

ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΤΟΜΕΑ (Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ)
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**<<ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ
ΑΥΤΟΦΕΡΟΜΕΝΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΑΠΟ
ΑΝΘΡΑΚΟΝΗΜΑΤΑ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ
ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ>>**



Κουφόπουλος Σταύρος-Αλέξανδρος
(Α.Μ. 40938)

Επιβλέπων Καθηγητής:

Δρ. Στεργίου Κωνσταντίνος

Πειραιάς, Δεκέμβριος 2017

Δήλωση ακαδημαϊκής ακεραιότητας

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αποτελεί απόσπασμα των αναγραφόμενων εργασιών στα πλαίσια της συμμετοχής του στο ερευνητικό πρόγραμμα «Ποσειδών». Επίσης όλες οι πηγές που έχουν χρησιμοποιηθεί για τη σύνταξη της αναφέρονται πλήρως και αποτελεί δική του ιδιοκτησία.

Σταύρος-Αλέξανδρος Κουφόπουλος

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ πολύ τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Στεργίου για τη στήριξη και την καθοδήγηση που μου παρείχε. Τους εργαζομένους του τμήματος 'Research&ProductDesignDepartment' της Ελληνικής Αεροπορικής Βιομηχανίας κ. Ευάγγελο Καραχάλιο, κ. Βασίλειο Πρέντζια και κ. Ευάγγελο Καρέλα, για τη βοήθεια τους κατά τη διάρκεια της πρακτικής μου άσκησης στην εταιρία καθώς και τα μέλη της ομάδας «Ποσειδών» του Α.Τ.Ε.Ι. Πειραιά Τ.Τ. για την πολύτιμη συνεργασία του όλα αυτά τα χρόνια, τις εμπειρίες, γνώσεις και ιδέες που έχουμε μοιραστεί.

Περίληψη

Το περιεχόμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας, αφορά τα χαρακτηριστικά του οχήματος 'Orca' που έχει σχεδιαστεί από τους φοιτητές της ομάδας "Ποσειδών", του Α.Ε.Ι Πειραιά Τ.Τ., με σκοπό την συμμετοχή της ομάδας στον διαγωνισμό "ShellEcoMarathon", που πραγματοποιείται στην Ευρώπη.

Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζεται η μεθοδολογία με την οποία προκύπτουν τα χαρακτηριστικά ενός σασί, λόγω της επιβολής στατικών φορτίων σε αυτό, μέσω της ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων. Το είδος του σασί το οποίο θα αναλυθεί είναι, αυτοφερόμενο πλαίσιο (Monocoque) από σύνθετα υλικά και πιο συγκεκριμένα από ανθρακονήματα (CFRP).

Μέσω της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων δίνεται η δυνατότητα συλλογής πληροφοριών, για τις τιμές και τις διευθύνσεις των παραμορφώσεων που πραγματοποιούνται στο σασί, λόγω των στατικών φορτίων που ασκούνται πάνω του. Τα αποτελέσματα που θα προκύψουν θα προσδιορίσουν τα βασικά χαρακτηριστικά του σασί, καθώς και τα προβλήματα του. Στην συνέχεια, αφού ικανοποιηθούν οι προδιαγραφές που έχουν οριστεί, θα πραγματοποιηθούν επιπλέον αναλύσεις, με στόχο την μείωση του βάρους.

Επίσης παρουσιάζονται οι θεμελιώδεις κανόνες που αφορούν τη δυναμική του οχήματος, ο ορισμός του συστήματος συντεταγμένων οχήματος (SAE Vehicle Axis System) μέσω του οποίου θα προκύψει η διεύθυνση των φορτίων, η μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων, οι προδιαγραφές με βάση τις οποίες πραγματοποιήθηκαν οι αναλύσεις. Τέλος παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν και ο τρόπος με τον οποίο τοποθετούνται.

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή	6
1.1. Ιστορική αναδρομή της ομάδας Ποσειδών.....	7
1.2. Σκοπός και Στόχοι.....	11
1.3. Βασικές Έννοιες	12
1.3.1. Η δυναμική κίνηση του οχήματος.....	12
1.3.2. Μελέτη της κίνησης του οχήματος μέσω συστήματος συντεταγμένων	13
1.3.3. Η Μέθοδος των Πεπερασμένων Στοιχείων (FiniteElementMethod).....	17
1.3.4. Σύνθετα υλικά από ανθρακονήματα και υλικά πυρήνα.....	18
1.3.5. Αυτοφερόμενο πλαίσιο (MonocoqueChassis)	22
2. Μεθοδολογία μοντελοποίησης του αμαξώματος με στόχο την πραγματοποίηση ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων.	23
2.1. Στάδια μοντελοποίησης του αμαξώματος.....	24
2.1.1. Δημιουργία πλέγματος στη γεωμετρία του σασί	24
2.1.3. Μοντελοποίηση του σύνθετου υλικού	54
2.2 Συνθήκες ελέγχου του αμαξώματος	60
2.2.1. Αναφορά των Συνθηκών Ελέγχου	60
2.2.2. Εισαγωγή των συνθηκών ελέγχου στο μοντέλο	65
3. Στατική ανάλυση αυτοφερόμενου πλαισίου από ανθρακονήματα	84
3.1 Ανάλυση σασί, με την χρήση ελάχιστης διαστρωμάτωσης	84
3.2 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων.....	99
3.3 Επιλογή τελικού μοντέλο	101
4.Συμπεράσματα	124
5. Προτάσεις περαιτέρω εξέλιξης του οχήματος.	126
6.Βιβλιογραφία	128

1. Εισαγωγή

Η ολοκλήρωση της κατασκευής ενός οχήματος, ανεξαρτήτως αν είναι για αστική ή αγωνιστική χρήση απαιτεί την μελέτη, την κατασκευή και την συναρμολόγηση διαφόρων εξαρτημάτων και τμημάτων. Κάθε ένα από τα οποία συμβάλει με διαφορετικό τρόπο, σε διαφόρους τομείς του οχήματος, όπως είναι η απόδοση, η ασφάλεια των επιβατών και η εργονομία του.

Ένα από τα βασικότερα τμήματα ενός οχήματος, είναι το σασί/αμάξωμα διότι αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα για την απόδοση του οχήματος, την οδηγική του συμπεριφορά, την ασφάλεια του οδηγού κτλ. Επίσης συμμετέχει στην ολοκλήρωση του οχήματος, διότι πάνω σε αυτό τοποθετούνται όλα τα υπόλοιπα τμήματα που απαρτίζουν ένα όχημα.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία γίνεται αναφορά των διαδικασιών που απαιτήθηκαν, για την ολοκλήρωση της μελέτης-προσομοίωσης αυτοφερόμενου πλαισίου από άνθρακονήματα. Το οποίο σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε από την ομάδα 'Ποσειδών', με σκοπό την συμμετοχή της στον διεθνή διαγωνισμό 'ShellEcoMarathon'.

Αρχικό στάδιο για την ολοκλήρωση αυτής της μελέτης είναι η μοντελοποίηση (Pre-processing) όλων των δεδομένων, σύμφωνα με τις προδιαγραφές που απαιτούνται για ανάλυση με την μέθοδο πεπερασμένων στοιχείων. Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει τον έλεγχο και την διόρθωση της γεωμετρίας που θα αναλυθεί, με στόχο την δημιουργία μίας ενιαίας γεωμετρίας. Στην συνέχεια δημιουργείται το πλέγμα (mesh) σε αυτήν, το οποίο ελέγχεται, για την περίπτωση εμφάνισης ασυνέχειας μεταξύ των στοιχείων του (elements).

Επόμενο στάδιο της μοντελοποίησης είναι η εισαγωγή των μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν. Η ολοκλήρωση αυτού του βήματος γίνεται με την μοντελοποίηση, του σύνθετου υλικού.

Η διαδικασία της μοντελοποίησης ολοκληρώνεται με την εισαγωγή των συνθηκών ελέγχου. Αυτές στην ουσία αφορούν ελέγχους του οχήματος για την ασφάλεια του οδηγού, σύμφωνα με τις προδιαγραφές του διαγωνισμού καθώς και επιπρόσθετους ελέγχους, που αφορούν την βελτιστοποίηση του οχήματος.

Μετά την ολοκλήρωση της μοντελοποίησης, επόμενο στάδιο της μελέτης αποτελεί η ανάλυση του σασί. Σύμφωνα με τα δεδομένα που προκύπτουν από την κάθε ανάλυση, γίνεται η αξιολόγηση τους, με στόχο την ικανοποίηση των προδιαγραφών του διαγωνισμού καθώς και την επίτευξη του ελαχίστου βάρους του σασί. Οι αλλαγές που πραγματοποιούνται συνήθως, αφορούν κυρίως τα σύνθετα υλικά και τα σημεία της γεωμετρίας στα οποία εφαρμόζονται.

Η ολοκλήρωση αυτής της μελέτης γίνεται με την επιλογή του τελικού μοντέλου, το οποίο έχει προκύψει μετά από σειρά αναλύσεων και πληροί τις προδιαγραφές που έχουν οριστεί.

1.1. Ιστορική αναδρομή της ομάδας Ποσειδών

Ο 'ShellEcoMarathon' είναι ένας ετήσιος διαγωνισμός ο οποίος διοργανώνεται από την εταιρία Shell η οποία καλεί τους συμμετέχοντες να σχεδιάσουν, να κατασκευάσουν και να οδηγήσουν τα οχήματά τους, με στόχο την ανάδειξη του πιο αποδοτικού οχήματος, ως προς την κατανάλωση. Ο διαγωνισμός ξεκίνησε ως στοίχημα το 1939 μεταξύ των επιστημόνων της Shell στο WoodRiver, Illinois, USA, για το ποιος θα διανύσει με το όχημα του, την μεγαλύτερη απόσταση με ένα γαλόνι καυσίμου, με τον νικητή να διανύει 21,12Km/L. Έκτοτε ο διαγωνισμός πραγματοποιείται κάθε χρόνο σε διάφορες χώρες της Ευρώπης, της Ασίας και της Νότιας Αμερικής. Οι συμμετέχοντες έχουν τη δυνατότητα να επιλέξουν ανάμεσα σε δύο τύπους οχημάτων, δηλαδή τα 'Prototype' τα οποία εστιάζουν στην μέγιστη απόδοση της κατανάλωσης και τα 'Urban' που στοχεύουν στην κατασκευή ενεργειακών οχημάτων για αστική χρήση. Επίσης τα οχήματα κατηγοριοποιούνται με βάση άλλης μιας επιλογής που έχουν οι ομάδες, η οποία είναι ως προς την πηγή ενέργειας δηλαδή το καύσιμο που θα καταναλώνει το όχημα, το οποίο μπορεί να είναι βενζίνη, diesel, biofuel, υγραέριο, υδρογόνο και ηλεκτρική ενέργεια(μπαταρία), καθώς και το σύστημα προώθησης του οχήματος, που μπορεί να είναι είτε Μηχανή Εσωτερικής Καύσης(MEK) είτε Ηλεκτροκινητήρας. Ακόμα για να μπορέσει κάποιο όχημα να αγωνιστεί, θα πρέπει να πληροί κάποιους κανονισμούς(ShellEcoMarathon 2017 OFFICIALRULESCHAPTER 1) βάσει τον τύπο οχήματος και την πηγή ενέργειας, με σκοπό την επιτυχή ολοκλήρωση του τεχνικού ελέγχου.

Η ανάδειξη του πιο αποδοτικού οχήματος στην εκάστοτε κατηγορία που συμμετέχει γίνεται με βάση την ποσότητα της ενέργειας που θα καταναλώσει, διανύοντας μια συγκεκριμένη απόσταση σε λιγότερο από 40 λεπτά.

Η συμμετοχή και ταυτόχρονα η αρχή της ιστορίας του Α.Τ.Ε.Ι. Πειραιά Τ.Τ. στο διαγωνισμό 'ShellEcoMarathon' και πιο συγκεκριμένα στην κατηγορία 'batteryelectric', με πρότυπο όχημα το οποίο ονομαζόταν 'Dominator' και αποτελούταν από σωληνωτό πλαίσιο και κέλυφος από plexiglass, ξεκινάει το 2012 με την ομάδα 'QuattroEcoMechanicsTeam', που αποτελούταν από δύο φοιτητές του τμήματος Μηχανολογίας. Ο απολογισμός εκείνης της χρονιάς ήταν η μη επιτυχής συμμετοχή της ομάδας στο διαγωνισμό, λόγω τεχνικών προβλημάτων κατά την διάρκεια του αγώνα. Το 2013 συμμετείχαν επιπλέον φοιτητές και πραγματοποιήθηκε επιπλέον προσπάθεια για την κατασκευή ενός νέου οχήματος(DominatorII), που αποτελούταν από σωληνωτό πλαίσιο με

κέλυφος από υαλονήματα, του οποίου δυστυχώς η συμμετοχή είχε το ίδιο αποτέλεσμα με αυτό της προηγούμενης χρονιάς.

Μετά από δύο συνεχόμενες προσπάθειες οι οποίες δεν είχαν τα αποτελέσματα που αναμένονταν, το 2013-2014 συστάθηκε η ομάδα 'Ποσειδών', η οποία αποτελούταν από 18 συνολικά φοιτητές των τμημάτων Μηχανολόγων και Ηλεκτρολόγων Μηχανικών. Έχοντας συσταθεί νέα ομάδα και κατά συνέπεια νέοι στόχοι, αποφασίστηκε η ανακατασκευή του οχήματος 'Dominator', διατηρώντας μόνο το πλαίσιο του, το οποίο μετονομάστηκε σε 'Trireme'. Μετά από πολλές ώρες σκληρής δουλειάς και αφοσίωσης και αφού ξεπεράστηκαν αρκετά προβλήματα, το όχημα και κατά συνέπεια η ομάδα, για πρώτη φορά στην ιστορία της, κατάφερε την επιτυχή συμμετοχή της στο διαγωνισμό. Το αποτέλεσμα αυτής της προσπάθειας ήταν η κατάκτηση της 11^{ης} θέσης ανάμεσα σε 49 συμμετέχοντες, με μια πολύ καλή επίδοση στα 528 Km/KWh, η οποία αποτελεί και πανελλήνιο ρεκόρ. Έπειτα από αυτήν την επιτυχία, η ομάδα έθεσε νέους στόχους για την επόμενη χρονιά (2015-2016), οι οποίοι ήταν η βελτιστοποίηση του υπάρχοντος οχήματος ως προς το βάρος και τα ηλεκτρονικά συστήματα, με την χρήση νέων μεθόδων κατασκευής και υλικών, με στόχο την απόκτηση τεχνογνωσίας. Επιπλέον, τέθηκε ακόμα ένας στόχος. Αυτός ήταν η μελέτη και ο σχεδιασμός ενός νέου οχήματος, με τη χρήση μεθόδων κατασκευής και υλικών που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή ενός μονοθέσιου της Formula 1, στην οποία γίνεται η χρήση των πιο σύγχρονων τεχνολογιών, στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας. Το νέο όχημα της ομάδας αποφασίστηκε ότι θα είναι τύπου αυτοφερόμενου πλαισίου (monocoque) από ανθρακονήματα (carbon fibers).

Σε αυτό το σημείο θα ήταν σημαντικό να αναφέρουμε όσον αφορά το αυτοφερόμενο πλαίσιο, ότι η χρήση αυτής της τεχνολογίας ξεκίνησε με την κατασκευή πάνελς για το αμάξωμα από σύνθετα υλικά και πιο συγκεκριμένα από υαλονήματα (glass fiber) από τη δεκαετία του 1950, ενώ η χρήση του ανθρακονήματος άρχισε την δεκαετία του 1980. Το πρώτο μονοθέσιο στο οποίο έγινε η χρήση του αυτοφερόμενου πλαισίου, ήταν η Lotus 25 το 1962, με την χρήση λεπτών πλακών μετάλλου γύρω από τις μπάρες του πλαισίου, με σκοπό την αύξηση της ακαμψίας του. Το συγκεκριμένο μονοθέσιο σχεδιάστηκε από τον Colin Chapman, ο οποίος ήταν επικεφαλής της Lotus την περίοδο εκείνη. Στη συνέχεια το 1983 πραγματοποιήθηκε η πρώτη συμμετοχή μονοθέσιου, στην ιστορία του θεσμού της Formula 1, το οποίο συνδύαζε τις παραπάνω τεχνολογίες, δηλαδή την κατασκευή αυτοφερούμενου πλαισίου από ανθρακονήματα. Το εγχείρημα αυτό έγινε από την McLaren, με την κατασκευή της McLaren MP4/1 και υπεύθυνο τον μηχανικό John Barnard. Έκτοτε η κατασκευή τέτοιου τύπου μονοθέσιου καθιερώθηκε και χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα, ενώ η χρήση της τεχνολογίας αυτής εφαρμόζεται και στα επιβατικά αυτοκίνητα.

Η υλοποίηση του νέου εγχειρήματος, ξεκινά με το σχεδιασμό ενός πλήρως παραμετρικού μοντέλου σε CAD(CATIA), το οποίο θα προσαρμόζεται συνεχώς με βάση τα αποτελέσματα παράλληλων αεροδυναμικών προσομοιώσεων.

Η ομάδα 'Ποσειδών', ολοκληρώνει με επιτυχία τη συμμετοχή της στο διαγωνισμό, με τον βελτιστοποιημένο όχημα της προηγούμενης χρονιάς, καταλαμβάνοντας όμως την 22^η θέση, λόγω προβλημάτων που υπήρξαν στον σύστημα διαχείρισης ενέργειας του οχήματος. Παράλληλα στο τέλος της ίδιας χρονιάς, ολοκληρώθηκαν όλες οι αεροδυναμικές προσομοιώσεις, όπου είχαν ως αποτέλεσμα την τελική μορφή του νέου οχήματος. Αυτό δίνει το έναυσμα για την αρχή μιας σειράς εργασιών. Όπως ο σχεδιασμός και η κατασκευή των κατάλληλων καλουπιών, πειράματα για τον βέλτιστο τρόπο έκχυσης της ρητίνης στα ανθρακονήματα καθώς και η μελέτη του αμαξώματος σε ότι αφορά στη διεύθυνση και τον αριθμό των φύλλων ανθρακονήματος και την ενίσχυση σημείων του αμαξώματος με την χρήση ενισχυτικού υλικού(honeycomb). Οι παραπάνω μελέτες πραγματοποιούνται με γνώμονα την ασφάλεια του οδηγού, πληρώντας τους κανονισμούς που έχει θεσπίσει ο διαγωνισμός αλλά και ταυτόχρονα την επίτευξη του ελάχιστου βάρους του αμαξώματος, το οποίο συμβάλλει στην αύξηση της απόδοσης ως προς την κατανάλωση καυσίμου.

Όσον αφορά την μελέτη του αμαξώματος έγινε με την χρήση της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων. Επιλέχθηκε η χρήση αυτής της μεθόδου, διότι αποτελεί τον πιο αποτελεσματικό τρόπο, επίλυσης πολύπλοκων μηχανικών προβλημάτων των στερεών σωμάτων μέσω της αριθμητικής ανάλυσης. Για αυτόν τον λόγο έχει ευρεία χρήση ακόμα και σε προβλήματα που αφορούν την μηχανική ρευστών, του ηλεκτρομαγνητισμού και γενικότερα εκείνων των προβλημάτων που μπορούν να περιγραφούν με την χρήση διαφορικών εξισώσεων.

Τα πρώτα βήματα για την χρήση αυτής της μεθόδου έγιναν το 1941 όταν ο Hrenikoff επινόησε μια μέθοδο για την επίλυση προβλημάτων ελαστικότητας δύο διαστάσεων προσεγγίζοντας το πεδίο με ισοδύναμες ράβδους και δοκούς. Στη συνέχεια ακολούθησαν σχετικές εργασίες του Hrenikoff και του Courant. Η μέθοδος όμως εδραιώθηκε το 1960 από τους Αργύρη και Kelsey. Τέλος η ονομασία της χρησιμοποιήθηκε πρώτη φορά από τον Clough το 1960.

Τέλος αφού ολοκληρώθηκαν όλες οι απαραίτητες μελέτες όπως αυτή του αμαξώματος, του συστήματος διεύθυνσης, του συστήματος μετάδοσης κίνησης και της διαχείρισης ενέργειας, ξεκίνησαν οι διαδικασίες κατασκευής του οχήματος.

Το 2015-2016 ξεκίνησε το πρώτο στάδιο για την ολοκλήρωση του οχήματος που είναι η κατασκευή του αμαξώματος. Αφού ολοκληρώθηκαν οι απαραίτητες ενέργειες για την προετοιμασία των καλουπιών, ξεκίνησε η τοποθέτηση των

φύλλων ανθρακονήματος και όλων των απαραίτητων εξαρτημάτων, που απαιτούνται για την έκχυση της ρητίνης. Μετά το πέρας αυτής της διαδικασίας, πραγματοποιήθηκε η αποκόλληση του αμαξώματος από τα καλούπια. Στη συνέχεια έγινε αφαίρεση του επιπρόσθετου υλικού που υπήρχε περιμετρικά του αμαξώματος και έγινε κατάλληλη επεξεργασία της επιφάνειάς του, με σκοπό την επίτευξη όσον το δυνατόν πιο λείας επιφάνειας. Επίσης η επιφάνεια του οχήματος καλύφθηκε με κατάλληλο βερνίκι ώστε να μειωθεί περαιτέρω ο αεροδυναμικός συντελεστής που δημιουργείται μέσω της τριβής του οχήματος με τον αέρα. Μετά την ολοκλήρωση των παραπάνω εργασιών τοποθετήθηκαν όλα τα υποσυστήματα που απαιτούνταν για την ολοκλήρωση του. Αυτά ήταν το σύστημα διεύθυνσης και του υποπλαισίου του πίσω μέρους του οχήματος, στο οποίο στηρίζεται η ρόδα και ο brushedDC κινητήρας των 180W, έδινε την κίνηση στον τροχό μέσω συστήματος μετάδοσης κίνησης γραναζιού-αλυσίδας. Η τροφοδοσία του ηλεκτροκινητήρα γινόταν από μπαταρία ιόντων λιθίου χωρητικότητας 48 V, και ελεγχόταν από πλακέτα διαχείρισης ενέργειας που σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε από τα μέλη της ομάδας 'Ποσειδών'.

Η καθυστέρηση στην ολοκλήρωση του οχήματος δεν επέτρεψε την διενέργεια εκτενών δοκιμών και περιορίσε τις δυνατότητες βελτιστοποίησης της λειτουργίας του. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την εμφάνιση αρκετών τεχνικών προβλημάτων, κατά την διάρκεια του διαγωνισμού και η συμμετοχή κατέλαβε την 19^η θέση στη γενική κατάταξη.

Η διαρκής εξέλιξη του οχήματος αλλά και η εμπειρία της ομάδας που αποκτήθηκε από τις συμμετοχές των προηγούμενων χρόνων βοήθησε ώστε η συμμετοχή στον αγώνα την περίοδο 2015-2016, να αποδειχθεί η πιο ικανοποιητική από όλες τις προηγούμενες χρονιές.

Με βάση τα δεδομένα που συνέλλεξε και την εμπειρία που απόκτησε την προηγούμενη χρονιά η ομάδα, αποφασίστηκε το 2016-2017 να αφιερωθεί εξολοκλήρου στη βελτιστοποίηση του υπάρχον οχήματος.

Οι εργασίες για την εξέλιξη του οχήματος άρχισαν πολύ νωρίς, με στόχο την έγκαιρη ολοκλήρωση όλου του οχήματος και των υποσυστημάτων και την πραγματοποίηση εκτεταμένων δοκιμών. Μερικές από τις σημαντικότερες αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν ήταν στην κατασκευή διαφόρων εξαρτημάτων με την χρήση της τεχνολογίας 3D Printing αλλά και των ανθρακονημάτων, με σκοπό την μείωση του βάρους του οχήματος. Μερικά από αυτά τα εξαρτήματα ήταν βάσεις για το έρμα, το σύστημα διεύθυνσης και πιο συγκεκριμένα ο μοχλός με τον οποίο ο οδηγός ελέγχει το σύστημα διεύθυνσης του οχήματος. Ακόμα η σημαντικότερη αλλαγή που πραγματοποιήθηκε ήταν στον κινητήρα του οχήματος αλλά και στον τρόπο διαχείρισης της ενέργειας. Αξιοποιώντας δεδομένα που συλλέχτηκαν την προηγούμενη χρονιά, έγινε

αντικατάσταση του παλιού κινητήρα, με έναν ηλεκτροκινητήρα μόνιμων μαγνητών (BLDC) της σειράς EC-i 52 180W της εταιρίας Maxon, ο οποίος έχει μεγαλύτερο εύρος αποδοτικής λειτουργίας. Επίσης έγινε επανασχεδιασμός του συστήματος οδήγησης του κινητήρα, με σύστημα οδήγησης TripleHalfHbridgeχρησιμοποιώντας ως εγκέφαλο έναν επεξεργαστή DSP της TexasInstruments.

Οι παραπάνω αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν είχαν σαν αποτέλεσμα, την διάκριση του οχήματος και της ομάδας, σε δύο τομείς. Ο πρώτος τομέας ήταν ενεργειακή απόδοση του οχήματος, βάσει της οποίας το όχημα κατέκτησε την 9^η, επιτυγχάνοντας επίδοση 412km/kWh, ανάμεσα σε 45 ομάδες στην κατηγορία batteryelectric. Η δεύτερη διάκριση της ομάδας ήταν στον τομέα του σχεδιασμού, όπου έχοντας να αντιμετωπίσει όλα τα οχήματα που συμμετείχαν στην κατηγορία prototypevehicles, κατάφερε και κατέκτησε το βραβείο 'DesignAward'.

1.2.Σκοπός και Στόχοι

Σκοπός, της πτυχιακής εργασίας αρχικά είναι, η μοντελοποίηση(Pre-Processing) του οχήματος, η οποία αποτελείται από την τήρηση των κριτηρίων μιας τυπικής ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων, καθώς και τον προσδιορισμό και υπολογισμό των δυνάμεων που θα επιβληθούν στο πλαίσιο. Στη συνέχεια πρέπει να γίνει ο προσδιορισμός του αριθμού των φύλλων ανθρακονήματος(Carbon-fibers) που θα τοποθετηθούν, με ποία διεύθυνση πρέπει να τοποθετηθούν και ποία σημεία του πλαισίου πρέπει να ενισχυθούν με υλικό πυρήνα (CoreMaterial).

Επιμέρους στόχοι είναι:

- Θεωρητική αναφορά στη μέθοδο προσομοίωσης μέσω των πεπερασμένων στοιχείων, στο σύστημα συντεταγμένων μέσω του οποίου ορίστηκαν οι διευθύνσεις των φορτίων που ασκούνται στο αμάξωμα καθώς στα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν.
- Αναφορά των συνθηκών, βάση των οποίων θα μελετηθεί το αμάξωμα.
- Επισκόπηση της μεθόδου μοντελοποίησης, με την χρήση του προγράμματος MSCPatran/Nastran.
- Αναφορά των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων σε διάφορα μοντέλα.
- Αναφορά των διαδικασιών που έγιναν για την επίτευξη του ελάχιστου βάρους αλλά ταυτόχρονα και την τήρηση των συνθηκών.
- Παρουσίαση του τελικού μοντέλου και των συμπερασμάτων που προέκυψαν από την μελέτη.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία θα αποτελέσει βιβλιογραφική αναφορά για τις επόμενες γενιές της ομάδας 'Ποσειδών'.

1.3.Βασικές Έννοιες

Πριν γίνει αναφορά των σταδίων που πραγματοποιήθηκαν, για την επίτευξη της ανάλυσης, θα ήταν σκόπιμο να παρουσιαστούν κάποιες βασικές έννοιες οι οποίες θα βοηθήσουν στην καλύτερη κατανόηση της διαδικασίας.

1.3.1. Η δυναμική κίνηση του οχήματος

Η δυναμική οχήματος ασχολείται με την κίνηση του οχήματος. Πιο συγκεκριμένα, προσδιορίζει την κατεύθυνση και το μέγεθος των δυνάμεων που επιβάλλονται στο όχημα με την χρήση του 2ου νόμου του Νεύτωνα(1643-1727) και των βαθμών ελευθερίας (Eulerangles)(Jazar, 2008).

Η δυναμική 'συμπεριφορά' του οχήματος καθώς και οι δυνάμεις που επιβάλλονται στο όχημα, παράγονται από κάποιους παράγοντες που είναι τα ελαστικά, η βαρύτητα και η αεροδυναμική.

Για να παραχθούν αυτές οι δυνάμεις και κατά συνέπεια να επιβληθούν στο όχημα, αυτό θα πρέπει να βρίσκεται σε κίνηση. Αυτό σημαίνει ότι για κάποια χρονική στιγμή το όχημα εκτελεί κάποια ή κάποιες από τις παρακάτω συνθήκες(Gillespie,1992):

1. **Επιτάχυνση** (acceleration)
2. **Επιβράδυνση** (deceleration)
3. **Αλλαγή κατεύθυνσης** (cornering)

Οι δυνάμεις που επιβάλλονται στο όχημα υπό αυτές τις συνθήκες είναι :

1. **Διαμήκεις** ($\Sigma F_x = M \cdot a_x$) (longitudinal force)
2. **Εγκάρσιες** ($\Sigma F_y = M \cdot a_y$) (lateral force)
3. **Ροπές** ($\Sigma T_x = I_{xx} \cdot \alpha_x$) (rotational force)

Όπου :

ΣF : άθροισμα δυνάμεων στον άξονα x, y

M : μάζα του οχήματος

a : επιτάχυνση στον άξονα x, y

ΣT : άθροισμα ροπών

I_{xx} : ροπή αδράνειας στον άξονα x

Για να επιτευχθεί όμως ο προσδιορισμός της κατεύθυνσης και το μέγεθος των δυνάμεων και κατά συνέπεια να υπάρξει όσο το δυνατόν πιο ακριβέστερη προσομοίωση πρέπει :

1. **Να ορίσουμε το κέντρο βάρους του οχήματος (center of gravity).**
2. **Να ορίσουμε ένα πρότυπο σύστημα συντεταγμένων (coordinates system) .**
3. **Να καθορίσουμε σωστά τις εγκάρσιες και τις διαμήκεις δυνάμεις.**

ΚέντροΒάρους (center of gravity)

Το κέντρο βάρους του οχήματος είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας , διότι μας ορίζει το σημείο στο οποίο το όχημα ισορροπεί και επίσης σε αυτό το σημείο ορίζεται και το κέντρο του συστήματος συντεταγμένων.

Ο καθορισμός του κέντρου βάρους μπορεί να γίνει μέσω των προγραμμάτων που θα χρησιμοποιηθούν για την σχεδίαση του οχήματος.

1.3.2.Μελέτη της κίνησης του οχήματος μέσω συστήματος συντεταγμένων

Ο προσδιορισμός των φορτίων που δέχεται το αμάξωμα, εξαρτάται από την συνθήκη ή τις συνθήκες στην/ις οποία/ες βρίσκεται την συγκεκριμένη χρονική στιγμή το όχημα . Οι συνθήκες αυτές μπορεί να είναι η επιβράδυνση, η επιτάχυνση και η αλλαγή πορείας(στρίψιμο).

Για να μπορέσει να επιτευχθεί ο προσδιορισμός αυτών των καταπονήσεων, θα ακολουθηθεί μια διαδικασία, σύμφωνα με τα πρότυπα SAE(Society of Automotive Engineers)(Milliken & Milliken, 1995).

Αρχικά πρέπει να οριστεί ένα σύστημα τριών συντεταγμένων(SAE Vehicle Axis System) ως προς το κέντρο βάρους του οχήματος σύμφωνα με τον κανόνα του δεξιού χεριού, το οποίο θα 'ταξιδεύει' μαζί με τον όχημα και θα περιγράφει την κίνηση του.

Στην Εικόνα 1-1 παρουσιάζεται το σύστημα συντεταγμένων του οχήματος ως προς το κέντρο βάρους του καθώς και οι βαθμοί ελευθερίας(Euler angles). Οι οποίοι καθορίζονται από μια ακολουθία τριών γωνιακών περιστροφών, στον εκάστοτε άξονα του συστήματος συντεταγμένων.

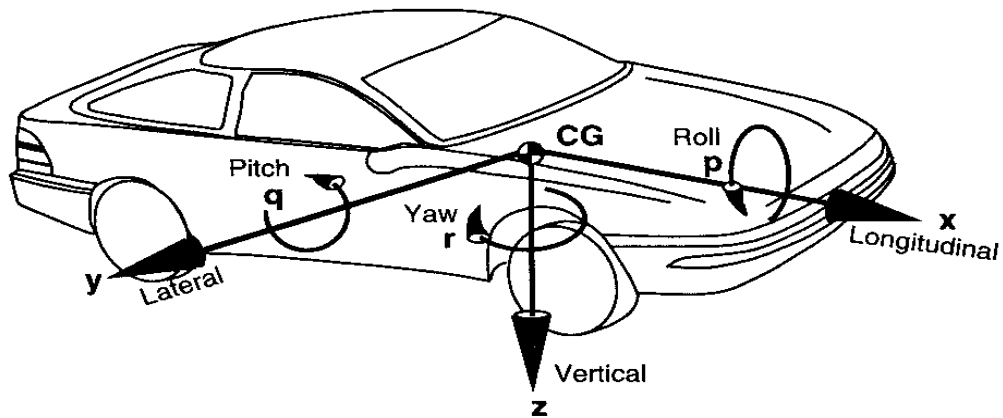


Fig. 1.4 SAE Vehicle Axis System.

Εικόνα1-1:Σύστημα συντεταγμένων ως προς το κέντρο βάρους του οχήματος(Gillespie,1992).

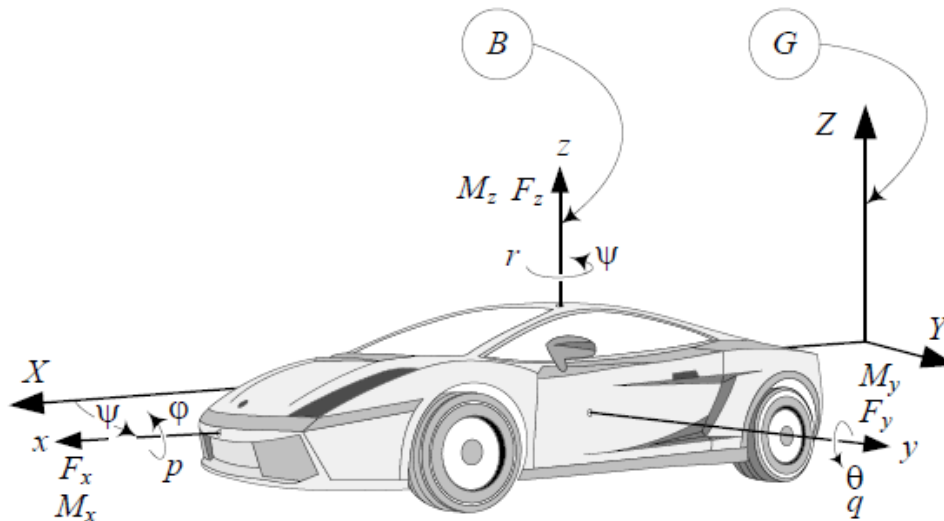
Όπου :

- x: εμπρός κίνηση κατά τον άξονα x (forward)
- y: εγκάρσια κίνηση κατά τον άξονα y (lateral)
- z: κατακόρυφη κίνηση προς το όχημα (vertical)
- p: περιστροφική κίνηση ως προς τον άξονα x (roll)
- q: περιστροφική κίνηση ως προς τον άξονα y (pitch)
- r: περιστροφική κίνηση ως προς τον άξονα z (yaw)

Επειδή όμως η κίνηση του οχήματος περιγράφεται από τις αλλαγές κατεύθυνσης του (εμπρός, εγκάρσια, κάθετα, περιστροφικά, κλίση και εκτροπής) πρέπει σύμφωνα με το σύστημα συντεταγμένων του οχήματος, να οριστεί και ένα σύστημα συντεταγμένων ως προς την Γή.

Το Σύστημα Συντεταγμένων(ΣΣ) ως προς τη Γη, βοηθάει να οριστεί η συμπεριφορά και η τροχιά του οχήματος κατά την διάρκεια του ελιγμού. Το ΣΣ ως προς τη Γη συμπίπτει με το ΣΣ ως προς το όχημα και έχει ως σημείο αναφοράς, το σημείο στο οποίο αρχίζει ο ελιγμός του οχήματος.

Στην εικόνα 1-2 φαίνεται ο συνδυασμός των δύο συστημάτων συντεταγμένων καθώς και οι διευθύνσεις των δυνάμεων και οι ροπές, οι οποίες περιγράφονται κιόλας.



Εικόνα 1-2: Σύστημα συντεταγμένων ως προς το όχημα και ως προς τη Γη (Jazar, 2008).

B: Body coordinate system

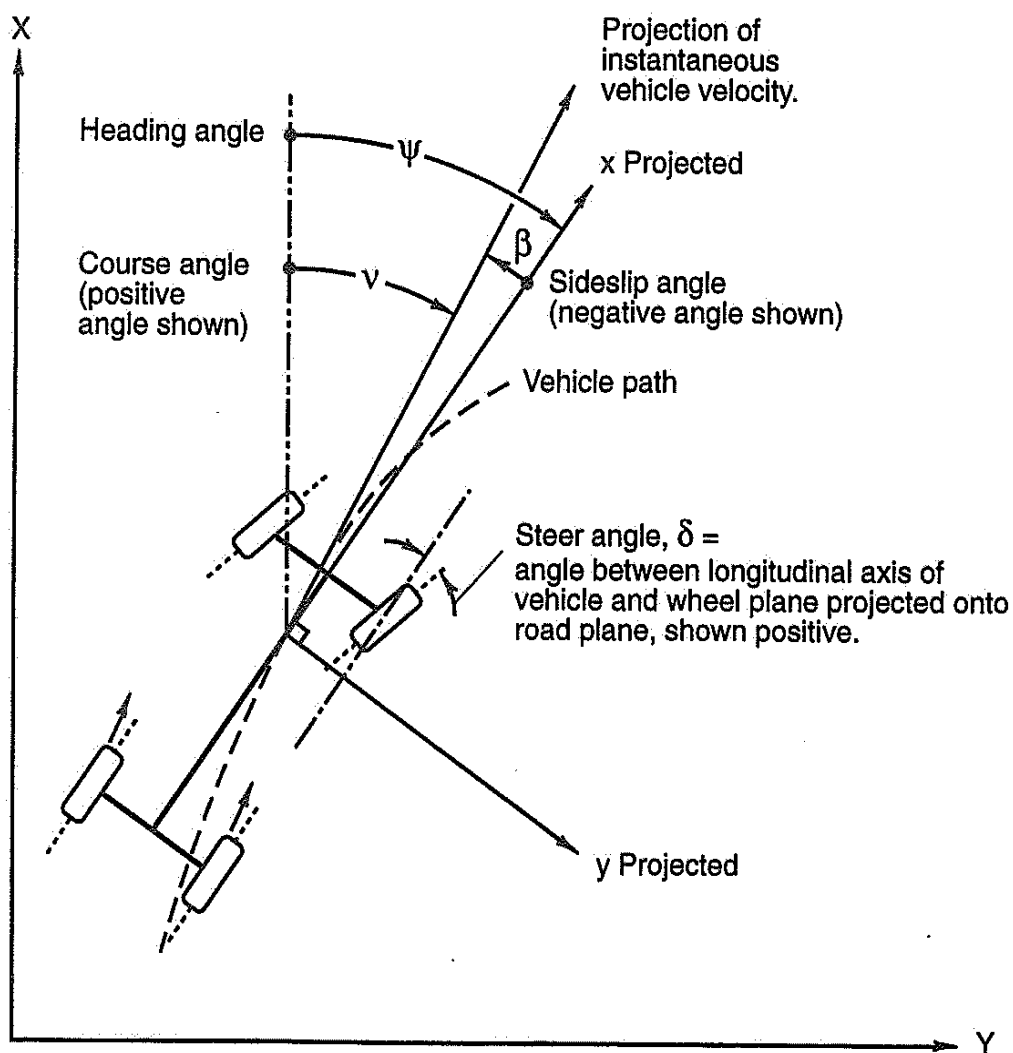
G: Global coordinate system

Όπου:

1. **Διαμήκης δύναμη F_x :** Είναι η δύναμη που δρα στον άξονα- x . Εάν η $F_x > 0$ τότε το όχημα επιταχύνει, ενώ αν $F_x < 0$ τότε το όχημα επιβραδύνει. Επίσης η δύναμη F_x ονομάζεται δύναμη προώθησης ή ελκτική δύναμη.
2. **Εγκάρσια δύναμη F_y :** Είναι ορθογώνια δύναμη που δρα στον άξονα- y και $-x$. Εάν η δύναμη είναι $F_y > 0$ τότε το όχημα στρίβει δεξιά ή αριστερά ανάλογα με την θέση του οδηγού. Η εγκάρσια δύναμη είναι αποτέλεσμα της αλλαγής διεύθυνσης του οχήματος και ο βασικός λόγος για την δημιουργία κίνησης εκτροπής (yaw) και κατά συνέπεια το στρίψιμο του οχήματος.
3. **Κατακόρυφη κίνηση F_z :** Είναι η δύναμη που δρα στον άξονα- z . Γενικά είναι το βάρος του οχήματος.
4. **Περιστροφική κίνηση M_x (roll):** Είναι η ροπή που δρα γύρω από τον άξονα- x και τείνει να περιστρέψει το όχημα ως προς αυτόν ($M_x > 0$). Επίσης ονομάζεται κίνηση κλίσης ή ροπή ανατροπής.
5. **Κίνηση κλίσης M_y (pitch):** Είναι η ροπή που δρα στον άξονα- y και τείνει να περιστρέψει το όχημα γύρω από αυτόν ($M_y > 0$). Αποτέλεσμα αυτής της ροπής είναι να σηκώνεται ή να κατεβαίνει το εμπρόσθιο μέρος του οχήματος κατά την επιτάχυνση ή την επιβράδυνση του.

6. **Κίνηση εκτροπής M_z (yaw):** Είναι η ροπή που δρα γύρω από τον άξονα-z και τείνει να περιστρέψει το όχημα ως προς αυτόν ($M_z > 0$). Η ροπή αυτή προέρχεται από τα ελαστικά, όταν αυτά αλλάζουν διεύθυνση.

Στην Εικόνα 1-3 παρουσιάζονται οι γωνιακές αποκλίσεις λόγω των βαθμών ελευθερίας που δημιουργούνται μεταξύ των δύο ΣΣ, κατά την διάρκεια του ελιγμού του οχήματος. Σύμφωνα με αυτές γίνεται ο προσδιορισμός της κίνησης του οχήματος, από τη οποία προκύπτουν οι διευθύνσεις των δυνάμεων καθώς και οι τιμές τους.



Εικόνα 1-3: Γωνιακές αποκλίσεις κατά την διάρκεια κίνησης του οχήματος.

* Οι άξονες με κεφαλαία γράμματα αναφέρονται στο ΣΣ ως προς την Γη και με μικρά στο ΣΣ ως προς το όχημα.

Όπου:

1. **Projection of instantaneous vehicle velocity:** Είναι η προβολή της στιγμιαίας ταχύτητας του οχήματος.
2. **Heading angle (ψ):** Η γωνία πορείας είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του άξονα-X και του άξονα-x.
3. **Sideslip angle (β):** Η γωνία πλαγιολίσθησης είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του άξονα-x και της προβολής της στιγμιαίας ταχύτητας του οχήματος.
4. **Course angle (ν) :** Η γωνία πορείας είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του άξονα-X και της προβολής της στιγμιαίας ταχύτητας του οχήματος.

*Για τον προσδιορισμό όλων των παραπάνω είναι απαραίτητη η γνώση των γωνιών Euler ή αλλιώς των βαθμών ελευθερίας.

1.3.3. Η Μέθοδος των Πεπερασμένων Στοιχείων (Finite Element Method)

Η Μέθοδος Πεπερασμένων Στοιχείων είναι μια αριθμητική μέθοδος για τον υπολογισμό προσεγγιστικών λύσεων με τη χρήση των μητρωϊκών μεθόδων αριθμητικής επίλυσης διαφορικών εξισώσεων. Η μέθοδος αυτή μας παρέχει αποτελέσματα με μεγάλη αξιοπιστία και έχει επίσης το πλεονέκτημα ότι μπορεί να εφαρμοστεί σε όλα τα προβλήματα (Daryl L. Logan, 2007).

Η σύνδεση μεταξύ των στοιχείων (elements) και των κόμβων (nodes), τα οποία αποτελούν το πλέγμα της γεωμετρίας μας, περιγράφονται από την παρακάτω σχέση:

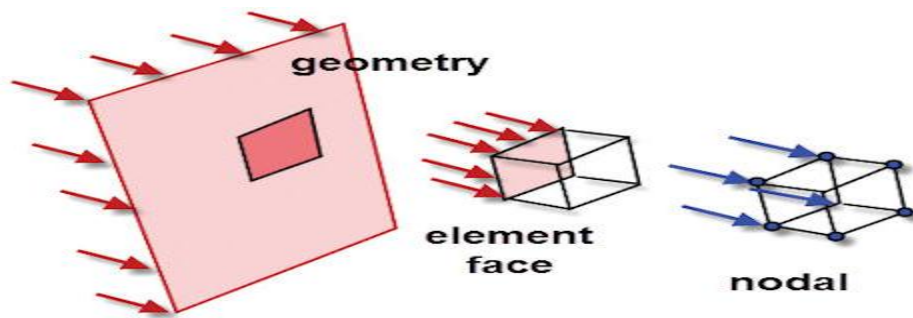
$$[K] \cdot \{u\} = \{f\}$$

Όπου:

$[K]$: είναι το μητρώο της ακαμψίας του στοιχείου, και το οποίο διαμορφώνεται βάσει της γεωμετρίας, των ιδιοτήτων του υλικού και των ιδιοτήτων του στοιχείου.

$\{u\}$: είναι το διάνυσμα μετατόπισης, το οποίο περιγράφει πόσο μετατοπίστηκαν οι κόμβοι (nodes) από την αρχική τους θέση, λόγω των φορτίων που ασκούνται σε αυτούς.

$\{f\}$: είναι το φορτίο που δέχονται τα στοιχεία (elements)



Εικόνα 1-4:Γεωμετρία, στοιχεία και κόμβος.

Αυτές είναι οι τρεις συνθήκες που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία ενός συστήματος εξισώσεων που η μετατόπιση είναι ο **άγνωστος**.Επίσης, εφαρμόζονται οριακές συνθήκες (BoundaryConditions) για να αποτρέψουν την κίνηση στο άκαμπτο σώμα και για να βρεθούν οι μετατοπίσεις $\{u\}$ από τις γραμμικές εξισώσεις.

1.3.4.Σύνθετα υλικά από ανθρακονήματα και υλικά πυρήνα

Σύνθετα Υλικά(Compositematerials)

Για να χαρακτηριστεί ένα υλικό ως σύνθετο υλικό, θα πρέπει να αποτελείται από δύο ή περισσότερα διαφορετικά υλικά ή φάσεις. Πιο συγκεκριμένα ως σύνθετα αναγνωρίζονται εκείνα τα υλικά, τα οποία συντίθενται από επιμέρους υλικά με σημαντικά διαφορετικές μηχανικές και φυσικές ιδιότητες μεταξύ τους, ενώ και το ίδιο το σύνθετο υλικό έχει επίσης σημαντικά διαφορετικές ιδιότητες από εκείνες των συστατικών του.

Για να μπορέσει ένα υλικό να καταταχθεί στην κατηγορία των σύνθετων υλικών, θα πρέπει να ισχύει ο εξής κανόνας: Το υλικό πρέπει να προκύπτει ως συνδυασμός συστατικών μερών, στα οποία οι ιδιότητες του ενός από τα μέρη αυτά να είναι σημαντικά μεγαλύτερες από του άλλου (τουλάχιστον 5πλάσιες) και η κατ' όγκο περιεκτικότητα του ενός να μην είναι πολύ μικρή (>10%).

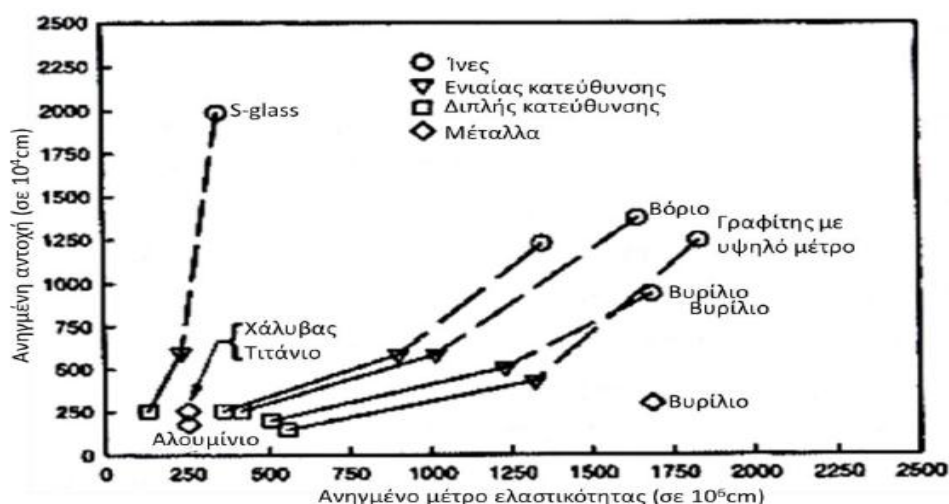
Ο ακριβής ορισμός δόθηκε το 1990 από τονBhagwanD.Agarwal, ο οποίος αναφέρει ότι σύνθετα υλικά, ονομάζονται τα υλικά τα οποία προκύπτουν από τη σύνθεση, σε μακροσκοπική κλίμακα, δύο ή περισσότερων υλικών με σκοπό την απόκτηση καλύτερων και χρησιμότερων ιδιοτήτων.

Στην περίπτωση μας, θα ασχοληθούμε με την υποκατηγορία των σύνθετων υλικών, η οποία ονομάζεται FiberReinforcedPolymer(FRP)και αποτελείται από ίνες υψηλής εφελκυστικής αντοχής, οι οποίες είναι εμποτισμένες με εποξικές ρητίνες.

Ανθρακονήματα(CarbonFibers)

Οι ίνες γραφίτη (CarbonFiber) αποτελούν την επικρατέστερη ενίσχυση υψηλής αντοχής και υψηλού μέτρου ελαστικότητας, η οποία χρησιμοποιείται για την δημιουργία υψηλών επιδόσεων σύνθετων υλικών με ρητινική μήτρα.Αυτός είναι και ο λόγος πουεπιλέχθηκε το συγκεκριμένο σύνθετο υλικό, διότι επιτυγχάνει τον καλύτερο συνδυασμό μηχανικής συμπεριφοράς και ταυτόχρονα ελάττωσης του βάρους της κατασκευής.

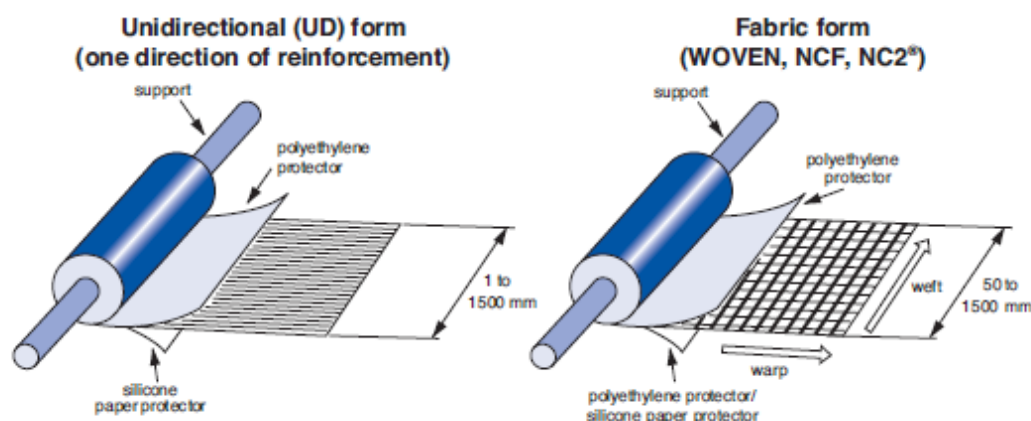
Το παραπάνω συμπέρασμα προκύπτει από διάφορους λόγους με κυριότερο τις ιδιότητες του ίδιου του σύνθετου υλικού(CFRP) το οποίο είναι τουλάχιστον 5 φορές ισχυρότερο από τον μέσω χάλυβα και ταυτόχρονος 5 φορές ελαφρύτερο από αυτόν(RobertM. Jones, 1999). Ακόμα ένας βασικός παράγοντας που συμβάλλει σε αυτό, είναι ότι γνωρίζοντας το μέγεθος των φορτίων που θα ασκηθούν στο όχημα καθώς και την διεύθυνση τους, δίνεται η δυνατότητα να τοποθετηθεί, ο ακριβής αριθμός φύλλων με την επιθυμητή διεύθυνση τους, με σκοπό να αξιοποιηθούν οι μέγιστες δυνατότητες τους με την ελάχιστη διαστρωμάτωση φύλλων.



Εικόνα 1-5:Σύγκριση αντοχών και δυσκαμψιών σύνθετων και μεταλλικών υλικών.

Αυτή τη δυνατότητα, μας την προσφέρει η πλέξη των υφασμάτων η οποία μας προσδίδει την εκμετάλλευση των μέγιστων ιδιοτήτων του σύνθετου υλικού. Οι

δύο βασικές κατηγορίες πλέξεις είναι της μονής κατεύθυνσης (uni-directional) και τηςπολλαπλής κατεύθυνσης (multi-directional) υφάσματα.



Εικόνα 1-6: Ανθρακόνημα μονής κατεύθυνσης (Uni-directional). Εικόνα 1-7: Ανθρακόνημα πολλαπλής κατεύθυνσης (multi-directional).

Της μονής κατεύθυνσης υφάσματα (Εικόνα1-6) αποτελούνται από ίνες, οι οποίες είναι τοποθετημένες παράλληλα μεταξύ τους, ενώ κάθετα σε αυτές υπάρχουν κάποιες ίνες συνήθως από το ίδιο υλικό, οι οποίες συμβάλλουν μόνο στην ευθυγράμμιση των κύριων ινών. Η διάταξη αυτή προσφέρει εξαιρετική αντοχή σε εφελκυσμό μόνο κατά τη συγκεκριμένη διεύθυνση των ινών, ενώ σε οποιαδήποτε άλλη διεύθυνση η αντοχή του υφάσματος είναι σχεδόν αμελητέα. Επίσης με βάση την συμπεριφορά που παρουσιάζει στην αντοχή του το ύφασμα, χαρακτηρίζεται ως ανισότροπο υλικό.

Τηςπολλαπλής κατεύθυνσης υφάσματα (Εικόνα1-7) αποτελούνται από ίνες, οι οποίες είναι πλεγμένες μεταξύ τους είτε κάθετα, είτε με κάποια συγκεκριμένη γωνία πχ. 60 μοίρες. Η διάταξη αυτή προσφέρει μεγάλη αντοχή σε δύο διευθύνσεις, ενώ σε οποιαδήποτε άλλη κατεύθυνση, που το φορτίο δεν είναι παράλληλο με τις ίνες, η αντοχή του υφάσματος μειώνεται. Επίσης με βάση την συμπεριφορά που παρουσιάζει στην αντοχή του το ύφασμα, χαρακτηρίζεται ως ανισότροπο υλικό.

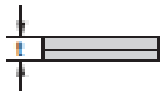
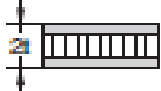
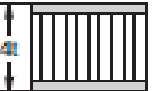
Ενισχυτικά Υλικά(CoreMaterials)

Ακόμα ένας τρόπος για την επίτευξη της αύξησης της ακαμψίας του οχήματος, χωρίς να χρησιμοποιηθούν επιπλέον φύλλα ανθρακονήματος και ρητίνης, κάτι

που θα έχει ως αποτέλεσμα να αυξηθεί το βάρος, είναι η χρήση του υλικού ενίσχυσης ή υλικά πυρήνα με την μέθοδο 'sandwich' (Robert M. Jones, 1999).

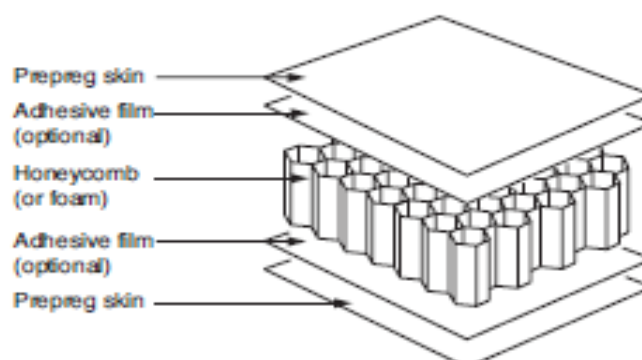
Το υλικό ενίσχυσης αποτελείται από πλάκες, οι οποίες συνήθως έχουν κυψελοειδή μορφή (Honeycomb) και μπορεί να κατασκευαστεί από διάφορα υλικά όπως αλουμίνιο, χάλυβα, foam, χαρτί κτλ. Το ενισχυτικό υλικό τοποθετείται ανάμεσα στα φύλλα ανθρακονήματος με σκοπό να αυξήσει το πάχος του σύνθετου υλικού και κατά συνέπεια η ακαμψία ολόκληρου του οχήματος. Άλλο ένα θετικό στοιχείο της μεθόδου αυτής είναι ότι δίνει τη δυνατότητα να τοποθετηθεί σε οποιαδήποτε σημείο του οχήματος είναι αναγκαίο. Επίσης ανεξαρτήτως της μορφής του (κυψελοειδή, συμπαγές κτλ.) παρουσιάζει τις ίδιες μηχανικές ιδιότητες σε όλες τις διευθύνσεις και αυτό το κατατάσσει στην κατηγορία των ισотροπικών υλικών.

Στην εικόνα 1-8 παρουσιάζεται το ποσοστό αύξησης των ιδιοτήτων ενός σύνθετου υλικού, με τη χρήση ενισχυτικού υλικού.

Properties	Solid material	Core thickness t	Core thickness $3t$
			
Stiffness	1.0	7.0	37.0
Flexural strength	1.0	3.5	9.2
Weight	1.0	1.03	1.06

Εικόνα 1-8: Αύξηση ακαμψίας σύνθετου υλικού, με την χρήση υλικού πυρήνα (Honeycomb Attributes and Properties, by Hecxel).

HONEYCOMB SANDWICH WITH PREPREG SKINS

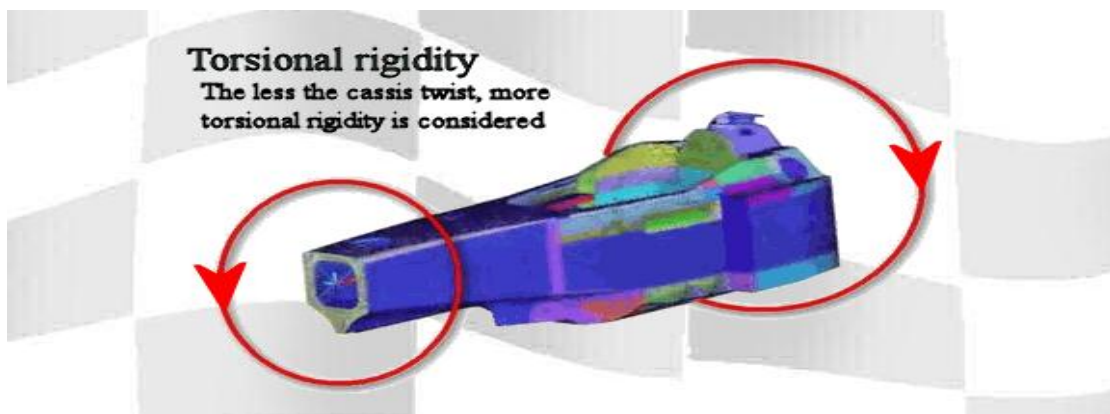


Εικόνα 1-9: Σύνθετο υλικό από ανθρακονήματα και υλικό πυρήνα, με την μέθοδο κατασκευής 'Sandwich' (Honeycomb Attributes and Properties, by Hecxel).

1.3.5. Αυτοφερόμενο πλαίσιο (Monocoque Chassis)

Η επιδίωξη της μείωσης του βάρους το οχήματος και ταυτόχρονα η ικανοποίηση των προδιαγραφών που έχουν οριστεί, μπορεί να υλοποιηθεί με την κατασκευή ενός αυτοφερόμενου πλαισίου(monocoquechassis).

Το αυτοφερόμενο πλαίσιο είναι ένας τύπος σασί που καθορίζει ταυτόχρονα και το συνολικό σχήμα του οχήματος. Τα πλεονέκτημα που προκύπτουν από αυτή την μέθοδο κατασκευής είναι η μείωση κομματιών που πρέπει να κατασκευαστούν όπως οι βάσεις στηρίξεις του συστήματος διεύθυνσης, διότι αρκετά από τα μέρη του οχήματος μπορούν να τοποθετηθούν απευθείας πάνω στο σασί. Επίσης, το όχημα επειδή αποτελεί μια ενιαία κατασκευή αποκτά μεγάλη ακαμψία, το οποίο συγχρόνως επιδρά θετικά στην ασφάλεια του οδηγού σε περίπτωση ατυχήματος(David A. Crolla,2009).



Εικόνα 1-10:Έλεγχος ακαμψίας συστροφής αυτοφερούμενου πλαισίου, με την χρήση προγράμματος(www.formula1-dictionary.net).



Εικόνα 1-11:Πρώτο αυτοφερούμενο μονοθέσιο από ανθρακονήματα στον θεσμό της Formula 1, από την McLaren(www.formula1-dictionary.net).

2. Μεθοδολογία μοντελοποίησης του αμαξώματος με στόχο την πραγματοποίηση ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων.

Για την επιτυχή ολοκλήρωση μιας ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων, είναι αναγκαίο να πραγματοποιηθούν κάποια στάδια, τα οποία συμβάλλουν στην εξαγωγή όσο το δυνατόν πιο πιθανών ρεαλιστικών αποτελεσμάτων. Επίσης, με γνώμονα τα αποτελέσματα, μπορούν να γίνουν ενέργειες βελτιστοποίησης του αμαξώματος. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα, στην περίπτωση μας, την μείωση του βάρους του αμαξώματος, ικανοποιώντας ταυτόχρονα, τα κριτήρια ελέγχου του.

Τα στάδια αυτά αφορούν κυρίως, την εισαγωγή της γεωμετρίας, με στόχο την δημιουργία πλέγματος(mesh)σε αυτήν, το οποίο αποτελείται από τα στοιχεία(elements), που είναι συνδεδεμένα μεταξύ του,μέσω των κόμβων(nodes). Στη συνέχεια θα πρέπει να γίνει εισαγωγή των ιδιοτήτων των υλικών, όπου σε συνδυασμό με τη γεωμετρία θα προκύψει η ακαμψία του αμαξώματος. Τέλος, η ολοκλήρωση της μοντελοποίησης γίνεται με την εισαγωγή των συνθηκών ελέγχου του αμαξώματος. Σε αυτό το στάδιο πρέπει να δοθεί μεγάλη προσοχή, όχι μόνο στο μέγεθος των φορτίων που ασκούνται στο αμάξωμα και τη διεύθυνση τους αλλά και στους βαθμούς ελευθερίας (Degrees of Freedom), οι οποίοι παίζουν καθοριστικό ρόλο, στο κατά ρεαλιστικές θα είναι οι παραμορφώσεις που θα παρουσιάζει το αμάξωμα, από την επιβολή των φορτίων.

2.1. Στάδια μοντελοποίησης του αμαξώματος

2.1.1. Δημιουργία πλέγματος στη γεωμετρία του σασί

Η δημιουργία του πλέγματος όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως, αποτελεί ένα σημαντικό στάδιο, για την ολοκλήρωση της ανάλυσης καθώς και για την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Επίσης, αποτελεί σημαντικό παράγοντα στη μείωση του χρόνου, που απαιτείται για την ολοκλήρωση της ανάλυσης. Για την ολοκλήρωση της δημιουργίας του πλέγματος θα πραγματοποιούνται τα εξής βήματα:

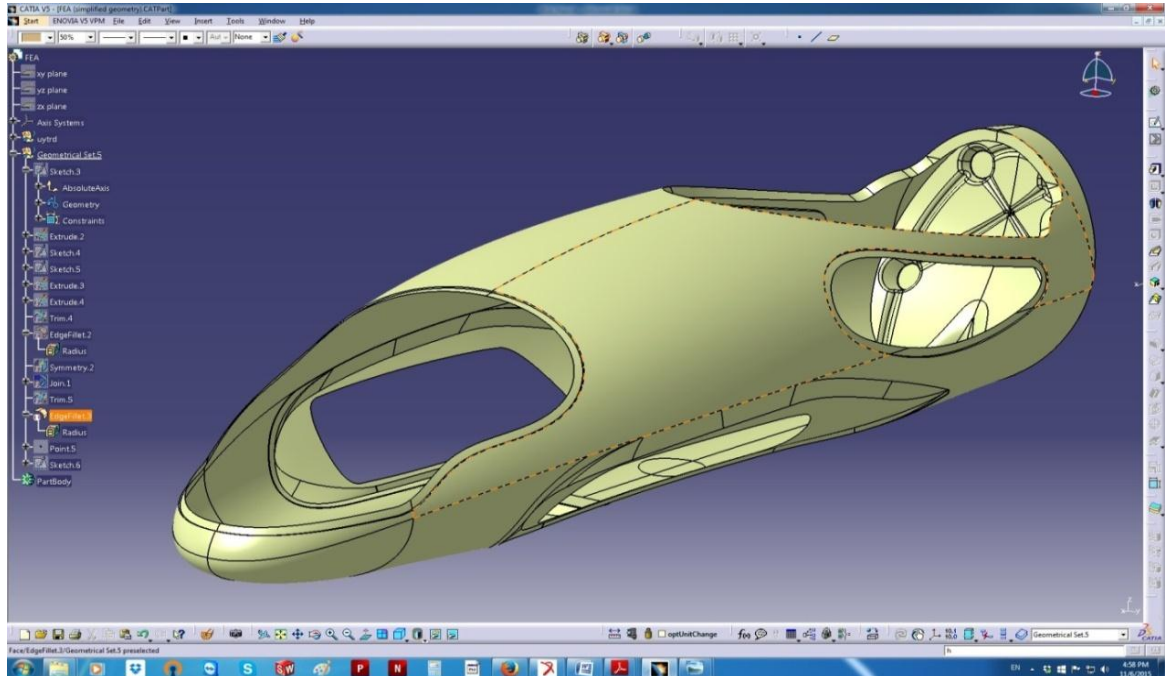
- Έλεγχος γεωμετρίας
- Διόρθωση επιφανειών
- Δημιουργία πλέγματος στο αμάξωμα
- Σχεδίαση πίσω υποπλαϊσίου και συστήματος συντεταγμένων
- Δημιουργία πλέγματος στο υποπλαίσιο
- Έλεγχος πλέγματος σε ολόκληρο το μοντέλο και επιδιόρθωση τυχόν σφαλμάτων.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η δημιουργία του πλέγματος, ολοκληρώθηκε με την χρήση δύο προγραμμάτων, του CATIA V5 και του MSC Software Patran. Αυτό έγινε διότι η διόρθωση των επιφανειών ήταν πιο εύκολη και λιγότερο χρονοβόρα, να πραγματοποιηθεί στο CATIA V5, το οποίο αποτελεί ένα από τα κορυφαία προγράμματα σχεδιασμού, με εκτεταμένη χρήση στο τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας. Αυτή η απόφαση πάρθηκε, διότι το MSC Software Patran, παρά το γεγονός ότι παρέχει όλα τα απαραίτητα εργαλεία, για την μοντελοποίηση (pre-processor) μιας γεωμετρίας, παρουσιάζει τεράστια περιπλοκότητα στον τομέα του σχεδιασμού.

Βήμα 1ο: Έλεγχος γεωμετρίας

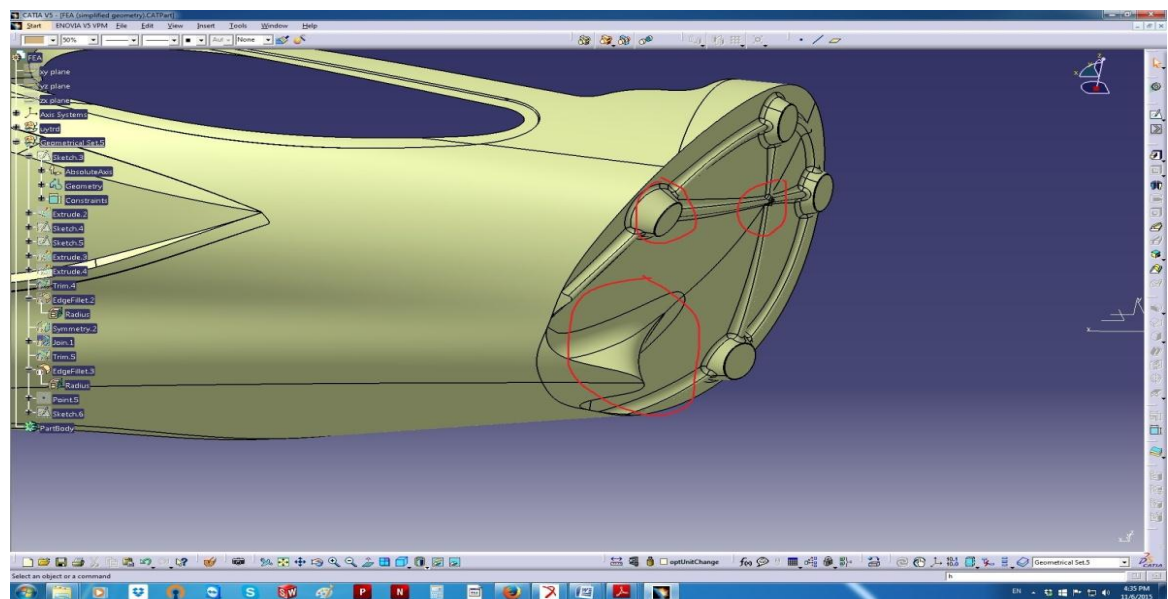
Το πρώτο βήμα για την ολοκλήρωση του σταδίου, για την μοντελοποίηση του αμαξώματος είναι ο έλεγχος της γεωμετρίας. Σκοπός αυτής της εργασίας είναι ο εντοπισμός επιφανειών, οι οποίες δεν είναι αναγκαίες για την ανάλυση μας, επιφανειών ή σημείων τα οποία δεν είναι σωστά συνδεδεμένα μεταξύ τους, επιφανειών που έχουν απότομη αλλαγή κατεύθυνσης, όπως πχ, πατούρες καθώς και ακμών, οι οποίες εμφανίζονται περιμετρικά ή σε σημεία σύνδεσης των επιφανειών.

Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζεται η αρχική γεωμετρία καθώς και η διαδικασία εντοπισμού όλων των παραπάνω προβλημάτων, που μπορούν να εμφανιστούν στη γεωμετρία του οχήματος.

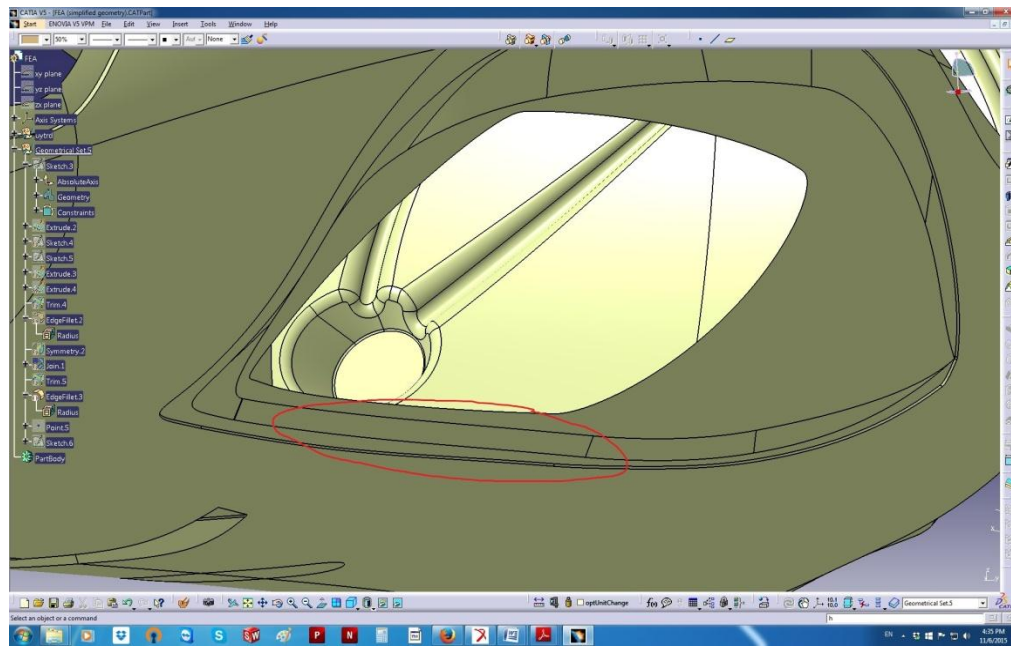


Εικόνα 2-1:Αρχικό μοντέλο.

Παρουσίαση προβλημάτων επιφανειών:

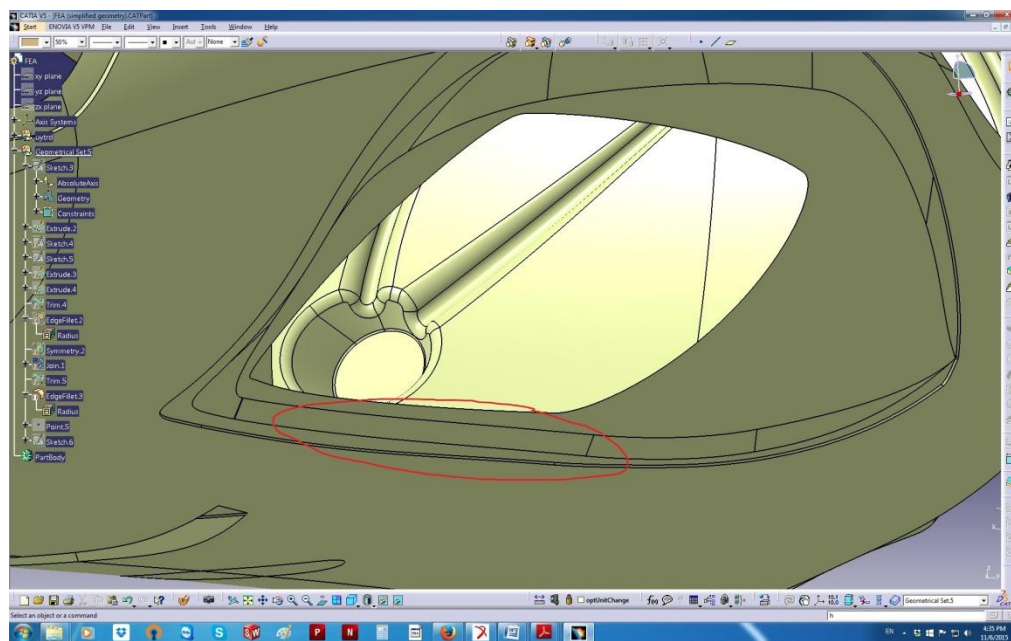


Εικόνα 2-2:Μη απαραίτητες επιφάνειες



Εικόνα 2-3:Απότοτομες αλλαγές κατεύθυνσης(πατούρες).

Ακμές.



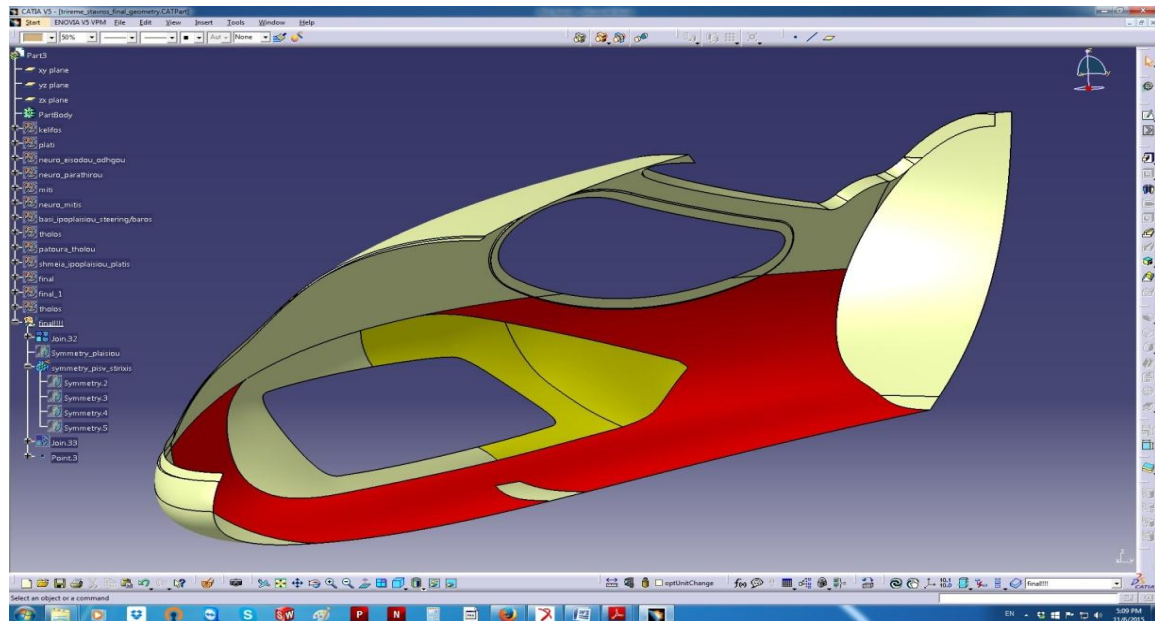
Εικόνα 2-4:Ακμές.

Βήμα 2ο: Διόρθωση επιφανειών

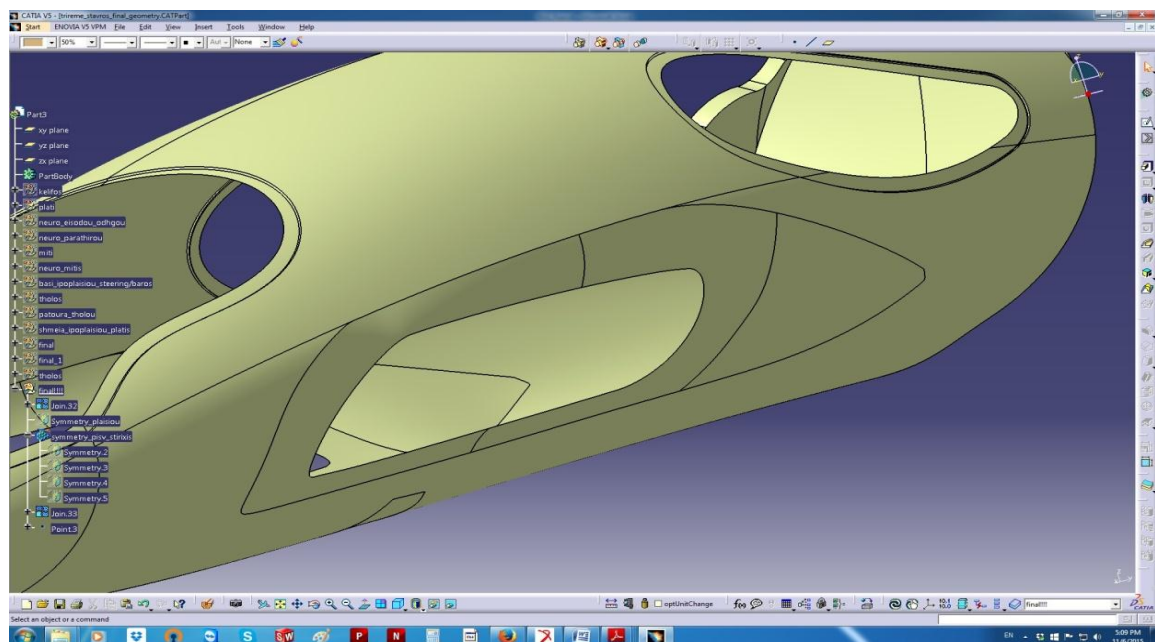
Αφού έγινε ο εντοπισμός των προβλημάτων, της γεωμετρίας, στην συνέχεια επιχειρήθηκε η διόρθωση τους. Αυτό έγινε με τη διατήρηση της περιμέτρου του αμαξώματος, η οποία είναι αναγκαία για την ανάλυση, με σκοπό να γίνει αφαίρεση των επιπρόσθετων επιφανειών και δημιουργίας νέων. Ακόμα έγινε επιδιόρθωση, σε σημεία που δεν είναι αναγκαία η αφαίρεση τους. Τέλος, μετά

την ολοκλήρωση αυτού του σταδίου, οι επιφάνειες της γεωμετρίας, ήταν πλέον πλήρως συνδεδεμένες μεταξύ τους, παρουσιάζοντας μια ομαλή συνέχεια μεταξύ τους.

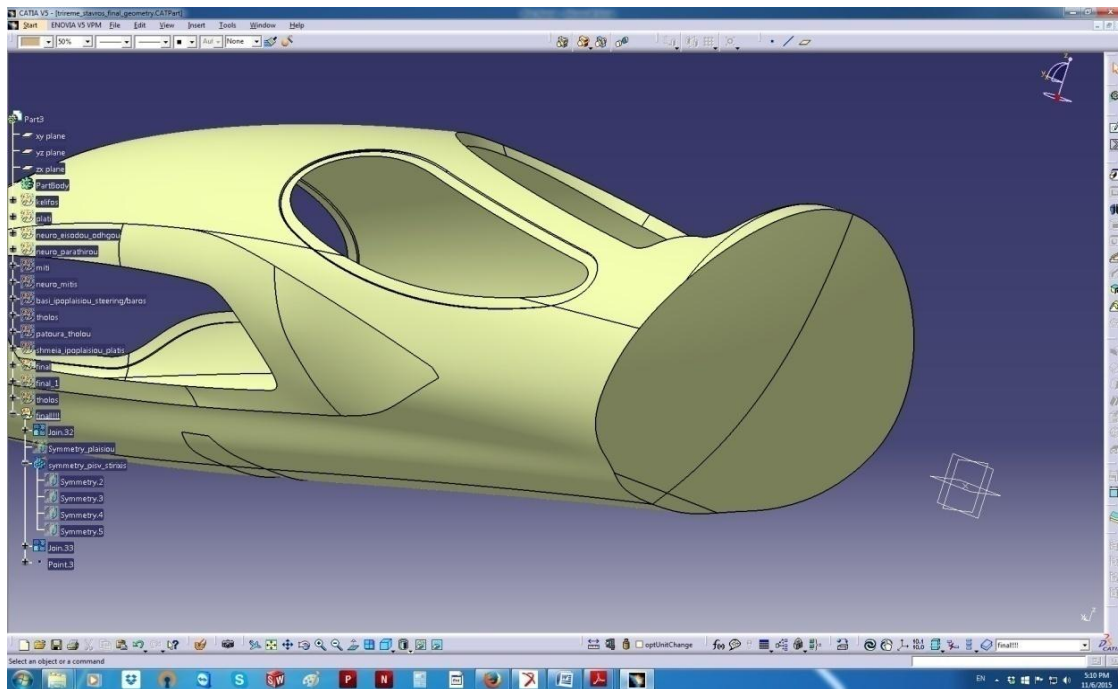
Στις φωτογραφίες που ακολουθούν παρουσιάζεται, η επιδιόρθωση όλων των προβλημάτων που προέκυψαν, καθώς και η σύγκριση του αρχικού μας μοντέλου με το τελικό.



Εικόνα 2-5:Διόρθωση ατελειών αρχικού μοντέλου.

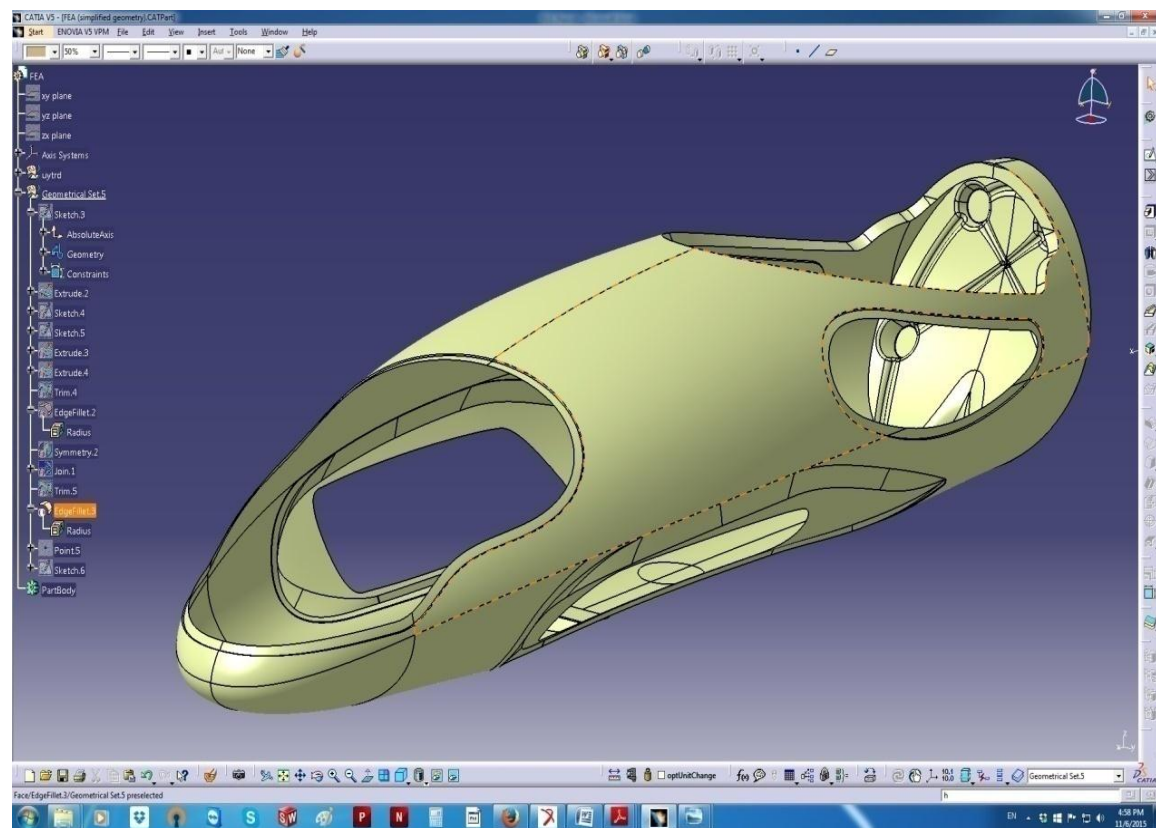


Εικόνα 2-6:Διόρθωση ατελειών αρχικού μοντέλου.

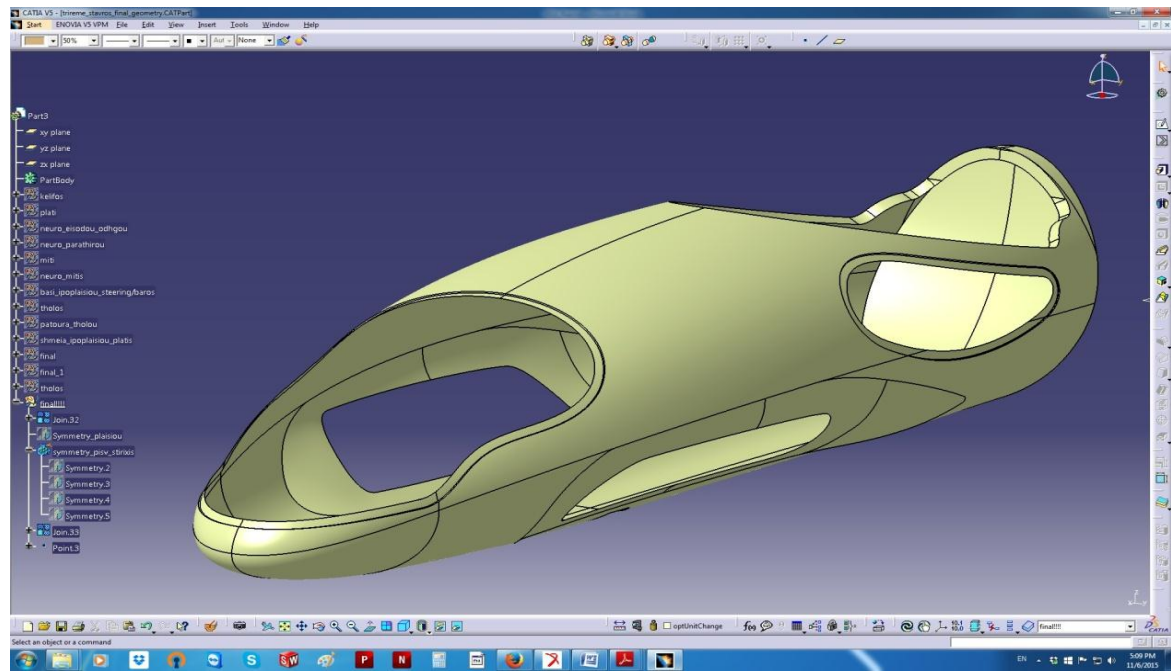


Εικόνα 2-7:Διόρθωση ατελειών αρχικού μοντέλου.

Εικονική σύγκριση αρχικού και τελικού μοντέλου μετά τις διορθώσεις.



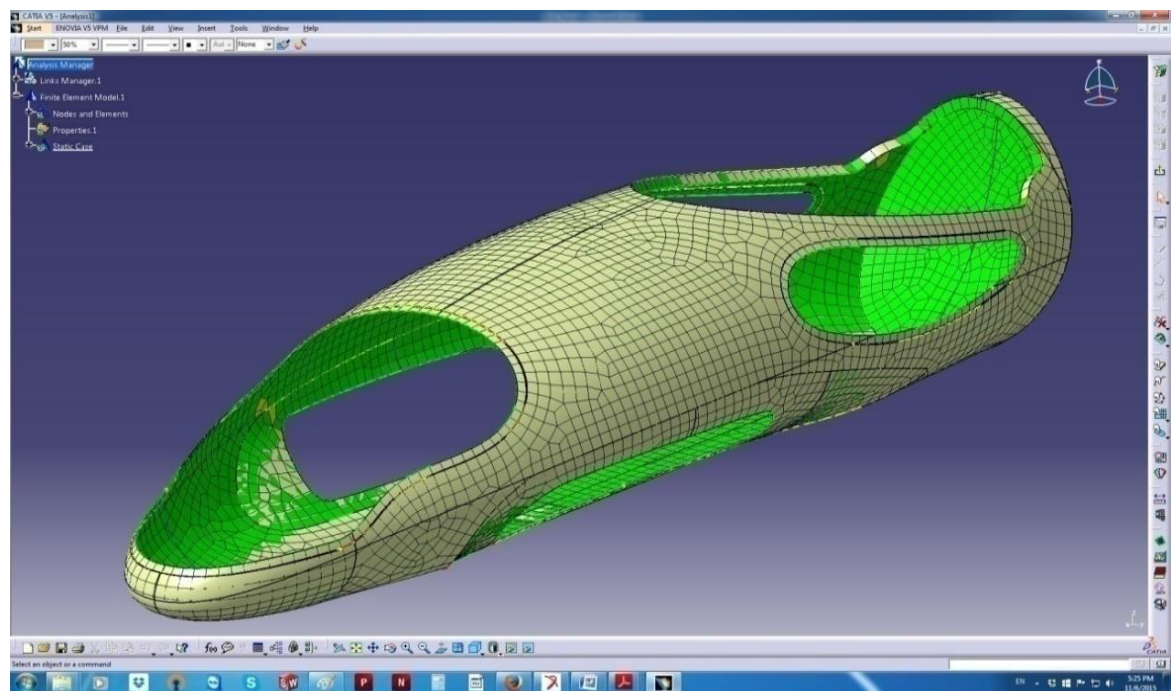
Εικόνα 2-8:Αρχικό μοντέλο.



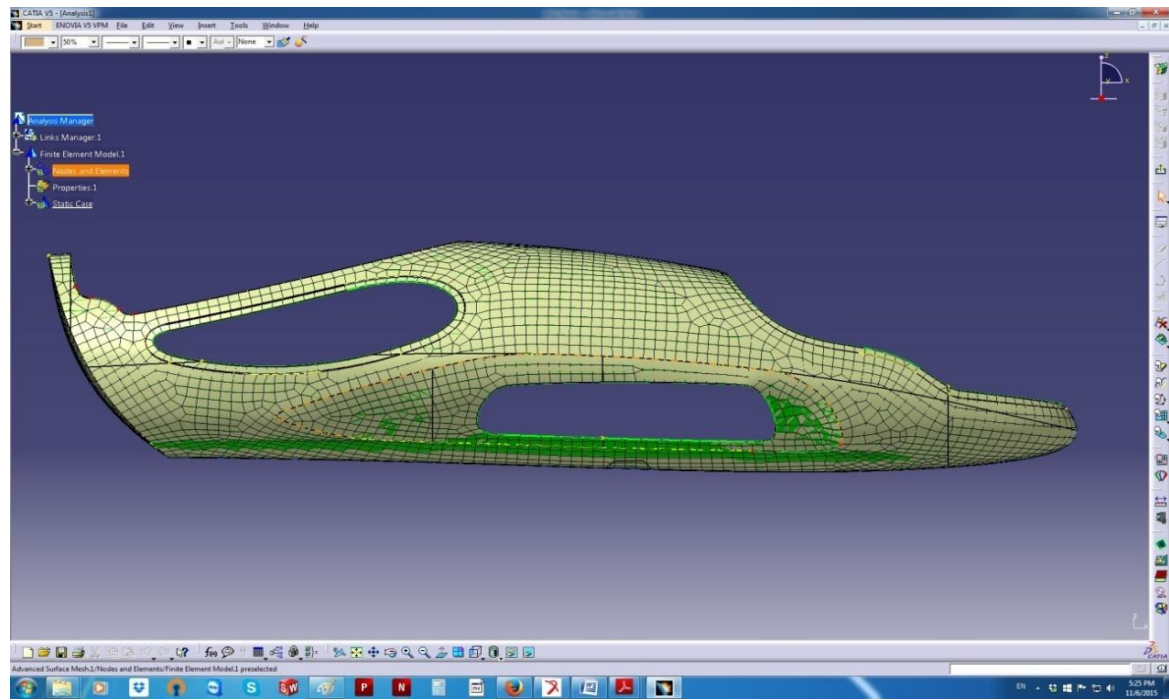
Εικόνα 2-9:Τελικό μοντέλο.

Βήμα 3ο: Δημιουργία πλέγματος στο αμάξωμα

Για την δημιουργία του πλέγματος στην επιφάνεια του αμαξώματος χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα CATIA V5. Μετά την ολοκλήρωση της πλεγματοποίησης, το αρχείο εισήχθη υπό την μορφή BDF αρχείου στο πρόγραμμα MSC Software Patran για την περαιτέρω μελέτη αντοχής του.

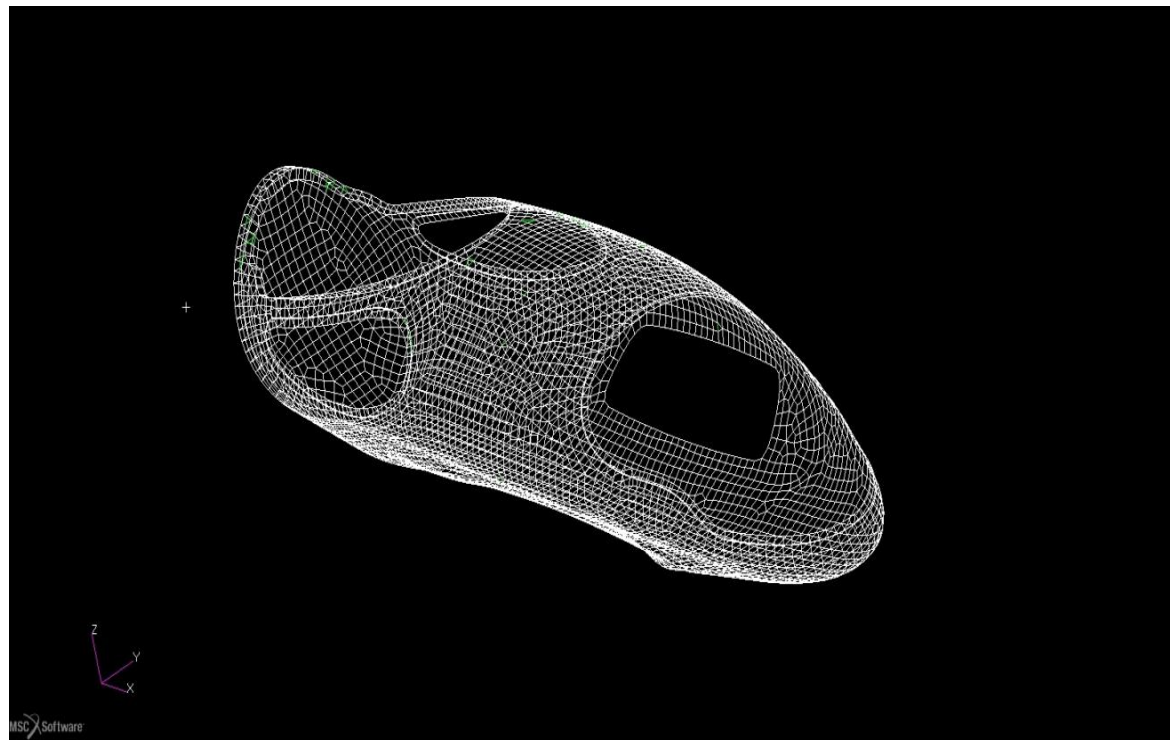


Εικόνα 2-10: Δημιουργία πλέγματος στο CATIA V5.



Εικόνα 2-11: Δημιουργία πλέγματος στο CATIAV5.

Για την δημιουργία του πλέγματος χρησιμοποιήθηκαν τριγωνικά και τετραγωνικά στοιχεία δηλαδή CTRIA 3 και CQUAD4. Αυτό έγινε διότι η γεωμετρία αποτελείται από επιφάνειες και για τη δημιουργία πλέγματος σε αυτή απαιτούνται στοιχεία 2-D, όπως τα παραπάνω.

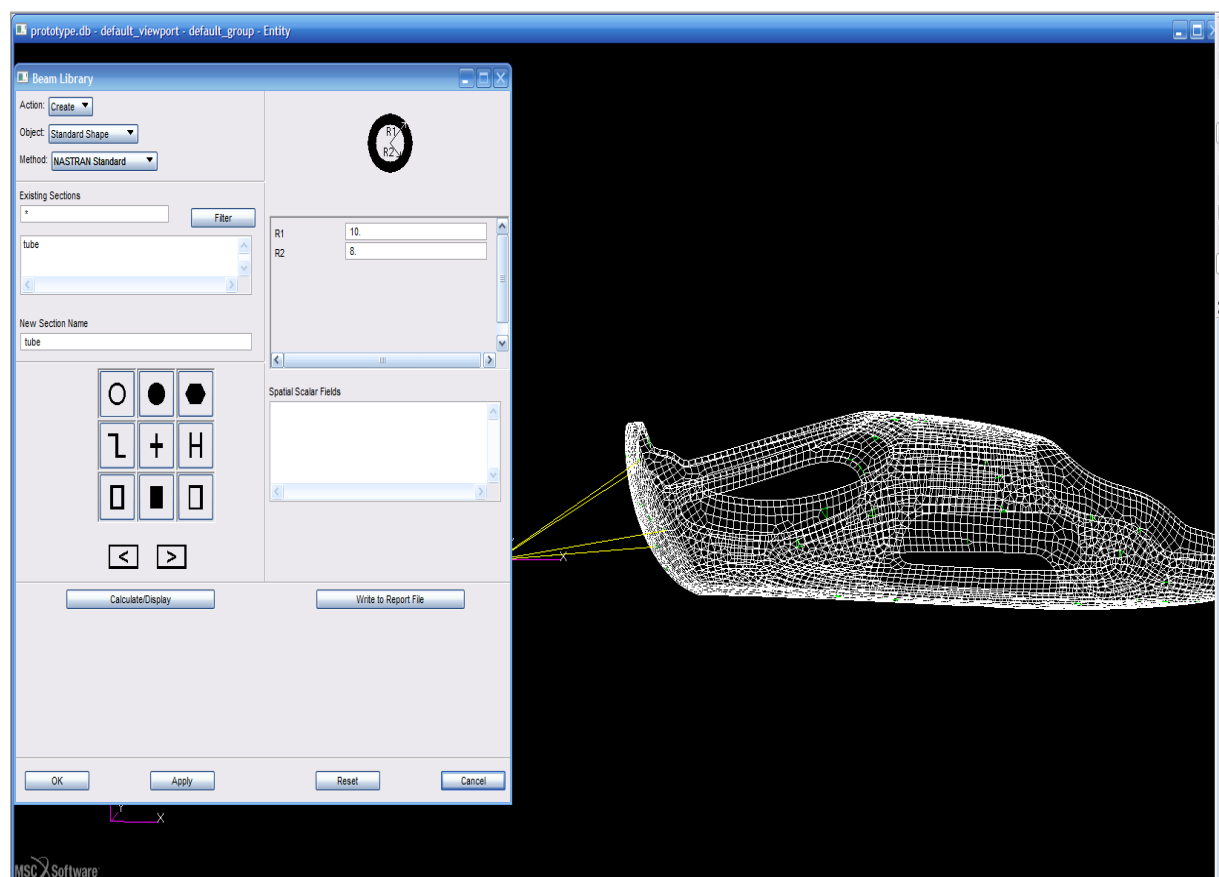


Εικόνα 2-12:Εισαγωγή πλέγματος στο MSCPatran.

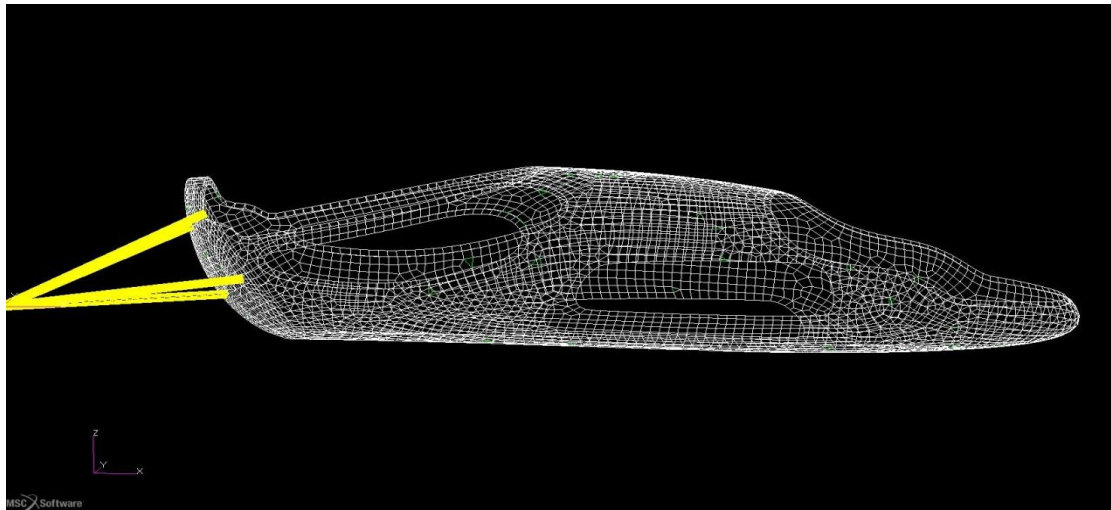
Βήμα 4ο: Σχεδίαση πίσω υποπλαισίου και συστήματος συντεταγμένων

Στη συνέχεια δημιουργήθηκε το πίσω υποπλαίσιο, το οποίο αποτελεί σημαντικό κομμάτι της μελέτης, διότι αφορά στην στήριξη του πίσω τροχού στο αμάξωμα, μέσω ράβδων κατασκευασμένα από ανθρακονήματα.

Η σχεδίαση του υποπλαισίου έγινε στο πρόγραμμα MSC Patran, μέσω της δημιουργίας CBEAM. Το CBEAM παρέχει στο χρήστη τη δυνατότητα, να δημιουργήσει οποιαδήποτε διατομή επιθυμεί πχ τριγωνική, κυλινδρική κτλ., σε ευθείες γραμμές ή καμπύλες, που αποτελούν συνήθως ένα χωροδικτύωμα. Στην περίπτωση μας δημιουργήσαμε ράβδους με κυλινδρική διατομή, δίνοντας ταυτόχρονα συγκεκριμένη εξωτερική και εσωτερική διατομή. Ο κύριος λόγος που επιλέχτηκε αυτός ο τρόπος ήταν το γεγονός ότι, οι ράβδοι αγοράστηκαν ήδη κατασκευασμένοι και οι ιδιότητες τους αφορούσαν συγκεκριμένες διαστάσεις που ήταν δύσκολο να εισαχθούν με κάποιον άλλον τρόπο. Επίσης, γνωρίζοντας το σημείο του κέντρου του τροχού και τα σημεία (nods) στα οποία θα γίνει η σύνδεση των ράβδων με το αμάξωμα, ήταν ακόμα πιο εύκολη η δημιουργία του.



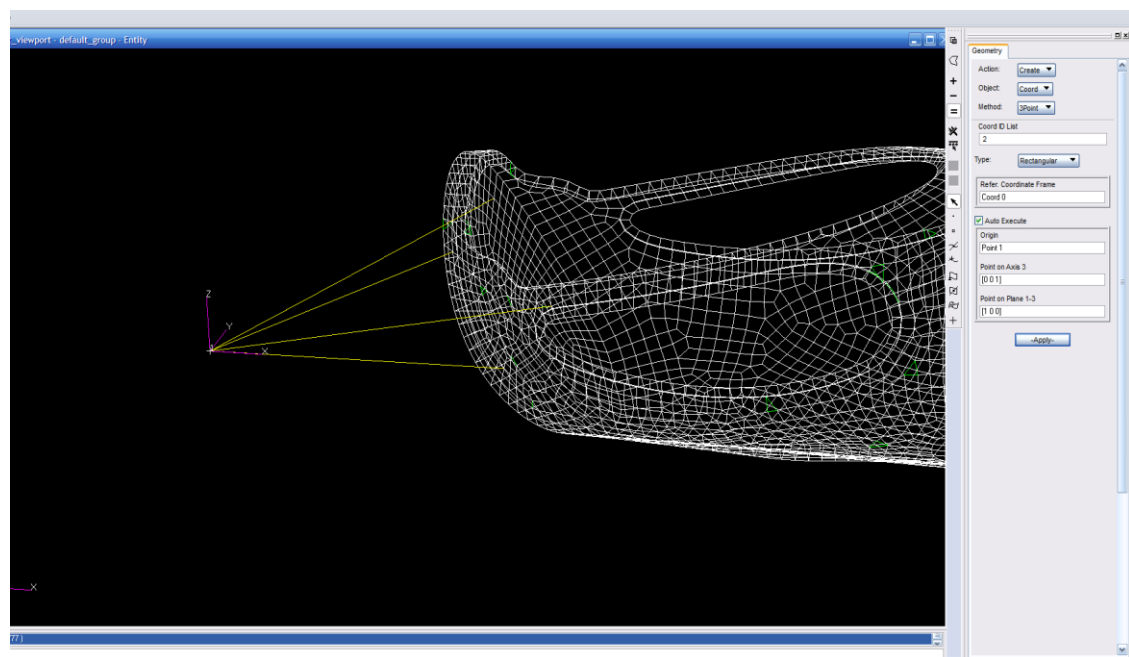
Εικόνα 2-13: Δημιουργία υποπλαισίου με την χρήση CBEAM.



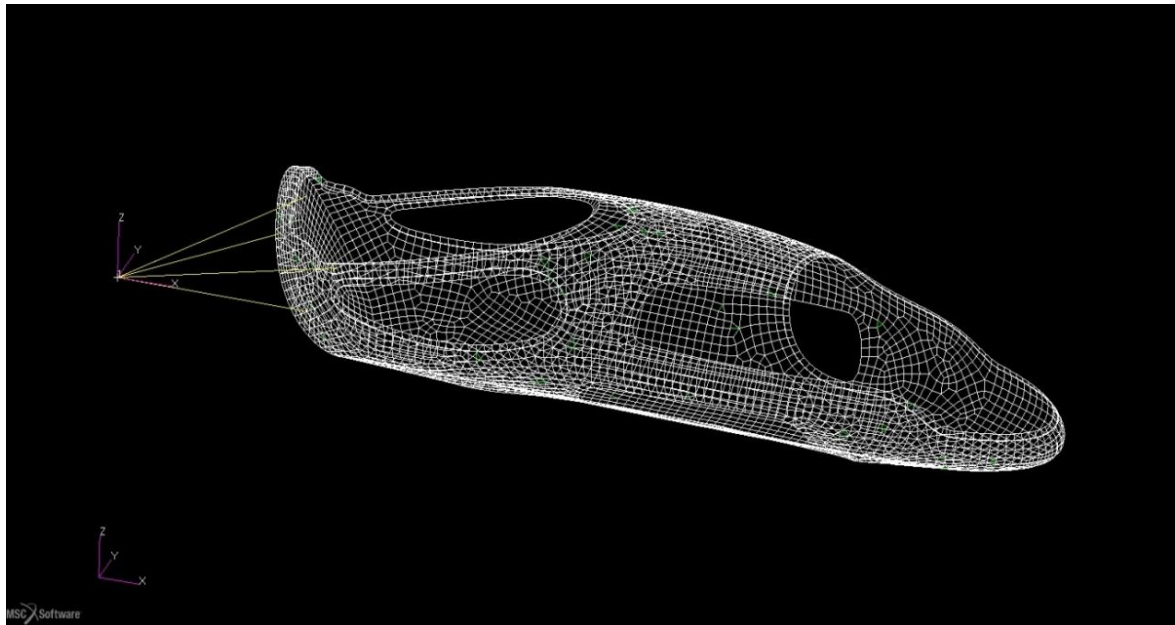
Εικόνα 2-14:Δημιουργία υποπλασίου με την χρήση CBEAM.

Αφού ολοκληρώθηκε το υποπλαίσιο, σειρά είχε η δημιουργία του συστήματος συντεταγμένων. Η δημιουργία του είναι απαραίτητη, διότι όπως έχει αναφερθεί στο κεφάλαιο 1.2.2., η διαφορά που παρουσιάζουν τα συστήματα συντεταγμένων του αμαξώματος και της γης μεταξύ τους, μας προσδιορίζουν τις μετατοπίσεις που δημιουργεί το αμάξωμα από την άσκηση των φορτίων σε αυτό.

Το σημείο αναφοράς του συστήματος συντεταγμένων, ήταν στο πίσω σημείο του υποπλασίου, που στην πραγματικότητα θα βρίσκεται το πίσω κέντρο του τροχού.



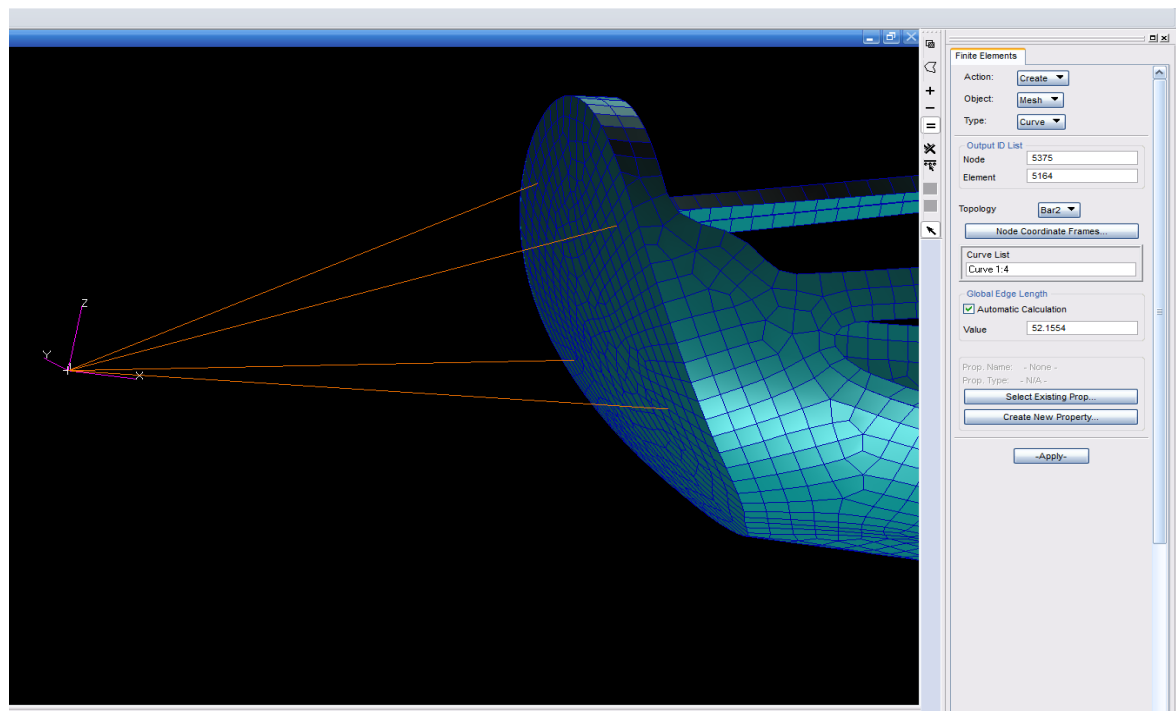
Εικόνα 2-15:Δημιουργία συστήματος συντεταγμένων οχήματος.



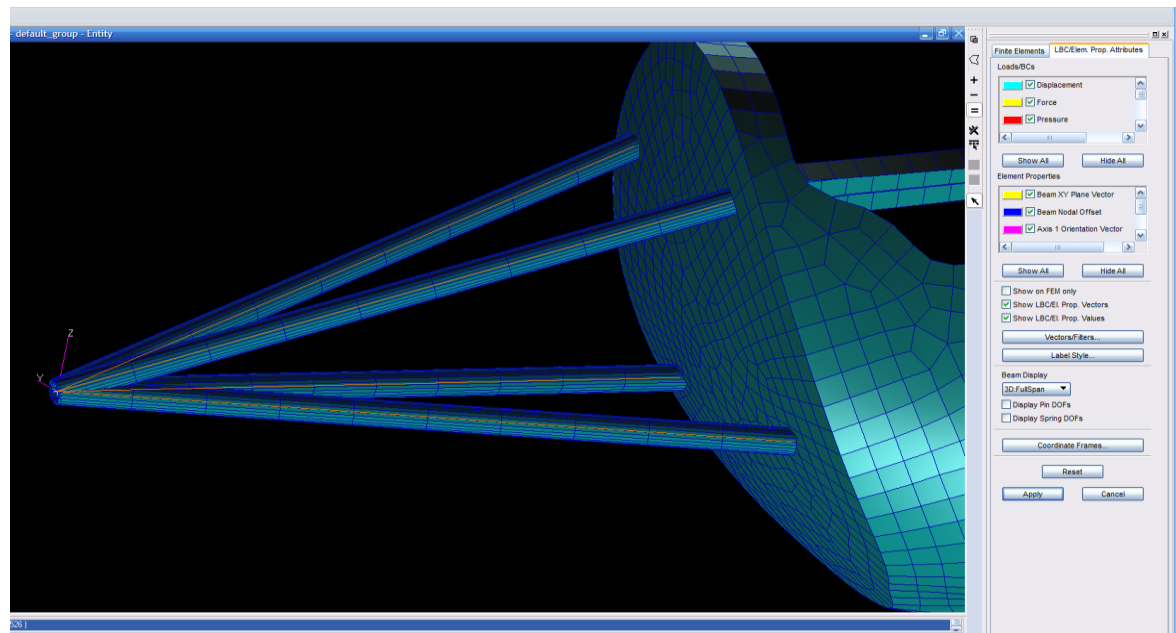
Εικόνα 2-16: Σύστημα συντεταγμένων ως προς το όχημα και την Γη.

Βήμα 5ο: Δημιουργία πλέγματος στο υποπλαίσιο

Μετά την ολοκλήρωση της γεωμετρίας του πίσω υποπλαισίου, σειρά είχε η δημιουργία πλέγματος σε αυτό. Λόγω του ότι το υποπλαίσιο αποτελείται από ράβδους, χρησιμοποιήθηκαν συγκεκριμένα στοιχεία για αυτές, τα οποία ονομάζονται CBARElements.



Εικόνα 2-17: Δημιουργία πλέγματος στο υποπλαίσιο.



Εικόνα 2-18: Δημιουργία πλέγματος στο υποπλαίσιο.

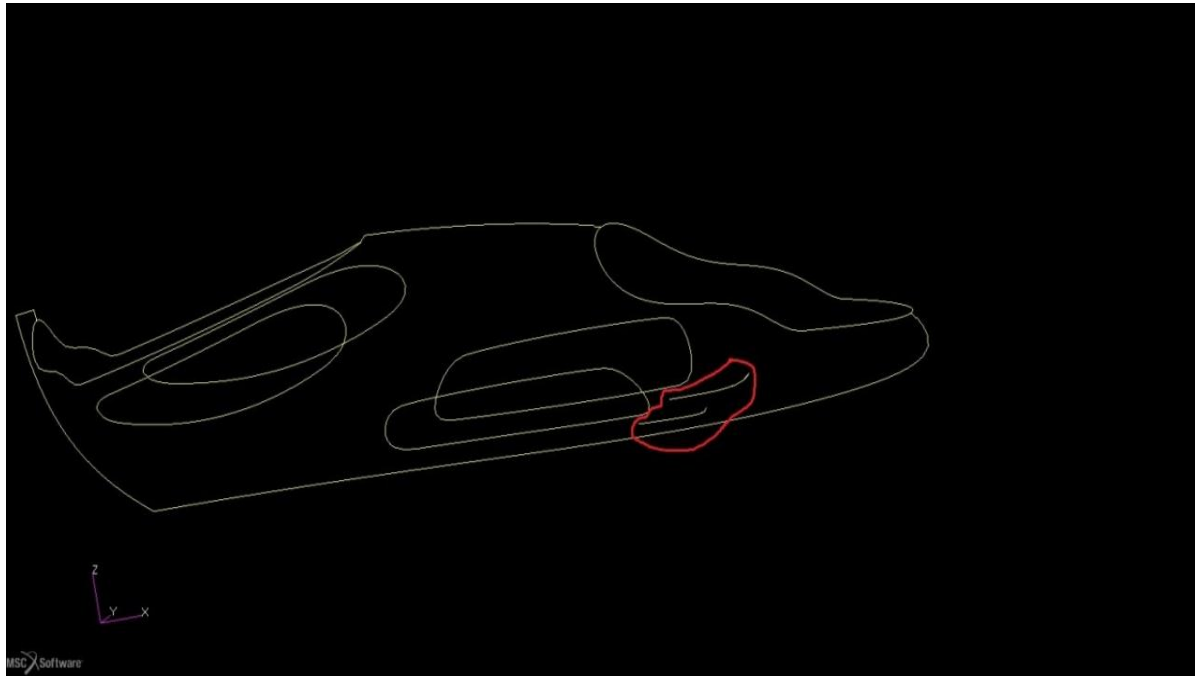
Βήμα 5^ο: Έλεγχος πλέγματος σε ολόκληρο το όχημα και επιδιόρθωση τυχόν σφαλμάτων

Το επόμενο βήμα αφορά στον έλεγχο του πλέγματος που δημιουργήθηκε στο όχημα, ο οποίος θα αφορά στον εντοπισμό δύο σφαλμάτων. Ο πρώτος έλεγχος έγινε για τον εντοπισμό ασυνέχειας μεταξύ της σύνδεσης των στοιχείων που γίνεται μέσω των κόμβων. Αν υπάρχει ασυνέχεια και δεν διορθωθεί, δημιουργούνται τα εξής προβλήματα, α) δεν μπορεί να ολοκληρωθεί η προσομοίωση και β) ανάλογα την ασυνέχεια το πρόγραμμα μπορεί να αναγνωρίσει την ασυνέχεια σαν γεωμετρία και να ολοκληρώσει κανονικά την προσομοίωση, χωρίς όμως τα επιθυμητά αποτελέσματα.

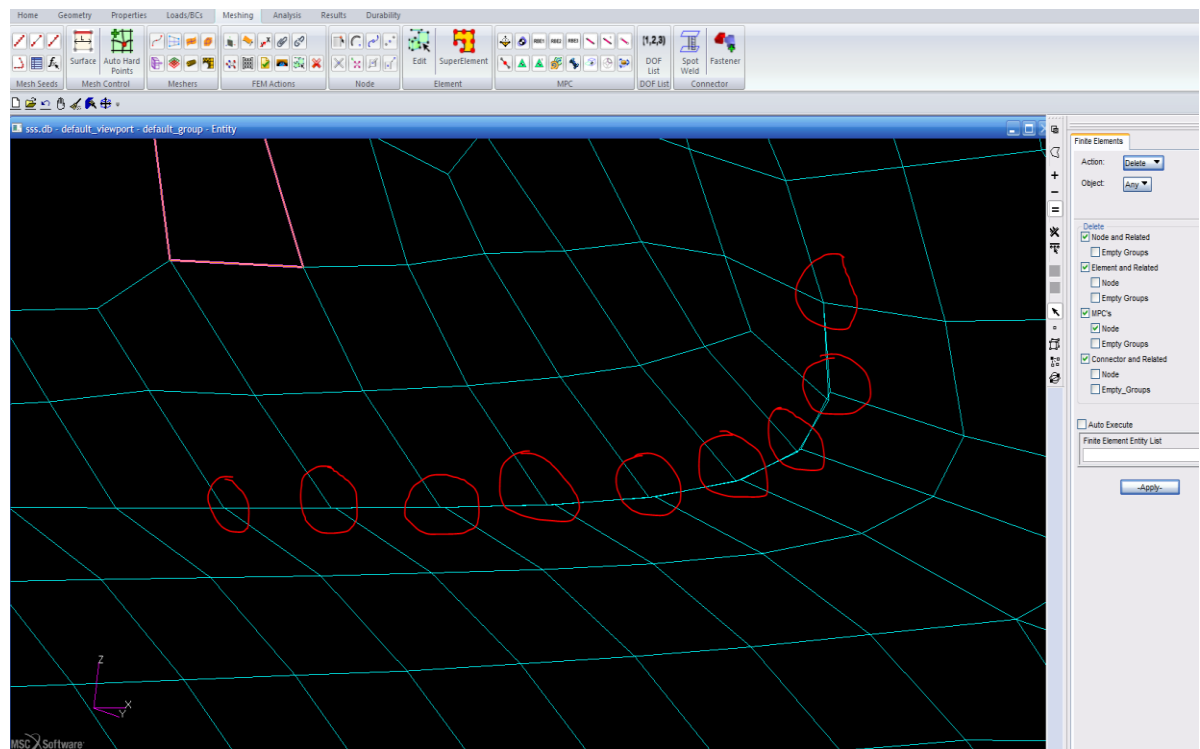
Το επόμενο στάδιο του ελέγχου αφορά στη διεύθυνση των στοιχείων, η οποία πρέπει να είναι ίδια για όλα.

Αυτό έχει να κάνει κυρίως με την πλευρά που έχει επιλεχθεί να γίνει η διαστρωμάτωση των φύλλων. Δηλαδή στη συγκεκριμένη περίπτωση, η γεωμετρία που είχαμε ήταν και η εξωτερική επιφάνεια του οχήματος, οπότε επιλέχθηκε η διαστρωμάτωση να γίνει στο εσωτερικό της. Συνεπώς, ο σκοπός του ελέγχου ήταν η διεύθυνση των στοιχείων να είναι ίδια, ανεξαρτήτως αν θα είναι προς το εσωτερικό του οχήματος ή όχι διότι κατά την δημιουργία των φύλλων στο πρόγραμμα, μπορούν να τοποθετηθούν με όποια φορά θέλει ο χρήστης, αρκεί να είναι γνωστά τα στοιχεία. Το αποτέλεσμα αυτού του ελέγχου

ήταν να διατηρηθεί ίδια η εξωτερική επιφάνεια του μοντέλου, με αυτή που προέκυψε κατά την κατασκευή του οχήματος. Ο συγκεκριμένος έλεγχος έγινε μέσω των NormalVectorstων στοιχείων, ως προς το σύστημα συντεταγμένων του οχήματος.



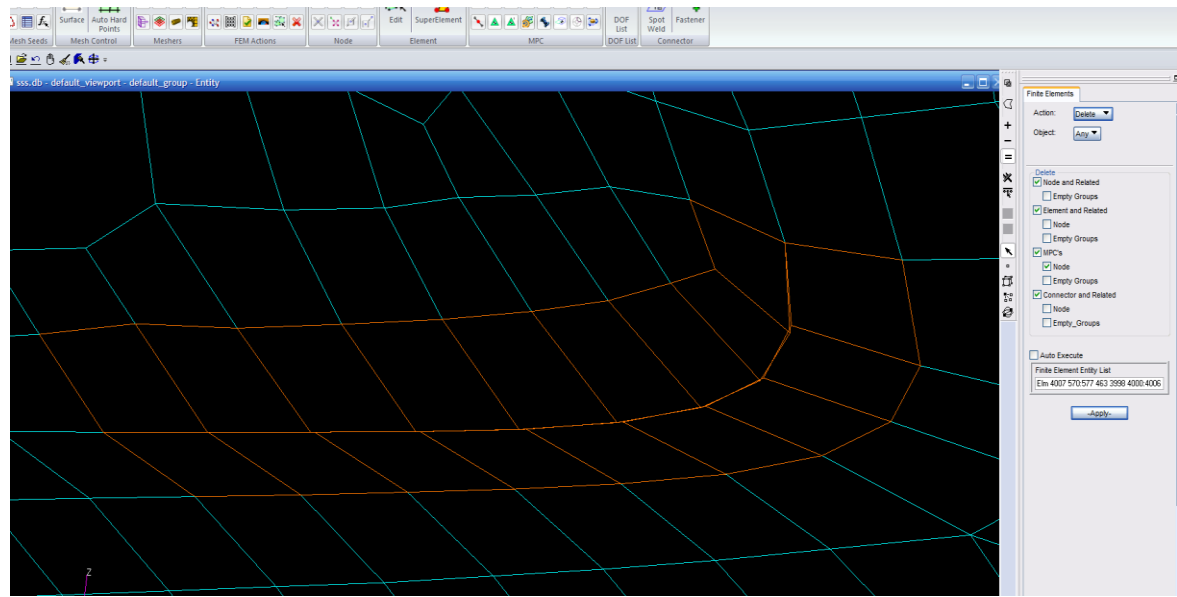
Εικόνα 2-19: Έλεγχος ασυνέχειας στο πλέγμα.



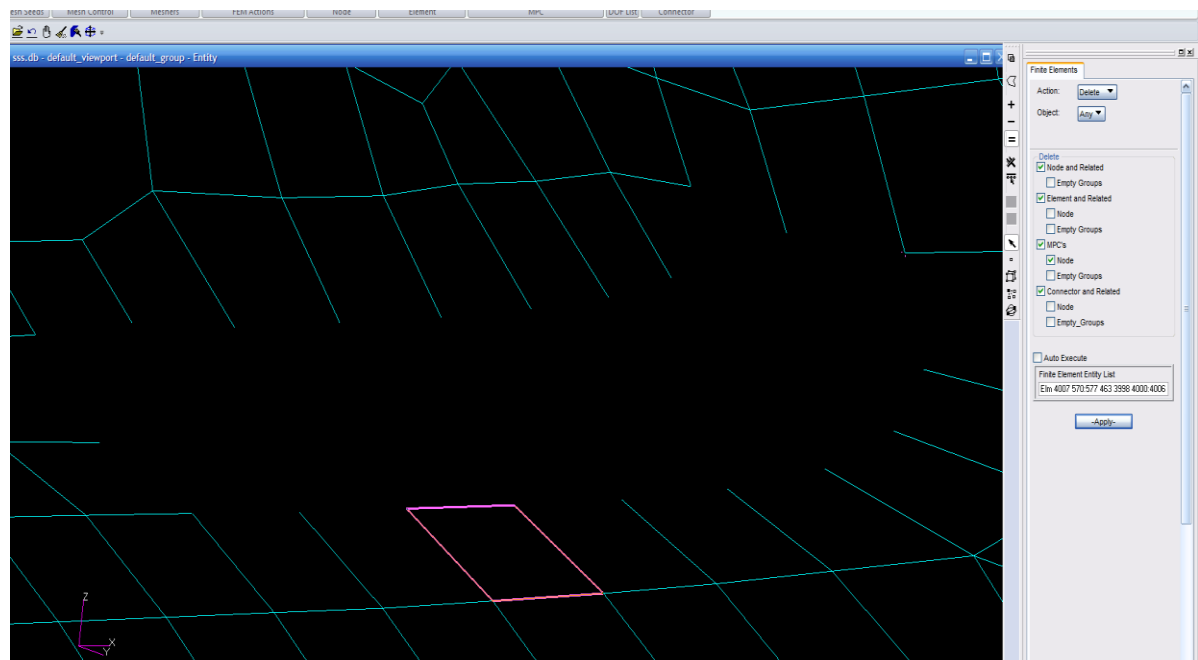
Εικόνα 2-20: Έλεγχος ασυνέχειας στο πλέγμα

Όπως είναι εμφανές από τις παραπάνω εικόνες, παρατηρείται ασυνέχεια μεταξύ κάποιων στοιχείων. Για τη διόρθωση του πλέγματος διαγράφηκαν τα συγκεκριμένα στοιχεία και δημιουργήθηκαν νέα, τα οποία προέκυψαν από την σωστή σύνδεση των ήδη υπάρχοντων κόμβων, με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν συνέχεια μεταξύ τους.

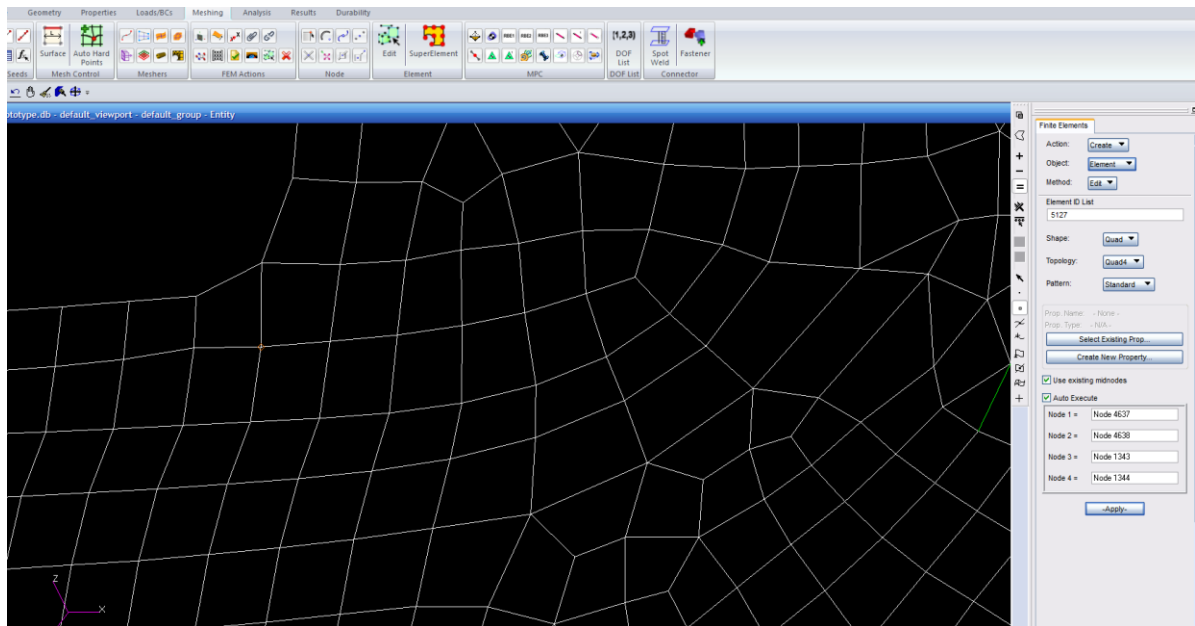
Διαδικασία επιδιόρθωσης ασυνέχειας στο πλέγμα.



Εικόνα 2-21:Επιλογή στοιχείων που παρουσιάζουν ασυνέχεια μεταξύ τους.



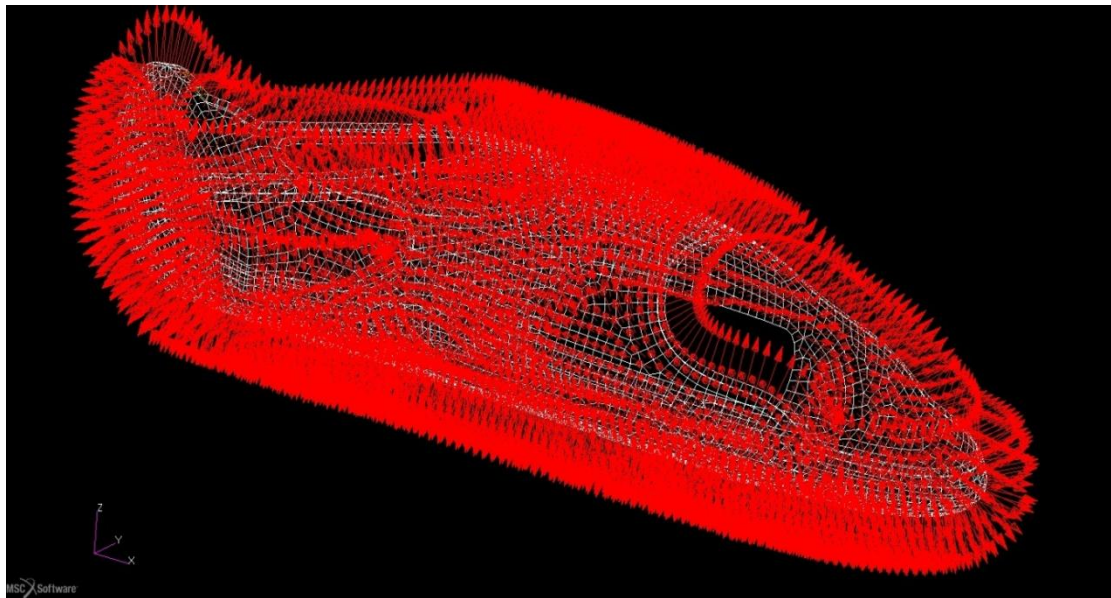
Εικόνα 2-22:Διαγραφεί στοιχεία που παρουσιάζουν ασυνέχεια μεταξύ τους.



Εικόνα 2-23: Δημιουργία νέων στοιχείων που παρουσιάζουν συνέχεια μεταξύ τους.

Μετά τη διόρθωση της ασυνέχειας που παρουσίαζε το πλέγμα του οχήματος, έγινε έλεγχος της διεύθυνσης των στοιχείων ο οποίος όπως αναφέρθηκε προηγουμένως έγινε μέσω των NormalVector των στοιχείων.

Έλεγχος διεύθυνσης στοιχείων



Εικόνα 2-24: Έλεγχος διεύθυνσης στοιχείων μέσω των NormalVectors.

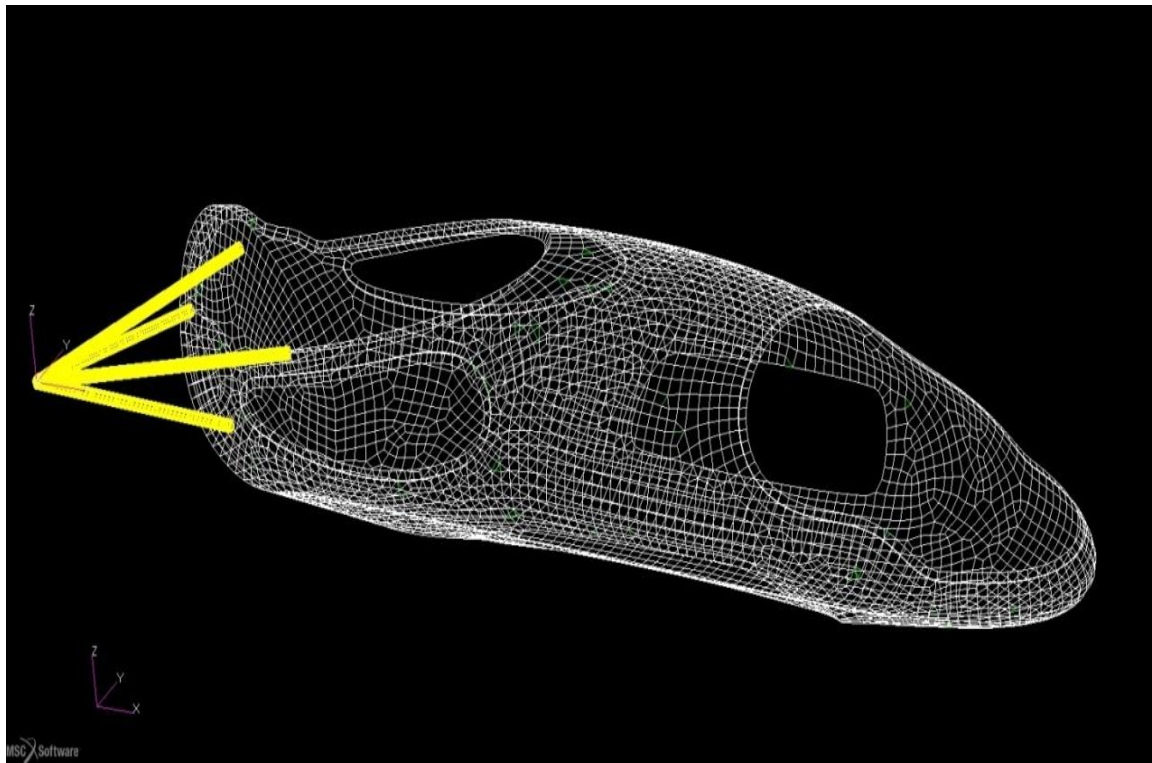
Στην εικόνα 2-24 φαίνεται ότι τα NormalVector των στοιχείων έχουν την ίδια διεύθυνση μεταξύ τους, ως προς το σύστημα συντεταγμένων του οχήματος.

Αυτό παρέχει τη δυνατότητα σωστής διαστρωμάτωσης των φύλλων, με βάση την πλευρά της επιφάνειας που έχει επιλεγθεί.

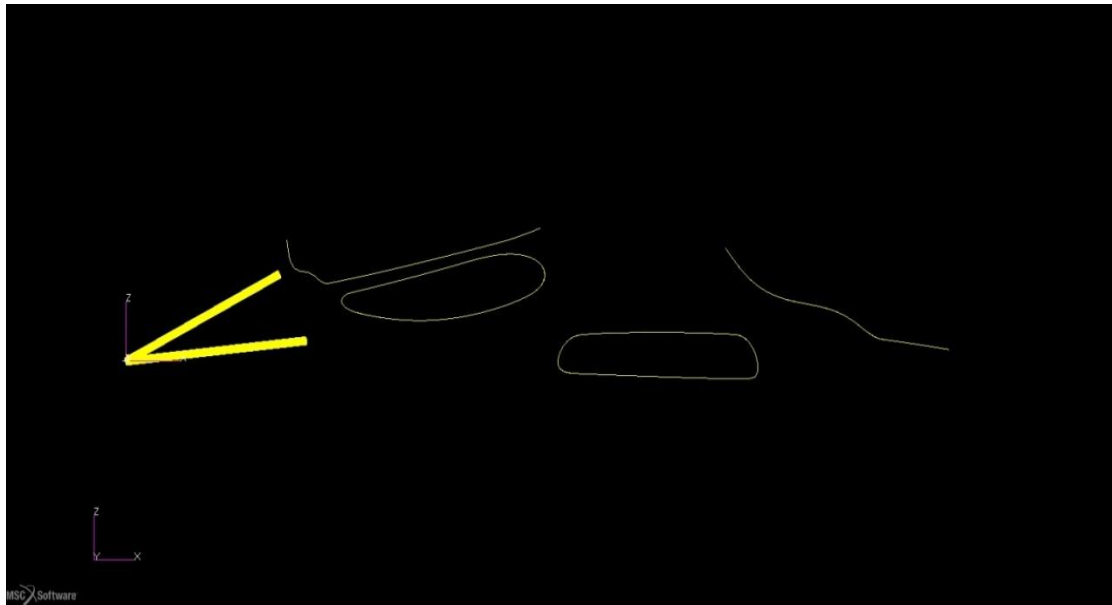
Αφού ολοκληρώθηκαν όλες οι παραπάνω διαδικασίες, οι οποίες αφορούσαν στην ολοκλήρωση της γεωμετρίας, μέσω της δημιουργίας του υποπλαισίου, τη δημιουργία του πλέγματος και τον έλεγχο του, συμπληρώθηκε το πρώτο στάδιο της μοντελοποίησης του οχήματος.

Οι παρακάτω εικόνες παρουσιάζουν το τελικό μοντέλο, στο οποίο συνεχίστηκε η μοντελοποίηση. Στην πρώτη φωτογραφία παρουσιάζεται το όχημα με το πλέγμα και στις επόμενες δύο, τα όρια της γεωμετρίας του οχήματος. Επίσης, στον πίνακα που ακολουθεί αναγράφεται αριθμός των στοιχείων που δημιουργήθηκαν και το είδος τους.

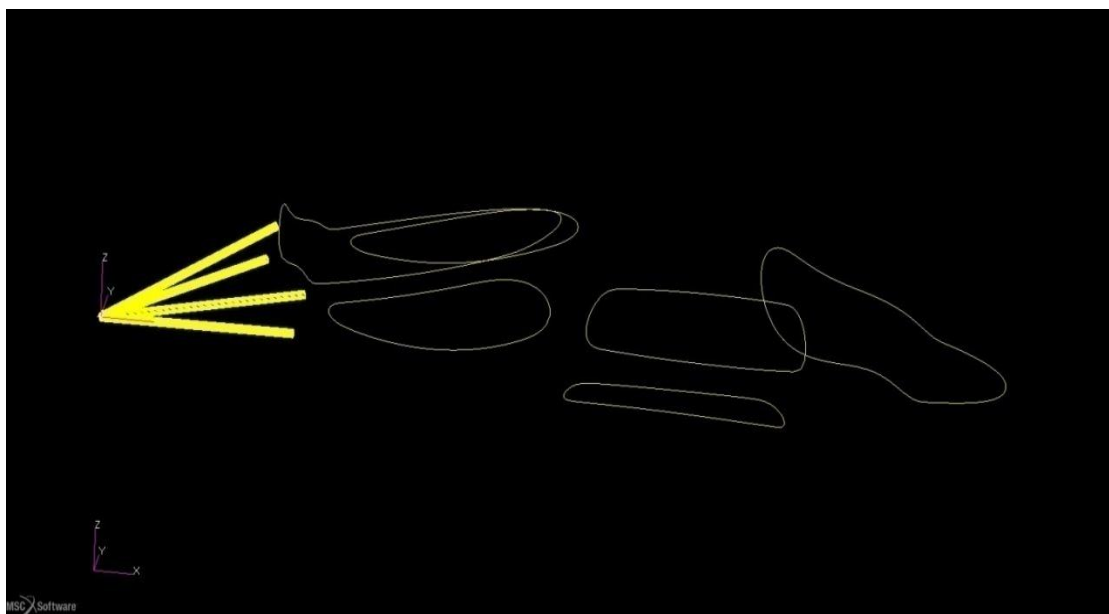
Παρουσίαση τελικού μοντέλου



Εικόνα 2-25: Παρουσίαση τελικού μοντέλου.



Εικόνα 2-26:Παρουσίαση τελικού μοντέλου.



Εικόνα 2-27:Παρουσίαση τελικού μοντέλου.

MODEL SYMMMARY	
ENTRY NAME	NUMBER OF ENTRIE
CBAR	38
CORD2R	2
CQUAD4	5063
CTRIA3	42

Πίνακας 2-1:Πληροφορίες ως προς το είδος και των αριθμών των στοιχείων του πλέγματος.

2.1.2. Εισαγωγή ιδιοτήτων των υλικών

Το επόμενο στάδιο της μοντελοποίησης αφορούσε την εισαγωγή των ιδιοτήτων των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν. Η διαδικασία αυτή αποτελεί βασικό στάδιο, διότι λόγω της πολυπλοκότητας που παρουσιάζει η ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων, τα περισσότερα προγράμματα απαιτούν εισαγωγή συγκεκριμένων μονάδων μέτρησης, όπως και το MSCPatran. Αυτή η προϋπόθεση παρέχει τη δυνατότητα στο πρόγραμμα εκτός από το να παρουσιάσει τα αποτελέσματα σε συγκεκριμένες μονάδες μέτρησης, να πραγματοποιήσει την ανάλυση χωρίς την παρουσίαση κάποιου σφάλματος.

Πίνακας μονάδων μέτρησης για το MSCPatran/Nastran

System of Units	Input							Output		
	Length	Force	Elastic Modulus	Mass	Mass Density	WTMASS Parameter	1 G	Disp	Force	Stress
1	m	N	Pa	kg	kg/m ³	1.0	9.807 m/sec ²	m	N	Pa
2	mm	N	MPa	t or Mg	t/mm ³ or Mg/mm ³	1.0	9807 mm/sec ²	mm	N	MPa
3	ft	lbf	psf	slug	slug/ft ³	1.0	32.17 ft/sec ²	ft	lbf	psf
4	in	lbf	psi	lbf. sec ² /in	lbf. sec ² /in ⁴	1.0	386.1 in/sec ²	in	lbf	psi
5	in	lbf	psi	lbf	lb/in ³	2.59x10 ⁻³	386.1 in/sec ²	in	lbf	psi

Εικόνα 2-28: Μονάδες μέτρησης εισαγωγής και εξαγωγής τιμών για το πρόγραμμα MSCPatran/Nastran.

Ακόμα ένας παράγοντας που συμβάλει στην κρισιμότητα του σταδίου αυτού, είναι η χρήση φύλλων ανθρακονήματος και υλικών μήτρας. Αυτό συμβαίνει διότι στα ανθρακονήματα οι ιδιότητες τους επηρεάζονται ανάλογα τον τρόπο πλέξης τους, δηλαδή αν είναι μονοδιευθυντικά ή πολυδιευθυντικά. Επίσης, ο τρόπος πλέξης τους καθορίζεται το βαθμό ανισοτροπίας των ανθρακονημάτων, ο οποίος μπορεί να ποικίλλει στις εξής κατηγορίες (Κουκουλιάντα Ι. Στυλιανή, 2014):

- Γενικώς ανισότροπο σύνθετο υλικό (Generally anisotropic 2D-3D)

Το υλικό στο οποίο δεν υπάρχουν επίπεδα συμμετρίας σε σχέση με τις ίνες. Για παράδειγμα, ένα σύνθετο υλικό με ίνες είναι γενικώς ανισότροπο όταν οι ίνες είναι τοποθετημένες σε τρεις μη ορθογώνιες διευθύνσεις.

- Μονοκλινικό σύνθετο υλικό (Monoclinic)

Το υλικό στο οποίο υπάρχει ένα επίπεδο συμμετρίας σε σχέση με τις ίνες.

- Ορθότροπο σύνθετο υλικό (Orthotropic 2D-3D)

Το υλικό στο οποίο υπάρχουν τρία κάθετα μεταξύ τους επίπεδα συμμετρίας, σε σχέση με τις ίνες. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των ορθότροπων υλικών είναι ότι οι ορθές τάσεις δεν “παράγουν” διατμητικές παραμορφώσεις, όταν αυτές οι τάσεις ασκούνται στις 1,2,3 ορθότροπες διευθύνσεις. Βέβαια, οι ορθές τάσεις που εφαρμόζονται στις x, y, z διευθύνσεις, οι οποίες δεν συμπίπτουν με τις 1,2,3 ορθότροπες διευθύνσεις, “παράγουν” διατμητικές παραμορφώσεις.

- Ισότροπο σύνθετο υλικό (Isotropic)

Σε ένα ισότροπο υλικό, δεν υπάρχουν προτιμώμενες διευθύνσεις και κάθε επίπεδο είναι επίπεδο συμμετρίας. Για παράδειγμα, ένα υλικό που περιέχει ένα μεγάλο αριθμό τυχαία προσανατολισμένων ινών, συμπεριφέρεται ως ισότροπο. Για ένα ισότροπο υλικό, το σύστημα συντεταγμένων επιλέγεται τυχαία.

- Εγκάρσιως ισότροπο σύνθετο υλικό (Transversely isotropic)

Το υλικό αυτό έχει τρία επίπεδα συμμετρίας, άρα είναι ορθότροπο. Επιπλέον, σε ένα από τα επίπεδα συμμετρίας συμπεριφέρεται ως ισότροπο. Για παράδειγμα ένα σύνθετο υλικό με συνεχείς ίνες ενιαίου προσανατολισμού, στο οποίο όλες οι ίνες είναι προσανατολισμένες στην διεύθυνση 1, συμπεριφέρεται ως ισότροπο στο επίπεδο που είναι κάθετο στις ίνες, δηλαδή στο 2-3 επίπεδο.

Με βάση τον βαθμό ανισοτροπίας του σύνθετου υλικού, το πρόγραμμα απαιτεί και την εισαγωγή των ανάλογων ιδιοτήτων του υλικού σε συγκεκριμένες διευθύνσεις. Αυτές οι μηχανικές ιδιότητες έχουν προκύψει από διάφορα τεστ που έχουν πραγματοποιηθεί στα σύνθετα υλικά βάσει προδιαγραφών, και αφορούν το βαθμό ελαστικότητας σε ορθές και διατμητικές τάσεις, το λόγο Poisson, την πυκνότητα του σύνθετου υλικού κτλ.

Στην εικόνα 2-29. παρουσιάζονται τα πειράματα που πραγματοποιούνται στα σύνθετα υλικά και η γεωμετρική ερμηνεία των τάσεων.

C - How are composites tested ?

MECHANICAL TESTS ON MONOLITHIC STRUCTURES

Each group shows the general specimen test configuration and formula.

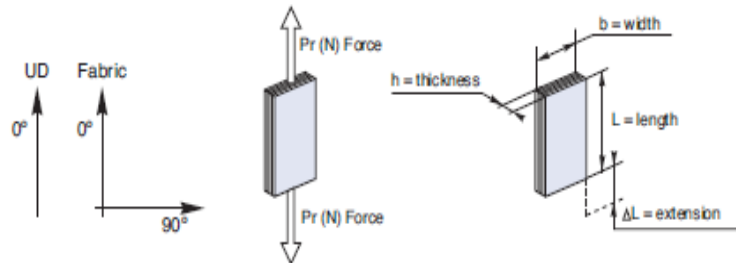
Tensile

- Tensile strength σ

$$\sigma \text{ (MPa)} = \frac{Pr}{b \cdot h}$$

- Tensile modulus E

$$E \text{ (MPa)} = \frac{Pr \cdot L}{b \cdot h \cdot \Delta L}$$



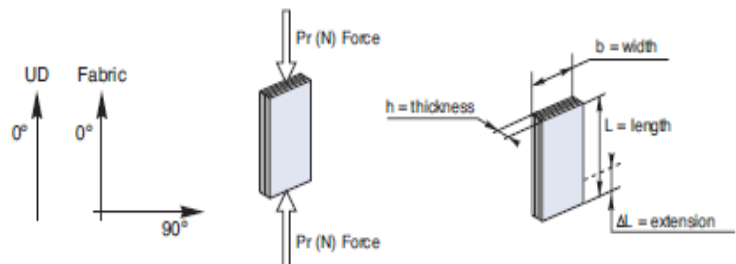
Compression

- Compression strength σ

$$\sigma \text{ (MPa)} = \frac{Pr}{b \cdot h}$$

- Compression modulus E

$$E \text{ (MPa)} = \frac{Pr \cdot L}{b \cdot h \cdot \Delta L}$$



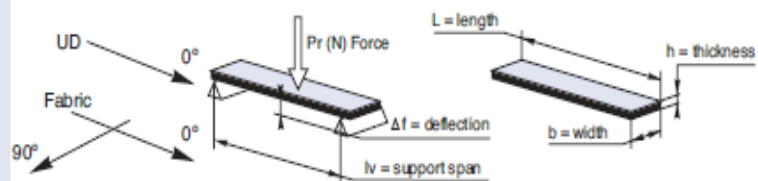
Flexural

- Flexural strength σ

$$\sigma \text{ (MPa)} = \frac{3 Pr \cdot lv}{2 b \cdot h^2}$$

- Flexural modulus E

$$E \text{ (MPa)} = \frac{Pr \cdot lv^3}{4 \cdot b \cdot h^3 \cdot \Delta f}$$

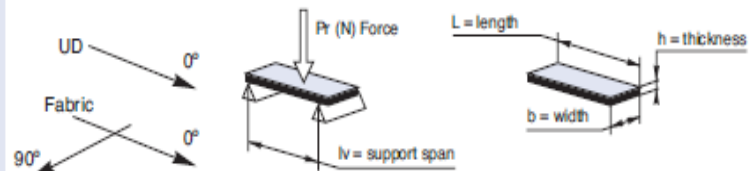


Typical span to thickness ratio 40 : 1 carbon ; 20 : 1 aramid ; 16 : 1 glass (dependent on specification and material)

Shear (short beam)

- Interlaminar shear strength σ

$$\sigma \text{ (MPa)} = \frac{3 Pr}{4 \cdot b \cdot h}$$



Typical span to thickness ratio 5 : 1 (dependent on specification)

In-plane shear

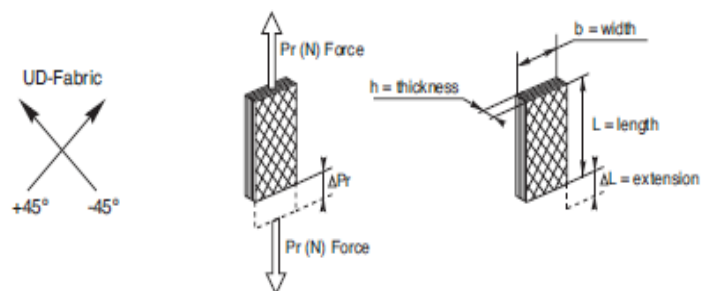
- In-plane shear strength σ

$$\sigma \text{ (MPa)} = 0.5 \times \frac{Pr}{b \cdot h}$$

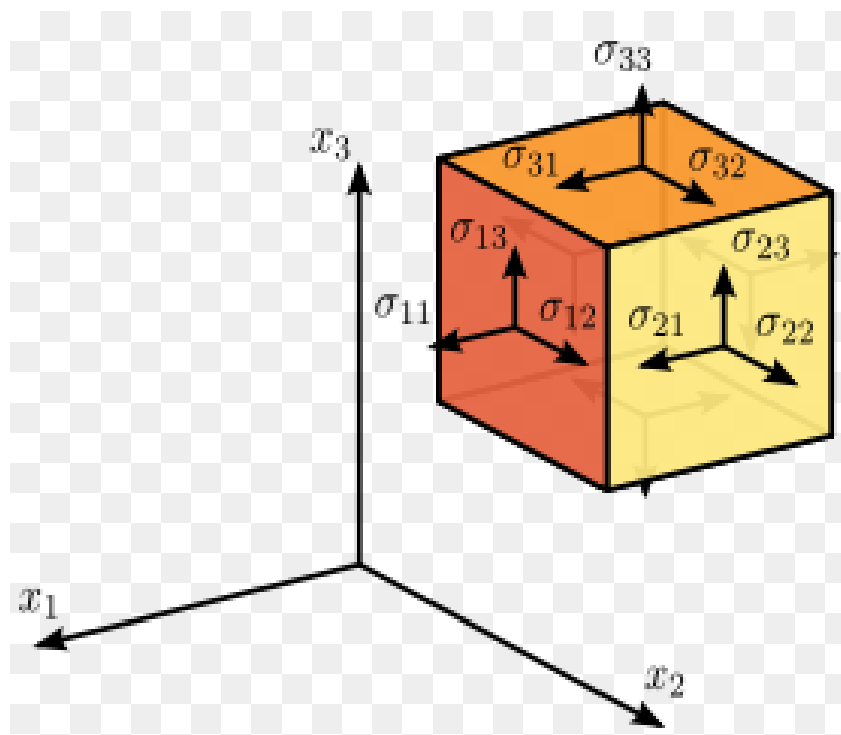
- In-plane shear stress modulus G

$$G \text{ (MPa)} = \frac{0.5}{(1 + \nu)} \times \frac{\Delta Pr}{b \cdot h \cdot \Delta L}$$

ν = Poisson's ratio



Εικόνα 2-29:Πειράματα αντοχής για τον προσδιορισμό, μηχανικών ιδιοτήτων σύνθετων υλικών.



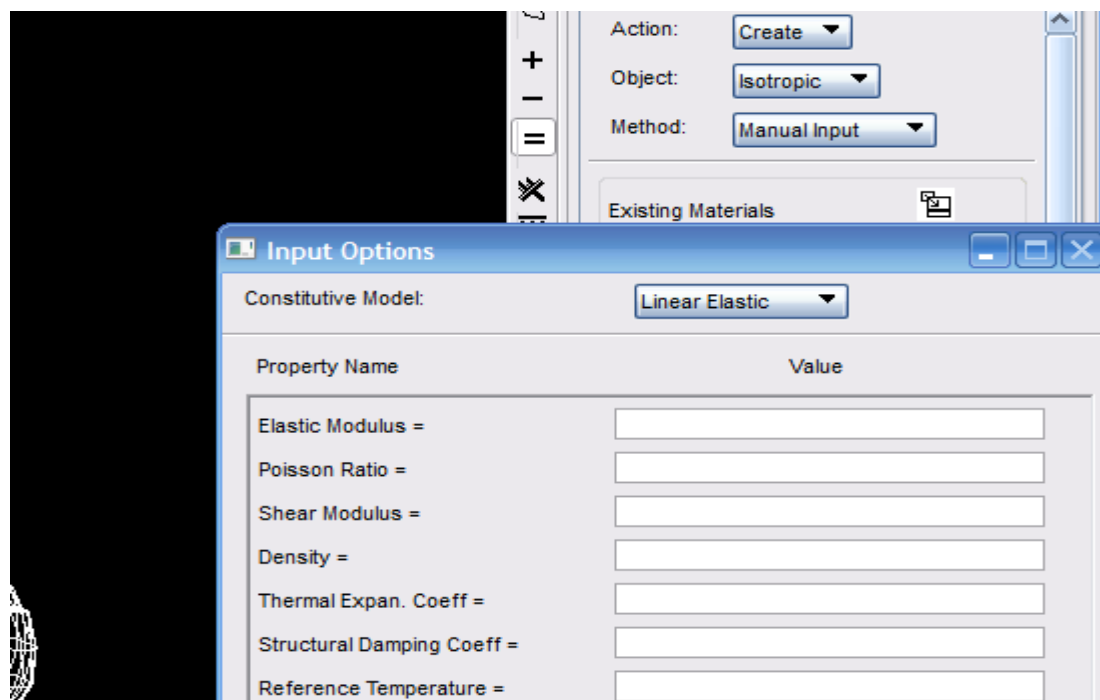
Εικόνα 2-30:Γεωμετρική ερμηνεία των συνιστωσών τάσεων.

Τα υλικά επιλέχθηκαν για την κατασκευή του σασί, ανήκουν στις κατηγορίες ισότροπων και ορθοτροπικών(2-D) υλικών, σύμφωνα με το βαθμό ανισοτροπίας τους. Στην πρώτη κατηγορία ανήκει το σύνθετο υλικό, από το οποίο έχουν κατασκευαστεί οι μπάρες για το πίσω υποπλαίσιο καθώς και το υλικό πυρήνα που θα τοποθετηθεί ανάμεσα στα φύλλα ανθρακονήματος, στις περιοχές ενίσχυσης του σασί. Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν τα φύλλα ανθρακονήματος που θα χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή του σασί.

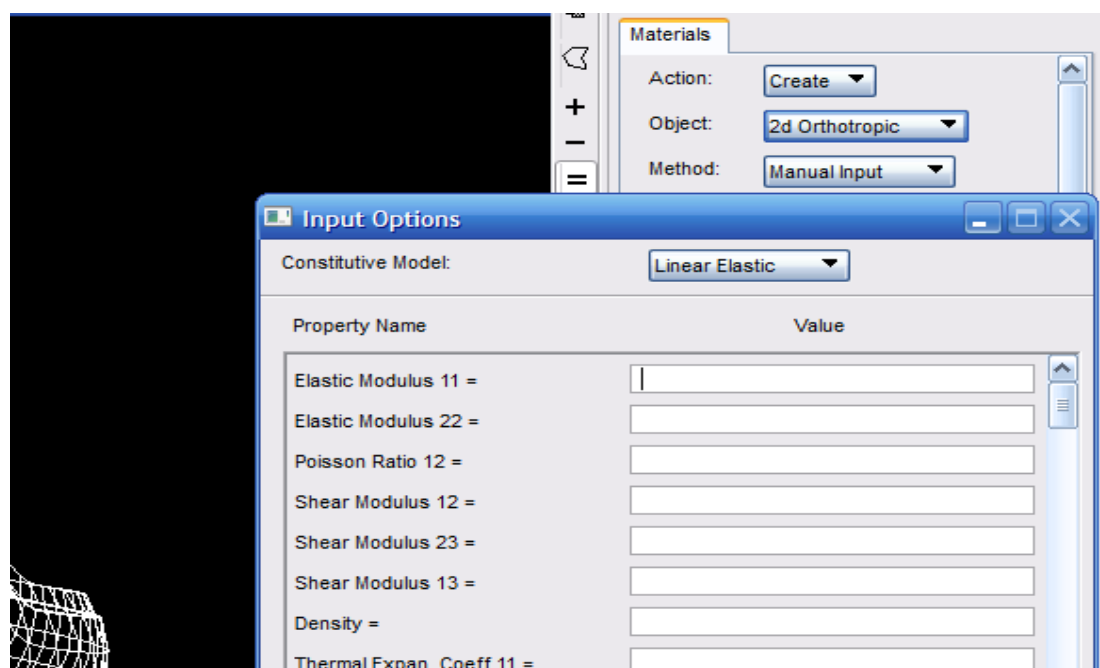
Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, με κριτήριο τον βαθμό ανισοτροπίας, το πρόγραμμα απαιτεί και την εισαγωγή των αντίστοιχων ιδιοτήτων, βάσει τη γεωμετρική ερμηνεία των τάσεων, της εκάστοτε κατηγορίας.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται, οι ιδιότητες που πρέπει να εισαχθούν στο πρόγραμμα για την εκάστοτε κατηγορία υλικού.

Λόγω του ότι πραγματοποιήθηκε ανάλυση, που εξετάζει την αντοχή του σασί, που προκύπτει από την επιβολή στατικών φορτίων, δεν είναι αναγκαία η εισαγωγή κάποιων ιδιοτήτων του υλικού, όπως για παράδειγμα η θερμική διαστολή.



Εικόνα 2-31:Εισαγωγή ιδιοτήτων ισοτροπικών υλικών.



Εικόνα 2-32:Εισαγωγή ιδιοτήτων ορθοτροπικών υλικών 2-D.

Για την εύρεση των μηχανικών ιδιοτήτων έγινε μικροσκοπική ανάλυση του σύνθετου υλικού, η οποία στη συγκεκριμένη περίπτωση ονομάζεται 'κανόνας της μίξης' (Rule of Mixtures) (Ronald F. Gibson, 1994). Αυτός ο κανόνας είναι μια μαθηματική έκφραση, η οποία με την χρήση διαφόρων εξισώσεων, προσδίδει τις μηχανικές ιδιότητες του σύνθετου υλικού, σε όλα τα σημεία, που μπορεί να εμφανιστούν τάσεις. Ο προσδιορισμός αυτών των ιδιοτήτων, προκύπτει από τις

μηχανικές ιδιότητες, των ινών, από τις οποίες αποτελείται το φύλλο ανθρακόνηματος καθώς και της ρητίνης που θα χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή του σύνθετου υλικού και οι οποίες παρέχονται από τους καταλόγους δεδομένων των εταιριών.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα υλικά κατηγοριοποιούνται βάση τον βαθμό της ανισοτροπίας, οπότε με κριτήριο την κατηγορία του κάθε υλικού πρέπει να εισαχθούν στο πρόγραμμα και οι αντίστοιχες σταθερές.

Οι σταθερές αυτές στην περίπτωση που το υλικό ισοτροπικό είναι μόνο τρεις, διότι σε οποιοδήποτε σημείο του επιπέδου του, οι μηχανικές ιδιότητες του είναι ίδιες σε όλες τις διευθύνσεις. Οι ιδιότητες αυτές είναι το μέτρο ελαστικότητας(E), το μέτρο διάτμησης(G) και ο λόγος Poisson(ν). Στην περίπτωση όμως, που το υλικό είναι ορθοτροπικό, θα πρέπει να εισαχθούν εννέα σταθερές. Αυτό προκύπτει διότι στα ορθότροπα υλικά υπάρχουν τρία κάθετα επίπεδα συμμετρίας, που το καθένα αποτελείται από τρεις σταθερές και οι οποίες αναφέρθηκαν στην προηγούμενη κατηγορία. Αυτές είναι βάσει το επίπεδο συμμετρίας οι εξής:

E_{11} : elastic modulus in the fiber direction

E_{22} : elastic modulus in the transverse 2-direction

E_{33} : elastic modulus in the transverse 3-direction

G_{12} : in plane shear modulus

G_{13} : out of plane fiber direction shear modulus

G_{23} : out of plane transverse shear modulus

ν_{12} : Poisson's ratio in the 2-direction due to 1-direction loading (major Poisson's ratio)

ν_{13} : Poisson's ratio in the 3-direction due to 1-direction loading

ν_{23} : Poisson's ratio in the 3-direction due to 2-direction loading

Οι παραπάνω σταθερές είναι της μορφής σ_{ij} , όπου το γράμμα δηλώνει το είδος της σταθεράς, δηλαδή αν είναι μέτρο ελαστικότητας κτλ., ενώ οι δείκτες δηλώνουν το επίπεδο αναφοράς (i) και την διεύθυνση της τάσης (j), που επιδρά στο επίπεδο αναφοράς.

Επιπλέον, σε ότι αφορά στα ορθοτροπικά υλικά, αυτά συμπεριφέρονται επίσης και σαν εγκάρσια ισότροπα υλικά. Για αυτόν το λόγο κάποιες σταθερές του υλικού, είναι ίσες μεταξύ τους και αυτές είναι οι $E_{22} = E_{33}$, $G_{12} = G_{13}$ και $\nu_{12} = \nu_{13}$.

Η εύρεση των παραπάνω σταθερών έγινε με τη χρήση των εξισώσεων, που παρουσιάζονται στη συνέχεια. Επίσης, κάποιες σταθερές που παρουσιάζονται δίνονται από τους καταλόγους δεδομένων των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν και οι οποίοι θα δοθούν στη συνέχεια.

Εξισώσεις για τον προσδιορισμό των μηχανικών ιδιοτήτων του σύνθετου υλικού:

$$E_{11}=E_f(V_f) + E_m(1 - V_f) \quad (GPa)(2.1)$$

$$E_{22} = E_{33} = \frac{E_f E_m}{E_f - V_f(E_f - E_m)} (GPa)(2.2)$$

$$G_{23} = \frac{E_{22}}{2(1+\nu_{23})} (GPa)(2.3)$$

$$G_{12} = G_{13} = \frac{G_f G_m}{G_f - V_f(G_f - G_m)} \quad (GPa)(2.4)$$

$$G_m = \frac{E_m}{2(1+\nu_m)} (GPa) \quad (2.5)$$

$$G_f = \frac{E_f}{2(1+\nu_f)} (GPa) \quad (2.6)$$

$$\nu_{23} = \nu_{12} \frac{1-\nu_{21}}{1-\nu_{12}} (2.7)$$

$$\nu_{21} = \frac{E_{22}}{E_{11}} \nu_{12} (2.8)$$

$$\nu_{12} = \nu_m(1 - V_f) + \nu_f V_f (2.9)$$

$$\text{ολική πυκνότητα σύνθετου υλικού} = d_m V_m + d_f V_f \quad (\text{g/cm}^3) \quad (2.10)$$

όπου:

E_f = το μέτρο ελαστικότητας της ίνας άνθρακα (Tensile Modulus)

V_f = το ποσοστό ινών στο σύνθετο υλικό

G_f = το μέτρο διάτμησης της ίνας (Shear Modulus)

ν_f = ο λόγος Poisson' στη ίνα (Poisson's ratio)

d_f = πυκνότητα ίνας (density)

E_m = το μέτρο ελαστικότητας της ρητίνης

$V_m = (1 - V_f)$ = το ποσοστό της ρητίνης στο σύνθετο υλικό

G_m = το μέτρο διάτμησης της ρητίνης

ν_m = ο λόγος Poisson' της ρητίνης

d_m = πυκνότητα ρητίνης

Τα υλικά το οποία επιλέχθηκαν, να χρησιμοποιηθούν, για την κατασκευή του σασί, είναι τα εξής:

Ανθρακονήματα (Carbon Fibers):

- T700s, Torayca (εταιρία)
- T300s, Torayca
- PX35, Zoltek

Υλικό πυρήνα (Honeycomb):

- Divinycell P60, Diab

Υλικό μήτρας ή ρητίνη (Resin):

- PR220, Letoxit
- Hardener EM316, Letoxit

Ιδιότητες υλικών

Technical Datasheet

ZOLTEK™ PX35 Multi-Directional Fabrics



Stitch-Bonded Multi-Axial Carbon Fabrics

MATERIAL FIBER PROPERTIES	SI	US
Tensile Strength	4,137 MPa	600 ksi
Tensile Modulus	242 GPa	35 msi
Electrical Conductivity	0.00155 ohm-cm	0.00061 ohm-in
Density	1.81 g/cc	0.065 lb/in ³
Fiber Diameter	7.2 microns	0.283
Carbon Content	95%	

Εικόνα 2-33: Μηχανικές ιδιότητες ανθρακονήματος μονής κατεύθυνσης PX35, Zoltek(0/90).

TORAYCA® T700S DATA SHEET

Highest strength, standard modulus fiber available with excellent processing characteristics for filament winding and prepreg. This never twisted fiber is used in high tensile applications like pressure vessels, recreational, and industrial.

F I B E R P R O P E R T I E S

		English	Metric	Test Method
Tensile Strength		711 ksi	4,900 MPa	TY-030B-01
Tensile Modulus		33.4 Msi	230 GPa	TY-030B-01
Strain		2.1 %	2.1 %	TY-030B-01
Density		0.065 lbs/in ³	1.80 g/cm ³	TY-030B-02
Filament Diameter		2.8E-04 in.	7 μm	
Yield	6K	3,724 ft/lbs	400 g/1000m	TY-030B-03
	12K	1,862 ft/lbs	800 g/1000m	TY-030B-03
	24K	903 ft/lbs	1,650 g/1000m	TY-030B-03
Sizing Type	50C		1.0 %	TY-030B-05
& Amount	60E		0.3 %	TY-030B-05
	F0E		0.7 %	TY-030B-05
Twist		Never twisted		

Εικόνα 2-34:Μηχανικές ιδιότητες ανθρακονήματος πολλαπλής κατεύθυνσηςT700s,Torayca (±45).

F I B E R P R O P E R T I E S

		English	Metric	Test Method
Tensile Strength		512 ksi	3,530 MPa	TY-030B-01
Tensile Modulus		33.4 Msi	230 GPa	TY-030B-01
Strain		1.5 %	1.5 %	TY-030B-01
Density		0.064 lbs/in ³	1.76 g/cm ³	TY-030B-02
Filament Diameter		2.8E-04 in.	7 μm	
Yield	1K	22,568 ft/lbs	66 g/1000m	TY-030B-03
	3K	7,523 ft/lbs	198 g/1000m	TY-030B-03
	6K	3,761 ft/lbs	396 g/1000m	TY-030B-03
	12K	1,862 ft/lbs	800 g/1000m	TY-030B-03
Sizing Type	40A, 40B		1.0 %	TY-030B-05
& Amount	40D		0.7 %	TY-030B-05
	50A, 50B		1.0 %	TY-030B-05
Twist		Twisted, Untwisted, or Never twisted		

Εικόνα 2-35:Μηχανικές ιδιότητες ανθρακονήματος πολλαπλής κατεύθυνσηςT300s,Torayca (±45).

Mechanical properties Divinycell® P

Property	Test Procedure	Unit		P60
Compressive Strength ¹	ASTM D 1621	MPa	Nominal	0.7
			Minimum	0.45
Compressive Modulus ¹	ASTM D1621-B-73	MPa	Nominal	65
			Minimum	29
Tensile Strength	ASTM D 1623	MPa	Nominal	1.2
			Minimum	0.8
Shear Strength	ISO 1922	MPa	Nominal	0.45
			Minimum	0.32
Shear Modulus	ISO 1922	MPa	Nominal	13
			Minimum	9.5
Shear Elongation	ISO 1922	%	Nominal	20
			Minimum	8
Density	ISO 845	kg/m ³	Nominal	65

Εικόνα 2-36:Μηχανικές ιδιότητες υλικού πυρήνα DivinycellP60, Diab.

Mechanical properties of unreinforced resin

Curing: 24 h 25°C 2 h 70°C 6 h 120°C	Norm	Resin Letoxit PR 220 + hardener Letoxit EM 315, EM 316, EM 317
Density at 25 °C (g/cm ³)	PN-5M-11	1,18-1,20
Flexural strength (MPa)	CSN EN ISO 178	110-120
Modulus of elasticity (GPa)	CSN EN ISO 178	3,0-3,3
Tensile strength (MPa)	CSN EN ISO 572	70-80
Compressive strength (MPa)	CSN EN ISO 604	120-140

Εικόνα 2-37:Μηχανικές ιδιότητες ρητίνηςPR220, Letoxit.

Hardener specification

	Norm	Hardener Letoxit® EM 315	Hardener Letoxit® EM 316	Hardener Letoxit® EM 317
Density at 25°C (g/cm ³)	PN-5M-11	0,94-0,97	0,94-0,97	0,93-0,96

Εικόνα 2-38:Ιδιότητες σκληρυντήEM316, Letoxit.

* Λόγω έλλειψης πληροφοριών από την εταιρία που αγοράστηκαν οι ράβδοι ανθρακονήματος, δεν υπάρχει κατάλογος δεδομένων για αυτές και οι μηχανικές τους ιδιότητες αναγράφονται στον πίνακα 2-2.

Στους παραπάνω πίνακες, και σε ότι αφοράστα ανθρακονήματα, οι πίνακες παρουσιάζουν τις μηχανικές ιδιότητες των ινών, από τις οποίες αποτελείται το εκάστοτε φύλλο ανθρακονήματος.

Ανεξαρτήτως της αρχιτεκτονικής πλέξης του υφάσματος, ο προσδιορισμός και η εισαγωγή των μηχανικών ιδιοτήτων του ανθρακονήματος, γίνεται θεωρώντας, ότι αποτελείται από ίνες ίδιας κατεύθυνσης. Στην πραγματικότητα όμως, αυτό δεν ισχύει, διότι όλα τα ανθρακονήματα που θα χρησιμοποιηθούν είναι πολυδιευθυντικά. Ο λόγος για τον οποίο γίνεται αυτή η διαδικασία είναιιδίότι κατά κύριο λόγο οι εταιρίες δεν παρέχουν τις μηχανικές ιδιότητες των στεγνών φύλλων ανθρακονήματος (drycarbonfiber), παρά μόνο των ινών που τα αποτελούν, γιατί αναλόγως το υλικό μήτρας που θα χρησιμοποιήσει ο χρήστης, τα φύλλα ανθρακονήματος θα έχουν και τις αντίστοιχες ιδιότητες.

Στους πίνακες 2-2,3, αναγράφονται οι σταθερές που απαιτεί το πρόγραμμα για την εισαγωγή των ιδιοτήτων των υλικών. Αυτές προέκυψαν από τους τύπους 2.1 έως 2.10, με την χρήση των δεδομένων, από τους καταλόγους των υλικών.

Ιδιότητες σύνθετου υλικού

A/A	Carbontube	PR220	P60
G_m (GPa)	-	1.07	-
E (GPa)	127	-	65
G (GPa)	4	-	13
ν	0.05	0.4	0.3
$d(g/cm^3)$	1.53	1.18	$6.5 \cdot 10^{-11}$

Πίνακας 2-2:Μηχανικές ιδιότητες ανθρακονημάτων ράβδων, ρητίνης, υλικού πυρήνα.

A/A	T700s	T300s	PX35
G_f (GPa)	88.40	88.40	93
E_{11} (GPa)	127.85	127.85	134.45
E_{22} (GPa)	6.50	6.50	6.50
E_{33} (GPa)	6.50	6.50	6.50
G_{12} (GPa)	2.30	2.30	2.30
G_{23} (GPa)	2.10	2.10	2.10
G_{13} (GPa)	2.30	2.30	2.30
ν_{12}	0.35	0.35	0.35
ν_{13}	0.35	0.35	0.35
ν_{21}	0.01	0.01	0.10
ν_{23}	0.50	0.50	0.50
$d(g/cm^3)$	1.80	1.8	1.81

Πίνακας 2-3:Μηχανικές ιδιότητες ανθρακονημάτων T700s, T300s, PX35.

Επίσης μία σταθερά η οποία δεν αναγράφεται στους παραπάνω πίνακες είναι η πυκνότητα του σύνθετου υλικού. Η οποία προκύπτει από τον τύπο 2.10 και είναι:

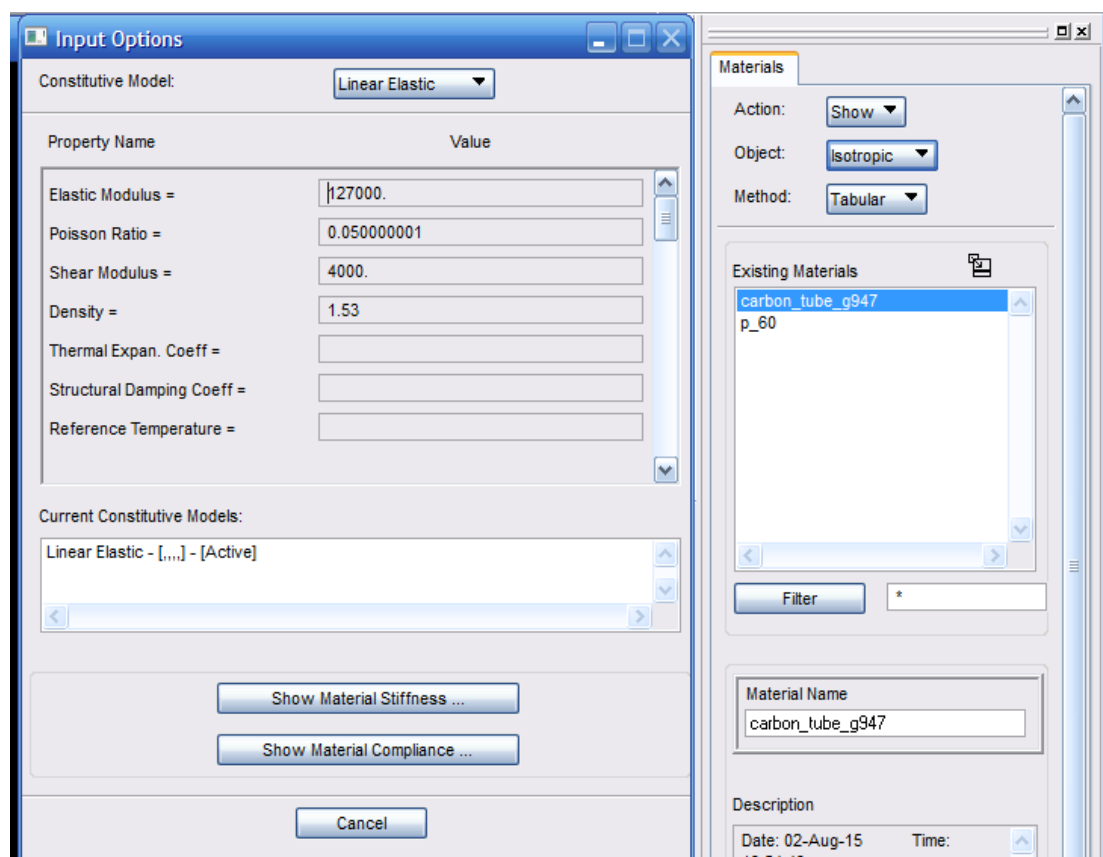
$$\text{ολική πυκνότητα σύνθετου υλικού} = d_m V_m + d_f V_f \sim 1,53 \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

Έχοντας συλλέξει όλα τα απαραίτητα δεδομένα πλέον, το επόμενο βήμα και τελευταίο αυτής της ενότητας αυτής ήταν η εισαγωγή τους στο πρόγραμμα.

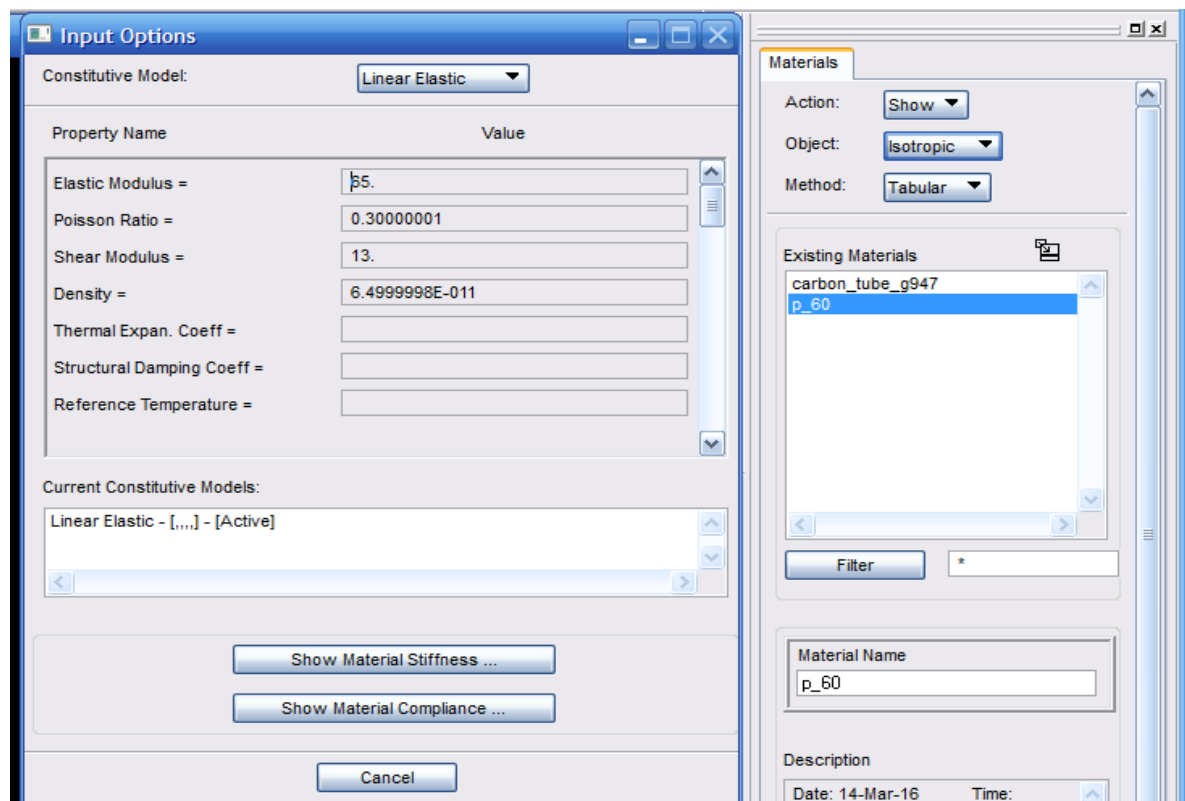
Τα τρία είδη ανθρακονημάτων που ήταν διαθέσιμα θα εισαχθούν στο πρόγραμμα ως ορθοτροπικά 2-d, ενώ οι ράβδοι ανθρακονήματος καθώς και το υλικό πυρήνα, θα εισαχθούν ως ισοτροπικά υλικά.

Στις παρακάτω εικόνες μπορεί να παρατηρηθούν αποκλίσεις, οι οποίες οφείλονται σε στρογγυλοποίηση δεκαδικών ψηφίων και η επιρροή τους στα αποτελέσματα της ανάλυσης ήταν αμελητέα. Επίσης, μπορεί να υπάρχουν διαφορές και στις μονάδες μέτρησης, που οφείλονται στο γεγονός ότι το πρόγραμμα απαιτεί εισαγωγή συγκεκριμένων μονάδων μέτρησης.

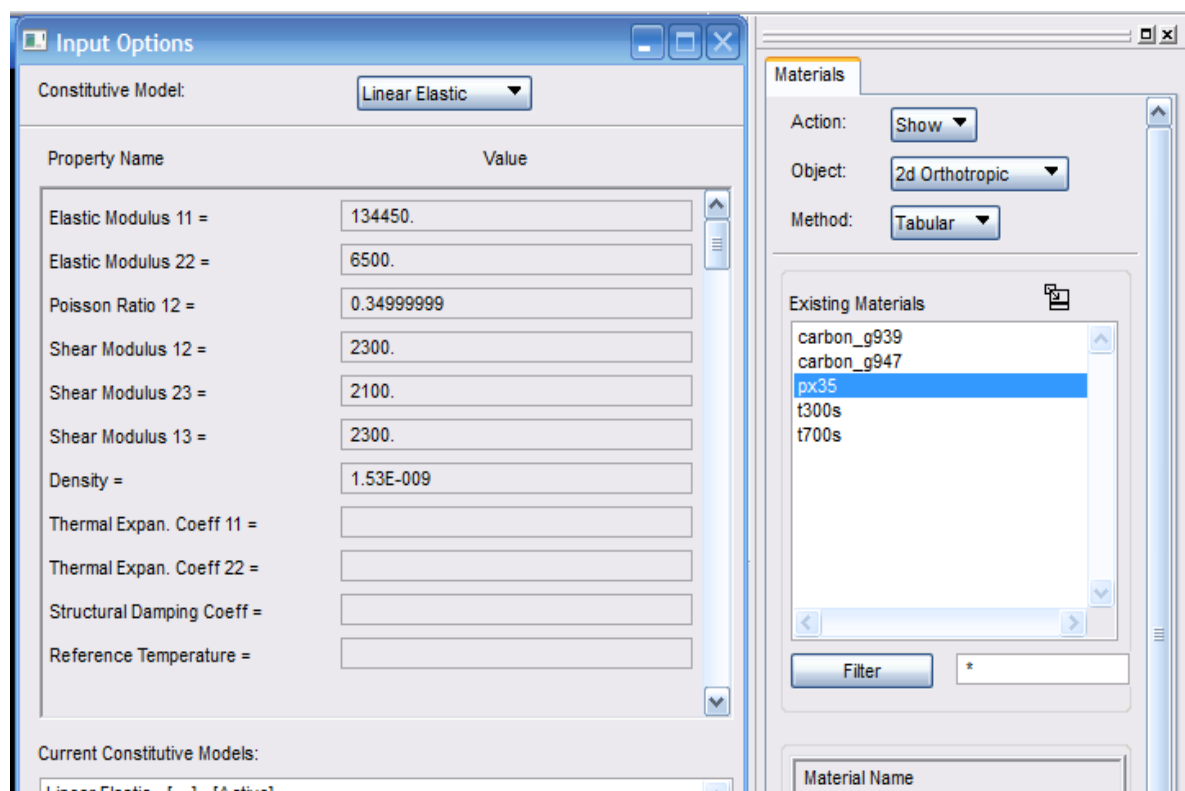
Εισαγωγή μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών στο πρόγραμμα MSCPatran



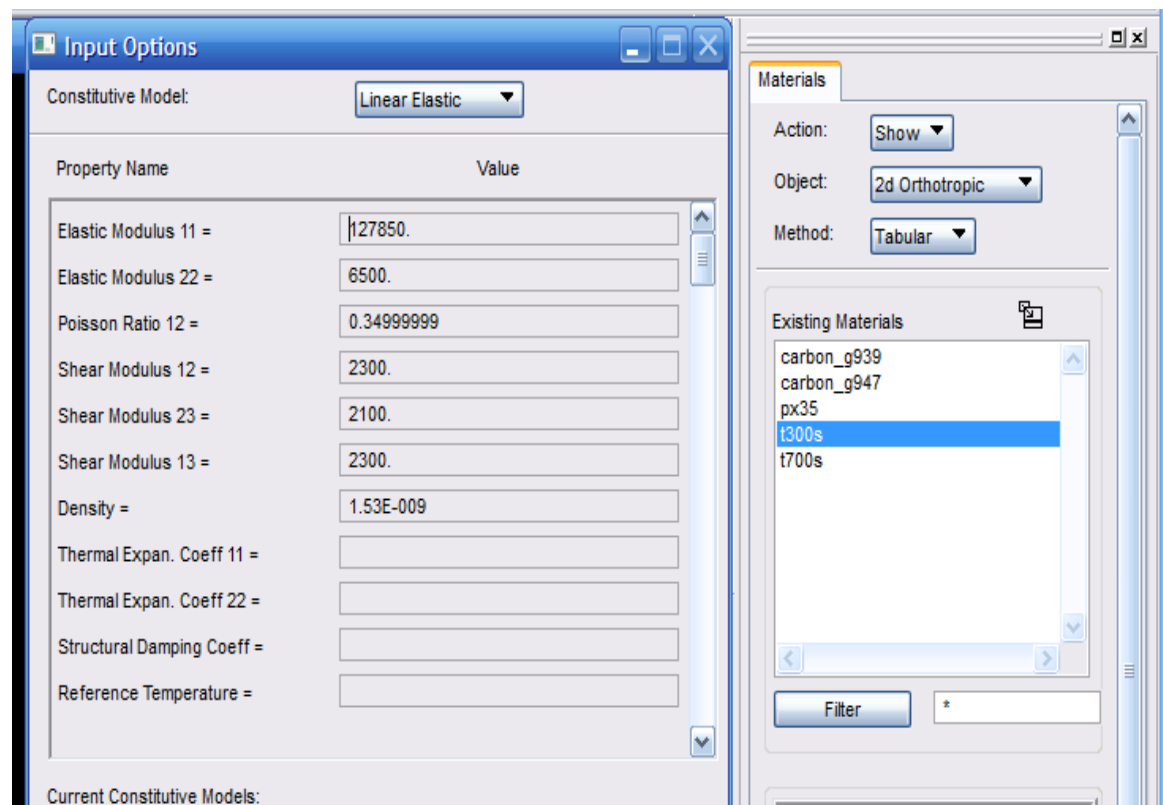
Εικόνα 2-39:Μηχανικές ιδιότητες ράβδων ανθρακονήματος.



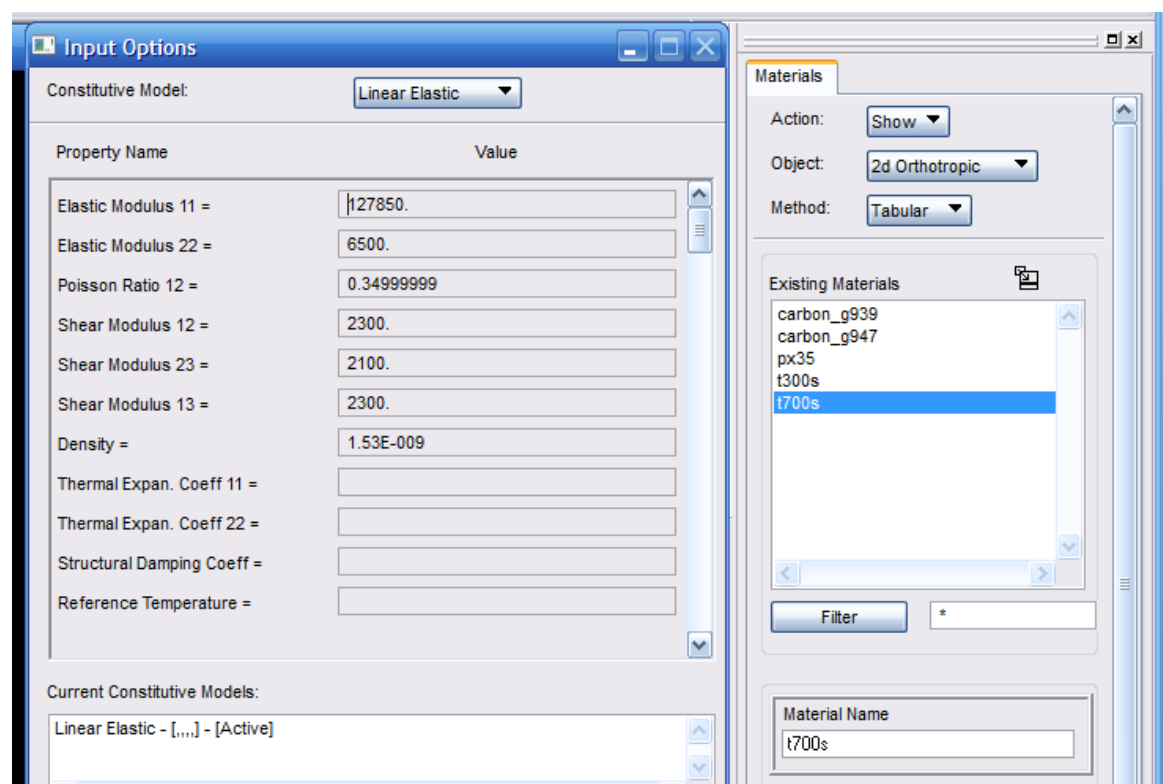
Εικόνα 2-40:Μηχανικές ιδιότητες υλικού πυρήνα.



Εικόνες 2-41:Μηχανικές ιδιότητες ανθρακονήματοςPX35.



Εικόνα 2-42:Μηχανικές ιδιότητες ανθρακονήματοςT300s.



Εικόνα 2-43:Μηχανικές ιδιότητες ανθρακονήματοςT700S.

2.1.3. Μοντελοποίηση του σύνθετου υλικού

Αφού εισήχθησαν οι μηχανικές ιδιότητες των υφασμάτων, στη συνέχεια δημιουργήθηκε το σύνθετο υλικό.

Για τη δημιουργία του σύνθετου υλικού στο πρόγραμμα, ορίστηκαν οι παρακάτω παράμετροι:

1. Η μέθοδος τοποθέτησης των ανθρακονημάτων φύλλων και του υλικού πυρήνα (εφόσον είναι αναγκαίο).
2. Η διεύθυνση των ινών, των ανθρακονημάτων.
3. Το πάχος των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν.
4. Η πλευρά της επιφάνειας, στην οποία θα γίνει η διαστρωμάτωση.
5. Οι περιοχές στις οποίες θα τοποθετηθεί και το αντίστοιχο σύνθετο υλικό.

Παράμετροι:

1. Για την επίτευξη της επιθυμητής ακαμψίας του σύνθετου υλικού, βασικός παράγοντας εκτός από τις μηχανικές ιδιότητες των εκάστοτε υλικών που θα χρησιμοποιηθούν, είναι και ο βαθμός ανισοτροπίας του σύνθετου υλικού. Ο βαθμός αυτός προκύπτει από τον τρόπο με τον οποίο θα τοποθετηθούν μεταξύ τους τα ανθρακονημάτινα φύλλα σε συνδυασμό με τον αριθμό των φύλλων που θα χρησιμοποιηθούν. Κατά συνέπεια ο βαθμός ανισοτροπίας του φύλλου ανθρακονήματος είναι ανεξάρτητος από αυτόν του σύνθετου υλικού.

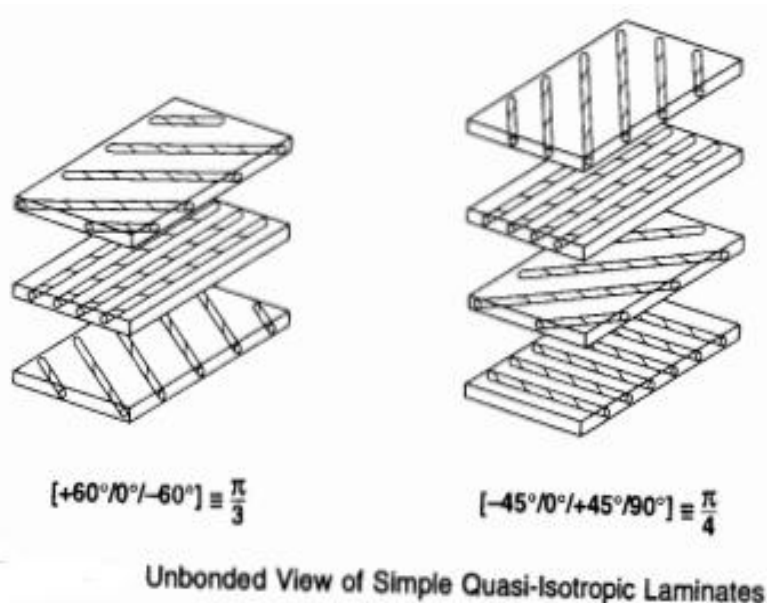
Στη συγκεκριμένη περίπτωση το σασί δέχεται φορτία από διάφορες διευθύνσεις. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να γίνεται αναγκαίο, το σασί να παρουσιάζει τις ίδιες μηχανικές ιδιότητες σε όλη του την επιφάνεια ανεξαρτήτως διεύθυνσης ή έστω στα σημεία που παρουσιάζονται οι μεγαλύτερες φορτίσεις.

Για να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει το σύνθετο υλικό και κατά συνέπεια το σασί να είναι ισότροπο. Αυτό σημαίνει ότι τα φύλλα ανθρακονήματος τα οποία είναι ορθοτροπικά, πρέπει να τοποθετηθούν με την μέθοδο 'Quasi-IsotropicLaminate'(RobertM. Jones,1999).

Η μέθοδος 'Quasi-IsotropicLaminate' για να επιτευχθεί, πρέπει αρχικά να υπάρχει συμμετρία στον αριθμό των φύλλων, ως προς την μεσαία επιφάνεια ή κεντρική γραμμή. Η μεσαία επιφάνεια μπορεί να είναι στην περίπτωση που τοποθετηθούν τρία φύλλα, το δεύτερο φύλλο ή στην περίπτωση που είναι τέσσερα τα φύλλα, να είναι είτε η νοητή επιφάνεια ανάμεσα στο 2ο και 3ο φύλλο ή αν χρησιμοποιηθεί υλικό πυρήνα, να αποτελεί αυτό την μεσαία επιφάνεια δηλαδή να έχει πέντε επιφάνειες και αυτό να είναι η 3η. Ακόμα το

ενισχυτικό υλικό μπορεί να αποτελέσει και την μεσαία επιφάνεια και της πρώτης περίπτωσης που αναφέρθηκε.

Επίσης θα πρέπει τα φύλλα που τοποθετούνται στις δύο πλευρές της μεσαίας επιφάνειας, να έχουν το ίδιο σύνολο φύλλων και στις δύο πλευρές της. Ακόμα αναγκαίο είναι το κάθε φύλλο που τοποθετείται στη μια πλευρά, να αντιστοιχεί με άλλο ένα ίδιο και στην άλλη πλευρά αλλά με αντίθετη διεύθυνση. Για παράδειγμα αν έχουμε ένα σύνθετο υλικό που αποτελείται από τρία μονής κατεύθυνσης φύλλα, το πρώτο θα τοποθετηθεί σε σχέση με τον νοητό άξονα χ με απόκλιση από αυτόν 60 μοίρες δεξιά του, το δεύτερο (μεσαία επιφάνεια) παράλληλα με τον άξονα χ και το τρίτο θα τοποθετηθεί με απόκλιση και αυτό 60 μοίρες από τον άξονα χ αλλά από την αριστερή πλευρά του (βλ. εικ 2-44.)



Εικόνα 2-44: Διαστρωμάτωση φύλλων ανθρακονήματος με την μέθοδο 'Quasi-Isotropic'.

2. Στη συνέχεια θα πρέπει να οριστεί η διεύθυνση των ινών του εκάστοτε ανθρακονημάτινου φύλλου.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω τα φύλλα ανθρακονήματος που ήταν διαθέσιμα είναι πολλαπλής και όχι μονής κατεύθυνσης όπως έχουν οριστεί στο πρόγραμμα. Πιο συγκεκριμένα τα φύλλα ανθρακονήματος T700 και T300 της Torayca, αποτελούνται από ίνες άνθρακα, οι οποίες έχουν πλεχθεί μεταξύ τους με διαφορά 45 μοιρών. Ενώ στο PX35 της Zoltek, οι ίνες έχουν πλεχθεί κάθετα μεταξύ τους, δηλαδή έχουν διαφορά 90 μοιρών. Επί της ουσίας το κάθε φύλλο

ανθρακονήματος που ήταν διαθέσιμο αποτελείτο από δύο φύλλα, τα οποία είναι πλεγμένα μεταξύ τους.

Για να επιτευχθεί όμως η εισαγωγή ενός πολλαπλής κατεύθυνσης φύλλου πχ. του T700s, θα πρέπει να γίνει εισαγωγή του αντίστοιχου μονής κατεύθυνσης φύλλου δύο φορές. Στη συνέχεια για να ολοκληρωθεί η διαδικασία, θα οριστεί η απόκλιση μοιρών που έχουν οι ίνες άνθρακα μεταξύ τους στο κάθε φύλλο ως προς τον νοητό άξονα χ του σασί. Στην περίπτωση του συγκεκριμένου φύλλου, το ένα φύλλο ορίστηκε παράλληλο με τον άξονα χ δηλαδή 0 μοίρες και το άλλο με απόκλιση 90 μοιρών.

Στην περίπτωση εισαγωγής του υλικού πυρήνα, λόγω του ότι μπορεί να είναι της μορφής κυψέλης ή από κάποιο αφρώδες υλικό, ορίζεται με 0 μοίρες, δηλαδή παράλληλο με τον άξονα χ .

3. Η επόμενη παράμετρος που πρέπει να ολοκληρωθεί είναι η εισαγωγή του πάχους του εκάστοτε υλικού.

Το πάχος που θα οριστεί αντιπροσωπεύει ένα φύλλο ανθρακονήματος και προκύπτει είτε από τους καταλόγους της αντίστοιχης εταιρίας είτε με την μέτρηση του, με κάποιο μετρητικό όργανο (παχύμετρο), αφού βέβαια πρώτα έχει μετατραπεί σε σύνθετο υλικό. Στη συνέχεια, θα πρέπει να δοθεί προσοχή στην εισαγωγή του πάχους, διότι δύο μονής κατεύθυνσης φύλλα αποτελούν ένα πολλαπλής. Οπότε το άθροισμα της τιμής που έχει εισαχθεί στο εκάστοτε μονής κατεύθυνσης φύλλο, θα πρέπει να είναι ίσο με της πολλαπλής κατεύθυνσης που αντιπροσωπεύουν.

4. Το προτελευταίο στάδιο για την ολοκλήρωση της δημιουργίας του σύνθετου υλικού, είναι ο ορισμός της πλευράς της επιφάνειας από την οποία θα πραγματοποιηθεί και στην πραγματικότητα η διαστρωμάτωση των φύλλων άνθρακα.

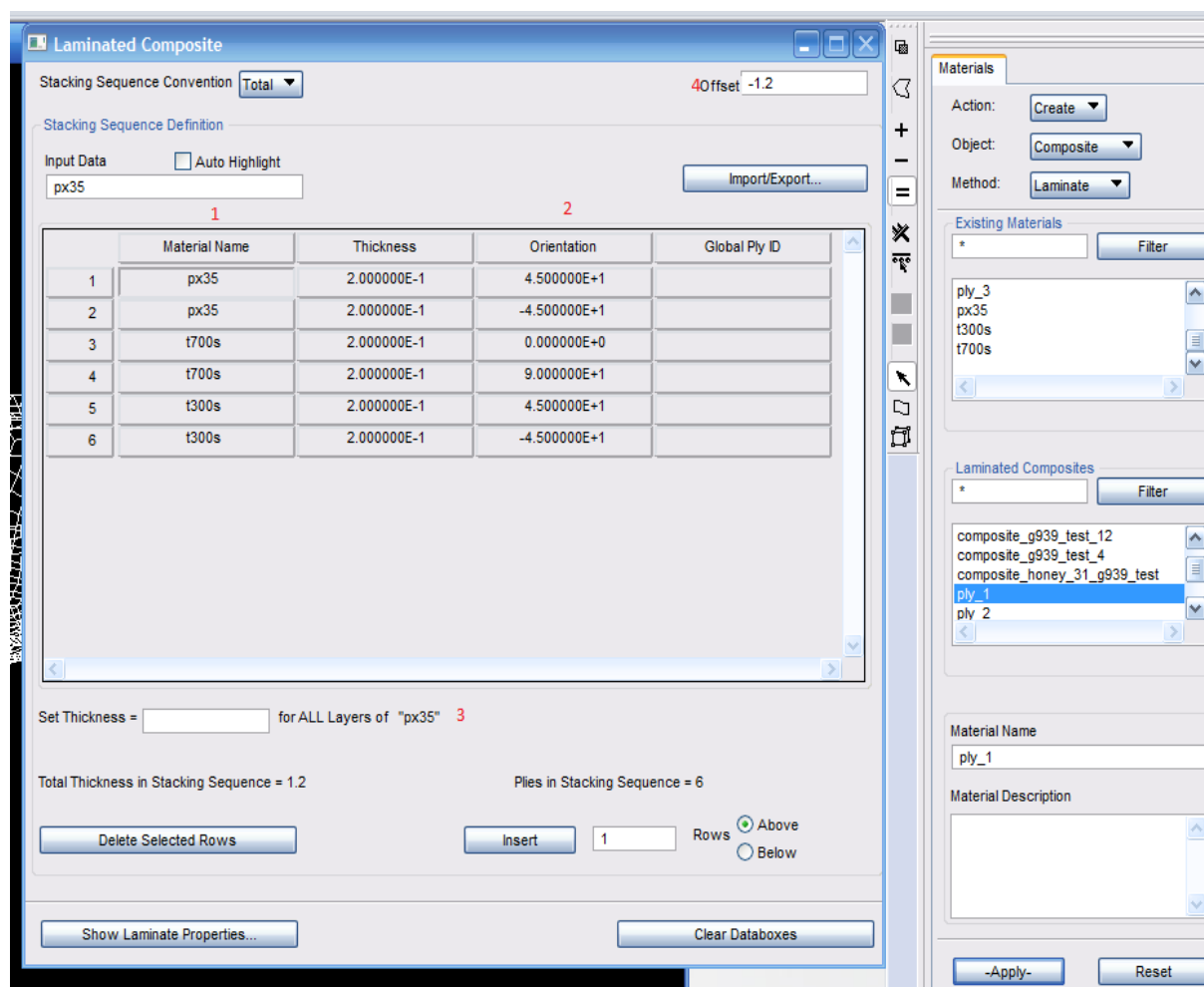
5. Το τελευταίο στάδιο για την ολοκλήρωση της διαδικασίας, είναι ο ορισμός των περιοχών του οχήματος, στις οποίες θα γίνει η διαστρωμάτωση του σύνθετου υλικού. Αυτές οι περιοχές μπορεί να είναι ολόκληρη η επιφάνεια του σασί ή κάποιες μεμονωμένες περιοχές του.

Όπως γίνεται αντιληπτό η παραπάνω διαδικασία ανάλογα με τα δεδομένα που προκύπτουν από τις αναλύσεις, επαναλαμβάνεται για την δημιουργία νέου σύνθετου υλικού ή τροποποιούνται κάποιοι παράμετροι για κάποιο υλικό που ήδη υπάρχει.

Για να πραγματοποιηθούν οι πρώτες αναλύσεις, δημιουργήθηκε ένα σύνθετο υλικό, το οποίο αποτελείται από τρία φύλλα άνθρακα. Τα φύλλα τοποθετήθηκαν με την μέθοδο 'Quasilsotropic' και κάλυπταν ολόκληρη την επιφάνεια του οχήματος.

Τα φύλλα άνθρακα που απαρτίζουν το πρώτο σύνθετο υλικό(ply_1), είναι το T300s που θα καλύπτει την εξωτερική επιφάνεια του σασί, μετά το PX35 και στη συνέχεια το T700s.

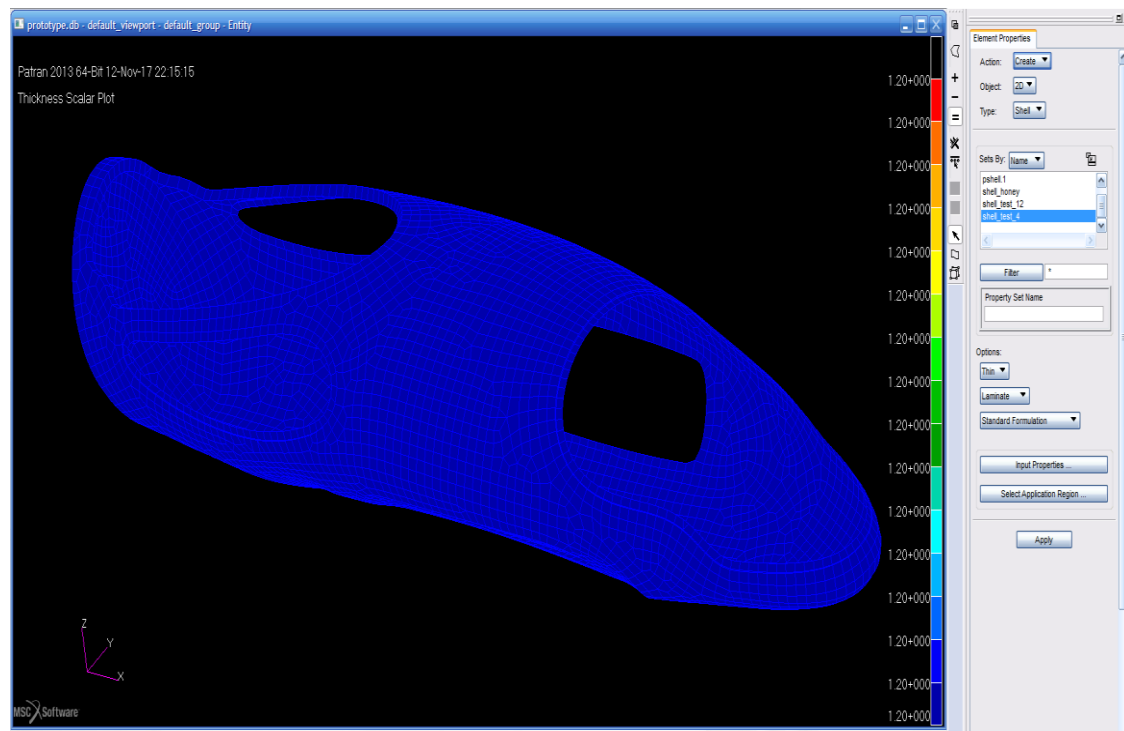
Στη συνέχεια παρουσιάζεται η διαδικασία δημιουργίας του σύνθετου υλικού στον μοντέλο.



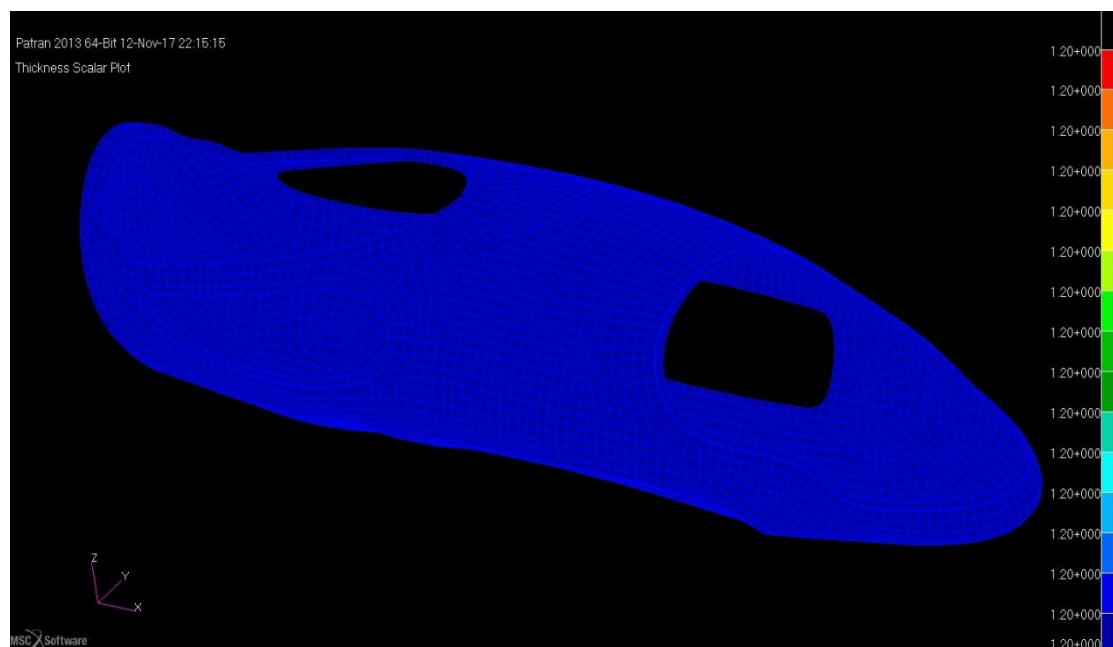
Εικόνα 2-45:Μοντελοποίηση σύνθετου υλικού.

Στη εικόνα 2-45 παρουσιάζεται ο πίνακας στον οποίο ορίζονται οι παράμετροι που πρέπει να δοθούν για την δημιουργία του σύνθετου υλικού.

Στη συνέχεια πραγματοποιείται ο ορισμός των περιοχών, στις οποίες θα τοποθετηθεί το σύνθετο υλικό(Ply_1) που έχει δημιουργηθεί. Στην περίπτωση αυτή, η περιοχή αποτελεί ολόκληρη την επιφάνεια του σασί.



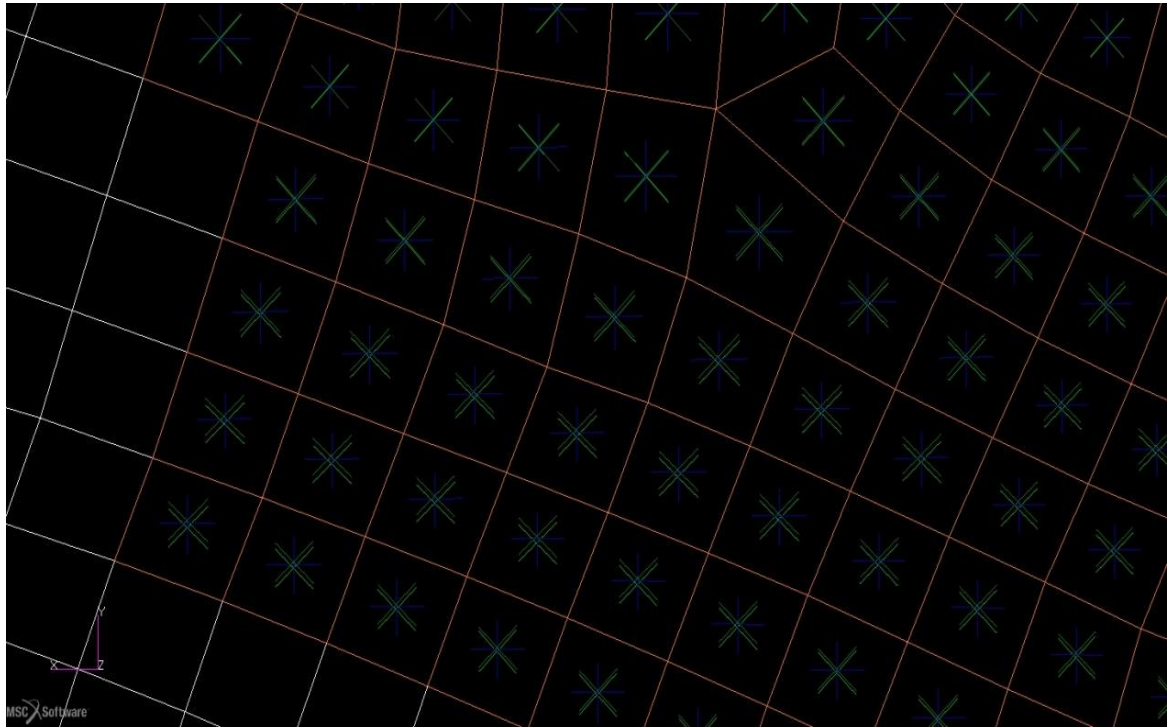
Εικόνα 2-46:Ορισμός επιφάνειας διαστρωμάτωσης σύνθετου υλικού.



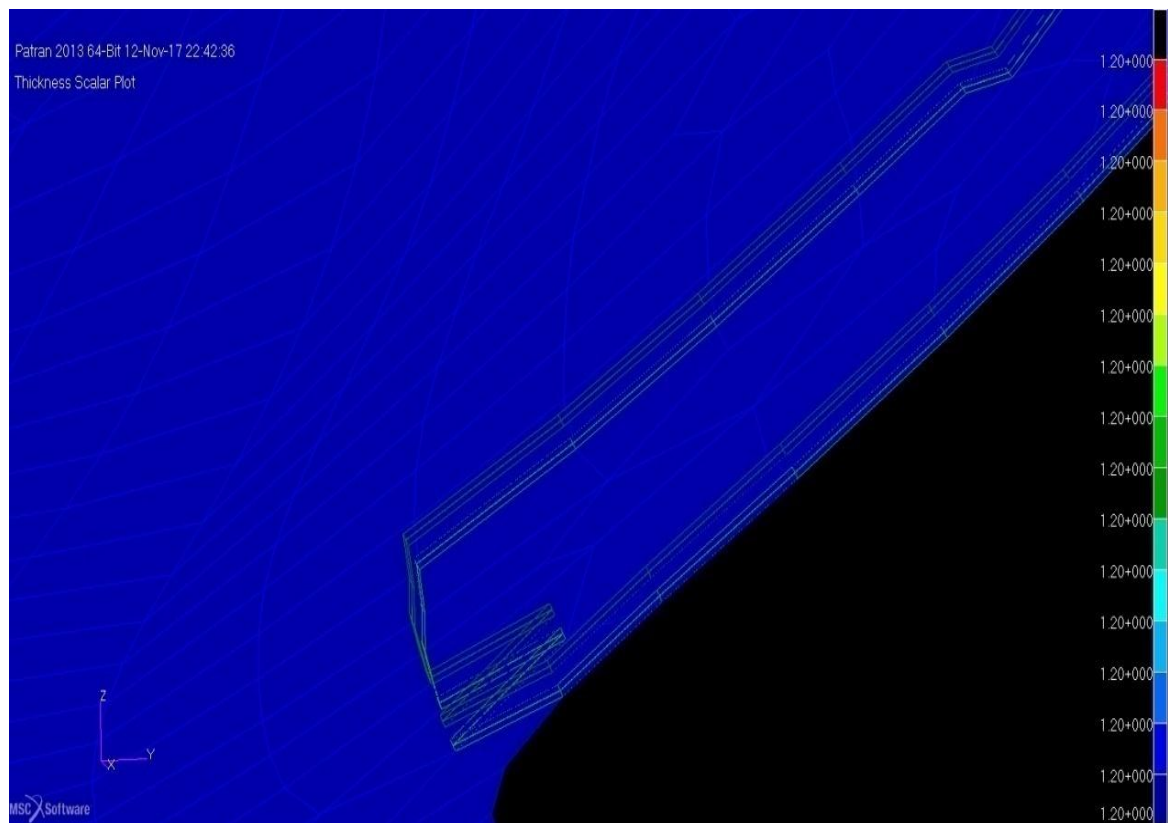
Εικόνα 2-47:Πάχος σύνθετου υλικού(δεξιά μπάρα εικόνας).

Αφού ολοκληρώθηκε η διαδικασία δημιουργίας του σύνθετου υλικού, πραγματοποιήθηκε έλεγχος, για την εξάλειψη τυχόν σφαλμάτων, στον ορισμό των παραμέτρων. Αυτός αφορά στη φορά διεύθυνσης των ινών των φύλλων

καθώς και στην πλευρά τοποθέτησης τους. Ο έλεγχος πραγματοποιήθηκε μέσω του εργαλείου 'LaminateModeler' και ήταν οπτικός.



Εικόνα 2-48: Έλεγχος διεύθυνσης των φύλλων που αποτελούν το σύνθετο υλικό.



Εικόνα 2-49: Έλεγχος πλευράς διαστρωμάτωσης σύνθετου υλικού.

2.2 Συνθήκες ελέγχου του αμαξώματος

Το τελευταίο βήμα που απαιτείται για την ολοκλήρωση της μοντελοποίησης του σασί και κατά συνέπεια την πραγματοποίηση των αναλύσεων είναι η εισαγωγή των συνθηκών ελέγχου.

Οι συνθήκες ελέγχου του σασί ορίστηκαν με βασικό κριτήριο, την ικανοποίηση των τεχνικών προδιαγραφών που απαιτούνται από τον διαγωνισμό. Ακόμα έχουν προστεθεί κάποιες επιπλέον συνθήκες, που αφορούν κάποια φαινόμενα, που θα εμφανίζονται κατά τη διάρκεια κίνησης του οχήματος(αλλαγή κατεύθυνσης, επιτάχυνση, επιβράδυνση).

Οι τελευταίες συνθήκες που αναφέρθηκαν παρά το γεγονός ότι δεν αποτελούν κριτήριο για την ικανοποίηση των τεχνικών προδιαγραφών, έχουν καθοριστική σημασία για τη βελτιστοποίηση του σασί.

2.2.1. Αναφορά των Συνθηκών Ελέγχου

Οι συνθήκες ελέγχου που ορίστηκαν για να πραγματοποιηθούν οι αναλύσεις στο όχημα είναι οι παρακάτω:

1. Είσοδος οδηγού στο όχημα(Load_Case_1).
2. Προστατευτικό πλαίσιο (Rollbar) (Load_Case_2).
3. Ζώνες οδηγού(Load_Case_3).
4. Βάρος οδηγού(Load_Case_4).
5. Στρέψη στο σημείο σύνδεσης της γέφυρας(Load_Case_5).
6. Επιβράδυνση οχήματος(Load_Case_6).
7. Αλλαγή κατεύθυνσης οχήματος(Load_Case_7).

Οι παράμετροι που απαιτούνται για την δημιουργία των συνθηκών είναι το μέγεθος των φορτίων που ασκούνται πάνω στο σασί, η φορά διεύθυνσης τους καθώς και ο προσδιορισμός των βαθμών ελευθερίας.

Για τον προσδιορισμό των μεγεθών που επιβάλλονται στο σασί, είναι απαραίτητη η χρήση κάποιων δεδομένων. Τα δεδομένα αυτά προκύπτουν από:

1. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του σασί (μεταξόνιο, μετατρόχιο κτλ).
2. Τις προδιαγραφές του διαγωνισμού (ακτίνα στροφής, μήκος πίστας, χρόνος ολοκλήρωσης αγώνα, βάρος οδηγού κτλ.).
3. Το επιθυμητό βάρος ολόκληρου το οχήματος.

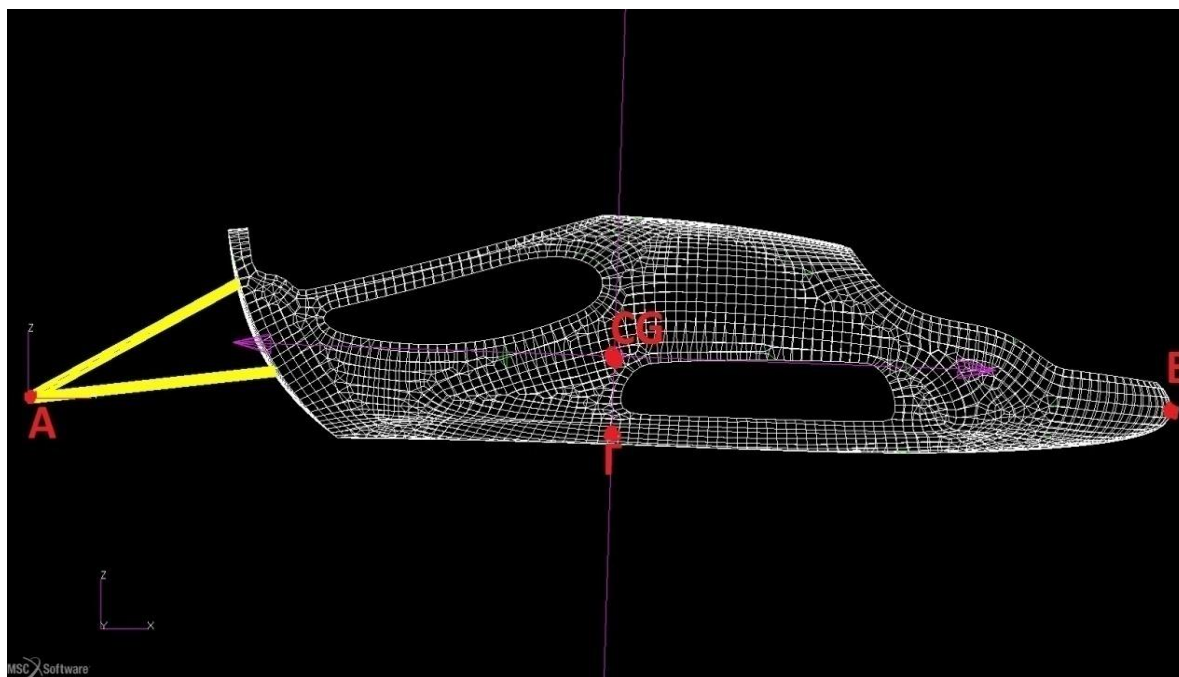
Δεδομένα

Ο Πίν.2-4 αφορά στο βάρος του οδηγού, όπου σύμφωνα με τους κανονισμούς πρέπει κατ' ελάχιστο να είναι 50Kg. Επίσης αναφέρεται και το επιθυμητό βάρος του οχήματος.

A/A	Βάρος(kg)	Ποσοστό του συνολικού βάρους(%)
Οδηγός	50	62.5
Όχημα	30	37.5

Πίνακας 2-4:Πληροφορίες βάρος οδηγού και οχήματος.

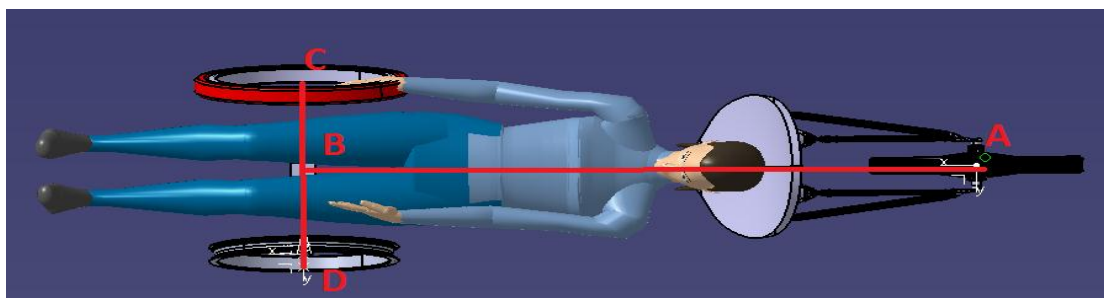
Στην συνέχεια στους Πίν. 2-5,6,7 αναγράφονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του σασί και κάποιων εξαρτημάτων που έχουν προκύψει από το σχεδιασμό του οχήματος βάσει των προδιαγραφών του διαγωνισμού.



Εικόνα 2-50:Κέντρο βάρος οχήματος, ορισμένο από το MSCPatran.

Σημεία	Μήκος(mm)
A-B	2341
A-Γ	1225
B-Γ	1116
A-CG	80

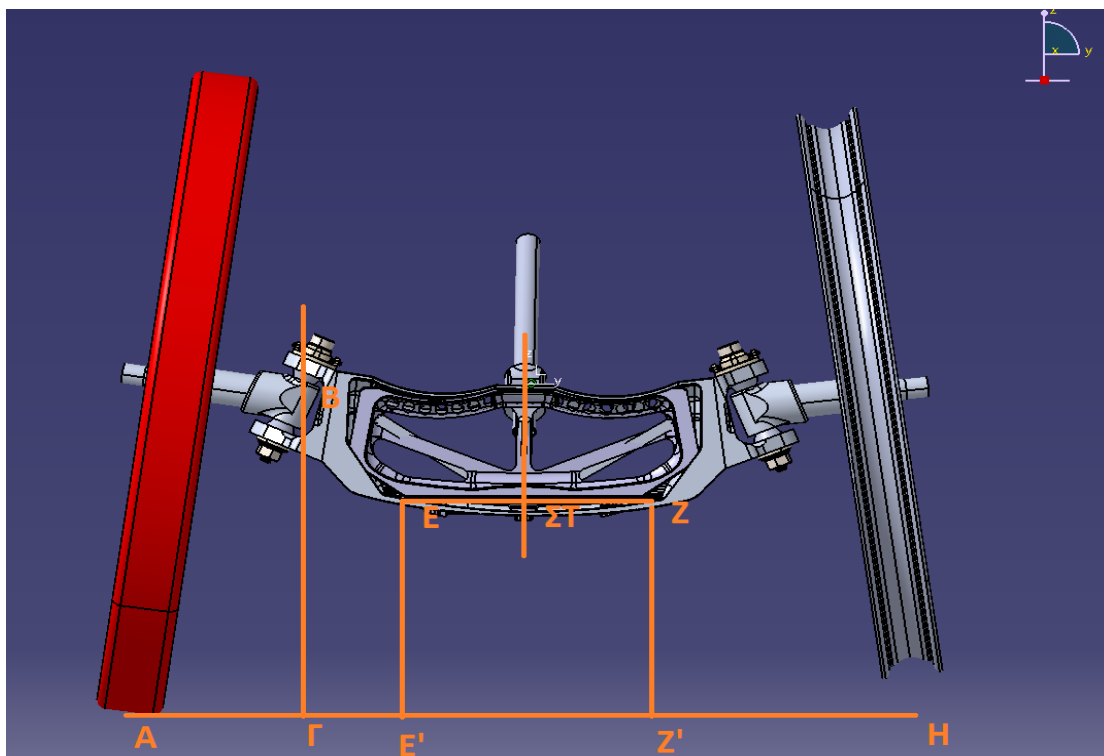
Πίνακας 2-5:Πληροφορίες κέντρου βάρος οχήματος.



Εικόνα 2-51:Μετατρόχιο και μεταξόνιο οχήματος.

A/A	Μήκος (mm)
Μετατρόχιο (C-D)	474
Μεταξόνιο (A-B)	1500

Πίνακας 2-6:Πληροφορίες μεταξονίου και μετατροχίου.



Εικόνα 2-52:Εμπρός υποπλαίσιο οχήματος.

A/A	Μήκος (mm)
A-Γ	122
B-Γ	219
A-H	540
E-ΣΤ	115
Z-ΣΤ	115
A-E'	155
A-Z'	385

Πίνακας 2-7:Πληροφορίες εμπρός υποπλαισίου.

Στο Πίν.2-8 η 'Μέγιστη ταχύτητα' προέκυψε από την απόσταση που πρέπει να διανύσει το όχημα, σε συγκεκριμένο χρόνο. Ενώ μέσω της ελάχιστη ακτίνας στροφής που έχει οριστεί από το διαγωνισμό και την μέγιστη ταχύτητα προκύπτει η επιτάχυνση του οχήματος και η δύναμη G (G-Force).

Ελάχιστη ακτίνα στροφής (m)	8
Μέγιστη ταχύτητα (km/h),m/s	(30),8.3
Επιτάχυνση (a) (m/s ²)	8.6
G-FORCE (g)	0.87

Πίνακας 2-8:Πληροφορίας για τις συνθήκες κίνησης του οχήματος.

$$a = \frac{u^2}{r} = \frac{8.3^2}{8} = 8.6 \text{ m/s}^2$$

$$G - Force = \frac{a}{g} = \frac{8.6}{9.8} = 0.87g$$

Κατανομή βάρους στους τροχούς του οχήματος

Συνολικό βάρος(Σ.Β.)= Βάρος οδηγού + Βάρος οχήματος = 30kg + 50kg = 80kg

Βάρος εμπρόσθιων τροχών = ((B-Γ)/(A-B))*Σ.Β. = (1116/2341) * 80=37,6 kg

άρα 37,6/2=18,8 kg για τον κάθε μπροστινό τροχό.

$$F_{K.\Phi.} = 188N$$

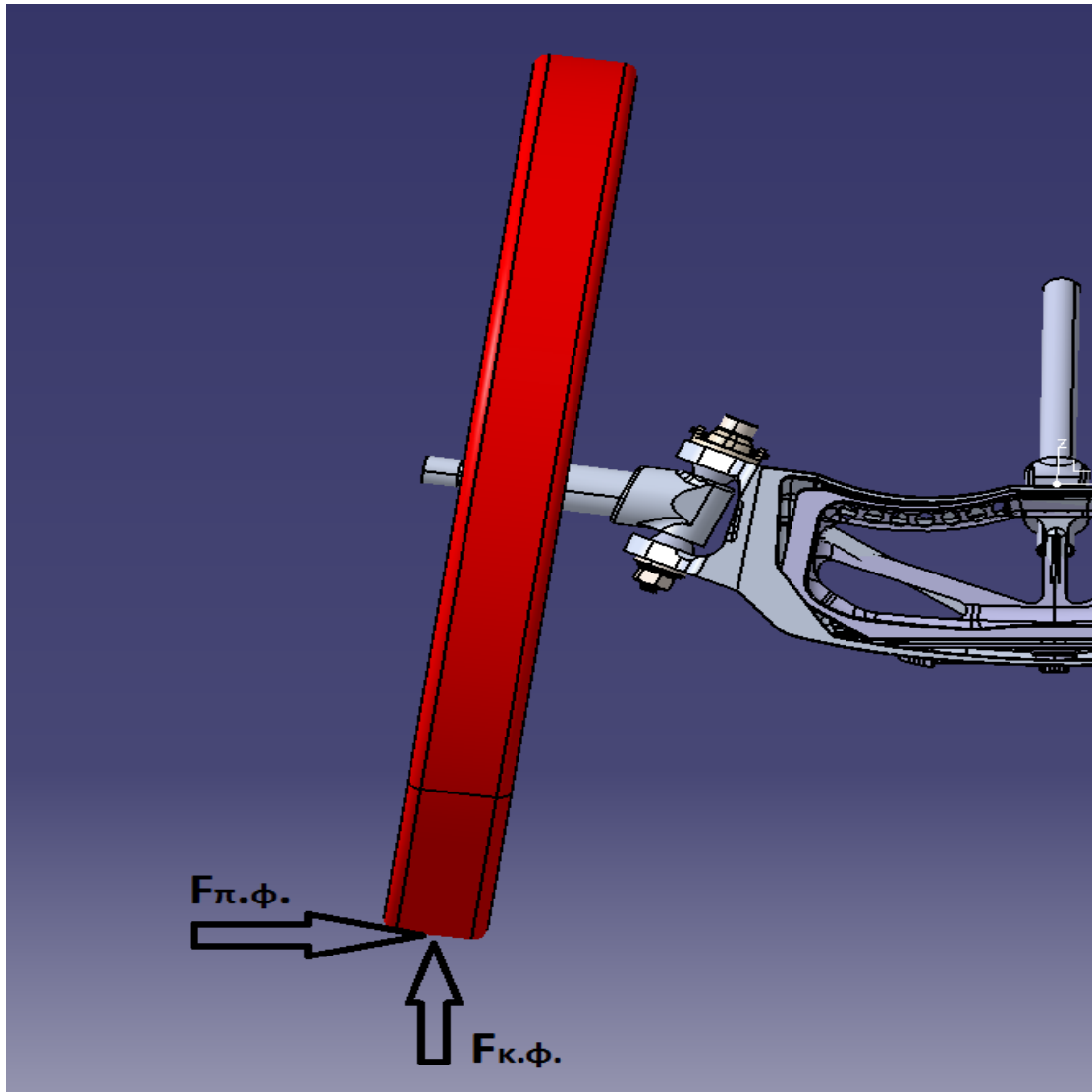
Βάρος πίσω τροχού = ((A-Γ)/(A-B))*Σ.Β. = (1225/2341)*80=42,5 kg

Γνωρίζοντας το βάρος που ασκείται στον κάθε τροχό, μπορεί να προσδιοριστεί και το πλευρικό φορτίο που δέχεται ο κάθε τροχός του οχήματος. Αυτό θα πραγματοποιηθεί χρησιμοποιώντας το δεύτερο νόμο του Νεύτωνα και την δύναμη G-Force.

Εγκάρσιο φορτίο εμπρόσθιου τροχού.

$$F_{\mu.\tau.} = m_{\mu.\tau.} * a = 18.8 * 8.3 = 152N$$

εγκάρσιοφορτίο($F_{\epsilon.\phi.}$) = $F_{\mu.\tau.} * G-Force = 152 * 0.87 = 132$, για τον κάθε μπροστινό τροχό.



Εικόνας 2-53:Ανάπτυξη φορτίων στο εμπρός υποπλαίσιο κατά την κίνηση του οχήματος.

Εγκάρσιο φορτίο πίσω τροχού.

$$F_{\pi.\tau.} = m_{\pi.\tau.} \cdot a = 42,4 \cdot 8,3 = 352 \text{ N}$$

$$\text{εγκάρσιοφορτίο} = F_{\pi.\tau.} \cdot \text{G-Force} = 352 \cdot 0,87 = 306 \text{ N}$$

Στην συνέχεια για κάθε συνθήκη ελέγχου, προβλέπονται ξεχωριστά φορτία ή ροπές τα οποία πρέπει να υπολογιστούν. Αυτό πραγματοποιήθηκε με την χρήση των παραπάνω δεδομένων, του 2ου νόμου του Νεύτωνα και με τον τύπο της ροπής.

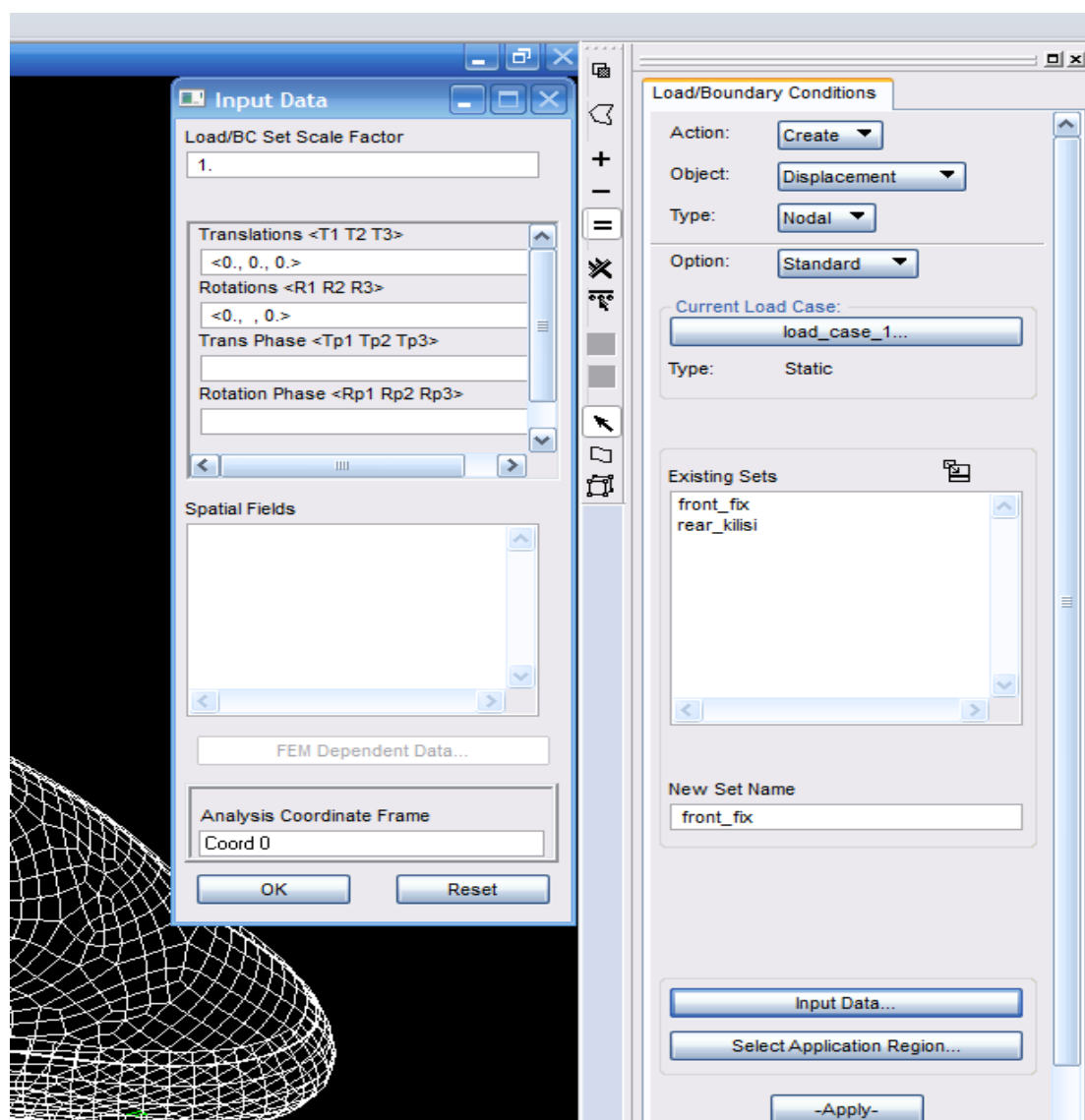
Αφού ολοκληρώθηκε ο υπολογισμός των φορτίων και καθώς και η φορά διεύθυνσης τους, στη συνέχεια έγινε ο ορισμός των βαθμών ελευθερίας (degreesoffreedom). Λόγω του ότι η ανάλυση που πραγματοποιήθηκε ήταν

στατική, ο ορισμός τους είναι απαραίτητος. Αυτό συμβαίνει διότι με την χρήση τους, ακινητοποιούμε το όχημα προς κάποιες κατευθύνσεις και σε συνδυασμό με την άσκηση των φορτίων, προσομοιώνεται η αντίστοιχη συνθήκη ελέγχου μέσω των μετατοπίσεων και των παραμορφώσεων που εμφανίζονται. Αναλόγως με την διεύθυνση και το μέγεθος τους αντίστοιχα, κρίνεται αν έχουν οριστεί σωστά οι παράμετροι που απαιτούνται για την δημιουργία της συνθήκης ελέγχου.

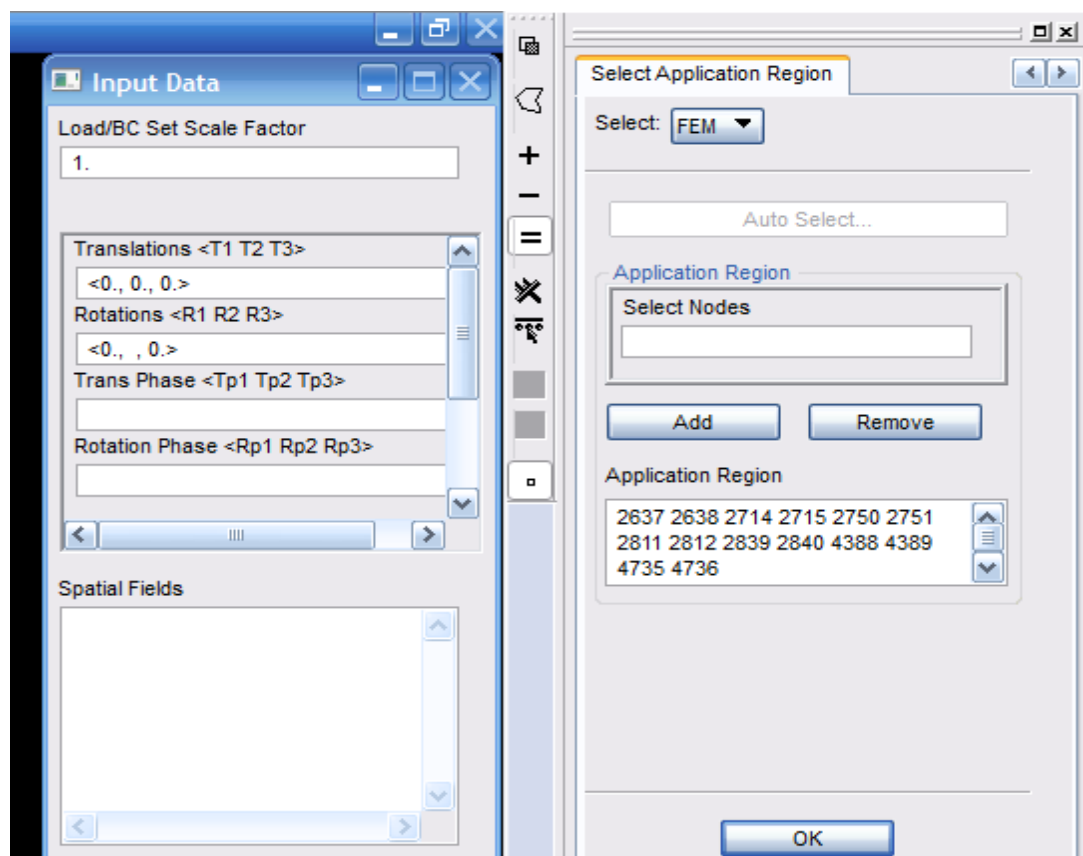
2.2.2. Εισαγωγή των συνθηκών ελέγχου στο μοντέλο

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η εισαγωγή των απαραίτητων παραμέτρων για την δημιουργία των συνθηκών ελέγχου.

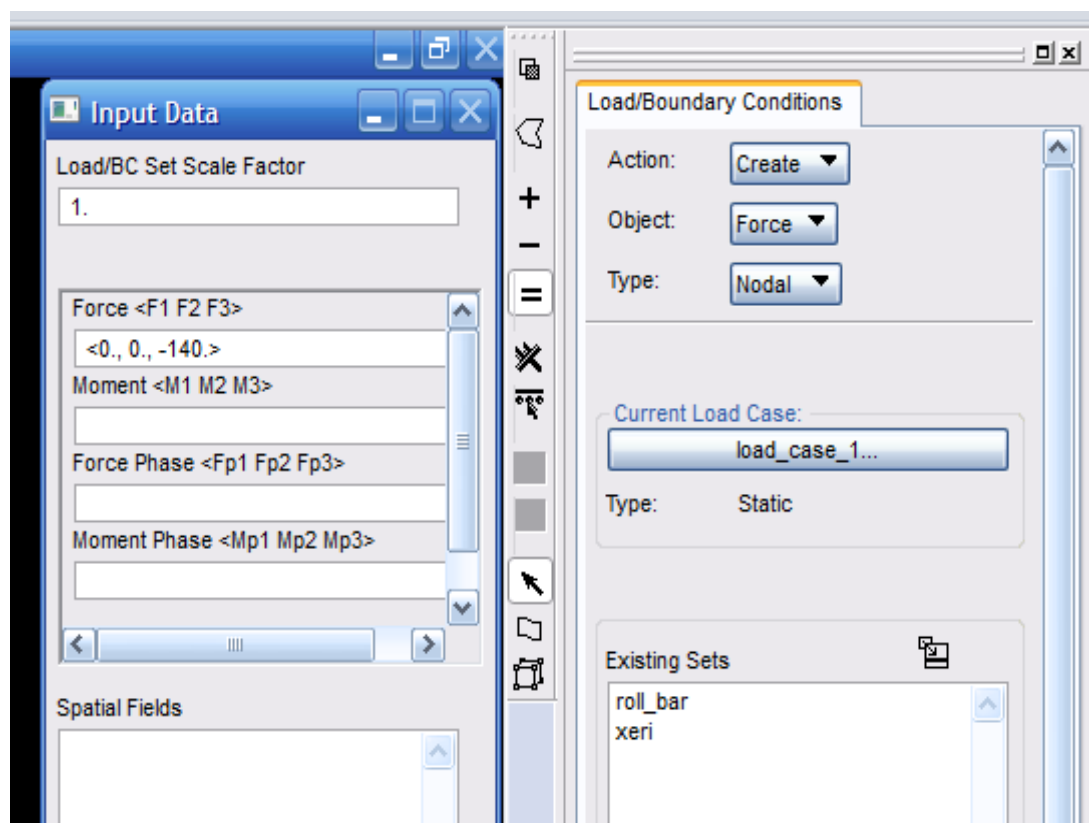
Εισαγωγή φορτίων και βαθμών ελευθερίας



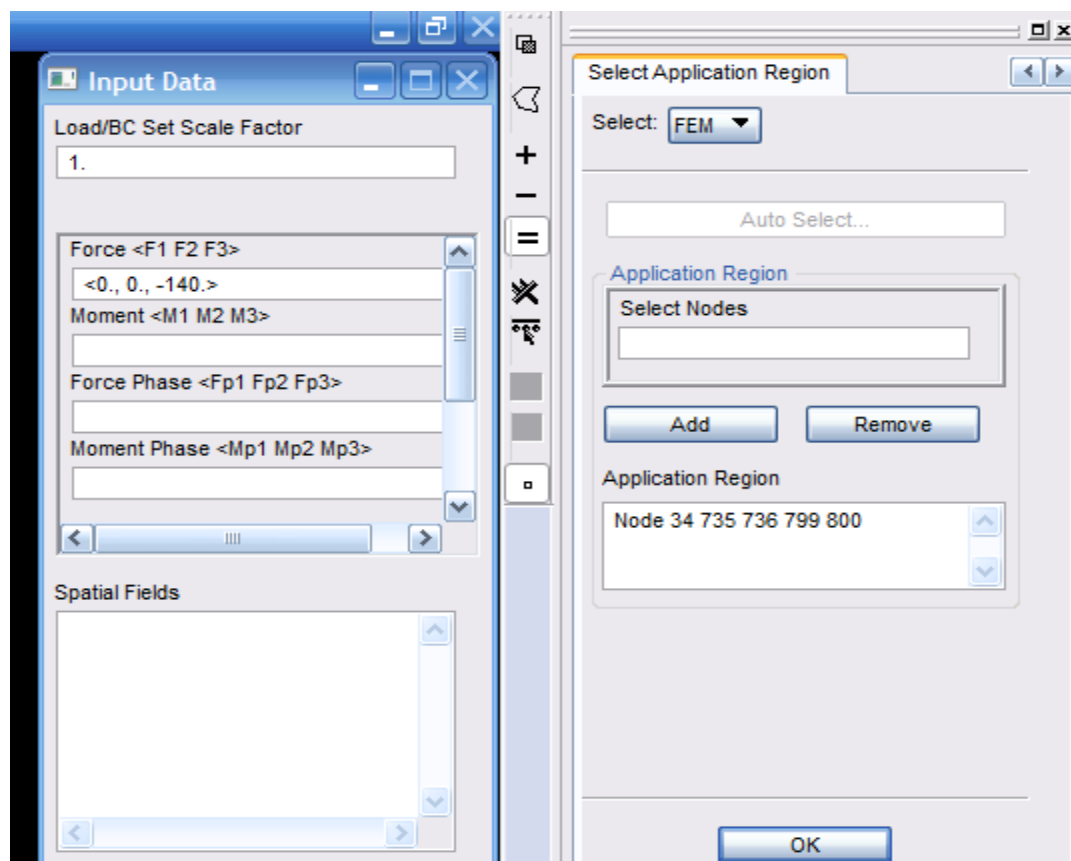
Εικόνα 2-54:Ορισμός βαθμών ελευθερίας.



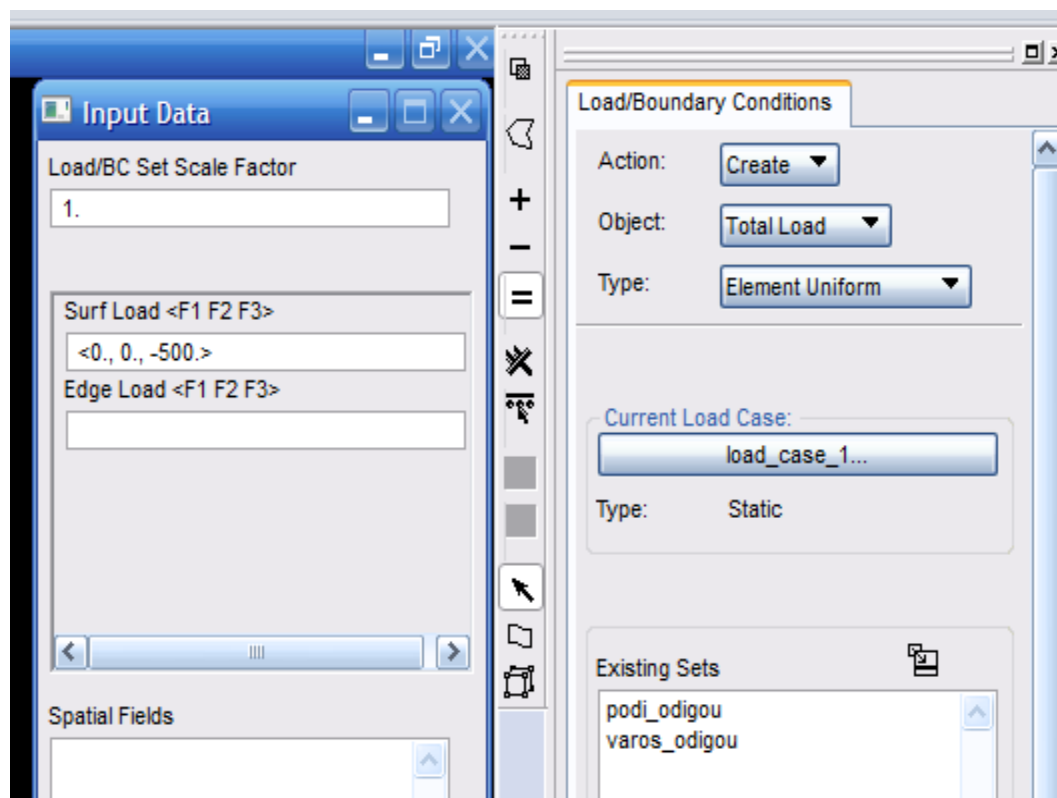
Εικόνα 2-55: Εισαγωγή σημείων επίδρασης των βαθμών ελευθερίας.



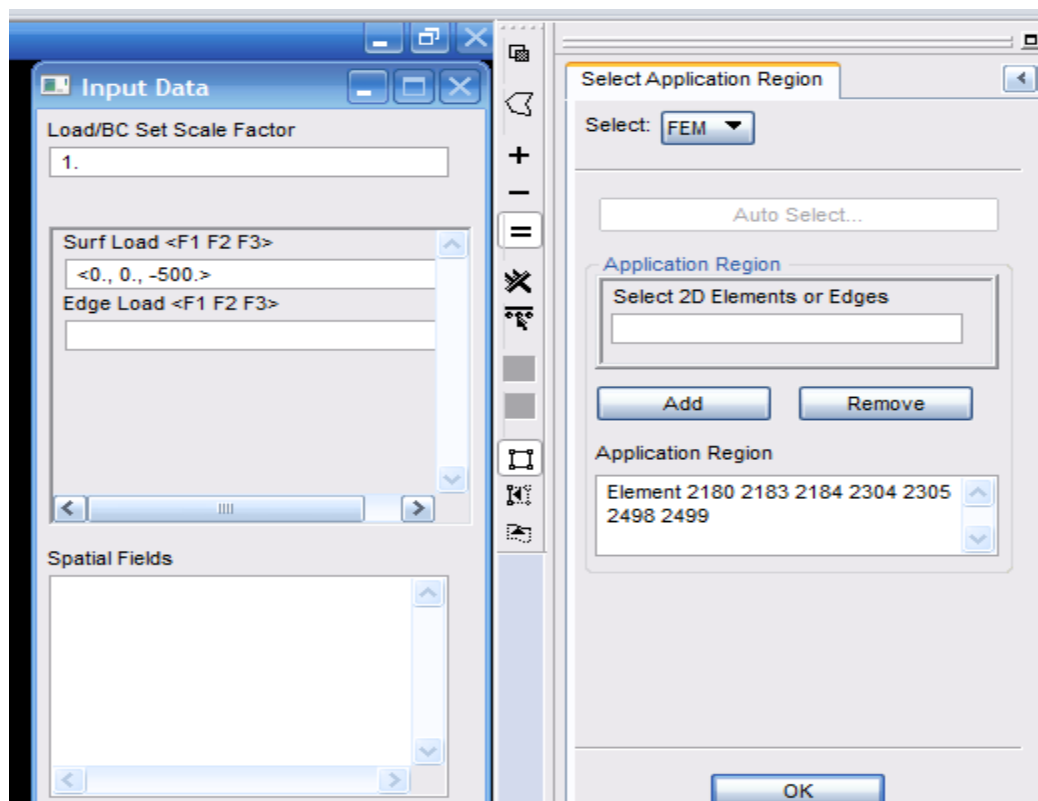
Εικόνα 2-56: Εισαγωγή δυνάμεων και ροπών.



Εικόνα 2-57: Εισαγωγή σημείων επίδρασης των δυνάμεων και των ροπών.



Εικόνα 2-58: Εισαγωγή κατανεμημένου φορτίου.



Εικόνα 2-59: Εισαγωγή σημείων επίδρασης του κατανεμημένου φορτίου.

Όπως γίνεται αντιληπτό από τις παραπάνω εικόνες για να οριστεί μια σταθερά, πρέπει να εισαχθεί στο πρόγραμμα η τιμή της, η διεύθυνση της ως προς το σύστημα συντεταγμένων του οχήματος καθώς και τον/ους κόμβο/ους ή στοιχείο/α που θα επιδρούν.

Η εισαγωγή της τιμής μια σταθεράς καθώς και της διεύθυνσης γίνεται μέσω του καρτεσιανού συστήματος συντεταγμένων (x,y,z). Αντικαθιστώντας κάποιο από τα τρία παραπάνω σύμβολα, με την επιθυμητή τιμή, δηλώνεται ταυτόχρονα, ότι αυτή η δύναμη επιδρά κατά μήκος του άξονα που δηλώθηκε. Στη συνέχεια για να ορίσουμε την φορά διεύθυνσης της δύναμης ως προς τον άξονα που επιδρά, δηλώνουμε θετική τιμή αν έχει την φορά του άξονα, ενώ στην αντίθετη περίπτωση, δηλώνουμε αρνητική τιμή. Στην περίπτωση όπου δεν υπάρχουν δυνάμεις σε όλους τους άξονες ή δεν δηλώνεται κάποια τιμή ή δηλώνεται ως μηδενική δύναμη.

Η παραπάνω διαδικασία ισχύει ακριβώς και για την εισαγωγή ροπών καθώς και κατανεμημένων φορτίων.

Στην περίπτωση όμως που πρέπει να δηλωθούν οι βαθμοί ελευθερίας, εφαρμόζεται η παραπάνω διαδικασία με μια διαφορά. Δηλαδή, για να οριστεί ο άξονας στον οποίο δεν είναι επιθυμητή η μετατόπιση του οχήματος, πρέπει να δηλωθεί ο επιθυμητός άξονας στο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων με το

μηδέν (0). Ενώ στην περίπτωση που απαιτείται η μετατόπιση κάποιου άξονα δεν δηλώνεται κάποια τιμή στο σύστημα. Η ίδια διαδικασία ισχύει και για το φαινόμενο περιστροφής σε κάποιον άξονα.

Στην συνέχεια αφού έχει οριστεί η τιμή του φορτίου και η διεύθυνση του, σειρά έχει η δήλωση του σημείου εφαρμογής του δηλαδή σε ποιο σημείο θα επιδρά. Αυτό πραγματοποιείται μέσω των κόμβων και των στοιχείων του πλέγματος της γεωμετρίας. Στην περίπτωση που αφορά δύναμη, ροπή και βαθμούς ελευθερίας το σημείο επίδρασης δηλώνεται μέσω των κόμβων, ενώ στην περίπτωση που αφορά κατανεμημένο φορτίο γίνεται μέσω των στοιχείων του πλέγματος.

Εισαγωγή συνθηκών ελέγχου

1.Είσοδος οδηγού στο όχημα(Load Case 1).

Η είσοδος και η έξοδος του οδηγού από το όχημα είναι μία σημαντική συνθήκη φορτίου, διότι αφορά στην ασφάλεια του οδηγού, σε περίπτωση ατυχήματος. Για να είναι επιτυχής αυτός ο έλεγχος πρέπει ο οδηγός να βγει από το όχημα σε λιγότερο από 10 δευτερόλεπτα .

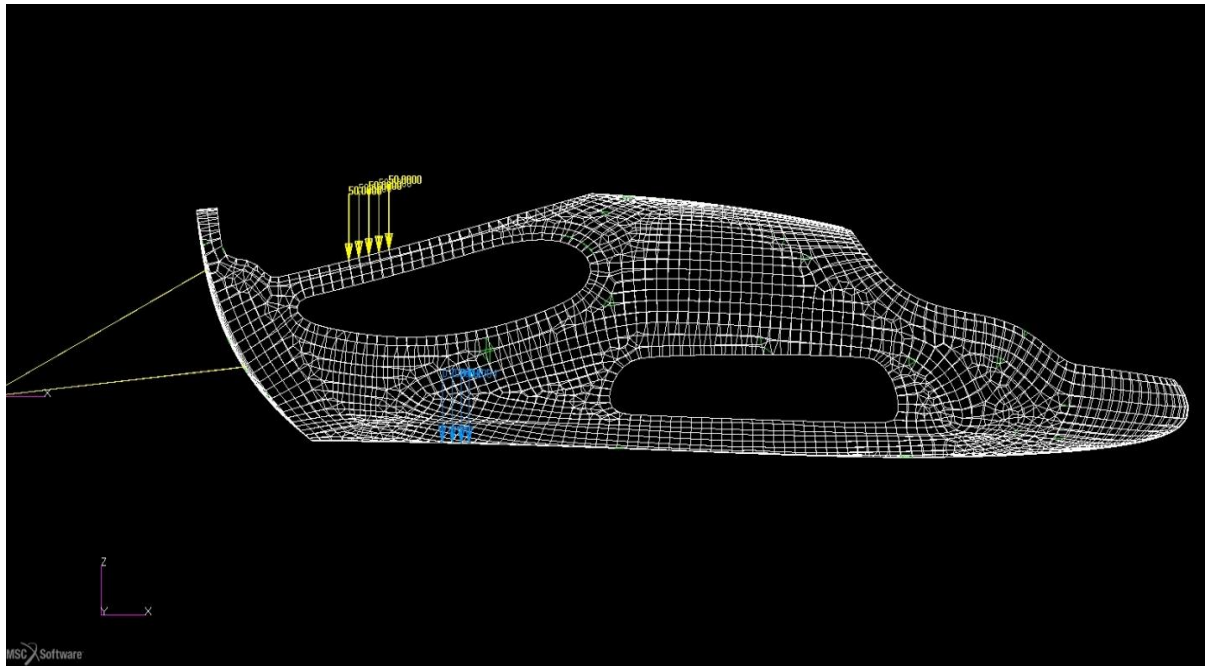
Η ιδιαιτερότητα που παρουσιάζει αυτή η διαδικασία είναι ότι πραγματοποιείται σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο ο οδηγός κατά τη διάρκεια της εισόδου του στο όχημα, πατάει με το ένα του πόδι στο δάπεδο του οχήματος, με αποτέλεσμα να ασκεί όλο του το βάρος (50kg) σε πολύ συγκεκριμένη επιφάνεια . Στο δεύτερο στάδιο για να καταφέρει να ξαπλώσει μέσα στο όχημα πρέπει να στηριχθεί από το πλαϊνό μέρος του οχήματος(μπράτσα), με αποτέλεσμα να ασκήσει το μισό του βάρος (25kg) σε κάθε πλευρά του οχήματος.

Επίσης, για την έξοδο του πραγματοποιείται η ίδια διαδικασία, απλά με αντίθετη φορά των σταδίων.

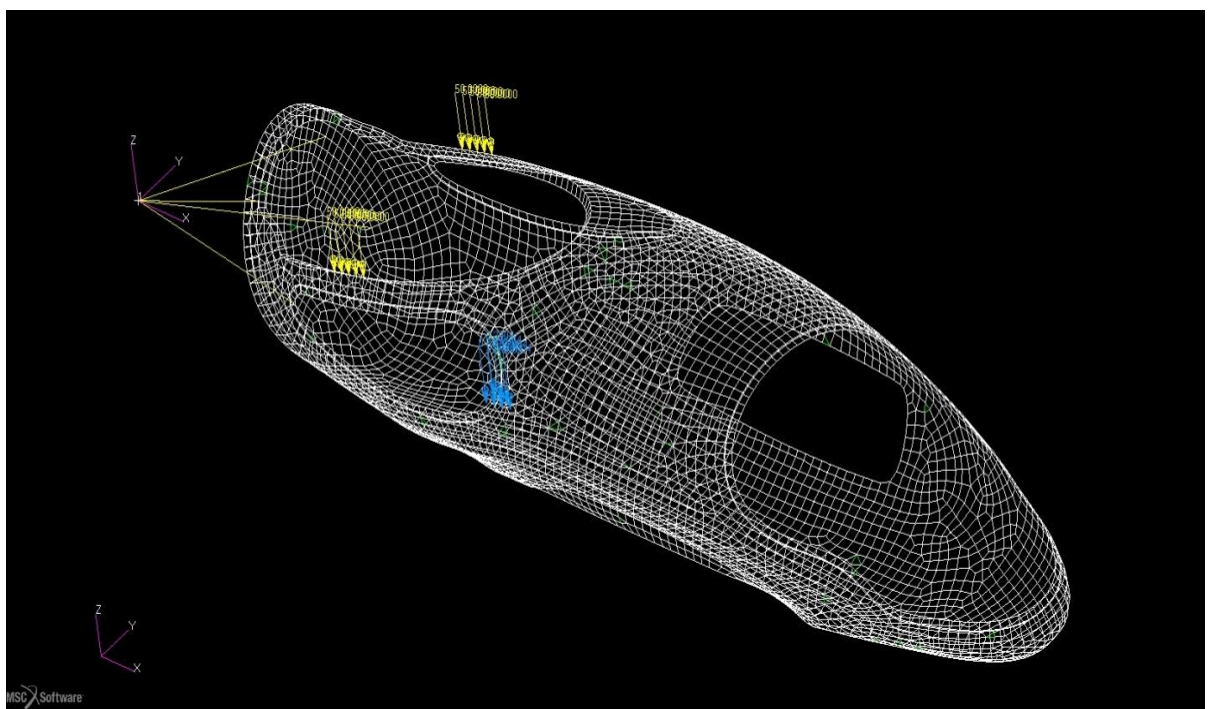
Για αυτήν τη συνθήκη, στο εμπρόςυποπλαίσιο έχει επιλεγεί ο τρόπος στήριξης 'πάκτωση', ενώ στο πίσω υποπλαίσιο έχουμε 'κύλιση' στο σημείο που βρίσκεται το κέντρο του τροχού.

Οι λόγοι που επιλέχτηκαν οι συγκεκριμένοι τρόποι στήριξης, καθώς και τα σημεία τα οποία εφαρμόστηκαν, είναι διότι θέλουμε να δημιουργήσουμε το φαινόμενο της 'κάμψης' και να παρατηρήσουμε τις τάσεις και τις μετατοπίσεις που αναπτύσσονται στα σημεία στήριξης του πίσω υποπλαισίου με την πλάτη του οδηγού.

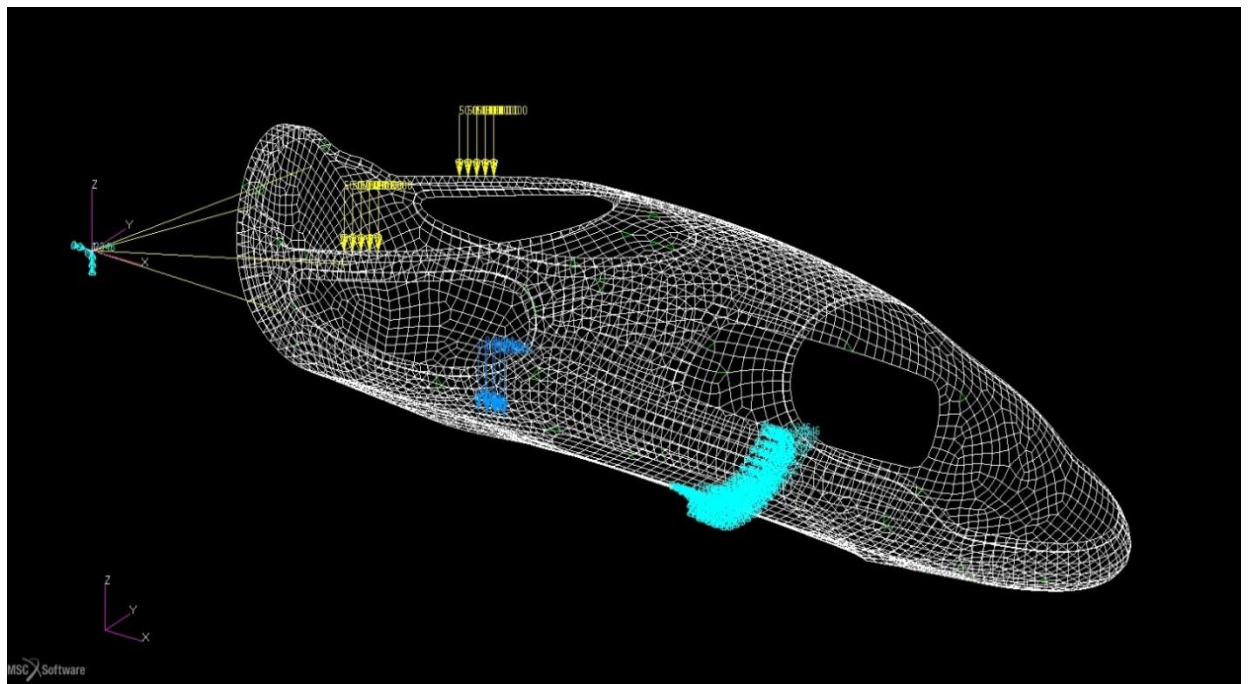
Αυτοί οι τρόποι στήριξης έχουν επιλεχθεί και για τις Συνθήκες Ελέγχου 2,3,4.



Εικόνα 2-60: Εφαρμογή φορτίου χεριού (κίτρινο) και ποδιού (μπλε).



Εικόνα 2-61: Εφαρμογή φορτίου χεριού (κίτρινο) και ποδιού (μπλε).

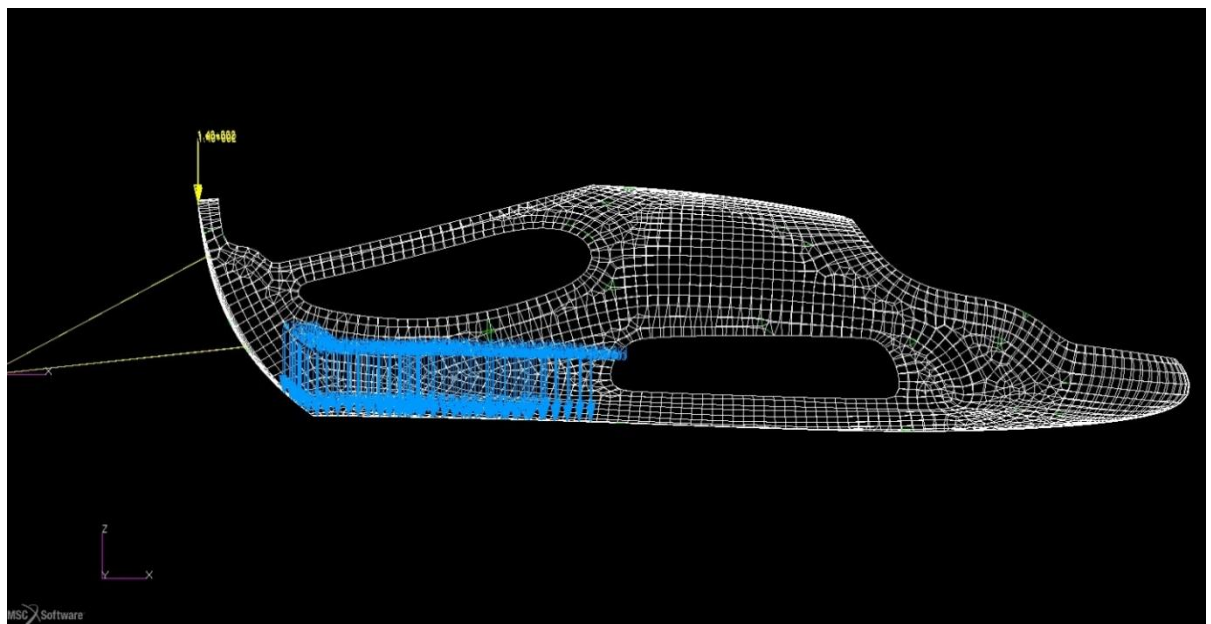


Εικόνα 2-62: Σημεία στήριξης (γαλάζιο).

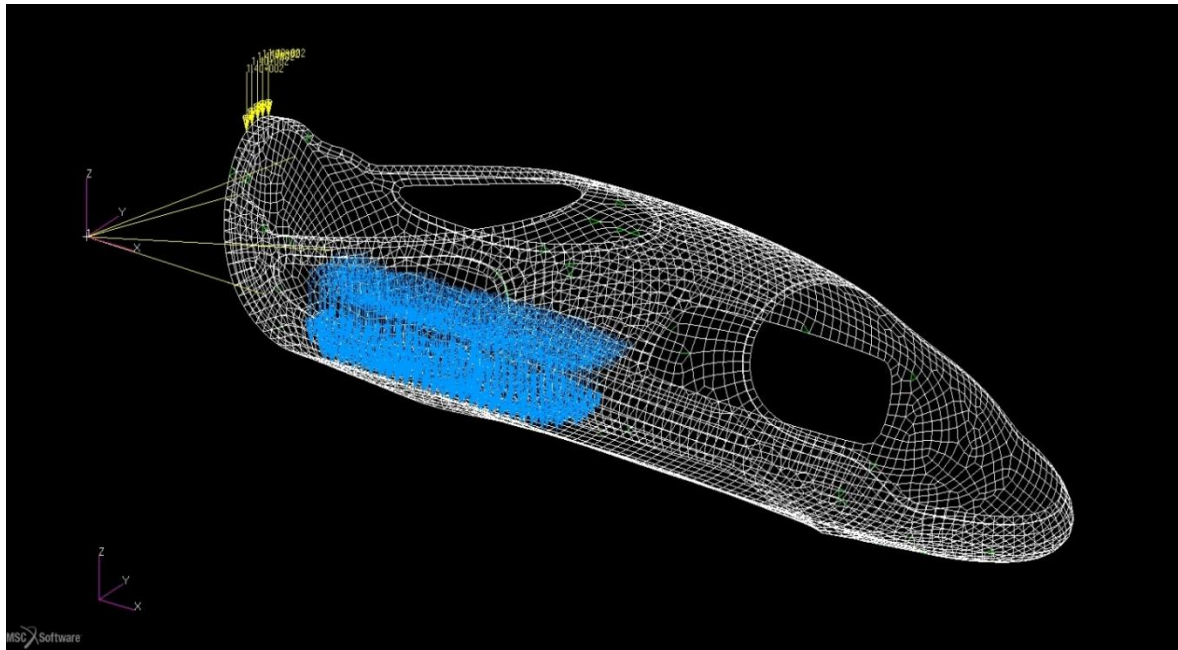
2. Προστατευτικό πλαίσιο (Rollbar) (Load Case 2).

Επόμενη συνθήκη ελέγχου που πρέπει να ικανοποιεί το όχημα για τον έλεγχο ασφαλείας, είναι η αντοχή του RollBar που βρίσκεται πάνω από το κεφάλι του οδηγού και πρέπει να τον προστατεύει σε περίπτωση ανατροπής του οχήματος.

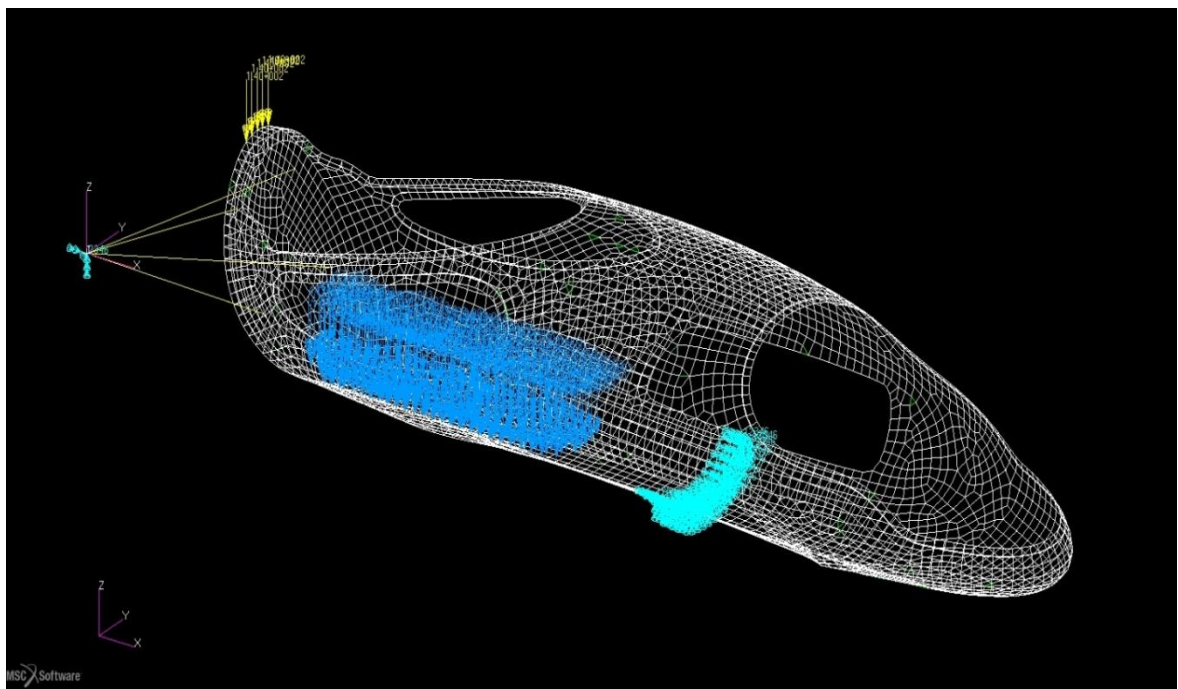
Ο έλεγχος αυτός πραγματοποιείται με την επιβολή φορτίου 70 kg πάνω στο RollBar καθώς βρίσκεται μέσα στο όχημα και ο οδηγός.



Εικόνα 2-63: Εφαρμογή φορτίου RollBar (κίτρινο) και βάρος οδηγού (μπλε).



Εικόνα 2-64: Εφαρμογή φορτίου RollBar (κίτρινο) και βάρος οδηγού (μπλε).



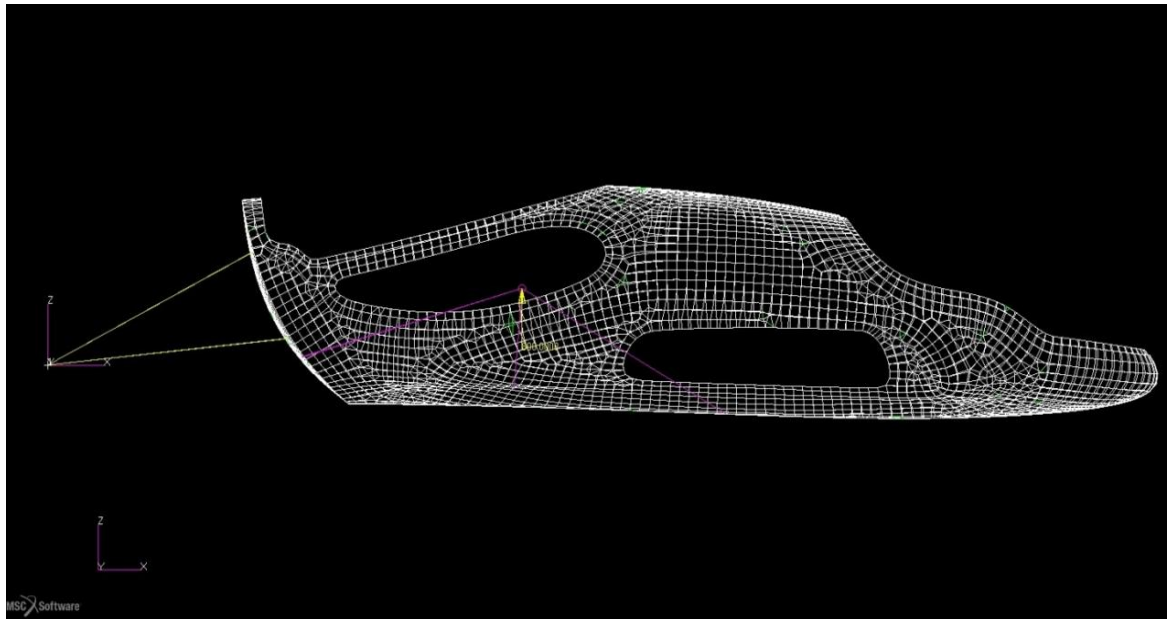
Εικόνα 2-65: Σημεία στήριξης (γαλάζιο).

3.Ζώνες οδηγού(Load Case 3).

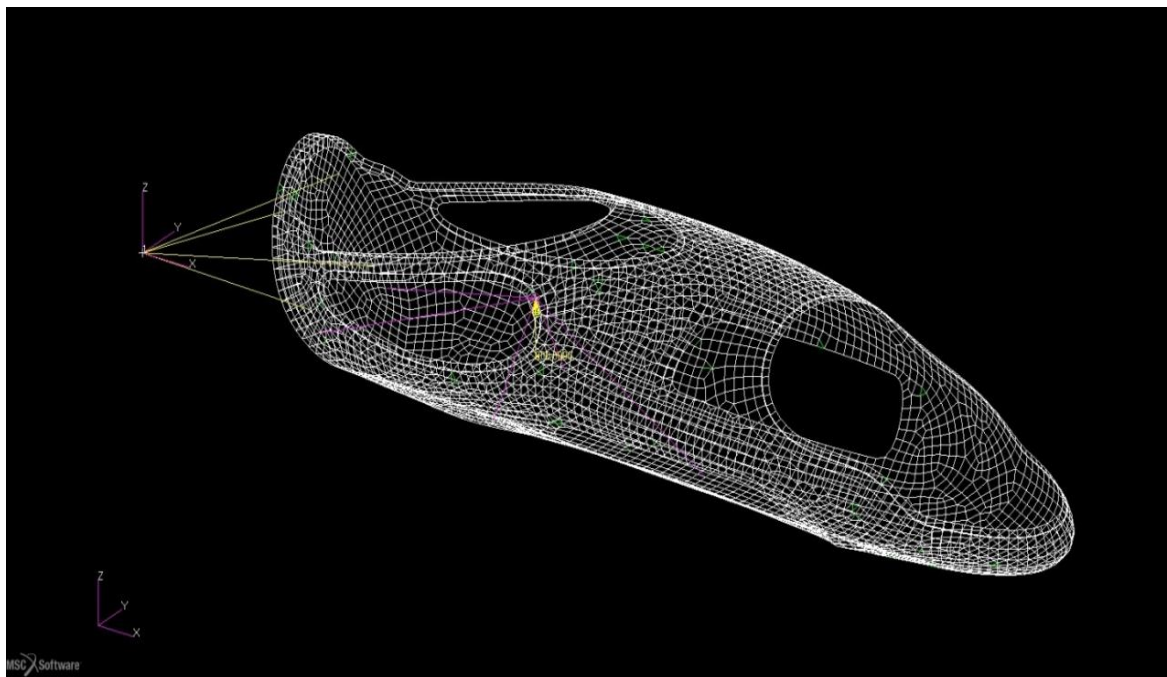
Άλλη μία συνθήκη που είναι απαραίτητη για να ικανοποιεί το όχημα, τις τεχνικές προδιαγραφές του διαγωνισμού, είναι η ικανότητα των σημείων σύνδεσης των ζωνών με το σασί να μπορούν να αντέξουν το βάρος του οχήματος μαζί με τον οδηγό δηλαδή συνολικό βάρος περίπου 80 kg. Αυτό πραγματοποιείται ανυψώνοντας το από την ζώνη του οδηγού, η οποία είναι συνδεδεμένη με το όχημα σε έξι σημεία.

Για την πραγματοποίηση της παραπάνω συνθήκης, χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία τύπου RBE3. Τα στοιχεία αυτά δίνουν στον χρήστη την δυνατότητα, το φορτίο που ασκείται σε ένα σημείο, να επιδρά και σε οποιοδήποτε άλλο είναι συνδεδεμένο μαζί του μέσω RBE3 στοιχείων.

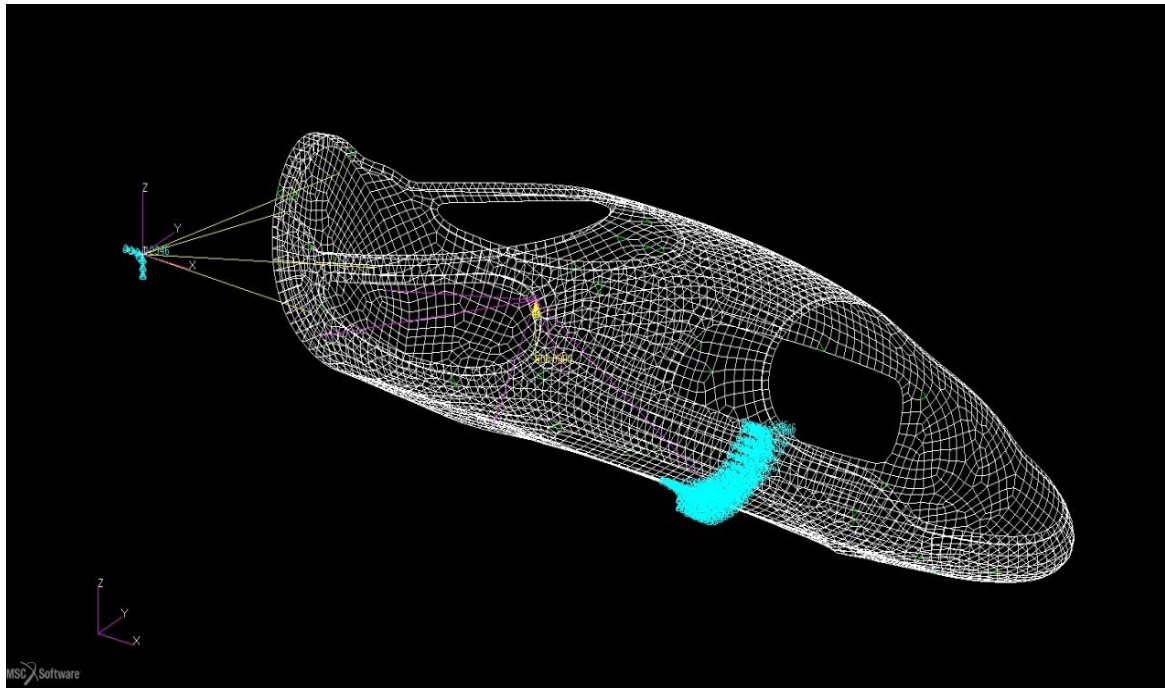
Στην περίπτωση της συνθήκης αυτής, το φορτίο ασκείται στο σημείο, που συνδέονται και οι 6 ιμάντες και η επίδραση του πραγματοποιείται στα σημεία σύνδεσης των ιμάντων με το σασί.



Εικόνα 2-66: Εφαρμογή φορτίου ανύψωσης (κίτρινο).



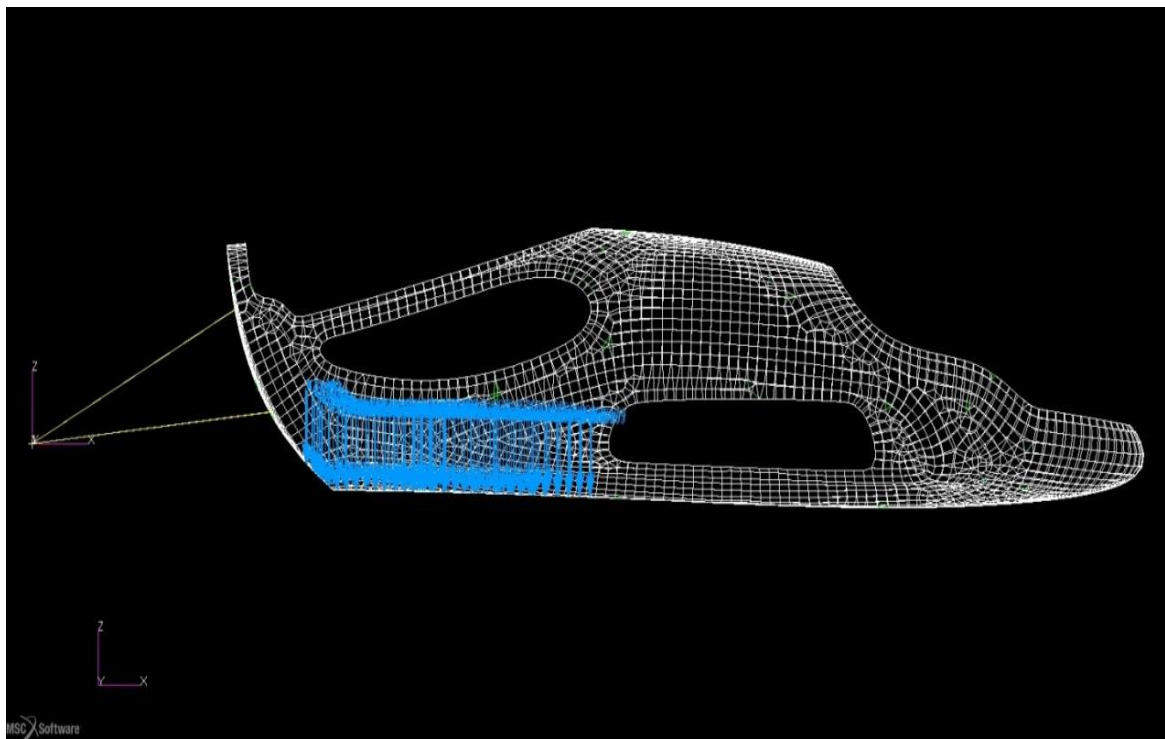
Εικόνα 2-67: Εφαρμογή φορτίου ανύψωσης (κίτρινο).



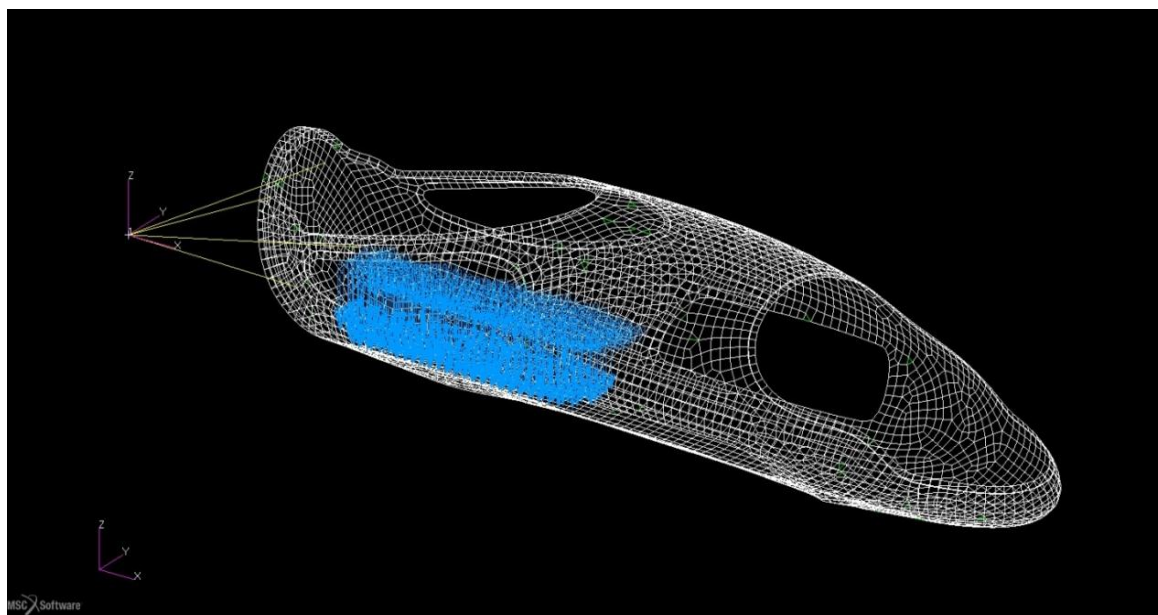
Εικόνα 2-68: Σημεία στήριξης (γαλάζιο).

4.Βάρος οδηγού(Load Case 4).

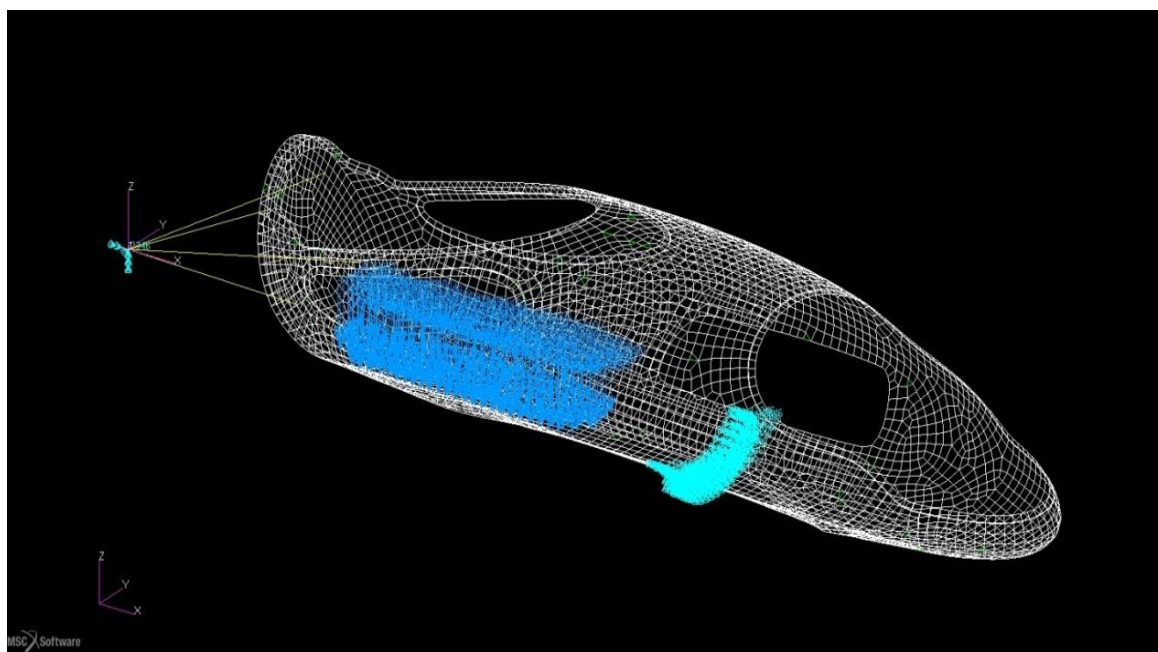
Η επόμενη συνθήκη αφορά στην παρατήρηση των παραμορφώσεων του οχήματος, με την επιβολή μόνο του βάρους του οδηγού.



Εικόνα 2-69:Εφαρμογή φορτίου βάρους οδηγού (μπλε).



Εικόνα 2-70:Εφαρμογή φορτίου βάρους οδηγού (μπλε).



Εικόνα 2-71:Σημεία στήριξης (Γαλάζιο).

5.Στρέψη στο σημείο σύνδεσης της γέφυρας(Load Case 5).

Στην επόμενη συνθήκη φορτίου μελετάται το φαινόμενο της στρέψης . Μέσω αυτού θα δοθεί η δυνατότητα να παρατηρηθεί η στρεπτική ακαμψία που παρουσιάζει το σασί . Για να πραγματοποιηθεί αυτό, θα εφαρμοστεί φορτίο στα σημεία στήριξης του εμπρόσφυποπλαισίου αλλά αντίθετης φοράς μεταξύ τους.

Ο υπολογισμός της δύναμης που εφαρμόστηκε έγινε με δεδομένα το μετατρόχιο που προκύπτει από τα σημεία επαφής των ελαστικών με το οδόστρωμα

(540mm), την κάθετη δύναμη που ασκείται στο εμπρός ελαστικό από το συνολικό βάρος του οχήματος (80kg) και από την απόσταση που έχουν τα σημεία στήριξης του εμπρόσφυποπλαισίου από τον άξονα χ του οχήματος.

Ο τρόπος στήριξης που έχει επιλεχθεί για την πραγματοποίηση αυτής της συνθήκης φορτίου, είναι 'πάκτωση' στα σημεία που είναι συνδεδεμένο το πίσω υποπλαίσιο με την πλάτη του οδηγού, καθώς και 'μη' μετατόπιση κάποιων στοιχείων στον άξονα Υ, διότι λόγω του φαινομένου που πραγματοποιείται το όχημα δεν πρέπει να μετατοπίζεται στον άξονα Υ αλλά να περιστρέφεται ως προς αυτόν.

$$x1*f1=x2*f2$$

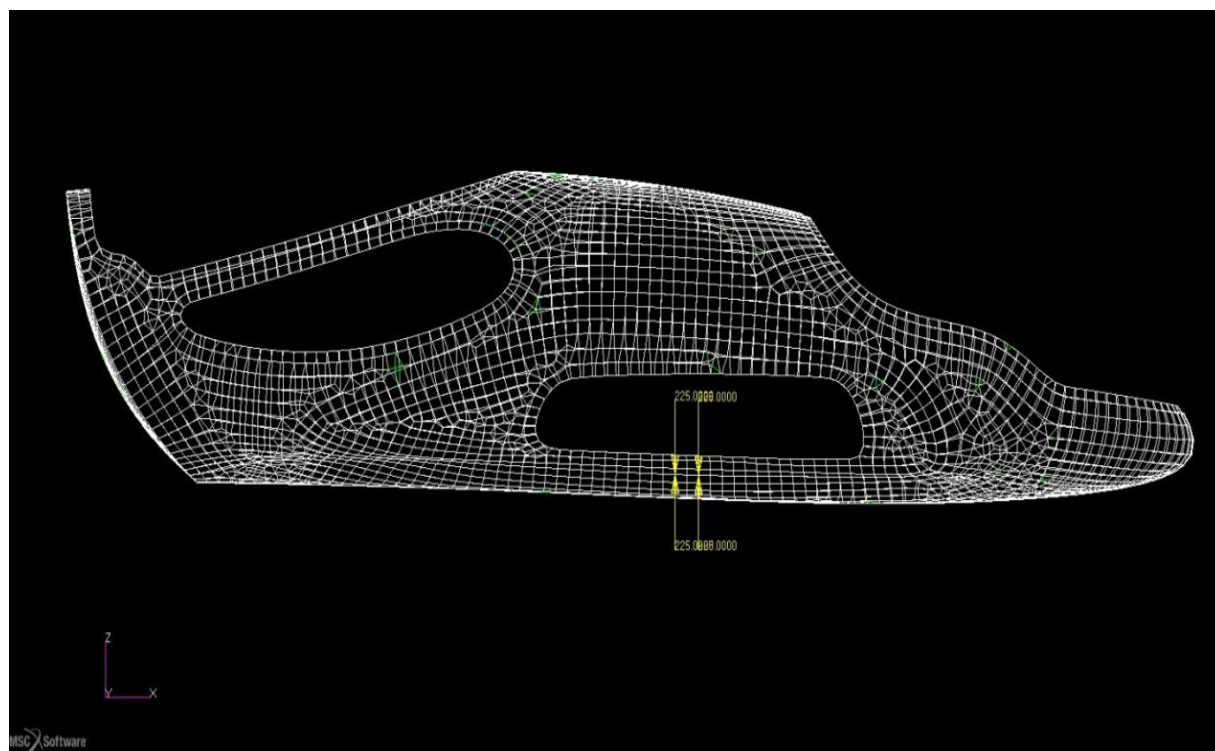
$$f2=(x1*f1)/x2$$

$$f2=450N$$

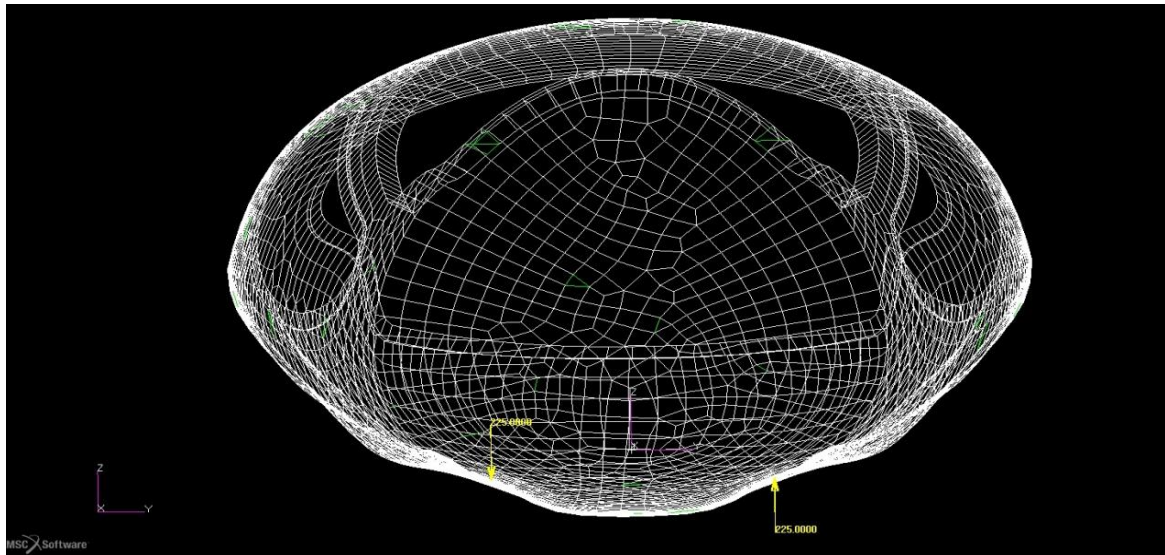
*χ1:απόσταση σημείου επαφής ελαστικού από τον άξονα χ του οχήματος(270mm)

*χ2:σημεία στήριξη του εμπρόσφυποπλαισίου από τον άξονα χ του οχήματος(115mm)

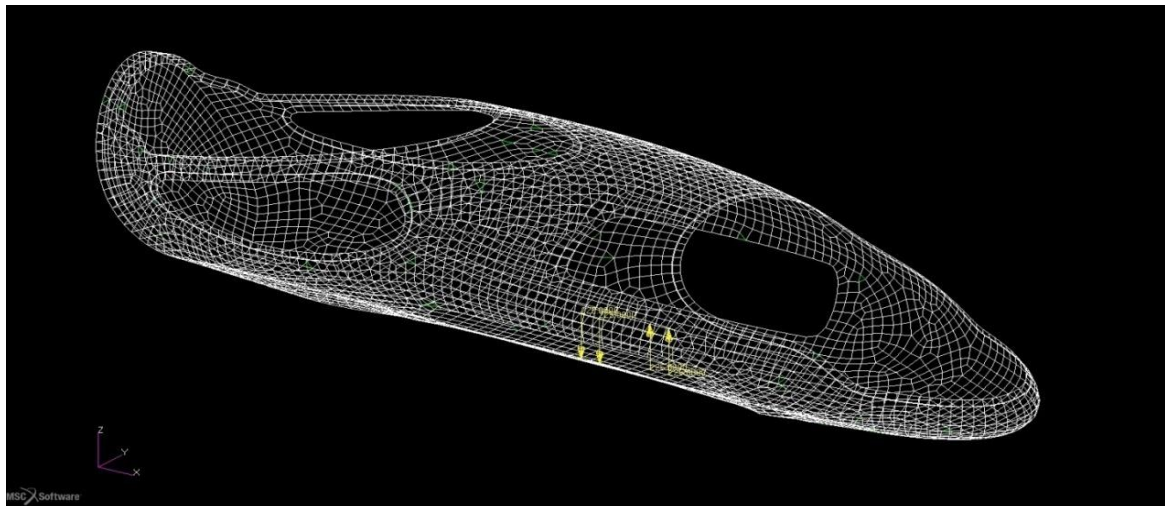
*f1 : κάθετη δύναμη που ασκείται στον εμπρός ελαστικό(188N)



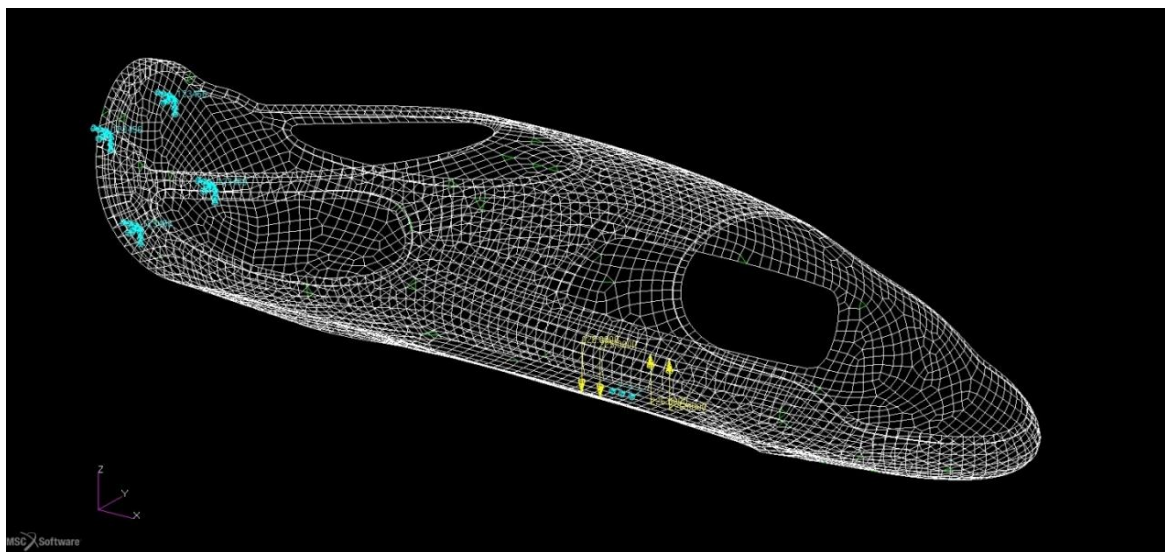
Εικόνα 2-72: Εφαρμογή φορτίου στρέψης(κίτρινο).



Εικόνα 2-73: Εφαρμογή φορτίου στρέψης(κίτρινο).



Εικόνα 2-74: Εφαρμογή φορτίου στρέψης(κίτρινο).



Εικόνα 2-75:Σημεία στήριξης (Γαλάζιο).

6.Επιβράδυνση οχήματος(Load Case 6).

Στην συνθήκη της επιβράδυνσης σκοπός είναι να παρατηρηθεί η ακαμψία που παρουσιάζει το σασί κατά μήκος του άξονα χ και κυρίως στο σημείο το οποίο είναι συνδεδεμένο πάνω στο σασί, το υποπλαίσιο των εμπρός τροχών.

Κατά τη διάρκεια του φρεναρίσματος, ασκούνται στο σασί μέσω του υποπλαισίου δύο δυνάμεις, η πρώτη δύναμη είναι από την επαφή του ελαστικού με το οδόστρωμα και έχει αντίθετη φορά με την κατεύθυνση του οχήματος και η δεύτερη δύναμη είναι η μετατόπιση του βάρους του οδηγού κατά το φρενάρισμα, η οποία έχει ίδια διεύθυνση με αυτή του οχήματος.

Αυτές οι δύο δυνάμεις τείνουν να περιστρέψουν το υποπλαίσιο (pitch) και αυτό στη συνέχεια το σασί, με αποτέλεσμα να υπάρχουν θλιπτικά και εφελκυστικά φορτία στο σημείο επαφής του υποπλαισίου.

Σε αυτήν την συνθήκη φορτίου, οι τρόποι στήριξης που έχουν επιλεγεί είναι 'πάκτωσή' στα σημεία που είναι συνδεδεμένο το πίσω υποπλαίσιο με την πλάτη του οδηγού, καθώς και 'μη' μετατόπιση κάποιων στοιχείων στον άξονα Z, διότι σε αυτό το σημείο θέλουμε να παρατηρήσουμε τις τάσεις και τις μετατοπίσεις, κατά την περιστροφή του υποπλαισίου που πραγματοποιείται κατά το φρενάρισμα.

Τα φορτία που ασκούνται σε αυτό το σημείο προέκυψαν από την προσομοίωση του ελέγχου των φρένων, που απαιτείται από το διαγωνισμό. Δηλαδή η παραμονή του οχήματος, σε κεκλιμένο επίπεδο 20 μοιρών, χωρίς να ολισθαίνει.

Από τους υπολογισμούς προέκυψε ότι το 50%(F₁) του βάρους του οδηγού ασκείται κάθετα στο σασί ενώ το υπόλοιπο(F₂) παράλληλα με αυτό. Επίσης η δύναμη που ασκείται στο σημείο επαφής του ελαστικού με το οδόστρωμα είναι (F₃)=270N και είναι παράλληλη με το σασί αλλά αντίθετης φορά. Ακόμα οι δύο τελευταίες δυνάμεις δημιουργούν και ροπές στο σημείο αυτό.

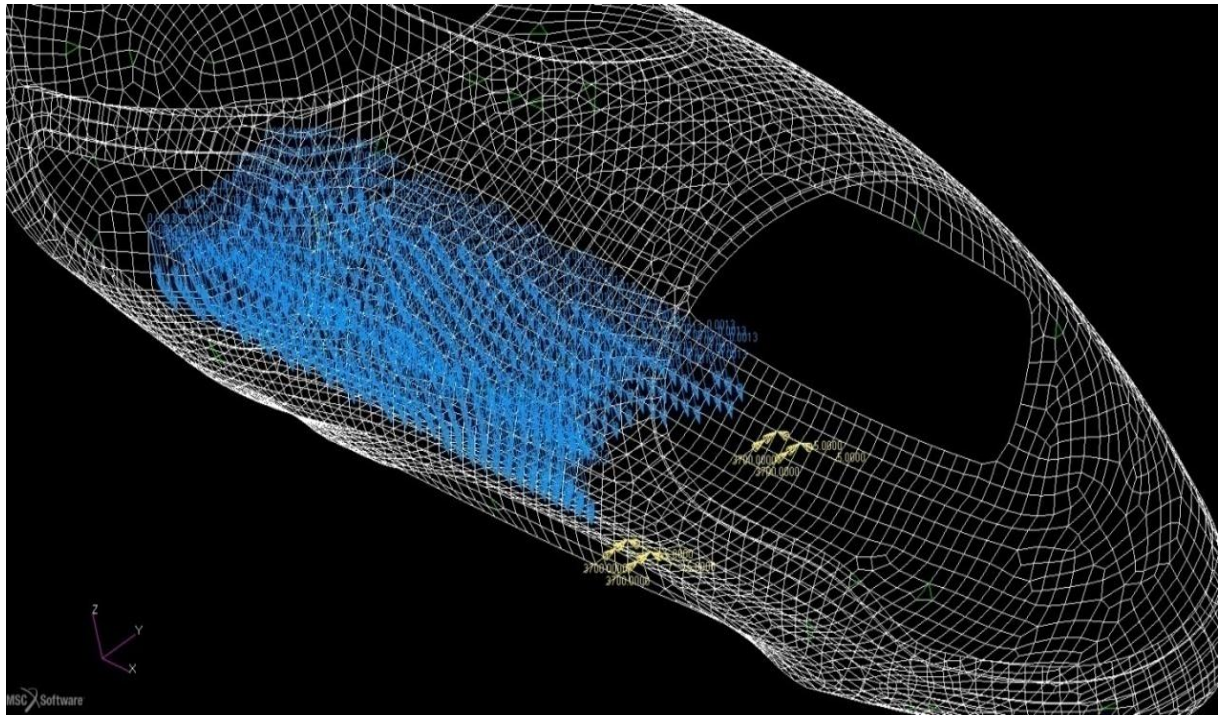
$$T_1 = F_2 * X_2 = 250 * 200 = 50000 Nmm$$

$$T_2 = F_3 * X_3 = 270 * 240 = 64800 Nmm$$

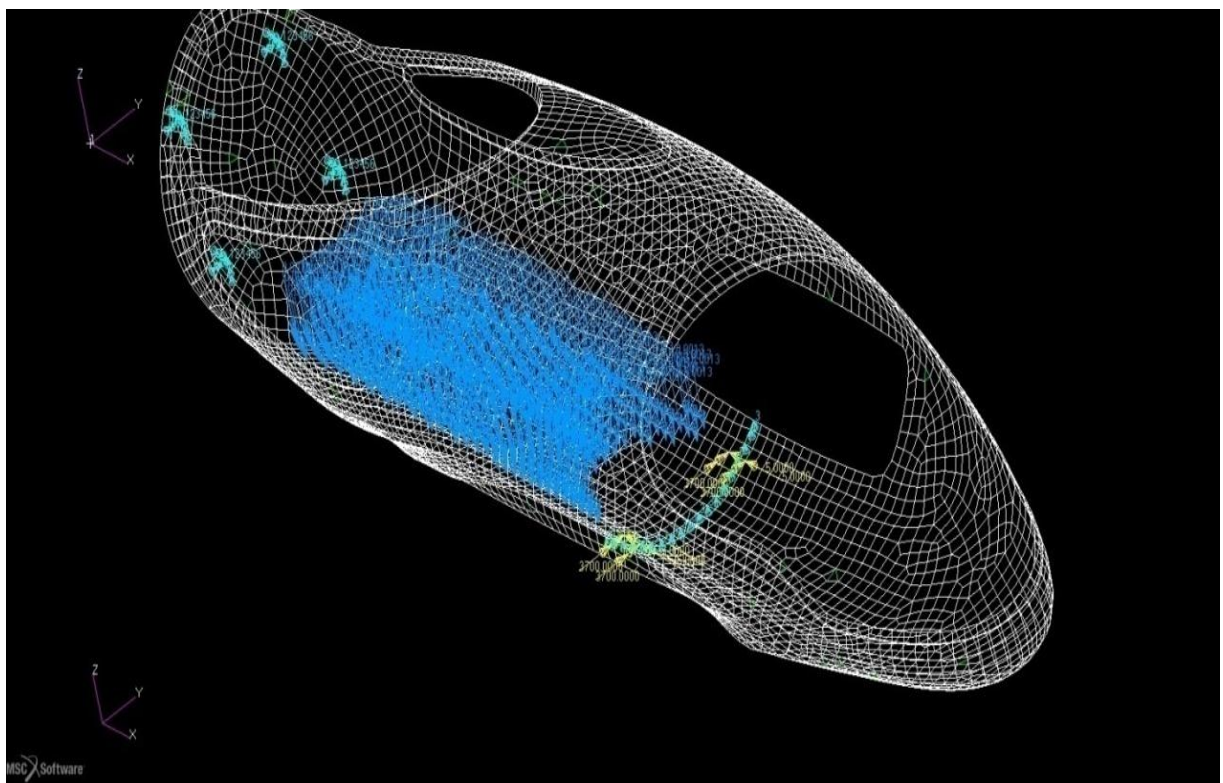
Όπου:

X₂ : η κάθετη απόσταση του σημείου επιβολής του φορτίου από το κέντρο βάρους του σασί.

X₃ : η κάθετη απόσταση του σημείου επιβολής του φορτίου από το σημείο επαφής του ελαστικού με το οδόστρωμα.



Εικόνα 2-76:Εφαρμογή φορτίου φρεναρίσματος, μετατόπισης βάρους οδηγού (κίτρινο) (συνισταμένη) και εφαρμογή φορτίου βάρους οδηγού (μπλε).



Εικόνα 2-77: Σημεία στήριξης (γαλάζιο).

7.Αλλαγή κατεύθυνσης οχήματος(Load Case 7).

Ο σκοπός της συνθήκης αυτής, είναι ο ίδιος με της συνθήκης της στρέψης με την μόνη διαφορά ότι, προκαλείται αυτό το φαινόμενο με φορτία που αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια αλλαγής κατεύθυνσης του οχήματος (στρίψιμο).

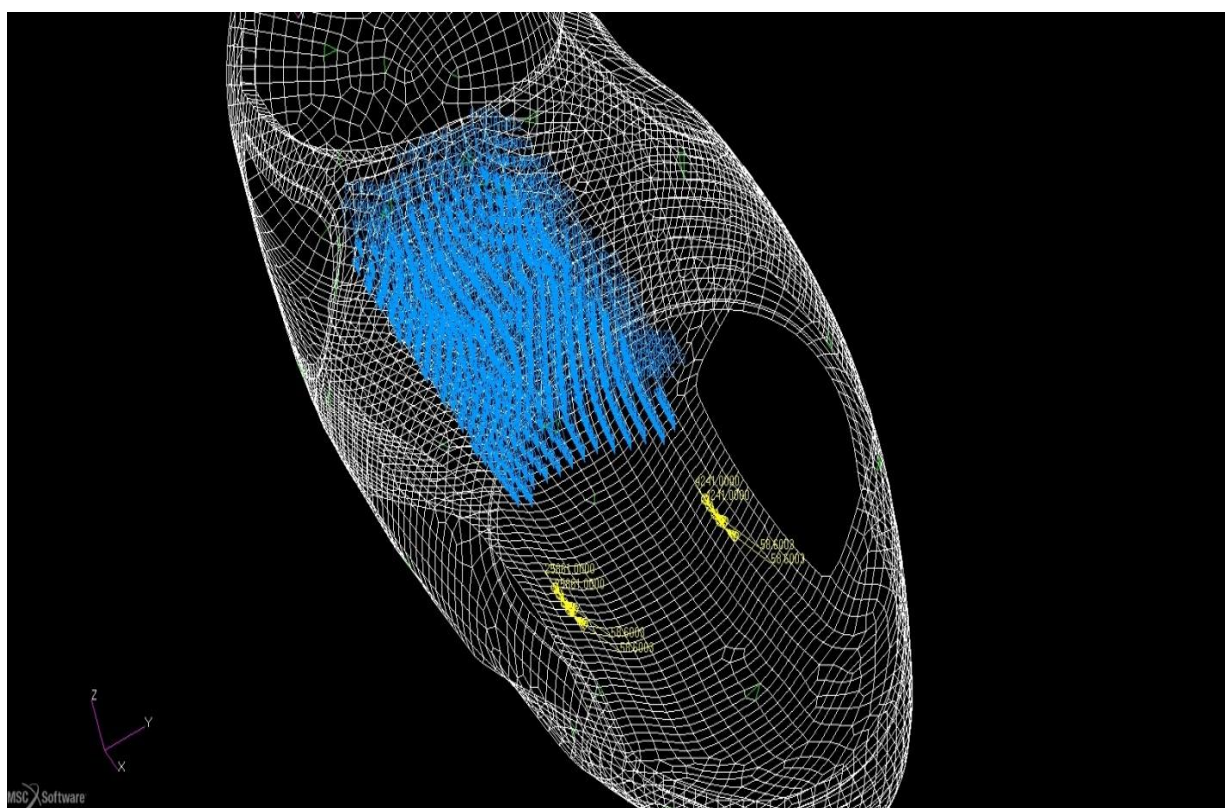
Για τον υπολογισμό των δυνάμεων έχουν χρησιμοποιηθεί τα δεδομένα από τους πίνακες καθώς και η κάθετη και πλευρική δύναμη που ασκείται στους εμπρός τροχούς. Επίσης οι ροπές που έχουν προκύψει είναι από την επιβολή των πλευρικών και κάθετων φορτίων στα σημεία E' και Z' της Εικ.2-52.

Για την τελευταία συνθήκη φορτίου, οι τρόποι στήριξης που χρησιμοποιήθηκαν είναι 'πάκτωση' στα σημεία που είναι συνδεδεμένο το πίσω υποπλαίσιο με την πλάτη του οδηγού καθώς επίσης και στην αντίθετη πλευρά από όπου ασκούνται τα φορτία.

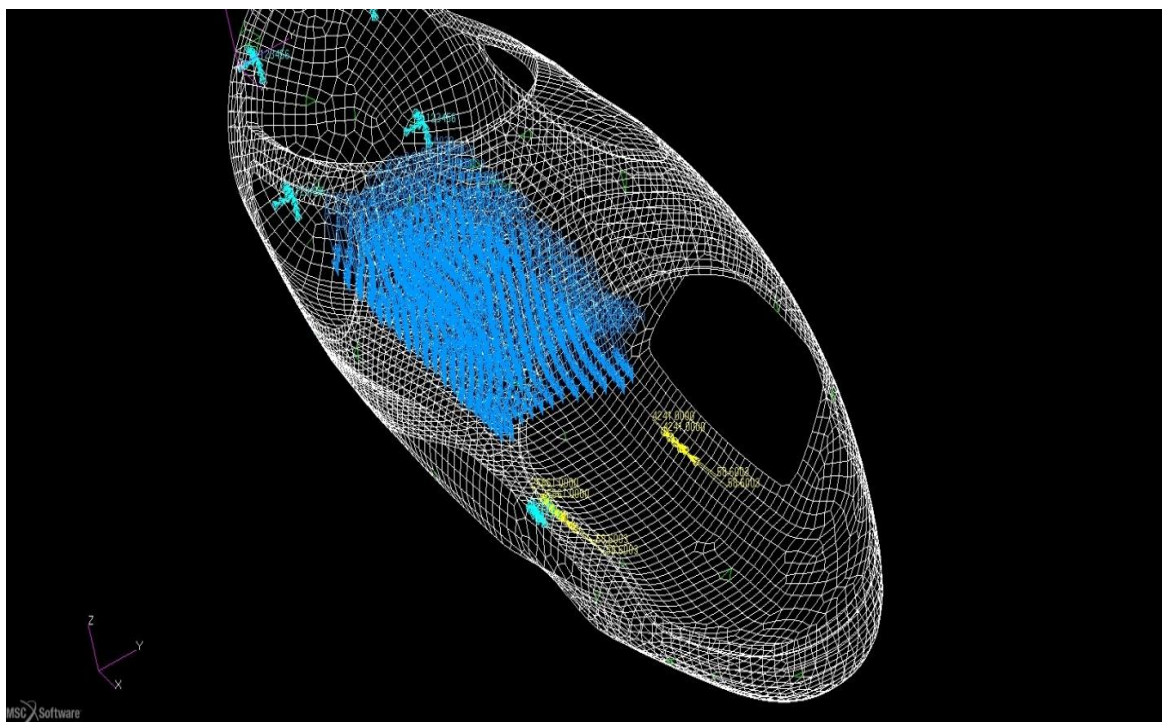
$$T_1 = F_{κ.φ.} * AE' = 188 * 155 = 29140 \text{ Nmm}$$

$$T_2 = F_{κ.φ.} * AZ' = 188 * 385 = 72380 \text{ Nmm}$$

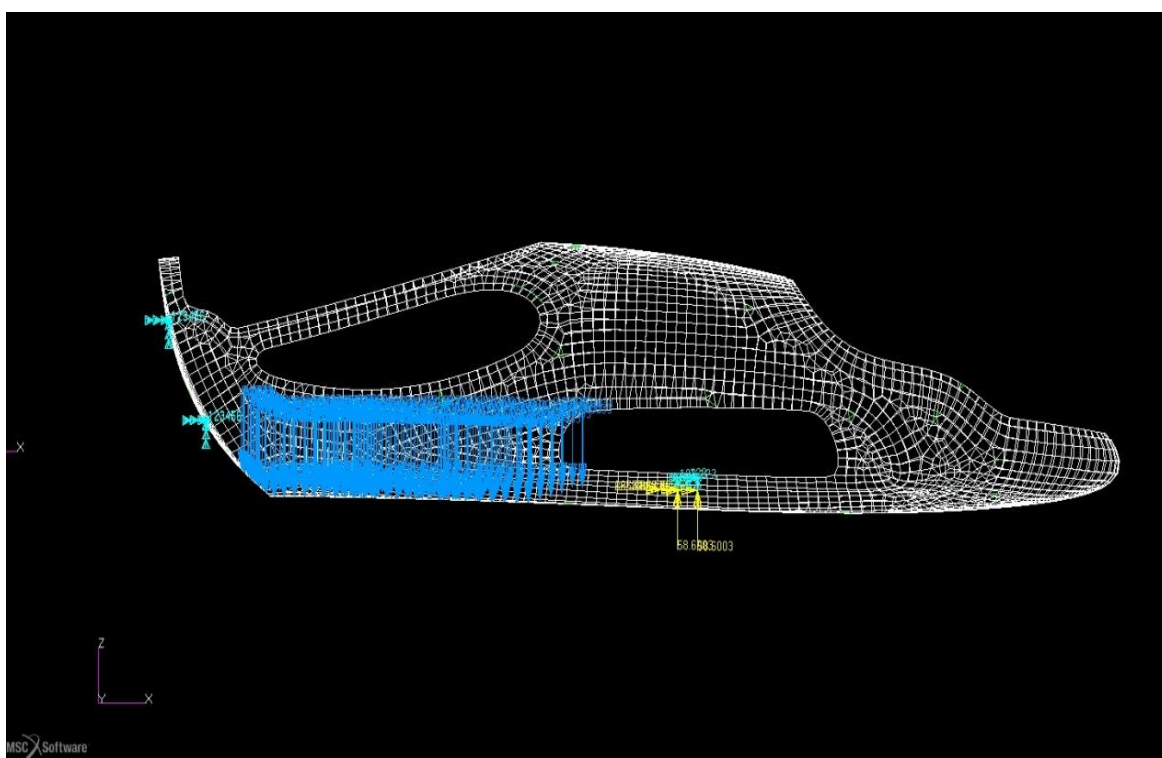
$$T_3 = F_{π.φ.} * BΓ = 132 * 219 = 28908 \text{ Nmm}$$



Εικόνα 2-78:Εφαρμογή πλευρικού φορτίου στα σημεία στήριξης του υποπλαϊσίου (κίτρινο) (συνισταμένη) και εφαρμογή φορτίου βάρους οδηγού (μπλε).



Εικόνα 2-79: Σημεία στήριξης (γαλάζιο).



Εικόνα 2-80: Σημεία στήριξης (γαλάζιο).

Στους πίνακες 2-9,10 παρουσιάζονται οι βαθμοί ελευθερίας του κάθε άξονα και τα φορτία σε συνδυασμό με την φορά διεύθυνσης του καθενός, για τις συνθήκες ελέγχου που αφορούν το καθένα.

Ο πρώτος πίνακας αφορά τους βαθμούς ελευθερίας και ο δεύτερος τα φορτία τις κάθε συνθήκης ελέγχου.

*T: Ευθύγραμμη μετατόπιση στον κάθε άξονα

R:Περιστροφή στον κάθε άξονα

<1,2,3> : Ο κάθε αριθμός αντιστοιχεί στο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων <x,y,z>

		DISPLACEMENT					
A/A		TRANSLATIONS			ROTATIONS		
LoadCase	ONOMA	T1	T2	T3	R1	R2	R3
1	FRONT_FIX	0	0	0	0	-	0
	REAR_KILISI	-	0	0	0	-	0
2	FRONT_FIX	0	0	0	0	-	0
	REAR_KILISI	-	0	0	0	-	0
3	FRONT_FIX	0	0	0	0	-	0
	REAR_KILISI	-	0	0	0	-	0
4	FRONT_FIX	0	0	0	0	-	0
	REAR-FIX	0	0	0	0	-	0
5	REAR_FIX	0	0	0	0	0	0
	FRONT_Y	-	0	-	-	-	-
6	REAR_FIX	0	0	0	0	0	0
	FRONT_Z	-	-	0	-	-	-
7	REAR_FIX	0	0	0	0	0	0
	PLEVRIKA	0	0	0	-	-	-

Πίνακας 2-9: Βαθμοί ελευθερίας συνθηκών ελέγχου.

		FORCE					
A/A		FORCES(N)			MOMENTS(N*mm)		
LoadCase	ONOMA	X	Y	Z	X	Y	Z
1	XERI	-	-	-250	-	-	-
	PODI_ODIGOU	-	-	-500	-	-	-
2	ROLL_BAR	-	-	-700	-	-	-
	VAROS_ODIGOU	-	-	-500	-	-	-
3	VAROS_ODIGOU	-	-	-500	-	-	-
4	ZWNES	-	-	800	-	-	-
5	STREPSH_THETIKH	-	-	450	-	-	-
	STREPSH_ARNITIKH	-	-	-450	-	-	-
6	DINAMH_ODIGOU	250	-	-	-	-	-
	DINAMH_ANTISTASHS	-270	-	-	-	-	-
	VAROS_ODIGOU	-	-	-250	-	-	-
	ROPH_ODIGOU	-	-	-	-	50000	-
	ROPH_ANTISTASHS	-	-	-	-	64800	-
7	KATHETH_DINAMH	-	-	188	-	-	-
	PLEVRIKH_DINAMH	-	-132	-	-	-	-
	VAROS_ODIGOU	-	-	-500	-	-	-
	KATHETH_ROPH	-	-	-	29140	-	-
	KATHETH_ROPH_2	-	-	-	72380	-	-
	PLEVRIKH_ROPH	-	-	-	-28908	-	-

Πίνακας 2-10: Φορτία συνθηκών ελέγχου.

3. Στατική ανάλυση αυτοφερόμενου πλαισίου από ανθρακονήματα

Στο στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκαν στατικές αναλύσεις πεπερασμένων στοιχείων στο σασί.

Σκοπός αυτής της διαδικασίας ήταν, μετά από κάθε ανάλυση που ολοκληρώνονταν, να γίνεται αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Στη συνέχεια γινόντουσαν οι απαραίτητες αλλαγές, βάσει της αξιολόγησης με στόχο την επίτευξη της ικανοποίησης των προδιαγραφών και του ελάχιστου βάρους του σασί.

Οι αλλαγές αυτές αφορούν κυρίως στη δημιουργία νέων σύνθετων υλικών για την ενίσχυση σημείων ή περιοχών που αναπτύσσονται μεγάλες τάσεις. Η ενίσχυση μπορεί να πραγματοποιηθεί επίσης και με τη χρήση υλικού πυρήνα.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί και ανθρακονήματα παρουσιάζουν μεγάλη ελαστικότητα αλλά και αντοχή στη θραύση τους. Για αυτούς τους δύο λόγους, ορίστηκε ότι ο έλεγχος κάθε μιας 'συνθήκης ελέγχου' θα γίνεται με γνώμονα, το μέγεθος της παραμόρφωσης (σε mm) που παρουσιάζει το σασίστα σημεία ανάπτυξης τάσεων και όχι με βάση τον συντελεστή ασφαλείας που γίνεται συνήθως, ο οποίος λόγω των ιδιοτεροτήτων του υλικού, παρουσιάζει υψηλές τιμές ούτως ή άλλως.

3.1 Ανάλυση σασί, με την χρήση ελάχιστης διαστρωμάτωσης

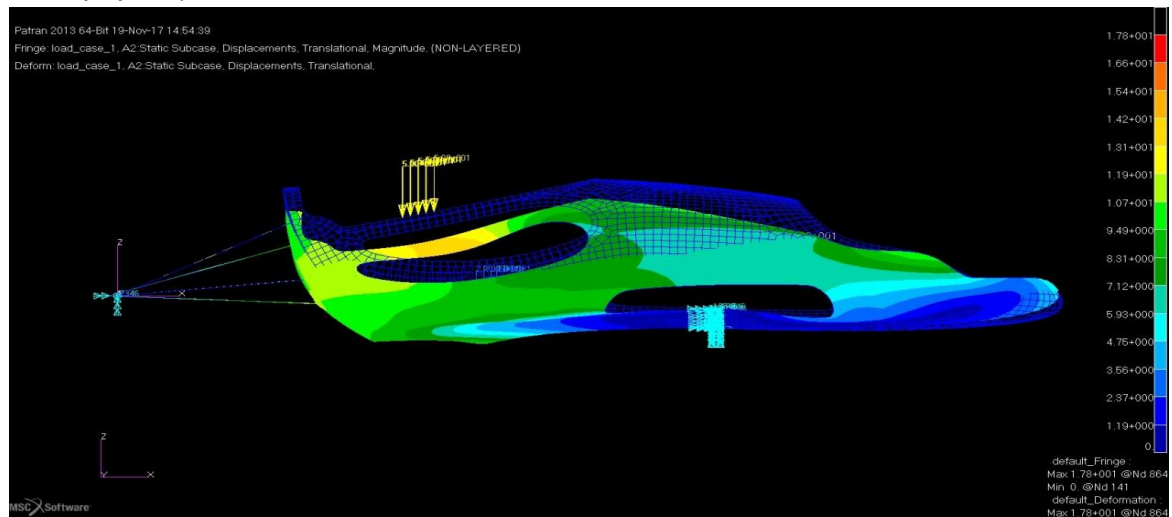
Στο σημείο αυτό παρουσιάζονται οι πρώτες αναλύσεις για το σασί, για κάθε μια συνθήκη ελέγχου.

Το σασί αποτελείται από τέσσερα φύλλα άνθρακα, τα οποία έχουν οριστεί με την μέθοδο Quasi-Isotropic($\pm 45, 0/90, \pm 45$) και τα οποία αποτελούν την ελάχιστη διαστρωμάτωση του σασί.

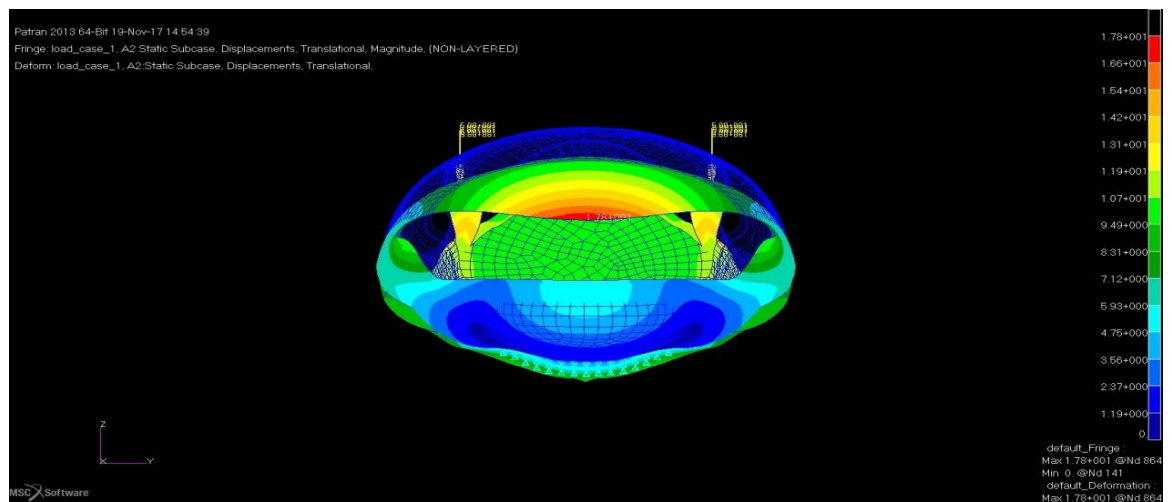
* Στις φωτογραφίες που ακολουθούν, στο εσωτερικό τους αναγράφεται στην 2η σειρά των πληροφοριών, το είδος των αποτελεσμάτων δηλαδή αν είναι τάσεις (StressTensor) ή μετατοπίσεις (Displacements).

* Η παραμόρφωση του οχήματος είναι σε κλίμακα 0,05

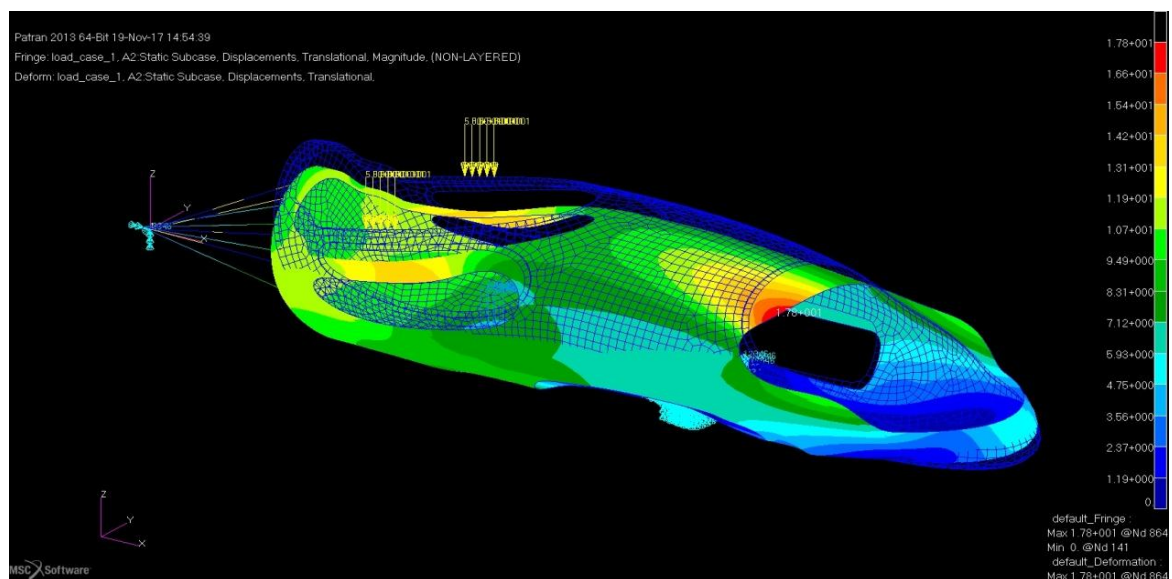
Συνθήκη ελέγχου 1.



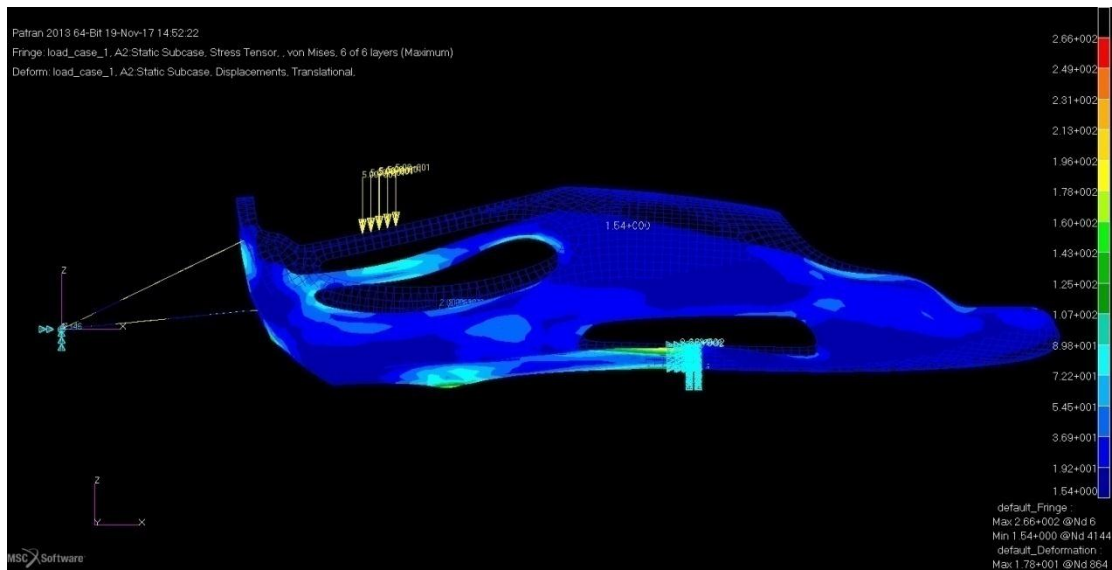
Εικόνα:3-1:Είσοδος οδηγού στο όχημα(Load_Case_1)(Μετατοπίσεις).



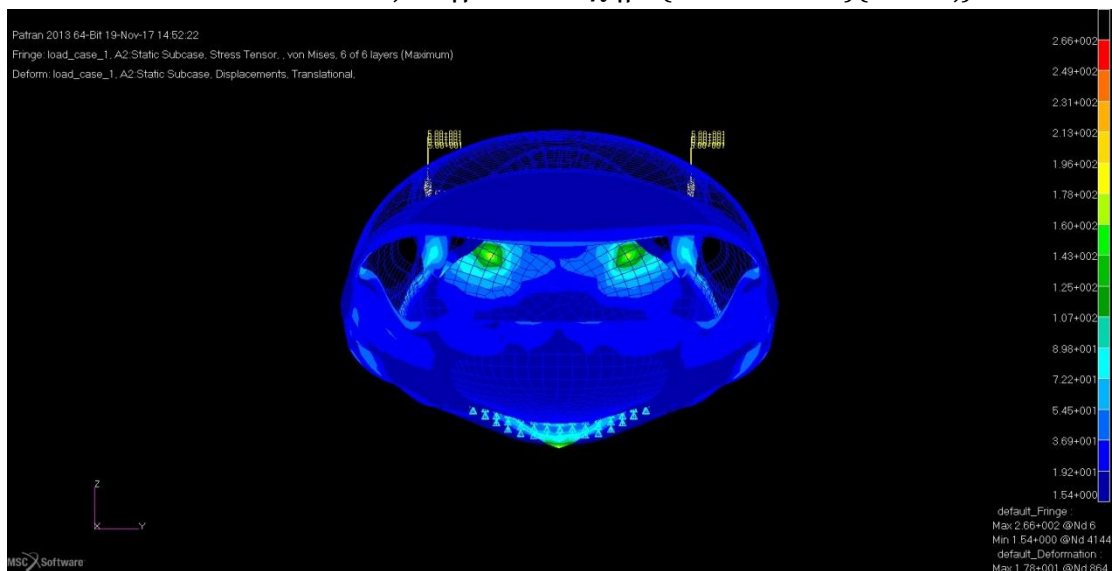
Εικόνα:3-2:Είσοδος οδηγού στο όχημα(Load_Case_1)(Μετατοπίσεις).



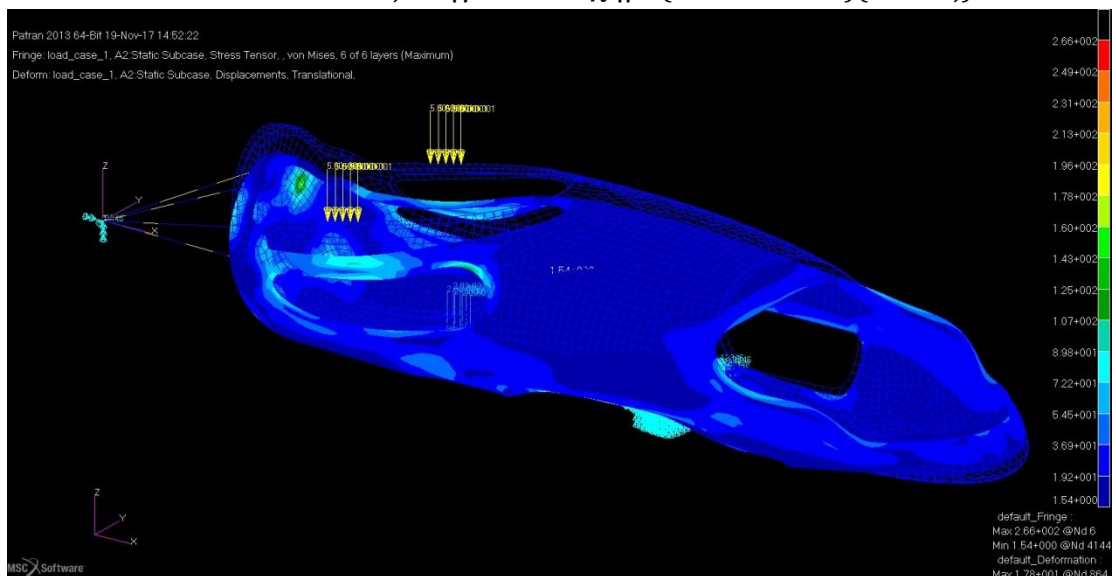
Εικόνα:3-3:Είσοδος οδηγού στο όχημα(Load_Case_1)(Μετατοπίσεις).



Εικόνα 3-4:Είσοδος οδηγού στο όχημα(Load_Case_1)(Τάσεις).

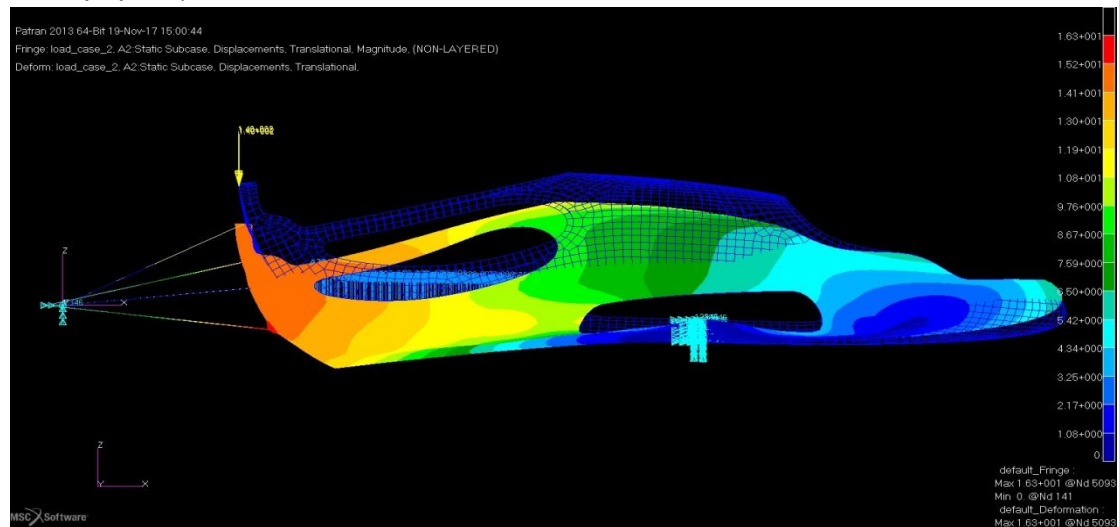


Εικόνα 3-5:Είσοδος οδηγού στο όχημα(Load_Case_1)(Τάσεις).

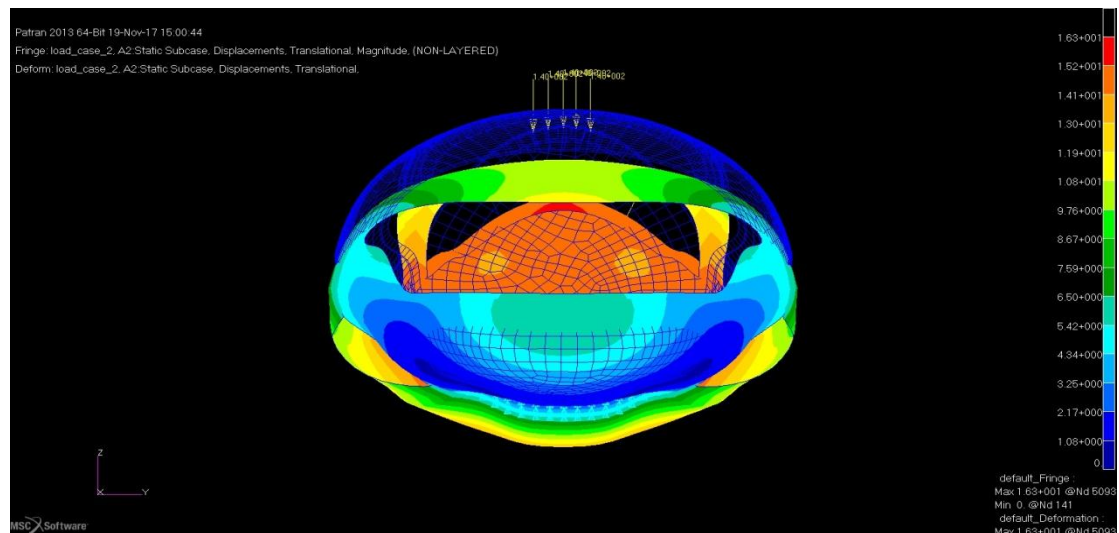


Εικόνα 3-6:Είσοδος οδηγού στο όχημα(Load_Case_1)(Τάσεις).

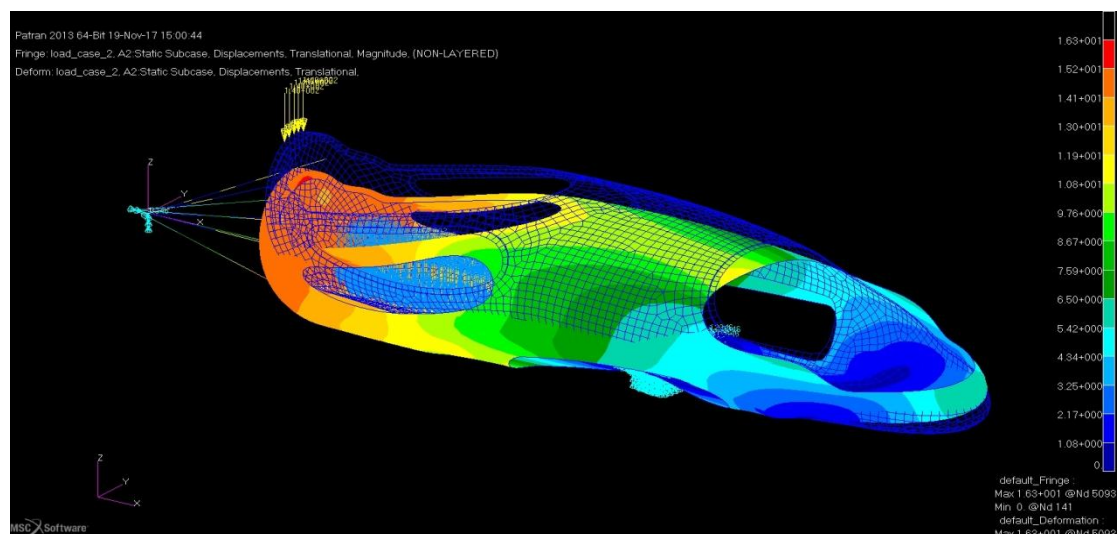
Συνθήκη ελέγχου 2.



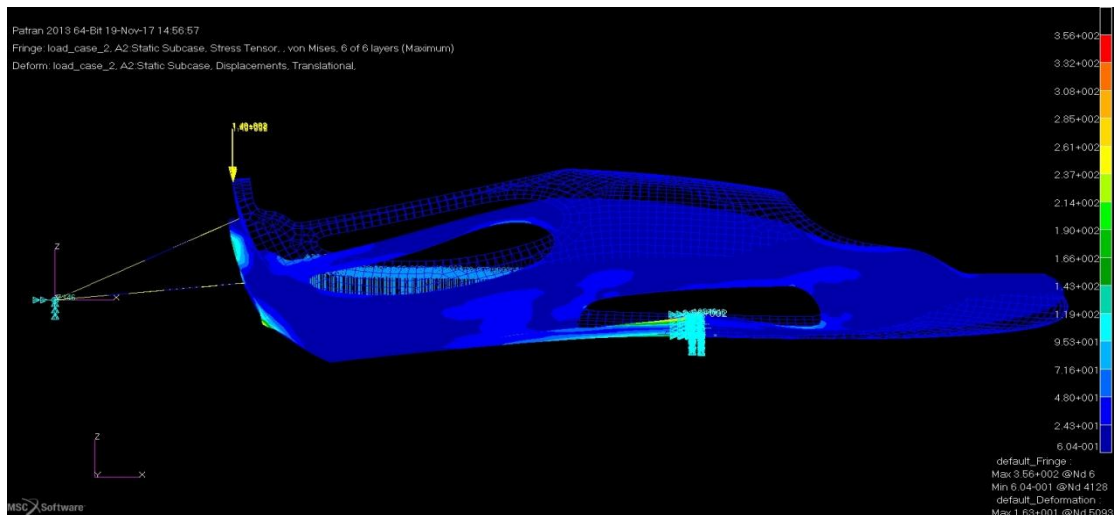
Εικόνα 3-7: Προστατευτικό πλαίσιο (Rollbar) (Load_Case_2) (Μετατοπίσεις).



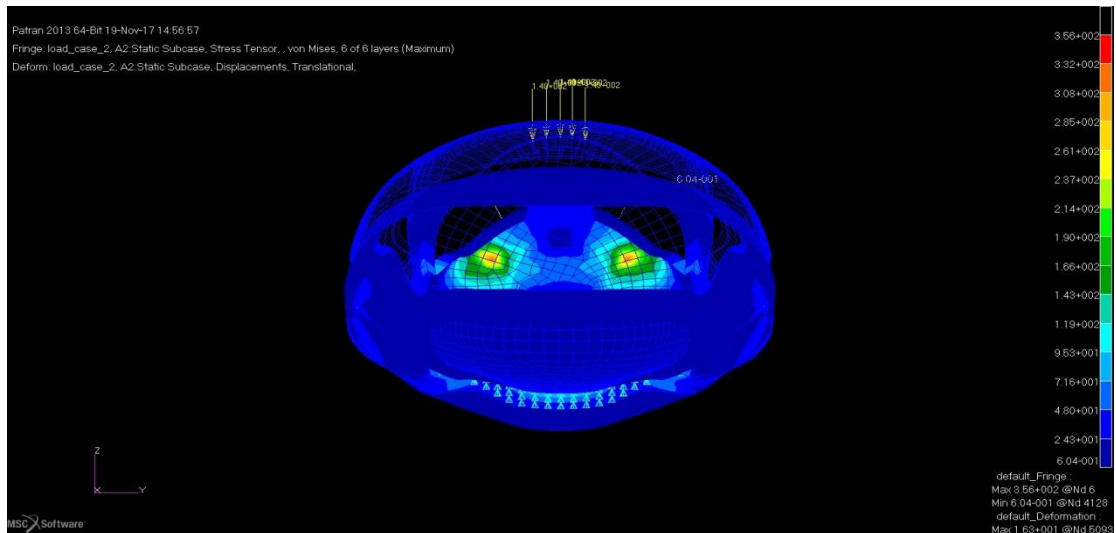
Εικόνα 3-8: Προστατευτικό πλαίσιο (Rollbar) (Load_Case_2) (Μετατοπίσεις).



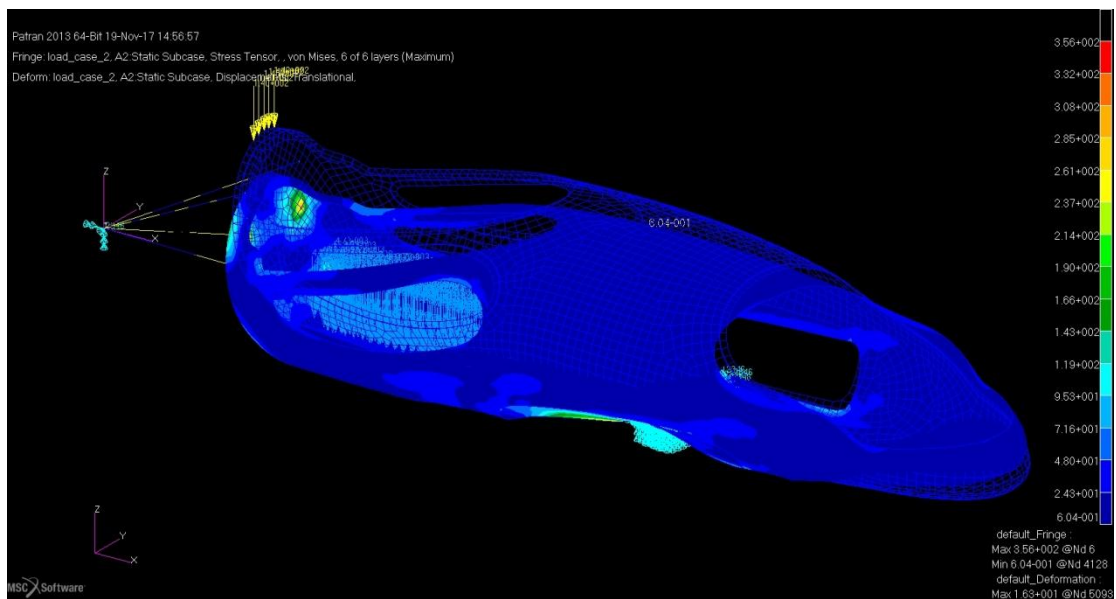
Εικόνα 3-9: Προστατευτικό πλαίσιο (Rollbar) (Load_Case_2) (Μετατοπίσεις).



Εικόνα 3-10:Προστατευτικόπλάισιο (Rollbar) (Load_Case_2)(Τάσεις).

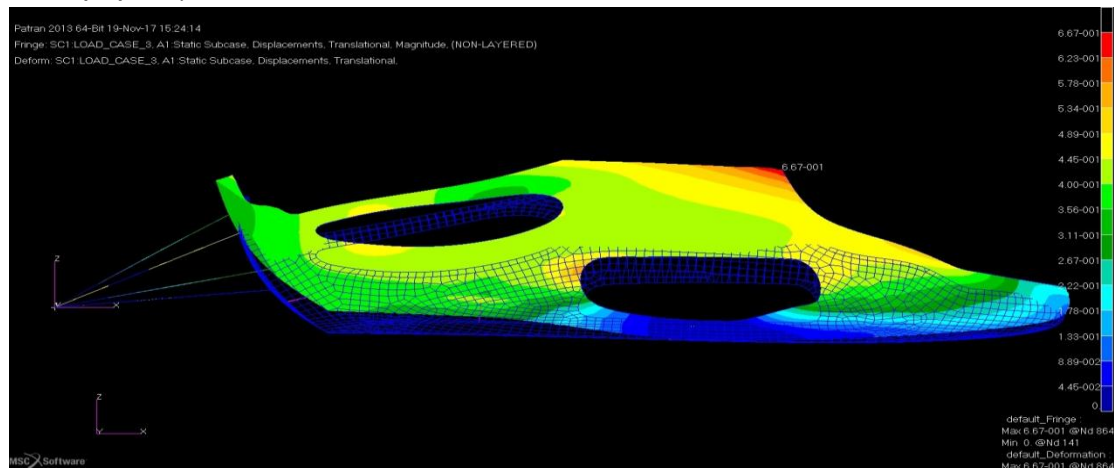


Εικόνα 3-11:Προστατευτικόπλάισιο (Rollbar) (Load_Case_2)(Τάσεις).

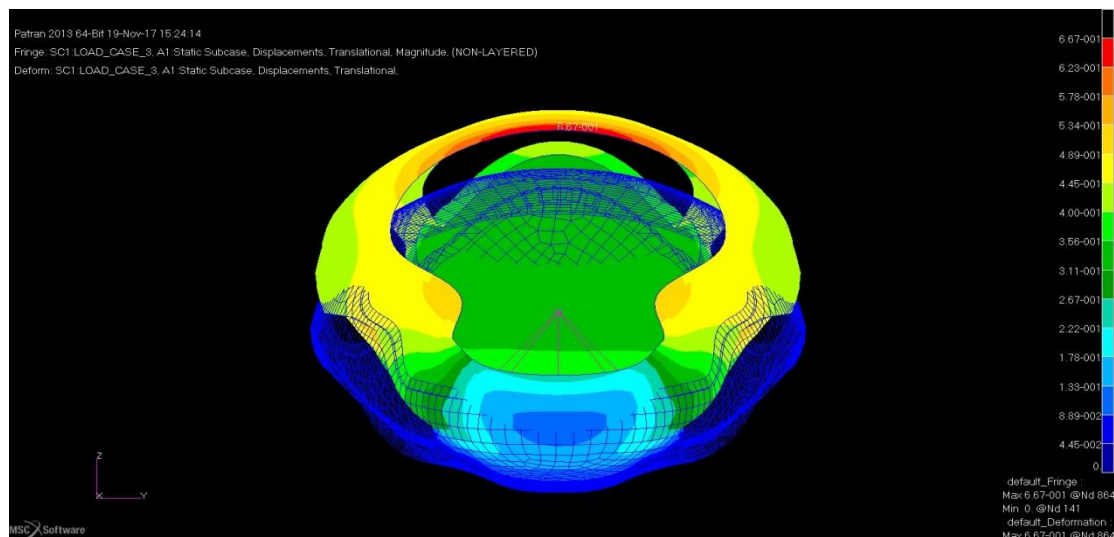


Εικόνα 3-12:Προστατευτικόπλάισιο (Rollbar) (Load_Case_2)(Τάσεις).

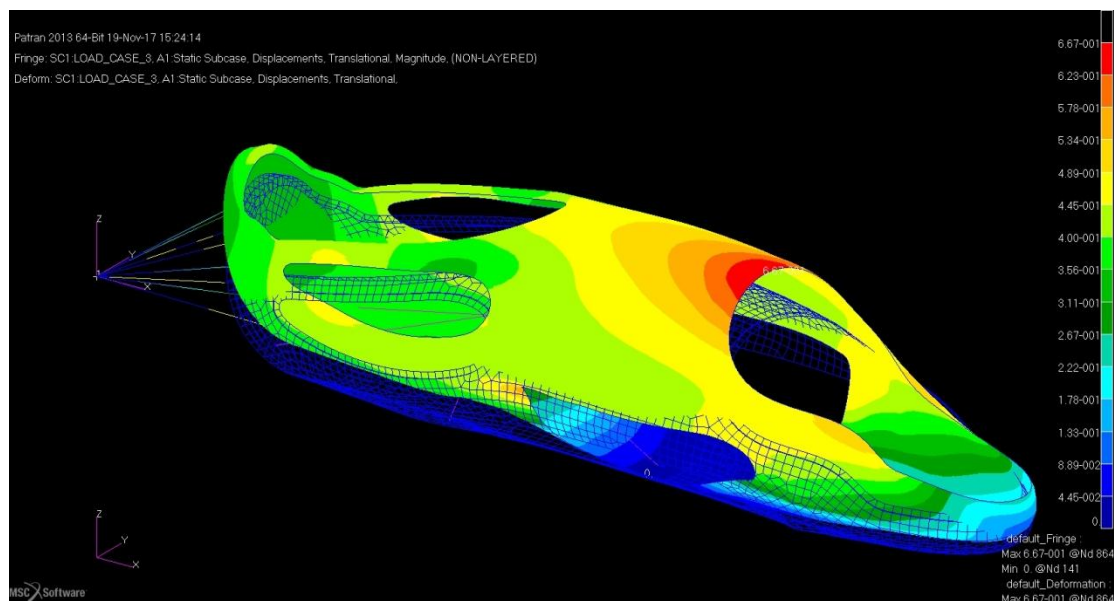
Συνθήκη ελέγχου 3.



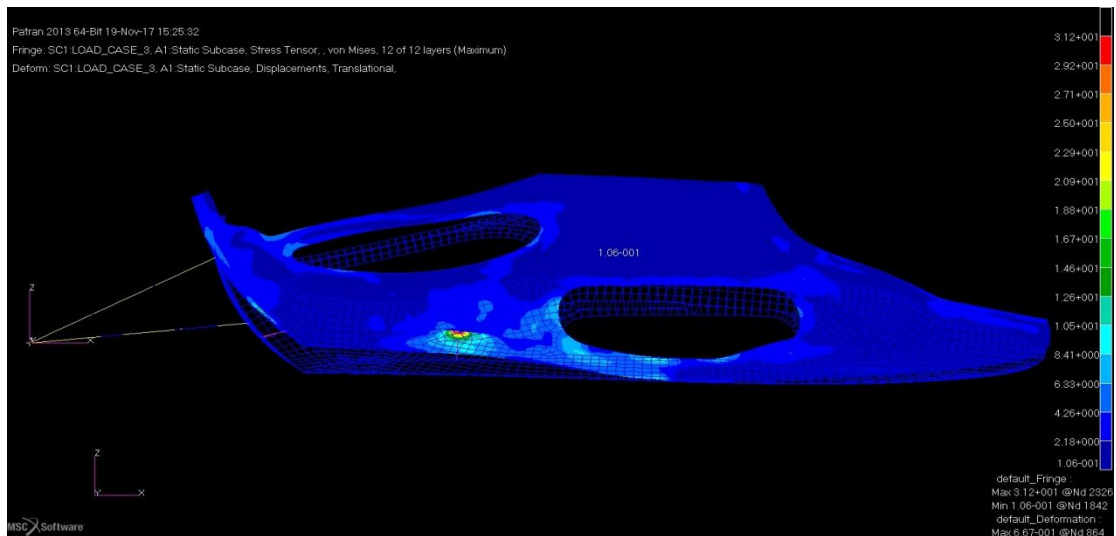
Εικόνα 3-13: Ζώνες οδηγού (Load Case 3) (Μετατοπίσεις).



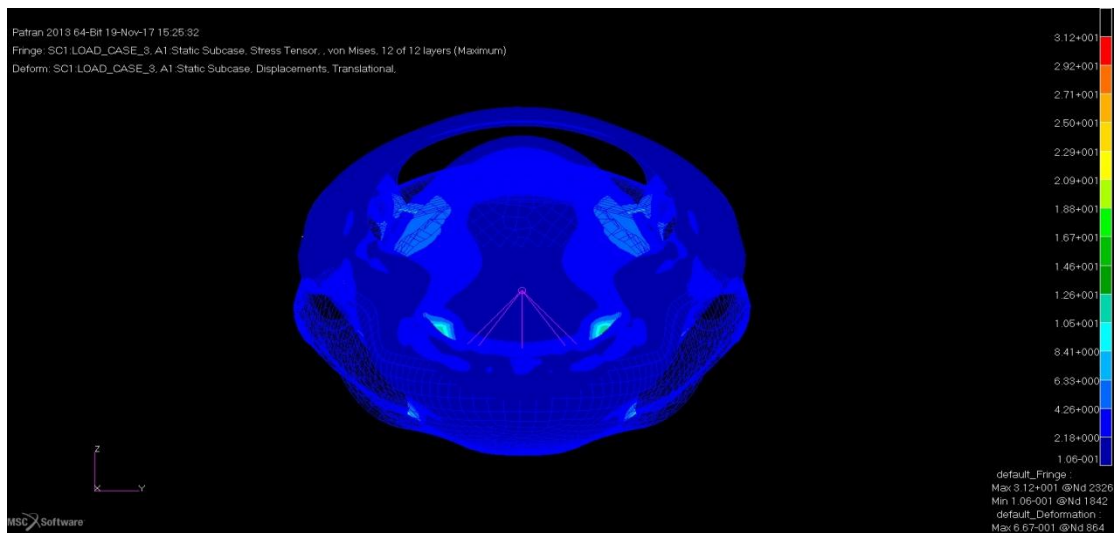
Εικόνα 3-14: Ζώνες οδηγού (Load Case 3) (Μετατοπίσεις).



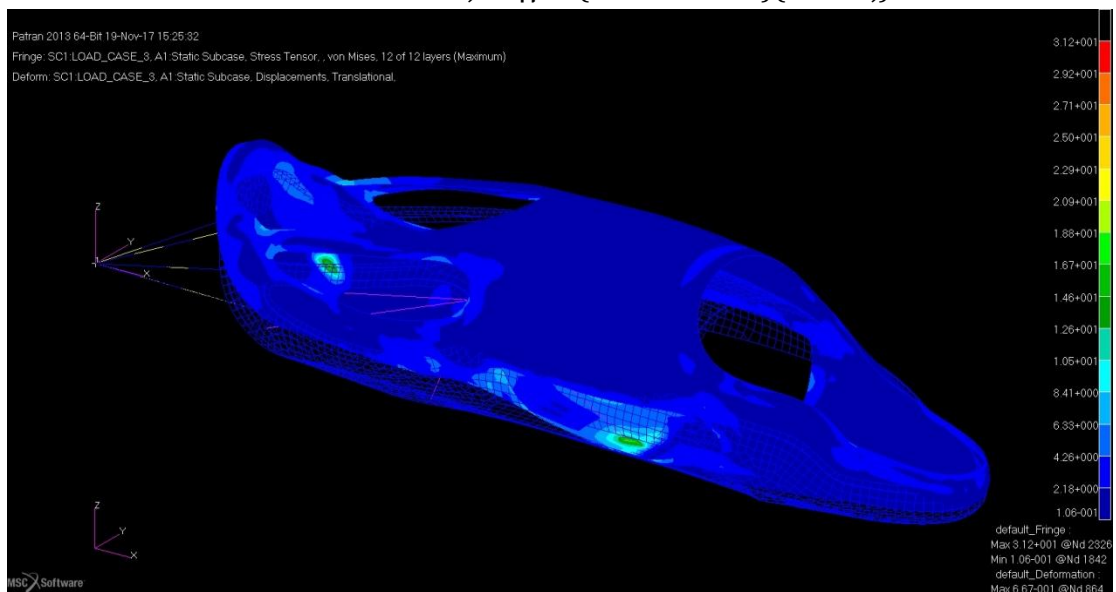
Εικόνα 3-15: Ζώνες οδηγού (Load Case 3) (Μετατοπίσεις).



Εικόνα 3-16:Ζώνεςοδηγού(Load_Case_3)(Τάσεις).

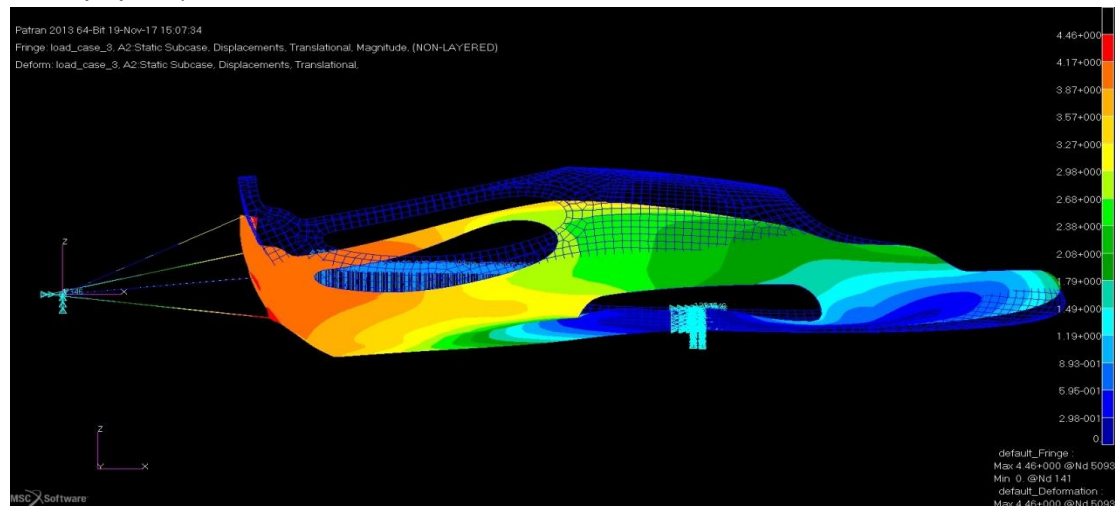


Εικόνα 3-17:Ζώνεςοδηγού(Load_Case_3)(Τάσεις).

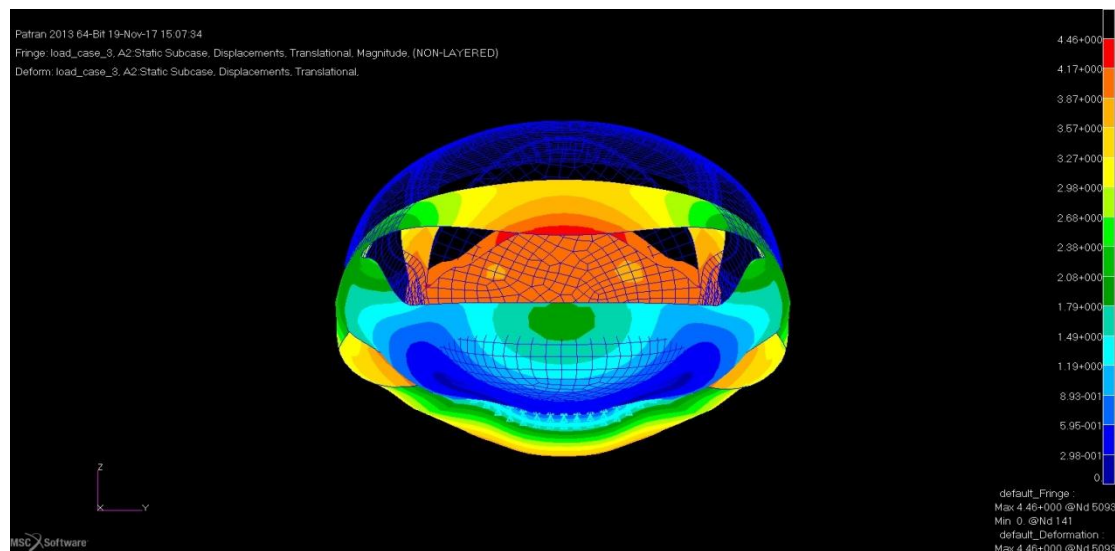


Εικόνα 3-18:Ζώνεςοδηγού(Load_Case_3)(Τάσεις).

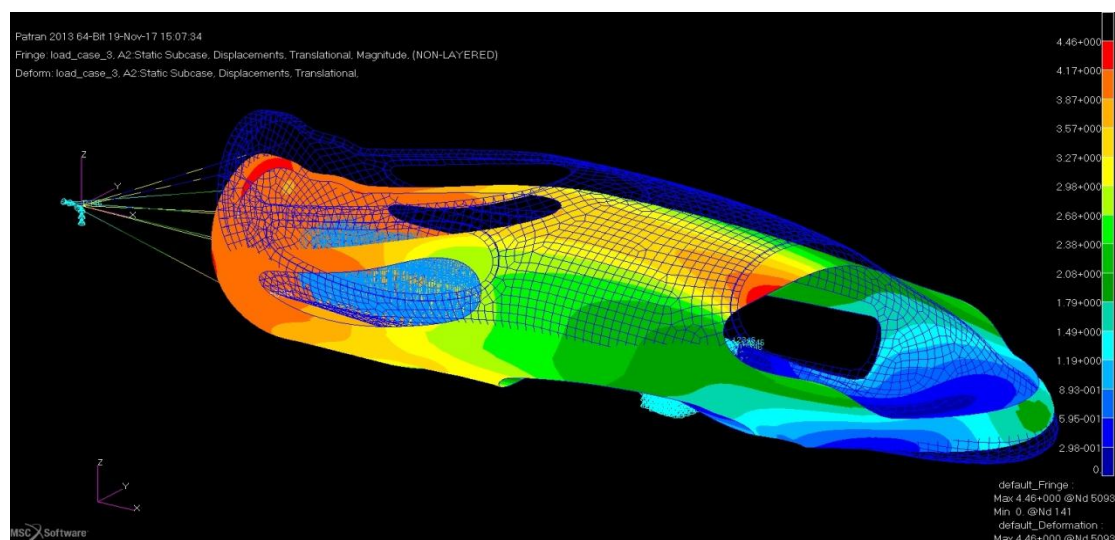
Συνθήκη ελέγχου 4.



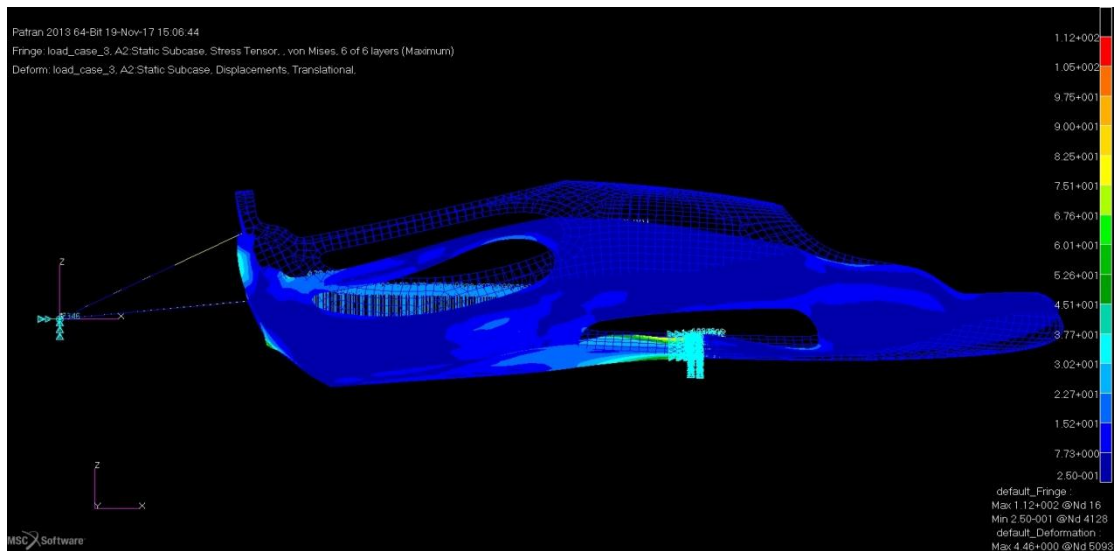
Εικόνα 3-22:Βάροςοδηγού(Load_Case_4) (Μετατοπίσεις).



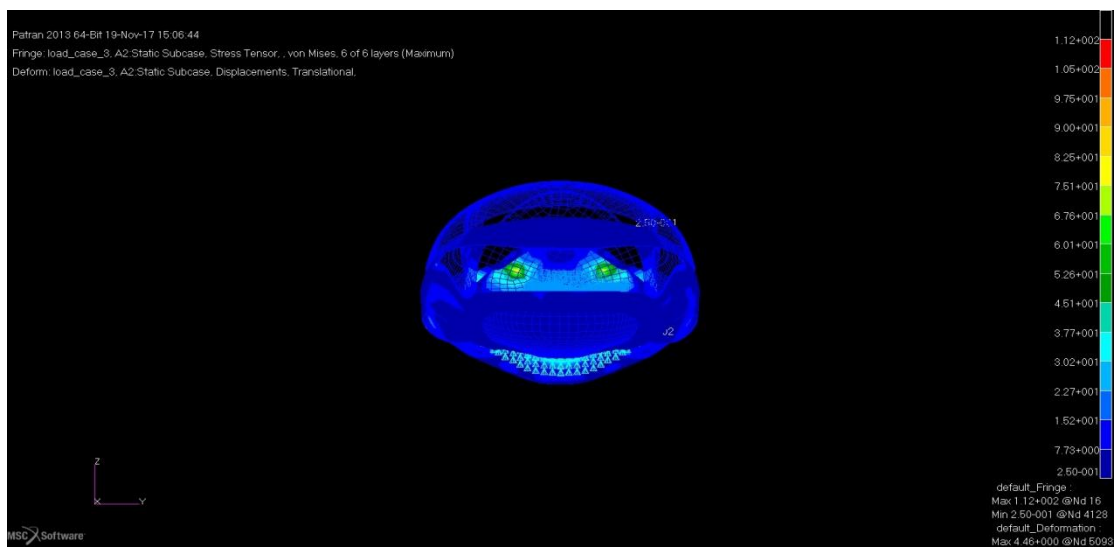
Εικόνα 3-23:Βάροςοδηγού(Load_Case_4) (Μετατοπίσεις).



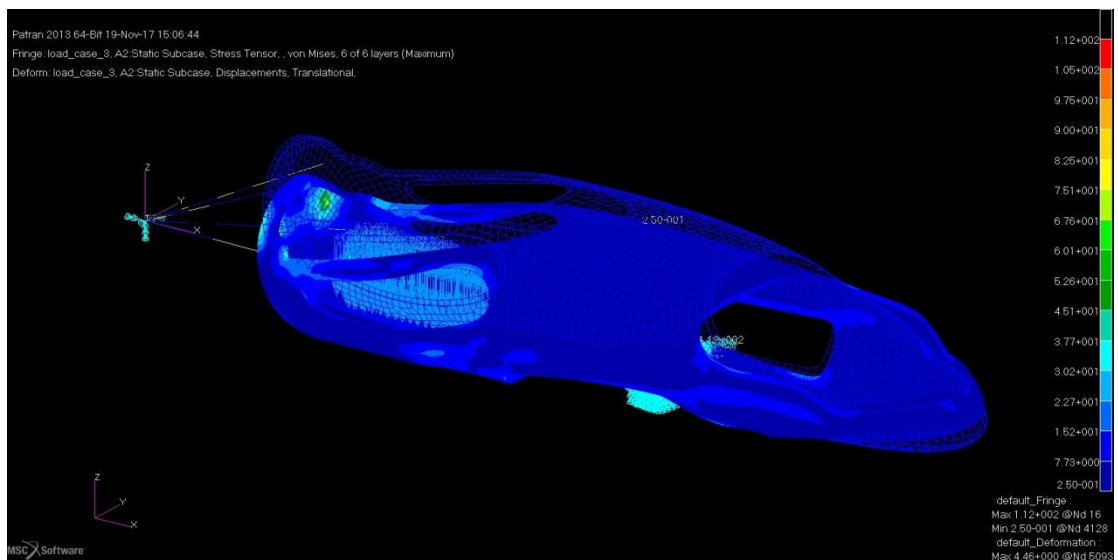
Εικόνα 3-24:Βάροςοδηγού(Load_Case_4) (Μετατοπίσεις).



Εικόνα 3-19:Βάροςοδηγού(Load_Case_4)(Τάσεις).

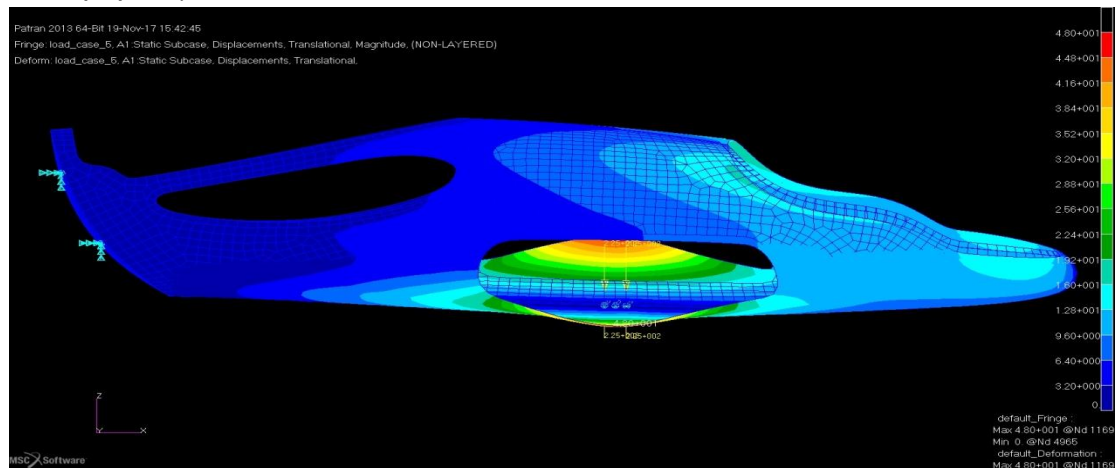


Εικόνα 3-20:Βάροςοδηγού(Load_Case_4) (Τάσεις).

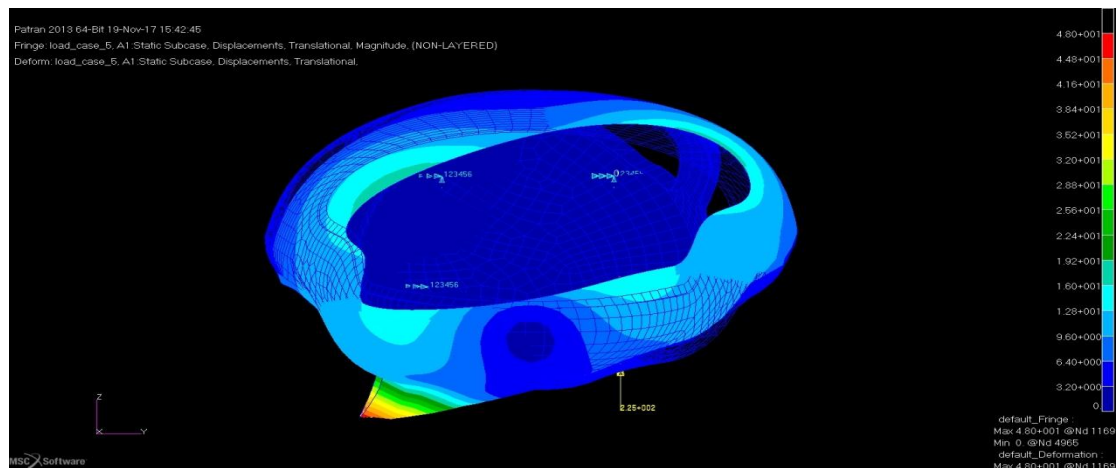


Εικόνα 3-21:Βάροςοδηγού(Load_Case_4) (Τάσεις).

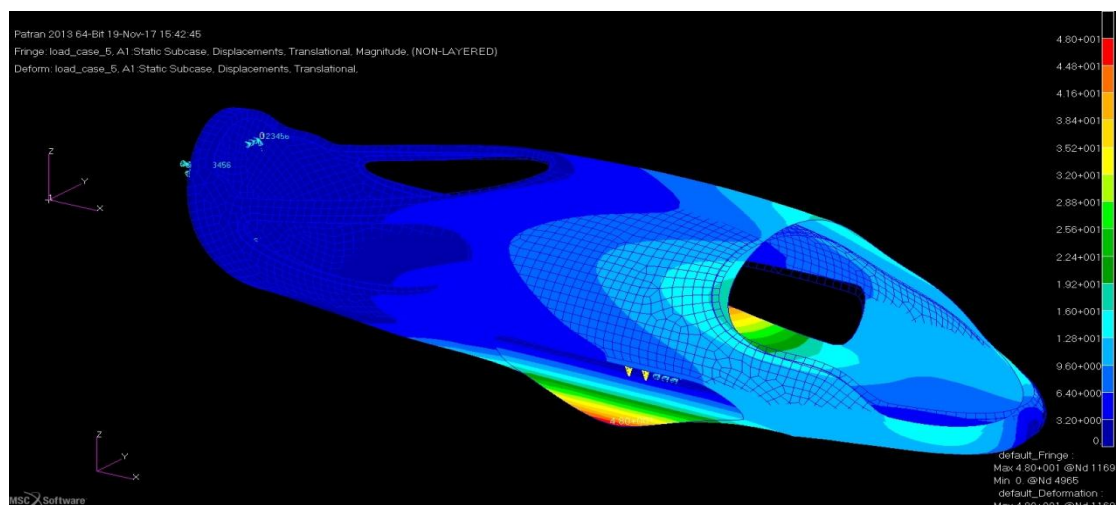
Συνθήκη ελέγχου 5.



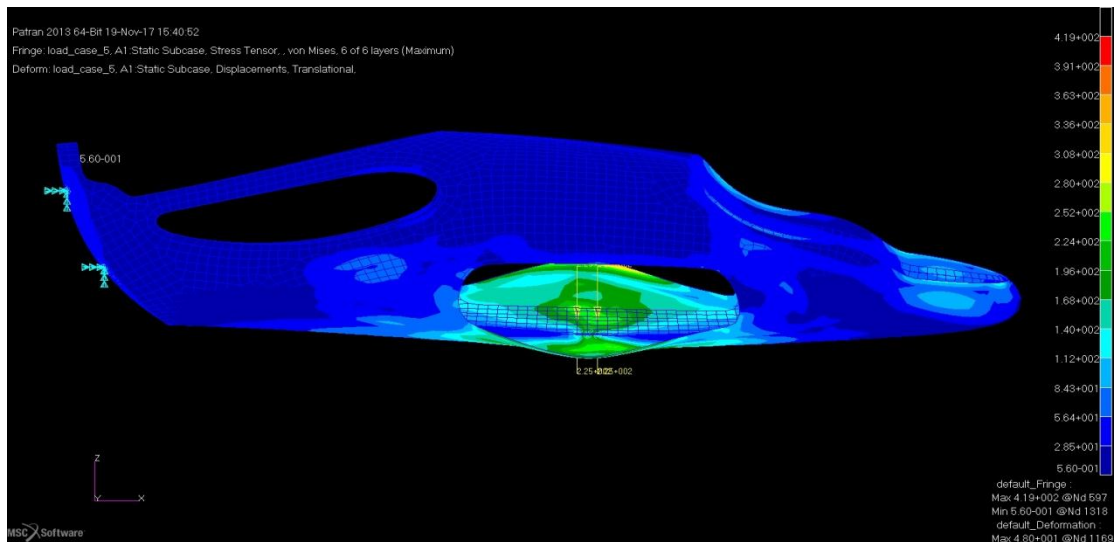
Εικόνα 3-25:Στρέψη στο σημείο σύνδεσης της γέφυρας(Load_Case_5)(Μετατοπίσεις).



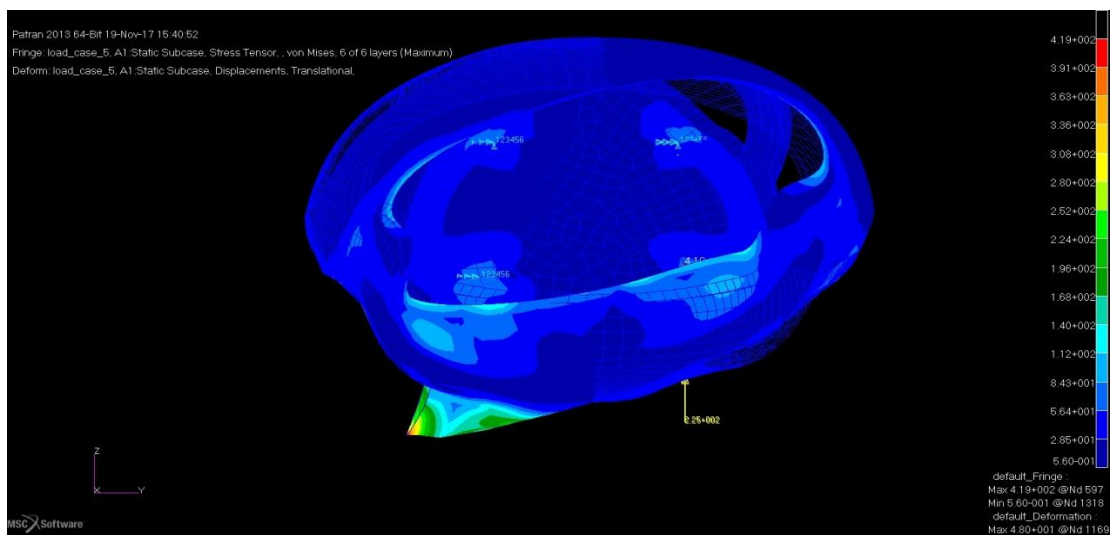
Εικόνα 3-26:Στρέψη στο σημείο σύνδεσης της γέφυρας(Load_Case_5)(Μετατοπίσεις).



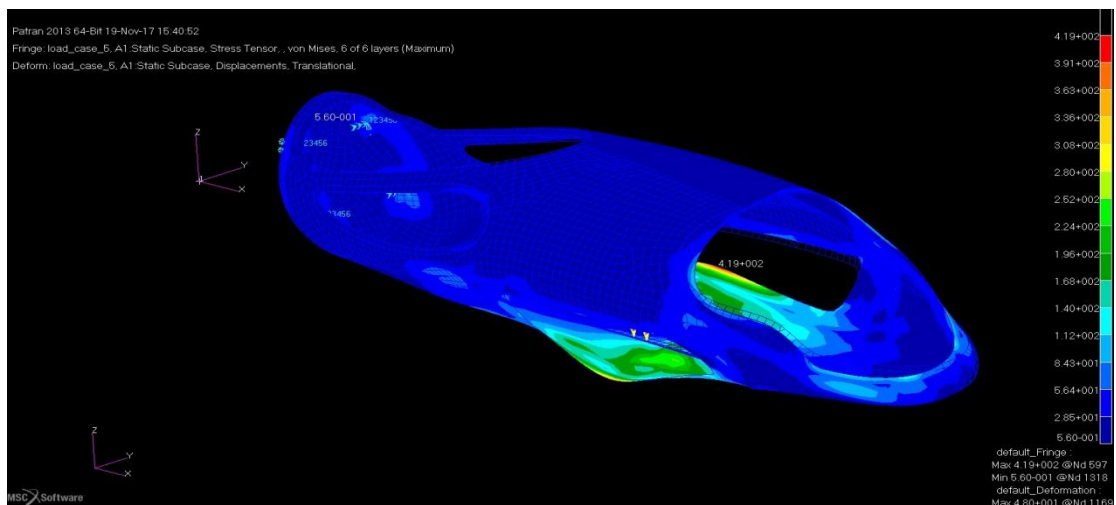
Εικόνα 3-27:Στρέψη στο σημείο σύνδεσης της γέφυρας(Load_Case_5)(Μετατοπίσεις).



Εικόνα 3-28:Στρέψη στο σημείο σύνδεσης της γέφυρας(Load_Case_5)(Τάσεις).

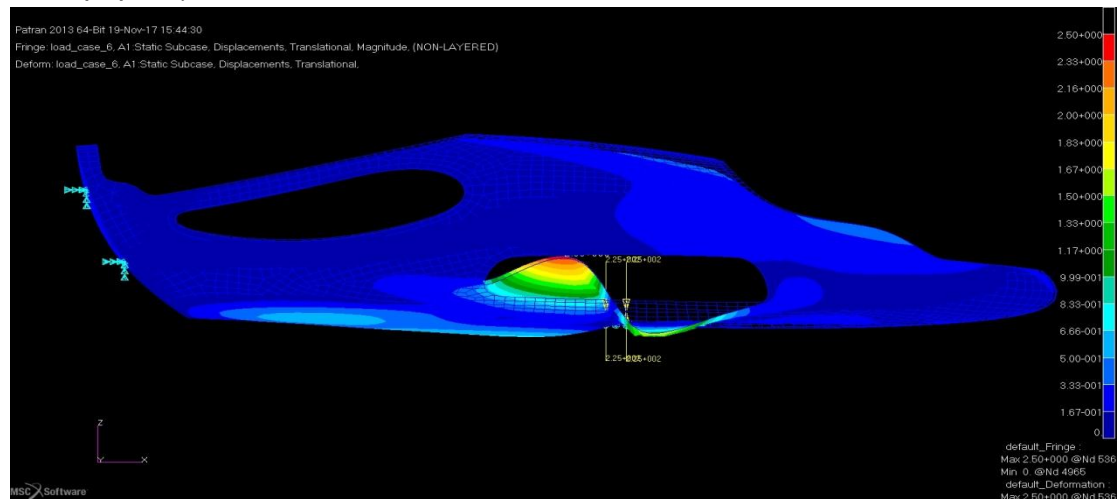


Εικόνα 3-29:Στρέψη στο σημείο σύνδεσης της γέφυρας(Load_Case_5)(Τάσεις).

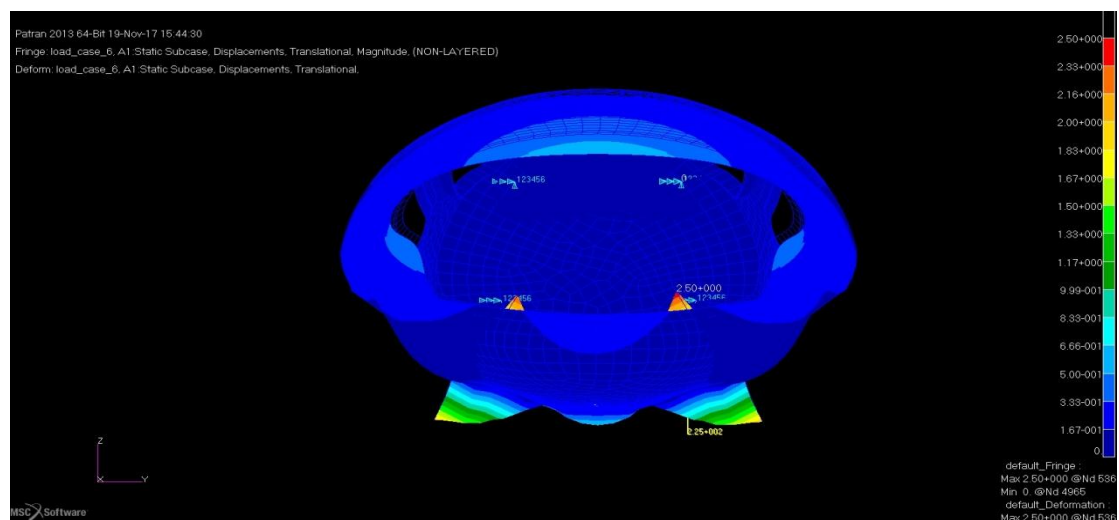


Εικόνα 3-30:Στρέψη στο σημείο σύνδεσης της γέφυρας(Load_Case_5)(Τάσεις).

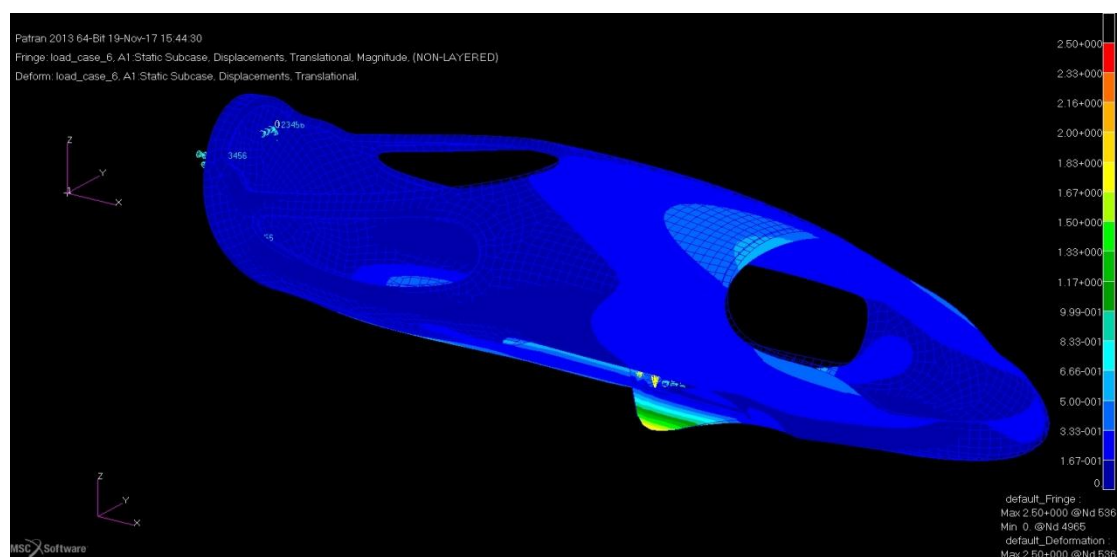
Συνθήκη ελέγχου 6.



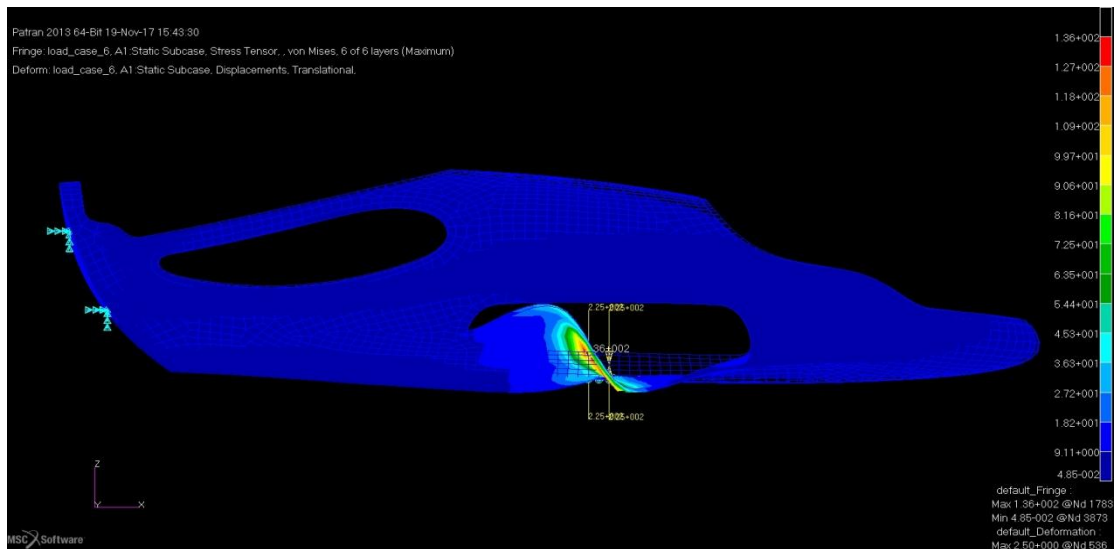
Εικόνα 3-31:Φρενάρισμα οχήματος(Load_Case_6)(Μετατοπίσεις).



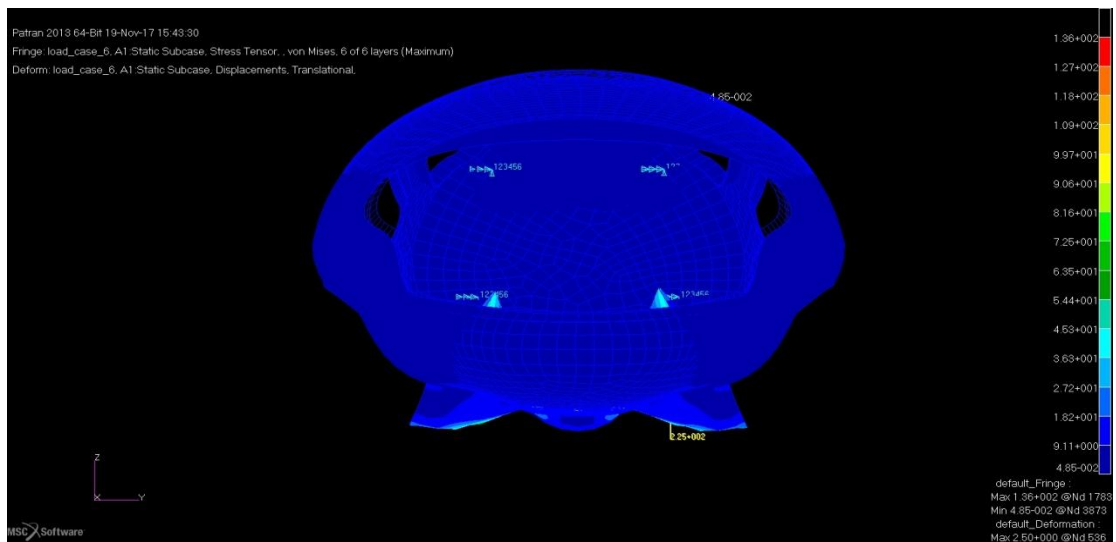
Εικόνα 3-32:Φρενάρισμα οχήματος(Load_Case_6)(Μετατοπίσεις).



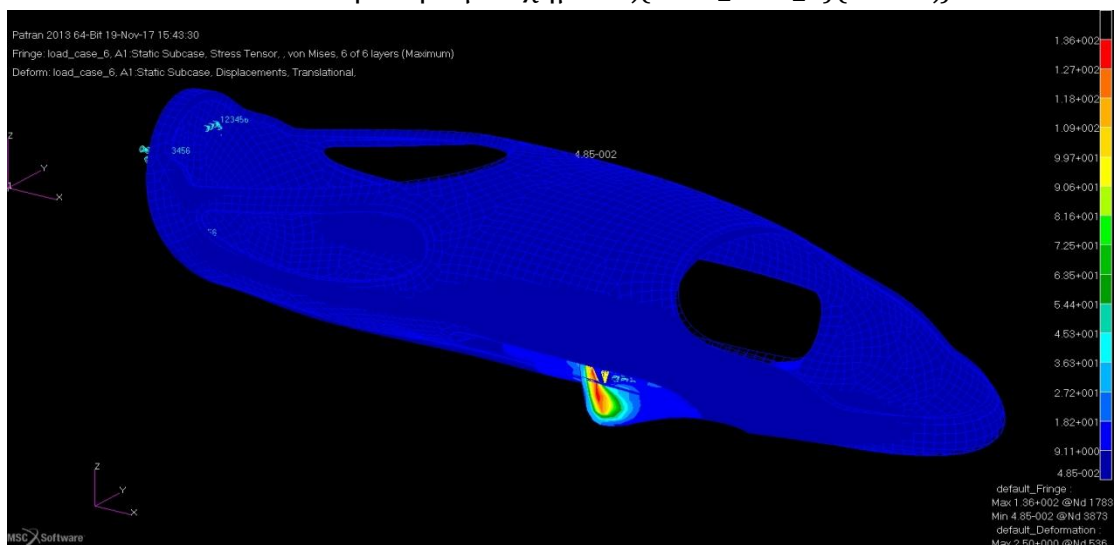
Εικόνα 3-33:Φρενάρισμα οχήματος(Load_Case_6)(Μετατοπίσεις).



Εικόνα 3-34:Φρενάρισμα οχήματος(Load_Case_6)(Τάσεις).

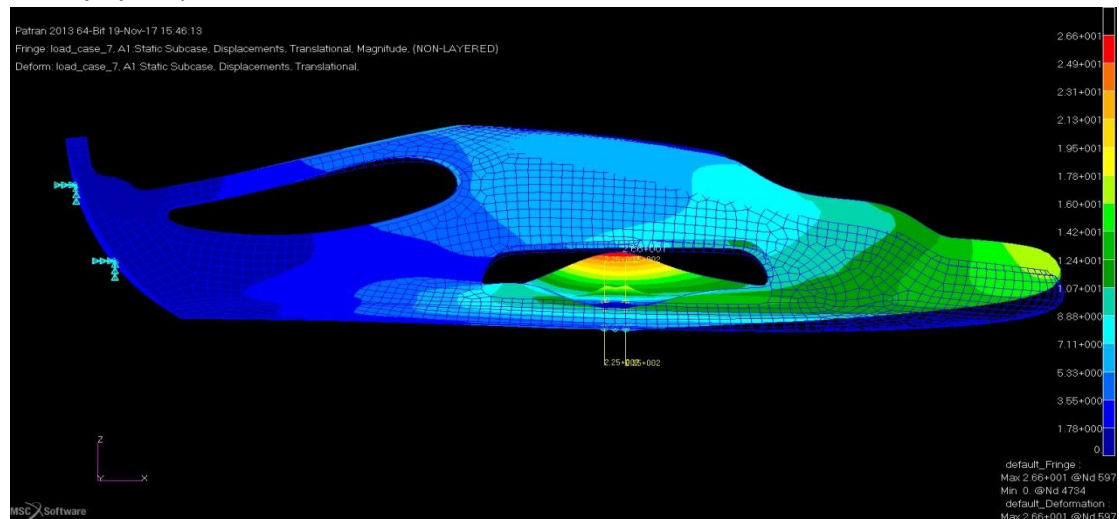


Εικόνα 3-35:Φρενάρισμα οχήματος(Load_Case_6)(Τάσεις).

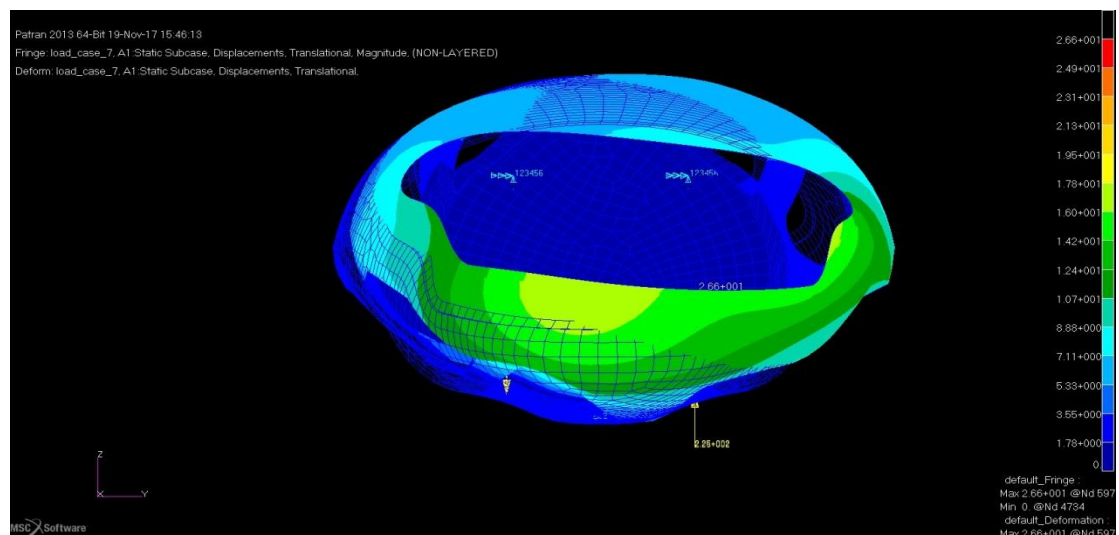


Εικόνα 3-36:Φρενάρισμα οχήματος(Load_Case_6)(Τάσεις).

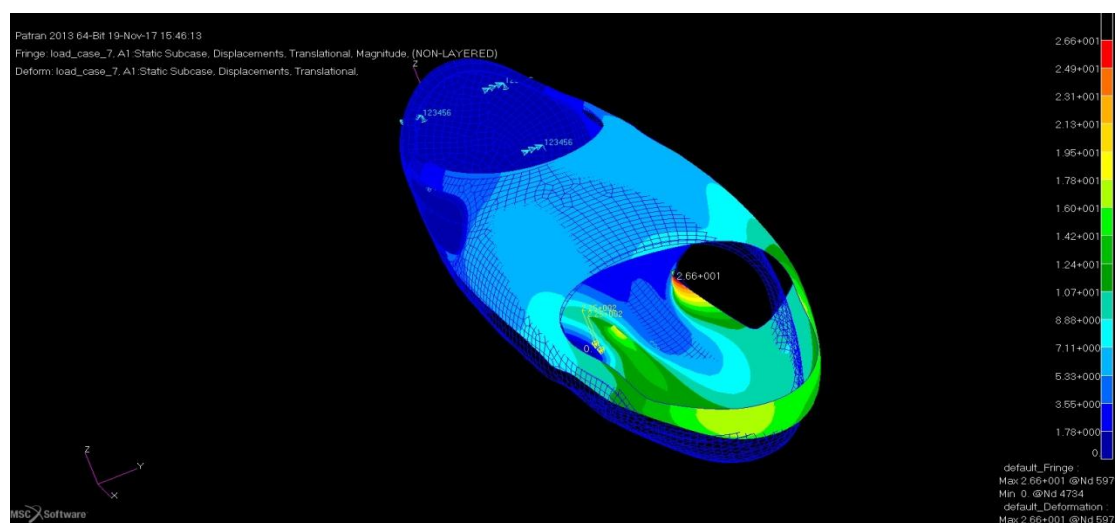
Συνθήκη ελέγχου 7.



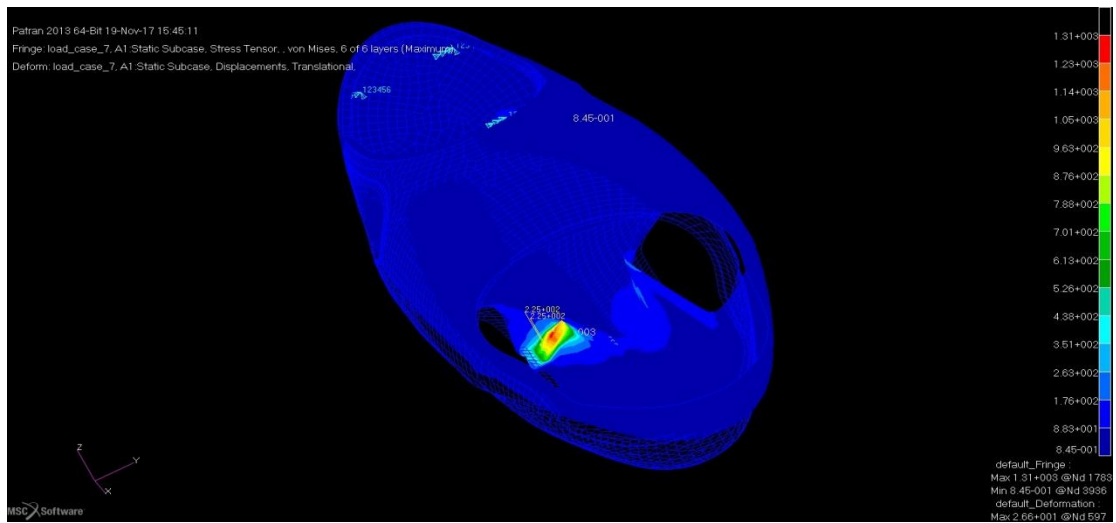
Εικόνα 3-37:Αλλαγή κατεύθυνσης οχήματος(Load_Case_7)(Μετατοπίσεις).



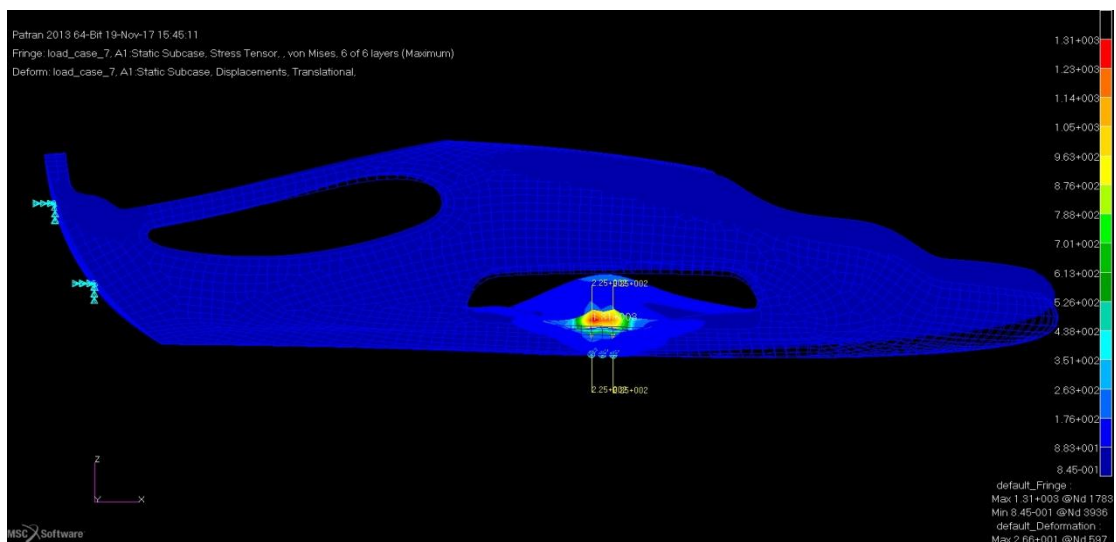
Εικόνα 3-38:Αλλαγή κατεύθυνσης οχήματος(Load_Case_7)(Μετατοπίσεις).



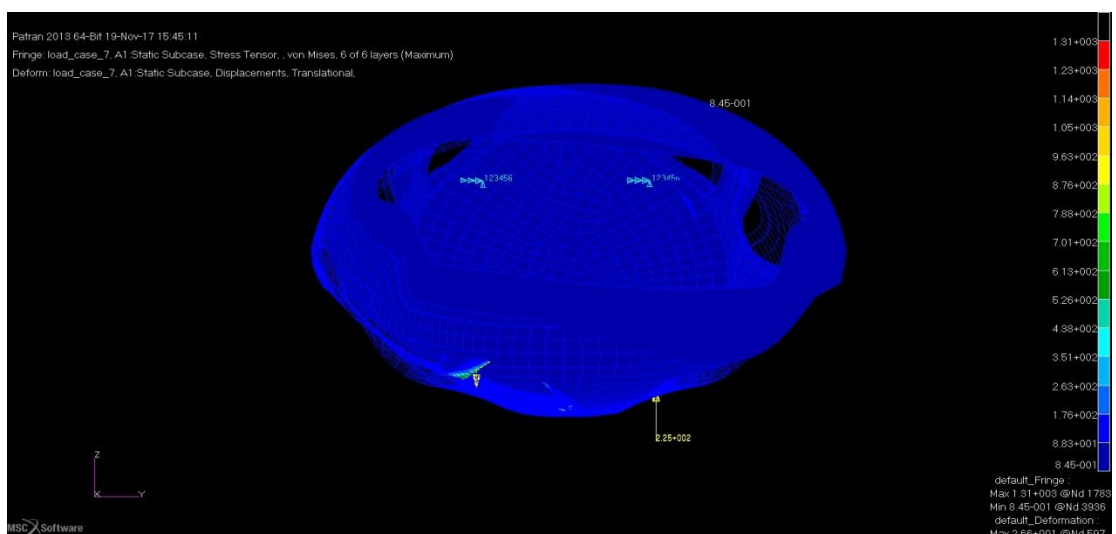
Εικόνα 3-39:Αλλαγή κατεύθυνσης οχήματος(Load_Case_7)(Μετατοπίσεις).



Εικόνα 3-40:Αλλαγή κατεύθυνσης οχήματος(Load_Case_7)(Τάσεις).



Εικόνα 3-41:Αλλαγή κατεύθυνσης οχήματος(Load_Case_7)(Τάσεις).



Εικόνα 3-42:Αλλαγή κατεύθυνσης οχήματος(Load_Case_7)(Τάσεις).

Αποτελέσματα συνθηκών ελέγχου

A/A	Μετατοπίσεις(mm)							vonmises(Mpa)	weight
	X	- X	Y	- Y	Z	- Z	magnitude	max.streeses	kg
loadcase 1	1.74	4.25	10.60	10.60	6.34	15.90	17.80	356.00	3.863
loadcase 2	1.83	5.18	5.91	5.96	0.61	2.14	16.30	266.00	3.863
loadcase 3	0.18	0.22	0.44	0.44	0.67	0.00	0.67	31.20	3.863
loadcase 4	0.63	1.31	2.43	2.44	1.81	4.38	4.46	112.00	3.863
loadcase 5	6.50	6.54	12.40	18.80	44.10	44.20	48.00	419.00	3.512
loadcase 6	0.04	0.24	1.24	1.30	2.13	1.69	2.50	136.00	3.512
loadcase 7	0.90	3.25	16.10	9.12	25.00	4.94	26.60	1310.00	3.512

Πίνακας 3-1:Αποτελέσματα μετατοπίσεων και τάσεων, ανάλυσης μοντέλου με ελάχιστη διαστρωμάτωση.

*Η διαφορά στο βάρος που παρατηρείται είναι διότι στις συνθήκες ελέγχου 1 έως 4, γίνεται η χρήση του πίσω υποπλαισίου, ενώ στις υπόλοιπες δεν ήταν αναγκαία η χρήση του.

3.2 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα της ανάλυσης, ανεξαρτήτως του μεγέθους των τάσεων και των μετατοπίσεων, τα σημεία ανάπτυξης τους και η φορά διεύθυνσης τους αντίστοιχα, που παρουσιάζεται σε κάθε συνθήκη ελέγχου έχουν μια λογική ροή σύμφωνα με την γεωμετρία και την φορά διεύθυνσης των επιβαλλόμενων φορτίων. Κατά συνέπεια προκύπτει ότι ο τρόπος με τον οποίον παραμορφώνεται το σασί, είναι ο επιθυμητός. Αυτό έχει τρία σημαντικά αποτελέσματα, πρώτον ότι η μοντελοποίηση του σασί πραγματοποιήθηκε σωστά,δεύτερον εξασφαλίζεται η εγκυρότητα των αποτελεσμάτων και τρίτων μπορούν να γίνουν αλλαγές στο σασί, σύμφωνα με τα αποτελέσματα,με στόχο την βελτιστοποίηση του.

Σύμφωνα με τα δεδομένα που αναγράφονται στον Πίν.11,και τα οποία προέκυψαν από την παραπάνω ανάλυση, παρουσιάζουν μεγάλες τιμές τόσο στις τάσεις όσο και στις μετατοπίσεις που δημιουργούνται από την επιβολή των φορτίων. Για αυτό τον λόγοπραγματοποιήθηκαν αλλαγές στη διαστρωμάτωση των φύλλων άνθρακα στο σασί καθώς τοποθετήθηκε και υλικό πυρήνα όπου ήταν αναγκαίο, έτσι ώστε να πραγματοποιηθούν επιπλέον αναλύσεις καινα εξεταστούν και πάλι τα δεδομένα. Στόχος όλης αυτής της διαδικασίας ήτανη επίτευξη της επιθυμητής ακαμψίας του οχήματος, σε συνδυασμό με την επίτευξη του ελαχίστου βάρους του. Κριτήριο της ακαμψίας είναι οι συνολικές (magnitude) μετατοπίσεις, της κάθε μιας συνθήκης ελέγχου, να μην υπερβαίνουν την τιμή των 4mm. Η παραπάνω τιμή έχει προκύψει από βιβλιογραφικές

αναφορές άλλων ομάδων, που συμμετέχουν στον διαγωνισμό και έχει κατασκευάσει οχήματα ίδιου τύπου.

Για να πραγματοποιηθεί ο παραπάνω στόχος θα πρέπει να μειωθούν οι μετατοπίσεις στα σημεία που εμφανίζονται, μέσω της ενίσχυσης τους. Σύμφωνα με τις παραπάνω εικόνες προκύπτουν τρεις ζώνες μετατοπίσεων.

Η πρώτη ζώνη προκύπτει από τις συνθήκες ελέγχου 1 έως 4 και αφορά στην πλάτη του οδηγού, σε συνδυασμό με το πάτωμα του οδηγού το οποίο είναι μέχρι το σημείο της εμπρός στήριξης. Η πλάτη αποτελεί ένα από τα πιο ευαίσθητα σημεία του οχήματος διότι πάνω σε αυτήν συνδέεται το πίσω υποπλαίσιο, στο οποίο στηρίζεται ο πίσω τροχός καθώς και ο κινητήρας του οχήματος.

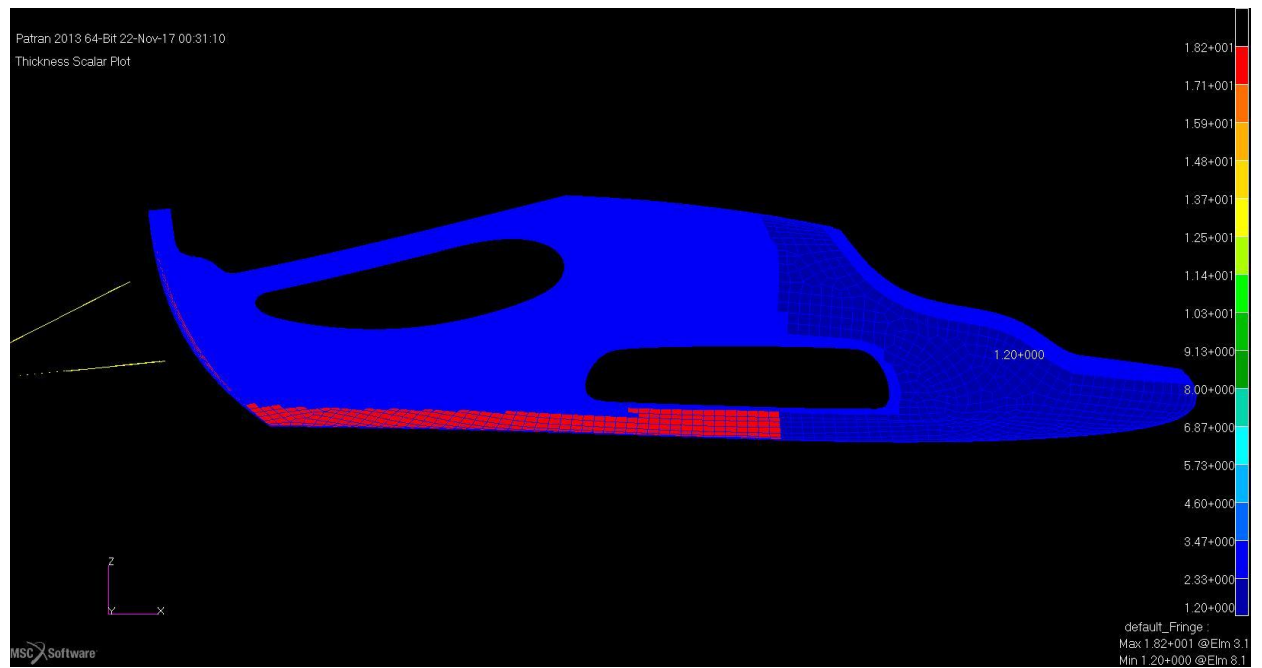
Η δεύτερη ζώνη προκύπτει από τις συνθήκες ελέγχου 5 έως 7 και αφορούν το σημείο στο οποίο θα τοποθετηθεί η γέφυρα του οχήματος, η οποία αποτελεί το σύστημα διεύθυνσης του οχήματος. Το σημείο αυτό αποτελεί το δεύτερο πιο ευαίσθητο σημείο του οχήματος, διότι ο έλεγχος του οχήματος κατά την διάρκεια ενός αγώνα αποτελεί σημαντικό παράγοντα τόσο για την ασφάλεια του οδηγού όσο και για την επίτευξη του επιθυμητού αποτελέσματος.

Η τρίτη ζώνη προκύπτει από όλες τις συνθήκες ελέγχου και αφορά τα όρια της γεωμετρίας, δηλαδή τα παράθυρα ή τα ανοίγματα για την είσοδο του οδηγού ή την τοποθέτηση των τροχών. Οι παραμορφώσεις αυτές προκύπτουν, από την μεταφορά των τάσεων, οι οποίες πάντα κατευθύνονται σε σημεία που η ακαμψία είναι μικρή.

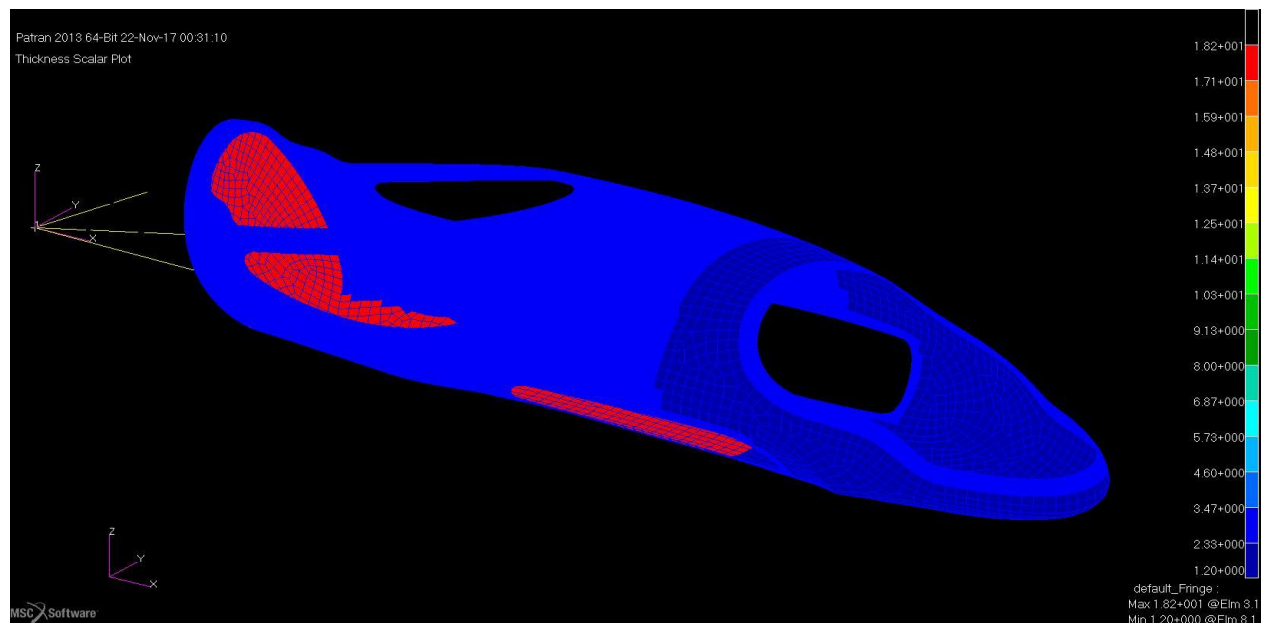
3.3 Επιλογή τελικού μοντέλου

Για τον προσδιορισμό του τελικού μοντέλου, πραγματοποιηθήκαν αναλύσεις σε διάφορα μοντέλα. Στη συνέχεια παρουσιάζονται με σειρά τα μοντέλα τα οποία δημιουργήθηκαν, από το αρχικό μέχρι το τελικό.

Παρουσίαση μοντέλων

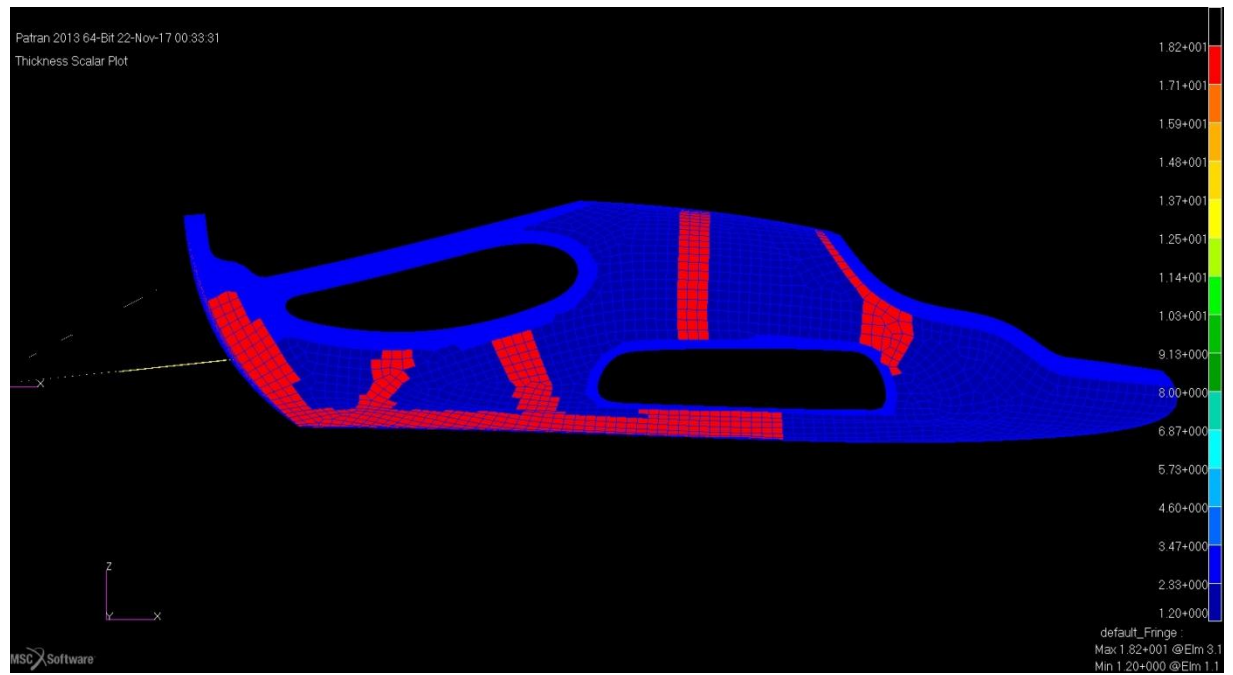


Εικόνα 3-43: Μοντέλο 10.

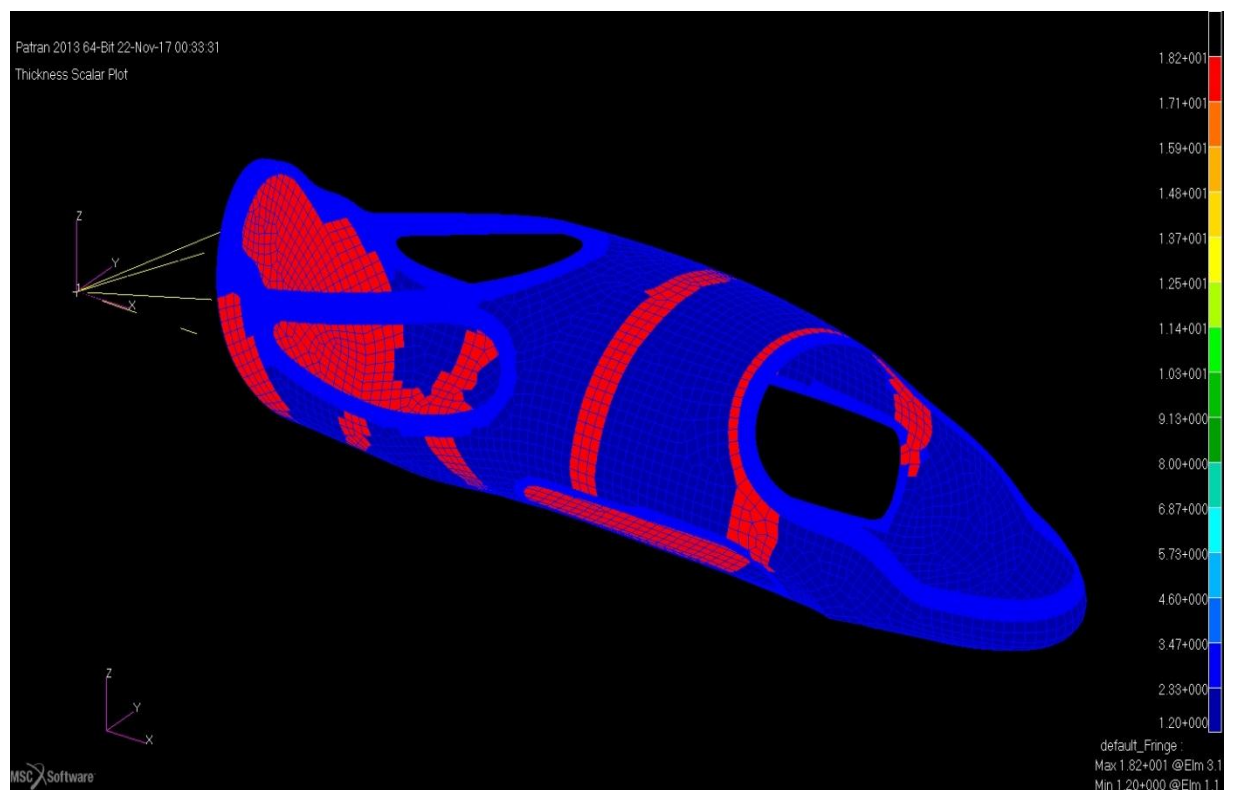


Εικόνα 3-44: Μοντέλο 10.

Μοντέλο 2ο.

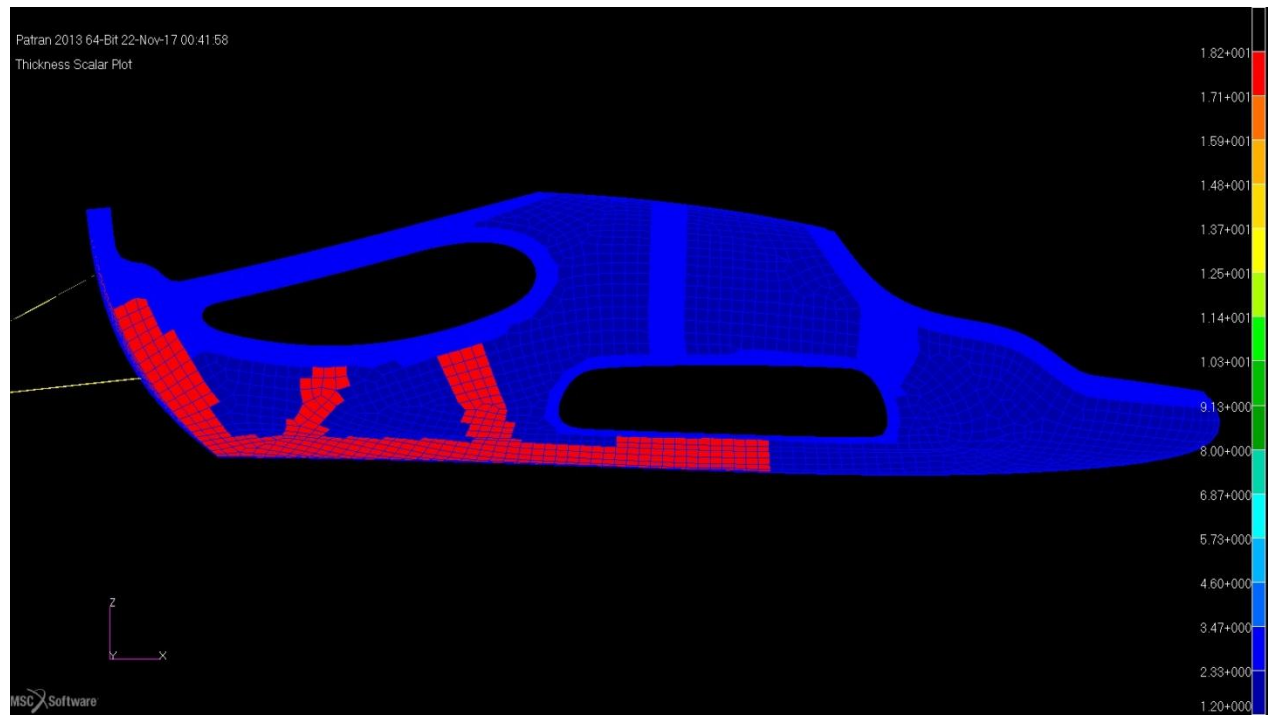


Εικόνα 3-44: Μοντέλο 2ο.

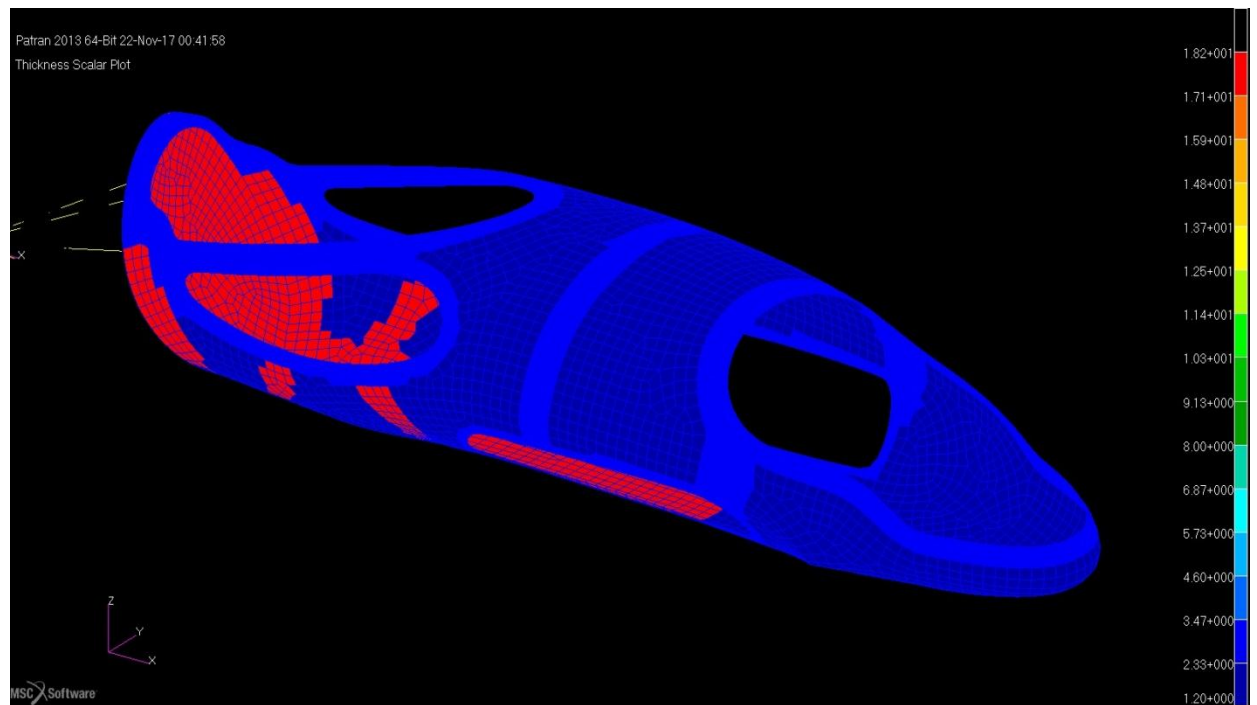


Εικόνα 3-45: Μοντέλο 2ο.

Μοντέλο 3ο.

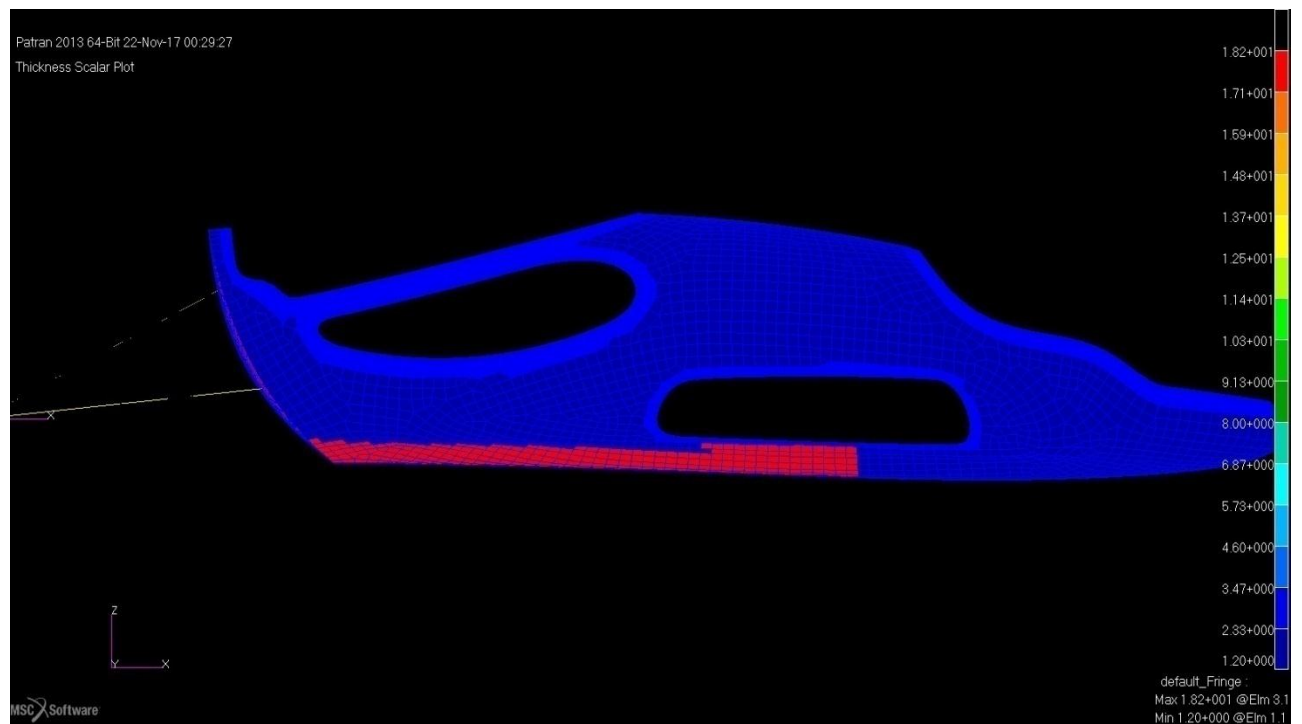


Εικόνα 3-46: Μοντέλο 3ο.

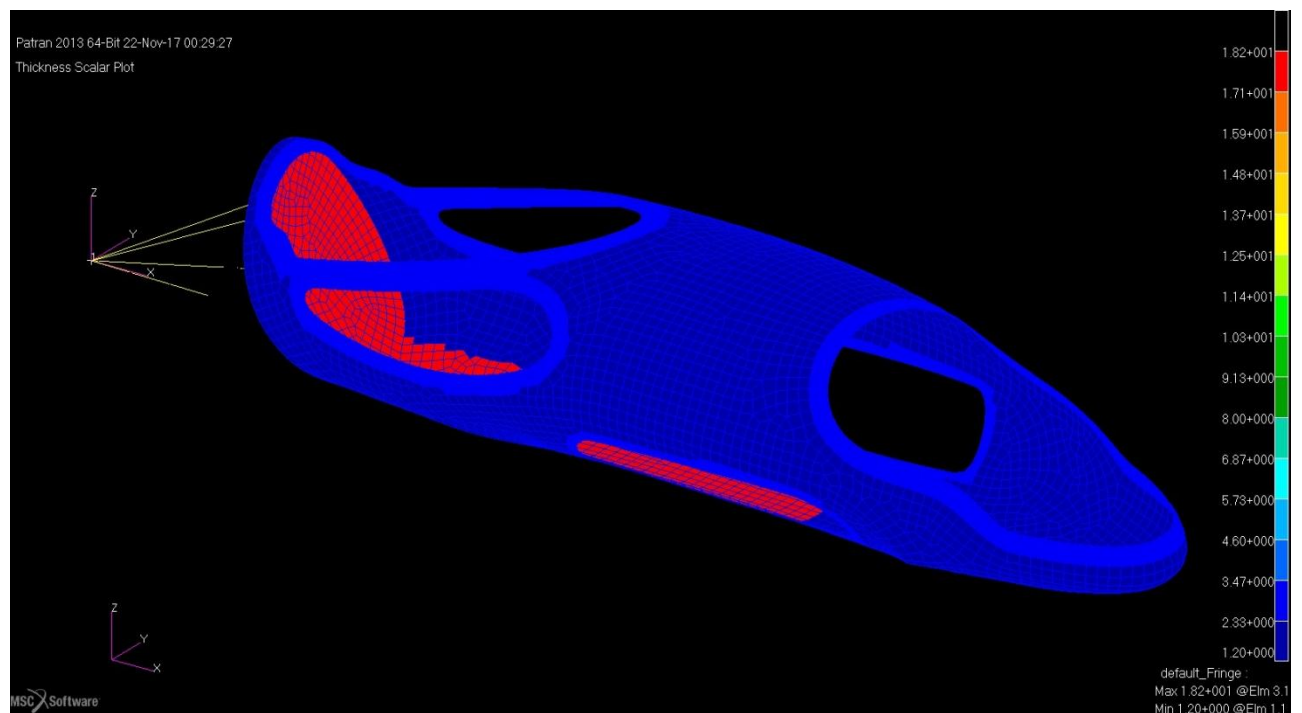


Εικόνα 3-47: Μοντέλο 3ο.

Μοντέλο 4ο.



Εικόνα 3-48: Μοντέλο 4ο.



Εικόνα 3-49: Μοντέλο 4ο.

Πίνακες αποτελεσμάτων

A/A	Μετατοπίσεις(mm)							Von mises(Mpa)	weight
	X	- X	Y	- Y	Z	- Z	magnitude	max.streeses	kg
loadcase 1	0.272	0.818	1.700	1.740	1.220	2.750	2.780	69.800	8.515
loadcase 2	0.255	1.330	0.683	0.766	1.870	3.640	2.950	88.400	8.515
loadcase 3	0.293	0.306	0.776	0.745	1.190	0.251	1.200	26.600	8.515
loadcase 4	0.103	0.353	0.426	0.438	0.419	1.040	1.070	33.400	8.515
loadcase 5	0.489	0.482	0.976	0.106	2.820	2.900	3.080	48.200	8.164
loadcase 6	0.012	0.054	0.106	0.119	0.004	0.184	0.184	7.030	8.164
loadcase 7	0.151	0.305	0.898	0.349	1.730	0.362	2.260	41.800	8.164

Πίνακας 3-2:Αποτελέσματα μετατοπίσεων και τάσεων, ανάλυσης Μοντέλου 1ου.

A/A	Μετατοπίσεις(mm)							Von mises(Mpa)	weight
	X	- X	Y	- Y	Z	- Z	magnitude	max.streeses	kg
loadcase 1	0.232	0.849	0.792	0.792	0.951	2.620	2.670	65.400	7.351
loadcase 2	0.231	1.370	0.557	0.598	1.780	0.367	3.800	82.800	7.351
loadcase 3	0.172	0.290	0.331	0.331	0.923	0.120	0.934	38.100	7.351
loadcase 4	0.934	0.357	0.199	0.192	0.418	0.103	1.060	32.300	7.351
loadcase 5	0.264	0.262	0.436	1.050	2.850	2.850	3.030	64.600	7.010
loadcase 6	0.006	0.038	0.041	0.055	0.097	0.008	0.089	7.100	7.010
loadcase 7	0.064	0.209	0.503	0.306	1.740	0.388	1.770	41.600	7.010

Πίνακας 3-3:Αποτελέσματα μετατοπίσεων και τάσεων, ανάλυσης Μοντέλου 2ου.

A/A	Μετατοπίσεις(mm)							Von mises(Mpa)	weight
	X	- X	Y	- Y	Z	- Z	magnitude	max.streeses	kg
loadcase 1	0.254	0.841	1.480	1.510	1.170	2.720	2.760	66.500	7.259
loadcase 2	0.239	1.380	0.618	0.664	1.860	3.700	3.830	82.700	7.259
loadcase 3	0.258	0.298	0.656	0.648	1.090	0.217	1.100	38.200	7.259
loadcase 4	0.098	0.355	0.357	0.355	0.465	1.040	1.060	32.500	7.259
loadcase 5	0.386	0.386	0.448	1.090	2.950	2.960	3.150	57.400	6.908
loadcase 6	0.008	0.053	0.095	0.112	0.018	0.176	0.177	6.920	6.908
loadcase 7	0.118	0.276	0.838	0.320	1.850	0.403	1.870	41.800	6.908

Πίνακας 3-4:Αποτελέσματα μετατοπίσεων και τάσεων, ανάλυσης Μοντέλου 3ου.

A/A	Μετατοπίσεις(mm)							Von mises(Mpa)	weight
	X	- X	Y	- Y	Z	- Z	magnitude	max.streeses	kg
loadcase 1	0.405	0.939	2.440	2.420	1.050	4.020	4.070	72.200	6.517
loadcase 2	0.371	1.430	1.280	1.320	1.680	4.110	4.230	86.900	6.517
loadcase 3	0.337	0.354	0.960	0.950	1.650	0.178	1.660	38.300	6.517
loadcase 4	0.145	0.362	0.616	0.622	0.416	1.170	1.190	35.300	6.517
loadcase 5	0.612	0.608	1.400	1.790	4.820	4.800	5.140	120.000	6.166
loadcase 6	0.175	0.406	1.510	0.359	0.036	0.200	0.200	6.970	6.166
loadcase 7	0.127	0.327	1.390	0.068	2.590	0.596	2.610	42.600	6.166

Πίνακας 3-5:Αποτελέσματα μετατοπίσεων και τάσεων, ανάλυσης Μοντέλου 4ου.

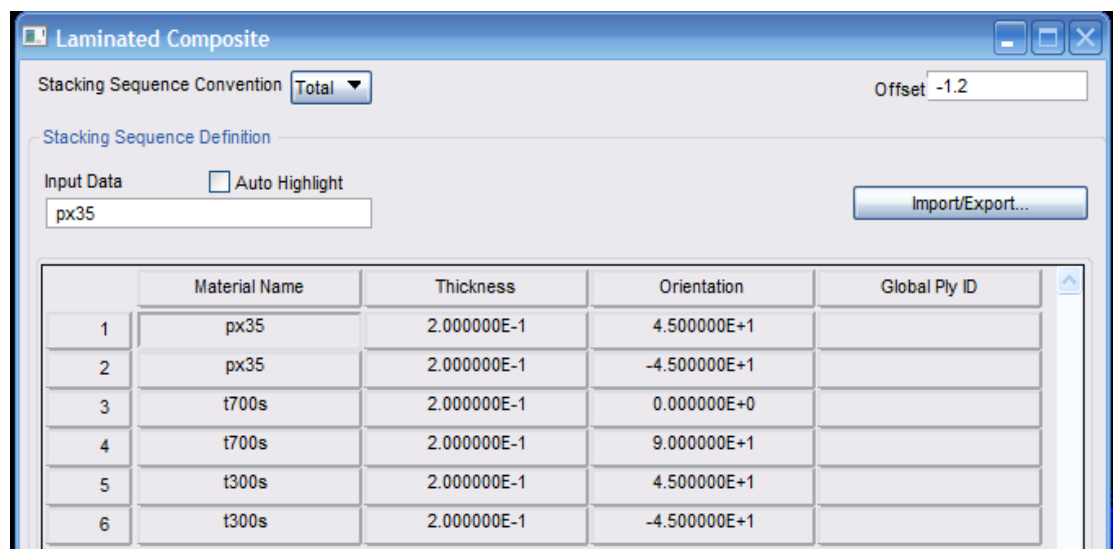
Περιγραφή μοντέλων και επιλογή τελικού μοντέλου.

Αρχικά πριν γίνει περιγραφή των μοντέλων πρέπει να αναφερθεί ότι, σε όλα τα μοντέλα έχει γίνει χρήση τριών σύνθετων υλικών.

Όπως παρατηρείται από τις παραπάνω εικόνες των μοντέλων, υπάρχουν τρία διαφορετικά χρώματα, κάθε ένα από τα οποία αντιπροσωπεύει και ένα σύνθετο υλικό. Το μπλε χρώμα αντιστοιχεί στο ply_1, το κόκκινο χρώμα στο ply_2 και το γαλάζιο χρώμα στο ply_3.

Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζονται τα φύλλα άνθρακα και το υλικό πυρήνα, όπου είναι τοποθετημένα στο κάθε σύνθετο υλικό.

ply 1



Εικόνα 3-50:Διαστρωμάτωση ply_1.

Laminated Composite

Stacking Sequence Convention **Total** Offset

Stacking Sequence Definition

Input Data ☐ Auto Highlight

	Material Name	Thickness	Orientation	Global Ply ID
1	px35	2.000000E-1	-4.500000E+1	
2	px35	2.000000E-1	4.500000E+1	
3	t700s	2.000000E-1	9.000000E+1	
4	t700s	2.000000E-1	0.000000E+0	
5	px35	2.000000E-1	-4.500000E+1	
6	px35	2.000000E-1	4.500000E+1	
7	t700s	2.000000E-1	9.000000E+1	
8	t700s	2.000000E-1	0.000000E+0	
9	p_60	1.500000E+1	0.000000E+0	
10	t700s	2.000000E-1	9.000000E+1	
11	t700s	2.000000E-1	0.000000E+0	
12	px35	2.000000E-1	-4.500000E+1	
13	px35	2.000000E-1	4.500000E+1	
14	t700s	2.000000E-1	9.000000E+1	
15	t700s	2.000000E-1	0.000000E+0	
16	t300s	2.000000E-1	-4.500000E+1	
17	t300s	2.000000E-1	4.500000E+1	

Εικόνα 3-51:Διαστρωμάτωση ply_2.

Laminated Composite

Stacking Sequence Convention **Total** Offset

Stacking Sequence Definition

Input Data ☐ Auto Highlight

	Material Name	Thickness	Orientation	Global Ply ID
1	px35	2.000000E-1	-4.500000E+1	
2	px35	2.000000E-1	4.500000E+1	
3	t700s	2.000000E-1	9.000000E+1	
4	t700s	2.000000E-1	0.000000E+0	
5	px35	2.000000E-1	-4.500000E+1	
6	px35	2.000000E-1	4.500000E+1	
7	t700s	2.000000E-1	9.000000E+1	
8	t700s	2.000000E-1	0.000000E+0	
9	t700s	2.000000E-1	9.000000E+1	
10	t700s	2.000000E-1	0.000000E+0	
11	px35	2.000000E-1	-4.500000E+1	
12	px35	2.000000E-1	4.500000E+1	

Εικόνα 3-52(α):Διαστρωμάτωση ply_3.

13	t700s	2.000000E-1	9.000000E+1	
14	t700s	2.000000E-1	0.000000E+0	
15	t300s	2.000000E-1	-4.500000E+1	
16	t300s	2.000000E-1	4.500000E+1	

Εικόνα 3-52(β): Διαστρωμάτωση ply_3.

Λόγω των δεδομένων που προέκυψαν από την 'Αξιολόγηση αποτελεσμάτων'(3.2.), στο 1ο μοντέλο γίνεται εκτεταμένη χρήση του ply_3, στο μεγαλύτερο μέρος του οχήματος καθώς και χρήση ply_2, στην πλάτη του και στο πάτωμα του. Η χρήση του ply_1 γίνεται σε περιοχές που δεν επηρεάζονται από τα φορτία που επιβάλλονται στο σασί και συμβάλλει ταυτόχρονα και στη μείωση του βάρους.

Το ply_2 λόγω του ότι αποτελείται και από υλικό πυρήνα, προσφέρει μεγαλύτερη ακαμψία. Για αυτό τον λόγο χρησιμοποιήθηκε σε αυτές τις περιοχές, καθώς σε αυτές αναπτύσσονται οι περισσότερες τάσεις, λόγω του ότι εκεί στηρίζονται και τα δύο υποπλάισια του οχήματος. Η χρήση του ply_3, έγινε για την μείωση παραμορφώσεων, που οφείλονται λόγω της μεταφοράς των τάσεων. Παρόλο που αυτές οι παραμορφώσεις δεν είναι μεγάλες, η μείωση τους συμβάλλει στη συνολική ακαμψία του σασί.

Στη συνέχεια τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση(Πιν.3-2.), παρουσιάζουν ότι το 1ο μοντέλο, ικανοποιεί το όριο των 4mm σε όλες τις συνθήκες ελέγχου. Από την άλλη όμως η τιμή του βάρους του, θεωρείται υψηλή και για αυτό θα δημιουργηθούν επιπλέον μοντέλα, για την μείωση του.

Στο 2ο μοντέλο η χρήση του Ply_3 έγινε μόνο περιμετρικά από τα όρια τις γεωμετρίας, με σκοπό να συμβάλλει στη γενική ακαμψία. Στις περιοχές που στον 1ο μοντέλο υπήρχε Ply_3, τοποθετήθηκε ply_3, το οποίο αποτελείται και από υλικό πυρήνα. Σκοπός της τοποθέτησης ply_2 είναι διότι προσφέρει μεγαλύτερη ακαμψία από τα υπόλοιπα σύνθετα υλικά, καλύπτοντας μικρότερη επιφάνεια, το οποίο συμβάλλει στη μείωση του βάρους.

Από τα αποτελέσματα της ανάλυσης στο 2ο μοντέλο, προέκυψε ότι υπήρξε μείωση του βάρους κατά 13,66% από το βάρος του 1ου μοντέλου, ικανοποιώντας ταυτόχρονα και το όριο μετατόπισης.

Στο 3ο μοντέλο πραγματοποιήθηκε αντικατάσταση του ply_2 με ply_3 στις περιοχές της οροφής του οχήματος καθώς και στο εμπρός μέρος του οχήματος, ανάμεσα στο παράθυρο και τα ανοίγματα για τις ρόδες.

Όπως και στο προηγούμενο μοντέλο παρουσιάζεται μείωση του βάρους κατά 14,75% από το βάρος του 1ου μοντέλου, ικανοποιώντας ταυτόχρονα το όριο μετατόπισης.

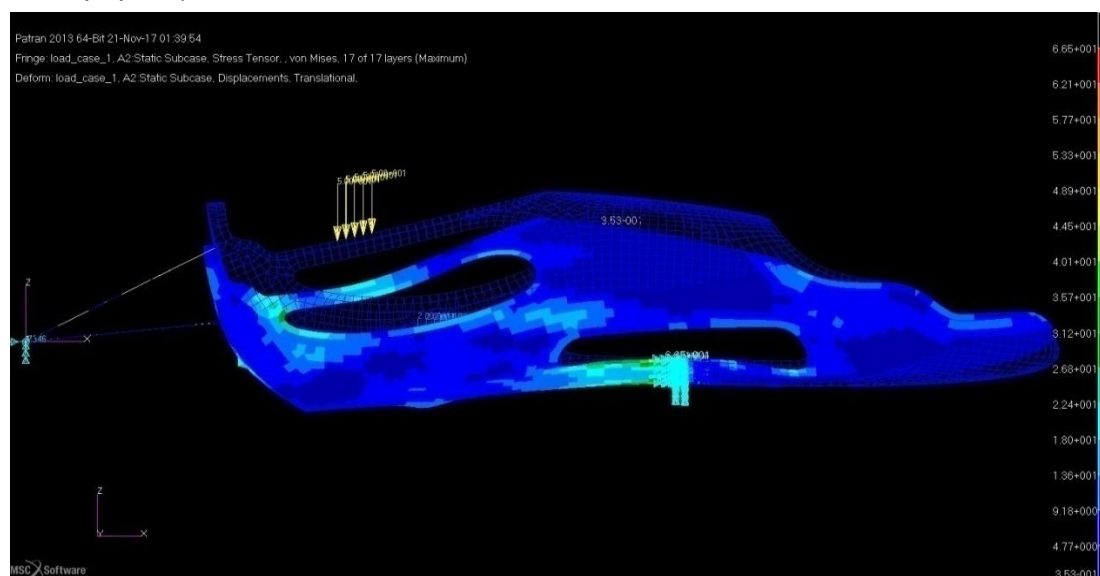
Στη συνέχεια στο 4ο μοντέλο τοποθετείται ply_2 μόνο στην πλάτη και το πάτωμα καθώς και ply_3 μόνο περιμετρικά των ορίων της γεωμετρίας, ενώ το υπόλοιπο όχημα αποτελείται από ply_1.

Σύμφωνα με τον πίνακα αποτελεσμάτων, το 4ο μοντέλο παρουσιάζει την μεγαλύτερη μείωση βάρους κατά 23,46% από το βάρος του 1ου μοντέλου, με οριακή όμως ικανοποίηση του ορίου μετατόπισης.

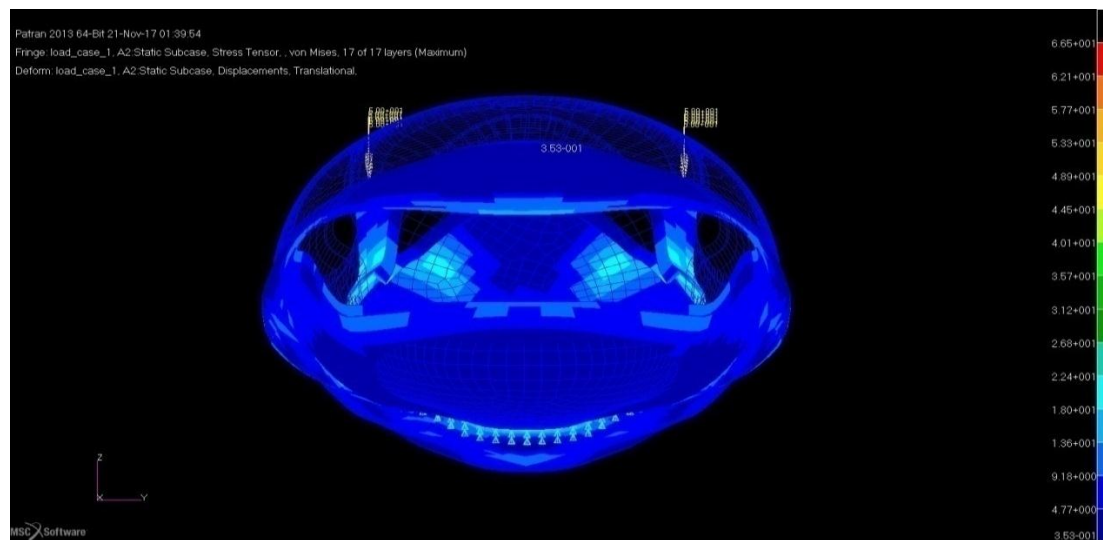
Η επιλογή του τελικού μοντέλου, σύμφωνα με τα δεδομένα του πίνακα αποτελεσμάτων θα έπρεπε να ήταν το 4ο μοντέλο, λόγω βάρους. Όμως παρά τις μικρές διαφορές που παρουσιάζουν στις τιμές μετατοπίσεων το 3ο με το 4ο μοντέλο, επιλέχθηκε το 3ο μοντέλο, για λόγους ασφάλειας του οδηγού.

Παρουσίαση αναλύσεων όλων των συνθηκών ελέγχου του τελικού μοντέλου.

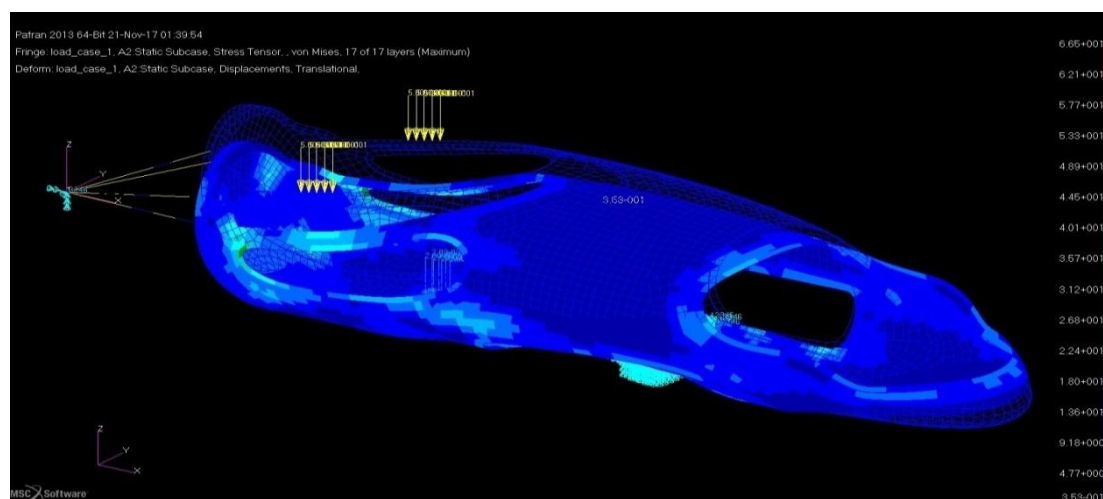
Συνθήκη ελέγχου 1.



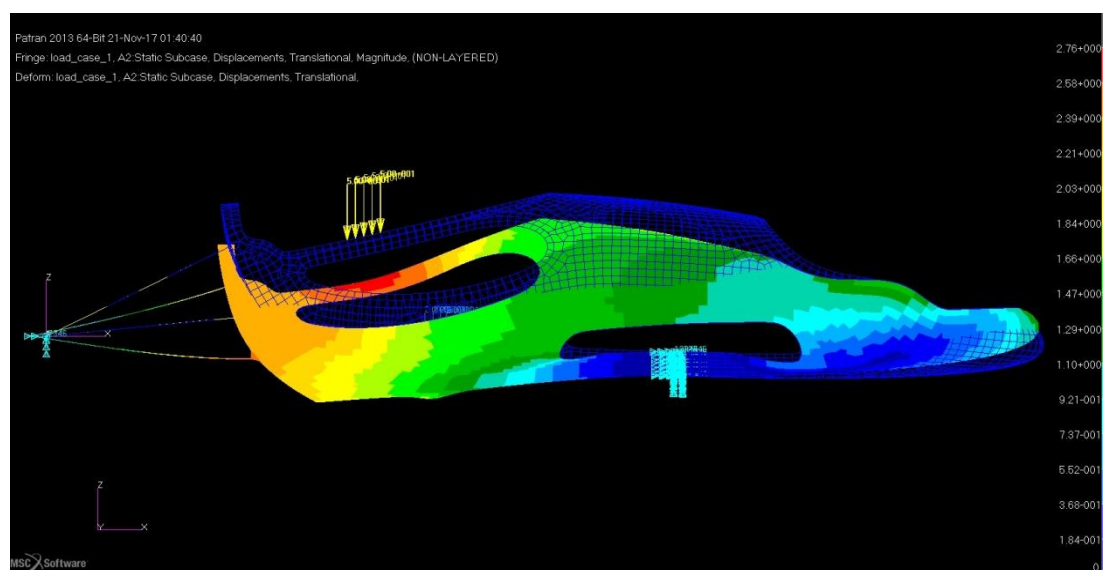
Εικόνα 3-53:Είσοδος οδηγού στο όχημα(Load_Case_1)(Τάσεις)



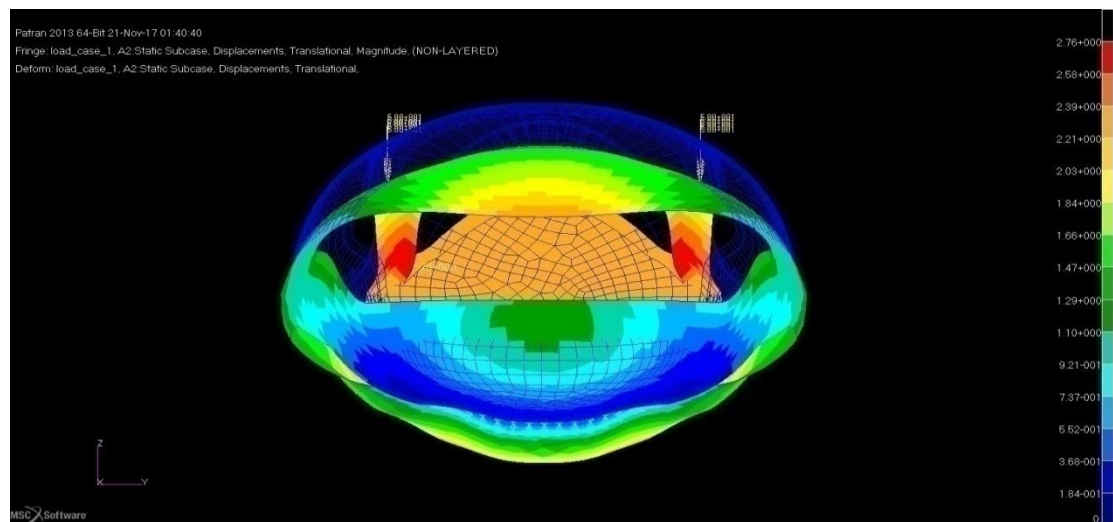
Εικόνα 3-54:Είσοδος οδηγού στο όχημα(Load_Case_1)(Τάσεις).



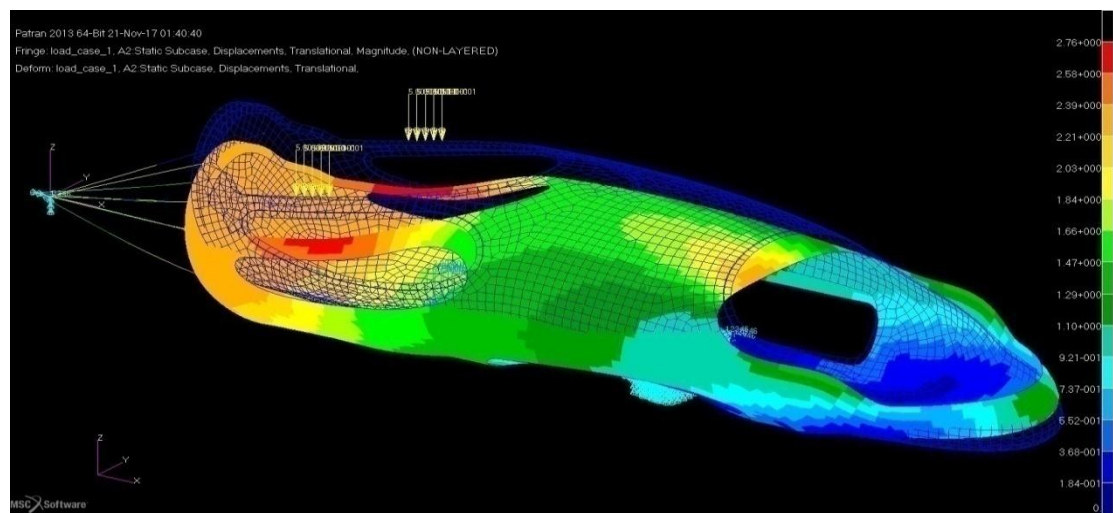
Εικόνα 3-55:Είσοδος οδηγού στο όχημα(Load_Case_1)(Τάσεις).



Εικόνα 3-56:Είσοδος οδηγού στο όχημα(Load_Case_1)(Μετατοπίσεις).

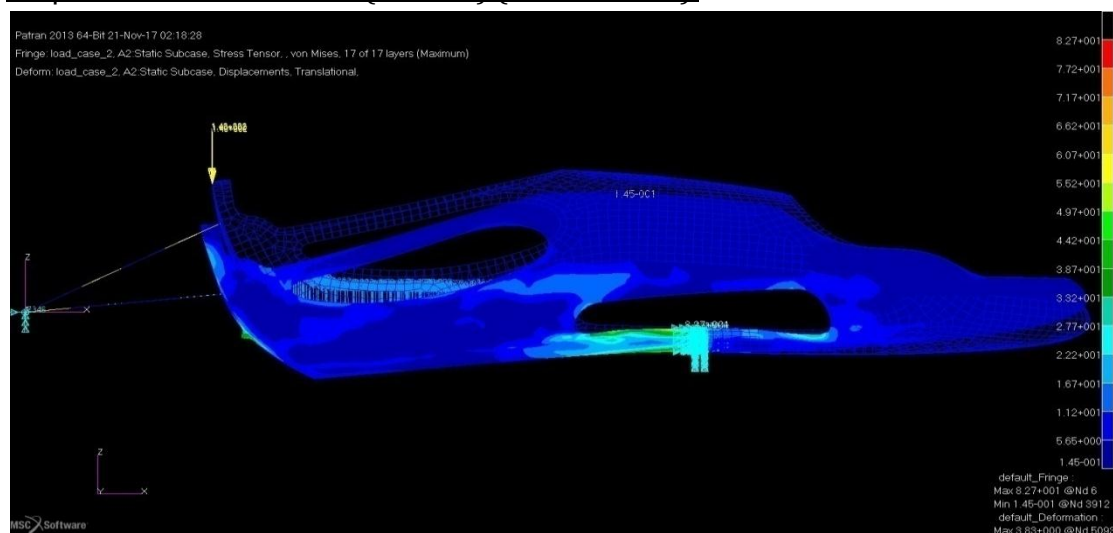


Εικόνα 3-57:Είσοδος οδηγού στο όχημα(Load_Case_1)(Μετατοπίσεις).

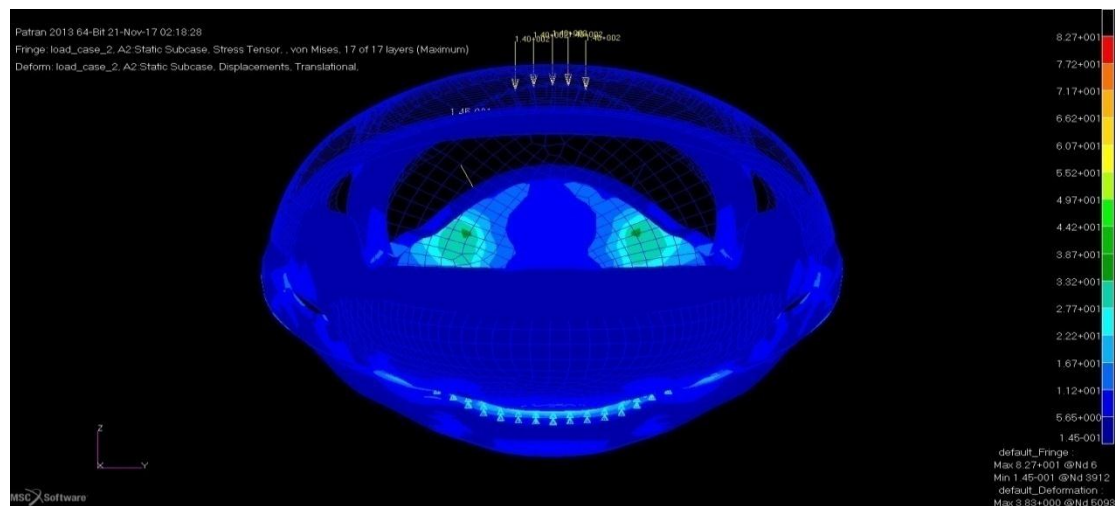


Εικόνα 3-58:Είσοδος οδηγού στο όχημα(Load_Case_1)(Displacments).

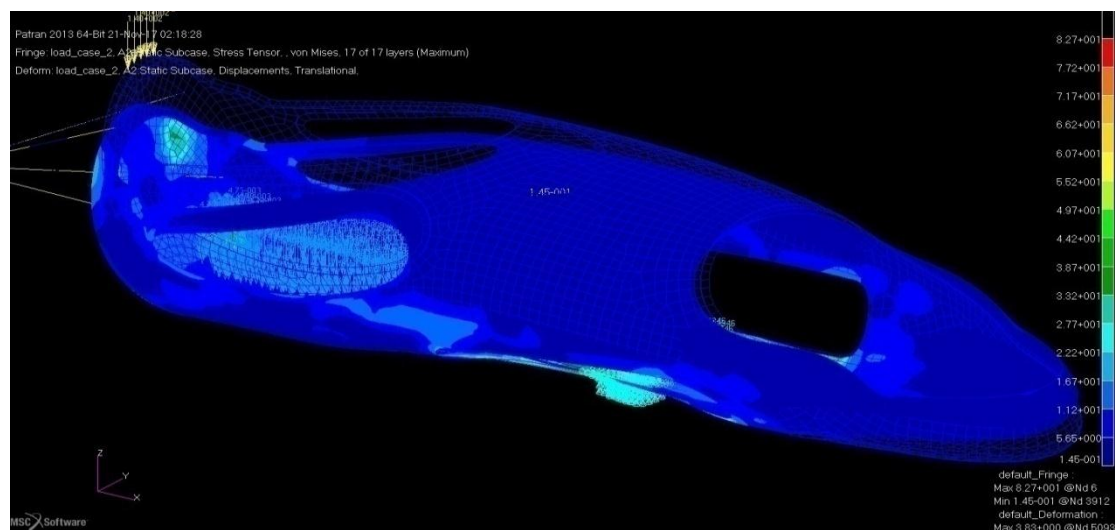
2.Προστατευτικό πλαίσιο (Rollbar) (Load Case 2).



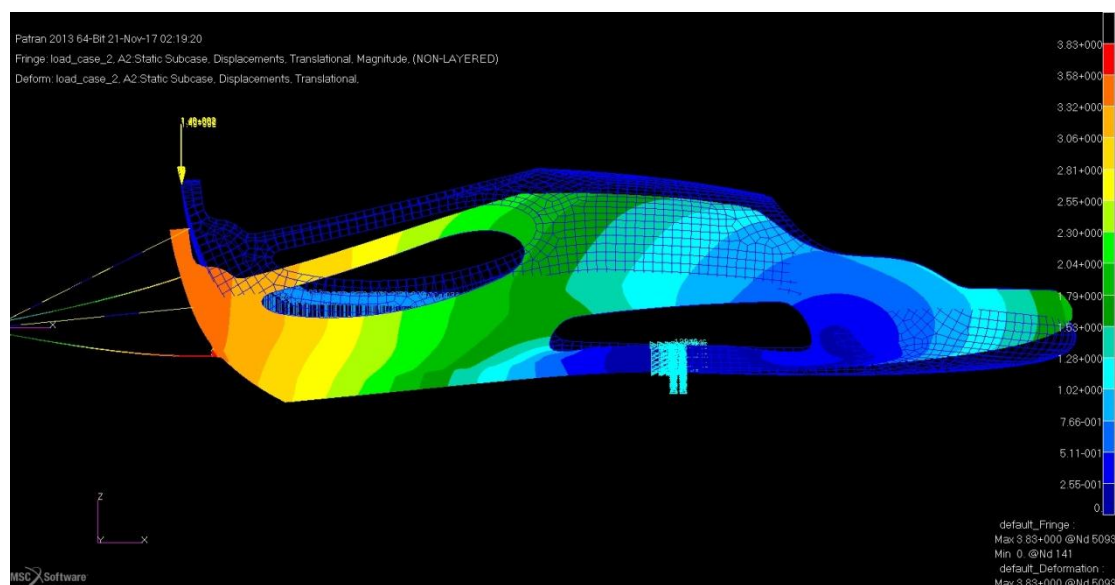
Εικόνα 3-59:Προστατευτικό πλαίσιο (Rollbar) (Load_Case_2)(Τάσεις).



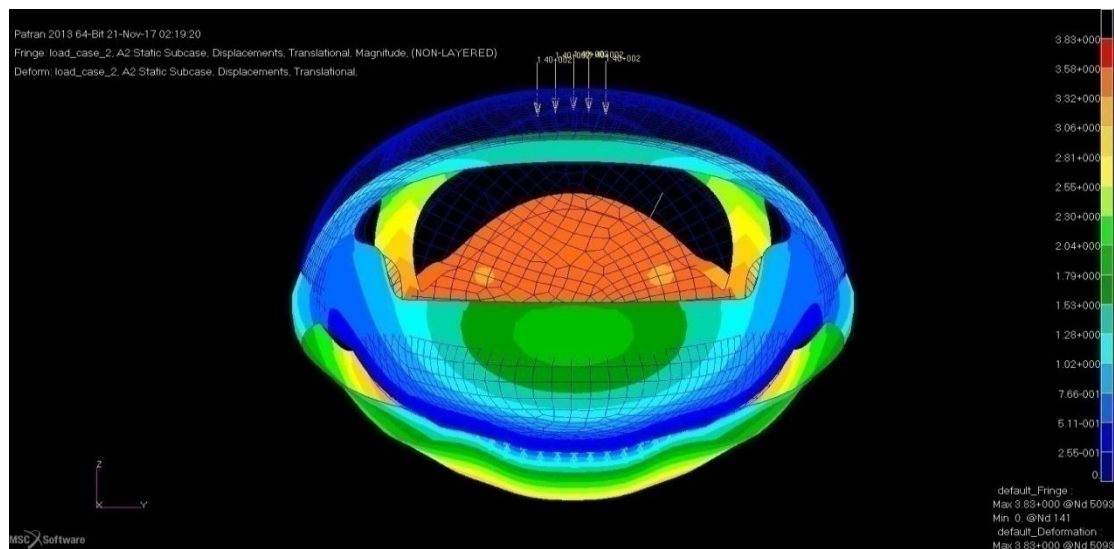
Εικόνα 3-60:Προστατευτικόπλαίσιο (Rollbar) (Load_Case_2)(Τάσεις).



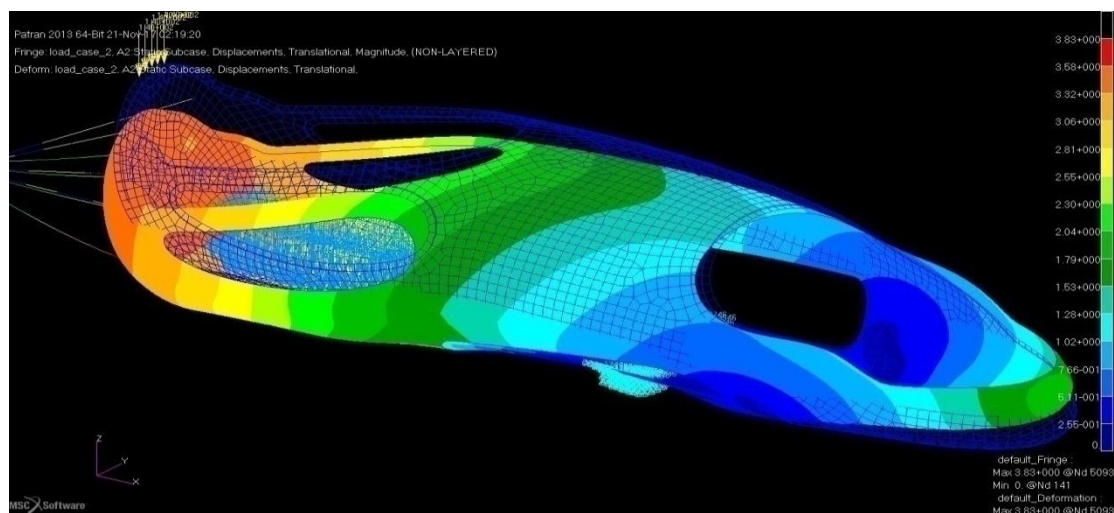
Εικόνα 3-61:Προστατευτικόπλαίσιο (Rollbar) (Load_Case_2)(Τάσεις).



Εικόνα 3-62:Προστατευτικόπλαίσιο (Rollbar) (Load_Case_2)(Μετατοπίσεις).

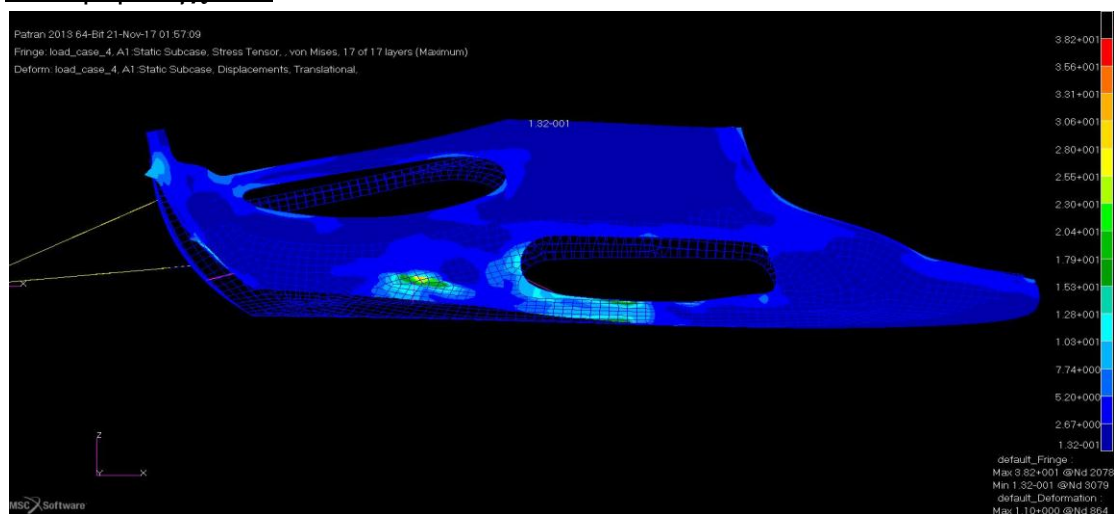


Εικόνα 3-63:Προστατευτικό πλαίσιο (Rollbar) (Load_Case_2)(Μετατοπίσεις).

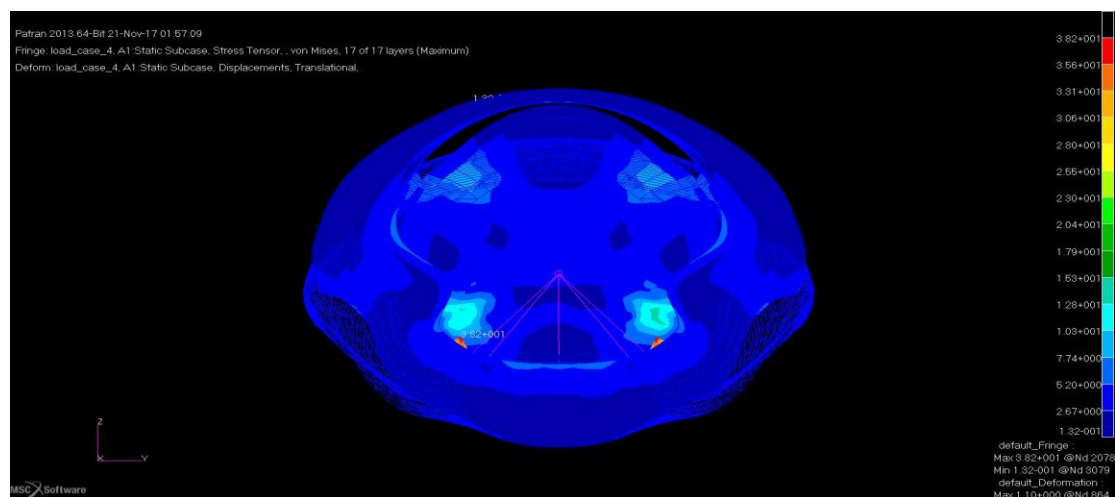


Εικόνα 3-63:Προστατευτικό πλαίσιο (Rollbar) (Load_Case_2)(Μετατοπίσεις).

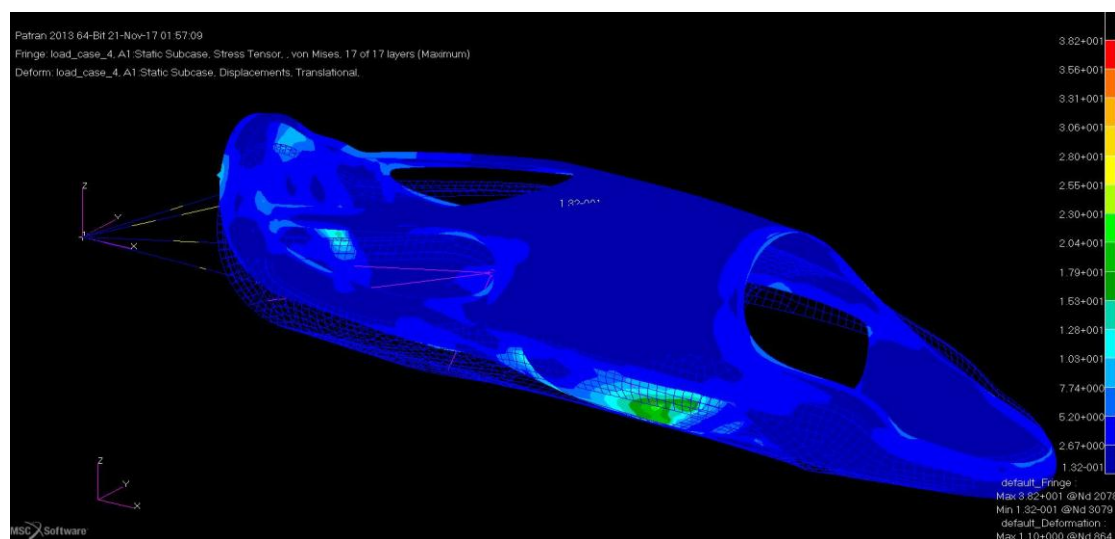
Συνθήκη ελέγχου 3.



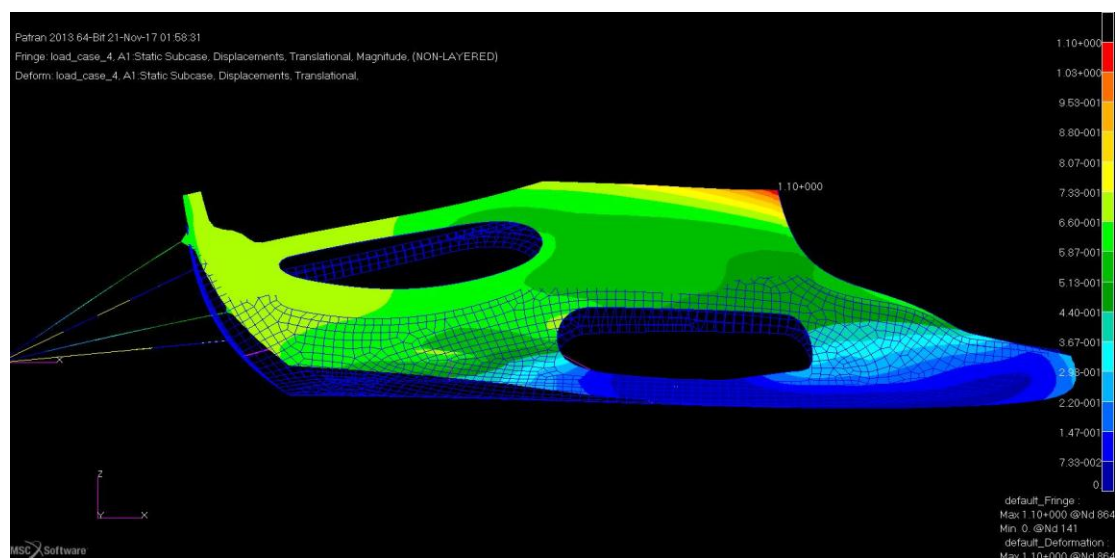
Εικόνα 3-64:Ζώνες οδηγού(Load_Case_3)(Τάσεις).



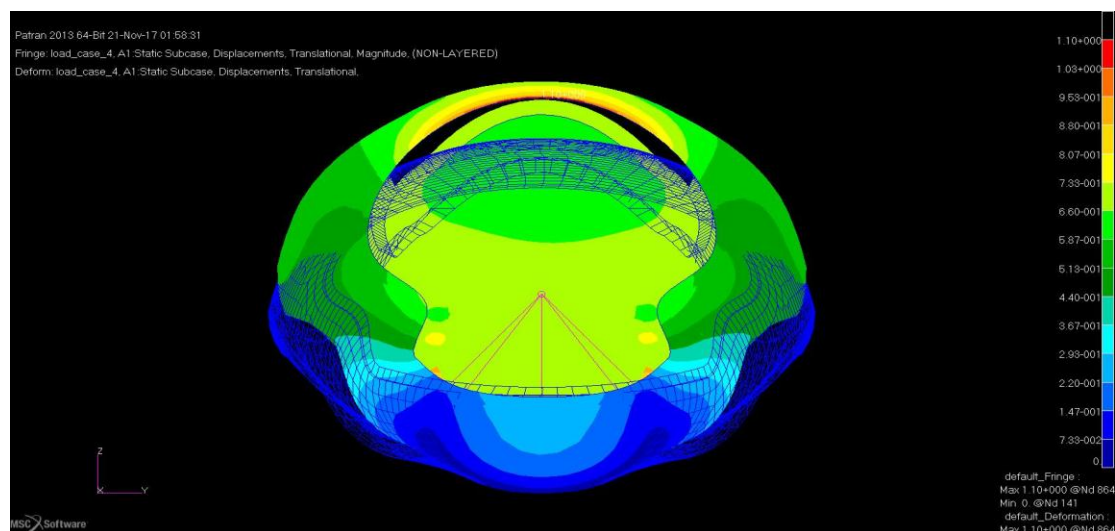
Εικόνα 3-65:Ζώνεςοδηγού(Load_Case_3)(Τάσεις).



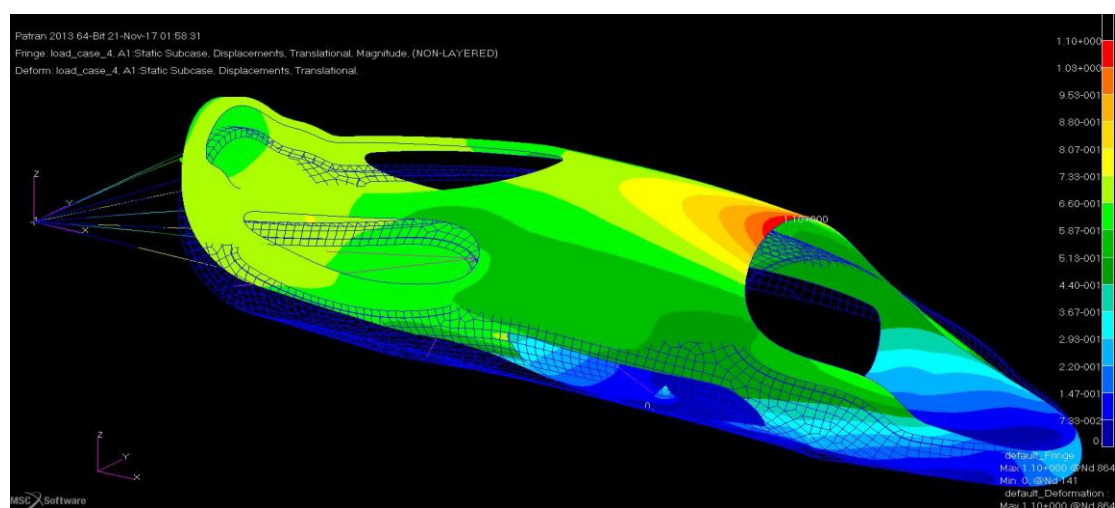
Εικόνα 3-66:Ζώνεςοδηγού(Load_Case_3)(Τάσεις).



Εικόνα 3-67:Ζώνεςοδηγού(Load_Case_3)(Μετατοπίσεις).

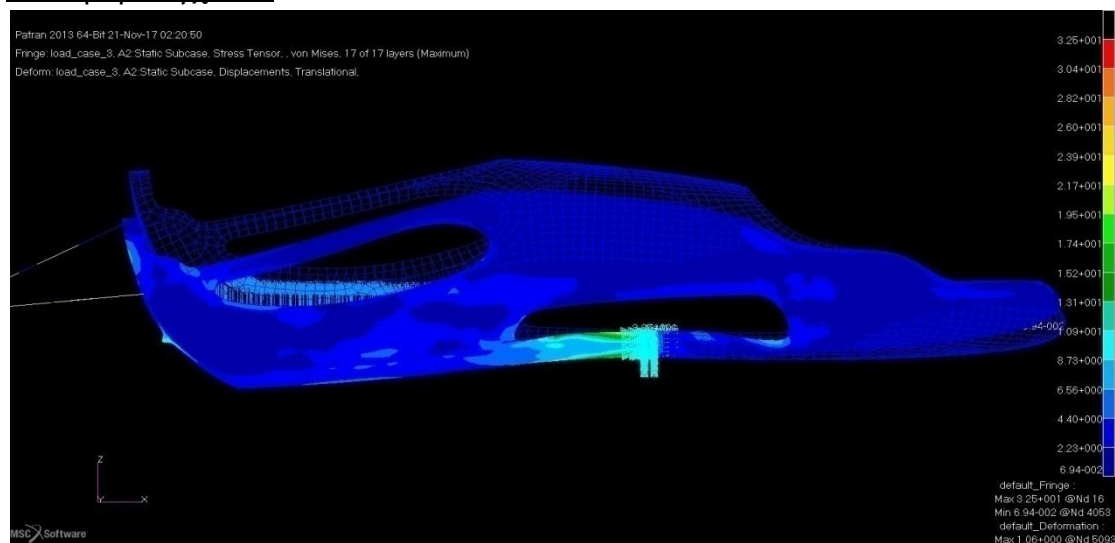


Εικόνα 3-68: Ζώνεσοδηγού (Load_Case_3) (Μετατοπίσεις).

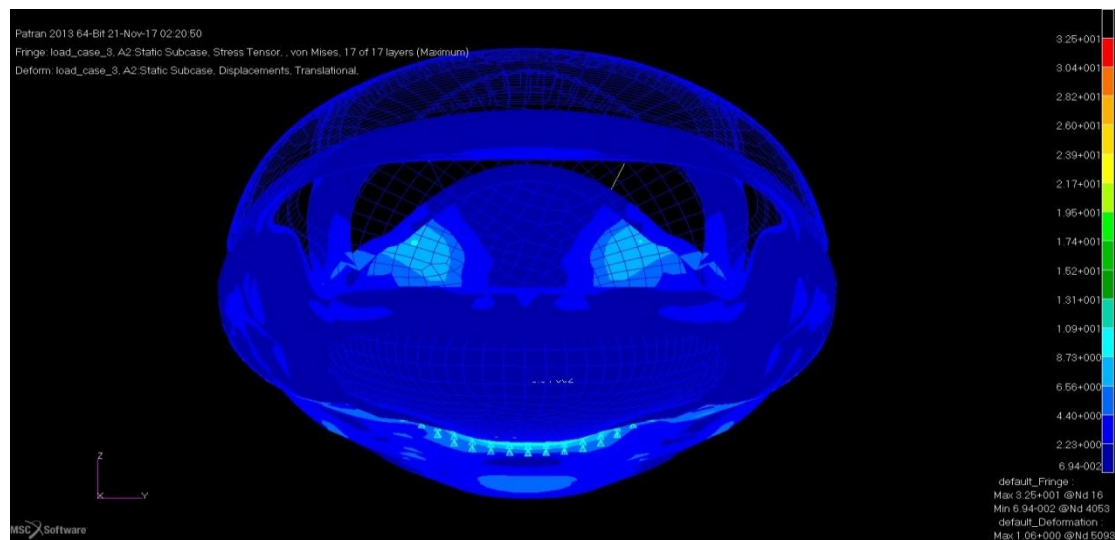


Εικόνα 3-69: Ζώνεσοδηγού (Load_Case_3) (Μετατοπίσεις).

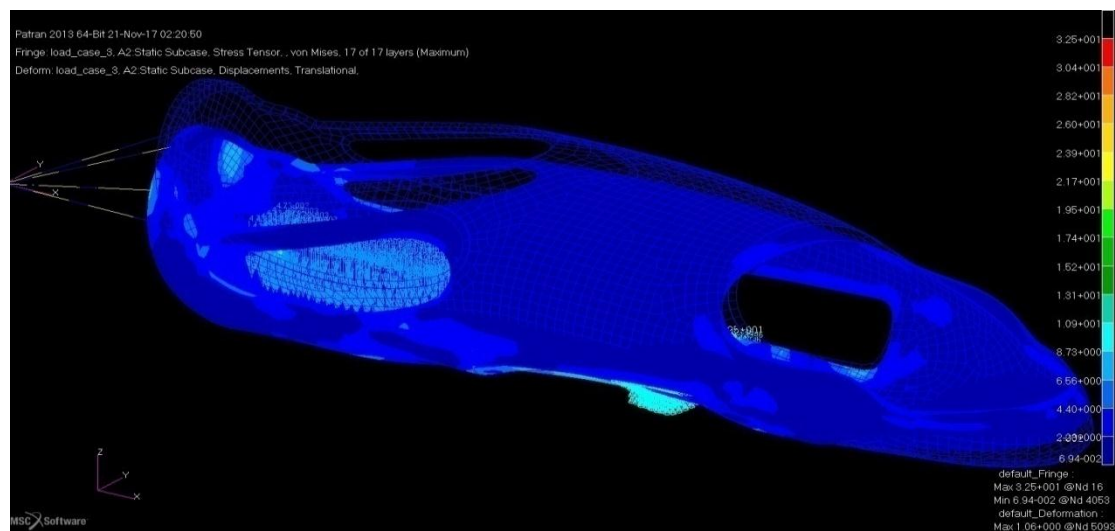
Συνθήκη ελέγχου 4.



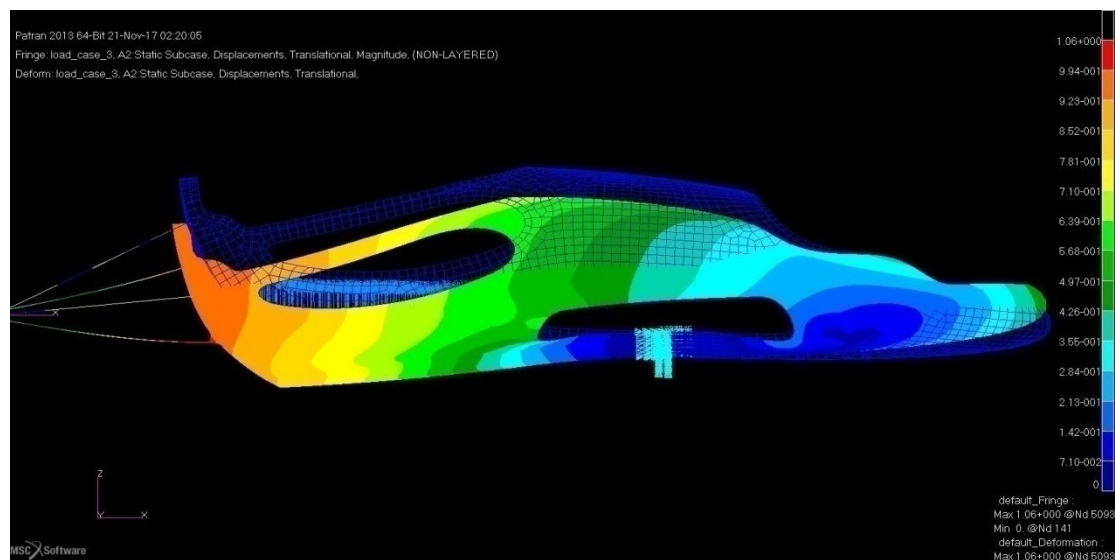
Εικόνα 3-70: Βάροσοδηγού (Load_Case_4) (Τάσεις).



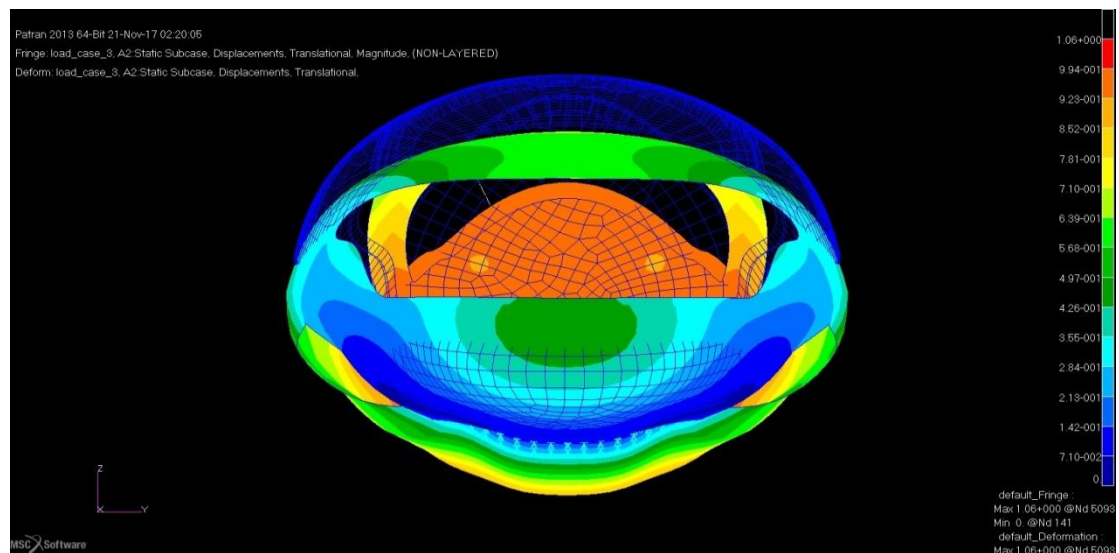
Εικόνα 3-71:Βάροςοδηγού(Load_Case_4)(Τάσεις).



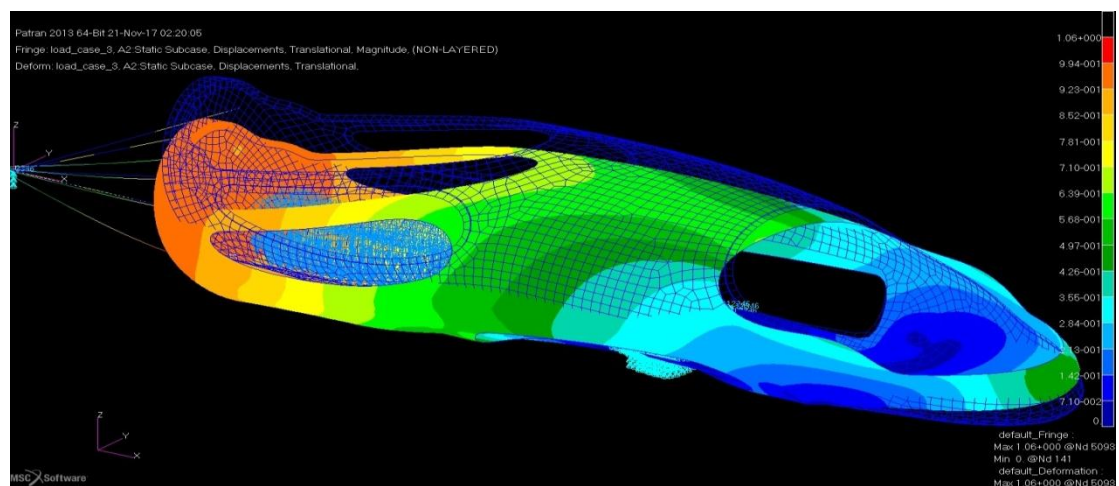
Εικόνα 3-72:Βάροςοδηγού(Load_Case_4)(Τάσεις).



Εικόνα 3-73:Βάροςοδηγού(Load_Case_4)(Μετατοπίσεις).

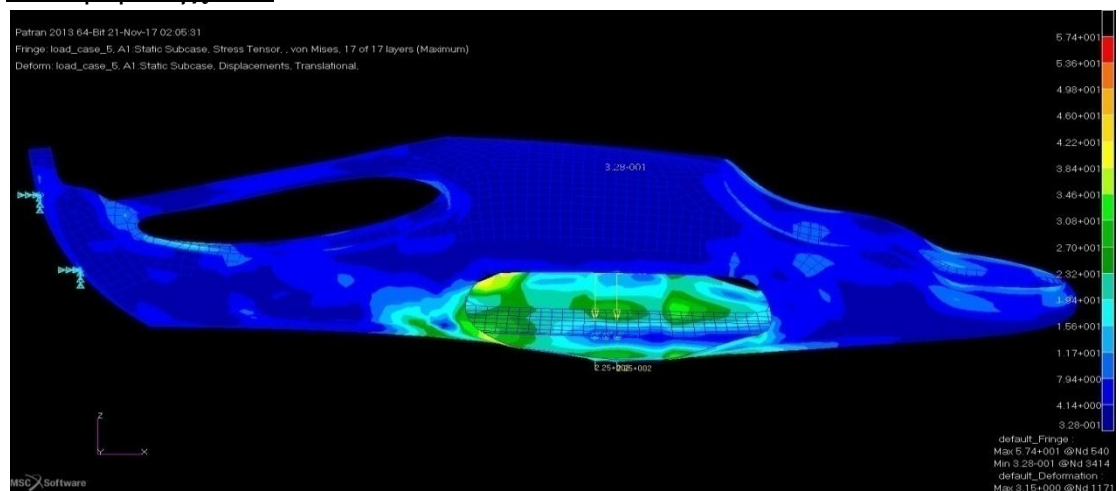


Εικόνα 3-74:Βάροςοδηγού(Load_Case_4)(Μετατοπίσεις).

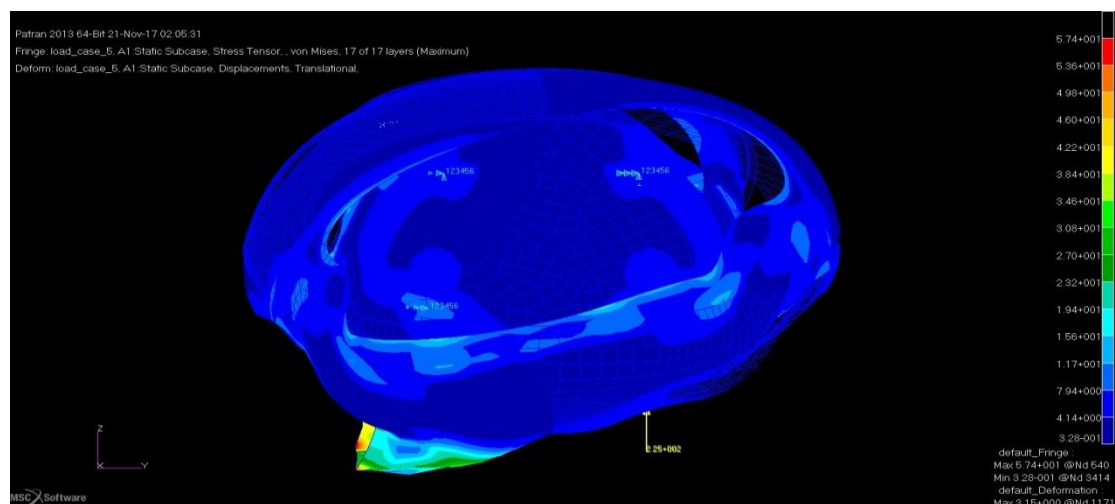


Εικόνα 3-75:Βάροςοδηγού(Load_Case_4)(Μετατοπίσεις).

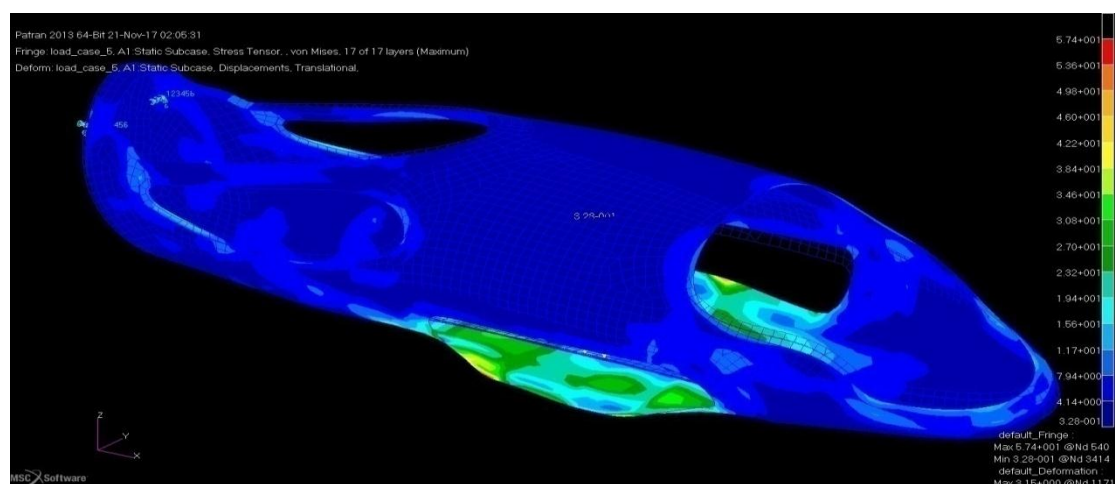
Συνθήκη ελέγχου 5.



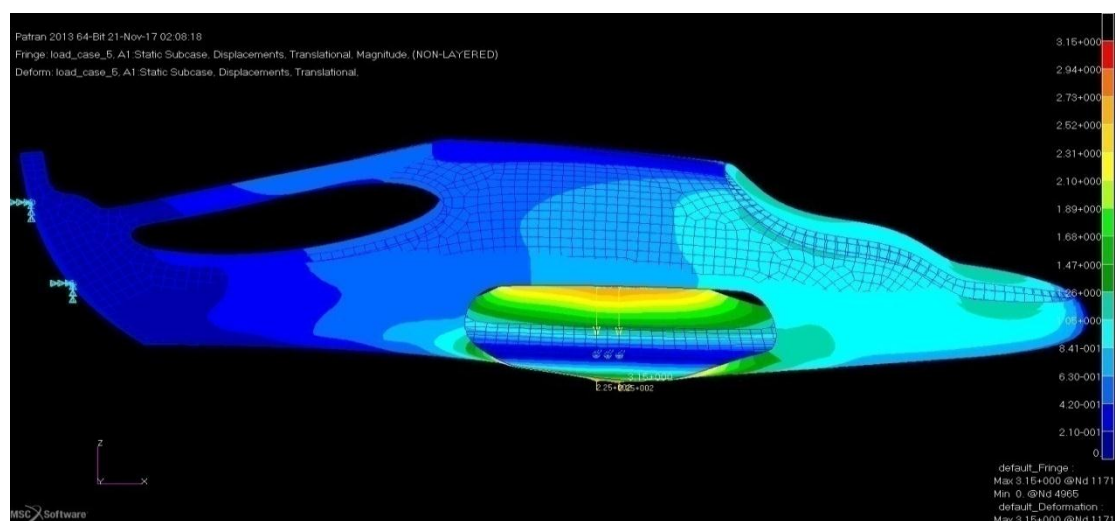
Εικόνα 3-76:Στρέψη στο σημείο σύνδεσης της γέφυρας(Load_Case_5)(Τάσεις).



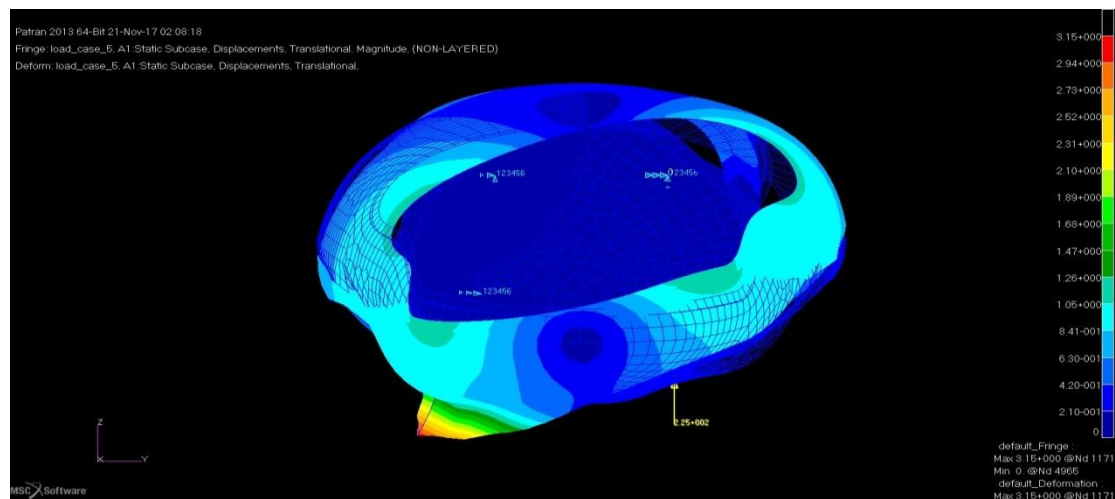
Εικόνα 3-77:Στρέψη στο σημείο σύνδεσης της γέφυρας(Load_Case_5)(Τάσεις).



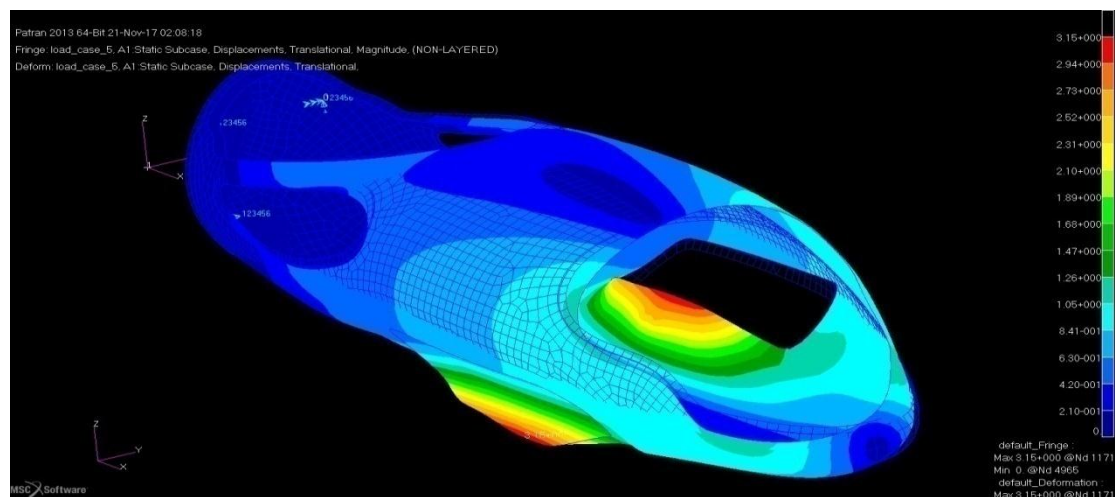
Εικόνα 3-78:Στρέψη στο σημείο σύνδεσης της γέφυρας(Load_Case_5)(Τάσεις).



Εικόνα 3-79:Στρέψη στο σημείο σύνδεσης της γέφυρας(Load_Case_5)(Μετατοπίσεις).

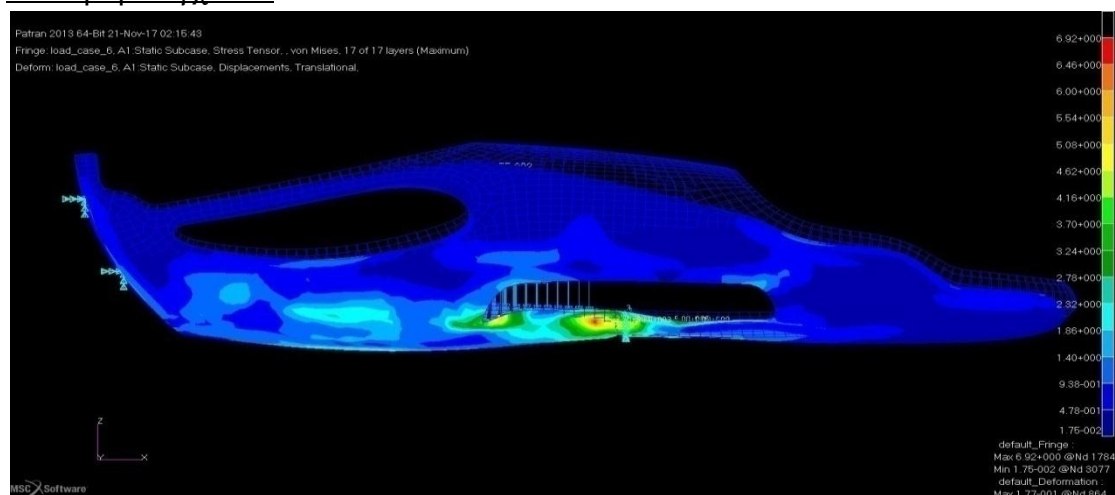


Εικόνα 3-80:Στρέψη στο σημείο σύνδεσης της γέφυρας(Load_Case_5)(Μετατοπίσεις).

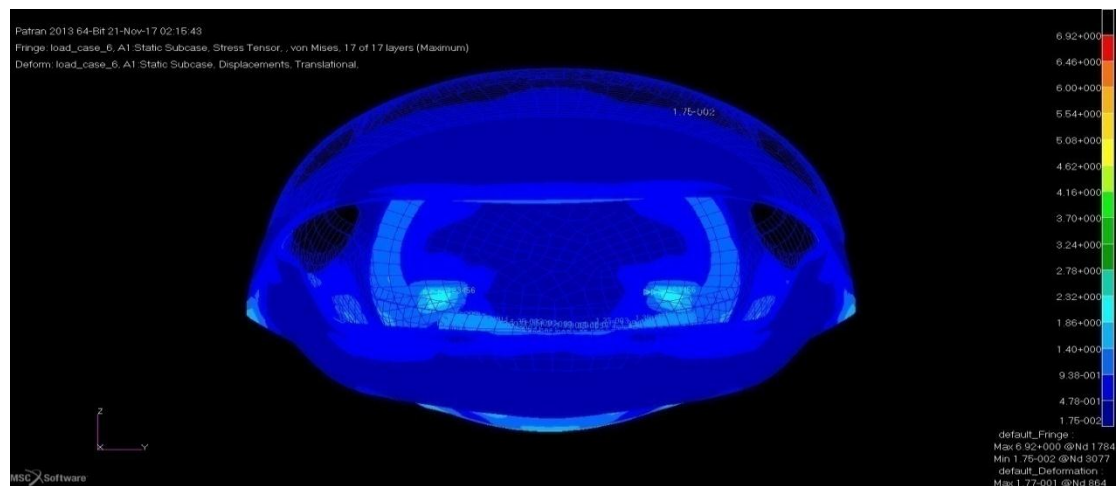


Εικόνα 3-81:Στρέψη στο σημείο σύνδεσης της γέφυρας(Load_Case_5)(Μετατοπίσεις).

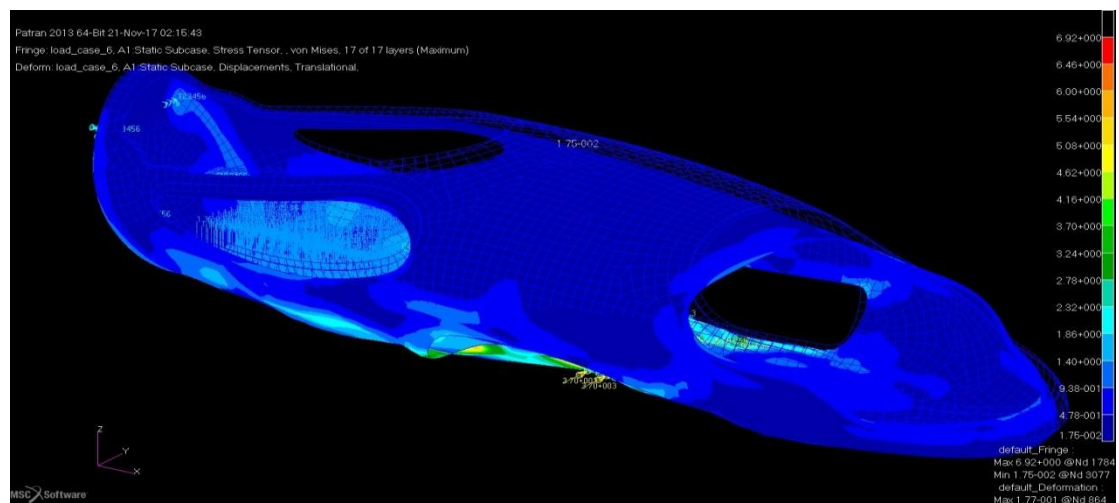
Συνθήκη ελέγχου 6.



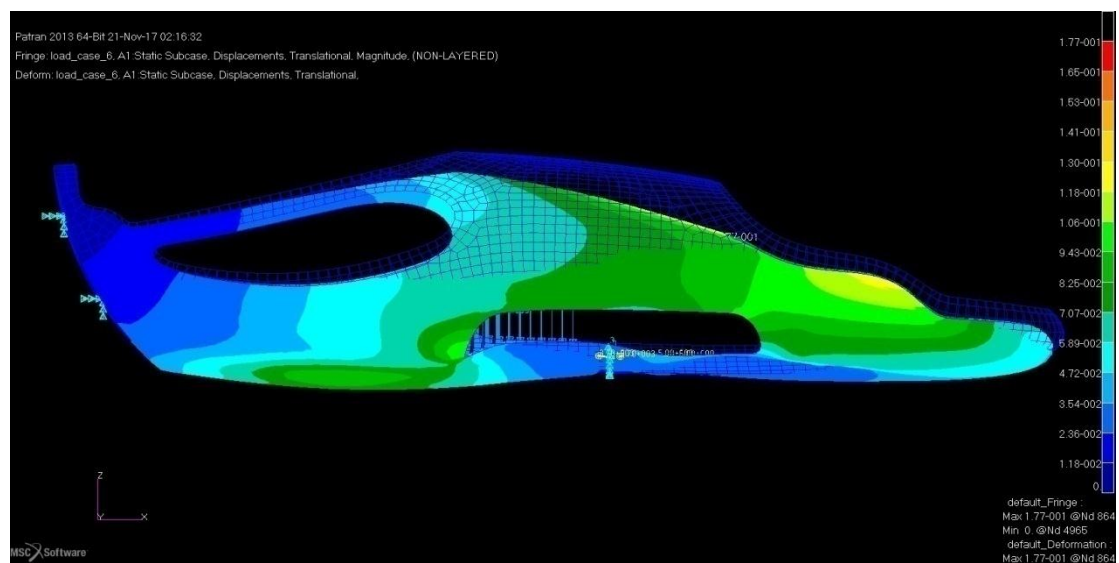
Εικόνα 3-82: Φρενάρισμα οχήματος(Load_Case_6)(Τάσεις).



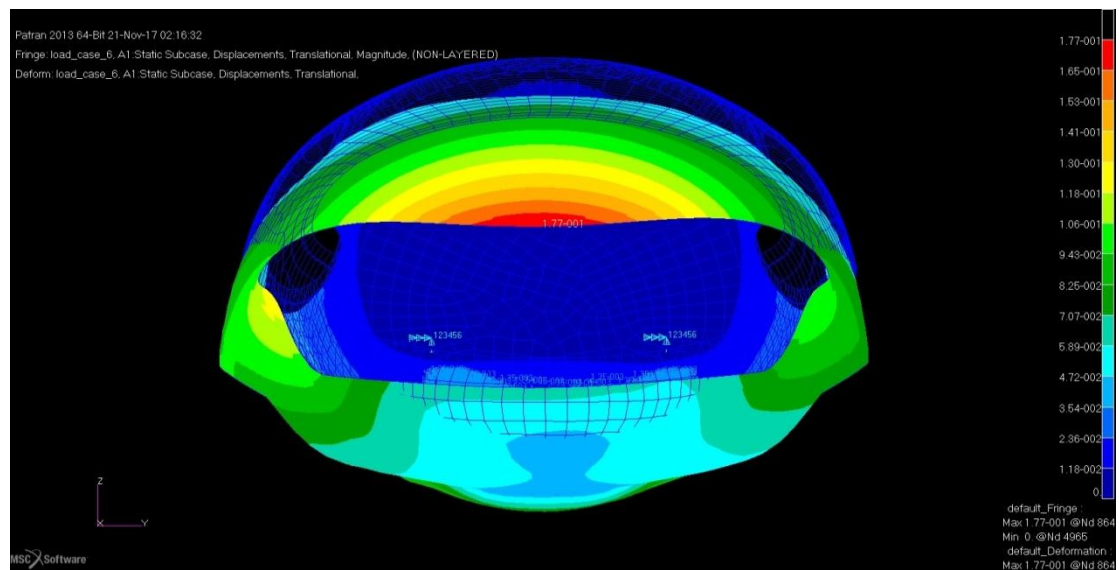
Εικόνα 3-83: Φρενάρισμα οχήματος(Load_Case_6)(Τάσεις).



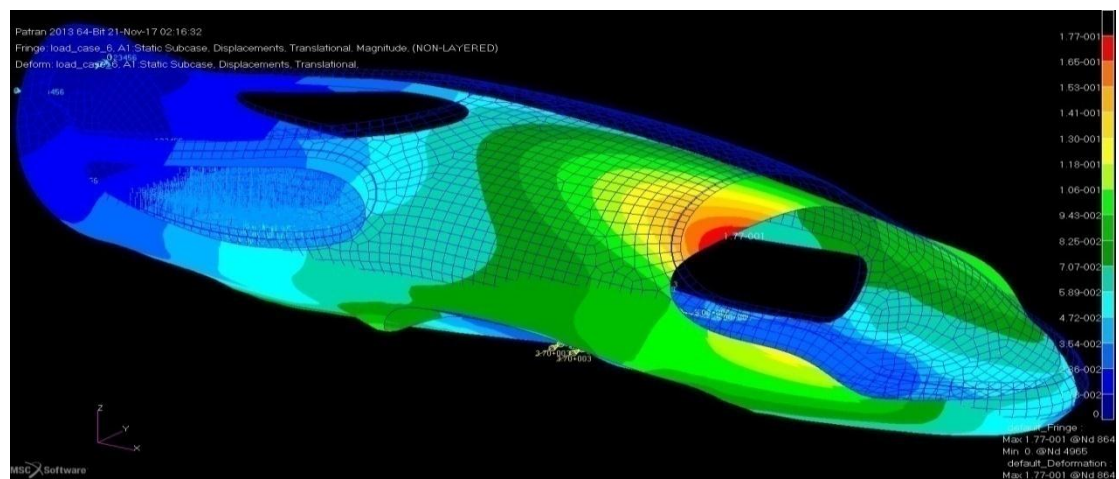
Εικόνα 3-84: Φρενάρισμα οχήματος(Load_Case_6)(Τάσεις).



Εικόνα 3-85: Φρενάρισμα οχήματος(Load_Case_6)(Μετατοπίσεις).

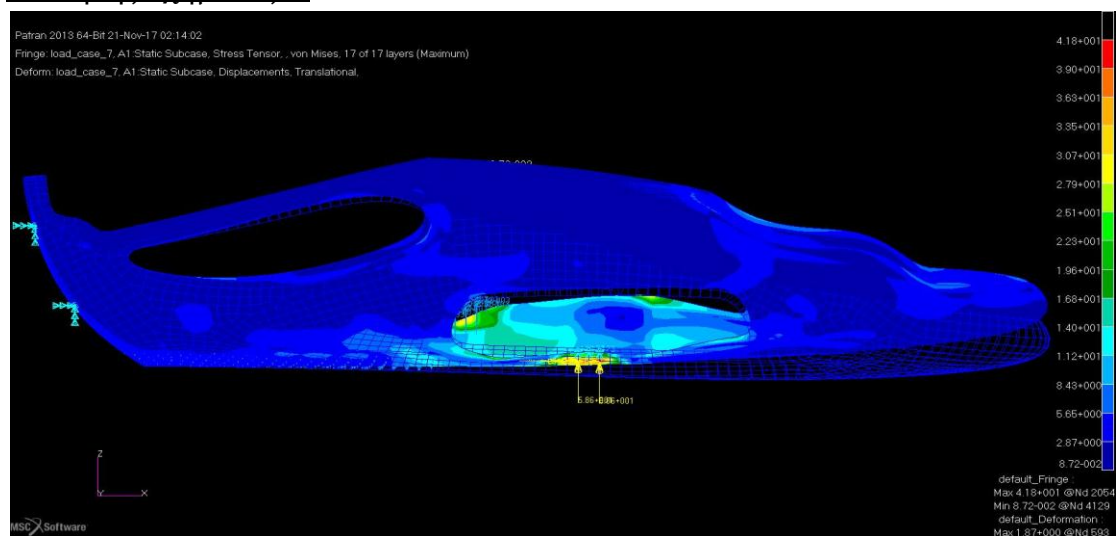


Εικόνα 3-86: Φρενάρισμα οχήματος(Load_Case_6)(Μετατοπίσεις).

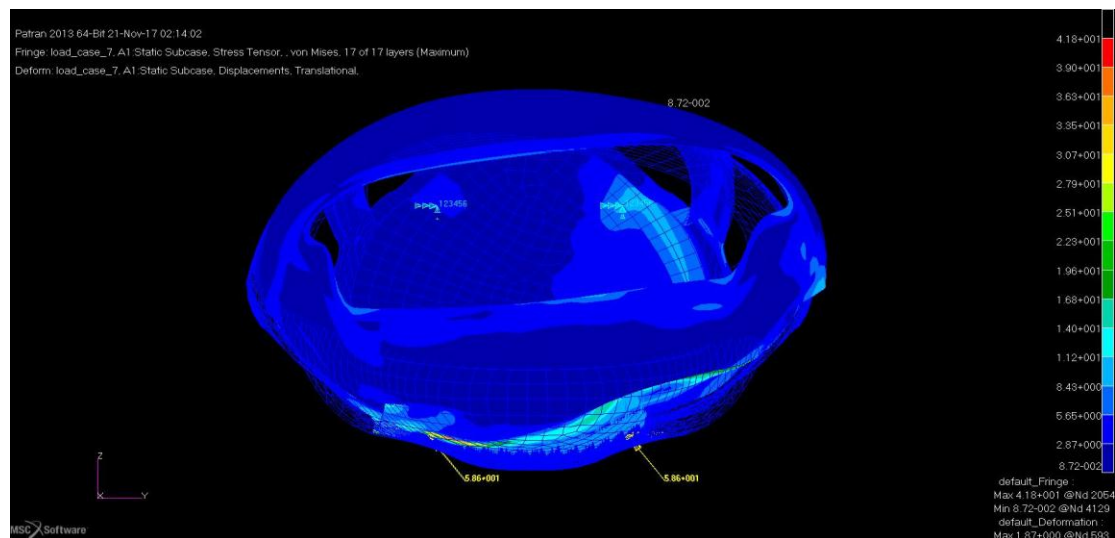


Εικόνα 3-87:Φρενάρισμα οχήματος(Load_Case_6)(Μετατοπίσεις).

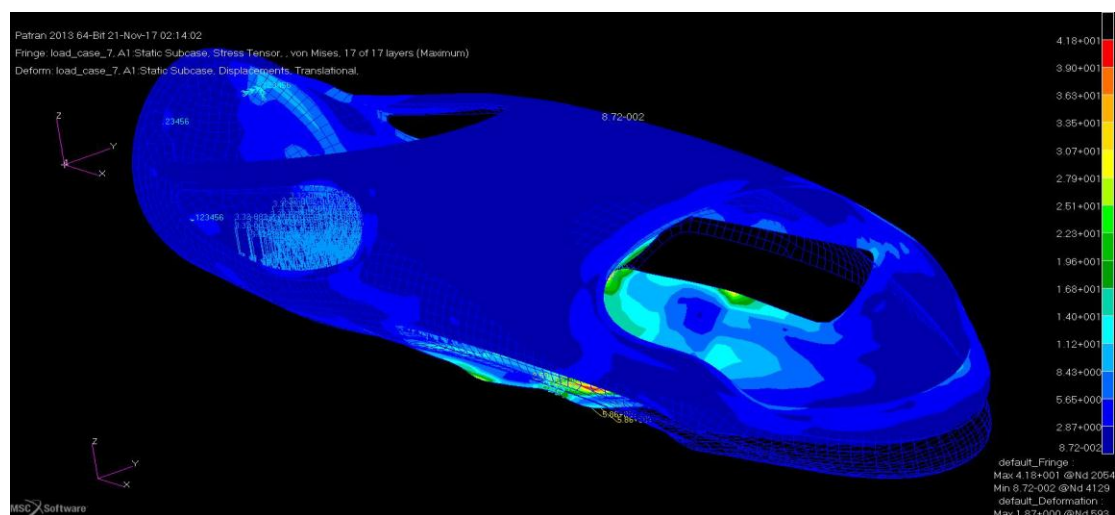
Συνθήκης οχήματος 7.



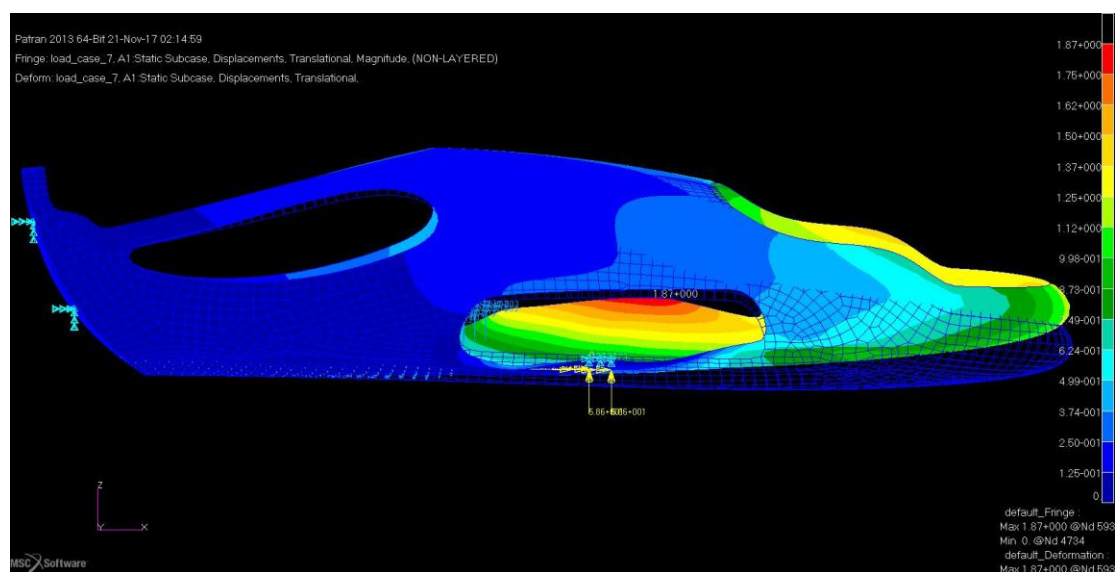
Εικόνα 3-88:Αλλαγή κατεύθυνσης οχήματος(Load_Case_7)(Τάσεις).



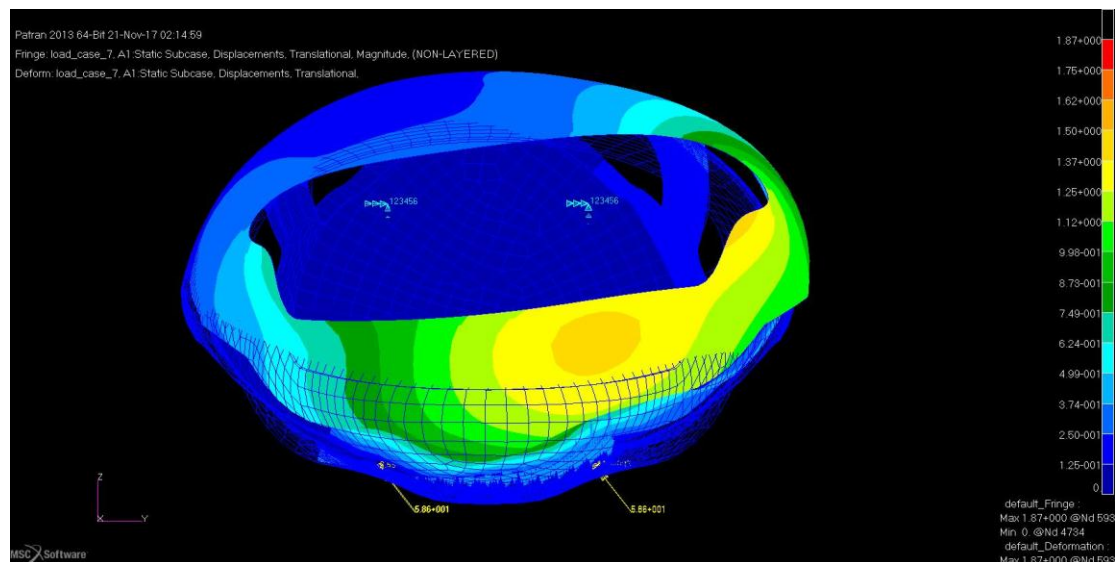
Εικόνα 3-89:Αλλαγή κατεύθυνσης οχήματος(Load_Case_7)(Τάσεις).



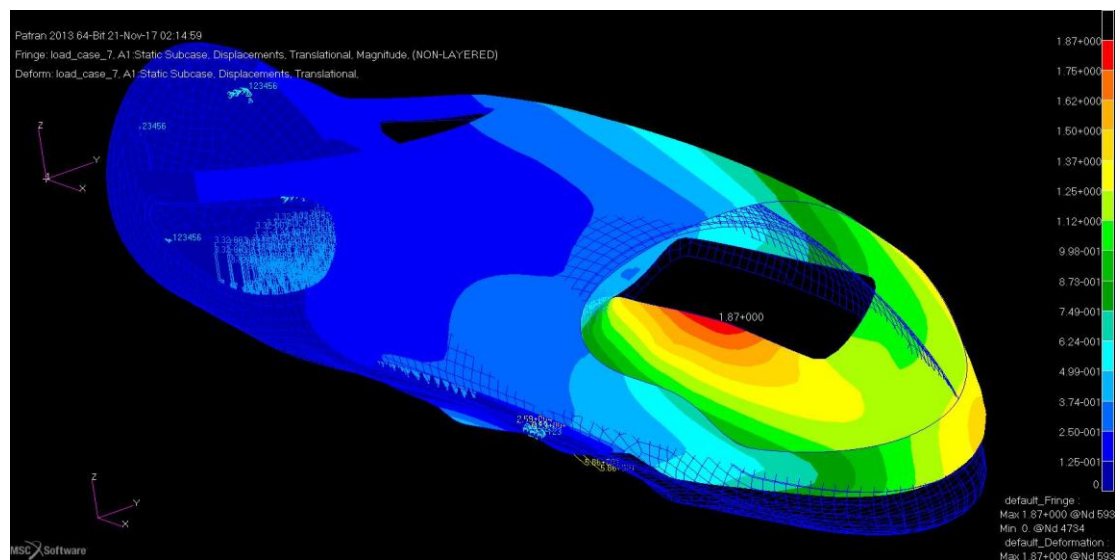
Εικόνα 3-90:Αλλαγή κατεύθυνσης οχήματος(Load_Case_7)(Τάσεις).



Εικόνα 3-91:Αλλαγή κατεύθυνσης οχήματος(Load_Case_7)(Μετατοπίσεις).



Εικόνα 3-92:Αλλαγή κατεύθυνσης οχήματος(Load_Case_7)(Μετατοπίσεις).



Εικόνα 3-93:Αλλαγή κατεύθυνσης οχήματος(Load_Case_7)(Μετατοπίσεις).

4.Συμπεράσματα

Μετά την ολοκλήρωση των αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν σε όλα τα μοντέλα, για κάθε συνθήκη ελέγχου, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

1. Σημαντικό στοιχείο των αποτελεσμάτων ως προς το μέγεθος των μετατοπίσεων, είναι η διεύθυνση των παραμορφώσεων και των σημείων που αναπτύσσονται οι τάσεις, οι οποίες αποτελούν βασικό κριτήριο της συγκεκριμένης ανάλυσης. Βάσει των στοιχείων που προέκυψαν από τις αναλύσεις στην ενότητα 3.1, διαπιστώνεται ότι οι μετατοπίσεις ανταποκρίνονται πλήρως στον επιθυμητό τρόπο παραμόρφωσης του σασί, για κάθε συνθήκη ελέγχου, ανεξαρτήτως του μεγέθους τους. Κατά συνέπεια δίνεται η δυνατότητα βελτιστοποίησης των χαρακτηριστικών του σασί, σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προκύπτουν.

Επίσης, βασικός παράγοντας που συμβάλλει στο να προκύψουν τα επιθυμητά αποτελέσματα σύμφωνα με το είδος της συγκεκριμένης ανάλυσης είναι η σωστή μοντελοποίηση (βλ. ενότητα 2.1.) και δημιουργία συνθηκών (βλ. ενότητα 2.2.)

2. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις αναλύσεις των μοντέλων, συμπεραίνεται το γεγονός ότι λόγω των ιδιοτήτων των φύλλων άνθρακα και του υλικού πυρήνα, η επίτευξη της επιθυμητής ακαμψίας του σασί και ελαχιστοποίησης του βάρους του, πραγματοποιείται αποκλειστικά με τη χρήση τους στα σημεία ανάπτυξης τάσεων. Για παράδειγμα στο 1ο μοντέλο που έγινε εκτεταμένη χρήση του ply_3, είχε ως αποτέλεσμα να αυξηθεί το βάρος του οχήματος, ικανοποιώντας ταυτόχρονα το όριο μετατόπισης. Στη συνέχεια όμως σύμφωνα με το 4ο μοντέλο, στο οποίο έγινε χρήση των σύνθετων υλικών μόνο στα σημεία ανάπτυξης τάσεων, πραγματοποιήθηκε μείωση του βάρους κατά 23,46%, σε σχέση με το πρώτο μοντέλο και έχοντας ταυτόχρονα σχεδόν τις ίδιες τιμές σε ότι αφορά στις μετατοπίσεις.
3. Άλλο συμπέρασμα που προκύπτει αφορά στο μέγεθος των τάσεων και των μετατοπίσεων. Οι τιμές οι οποίες έχουν προκύψει από τις αναλύσεις, θα είναι σαφώς μικρότερες στην πραγματικότητα. Αυτό συμβαίνει διότι, στα μοντέλα τα φορτία ασκούνται σε κόμβους (nodes), οι οποίοι καταλαμβάνουν σχεδόν μηδενική επιφάνεια από την συνολική. Έτσι

δημιουργείται συγκέντρωση φορτίου, σε συγκεκριμένα σημεία, γεγονός το οποίο όμως αποτελεί ένα ακραίο σενάριο. Ο λόγος που αποτελεί ακραίο σενάριο είναι διότι η επιβολή των φορτίων στην πραγματικότητα δεν θα πραγματοποιείται σε συγκεκριμένα σημεία αλλά σε ολόκληρες επιφάνειες του οχήματος.

4. Επιπλέον, οι τιμές των μετατοπίσεων και των τάσεων επηρεάζονται από τις οριακές συνθήκες του οχήματος για δύο λόγους:
 1. Αρχικά λείπουν αρκετά εξαρτήματα από το μοντέλο μας (εμπρός/πίσω υποπλαίσιο, ρόδες, ελαστικά κλπ.), τα οποία θα πρόσφεραν επιπλέον ακαμψία στο σασί και τη δυνατότητα ο ορισμός των οριακών συνθηκών να γινόταν σε ρεαλιστικά σημεία και όχι προσεγγίστηκα.
 2. Επίσης λόγω του ότι πραγματοποιήθηκε στατική ανάλυση, αρκετές οριακές συνθήκες και πιο συγκεκριμένα ο ορισμός των βαθμών ελευθερίας, δεν επιτρέπουν την απόσβεση κάποιων φορτίων, σύμφωνα με το φαινόμενο κίνησης του οχήματος. Από την άλλη βέβαια αυτό αποτελεί και τον έλεγχο του σασί σε πιο ακραίες καταστάσεις από τις αληθινές.

5. Προτάσεις περαιτέρω εξέλιξης του οχήματος.

Όπως γίνεται κατανοητό σύμφωνα με τα συμπεράσματα (εν. 4) που προέκυψαν καθώς και όλη τη διαδικασία που πραγματοποιήθηκε, σαφώς και υπάρχουν περιθώρια βελτιστοποίησης του σασί. Αυτό μπορεί να γίνει μέσω κάποιων αλλαγών στη μοντελοποίηση αλλά και την πραγματοποίηση επιπλέον πειραμάτων, για την εξακρίβωση των αποτελεσμάτων.

Μερικοί τρόποι βελτιστοποίησης είναι :

1. Όσον αφορά στη μοντελοποίηση, θα πρέπει να εισαχθούν στη γεωμετρία, όλα τα εξαρτήματα του οχήματος, τα οποία επηρεάζουν την ακαμψία του σασί και πραγματοποιούν πιο ρεαλιστική την ανάπτυξη τάσεων.
2. Κατά την μοντελοποίηση και πιο συγκριμένα στην εισαγωγή των ιδιοτήτων των υλικών, θα μπορούσε η εισαγωγή των χαρακτηριστικών τους να μην πραγματοποιηθεί προσεγγιστικά από τους καταλόγους των εταιρειών αλλά μέσω πειραμάτων. Πιο αναλυτικά θα μπορούσαν να δημιουργηθούν δοκίμια διαφόρων σύνθετων υλικών, στα οποία θα πραγματοποιηθούν δοκιμές εφελκυσμού, μέσω των οποίων θα προκύψουν τα ακριβή χαρακτηριστικά των σύνθετων υλικών και στη συνέχεια θα γίνει η εισαγωγή τους στο πρόγραμμα.
3. Άλλος ένας τρόπος που θα συμβάλλει στη βελτιστοποίηση του σασί έχει να κάνει με τον ορισμό των τιμών των φορτίων. Στην παρούσα εργασία ο ορισμός των τιμών των φορτίων έχει πραγματοποιηθεί προσεγγιστικά μέσω υπολογισμών και σύμφωνα με τα δεδομένα της εν. 2.2.1.. Θα μπορούσαν οι τιμές αυτές να γίνουν πιο ρεαλιστικές, με την χρήση τηλεμετρίας πάνω στο όχημα η οποία μέσω αισθητήρων θα καταγράφει, οποιοδήποτε φορτίο ασκείται πάνω στο όχημα κατά την κανονική κίνηση του αλλά και άλλες περιπτώσεις όπως για παράδειγμα το πέραςμα πάνω από μια λακκούβα ή μια ανωμαλία του εδάφους ή ακόμα και την σύγκρουση του με άλλο όχημα ή την ανατροπή του. Τέλος η καταγραφή τιμών για τις ιδιαίτερες αυτές συνθήκες θα δημιουργούσε επιπλέον συνθήκες ελέγχου γεγονός που θα οδηγούσε σε πιο ολοκληρωμένη ανάλυση.

4. Τέλοςμέσω της καταγραφής δεδομένων από τηλεμετρία, θα δινόταν η δυνατότητα να πραγματοποιηθεί δυναμική ανάλυση στο όχημα. Το είδος αυτής της ανάλυσης θα πρόσφερε πιο ρεαλιστική περιγραφή των συνθηκών ελέγχου και ταυτόχρονα και των αποτελεσμάτων.

Η πραγματοποίηση των παραπάνω από τα επόμενα μέλη της ομάδας 'Ποσειδών', ευελπιστούμε ότι θα συμβάλλει στην περαιτέρω εξέλιξη του οχήματος ή ακόμα και στη δημιουργία κάποιου νέου και στη συνέχιση της μέχρι σήμερα πολύ πετυχημένης πορείας της ομάδας.

6.Βιβλιογραφία

Crolla, D. A. (2009). *Automotive Engineering: Powertrain, Chassis System and Vehicle body*. Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, UK: Elsevier Inc.

Daniel, I. M. (1994). *Engineering Mechanics of Composite Materials*. 200 Madison Avenue, New York, New York 10016: Oxford University Press, Inc.

Dooby, M. (2013). *Design and development of a composite automotive anti-roll bar (Theses)*. Windsor, Ontario, Canada: University of Windsor.

Gibson, R. F. (1994). *Principles of Composite Material Mechanics*. 1221 Avenue of the Americans, New YORK, NY 10020, U.S.A.: McGraw-Hill, Inc.

Gillespie, T.D. (1992). *Fundamentals of Vehicle Dynamics*. Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers Inc.

Harty, M. B. (2004). *The Multibody Systems Approach to Vehicle Dynamics*. Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP: Elsevier Butterworth-Heinemann.

I. Beer, F. P. (2013). *Vector Mechanics for Engineers: Statics and Dynamics, Tenth Edition*. 1221 Avenue of the Americans, New YORK, NY 10020: McGraw-Hill.

Jazar, R. N. (2009). *Vehicle Dynamics: Theory and Applications*. New York, USA: 2008 Springer Science + Business Media, LLC.

Jones, R. M. (1999). *Mechanics of Composite Materials, Second Edition*. 325 Chestnut Street, Philadelphia, PA 19106: Taylor & Francis, Inc.

Jornsen Reimpell, H. S. (2001). *The Automotive Chassis: Engineering Principles (Second Edition)*. Warrendale, PA 15096-0001, U.S.A.: Society of Automotive Engineers, Inc.

Kaw, A. K. (2006). *Mechanics of Composite Materials, Second Edition*. 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300: Taylor & Francis Group.

Logan, D. L. (2007). *A First Course in the Finite Element Method, Fourth Edition*. 1120 Birchmount Road, Toronto, Ontario, Canada, M1K 5G4: Nelson.

Milliken, W. F. (1995). *Race Car Vehicle Dynamics*. Warrendale, PA 15096-001 U.S.A.: Society of Automotive Engineers, Inc.

Materials, H. C. (1999). Honeycomb Attributes and Properties.
<http://www.hexcel.com/>

Materials, H. C. (2000). Honeycomb Sandwich Design Technology.
<http://www.hexcel.com/>

Materials, H. C. (2013, January). Prepreg Technology. Ανάκτηση από Hexcel:
<http://www.hexcel.com/>

Santin, J. O. (2007). *The World's Most Fuel Efficient Vehicle: Design and Development of Pac-car II*. vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zurich.

Λαμπρόπουλος Α., Ι. Π. (2014). *Σχεδιασμός οχήματος βελτιστοποιμένης ενεργειακής απόδοσης (Διπλωματική Εργασία)*. Ανώτατο Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά Τεχνολογικού Τομέα.

Στυλιανή, Κ. Ι. (2014). *Συμπεριφορά δοκών λεπτότοιχης διατομής I από FRP υπό εγκάρσια φορτία (Διπλωματική Εργασία)*. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών.

