



Πολυτεχνείο Κρήτης

Διπλωματική Εργασία

**Σχεδιασμός και βελτιστοποίηση σασί πλαισίου αυτοκινήτου
με χρήση ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων.**

Αντώνης Μπριλλάκης

A.M. 2011010043

Χανιά 2022

Επιβλέπων: Σταυρουλάκης Γεώργιος, καθηγητής (gestavr@dpem.tuc.g

1° μέλος Βασίλειος Μουστάκης, καθηγητής (moustaki@dpem.tuc.gr)

2° μέλος Μαρία Μπακατσάκη, ΕΔΙΠ (mariab@isc.tuc.gr)

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή	1
2.1 Επιλογή του μοντέλου	1
2.2 Ανάλυση του μοντέλου	5
2.3 Επεξεργασία μοντέλου	7
3 FEM/Simulations	8
3.1 Διαδικασία πλέγματος	8
3.1.1 CAE / COMPUTER-AIDED ENGINEERING	8
3.1.2 Εφαρμογή CAE στην αυτοκινητοβιομηχανία	9
3.1.1.4 Ανάπτυξη οχήματος με προσομοίωση CAE	11
3.1.2 FEA / Finite element analysis.....	11
3.1.3 Θεωρίες αστοχίας.....	22
3.2 Επιλογή παραμέτρων	23
3.2.1 Το αρχικό και το απλοποιημένο σχέδιο	24
3.3 Αποτελέσματα στο μη ενισχυμένο πλαίσιο	24
3.4 Αποτελέσματα στο ενισχυμένο πλαίσιο	25
3. 5 . Αποτελέσματα βελτιωμένου σχεδίου	27
Κεφάλαιο 4 ^ο Σχολιασμός αποτελεσμάτων και προτάσεις για μελλοντική συνέχεια της παρούσας εργασίας	28
4.1 Σύγκριση αποτελεσμάτων	28
4.2 Πως θα μπορούσε να βελτιωθεί-συνεχιστεί η παρούσα διπλωματική.....	29
4.2.1 Χρήση 3D scanning.....	29
4.2.2 Τοπολογική Βελτιστοποίηση.....	30
Βιβλιογραφία	30

1. Εισαγωγή

Η στρεπτική ακαμψία είναι ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό ενός αυτοκινήτου, καθώς τα αυτοκίνητα που έχουν υψηλή στρεπτική ακαμψία προσφέρουν καλύτερη άνεση, καλύτερα κρατήματα και πιο άμεση απόκριση στο τιμόνι. Βελτιώνοντας την στρεπτική ακαμψία ενός οχήματος επιτρέπει στην ανάρτηση να λειτουργεί πιο αποδοτικά και προβλέψιμα, καθώς η ανάρτηση θα έχει μεγαλύτερη διαδρομή εφόσον το πλαίσιο δεν κινείται.

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο σχεδιασμός και η δυναμική ανάλυση ακαμψίας ενός πλαισίου από ένα υπάρχον αυτοκίνητο και στην συνέχεια βελτίωση του μέσω προσθήκης ενισχυτικών τμημάτων στο παρόν πλαίσιο.

2.1 Επιλογή του μοντέλου

Το μοντέλο που επιλέχτηκε για να αναλυθεί είναι αυτό της **Mercedes-Benz 300 SL (super light) Gullwing** (φτερά του γλάρου) του 1954. Η επιλογή του δεν ήταν τυχαία καθώς το συγκεκριμένο αυτοκίνητο θεωρείται από πολλούς το αυτοκίνητο του αιώνα το πρώτο υπέρ αυτοκίνητο (supercar) και αποτελεί σημείο αναφοράς για την εξέλιξη των αυτοκινήτων.



Εικόνα 2.1.1 .α Mercedes 300 SL Gullwing



Εικόνα 2.1.1.β. Mercedes 300 SL Gullwing



Εικόνα 2.1.1.γ Mercedes 300 SL Gullwing



Εικόνα 2.1.2.α. Mercedes 300 SL εσωτερικό



Εικόνα 2.1.2.β. Mercedes 300 SL εσωτερικό

Κατά την διάρκεια του 1952 η Mercedes – Benz είχε αγωνιστεί με επιτυχία με ένα W194 Sport Leight , που ονομάζονταν επίσης 300SL , στο Le Mans 24 hours και στο Carrera Pan Americana.

Τον Σεπτέμβριο του 1953 ο Αμερικανός εισαγωγέας **Maximilian Hoffman** παρήγγειλε στην Mercedes Benz 500 εκδόσεις του 300 SL για οδηγική χρήση. Έτσι το διοικητικό συμβούλιο της Daimler Benz πείστηκε να κατασκευάσει μια σειρά έκδοσης του επιτυχημένου αγωνιστικού σπορ αυτοκινήτου 300 SL. Τον Φεβρουάριο του 1954 η Mercedes 300 SL (κωδικός πλαισίου W 198) έκανε το εντυπωσιακό της ντεμπούτο στην Διεθνή Έκθεση Αυτοκινήτου στην Νέα Υόρκη. Το νέο σπορ αυτοκίνητο απόπνεε εξίσου κομψότητα και καινοτομία. Ήταν το πρώτο τετράχρονο επιβατικό αυτοκίνητο παραγωγής στον κόσμο που εξοπλίστηκε με άμεσο ψεκασμό καυσίμου που βελτιώνει την απόδοση και την απόδοση.

Ο **Rudolf Uhlenhaut** ήταν ο κύριος υπεύθυνος για τη συνολική σχεδίαση αυτού του εξαιρετικού οχήματος. Η μοναδικότητα του κινητήρα και ο άμεσος ψεκασμός βενζίνης ανάγονται στην ερευνητική εργασία του **Hans Scherenberg**. Ο σχεδιαστής του 300 SL ήταν ο **Friederich Geiger**

Οι ανοδικές πόρτες με επάνω μεντεσέδες έγιναν το πιο χαρακτηριστικό της 300 SL και της κέρδισαν το δημοφιλές όνομα «**Gullwing**» που σημαίνει φτερά γλάρου. Αυτές οι πόρτες σήμα κατατεθέν δεν υπήρχαν ως στιλιστικό τέχνασμα ήταν μια αναγκαιότητα λόγω της υψηλής πλαϊνής δομής του άκαμπτου πλαισίου.

Η τροφοδοσία του 1954 300 SL ήταν μια εξαιρετικά ανεπτυγμένη έκδοση του κινητήρα 3 λίτρων straight-six που χρησιμοποιήθηκε επίσης στα σεντάν της σειράς 300 της εταιρείας. Σε αυτή τη μορφή, ο κινητήρας SOHC, με επτά κύρια έδρανα, εκτόπιζε 2.996 cc (182,76 κυβικές ίντσες) μέσω της οπής και της διαδρομής του 3,35 x 3,46 ιντσών και τροφοδοτήθηκε από ένα μηχανικό σύστημα άμεσου ψεκασμού καυσίμου Μπος (Bosch) , το πρώτο από το είδος του σε επιβατικό αυτοκίνητο τεσσάρων κύκλων. Με την τυπική αναλογία συμπίεσης 8,55:1, η 300 SL απέδιδε 215 ίππους στις 5.800 σ.α.λ. και 217 λίβρες πόδια. της ροπής στις 4.800 σ.α.λ. Μια επιλογή Sport κινητήρα, που ενσωματώνει διαφορετικό εκκεντροφόρο και υψηλότερη συμπίεση, ήταν επίσης διαθέσιμη, και οι δύο κινητήρες συνδυάζονταν αποκλειστικά με ένα all-synchromesh μηχανικό κιβώτιο ταχυτήτων τεσσάρων ταχυτήτων. Με τελική ταχύτητα του αυτοκινήτου ήταν 250 χλμ / ώρα θεωρήθηκε το ταχύτερο αυτοκίνητο παραγωγής της εποχής του

Παρά την έλλειψη χώρου αποσκευών (ο χώρος αποσκευών ήταν πίσω από τα καθίσματα, όπου μπορούσαν να στοιβάζονται τοποθετημένες βαλίτσες), ο συνδυασμός ενός ρεζερβουάρ βενζίνης 34,34 γαλονιών και η τυπική προσοχή της Mercedes στην άνεση των επιβατών έκανε το SL ένα υπέροχο Grand Tourer. καθώς και το εξωτικό γερμανικό σπορ αυτοκίνητο. Ανάλογα με την τελική σχέση μετάδοσης κίνησης που καθορίστηκε, θα μπορούσε να φτάσει τα 60 MPH σε 7,2 δευτερόλεπτα ή να ξεπεράσει τα 150 MPH, με τον ψεκασμό καυσίμου να δίνει στο αυτοκίνητο ένα ευρύ φάσμα ροπής σε κάθε σχέση. Τα σερβο-υποβοηθούμενα τύμπανα φρένα τεσσάρων τροχών έφεραν τεράστια τύμπανα πλάτους 3,54 ιντσών.

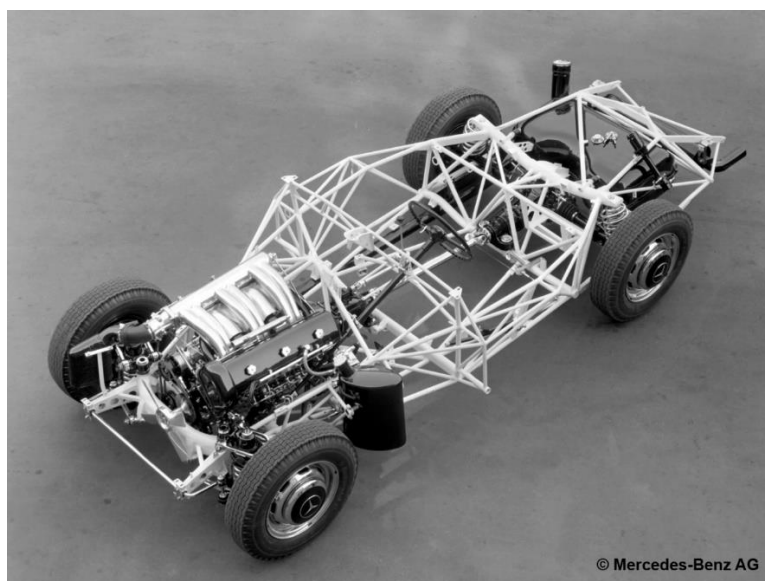


Εικόνα 2.2.3. Mercedes 300 SL Εσωτερικό με ενσωματωμένο χώρο αποσκευών

Η Mercedes 300 SL αποτελεί διαχρονικά αντικείμενο θαυμασμού. Τον Δεκέμβριο του 1999 ψηφίστηκε Σπορ Αυτοκίνητο Του Αιώνα (Sports Car of the Century) από κριτική επιτροπή εμπορικών δημοσιογράφων

2.2 Ανάλυση του μοντέλου

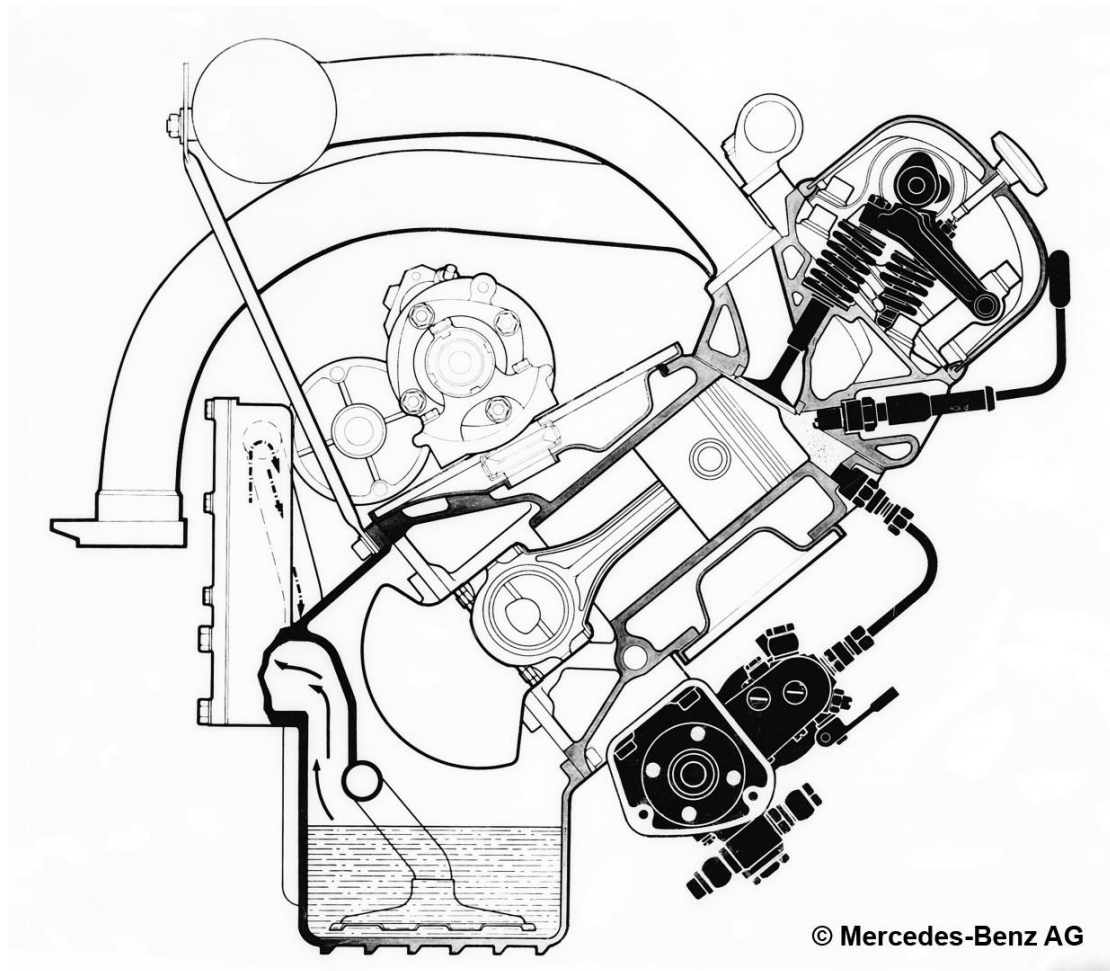
Το αυτοκίνητο ήταν πολύ εξελιγμένο για την εποχή του, χρησιμοποιούσε σωληνωτό πλαίσιο από ατσάλι σχεδιασμένο από τον επικεφαλής μηχανικό της Mercedes Rudolf Uhlenhaut το οποίο ήταν χαρακτηριστικό των αγωνιστικών αυτοκινήτων αυτήν την εποχή. Το σωληνωτό πλαίσιο από λεπτούς ευθύγραμμους σωλήνες παρείχε υψηλή σταθερότητα με χαμηλή μάζα οχήματος και ζυγίζοντας μόλις 82 κιλά , το καθιστούσε πολύ ελαφρύ για τις επιδόσεις που πρόσφερε.



Εικόνα 2.2.1 Πλαίσιο με μηχανικά μέρη

Ο κινητήρας είναι ένας υδρόψυκτος 6κύλινδρος σε σειρά , κυβισμού 2.996 cc χρησιμοποιούσε για λίπανση σύστημα ξηρού κάρτερ το οποίο εξασφαλίζει ότι ο κινητήρας θα έχει την κατάλληλη λίπανση ανεξαρτήτως συνθηκών οδήγησης καθώς η πλειοψηφία του λαδιού βρίσκεται σε ξεχωριστό δοχείο μεγάλης χωρητικότητας. Επίσης αρκετά καινοτόμο αυτή την εποχή για αυτοκίνητο δρόμου ήταν το γεγονός ότι είχε μηχανικό άμεσο ψεκασμό καυσίμου το οποίο έδινε μεγάλη απόδοση στον κινητήρα. Η πλάγια τοποθέτηση του κινητήρα έγινε για να διατηρηθεί χαμηλό κέντρο βάρους αλλά και για να χωράει στον προκαθορισμένο χώρο.

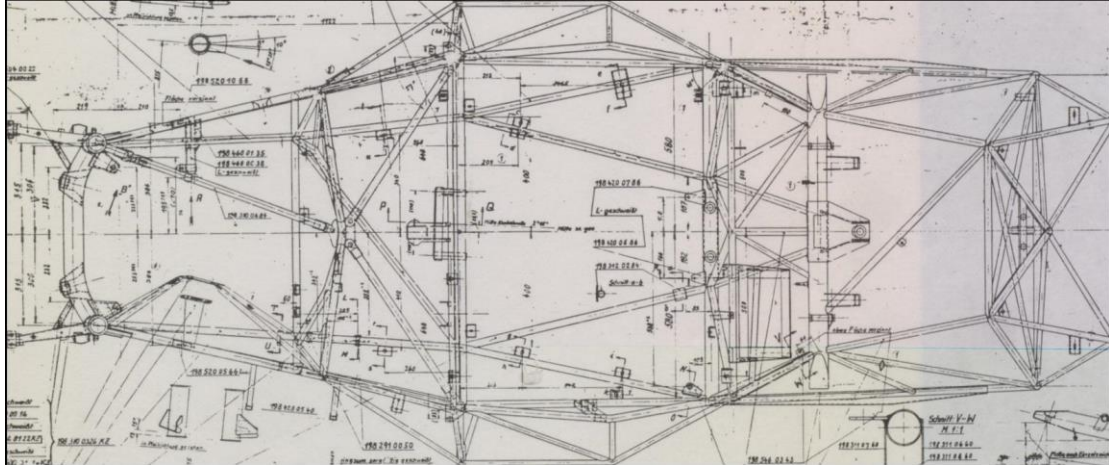
Ο κινητήρας έχει τοποθετηθεί με κλίση 30° ώστε η διάμετρος εισαγωγής των βαλβίδων να είναι μεγαλύτερη οπότε κατά συνέπεια εισάγεται και εξάγεται η μεγαλύτερη δυνατή ποσότητα καυσίμου.



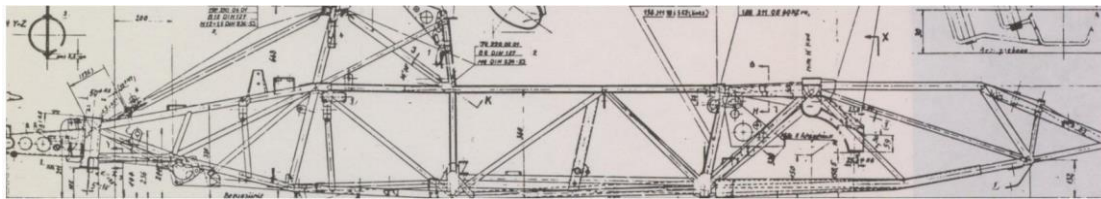
Εικόνα 2.2.2 Κινητήρας

2.3 Επεξεργασία μοντέλου

Το μοντέλο που σχεδιάστηκε για να χρησιμοποιηθεί στην παρούσα διπλωματική εργασία προέκυψε με αντίστροφη μηχανική των σχεδίων του εργοστασίου τα οποία μου παραχωρήθηκαν από το Mercedes Classic Center.

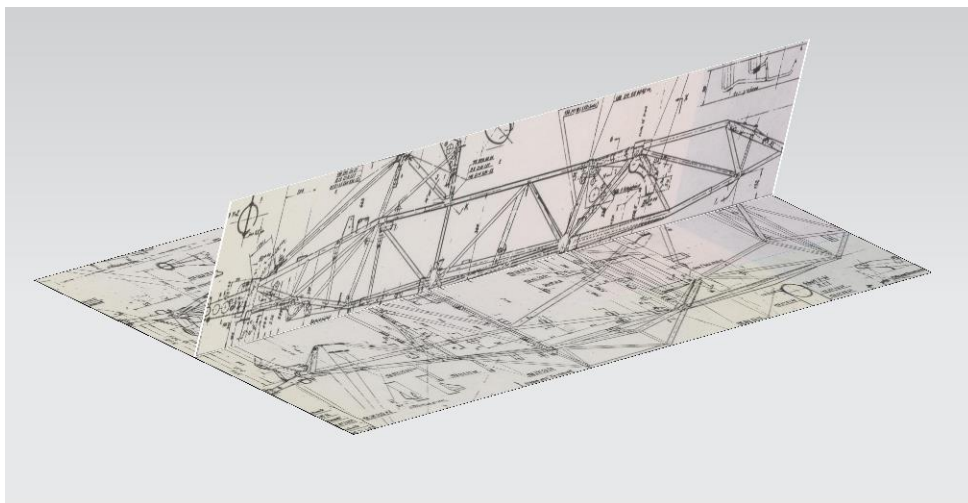


Εικόνα 2.3.1 Κάτοψη σασί



Εικόνα 2.3.2 Δεξιά όψη σασί

Καθώς πολλές διαστάσεις δεν υπήρχαν προέκυψαν με ψηφιακές αλλά και μετρήσεις με κλιμακόμετρο σε εκτυπωμένο σχέδιο για να προκύψουν όλες οι διαστάσεις που χρειάζονταν για να παράγουμε το τελικό μοντέλο.



Εικόνα 2.3.3 Χρήση σχεδίων για την αντίστροφη μηχανική

3 FEM/Simulations

3.1 Διαδικασία πλέγματος

3.1.1 CAE / COMPUTER-AIDED ENGINEERING

Computer-aided engineering (CAE) (Μηχανική Με Βοήθεια Υπολογιστή) προτάθηκε σαν ιδέα από τον Λέμον (J.Lemon) το 1980 και είναι προσομοίωση της απόδοσης του εξεταζόμενου προϊόντος που επιτυγχάνεται με χρήση λογισμικού υπολογιστών με σκοπό τη βελτίωση του σχεδιασμού του ή την υποβοήθηση στην επίλυση προβλημάτων μηχανικής για πολλές κατηγορίες βιομηχανιών. Με την προσομοίωση επιτυγχάνεται βελτιστοποίηση των διαδικασιών , των κατασκευαστικών εργαλείων και των προϊόντων

Μια συνηθισμένη διαδικασία CAE περιλαμβάνει τρία στάδια. Στο πρώτο στάδιο οι μηχανικοί μετατρέπουν την γεωμετρία σε μοντέλο λαμβάνοντας υπόψιν τις φυσικές ιδιότητες του σχεδιασμού ,τα εφαρμοζόμενα φορτία ή περιορισμούς του περιβάλλοντος. Εν συνεχεία το μοντέλο επιλύεται διατυπώνοντας μαθηματικά την υποκείμενη φυσική. Τέλος τα αποτελέσματα δίνονται στον μηχανικό για την τελική αξιολόγηση.

Οι εφαρμογές CAE χρησιμοποιούνται από πολλούς επιστημονικούς τομείς η σε περιπτώσεις που περιλαμβάνουν :

- Δυναμική ανάλυση και ανάλυση τάσεων σε επίπεδο εξαρτημάτων και επιμέρους τμημάτων του εξεταζόμενου φορέα εφαρμόζοντας την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων (FEA)
- Θερμική ανάλυση και υπολογιστική δυναμική ρευστών(CFD)
- Δυναμική και κινηματική ανάλυση στερεών σωμάτων και μηχανισμών
- Σχεδιασμός και ανάλυση συστημάτων ελέγχου
- Προσομοίωση κατασκευαστικών διαδικασιών όπως η χύτευση
- Βελτιστοποίηση της διαδικασίας ή του παραγόμενου προϊόντος

Για την επίλυση προβλημάτων μηχανικής που απαιτούν προσομοίωση πολλαπλών φαινομένων χρησιμοποιούνται εφαρμογές CAE που ονομάζονται λύσεις πολλαπλών φυσικών.

Πλεονεκτήματα της Μηχανικής Με Βοήθεια Υπολογιστή (CAE)

Με την βοήθεια της CAE επιτυγχάνεται σημαντική μείωση στο κόστος και χρόνο παραγωγής των προϊόντων καθώς και βελτιστοποίηση της ποιότητας και αντοχής του προϊόντος

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της CAE είναι :

- Ο τελικός σχεδιασμός εξαρτάται άμεσα από την απόδοση του σχεδιαζόμενου προϊόντος
- Οι πραγματικές δοκιμές πρωτοτύπων μπορούν να παραλειφθούν όταν χρησιμοποιούνται προσομοιώσεις υπολογιστών μειώνοντας έτσι κόστος και χρόνο.
- Δίνεται η δυνατότητα να γίνουν νωρίτερα επεμβάσεις στον σχεδιασμό απόδοσης όταν αυτές είναι λιγότερο δαπανηρές
- Δίνεται η δυνατότητα καλύτερης συνεργασίας μεταξύ των μηχανικών ομάδων και αξιοποίησης των πληροφοριών απόδοσης και βελτίωσης του σχεδιασμού

- Προλαμβάνονται και επιλύονται προβλήματα πριν φθάσουν στην παραγωγή οπότε δεν θίγεται η εγγύηση του προϊόντος και η αξιοπιστία της κατασκευάστριας εταιρίας

Η CAE χρησιμοποιείται από διάφορες βιομηχανίες όπως η αυτοκινητοβιομηχανία, η αεροδιαστημική, τα καταναλωτικά προϊόντα, τα ηλεκτρονικά, οι σταθμοί παραγωγής ενέργειας.

3.1.2 Εφαρμογή CAE στην αυτοκινητοβιομηχανία

Η CAE αποτελεί μέρος του σχεδιασμού NVH (Noise,Vibration,Harshness- Θόρυβος, Δόνηση, Τραχύτητα).

Με την CAE γίνεται προσπάθεια να αντιμετωπιστούν τα ακόλουθα κυριότερα προβλήματα της αυτοκινητοβιομηχανίας :

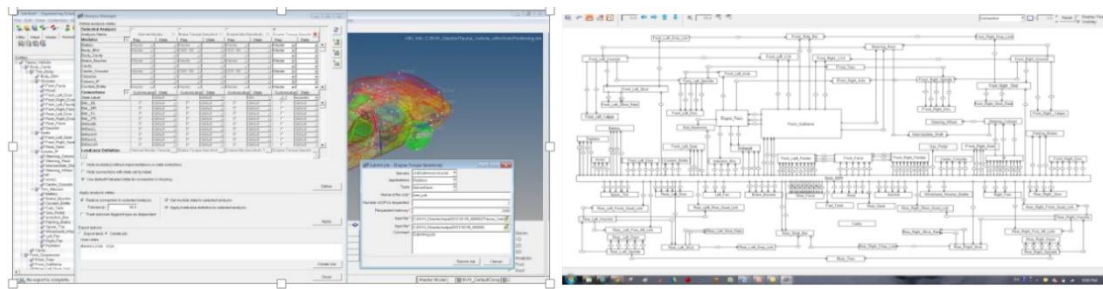
Οι αλλαγές σχεδιασμού σε προχωρημένο στάδιο – Κακές κριτικές αγοραστών

Κατά την διάρκεια δοκιμών του οχήματος στην φάση επαλήθευσης του σχεδιασμού μπορούν να προκύψουν πολλά θέματα NVH. Η επίλυση των θεμάτων αυτών προκαλεί κοστοβόρες καθυστερήσεις στο χρονοδιάγραμμα παραγωγής ειδικά όταν το στάδιο στο οποίο αυτά εντοπίστηκαν δεν είναι αρχικό. Η ελευθερία επανασχεδιασμού σε μεταγενέστερο στάδιο ανάπτυξης του οχήματος είναι περιορισμένη και έστω και αν επιλυθούν τα προβλήματα NVH δεν επιλύονται οι υποκείμενες αιτίες. Αν εμφανιστούν τέτοια θέματα NVH μπορεί να θεωρηθεί ότι η CAE απέτυχε να τα εντοπίσει και να τα επιλύσει πριν την τελική φάση της κατασκευής του αυτοκινήτου.

Ο αγοραστής όταν εντοπίσει προβλήματα που σχετίζονται με το NVH μπορεί να ζητήσει επίλυση των προβλημάτων αυτών στο πλαίσιο της εγγύησης. Τα ζητήματα εγγύησης τα οποία πρέπει να αξιολογηθούν και να επιλυθούν είναι δαπανηρά και οδηγούν μεταγενέστερα σε υποβάθμιση της εικόνας της αυτοκινητοβιομηχανίας που βασίζεται στην αξιοπιστία και ασφάλεια.

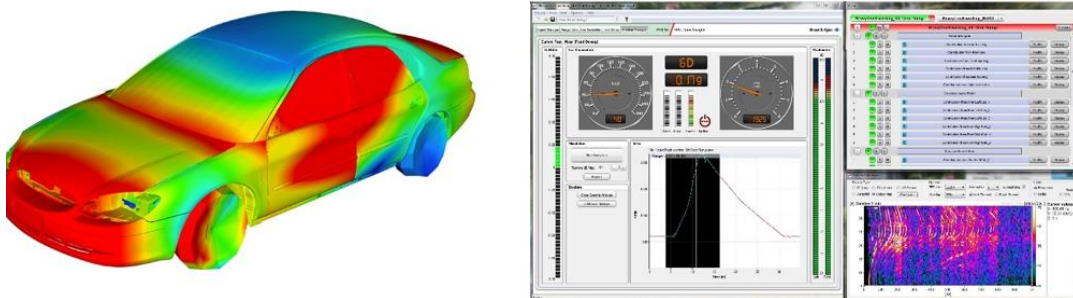
Ο χρόνος παράδοσης σχεδιασμού είναι πολύ μεγάλος

Συχνά δεν επιτυγχάνονται οι επιθυμητοί χρόνοι σχεδιασμού και ανάπτυξης. Αυτή η κατάσταση μπορεί να βελτιωθεί με τη χρήση αποτελεσματικών και αποκλειστικών εργαλείων CAE για τη γρήγορη δημιουργία μοντέλων και την ελαχιστοποίηση των σφαλμάτων χρήση. Το πρωτότυπο αυτοκίνητο θα πρέπει να παρουσιαστεί από ολοκληρωμένο πλήρες τρισδιάστατο μοντέλο εξαιρετικής ακριβείας, ώστε να γίνει προσομοίωση για την μελέτη της συμπεριφοράς του σε πραγματικές καταστάσεις. Πολλές αυτοκινητοβιομηχανίες λόγω των δυσκολιών που συναντούν στην σχεδίαση ολοκληρωμένου μοντέλου οχήματος περιορίζουν την ανάλυση σε επίπεδο εξαρτημάτων. Για την επίλυση αυτών των ζητημάτων έχει αναπτυχθεί το λογισμικό NVH Director, που όπως φαίνεται στο σχήμα 3.1.2.1. έχει σχεδιαστεί ώστε να διαχειρίζεται την πολυπλοκότητα ενός NVH ολοκληρωμένου μοντέλου



3.1.2.1 Ολοκληρωμένο μοντέλο οχήματος μέσω NVH Director

Ο χρόνος παράδοσης έχει ελαττωθεί λόγω της εξέλιξης της τεχνολογίας επίλυσης ώστε να επιταχυνθεί η ανάλυση με χαρακτηριστικά σχεδιασμένα για επίλυση ζητημάτων NVH. Τα αποτελέσματα της διάγνωσης καθώς και τα εργαλεία που έχουν χρησιμοποιηθεί είναι πολύ σημαντικά για την μελέτη κατανόηση και επίλυση των ζητημάτων αυτών. Το σχήμα 3.1.2.2. δείχνει τα διαγνωστικά αποτελέσματα.



3.1.2.2 Παράδειγμα από διαγνωστικά αποτελέσματα

Η αντικειμενική απόδοση NVH μετριέται και προβλέπεται κατά την ανάπτυξη του οχήματος, αλλά τελικά η απόδοση NVH είναι υποκειμενική και ανοιχτή σε ανθρώπινη ερμηνεία. Τα γραφικά δεδομένα παρουσιάζονται με τρόπο ώστε να ληφθεί υπόψιν η ανθρώπινη αντίληψη αλλά ακόμη και τότε μπορούν να οδηγήσουν σε λάθος συμπεράσματα συγκρινόμενα με τις πραγματικές εκτιμήσεις. Για την επίλυση αυτού του θέματος τα αποτελέσματα της CAE δίνονται να διαβαστούν από ένα λογισμικό προσομοιωτή. Έτσι διευκολύνεται η υποκειμενική αξιολόγηση του θορύβου και των κραδασμών. Η προσομοίωση περιλαμβάνει τις εξής κατηγορίες : 1. Ολοκληρωμένο όχημα ώστε να παρέχεται μία εμπειρία διαδραστικής οδήγησης με θόρυβο, κραδασμούς και οπτικοποίηση σε αληθινό όχημα. 2. Υπολογιστής με προσομοιωτή για διαδραστική οδήγηση με θόρυβο και οπτικοποίηση σε ένα γραφείο. 3. Ακουστικά που βοηθούν στην αξιολόγηση θορύβου σε συγκεκριμένη σταθερή λειτουργία του οχήματος. Η επιλογή 3 όσον αφορά την εκτίμηση του

θορύβου δίνει την δυνατότητα στον CAE αναλυτή να λάβει αποφάσεις σχεδιασμού βασιζόμενος στην υποκείμενη του κρίση

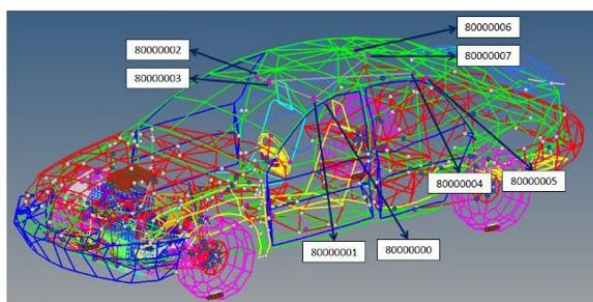
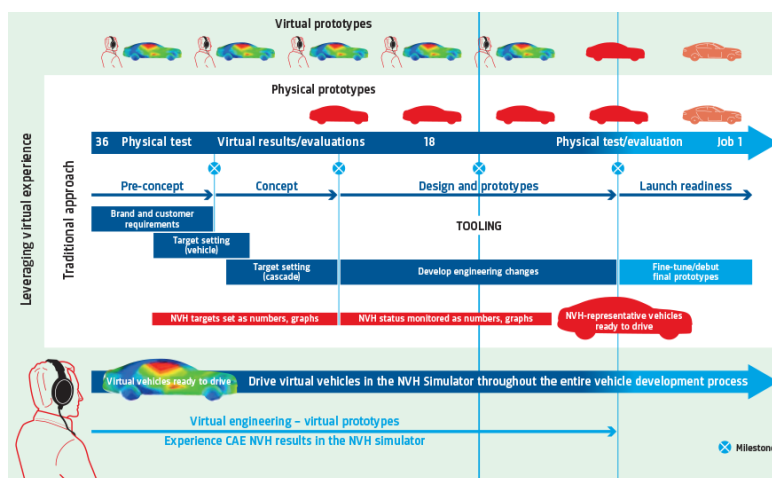


Figure 3: Subjective assessment of CAE Results (Insight +)

3.1.2.3 Υποκειμενική εκτίμηση των αποτελεσμάτων της CAE

Με την βοήθεια του προσομοιωτή διευκολύνονται οι συγκρίσεις σχεδίασης και οι αξιολογήσεις της κριτικής επιτροπής που επιτυγχάνονται χωρίς να γίνουν δοκιμές σε πρωτότυπο όχημα. Με αυτόν τον τρόπο δεν χάνεται χρόνος μεταξύ των αξιολογήσεων για την επισκευή του οχήματος και οι άμεσες συγκρίσεις γίνονται άμεσα και εύκολα. Με την λήψη των τελικών αποφάσεων σε περιβάλλον προσομοιωτή, ελαχιστοποιείται το κόστος και ο χρόνος παραλαβής του πρωτότυπου οχήματος.



3.1.2.4 Ανάπτυξη οχήματος με προσομοίωση CAE

3.1.3 FEA / Finite element analysis

Μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων (FEM) είναι η δημιουργία μοντέλων προϊόντων και συστημάτων σε ένα εικονικό περιβάλλον, με σκοπό την εύρεση και επίλυση πιθανών (ή υπαρχόντων) δομικών ή επιδόσεων ζητημάτων .

Η **FEA (Finite Element Analysis)** είναι η εφαρμογή στην πράξη της μεθόδου πεπερασμένων στοιχείων (FEM) .Χρησιμοποιείται ευρέως από μηχανικούς και γενικότερα από επιστήμονες για την δημιουργία μαθηματικού μοντέλου ώστε να επιλυθούν αριθμητικά διάφορα

προβλήματα, δομικά, ρευστών και φυσικής. Το λογισμικό FEA χρησιμοποιείται κυρίως στις αεροναυτικές βιομηχανίες και στις αυτοκινητοβιομηχανίες.

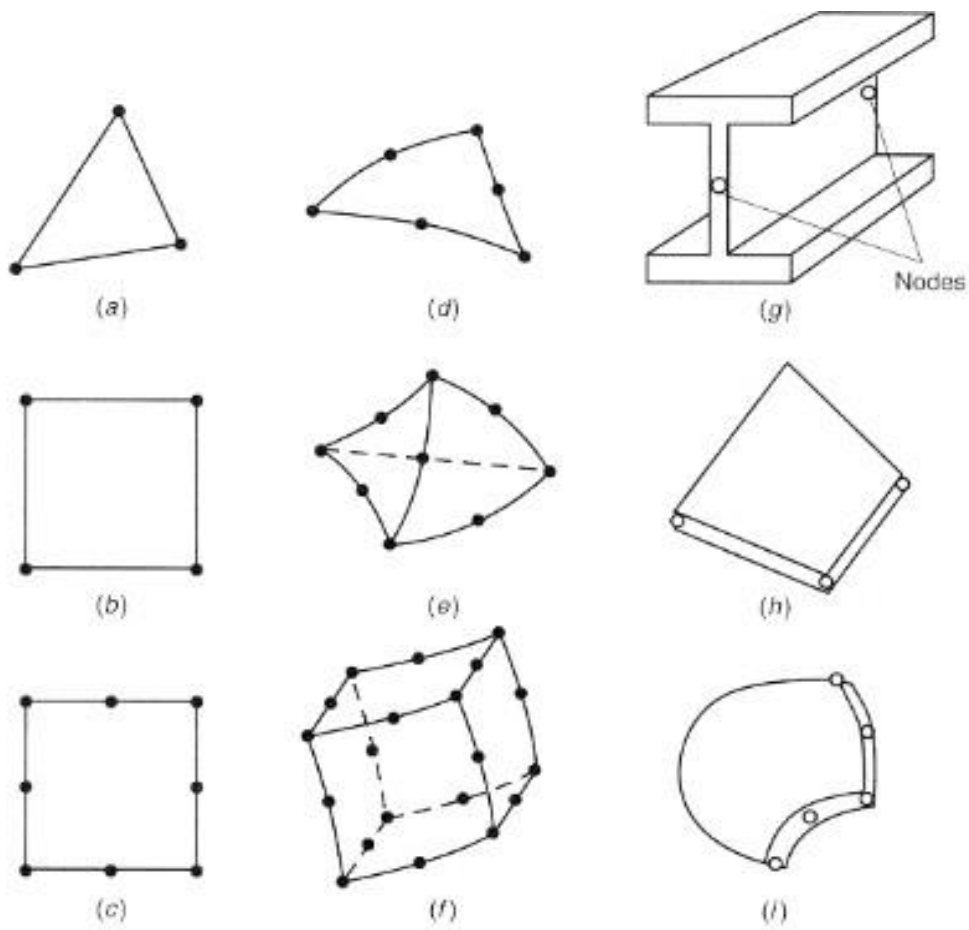
Το μοντέλο (FEA) πεπερασμένων στοιχείων αποτελείται από ένα σύστημα σημείων που ονομάζονται κόμβοι. Στους κόμβους αυτούς συνδέονται τα πεπερασμένα στοιχεία τα οποία χαρακτηρίζονται από τις υλικές και δομικές ιδιότητες του μοντέλου ,σχηματίζοντας έτσι ένα πλέγμα η συμπεριφορά του οποίου εξαρτάται από τις εκάστοτε συνθήκες .Η πυκνότητα του πλέγματος πεπερασμένων στοιχείων δεν είναι ίδια σε όλο το υλικό και εξαρτάται από την μεταβολή της τάσης στην συγκεκριμένη περιοχή του υλικού. Στις περιοχές του πλέγματος που υπάρχουν μεγάλες μεταβολές της τάσης συνήθως απαιτείται μεγαλύτερος αριθμός κόμβων από εκείνες που παρουσιάζουν μικρή ή μηδενική μεταβολή τάσης. Τα σημεία που μπορούν να προκαλέσουν ενδιαφέρον περιλαμβάνουν σημεία θραύσης που έχουν δοκιμαστεί σε προγενέστερο χρόνο ,περίπλοκες λεπτομέρειες και περιοχές υψηλής πίεσης.

Τα μοντέλα FEA έχουν την δυνατότητα να δημιουργηθούν χρησιμοποιώντας μίας διάστασης (1D δέσμη), δισδιάστατα (2D κέλυφος) ή τρισδιάστατα (3D στερεά) στοιχεία. Χρησιμοποιώντας δέσμες και κελύφη αντί για στερεά στοιχεία ένα μοντέλο μπορεί να δημιουργηθεί με λιγότερους κόμβους και χωρίς μεγάλη ακρίβεια .

Κάθε μοντέλο FEA χαρακτηρίζεται από κάποιες ιδιότητες όπως :

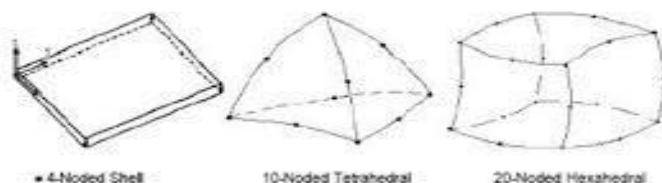
- Το πάχος της πλάκας
- Η καμπτική δύναμη
- Η διάτμηση
- Η σταθερά στρέψης
- Οι στιγμές αδράνειας
- Οι περιοχές τμημάτων

Τα τρίγωνα -τριάδες και τα τετράγωνα είναι τα πλέον απλά στοιχεία που χρησιμοποιούνται με δύο επίπεδα ελευθερίας ανά κόμβο. Αυξάνοντας τους κόμβους στις άκρες ή στο κέντρο το μοντέλο βελτιώνεται πολύ. Τα τρισδιάστατα μοντέλα είναι κατά κανόνα τα τρίγωνα ,τα τετράεδρα και τα εξαέδρα.



Εικόνα 3.1.2.1 Συνηθισμένοι τύποι στοιχείων που χρησιμοποιούνται για πλέγμα.

Common Element Types Used in ANSYS Workbench Simulation



Other Common Element Types

Dimension	Degree	Element Shape	Element Type
1D (Line)	Linear		Beam, Truss
	Quadratic		Beam
	Cubic		Beam
2D (Area)	Linear		Plane stress Plane strain Plate, Shell
	Quadratic		
	Cubic		
3D (Volume)	Linear		
	Quadratic		

Εικόνα 3.1.2.2 Συνήθεις τύποι στοιχείων που χρησιμοποιούνται στην προσομοίωση πάγκου εργασίας ANSYS

Για την προσομοίωση των επιπτώσεων των πραγματικών χώρων εργασίας στην FEA, μπορούν να εφαρμοστούν διάφοροι τύποι φορτίων στο μοντέλο FE, όπως:

- Κόμβος: δυνάμεις, ροπές, μετατοπίσεις, ταχύτητες, επιταχύνσεις, θερμοκρασία και ροή θερμότητας
- Στοιχειακό: κατανεμημένη φόρτιση, πίεση, θερμοκρασία και ροή θερμότητας
- Επιτάχυνση φορτίων σώματος (βαρύτητα)

Οι τύποι ανάλυσης περιλαμβάνουν:

- Γραμμική στατική: γραμμική ανάλυση με εφαρμοσμένα φορτία και περιορισμούς που είναι στατικοί
- Μη γραμμική στατική ανάλυση: εφέ που οφείλονται σε επαφή (όπου ένα μέρος του μοντέλου έρχεται σε επαφή με ένα άλλο), ορισμοί μη γραμμικών υλικών (πλαστικότητα, ελαστικότητα κ.λπ.) και μεγάλη μετατόπιση (στελέχη που υπερβαίνουν τη θεωρία μικρής μετατόπισης που περιορίζει μια γραμμική ανάλυση)

- Κανονικές λειτουργίες: φυσικές συχνότητες δόνησης
- Δυναμική απόκριση: φορτία ή κινήσεις που διαφέρουν ανάλογα με το χρόνο και τη συχνότητα
- Λυγισμός: κρίσιμα φορτία στα οποία μια δομή καθίσταται ασταθής
- Μεταφορά θερμότητας: αγωγιμότητα, ακτινοβολία και αλλαγή φάσης

Τα τυπικά αποτελέσματα που υπολογίζονται από τον επιλυτή περιλαμβάνουν:

- Μετακινήσεις κόμβων, ταχύτητες και επιταχύνσεις
- Στοιχειακές δυνάμεις, τάσεις και τάσεις

Πλεονεκτήματα της FEA

Η FEA χρησιμοποιείται για να σχεδιαστεί ένα προϊόν εξ αρχής ή για να βελτιώσει ένα ήδη υπάρχον προϊόν, ώστε να εξασφαλίσει ότι ο σχεδιασμός θα ανταποκρίνεται στις προδιαγραφές πριν το τελικό στάδιο της παραγωγής. Με την FEA μπορεί να :

- Προβλεφθεί και να βελτιωθεί η απόδοση και η αξιοπιστία του προϊόντος
- Μειωθεί το φυσικό πρωτότυπο και ο έλεγχος
- Αξιολογηθούν διαφορετικά σχέδια και υλικά
- Βελτιστοποιηθούν τα σχέδια και να μειωθεί η χρήση υλικών

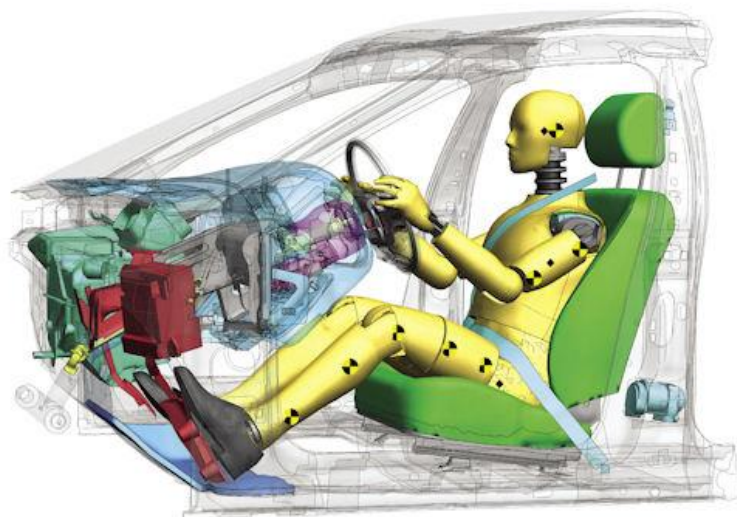
3.1.4 Εφαρμογή FEA στην αυτοκινητοβιομηχανία

Ο πρωταρχικός στόχος όλων των κατασκευαστών αυτοκινήτων είναι να μετακινήσουν την προγνωστική προσομοίωση στο αρχικό στάδιο του σχεδιασμού. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται να γίνουν αλλαγές στον σχεδιασμό νωρίτερα, να μειωθεί ο αριθμός των κύκλων σχεδιασμού και των φυσικών δοκιμών. Τα χρονοδιαγράμματα του έργου-στόχου από την ιδέα έως τον ορισμό του πρωτοτύπου είναι πολύ διαδεδομένα στον κλάδο, με χρονοδιαγράμματα της τάξης των 18 μηνών να συζητούνται

Η ανάλυση σύγκρουσης οχημάτων είναι ίσως η πιο γνωστή προσομοίωση στον σχεδιασμό αυτοκινήτων και πράγματι θεωρείται ως το πρότυπο για άλλους κλάδους της βιομηχανίας. Γίνεται προσπάθεια να προβλεφθεί η απόκριση του οχήματος και να δοθεί άδεια αλλαγής πολύ πριν από τις φυσικές δοκιμές. Όμως υπάρχουν κάποιοι περιορισμοί στην τεχνολογία προσομοίωσης οπότε σε ορισμένους τομείς ακολουθείται μια παραδοσιακή διαδικασία εύρεσης και επίλυσης των προβλημάτων. Σε αυτές τις περιπτώσεις σημαντική βοήθεια αποτελεί η συνεργασία με ακαδημαϊκά ιδρύματα.

Προσομοίωση σύγκρουσης

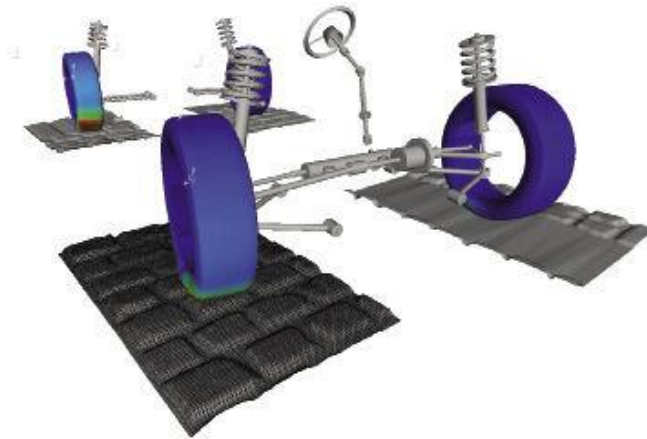
Στην προσομοίωση σύγκρουσης λαμβάνονται υπόψιν συγκεκριμένοι τύποι ατυχημάτων και στόχοι ασφαλείας. Σκοπός του σχεδιασμού σύγκρουσης οχημάτων είναι να απορροφηθεί η ενέργεια από όλο το όχημα. Ο σχεδιασμός δεν αποβλέπει σε ένα πολιτικό τεθωρακισμένο όχημα, αλλά σε ένα όχημα που έχει σχεδιαστεί να παραμορφώνεται σταδιακά ακόμη και όταν η πρόσκρουση είναι μέτρια.



Εικόνα 3.1.4.3. Crash μοντέλο προσομοίωσης σύγκρουσης με ανδρίκελο.

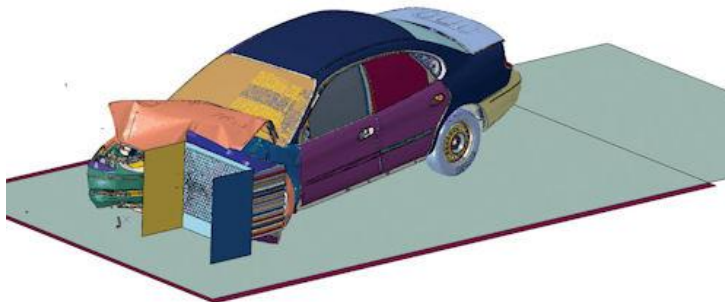
Στην προσομοίωση σύγκρουσης κάθε εξάρτημα – μέρος του αυτοκινήτου είναι σχεδιασμένο να παραμορφώνεται, να συνθλίβεται ή με κάποιον τρόπο να απορροφά ενέργεια. Η δημιουργία μοντέλου απαιτεί επαρκή αξιοπιστία πλέγματος και ακριβή προσδιορισμό του ρυθμού παραμόρφωσης ώστε να εξαχθούν ρεαλιστικά συμπεράσματα ,καθώς τα διάφορα μέρη του αυτοκινήτου εμπλέκονται στον συνολικό σχεδιασμό.

Η εξέλιξη των μοντέλων σύγκρουσης έχει φθάσει σε στάδιο όπου απαιτείται λεπτομερής και πολύπλοκη προ και μετά ανάλυση. Οπότε ο μηχανικός θα πρέπει να αναγνωρίσει και να οπτικοποιήσει την συμπεριφορά εκατοντάδων μερών του αυτοκινήτου κατά την διάρκεια της σύγκρουσης. Τα βίντεο από φυσικές δοκιμές μετατρέπονται σε γραφικά προσομοίωσης για να γίνουν οι απαραίτητες συγκρίσεις. Χρησιμοποιούνται γραφικές απεικονίσεις δυνάμεων, μετατοπίσεων και επιταχύνσεων σε συνάρτηση με τον χρόνο που παράγονται από συγκεκριμένα σημεία του οχήματος ώστε να συγκριθούν με τα στοιχεία των δοκιμών.



Εικόνα 3.1.4.4. Μοντέλο σχήματος Motion Solve .Η εικόνα είναι από Altair

Η προσομοίωση δοκιμής σύγκρουσης με ανδρείκελο αποτελεί πλέον έναν πολύ εξελιγμένο τομέα της ανάλυσης σύγκρουσης οχημάτων. Τα χρησιμοποιούμενα μοντέλα είναι πλέον πολύ εξειδικευμένα και χαρακτηρίζονται από φύλο, ηλικία , βάρος. Οι προβλέψεις που βασίζονται στην προσομοίωση με ανδρείκελα είναι προφανώς απλουστευμένες σε σύγκριση με την συμπεριφορά των επιβατών σε πραγματική σύγκρουση. Γίνεται προσπάθεια ο συγκεκριμένος τομέας να εξελιχθεί ακόμη περισσότερο .



Εικόνα 3.1.4.5. Προσομοίωση σύγκρουσης.

Το αυτόματο δέσιμο της ζώνης ασφαλείας η προένταση και η αλληλεπίδραση του σώματος με το κάθισμα καθιστούν τις προσομοιώσεις αυτές πολύπλοκες. Η προσομοίωση που αφορά ειδικά τον αερόσακο επηρεάζεται από την θέση εγκατάστασης και το σχήμα. Η δυναμική του αερίου του αερόσακου συνδέεται άμεσα με την δομική απόκριση του σάκου. Η εξελιγμένη τεχνολογία των αισθητήρων έχει σαν αποτέλεσμα να υπάρξει άμεση σύνδεση της δομικής προσομοίωσης με την προσομοίωση του συστήματος.

Αξίζει να σημειωθεί ότι παρά την εξελιγμένη τεχνολογίας συστημάτων προστασίας των επιβαινόντων πολλοί αρνούνται να τα χρησιμοποιήσουν. Οι κανονισμοί των ΗΠΑ απαιτούν ολοκληρωμένες δοκιμές και προσομοίωση επιβατών χωρίς ζώνης και εκτός θέσης για να

εξασφαλιστεί ότι δεν θα υπάρξει τραυματισμός από τα συστήματα ασφαλείας και ότι οι επιβάτες θα συγκρατηθούν εντός του οχήματος.

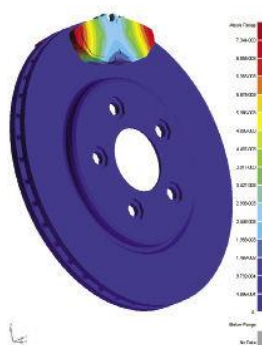
Δημιουργία μοντέλου φρένων

Η σχεδίαση και η προσομοίωση των φρένων στοχεύουν στην αποφυγή αστοχίας από θερμική ή δομική φόρτιση. Αρχικά κατασκευάζεται μοντέλο του υλικού γνωρίζοντας ότι ένα τακάκι φρένου είναι πολύπλοκο ως προς την σύνθεση και τις ιδιότητες και ενδέχεται να υπάρχουν σημαντικές διακυμάνσεις μεταξύ των παρτίδων παραγωγής.

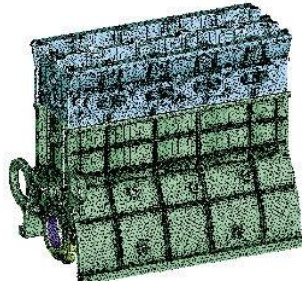
Η δημιουργία του κατάλληλου μοντέλου είναι πολύ σημαντική στην ανάλυση στην αυτοκινητοβιομηχανία. Σκοπός είναι να αντιμετωπιστούν οι συνέπειες ακραίων φαινομένων ώστε να αποφευχθούν ζητήματα αξιοπιστίας και εγγύησης.

Άλλες αναλύσεις πέδησης στοχεύουν στη δυναμική αλληλεπίδραση που προκαλεί τον τριγμό των φρένων, το τρέμουλο και την παραγωγή βοής. Η δυναμική ανάλυση του τριγμού των φρένων επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας σταθερό δίσκο σε απομονωμένου άξονα και σύνθετη ανάλυση ιδιοτιμών. Η προσομοίωση περιλαμβάνει πλέον περιστρεφόμενους δίσκους και δράση δαγκάνας στο πλαίσιο της πλήρους απόκρισης του οχήματος. Η δυναμική πολλαπλών σωμάτων που χρησιμοποιεί προσομοίωση άκαμπτου σώματος του οχήματος συνδέεται με την ευέλικτη δυναμική του τμήματος του συστήματος πέδησης. Μπορούν επίσης Περισσότερα δεδομένα όπως σύστημα αντιμπλοκαρίσματος πέδησης (ABS), περιλαμβάνονται στην προσέγγιση σχεδίασης προσομοίωσης υψηλού επιπέδου.

Για την προσομοίωση θέρμανσης και ψύξης της πέδησης εφαρμόζεται θερμική και CFD ανάλυση κατά προτίμηση σε περιστρεφόμενα μοντέλα αντί για απλοποιημένα στατικά.



Εικόνα 3.1.4.6. Ανάλυση φρένων



Εικόνα 3.1.4.7 Μοντέλο ανθεκτικότητας συστήματος μετάδοσης κίνησης

Δημιουργία μοντέλου ελαστικών

Η απόδοση και η απόκριση των ελαστικών δρόμου μελετώνται κατά μεγάλο βαθμό με την προσομοίωση του αυτοκινήτου, όπως επίσης ο θόρυβος, οι κραδασμοί και η σκληρότητα (NVH), ο χειρισμός και η οδήγηση. Όλα αυτά τα χαρακτηριστικά έχουν άμεση σχέση με την συμπεριφορά του ελαστικού στον δρόμο.

Η δημιουργία ελαστικών έχει προχωρήσει από απλοϊκά μοντέλα τύπου ντόνατ ή ακτίνων που χρησιμοποιούσαν βασικές παραμέτρους ακαμψίας. Η σημερινή τεχνολογία προσομοίωσης προσπαθεί να δημιουργήσει ένα μοντέλο του ελαστικού που υπόκειται σε διάφορες συνθήκες λειτουργίας όπως η πλάγια και πλευρική διάτμηση και κινήσεων κύλισης με προκαλούμενη μεγάλη παραμόρφωση του ελαστικού και κάποια άλλες περιπτώσεις που είναι άμεσα συνδεδεμένες με την πραγματικότητα.

Τα ελαστικά είναι ένα πολύπλοκο σύνολο από συστατικά προηγμένου υλικού. Πολλά από τα συστατικά είναι υπέρ ελαστικά, γεγονός που σημαίνει ότι συμπεριφέρονται διαφορετικά σε τάση, συμπίεση και διάτμηση. Αυτό συνεπάγεται πολύ προσεκτικό συντονισμό με συσχέτιση των δοκιμών ανάλυσης για να επιβεβαιωθεί ότι το μοντέλο είναι σωστά σχεδιασμένο.

Η ανάλυση ελαστικών πρέπει επίσης να διεξαχθεί στο πλαίσιο της συνολικής απόκρισης του οχήματος και, όπως και με τα φρένα, η δυναμική πολλαπλών σωμάτων συνδέει δομικά μοντέλα και μοντέλα συστήματος.

Φυσικά, οι κατασκευαστές αυτοκινήτων δεν ασχολούνται με την κατασκευή και το σχεδιασμό ελαστικών. Υπάρχουν πολλοί τύποι ελαστικών στα οχήματα που προσφέρει ένας κατασκευαστής. Η δημιουργία μοντέλου ελαστικών γίνεται από τον κατασκευαστή του ελαστικού και έχει άμεση σχέση με την ασφάλεια και τις επιδόσεις του οχήματος.



Εικόνα 3.1.4.7. Δημιουργία μοντέλου προσομοίωσης

Ανησυχίες NVH

Η NVH εξετάζεται για διάφορα μέρη – συστατικά οχημάτων . Μελετάται επίσης η ακουστική απόκριση του οχήματος. Υπάρχουν πολλές πηγές θορύβου μέσα στο αυτοκίνητο, όπως είναι τα ελαστικά , το κιβώτιο ταχυτήτων, ο κινητήρας , η εξωτερική ροή του αέρα .

Γίνονται ακουστικές αναλύσεις για να προσδιοριστεί το επίπεδο εσωτερικού θορύβου του οχήματος που βιώνουν οι επιβάτες. Για αυτόν τον σκοπό απαιτείται η συσχέτιση του δομικού μοντέλου του οχήματος με ένα μοντέλο CFD του εσωτερικού του οχήματος και να μελετηθεί η διαδρομή της ακουστικής μετάδοσης. Στη δημιουργία του μοντέλου υπολογίζονται ηχοαπορροφητικά χαρακτηριστικά όπως τα καθίσματα μοκέτα και γενικότερες επενδύσεις.

Κινητήρας και σύστημα μετάδοσης κίνησης

Άλλοι ζωτικοί τομείς για την προσομοίωση περιλαμβάνουν τα εξαρτήματα του κινητήρα και του συστήματος μετάδοσης κίνησης. Ο καθένας τομέας απαιτεί συνδυασμό επιστημονικών κλάδων ώστε να κατανοηθεί πλήρως η φυσική του πραγματικού κόσμου — και ως εκ τούτου, να γίνει προσομοίωση και βελτίωση του σχεδιασμού.

Ο κινητήρας είναι ένα σύνολο στατικών και κινούμενων μερών που απορροφούν αέρα και καύσιμο και δημιουργούν προϊόντα καυσαερίων που εν συνεχεία παρέχουν ισχύ στο κιβώτιο ταχυτήτων. Ο σχεδιασμός θερμικού και δυναμικού μοντέλου προσομοίωσης είναι σημαντικός.

Επιπρόσθετα απαιτείται έλεγχος και αξιολόγηση σε διαφορετικούς τομείς όπως οι τάσεις εντός των εμβόλων, της κυλινδροκεφαλής και των βαλβίδων σε κάθε κύκλο ισχύος. Αυτό προϋποθέτει ένα συνδυασμό διαφόρων επιστημονικών τομέων που περιλαμβάνει αλληλεπιδράσεις θερμικής καύσης και ρευστοδυναμικής.

Μια αρχική ανάλυση των εξαρτημάτων του κινητήρα, όπως το έμβολο και η μπιέλα μπορεί να λάβει «παγωμένες» θέσεις με δυνάμεις πίεσης και αδράνειας σε ψευδοστατική ισορροπία.

Λαμβάνεται υπόψιν η δυναμική αλληλεπίδραση σε πολλά συστήματα του κινητήρα και του συστήματος μετάδοσης κίνησης. Η μετάδοση ισχύος μέσω μετατροπών ροπής μπορεί να προκαλέσει διέγερση της συχνότητας συντονισμού. Το σύστημα εξάτμισης σχεδιάζεται έτσι ώστε η δυναμική σύζευξη μεταξύ του μπλοκ του κινητήρα και του αμαξώματος να μην δημιουργεί κραδασμούς.

Θέματα ανθεκτικότητας

Τα εξαρτήματα του αυτοκινήτου είναι απαραίτητο να είναι ανθεκτικά ώστε να εξαλειφθούν οι κίνδυνοι αξίωσης εγγύησης. Γίνονται αναλύσεις μηχανικής κόπωσης και θραύσης κατανοώντας τα χαρακτηριστικά του υλικού, του εξαρτήματος και των διαφόρων περιπτώσεων φόρτωσης.

Η ανάλυση κόπωσης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το μέγεθος και την αλληλουχία της φόρτισης στα εξαρτήματα.

Αυτό που είναι σαφές από τη συζήτηση με τους κατασκευαστές αυτοκινήτων είναι ότι οι στόχοι ξεπερνούν τις ελάχιστες απαιτήσεις ασφάλειας, χειρισμού και αποδεκτής άνεσης του οδηγού. Η αγορά του αυτοκινήτου είναι απόλυτα ανταγωνιστική και οι κατασκευαστικές εταιρείες προσπαθούν να βελτιώσουν την ποιότητα ώστε να ικανοποιηθεί ο εκάστοτε πελάτης.

Η προσομοίωση παίζει πολύ μεγάλο ρόλο , ιδίως η δημιουργία μοντέλου πλήρους συστήματος, σε κλάδους όπως ο τομέας που ασχολείται με την πρόσκρουση και η δυναμική πολλαπλών σωμάτων.

.

3.1.5 Θεωρίες αστοχίας

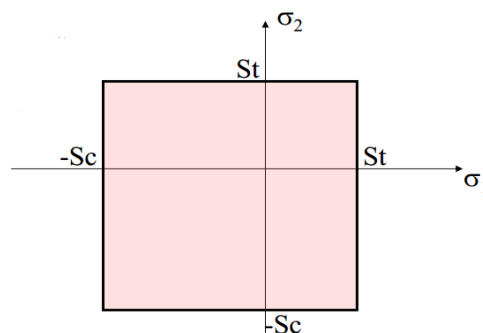
Κάποιοι από αυτούς είναι:

- Θεωρία Μέγιστου Κανονικού Στρες
- Μέγιστη θεωρία πίεσης διάτμησης
- Von Mises αποτελεσματικό στρες

Μέγιστη Θεωρία Κανονικού Στρες

$$\sigma_1 > \sigma_2$$

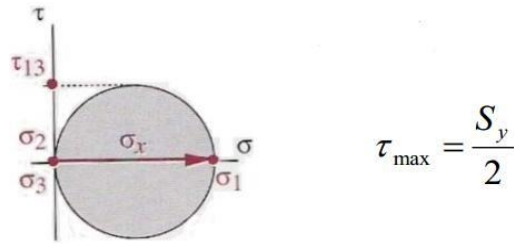
Η αποτυχία συμβαίνει όταν μία από τις τρεις κύριες τάσεις φτάσει σε επιτρεπτή ισχύ (TS). Η αποτυχία προβλέπεται να συμβεί όταν $\sigma_1 = St$ και $\sigma_2 < -Sc$. Όπου St και Sc είναι η αντοχή εφελκυσμού και συμπίεσης. Για μια διαξονική κατάσταση στρες



Εικόνα 3.1.3.1 Θεωρία μέγιστων κανονικών τάσεων

Θεωρία μέγιστων διατρητικών τάσεων

Η αστοχία συμβαίνει όταν η μέγιστη τάση διάτμησης στο μέρος υπερβαίνει την τάση διάτμησης σε ένα δείγμα δοκιμής εφελκυσμού (του ίδιου υλικού) κατά την απόδοση. Ως εκ τούτου σε μια δοκιμή εφελκυσμού,

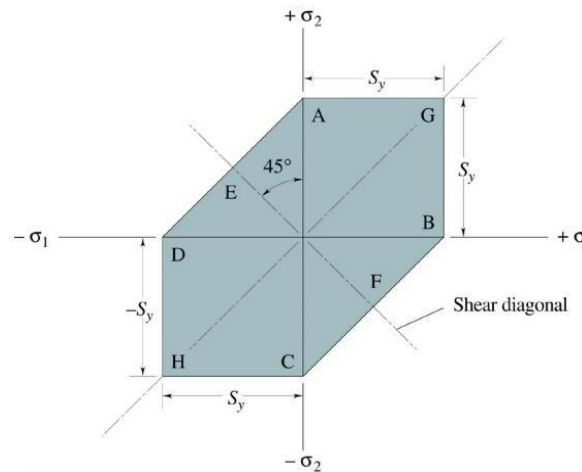


Εικόνα 3.1.4

Για μια γενική κατάσταση των τάσεων:

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{S_y}{2}$$

Αυτό οδηγεί σε έναν εξαγωνικό φάκελο αστοχίας. Ένα σύστημα πίεσης στο εσωτερικό του φακέλου θεωρείται ασφαλές.



Εικόνα 3.1.3.2 Θεωρία μέγιστων διατμητικών τάσεων

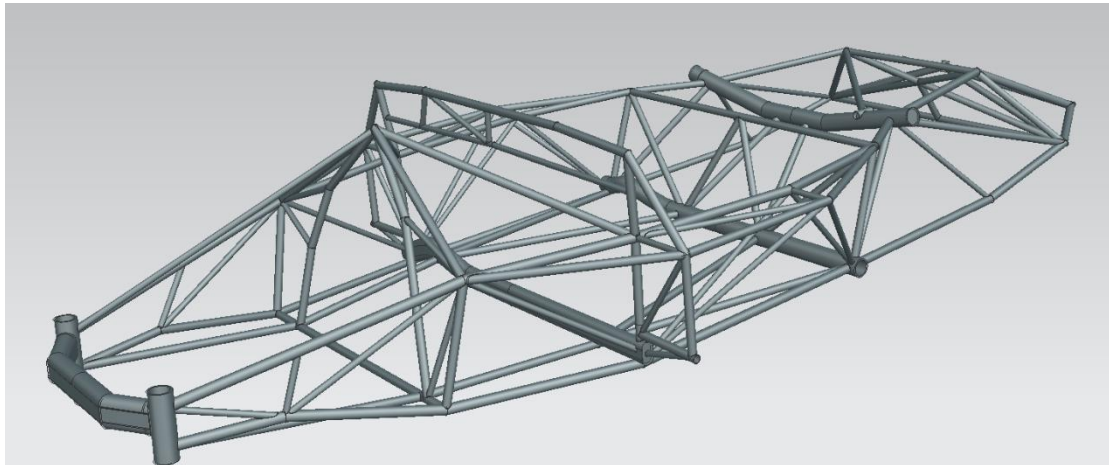
3.2 Επιλογή παραμέτρων

Για την σχεδίαση και ανάλυση των επιλεγμένων πλαισίων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα της SIEMENS NX.

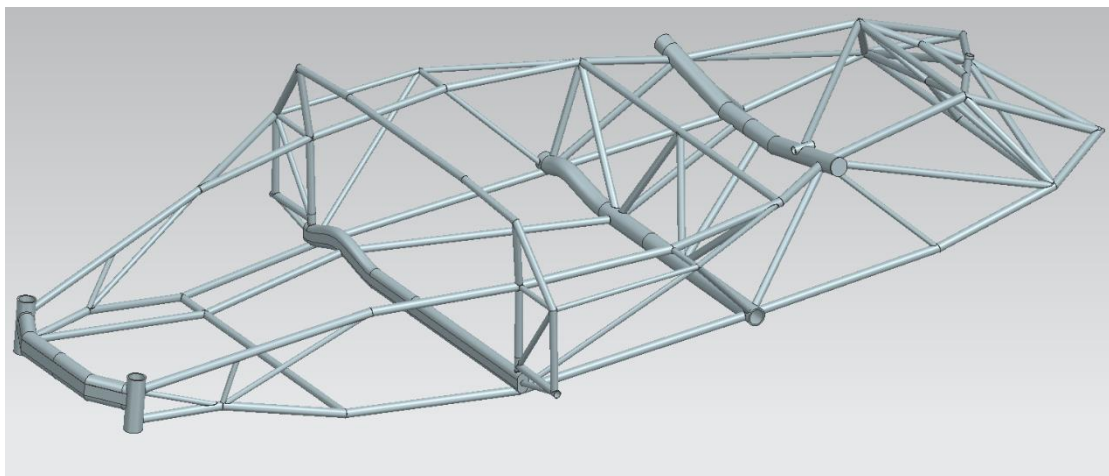
Καθώς οι υπολογιστικοί πόροι που χρειαζόνταν για να τρέξουμε ολόκληρο το πλαίσιο ήταν πολύ μεγάλοι αφαιρέσαμε πολλά τμήματα του ώστε να μπορούμε να τρέξουμε το πρόγραμμα στα διαθέσιμα μηχανήματα. Έτσι προέκυψε το απλοποιημένο πλαίσιο. Το γεγονός ότι το πλαίσιο έχει τροποποιηθεί δεν επηρεάζει αυτό που θέλουμε να δείξουμε. Μελετούμε πώς μπορεί να βελτιωθεί η στρεπτική ακαμψία με την εφαρμογή ενισχύσεων στα σημεία που φαίνεται να υπάρχει πρόβλημα εφαρμόζοντας βασικούς εμπειρικούς κανόνες και εν συνεχεία αναλύουμε τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων που έχουμε τρέξει.

3.2.1 Το αρχικό και το απλοποιημένο σχέδιο

Παρακάτω φαίνεται το πλαίσιο χωρίς την απλοποίηση



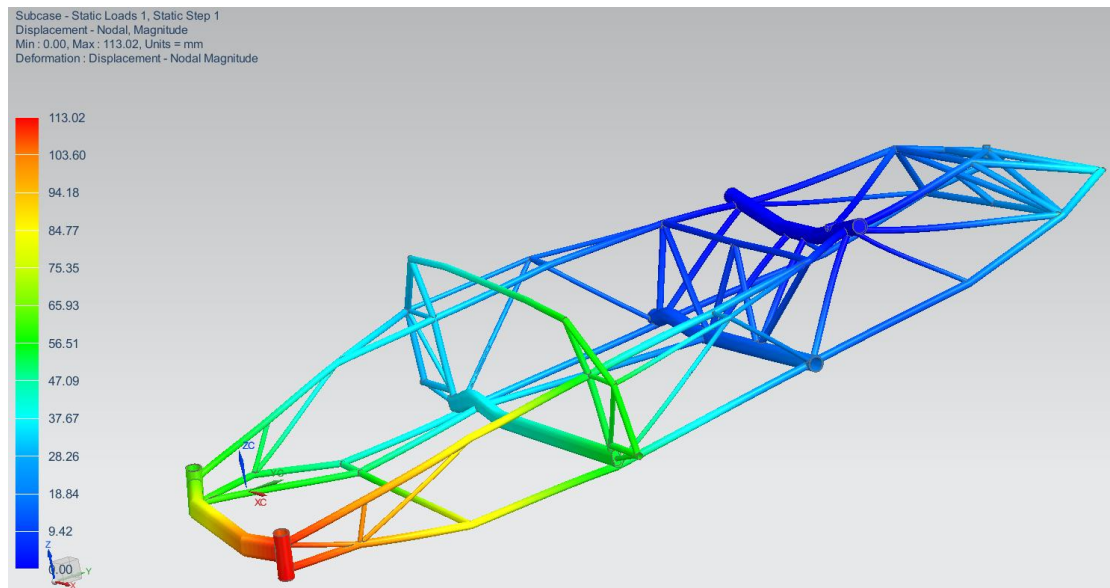
Εικόνα 3.2.1.1 Αρχικό μοντέλο



Εικόνα 3.2.1.2 Απλοποιημένο μοντέλο

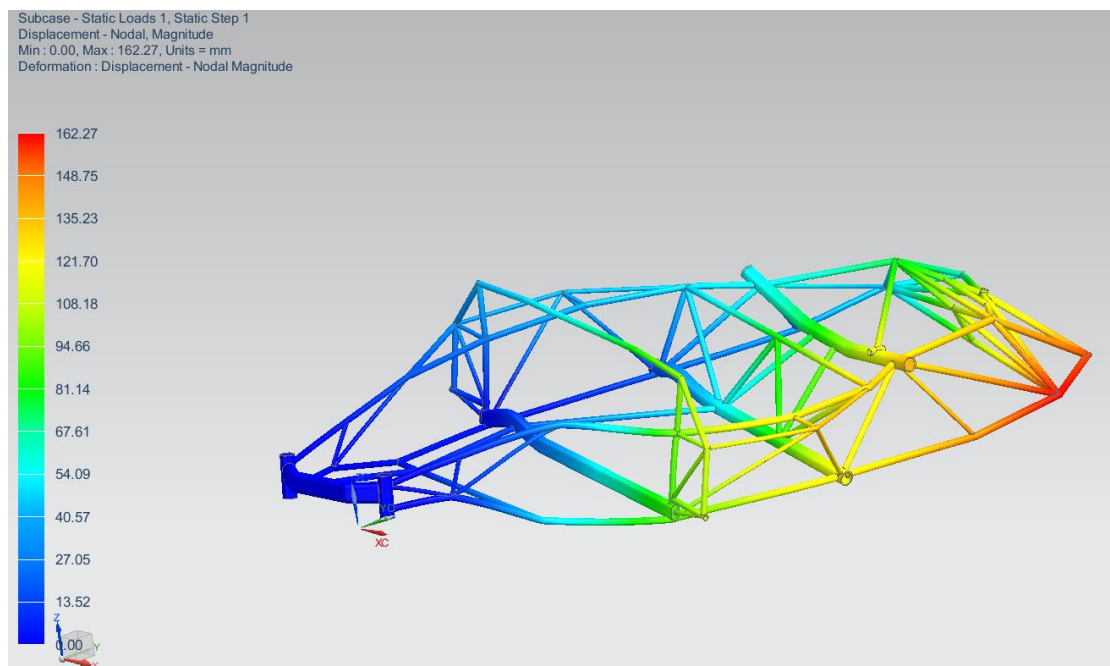
3.3 Αποτελέσματα στο μη ενισχυμένο πλαίσιο

Παρακάτω φαίνονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για το αρχικό απλοποιημένο πλαίσιο χωρίς ενισχύσεις.



Εικόνα 3.3.1 Πάκτωση στο πίσω μέρος

Στις εικόνες 3.3.1 και 3.3.2 φαίνονται οι παραμορφώσεις που έχουν προκύψει από την εφαρμογή των φορτίων στα διάφορα τμήματα του μη ενισχυμένου πλαισίου.



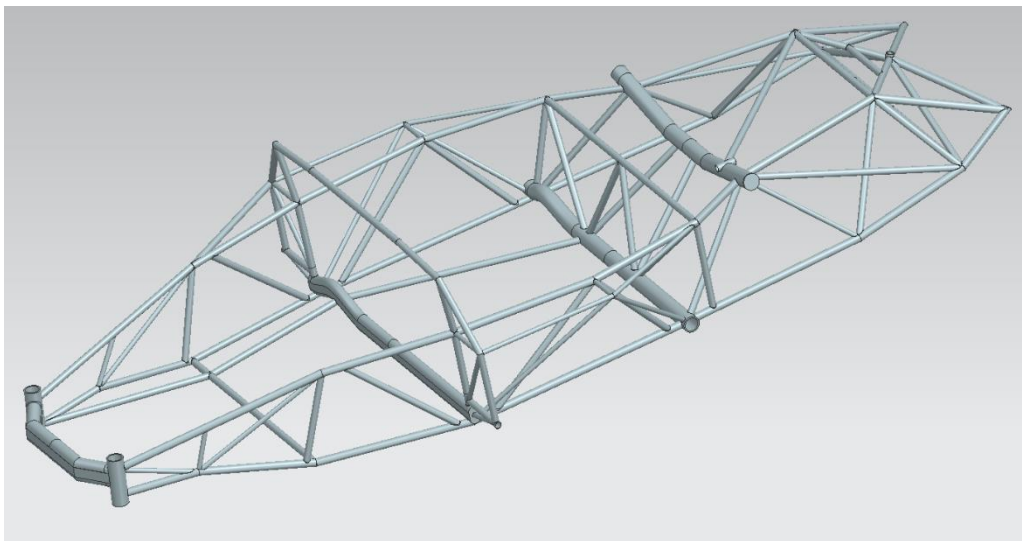
Εικόνα 3.3.2 Πάκτωση στο μπροστινό μέρος

3.4 Αποτελέσματα στο ενισχυμένο πλαίσιο

Οι ενισχύσεις όπως αναφέρθηκε και παραπάνω έγιναν με την χρήση εμπειρικών κανόνων. Το οποίο σημαίνει ότι θέλουμε να μεταφέρουμε το φορτίο με την χρήση ενισχύσεων ξεκινώντας από το σημείο που παρατηρείται έντονη παραμόρφωση,

δημιουργώντας τρίγωνα ώστε να μεταφερθεί προς τα σημεία τα όποια δεν υπάρχει έντονη φόρτιση. Καταφέροντας έτσι να μοιράσουμε τα φορτία ομοιόμορφα σε ολόκληρο το πλαίσιο με αποτέλεσμα να μειώσουμε τις παραμορφώσεις που είναι και ο σκοπός μας.

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το τελικό πλαίσιο που προέκυψε μετά από πολλές δοκιμές, η βελτιστοποίηση σταμάτησε όταν το υπολογιστικό κόστος ήταν πολύ μεγάλο για την βελτίωση που μας προσέφερε.

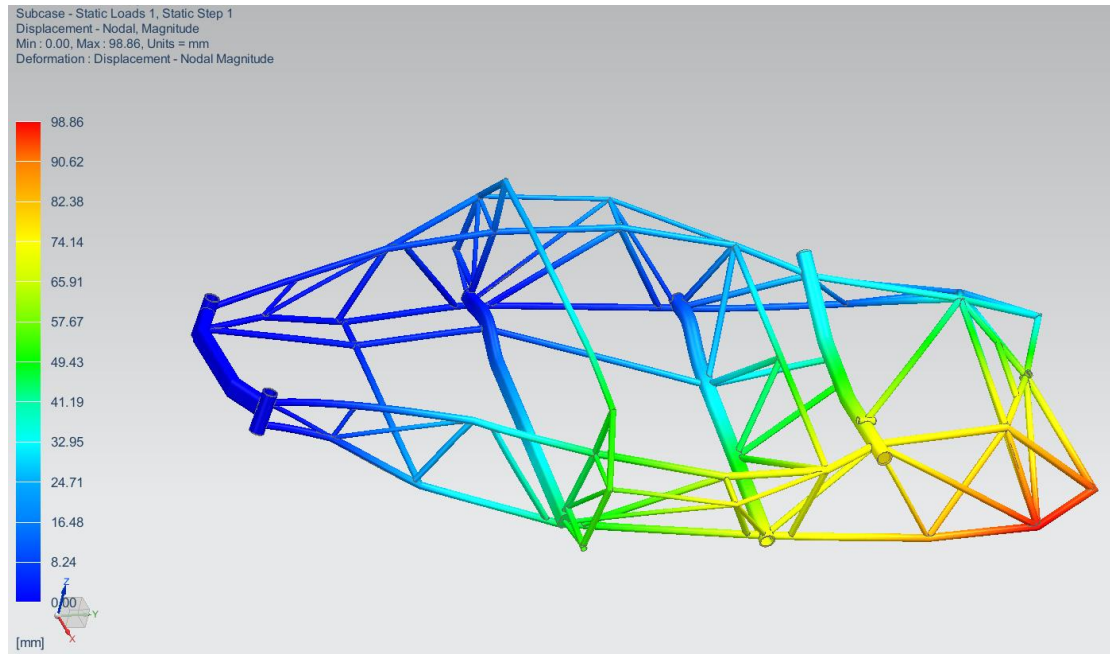


Εικόνα 3.4.1 Βελτιωμένο πλαίσιο

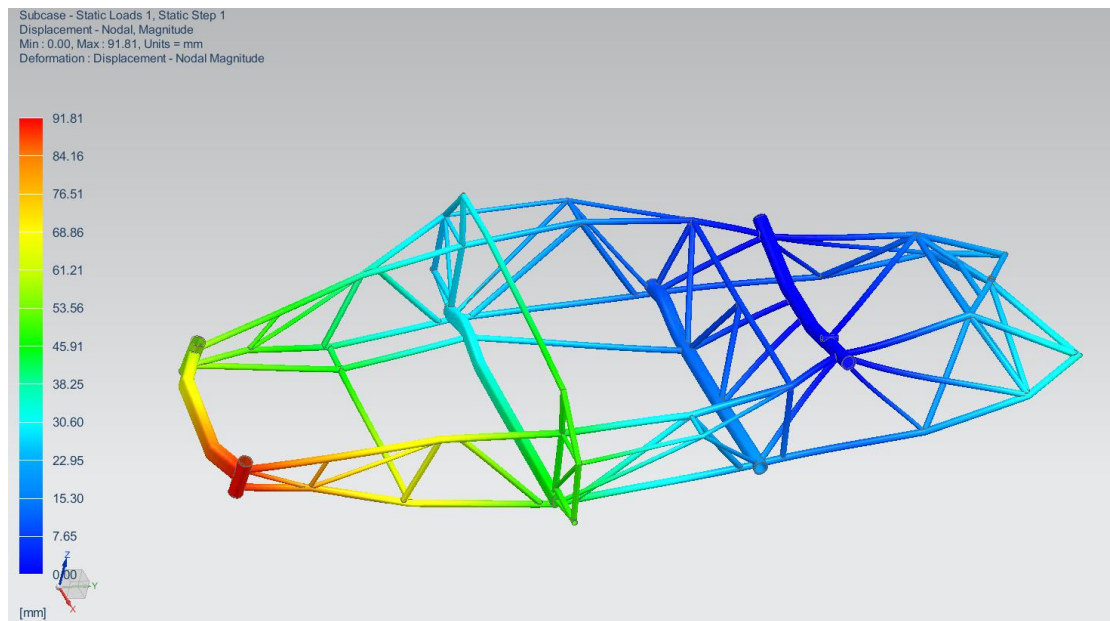
Παρακάτω θα παρουσιαστούν και τα στάδια που προηγήθηκαν και δοκιμάστηκε η άσκηση των φορτίων για να καταλήξουμε στο τελικό πλαίσιο που θεωρήσαμε ότι η βελτιστοποίηση ήρθε εις πέρας.

3. 5 Αποτελέσματα βελτιωμένου πλαισίου

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του ενισχυμένου πλαισίου στο οποίο έχουν εφαρμοστεί οι ίδιες δυνάμεις που είχαμε εφαρμόσει στο αρχικό πλαίσιο που δουλέψαμε



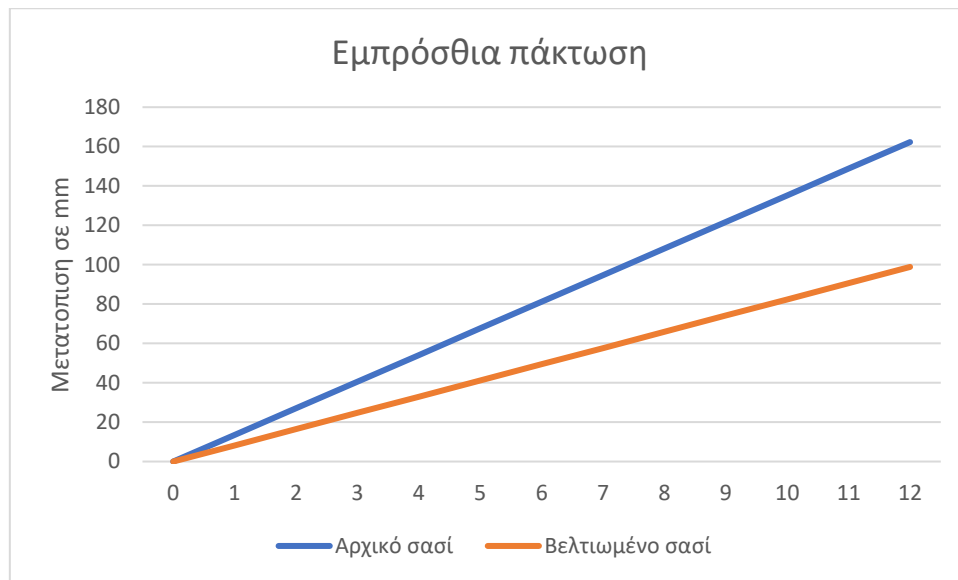
Εικόνα 3.5.1 Ενισχυμένο πλαίσιο με μπροστινή πάκτωση



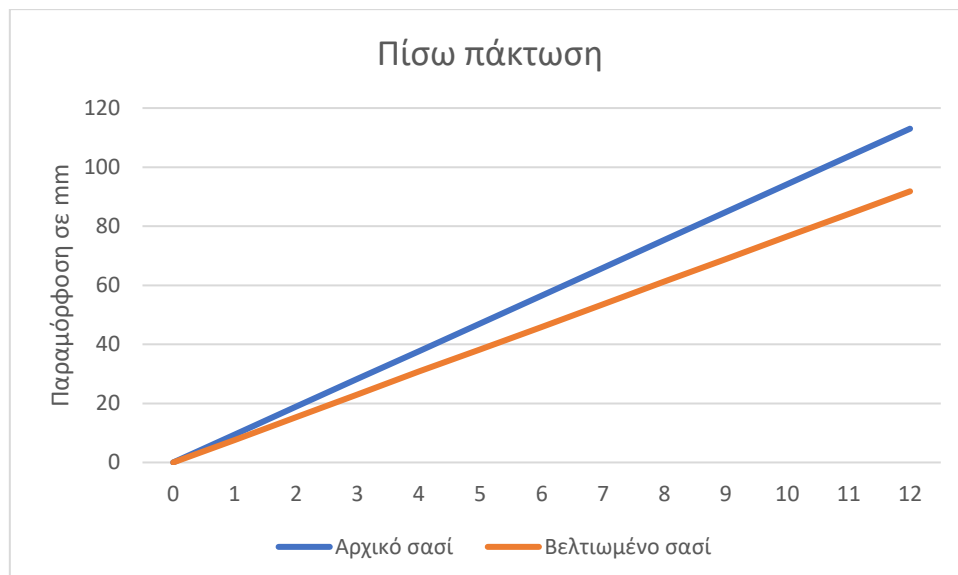
Εικόνα 3.5.2 Ενισχυμένο πλαίσιο με πίσω πάκτωση

Κεφάλαιο 4^ο Σχολιασμός αποτελεσμάτων και προτάσεις για μελλοντική συνέχεια της παρούσας εργασίας

4.1 Σύγκριση αποτελεσμάτων



Διάγραμμα 4.1.1



Διάγραμμα 4.1.2

Από τα διαγράμματα παρατηρούμε ότι έχουμε μια πολύ μεγάλη βελτίωση στην μέγιστη παραμόρφωση στο πλαίσιο του αυτοκινήτου τόσο στο μπροστινό όσο και στο οπίσθιο τμήμα του. Η βελτίωση στο οπίσθιο τμήμα είναι 81.2% και στο μπροστινό τμήμα είναι 60.92%, με κόστος στο συνολικό βάρος του πλαισίου 3,972kg, δείχνοντας πόσο χρήσιμο εργαλείο είναι ένα τέτοιου είδους πρόγραμμα στα χέρια ενός μηχανικού. Με τον τρόπο αυτό μπορούμε να βελτιώσουμε υπάρχοντα αυτοκίνητα χωρίς να επεμβούμε σε ορατά μέρη αλλοιώνοντας έτσι την αισθητική του αυτοκινήτου. Καθώς η συνηθισμένη πρακτική είναι η εγκατάσταση rollcage η οποία δεν γίνεται πάντα για την προστασία του οδηγού αλλά για την βελτίωση της οδηγικής συμπεριφοράς του αυτοκινήτου. Κάτι τέτοιο θα είχε μεγάλη απήχηση στην κοινότητα των κλασικών αυτοκινήτων, καθώς υπάρχουν πολλοί που απολαμβάνουν την εμπειρία που τους προσφέρει το συγκεκριμένο αυτοκίνητο αλλά πολλές φορές αναζητούν καλύτερες οδηγικές επιδόσεις χωρίς εξωτερική επέμβαση. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τον μηχανικό του συνεργείου ο οποίος με την μέθοδο trial and error μπορεί να προσθέσει τμήματα για ενίσχυση και ταυτόχρονα να δει τι επιδόσεις θα έχει η αλλαγή αυτή μέσω των προσομοιώσεων. Με τον τρόπο όμως αυτό το αυτοκίνητο αλλοιώνεται και χάνει τον αρχικό του χαρακτήρα. Εμείς με την χρήση προσομοιώσεων μπορούμε να κάνουμε στοχευμένες ενισχύσεις και σε σημεία που δεν αλλοιώνουν την εμφάνιση. Ακόμα είναι δυνατή η μελέτη για την προσθήκη αφαιρούμενων μελών σε σημεία που το επιτρέπουν χωρίς να είναι μόνιμη η παρέμβαση στο αμάξωμα δίνοντας έτσι την δυνατότητα να αφαιρεθούν σε οποιαδήποτε στιγμή κάνοντας το πιο ελκυστικό στους πιο συντηρητικούς που δεν θέλουν να επεμβούν μόνιμα στο αυτοκίνητο για λόγους μείωσης της αξίας του καθώς και ενδεχομένως την ιστορική του σημασία.

Έχουμε λοιπόν πέτυχει αυτό που θέλαμε να δείξουμε με την παρούσα διπλωματική εργασία.

4.2 Πως θα μπορούσε να βελτιωθεί-συνεχιστεί η παρούσα διπλωματική

4.2.1 Χρήση 3D scanning

Με την χρήση ενός 3d scanner η όλη διαδικασία μπορεί να επιταχυνθεί πάρα πολύ καθώς το κομμάτι της αντίστροφης μηχανικής δεν θα είναι πλέον τόσο χρονοβόρο, καθώς (αν φυσικά έχουμε διαθέσιμο ένα γυμνό πλαίσιο) και βελτιώνοντας το 3D μοντέλο που θα προκύψει για να το φέρουμε όσο πιο κοντά γίνεται στο πραγματικό. Καθώς πολλές φορές η πρόσβαση σε σχέδια του αμαξώματος (πλαισίου) κάποιας εταιρίας είναι πολύ δύσκολη, καθώς αποτελούν πνευματική ιδιοκτησία αυτής. Στην παρούσα διπλωματική εργασία παραχωρήθηκαν από το Classic Center της Mercedes μία κάτοψη και δύο όψεις του μοντέλου 300 SL W198 του 54. Λόγω των πολλών

ελλείψεων των παραχωρημένων σχεδίων εφαρμόστηκε αντίστροφη μηχανική ώστε να προκύψει το τελικό σχέδιο με τις σωστές μετρήσεις.

4.2.2 Τοπολογική Βελτιστοποίηση

Χρησιμοποιώντας τυπολογική βελτιστοποίηση θα μπορούσαμε να πάρουμε την βέλτιστη δυνατή λύση για το πρόβλημά μας με την λιγότερη προσθήκη υλικού. Αυτό θα μπορούσε να γίνει ορίζοντας κάποια σημεία του αυτοκινήτου στα οποία το πρόγραμμα δεν θα μπορούσε να παρέμβει. Για να μπορέσουμε να προχωρήσουμε σε αυτή την διαδικασία χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα **Siemens Nx**, απαιτείται ένας Η/Υ με μνήμη μεγαλύτερη από 64 GB RAM. Στο συμπέρασμα κατέληξα όταν με μνήμη μικρότερη από 64 GB το πρόγραμμα χρησιμοποιούσε 150GB από τον σκληρό δίσκο, βγάζοντας μηνύματα μετά από ένα σημείο ότι δεν μπορεί να παράξει αποτελέσματα. Άρα αναβαθμίζοντας την μνήμη η διαδικασία προχώρησε ώστε να καταλήγουμε πιο γρήγορα σε αποτελέσματα.

Βιβλιογραφία

- [1] Dokumentation 300 SL Flugelturer 1954-1957 Roadster 1957-1963
- [2] Design of an efficient and lightweight chassis, suitable for an Electric car
Tsirogiannis Evaggelos (Διπλωματική) (2015)
<https://dias.library.tuc.gr/view/23911?locale=en>
- [3] Daryl L. Logan (2011). A first course in the finite element method. Cengage Learning <https://www.klidarithmos.gr/eisagwgh-sth-methodo-peperasmewnwn-stoixeiwn-ekdosh-si> Κλειδάριθμος (2021)
- [4] Strang, Gilbert; Fix, George (1973). An Analysis of The Finite Element Method. Prentice Hall.

