise είναι κατασκευασμένο από διατομές αλουμινίου που έχουν παραχθεί με την μέθοδο της εξώθησης, ώστε να έχουν το ίδιο πάχος σε όλο το μήκος τους και ενώνεται με ειδική κόλλα και ηλώσεις (πριτσίνια). Η τεχνολογία αυτή παραγωγής επιτρέπει τον σχηματισμό μερών τα οποία σχηματίζουν καμπύλη, όπως φαίνεται στα πλαϊνά τμήματα του πλαισίου που ακολουθεί, Εικ. 1.13. Μέσω αυτής της ιδιότητας μπορούν να παραχθούν μεγάλα σε διαστάσεις μέρη, εξοικονομώντας βάρος και κολλήσεις. Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι αρκετά πιο φθηνή αφού δεν απαιτεί ειδικές πρέσες για την διαμόρφωση των μεταλλικών μερών. Επιπλέον επιτρέπει την δημιουργία οποιοδήποτε πάχους, χαρακτηριστικό ιδιαίτερα χρήσιμο για τους κατασκευαστές πλαισίων.



Εικόνα 1.13: Πλαίσιο Lotus Elise. Γίνεται χρήση ισοπαχών αλουμινένιων πάνελ με τρόπο συγκόλλησης ειδικές ρητίνες.

Το μεγαλύτερο πρόβλημα στη χρήση αλουμινένιων πλαισίων είναι ο τρόπος κόλλησης ώστε να σχηματιστεί ένα πλαίσιο αρκετά άκαμπτο. Στη περίπτωση της Lotus προτιμήθηκε ένας διαφορετικός τρόπος από αυτόν της ηλεκτροπόνησης ή του πανάκριβου τρόπου κόλλησης με ακτίνα λέιζερ. Έγινε για πρώτη φορά χρήση ειδικών ρητινών και ηλώσεων. Σε σύγκριση με τον άμεσο ανταγωνιστή της, το Renault Sport Spider που χρησιμοποιούσε συμβατικές μεθόδους κόλλησης, το πλαίσιο της Lotus είχε το μισό πάχος, 1.5 mm αντί 3 mm. Έχοντας εξαιτίας αυτού πολύ χαμηλότερο βάρος με μεγαλύτερη στρεπτική ακαμψία κατά 1000 Nm/degree, φτάνοντας το ιδιαίτερα υψηλό 11000 Nm/degree. Ο λόγος που επέτρεπε στους σχεδιαστές του πλαισίου να κάνουν χρήση της μισής σε πάχος διατομής δεν ήταν άλλος από τον τρόπο κόλλησης. Επειδή γινόταν χρήση ειδικής ρητίνης, τα προς συγκόλληση τμήματα δεν επηρεάζονταν από θερμικές κατεργασίες όπως η συγκόλληση με τήξη του μετάλλου. Επιπλέον η χρήση ηλεκτροπόνησης στο σημείο κόλλησης μειώνει το πάχος των προς συγκόλληση ελασμάτων στο μισό αναγκάζοντας του κατασκευαστές να αυξήσουν το πάχος της λαμαρίνας ώστε να επιτευχθεί η απαραίτητη αντοχή του πλαισίου.

2. LOTUS SEVEN ΙΣΤΟΡΙΑ

Το Lotus Seven είναι ένα μικρό, απλό και ελαφρύ διθέσιο αυτοκίνητο με ανοιχτή οροφή. Η παραγωγή του ξεκίνησε το 1957 και τερματίστηκε το 1972 από τη Lotus Cars.

Είχε σχεδιαστεί από τον ιδρυτή της εταιρείας Colin Chapman και θεωρούνταν η ενσάρκωση της φιλοσοφίας της Lotus, όπου οι επιδόσεις προέρχονταν από το χαμηλό βάρος και την απλότητα. Πρόκειται για έναν από τους πρωτοπόρους στο σχεδιασμό των αγωνιστικών αυτοκινήτων, εισάγοντας παρά πολλές καινοτομίες όπως τη θεώρηση του κινητήρα ως μέρος του πλαισίου για την μείωση του βάρους. Η αρχική του ιδιότητα ως πιλότος της βασιλικής πολεμικής αεροπορίας, αποτέλεσε την έμπνευση του για τον σχεδιασμό πλαισίων ελαφριών και ανθεκτικών, ενώ παράλληλα το πτυχίο του δομικού μηχανικού των βοήθησε στο σχεδιασμό και την ανάπτυξη τους. Τέλος μέσα από την επιτυχημένη του πορεία ως οδηγός αγώνων απέκτησε την εμπειρία και τις δεξιότητες που τον ώθησαν να ιδρύσει την Lotus το 1952. Το αυθεντικό μοντέλο ήταν ιδιαίτερα επιτυχημένο με πάνω από 2.500 πωλήσεις. Η επιτυχία αυτή οφειλόταν στο γεγονός ότι το συγκεκριμένο μοντέλο μπορούσε να χρησιμοποιηθεί τόσο ως νόμιμο όχημα δρόμου όσο και ως αγωνιστικό στους αγώνες πρωτοτύπων clubman που ήταν αρκετά δημοφιλείς εκείνη την εποχή στο ενωμένο βασίλειο, κυρίως λόγω του χαμηλού κόστους συμμετοχής. Σκοπός ήταν το χαμηλό κόστος κτήσης όσο και συντήρησης για τους αγωνιζόμενους που θα έπαιρναν το συγκεκριμένο όχημα.

Το Lotus Seven ξεκίνησε την καριέρα του ως μοντέλο το 1957 στο Court Motor Show του Λονδίνου, μετά τη Lotus Eleven που ήταν σε περιορισμένη παράγωγη. Το όνομα του μοντέλου προερχόταν από ένα παλαιότερο project ενός μονοθέσιου της εταιρείας, το οποίο προοριζόταν να συμμετάσχει το 1952 ή 1953 στην φόρμουλα 2 και θα ήταν εφοδιασμένο με κινητήρια μονάδα της Riley. Ωστόσο πέραν του ονόματος οι σχέσεις σταματούσαν εκεί, αφού το πλαίσιο ήταν εξολοκλήρου σχεδιασμένο με τη φιλοσοφία του Chapman για ένα σπόρ αυτοκίνητο όπως και το προγενέστερο Lotus Mark VI. Από το συγκεκριμένο μοντέλλο δανείστηκε και την πρώτη κινητήρια μονάδα της Ford με τις βαλβίδες να βρίσκονται στο πλάι, χωρητικότητας 1172 cc και απόδοσης 30 kW ή 41 PS. Με σύμμαχο το χαμηλό βάρος των 330 κιλών οι επιδόσεις του κρίνονταν καλές για τα δεδομένα της εποχής. Επιπλέον στο τιμόνι γινόταν χρήση κρεμαγιέρας και όχι ατέρμονα όπως στα περισσότερα αυτοκίνητα εκείνης της εποχής, κάτι που εξασφάλιζε καλύτερη αίσθηση του δρόμου χωρίς κενά κατά την διαδικασία του στριψίματος. Τέλος η ρύθμιση της ανάρτησης εκμεταλλεζόμενη και αυτή το χαμηλό βάρος, έδωσε ένα όχημα που συμπεριφερόταν εξαιρετικά κάτω από όλες τις συνθήκες.

Η δεύτερη εκδοχή ακολούθησε το 1960 και εφοδιαζόταν με έναν κινητήρα της Ford ο οποίος ήταν ανεπτυγμένος από την θρυλική Cosworth, χωρητικότητας 1340cc φτάνοντας στη τρίτη εκδοχή τα 1498 cc ή 1599 cc το 1968. Παράλληλα αντιμετωπίστηκαν τα προβλήματα των σπασμένων ημιαξονίων και διαφορικών που προέρχονταν από την βρετανική εταιρεία Standard (Εικ. 2.1), με την τοποθέτηση αυτών του Ford Cortina. Το 1970 ακολούθησε η τέταρτη και τελευταία εκδοχή του,

όπου οι ακμές του έγιναν πιο έντονες ενώ τα περισσότερα μέρη του αμαξώματος ήταν κατασκευασμένα πλέον από πολυεστέρα και όχι από αλουμίνιο. Ακόμη προσέφερε κάποιες πολυτέλειες στο βασικό εξοπλισμό όπως καλοριφέρ. Τέλος οι πωλήσεις του αυτοκινήτου απέδειξαν πως το κοινό είχε αγαπήσει το σχήμα του καθώς και το ασύγκριτο πακέτο επιδόσεων και κυρίως αξιοπιστίας μετά από τα τόσα χρόνια παραγωγής του.



Εικόνα 2.1: Κατεστραμμένα ημιαξόνια από την εταιρεία Standard.

Ένας ακόμη σημαντικός παράγοντας που έκανε το συγκεκριμένο αυτοκίνητο δημοφιλές ήταν το βρετανικό σύστημα φορολογίας που δεν προσαρτούσε φορολογία στα αυτοκίνητα τύπου kit, όπως στα ολοκληρωμένα αυτοκίνητα που έβγαιναν από τη γραμμή παραγωγής, αρκεί να μην περιέχονταν οι οδηγίες συναρμολόγησης. Οι οδηγίες αποσυναρμολόγησης δεν δεσμεύονταν από κάτι τέτοιο, έτσι λοιπόν οι εταιρείες διέθεταν αυτές χαρίζοντας μια ανάπτυξη στην αγορά των kit. Η διαφορά στην τιμή μάλιστα έφτανε το 50% όπως φαίνεται από την τιμή του πρώτου Seven που ήταν στις £1.036 μαζί με τους φόρους ενώ σαν kit κόστιζε μόλις £536 αφού ο φόρος δεν απαιτούνταν.

Ωστόσο η φορολογία το 1973 δεν εξείρεσε τα αυτοκίνητα τύπου kit με αποτέλεσμα η αγορά τους να υποστεί σοβαρό πλήγμα. Τότε τα δικαιώματα για την παραγωγή του Seven πωλήθηκαν από τη Lotus στη Caterham και στην Steel Brothers στη Νέα Ζηλανδία. Η μεν Caterham συνέχισε τη παραγωγή της τέταρτης γενιάς έως την εξάντληση των αποθεμάτων στις αρχές του 70.

Τότε ήρθε σε συμφωνία με την Lotus για την παραγωγή της τρίτης εκδοχής με το δικό της όνομα, κατοχυρώνοντας το όνομα Seven μέχρι και σήμερα. Τέλος όσον αφορά την Steel Brother μαζί με το τέλος της δεκαετίας του 1970 ήρθε και το δικό της τέλος, έπειτα από μια αποτυχημένη προσπάθεια επανακυκλοφορίας ενός πιο σύγχρονου και ισχυρότερου μοντέλου στις Ηνωμένες Πολιτείες. Τέλος το διάστημα από το 1970 ως το 1975 κατασκευάστηκαν οι μοναδικές Lotus εκτός Ηνωμένου Βασιλείου στην Αργεντινή φτάνοντας τις 51 μονάδες που δεν αποτελούν αντιγραφές αλλά επίσημα αναγνωρισμένα μοντέλα γι αυτό και μπορούν να φέρουν το σήμα της εταιρείας.

Ο σχεδιασμός του Lotus Seven λόγω της απλότητας είχε πυροδοτήσει ένα πλήθος αντιγραφών στην αγορά των kitcar, τα οποία αποκαλούνται γενικά Sevens ή τύπου Seven (sevenesque) roadsters, εκ των οποίων πολλά παράγονται ακόμη και σήμερα. Τέλος μαζί με τις εταιρείες κατασκευής των kit, υπάρχουν πάμπολλα αυτοκίνητα που έχουν κατασκευαστεί από ιδιώτες βασισμένα στα βιβλία των εκδόσεων Haynes τα οποία αναφέρονται ως Locost. Στην Εικ. 2.2 είναι η 1958 Lotus Super 7, φαίνονται τα χαρακτηριστικά εμπρόσθια καλύμματα των τροχών (φετερά) τα

οποία στις μεταγενέστερες εκδόσεις απομακρύνθηκαν μιας και προκαλούσαν αστάθεια στις υψηλές ταχύτητες.



Εικόνα 2.2: Lotus 7 του 1958.

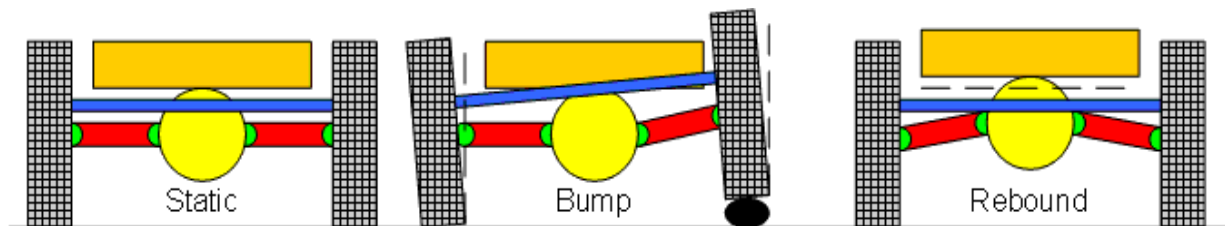
2.1 ΑΝΤΙΓΡΑΦΕΣ

Όπως προαναφέρεται πάνω από 160 εταιρείες στον κόσμο παράγουν το εν λόγω μοντέλο ονομάζοντας σε διάφορες παραλλαγές του Seven, με δυο βρετανικές να κρατούν τα πρωτεία. Τη προαναφερθείσα Caterham και τη Westfield. Η τελευταία δε πρόκειται για μια εταιρεία που κατασκευάζει τρία συνολικά μοντέλα, έχοντας ωστόσο ως κύριο τη δική της παραλλαγή του Seven. Και οι δύο κατασκευάζουν τόσο έτοιμα προς χρήση οχήματα όσο και kit.

Το Caterham 7 αποτελεί μια πιο κλασική προσέγγιση, κρατώντας τα πιο πολλά μέρη του αμαξώματος από αλουμίνιο, όπως και στη τρίτη εκδοχή του original μοντέλου που βασίζεται. Από εκεί και έπειτα, με το πέρασμα του χρόνου η εξέλιξη σε όλους τους τομείς δεν έχει αφήσει σχεδόν τίποτα ανεπηρέαστο. Τα μοντέλα της Roadsport και Superlights που βασίζονται στη στενή εκδοχή του πλαισίου αποτελούν τους άμεσους απόγονους τους αυθεντικού Series 3. Όντας η μόνη εταιρεία που είχε αγοράσει τα δικαιώματα κατασκευής του μοντέλου από τη Lotus, η εταιρεία ήρθε σε πολλές δικαστικές διαμάχες με τους ανταγωνιστές της. Παρόλα αυτά το 2007 κατάφερε και γιόρτασε τα 50 χρόνια παραγωγής του μοντέλου.

Όπως και με το Lotus 6 έτσι και με το 7, το πλαίσιο αποτελούνταν από πάρα πολύ ελαφρύ χωροδικτύωμα που εξασφάλιζε ταυτόχρονα πολύ μεγάλη στρεπτική ακαμψία. Ωστόσο το πλαίσιο έχει δεχτεί αναρίθμητες αλλαγές για να δεχθεί ένα πολύ μεγάλο αριθμό κινητήρων που άλλαζαν με το πέρασμα του χρόνου. Καθώς οι επιδόσεις αυξάνονταν μαζί τους και τα φρένα. Ανάλογη εξέλιξη είχαν και οι διατάξεις των αναρτήσεων που εξελίσσονταν και προσαρμόζονταν στον ανάλογο πακέτο επιδόσεων. Έτσι τα πρώτα πιο αδύναμα μοντέλα ξεκίνησαν με άκαμπτο πίσω άξονα από διάφορα μοντέλα της Ford και έπειτα της Morris. Στα μέσα του 1980 η πίσω

διάταξη της πίσω ανάρτησης άλλαξε χρησιμοποιώντας ανάρτηση τύπου De Dion (Εικ. 2.3), που επιτρέπει να μην αλλάζει η γωνία camber του ενός τροχού όταν συμπιέζεται ο άλλος διατηρώντας την γεωμετρία της πίσω ανάρτησης αναλλοίωτη σε μεγαλύτερο βαθμό σε σύγκριση με τον άκαμπτο άξονα. Ακόμη το διαφορικό αποτελεί πλέον μέρος του πλαισίου χωρίς να επηρεάζει τη γεωμετρία της ανάρτησης. Τέλος προστέθηκε και ένας σύνδεσμος τύπου Watt αντί της κλασικής ράβδου Panhard, όπου επέτρεπε την κάθετη κίνηση του άξονα χωρίς να επηρεάζεται από τη ρύθμιση του ύψους. Ουσιαστικά πρόκειται για ένα ημιανεξάρτητο σύστημα ανάρτησης, που συνδυάζει τα πλεονεκτήματα της εύκολης τοποθέτησης του άξονα στο πλαίσιο και της απλούστερης διάταξης των αμορτισέρ. Οι δυο αυτές διατάξεις διατηρήθηκαν ως το 2002 όπου ο άκαμπτος άξονας καταργήθηκε και διατηρήθηκε μόνο ο ένας τύπος ανάρτησης.



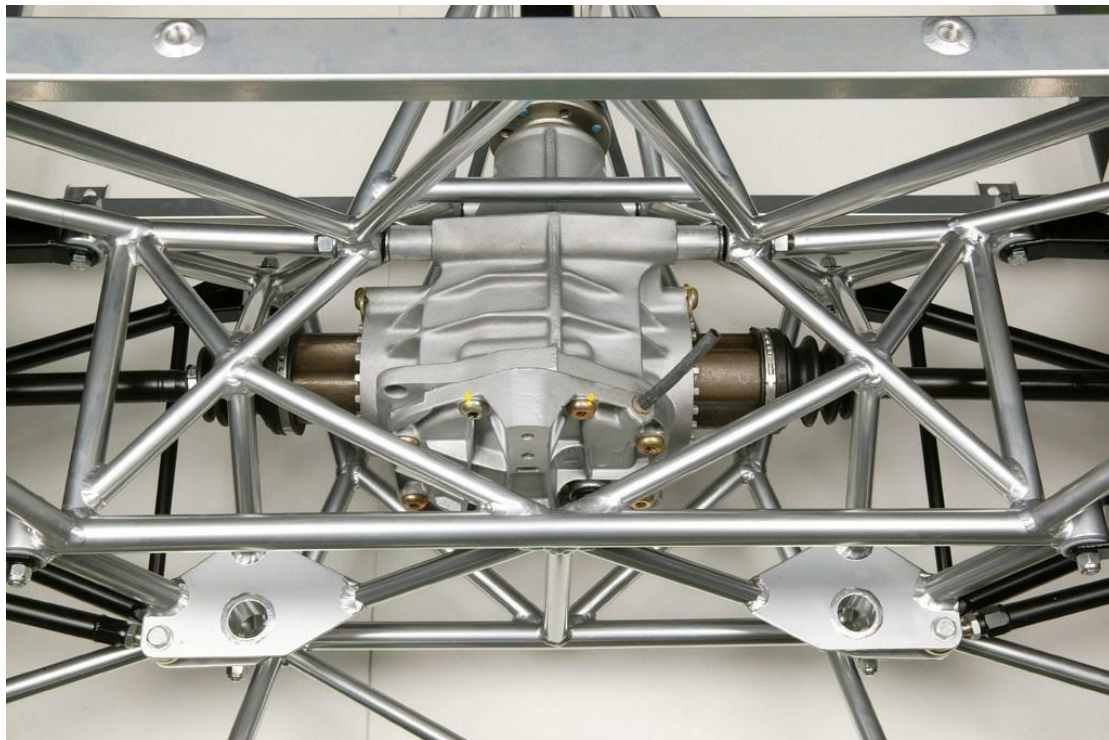
Εικόνα 2.3: Σχηματική απεικόνιση του πίσω τύπου ανάρτησης De Dion.

Στις αρχές του 2000 η εταιρεία έδωσε στη παραγωγή το νέο φαρδύτερο πλαίσιο που προσέφερε 110 mm περισσότερο πλάτος στο κόκπιτ, με αντάλλαγμα το επιπλέον βάρος των 25 κιλών. Η μεγάλη αλλαγή ωστόσο ήταν η εξ ολοκλήρου αλλαγή της ανάρτησης τόσο μπροστά όσο και πίσω. Όσον αφορά την εμπρόσθια ανάρτηση, τα αμορτισέρ πλέον βρίσκονται στο εσωτερικό χρησιμοποιώντας μοχλούς συμπίεσης αυτών, ενώ πίσω χρησιμοποιήθηκε μια πλήρως ανεξάρτητη ανάρτηση με διπλά ψαλίδια και καινούργια διάταξη αμορτισέρ ελατηρίων. Ακόμη ο νέος σχεδιασμός προσέφερε αύξηση της ακαμψίας κατά 25 %.

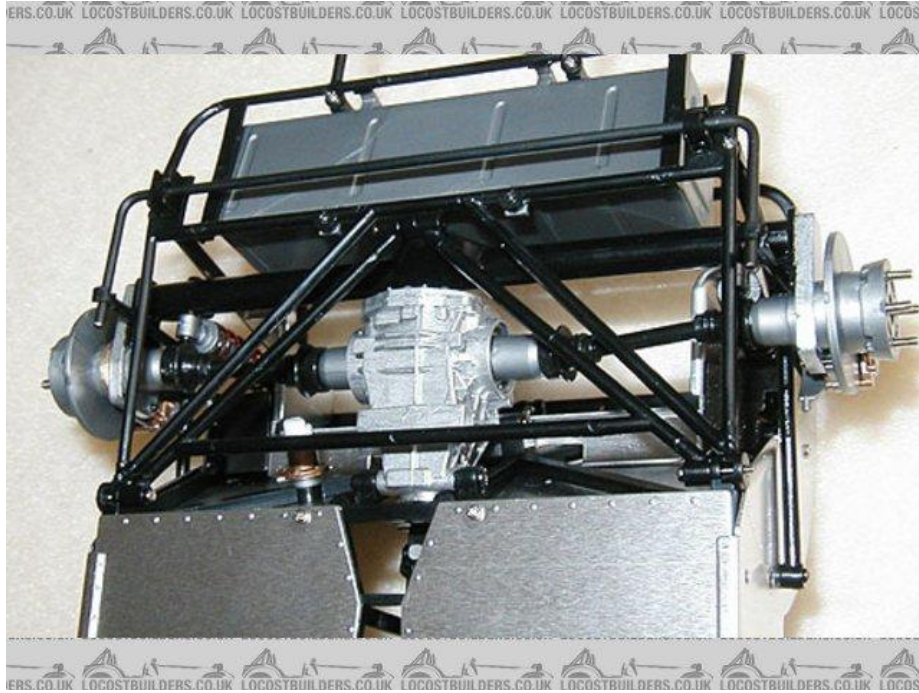
Η εμπρόσθια ανάρτηση από το μοντέλο Csr χρησιμοποιεί διάταξη των αμορτισέρ - ελατηρίων βρίσκονται πλέον στο εσωτερικό του πλαισίου χρησιμοποιώντας ράβδους συμπίεσης για την λειτουργία τους, Εικ. 2.4. Για την διάταξη της πίσω ανάρτησης όπου γίνεται η χρήση διπλών ανισομεγεθών ψαλιδιών για καλύτερη πρόσφυση σε όλες τις συνθήκες, Εικ. 2.5.



Εικόνα 2.4: Εμπρόσθια ανάρτηση από το μοντέλο Csr.



Εικόνα 2.5: Πίσω ανάρτηση του Csr.



Εικόνα 2.6: Πίσω ανάρτηση με χρήση του άξονα De Dion.

Το νέο πλαίσιο αποτέλεσε τη βάση για την ανάπτυξη ακόμη πιο ισχυρών εκδόσεων όπως του κορυφαίου CSR, διατηρώντας την παράδοση με την χρήση κινητήρων της Ford ανεπτυγμένους από την Cosworth.

2.2 ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

Τα πρώτα αυτοκίνητα χρησιμοποιούσαν κινητήρες Lotus Twin Cam, έναν κινητήρα δια χειρός Chapman εστιασμένο στις επιδόσεις. Αργότερα οι συγκεκριμένοι κινητήρες έδωσαν την θέση τους στους πιο συμβατικούς κινητήρες της Ford, όπου οι εκδόσεις από την Cosworth δεν άργησαν να έλθουν χαρίζοντας αυξημένες επιδόσεις όσο και αξιοπιστία ξεπερνώντας σε ισχύ τα 100 ps/litre. Από τις αρχές του 1990 ο κορυφαίος κινητήρας έγινε ο δίλιτρος κινητήρας της Opel. Ο συγκεκριμένος χάρισε το 1993 στην επετειακή έκδοση των 260 αλόγων και βάρους 530 κιλών το τίτλο του γρηγορότερου αυτοκινήτου στο 0-160-0 km/h σε 12.5 sec, με επιτάχυνση από στάση ως τα 100 km/h σε 3.5 sec. Οι παραδοχές του συγκεκριμένου κινητήρα συνεχίστηκαν με χαμηλότερες ιπποδυνάμεις, ενώ την βάση της γκάμας συμπλήρωναν οι κινητήρες της Rover της σειράς K, χωρητικότητας 1400, 1600 και 1800 cc που παρέμειναν για πάνω από 15 χρόνια στο προσκήνιο. Από το 2000 και έπειτα οι κινητήρες συνυπήρχαν με αυτούς της Ford, με τις κατάλληλες τροποποιήσεις της Cosworth στις κορυφαίες εκδόσεις.

Ωστόσο το χαμηλό βάρος επέτρεπε και την τοποθέτηση κινήρων από μοτοσυκλέτες μιας και η έλλειψη ροπής στις χαμηλές στροφές δεν έπαιζε σημαντικό ρόλο. Η πιο δημοφιλής επιλογή ήταν αυτή της Suzuki Hayabusa, χωρητικότητας 1300 cc και απόδοσης πάνω από 190 αλόγων. Μάλιστα λόγω των προϊόντων της αγοράς βελτίωσης η αύξηση της ιπποδύναμης είναι κάτι το εφικτό και με πολλές επιλογές. Το βασικό πλεονέκτημα αυτών των κινητήρων είναι το χαμηλό βάρος, η πολλή καλή ροϊκή εξέλιξη, η μετατροπή των κιβωτίων σε σειριακά με την χρήση paddles πίσω

από το τιμόνι. Μάλιστα με αφορμή τα 50 χρόνια παραγωγής του μοντέλου, δημιουργήθηκε ένας κινητήρας χωρητικότητας 2000 cc από δυο μπλοκ μοτοσυκλετών ενωμένος στο στρόφαλο. Η απόδοση του ήταν 340 ps σε ατμοσφαιρική εκδοχή. Μία περιορισμένης παραγωγής έκδοση που ακολούθησε με την βοήθεια μηχανικού υπερσυμπιεστή απέδωσε 500 ps σε ένα πλαίσιο που δεν ξεπερνούσε τα 600kg, χαρίζοντας ασύλληπτες επιδόσεις στην τιμή των 115.000 λιρών, Εικ. 2.7.



Εικόνα 2.7: Caterham Levante, το κορυφαίο μοντέλο της εταιρείας.

Στον αντίποδα τα Westfield Sportscars που ιδρύθηκαν από τον Chris Smith, άρχισαν την καριέρα τους τη δεκαετία του 1980 μιμούμενα σε μεγάλο βαθμό τα Caterham. Αυτό οδήγησε σε δικαστικές διαμάχες με αποτέλεσμα την αλλαγή σε πολλούς τομείς. Ωστόσο αυτό επηρέασε θετικά την εξέλιξη των αυτοκινήτων, οδηγώντας σε αυτοκίνητα με περισσότερο χώρο στο εσωτερικό καθώς και με ανεξάρτητη πίσω ανάρτηση, Εικ. 2.9.



Εικόνα 2.9: Η ανεξάρτητη πίσω ανάρτηση των Westfield Sportscars.

Ακόμη το αμάξι κατασκευάζεται εξ ολοκλήρου από πολυεστέρα κάνοντας την επισκευή του ευκολότερη. Οι κινητήρες αποτελούσαν πάντοτε μια πιο συντηρητική επιλογή όπου το κόστος κτήσης και συντήρησης ήταν σημαντικά. Έτσι αρχικά οι κινητήρες προέρχονταν από Ford Sierra, αργότερα από Mazda MX5 και τέλος τοποθετήθηκε ο κινητήρας του Honda S2000. Η τακτική κατασκευής ήταν η χρήση όλων των μηχανικών μερών από ένα αυτοκίνητο δωρητή, ώστε να είναι εύκολη η εύρεση ανταλλακτικών. Οι κινητήρες μοτοσυκλέτας κάνουν και εδώ την παρουσία τους με τον γνωστό κινητήρα της Suzuki Hayabusa. Πέραν των βενζινοκίνητων εκδόσεων έχει λανσαριστεί μια εξ ολοκλήρου ηλεκτροκίνητη εκδοχή όσο και μια υβριδική. Οι χρόνοι και αυτών των αυτοκινήτων εντός πίστας είναι ασύλληπτοι προσπερνώντας τα υπεραυτοκίνητα της κλάσης του 1.000.000 €, διατηρώντας τον μύθο των Seven ζωντανό μέχρι σήμερα.

3. ΑΓΩΝΙΣΤΙΚΕΣ ΕΠΙΤΥΧΙΕΣ

Ο λόγος που τα Seven εξακολουθούν ακόμη και σήμερα να είναι δημοφιλή είναι η απίστευτη ικανότητα τους να κινούνται ταχύτατα εντός πίστας, υπερτερώντας σε χρόνους σε σχέση με αυτοκίνητα που στοιχίζουν πάρα πολλά χρήματα παραπάνω. Ακόμη λόγω του χαμηλού βάρους συνηθίζουν να έχουν ευκολοσυντήρητες, μικρές σε κυβισμό άρα και σε κατανάλωση κινητήριες μονάδες, κάνοντας το κόστος συντήρησης εφικτό για μια πλατιά μερίδα αγοραστών.

Οι αγωνιστικές τους καταβολές ξεκίνησαν από τον τρόπο σχεδιασμού του μοντέλου από τον Colin Chapman. Το πλαίσιο του όπως όλα τα σπορ αυτοκίνητα της εποχής, ήταν φτιαγμένο από σωλήνες διαφορετικών διατομών, κάτι που χάριζε αυξημένη στρεπτική ακαμψία κρατώντας το βάρος χαμηλά. Επίσης η επένδυση των πλαϊνών τμημάτων του αυτοκινήτου αλλά και του πατώματος με φύλλα αλουμινίου κρατούσαν το βάρος χαμηλά. Ένα ακόμη πλεονέκτημα ήταν η εύκολη μορφοποίηση των φύλλων αλουμινίου, αποφεύγοντας έτσι τον σχεδιασμό καλουπιών για την παραγωγή κρατώντας το κόστος κατασκευής αλλά και συντήρησης χαμηλά. Βέβαια αυτό είχε ως αποτέλεσμα τον χειρίστο μέχρι σήμερα συντελεστή οπισθέλκουσας σε αυτοκίνητο παραγωγής. Παρότι η εμπρόσθια επιφάνειά του είναι αρκετά μικρή, ο συντελεστής κυμαίνεται από 0.65 έως 0.75 αναλόγως της έκδοσης κάτι που βελτιώθηκε κατά τις μεταγενέστερες εκδόσεις. Επίσης το ποσοστό της κάθετης δύναμης που ασκούνταν στον εμπρόσθιο άξονα αυξήθηκε χαρίζοντας πιο σταθερή αίσθηση στις υψηλότερες ταχύτητες.

Ωστόσο αυτό δεν φαίνεται να περιόρισε σε σημαντικό βαθμό τις δυνατότητες του αυτοκινήτου, μιας και η ιστορία του είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τις αγωνιστικές επιτυχίες. Μάλιστα πριν το λανσάρισμα του μοντέλου αλλά και κατά το ντεμπούτο το αυτοκίνητο συμμετείχε σε αγώνες ώστε να εξελιχθεί, με αποτέλεσμα στο τέλος του 1958 να έρχονται οι πρώτες νίκες του. Η ιστορία του συγκεκριμένου αυτοκινήτου είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τις αγωνιστικές επιτυχίες. Το συγκεκριμένο αυτοκίνητο είχε αρχικά απαγορευθεί να συμμετάσχει σε αγώνες στις Ηνωμένες Πολιτείες κατά την διάρκεια του 1960, με την δικαιολογία ότι ήταν πολύ γρήγορο για να τρέξει. Αργότερα κατά την διάρκεια του 1970 απαγορεύθηκε για τον ίδιο λόγο η συμμετοχή του σε αγώνες στο Ηνωμένο Βασίλειο. Αργότερα και οι δυο περιορισμοί άρθηκαν, οδηγώντας σε αναρίθμητες πρωτιές στις κατηγορίες των ανοικτών αυτοκινήτων όσο και σε αγώνες διαρκείας. Μια από τις μεγαλύτερες ήταν η νίκη στον αγώνα διαρκείας 24 ωρών στο Ohio των Ηνωμένων Πολιτειών, όπου μια μικρή ομάδα αποτελούμενη από τέσσερα άτομα κατάφερε να νικήσει με διαφορά επτά γύρων εργοστασιακές ομάδες όπως αυτές τις Honda και της Mazda. Επίσης το 1993 ένα Caterham εξοπλισμένο με κινητήρα της θυγατρικής της GM Vauxhall, χωρητικότητας 2000 cc και απόδοσης 260 αλόγων με οδηγό τον Jonathan Palmer, πρώην οδηγό της F1, έθεσε το ρεκόρ στη διαδικασία 0-160-0 km/h, την πιο απαιτητική δοκιμασία για την εκκίνηση και το φρενάρισμα των αυτοκινήτων παραγωγής, σε διάστημα 12.6 δευτερολέπτων. Και με επιτάχυνση 0-100 km/h σε 3.5 δευτερόλεπτα, την ταχύτερη εκείνη την εποχή από αυτοκίνητο παραγωγής, Εικ. 3.1. Τέλος το 2002 στον αγώνα αντοχής διάρκειας 24 ωρών του Nürburgring, κατάφερε να κερδίσει στην κατηγορία

του μπροστά από τις εργοστασιακές ομάδες της BMW και της Porsche με διαφορά 10 γύρων, κάτι που επανέφερε την απαγόρευση συμμετοχής του για τα επόμενα χρόνια, Εικ, 3.2.



Εικόνα 3.1: Caterham JPE. Το εν λόγω αυτοκίνητο εφοδιαζόταν με αγωνιστικό κινητήρα και κατείχε το ρεκόρ επιτάχυνσης το 1993.



Εικόνα 3.2: Αγώνας αντοχής διάρκειας 24 ωρών στο Nürburgring

Το χαμηλό βάρος αποτελεί ένα κρίσιμο παράγοντα που βοηθά τα συγκεκριμένα αυτοκίνητα στους αγώνες διάρκειας, μιας και τα φρένα δεν είναι αναγκασμένα να δουλεύουν σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν μειωμένες φθορές, όπως και τα ελαστικά για τον ίδιο ακριβώς λόγο. Το 1986 μετά από πάμπολλες νίκες το πρωτάθλημα των Caterhams ιδρύεται στο Ηνωμένο Βασίλειο. Λόγω του προστιτού τους κόστους εξαπλώθηκαν σε όλο το κόσμο

κι διατηρούνται μέχρι και σήμερα, περιλαμβάνοντας όχι μόνο Caterhams αλλά και πολλά αυτοκίνητα Locost.

4. ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ LOCOST

Το Locost αποτελεί έναν κλώνο του αρχικού Lotus Seven κατασκευασμένο από ιδιώτες. Το πλαίσιο του αυτοκινήτου είναι κατασκευασμένο από μαλακό χάλυβα τετραγωνικής διατομής 25 x 25 mm με πάχος από 1 mm έως 2 mm, τα οποία ενώνονται με συγκολλήσεις. Η ανάρτηση αποτελείται από τα κλασσικά για αυτό το αυτοκίνητο διπλά ανισομεγέθη ψαλίδια εμπρός, ενώ πίσω οι διατάξεις διαφέρουν ανάλογα με την διάθεση και την οικονομική ευχέρεια του κάθε ιδιοκτήτη και περισσότερες φορές κατασκευαστή.

Έτσι συναντάμε την πιο οικονομική και εύκολη, από πλευράς τοποθέτησης στο πλαίσιο διάταξη του άκαμπτου πίσω άξονα, που συνδυάζεται με την πιο οικονομική εύρεση των αμορτισέρ - ελατηρίων και το χειρότερο θεωρητικά κράτημα. Την ανάρτηση τύπου De Dion που συνδυάζει την εύκολη τοποθέτηση των αμορτισέρ ελατηρίων και την οικονομικότερη επιλογή τους με τα πλεονεκτήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω. Τέλος την πιο δύσκολη από πλευράς στήριξης και κόστους αμορτισέρ – ελατηρίων, διάταξη με διπλά ανισομεγέθη ψαλίδια. Ο συνδυασμός διπλών ανισομεγεθών ψαλιδιών έχει ως αποτέλεσμα μια διάταξη που δεν επιτρέπει την βύθιση κατά το φρενάρισμα και την ανύψωση κατά την επιτάχυνση, χαρίζοντας καλύτερο έλεγχο. Τέλος η ανεξαρτησία στην κίνηση των πίσω τροχών όταν ακολουθούν τις ανωμαλίες του δρόμου χαρίζει καλύτερη πρόσφυση και πιο προβλέψιμη συμπεριφορά. Όλοι οι παραπάνω λόγοι συνετέλεσαν στην επιλογή αυτού του τύπου ανάρτησης για τον σχεδιασμό του πλαισίου που θα μελετηθεί σε αυτή την πτυχιακή εργασία. Όσον αφορά το αμάξωμα των αυτοκινήτων αυτού του τύπου, αποτελείται συνήθως από φύλλα αλουμινίου για την κάλυψη των πλαϊνών, οπίσθιων, εμπρόσθιων επιφανειών, όσο και του πατώματος, χωρίς ωστόσο να αποκλείεται και η χρήση λεπτών φύλλων χάλυβα. Η μύτη του αυτοκινήτου όπως αναφέρεται στη βιβλιογραφία, όπως και τα καλύμματα των τροχών (φτερά) είναι κατασκευασμένα από πολυεστέρα, χωρίς ωστόσο να αποκλείεται η χρήση εξολοκλήρου πολυεστερικών τμημάτων ή αλουμινένιων πάνελ ανάλογα με τις παροχές του κάθε ιδιώτη κατασκευαστή.

Ο τρόπος κατασκευής τους θεωρητικά γίνεται από την αρχή, παίρνοντας τις σωλίνες και κόβοντας αυτές στις κατάλληλες διαστάσεις. Έπειτα ακολουθεί η κόλληση τους στα κατάλληλα σημεία ώστε να αρχίσει να σχηματίζεται το πλαίσιο στις κατάλληλες διαστάσεις. Η όλη διαδικασία απευθύνεται σε άτομα που διαθέτουν μια επαφή με το κατασκευαστικό τομέα αλλά και του αυτοκινήτου. Καθιστώντας την όλη διαδικασία αρκετά δύσκολη από κατασκευαστικής άποψης για κάποιον ερασιτέχνη, κυρίως στο κομμάτι των κολλήσεων. Ωστόσο επειδή οι συγκεκριμένες κατασκευές είναι δημοφιλείς, υπάρχουν αρκετές εταιρείες που μπορούν να προσφέρουν το πλαίσιο έτοιμο στις ανάγκες του πελάτη.

Η άνθιση όλης αυτής της τάσης ξεκίνησε στα μέσα του 1990 όπου ο Ron Champion εξέδωσε το βιβλίο του "Build your own sports car for as little as £250". Το σχέδιο βασιζόταν κυρίως στο Lotus Seven και χρησιμοποιούσε την λύση του άκαμπτου πίσω άξονα από το αυτοκίνητο δωρητή μηχανικών μερών του βιβλίου, το Ford Escort δεύτερης γενιάς. Οι διατάξεις τύπου De Dion διπλών ψαλιδιών χρησιμοποιούνταν τότε από τις προαναφερθείσες εταιρείες οπότε δεν συστήνονταν. Τόσο ο συγγραφέας του βιβλίου όσο και ο ιδρυτής της Lotus είχαν κοινές αγωνιστικές καταβολές από την ίδια λέσχη αυτοκινήτου, το 750 MotorClub. Το σχέδιο του βιβλίου βασίζεται σε μια παραλλαγή του Champion, ο οποίος αναφέρει βέβαια ότι είναι

εμπνευσμένο από το Lotus 7. Η δεύτερη εκδοχή του βιβλίου εκδόθηκε από το συγγραφέα Chris Gibbs με τον τίτλο "Build Your Own Sports Car: On a Budget" στα μέσα της προηγούμενης δεκαετίας. Βασική διαφορά ήταν ότι γινόταν χρήση ανεξάρτητης πίσω ανάρτησης με διπλά ανισομεγέθη ψαλίδια, συγκεντρώνοντας τα πλεονεκτήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω. Ακόμη το συγκεκριμένο βιβλίο διέθετε τα σχέδια φτιαγμένα σε λογισμικό CAD, εξαλείφοντας τα λάθη στις μετρήσεις που υπήρχαν στο αρχικό σχέδιο του Ron Champion. Τέλος περιλάμβανε οδηγίες για την κατασκευή μπάρας ανατροπής για την αύξηση της ασφάλειας σε περίπτωση ανατροπής του οχήματος και οδηγίες για την καλωδίωση αυτοκινήτων που χρησιμοποιούσαν κινητήρες τύπου injection. Τέλος γινόταν μνεία για τον τρόπο τοποθέτησης κινητήρων από μηχανές, καθώς επίσης και από άλλα οχήματα όπως της BMW σειράς 3 με κωδικό E36 και του Mazda MX-5, πέραν του δωρητή Ford Sierra. Με τις επιλογές των κάμπριο αυτοκινήτων να είναι οι πιο δημοφιλείς λόγω της ανεξάρτητης πίσω ανάρτησης που παρουσίαζαν στην πλειονότητα τους.

Ωστόσο αυτή η τάση δεν άνησε μόνο στα σύνορα του Ηνωμένου Βασιλείου αλλά χάρις στη βοήθεια του ίντερνετ επεκτάθηκε σε όλο το κόσμο. Στις Ηνωμένες Πολιτείες γνώρισε μεγάλη άνθηση αφού η διάταξη κινητήρας εμπρός κίνηση πίσω εξακολουθεί να είναι δημοφιλής σε μεγάλη μερίδα αυτοκινήτων παραγωγής, χαρίζοντας πολλούς δότες. Μάλιστα οι κινητήρες διάταξης V8, κυρίως από τα παλαιότερα muscle car όπως τα Chevrolet Camaro και Ford Mustang, είναι αρκετά δημοφιλείς χαρίζοντας τρομερά ποσά δύναμης, ζημιώνοντας ωστόσο το κράτημα του αυτοκινήτου εξαιτίας του μεγάλου βάρους τους.

4.1 Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΑΥΣΤΡΑΛΙΑΣ

Στην Αυστραλία η έγκριση δρόμου αρχικά δεν δόθηκε μιας και οι προδιαγραφές για την ακαμψία του πλαισίου ήταν πιο αυστηρές. Μελέτες με πεπερασμένα στοιχεία έδειξαν πως το σχέδιο αυτών των αυτοκινήτων ήταν ελαφρώς υποδιαστασιολογημένο. Το γεγονός αυτό οδήγησε σε βελτιώσεις στην σχεδίαση του πλαισίου, με αύξηση τόσο της ασφάλειας όσο και της ακαμψίας του. Οι διαφορές αυτές μέσω της ευρείας χρήσης του internet διαδόθηκαν και σε άλλες χώρες και υιοθετήθηκαν και εκεί. Δημοφιλείς δότες στην συγκεκριμένη αγορά εξακολουθούσαν να είναι τα Mazda MX-5, όσο και με την χρήση πολλές φορές κινητήρων τύπου Wankel από το μεγαλύτερο μοντέλο Rx-7. Τέλος μια άλλη πρωτοτυπία ήταν η χρήση μηχανικών διατάξεων από μικρά φορτηγά όπως Mitsubishi L300, Mazda E1800 (το ίδιο κιβώτιο ταχυτήτων από MX-5) και του Suzuki Carry με άλλες σχέσεις μετάδοσης, με σκοπό τις επιδόσεις.

Ένας άλλος δημοφιλής τρόπος κατασκευής του πλαισίου βασίζεται στα σχέδια του κατασκευαστή τέτοιων αυτοκινήτων Jim McSorley. Όπου το πλαίσιο γίνεται αρκετά πιο φαρδύ ενώ σε κάποιες περιπτώσεις και πιο ψηλό ώστε να χωρέσουν μεγαλύτεροι κινητήρες. Τα σχέδιά του γνώρισαν μεγάλη επιτυχία, ιδίως μετά την δημοσίευσή τους από το παγκοσμίου φήμης περιοδικό αυτοκινήτων Car and Driver το 2006.

4.2 ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Ενώ το αρχικό βιβλίο του Ron Champion ανέφερε το κόστος κτήσης και κατασκευής μόνο στις 250 λίρες, τα περισσότερα Locost στοιχίζουν δέκα φορές περισσότερα. Παρόλα αυτά οι επιδόσεις αυτών των αυτοκινήτων συνεχίζουν να ανταγωνίζονται πολύ ακριβότερες κατασκευές. Οι 250 £ δεν περιλαμβάνουν το κόστος των εργαλείων, τα οποία αναλόγως της ποιότητας τους μπορούν να ξεπεράσουν το κόστος του αυτοκινήτου. Ακόμη το αρχικό βιβλίο βασιζόταν στο κόστος κτήσης των Ford Escort MKII τα οποία εκείνη την εποχή κυκλοφορούσαν ακόμη στους δρόμους και αντιμετωπίζονταν ως αυτοκίνητα απαρχαιωμένης τεχνολογίας, σε αντίθεση με την σημερινή εποχή που έχουν το κοινό τους λόγο των αγωνιστικών τους επιτυχιών και θεωρούνται πλέον κλασσικά οχήματα, ανεβάζοντας την τιμή τους κατακόρυφα. Το βιβλίο δίνει μερικές συμβουλές σε τρόπους μείωσης κόστους όπως:

- Η αγορά των πρώτων υλών να γίνει όσο το δυνατόν γίνεται από ανακυκλωμένα υλικά. Το πλαίσιο μπορεί να χτιστεί από παλαιές σωλήνες και όχι από καινούργιες, με την προϋπόθεση να είναι με τις ίδιες διαστάσεις, πάχος και υλικό και φυσικά όχι διαβρωμένες. Επίσης τα φύλλα αλουμινίου μπορούν να προέλθουν από τα πλαϊνά τμήματα ενός μικρού φορτηγού. Ενώ ο ουρανός του αυτοκινήτου δωρητή μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως το υλικό για την κάλυψη του πατώματος.
- Τα κομμάτια που θα κατασκευαστούν από πολυεστέρα να γίνουν από τον κατασκευαστή αντί να αγοραστούν καινούργια.
- Να γίνει χρήση καθισμάτων από μικρά αυτοκίνητα πόλης που βρίσκονται στα διαλυτήρια αντί αγοραστούν καινούργια.
- Να χρησιμοποιηθούν όσο το δυνατόν γίνεται περισσότερα πράγματα από το αυτοκίνητο δωρητή όπως η κολόνα του τιμονιού, τα όργανα εποπτείας, η εξάτμιση, αναλόγως της κατάστασης της, όπως και οι ζάντες.
- Να γίνει αγορά ενός λάθος χρωματικού κωδικού από ένα έμπορο χρωμάτων ώστε να αγοραστεί η απαραίτητη ποσότητα χρώματος πιο φθηνά.

Παρόλο το κόστος τα συγκεκριμένα αυτοκίνητα αποτελούν το πιο φθινό τρόπο να αγωνιστεί κάποιος με κόστος 5000 £ τη σεζόν, περιλαμβάνοντας αγώνες στις πιο ξακουστές πίστες του Ηνωμένου Βασιλείου. Οι κανονισμοί είναι αρκετά αυστηροί ώστε να κρατηθεί το κόστος σε όσον το δυνατόν χαμηλά επίπεδα, ανεβάζοντας τον ανταγωνισμό και το θέαμα αυτών των αγώνων. Παράλληλα οι συμμετοχές σε πολλούς αγώνες ανά την υφήλιο τους έχουν προσδώσει και κει πάμπολλες επιτυχίες, Εικ. 4.1.



Εικόνα 4.1: Αγώνας Locosts στο Brands Hatch το 2005.

4.3 ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΟΥ ΒΙΒΛΙΟΥ

Η ιστορία των Locost ξεκινά με τα βιβλία (Εικ. 4.2) των εκδόσεων Haynes που αναφέρονται παραπάνω. Πριν γίνει η οριστικοποίηση ποιου σχεδίου θα ακολουθούσαν για το σχηματισμό της γεωμετρίας, προηγήθηκε η ανάγνωση και των δυο εκδόσεων του βιβλίου. Κύριος λόγος που οδήγησε σε αυτήν την ενέργεια δεν ήταν άλλος από την κατανόηση. Κατανόηση πρώτον του λόγου που αυτή η τάση ξεκίνησε και συνεχίζει να ανθεί, ποια είναι η ιστορία και η φιλοσοφία κατασκευής αυτών του τύπου αυτοκινήτων. Τέλος ήταν η ανάγκη για την αντίληψη του τρόπου κατασκευής ενός απλού μεν για τα σύγχρονα δεδομένα της αυτοκίνησης, σύνθετου δε μηχανισμού όπως το αυτοκίνητο. Μέσα από την ανάγνωση έγινε επαφή με τα κυριότερα προβλήματα που μπορεί κάποιος να αντιμετωπίσει στην κατασκευή του συγκεκριμένου αυτοκινήτου, όπως ο τρόπος κόλλησης αλλά και η σειρά που πρέπει να κολληθούν οι σωλήνες του πλαισίου. Ακόμη μέσα από τις εικόνες της κατασκευής του αυτοκινήτου στα διάφορα στάδιά του, υπήρχε η ευκαιρία της κατανόησης της χωροταξίας των επιμέρους τμημάτων του. Μέσω αυτού του τρόπου αποκτήθηκε μια πρώτη επαφή με τα τμήματα του πλαισίου και το ρόλο που έπαιζε το καθένα, για παράδειγμα η στήριξη του κινητήρα. Ακόμη γνωρίζοντας τη μορφή που είχαν κάποια τμήματα όπως το διαφορικό και η βάση του, έγιναν αντιληπτοί οι χωροταξικοί περιορισμοί που έπρεπε να αντιμετωπιστούν.

BUILD YOUR OWN
SPORTS CAR
FOR AS LITTLE AS £250—AND RACE IT!



RON CHAMPION

SECOND EDITION: Now also covers building a racing version



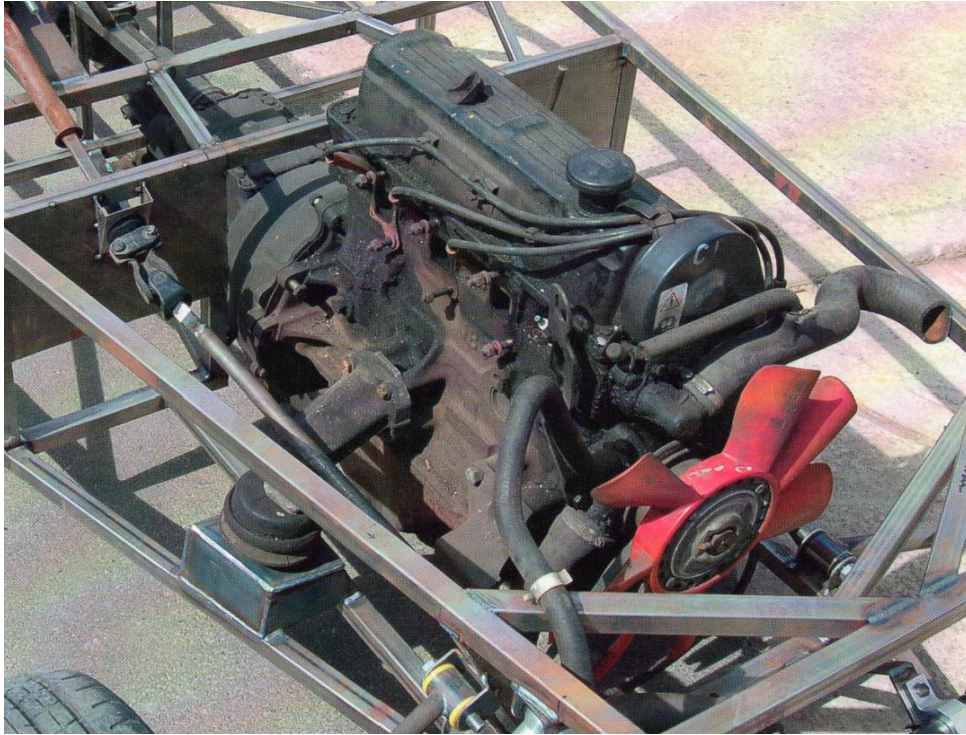
Haynes Publishing

Build your own 
Sports Car
ON A BUDGET



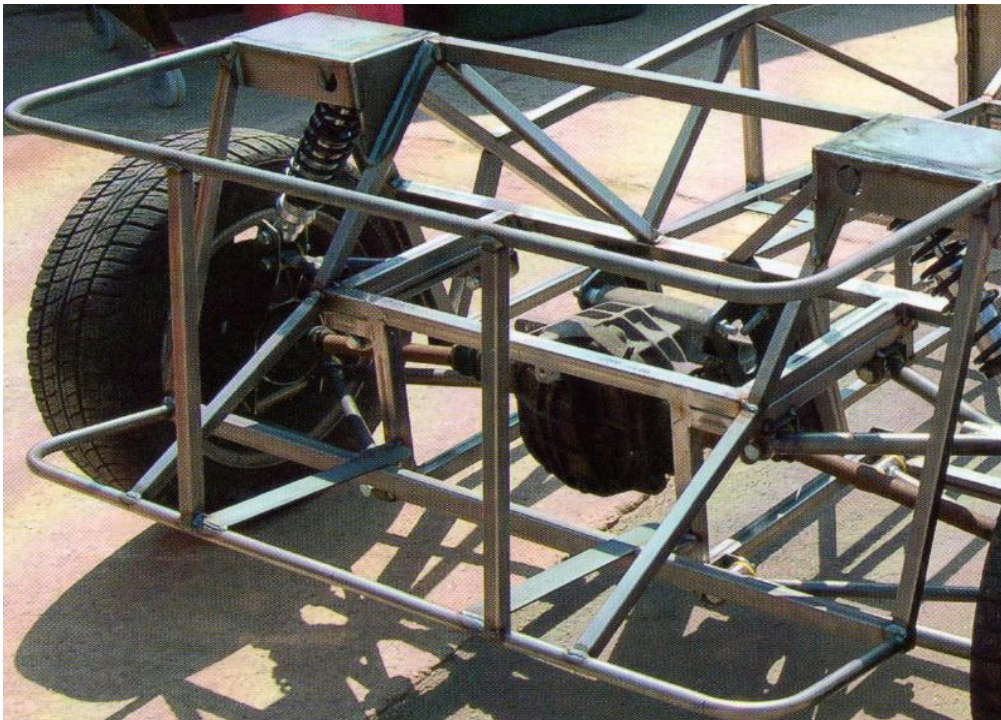
Εικόνα 4.2: Πρώτη (αριστερά) και δεύτερη (δεξιά) έκδοση του βιβλίου.

Σκοπός της ανάγνωσης των συγκεκριμένων βιβλίων πέρα από την αντίληψη του τρόπου κατασκευής ενός αυτοκινήτου, ήταν η αποφυγή λαθών κατά το σχεδιασμό, σύμφωνα με τις διαστάσεις του κινητήρα, του σασμάν και του διαφορικού. Η τοποθέτηση της διάταξης κινητήρα – κιβωτίου πέρα από το κατανομή βάρους ανάμεσα στον εμπρόσθιο και τον πίσω άξονα, ορίζει και την τοποθέτηση του επιλογέα ταχυτήτων, χαρακτηριστικό μεγάλης σημασίας από εργονομικής πλευράς. Ακόμη καθορίζει το διαθέσιμο χώρο για τα πεντάλ του οδηγού, μιας και το περίβλημα του κιβωτίου ταχυτήτων στην ένωση με τον κινητήρα παρουσιάζει μεγάλη διάμετρο, περιορίζοντας τον διαθέσιμο χώρο για την τοποθέτηση αυτών. Στη Εικ. 4.3 φαίνεται ο περιορισμός στο χώρο των ποδιών για τα πεντάλ του χειρισμού από το κιβώτιο ταχυτήτων.



Εικόνα 4.3: Ο περιορισμένος χώρος στα πεντάλ λόγω του κιβωτίου ταχυτήτων.

Τέλος οι διαστάσεις της βάσης του διαφορικού καθορίζουν τις βάσεις έδρασης της πίσω ανάρτησης, γεγονός που επηρεάζει ιδιαίτερα την συμπεριφορά του αυτοκινήτου. Αυτό σημαίνει ότι αποτελούν περιορισμούς στην σχεδίασή της, μην επιτρέποντας μεγάλες αλλαγές ιδιαίτερα στο μήκος των διαμήκων στοιχείων της αλλά και στο ύψος μεταξύ αυτών των στοιχείων, Εικ. 4.4.

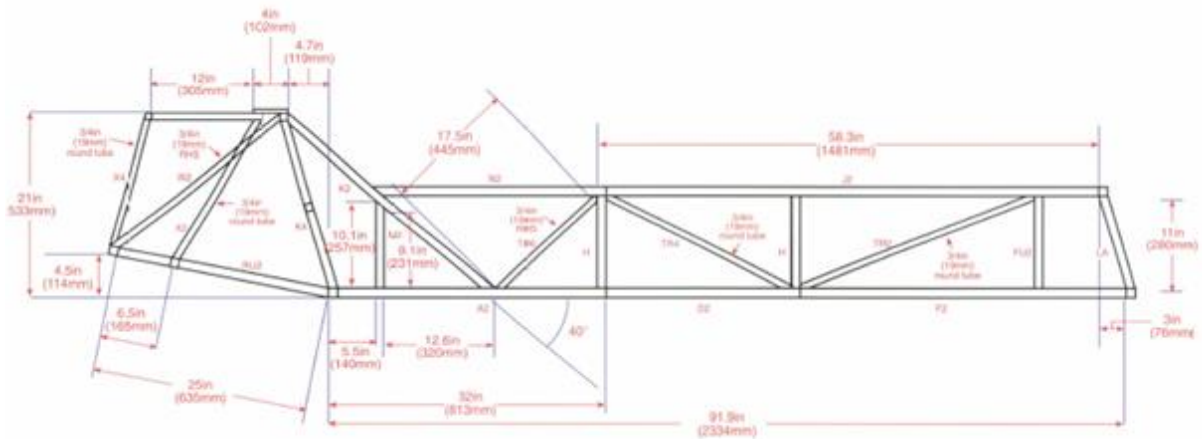


Εικόνα 4.4: Βάση πίσω διαφορικού.

Επιπλέον η ανάγνωση και των δυο εκδοχών του βιβλίου αποσκοπούσε στη σύγκριση των μεταξύ τους σχεδίων, λύσεων σε προβλήματα που προέκυπταν στο σχεδιασμό, αλλά και στην κατασκευή των πλαισίων και των αυτοκινήτων. Έτσι στην πρώτη εκδοχή του Ron Champion το όχημα δότης του βιβλίου είναι το Ford Escort MKII. Κατασκευάστηκε από το 1974 ως το 1981 έχοντας τον ελαφρύ μεν, αδύναμο δε κινητήρα τον 1300 cc και απόδοσης 64 ίππων. Λόγω της αδυναμίας του κινητήρα να προσφέρει πολύ υψηλές επιδόσεις, το πλαίσιο ήταν ελαφρώς υποδιαστασιοποιημένο με πολλές ενισχύσεις να απουσιάζουν, αφήνοντας τα φύλλα λαμαρίνας να συμπληρώσουν το ρόλο τους. Συγκεκριμένα το πλαίσιο είναι κατασκευασμένο από σωλήνες τετραγωνικής διατομής 25 x 25 mm πάχους 1 mm, με υλικό μαλακό χάλυβα. Ενώ το πάτωμα αποτελείται από λαμαρίνα πάχους 1.6 mm ίδιου υλικού, η οποία συγκολλείται χωρίς συνεχόμενο γαζί, όπως φαίνεται στις εικόνες που ακολουθούν. Επιπλέον το ύψος που δίνεται ανάμεσα στις δοκούς που σχηματίζουν το πάτωμα και αυτές που οριοθετούν το ύψος του καπό είναι μικρότερο σε σχέση με το άλλο βιβλίο, περιορίζοντας το διαθέσιμο ύψος για τον κινητήρα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Επιπλέον γίνεται λόγος για κινητήρες που χρησιμοποιούν μόνο συμβατικό σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου καρμπυρατέρ, χαρακτηριστικό που στερεί σε δύναμη έχοντας αυξημένη κατανάλωση. Το πιο σημαντικό μειονέκτημα είναι ότι γίνεται χρήση άκαμπτου πίσω άξονα γεγονός που επηρεάζει αρνητικά την πρόσφυση των πίσω τροχών, ιδίως σε ανωμαλίες του οδοστρώματος αφού αλλάζει η γωνία κάμπερ των τροχών. Βέβαια το πλαίσιο εξακολουθεί να έχει πολύ χαμηλό βάρος για την ακαμψία του, χαρίζοντας καλές επιδόσεις σύμφωνα με το δημιουργό του.

Η απλή του σχεδίαση το καθιστά πιο εύκολο στη κατασκευή από τον ερασιτέχνη που έχει σκοπό να ασχοληθεί στις ελεύθερες ώρες του. Επίσης η διάταξη της πίσω ανάρτησης δεν απαιτεί βάση διαφορικού ενώ τα αμορτισέρ και τα ελατήρια είναι πιο εύκολο να εδραστούν πάνω στο πλαίσιο. Ακόμα, χρησιμοποιούνται μόνον δυο τύποι διατομών, η προαναφερθείσα και μια μικρότερη τετραγωνικής διατομής 19 x 19 mm, έχοντας πάχος 1mm. Η χρήση τετραγώνων σωλήνων επέτρεπε πιο εύκολη κοπή και κόλληση αυτών από άτομα που δεν είχαν ιδιαίτερη πρακτική εμπειρία. Σημαντικό είναι και το απλούστερο σύστημα τροφοδοσίας του καυσίμου που δεν απαιτεί μεγάλο όγκο καλωδίων να διατρέχουν το αμάξωμα. Κάτι που βοηθά ακόμα περισσότερο τόσο την κατασκευή αλλά και τον όποιο μελετητή που θέλει να βασιστεί σε αυτό το πλαίσιο, κάνοντας πιο εύκολες τις αλλαγές που μπορεί να θελήσει. Ένα ακόμη χαρακτηριστικό που είχε το συγκεκριμένο βιβλίο ήταν που περιέγραφε την παραγωγή πολλών τμημάτων από τον κατασκευαστή και ιδιοκτήτη, όπως των εμπρόσθιων καλυμμάτων του ψυγείου από πολυεστέρα. Αυτό συνέβαινε διότι όταν γράφτηκε για πρώτη φορά στις αρχές του 1996 το φαινόμενο του Locost δεν είχε τις σημερινές διαστάσεις, όπου επιτρέπει την αγορά πολλών τέτοιων τμημάτων από τους επίδοξους κατασκευαστές ιδιοκτήτες του. Τέλος σύμφωνα με διάφορα forum Locost κατασκευαστών, το συγκεκριμένο πλαίσιο υπέφερε από την ακαμψία του και απαιτούσε ενισχύσεις στην περίπτωση που χρησιμοποιούνταν μεγαλύτεροι κινητήρες ιδίως διάταξης V8 αρκετά συνηθισμένοι για την αμερικανική αγορά. Ακόμη η εύρεση ενός αυτοκινήτου δωρητή Escort σε άλλες αγορές πέραν της ευρωπαϊκής ήταν δύσκολη, όχι μόνον λόγω του γεγονότος της κυκλοφορίας του από την εταιρεία Ford, όσο και λόγω της πολύ παλιάς κατασκευής του, καθιστώντας δυσεύρετο ως αυτοκίνητο δωρητή. Τέλος το σχεδιάγραμμα της καλωδίωσης για την χρήση καρμπυρατέρ δεν επέτρεπε την χρήση πιο σύγχρονων κινητήρων.

Εν ολίγοις πρόκειται για ένα τύπο πλαισίου απλό ως σύλληψη και ως κατασκευή, χρησιμοποιώντας απλές λύσεις αφού δεν απαιτεί την χρήση κλωβού ασφαλείας, πίσω βάσης διαφορικού, και πολλών ενισχύσεων. Για τις απαιτήσεις του κινητήρα που σχεδιάστηκε είναι επαρκές και θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως βάση για την μελέτη, όμως οι ανακρίβειες στις διαστάσεις κάποιων φορέων, το αγγλοσαξονικό σύστημα, Εικ. 4.5 και η απαρχαιωμένη διάταξη του πίσω ενιαίου άξονα, που χρησιμοποιείται πλέον σε ελαφρά φορτηγά, Εικ. 4.6, αποτέλεσαν λόγους για την επιλογή του σχεδίου της δεύτερης έκδοσης.



Εικόνα 4.5: Πλαϊνή όψη του κατασκευαστικού πλαισίου της πρώτης έκδοχής.



Εικόνα 4.6: Το πλαίσιο του πρώτου βιβλίου. Παρατηρείται χρήση άκαμπτου πίσω άξονα ενώ το πλαίσιο αποτελείται από λιγότερα μέρη μειώνοντας την στρεπτική ακαμψία.

4.4 ΔΕΥΤΕΡΗ ΕΚΔΟΧΗ

Η δεύτερη εκδοχή του βιβλίου γράφτηκε το 2006 από τον Chris Gibs και οι βασικότερες διαφορές ήταν η χρήση της ανεξάρτητης πίσω ανάρτησης, η χρήση μπάρας ανατροπής για την αύξηση της ασφάλειας σε περίπτωση ανατροπής του οχήματος, καθώς και η εξάλειψη των γεωμετρικών ανακρίβειών. Ο συγγραφέας πατώντας πάνω στο επιτυχημένο πρώτο βιβλίο βελτίωσε τα όποια προβλήματα είχαν παρατηρηθεί από τους αναγνώστες. Σε αυτό τον βοήθησε και η ιδιότητα ως μηχανολόγος μηχανικός, σχεδιάζοντας το πλαίσιο σε λογισμικό τύπου CAD (Computer Aided Design) και αναλύοντας σύμφωνα με τους ισχυρισμούς του με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων, επιβεβαιώνοντας στους αναγνώστες και επίδοξους κατασκευαστές ότι το πλαίσιο αντέχει βελτιώνοντας την ακαμψία του. Το τελευταίο ζήτημα αποτέλεσε θέμα μεγάλης σημασίας. Σύμφωνα με κανονισμούς ασφάλειας που ισχύουν σε άλλες χώρες εκτός Ηνωμένου Βασιλείου, η ακαμψία του πλαισίου δεν ήταν η απαιτούμενη, με αποτέλεσμα να στερήσει την άδεια κυκλοφορίας στο δρόμο. Επιπλέον μιας και το φαινόμενο του Locost είχε αναπτυχθεί και σε άλλες αγορές χρησιμοποιώντας διαφορετικά αυτοκίνητα δότες ανάλογα με το πόσο φθηνά ήταν αυτά σε κάθε αγορά, αναφέρονται και άλλες περιπτώσεις δοτών πέραν του δημοφιλούς στη αγορά της Βρετανίας Ford Sierra που χρησιμοποίησε ο συγγραφέας. Έτσι γίνεται μνεία για την χρήση κινητήρων από τα δημοφιλή παγκοσμίως μοντέλα όπως το Mazda MX-5, η Bmw σειρά 3, αλλά και κινητήρων της Toyota και της Fiat. Επίσης καλύφθηκε και το ζήτημα χρήσης κινητήρων από μοτοσυκλέτες, διατάξεων που επιτρέπουν ελαφριά κατασκευή με πολύ μεγάλο αριθμό αλόγων, χαρίζοντας εξαιρετικές επιδόσεις. Ένας ακόμη παράγοντας που διέφερε το πλαίσιο αυτού του βιβλίου ήταν το διαθέσιμο ύψος για τον κινητήρα. Αυτό επέτρεπε την χρήση ακόμη μεγαλύτερων κινητήρων χωρίς να είναι απαραίτητο να κοπεί το καπό και να προεξέχει ο κινητήρας, ανεβάζοντάς το από τα 225 mm στα 330 mm.

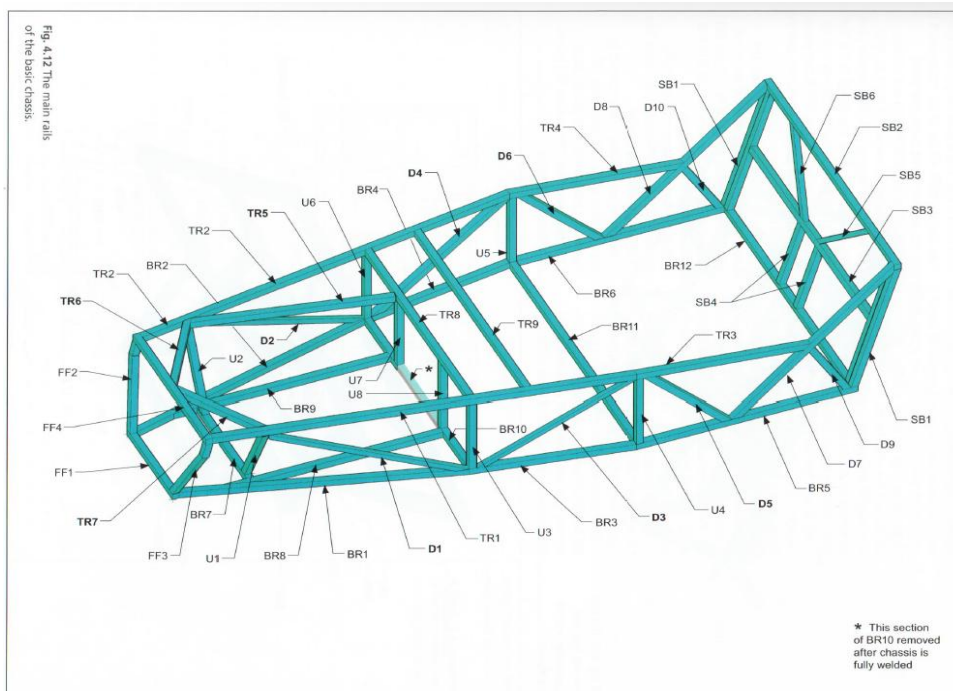
Τέλος, γίνεται παράθεση κατασκευαστικών δισδιάστατων σχεδίων για τα επιμέρους τμήματα του πλαισίου αλλά και των βάσεων συγκόλλησης που απαιτούνται για την ορθή κατασκευή επιμέρους τμημάτων, όπως τα ψαλίδια. Ακόμη παρατίθενται και τρισδιάστατα σχέδια συναρμογής των προαναφερθέντων ώστε ο αναγνώστης να διευκολυνθεί στο μέγιστο δυνατό βαθμό. Καθιστώντας την συγκεκριμένη έκδοση πολύ πιο κατανοητή και εύχρηστη από το προηγούμενο βιβλίο. Επιπλέον η λεπτομερής περιγραφή της διαδικασίας έχει ως σκοπό να μυήσει κάποιον, όχι απαραίτητα γνώστη, στον τομέα των συγκολλήσεων, γενικότερα της κατασκευής αυτοκινήτων και του τι πρέπει να προσέξει.

Όλοι οι παραπάνω λόγοι συνετέλεσαν στη επιλογή αυτού του πλαισίου ως βάση για την μελέτη που πραγματοποιείται σε αυτή τη πτυχιακή. Μέσα από αυτήν την διαδικασία της ανάγνωσης αντλήθηκαν πολλές πληροφορίες που πρέπει να λαμβάνει υπόψη κάποιος πριν αποφασίσει να σχεδιάσει την γεωμετρία του πλαισίου. Όπως προαναφέρεται έγιναν αντιληπτοί οι περιορισμοί από άποψη χωροταξίας, εργονομικής και κατασκευαστικής πλευράς.

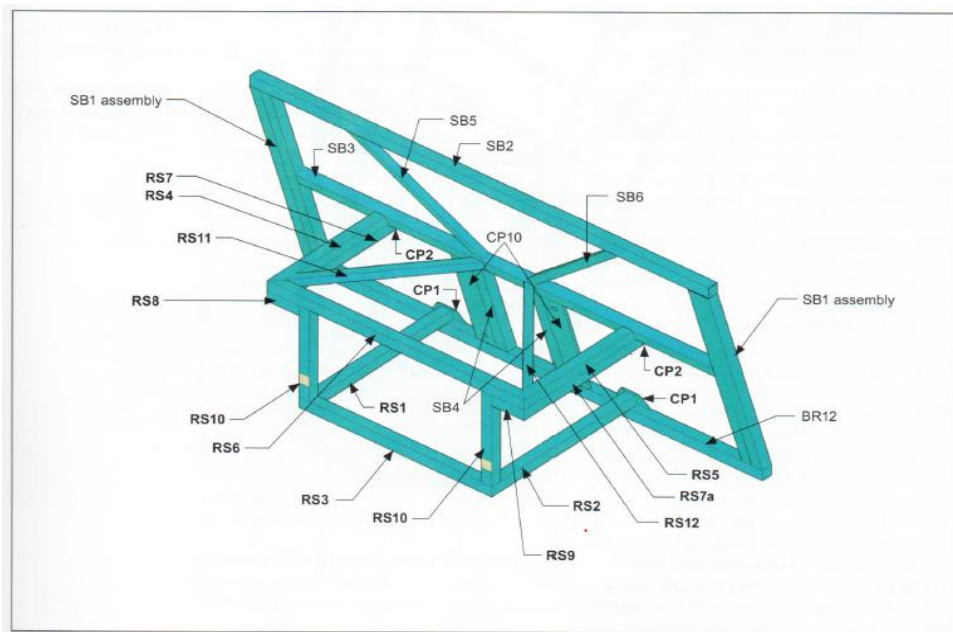
Στην Εικ. 4.7, δίνεται πλαίσιο χωρίς το πίσω τμήμα και το τούνελ μετάδοσης κίνησης

, στην Εικ. 4.8 η πίσω βάση διαφορικό, στην Εικ. 4.9 το πίσω τμήμα του αυτοκινήτου και στην Εικ. 4.10 δίνεται ο τρόπος κατασκευής του εμπρόσθιου

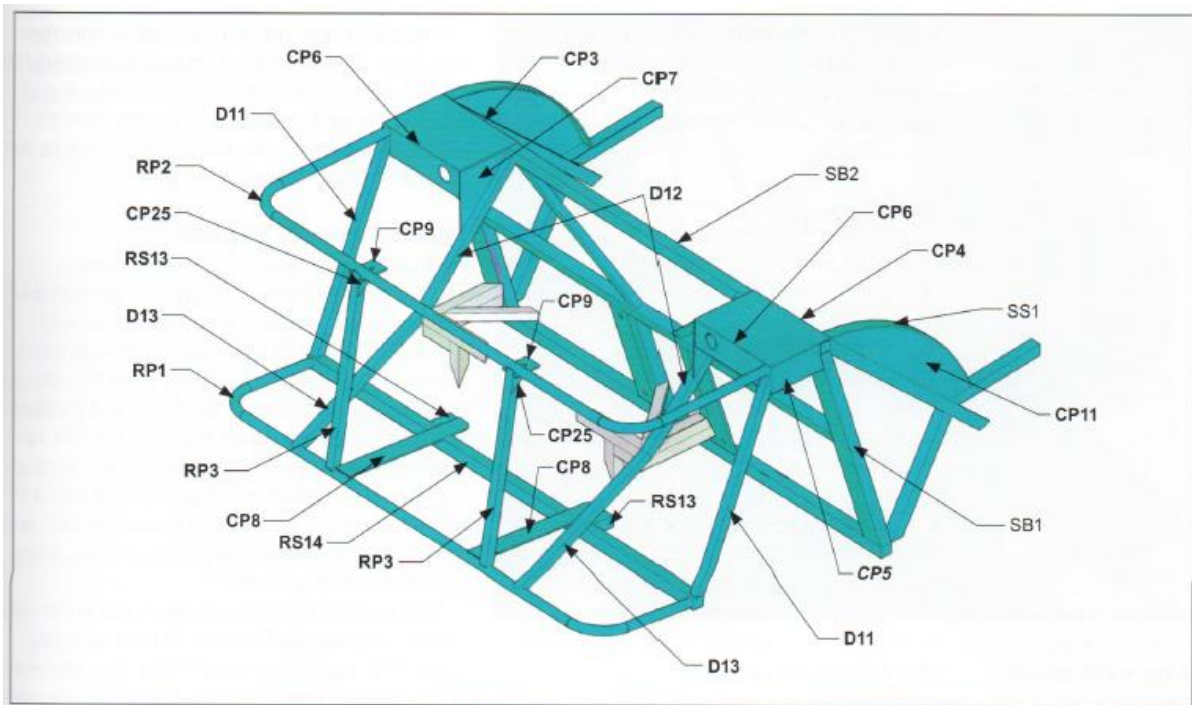
τμήματος. Δίνεται ξεχωριστά το κάθε τμήμα με τη σειρά κατασκευής του πλαισίου ώστε να βοηθηθεί ο επίδοξος κατασκευαστής.



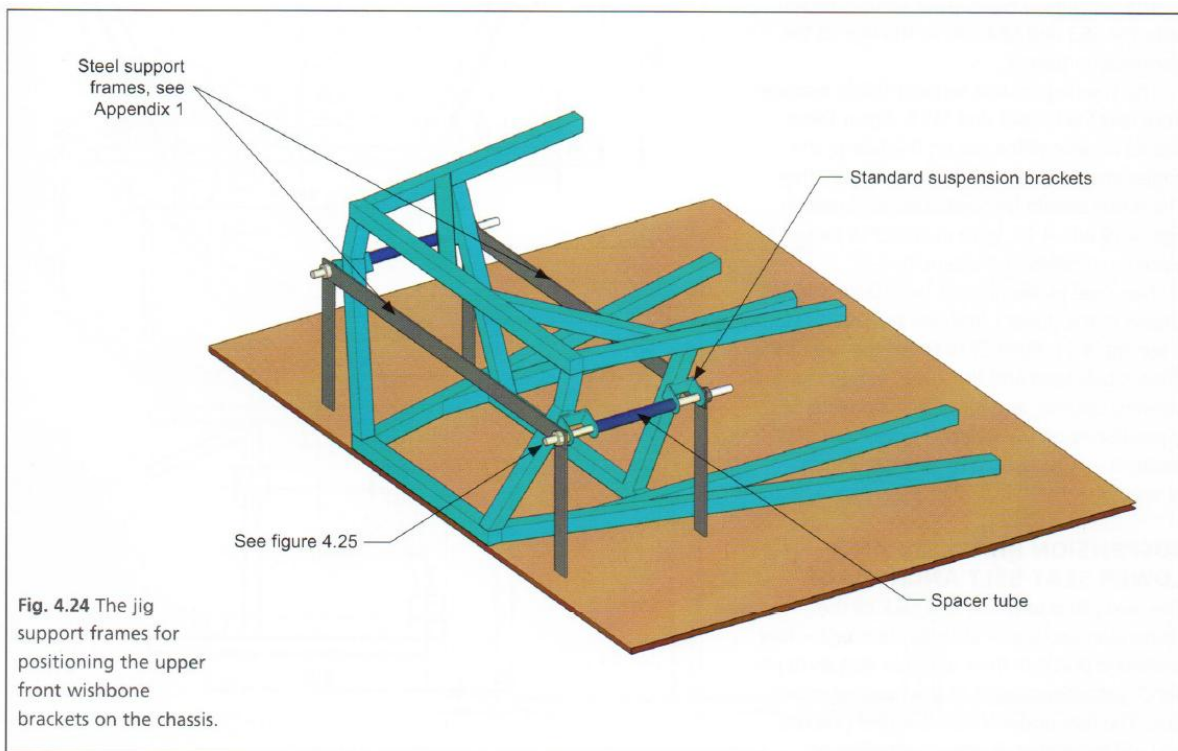
Εικόνα 4.7: Το πλαίσιο χωρίς το πίσω τμήμα και το τούνελ μετάδοσης κίνησης.



Εικόνα 4.8: Βάση πίσω διαφορικού. Κατασκευαστικά προηγείται από την ολοκλήρωση του πίσω τμήματος.



Εικόνα 4.9: Το πίσω τμήμα του πλαισίου.



Εικόνα 4.10: Βάση για τον τρόπο συγκόλλησης του εμπρόσθιου τμήματος ώστε να επιτευχθεί η απαραίτητη κλίση.

5. FORMULA STUDENT (FSAE)

Κάθε χρόνο πανεπιστήμια από ολόκληρο τον κόσμο συναγωνίζονται μέσα από τους αγώνες Formula Student σε τομείς όπως η καινοτομία, η οικονομία καυσίμου και φυσικά ενάντια στο χρονόμετρο για την επίτευξη του καλύτερου χρόνου μέσα σε πίστα. Ως θεσμός θεσπίστηκε για πρώτη φορά το 1978 από την ένωση μηχανολόγων μηχανικών οχημάτων (Society of Automobile Engineers) και πρωτονομάστηκε ως SAE Minilndy.

Η ιδέα πίσω από την Formula Sae είναι ότι μια φανταστική εταιρεία έχει προσλάβει μια ομάδα σχεδιασμού για την ανάπτυξη ενός μικρού αγωνιστικού αυτοκινήτου τύπου φόρμουλας. Σημαντικό είναι το κάθε πρωτότυπο αυτοκίνητο να έχει υπόβαθρο να κατασκευαστεί, ενώ το αγοραστικό κοινό που απευθύνεται είναι οι μη επαγγελματίες οδηγοί που θέλουν να συμμετάσχουν σε εβδομαδιαίες συναντήσεις τύπου autocross. Αυτές οι συναντήσεις αποτελούν το εφελτήριο για τους περισσότερους νέους οδηγούς αγώνων, μιας και το κόστος συμμετοχής είναι αρκετά χαμηλό. Οι πίστες autocross Εικ. 5.1, είναι συνήθως χώροι στάθμευσης όπου μισθώνονται για την διοργάνωση του γεγονότος. Οι ταχύτητες που αναπτύσσονται είναι μικρές, με σκοπό να κρατηθεί η ασφάλεια σε υψηλά επίπεδα για τους συμμετέχοντες. Το βάρος δίνεται στην οδηγική τεχνική, αφού οι εναλλαγές πορείας είναι πάρα πολύ γρήγορες και σε μεγάλο αριθμό. Ο σχηματισμός της πίστας αλλάζει από αγώνα σε αγώνα, ενώ η χάραξή της καθορίζεται από κώνους που χρησιμοποιούνται στα έργα οδοποιίας. Το μήκος της πίστας είναι μικρό δεδομένου και του διαθέσιμου χώρου που πραγματοποιείται ο αγώνας.



Εικόνα 5.1: Πίστα autocross που διεξάγονται οι αγώνες FSAE.

Η διάταξη των αγώνων FSAE είναι η προαναφερθείσα κυρίως για θέμα χαμηλού κόστους συμμετοχής, έτσι ώστε να δοθεί η ευκαιρία σε όσο το δυνατόν περισσότερα πανεπιστήμια να συμμετάσχουν. Κάθε ομάδα φοιτητών σχεδιάζει, κατασκευάζει και δοκιμάζει τα αυτοκίνητα της με βάση κάποιους κανόνες. Αυτό αποσκοπεί στην έξυπνη και πρωτότυπη επίλυση των προβλημάτων που παρουσιάζονται κατά το σχεδιασμό αλλά και των προτάσεων από τους μελλοντικούς μηχανικούς οχημάτων. Μεγάλη σημασία δίνεται και στο τομέα της ασφάλειας των συμμετεχόντων μιας και τα οχήματα τα τρέχουν οι ίδιοι. Έτσι η βαθμολογία των συμμετεχόντων κρίνεται από τα επόμενα χαρακτηριστικά: σχεδιασμός, οικονομοτεχνική ανάλυση της συμμετοχής, παρουσίαση, διαδικασία επιτάχυνσης, διαδικασία ελιγμών, χρόνος εντός της πίστας, οικονομία καυσίμου και δοκιμασία αγώνα αντοχής. Τα παραπάνω κριτήρια διαθέτουν και τον ανάλογο συντελεστή βαθμολόγησης οδηγώντας στην τελική βαθμολογία.

Οι αγώνες αυτού του τύπου συνδυάζουν όλες τις λειτουργίες μιας επιχείρησης όπως την έρευνα, το σχεδιασμό και την ανάπτυξη ενός προϊόντος με βάση το προσιτό κόστος. Αποτελούν τα "φυτρώρια" των μελλοντικών μηχανολόγων, γεγονός που υποστηρίζουν και οι ίδιες οι μεγάλες αυτοκινητοβιομηχανίες αντλώντας νέα ταλαντούχα άτομα για την συνέχιση των δραστηριοτήτων τους.

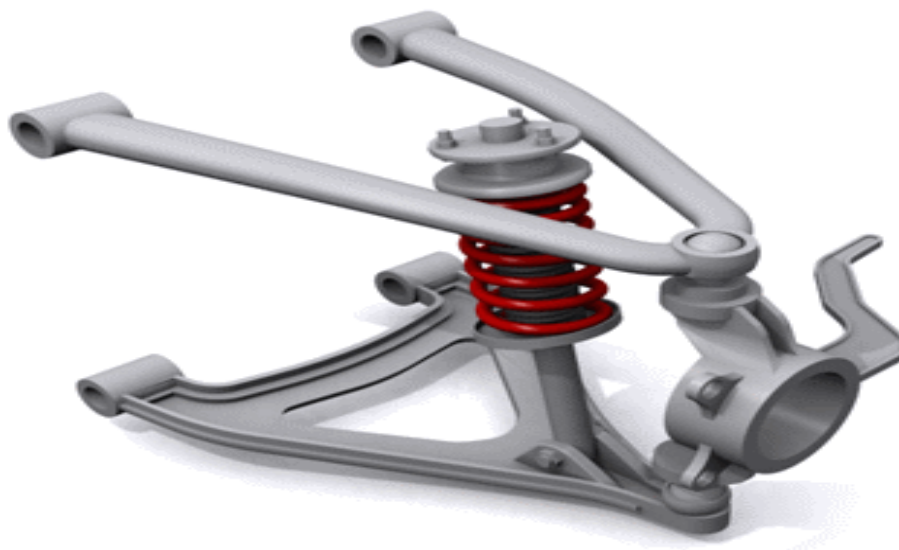
Καθώς η τεχνολογία προχωράει και οι ανάγκες της αγοράς για οικονομικότερα οχήματα όπως τα υβριδικά είναι μεγαλύτερη, θεσπίστηκε και ο θεσμός της φόρμουλα Hybrid. Ο βασικός κανόνας αυτής είναι όλα τα αυτοκίνητα να διαθέτουν κινητήρες εσωτερικής καύσης που συνδυάζονται με ηλεκτροκινητήρες.

Οι κινητήρες είναι εσωτερικής καύσης χωρητικότητας έως 610 cc, ενώ ο περιορισμός στην εισαγωγή αυτών έχει σκοπό να διερευνήσουν οι σχεδιαστές του κινητήρα νέες μεθόδους ανασχεδίασης της κεφαλής, ώστε να επιτευχθεί όσο το δυνατόν γίνεται καλύτερη απόδοση. Συνήθως οι ιπποδυνάμεις αυτών των κινητήρων δεν ξεπερνούν τα 100 άλογα και προέρχονται ως επί το πλείστον από μοτοσυκλέτες έχοντας ποικίλες διατάξεις, ενώ πολύ σπάνια έχουν κατασκευαστεί κινητήρες εξ αρχής.

Η ανάρτηση χρησιμοποιεί την κλασική για αυτοκίνητα επιδόσεων διάταξη των διπλών ανισομεγεθών ψαλιδιών, εξασφαλίζοντας όσο το δυνατόν καλύτερο κράτημα. Ακόμη παρατηρείται η χρήση ράβδων πίεσης ή αποσυμπίεσης των αμορτισέρ ώστε να επιτευχθεί η έδραση αυτών πάνω στο πλαίσιο και όχι τα στα ψαλίδια. Έτσι επιτρέπεται μείωση της αναρτώμενης μάζας, άρα μείωση της αδράνειάς τους, που οδηγεί σε περισσότερη επαφή με το οδόστρωμα, άρα και καλύτερη πρόσφυση. Εικ. 5.2 και 5.3.



Εικόνα 5.2: Ανεξάρτητη ανάρτηση με διπλά ανισομεγέθη ψαλίδια και ράβδους συμπίεσης των αμορτισέρ.



Εικόνα 5.3: Διάταξη διπλών ανισομεγεθών ψαλιδιών με έδραση των αμορτισέρ πάνω στο ψαλίδι και το πλαίσιο του αυτοκινήτου.

Στο τομέα της οδικής συμπεριφοράς έρχονται να προστεθούν και τα αεροδυναμικά βοηθήματα. Ωστόσο μιας και οι ταχύτητες που αναπτύσσονται δεν ξεπερνούν κατά πολύ τα 100 km/h, το κράτημα που προκύπτει δεν βασίζεται τόσο στην αεροδυναμική του αυτοκινήτου όπως στην φόρμουλα 1 επιτρέποντας σε ομάδες που δεν έχουν τους πόρους να αναπτύξουν τέτοια πακέτα να είναι ανταγωνιστικές. Επιπλέον η μελέτη αεροδυναμικής απαιτεί ύπαρξη αεροδυναμικής σήραγγας για την επίτευξη αποτελεσμάτων με την μεγαλύτερη ταχύτητα. Ωστόσο κάποιες ομάδες έχουν χρησιμοποιήσει μεθόδους προσομοίωσης με τεπερασμένα στοιχεία για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς των αεροδυναμικών βοηθημάτων βελτιώνοντας έτσι κατά πολύ τους χρόνους, ιδίως όταν η πίστα που χρησιμοποιείται έχει μεγάλο μήκος

και επιτρέπει ταχύτητες κοντά στις τελικές οχημάτων που χρησιμοποιούνται. Από την άλλη πλευρά, κατά την διαδικασία της επιτάχυνσης και όταν ο άνεμος είναι αντίθετός τα συγκεκριμένα οχήματα υστερούν σε χρόνους, ενώ και η κατανάλωση τους είναι αυξημένη εξαιτίας της μεγαλύτερης αεροδυναμικής αντίστασης. Το αποτέλεσμα είναι να χάνουν κατά κράτος από τα οχήματα που βασίζονται μόνο στο μηχανικό κράτημα, καθιστώντας την χρήση τους όχι απαραίτητη.

Στην Εικ. 5.4 παρουσιάζεται η φόρμουλα τύπου FSAE χωρίς την χρήση αεροδυναμικών βοηθημάτων. Στο συγκεκριμένο μονοθέσιο γίνεται χρήση ράβδων έκταση των αμορτισέρ ώστε να μειωθεί η αναρτώμενη μάζα. Στην Εικ. 5.5 είναι ένα μονοθέσιο με χρήση αεροδυναμικών. Παρατηρείται πολύ μεγάλο μέγεθος αεροτομών με έντονη κλίση ώστε να μπορέσουν να παράγουν την απαραίτητη κάθετη δύναμη στις χαμηλές ταχύτητες διεξαγωγής των αγώνων.



Εικόνα 5.4: Φόρμουλα χωρίς αεροδυναμικά βοηθήματα.



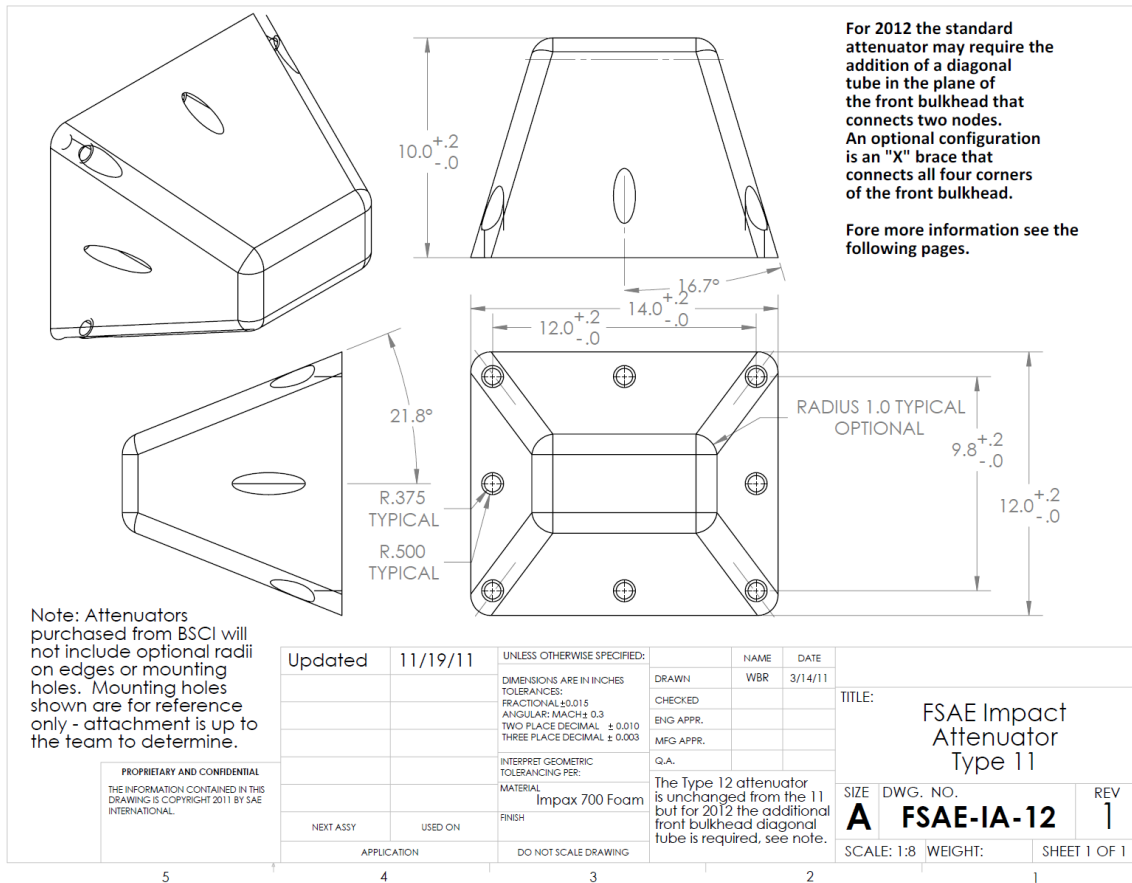
Εικόνα 5.5: Φόρμουλα με αεροδυναμικά βοηθήματα.

Όσον αφορά το βάρος δεν υπάρχουν περιορισμοί για το κατώτατο όριο, με σκοπό την χρήση έξυπνων ιδεών από τους συμμετέχοντες για την μείωση του βάρους όπως του σχεδιασμού τμημάτων με σύνθετα υλικά (Εικ. 5.6), με τρόπους αφαίρεσης υλικού ή τέλος σχεδίασης νέων διατομών. Αυτό έχει οδηγήσει τις ομάδες σε έναν μεγάλο ανταγωνισμό για την επίτευξη του χαμηλότερου δυνατού βάρους, με όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστικό από άποψης παραγωγής αλλά και κόστους. Σε γενικές γραμμές τα οχήματα έχουν μάζα χωρίς οδηγό γύρω στα 230 kg χωρίς τα καλλωπιστικά στοιχεία και τα αεροδυναμικά βοηθήματα, χαρίζοντάς τους εξαιρετική σχέση αναλογίας κιλών ανά ίππων.



Εικόνα 5.6: Μονοθέσιο τύπου FSAE με πλαίσιο μονοκοque από σύνθετα υλικά.

Τέλος, ιδιαίτερη σημασία δίνεται στην ασφάλεια των συμμετεχόντων με αυστηρό έλεγχο για την εφαρμογή των κανόνων. Κάθε αυτοκίνητο περνά έλεγχο ποιότητας κατασκευής, ιδίως του κλωβού ασφαλείας (rollcage), ενώ είναι απαραίτητη η χρήση του αποσβεστήρα σύγκρουσης στο εμπρόσθιο μέρος του κινητήρα. Ο αποσβεστήρας σύγκρουσης είναι κατασκευασμένος συνήθως από αλουμίνιο και έχει μορφή πυραμίδας. Οι εξωτερικές του διαστάσεις δίνονται από τους κανονισμούς Εικ. 5.7, ενώ η δομή του αποτελείται από υλικό σε μορφή κυψέλης εμφανίζοντας ποικίλους προσανατολισμούς άλλα και πιο περίπλοκες δομές ανάλογα με τη σχεδίαση των συμμετεχόντων, Εικ. 5.8.



Εικόνα 5.7: Κατασκευαστικό σχέδιο του αποσβεστήρα σύγκρουσης.



Εικόνα 5.8: Διάφορες διατάξεις αποσβεστήρων σύγκρουσης.

6. ΚΑΝΟΝΕΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

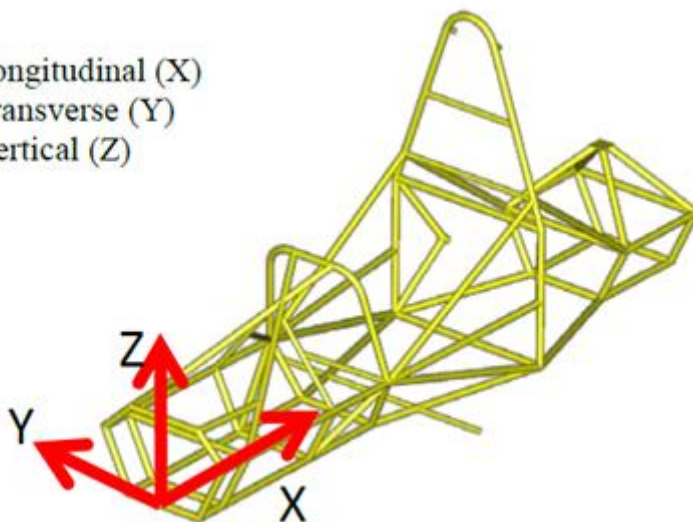
Οι κανόνες ασφαλείας που ισχύουν για τις μαθητικές φόρμουλες εφαρμόζονται πιστά από τις ομάδες που συμμετέχουν και ελέγχονται από τους διοργανωτές για την τήρησή τους. Ο λόγος που χρησιμοποιούνται οι κανόνες των πλαισίων των μαθητικών φόρμουλων στην παρούσα εργασία είναι η ανάγκη για την εφαρμογή των δυνάμεων σε σημεία τέτοια που να καλύπτεται όσο το δυνατόν περισσότερο η ασφάλεια των επιβατών του οχήματος που μελετούμε. Τα σενάρια ατυχήματος ενός αυτοκινήτου που κινείται τόσο σε δρόμους όσο και εντός πίστας είναι πάρα πολλά.

Για αυτό και έπρεπε να υπάρξει ένα κριτήριο διαχωρισμού ώστε να μπορέσει να πραγματοποιηθεί η συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία. Επιπλέον το μέτρο των δυνάμεων που θα ασκούσαν είναι ένα πρόβλημα μεγάλης σημασίας. Εάν θεωρηθούν πολύ μεγάλες δυνάμεις θα οδηγήσουν σε υπερδιαστασιολόγηση των στοιχείων, με αποτέλεσμα αύξηση του κόστους κατασκευής αυτού του πλαισίου. Ανάλογη θα είναι και η αύξηση του βάρους γεγονός που επηρεάζει τις επιδόσεις, σημαντικό για ένα αυτοκίνητο υψηλών επιδόσεων όπως το δικό μας και φυσικά περισσότερη αδράνεια, παράγοντας αρνητικός για την δυναμική του συμπεριφορά. Από την άλλη εάν το μέτρο των δυνάμεων είναι πολύ μικρό θα οδηγήσει σε μικρό συντελεστή ασφαλείας με αποτέλεσμα την ελλιπή προστασία των επιβατών αλλά και τη μείωση της στρεπτικής ακαμψίας, καθιστώντας τον έλεγχο του οχήματος πιο δύσκολο. Για όλους τους παραπάνω λόγους υιοθετήσαμε τους κανόνες FSAE προσαρμοσμένους στις ανάγκες του πλαισίου που μελετάται.

Η χρήση του αποσβεστήρα σύγκρουσης δεν μπορεί να γίνει στο πλαίσιο που μελετάται με τον τρόπο που αναφέρεται πιο πάνω. Αυτό συμβαίνει διότι η διάταξη του κινητήρα είναι διαμήκης και η θέση του είναι στον εμπρόσθιο μέρος του αμαξώματος, με αποτέλεσμα την τοποθέτηση των απαραίτητων για την ψύξη ψυγείων μπροστά από τον κινητήρα. Έτσι η τοποθέτηση του στο μπροστά μέρος του οχήματος θα σταματούσε την ροή του αέρα που είναι απαραίτητος για την σωστή λειτουργία του κυκλώματος ψύξης. Επιπλέον η τοποθέτηση του κινητήρα μπροστά λειτουργεί ως ενίσχυση σε συγκρούσεις με κάτι πιο μαλακό από αυτόν, όπως ένα προστατευτικό κιγκλίδωμα στο δρόμο ή ένα άλλο αυτοκίνητο. Το φαινόμενο αυτό γίνεται μέχρι κάποια ταχύτητα. Διότι σε πολύ μεγάλες ταχύτητες σύγκρουσης με ένα απαραμόρφωτο σώμα όπως ένας τοίχος, ο κινητήρας εισχωρεί μέσα στην καμπίνα προκαλώντας μεγαλύτερη ζημιά.

Οι κανόνες που χρησιμοποιήθηκαν αναφέρονται στις σελίδες 76 έως 78 του εγχειριδίου, με όλους τους κανόνες που ισχύουν για το διαγωνισμό FSAE. Οι κανονισμοί αυτοί κάνουν χρήση του καρτεσιανού συστήματος συντεταγμένων (Εικ. 6.1) και αναφέρουν τα μέτρα των δυνάμεων, τα σημεία εφαρμογής τους αλλά και τις πακτώσεις στα σημεία που εφαρμόζονται. Τέλος γίνεται αναφορά των επιτρεπτών παραμορφώσεων με την απαίτηση φυσικά της μη αστοχίας της όλης κατασκευής.

- Longitudinal (X)
- Transverse (Y)
- Vertical (Z)



Εικόνα 6.1:Καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων.

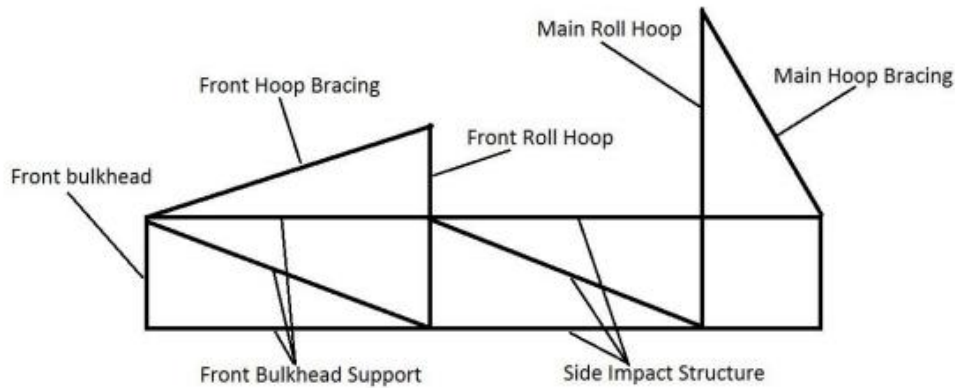
Επομένως για την μπάρα ανατροπής πάνω από το κεφάλι των επιβατών πρέπει να εφαρμοστούν δυνάμεις στην κορυφή του και στις τρεις διευθύνσεις. Έτσι έχουμε $F_x = 6 \text{ kN}$, $F_y = 5 \text{ kN}$ και $F_z = -9 \text{ kN}$. Τα σημεία που πρέπει να είναι πακτωμένα είναι οι κόμβοι που εδράζεται η μπροστά μπάρα ανατροπής αλλά και η πίσω. Η μέγιστη παραμόρφωση που επιτρέπεται είναι αυτή των 25 mm χωρίς να υπάρχει αστοχία πουθενά σε όλη την κατασκευή. Για την εμπρόσθια μπάρα ανατροπής ισχύουν ακριβώς τα ίδια με τα προαναφερθέντα.

Για την περίπτωση της πλάγιας πρόσκρουσης ορίζεται η εφαρμογή δύναμης σε όλους τους κόμβους ανάμεσα στην εμπρόσθια μπάρα ανατροπής και την πίσω. Η εφαρμογή του μπορεί να γίνει με ένα στοιχείο, όπου ασκείται πίεση επιφανείας με ακτίνα 127 mm χρησιμοποιώντας το πακέτο Nastran, είτε σε έναν κόμβο ως δυσμενέστερη περίπτωση αρκεί να αιτιολογηθεί. Για λόγους απλοποίησης της ανάλυσης αποφασίστηκε η εφαρμογή του φορτίου σημειακά στο κόμβο που βρίσκεται ακριβώς στο πλάι του κορμού του οδηγού, μιας και εκεί είναι το πιο σημαντικό σημείο για την ασφάλεια κατά την περίπτωση της πλάγιας πρόσκρουσης. Η δύναμη που ασκείται είναι εγκάρσια με φορά προς τον οδηγό και μέτρο 7 kN. Τα σημεία που πακτώνονται είναι τα σημεία που εδράζονται η μπροστά και πίσω μπάρα ανατροπής. Η μέγιστη επιτρεπτή παραμόρφωση είναι αυτή των 25 mm χωρίς να προκύπτει αστοχία πουθενά στην κατασκευή.

Στην περίπτωση της μετωπικής σύγκρουσης οι δυνάμεις που εφαρμόζονται είναι στα σημεία όπου βιδώνεται ο αποσβεστήρας σύγκρουσης με το υπόλοιπο πλαίσιο. Στην δική μας περίπτωση είναι τα σημεία όπου ενώνεται το εμπρόσθιο τμήμα του αυτοκινήτου με την καμπίνα. Η δύναμη που εφαρμόζεται έχει μέτρο 120 kN και κατεύθυνση προς τα θετικά του άξονα X. Η μέγιστη επιτρεπτή παραμόρφωση είναι αυτή των 25 mm χωρίς να προκύπτει αστοχία σε κανένα σημείο της όλης κατασκευής.

Για τα άνω σημεία στήριξης των ζωνών εφαρμόζεται δύναμη μέτρου 7 kN με φορά προς τον οδηγό στην δυσμενέστερη γωνία. Στην δική μας περίπτωση το σημείο έδρασης των βάσεων των ζωνών είναι η εγκάρσια ενίσχυση της μπάρας ανατροπής. Με αποτέλεσμα να είναι σε ευθεία με τον ώμο του οδηγού ή να μην ξεπερνά τις 10 μοίρες κλίση, σύμφωνα με τους κανονισμούς της Fia δηλαδή του παγκόσμιου οργανισμού αυτοκινήτων. Επιπλέον μαζί με τις κάτω βάσεις έδρασης των ζωνών

είναι και αυτά υπολογισμένα από το συγγραφέα της δεύτερης έκδοσης του βιβλίου με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Έτσι συνάδει με τους κανονισμούς της Fia και μπορούν να πάρουν τα αυτοκίνητα τύπου Locost έγκριση τόσο για χρήση δρόμου όσο και ως αγωνιστικά από τον αντίστοιχο φορέα του μηχανολογικού στην Μεγάλη Βρετανία. Βλέπε Εικ. 6.2.



Εικόνα 6.2: Ο διαχωρισμός των μερών που αποτελούν το πλαίσιο των αυτοκινήτων FSAE.

Επομένως οι εν λόγω συγκολλημένες βάσεις δεν λήφθηκαν υπόψη μιας και το μέγεθος, η σχεδίαση και το υλικό είναι καθορισμένα από τους κανονισμούς και δοκιμασμένα σε όλο τον αριθμό των Locost που έχουν πάρει έγκριση όλα αυτά τα χρόνια. Γι αυτό το λόγο οι δυνάμεις εφαρμόστηκαν στους κόμβους που θα συγκολληθούν οι βάσεις, ώστε να δούμε σε ποιο βαθμό είμαστε καλυμμένοι στη περίπτωση σύγκρουσης. Επειδή το πακέτο ανάλυσης που χρησιμοποιείται δέχεται τις δυνάμεις στη διεύθυνση των τριών αξόνων, η δύναμη των $T = 7 \text{ kN}$ ασκείται στη μια περίπτωση οριζόντια ενώ στη δεύτερη αναλύεται σε συνιστώσες στον $x'x$ και στο $z'z$ έχοντας κλίση 10 μοιρών, την μέγιστη επιτρεπτή από τους κανονισμούς. Έτσι έχουμε:

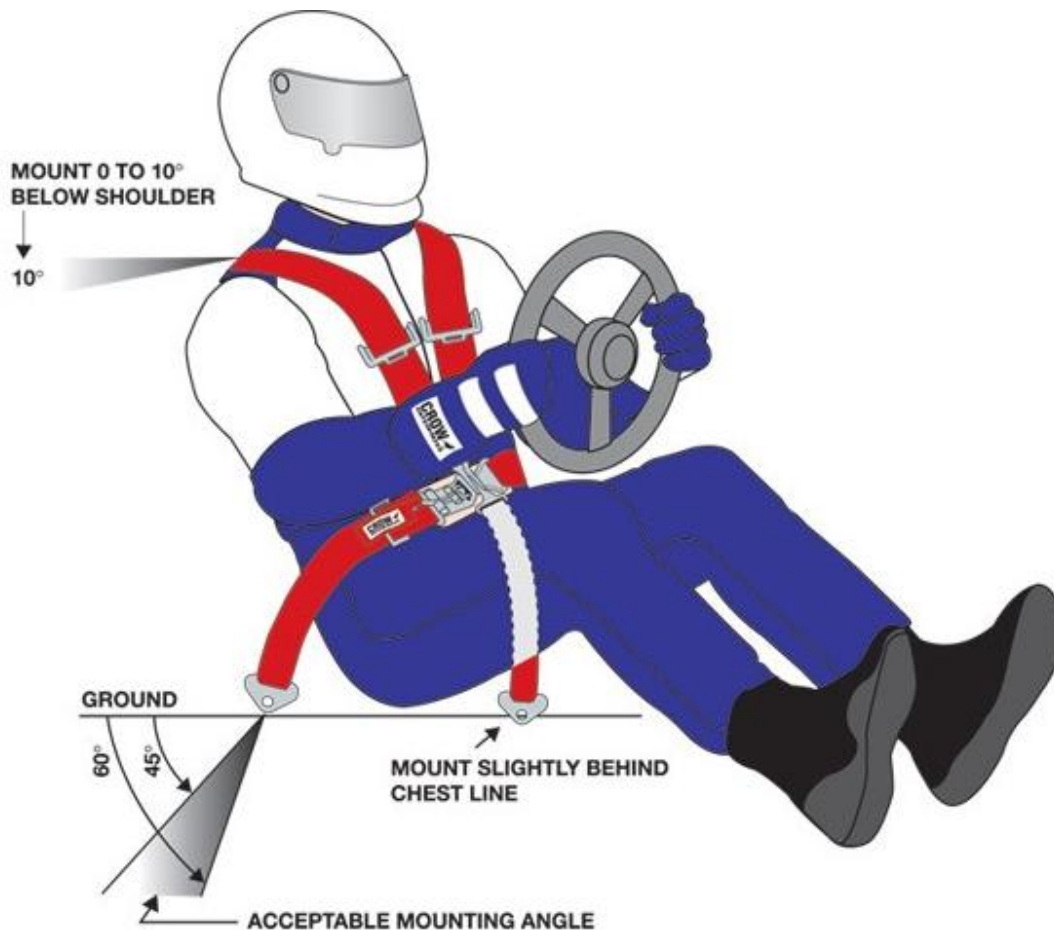
$$\cos 10 = \frac{T_x}{T} \rightarrow T_x = T * \cos 10 = 6.89 \text{ kN}$$

$$\sin 10 = \frac{T_z}{T} \rightarrow T_z = T * \sin 10 = 1.22 \text{ kN}$$

Για τα κάτω σημεία στήριξης των ζωνών ασφαλείας σύμφωνα με τους κανονισμούς FSAE ασκείται δύναμη 19.5 kN στην δυσμενέστερη διεύθυνση, Εικ. 6.3. Αυτή προκύπτει σύμφωνα με τους κανονισμούς της FIA με γωνία 60 μοίρες στο επίπεδο xz με φορά προς τον οδηγό. Αναλύοντας ξανά τη δύναμη σε συνιστώσες έχουμε:

$$\cos 60 = \frac{T_x}{T} \rightarrow T_x = T * \cos 60 = 9.75 \text{ kN}$$

$$\sin 60 = \frac{T_z}{T} \rightarrow T_z = T * \sin 60 = 16.89 \text{ kN}$$



Εικόνα 6.3: Επιτρεπτές σχηματιζόμενες γωνίες των βάσεων των ζωνών ασφαλείας με το αμάξωμα.

Τέλος εφαρμόζεται δύναμη σε ένα σημείο που βρίσκεται ακριβώς στο κέντρο του εμπρόσθιου τμήματος της καμπίνας, το οποίο οφείλει να είναι στέρεα συνδεδεμένο με τα σημεία επαφής του αποσβεστήρα σύγκρουσης και του εμπρόσθιου τμήματος της καμπίνας. Στο συγκεκριμένο σημείο ασκούνται δυο δυνάμεις με μέτρο 120 kN και 10.5 kN στη διεύθυνση του x και y άξονα αντίστοιχα. Στην περίπτωση των οχημάτων τύπου FSAE το σημείο αυτό είναι εύκολο να δημιουργηθεί τοποθετώντας ένα χιαστό μπροστά από τα πεντάλ του οδηγού. Στην περίπτωση ωστόσο το πλαίσιο που μελετάται αυτό είναι αδύνατο μιας και από εκεί διέρχεται το κιβώτιο ταχυτήτων. Για το λόγο αυτό αλλά και για απλοποίηση του χειρισμού του προγράμματος ανάλυσης, οι δυνάμεις αυτές θεωρούνται ότι ασκούνται στα σημεία επαφής του αποσβεστήρα σύγκρουσης, δηλαδή του εμπρόσθιου τμήματος του πλαισίου και της καμπίνας. Οπότε το μέτρο της δύναμης για την x διεύθυνση είναι: $120 \text{ kN} / 8 = 15 \text{ kN}$. Όμοια για την y διεύθυνση: $10.5 \text{ kN} / 8 = 1.31 \text{ kN}$.

Όσον αφορά τα υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, στο βιβλίο των εκδόσεων Haynes προτείνεται η χρήση μαλακού χάλυβα όπως ο E235. Ωστόσο στους κανονισμούς γίνεται λόγος και για χρήση άλλων υλικών όπως του χρωμιομολυβδαινίου 4130 με πολύ ανώτερες ιδιότητες αλλά και κόστος. Επιπλέον οι ελάχιστες διαστάσεις των τετράγωνων σωλήνων είναι 25.4 mm με πάχος 1.19 mm.

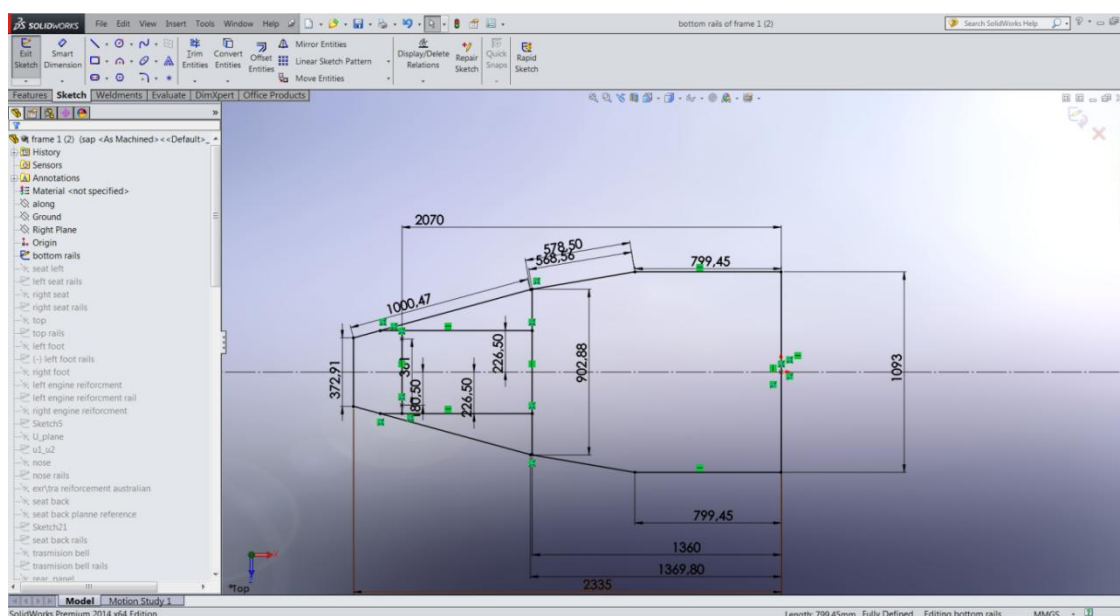
που στο μετρικό βάσει τυποποίησης είναι 25 mm ενώ το πάχος που θα χρησιμοποιηθεί είναι 2 mm, Πίν. 6.1. Όσον αφορά το πάχος των σωλήνων που απαιτούνται για τη μπάρα ανατροπής πάνω από το κεφάλι των επιβατών, η στρογγυλής διατομής σωλήνα που χρησιμοποιείται έχει ελάχιστη εξωτερική διάμετρο 25 mm ενώ το ελάχιστο πάχος είναι 2.5 mm. Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιείται σωλήνας εξωτερικής διαμέτρου 50 mm με πάχος 5 mm σύμφωνα με το σχέδιο του βιβλίου.

Πίνακας 6.1: Διαστάσεις σωλήνων που απαιτούνται από τους κανόνες FSAE.

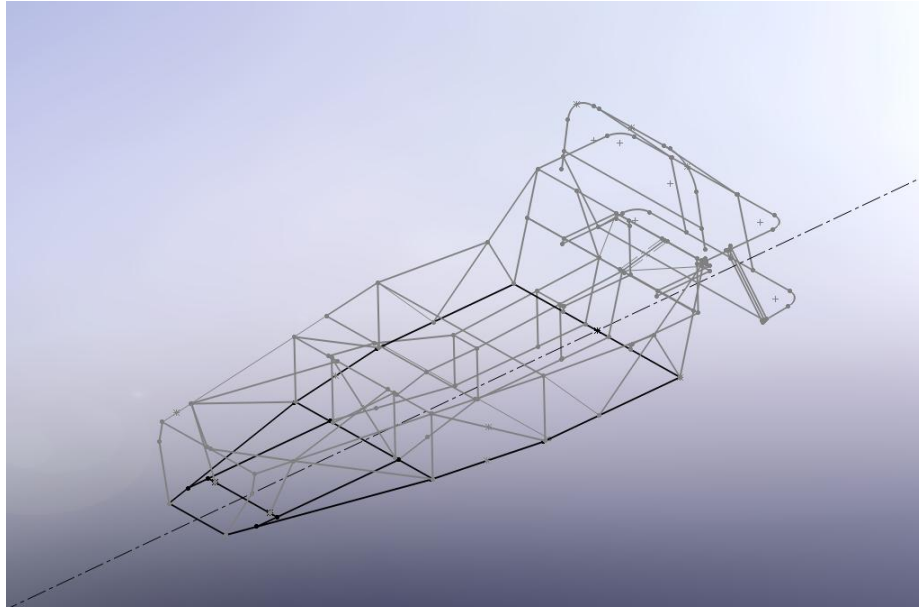
ITEM or APPLICATION	OUTSIDE DIMENSION X WALL THICKNESS
Main & Front Hoops, Shoulder Harness Mounting Bar	Round 1.0 inch (25.4 mm) x 0.095 inch (2.4 mm) or Round 25.0 mm x 2.50 mm metric
Side Impact Structure, Front Bulkhead, Roll Hoop Bracing, Driver's Restraint Harness Attachment (except as noted above)	Round 1.0 inch (25.4 mm) x 0.065 inch (1.65 mm) or Round 25.0 mm x 1.75 mm metric or Round 25.4 mm x 1.60 mm metric or Square 1.00 inch x 1.00 inch x 0.047 inch

7. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Για το σχεδιασμό του πλαισίου χρησιμοποιήθηκε το σχεδιαστικό πακέτο SolidWorks που διδάχτηκε κατά τη διάρκεια των σπουδών στο ΑΤΕΙ. Ο λόγος που επιλέχθηκε ο σχεδιασμός εδώ και όχι απευθείας στο Ansys είναι η ευκολία αποτύπωσης των σχεδίων, οι εύκολες αλλαγές αλλά και η σίγουρη και πλήρης διαστασιολόγηση των κόμβων που εισήχθησαν αργότερα στο Ansys. Έτσι σχεδιάστηκε εξ ολοκλήρου το αρχικό πλαίσιο όπως φαίνεται στις εικόνες 7.1 και 7.2.



Εικόνα 7.1: Σχεδιασμός του πατώματος.



Εικόνα 7.2: Το αρχικό πλαίσιο ολοκληρωμένο.

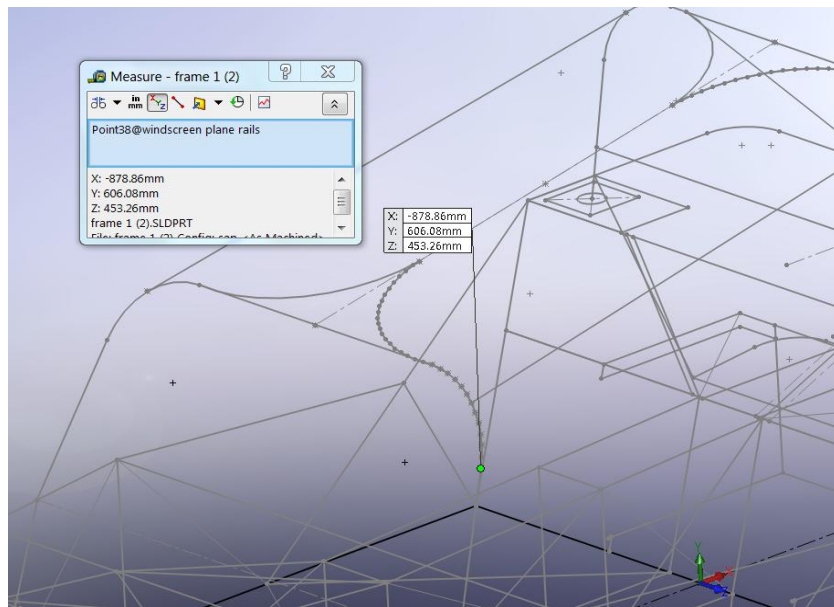
Επίσης ήταν το εργαλείο για τη σχεδίαση του κλωβού ασφαλείας που αναφέρεται παρακάτω, Εικ. 7.3 . Έτσι αφού σχεδιάστηκε κάθε κόμβος, μεταφέρθηκε σε αρχείο τύπου "excel" και έπειτα σε αρχείο μορφής "txt" με τη μορφή: K , όνομα κόμβου, συντεταγμένη X , συντεταγμένη Y , συντεταγμένη Z .

Π.χ.: K , 1, 0, -546.5, 0.

Όμοια οι γραμμές περαστήκαν με την μορφή:

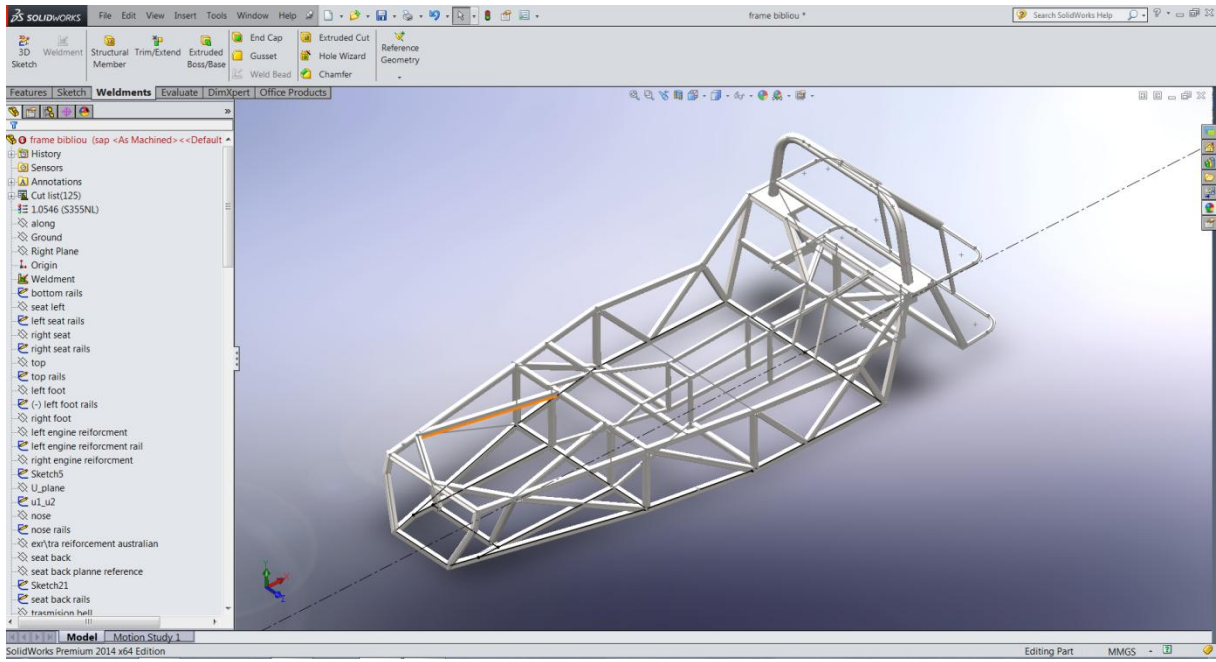
L , όνομα πρώτου κόμβου, όνομα δεύτερου κόμβου.

Π.χ. L , 1, 3.



Εικόνα 7.3: Συντεταγμένες κόμβους για την εισαγωγή της γεωμετρίας στο Ansys.

Τέλος αποτυπώθηκε η γεωμετρία για το αρχικό πλαίσιο σε τρισδιάστατη απεικόνιση για καλύτερη οπτικοποίηση της γεωμετρίας Εικ.7.4.



Εικόνα 7.4: 3D απεικόνιση γεωμετρίας.

8. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ANSYS

8.1 ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ

Το ANSYS είναι ένα πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων το οποίο έχει τη δυνατότητα επίλυσης στατικών και δυναμικών προβλημάτων, ροής ρευστών, ανάλυσης κατασκευών, μετάδοσης θερμότητας, ακουστικής, ηλεκτρισμού και ηλεκτρομαγνητισμού. Έχει χρήση σε πολλούς τομείς εφαρμοσμένης μηχανικής, συμπεριλαμβανομένης της αεροδιαστημικής, αυτοκίνησης, ηλεκτρονικής και πυρηνικής.

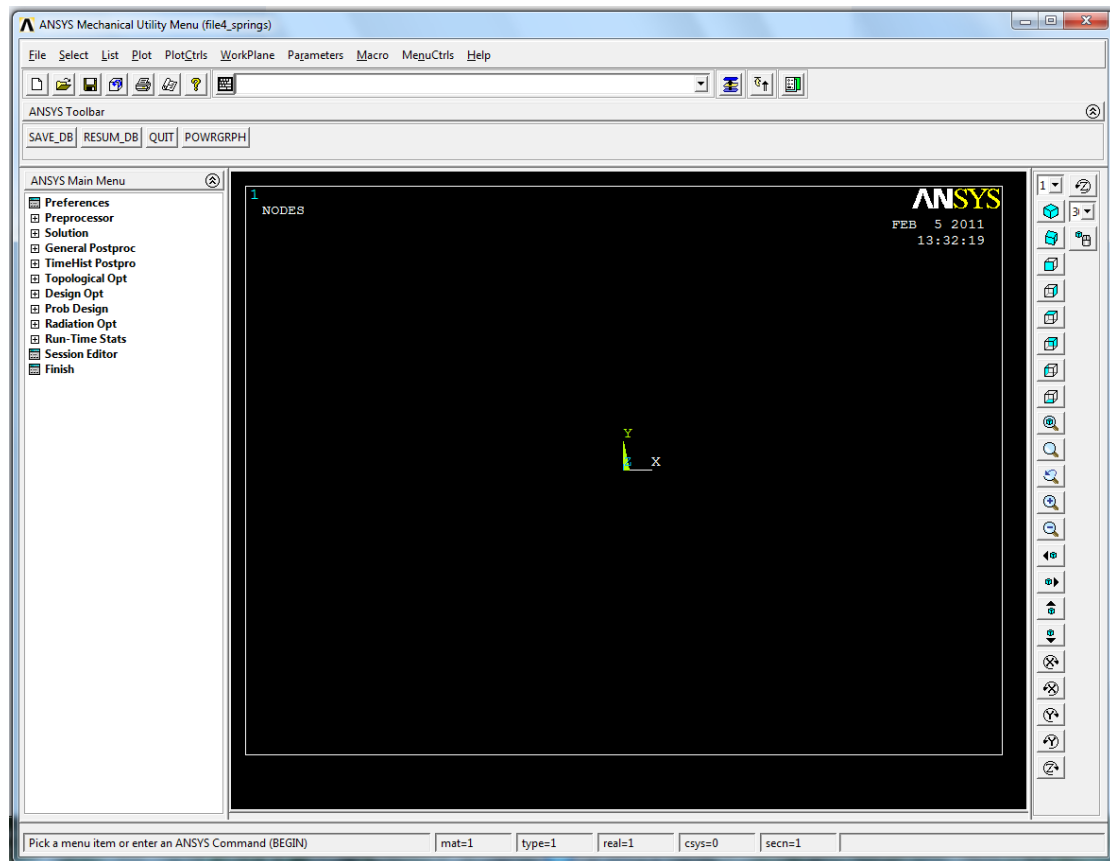
8.1.1 Περιβάλλον Εργασίας

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία χρησιμοποιήθηκε η έκδοση *ANSYS 15 Trial Version*. Το κύριο παράθυρο (Εικ. 8.1) αποτελείται από τα εξής τμήματα:

1. **Μενού βοηθημάτων (Utility menu):** Περιέχει τις λειτουργίες που είναι διαθέσιμες σχεδόν σε όλο το φάσμα λειτουργιών του ANSYS, όπως οι έλεγχοι αρχείων (file), η επιλογή (select), οι γραφικοί έλεγχοι (PlotCtrls), ο ορισμός και η διαχείριση παραμέτρων (Parameters) και το σύστημα βοήθειας (help). Αναλυτικά το utility menu περιέχει τις εξής λειτουργίες :
 - **File:** Έχουμε τη δυνατότητα να εμφανίσουμε ένα αρχείο που είναι αποθηκευμένο στη βάση δεδομένων του υπολογιστή ή να δημιουργήσουμε ένα καινούριο και να το αποθηκεύσουμε.
 - **Select:** Είναι μια δυναμική εντολή με την οποία έχουμε τη δυνατότητα να απομονώσουμε και να επεξεργαστούμε ένα τμήμα του μοντέλου. Κατά την επεξεργασία το πρόγραμμα λαμβάνει υπόψη μόνο το επιλεγμένο τμήμα του μοντέλου.
 - **List:** Έχουμε τη δυνατότητα να εμφανίσουμε καταλόγους που είναι αποθηκευμένοι στη βάση δεδομένων του προγράμματος. Οι κατάλογοι μπορούν να περιέχουν σημεία, γραμμές, επιφάνειες, όγκους, στοιχεία και κόμβους, τα οποία ακολουθούνται από μία συγκεκριμένη αρίθμηση που γίνεται αυτόματα από το πρόγραμμα.
 - **Plot:** Μπορούμε να προβάλλουμε στο παράθυρο σχεδίασης (ανάλογα με το τι θέλουμε να επεξεργαστούμε) σημεία, γραμμές, επιφάνειες, όγκους, στοιχεία και κόμβους, τα οποία ακολουθούνται από μία συγκεκριμένη αρίθμηση που την κάνει αυτόματα το πρόγραμμα.
 - **PlotCtrls:** Περιέχει λειτουργίες που ελέγχουν τα χαρακτηριστικά των γραφικών επιδείξεων.
 - **Workplane:** Η χρήση της εντολής αυτής προσφέρει μεγάλη ευκολία στη δημιουργία στερεών πρότυπων μοντέλων. Μας δίνει τη δυνατότητα να

μεταφέρουμε ή και να περιστρέψουμε όπου επιθυμούμε τους άξονες συντεταγμένων.

- **Help:** Είναι το σύστημα βοήθειας του προγράμματος στο οποίο μπορούμε να ανατρέξουμε για οποιαδήποτε πληροφορία.
2. **Κύριο μενού (Main menu):** Περιέχει όλες τις εντολές του ANSYS που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του μοντέλου, την επίλυση του προβλήματος και την επεξεργασία των αποτελεσμάτων. Οι εντολές έχουν οργανωθεί σε τρεις βασικούς επεξεργαστές, στον **Preprocessor** ο οποίος περιλαμβάνει όλες τις διαθέσιμες εντολές για την κατασκευή του μοντέλου. Στον **Solution** ο οποίος περιλαμβάνει όλες τις διαθέσιμες εντολές για τον ορισμό της ανάλυσης καθώς επίσης και τις εντολές επίλυσης. Και τέλος στον **Postprocessor** μέσω του οποίου ο χρήστης επεξεργάζεται τα αποτελέσματα.
 3. **Μπάρα εργαλείων (Toolbar):** Περιέχει κουμπιά με τα οποία μπορούμε να εκτελέσουμε εντολές και λειτουργίες που χρησιμοποιούνται επανειλημμένα κατά τη διαδικασία επίλυσης ενός προβλήματος. Επίσης η μπάρα εργαλείων περιέχει κουμπιά επαναφοράς (Resume_db) αμέσως προηγούμενων αποθηκευμένων μοντέλων.
 4. **Πεδίο εντολών (Input field):** Το πεδίο εντολών μας δίνει τη δυνατότητα να εισάγουμε άμεσα τις εντολές της γλώσσας προγραμματισμού APDL που διαθέτει το ANSYS. Η χρήση εντολών προγραμματισμού είναι ένας εναλλακτικός τρόπος δημιουργίας ενός μοντέλου αντί αυτού μέσω των καρτελών εισαγωγής δεδομένων. Ενδείκνυται στην περίπτωση πολύ μεγάλων μοντέλων καθώς επίσης και στην περίπτωση των παραμετρικών αναλύσεων. Όλες οι πρόσφατα δακτυλογραφημένες εντολές αποθηκεύονται σε ένα μενού καταγραφής για εύκολη πρόσβαση.
 5. **Γραφικό παράθυρο (Graphics Window):** Είναι το παράθυρο, όπου το μοντέλο αναπαρίσταται γραφικά στα διάφορα στάδια της κατασκευής, καθώς επίσης και τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την ανάλυση.



Εικόνα 8.1: Κύριο παράθυρο εργασίας.

8.1.2 Βασικές Λειτουργίες Προγράμματος

Για την ανάλυση ενός προβλήματος με το ANSYS ακολουθούμε τα εξής βασικά βήματα:

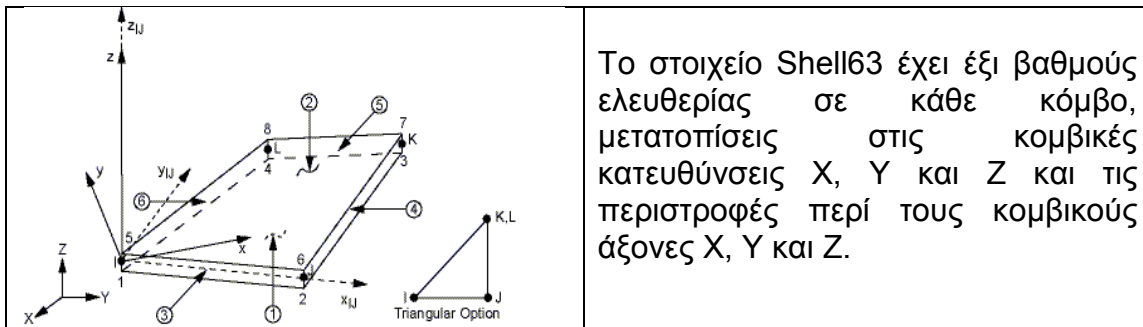
A) Κατασκευή του μοντέλου με χρήση των εντολών του Preprocessor. Οι σημαντικότερες εργασίες που γίνονται για την κατασκευή ενός μοντέλου είναι οι εξής:

- **Ορισμός του τύπου στοιχείων (element type):** Το ANSYS ανάλογα με τη γεωμετρία, το φυσικό χαρακτήρα του προβλήματος (στατικό, θερμικό, ροή ρευστού, ηλεκτρομαγνητικό), την μηχανική συμπεριφορά των υλικών της κατασκευής (γραμμικά, μη-γραμμικά, ισότροπα, ανισότροπα) και των συναρτήσεων που θα χρησιμοποιηθούν για την προσέγγιση των αγνώστων πεδίων του προβλήματος, διαθέτει περισσότερα από 150 στοιχεία για την ανάλυση όλων των ειδικών προβλημάτων. Είναι εύκολα κατανοητό ότι η επιλογή του κατάλληλου είδους στοιχείου είναι πολύ σημαντική για την διαδικασία της ανάλυσης. Κάθε ένα από τα στοιχεία προσδιορίζεται από την ονομασία μιας κατηγορίας και ακολουθείται από έναν χαρακτηριστικό αριθμό, π.χ PLANE82, Solid 187, Beam3. Στην συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία θα δουλέψουμε με τα δομικά στοιχεία τα οποία και θα αναλύσουμε. Οι βασικές κατηγορίες διαθέσιμων στοιχείων είναι οι εξής:
 - **Δομικά στοιχεία (structural elements):** Σε αυτή την ομάδα στοιχείων οι βαθμοί ελευθερίας στους κόμβους, είναι συνήθως οι μετατοπίσεις και οι στροφές. Στις δομικές αναλύσεις περιλαμβάνονται επίπεδα στοιχεία (plane

elements), στερεά στοιχεία (solid elements), ραβδωτά στοιχεία (link elements), στοιχεία δοκού (beam elements) και κελυφωτά στοιχεία (shell elements). Όλα αυτά τα στοιχεία περιέχουν ένα πλήθος υποκατηγοριών στοιχείων με διαφορετικούς κόμβους, ο αριθμός των οποίων καθορίζεται από το είδος και το βαθμό των συναρτήσεων προσέγγισης των αγνώστων πεδίων. Για παράδειγμα τα δισδιάστατα στερεά στοιχεία ορίζονται από την κατηγορία plane. Στον Πίν. 8.1 απεικονίζονται μερικά αντιπροσωπευτικά δομικά στοιχεία.

Πίνακας 8.1: Αντιπροσωπευτικά δομικά στοιχεία.

	<p>Το στοιχείο Plane82 καθορίζεται από 8 κόμβους, με δύο βαθμούς ελευθερίας σε κάθε κόμβο. Τις μετατοπίσεις στις κομβικές κατευθύνσεις X και Y.</p>
	<p>Αξονικά δισδιάστατα στοιχεία Beam3, τα οποία καθορίζονται από τρεις βαθμούς ελευθερίας σε κάθε κόμβο. Μετατοπίσεις στις κομβικές κατευθύνσεις X, Y και περιστροφή για τον κομβικό άξονα Z.</p>
<p><small>If node K is omitted, the element y-axis is parallel to the global X-Y plane</small></p> <p><small>x, y, z defines the element coordinate system orientation</small></p>	<p>Το στοιχείο Pipes16 είναι ένα αξονικό στοιχείο και καθορίζεται από έξι βαθμούς ελευθερίας σε δύο κόμβους. Μετατοπίσεις στις κομβικές κατευθύνσεις X, Y και Z και τις περιστροφές περί τους κομβικούς άξονες X, Y και Z.</p>
	<p>Τα ραβδωτά στοιχεία Link είναι τρισδιάστατα στοιχεία γραμμής με δύο κόμβους και τρεις βαθμούς ελευθερίας ανά κόμβο, μετατοπίσεις σε κάθε άξονα.</p>
	<p>Το στοιχείο Solid187 έχει 10 κόμβους με τρεις βαθμούς ελευθερίας ανά κόμβο, τις μετατοπίσεις στις κομβικές κατευθύνσεις X, Y και Z. Έχει τη δυνατότητα επίλυσης προβλημάτων πλαστικότητας, υπερελαστικότητας, ερπυσμού και προβλημάτων με μεγάλες μετατοπίσεις.</p>



- Θερμικά στοιχεία (thermal elements):** Σε αυτή τη ομάδα στοιχείων οι βαθμοί ελευθερίας στους κόμβους, είναι οι θερμοκρασίες. Στις θερμικές αναλύσεις περιλαμβάνονται στοιχεία μάζας (mass), ραβδωτά (link), στερεά (solid) ή/και κελυφωτά (shell) στοιχεία. Στο Πίν. 8.2 απεικονίζονται μερικά από τα θερμικά στοιχεία. Στη συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν τα δομικά στοιχεία Beam 2 node 188. Πρόκειται για ένα στοιχείο γι λεπτότοιχες κατασκευές που αποτελούνται από δοκούς. Βασίζεται στη θεωρία του Timoshenko. Πρόκειται για ένα γραμμικό στοιχείο από δυο κόμβους με έξι βαθμούς ελευθερίας. Σε κάθε κόμβο οι βαθμοί ελευθερίας είναι μετατοπίσεις στις κατευθύνσεις x, y, z και περιστροφές ως προς τους τρεις άξονες. Το στοιχείο αυτό είναι κατάλληλο για γραμμική ανάλυση ή μεγάλης παραμόρφωσης μη γραμμικές αναλύσεις, όπως αυτή που πραγματοποιείται στη συγκεκριμένη πτυχιακή.

Πίνακας 8.2: Αντιπροσωπευτικά θερμικά στοιχεία.

<p>PLANE55 - 2-D THERMAL (DOF: TEMPERATURE)</p>	<p>Το στοιχείο PLANE 55, είναι ένα τετράπλευρο στοιχείο, έχει τέσσερις θερμικούς βαθμούς ελευθερίας (θερμοκρασία σε κάθε κόμβο) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για διδιάστατο πρόβλημα.</p>
<p>SOLID70 - 3-D THERMAL (DOF: TEMPERATURE)</p>	<p>Το τρισδιάστατο στοιχείο SOLID 70, είναι ένα κυβικό στοιχείο, έχει οκτώ θερμικούς βαθμούς ελευθερίας (θερμοκρασία σε κάθε κόμβο).</p>

- Στοιχεία ρευστού (fluid elements):** Για αυτήν την ομάδα στοιχείων, ανάλογα με τον τύπο και τους βαθμούς ελευθερίας εμφανίζονται συνήθως ως ζευγάρι στους κόμβους, ταχύτητα-πίεση ή πίεση-θερμοκρασία.

- **Καθορισμός πραγματικών σταθερών (Real constants):** Οι πραγματικές σταθερές χρησιμοποιούνται για τον ορισμό των παραμέτρων του είδους του στοιχείου (element type) που ήδη έχει επιλεγεί. Ανάλογα με το στοιχείο που χρησιμοποιείται μπορεί να εκφράζουν επιφάνεια, πάχος, εσωτερική-εξωτερική διάμετρο κλπ. Είναι προφανές ότι μερικοί τύποι στοιχείων, όπως για παράδειγμα τα στερεά (solids), δεν απαιτούν τον ορισμό πραγματικών σταθερών.
- **Καθορισμός ιδιοτήτων των υλικών (Material Properties):** Ανάλογα με τον τύπο της ανάλυσης που θα διεξαχθεί, απαιτείται ο ορισμός κάποιων συγκεκριμένων μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών της κατασκευής, όπως είναι το μέτρο ελαστικότητας, ο λόγος Poisson, η πυκνότητα, ο συντελεστής θερμικής διαστολής κλπ. Η μηχανική συμπεριφορά των υλικών μπορεί να είναι:
 - Γραμμική ή μη γραμμική καθώς επίσης και
 - Ισότροπη ή ανισότροπη.
- **Σχεδιασμός της πρότυπης γεωμετρίας της κατασκευής:** Αποτελεί το σχεδιαστικό μέρος της κατασκευής του μοντέλου, όπου με τις κατάλληλες εντολές τύπου CAD, δημιουργούμε τη γεωμετρία της κατασκευής που θέλουμε να αναλύσουμε. Έχουμε τη δυνατότητα να δημιουργήσουμε σημεία, γραμμές, επιφάνειες και όγκους.
- **Διακριτοποίηση (meshing):** Ο σχεδιασμός της γεωμετρίας της υπό ανάλυση κατασκευής γίνεται αποκλειστικά και μόνο για να δημιουργηθεί το πλέγμα της γεωμετρίας, όσο το δυνατόν πιο εύχρηστα και αποτελεσματικά. Μόλις ολοκληρωθεί το στερεό πρότυπο, ο χρήστης προβαίνει στη διακριτοποίηση του μοντέλου, αφού πρώτα έχει ορίσει τον τύπο των στοιχείων και τις πραγματικές σταθερές αν αυτές χρειάζονται, καθώς επίσης και το υλικό του υπό διακριτοποίηση τμήματος της κατασκευής. Το ANSYS προσφέρει διάφορες επιλογές για να επιτευχθεί η ιδανικότερη διακριτοποίηση. Αυτές είναι η ελεύθερη (free) και χαρτογραφημένη (mapped) διακριτοποίηση. Επίσης παρέχονται στον χρήστη πολλές δυνατότητες για την ρύθμιση του μεγέθους του πλέγματος. Γενικά ένας μεγάλος αριθμός στοιχείων παρέχει μια καλύτερη προσέγγιση λύσης. Εντούτοις, σε ορισμένες περιπτώσεις ένας υπερβολικός αριθμός στοιχείων μπορεί να αυξήσει την πιθανότητα λάθους. Επομένως είναι σημαντικό το μέγεθος του πλέγματος να είναι επαρκώς αραιό ή πυκνό στις κατάλληλες περιοχές. Πόσο αραιό η πυκνό πρέπει να είναι το πλέγμα σε αυτές τις περιοχές δεν μπορούμε να το γνωρίζουμε, δεδομένου ότι εξαρτάται από το συγκεκριμένο φυσικό πρόβλημα που αναλύεται κάθε φορά. Υπάρχουν όμως μερικές τεχνικές που είναι χρήσιμες για τον καθορισμό του κατάλληλου μεγέθους πλέγματος. Μία από αυτές τις τεχνικές είναι η εξής: Το μοντέλο αναλύεται με ένα αρχικό μέγεθος πλέγματος και κατόπιν αναλύεται ξανά με ένα διαφορετικό μέγεθος πλέγματος (συνήθως δύο φορές πιο πυκνό). Οι δύο λύσεις συγκρίνονται και εάν τα αποτελέσματα συγκλίνουν μεταξύ τους, η αρχική διαμόρφωση θεωρείται επαρκής. Εάν υπάρχουν ουσιαστικές διαφορές μεταξύ των δύο η ανάλυση πρέπει να συνεχιστεί με πιο πυκνά μεγέθη πλεγμάτων και να συγκρίνονται τα αποτελέσματα μέχρι να επιτευχθεί η σύγκληση.

B) Ορισμός της ανάλυσης και επίλυση του προβλήματος με χρήση των εντολών του επεξεργαστή Solution. Οι σημαντικότερες εργασίες που γίνονται στο στάδιο αυτό είναι οι εξής:

- **Ορισμός του είδους ανάλυσης (analysis type) που θα διεξαχθεί:** Το ANSYS ως πρόγραμμα γενικού σκοπού έχει τη δυνατότητα να επιλύσει ένα ευρύ φάσμα προβλημάτων εφαρμοσμένης μηχανικής. Με έμφαση τα προβλήματα του ενδιαφέροντος ενός Μηχανολόγου Μηχανικού εστιάζουμε στα παρακάτω είδη ανάλυσης:
 - **Δομική ανάλυση:** Στις αναλύσεις αυτές ζητούμενο είναι η εύρεση της κατανομής τάσεων, παραμορφώσεων, πιέσεων επιφάνειας, καθώς επίσης και των δυνάμεων αντίδρασης σε ένα στερεό σώμα.
 - **Στατική ανάλυση:** Τα εφαρμοσμένα φορτία και οι συνθήκες στήριξης του στερεού σώματος δεν αλλάζουν με τον χρόνο.
 - **Ιδιομορφική ανάλυση:** Με αυτό τον τύπο ανάλυσης υπολογίζονται οι φυσικές συχνότητες της ελεύθερης ταλάντωσης της κατασκευής καθώς επίσης και οι αντίστοιχες ιδιομορφές.
 - **Αρμονική ανάλυση:** Με την ανάλυση αυτή μελετούμε τη συμπεριφορά μόνιμης κατάστασης μιας κατασκευής που υποβάλλεται σε φορτία αρμονικά σε σχέση με τον χρόνο.
 - **Μεταβατική ανάλυση:** Τα εφαρμοσμένα φορτία ή και οι συνθήκες στήριξης του στερεού σώματος αλλάζουν ως συναρτήσεις του χρόνου. Αυτός ο τύπος των αναλύσεων είναι συνήθως και ο πιο χρονοβόρος μιας και η λύση προκύπτει κατόπιν ολοκλήρωσης σε όλο τον χρόνο εξέλιξης του φαινομένου του προβλήματος.
- **Ορισμός συνοριακών συνθηκών (Boundary conditions).** Το ANSYS έχει τη δυνατότητα να ορίσει σε ένα πρόβλημα φορτία, πιέσεις, στηρίξεις και αντιδράσεις, ανάλογα με το είδος της ανάλυσης. Όλα αυτά για λόγους ευχρηστίας μπορούν να οριστούν πάνω σε σημεία, γραμμές, επιφάνειες, κόμβους και σε στοιχεία και να μεταφερθούν αυτόματα τελικά στους κόμβους του πλέγματος, όπως απαιτείται από τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων.
- **Επίλυση του προβλήματος:** Το ANSYS επιλύει το πρότυπο πεπερασμένο μοντέλο. Ο χρόνος επίλυσης του προβλήματος εξαρτάται κάθε φορά από το είδος ανάλυσης, την ιδιαιτερότητα της γεωμετρίας του μοντέλου, το μέγεθος του πλέγματος και από την πολυπλοκότητα των οριακών συνθηκών.

Γ) Επεξεργασία των αποτελεσμάτων με χρήση των εντολών του επεξεργαστή Postprocessor: Σε αυτόν τον επεξεργαστή παρατίθενται τα αποτελέσματα τα οποία μπορεί να είναι διανυσματικές επιδείξεις, λίστες αποτελεσμάτων, το παραμορφωμένο σώμα, κατανομή μετατοπίσεων και τάσεων.

9. ΔΙΑΚΡΙΤΟΠΟΙΗΣΗ

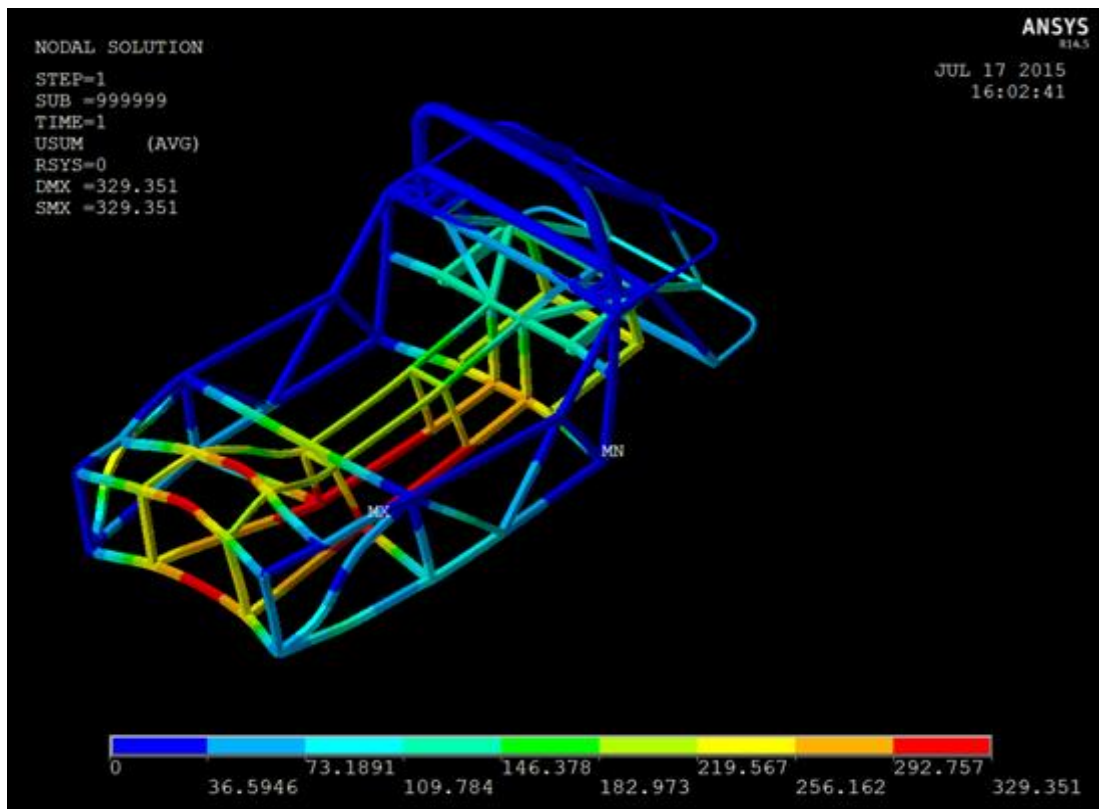
Για την διακριτοποίηση δεν υπάρχει συγκεκριμένος τρόπος για τη επιλογή του μήκους των στοιχείων. Για αυτό έγιναν δοκιμές με διάφορα μεγέθη στοιχείων, και η τελική επιλογή έγινε βάσει της ακρίβειας των αποτελεσμάτων και του χρόνου επίλυσης. Έτσι για τη περίπτωση φόρτισης «μετωπικά και πλάγια» σχηματίστηκε ο πίνακας 9.1.

Πίνακας 9.1: Αποτελέσματα διακριτοποίησης.

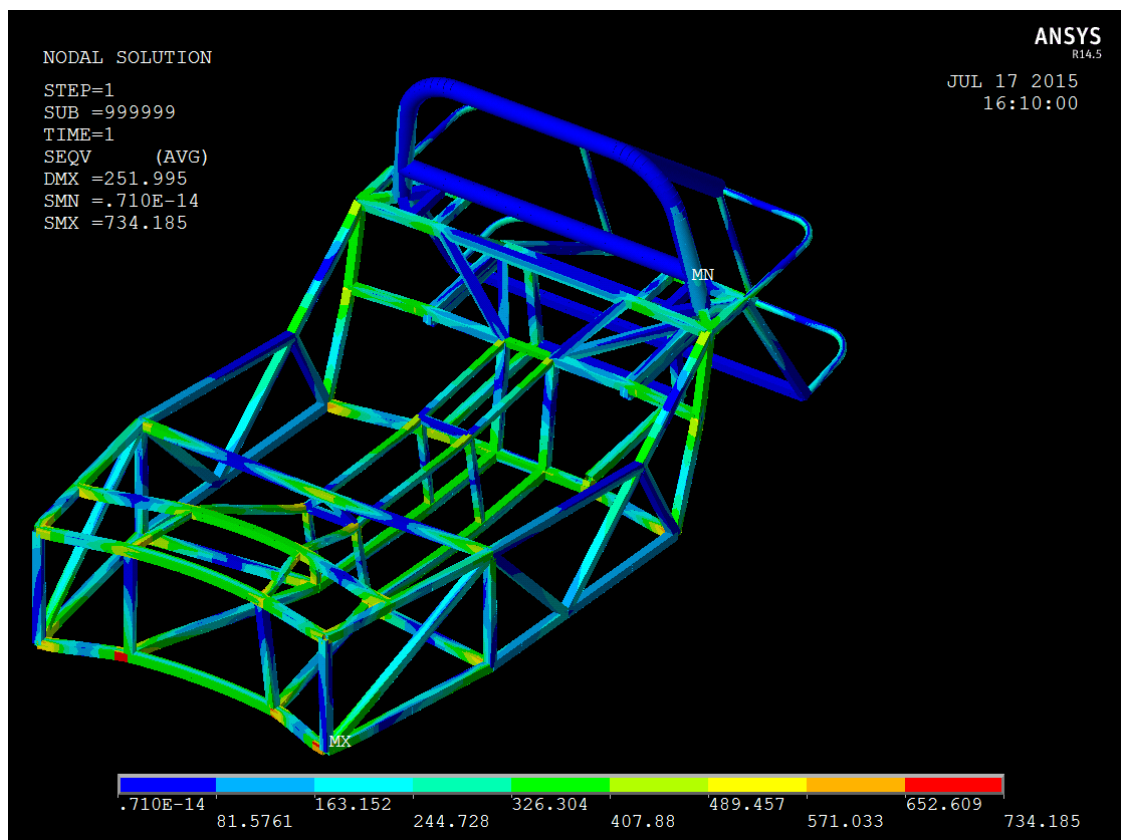
α/α	Μήκος στοιχείου διακριτοποίησης [mm]	Χρόνος	Παραμόρφωση [mm]
1	1	11 min και 36 sec	16.8955
2	10	8 min και 31 sec	16.8768
3	20	6 min και 45 sec	16.9998
4	30	2 min και 47 sec	16.8367
5	40	1 min και 55 sec	16.8180
6	50	1 min και 36 sec	17.0278
7	60	1 min και 32 sec	17.2189
8	70	1 min και 27 sec	17.4368
9	80	1 min και 23 sec	17.6768
10	90	1 min και 22 sec	17.8957
11	100	1 min και 13 sec	18.0987

Βάσει των παραπάνω αποτελεσμάτων και των χρόνων επίλυσης επιλέχθηκε η διακριτοποίηση με μήκος στοιχείου 40 mm. Ούτως η άλλως η μέγιστη ακρίβεια και του πραγματικού πλαισίου είναι αυτή του χιλιοστού αφού κόβεται και κατασκευάζεται από τεχνίτες στο χέρι.

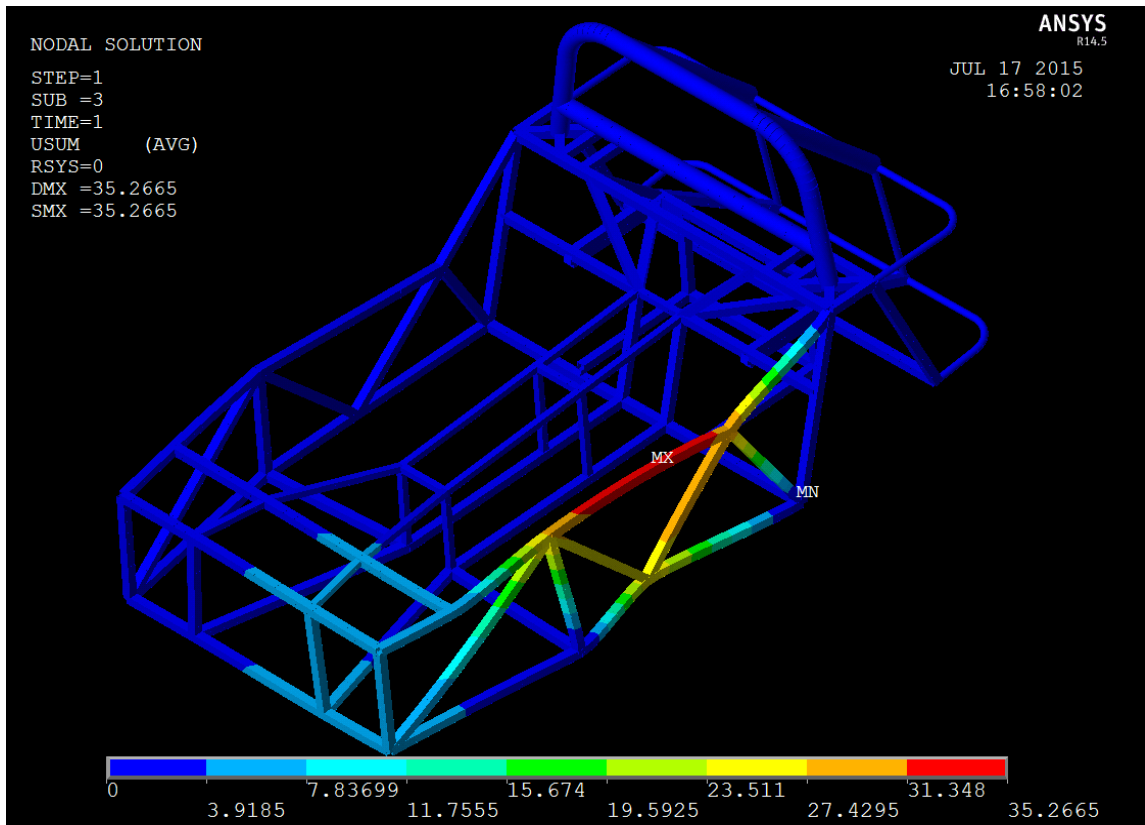
Στις εικόνες 9.1 έως 9.12 φαίνονται τα αποτελέσματα για τις παραμορφώσεις της γεωμετρίας και για τις τάσεις Von Mises για υλικό χάλυβα E235 και για τις περιπτώσεις φόρτισης «μετωπική», «πλάγια», «ανατροπή», «άνω βάσης ζωνών ασφαλείας», «κάτω βάσης ζωνών ασφαλείας» και «εμπρός και πλάγια». Στους Πίν. 9.2 και 9.3 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα.



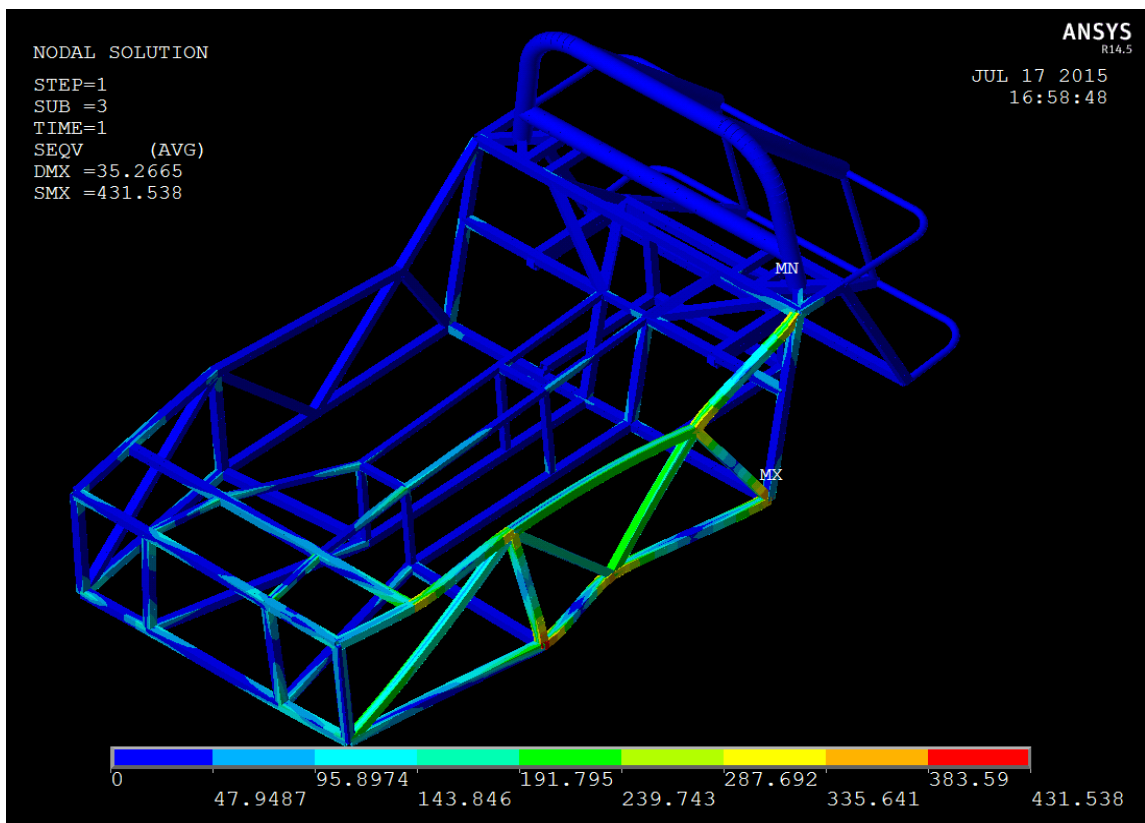
Εικόνα 9.1: Παραμόρφωση μπροστά.



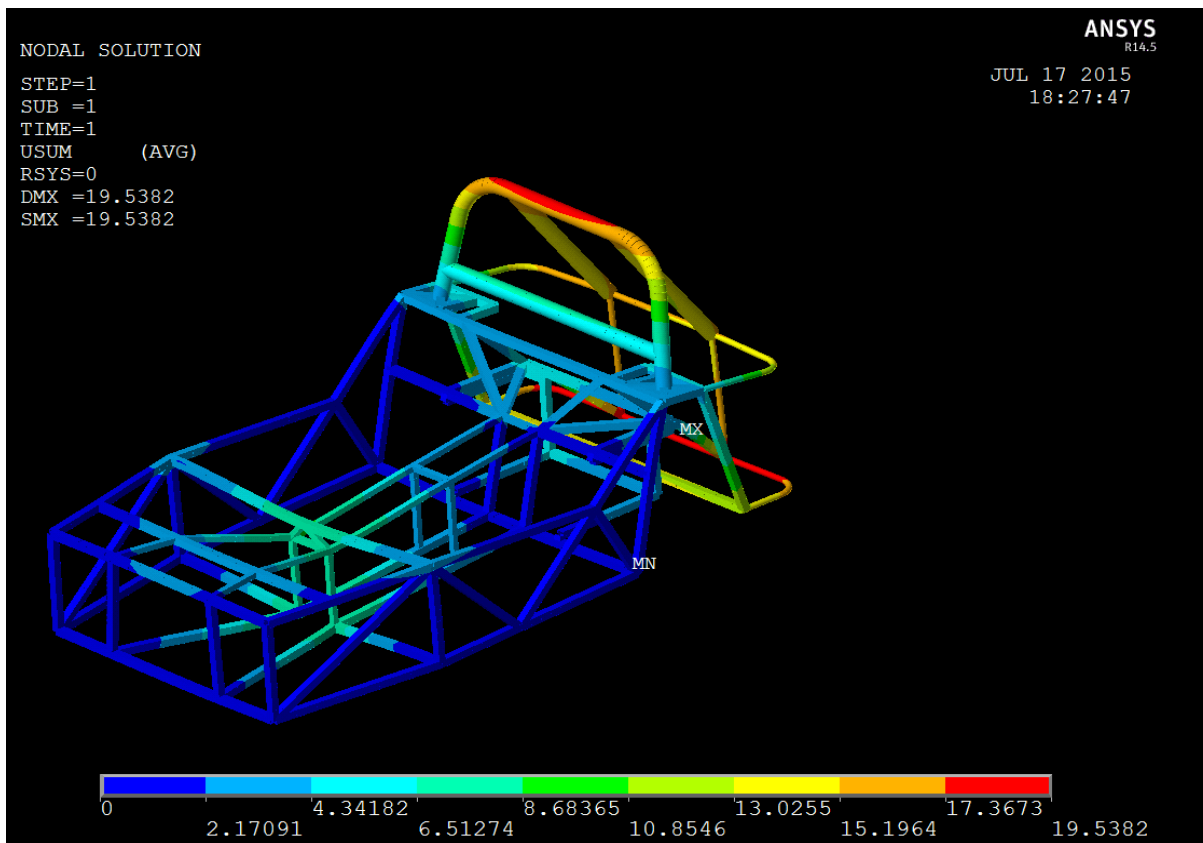
Εικόνα 9.2: Τάσεις Von Mises μπροστά.



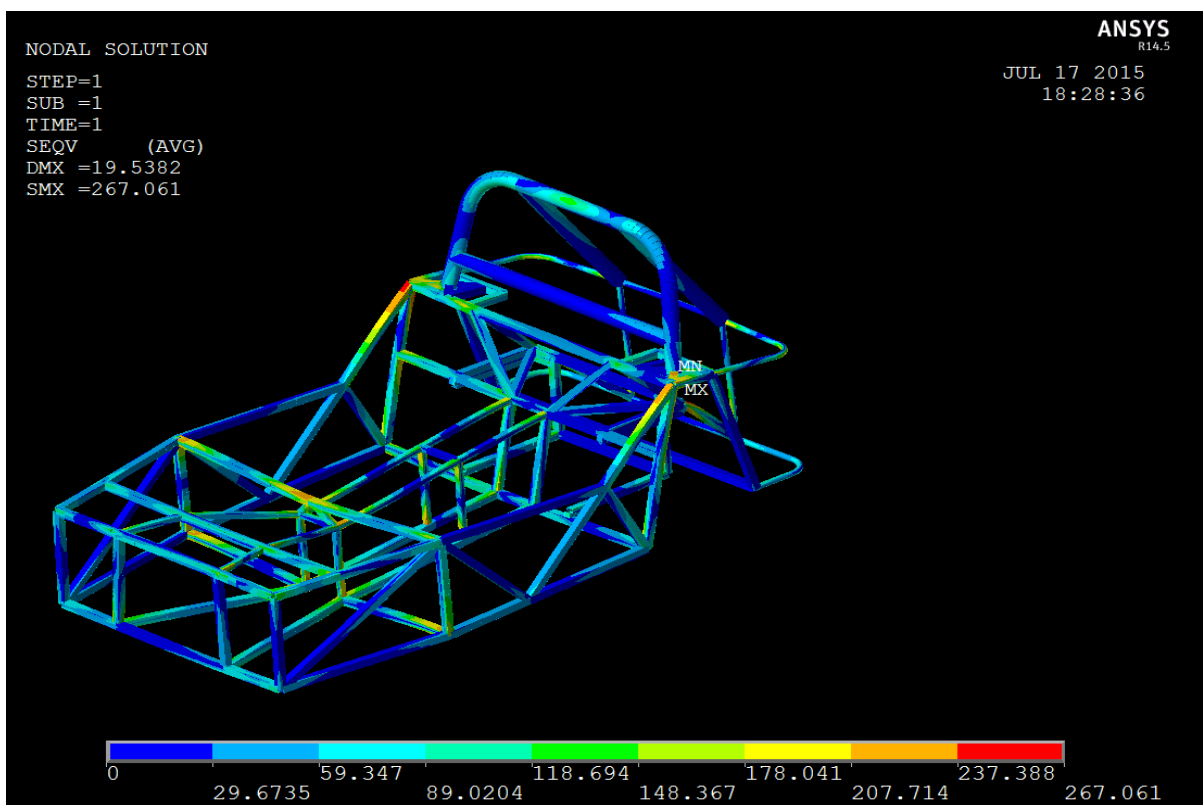
Εικόνα 9.3: Παραμόρφωση πλάγια.



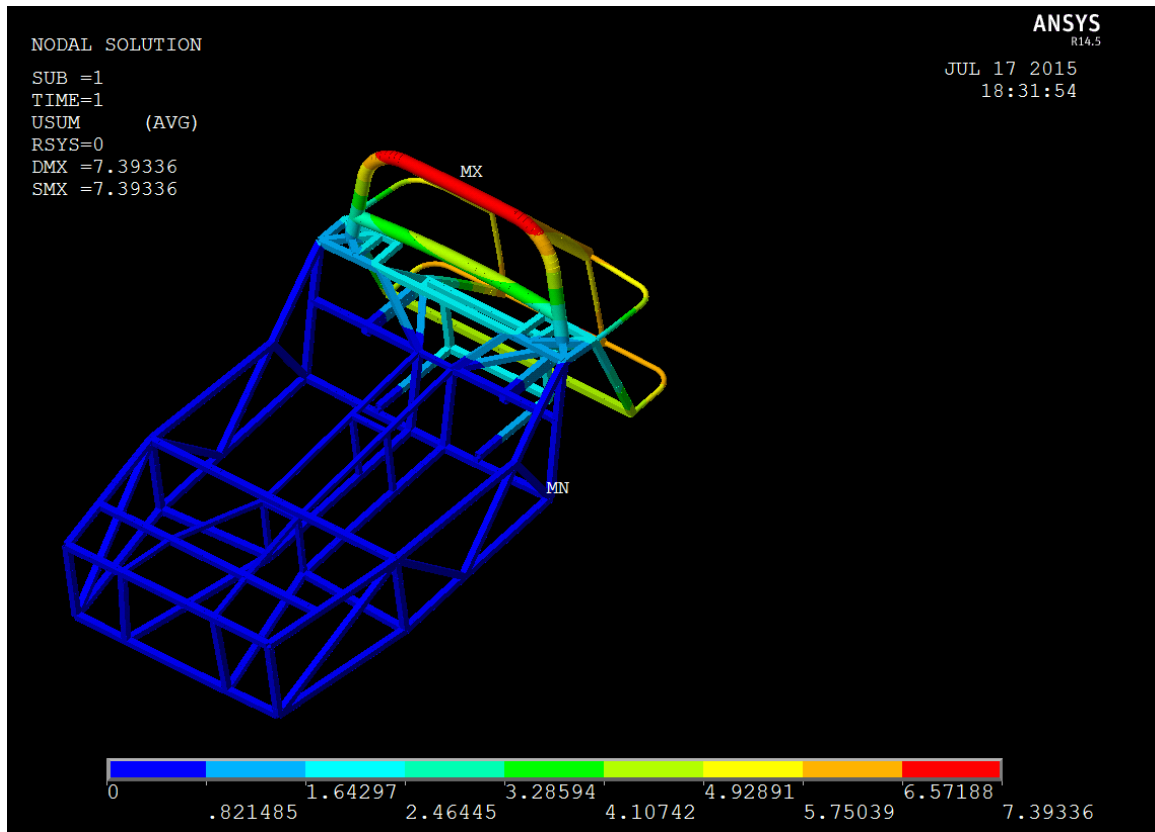
Εικόνα 9.4: Τάσεις Von Mises πλάγια.



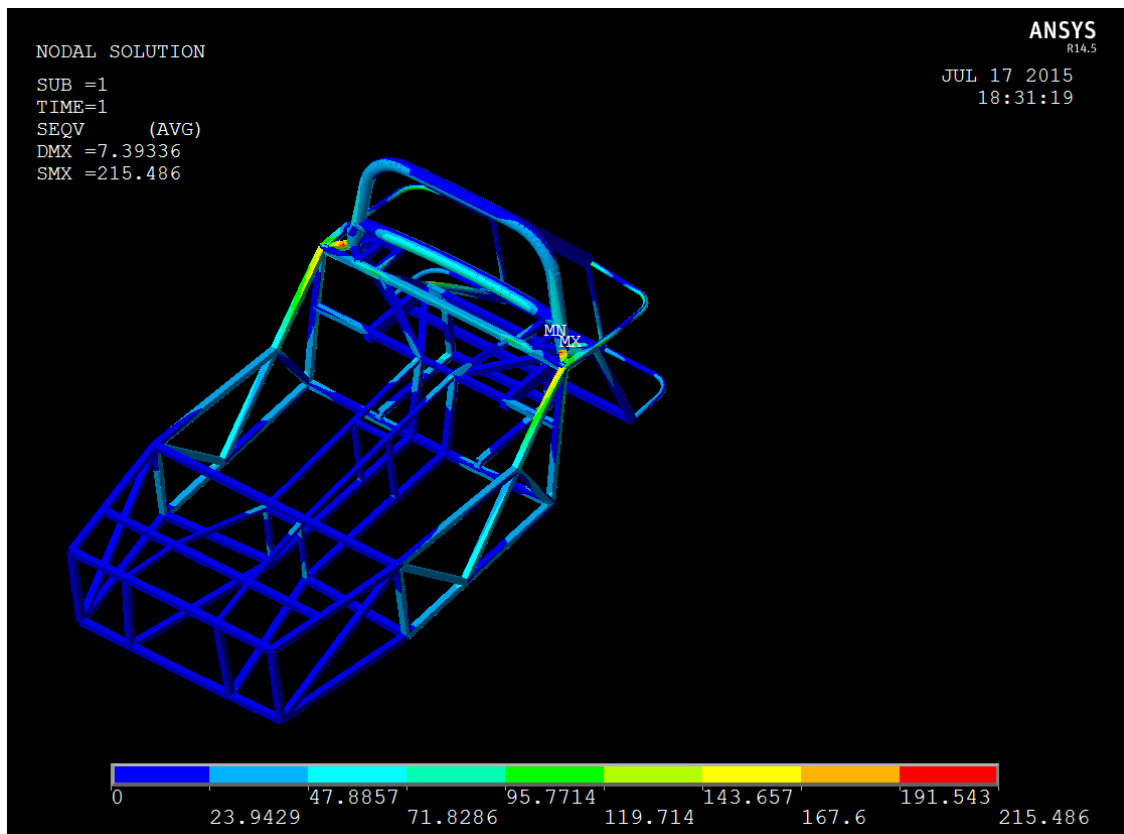
Εικόνα 9.5: Παραμόρφωση από ανατροπή (roll-over usum).



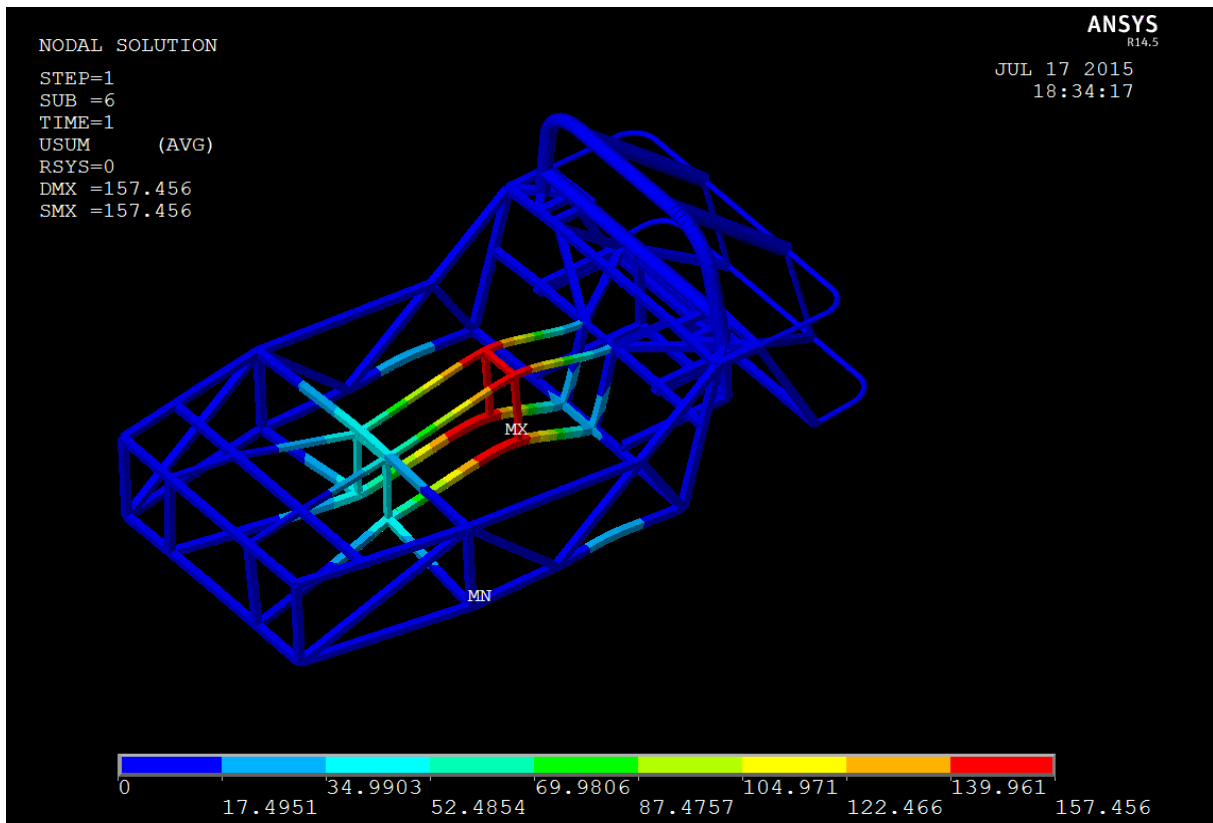
Εικόνα 9.6: Τάσεις Von Mises από ανατροπή (roll-over).



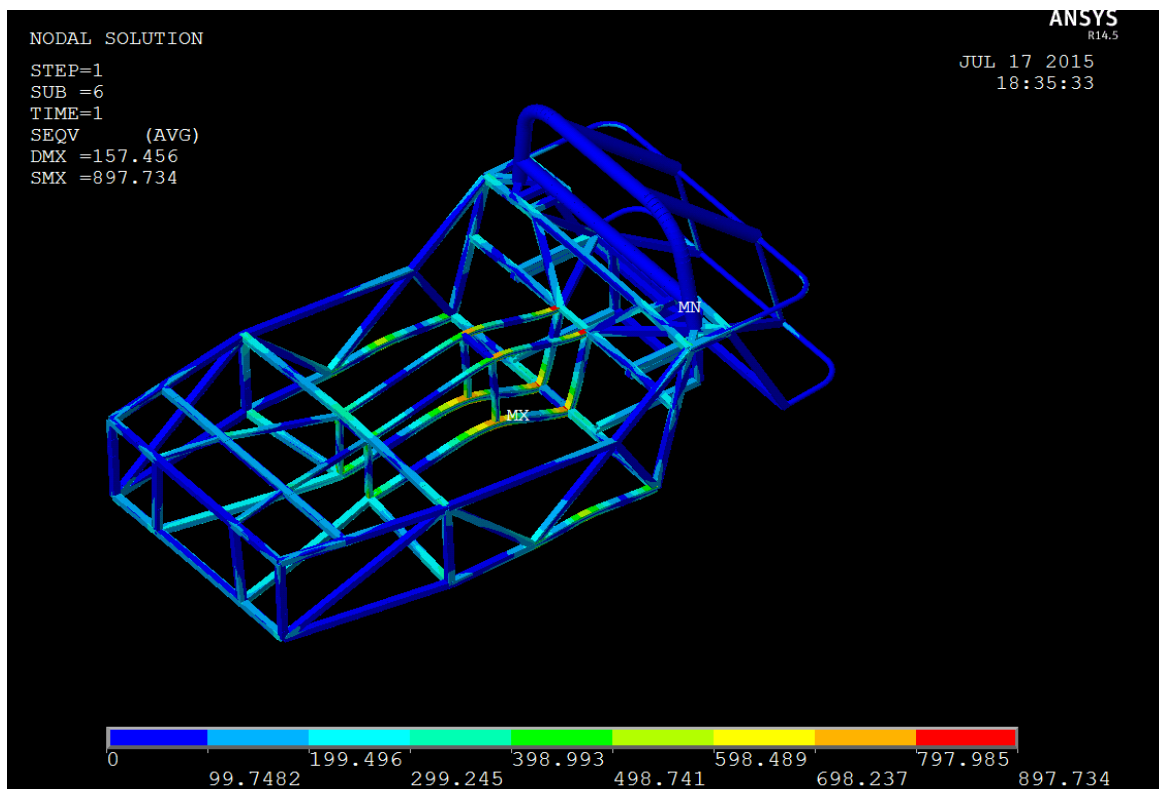
Εικόνα 9.7: Παραμόρφωση στα πάνω σημεία (usum).



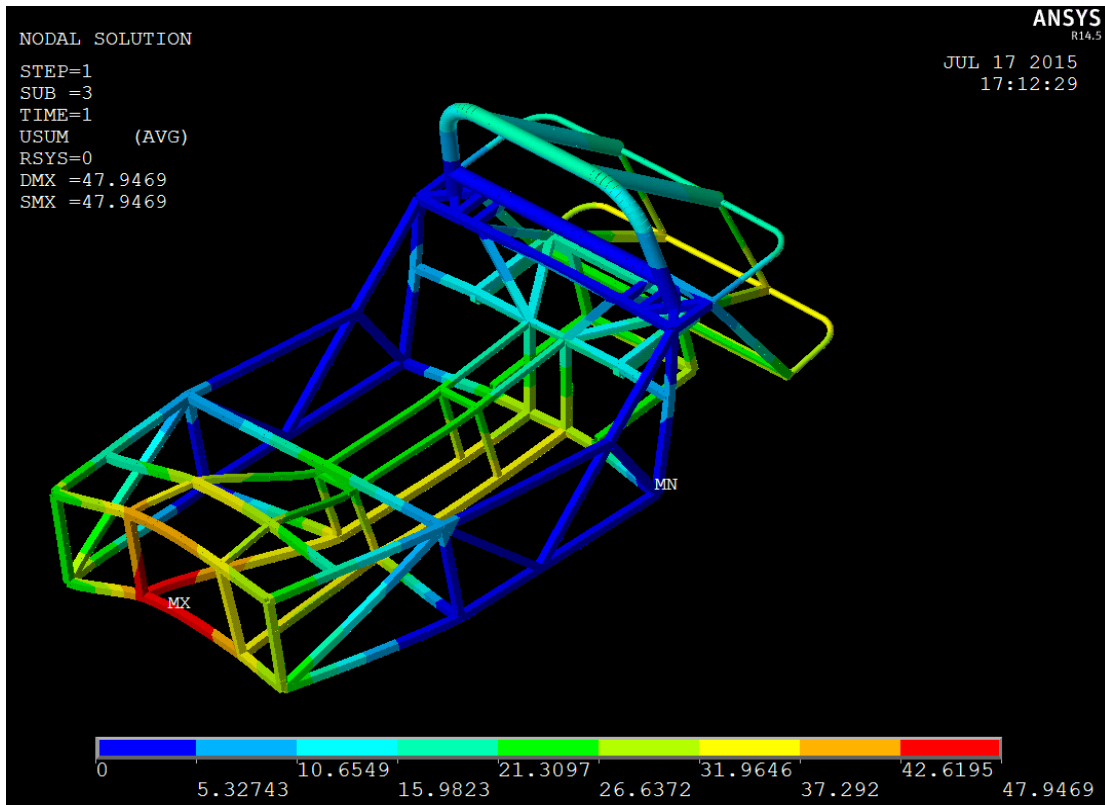
Εικόνα 9.8: Τάσεις Von Mises στα πάνω σημεία.



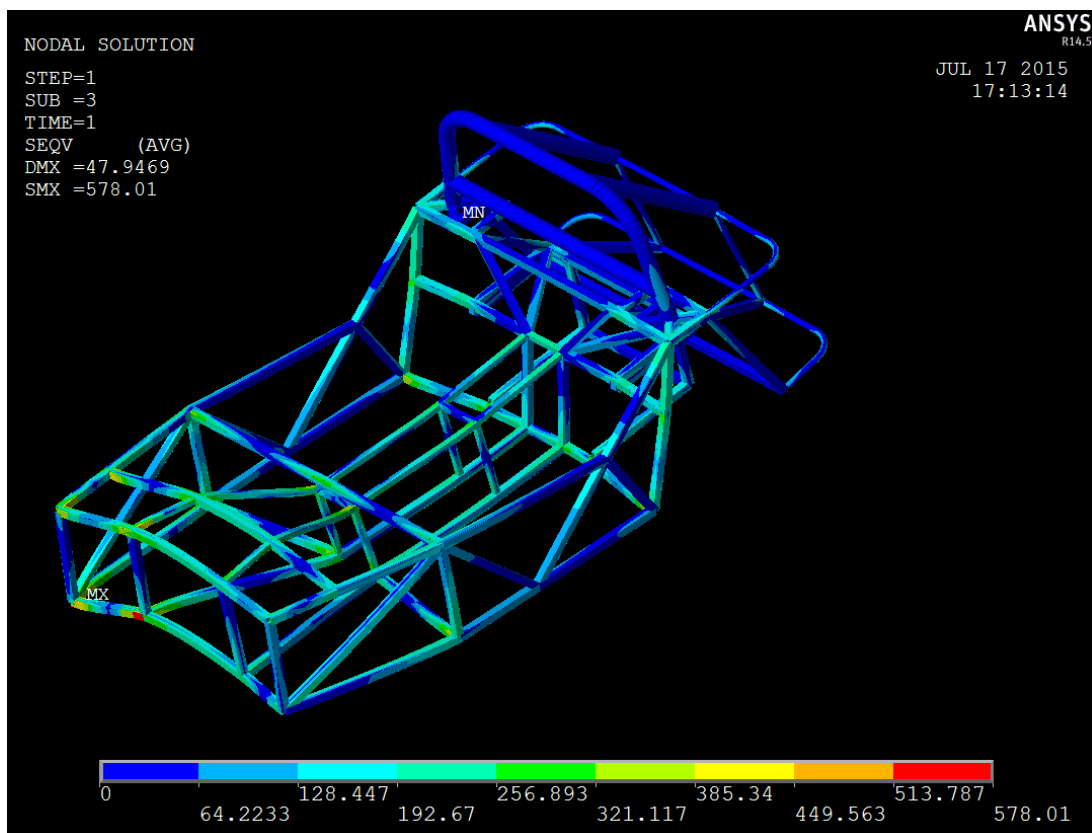
Εικόνα 9.9: Παραμόρφωση στα κάτω σημεία (usum).



Εικόνα 9.10: Τάσεις Von Mises στα κάτω σημεία.



Εικόνα 9.11: Παραμόρφωση εμπρός και πλάγια (usum).



Εικόνα 9.12: Τάσεις Von Mises εμπρός και πλάγια.

Πίνακας 9.2: Αρχικό κριτήριο Von Mises.

Χάλυβας	E235	
Όριο διαρροής	235 MPa	
Όριο αντοχής	420 MPa	
ΠΡΟΣΚΡΟΥΣΗ	ΤΑΣΕΙΣ [MPa]	ΑΣΤΟΧΙΑ
Μετωπική	734.185	ναι
Πλάγια	431.538	ναι
Ανατροπή	267.061	όχι
Πάνω σημεία	215.486	όχι
Κάτω σημεία	897.734	ναι
Εμπρός και πλάγια	578.010	ναι

Πίνακας 9.3: Παραμορφώσεις.

Χάλυβας	E235	
Μέγιστη επιτρεπτή	25 [mm]	
ΠΡΟΣΚΡΟΥΣΗ	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ [mm]	ΑΣΤΟΧΙΑ
Μετωπική	329.351	ναι
Πλάγια	35.267	ναι
Ανατροπή	19.538	όχι
Πάνω σημεία	7.393	όχι
Κάτω σημεία	157.456	ναι
Εμπρός και πλάγια	47.947	ναι

Παρατηρούμε ότι το πλαίσιο μας δεν ανταπεξέρχεται με το συγκεκριμένο υλικό στις περισσότερες δοκιμασίες, ενώ παρατηρείται θραύση στις περιπτώσεις της μετωπικής, της πλάγιας, των κάτω σημείων των ζωνών και της εμπρός πλάγιας, αφού η τάση Von Mises είναι μεγαλύτερη από το όριο αντοχής. Για αυτό υιοθετήσαμε του κανονισμούς της Fia για το σχεδιασμό του πλαισίου, οι οποίοι είναι εν γένει πιο αυστηροί και αναφέρονται στη συνέχεια.

10. ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΤΥΠΟΥ FIA

Ο παγκόσμιος οργανισμός αυτοκινήτου ιδρύθηκε το 1904 με σκοπό να εκπροσωπήσει τους διάφορους οργανισμούς αγώνων και τους ιδιοκτήτες των αυτοκινήτων που συμμετείχαν. Την σημερινή εποχή είναι ο μεγαλύτερος θεσμός γύρω από τους αγώνες, θεσπίζει τους κανονισμούς για την ομαλή διεξαγωγή τους αλλά και τους κανόνες ασφαλείας, όπως τους κλωβούς ασφαλείας. Επειδή το πλαίσιο που εξετάζεται παρατηρήθηκε ότι αποτυγχάνει στο μεγαλύτερο αριθμό δοκιμών, με βάση αυτούς τους κανόνες γίνεται χρήση και σχεδίαση του κλωβού ασφαλείας. Πρότυπο ήταν ο κλωβός ασφαλείας που χρησιμοποιείται για τα συγκεκριμένα αυτοκίνητα όπως φαίνεται στην Εικ. 10.1.



Εικόνα 10.1: Κλωβός ασφαλείας της εταιρείας Caterham.

Επειδή λοιπόν μπορούσε να σχεδιαστεί από την αρχή το πλαίσιο, προτιμήθηκε ο εγκιβωτισμός του στο υπάρχον πλαίσιο ως μια ολότητα. Για την ενέργεια αυτή χρησιμοποιήθηκε ως πρότυπο το μοντέλο της MK engineering (Εικ. 10.2), αλλά και το Ariel nomad (Εικ. 10.3) που αποτελεί μια πιο μοντέρνα εκδοχή των τόσο ελαφριών και γρήγορων αυτοκινήτων.

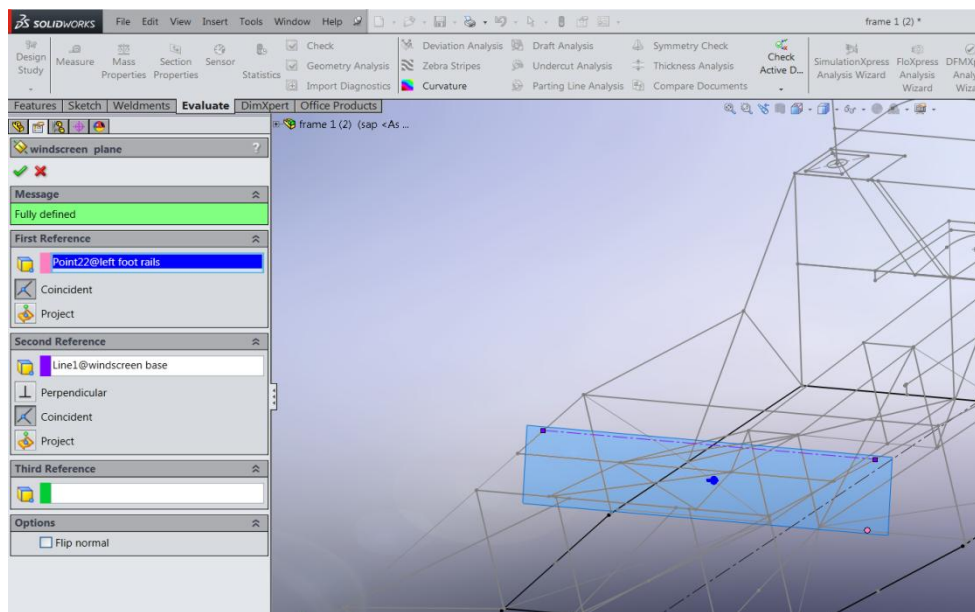


Εικόνα 10.2: Εγκλιβωτισμός του κλωβού ασφαλείας της MK engineering.

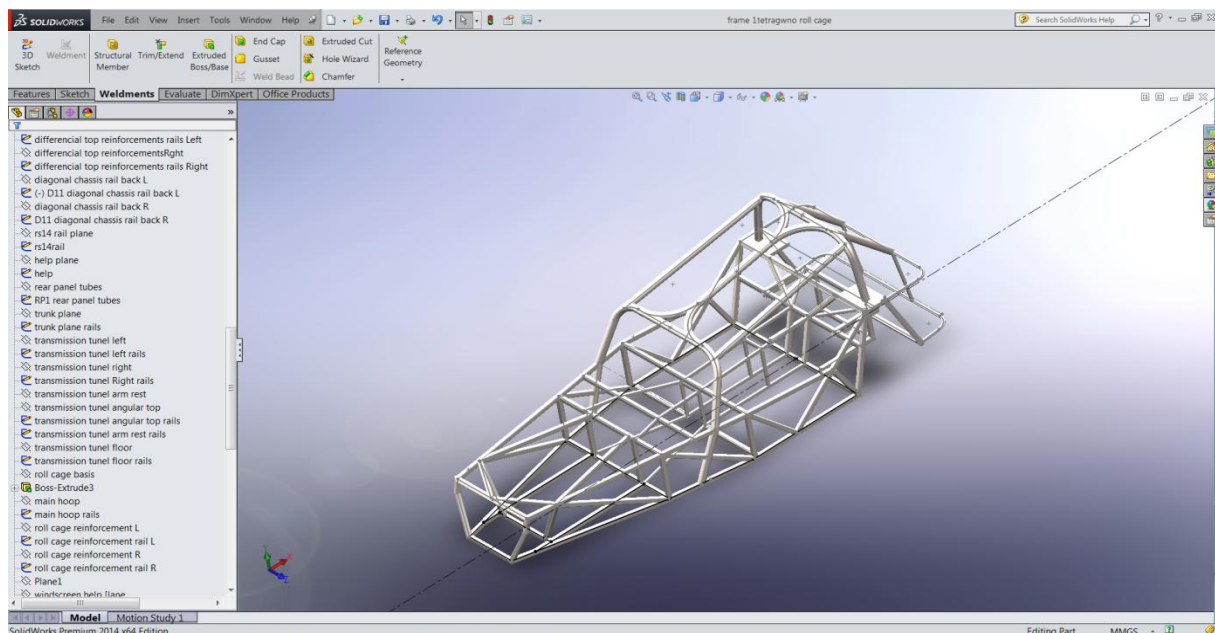


Εικόνα 10.3: Ariel Nomad, το πλαίσιο και ο κλωβός ασφαλείας αποτελούν μια ολότητα.

Ακολουθώντας τους κανόνες του Fia που περιγράφουν γενικά για το σχεδιασμό των κλωβών ασφαλείας και έχοντας υπόψη τον ήδη υπάρχοντα, σχεδιάστηκε στο SolidWorks μια προσέγγιση του υπάρχοντος εγκεκριμένου κλωβού ασφαλείας μιας και οι διαστάσεις του εγκεκριμένου δεν υπάρχουν. Το περίγραμμα του εμπρόσθιου παρμπρίζ χρησιμοποιήθηκε για την σχεδίαση της μπροστά μπάρα ανατροπής, ενώ προστέθηκαν και τα μέλη που συνδέουν την μπροστά μπάρα ανατροπής με την πίσω, στα πρότυπα των υπάρχοντων κλωβών ασφαλείας. Παρακάτω ακολουθούν εικόνες 10.4 και 10.5 που δείχνουν τον εν λόγω σχεδιασμό.



Εικόνα 10.4: Σχεδιασμός του επιπέδου για την μπροστά μπάρα ανατροπής.



Εικόνα 10.5: Το πλαίσιο ολοκληρωμένο με το καινούργιο κλωβό ασφαλείας.

Αρχικά βρέθηκαν τα υλικά που απαιτούνται με βάση τους κανονισμούς και το είδος των διατομών που επιτρέπονται. Ο Πίνακας 10.1 ορίζει υλικά ψυχρής έλασης

με περιεκτικότητα σε χάλυβα 0.3%, με όριο αντοχής σε εφελκυσμό το ελάχιστο τα 350 N/mm².

Πίνακας 10.1: Υλικά ψυχρής έλασης.

Material	Minimum tensile strength	Minimum dimensions (mm)	Use
Cold drawn seamless unalloyed carbon steel (see below) containing a maximum of 0.3 % of carbon	350 N/mm ²	45 x 2.5 (1.75"x0.095") or 50 x 2.0 (2.0"x0.083")	Main rollbar (Drawings 253-1 and 253-3) or Lateral rollbars and Rear transverse member (Drawing 253-2)
		38 x 2.5 (1.5"x0.095") or 40 x 2.0 (1.6"x0.083")	Lateral half-rollbars and other parts of the safety cage (unless otherwise indicated in the articles above)

Μετά από έρευνα στο διαδίκτυο παρατηρήθηκε ότι ο χάλυβας E235 είναι εντός των προδιαγραφών έχοντας όριο αντοχής τα 420 MPa. Ο E355 έχει όριο αντοχής τα 580 MPa και περιεκτικότητες σε άνθρακα 0.17% και 0.20 % σύμφωνα με το κατάλογο της εταιρείας παραγωγής σωλήνων TENARIS, μικρότερες του μέγιστου επιτρεπτού. Παρακάτω ακολουθούν πίνακες με χρήσιμες πληροφορίες.

Πίνακας 10.2: Περιεκτικότητα σε άνθρακα.

CHEMICAL ANALYSIS %		
GRADE	C	Si
E235	≤ 0,17	0,15-0,35
E255	≤ 0,21	0,10-0,35
E355	≤ 0,20	0,15-0,35
E410	0,16-0,22	0,15-0,30
1026	0,22-0,28	-
C10	0,07-0,13	0,15-0,35

Πίνακας 10.3: Αντιστοίχιση συμβόλων με μέθοδο παραγωγής. Για αυτήν την εργασία επιλέχθηκε το LC.

CONDITION SUPPLIED

TABLE 3

SYMBOL	DESCRIPTION	PREVIOUS SYMBOL
C	Cold drawn/hard	BK
LC	Cold drawn/soft	BKW
SR	Cold drawn/stress relieved	BKS
A	Annealed	GBK
N	Normalized	NBK
QT	Quench/tempered*	QT

*The mechanical properties and dimensional tolerances are defined upon request.

Πίνακας 10.4: Αντοχή χαλύβων ανά μέθοδο παραγωγής.

MECHANICAL PROPERTIES											
GRADE	N				SR			C		LC	
	Rs (MPa) min	Rm (MPa) min	Rm (MPa) max	A % min	Rs (MPa) min	Rm (MPa) min	A % min	Rm (MPa) min	A % min	Rm (MPa) min	A % min
E235	240	360	460	28	370	440	16	480	6	420	12
E255	255	441	539	23	375	520	12	580	6	520	8
E355	355	510	630	22	520	600	12	650	5	580	8
E410	410	550	700	22	590	690	12	750	4	700	8
C10	215	360	480	25							

Το τρίτο υλικό που χρησιμοποιήθηκε στην μελέτη είναι το χρωμιομολυβδαίνιο 4130, το οποίο χρησιμοποιείται κατά κόρον από τις μεγάλες εταιρείες για αγώνες αλλά και την αεροναυπηγική, αφού συγκεντρώνει τις καλύτερες μηχανικές ιδιότητες. Σύμφωνα με την εταιρεία ASM που παράγει σωλήνες για μικρά αεροσκάφη, το ποσοστό σε άνθρακα είναι όπως φαίνεται στον Πίν. 10.5. Στον Πίν. 10.6 φαίνεται το όριο διαρροής, είναι 435 MPa και το όριο αντοχής είναι 670 MPa, σύμφωνα με την ίδια εταιρεία.

Πίνακας 10.5: Ποσοστό σε άνθρακα.

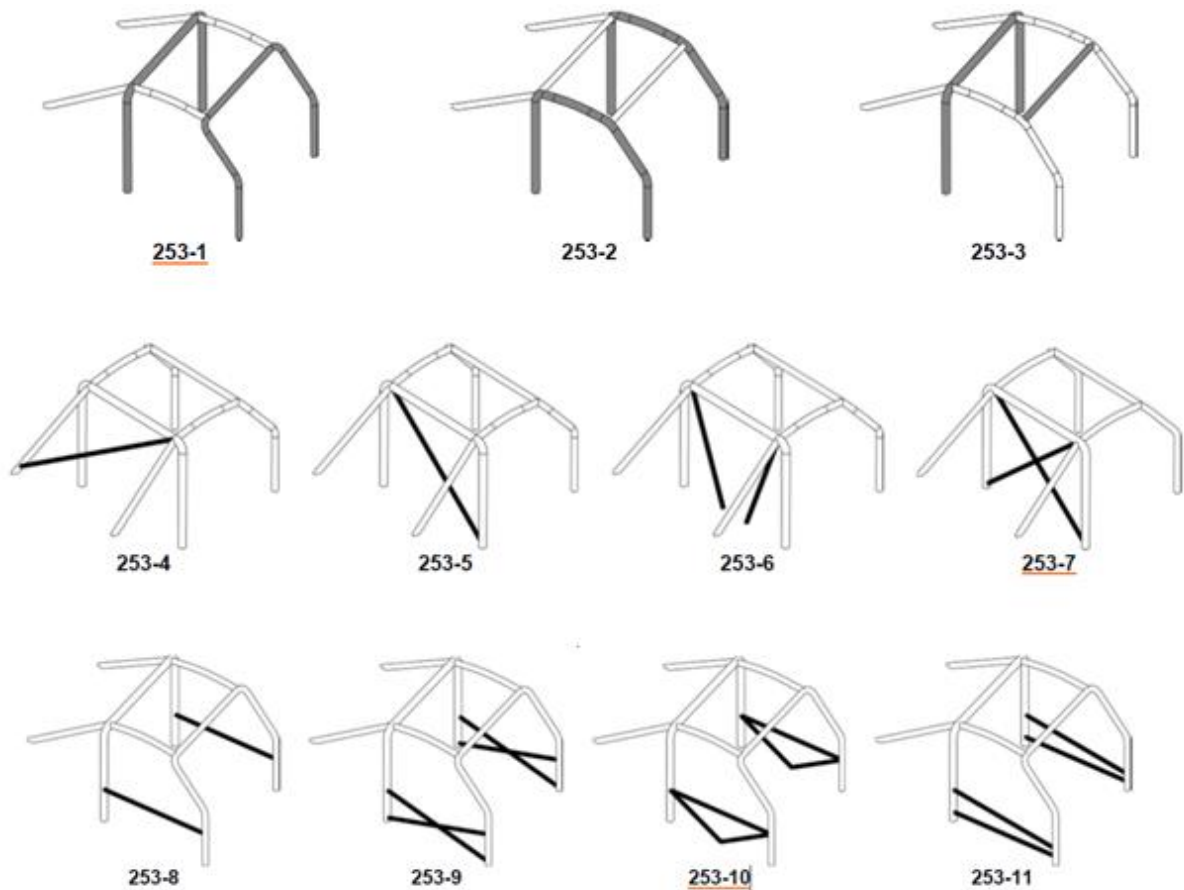
Component	Wt. %
C	0.28 - 0.33
Cr	0.8 - 1.1
Fe	97.3 - 98.22
Mn	0.4 - 0.6
Mo	0.15 - 0.25
P	Max 0.035
S	Max 0.04
Si	0.15 - 0.35

Πίνακας 10.6: Χαρακτηριστικά υλικού.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	<u>7.85 g/cc</u>	0.284 lb/in ³	
Mechanical Properties			
Hardness, Brinell	197	197	
Hardness, Knoop	219	219	Converted from Brinell hardness.
Hardness, Rockwell B	92	92	Converted from Brinell hardness.
Hardness, Rockwell C	13	13	Converted from Brinell hardness. Value below normal HRC range, for comparison purposes only.
Hardness, Vickers	207	207	Converted from Brinell hardness.
Tensile Strength, Ultimate	<u>670 MPa</u>	97200 psi	
Tensile Strength, Yield	<u>435 MPa</u>	63100 psi	
Elongation at Break	<u>25.5 %</u>	25.5 %	in 50 mm
Reduction of Area	<u>60 %</u>	60 %	
Modulus of Elasticity	<u>205 GPa</u>	29700 ksi	Typical for steel
Bulk Modulus	<u>140 GPa</u>	20300 ksi	Typical for steel
Poisson's Ratio	0.29	0.29	Calculated
Izod Impact	<u>87 J</u>	64.2 ft-lb	
Machinability	<u>70 %</u>	70 %	annealed and cold drawn. Based on 100% machinability for AISI 1212 steel.
Shear Modulus	<u>80 GPa</u>	11600 ksi	Typical for steel

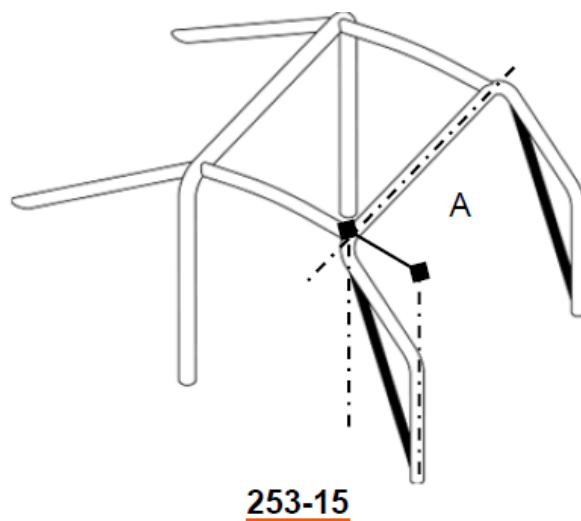
10.1 ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΚΛΩΒΟΥ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

Οι κανονισμοί της FIA ορίζουν, ανάλογα με τον τρόπο δημιουργίας του κλωβού ασφαλείας αν δηλαδή τα κύρια μέρη είναι διαμήκη ή εγκάρσια, τον τρόπο σχεδίασης. Επιλέχτηκε ο εγκάρσιος τρόπος σχεδίασης όπως φαίνεται στο σχήμα 253-1 από το Σχ. 10.1. Για την ενίσχυση της πίσω μπάρας ανατροπής επιλέχθηκαν δύο διαγώνια μέρη όπως στο σχήμα 253-7 του Σχ. 10.1. Για την ενίσχυση στις πόρτες λόγω του σχεδίου του αυτοκινήτου αναγκαστικά επιλέγουμε το σχήμα 253-10 του Σχ. 10.1. Για το πάνω σημείο του κλωβού ασφαλείας ακολουθήθηκε ως πρότυπο το πλαίσιο που φαίνεται στην αναφερθείσα πιο πάνω Εικ. 10.1.



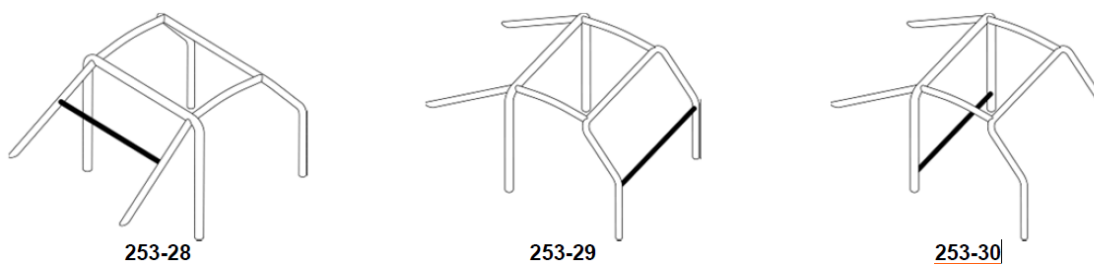
Σχήμα 10.1:Κλωβός ασφαλείας. Αρχικά φαίνονται τα κύρια μέρη του κλωβού. Έπειτα αναφέρονται οι ενισχύσεις της πίσω μπάρας ανατροπής ενώ τέλος αναφέρονται οι ενισχύσεις των πορτών. Οι τύποι που επιλέχθηκαν είναι υπογραμμισμένοι.

Επειδή η κλίση του εμπρόσθιου παρμπρίζ είναι μεγαλύτερη από 20 μοίρες, βάσει των κανονισμών τοποθετήσαμε ενίσχυση όπως στο σχήμα 253-15 του Σχ. 10.2.



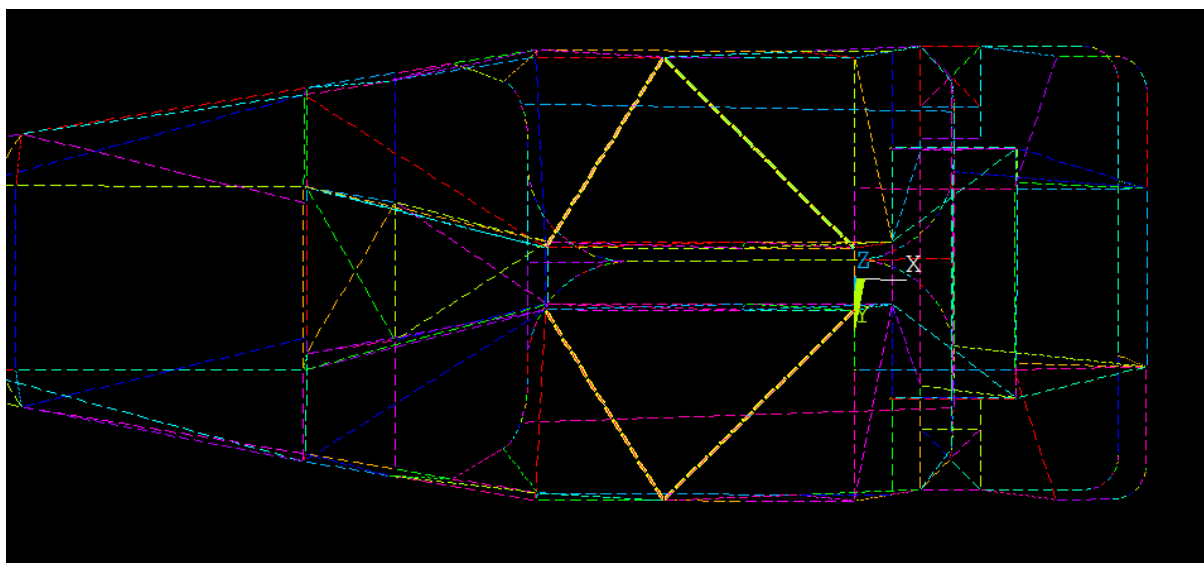
Σχήμα 10.2: Ενίσχυση εμπρόσθιας μπάρας ανατροπής.

Τέλος για την εγκάρσια ενίσχυση της πίσω μπάρας ανατροπής χρησιμοποιήθηκε ο τρόπος που περιγράφεται στο σχήμα 253-30 του Σχ. 10.3.



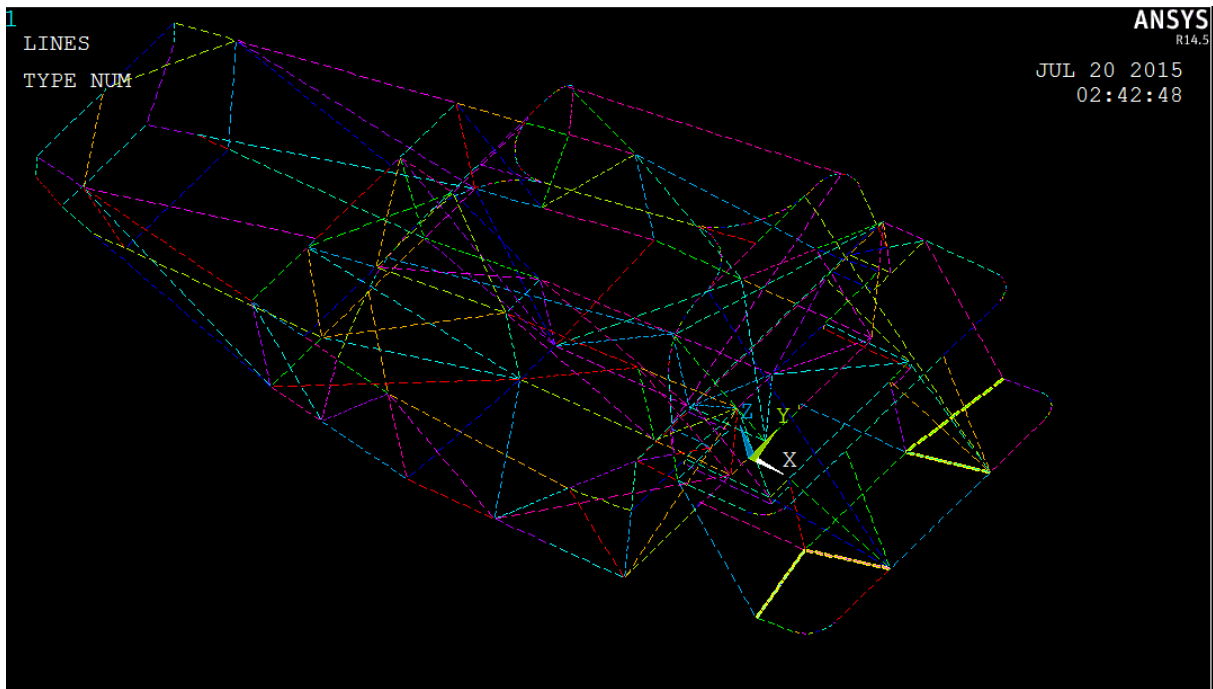
Σχήμα 10.3: Εγκάρσια ενίσχυση της πίσω μπάρας ανατροπής.

Ουσιαστικά διατηρήθηκε η γεωμετρία του υπάρχοντος πλαισίου αλλάζοντας το μέγεθος των διατομών περιμετρικά, από τετράγωνη διατομή 25 x 25 mm σε Φ50 εξωτερική διάμετρο. Όμοια οι διαστάσεις των σωλήνων που σχηματίζουν το κεντρικό τούνελ μετάδοσης αυξήθηκαν από τετραγωνική διατομή 19 x 19 mm σε Φ38 εξωτερική διάμετρο. Η επιλογή τους έγινε με βάση τους κανονισμούς της FIA όπως αναφέρεται στον πίνακα των υλικών Πιν. 10.1. Επιπλέον τοποθετήθηκαν δύο σωλήνες εξωτερικής διαμέτρου Φ38 κάτω από τα καθίσματα για την ενίσχυση σε περίπτωση πλάγιας πρόσκρουσης, όπως φαίνεται στο Σχ. 10.4.



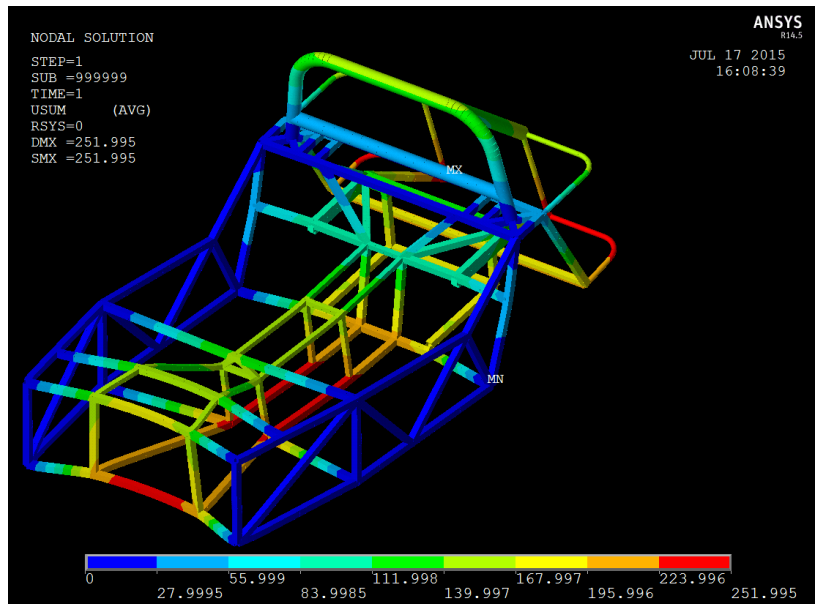
Σχήμα 10.4: Ενίσχυση κάτω από το κάθισμα του οδηγού.

Επιπλέον τοποθετήθηκαν σωλήνες με εξωτερική διάμετρο 38 mm στο σημείο που πατούν οι πίσω ενισχύσεις της πίσω μπάρας ανατροπής και ενώθηκαν με την βάση του διαφορικού, Σχ. 10.5.

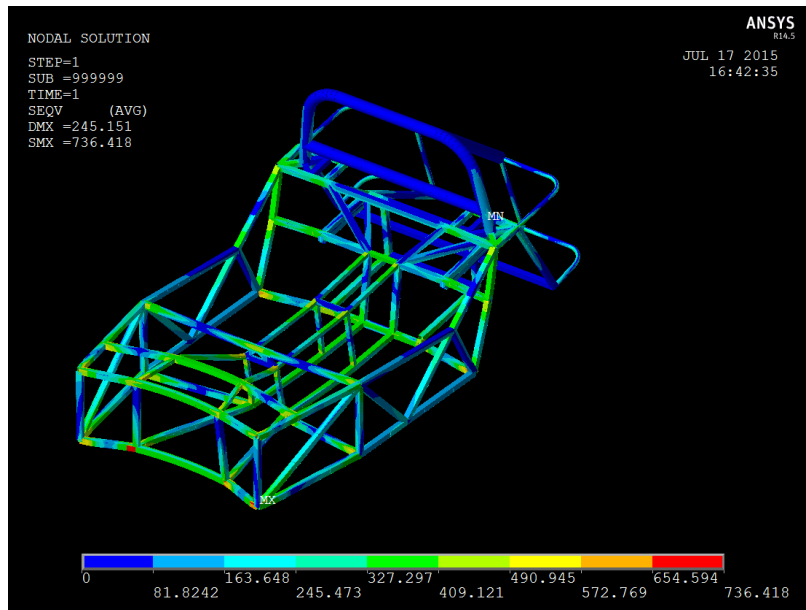


Σχήμα 10.5: Σύνδεσης του πίσω διαφορικού με τις πίσω ενισχύσεις της πίσω μπάρας ανατροπής.

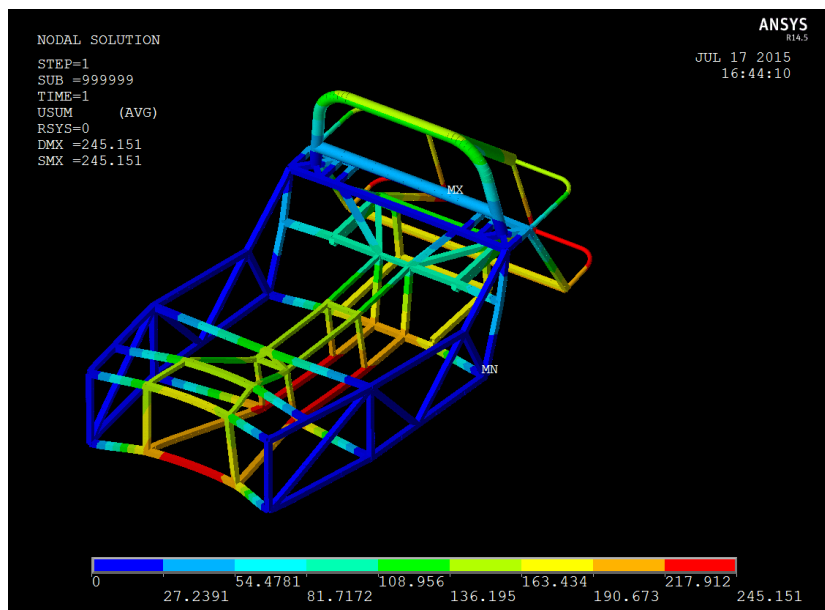
Τέλος τοποθετήθηκαν διαγώνιες ενισχύσεις με σωλήνα εξωτερικής διαμέτρου $\Phi 19$ mm, πάχους 1 mm που σκοπό έχουν την διευκόλυνση στήριξης των πάνελ κάλυψης αυτού. Ωστόσο πριν γίνουν οι αλλαγές στη σχεδίαση, έγινε ανάλυση της αρχικής σχεδίασης με υλικά τον E355 και το χρωμιομολυβδαίνιο 4130. Τα αποτελέσματα φαίνονται στις Εικ. 10.5 έως 10.28 και στους πίνακες 10.7 έως 10.8.



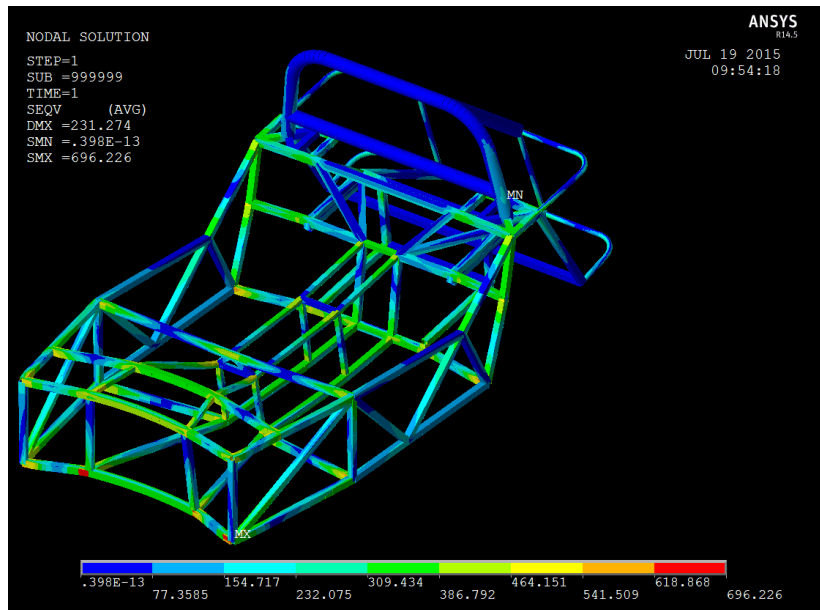
Εικόνα 10.5: Παραμόρφωση μπροστά E355.



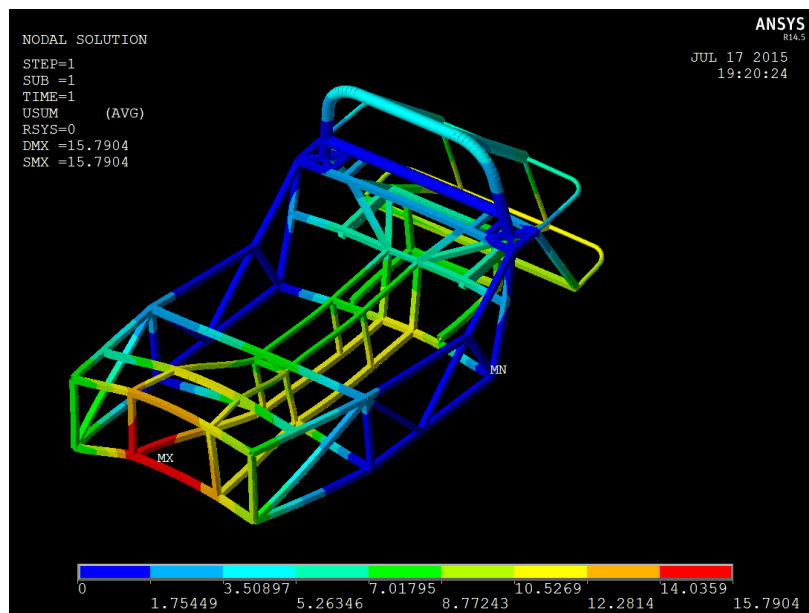
Εικόνα 10.6: Τάσεις Von Mises μπροστά E355.



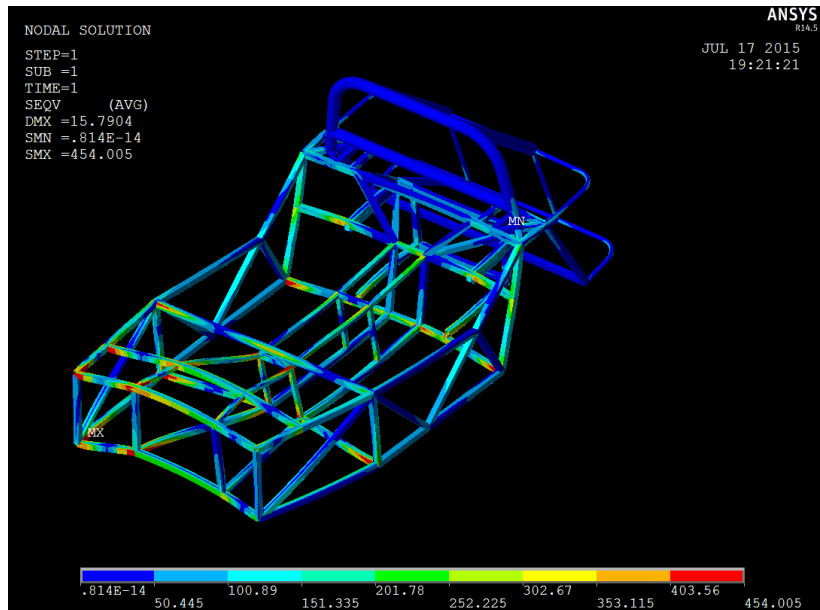
Εικόνα 10.7: Παραμόρφωση μπροστά 4130.



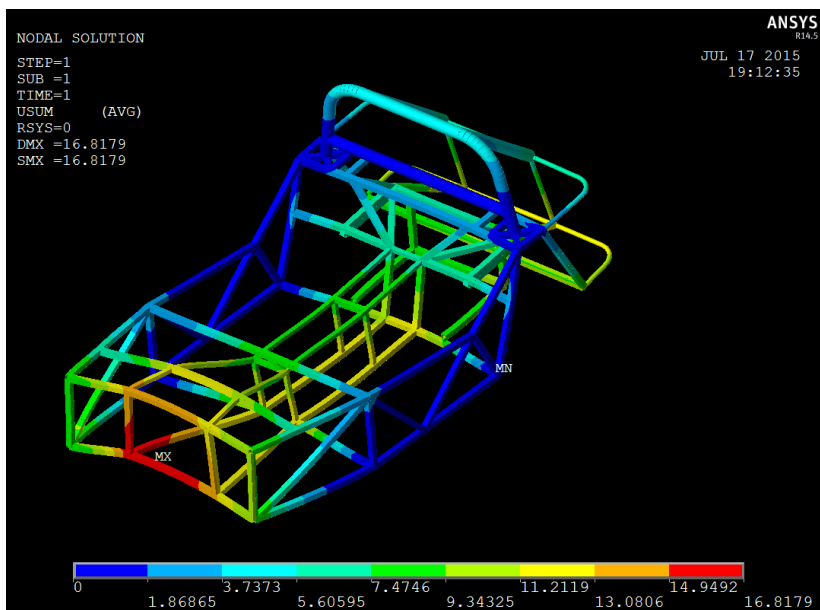
Εικόνα 10.8: Τάσεις Von Mises μπροστά 4130.



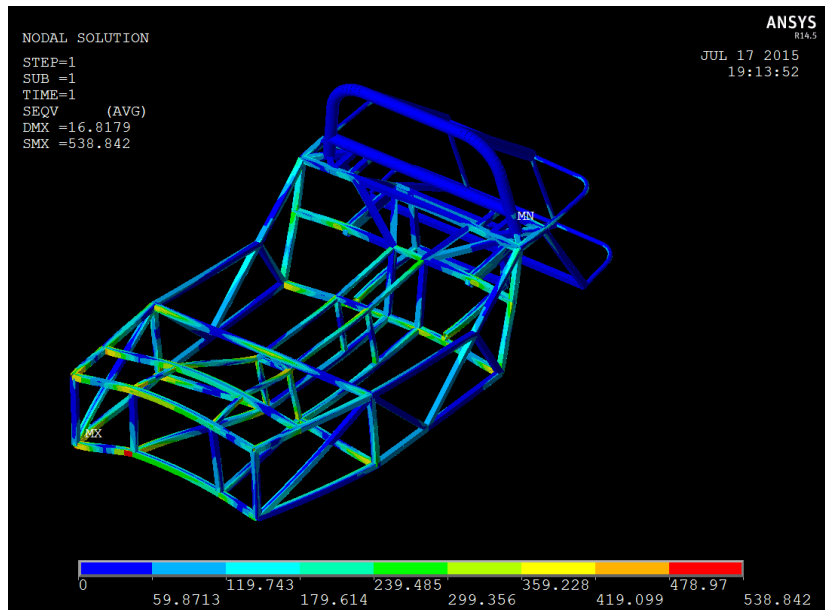
Εικόνα 10.9: Παραμόρφωση εμπρός και πλάγια 4130.



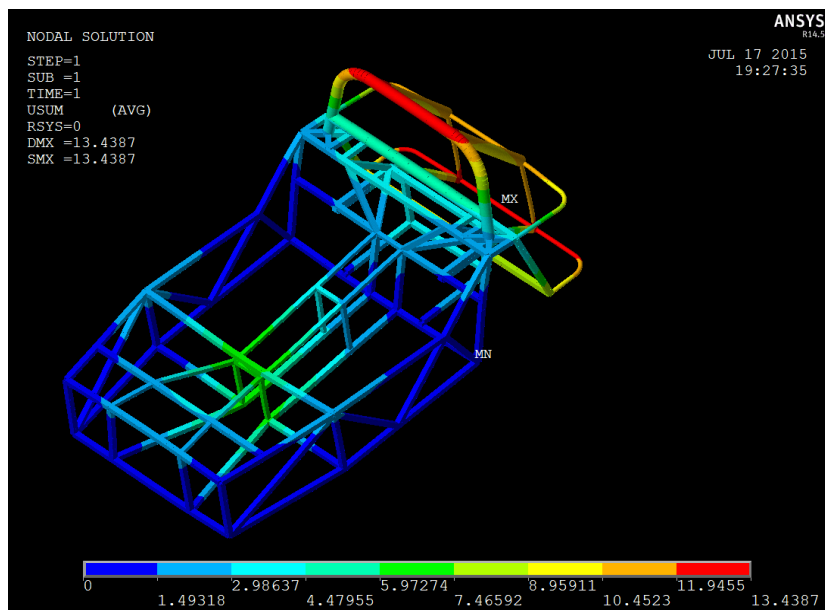
Εικόνα 10.10: Τάσεις Von Mises εμπρός και πλάγια 4130.



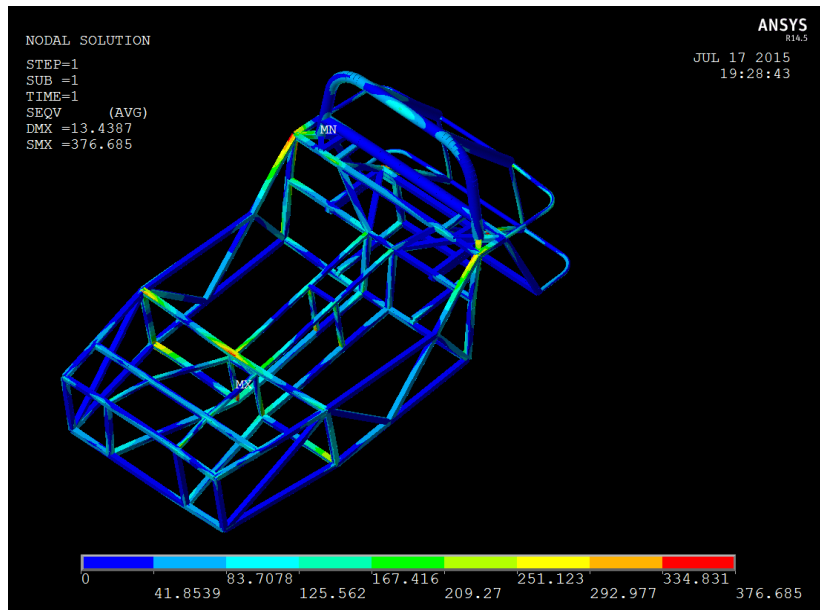
Εικόνα 10.11: Παραμόρφωση εμπρός και πλάγια E355.



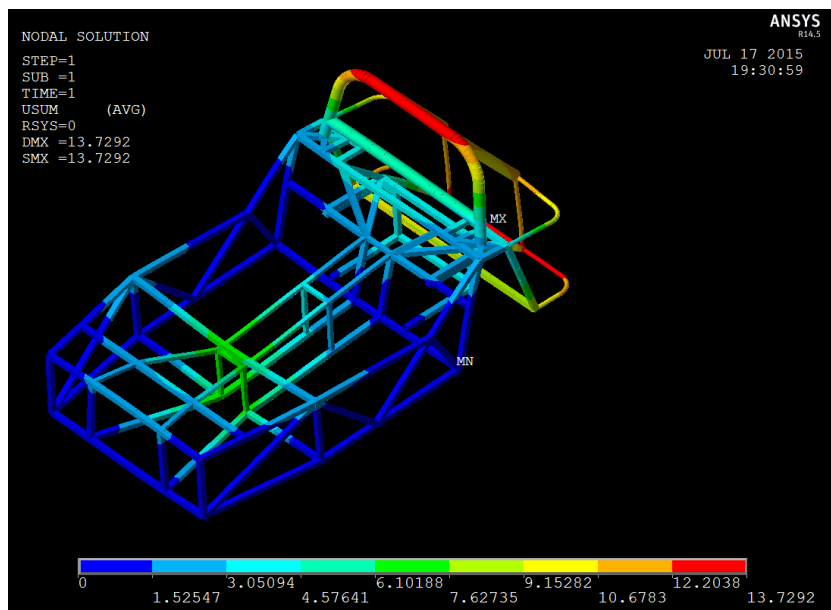
Εικόνα 10.12: Τάσεις Von Mises εμπρός και πλάγια E355.



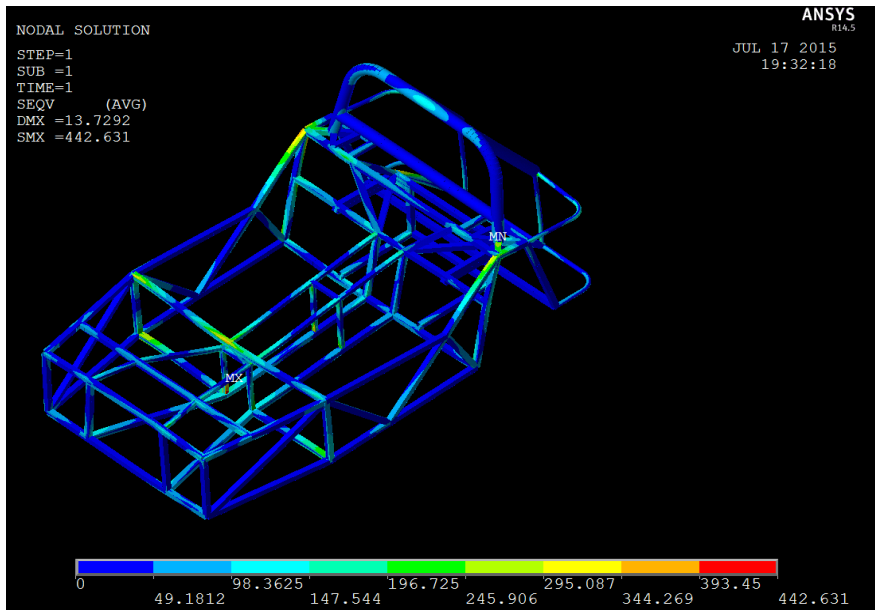
Εικόνα 10.13: Παραμόρφωση από ανατροπή E355.



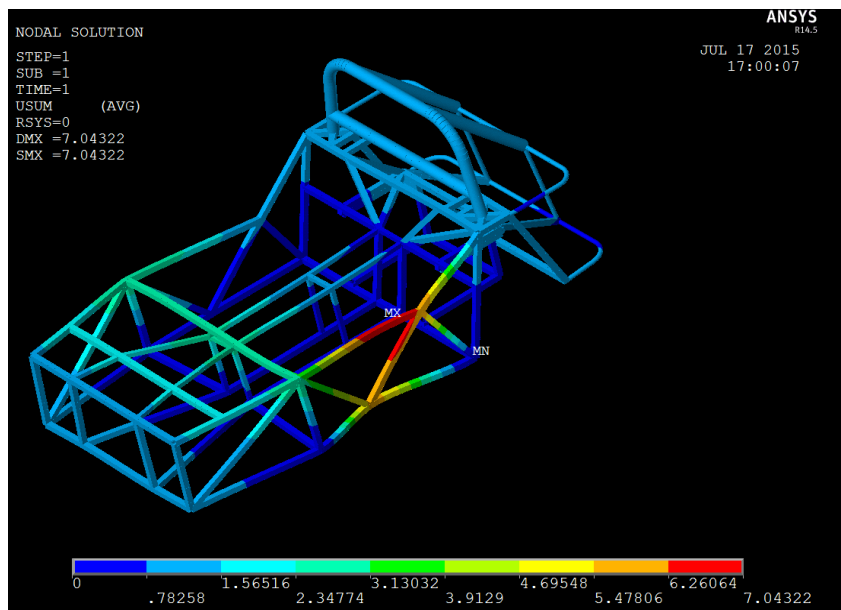
Εικόνα 10.14: Τάσεις Von Mises από ανατροπή Ε355.



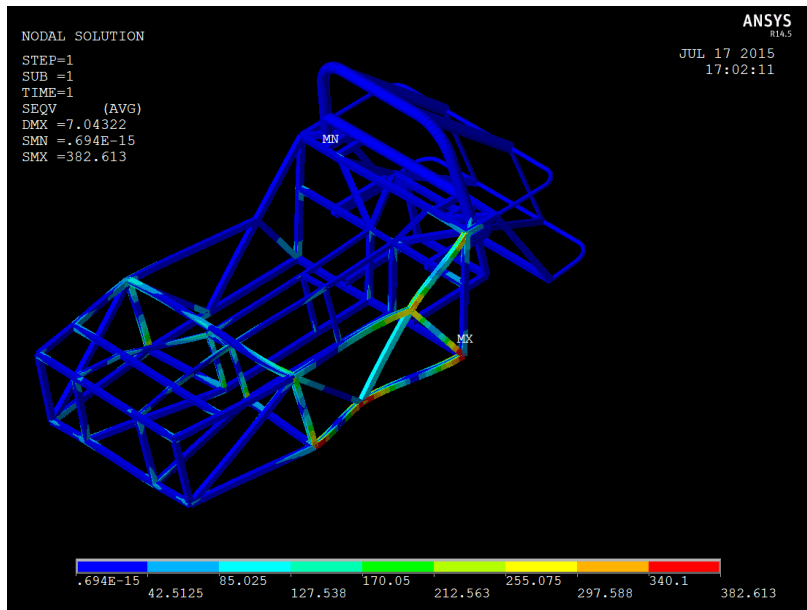
Εικόνα 10.15: Παραμόρφωση από ανατροπή 4130.



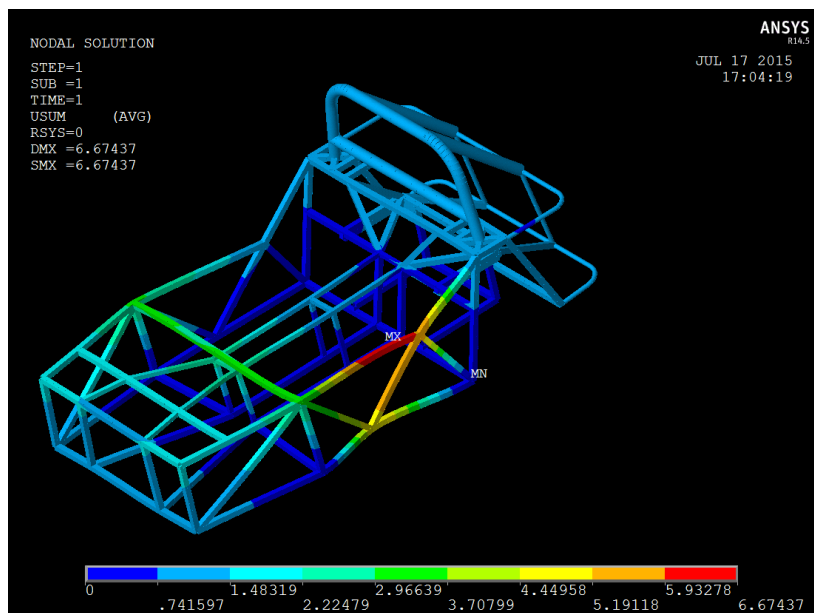
Εικόνα 10.16: Τάσεις Von Mises από ανατροπή 4130.



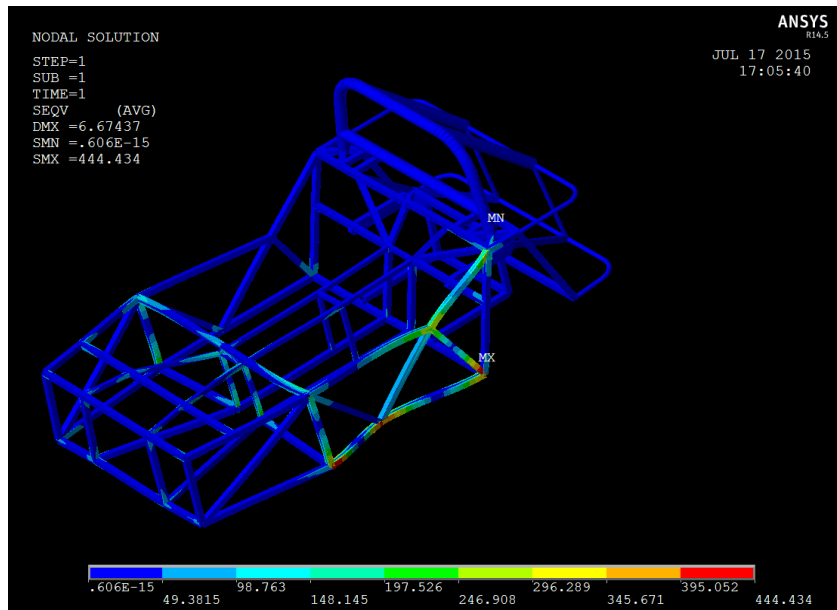
Εικόνα 10.17: Παραμόρφωση πλάγια E355.



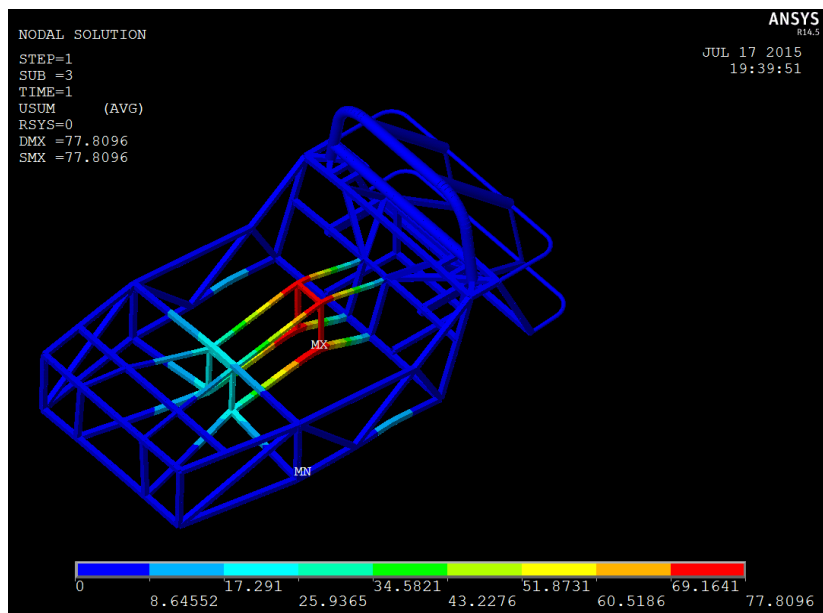
Εικόνα 10.18: Τάσεις Von Mises πλάγια E355.



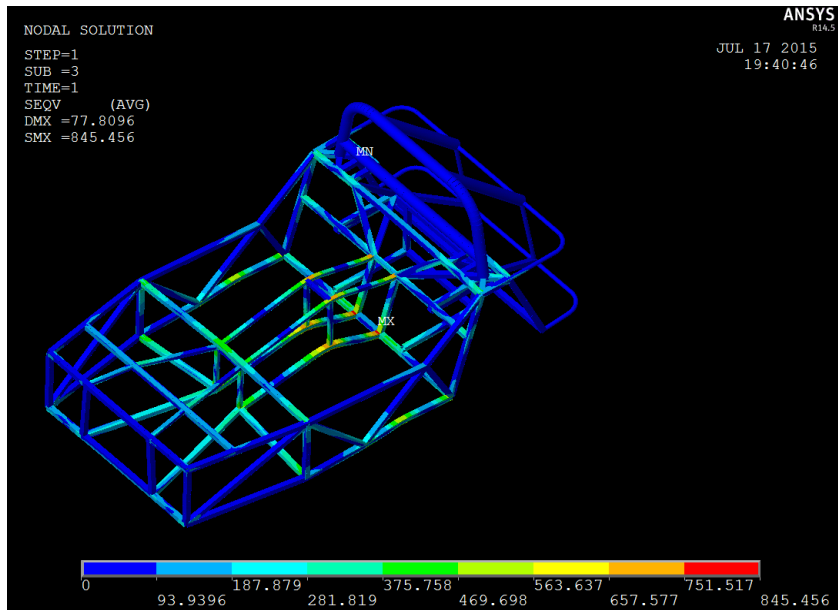
Εικόνα 10.19: Παραμόρφωση πλάγια 4130.



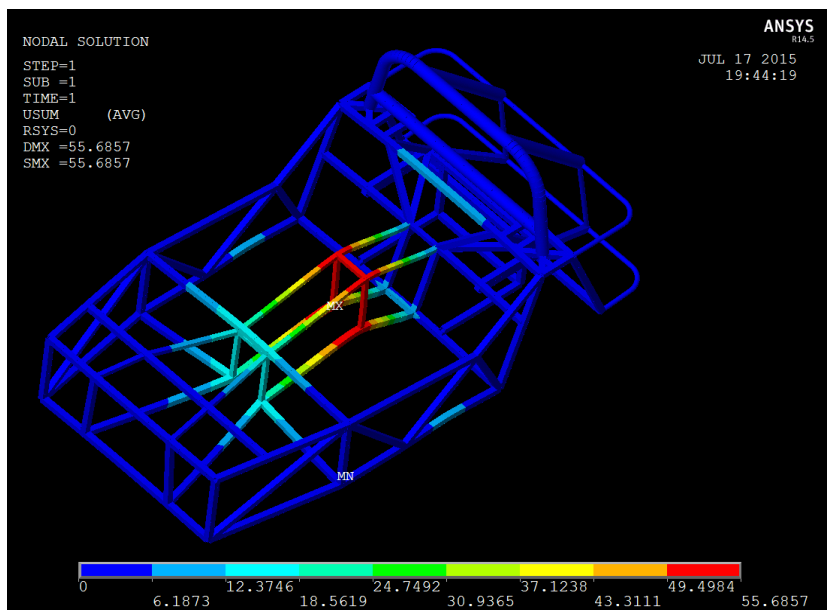
Εικόνα 10.20: Τάσεις Von Mises πλάγια 4130.



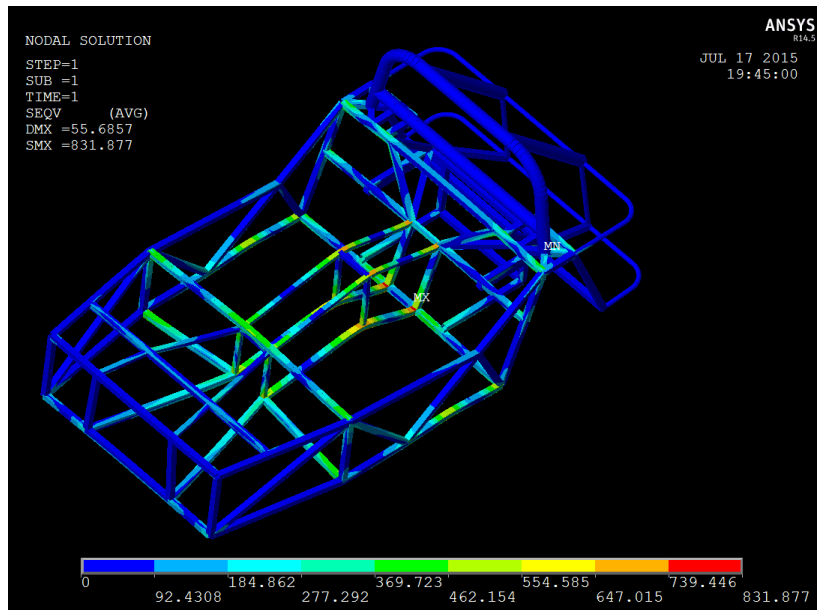
Εικόνα 10.21: Παραμόρφωση στα κάτω σημεία E355.



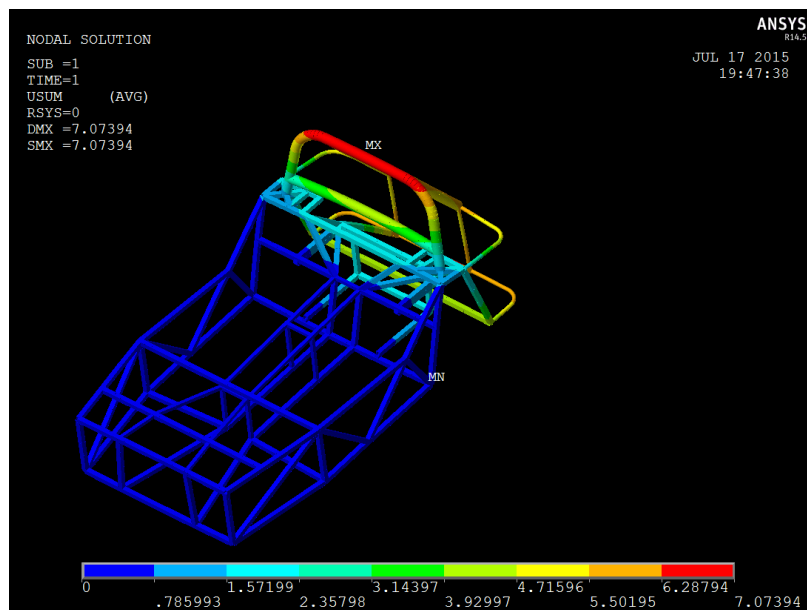
Εικόνα 10.22: Τάσεις Von Mises στα κάτω σημεία E355.



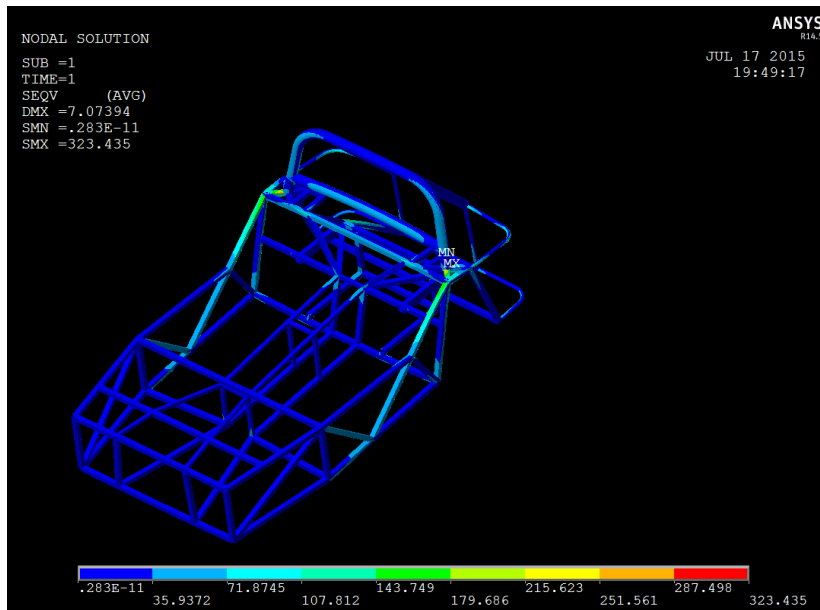
Εικόνα 10.23: Παραμόρφωση στα κάτω σημεία 4130.



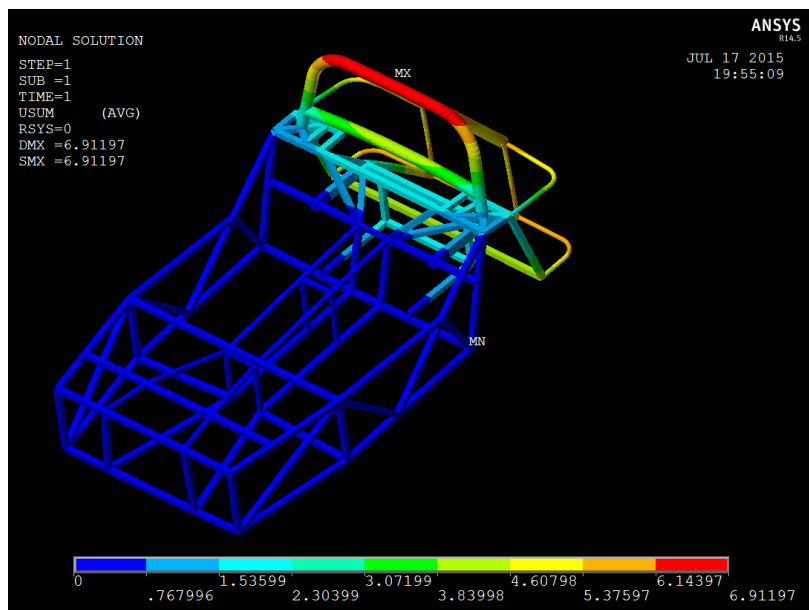
Εικόνα 10.24: Τάσεις Von Mises στα κάτω σημεία 4130.



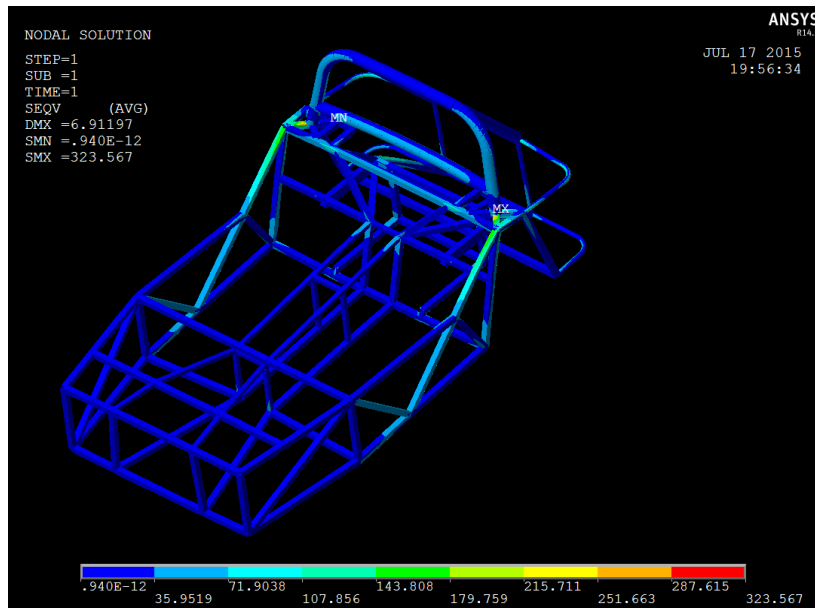
Εικόνα 10.25: Παραμόρφωση στα πάνω σημεία 4130.



Εικόνα 10.26: Τάσεις Von Mises στα πάνω σημεία 4130.



Εικόνα 10.27: Παραμόρφωση στα πάνω σημεία E355.



Εικόνα 10.28: Τάσεις Von Mises στα πάνω σημεία E355.

Πίνακας 10.7: Αρχικό κριτήριο Von Mises.

Χάλυβας	E235	E355	4130	
Όριο διαρροής [MPa]	235	355	435	
Όριο αντοχής [MPa]	420	580	680	
ΠΡΟΣΚΡΟΥΣΗ				
	ΤΑΣΕΙΣ [MPa]			ΑΣΤΟΧΙΑ
Μετωπική	734.185	696.226	736.418	ναι
Πλάγια	431.538	382.613	444.434	όχι
Ανατροπή	267.061	376.685	442.631	όχι
Πάνω σημεία	215.486	323.567	323.435	όχι
Κάτω σημεία	897.734	845.456	831.877	ναι
Εμπρός και πλάγια	578.010	538.842	454.005	E235

Πίνακας 10.8: Παραμορφώσεις.

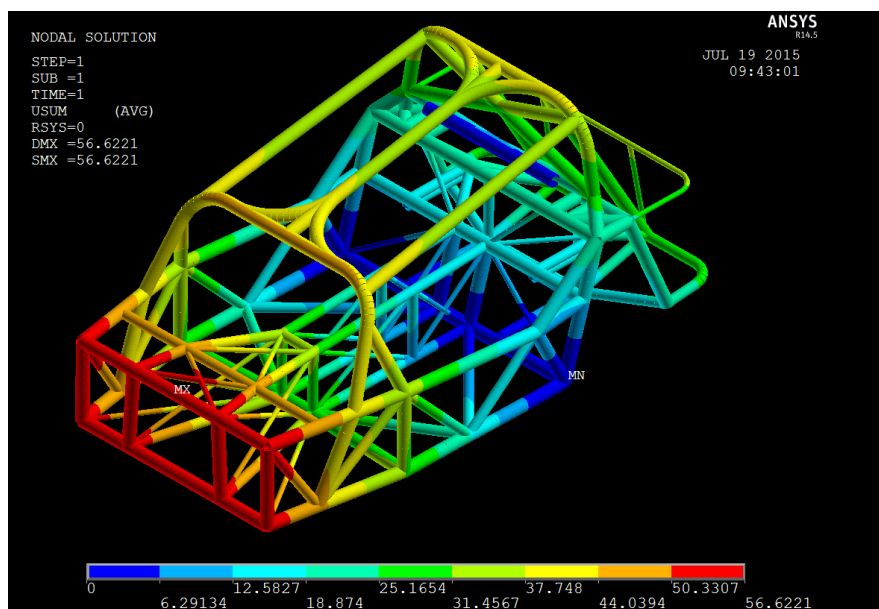
Χάλυβας	E235	E355	4130	
Μέγιστη παραμόρφωση	25 [mm]			
ΠΡΟΣΚΡΟΥΣΗ				
	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ [mm]			ΑΣΤΟΧΙΑ
Μετωπική	329.351	251.995	245.151	ναι
Πλάγια	35.267	7.041	6.674	E235
Ανατροπή	19.538	13.439	13.729	όχι
Πάνω σημεία	7.393	6.912	7.074	όχι
Κάτω σημεία	157.456	77.810	55.686	ναι
Εμπρός και πλάγια	47.947	16.818	15.790	E235

Παρατηρούμε λοιπόν ότι στην περίπτωση χρήσης των άλλων υλικών, το πλαίσιο αστοχεί μόνο στην μετωπική σύγκρουση και στα κάτω σημεία των ζωνών. Με την χρήση του E235 το πλαίσιο αστοχεί και είναι εκτός των κανονισμών στις παραμορφώσεις τόσο για την πλάγια πρόσκρουση όσο και στην εμπρός πλάγια. Δηλαδή με τα άλλα υλικά έχουμε επιτυχία στα 4 από τα 6 τεστ, ενώ με το E235

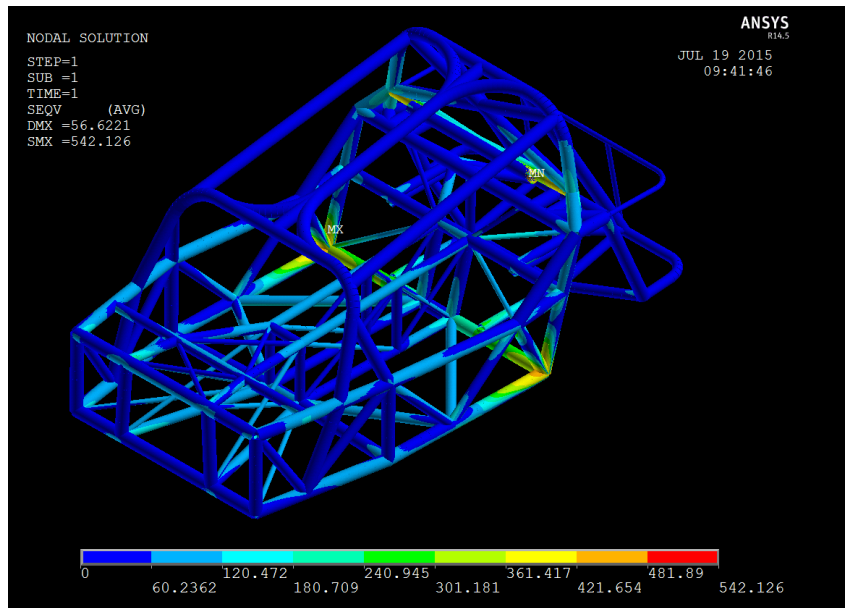
έχουμε επιτυχία μόνο στα 2 από τα έξι. Γεγονός που αναδεικνύει το πόσο χαμηλότερη είναι η ασφάλεια με τη χρήση του συγκεκριμένου υλικού. Τέλος έχουμε θραύση του υλικού στις περιπτώσεις της μετωπικής σύγκρουσης και των κάτω βάσεων των ζωνών στην περιοχή του τούνελ μετάδοσης και για τα τρία υλικά, αφού η ισοδύναμη τάση Von Mises είναι μεγαλύτερη από το όριο αντοχής των υλικών.

11. ΝΕΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

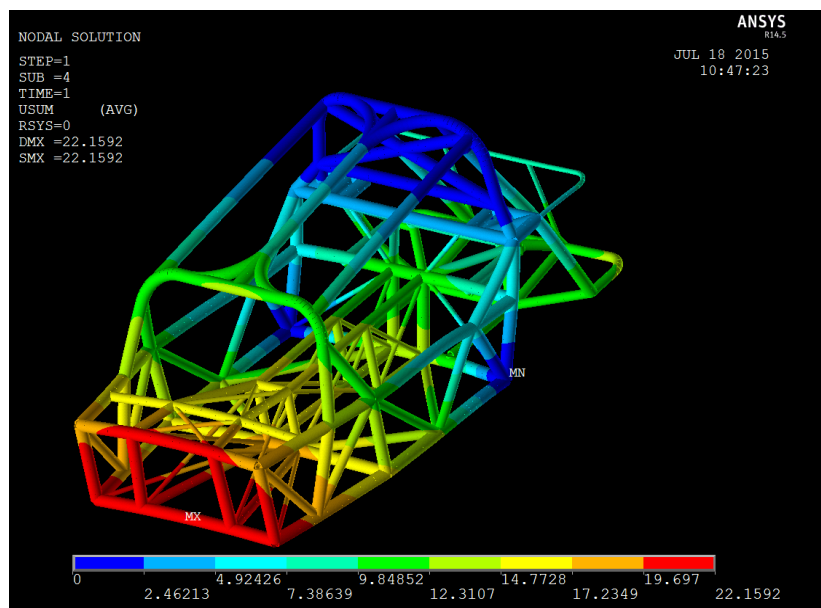
Για την επιλογή της διατομής, κριτήριο ήταν η μετωπική σύγκρουση όπου παρατηρήθηκαν οι μεγαλύτερες παραμορφώσεις. Έτσι επιλύοντας το μοντέλο για διαφορετικές διατομές ξεκινώντας από την κατώτερη με βάση τους κανονισμούς της FIA, δηλαδή αυτή των 2 mm, καταλήξαμε για την περίπτωση του χρωμιομολυβδαινίου στη διατομή των 3 mm για τις σωλήνες με εξωτερική διάμετρο 50 mm. Για αυτές με εξωτερική διάμετρο 38 mm, χρησιμοποιήθηκε αυτή των 3 mm μόνο στο τούνελ μετάδοσης λόγω των δυνάμεων που ασκούνται στο σημείο έναρξής του, αλλά και στην κάτω βάση της ζώνης ασφαλείας. Όμοια καταλήξαμε για το χάλυβα E355 στην επιλογή της διατομής των 4 mm για τις σωλήνες με εξωτερική διάμετρο 50 mm, ενώ για τις σωλήνες του τούνελ μετάδοσης χρησιμοποιήθηκαν σωλήνες πάχους 3 mm. Τέλος για τον χάλυβα E235 χρησιμοποιήθηκαν διατομές με πάχος 5 mm για εξωτερική διάμετρο $\Phi 50$, ενώ αυτές του τούνελ μετάδοσης είναι εξωτερική διάμετρος $\Phi 38$ με πάχος 4 mm. Μεγαλύτερη διάμετρος από 5 mm δεν χρησιμοποιήθηκε διότι είναι δύσκολη στην διαμόρφωσή της, ενώ προσθέτει αρκετό βάρος για ένα αυτοκίνητο επιδόσεων. Εξάλλου όλες οι έγκριτες κατασκευάστριες εταιρείες τέτοιων αυτοκινήτων χρησιμοποιούν αποκλειστικά το χρωμιομολυβδαίνιο για τα πλαίσια τους. Για όλες τις διατομές εκτός καμπίνας χρησιμοποιήθηκαν σωλήνες εξωτερικής διαμέτρου $\Phi 50$ και $\Phi 38$ με πάχος αμφότερες 2 mm. Παρακάτω παρατίθενται στις εικόνες 11.1 έως 11.36 και στους πίνακες 11.1 κα 11.2 τα αποτελέσματα της ανάλυσης του νέου πλαισίου.



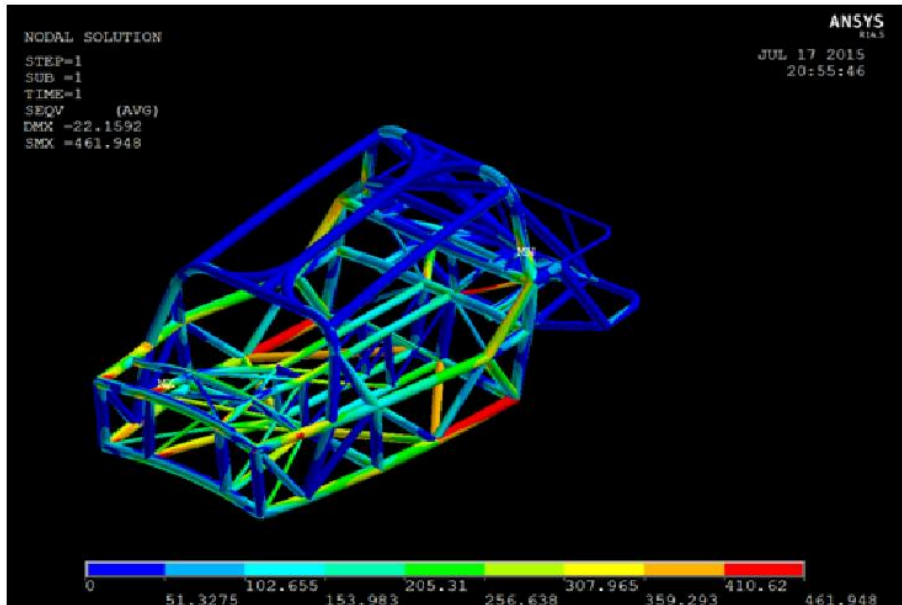
Εικόνα 11.1: Παραμόρφωση μπροστά υλικό χάλυβας E235. Διαστάσεις εξωτερικών σωλήνων $\Phi 50$ με πάχος 5mm. Διαστάσεις τούνελ μετάδοσης $\Phi 38$ με πάχος 3 mm.



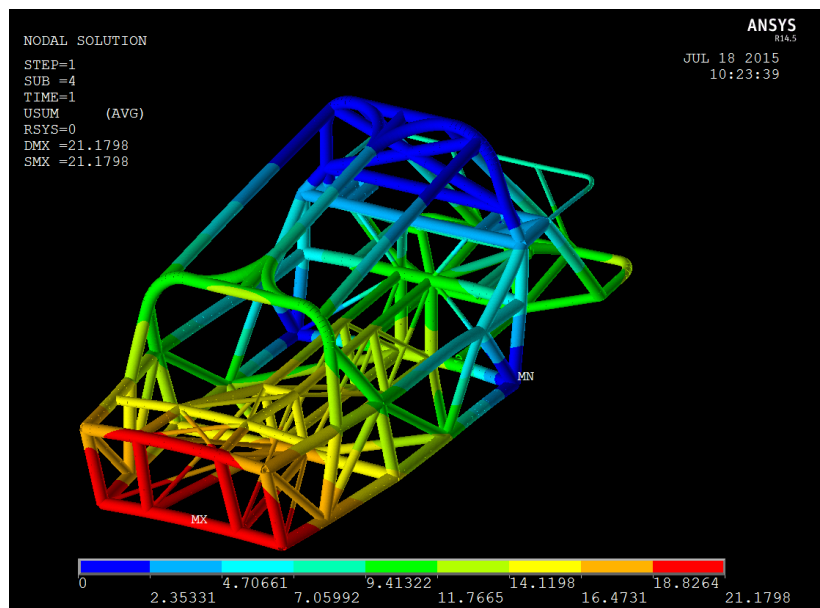
Εικόνα 11.2: Τάσεις Von Mises μπροστά μπροστά υλικό χάλυβας E235. Διαστάσεις εξωτερικών σωλήνων Φ50 με πάχος 5mm. Διαστάσεις τούνελ μετάδοσης Φ38 με πάχος 3 mm.



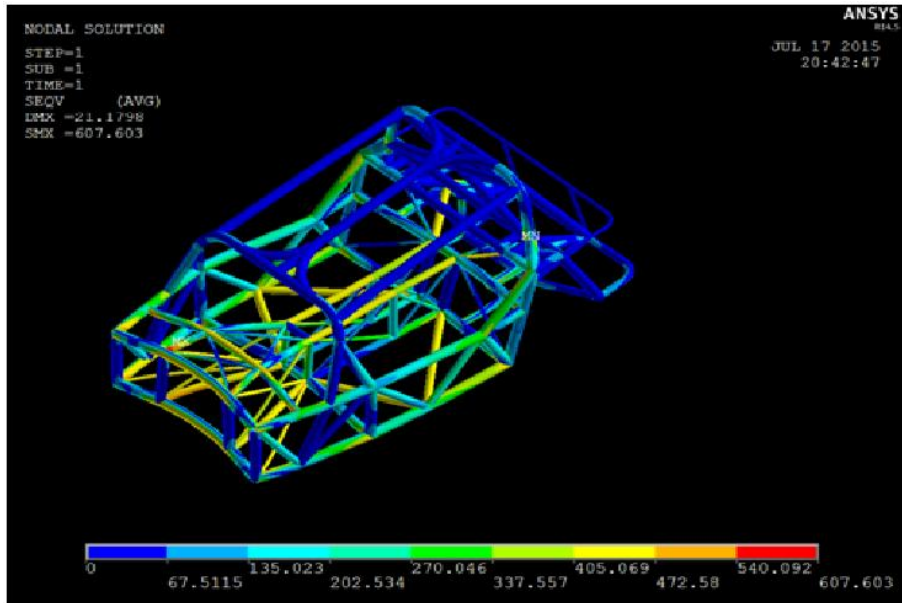
Εικόνα 11.3: Παραμόρφωση μπροστά υλικό χάλυβας E355. Διαστάσεις εξωτερικών σωλήνων Φ50 με πάχος 4mm. Διαστάσεις τούνελ μετάδοσης Φ38 με πάχος 3 mm.



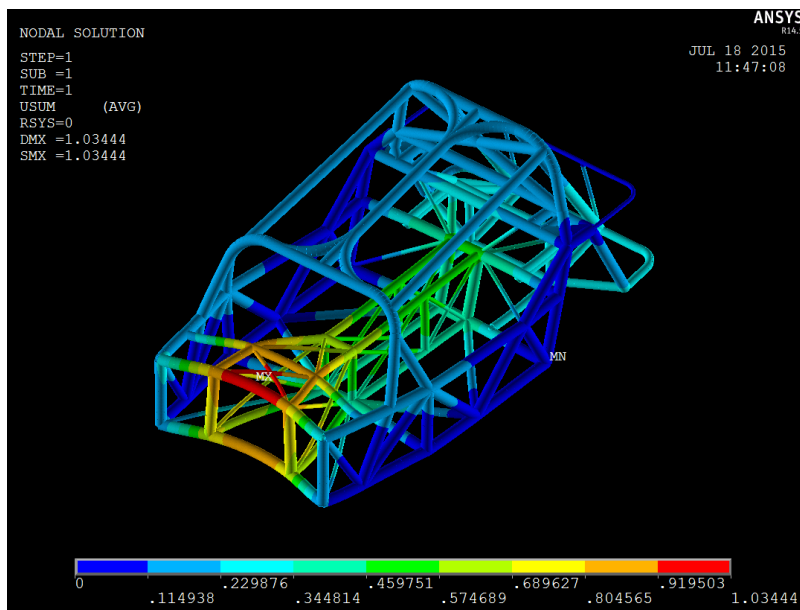
Εικόνα 11.4: Τάσεις Von Mises μπροστά υλικό χάλυβας E355. Διαστάσεις εξωτερικών σωλήνων Φ50 με πάχος 4mm. Διαστάσεις τούνελ μετάδοσης Φ38 με πάχος 3 mm.



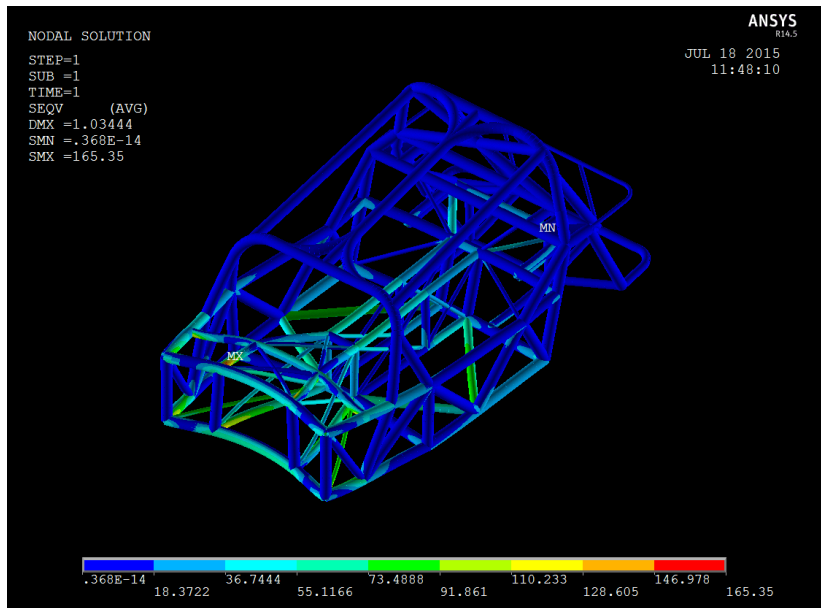
Εικόνα 11.5: Παραμόρφωση μπροστά υλικό χρωμιομολυβδαίνιο 4130. Διαστάσεις εξωτερικών σωλήνων Φ50 με πάχος 3mm. Διαστάσεις τούνελ μετάδοσης Φ38 με πάχος 3 mm.



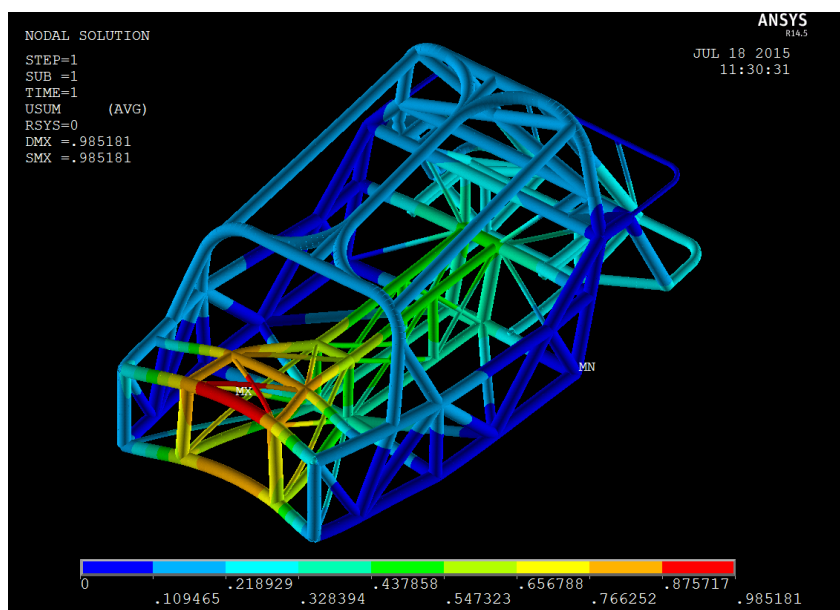
Εικόνα 11.6: Τάσεις Von Mises μπροστά υλικό χρωμιόμολυβδαίνιο 4130. Διαστάσεις εξωτερικών σωλήνων $\Phi 50$ με πάχος 3mm. Διαστάσεις τούνελ μετάδοσης $\Phi 38$ με πάχος 3 mm.



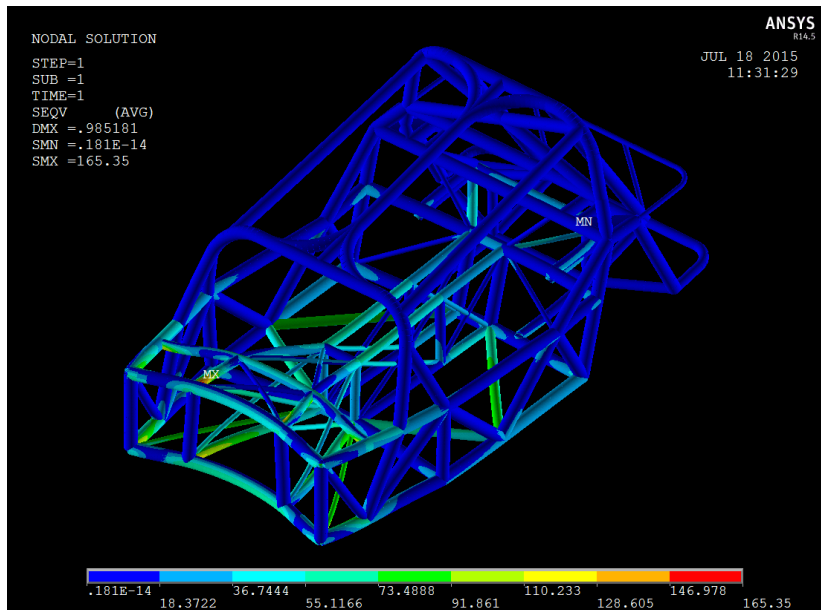
Εικόνα 11.7: Παραμόρφωση εμπρός και πλάγια υλικό χάλυβας E235. Διαστάσεις εξωτερικών σωλήνων $\Phi 50$ με πάχος 5mm. Διαστάσεις τούνελ μετάδοσης $\Phi 38$ με πάχος 3 mm.



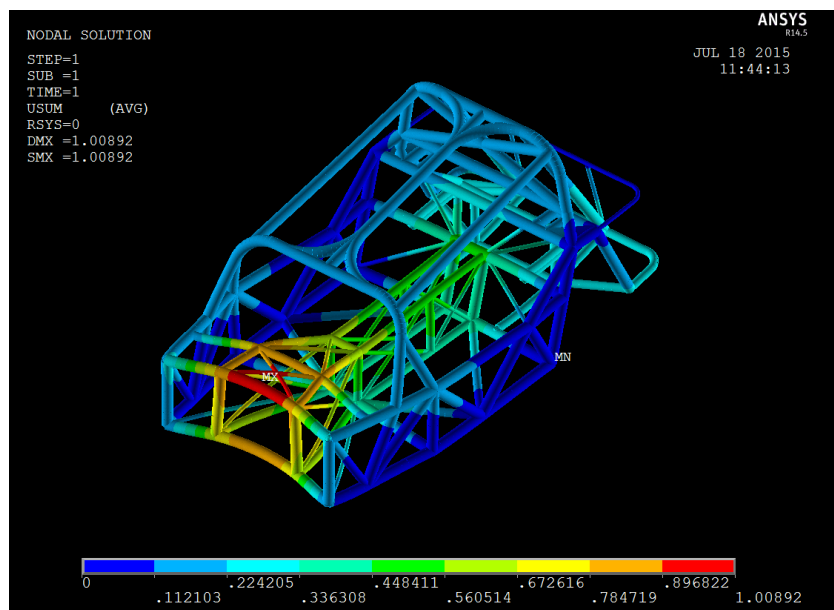
Εικόνα 11.8: Τάσεις Von Mises εμπρός και πλάγια υλικό χάλυβας E235. Διαστάσεις εξωτερικών σωλήνων Φ50 με πάχος 5mm. Διαστάσεις τούνελ μετάδοσης Φ38 με πάχος 3 mm.



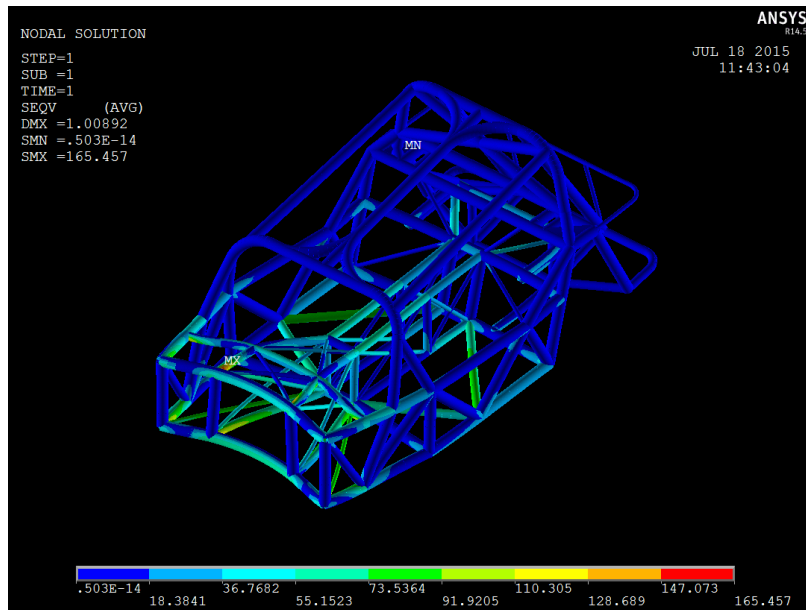
Εικόνα 11.9: Παραμόρφωση εμπρός και πλάγια υλικό χάλυβας E355. Διαστάσεις εξωτερικών σωλήνων Φ50 με πάχος 4mm. Διαστάσεις τούνελ μετάδοσης Φ38 με πάχος 3 mm.



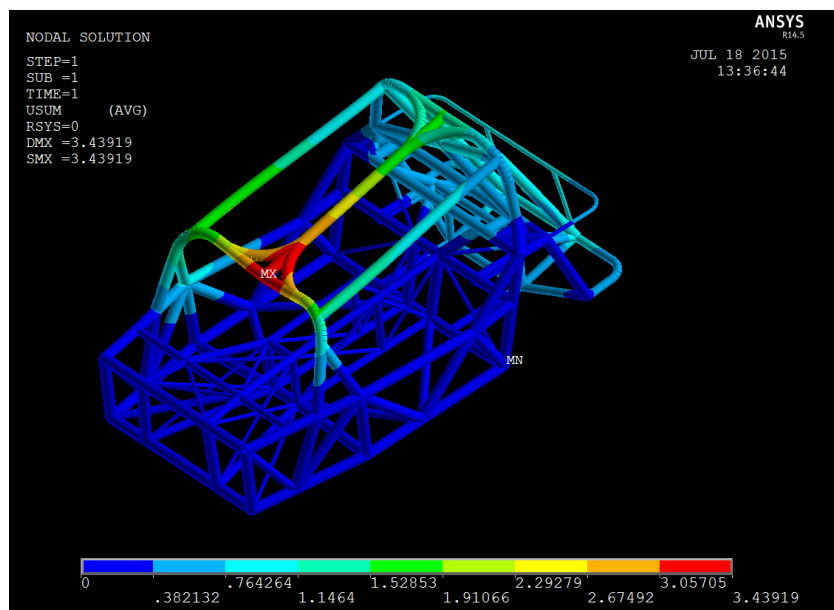
Εικόνα 11.10: Τάσεις Von Mises εμπρός και πλάγια υλικό χάλυβας E355. Διαστάσεις εξωτερικών σωλήνων Φ50 με πάχος 4 mm. Διαστάσεις τούνελ μετάδοσης Φ38 με πάχος 3 mm.



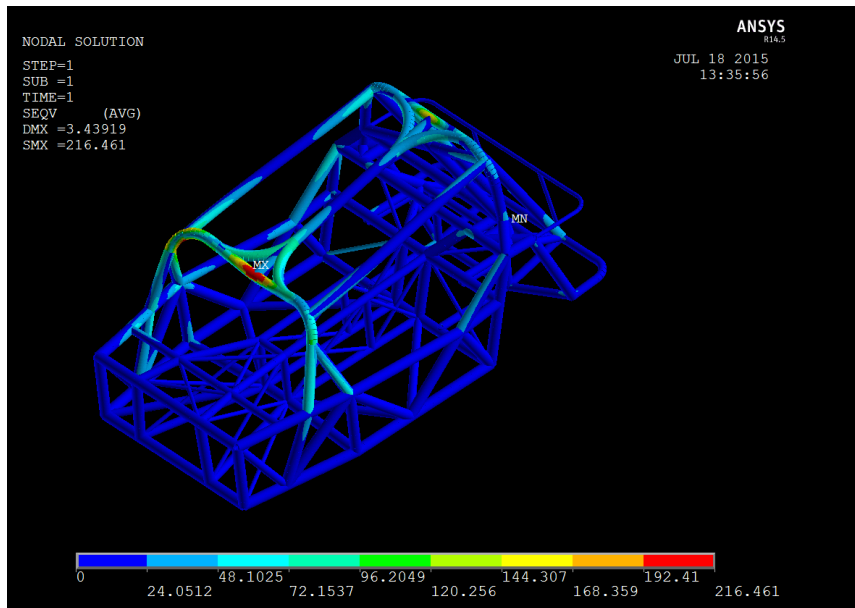
Εικόνα 11.11: Παραμόρφωση εμπρός και πλάγια υλικό χρωμιομολυβδαίνιο 4130. Διαστάσεις εξωτερικών σωλήνων Φ50 με πάχος 3mm. Διαστάσεις τούνελ μετάδοσης Φ38 με πάχος 3 mm.



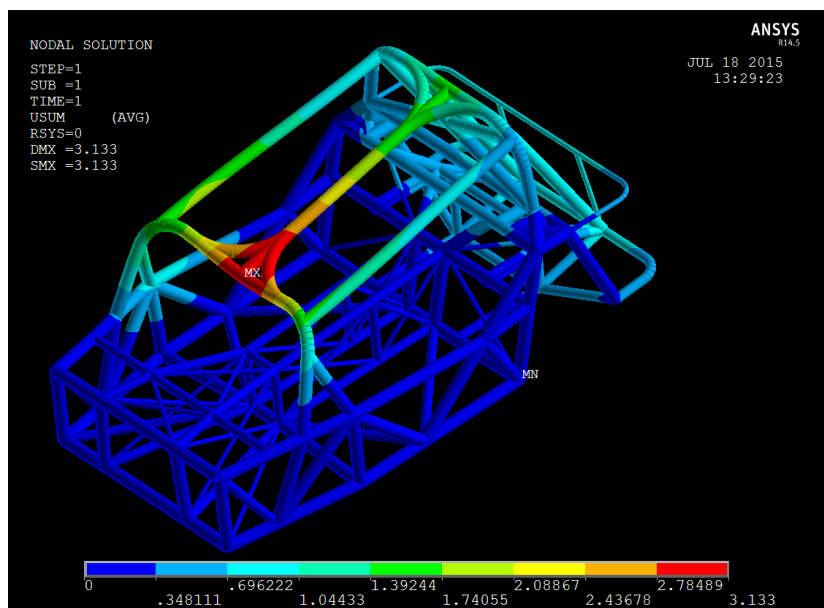
Εικόνα 11.12: Τάσεις Von Mises εμπρός και πλάγια υλικό χρωμομολυβδαίνιο 4130. Διαστάσεις εξωτερικών σωλήνων Φ50 με πάχος 3mm. Διαστάσεις τούνελ μετάδοσης Φ38 με πάχος 3 mm.



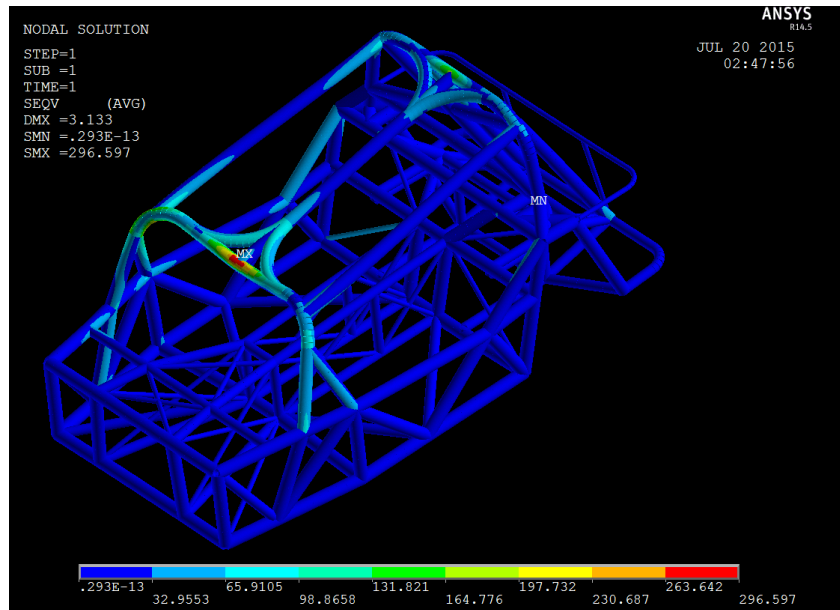
Εικόνα 11.13: Παραμόρφωση από ανατροπή υλικό χάλυβας E235. Διαστάσεις εξωτερικών σωλήνων Φ50 με πάχος 5mm. Διαστάσεις τούνελ μετάδοσης Φ38 με πάχος 3 mm.



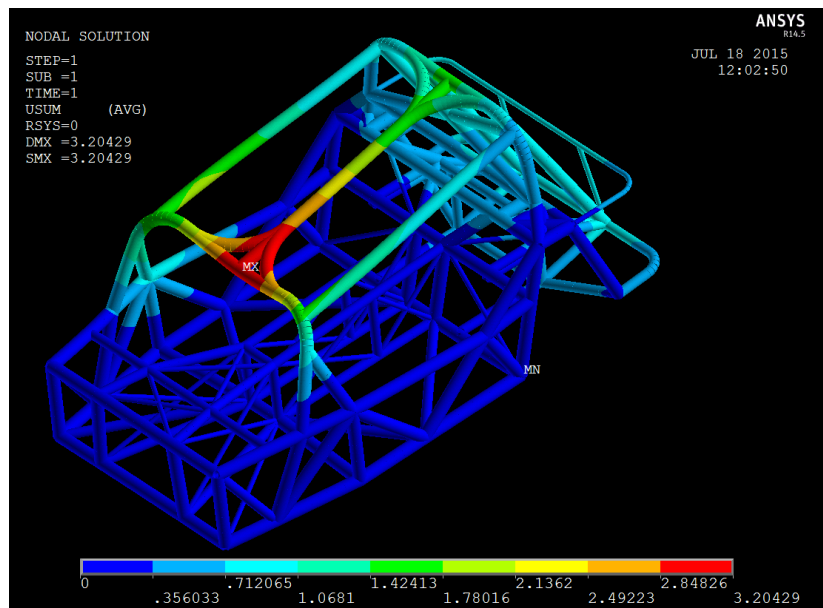
Εικόνα 11.14: Τάσεις Von Mises από ανατροπή υλικό χάλυβας E235. Διαστάσεις εξωτερικών σωλήνων $\Phi 50$ με πάχος 5mm. Διαστάσεις τούνελ μετάδοσης $\Phi 38$ με πάχος 3 mm.



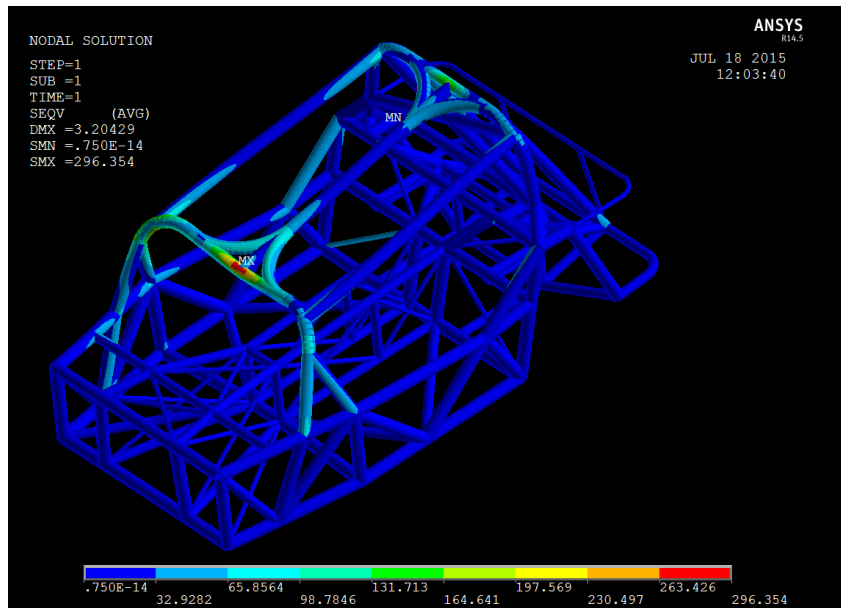
Εικόνα 11.15: Παραμόρφωση από ανατροπή υλικό χάλυβας E355. Διαστάσεις εξωτερικών σωλήνων $\Phi 50$ με πάχος 4mm. Διαστάσεις τούνελ μετάδοσης $\Phi 38$ με πάχος 3 mm.



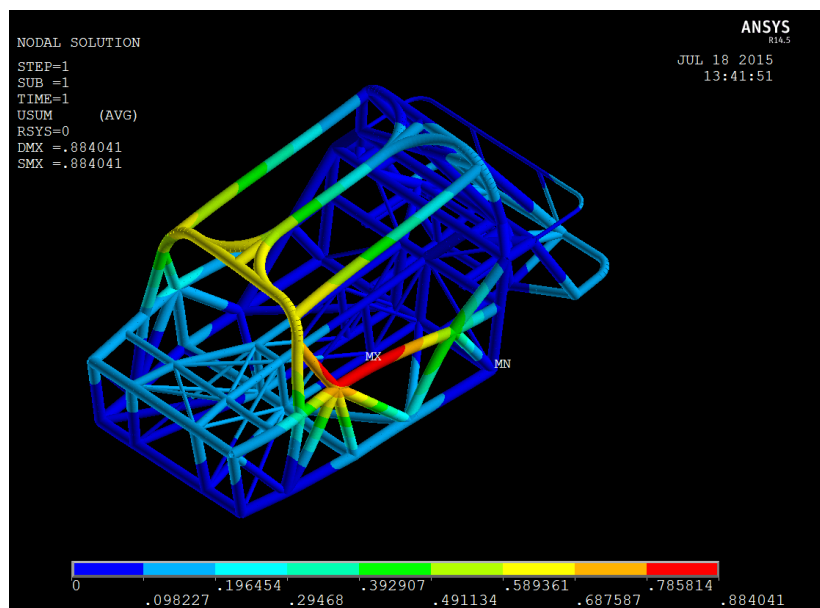
Εικόνα 11.16: Τάσεις Von Mises από ανατροπή υλικό χάλυβας E355. Διαστάσεις εξωτερικών σωλήνων Φ50 με πάχος 4mm. Διαστάσεις τούνελ μετάδοσης Φ38 με πάχος 3 mm.



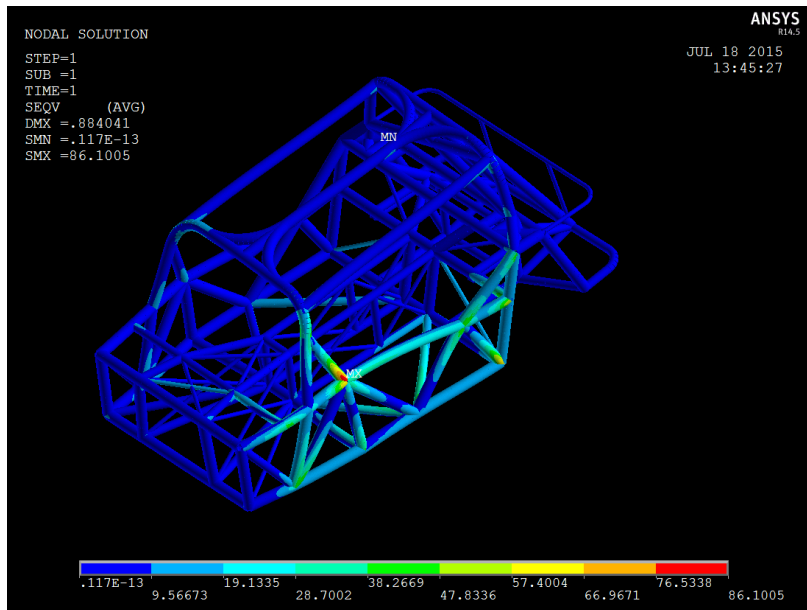
Εικόνα 11.17: Παραμόρφωση από ανατροπή υλικό χρωμιομολυβδαίνιο 4130. Διαστάσεις εξωτερικών σωλήνων Φ50 με πάχος 3mm. Διαστάσεις τούνελ μετάδοσης Φ38 με πάχος 3 mm.



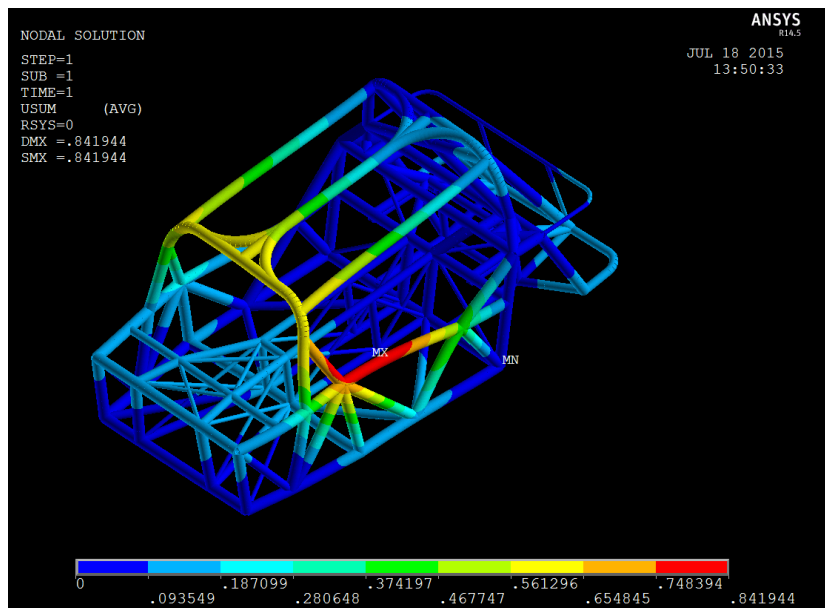
Εικόνα 11.18: Τάσεις Von Mises από ανατροπή υλικό χρωμιόμολυβδαίνιο 4130. Διαστάσεις εξωτερικών σωλήνων $\Phi 50$ με πάχος 3mm. Διαστάσεις τούνελ μετάδοσης $\Phi 38$ με πάχος 3 mm.



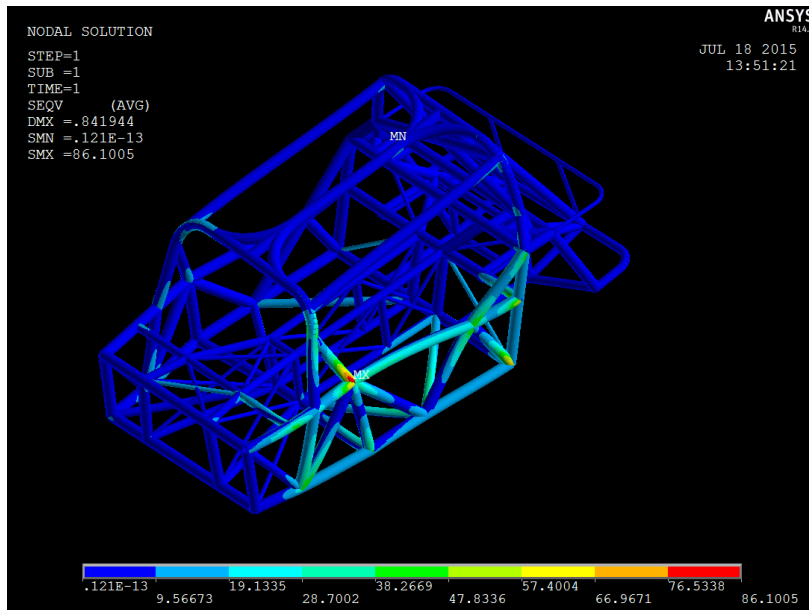
Εικόνα 11.19: Παραμόρφωση πλάγια πρόσκρουση υλικό χάλυβας E235. Διαστάσεις εξωτερικών σωλήνων $\Phi 50$ με πάχος 5mm. Διαστάσεις τούνελ μετάδοσης $\Phi 38$ με πάχος 3 mm.



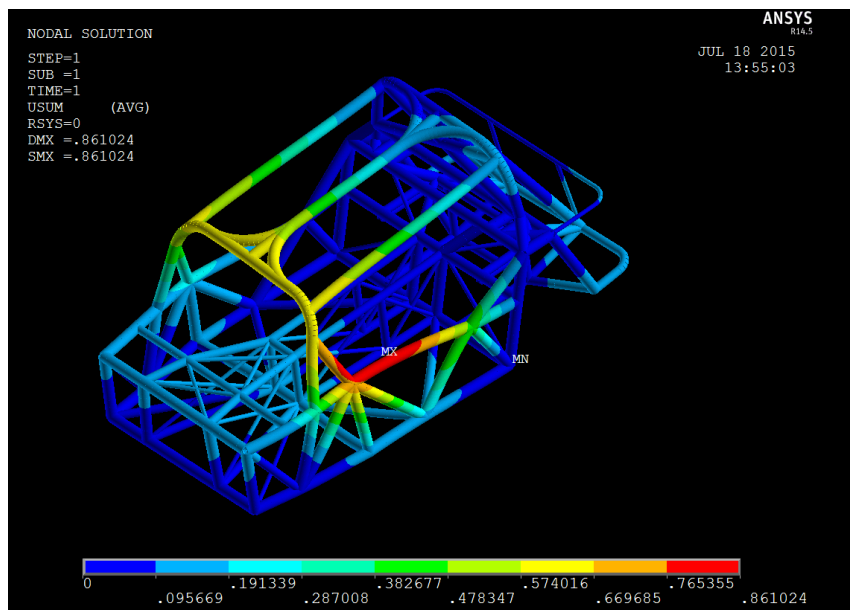
Εικόνα 11.20: Τάσεις Von Mises πλάγια πρόσκρουση υλικό χάλυβας E235. Διαστάσεις εξωτερικών σωλήνων Φ50 με πάχος 5mm. Διαστάσεις τούνελ μετάδοσης Φ38 με πάχος 3 mm.



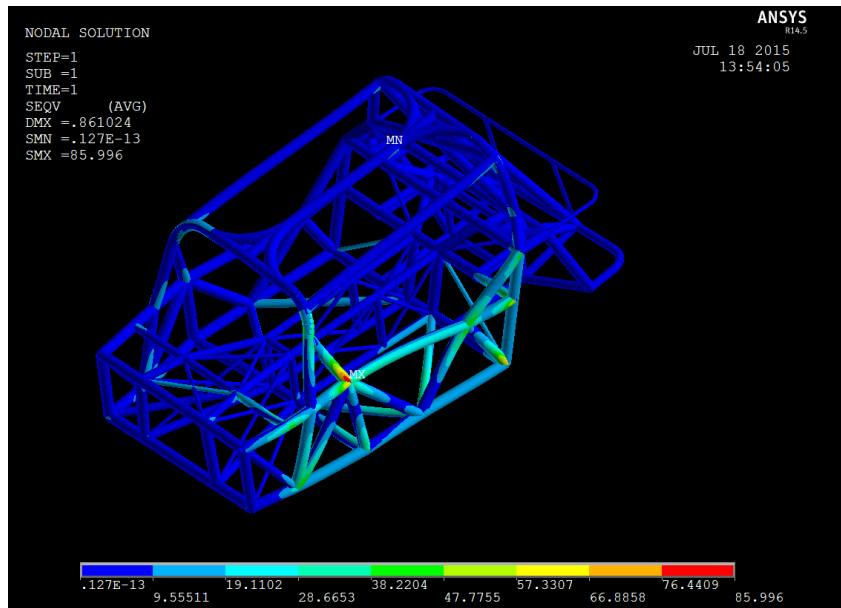
Εικόνα 11.21: Παραμόρφωση πλάγια πρόσκρουση υλικό χάλυβας E355. Διαστάσεις εξωτερικών σωλήνων Φ50 με πάχος 4mm. Διαστάσεις τούνελ μετάδοσης Φ38 με πάχος 3 mm.



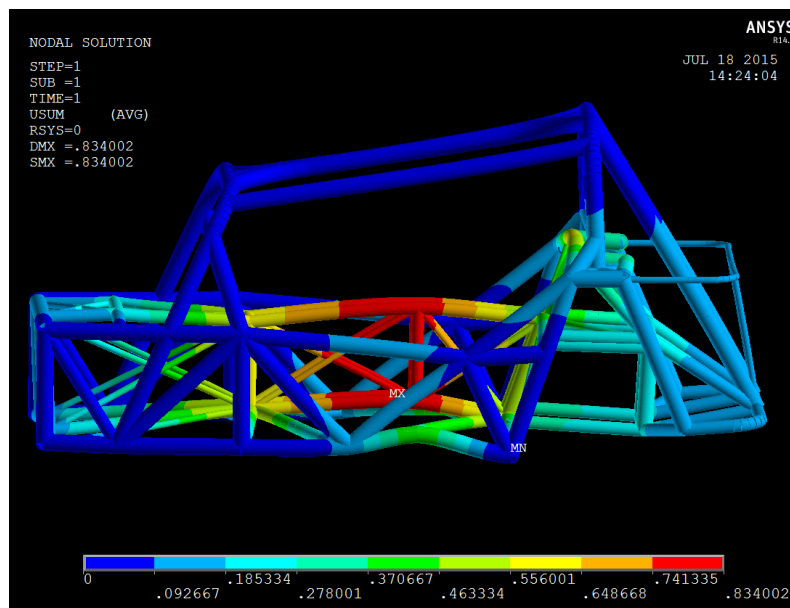
Εικόνα 11.22: Τάσεις Von Mises πλάγια πρόσκρουση υλικό χάλυβας E355. Διαστάσεις εξωτερικών σωλήνων Φ50 με πάχος 4mm. Διαστάσεις τούνελ μετάδοσης Φ38 με πάχος 3 mm.



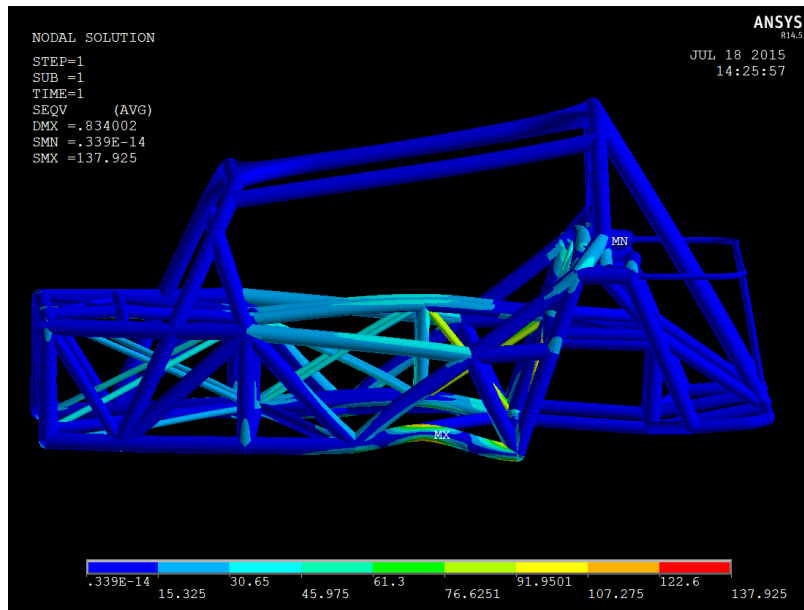
Εικόνα 11.23: Παραμόρφωση πλάγια πρόσκρουση υλικό χρωμιομολυβδαίνιο 4130. Διαστάσεις εξωτερικών σωλήνων Φ50 με πάχος 3mm. Διαστάσεις τούνελ μετάδοσης Φ38 με πάχος 3 mm.



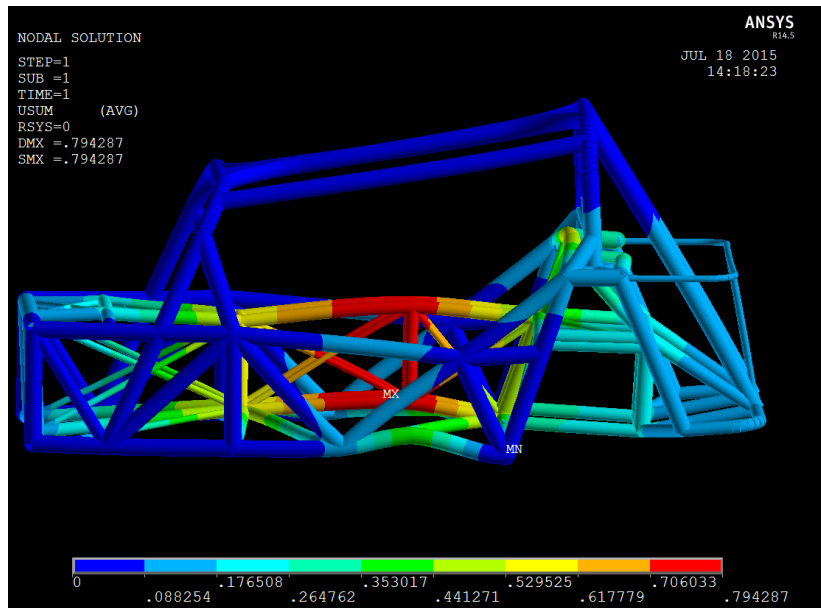
Εικόνα 11.24: Τάσεις Von Mises πλάγια πρόσκρουση υλικό χρωμιομολυβδαίνιο 4130. Διαστάσεις εξωτερικών σωλήνων Φ50 με πάχος 3mm. Διαστάσεις τούνελ μετάδοσης Φ38 με πάχος 3 mm.



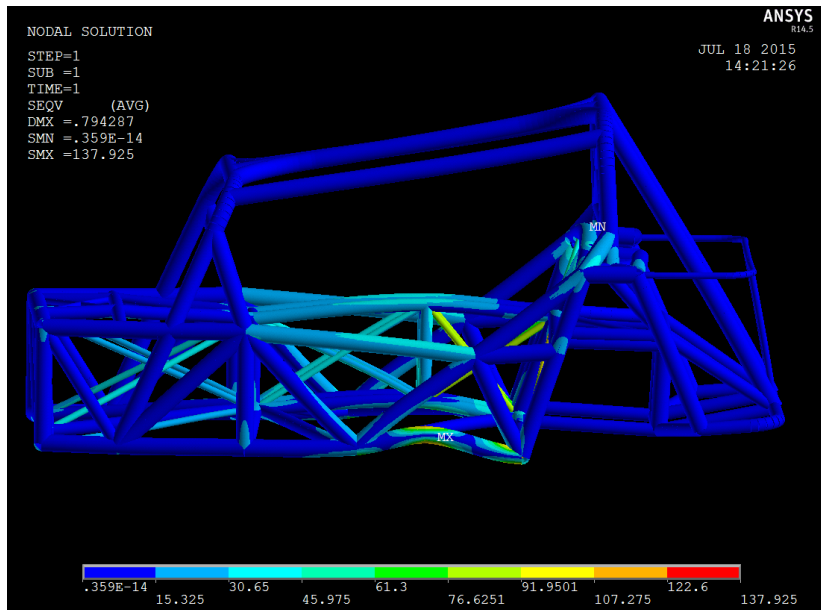
Εικόνα 11.25: Παραμόρφωση στα κάτω σημεία ζωνών ασφαλείας υλικό χάλυβας E235. Διαστάσεις εξωτερικών σωλήνων Φ50 με πάχος 5mm. Διαστάσεις τούνελ μετάδοσης Φ38 με πάχος 3 mm.



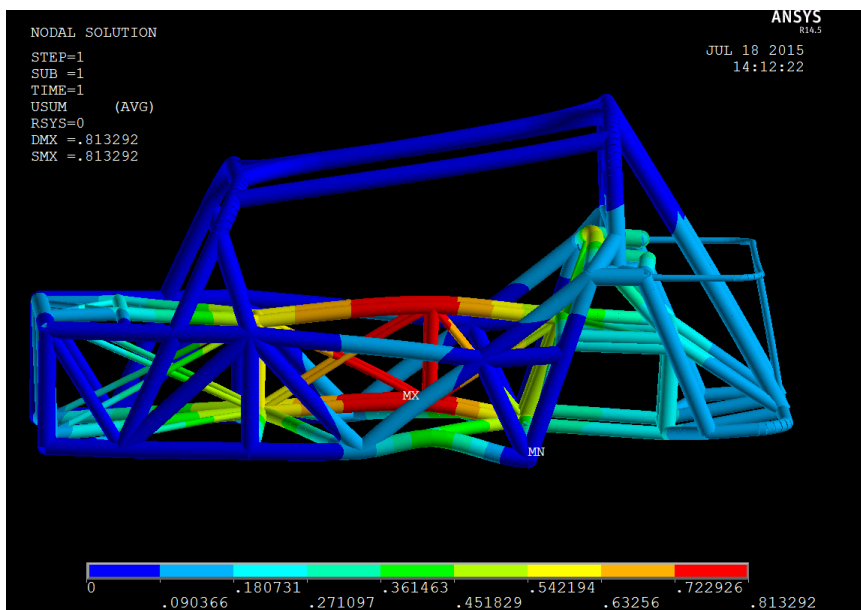
Εικόνα 11.26: Τάσεις Von Mises στα κάτω σημεία ζωνών ασφαλείας χάλυβας E235. Διαστάσεις εξωτερικών σωλήνων $\Phi 50$ με πάχος 5mm. Διαστάσεις τούνελ μετάδοσης $\Phi 38$ με πάχος 3 mm.



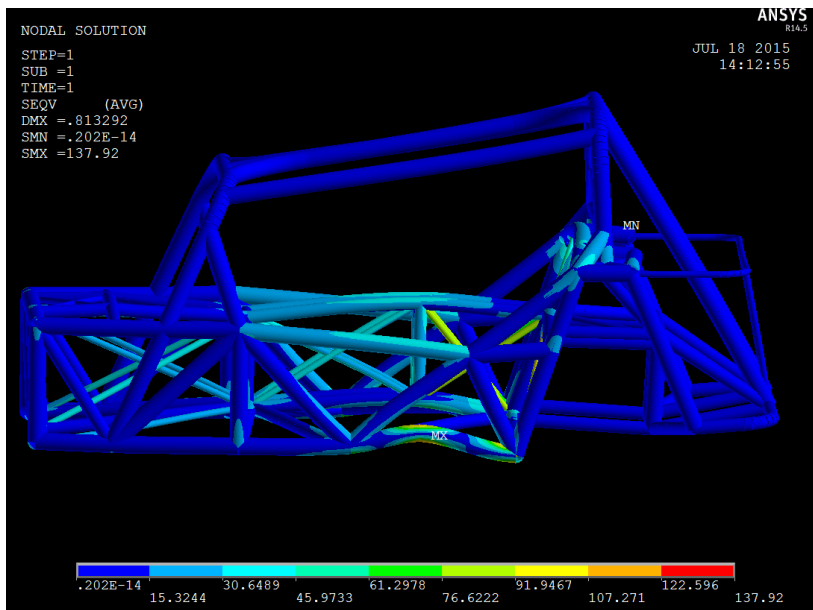
Εικόνα 11.27: Παραμόρφωση στα κάτω σημεία ζωνών ασφαλείας υλικό χάλυβας E355. Διαστάσεις εξωτερικών σωλήνων $\Phi 50$ με πάχος 4mm. Διαστάσεις τούνελ μετάδοσης $\Phi 38$ με πάχος 3 mm.



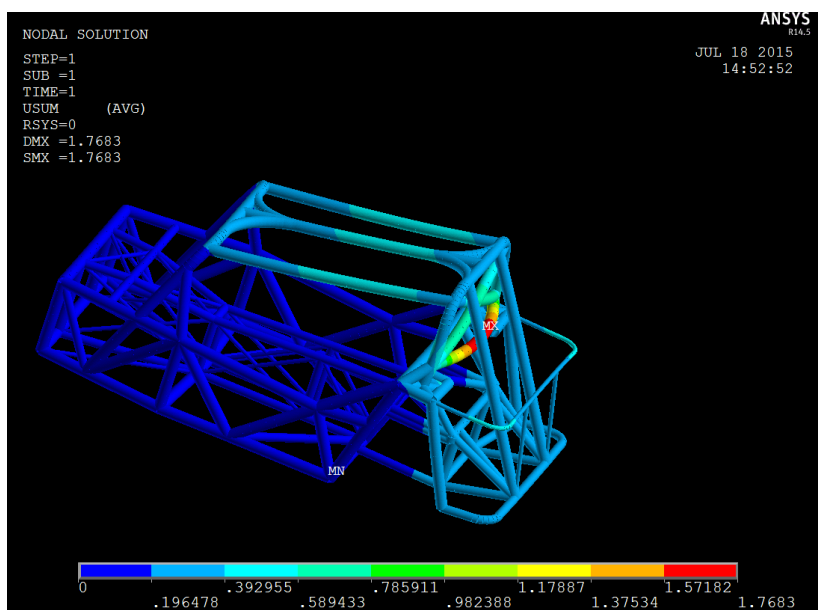
Εικόνα 11.28: Τάσεις Von Mises στα κάτω σημεία ζωνών ασφαλείας υλικό χάλυβας E355. Διαστάσεις εξωτερικών σωλήνων Φ50 με πάχος 4mm. Διαστάσεις τούνελ μετάδοσης Φ38 με πάχος 3 mm.



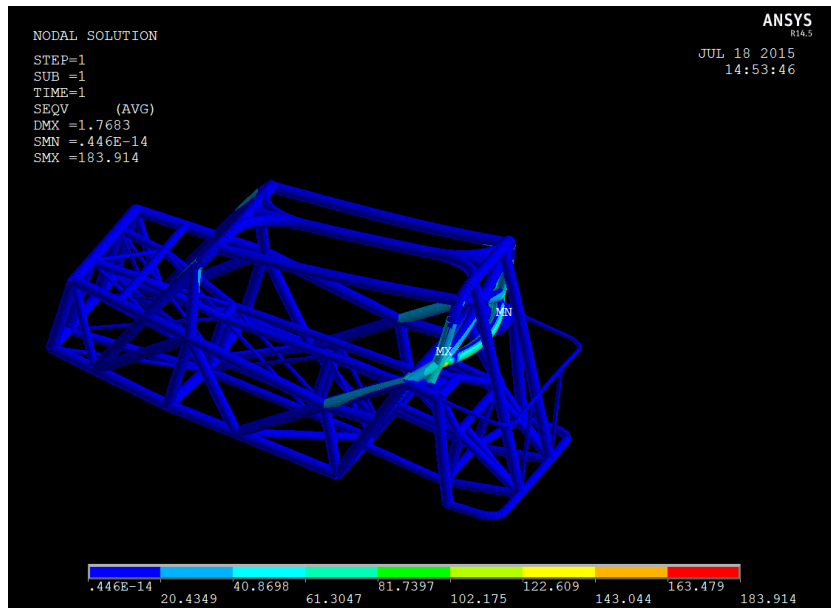
Εικόνα 11.29: Παραμόρφωση στα κάτω σημεία ζωνών ασφαλείας υλικό χρωμιομολυβδαίνιο 4130. Διαστάσεις εξωτερικών σωλήνων Φ50 με πάχος 3mm. Διαστάσεις τούνελ μετάδοσης Φ38 με πάχος 3 mm.



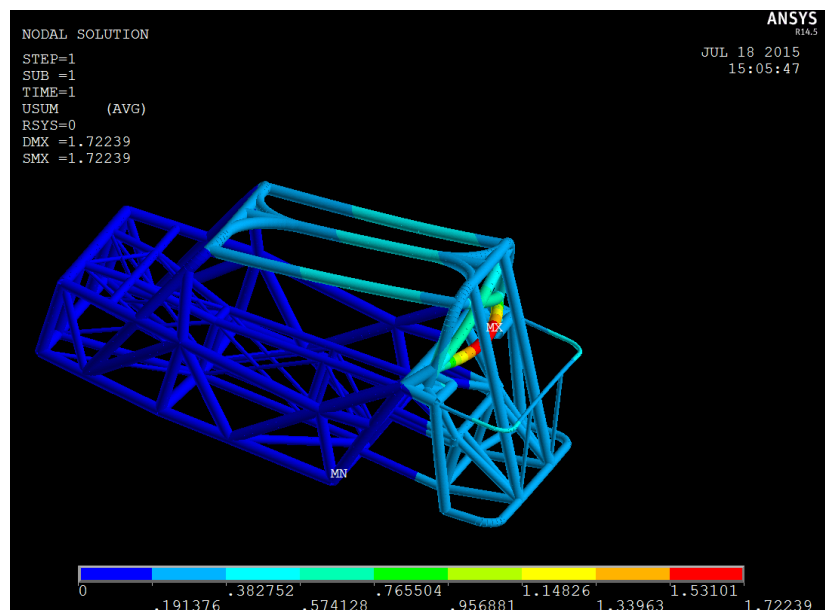
Εικόνα 11.26: Τάσεις Von Mises στα κάτω σημεία ζωνών ασφαλείας υλικό χρωμιομολυβδαίνιο 4130. Διαστάσεις εξωτερικών σωλήνων Φ50 με πάχος 3mm. Διαστάσεις τούνελ μετάδοσης Φ38 με πάχος 3 mm.



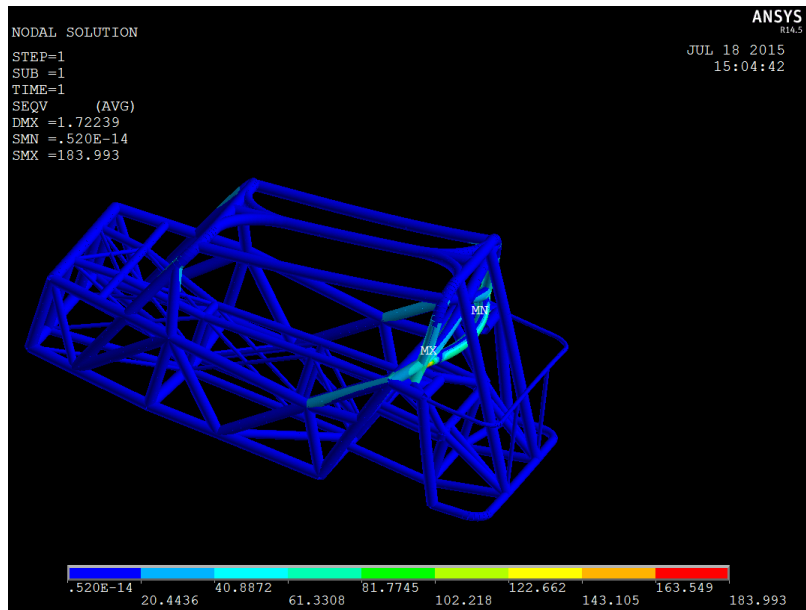
Εικόνα 11.31: Παραμόρφωση στα πάνω σημεία ζωνών ασφαλείας υλικό χάλυβας E235. Διαστάσεις εξωτερικών σωλήνων Φ50 με πάχος 5mm. Διαστάσεις τούνελ μετάδοσης Φ38 με πάχος 3 mm.



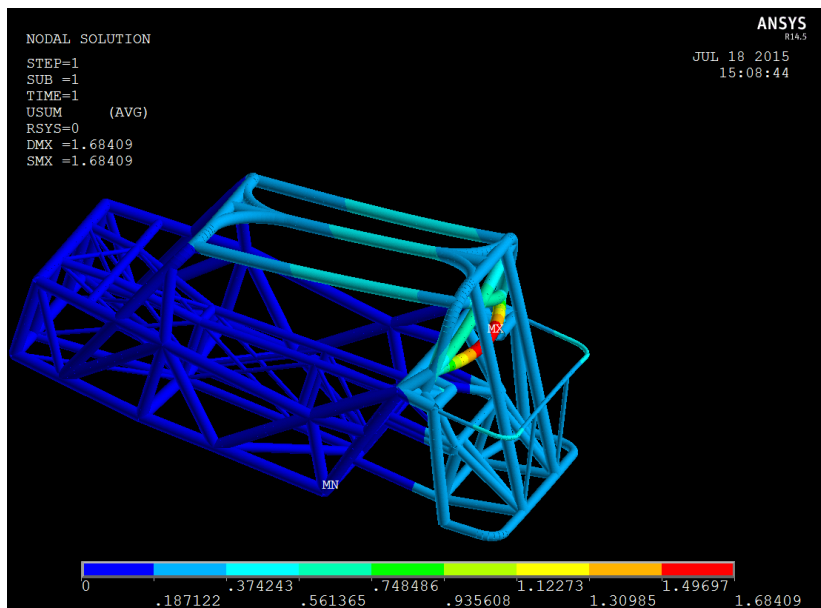
Εικόνα 11.32: Τάσεις Von Mises στα πάνω σημεία ζωνών ασφαλείας υλικό χάλυβας E235. Διαστάσεις εξωτερικών σωλήνων Φ50 με πάχος 5mm. Διαστάσεις τούνελ μετάδοσης Φ38 με πάχος 3 mm.



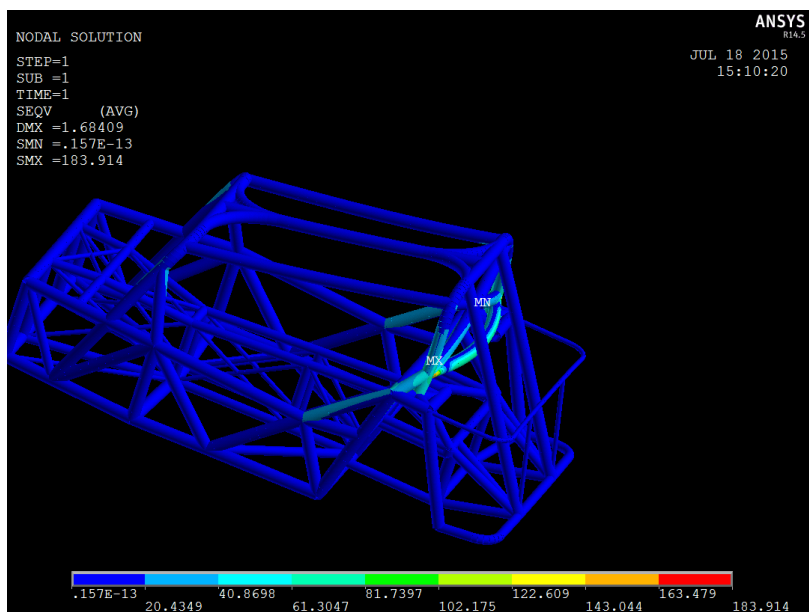
Εικόνα 11.33: Παραμόρφωση στα πάνω σημεία ζωνών ασφαλείας υλικό χάλυβας E355. Διαστάσεις εξωτερικών σωλήνων Φ50 με πάχος 4mm. Διαστάσεις τούνελ μετάδοσης Φ38 με πάχος 3 mm.



Εικόνα 11.34: Τάσεις Von Mises στα πάνω σημεία ζωνών ασφαλείας υλικό χάλυβας E355. Διαστάσεις εξωτερικών σωλήνων Φ50 με πάχος 4mm. Διαστάσεις τούνελ μετάδοσης Φ38 με πάχος 3 mm.



Εικόνα 11.35: Παραμόρφωση στα πάνω σημεία ζωνών ασφαλείας υλικό χρωμιομολυβδαίνιο 4130. Διαστάσεις εξωτερικών σωλήνων Φ50 με πάχος 3mm. Διαστάσεις τούνελ μετάδοσης Φ38 με πάχος 3 mm.



Εικόνα 11.36: Τάσεις Von Mises στα πάνω σημεία ζωνών ασφαλείας υλικό χρωμιομολυβδαίνιο 4130. Διαστάσεις εξωτερικών σωλήνων Φ50 με πάχος 3mm. Διαστάσεις τούνελ μετάδοσης Φ38 με πάχος 3 mm.

Πίνακας 11.1: Αρχικό κριτήριο Von Mises.

Χάλυβας	E235	E355	4130	
Όριο διαρροής [MPa]	235	355	435	
Όριο αντοχής [MPa]	420	580	680	
ΠΡΟΣΚΡΟΥΣΗ	ΤΑΣΕΙΣ [MPa]			ΑΣΤΟΧΙΑ
Μετωπική	542.000	461.948	607.603	E235
Εμπρός και πλάγια	165.350	165.350	165.457	όχι
Ανατροπή	216.461	296.597	296.354	όχι
Πλάγια	86.101	86.101	85.996	όχι
Κάτω σημεία ζωνών ασφαλείας	137.925	137.925	137.990	όχι
Πάνω σημεία ζωνών ασφαλείας	183.914	183.914	183.993	όχι

Πίνακας 11.2: Παραμορφώσεις.

Χάλυβας	E235	E355	4130	
Μέγιστη παραμόρφωση	25 [mm]			
ΠΡΟΣΚΡΟΥΣΗ	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ [mm]			ΑΣΤΟΧΙΑ
Μετωπική	56.622	22.159	21.18	E235
Εμπρός και πλάγια	1.034	0.985	1.009	όχι
Ανατροπή	3.439	3.133	3.204	όχι
Πλάγια	0.884	0.842	0.861	όχι
Κάτω σημεία ζωνών ασφαλείας	0.834	0.794	0.813	όχι
Πάνω σημεία ζωνών ασφαλείας	1.768	1.684	1.722	όχι

Παρατηρούμε λοιπόν ότι το πλαίσιο ανταπεξέρχεται στη μετωπική σύγκρουση μόνο για τα δυο κράματα 4130 και E355, ενώ για τον E235 δεν ανταπεξέρχεται στη σύγκρουση για το μέγιστο πάχος διατομής που θεωρήσαμε. Παρόλα αυτά παρατηρείται τεράστια διαφορά στην παραμόρφωση σε σχέση με το αρχικό σχέδιο. Η μείωση από τα 329.351 mm φτάνει στα 56.6 mm, γεγονός που δείχνει ότι ο οδηγός δεν παγιδεύεται. Τέλος υπάρχει η περίπτωση της θραύσης το χάλυβα E235 αφού η τάση Von Mises είναι μεγαλύτερη από το όριο αντοχής. Στις άλλες περιπτώσεις το πλαίσιο έχει παραμορφωθεί πλαστικά αφού τάση Von Mises είναι μεγαλύτερη από το όριο διαρροής και μικρότερη από το όριο αντοχής. Επιπλέον παρατηρούνται πάρα πολύ μικρές παραμορφώσεις στις υπόλοιπες περιπτώσεις, γεγονός που έχει να κάνει ξεκάθαρα με τη διαφορά των δυνάμεων που ασκούνται σε όλες τις άλλες περιπτώσεις, που είναι σχεδόν δέκα φορές μικρότερες. Εδώ φαίνεται ξεκάθαρα πόσο σημασία δίνουν οι κανονισμοί FSAE στη μετωπική σύγκρουση, που είναι η δυσμενέστερη περίπτωση ατυχήματος στους αγώνες αυτούς. Πρόκειται για αγώνες που ο κάθε ένας οδηγός τρέχει μόνος, ολοκληρώνοντας τον γύρο του σε μια πίστα στην οποία η χάραξη της καθορίζεται από κώνους, αναπτύσσοντας ταχύτητες μικρότερες από 90 km/h. Λογικό είναι λοιπόν τα αυτοκίνητα αυτά να σχεδιάζονται με μικρότερες διατομές σωλήνων, γιατί έχουν να ανταπεξέρθουν σε σενάρια πρόσκρουσης σε ένα ελεγχόμενο περιβάλλον, χωρίς τη πιθανότητα σύγκρουσης με άλλα οχήματα. Αντίθετα οι κανονισμοί της FIA είναι πολύ πιο αυστηροί διότι έχουν να καλύψουν σενάρια πρόσκρουσης με άλλα αυτοκίνητα εντός πίστας, σε πίστες που η χάραξη τους ορίζεται πολλές φορές από τοίχους. Επίσης στους αγώνες αναβάσεων έχουν σημειωθεί πολύ άσχημα ατυχήματα, όπου τα αυτοκίνητα έχουν σημειώσει έξοδο από την διαδρομή με μεγάλο αριθμό χιλιομέτρων μέσα σε γκρεμούς και τα πληρώματα των οχημάτων έχουν βγει αλώβητα μέσα από το αυτοκίνητο. Λογικό είναι λοιπόν να σημειώνονται τόσο μικρές παραμορφώσεις, αφού ο νέος κλωβός ασφαλείας έχει σχεδιαστεί με αυτά τα πολύ αυστηρά πρότυπα ασφαλείας. Ας μην ξεχνάμε ότι πρόκειται για ένα πλαίσιο που σχεδιάστηκε με πρότυπα ασφαλείας της δεκαετίας του 1950, για ένα κινητήρα χαμηλής απόδοσης και ότι στη αγορά της Αυστραλίας το αρχικό πλαίσιο έχει απαγορευθεί διότι παρέχει πολύ χαμηλή ασφάλεια στους επιβάτες.

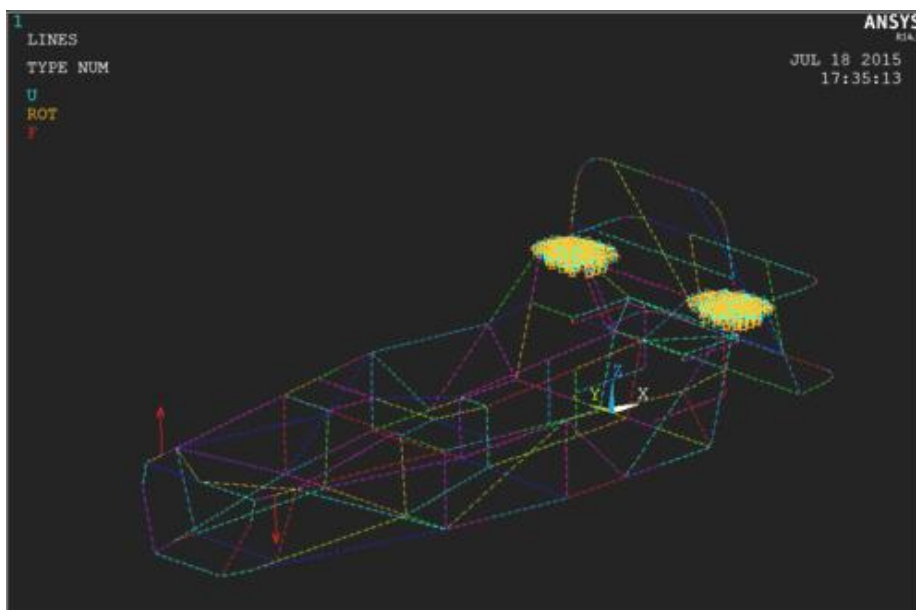
Τέλος όσον αφορά την επιλογή του υλικού για το πλαίσιο, το χρωμιομολυβδαίνιο μας παρέχει την μέγιστη ασφάλεια με το ελάχιστο υλικό, άρα και την μέγιστη εκμετάλλευσή του. Δεν είναι τυχαίο που χρησιμοποιείται σε όλους τους τύπους αγώνων στον κόσμο και αποτελεί την επιλογή κορυφαίων του χώρου του μηχανοκίνητου αθλητισμού. Για αυτό το λόγο επιλέγεται και ως το κύριο υλικό για την δοκιμή της στρεπτικής ακαμψίας αλλά και την μέτρηση του βάρους.

12. ΣΤΡΕΠΤΙΚΗ ΑΚΑΜΨΙΑ

Η στρεπτική ακαμψία αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα για την κατάσταση ενός πλαισίου αυτοκινήτου. Ουσιαστικά δείχνει το πόσο άκαμπτο είναι ένα καταπονούμενο πλαίσιο. Όσο πιο άκαμπτο είναι αυτό, τόσο πιο πολύ συμπεριφέρεται η ανάρτηση του οχήματος με τον τρόπο που έχει προβλέψει ο κατασκευαστής, ενώ αποτελεί ένα έμμεσο τρόπο που δίνει μια εικόνα για την ασφάλεια που παρέχει στους επιβάτες. Οι μονάδες μέτρησης της με βάσει τους κατασκευαστές έχει οριστεί σε $N \cdot m / \mu\text{όίρες}$. Για την μέτρησή της ακολουθείται ο τρόπος που ορίζεται στη δημοσίευση από το πανεπιστήμιο του Καναδά:

http://www.cadanda.com/CAD_PACE_1__67-75.pdf

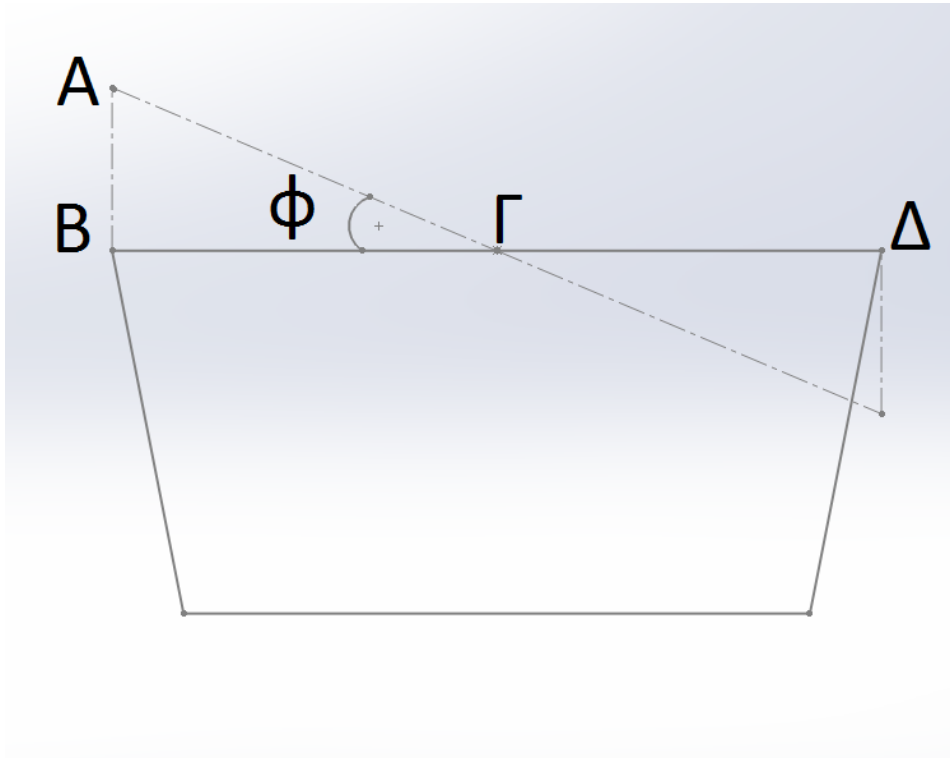
που αποτελεί μια μίμηση του τρόπου μέτρησης των ήδη κατασκευασμένων πλαισίων. Ουσιαστικά πακτώνονται τα πίσω σημεία έδρασης της ανάρτησης και στα σημεία που εδράζεται η μπροστά ανάρτηση ασκείται ένα ζεύγος δυνάμεων, ασκώντας μια ροπή, Εικ. 12.1.



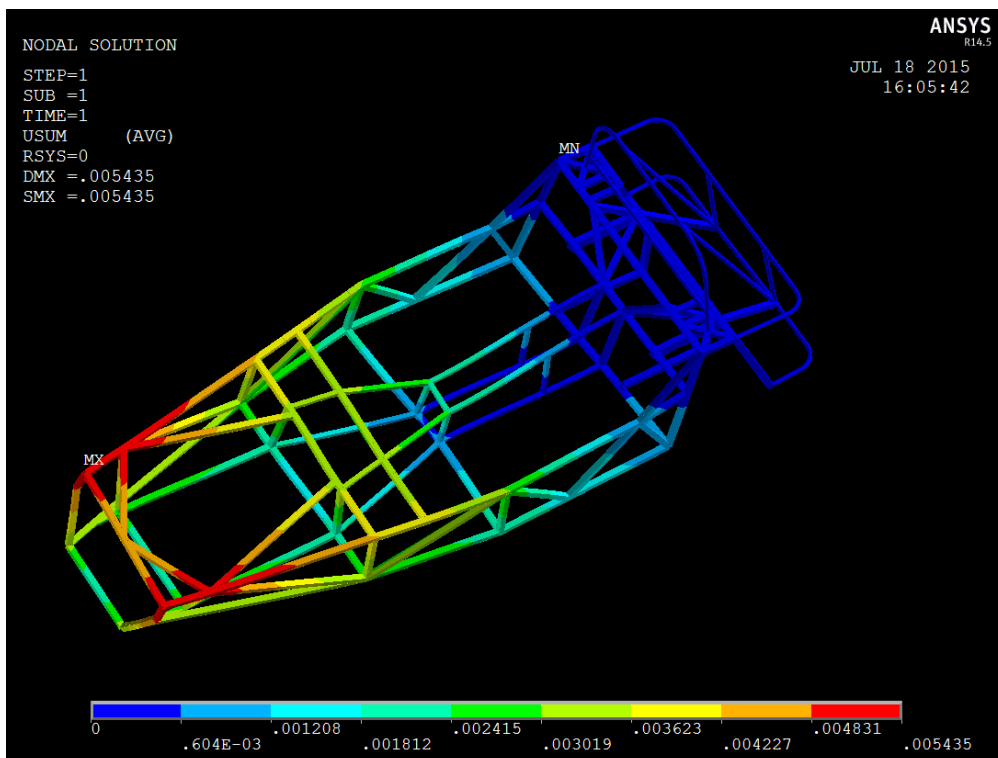
Εικόνα 12.1: Τρόπος πάκτωσης και άσκησης δυνάμεων για την δοκιμή της στρέψης.

Η συμπεριφορά του πλαισίου θεωρείται παρόμοια με αυτή ενός γραμμικού ελατηρίου. Για την εύρεση της στρεπτικής ακαμψίας αρχικά ασκείται μια δύναμη που αντιστοιχεί σε ροπή 1Nm για την απόστασή μας και με τη παραμόρφωση που μας δίνεται μέσω της ανάλυσης υπολογίζουμε τη γωνία φ , που είναι η διατμητική παραμόρφωση του πλαισίου λόγω στρέψης. Η απόσταση στο εμπρόσθιο τμήμα του αυτοκινήτου ΒΔ όπως φαίνεται και στο Σχ. 12.1 είναι ίση με 673 mm , ενώ στο μέσον της στο σημείο Γ είναι 336.5 mm . Στα σημεία Α και Β ασκούνται οι δύο δυνάμεις που δημιουργούν ροπή. Οπότε για ένα 1 Nm ροπή ασκείται δύναμη:

$$M = P * B\Delta \rightarrow P = \frac{M}{B\Delta} = \frac{1}{0.673} = 1.486 \text{ N}$$



Σχήμα 12.1: Σχεδιάγραμμα υπολογισμού παραμόρφωσης.



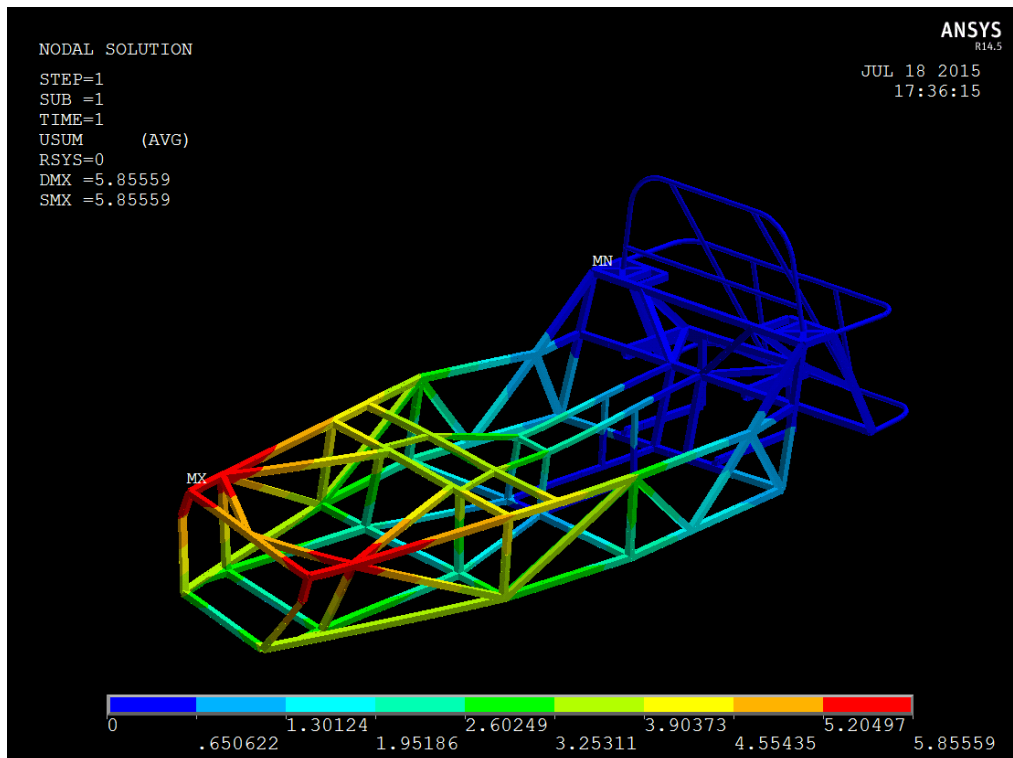
Εικόνα 12.2: Παραμόρφωση για 1.486 N.

Ασκώντας αυτή τη δύναμη στο μοντέλο έχουμε παραμόρφωση $AB = 0.005435$ mm. Άρα η γωνία

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{AB}{B\gamma} = \frac{0.005435}{335.6} = 0.000928 \text{ μοίρες}$$

οπότε αναλογικά υπολογίζουμε τη δύναμη για μία μοίρα στρέψης:

$F' = 1600$ N, ενώ η ροπή $M' = F' \cdot B\Delta = 1076.8$ N m. Εισάγωντας τα δεδομένα στο λογισμικό έχουμε:



Εικόνα 12.3: Παραμόρφωση για 1600 N.

$$\varphi' = \tan^{-1} \frac{AB}{B\gamma} = \frac{5.85559}{335.6} = 0.999602 \text{ μοίρες ή περίπου } 1 \text{ μοίρα.}$$

Άρα η ακαμψία του αρχικού πλαισίου για υλικό E235 είναι 1076.8 Nm/μοίρα. Όμοια υπολογίζουμε την στρεπτική ακαμψία για το τελικό πλαίσιο με υλικό το χρωμιομολυβδαίνιο. Για δύναμη που αντιστοιχεί σε ροπή 1 Nm έχουμε παραμόρφωση $AB = 0.000455$ mm. Η γωνία φ που σχηματίζεται είναι:

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{AB}{B\gamma} = \frac{0.000455}{335.6} = 0.00007768051 \text{ μοίρες.}$$

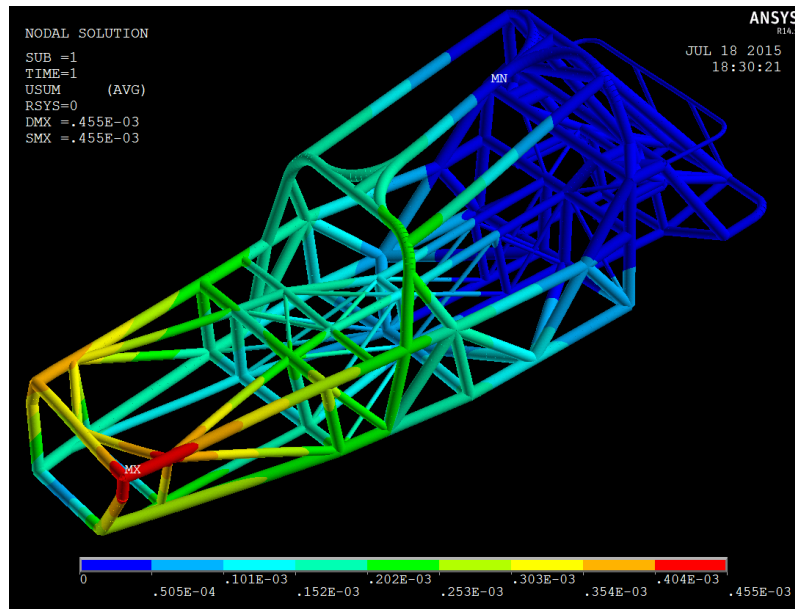
Οπότε αναλογικά υπολογίζουμε την δύναμη για μια μοίρα στρέψης:

$$F' = \frac{1.485}{0.00007768051} = 19117 \text{ N}$$

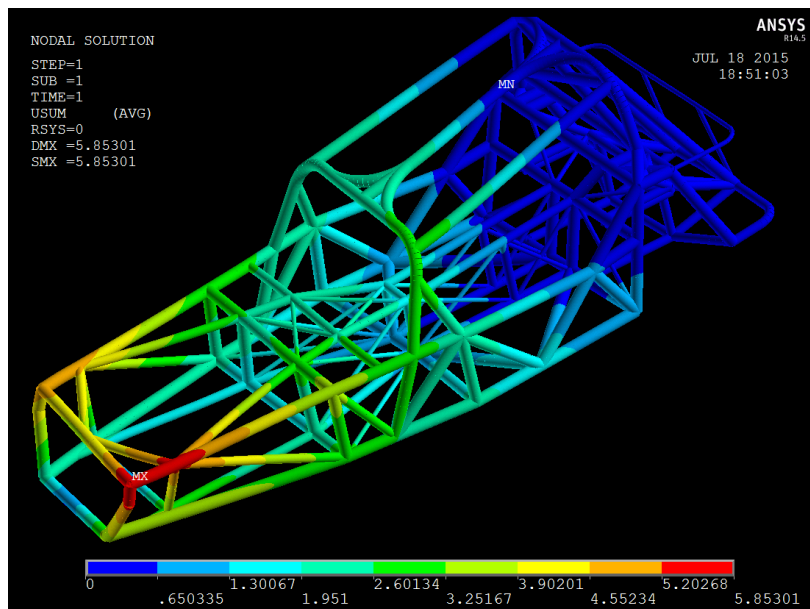
ενώ η ροπή $M' = F' \cdot B\Delta = 6433 \text{ N m}$. Εισάγοντας τα δεδομένα στο Ansys έχουμε παραμόρφωση $AB' = 5.85301 \text{ mm}$. Που αντιστοιχεί σε γωνία

$$\varphi' = \tan^{-1} \frac{AB}{By} = \frac{5.85301}{335.6} = 0.999137 \text{ μοιρες ή περίπου } 1 \text{ μοίρα.}$$

Οπότε η ακαμψία του πλαισίου μας είναι ίση με 6433 Nm/μοίρα .



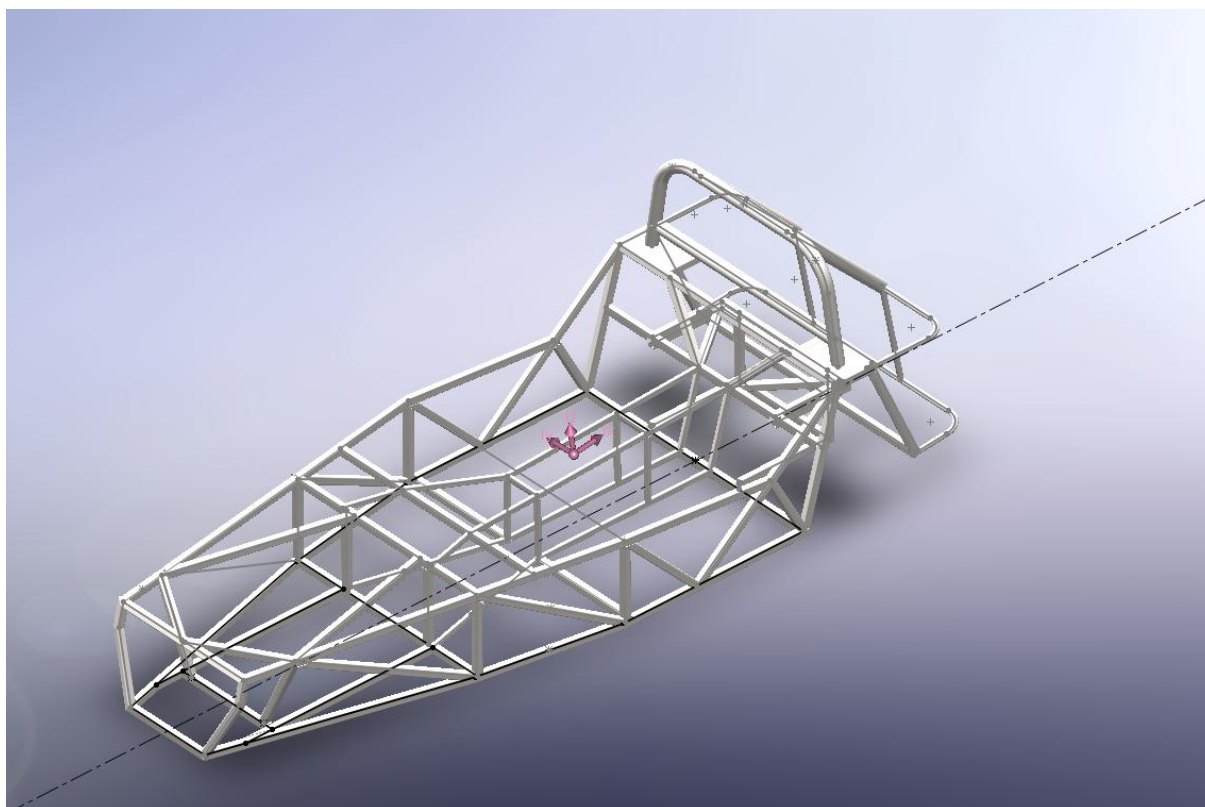
Εικόνα 12.4: Παραμόρφωση για 1.486 N.



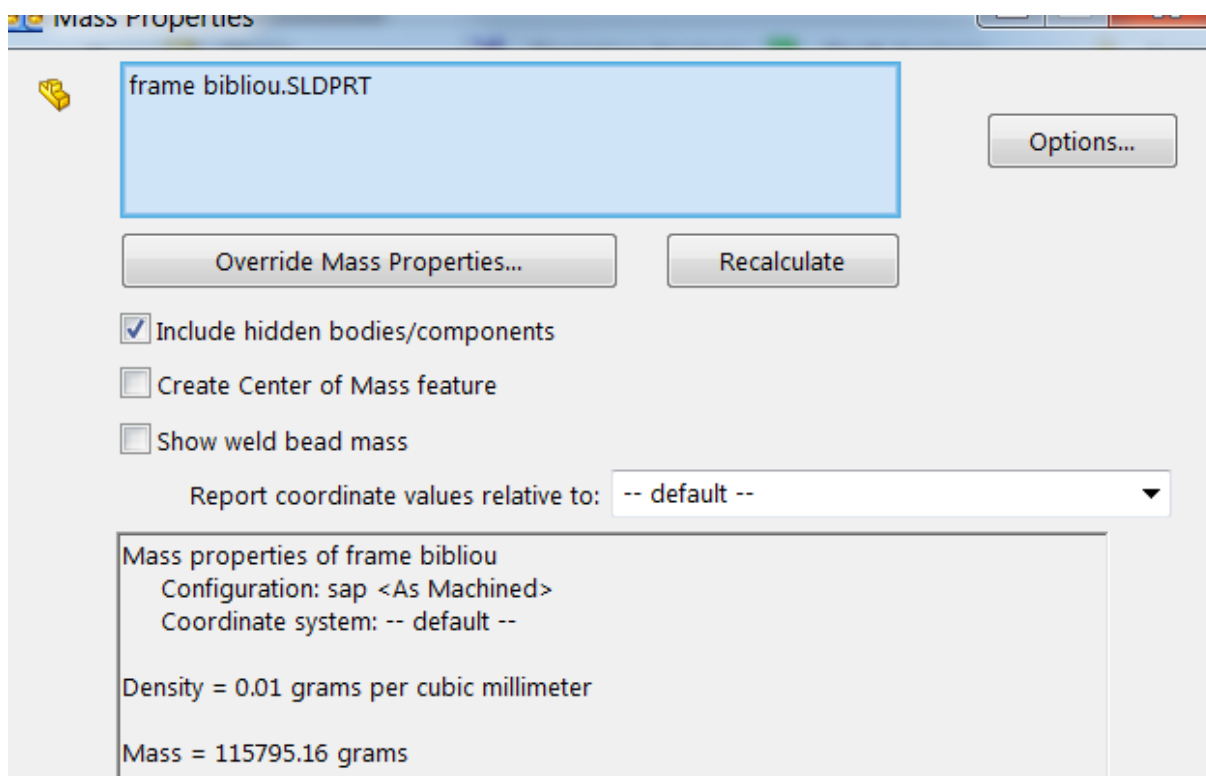
Εικόνα 12.5: Παραμόρφωση για 19117 N.

13. ΒΑΡΟΣ

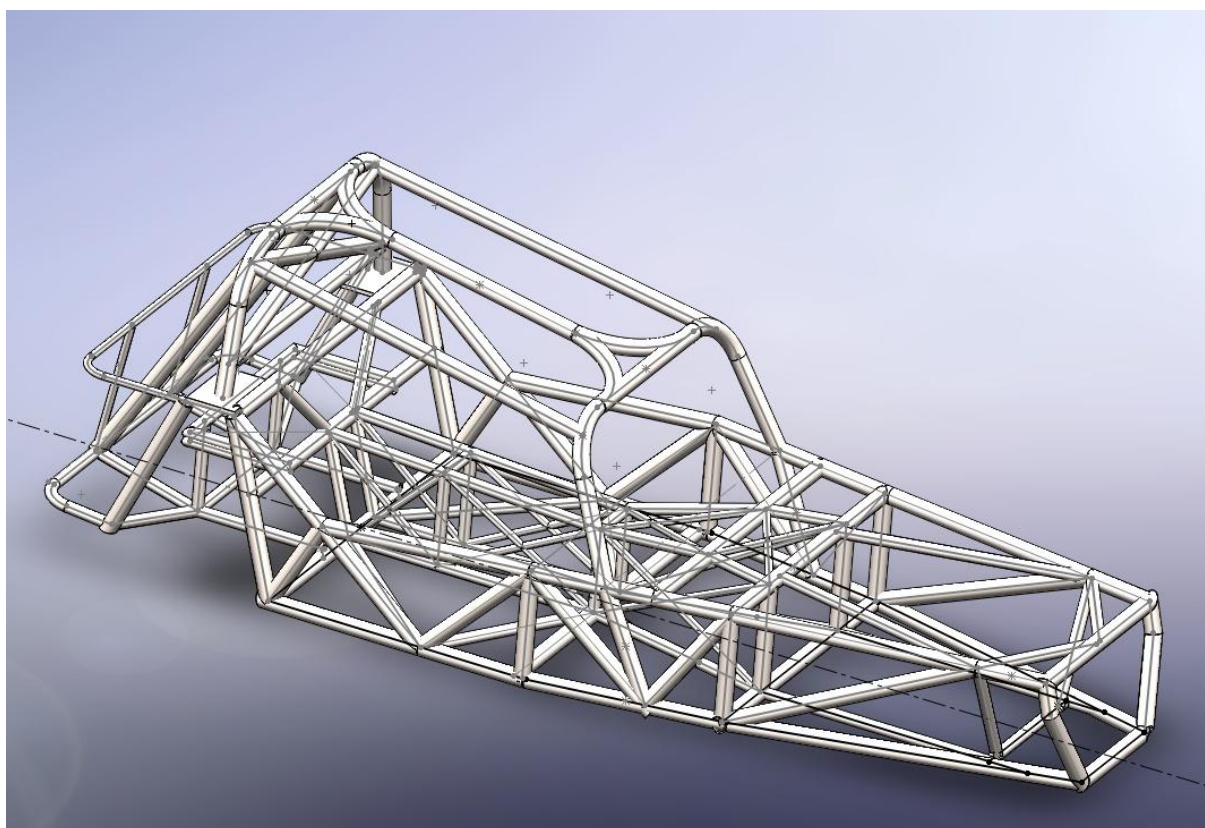
Ο παράγοντας του βάρους είναι αρκετά σημαντικός τόσο από οδικής συμπεριφοράς του αυτοκινήτου όσο και από θέμα κόστους. Για την μέτρησή του χρησιμοποιήθηκε η εντολή “mass properties”, που μας δίνεται από το σχεδιαστικό πακέτο SolidWorks. Εκεί αφού σχηματίσουμε την τελική γεωμετρία και ορίσουμε το υλικό και το τύπο διατομής, το πρόγραμμα υπολογίζει μόνο του το βάρος. Μέσω αυτού του εργαλείου λοιπόν μπορούμε αξιόπιστα να μετρήσουμε το βάρος μιας κατασκευής. Σημαντικό είναι να αναφέρουμε ότι δεν έχει υπολογιστεί το βάρος από το υλικό συγκόλλησης, που όμως είναι αρκετά μικρό σε σχέση με το υπόλοιπο βάρος του πλαισίου. Για την μέτρηση του βάρους χρησιμοποιήθηκαν το αρχικό πλαίσιο με το μαλακό χάλυβα στην πρώτη περίπτωση, ενώ στη δεύτερη χρησιμοποιήθηκε ως υλικό το χρωμιόμολυβδαίνιο με τις διαστάσεις και τις διατομές που αναφέρονται πιο πάνω. Επομένως στη πρώτη περίπτωση όπου χρησιμοποιείται ως υλικό μαλακός χάλυβας το βάρος ανέρχεται μόλις στα 115.795 kg Εικ. 13.1 και Εικ. 13.2, ενώ στη δεύτερη ξεπερνά για λίγα κιλά το διπλό, αγγίζοντας 239.796 kg Εικ.13.3 και Εικ. 13.4.



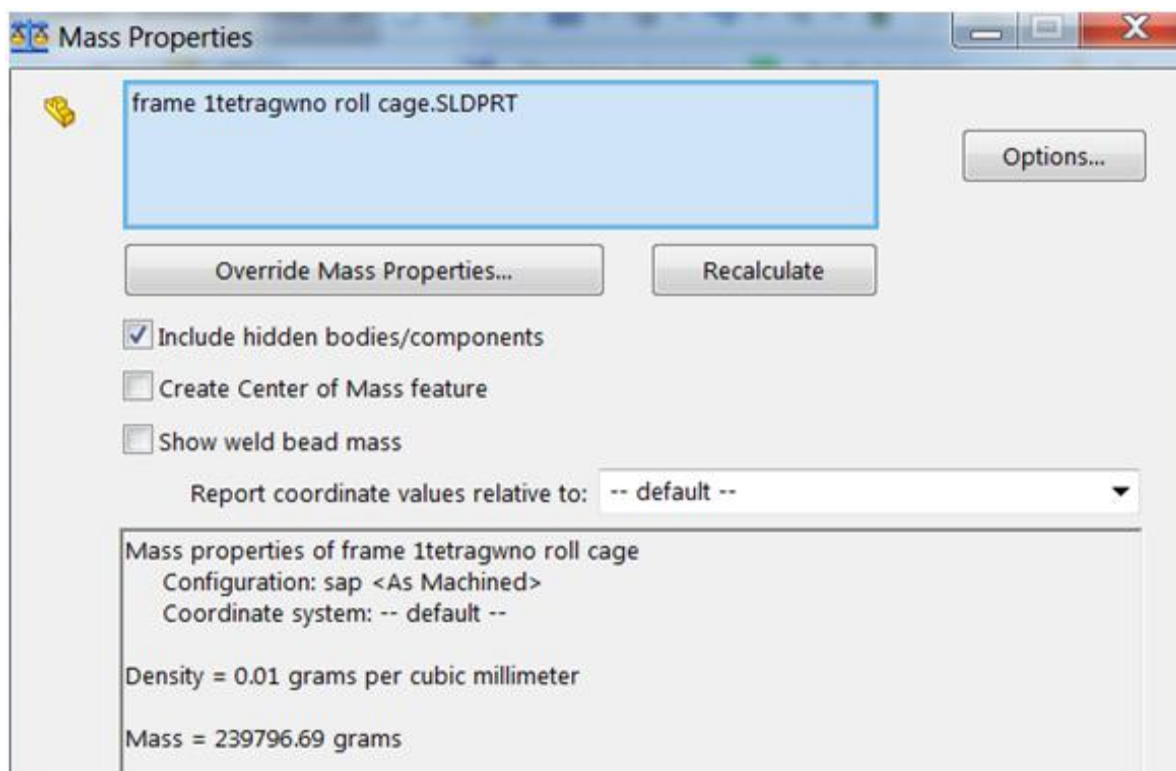
Εικόνα 13.1: Αρχικό πλαίσιο από μαλακό χάλυβα.



Εικόνα 13.2: Βάρος αρχικού πλαισίου σύμφωνα με το Mass properties του SolidWorks.



Εικόνα 13.3: Τελικό πλαίσιο από χρωμιόμολυβδαίνιο.



Εικόνα 13.4: Βάρος τελικού πλαισίου σύμφωνα με το Mass properties του SolidWorks.

Η διαφορά είναι σίγουρα αρκετά μεγάλη, αλλά αν λάβουμε υπόψη το βάρος των δυο κατασκευών συγκρινόμενο με ένα πλαίσιο τύπου monocoque ή αυτοφερόμενο, που ζυγίζει στα μικρά αυτοκίνητα πόλης γύρω στα 450 kg και πάνω, παρατηρούμε ότι είναι αρκετά μικρό. Επιπλέον η ασφάλεια που παρέχει έχει αποδειχτεί στα παραπάνω μοντέλα και διασφαλίζεται ακολουθώντας το πρότυπο της FIA για την ασφάλεια σε αγώνες, που είναι πολύ πιο αυστηρή σε σχέση με τα αυτοκίνητα δρόμου. Αυτό συμβαίνει διότι οι κατασκευαστές αυτοκινήτων μαζικής παραγωγής υπολογίζουν την ασφάλεια των αυτοκινήτων με βάση τις ταχύτητες που προκύπτουν από τα όρια ταχύτητας και δεν ξεπερνούν στην πλειονότητα τους τα 80 km/h. Ο λόγος που γίνεται αυτό είναι καθαρά οικονομικός, αφού για την κατασκευή ενός τέτοιου πλαισίου θα χρειαζόταν πολύ υλικό αυξάνοντας το κόστος παραγωγής. Επιπλέον η κατανάλωση του καυσίμου θα ανέβαινε δραματικά καθιστώντας τα αυτοκίνητα οικονομικά ασύμφορα, ιδίως την σημερινή εποχή που οι τιμές των καυσίμων είναι αρκετά υψηλές.

Τέλος οι προδιαγραφές ασφάλειας τόσο στους αγώνες όσο και στα καθημερινά αυτοκίνητα είναι πολύ πιο αυστηρές σε σχέση με το 1957, όταν αρχικά σχεδιάστηκε αυτό το πλαίσιο. Δεν είναι τυχαίο άλλωστε πως το βάρος όλων των σύγχρονων αυτοκινήτων έχει αυξηθεί πάρα πολύ, δημιουργώντας ζώνες παραμόρφωσης, χρησιμοποιώντας αεροσάκους και συστήματα υποβοήθησης πέδησης, αλλά και ευσταθείας, παρέχοντας κατακόρυφα αυξημένη ασφάλεια σε σχέση με το παρελθόν. Ας μην ξεχνάμε λοιπόν ότι η κάθε επιλογή έχει και το κόστος της και ότι το αρχικό πλαίσιο που μελετήθηκε έχει απαγορευθεί σε χώρες όπως η Αυστραλία, λόγω της χαμηλής παροχής ασφάλειας προς τους επιβαίνοντες.

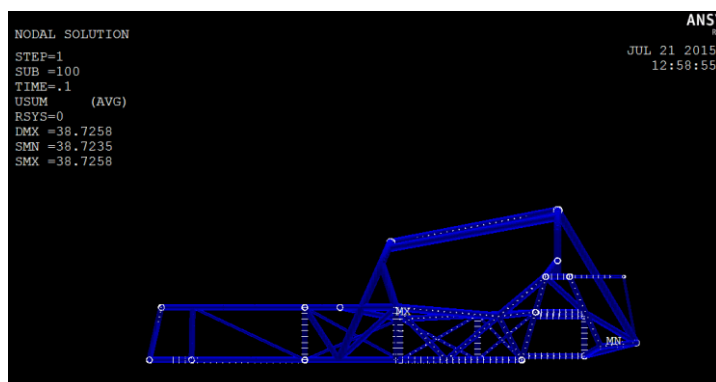
14. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΥΓΚΡΟΥΣΗΣ (CRASH TEST)

Οι προσομοιώσεις σύγκρουσης είναι ένας τρόπος να μελετηθεί η ασφάλεια των αυτοκινήτων που μπαίνουν στην αγορά. Δεν είναι λίγες οι φορές που μοντέλα δεν πέτυχαν εμπορικά λόγω της χαμηλής βαθμολογίας, όπως το Daewoo Kalos στην αγορά των Ηνωμένων Πολιτειών. Οι συγκρούσεις που γίνονται είναι μετωπικές (πάνω σε τοίχο ολόκληρο το αυτοκίνητο, πάνω σε τοίχο το μισό), πλαγίες όπως αυτές με άλλο αυτοκίνητο αλλά και πάνω σε στύλο. Οι ταχύτητες που πραγματοποιούνται τα τεστ είναι τα 56.32 km/h ή 15.64 m/s για την μετωπική όσο και για την πλάγια. Ο χρόνος διάρκειας της σύγκρουσης είναι 100 milisec, όπως αναφέρεται στην ιστοσελίδα του αμερικάνικου ανεξάρτητου οργανισμού που διεξάγει crash test, NHTSA . Επομένως η επιβράδυνση είναι :

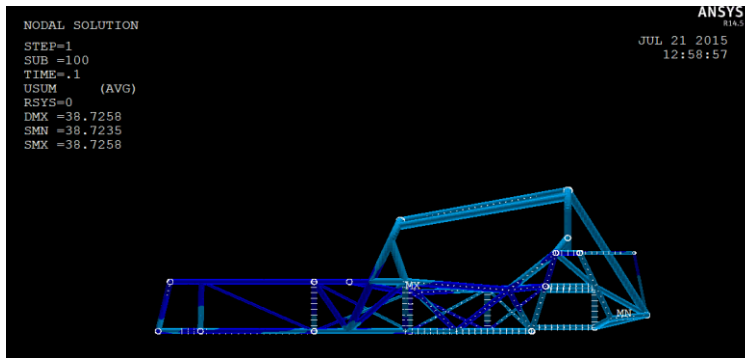
$$a = \frac{15.64}{0.1} = 156.4 \frac{m}{s^2}$$

Τοποθετήσαμε αυτή την επιβράδυνση στο πρόγραμμα στην καρτέλα inertia και επιλέξαμε κατεύθυνση μόνο ως προς X. Επιπλέον θεωρήσαμε το πάνω τμήμα της μετόπης και τα δυο πλαϊνά δεσμευμένα ως προς UX ώστε να θεωρηθεί πρόσκρουση σε τοίχο, αλλά και ως προς UY λόγω συμμετρίας του πλαισίου. Το κάτω τμήμα θεωρήθηκε δεσμευμένο ως προς UZ σε περίπτωση που το πλαίσιο μπορεί να χρειαστεί να ανασηκωθεί λόγω της ταχύτητας πρόσκρουσης. Εισάγοντας αυτά τα δεδομένα στο ANSYS και επιλέγοντας ως τύπο ανάλυσης transient και Full στη δεύτερη καρτέλα που εμφανίζεται, παίρνουμε τα παρακάτω αποτελέσματα. Μια μέγιστη παραμόρφωση ίση με 38.7225 mm στο άνω σημείο της μετόπης και τις πάνω ράβδους όπως φαίνεται στο δέκατο στιγμιότυπο της αναπαράστασης.

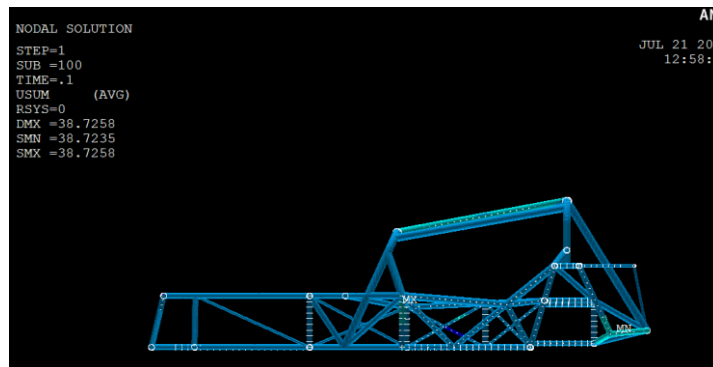
Επειδή στο παρόν τεύχος δεν μπορούν να τοποθετηθούν βίντεο με την αναπαράσταση της σύγκρουσης, έχουν τοποθετηθεί οι εικόνες 14.1 έως 14.10 με τα 10 στιγμιότυπα του βίντεο αναπαράστασης.



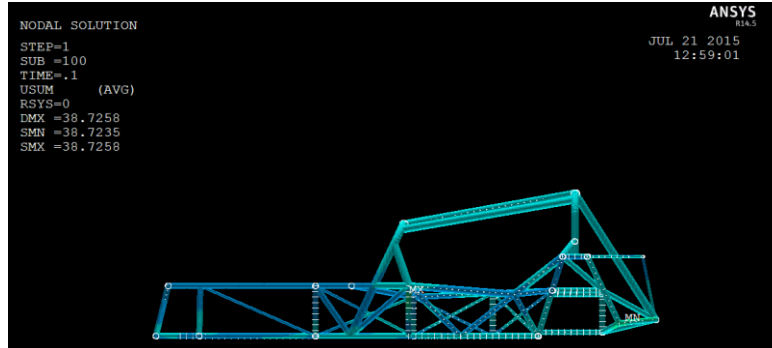
Εικόνα 14.1:1^ο στιγμιότυπο σύγκρουσης.



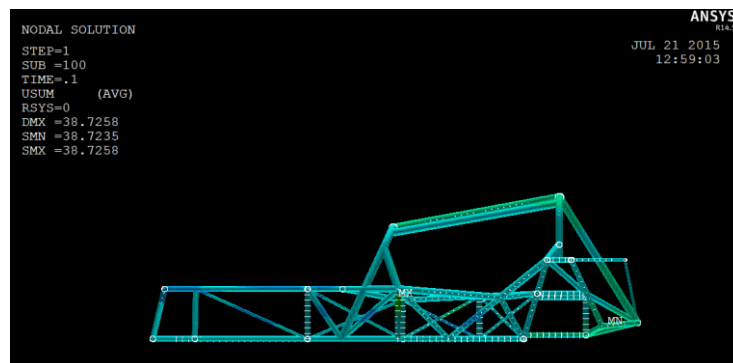
Εικόνα 14.2: 2^ο στιγμιότυπο σύγκρουσης.



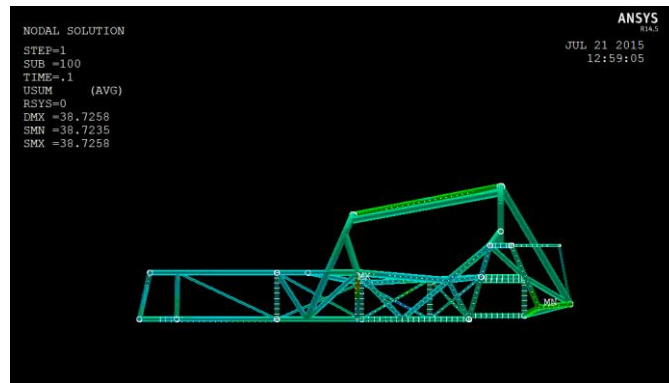
Εικόνα 14.3: 3^ο στιγμιότυπο σύγκρουσης.



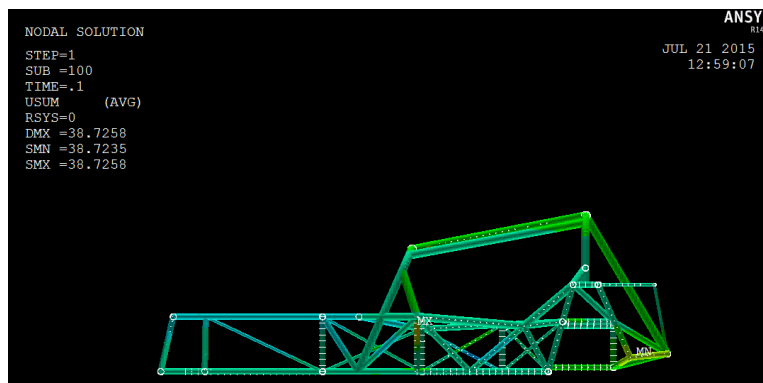
Εικόνα 14.4: 4^ο στιγμιότυπο σύγκρουσης.



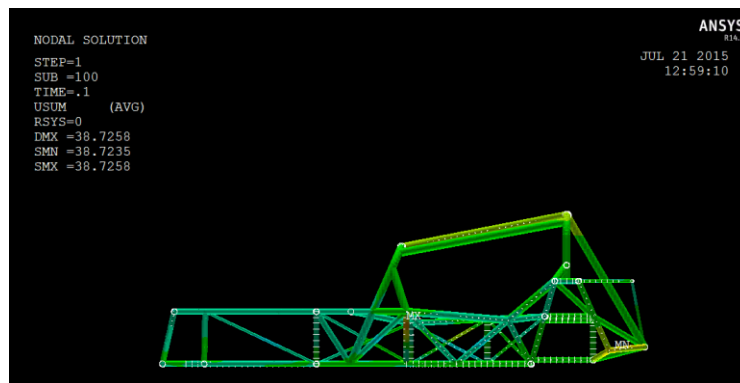
Εικόνα 14.5: 5^ο στιγμιότυπο σύγκρουσης.



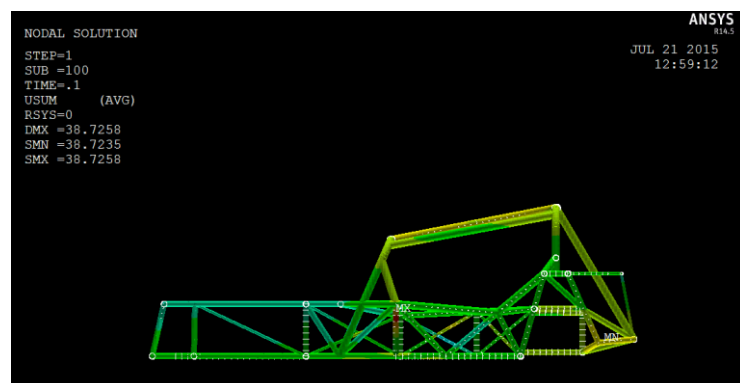
Εικόνα 14.6: 6^ο στιγμιότυπο σύγκρουσης.



Εικόνα 14.7: 7^ο στιγμιότυπο σύγκρουσης.



Εικόνα 14.8: 8^ο στιγμιότυπο σύγκρουσης.



Εικόνα 14.9: 9^ο στιγμιότυπο σύγκρουσης.



Εικόνα 14.10: 10^ο στιγμιότυπο σύγκρουσης.

Παρατηρείται λοιπόν μια πολύ μικρή παραμόρφωση, γεγονός που έχει να κάνει με τη χαμηλή ταχύτητα πρόσκρουσης. Αυτό θα χαρακτηριζόταν ως επικίνδυνο για τους επιβαίνοντες, αφού δεν απορροφάται πολύ ποσοστό ενέργειας πρόσκρουσης ενώ θα ήταν επικίνδυνο σε μια σύγκρουση με άλλα οχήματα.

Όμως στο μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε έλλειπαν χαρακτηριστικά όπως εμπρόσθιος προφυλακτήρας αλλά και το ψυγείο που τοποθετείται μπροστά από την μετόπη Εικ. 14.11. Τα δύο αυτά χαρακτηριστικά δημιουργούν μια ζώνη παραμόρφωσης για χαμηλής ταχύτητας πρόσκρουση που αποσβένουν ένα μέρος της ενέργειας πρόσκρουσης, χαρακτηριστικό ιδιαίτερα ωφέλιμο για τους επιβαίνοντες, χωρίς να είναι το αυτοκίνητο επικίνδυνο σε συγκρούσεις με άλλα αυτοκίνητα. Ας μην ξεχνάμε ότι στα σύγχρονα αυτοκίνητα υπάρχει προφυλακτήρας, εγκάρσια ενίσχυση αυτού, τραβέρσα όπως ονομάζεται από τους τεχνίτες, συνήθως από αλουμίνιο, ψυγεία νερού και κλιματισμού και μετά η μετόπη. Για αυτό λοιπόν βλέπουμε μεγαλύτερες παραμορφώσεις στο μπροστινό μέρος, χωρίς ωστόσο η μετόπη να παθαίνει την μεγαλύτερη ζημιά αφού όλα τα προαναφερθέντα έχουν απορροφήσει ένα μεγάλο ποσοστό της ενέργειας πρόσκρουσης με την παραμόρφωσή τους.



Εικόνα 14.11: Τοποθέτηση ψυγείων μπροστά από τη μετόπη.

15. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Παρατηρούμε λοιπόν ότι το πλαίσιο που αρχικά μελετήθηκε δεν ανταποκρίνεται στην πλειονότητα των περιπτώσεων στους κανονισμούς ασφαλείας του FSAE. Ενώ με την χρήση των κανονισμών της FIA το αποτέλεσμα είναι σαφώς καλύτερο ανταποκρινόμενο πλήρως εκτός της περίπτωσης του E235. Μπορεί το βάρος να αυξήθηκε κατακόρυφα όμως αυξήθηκε και η ασφάλειά του. Εξάλλου το πλαίσιο σχεδιάστηκε με τις προδιαγραφές ασφαλείας του 1957, που είναι κατά πολύ υποδεέστερες σε σχέση με τις σημερινές. Γεγονός που έχει αυξήσει το βάρος και των σύγχρονων οχημάτων. Εξάλλου για την συμμετοχή του συγκεκριμένου αυτοκινήτου σε αγώνες ο κλωβός ασφαλείας είναι αρκετά πυκνός σε διάταξη σωλήνων, ενώ ως όχημα έχει απαγορευθεί σε κάποιες χώρες ως επικίνδυνο, για το χαμηλό επίπεδο ασφαλείας που παρέχει στους επιβαίνοντες.

Συμπερασματικά λοιπόν υπήρξε μια αναβάθμιση της ασφάλειας του πλαισίου σε όλους τους τομείς ασφαλείας, τόσο παθητικής με τις μικρές παραμορφώσεις, όσο και της ενεργητικής με την αύξηση της στρεπτικής ακαμψίας κατά 6 φορές, χαρίζοντας ένα πολύ πιο ασφαλές πλαίσιο σε σύγκριση με το αρχικό. Βέβαια το κόστος κατασκευής έχει αυξηθεί πάρα πολύ κυρίως λόγω του παραπάνω υλικού, μιας και το μοντέλο Caterham CSR (Εικ. 15.1) είναι κατασκευασμένο από χρωμιομολυβδαίνιο και σχηματίζει την περίπλοκη γεωμετρία χωρίς κλωβό ασφαλείας. Ξεκαθαρίζοντας ότι το τελικό μοντέλο δεν είναι τόσο πολύπλοκο γεωμετρικά σε σχέση με υπάρχοντα μοντέλα του ίδιου τύπου.



Εικόνα 15.1: Caterham CSR. Το πλαίσιο είναι κατασκευασμένο από χρωμιομολυβδαίνιο σχηματίζοντας περίπλοκη γεωμετρία.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΒΙΒΛΙΑ ΣΥΓΓΡΑΜΜΑΤΑ

Τεχνολογία Αμαξωμάτων, συγγραφέας Καπετανάκης Γιώργος, εκδόσεις ΙΔΕΕΑ

“Lotus and Caterham Seven”, συγγραφέας John Tipler , εκδόσεις “The crowood press”

“Build your own sports car for as little as 250£”, συγγραφέας Ron Champion, εκδόσεις Haynes publishing

“Build your own sports car on a budget”, συγγραφέας Chriss Gibbs, εκδόσεις Haynes publishing

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

<http://www.royalauto.in/wp-content/uploads/2010/02/Auto-Types-of-Chassis1.pdf>

https://en.wikipedia.org/wiki/Lotus_Seven

https://en.wikipedia.org/wiki/Caterham_7

<https://en.wikipedia.org/wiki/Locost>

http://students.sae.org/cds/formulaseries/rules/2015-16_fsaе_rules.pdf

Fia safety rules aticle-253

https://www.google.gr/?gws_rd=ssl#q=fia+article+253+%E2%80%93+2014

<http://www.tenaris.com/shared/documents/files/CB32.pdf>

<http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=m4130r>

http://www.cadanda.com/CAD_PACE_1_67-75.pdf

<http://www.nhtsa.gov/>