



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**Διπλωματική Εργασία: Ανάλυση αντοχής
με πεπερασμένα στοιχεία σε πλαίσια
φορτηγών οχημάτων**

Δωροβίνης Σπυρίδων-Θεοδόσιος

AM 19392038

Επιβλέπων: Δρ Αντώνιος Τσολάκης

Η Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Ο Επιβλέπων Καθηγητής

Αντώνιος Τσολάκης

Αν.Καθηγητής

[ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ]

Κωνσταντίνος Ράπτης

Ακαδ.Υπότροφος

[ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ]

Ανδρέας Θεοδορακάκος

Αν.Καθηγητής

[ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ]

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/η υπογράφων/ουσα Δωροβίνης Σπυρίδων-Θεοδόσιος του Δημητρίου, με αριθμό μητρώου 19392038 φοιτητής/τρια του Τμήματος Μηχανολόγων της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

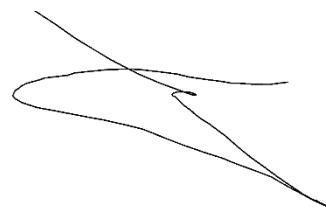
«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου».

Ημερομηνία

1-10-24

Ο/Η Δηλών/ούσα



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία που ακολουθεί είναι στο γνωστικό πεδίο του μηχανολόγου μηχανικού και αποτελεί προϋπόθεση για λήψη διπλώματος. Το θέμα είναι η μελέτη και δοκιμή πλαισίων βαρέων οχημάτων ως προς την αντοχή τους με την βοήθεια της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων. Μετά την θεωρητική προσέγγιση του θέματος, τόσο των πλαισίων όσο και των πεπερασμένων στοιχείων και των εργαλείων που χρησιμοποιήθηκαν για την δοκιμή, αναπτύσσεται η μεθοδολογία πρακτικής εξέτασης της αντοχής με την βοήθεια λογισμικού. Ακολουθούνται δύο τρόποι ανάλυσης του θέματος για ένα συγκεκριμένο πλαίσιο και μετά την σύγκρισή τους επιλέγεται ο καλύτερος, ο οποίος ακολουθείται και για ένα άλλο πλαίσιο. Τέλος στην εργασία διαπιστώνεται με πρακτικό τρόπο ο λόγος για τον οποίο πρέπει σε τέτοιου είδους μελέτες να λαμβάνεται υπόψιν ότι ένα πλαίσιο στηρίζεται στις αναρτήσεις του οχήματος, ακόμη και όταν θεωρείται σε στατική κατάσταση.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1: Κινητήρας-αμάξωμα-πλαίσιο.....	8
1.2: Πλαίσια βαρέων οχημάτων.....	8
1.3: Καταπονήσεις πλαισίων φορτηγών.....	11
1.4: Αναρτήσεις φορτηγών.....	13
1.5: Ανάλυση αντοχής με πεπερασμένα στοιχεία (Finite Element Analysis).....	15

Κεφάλαιο 2: Επιλογή και σχεδιασμός πλαισίου τύπου σκάλας

2.1: Εισαγωγή.....	18
2.2: Σχεδιασμός πλαισίου τρέιλερ 20ft.....	19

Κεφάλαιο 3: Ανάλυση τάσεων με πεπερασμένα στοιχεία (FEA) σε πλαίσιο τύπου σκάλας

3.1: Εισαγωγή.....	22
3.2: Σχεδιασμός πλαισίου τρέιλερ 20ft.....	22
3.3: Προσομοίωση οδοστρώματος.....	23
3.4: Φορτία.....	23
3.5: Επαφές.....	24
3.6: Ρυθμίσεις σύγκλισης.....	27
3.7: Αποτελέσματα ανάλυσης 1.....	28
3.8: Διαδικασία & αποτελέσματα ανάλυσης 2.....	32
3.9: Σύγκριση ανάλυσης 1 & ανάλυσης 2.....	36
3.10: Διαδικασία & αποτελέσματα ανάλυσης 3	36

Κεφάλαιο 4: Συμπεράσματα.....

38

Κεφάλαιο 5: FEA σε πλαίσιο μεταφοράς κοντέινερ 40ft.....

39

Κεφάλαιο 6: Συζήτηση για περαιτέρω διερεύνηση.....

42

Αναφορές.....	44
---------------	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ-ΑΜΑΞΩΜΑ-ΠΛΑΙΣΙΟ

Τα τρία σπουδαιότερα συστήματα των οχημάτων είναι ο κινητήρας, το αμάξωμα και το πλαίσιο. Ο κινητήρας παρέχει την μηχανική ενέργεια που χρειάζεται για την ώθηση των οχημάτων εμπρός ή πίσω. Το αμάξωμα, ή καρότσα στην καθομιλουμένη, είναι η κατασκευή που προορίζεται για την ασφαλή μεταφορά επιβατών και εμπορευμάτων. Άρα στα ρυμουλκά (τράκτορες) πρόκειται για την καμπίνα του οδηγού, στα φορτηγά είναι και η καμπίνα και η κατασκευή για την φόρτωση (καρότσα-υπερκατασκευή), ενώ στα ρυμουλκούμενα αμάξωμα είναι η κατασκευή που αποθηκεύεται το φορτίο. Στα περισσότερα επιβατηγά το αμάξωμα αποτελεί και το πλαίσιο του οχήματος (αυτοφερόμενα αμαξώματα).

Το πλαίσιο είναι η κατασκευή, στην οποία στηρίζεται όλο το όχημα. Όλα τα συστήματα-εξαρτήματα του οχήματος συνδέονται σε αυτό με κοχλιώσεις, ηλώσεις κλπ. Έτσι το πλαίσιο δέχεται όλα τα στατικά και δυναμικά φορτία που επιδρούν στο όχημα. Τα φορτία αυτά στην συνέχεια μεταφέρονται μέσω των αναρτήσεων, των αξόνων και των ελαστικών στο έδαφος [1]. Η αποστολή του πλαισίου, λοιπόν, είναι να υποστηρίξει το βάρος των συστημάτων του οχήματος (κινητήρας, αμάξωμα), να απορροφά και να μεταφέρει τα δυναμικά φορτία, που είναι αποτέλεσμα του περιβάλλοντος κυκλοφορίας (π.χ. ανωμαλίες οδοστρώματος, αέρας) και της κίνησης των συστημάτων μετάδοσης, χωρίς να αστοχήσει ή να παραμορφωθεί [2],[3]. Επίσης το πλαίσιο διατηρεί την επιθυμητή σχέση μεταξύ ανάρτησης και σημείων έδρασης του συστήματος διεύθυνσης [3]. Όλα αυτά απαιτούν προσοχή κατά τον σχεδιασμό των πλαισίων, όσον αφορά το υλικό, την αντοχή, την δυσκαμψία και το βάρος τους. Σε επόμενη υποενότητα θα αναφερθούν ιδιαίτερα καταπονήσεις σε πλαίσια φορτηγών.

1.2 ΠΛΑΙΣΙΑ ΒΑΡΕΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Τα περισσότερα βαρέα οχήματα, συμπεριλαμβανομένων των ρυμουλκών, των φορτηγών και των ρυμουλκούμενων έχουν πλαίσιο τύπου σκαλας. Αυτό το πλαίσιο είναι μεταλλικό και αποτελείται από δύο διαμήκεις δοκούς που συνδέονται μεταξύ τους με εγκάρσιες δοκούς. Η ονομασία του οφείλεται στο ότι αν δούμε την κατασκευή σε κατακόρυφη θέση ομοιάζει σε μία σκάλα.



Εικόνα 1.1 Τριαξονικός τράκτορας με πλαίσιο τύπου σκάλας, φαίνεται η σύνδεση όλων των συστημάτων στο πλαίσιο

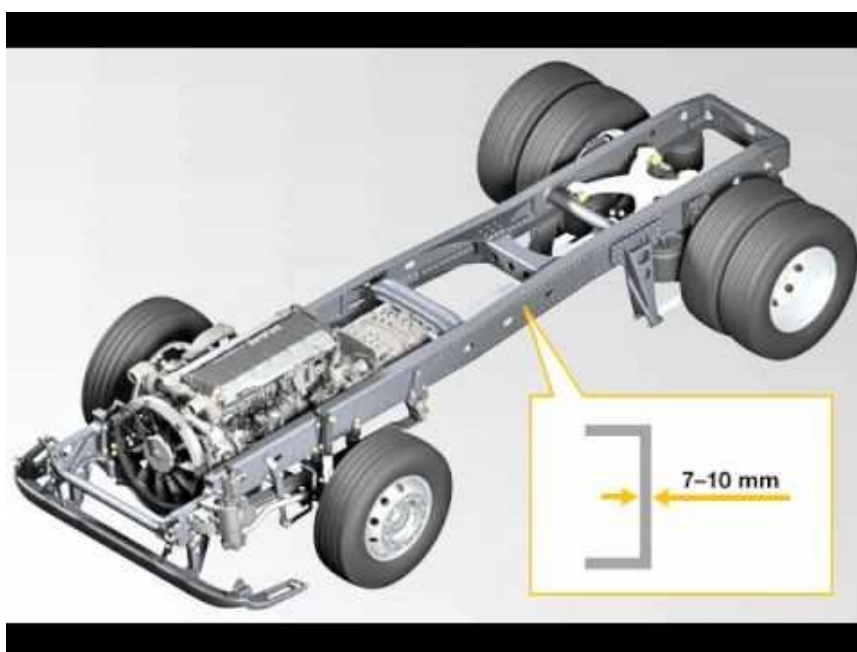
Οι κατασκευαστές των πλαισίων των οχημάτων με κινητήρα είναι οι ίδιοι οι κατασκευαστές των οχημάτων. Όσον αφορά τα ρυμουλκούμενα κατασκευάζεται το πλαίσιο από κάποια βιομηχανία παραγωγής μεγάλου μήκους πλαισίων και πάνω σε αυτά τα πλαίσια εδράζεται η υπερκατασκευή (θαλαμος, ανατρεπόμενο κλπ.), η οποία μπορεί να παράγεται και από άλλη βιομηχανία. Κάποιες ελληνικές βιομηχανίες υπερκατασκευών είναι οι: ΕΥΣΤΑΘΙΟΣ ΖΥΓΟΥΡΗΣ, ΚΑΞΕΚΩ, ΑΜΑΞΩΜΑΤΑ ΤΑΞΙΑΡΧΟΥ. Το ίδιο ισχύει και για κάποια λεωφορεία όπως SCANIA DIVO I και DIVO II με αμάξωμα Hispano, VOLVO με αμάξωμα Irizar, DAF με αμάξωμα BOVA.

Η διαδικασία κατασκευής περιλαμβάνει κόψιμο των δοκών στο επιθυμητό μήκος και διαμόρφωση σε πρέσες. Στην συνέχεια ανοίγονται οι οπές για την έδραση των διάφορων συστημάτων είτε με ρομπότ για μεγάλες παραγωγές, είτε με την βοήθεια οδηγών-πλακών για μικρότερες παραγωγές [1]. Οι εγκάρσιες δοκοί προσαρμόζονται με συγκόλληση. Βέβαια υπάρχουν και άλλες μέθοδοι κατασκευής, αναλόγως τον κατασκευαστή και με την πάροδο του χρόνου σαφώς οι διαδικασίες αυτοματοποιούνται περαιτέρω. Οι δοκοί που συναντώνται έχουν μορφή είτε Π ανεστραμμένου κατά 90 μοίρες, είτε διατομή Η ή τετραγωνική διατομή.



Εικόνα 1.2 Στιγμιότυπο από γραμμή παραγωγής σασί επικαθήμενης καρότσας

Στους τράκτορες και τα φορτηγά (οχήματα με κινητήρα) χρησιμοποιούνται σασί με κύριες (διαμήκεις) δοκούς διατομής Π ανεστραμμένου κατά 90 μοίρες. Η πλειονότητα των ρυμουλκούμενων που κυκλοφορούν έχουν κύριες δοκούς διατομής Η. Οι εγκάρσιες δοκοί μπορεί να έχουν όλες τις παραπάνω διατομές, ακόμη και ορθό Π ή να είναι κυκλικές. Συνήθως στο ίδιο πλαίσιο υπάρχουν εγκάρσιες δοκοί περισσότερων από μίας μορφών, μάλιστα μπορεί ένα πλαίσιο να έχει εγκάρσιες δοκούς όλων των παραπάνω διατομών.



Εικόνα 1.3 Σασί τράκτορα MAN



Εικόνα 1.4 Ημιρυμουλκούμενα της εταιρείας SCHMITZ CARGOBULL

Όπως αναφερθηκε τα πλαίσια αυτά είναι μεταλλικά. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι διάφοροι χάλυβες. Ανάμεσα σε αυτούς είναι ο εργαλειοχάλυβας (mild steel), ο St52 και ο St37. Στις βαριές κατασκευές όπως τα επικαθήμενα και συρόμενα τρειλερ συνήθως χρησιμοποιούνται κράματα χαλύβων με θερμική επεξεργασία με όρια διαρροής που φτάνουν τα 750 MPa. Υπάρχουν επίσης και πλαίσια κατασκευασμένα από κράματα αλουμινίου-μαγνησίου-πυριτίου και κράματα αλουμινίου-χαλκού με όρια διαρροής 255 και 414 MPa αντίστοιχα [11].

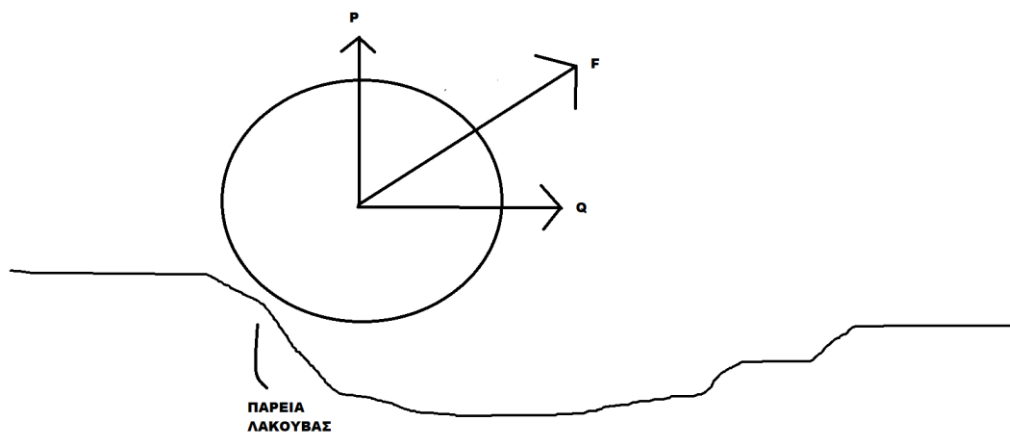
Το πλαίσιο τύπου σκάλας παρουσιάζει κάποια πλεονεκτήματα που το καθιστούν την ιδανική λύση για φορτηγά οχήματα και συρμούς. Εφόσον το πλαίσιο και το αμάξωμα είναι δύο διαφορετικές κατασκευές υπάρχει η δυνατότητα για εναλλασσόμενες υπερκατασκευές, π.χ. κοντέινερς. Το πλαίσιο τύπου σκάλας δέχεται μόνο του όλες τις καταπονήσεις του οχήματος, έτσι δίνεται η δυνατότητα δοκιμών, προσομοιώσεων και μετατροπών στο πλαίσιο χωρίς ύπαρξη αμαξώματος, ή αντίστροφα εργασίες στο αμάξωμα ανεξάρτητα από το πλαίσιο. Επίσης σε περίπτωση σύγκρουσης οι εργασίες επισκευής είναι πιο εύκολες, καθώς συνήθως οι ζημιές αφορούν στο αμάξωμα. Πολύ σημαντικό πλεονέκτημα είναι η πολύ μεγαλύτερη αντοχή του πλαισίου τύπου σκάλας σε στρέψη, κάνοντας τα οχήματα πιο κατάλληλα για βαριές και εκτός δρόμου εφαρμογές [4]. Παρόλα αυτά τα συγκεκριμένα πλαίσια έχουν και μειονεκτήματα, όπως στον τομέα της άνεσης. Για αυτόν τον λόγο τα φορτηγά διαθέτουν αεροκαθίσματα για τον οδηγό ή και για τον συνοδηγό.

1.3 ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΙΣ ΠΛΑΙΣΙΩΝ ΦΟΡΤΗΓΩΝ

Η χρήση των επαγγελματικών οχημάτων για βαριές εφαρμογές προξενεί στα πλαίσια ανάλογες καταπονήσεις. Όταν το όχημα είναι ακίνητο το πλαίσιο καταπονείται μόνο στατικά, ενώ όταν το όχημα κινείται το πλαίσιο καταπονείται και δυναμικά. Η δυναμική καταπόνηση είναι σημαντικότερη και πιο έντονη από την στατική. Τούτο οφείλεται στο γεγονός ότι τα δυναμικά φορτία προέρχονται και από βίαιες συνθήκες, όπως μια έντονη λακούβα στο οδόστρωμα. Τα πλαίσια λοιπόν σχεδιάζονται με αντοχές για δυναμικά φορτία που προκαλούνται από ενδεχόμενες δυσμενείς περιπτώσεις. Αυτό φαίνεται και στο πρακτικό μέρος της παρούσας εργασίας αφού οι μέγιστες τάσεις σε στατική κατάσταση είναι υποπολλαπλάσιες του ορίου διαρροής.

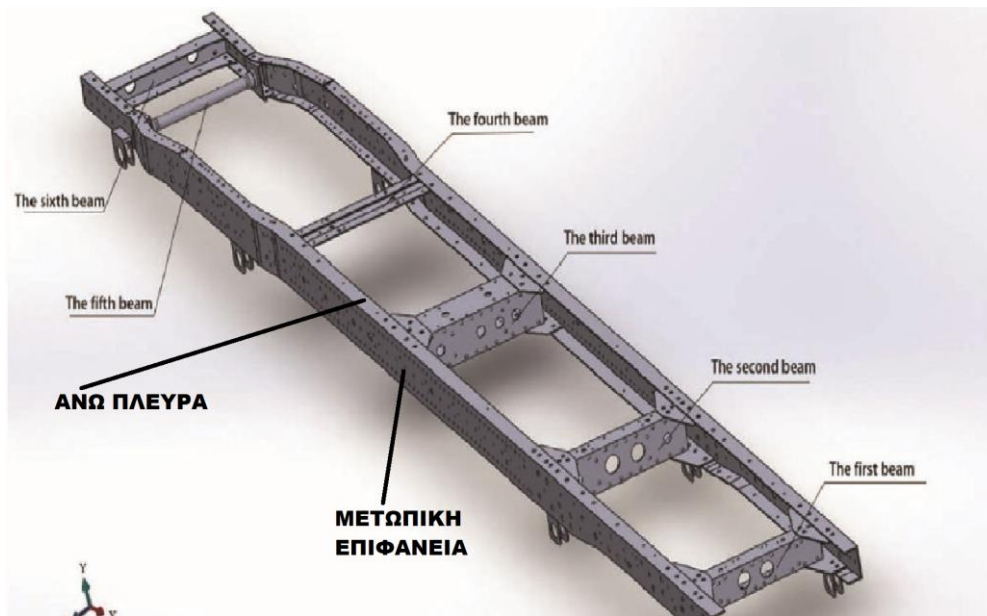
Οι στατικές τάσεις που καταπονούν το πλαίσιο των φορτηγών είναι διατμητικές λόγω των δυνάμεων βάρους και των αντιδράσεων του εδάφους, και καμπτικές λόγω του φορτίου [1]. Οι στατικές δυνάμεις είναι κάθετες στο πλαίσιο με γνωστά σημεία εφαρμογής [5], και καταπονούν τις διαμήκεις δοκούς του πλαισίου. Οι κύριες δυναμικές τάσεις είναι στρεπτικές λόγω της επίδρασης των ανωμαλιών της

οδού και της επίδρασης των περιστρεφόμενων μηχανικών μερών (π.χ. κιβώτιο ταχυτήτων) καθώς και από σταθερά στοιχεία στερεωμένα στο πλαίσιο όπως ντεπόζιτα. Καταπονούν και τις διαμήκεις και τις εγκάρσιες δοκούς του πλαισίου. Στο [5] αναφέρεται η περίπτωση πρόσκρουσης σε λακούβα. Όταν ο τροχός προσκρούσει στην παρειά της λακούβας δέχεται μια διαγώνια δύναμη F . Η οριζοντια συνιστώσα Q δρα στις άκρες του πλαισίου κατά το οριζόντιο επίπεδο και τείνει να το παραμορφώσει από ορθογώνιο σε παραλληλόγραμμο. Η κατακορυφη συνιστώσα P καταπονεί στο κάθετο επίπεδο το πλαίσιο σε στρέψη.



Εικόνα 1.5: Δυνάμεις σε τροχό που προσκρούει σε λακούβα, κίνηση προς τα αριστερά

Όλα τα προαναφερθέντα φορτία μεταφέρονται στις δύο κύριες δοκούς του πλαισίου. Αυτές υφίστανται εφελκυστικές και θλιπτικές τάσεις. Για πλαίσιο τυπου Π οχήματος με κινητήρα, όταν φορτίζεται κατακόρυφα, οι μεγαλύτερες τάσεις αναπτύσσονται στην άνω και κάτω παράπλευρη πλευρά, ενώ η μετωπική επιφάνεια εφελκύεται στο άνω μέρος και θλίβεται στο κάτω. Στην οριζόντια φόρτιση οι μεγαλύτερες τάσεις αναπτύσσονται στα ανοικτά μέρη των άνω και κάτω πλευρών, ενώ η μετωπική επιφάνεια υφίσταται θλίψη [1].



Εικόνα 1.6: άνω πλευρά και μετωπική επιφάνεια πλαισίου τύπου σκάλας

1.4 ΑΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΦΟΡΤΗΓΩΝ

Σε ένα όχημα η ανάρτηση έχει τον ρόλο της σύνδεσης της αναρτημένης μάζας με την μη αναρτημένη. Πιο πρακτικά η ανάρτηση παρέχει σύνδεση μεταξύ του σασι και του άξονα. Κάθε όχημα με αναρτήσεις φέρει τουλάχιστον τόσες αναρτήσεις όσοι και οι τροχοί του. Τα δύο βασικά στοιχεία της ανάρτησης είναι το ελατήριο και ο αποσβεστήρας. Το πρώτο εξασφαλίζει την ταλάντωση του αμαξώματος στις ανωμαλίες του οδοστρώματος. Αυτό γίνεται για λόγους άνεσης αλλά και ασφάλειας. Η ταλάντωση αυτή έχει πλατος ανάλογο της ανωμαλίας που συναντάει το οχημα κατά την κίνησή του. Σε κάθε περίπτωση είναι επιθυμητό η ταλάντωση αυτή να έχει πολύ γρήγορη απόσβεση. Αυτό επιτυγχάνεται με τον αποσβεστήρα, ο οποίος έχει πολύ μεγάλο συντελεστή απόσβεσης, έτσι ώστε να μηδενίζει γρήγορα την ταλάντωση του ελατηρίου.

Στα φορτηγά και τα ρυμουλκούμενα οι αναρτήσεις είναι υψηλών απαιτήσεων κατασκευές καθώς μεταφέρουν μεγάλα βάρη προς τους άξονες. Οι αναρτήσεις σε αυτά τα οχήματα διαφοροποιούνται σε σχέση με το είδος των ελατηρίων. Στα οχήματα με κινητήρα χρησιμοποιούνται παραβολικά φύλλα στον εμπρόσθιο άξονα (διευθυντήριο) και αερόσουστες στους πίσω άξονες ή αερόσουστες σε όλους τους άξονες.



Εικόνα 1.7: ελατήριο εμπρόσθιας ανάρτησης



Εικόνα 1.8: αερόσουστες

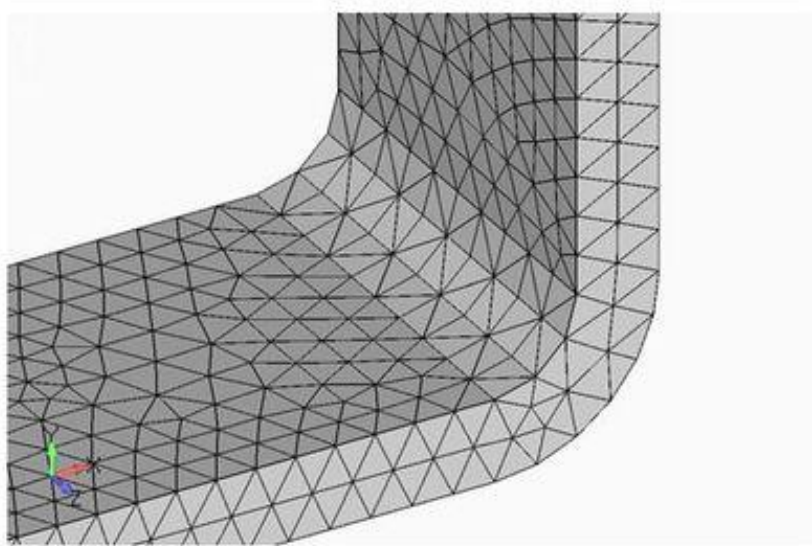
Οι αερόσουστες είναι κατασκευασμένες από το κέλυφος, το οποίο είναι από καοτσούκ και διάφορα μεταλλικά στοιχεία όπως το έμβολο, η βάση και τα στοιχεία σύνδεσης [6]. Στα σύγχρονα βαρέα οχήματα είναι ευρύτατη η χρήση αεραναρτήσεων επειδή προσφέρουν πολλαπλά οφέλη. Καταρχάς είναι καλύτερη επιλογή στον τομέα της άνεσης. Επίσης προσφέρουν την δυνατότητα ρύθμισης του ύψους του αμαξώματος. Με την παροχή αέρα το αμάξωμα ανυψώνεται και με την

αφαίρεση αέρα το αμάξωμα υποβιβάζεται. Αυτό είναι πολύ χρήσιμο όταν είναι επιθυμητό ένα συγκεκριμένο ύψος αμαξώματος, όπως για την προσέγγιση σε ράμπα ή την επιβίβαση σε πλοίο, όπου απαιτείται αυξημένο ύψος, ή για την ανύψωση ανατρεπόμενης καρότσας σε αρθρωτό όχημα, όπου καλό είναι το ύψος να είναι χαμηλό. Συνδυαστικά υπάρχει και το σύστημα ECAS (electronically controlled air suspension). Αισθητήρια ελέγχουν συνεχώς την απόσταση πλαϊσίου-άξονα και ρυθμίζουν την παροχή αέρα στις φούσκες ανάλογα με το επιθυμητό ύψος. Όμως ο συγκεκριμένος τύπος αναρτησης παρουσιάζει μειωμένη αντοχή και ανθεκτικότητα σε σχέση με τα παραδοσιακά φύλλα σούστας. Για αυτόν τον λόγο στα εργοταξιακά οχήματα χρησιμοποιούνται ως επί το πλείστο φύλλα σούστας.

1.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΤΟΧΗΣ ΜΕ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ (FINITE ELEMENT ANALYSIS)

Η ανάλυση καταπονήσεων με πεπερασμένα στοιχεία είναι μια υπολογιστική μέθοδος με λογισμικό για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς μιας κατασκευής υπό τα εφαρμοζόμενα φορτία. Δηλαδή σε ένα τρισδιάστατο μοντέλο εφαρμόζονται τα φορτία και οι περιορισμοί (πακτώση κλπ) και το λογισμικό εμφανίζει τις αναπτυσσόμενες τάσεις και παραμορφώσεις της κατασκευής.

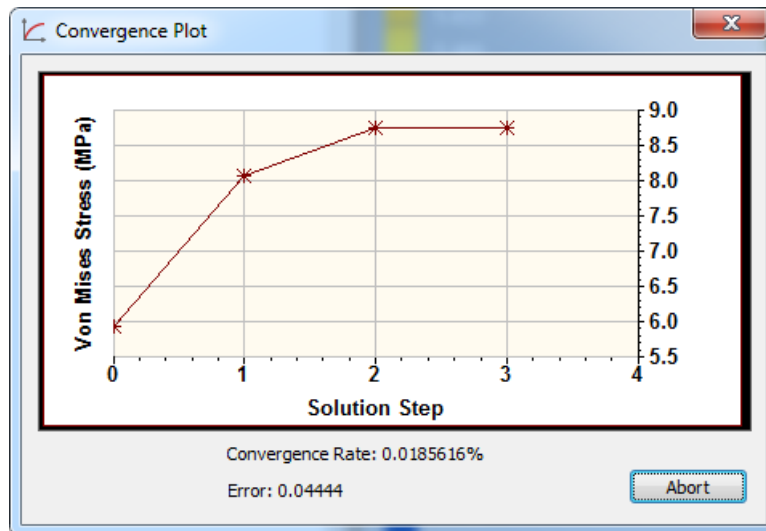
Η βασική έννοια της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων είναι η δυνατότητα προσομοίωσης της πραγματικής κατασκευής με συστατικά στοιχεία τα οποία συνδυάζονται σε ένα πεπερασμένο αριθμό κόμβων [9]. Το μοντέλο διαιρείται σε πολύ μικρά στοιχεία, διάφορων σχημάτων, τα οποία ενώνονται με κόμβους. Το λογισμικό λύνει το σύστημα εξισώσεων για να εξάγει αποτελέσματα στατικής, δυναμικής, θερμικής ή καποιας άλλης ανάλυσης [2]. Σε μοντέλα με μεγάλη πολυπλοκότητα οι εξισώσεις είναι πολύ δύσκολο ή ακατόρθωτο να επιλυθούν αναλυτικά. Ο αριθμός των στοιχείων και των κόμβων είναι γνωστός και ο διαχωρισμός αυτός του μοντέλου καλείται διακριτοποίηση [10]. Ανάλογα με τον αριθμό των στοιχείων που διαιρείται το μοντέλο σε σχέση με τον όγκο του μιλάμε για πυκνό ή αραιό πλέγμα.



Bracket with Medium Mesh (5390 elements)

Εικόνα 1.9: 3D μοντέλο με μέσο πλέγμα, ούτε πυκνό ούτε αραιό. Τα στοιχεία είναι τριγωνικά

Όπως και κάθε υπολογιστική διαδικασία, έτσι και αυτή ενέχει κάποιο σφάλμα στα αποτελέσματα που εξάγονται. Η ακρίβεια της λύσης εξαρτάται από το πόσο καλά το μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων αναπαριστά την φυσική συμπεριφορά της κατασκευής. Αυτό καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα και την ποσότητα των στοιχείων [10]. Πιο πολλά και πιο ακριβή στοιχεία δίνουν καλύτερα αποτελέσματα. Αυξανόμενου όμως του αριθμού των στοιχείων αυξάνεται και ο χρόνος και το κόστος υπολογισμού. Για να μην αυξάνεται πολύ το κόστος και ο χρόνος μπορεί να εφαρμοστεί βαθμιαία μεταβολή του μεγέθους των στοιχείων για να αποκτηθεί ακριβέστερη εικόνα της τοπικής συμπεριφοράς σε περιοχές συγκέντρωσης τάσεων, σε ανοίγματα ή οπές ή κοντά στο σημείο εφαρμογής φορτίων [9]. Σε αυτήν την περίπτωση το πρόγραμμα εκτελεί πολλαπλές επαναλήψεις και κάθε φορά πυκνώνει το πλέγμα στις περιοχές των μεγαλύτερων τάσεων. Η διαδικασία θα σταματήσει όταν τα αποτελέσματα συγκλίνουν, δηλαδή όταν το νέο αποτέλεσμα θα έχει διαφορά από το προηγούμενο μικρότερη από μια καθορισμένη από τον χρήστη τιμή π.χ. 5%, ή όταν οι επαναλήψεις φτάσουν ένα καθορισμένο πάλι αριθμό. Παρακάτω φαίνεται ένα διάγραμμα σύγκλισης σε λογισμικό της Autodesk.



Εικόνα 1.10: διάγραμμα σύγκλισης

Το πρόγραμμα έχει εκτελέσει τέσσερις επαναλήψεις στις περιοχές συγκέντρωσης τάσεων για να εξάγει το τελικο-συγκλίνον αποτέλεσμα, δηλαδή τα 8,75 MPa. Η διαφορά μεταξύ της τελευταίας και προτελευταίας τιμής είναι 0,0185616%. Τα αποτελέσματα στο συγκεκριμένο παράδειγμα συνέκλιναν με τέσσερις επαναλήψεις. Οι πρώτες επαναλήψεις δημιουργούνται αυτόματα από το λογισμικό. Αν πρόκειται για αντικείμενο είναι τρεις. Σε συναρμολογήματα είναι δύο [12]. Αν λοιπόν υποθέσουμε ότι το διάγραμμα της εικόνας 1.10 αναφέρεται σε συναρμολόγημα, τα δύο πρώτα βήματα έχουν δημιουργηθεί αυτόματα. Τα επόμενα δύο έχουν δημιουργηθεί ως αποτέλεσμα των ρυθμίσεων του χρήστη. Στην προκειμένη περίπτωση είχε καθοριστεί ποσοστό διαφοράς μεγαλύτερο του προαναφερθέντος. Η διαδικασία σταμάτησε ανεξάρτητα αν είχε καθοριστεί μεγαλύτερος αριθμός επαναλήψεων.

Η FEA είναι μια πολύ χρήσιμη και βολική μέθοδος για τον υπολογισμό κατασκευών με μεγάλο πλεονέκτημα ότι συνδυάζεται με τα CAD λογισμικά. Η ευελιξία των CAD συστημάτων όσον αφορά την δυνατότητα αλλαγών στο μοντέλο και η άμεση επανεκτέλεση ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων με τα νέα δεδομένα μετά τις αλλαγές παρέχει στους μηχανικούς μεγάλη ευχέρεια στην ανάπτυξη προϊόντων χωρίς χρονοβόρους υπολογισμούς. Οι αναλυτικές υπολογιστικές εργασίες και οι φυσικές δοκιμές βεβαίως δεν εξαλείφονται, όμως η δυνατότητα της FEA για ανάλυση και πολύπλοκων γεωμετριών εύκολα και αποδοτικά μειώνει τα αρχικά τεστ σε πρωτότυπα κατά την ανάπτυξη κατασκευών [10].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΕΠΙΛΟΓΗ & ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΤΥΠΟΥ ΣΚΑΛΑΣ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μελέτη αυτή αφορά ένα ημιρυμουλκούμενο μεταφοράς κοντέινερ 20 πόδων. Όπως και στην πλειονότητα παρόμοιων ακαδημαϊκών εργασιών επιλέγεται πλαίσιο από ρυμουλκούμενο μεταφοράς κοντέινερ για τον ακόλουθους λόγους. Όταν είναι άφορτο προσφέρει την δυνατότητα για παρατήρηση και μέτρηση με σκοπό την μέθοδο αντίστροφης μηχανολογικής σχεδίασης για την δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου. Επίσης διατίθενται σχέδια τέτοιων πλαισίων από κάποιους κατασκευαστές. Ο λόγος για τον οποίο επιλέγεται ημιρυμουλκούμενο και όχι σασί οχήματος με κινητήρα είναι η πολυπλοκότητα του δεύτερου. Σε μια νταλικά τα προσαρτημένα στο πλαίσιο στοιχεία δεν επηρεάζουν ουσιαστικά την συμπεριφορά του πλαισίου. Τέτοια στοιχεία είναι το αεροφυλάκιο, δεξαμενή νερού για τις ανάγκες του οδηγού, βαλβίδες, λασπωτήρες κλπ, τα οποία ούτε μεγάλη μάζα έχουν ούτε έχουν περιστρεφόμενα μέρη που προκαλούν στεπτική καταπόνηση. Το μόνο στοιχείο που μπορεί να έχει επίδραση είναι η παλετοθήκη που συνήθως απουσιάζει σε αυτά τα ημιρυμουλκούμενα. Απεναντίας ένα πλαίσιο οχήματος με κινητήρα επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τα προσαρτημένα σε αυτό στοιχεία. Κινητήρας και όλη η γραμμή κίνησης, δεξαμενές καυσίμου, καταλύτες και γενικά όλα τα συστήματα του αυτοκινήτου αποτελούν βασική πηγή καταπόνησης για το πλαίσιο λόγω μεγάλου βάρους ή και των μεγάλων ταχυτήτων περιστροφής κατά την λειτουργία του οχήματος. Για να μελετηθεί αυτό το πλαίσιο και να έχουν σχετική αξιοπιστία τα αποτελέσματα απαιτείται συνυπολογισμός του βάρους των συστημάτων ενδιαφέροντος καθώς και των καταπονήσεων που προκαλούν. Οι παράμετροι που χρειάζονται για τον συνυπολογισμό αυτόν είναι πολλοί και δύσκολοι στην εύρεσή τους αφού οι κατασκευαστές δεν διαθέτουν όλα τα κατασκευαστικά στοιχεία των οχημάτων. Οπότε μια απλουστευμένη μορφή ενός τέτοιου πλαισίου μπορεί να οδηγήσει σε αποτελέσματα μακριά από τα πραγματικά σε σχέση με ένα πλαίσιο από ημιρυμουλκούμενο.

Για την παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν μέθοδοι αντίστροφης μηχανολογικής σχεδίασης σε συνδυασμό με σχέδια πλαισίων που διατίθενται για την δημιουργία του 3D μοντέλου και σχέδια εξαρτημάτων διάφορων κατασκευαστών. Το λογισμικό με το οποίο έγινε ο σχεδιασμός και η ανάλυση είναι το Inventor Professional 2024 με το Stress Analysis του ίδιου λογισμικού.

2.2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΤΡΕΙΛΕΡ 20FT

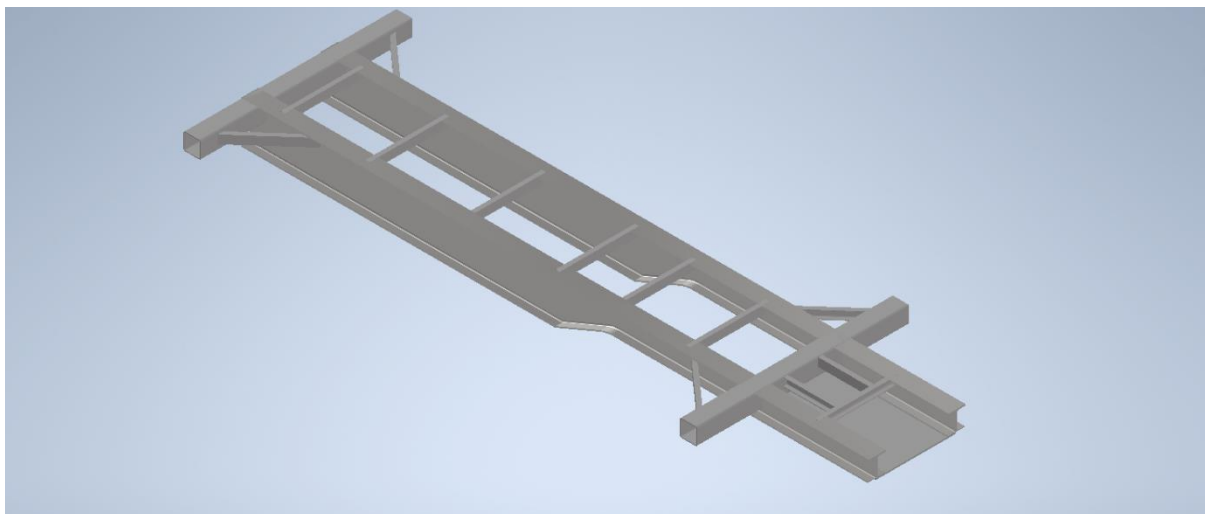
Το σασί του τρέιλερ είναι μια μεγάλη συγκολλητή κατασκευή αποτελούμενη από δύο κύριες δοκούς διατομής Η, οι οποίες διατρέχουν όλο το μήκος [10]. Αποτελείται επίσης από τις εγκάρσιες και τις διαγώνιες δοκούς, οι οποίες έχουν διατομές Π 90° και τετραγωνικές. Στην περιοχή σύζευξης υπάρχει μια πλάκα συγκολλημένη στο πλαίσιο, η οποία φέρει και τον πίρο ζευξης. Το ημιρυμουλκούμενο-τρέιλερ που μελετάται είναι για μεταφορά κοντέινερ 20 πόδων.

Μήκος 7500

Πλάτος 2500

Υλικό εργαλειοχάλυβας (mild steel)

Σχεδιαστικά το πλαίσιο (εικ 2.1) δημιουργείται σαν συναρμολόγημα (assembly). Αρχικά σχεδιάζεται το περίγραμμα σαν δισδιάστατο σχέδιο (2D part) και εν συνεχεία σε κάθε γραμμή του περιγράμματος αντιστοιχίζεται μια διατομή με την κατάλληλη διάταξη και προσανατολισμό. Τα επιμερους κομμάτια, π.χ. πλάκα, τοποθετούνται στο κατάλληλο σημείο του συναρμολογήματος με την βοήθεια των αντιστοιχων περιορισμών (constraints).



Εικόνα 2.1: πλαίσιο τύπου σκάλας-σκελετός 20ft

Οι μεταλλικές διατομές είναι οι εξής:

Κύριες δοκοί:

Διατομή Η, DIN 1025-5 IPE θερμής έλασης, μέγεθος IPE 500

Εγκάρσιες δοκοί έδρασης υπερκατασκευής:

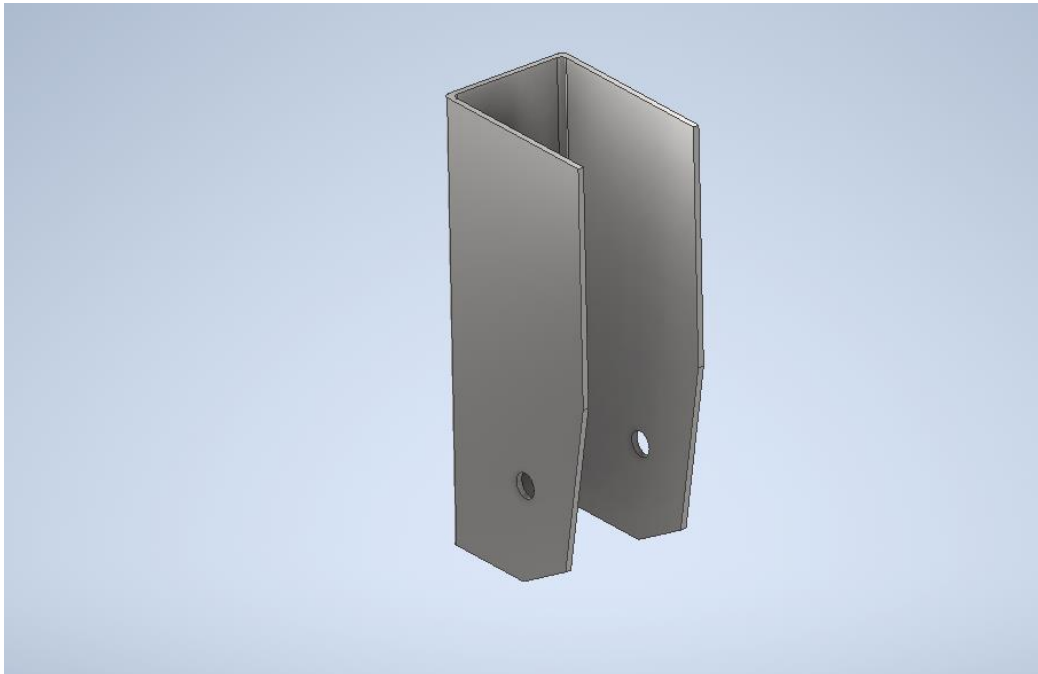
Διατομή τετραγωνική, DIN 59410 θερμής έλασης, μέγεθος 200X200X8

Εγκάρσιες και διαγώνιες δοκοί:

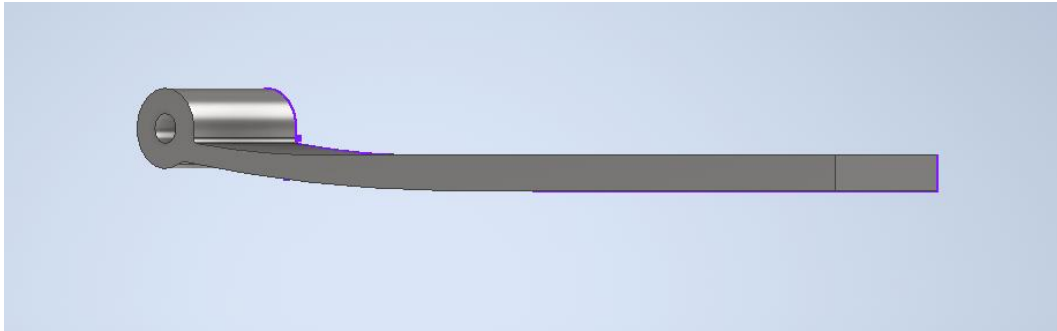
Διατομή Π 90 μοιρών, DIN 1026-1 θερμής έλασης, μέγεθος U100

Στην FEA που θα ακολουθήσει, παρόλο που είναι στατική, λαμβάνεται υπόψη η ανάρτηση του οχήματος. Δηλαδή δεν εφαρμόζονται στηρίξεις πάνω στο πλαίσιο στις θέσεις έδρασης (ζεύξη και τροχοί), αλλά προσομοιώνονται τα στοιχεία που επηρεάζουν την στατική κατάσταση του πλαισίου. Αυτά τα στοιχεία είναι τα ελατήρια και οι τροχοί. Οι αποσβεστήρες, τα silentblocks και οι αντιστρεπτικές ράβδοι παίζουν σημαντικό ρόλο, αλλά στην δυναμική καταπόνηση από την ποιότητα του οδοστρώματος και τις στροφές.

Το αναφερόμενο τρέιλερ είναι εξοπλισμένο με αερόσουστες και μονά ελαστικά και στους δύο άξονες. Τα εξαρτήματα που περιλαμβάνονται στο μοντέλο είναι η βάση στήριξης της ανάρτησης στο πλαίσιο (μπρακέτο), ο βραχίονας, και ο πίσος που μπαίνει στο άνοιγμα του βραχίονα (εικ 2.2, 2.3)

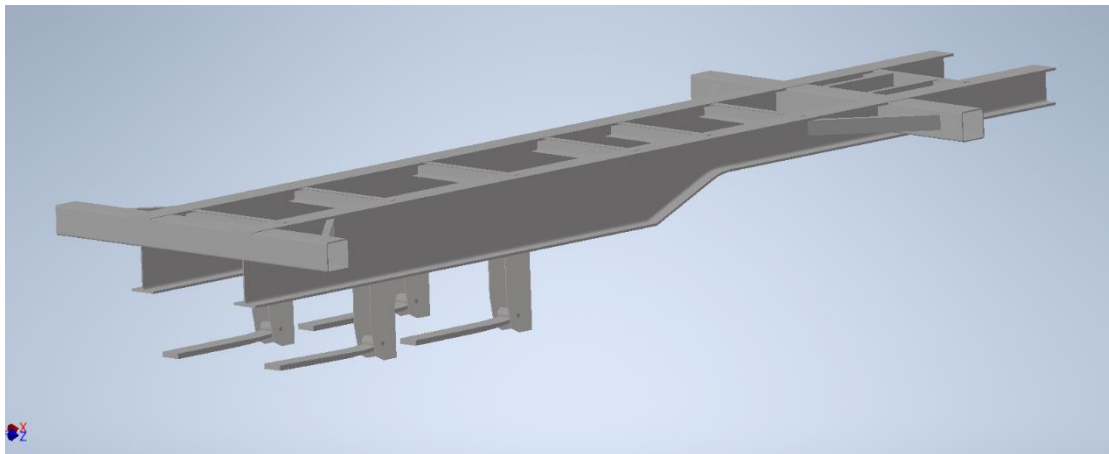


Εικόνα 11: μπρακέτο ανάρτησης



Εικόνα 12: βραχίονας

Τα παραπάνω εξαρτήματα εισάγονται στο συναρμολόγημα και τοποθετούνται στις κατάλληλες θέσεις. Το υλικό που χρησιμοποιείται είναι εργαλειοχάλυβας και για τα τρία εξαρτήματα. Όσον αφορά τους πύλους υπάρχουν και από κατσούκ. Το μοντέλο ύστερα από την πρόσθεση της ανάρτησης έχει την μορφή της εικόνας 2.4



Εικόνα 13: πλαίσιο με στοιχεία ανάρτησης

Οι αερόσουστες και τα ελαστικά θα προσομοιωθούν ως ελατήρια με κατάλληλη τιμή δυσκαμψίας στον καθορισμό των παραμέτρων της ανάλυσης καταπονήσεων. Τόσο οι αερόσουστες που παίζουν το ρόλο του ελατηρίου με τα πλεονεκτήματα που αναφέρονται στο 1.4, όσο και τα λάστιχα έχουν δυναμική ελατηρίου, το κάθε ένα στοιχείο με διαφορετικά χαρακτηριστικά απόσβεσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΑΣΕΩΝ ΜΕ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ (FEA) ΣΕ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΥΠΟΥ ΣΚΑΛΑΣ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο αναφερόμενο πλαίσιο θα διεξαχθεί FEA για να εντοπιστούν οι περιοχές καταπόνησης της κατασκευής σε στατική κατάσταση. Η ανάλυση διεξάγεται για το ημιρυμουλκούμενο συνδεδεμένο στον τράκτορα, φορτωμένο με ένα κοντέινερ 20 πόδων με το μέγιστο επιτρεπόμενο φορτίο. Το φορτίο θεωρείται ομοιόμορφα κατανεμημένο κατά μήκος του χώρου φόρτωσης, κάτι το οποίο αντιστοιχεί σε φορτία παλετοποιημένα, συσκευασμένα ξυλεία, δοκούς μεγάλου μήκους κ.α. Οι παράμετροι καθορίζονται ανάλογα με το είδος και την πολυπλοκότητα της κατασκευής, καθώς και την κατηγορία της ανάλυσης. Αναλυτικά η κάθε παράμετρος εξετάζεται στις ακόλουθες υποενότητες. Τα αποτελέσματα θα αξιολογηθούν με βάση τα προσδοκώμενα αποτελέσματα και για να διαπιστωθεί ότι τα αποτελέσματα είναι έμπιστα χρησιμοποιείται το διάγραμμα σύγκλισης (convergence plot).

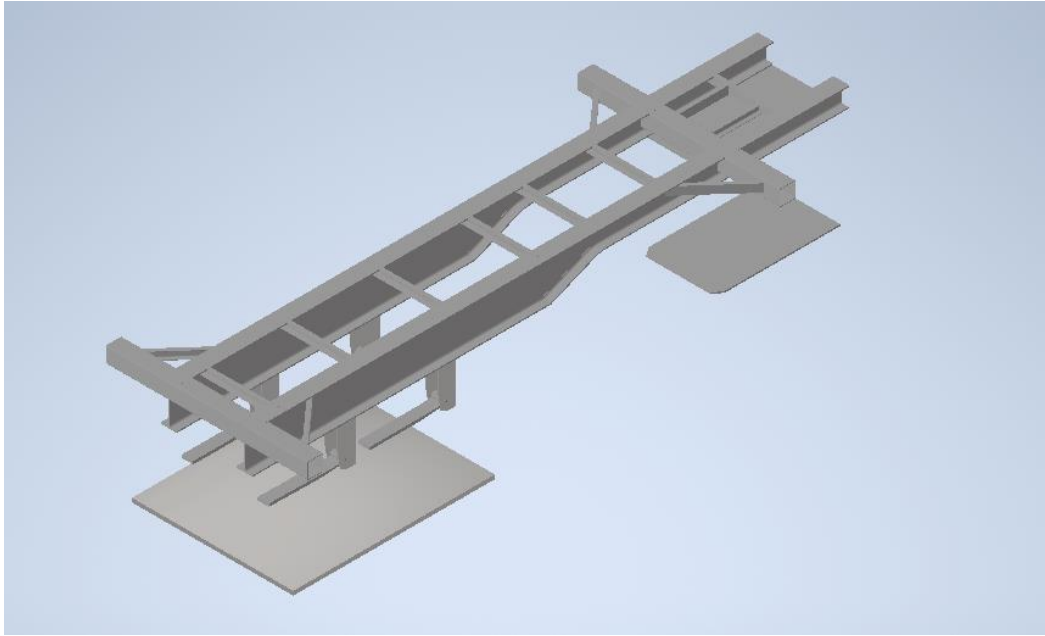
3.2 ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Όπως αναφέρεται και σε προηγούμενο κεφάλαιο, κατά την στατική φόρτιση του πλαισίου αναπτύσσονται τάσεις καμπτικές και διατμητικές. Το ίδιο βάρος του πλαισίου είναι πολύ μικρότερο από του φορτίου, οπότε και οι καμπτικές τάσεις αποτελούν την βασική καταπόνηση. Εφόσον στο πλαίσιο υπάρχει κατά μήκος αλλαγή διατομής, οι αναμενόμενες μέγιστες τάσεις θα παρουσιάζονται σε αυτήν την περιοχή. Λόγω του ότι εκτελείται στατική μελέτη οι μέγιστες τάσεις σαν μέγεθος θα είναι υποπολλαπλάσιες του ορίου διαρροής του υλικού του πλαισίου, αναμένουμε κάτω από 100 MPa. Επίσης αναμένονται αυξημένες τάσεις στις περιοχές συγκόλλησης των βάσεων των αναρτήσεων, επειδή υπάρχει εκεί ροή δύναμης προς τις αναρτήσεις και εντέλει στους τροχούς. Το ίδιο συμβαίνει και στην περιοχή του πύρου σύζευξης, όπου αναμένουμε μεγάλες τάσεις επειδή από εκεί μεταφέρεται το μεγαλύτερο βάρος του τρέιλερ στον άξονα του διαφορικού του ρυμουλκού. Συνήθης φόρτιση του άξονα αυτού είναι 13 τόνοι. Τέλος η παραμόρφωση πρέπει να είναι συμμετρική βάσει των συνθηκών που υπάρχουν, δηλαδή το φορτίο είναι κατανεμημένο ομοιόμορφα και οι αναρτήσεις και οι τροχοί είναι σαφώς πανομοιότυπα εκατέρωθεν του πλαισίου. Επιγραμματικά λοιπόν αναμένουμε τα εξής:

- Μέγιστη τάση των κύριων δοκών του πλαισίου στην αλλαγή διατομής
- Μεγιστη τάση των κύριων δοκών του πλαισίου κάτω των 100 MPa
- Αυξημένες τάσεις στις επαφές μπρακέτων-πλασίου και μεγάλες τάσεις στον πύρο
- Συμμετρική παραμόρφωση

3.3 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

Το έδαφος-οδόστρωμα προσομοιώνεται ως μία πλάκα κάτω από τις αναρτησεις και μία κάτω από την περιοχή σύζευξης. Η απόσταση από το πλαίσιο είναι μισή διάμετρος τροχού από τον βραχίονα της ανάρτησης, επειδή στον βραχίονα της ανάρτησης προσαρμόζεται ο άξονας, στην άκρη του οποίου προσαρμόζεται ο τροχός.



Εικόνα 3.1: το πλαίσιο με τις πλάκες προσομοίωσης εδάφους

Στις πλάκες που αντιστοιχούν στο έδαφος εφαρμόζεται πάκτωση στην από κάτω πλευρά. Το πάχος της πλάκας δεν επηρεάζει καθόλου τα αποτελέσματα.

3.4 ΦΟΡΤΙΑ

Οι δυνάμεις που επενεργούν στο πλαίσιο σε στατική κατάσταση είναι οι βαρυτικές και οι δυνάμεις λόγω του φορτίου. Όπως αναφέρθηκε η FEA γίνεται για το μέγιστο επιτρεπόμενο φορτίο, σύμφωνα με τα στοιχεία της εικόνας 3.2. Για το κοντέινερ των 20 πόδων για ξηρό φορτίο αναφέρεται μέγιστο βάρος 24 τόνοι. Στις παραμέτρους καθορίζεται περισσότερο φορτίο λαμβάνοντας υπόψιν υπερφόρτωση. Οπότε οι δυνάμεις είναι:

- 26 τόνοι κατανεμημένο φορτίο κατά μήκος του πλαισίου (13 ανά πλευρά)
- Βαρύτητα

Το κατανεμημένο φορτίο εφαρμόζεται ανάμεσα στα σημεία έδρασης του κοντέινερ, δηλαδή ανάμεσα στις δύο δοκούς τετραγωνικής διατομής.

SEA CONTAINER SPECIFICATIONS

DRY CARGO CONTAINERS



DIMENSIONS

Type	Container Weight			Interior Measurement				Door Open	
	Gross (kg)	Tare (kg)	Net (kg)	Length (m)	Width (m)	Height (m)	Capacity (m ³)	Width (m)	Height (m)
20 ft	24,000	2,370	21,630	5.898	2.352	2.394	33.20	2.343	2.280
40 ft	30,480	4,000	26,480	12.031	2.352	2.394	67.74	2.343	2.280

CHARACTERISTICS

Manufactured from either Aluminium or steel, they are suitable for most types of cargo / general cargo. Aluminium containers have a slightly larger payload than steel, and steel containers have a slightly larger internal cube.

REFRIGERATED CONTAINERS



DIMENSIONS

Type	Container Weight			Interior Measurement				Door Open	
	Gross (kg)	Tare (kg)	Net (kg)	Length (m)	Width (m)	Height (m)	Capacity (m ³)	Width (m)	Height (m)
20 ft	24,000	3,050	20,950	5.449	2.290	2.244	26.70	2.276	2.261
40 ft	30,480	4,520	25,960	11.690	2.250	2.247	57.10	2.280	2.205

CHARACTERISTICS

Recommended for delicate cargo. Bottom-air delivery system ensures refrigerated cargo reaches its destination in optimum condition.

OPEN TOP CONTAINERS



DIMENSIONS

Type	Container Weight			Interior Measurement				Door Open	
	Gross (kg)	Tare (kg)	Net (kg)	Length (m)	Width (m)	Height (m)	Capacity (m ³)	Width (m)	Height (m)
20 ft	24,000	2,580	21,420	5.629	2.212	2.311	32.00	2.330	2.263
40 ft	30,480	4,290	26,190	11.763	2.212	2.311	65.40	2.330	2.263

CHARACTERISTICS

Allowing cargo to be loaded from the top, open top containers are particularly suitable for bulky cargo such as machinery. They are fitted with a PVC tarpaulin cover and attachable boxes with cable sealing devices. The container doors can be removed to make the stuffing of cargo more convenient. Manufactured from steel.

FLAT RACK CONTAINERS



DIMENSIONS

Type	Container Weight			Interior Measurement			
	Gross (kg)	Tare (kg)	Net (kg)	Length (m)	Width (m)	Height (m)	Capacity (m ³)
20 ft	30,480	2,900	27,580	5.624	2.236	2.234	27.90
40 ft	34,000	5,870	28,130	11.786	2.236	2.236	51.90

CHARACTERISTICS

Flatracks are especially suited to heavy loads or cargo that needs loading from the top or sides, such as pipes and machinery. There are collapsible and non-collapsible containers with or without walls. Manufactured from steel.

GARMENT CONTAINERS



DIMENSIONS

Type	Container Weight			Interior Measurement				Door Open	
	Gross (kg)	Tare (kg)	Net (kg)	Length (m)	Width (m)	Height (m)	Capacity (m ³)	Width (m)	Height (m)
20 ft	24,000	2,240	21,760	5.898	2.352	2.394	33.20	2.343	2.280
40 ft	30,480	3,885	26,595	12.031	2.352	2.394	67.74	2.343	2.280

CHARACTERISTICS

Use for all kinds of garment. The containers are specially designed for garment product and related industry. There are some options of using a string or bar system or a combination of both. The containers allow increased flexibility, greater load internal Capacity and savings on transportation and handling cost.

HIGH CUBE CONTAINERS



DIMENSIONS

Type	Container Weight			Interior Measurement				Door Open	
	Gross (kg)	Tare (kg)	Net (kg)	Length (m)	Width (m)	Height (m)	Capacity (m ³)	Width (m)	Height (m)
40 ft	30,480	3,980	26,500	12.031	2.352	2.698	76.30	2.340	2.585
45 ft	30,480	4,800	25,680	13.544	2.352	2.698	86.00	2.340	2.585

CHARACTERISTICS

With high cube containers, you gain an extra foot in height compared with general-purpose containers. Ideal for light, voluminous cargo or bulky cargo. These extra volume containers come in steel and aluminium.

Note : For Reference only. Please contact your shipping companies or forwarders for more details.

Εικόνα 3.2: χαρακτηριστικά διάφορων ειδών κοντέινερ

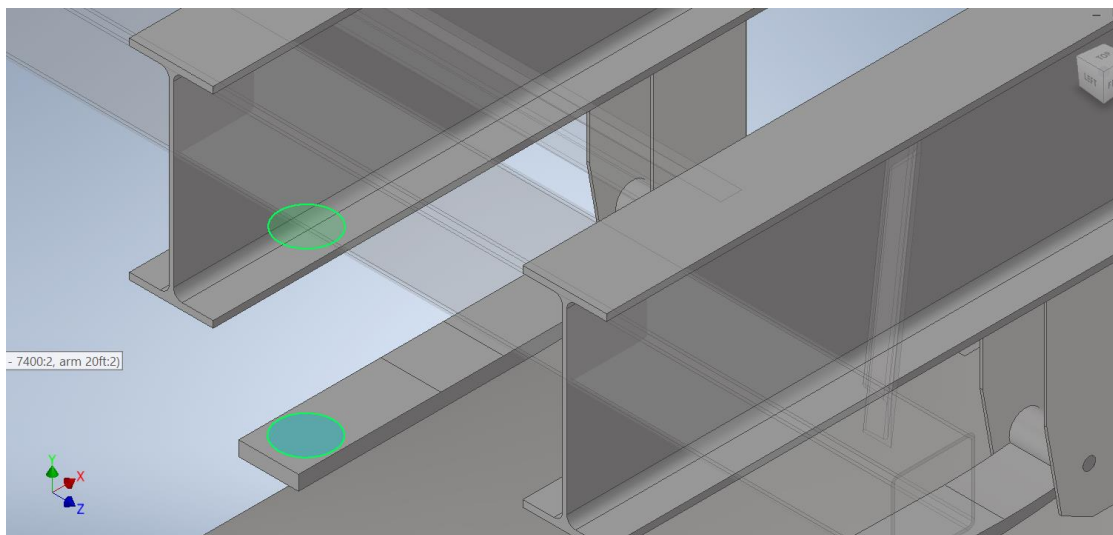
3.5 ΕΠΑΦΕΣ

Το λογισμικό δημιουργεί αυτόματα επαφές μεταξύ των μερών του συναρμολογήματος. Το είδος των επαφών καθορίζεται από τον χρήστη στην έναρξη της διαδικασίας επιλογής παραμέτρων. Στην προκειμένη περίπτωση έχει καθοριστεί επαφή *bonded* εφόσον το πλαίσιο είναι συγκολλητή κατασκευή, με ανοχή 0,5 χιλιοστά (δημιουργία επαφής και ανάμεσα σε μέρη με απόσταση έως 0,5 χιλιοστά). Οι περαιτέρω επαφές θα δημιουργηθούν χειροκίνητα, μετά την αυτόματη δημιουργία των *bonded* επαφών. Οι περαιτέρω επαφές αφορούν την προσομοίωση των φουσκών και των ελαστικών ως ελατήρια (επαφή *spring*). Η σύνδεση των μερών

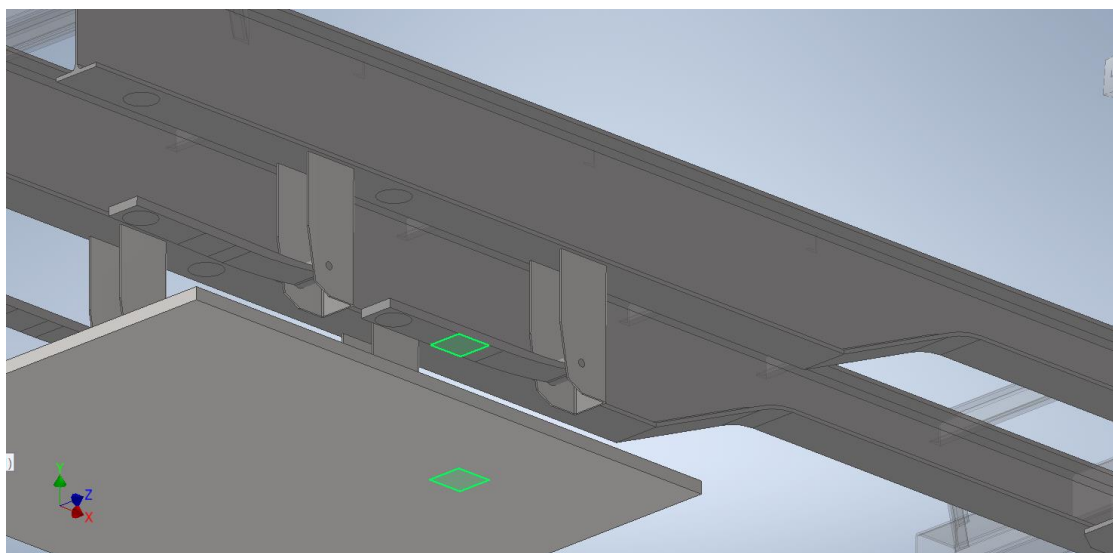
απαιτεί τον σχεδιασμό των αντίστοιχων διατομών επι αυτών, ώστε να προκύψουν οι ακμές ή οι επιφάνειες, οι οποίες θα συνδεθούν μεταξύ τους.

Οπότε στο σχεδιαστικό περιβάλλον σχεδιάζουμε τα περιγράμματα των επιφανειών που χρειαζόμαστε πάνω στα αντίστοιχα μέρη του πλαισίου και της ανάρτησης και έπειτα με την επιλογή *Split* ορίζουμε καινούρια επιφάνεια με βάση το κάθε περίγραμμα.

Το τρέιλερ είναι 2 αξόνων, με μία φούσκα ανά τροχό και μονά ελαστικά. Οπότε απαιτούνται 4+4 συνδέσεις ελατηρίου για όλες τις αναρτήσεις του τρέιλερ. Οι συνδέσεις γίνονται στις αντίστοιχες επιφάνειες όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες.



Εικόνα 3.3: επαφή ελατηρίου (*spring contact*) για την φούσκα αερανάρτησης

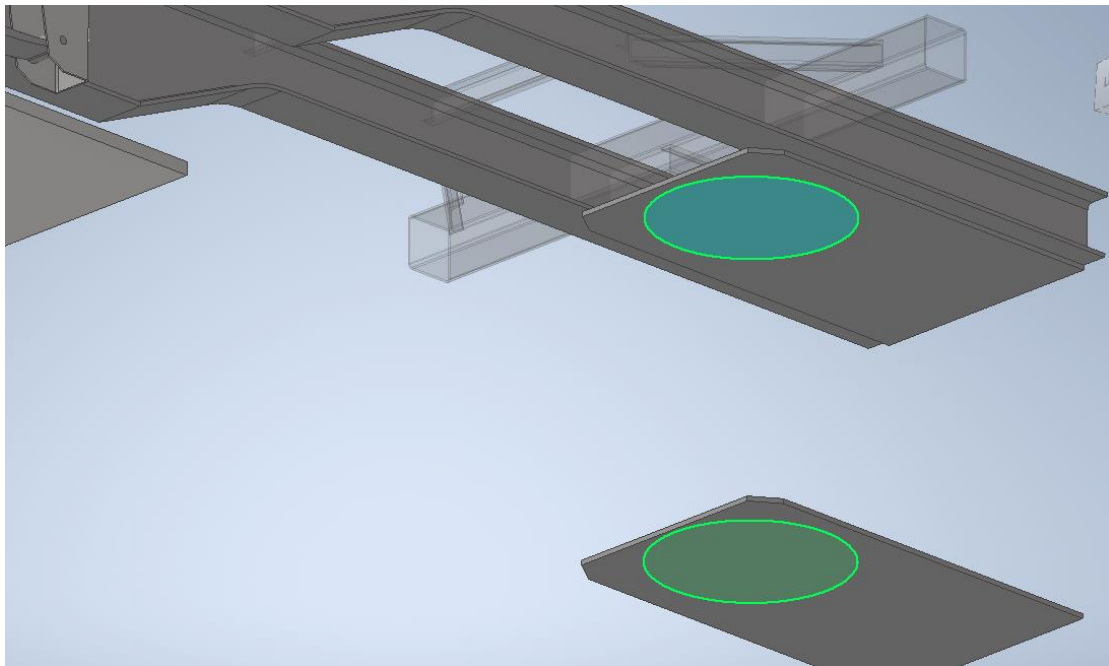


Εικόνα 3.4: επαφή ελατηρίου (*spring contact*) για τον τροχό

Για την δημιουργία των επαφών ελατηρίου πρέπει να καθοριστεί η δυσκαμψία. Στην στατική ανάλυση αυτή το όχημα υποτίθεται ότι βρίσκεται σταθευμένο και το ύψος του αμαξώματος βρίσκεται στο επίπεδο οδήγησης. Αντλώντας δεδομένα από τα [6], [7], [8] ορίζουμε δυσκαμψία ελατηρίου αερανάρτησης 140 N/mm. Η δυσκαμψία τροχού ορίζεται 200 N/mm [10].

- $k_{\text{suspension}} = 140 \text{ N/mm}$
- $k_{\text{wheel}} = 200 \text{ N/mm}$

Επιπλέον των παραπάνω επαφών πρέπει να οριστεί και επαφή ανάμεσα στην πλάκα σύζευξης και το έδαφος. Ο πίσω άξονας ενός συνήθους ελκυστήρα έχει 2 φούσκες ανά τροχό και διπλά ελαστικά. Οι επιφάνειες επαφής φαίνονται παρακάτω



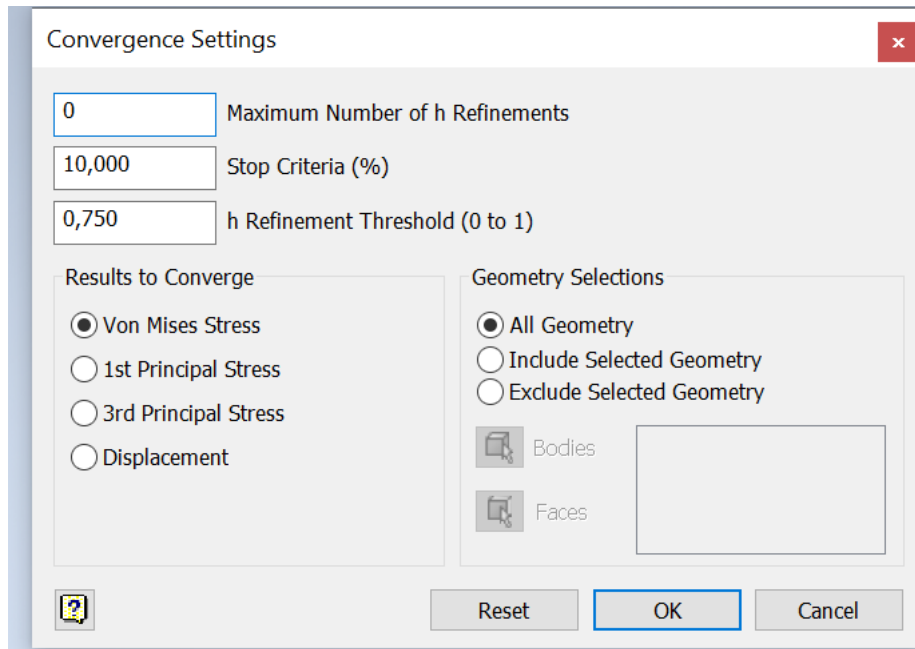
Εικόνα 3.5: επαφή ελατηρίου (*spring contact*) πλάκα-έδαφος

Η διάμετρος του κύκλου είναι 730, όσο περίπου η επιφάνεια επαφής της πλάκας επικαθήσεως (πέταλο). Από δοκιμές, και όπως θα φανεί παρακάτω, διαπιστώθηκε ότι τα αποτελέσματα δεν επηρεάζονται αν το σχήμα της επαφής αυτής είναι κύκλος ή όπως το σχήμα του πετάλου στην επιφάνεια επαφής.

$$k_{\text{total}} = 4 \cdot 140 + 4 \cdot 200 = 1360 \text{ N/mm}$$

3.6 ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΣΥΓΚΛΙΣΗΣ

Η απόκτηση εμπιστοσύνης στα αποτελέσματα που θα προκύψουν επιτυγχάνεται με την ρύθμιση της αυτόματης πύκνωσης του πλέγματος στις περιοχές ενδιαφέροντος. Αν η μέθοδος συγκλίνει τότε μπορούμε να βασιστούμε σε αυτά τα αποτελέσματα. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται το περιβάλλον καθορισμού των παραμέτρων της διαδικασίας σύγκλισης και εξηγείται η κάθε παράμετρος βάσει του [12].



Εικόνα 3.6: περιβαλλον ρύθμισης μεθόδου αυτόματης πύκνωσης

- **Maximum number of h refinements:** ορισμός του μέγιστου αριθμού h-refinement περίξ των μεγίστων τάσεων. Τιμές άνω του 5 κάνουν την διαδικασία χρονοβόρα. Η παράμετρος αυτή αφορά τις επαναλήψεις που γίνονται ως αποτέλεσμα των ρυθμισεων του χρήστη (βλ Κεφάλαιο 1.5)
- **Stop Criteria (%):** χρησιμοποιείται για σύγκλιση μεταξύ δύο διαδοχικών σταδίων. Στην περίπτωση της εικόνας 3.6 αν η διαφορά των αποτελεσμάτων μεταξύ δύο διαδοχικών πυκνώσεων είναι μικρότερη του 10% η διαδικασία θα σταματήσει.
- **H Refinement Threshold (0 to 1):** Η τιμή 0 θα συμπεριλάβει όλα τα στοιχεία του μοντέλου ως υποψήφια για πύκνωση, ενώ η τιμή 1 θα εξαιρέσει όλα τα στοιχεία από την διαδικασία. Η τιμή 0,75 είναι default του λογισμικού και σημαίνει ότι το 25% των στοιχείων του πλέγματος θα είναι υποψήφια για πύκνωση.

Επίσης δίνεται η δυνατότητα εξαίρεσης από την διαδικασία επιλεγμένων επιφανειών ή στερεών (exclude selected geometry).

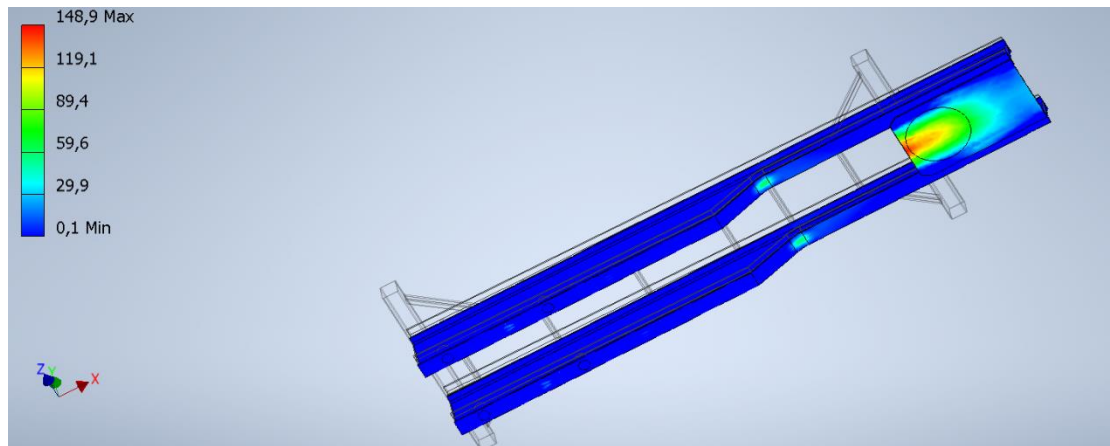
Σε αυτήν την FEA ορίζεται μέγιστος αριθμός 5 για να μην καταστεί χρονοβόρα η διαδικασία, αφού το μοντέλο δεν έχει μεγάλο βαθμό πολυπλοκότητας. Το ποσοστό Stop Criteria ορίζεται στο 5% για μεγαλύτερη ακρίβεια και η τρίτη παράμετρος παραμένει στην default τιμή, ήτοι 0,75.

- Maximum number of h refinements = 5
- Stop Criteria = 5%
- H Refinement Threshold = 0,75

Ο σχεδιασμός της ανάρτησης (μπρακέτα-βραχίονες-πίροι) αποτελεί μια προσπάθεια προσομοίωσης με βασικό σκοπό τον ορισμό των επαφών ελατηρίου που αντιστοιχούν στις αερόσουστες. Για τα εξαρτήματα αυτά της ανάρτησης είναι δύσκολη η μέθοδος Reverse Engineering και επιπλέον δεν διατίθενται πλήρη σχέδια από τους κατασκευαστές. Οπότε στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας ο σχεδιασμός των παραπάνω εξαρτημάτων δεν είναι ακριβής. Το αποτέλεσμα είναι μη ρεαλιστικές υπερμεγέθεις τάσεις συγκεντρωμένες στην ανάρτηση. Το γεγονός αυτό δεν επηρεάζει τις μέγιστες τάσεις στο πλαίσιο, για το οποίο ενδιαφερόμαστε, επηρεάζει όμως την μέθοδο σύγκλισης, επειδή εκεί εμφανίζονται οι μέγιστες τάσεις. Γι' αυτό επιλέγουμε όλα τα στοιχεία ανάρτησης και η πλάκα σύζευξης να εξαιρεθούν από την διαδικασία πύκνωσης του πλέγματος. Έτσι το λογισμικό θα επικεντρωθεί στο πλαίσιο μόνο για την σύγκλιση των αποτελεσμάτων.

3.7 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ 1

Σημειώνεται ότι από την ανάλυση έχουν εξαιρεθεί όλες οι εγκάρσιες δοκοί του πλαισίου, εφόσον μελετάται η στατική κατάσταση της κατασκευής και όλα τα φορτία μεταφέρονται απευθείας στις κύριες (διαμήκεις) δοκούς. Τα αποτελέσματα που ακολουθούν αναφέρονται στο πλαίσιο μετά της ανάρτησης. Λόγω της ιδιαιτερότητας των στοιχείων ανάρτησης που μόλις αναφέρθηκε, οι μέγιστες τάσεις σαφώς εμφανίζονται εκεί και έχουν αριθμητική τιμή ανω των 2000 MPa, η οποία όμως δεν είναι και πραγματική. Επειδή δεν μας απασχολούν αυτές οι τάσεις επιλέγουμε όλα τα στοιχεία ανάρτησης και απενεργοποιούμε το Visibility. Οπότε έχουμε καθαρότερη εικόνα των αποτελεσμάτων για την υπόλοιπη κατασκευή (εικ. 3.7-9)

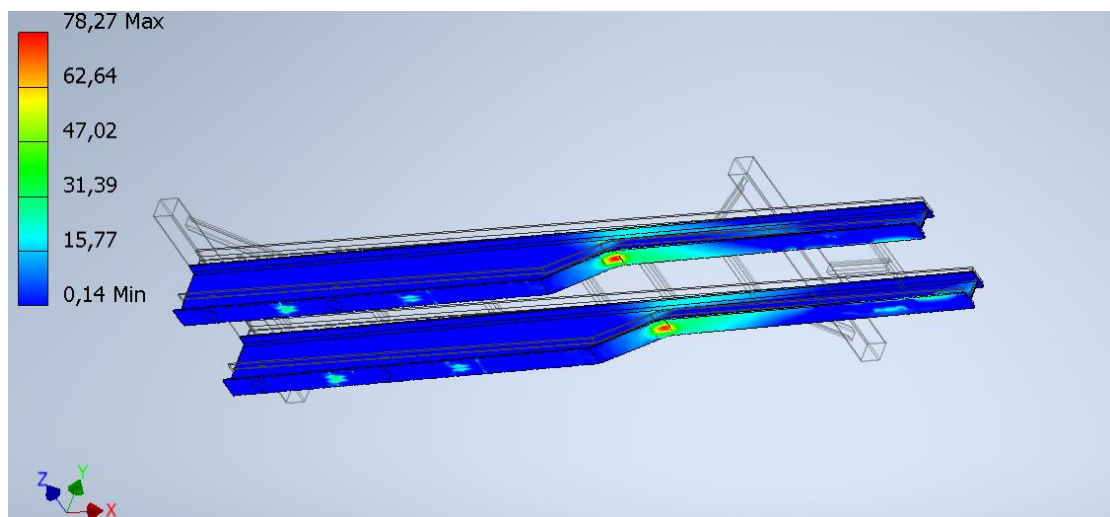


Εικόνα 3.7

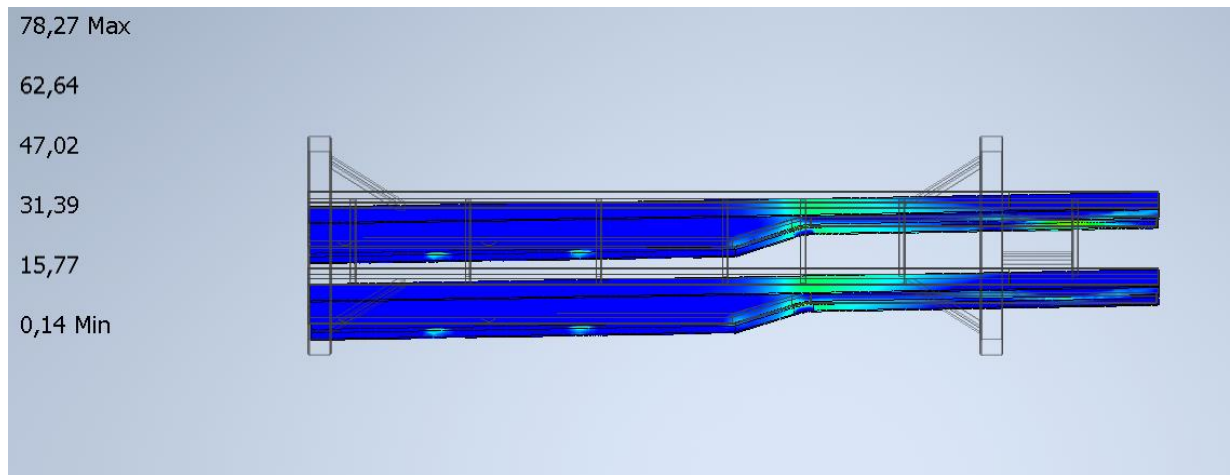
Η μέγιστη τάση εμφανίζεται στο πίσω μέρος της πλάκας σύζευξης και είναι 148,9 MPa.

Στα πλαίσια των τρέιλερ στην περιοχή αυτή υπάρχουν τοπικές ενισχύσεις επειδή εκεί και στην πλάκα επικαθήσεως του ελκυστήρα εμφανίζονται μεγάλες πλευρικές και αξονικές δυνάμεις λόγω της κίνησης του οχήματος και της σύνδεσης των δύο οχημάτων.

Για να δούμε πιο καθαρά πως καταπονείται το πλαίσιο και από τις τάσεις της περιοχής αυτής απενεργοποιούμε το Visibility και για την πλάκα και προκύπτει η παρακάτω εικόνα



Εικόνα 3.8

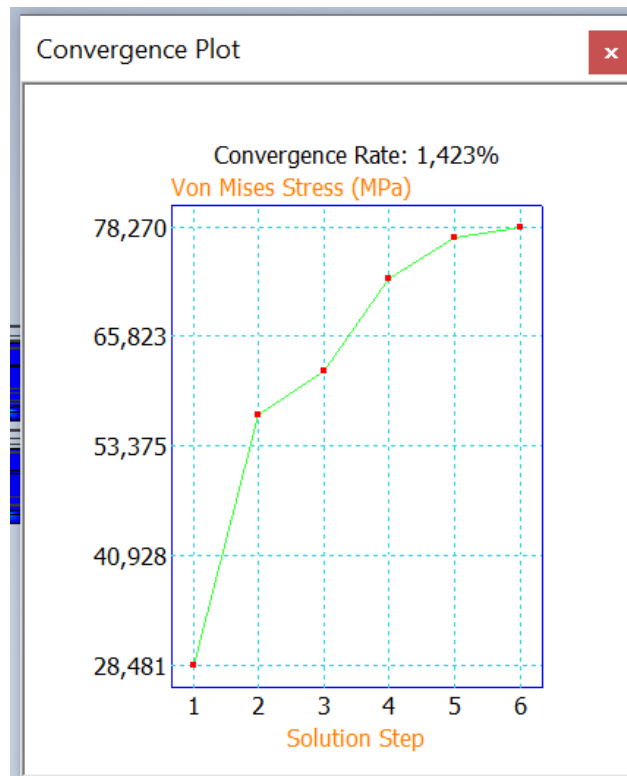


Εικόνα 3.9

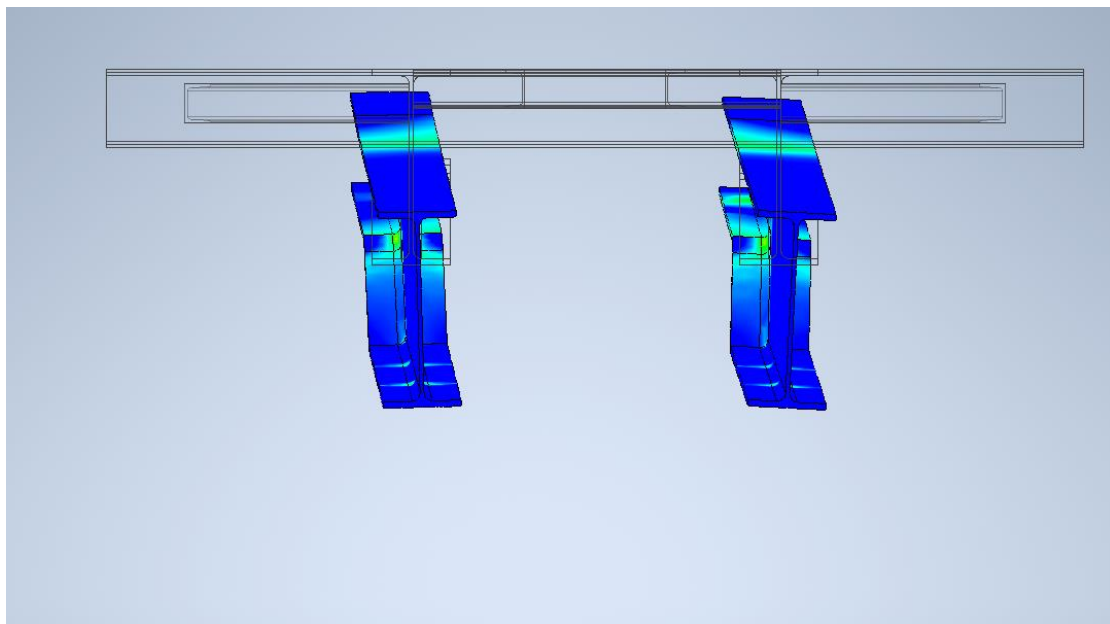
Η μέγιστη τάση εμφανίζεται στην περιοχή αλλαγής διατομής και είναι 78,27 MPa. Επίσης όλη η γύρω περιοχή εμφανίζει αυξημένη τάση, έως και αρκετά πιο μπροστά από το σημείο που σταθεροποιείται η διατομή, τόσο στο άνω μέρος του πλαισίου όσο και στο κάτω. Φορτισμένα είναι και τα σημεία που εδράζονται οι βάσεις των αναρτήσεων και πιο πολύ του τελευταίου άξονα (τάσεις έως 60 MPa περίπου). Η σύζευξη με τον ελκυστήρα προκαλεί φόρτιση στην γύρω περιοχή, βασικά στο κάτω μέρος του πλαισίου στην περιοχή συγκόλλησης της πλάκας (τάσεις έως 60 MPa περίπου). Σημειώνεται ότι με την επιλογή του εργαλείου Probe υπάρχει η δυνατότητα ανάγνωσης της τάσης σε κάθε σημείο της κατασκευής με ένα κλικ επί του σημείου.

Τα αποτελέσματα συνέκλιναν μετά από 4 βήματα πύκνωσης του πλέγματος. Όπως αναφέρεται στο κεφάλαιο 1.5 τα πρώτα δύο βήματα για συναρμολόγημα δημιουργούνται αυτόματα από το λογισμικό. Η διαδικασία σταμάτησε μετά από 4 βήματα, ενώ είχαν οριστεί 5, επειδή η διαφορά στα αποτελέσματα των δύο τελευταίων βημάτων είναι 1,423% (convergence rate, stop criteria = 5%). Στην εικόνα 3.10 φαίνεται το διάγραμμα σύγκλισης.

Η χρησιμότητα της μεθόδου αυτής διαπιστώνεται αν κάποιος δει την τιμή τάσης του δεύτερου βήματος στο διάγραμμα. Η τάση είναι λίγο πάνω από 53 MPa, η οποία θα αντιστοιχούσε στην μέγιστη αν δεν είχε εφαρμοστεί η μέθοδος σύγκλισης. Οπότε το κέρδος σε ακρίβεια αποτελεσμάτων είναι πολύ σημαντικό, παρόλο που η διαδικασία ενέχει χρονική καθυστέρηση στην εξαγωγή αποτελεσμάτων, ιδιαίτερα σε πολύπλοκες γεωμετρίες. Στις αναλύσεις για την εργασία αυτή ο χρόνος ήταν σε όλες τις περιπτώσεις λιγότερο από 10 λεπτά. Αν είχε επιλεγεί χειροκίνητη πύκνωση του πλέγματος στις περιοχές ενδιαφέροντος, ή μικρό ποσοστό στην παράμετρο H-refinement Threshold ο χρόνος θα ήταν πολύ μεγαλύτερος.



Εικόνα 3.10: διάγραμμα σύγκλισης (ανάλυση 1)



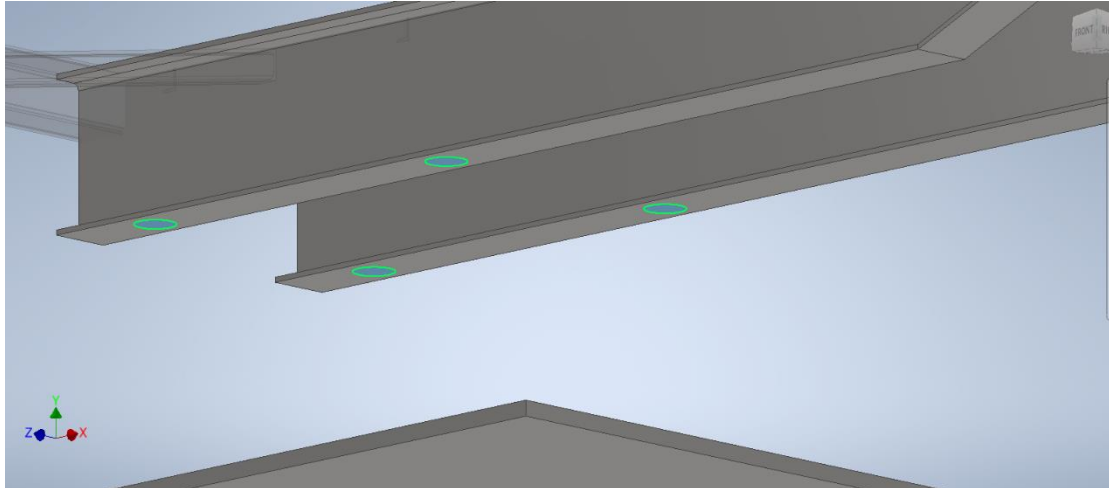
Εικόνα 3.11

Όπως φαίνεται στην εικ. 3.11 η συμπεριφορά του πλαισίου είναι συμμετρική.

3.8 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ & ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ 2

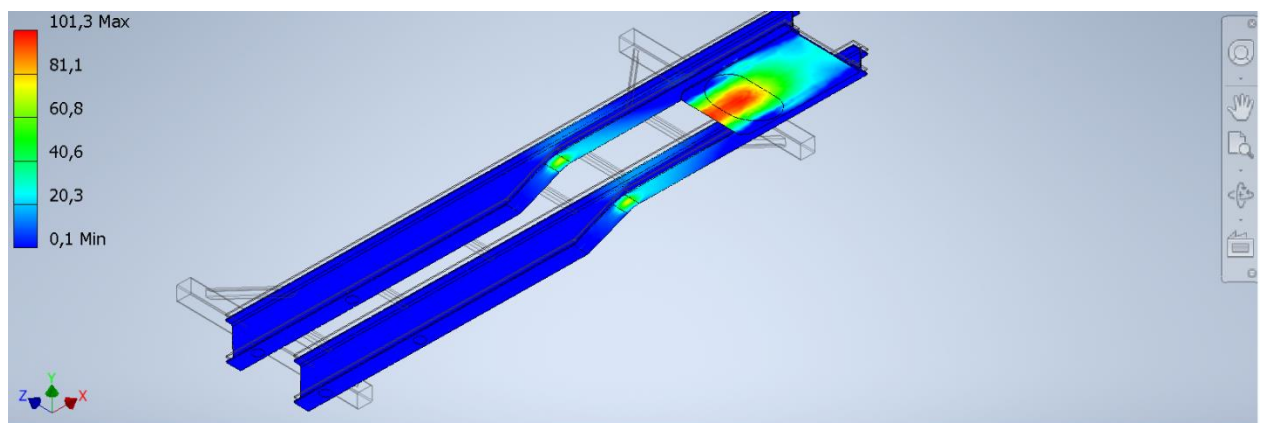
Σε αυτήν την περίπτωση δεν θα χρησιμοποιηθούν τα μέρη της ανάρτησης όπως πριν, αλλά θα γίνει χρήση μίας μόνο επαφής ελατηρίου για την κάθε ανάρτηση. Το κάθε ελατήριο συνδέει το πλαίσιο με το έδαφος και έχει τιμή δυσκαμψίας ίση με το άθροισμα των δύο ελατηρίων που χρησιμοποιήθηκαν προηγουμένως για τις φούσκες και για τους τροχούς. Οι υπόλοιπες παράμετροι παραμένουν ίδιες.

Στην εικόνα 3.12 φαίνονται οι επαφές των αναρτήσεων ανάμεσα στο πλαίσιο και στο έδαφος.



Εικόνα 3.12: Ισοδύναμες επαφές ελατηρίου για τις αναρτήσεις του ημιρυμουλκούμενου

Η επαφή ελατηρίου σύζευξη-αεραναρτήσεις ελκυστήρα-έδαφος είναι η ίδια, μόνο που σε αυτήν την δοκιμή σχεδιάστηκε η επιφάνεια επαφής της πλάκας επικαθήσεως (πέταλο). Η δοκιμή εκτελέστηκε και με κύκλο διαμέτρου 730 ως επιφάνεια επαφής, κάτι το οποίο είχε αμελητέα διαφορά στα αποτελέσματα.

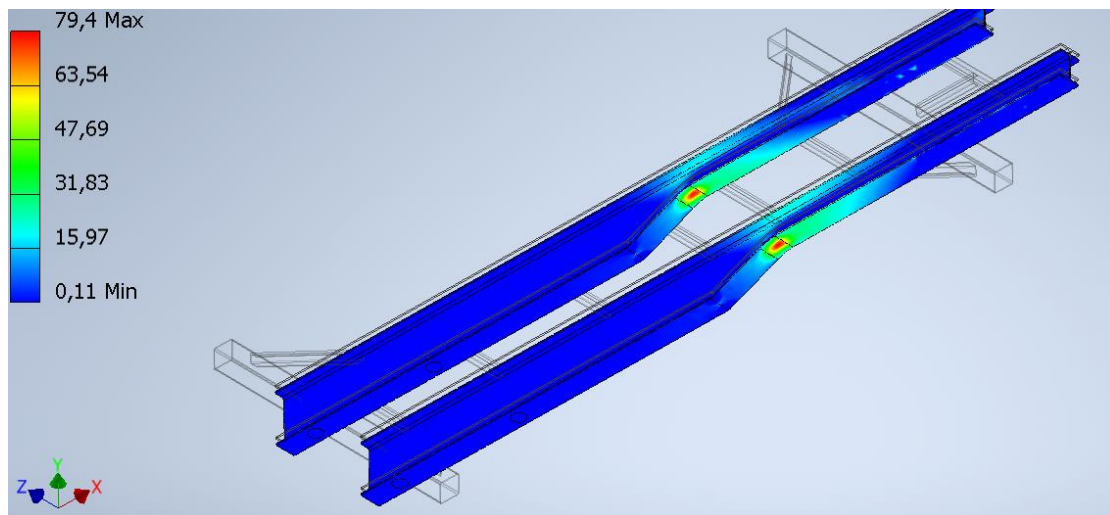


Εικόνα 3.13

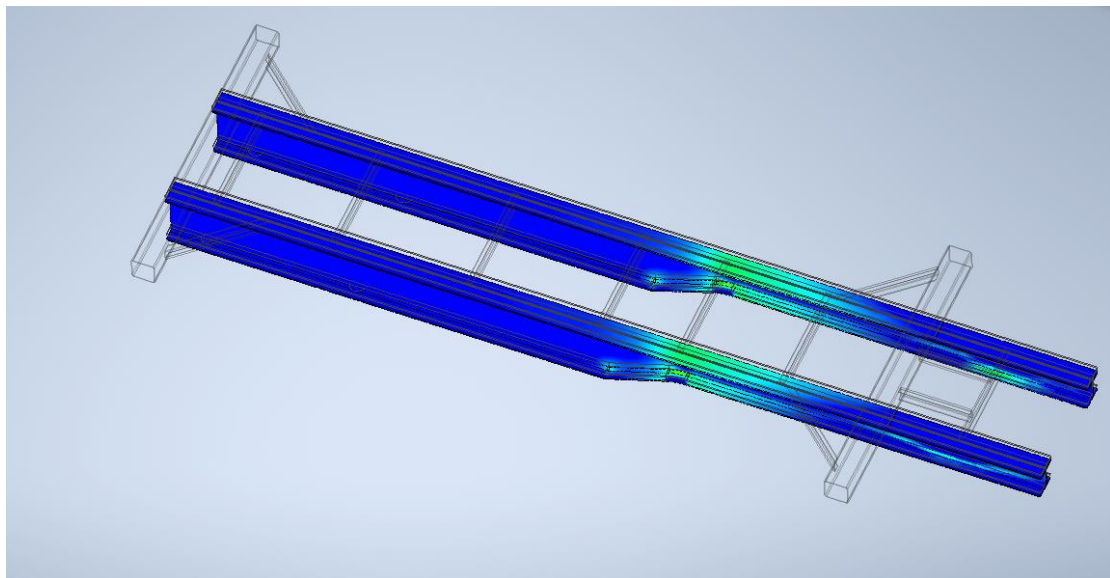
Η μέγιστη τάση εμφανίζεται στο πίσω μέρος της πλάκας σύζευξης και είναι 101,3 MPa.

Στα πλαίσια των τρέιλερ στην περιοχή αυτή υπάρχουν τοπικές ενισχύσεις επειδή εκεί και στην πλάκα επικαθήσεως του ελκυστήρα εμφανίζονται μεγάλες πλευρικές και αξονικές δυνάμεις λόγω της κίνησης του οχήματος και της σύνδεσης των δύο οχημάτων.

Για να δούμε πιο καθαρά πως καταπονείται το πλαίσιο και από τις τάσεις της περιοχής αυτής απενεργοποιούμε το Visibility και για την πλάκα και προκύπτει η παρακάτω εικόνα



Εικόνα 3.14

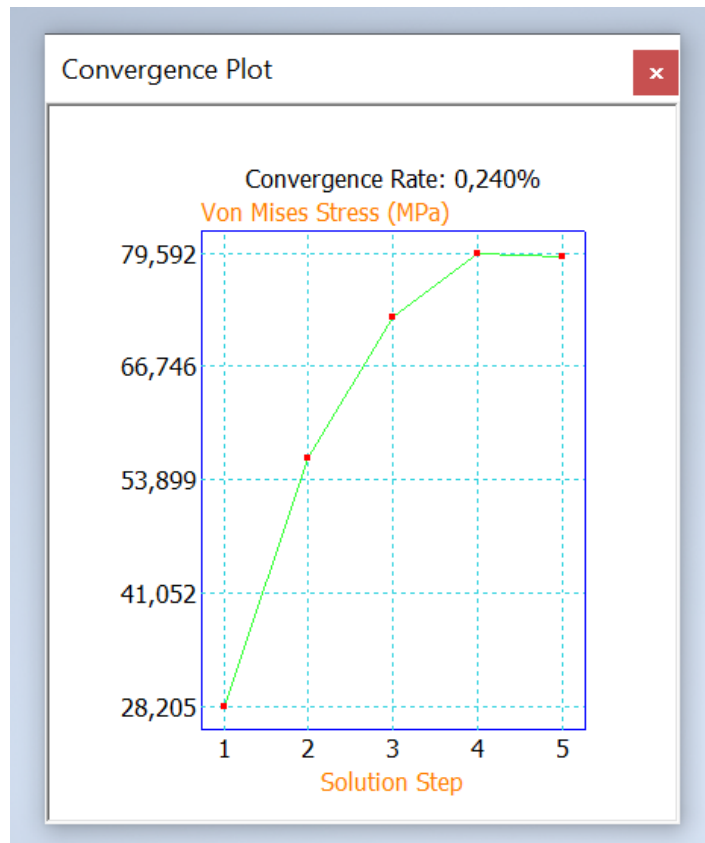


Εικόνα 3.15

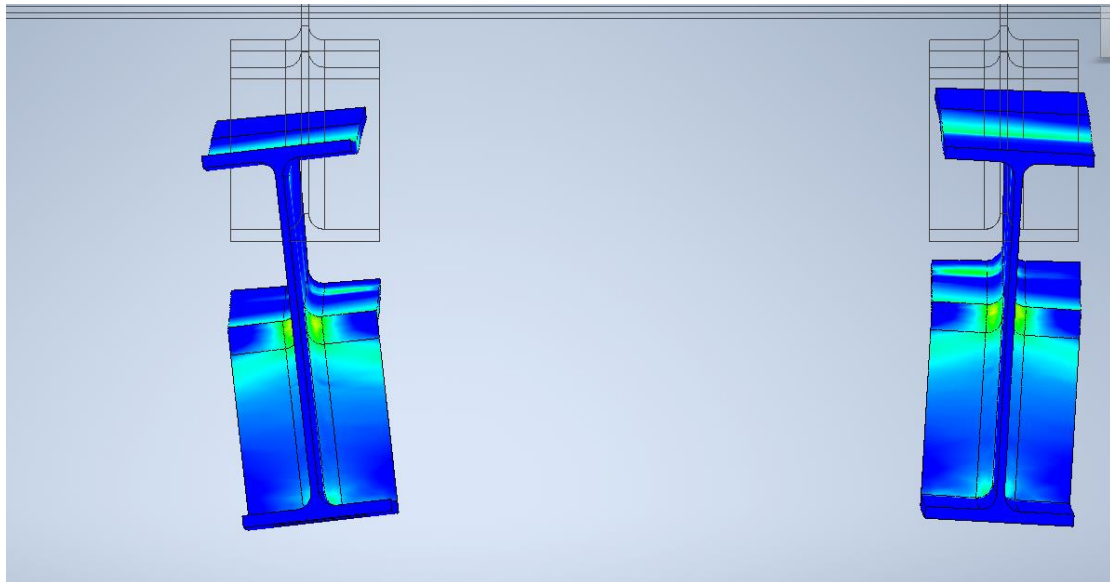
Η μέγιστη τάση εμφανίζεται στην περιοχή αλλαγής διατομής και είναι 79,4 MPa. Επίσης όλη η γύρω περιοχή εμφανίζει αυξημένη τάση, έως και αρκετά πιο μπροστά από το σημείο που σταθεροποιείται η διατομή, τόσο στο άνω μέρος του πλαισίου όσο και στο κάτω. Εμφανίζονται τάσεις έως 47 MPa περίπου πέριξ της πλάκας σύζευξης στο κάτω μέρος του πλαισίου. Οι τάσεις από την αλλαγή διατομής και μέχρι το πίσω μέρος του τρέιλερ είναι παντού πολύ μικρές (έως 12 MPa περίπου).

Τα αποτελέσματα συνέκλιναν μετά από 3 βήματα πύκνωσης του πλέγματος. Η διαδικασία σταμάτησε μετά από 3 βήματα, ενώ είχαν οριστεί 5, επειδή η διαφορά στα αποτελέσματα των δύο τελευταίων βημάτων είναι 0,24% (convergence rate, stop criteria = 5%). Στην εικόνα 3.16 φαίνεται το διάγραμμα σύγκλισης.

Πάλι διαπιστώνεται η χρησιμότητα της μεθόδου αυτής. Η τάση στο δεύτερο βήμα είναι λίγο πάνω από 53 MPa, η οποία θα αντιστοιχούσε στην μέγιστη αν δεν είχε εφαρμοστεί η μέθοδος σύγκλισης.



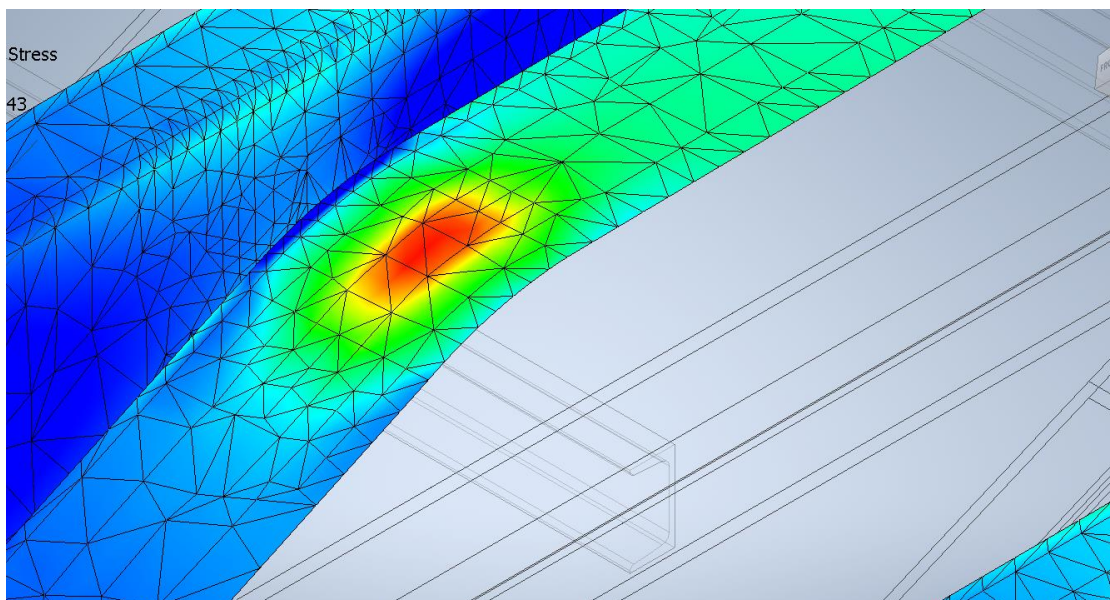
Εικόνα 3.16: διάγραμμα σύγκλισης (ανάλυση 2)



Εικόνα 3.17

Και εδώ η συμπεριφορά του πλαισίου είναι συμμετρική (εικ 3.17).

Στην εικόνα 3.18 φαίνεται η πύκνωση του πλέγματος που λαμβάνει χώρα κατά την διαδικασία σύγκλισης. Αυτό γίνεται περίξ της περιοχής μέγιστης τάσης και έχει έκταση ανάλογα με την ρύθμιση h-refinement Threshold



Εικόνα 3.18: πύκνωση πλέγματος στην περιοχή μέγιστης καταπόνησης

3.9 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΝΑΛΥΣΗΣ 1 & ΑΝΑΛΥΣΗΣ 2

Από την σύγκριση της ανάλυσης με το μοντέλο ανάρτησης (ανάλυση 1) και της ανάλυσης με ισοδύναμο ελατήριο (ανάλυση 2) μπορούμε να πούμε ότι:

- Η μέγιστη τάση και η περιοχή που αυτή εμφανίζεται είναι πρακτικά ίδιες και με τις δύο προσεγγίσεις. Το ίδιο ισχύει και για την κατανομή των τάσεων γύρω από αυτήν την περιοχή.
- Οι τάσεις που αναπτύσσονται στις βάσεις των αναρτήσεων-μπρακέτα και φαίνονται στην ανάλυση 1 δεν εμφανίζονται στην ανάλυση 2. Αυτό είναι λογικό αφού η βάση απουσιάζει. Τα σημεία επαφής ελατηρίου-πλαισίου δεν αναπτύσσουν τάσεις σε καμία ανάλυση.
- Οι τάσεις που αναπτύσσονται στην πλάκα σύζευξης είναι μικρότερες στην ανάλυση 2 (διαφορά μέγιστων 48 MPa). Επιπλέον και οι τάσεις πέριξ της πλάκας στο πλαίσιο είναι μικρότερες και σε μικρότερη επιφάνεια
- Οι παραμορφώσεις από εφελκυστικές και θλιπτικές τάσεις έχουν πολύ μικρή διαφορά ($3,4 \cdot 10^{-4}$ mm/mm στην ανάλυση 1 και $3,1 \cdot 10^{-4}$ mm/mm στην ανάλυση 2). Το μέρος του τρέιλερ από την αλλαγή διατομής μέχρι πίσω δεν υφίσταται αξιόλογες τάσεις, άρα και παραμορφώσεις. Το μπροστινό κομμάτι της κατασκευής εφελκύεται στο κάτω τμήμα και θλίβεται στο άνω. Η συμπεριφορά αυτή έγκειται στο ότι το κοντέινερ δεν φορτώνεται σε όλο το μήκος του τρέιλερ. Όπως διαπιστώνεται και στο [10], η φόρτωση σε όλο το μήκος του τρέιλερ προκαλεί αντίθετη παραμόρφωση.
- Όσον αφορά τις μετατοπίσεις, το μοντέλο της ανάλυσης 1 μετατοπίζεται εμφανώς περισσότερο στο οπίσθιο μέρος, ενώ το μοντέλο της ανάλυσης 2 μετατοπίζεται αρκετά πιο ομοιόμορφα.
- Ο χρόνος για την ανάλυση 2 είναι μικρότερος, όχι όμως κατά πολύ. Η απουσία των μερών της ανάρτησης βαρύνει το λογισμικό με λιγότερο υπολογιστικό φόρτο. Η χρονική διαφορά είναι μικρή και για τον λόγο ότι δεν συμμετέχουν στην διαδικασία σύγκλισης τα μέρη της ανάρτησης για τον λόγο που αναφέρεται στο κεφάλαιο 3.6. Σε κάθε περίπτωση η διάρκεια είναι μικρότερη των 10 λεπτών.

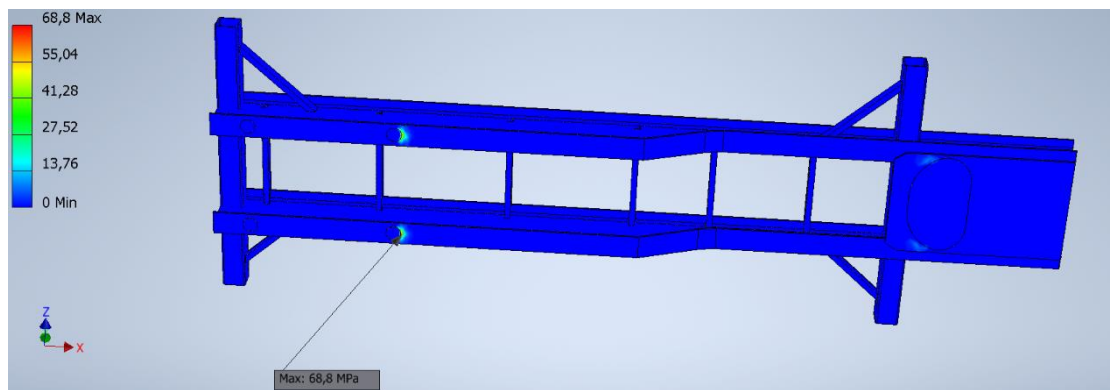
3.10 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ & ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ 3

Η παρούσα εργασία έχει αντικείμενο την ανάλυση αντοχής στο πλαίσιο, λαμβάνοντας υπόψιν τα συστήματα ανάρτησης τροχών. Αν δεν ληφθεί υπόψιν ότι το πλαίσιο πατάει στις αναρτήσεις, αποτελεί δηλαδή αναρτώμενη μάζα του οχήματος, τα αποτελέσματα θα είναι εντελώς διαφορετικά και όχι σωστά. Πιο συγκεκριμένα θα μπορούσε κάποιος αρχικά να σκεφτεί ότι η εκτέλεση της ίδιας στατικής ανάλυσης θα μπορούσε να γίνει πολύ απλά με πακτώσεις στα σημεία έδρασης, αφού η ανάρτηση χρησιμεύει βασικά κατά την κίνηση του οχήματος. Αυτή

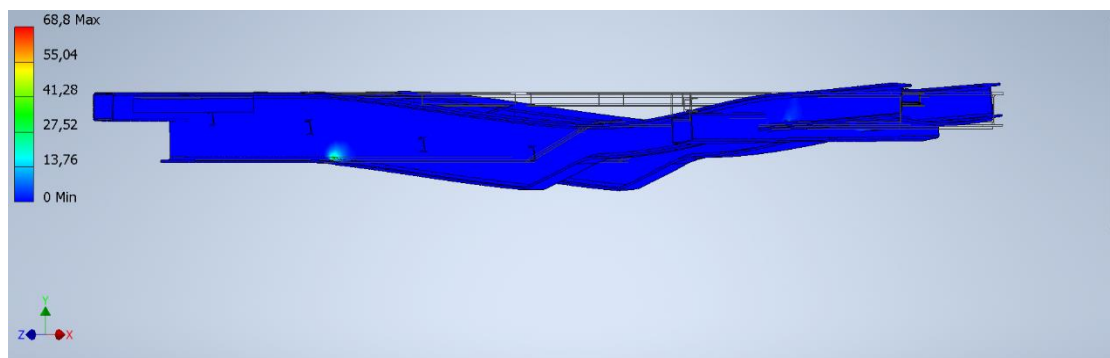
η προσέγγιση θα ακολουθήσει για να διαπιστωθεί η διαφορά ανάμεσα στις μεθόδους.

Στο μοντέλο της ανάλυσης 2 (χωρίς τα μέρη της ανάρτησης) είναι σχεδιασμένες επι του πλαισίου οι επιφάνειες που αντιστοιχούν στην έδραση της αερόσουστας. Στις επιφάνειες αυτές εφαρμόζεται πάκτωση, όπως επίσης και στην επιφάνεια επαφής της πλάκας επικαθήσεως. Δηλαδή όπου υπήρχαν επαφές ελατηρίου στις αναλύσεις 1 και 2 αντικαθίστανται με πάκτωση στο πλαίσιο.

Οι υπόλοιπες παράμετροι (φορτία, υλικό κλπ) παραμένουν αμετάβλητες. Τα αποτελέσματα είναι τα εξής



Εικόνα 3.19



Εικόνα 3.20

Τα αποτελέσματα είναι σαφώς εντελώς διαφορετικά, αφού οι συνθήκες που προσομοιώνονται με αυτές τις παραμέτρους αντιστοιχούν σε μια άλλη κατάσταση. Δηλαδή αυτή η ανάλυση θα μπορούσε να μην αφορά όχημα, αλλά κάποια βάση εναπόθεσης, η οποία είναι αναμενόμενο να συμπεριφέρεται ως άνω.

Η μέγιστη τάση είναι 68,8 MPa εμφανιζόμενη στην μπροστά αριστερά πάκτωση. Τάσεις συγκεντρώνονται και στην απέναντι πάκτωση και στην μπροστινή στήριξη. Οι πίσω στηρίξεις δεν προκαλούν καταπόνηση. Το πλαίσιο κάμπτεται στην περιοχή αλλαγής διατομής. Η μετατόπιση εκεί είναι πολύ μικρή (0,9 χιλιοστά) και είναι λογικό αφού υποτίθεται ότι το πλαίσιο βρίσκεται στο έδαφος και οι τάσεις στην αλλαγή διατομής είναι αμελητέες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Λαμβάνοντας υπόψιν όλες τις προηγούμενες ενότητες, για την εκτέλεση FEA σε στατική κατάσταση πλαισίου τρέιλερ μεταφοράς κοντέινερ πρέπει αρχικά να σχεδιαστεί το τρισδιάστατο μοντέλο. Έπειτα απαιτείται να γνωρίζουμε τις συνθήκες λειτουργίας-εργασίας των οχημάτων αυτών για να επιλέξουμε σωστές τιμές στις παραμέτρους της ανάλυσης. Επίσης απαιτείται και γνώση του λογισμικού της ανάλυσης καταπονήσεων και οι βασικές αρχές που το διέπουν. Η αξιολόγηση των εκάστοτε αποτελεσμάτων γίνεται με βάση τα προσδοκώμενα αποτελέσματα, όπως αυτά προκύπτουν από την βιβλιογραφία και την εμπειρία. Πολύ σημαντικό εργαλείο στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων είναι το διάγραμμα σύγκλισης, η δε διαδικασία πύκνωσης του πλέγματος πρέπει να χρησιμοποιηθεί οπωσδήποτε.
- Για να μελετηθεί η στατική καταπόνηση ενός πλαισίου τύπου σκάλας πρέπει να εισαχθούν παράμετροι που να αφορούν την ανάρτηση. Διαφορετικά τα αποτελέσματα δεν θα έχουν καμία σχέση με τα πραγματικά. Για την δυναμική ανάλυση βεβαίως ο σχεδιασμός όλης της ανάρτησης και των αξόνων είναι απαραίτητος.
- Αναφορικά με την περιοχή ανάπτυξης της μέγιστης τάσης, του μεγέθους της και της μετατοπίσης του πλαισίου τα αποτελέσματα ήταν τα αναμενόμενα.
- Στην ανάλυση 2 (χωρίς εξαρτήματα ανάρτησης) υπήρχαν διαφορές ως προς την εμφάνιση τάσεων σε κάποια σημεία και την μετατόπιση του πλαισίου υπό πλήρη φόρτωση σε σχέση με την ανάλυση 1 (βλ 3.9).
- Συμπερασματικά καλύτερη μέθοδος για την εκπόνηση τέτοιου είδους μελέτης είναι αυτή που ακολουθήθηκε στην ανάλυση 1, χρησιμοποιώντας δηλαδή τα μέρη της ανάρτησης. Τα αποτελέσματα με την ανάλυση 2 (ισοδύναμα ελατήρια) δεν απέχουν σημαντικά, αλλά με την ανάλυση 1 αποκτάται μια πιο πλήρης εικόνα της καταπόνησης του πλαισίου. Αυτή η

μέθοδος θα χρησιμοποιηθεί και στην συνέχεια για μελέτη μεγαλύτερου πλαισίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΦΕΑ ΣΕ ΠΛΑΙΣΙΟ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΚΟΝΤΕΙΝΕΡ 40ft

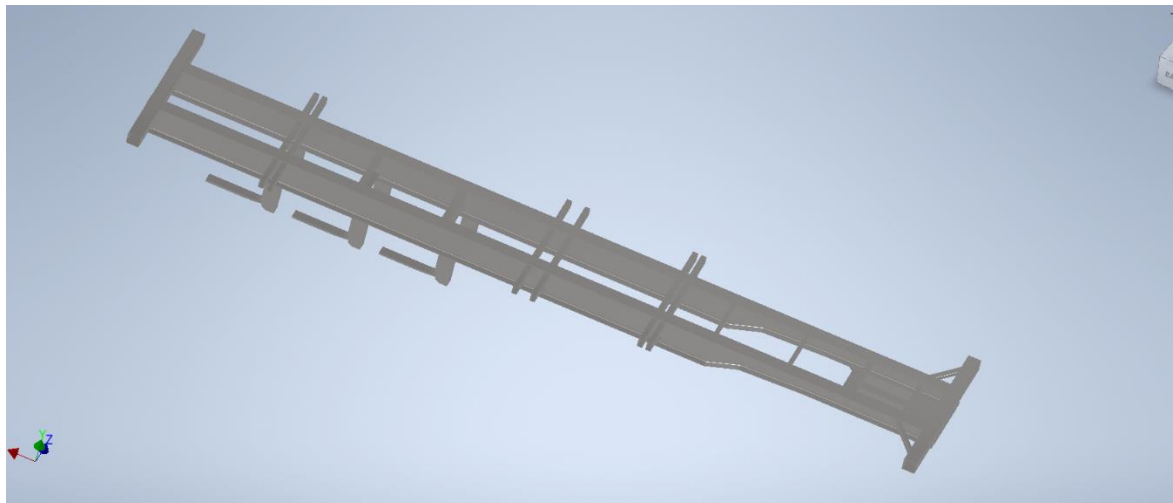
Αφού είδαμε πως μπορεί να προσεγγιστεί αυτό το πρόβλημα ακολουθούμε την ίδια διαδικασία για την εξέταση και ενός μεγαλύτερου πλαισίου, πάλι για ίδια χρήση, δηλαδή για φόρτωση κοντέινερ 40 πόδων. Τα βήματα εκτέλεσης της ανάλυσης είναι ακριβώς τα ίδια, ξεκινώντας πάλι από τον σχεδιασμό του πλαισίου. Οι μόνες αλλαγές αφορούν τιμές παραμέτρων λόγω μεγαλύτερης φόρτωσης και περισσότερων αξόνων.

Το ημιρυμουλκούμενο-τρέιλερ που μελετάται είναι τριαξονικό για μεταφορά κοντέινερ 40 πόδων (εικ 5.1)

Μήκος 12200

Πλάτος 2500

Υλικό εργαλειοχάλυβας (mild steel)



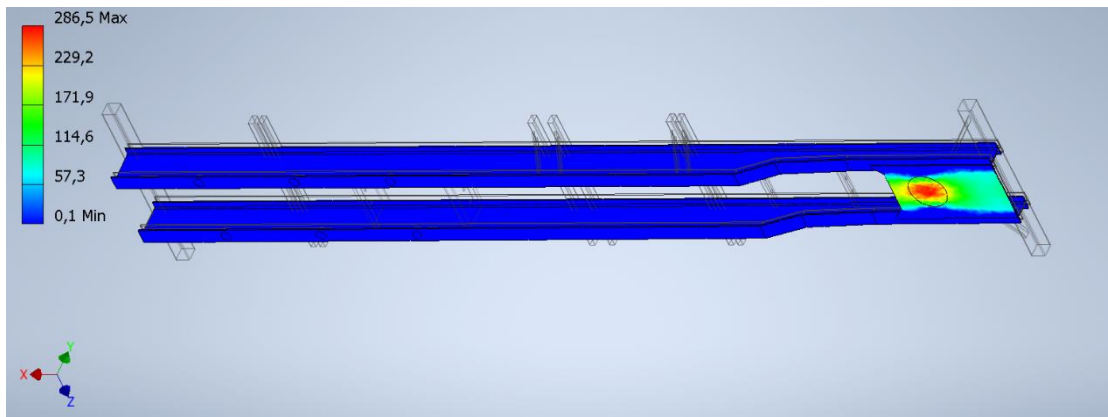
Εικόνα 5.1: πλαίσιο ημιρυμουλκούμενου μεταφοράς κοντέινερ 40ft με τα μέρη της ανάρτησης

Το κοντέινερ σε αυτό το πλαίσιο φορτώνεται καθ' όλο το μήκος του, ανάμεσα στα σημεία έδρασης (τετραγωνικές δοκοί μπρος-πίσω). Το μέγιστο μικτό βάρος όπως βλέπουμε στην εικόνα 3.2 είναι 30480 κιλά, ορίζουμε 32000 κιλά λαμβάνοντας υπόψιν υπερφόρτωση (16+16 τόνοι δεξιά - αριστερά).

Για αυτό το πλαίσιο χρειάζονται 4 επιπλέον επαφές σε σχέση με το προηγούμενο (δύο φούσκες και δύο λάστιχα), δηλαδή για έναν παραπάνω άξονα. Οι τιμές δυσκαμψίας είναι οι ίδιες.

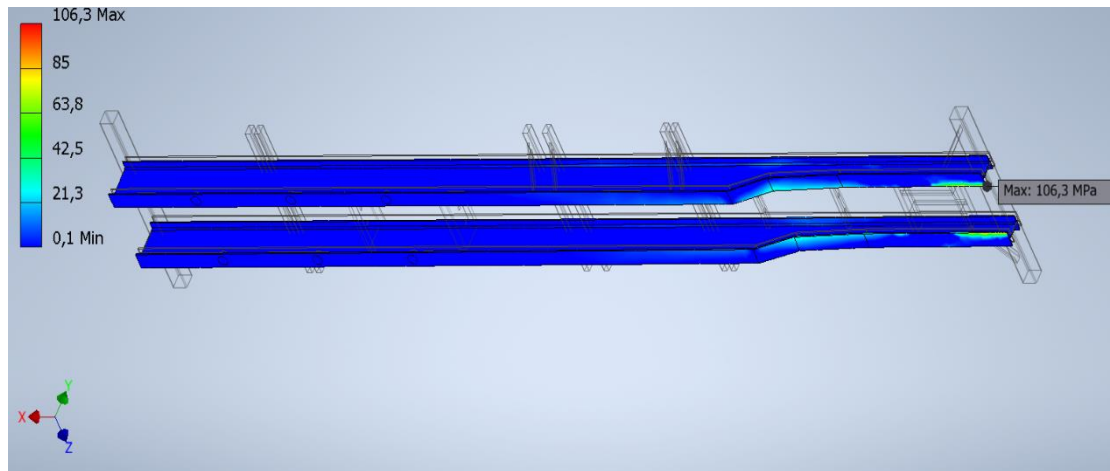
Οι ρυθμίσεις σύγκλισης είναι οι ίδιες και για τις αριθμητικές παραμέτρους (5, 5%, 0,75) και για την εξαίρεση ορισμένων στοιχείων από την διαδικασία (αναρτήσεις, πλάκα).

Τα αποτελέσματα της στατικής ανάλυσης του πλαισίου φαίνονται στις παρακάτω εικόνες

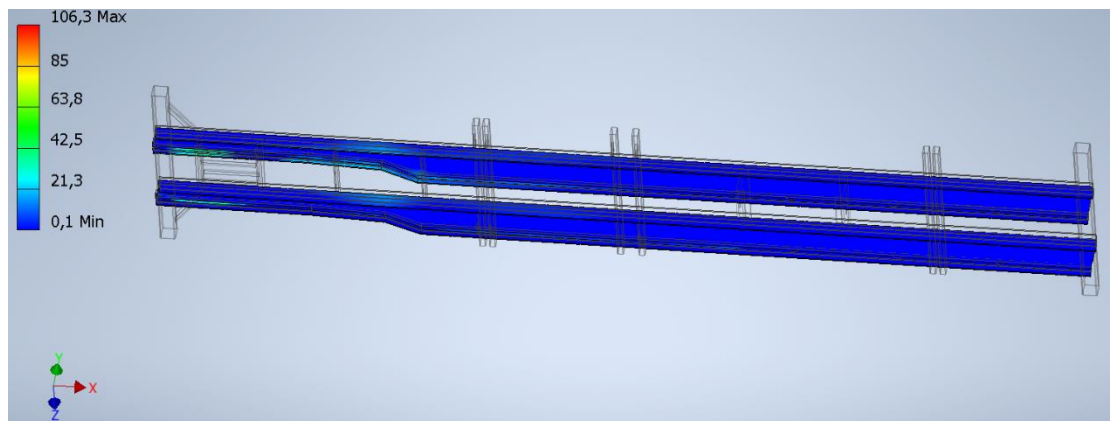


Εικόνα 5.2

Η μέγιστη τάση στην πλάκα σύζευξης είναι 286,5 MPa. Ξεπερνά το όριο διαρροής του υλικού (mild steel), αλλά όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως στα πλαίσια υπάρχουν τοπικές ενισχύσεις σε αυτήν την περιοχή ή και πιο ανθεκτικά υλικά κατασκευής της πλάκας. Σημείο ενδιαφέροντος είναι τι τάσεις μεταβιβάζονται στις δύο κύριες δοκούς του πλαισίου σε στατική κατάσταση. Απενεργοποιώντας το visibility για την πλάκα προκύπτει η καταπόνηση του πλαισίου.



Εικόνα 5.3

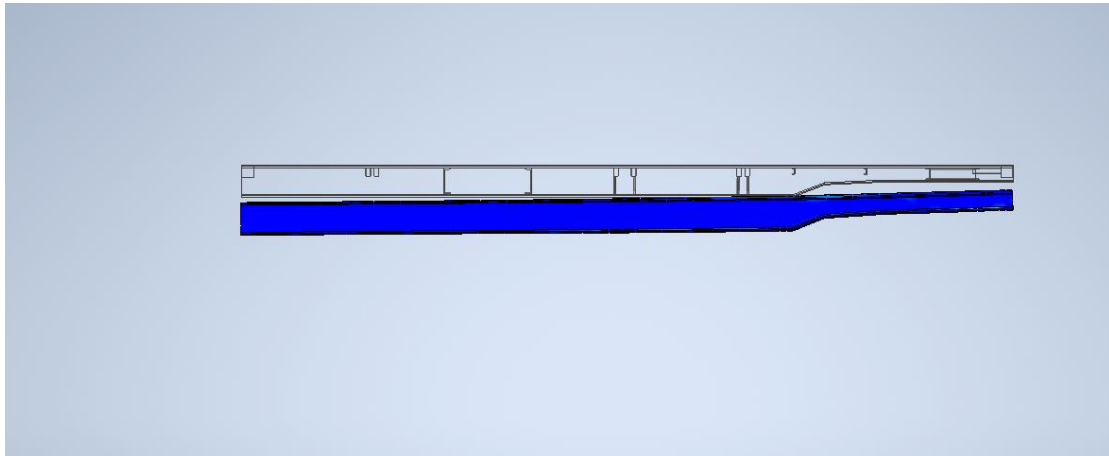


Εικόνα 5.4

Η μέγιστη τάση είναι 106,3 MPa και εμφανίζεται στο μπροστά αριστερό άκρο του πλαισίου. Στην περιοχή αλλαγής της διατομής αναπτύσσονται τάσεις έως 50 MPa περίπου. Στις βάσεις των αναρτήσεων οι τάσεις είναι πολύ λίγο αυξημένες σε σχέση με περιοχές που δεν καταπονούνται, αλλά δεν είναι αξιόλογες.

Η μέγιστη καταπόνηση στο μπροστινό τμήμα του πλαισίου στο κάτω μέρος και η μικρότερη καταπόνηση στην αλλαγή της διατομής πιθανώς οφείλεται στον τρόπο φόρτωσης του πλαισίου αυτού. Επειδή το κοντέινερ φορτώνεται σε όλο το μήκος καταπονείται περισσότερο το μπροστινό τμήμα σε σχέση με το μικρότερο πλαίσιο

που το κέντρο βάρους του είναι πιο πίσω. Επίσης το φορτίο είναι μεγαλύτερο με αποτέλεσμα να μεταβιβάζονται μεγαλύτερες τάσεις από την πλάκα στο πλαίσιο.



Εικόνα 5.5

Η μετατόπιση του πλαισίου ομοιάζει στην αντίστοιχη της ανάλυσης 1. Η συμπεριφορά του πλαισίου είναι συμμετρική. Η μέγιστη παραμόρφωση είναι $4,1 \cdot 10^{-4}$ mm/mm.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΓΙΑ ΠΕΡΕΤΑΙΡΩ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

Η εργασία που εκπονήθηκε αφορούσε διερεύνηση της καταπόνησης πλαισίων τύπου σκάλας και συγκεκριμένα πλαίσια από επικαθήμενα τρέιλερ μεταφοράς κοντέινερ υπό στατικά φορτία. Εφαρμόστηκαν δύο μέθοδοι διερεύνησης για ένα πλαίσιο, αξιολογήθηκαν, συγκρίθηκαν και επιλέχθηκε η μία ως ακριβέστερη για τέτοιου είδους μελέτη. Οποτε χρησιμοποιήθηκε η ίδια μέθοδος και για ένα άλλο πλαίσιο. Οι αναλύσεις αυτές ήταν στατικές και θεωρήθηκε ότι τα επικαθήμενα είναι ομοιόμορφα φορτωμένα.

Για επιπλέον διερεύνηση της καταπόνησης μεγάλων πλαισίων τύπου σκάλας μπορούν να διεξαχθούν οι εξής μελέτες:

- Δυναμική ανάλυση με πεπερασμένα στοιχεία, ώστε να αξιολογηθεί η καταπόνηση και η συμπεριφορά του πλαισίου υπό συνθήκες κίνησης (επιτάχυνση, επιβράδυνση, στροφή κλπ). Απαιτείται ακριβής σχεδιασμός όλων των εγκάρσιων δοκών, επειδή απορροφούν στρεπτικά φορτία. Τα αποτελέσματα θα είναι μεγαλύτερες τάσεις, γι' αυτό θα λαμβάνεται υπόψιν και ο συντελεστής ασφάλειας.

- Μελέτη πλαισίου για ψυκτικούς θαλάμους. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζεται στην διατομή αυτών των πλαισίων και στις ενισχύσεις που έχουν για την στήριξη της υπερκατασκευής. Επίσης αυτά τα φορτηγά φορτώνονται συχνά ανομοιόμορφα, λόγω της φύσεως των εφοδιαστικών αλυσίδων των ψυχόμενων, οπότε το φορτίο δεν είναι ομαλά κατανεμημένο σε όλο το μήκος, κάτι το οποίο απαιτεί ανάλογες παραμέτρους ανάλυσης.
- Διερεύνηση ή και υπολογισμός ενισχύσεων του πλαισίου στο μπροστινό μέρος σύζευξης, όπου παρουσιάζεται η μεγαλύτερη καταπόνηση.

Τέλος στην Ελλάδα τα φορτηγά και τα ρυμουλκούμενα καταπονούνται ιδιαίτερα λόγω των μεγάλων φορτίων και των ασυντήρητων οδών. Τα πλαίσια όχι μόνο δέχονται όλα τα φορτία, αλλά δέχονται και δυσμενείς επιδράσεις του περιβάλλοντος ως μεταλλικά, όπως η οξείδωση. Για τους λόγους αυτούς πρέπει να επιλέγεται το κάθε πλαίσιο για την χρήση που προβλέπει ο κατασκευαστής και σαφώς να μην γίνονται υπερφορτώσεις στα οχήματα. Έτσι και το κόστος συντήρησης θα είναι μικρότερο, τα πλαίσια θα έχουν μεγαλύτερη διάρκεια λειτουργίας και δεν θα προκαλείται κίνδυνος στις μετακινήσεις από αυτήν την πλευρά.

Αναφορές

- [1] Δρ. Σταύρος Παπαδόπουλος, (2013): «ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ», Ιδιωτική Εκδοση, **9789609349406**
- [2] Munish Kumar, (2018): “FEM ANALYSIS OF A FLATBED SEMI-TRAILER CHASSIS STRUCTURE”, *IJRAR*, **5**, 2
- [3] Monika S.Agrawal, (2015): “Finite Element Analysis of Truck Chassis Frame”, *IRJET*, **2**,3
- [4] Νικολακόπουλος Σπυρίδων, Διπλωματική Εργασία: «Σχεδιασμός, Ανακατασκευή, Έλεγχος Αντοχής & Βελτιστοποίηση παντός εδάφους φορτηγού οχήματος πολλαπλών χρήσεων», ΕΜΠ 2022
- [5] Σιμητός Ιωάννης, Πτυχιακή Εργασία: «ΣΧΕΔΙΟΜΕΛΕΤΗ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΚΑΙ ΥΠΕΡΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΦΟΡΤΗΓΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ», ΤΕΙ Καβάλας 2014
- [6] Maciej OBST, Dariusz KURPISZ, Piotr WASILEWICZ, (2020): “The Investigations of Suspension Model and Its Experimental Characteristics for the Air Springs of Truck Trailer”, *Vibrations in Physical Systems*, , **31**, **2020221**
- [7] Charles R. Miele, Denny Stephens, (2010): “Enhanced Finite Element Analysis Crash Model of Tractor-Trailers”, NTRCI University Transportation Center
- [8] Jiatong Ye, Hua Huang, Chenchen He, Guangyuan Liu, (2017): “Analysis of Vertical Stiffness of Air Spring Based on Finite Element Method”, *MATEC Web of Conferences* **153**, 06006
- [9] Τσαΐνης Ανδρέας-Μάριος, Πτυχιακή Εργασία: «ΜΕΛΕΤΗ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ ΣΕ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ», ΑΤΕΙ Κρήτης 2013
- [10] Chetan Chandrakant Baadkar, (2010): “Semi-Trailer Structural Failure Analysis Using Finite Element Method”, MSc Thesis, Mechanical Engineering, University of Canterbury
- [11] https://0901.nccdn.net/4_2/000/000/03f/ac7/01.-Frame---Suspension-Fundamentals-V-4.0.pdf
- [12] https://www.mem50212.com/MDME/MEMmods/MEM09155A-CAE/resources_locked/Younis_ch1.pdf