

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

## Μελέτη και Σχεδιασμός Αναπηρικού Αμαξιδίου



ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:

ΜΙΚΑΛΕΦ ΙΩΑΝΝΗΣ Α.Μ. 4805  
ΔΑΠΕΡΓΟΛΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ - ΑΝΔΡΟΝΙΚΟΣ Α.Μ. 4506

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΧΟΡΤΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΣΥΝΕΡΓΑΤΗΣ

ΠΑΤΡΑ 2011



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η πτυχιακή αυτή εργασία δημιουργήθηκε για το Τμήμα Μηχανολογίας του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πατρών.. Ο λόγος για τον οποίο επιλέχτηκε αυτό το θέμα ήταν το ενδιαφέρον των δύο σπουδαστών για το μηχανολογικό σχέδιο και την μελέτη αντοχής μίας κατασκευής η οποία θα γινόταν εξολοκλήρου σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Η σχεδίαση έγινε εξολοκλήρου με την χρήση του προγράμματος AutoCAD, ενώ η μελέτη αντοχής του με το πρόγραμμα Ansys. Ο στόχος της παρούσας εργασίας είναι η κατασκευαστή ενός αναπηρικού αμαξιδίου χρησιμοποιώντας ως βάση ορισμένες προδιαγραφές σύμφωνα με τις οποίες θα ανταποκρίνεται στο μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού για το οποίο προορίζεται, με το μικρότερο δυνατό κόστος.

Για αυτή την εργασία θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε κυρίως τον κ. Δημήτρη Χόρτη, για το ενδιαφέρον που έδειξε, την προθυμία του και την συνολική βοήθεια όπου μας παρείχε.

Δαπέργολας Κωνσταντίνος & Μικάλεφ Ιωάννης  
Σεπτέμβριος 2011



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η πτυχιακή εργασία θα ασχοληθεί με άτομα τα οποία έχουν ειδικές ανάγκες και αντιμετωπίζουν κινητικά προβλήματα .Συγκεκριμένα έχουν μερική η και ολική αναπηρία στα κάτω άκρα, αλλά τα άνω άκρα είναι υγιή. Θα πραγματοποιηθεί μελέτη ώστε να προσδιοριστούν οι προδιαγραφές σύμφωνα με τις οποίες θα κατασκευαστεί το αναπηρικό καροτσάκι, ώστε να απευθυνθεί στους χρήστες του, με τη καλύτερη προσαρμογή στις ανάγκες τους. Έμφαση θα δοθεί στην χρηματοοικονομική μελέτη της κατασκευής, διότι το κόστος είναι σημαντικός παράγοντας για την επιλογή της κατασκευής μας από το κοινό. Για την καλύτερη απεικόνιση των σχεδίων, εκτός από δισδιάστατη μορφή, θα παρατεθούν και εικόνες με τρισδιάστατη απεικόνιση. Στη συνέχεια με το πέρας της παρουσιάσεως των σχεδίων θα παρουσιαστεί μια μελέτη όσο αναφορά την αντοχή της κατασκευής, η οποία θα πραγματοποιηθεί και αυτή στον ηλεκτρονικό υπολογιστή, με την βοήθεια του προγράμματος Ansys, το οποίο θα μελετήσει την μεταλλική κατασκευή με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Θα γίνουν αρκετές προσπάθειες με διαφορετικά δεδομένα την κάθε φορά, ώστε να παρατεθεί μια καλύτερη εικόνα των αποτελεσμάτων και να πλησιάσει όσο το δυνατό περισσότερο στην πραγματικότητα.

Έτσι λοιπόν θα παρουσιαστούν αρχικά οι αρχικές προδιαγραφές στις οποίες θα οριστούν οι προδιαγραφές της κατασκευής. Στη συνέχεια θα παρατεθούν εναλλακτικές λύσεις οι οποίες θα αξιολογηθούν και θα βαθμολογηθούν ώστε να επιλεχτεί η βέλτιστη. Έμφαση θα δοθεί στην χρηματοοικονομική μελέτη του έργου ώστε να υπολογιστεί στη συνέχεια το τελικό κόστος. Στη συνέχεια θα σχεδιαστούν τα δισδιάστατα σχέδια και τα τρισδιάστατα και θα παρουσιαστούν. Όλα αυτά θα ξανασχεδιαστούν στο πρόγραμμα των πεπερασμένων στοιχείων και θα μελετηθούν ώστε να αποδειχτεί η αντοχή τους στα φορτία όπου θα τους επιβληθούν από τους χρήστες τους.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>9</b>
<b>1. ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΜΑΞΙΔΙΟΥ</b> .....	<b>10</b>
1.1 ΑΡΧΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ .....	10
1.2 ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ .....	12
1.3 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΛΥΣΕΩΝ .....	13
1.3.1 Σενάριο I .....	13
1.3.2 Σενάριο II .....	13
1.3.3 Σενάριο III .....	13
1.4 ΒΑΘΜΟΛΟΓΗΣΗ-ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ .....	15
1.5 ΤΕΛΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ – ΕΠΙΛΟΓΗ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΛΥΣΗΣ .....	16
1.6 ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ-ΜΕΛΕΤΗ .....	17
<b>2 . ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΣΧΕΔΙΩΝ</b> .....	<b>19</b>
2.1 ΣΚΕΛΕΤΟΣ ΑΜΑΞΙΔΙΟΥ .....	19
2.2 ΧΙΑΣΤΗ ΣΚΕΛΕΤΟΥ .....	20
2.3 ΨΑΛΙΔΙ ΕΜΠΡΟΣΘΙΟΥ ΤΡΟΧΟΥ .....	23
2.4 ΈΔΡΑΝΟ ΚΥΛΙΣΗΣ ΨΑΛΙΔΙΟΥ .....	24
2.5 ΕΜΠΡΟΣΘΙΟΣ ΤΡΟΧΟΣ .....	25
2.6 ΟΠΙΣΘΙΟΣ ΤΡΟΧΟΣ .....	28
2.7 ΑΝΑΠΗΡΙΚΟ ΑΜΑΞΙΔΙΟ ΣΕ ΤΡΕΙΣ ΌΨΕΙΣ .....	31
<b>3 . ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΜΟΡΦΗΣ ΑΜΑΞΙΔΙΟΥ</b> .....	<b>32</b>
3.1 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΜΟΡΦΗΣ ΣΚΕΛΕΤΟΥ .....	35
3.2 ΕΜΠΡΟΣΘΙΟΣ ΤΡΟΧΟΣ ΜΕ ΑΞΟΝΑ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗΣ .....	36
3.3 ΟΠΙΣΘΙΟΣ ΤΡΟΧΟΣ ΜΕ ΠΕΡΙΜΕΤΡΙΚΗ ΛΑΒΗ ΥΠΟΒΟΗΘΗΣΗΣ ΚΥΛΙΣΗΣ .....	37
3.4 ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΘΙΣΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΣΤΗΡΙΞΕΩΣ .....	38
<b>4. ΣΧΕΔΙΑ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ</b> .....	<b>39</b>
4.1 ΕΜΠΡΟΣΘΙΟ ΨΑΛΙΔΙ ΜΕ ΤΡΟΧΟ .....	41
4.2 ΟΠΙΣΘΙΟΣ ΤΡΟΧΟΣ ΜΕ ΕΔΡΑΝΟ ΚΥΛΙΣΗΣ .....	45
<b>5. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ</b> .....	<b>48</b>
5.1 ΣΤΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΣΚΕΛΕΤΟΥ ΑΜΑΞΙΔΙΟΥ .....	49
5.2 ΜΕΛΕΤΗ 1 <sup>η</sup> ΣΕ 2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ .....	51
5.2.1 Δύο στοιχεία με μια δύναμη σε κάθε δοκό .....	51
5.2.2 Δύο στοιχεία με δύο δυνάμεις σε κάθε δοκό .....	55
5.3 ΜΕΛΕΤΗ 2 <sup>η</sup> ΣΕ 10 ΣΤΟΙΧΕΙΑ .....	58
5.3.1 Δέκα στοιχεία με μια δύναμη σε κάθε δοκό .....	58
5.3.2 Δέκα στοιχεία με δύο δυνάμεις σε κάθε δοκό .....	61
5.4 ΜΕΛΕΤΗ 3 <sup>η</sup> ΣΕ 16 ΣΤΟΙΧΕΙΑ .....	64
5.4.1 Δεκαέξι στοιχεία με μια δύναμη σε κάθε δοκό .....	64
5.4.2 Δεκαέξι στοιχεία με δυο δυνάμεις σε κάθε δοκό .....	67
5.5 ΜΕΛΕΤΗ 4 <sup>η</sup> ΣΕ 20 ΣΤΟΙΧΕΙΑ .....	70
5.5.1 Είκοσι στοιχεία με μια δύναμη σε κάθε δοκό .....	70

5.5.2	Είκοσι στοιχεία με δύο δυνάμεις σε κάθε δοκό. ....	73
5.6	ΜΕΛΕΤΗ 5 <sup>η</sup> ΣΕ 20 ΣΤΟΙΧΕΙΑ (διάμετρος δοκού 1 cm και πάχος τοιχώματος 1.5mm) .....	77
5.6.1	Είκοσι στοιχεία με μια δύναμη σε κάθε δοκό. ....	77
5.6.2	Είκοσι στοιχεία (διάμετρος δοκού 1cm και πάχος τοιχώματος 1.5 mm) με δύο δυνάμεις σε κάθε δοκό.....	80
5.7	ΜΕΛΕΤΗ 6 <sup>η</sup> ΣΕ 20 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ (Πυκνότητα 2.7g/cm <sup>3</sup> ). ....	84
5.8	ΣΧΟΛΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	88
	<b>ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>91</b>
	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>92</b>





## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα άτομα με αναπηρίες αποτελούν το 9,3% του συνολικού πληθυσμού της χώρας.

Τα εμπόδια που συναντούν τα άτομα με αναπηρία σχετίζονται άμεσα με το είδος και την έκταση της αναπηρίας. Το είδος της αναπηρίας και τα συνεπακόλουθά της καθιστούν τα άτομα με αναπηρία μια ομάδα δίχως ομοιογένεια.

Στην ομάδα αυτήν περιλαμβάνονται άνθρωποι με προσωρινές ή μόνιμες αναπηρίες, παραπληγικοί, τετραπληγικοί, ακρωτηριασμένοι, μυοπαθείς, τυφλοί ολικώς ή μερικώς, κωφοί, νεφροπαθείς, αιμορροφιλικοί, πολυμεταγγιζόμενοι, πάσχοντες από σκλήρυνση κατά πλάκας, άτομα με νοητική υστέρηση κ.ά.

Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (W.H.O.) ορίζει ως βλάβη (impairment) «την οποιαδήποτε απώλεια ή ανωμαλία στην ψυχολογική, σωματική ή ανατομική δομή και λειτουργία» [1]. Όταν αυτή η δυσκολία καταλήγει σε αδυναμία «να εκτελέσει κάποιος μία δραστηριότητα με τρόπο που θεωρείται φυσιολογικός για όλους τους ανθρώπους», τότε αυτή η δυσκολία αποτελεί πρόβλημα (disability) (π.χ. προβλήματα στην επικοινωνία, στην ακοή, στην κίνηση ή στο χειρισμό αντικειμένων). Η αναπηρία (handicap) είναι το αποτέλεσμα της βλάβης ή του προβλήματος, όταν το άτομο αδυνατεί να ανταποκριθεί στο φυσιολογικό του ρόλο. Σύμφωνα με αυτούς τους ορισμούς, μία αναπηρία δεν αποτελεί χαρακτηριστικό ενός ατόμου, αλλά είναι μία περιγραφή της σχέσης του ατόμου με το περιβάλλον (W.H.O.). Για παράδειγμα, ένα άτομο που γεννιέται χωρίς τα άνω άκρα (η βλάβη), ενδεχομένως να μη μπορεί να γράψει ή να αυτοεξυπηρετηθεί με τρόπο κανονικό (το πρόβλημα). Εάν αυτό το άτομο δε συμμετέχει στο σχολείο ή στην εργασία λόγω της δυσκολίας και του προβλήματος, τότε αυτό τελεί υπό αναπηρία. Παρόλη τη δυσκολία, το άτομο αυτό μπορεί να είναι ικανό να εκτελέσει καθημερινές δραστηριότητες, χρησιμοποιώντας τα πόδια ή το στόμα του ή χρησιμοποιώντας τεχνητά μέλη, προκειμένου να ξεπεράσει τις συνθήκες αναπηρίας.

# 1. ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΜΑΞΙΔΙΟΥ

## 1.1 ΑΡΧΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ

Τα άτομα αυτά για τις καθημερινές τους μετακινήσεις χρησιμοποιούν αναπηρικά αμαξίδια. Τα αναπηρικά αμαξίδια είναι κινούμενα καρότσια τα οποία συνήθως κινούνται από τον χρήστη μέσω των οπίσθιων τροχών, προωθούνται από τρίτο μέσω βοηθητικών χερουλιών, ή κινούνται μέσω 2 ηλεκτροκινητήρων οι οποίοι βρίσκονται στους οπίσθιους τροχούς.

Σε κάθε μηχανολογική κατασκευή, υπάρχουν προδιαγραφές οι οποίες ορίζονται από το κράτος, σύμφωνα με τις οποίες η κατασκευή θα χαρακτηρίζεται από κάποια standards ούτως ώστε να μπορεί να ανταπεξέλθει και να συνεργάζεται με υπόλοιπες κατασκευές. Το αμαξίδιο το οποίο έχει προτιμηθεί πληροί προϋποθέσεις και προδιαγραφές, οι οποίες είναι απαραίτητες για τη διευκόλυνση του ενδιαφερόμενου κατά την χρήση του. Παραδείγματος χάριν τέτοιου είδους προδιαγραφές αναγράφονται στην εφημερίδα της κυβερνήσεως, όπως η ακόλουθη:

### Άρθρο 4<sup>ο</sup> Εφημερίδας Κυβερνήσεως

*Σε όλα τα υφιστάμενα κτίρια θα κατασκευάζεται τουλάχιστον ένας χώρος υγιεινής προσπελάσιμος από άτομα με ειδικές ανάγκες, με ικανό χώρο ελιγμών των αμαξιδίων μπροστά από τη θύρα το WC διαστάσεων 1,50 x 1,70 μ όταν η θύρα είναι ανοιγόμενη και 1,50 x 1,50 μ όταν η θύρα είναι συρόμενη. Ο χώρος αυτός θα διαθέτει θύρα ανοιγόμενη προς τα έξω ή συρόμενη, καθαρού πλάτους από κάσα σε κάσα τουλάχιστον 0,90 μ φέρουσα χειρολαβή τύπου μοχλού (όχι σφαιρική) και οριζόντιο χειρολισθήρα σχήματος Π και κάσα σε έντονη χρωματική αντίθεση με τις παρακείμενες επιφάνειες.*

Το εν λόγω καροτσάκι συμμορφώνεται με τέτοιου είδους κανονισμούς ώστε να δύναται να χρησιμοποιηθεί σε όλους τους χώρους στους οποίους έχει προβληθεί η χρήση του. Για την κατασκευή του αναπηρικού αμαξιδίου θα οριστούν κάποιες προδιαγραφές και σύμφωνα με αυτές θα προβούμε στις επιλογές μας όσο αναφορά τα δομικά στοιχεία του.

- Το αμαξίδιο προορίζεται για άτομα με ειδικές ανάγκες και συγκεκριμένα για άτομα τα οποία έχουν κινητικά προβλήματα στα κάτω άκρα, ενώ τα άνω άκρα λειτουργούν φυσιολογικά.
- Το μέγιστο βάρος του ατόμου που έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιεί το αμαξίδιο ορίζεται στα 115 kg.

- Όσο αναφορά το μέγιστο ύψος του ατόμου, αυτό δεν θα ξεπερνά το 1.90 m.
- Το αμαξίδιο φέρει δύο χερούλια στο πίσω μέρος του στο ύψος της πλάτης ούτως ώστε να έχει την δυνατότητα κίνησης από τρίτο άτομο.
- Έχει προβλεφθεί μηχανικό σύστημα επιβράδυνσης και ακινητοποίησης στους πίσω τροχούς.
- Τα χερούλια καλύπτονται με μαξιλάρια για την προστασία και την άνεση του ατόμου.
- Περιλαμβάνεται μηχανισμός αναδίπλωσης του αμαξιδίου ούτως ώστε να καθίσταται εύκολη η μεταφορά του και η αποθήκευση του.
- Όσον αναφορά τα ελαστικά του θα προτιμηθούν «με αέρα» για την απορρόφηση μέρους των κραδασμών και τη μείωση του βάρους
- Τα διαθέσιμα υλικά για τη κατασκευή του σκελετού είναι αλουμίνιο, διάφορων ειδών κράματα, ανοξείδωτος χάλυβας και συνθετικά υλικά.

## 1.2 ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ

Για την κατασκευή του αμαξιδίου θα συνυπολογιστούν και κάποιες εναλλακτικές λύσεις ουτως ώστε να επιλεγθεί η βέλτιστη επιλογή. Οι επιλογές παρατίθενται προς αξιολόγηση

- Το υλικό που θα χρησιμοποιηθεί για το κάθισμα, μπορεί να αποτελείται είτε από ελαστικό συνθετικό υλικό, είτε από πορώδες δέρμα.
- Τα ελαστικά θα μπορούν να αποτελούνται από συμπαγές υλικό, ή με αέρα.
- Τα υποπόδια θα μπορούν να αλλάζουν γωνία και να ρυθμίζονται καθ' ύψος όπως και να αλλάζουν γωνία με το επίπεδο, για την καλύτερη προσαρμογή τους στα κάτω άκρα του ατόμου.
- Το μέγιστο επιτρεπτό βάρος θα μπορεί να αυξηθεί στα 120 kg.
- Οι τροχοί θα είναι είτε ακτινωτοί, είτε πλαστικοί με 5 ακτίνες.
- Όσο αναφορά την αναδίπλωση, θα μπορούσε εκτός από την κεντρική αναδίπλωση, να περιλαμβάνεται και αναδίπλωση των βοηθητικών χερουλιών του τρίτου ατόμου, για ελαχιστοποίηση του χώρου αποθήκευσης.
- Θα μπορούσε να προσαρμοστεί απλός μηχανισμός ρύθμισης των πλαϊνών χερουλιών για περισσότερη άνεση στην καθημερινή χρήση του.
- Στο κάτω μέρος του αμαξιδίου θα μπορεί να προσαρμοστεί πανί το οποίο θα χρησιμεύει ως μέσο αποθήκευσης μικροαντικειμένων.

Στα πλαϊνά χερούλια θα ήταν χρήσιμες βάσεις για μικροαντικείμενα, όπως θέση για ποτήρι ή διάφορα φάρμακα που συνήθως καταναλώνονται από τέτοια άτομα.

### **1.3 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΛΥΣΕΩΝ**

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αξιολογηθούν οι εναλλακτικές λύσεις και αφού βαθμολογηθούν με συντελεστές βαρύτητας θα γίνει η επιλογή της βέλτιστης λύσης. Ο συντελεστής βαρύτητας θα κυμαίνεται από 0 έως 1. Θα σχεδιαστεί σχετικός πίνακας όπου θα παρατίθενται όλες οι πληροφορίες και οι αξιολογήσεις τους ουτωςώστε να βρεθεί η βέλτιστη λύση. Θα θεωρήσουμε τρία σενάρια στα οποία οι προδιαγραφές τους θα κυμαίνονται με βάση το κόστος.

#### **1.3.1 Σενάριο I**

Το αμαξίδιο θα κατασκευαστεί από ανοξείδωτο χάλυβα. Η συντήρηση του είναι πολύ φθηνή, τα ελαστικά του είναι συμπαγή για ελαχιστοποίηση των εξόδων, όπως και το πανί θα είναι από συνθετικό χαμηλής ποιότητας υλικό. Το βάρος του αμαξιδίου θα είναι σχετικά μεγάλο με αποτέλεσμα να είναι δυσκίνητο. Διάφορες ευκολίες όπως αναδίπλωση δεν θα περιλαμβάνονται. Γενικά είναι φθηνή λύση χαμηλής ποιότητας, και απευθύνεται σε άτομα τα οποία δεν έχουν μεγάλη οικονομική δυνατότητα.

#### **1.3.2 Σενάριο II**

Το αμαξίδιο έχει κατασκευαστεί από συνδυασμό ανοξείδωτου χάλυβα και αλουμίνιου καθώς όπως και πλαστικού. Όσο αναφορά το βάρος του, είναι ελαφρύτερο από αυτό του σεναρίου I και η ποιότητα κατασκευής είναι καλύτερη. Περιλαμβάνει αναδίπλωση τύπου χιαστής και ρυθμιζόμενα χερούλια. Το υλικό του πανιού είναι πορώδες δέρμα και τα ελαστικά του είναι με αέρα, κάτι που διευκολύνει την κίνηση αλλά και τον μεταφερόμενο. Οι τροχοί παραμένουν ακτινωτοί. Το κόστος συντήρησης αυξάνεται σε σχέση με το σενάριο I αλλά όχι υπερβολικά. Σε γενικές γραμμές είναι μια λύση που απευθύνεται στο ευρύ κοινό, με πολύ καλή σχέση τιμής-απόδοσης. Η αισθητική του είναι ικανοποιητική.

#### **1.3.3 Σενάριο III**

Σε αυτή την εκδοχή το αμαξίδιο αποτελείται από αλουμίνιο και κράματα αλουμινίου. Σε αρκετά σημεία υπάρχει ανοξείδωτος χάλυβας, πολυμερή και συνθετικά υλικά. Το κόστος σε αυτό το σενάριο είναι αυξημένο, αλλά έχει δοθεί πολύ σημασία στην ποιότητα κατασκευής. Το βάρος είναι ιδιαίτερα χαμηλό, στους τροχούς έχει χρησιμοποιηθεί ελαστικό με αέρα ενώ οι τροχοί είναι ελαφρού τύπου πεντάκτινες. Ιδιαίτερη προσοχή έχει δοθεί στην αισθητική του αμαξιδίου και στα διάφορα πρόσθετα διευκόλυνσης του χρήστη,

όπως αναδιπλούμενα χερούλια, ρυθμιζόμενα υποπόδια καθ' ύψος και κλίση. Όσο αναφορά τους αποθηκευτικούς χώρους είναι πλήρες.

Στη συνέχεια ακολουθεί σχετικός πίνακας όπου βαθμολογούνται τα 3 πιθανά σενάρια με συντελεστές βαρύτητας, στον οποίο θα γίνει και επιλογή του καλύτερου σεναρίου.

## 1.4 ΒΑΘΜΟΛΟΓΗΣΗ-ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

### ‘Πίνακας 1’

**Πίνακας 1.1:** Σενάρια αξιολόγησης των σεναρίων υλοποίησης του αναπηρικού αμαξιδίου

	Προδιαγραφές	Συντελεστής Βαρύτητας	Σενάριο I	Σενάριο II	Σενάριο III
1.	Κόστος	0,9	9	6	1
2.	Βάρος	0,7	3	6	8
3.	Αισθητική	0,4	3	6	8
4.	Άνεση	0,6	6	8	9
5.	Συντήρηση	0,4	8	6	2
6.	Ποιότητα	0,8	5	8	9
7.	Αναδίπλωση	0,8	0	8	9
	<b>Σύνολο</b>		<b>22,2</b>	<b>32</b>	<b>30,3</b>

Σύμφωνα με τα στοιχεία του «Πίνακα 1» το καλύτερο σενάριο για την κατασκευή του αναπηρικού αμαξιδίου είναι το «Σενάριο II». Μεγαλύτερη βαρύτητα δόθηκε στο κόστος και στην ποιότητα ώστε να πετύχουμε την καλύτερη σχέση μεταξύ τιμής και απόδοσης.

## 1.5 ΤΕΛΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ – ΕΠΙΛΟΓΗ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΛΥΣΗΣ

Στα προηγούμενα κεφάλαια δόθηκαν τα 3 σενάρια για τρεις διαφορετικές κατασκευές αναπηρικών αμαξιδίων. Σε κάθε ένα από αυτά δόθηκε σε διαφορετικά χαρακτηριστικά έμφαση, ώστε να καλυφθούν όσο το δυνατό καλύτερα ,τόσο τις ανάγκες των ανθρώπων, όσο και την πληθώρα των αμαξιδίων σχετικά με το κόστος κατασκευής.

Συνοπτικά στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται και οι τρεις περιπτώσεις, και σύμφωνα με την βαθμολόγηση, η πιο συμφέρουσα λύση για τον αγοραστή, είναι αυτή που παρουσιάζει το σενάριο II.

Στο δεύτερο σενάριο έχει δοθεί έμφαση στην άνεση, στην ποιότητα και στην αναδίπλωση, καθώς ο ενδιαφερόμενος θα καταναλώνει το μεγαλύτερο μέρος της ημέρας του σε αυτό, πραγματοποιώντας όλες του τις εργασίες και τις ανάγκες.

Η εμφάνιση του αμαξιδίου και η αισθητική του, καταλαμβάνει σημαντικό ρόλο στην ψυχολογία του ενδιαφερόμενου, καθώς ένα ‘μειωμένης αισθητικής’ αναπηρικό αμαξίδιο θα επιβάρυνε την ήδη άσχημη ψυχική κατάσταση του χρήστη. Ούτως η άλλως το αμαξίδιο γίνεται ένα αναπόσπαστο κομμάτι του ατόμου, γι’ αυτό μεγάλη σημασία έχει δοθεί στην αρμονική συναρμολόγηση των εξαρτημάτων και στην καλαίσθητη βαφή τους.

Με γνώμονα τις πολλές ώρες χρήσης του αμαξιδίου, ιδιαίτερη έμφαση έχει δοθεί στην άνεση του ατόμου κατά την χρήση, διότι ένα καρότσι που δεν θα πληρούσε προδιαγραφές άνεσης, θα ταλαιπωρούσε και θα εμπόδιζε τον χρήστη στην καθημερινότητα του και στις δραστηριότητες του.

Η ποιότητα κατασκευής, παίζει πολύ σημαντικό ρόλο, και γι’ αυτό έχουν χρησιμοποιηθεί υλικά ανώτερης ποιότητας ώστε να είναι φιλικά προς τον χρήστη και να έχουν διάρκεια στο χρόνο. Φυσικά όλες οι επιλογές δεν έχουν ξεφύγει σε καμία περίπτωση από την σφαίρα της τιμής-απόδοσης, και έχουν επιλεγεί με αυστηρότητα και στους δύο τομείς, δεδομένου ότι οι περισσότεροι ενδιαφερόμενοι αναζητούν μία μέση λύση που να εκφράζει ταυτόχρονα και την ποιότητα αλλά και την οικονομία.

Όσο αναφορά την συντήρηση, είναι ελάχιστα τα μέρη τα οποία θα μπορούσαν να υποστούν κάποια βλάβη, και σε κάθε περίπτωση η διόρθωσή τους δεν απαιτεί ιδιαίτερες γνώσεις μηχανολογίας. Έτσι αφαιρείται ένα σημαντικό άγχος από τον ενδιαφερόμενο.

Για την ευκολία της κίνησης του αμαξιδίου έχει δοθεί έμφαση στο συνολικό βάρος του, καθώς όσο ελαφρύτερο είναι, τόσο πιο ευκίνητο γίνεται. Στο μεταίχμιο της οικονομίας και της αντοχής του σκελετού, χρησιμοποιήθηκε αλουμίνιο, κράματα αλουμινίου καθώς και ανοξείδωτος χάλυβας. Τα υλικά



των μαξιλαριών είναι πορώδη δέρματα ώστε να προσφέρουν άνεση και αντοχή στο χρόνο.

Εν κατακλείδι, το αμαξίδιο αναφέρεται σε άτομα μέσης οικονομικής κατάστασης, δεδομένης και της οικονομικής κατάστασης των χωρών, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι υπολείπεται σε σχέση με τα υπόλοιπα. Είναι ένα εύχρηστο, άνετο και καλαίσθητο αμαξίδιο, ώστε να μπορέσει να καλύψει τις ανάγκες ενός ατόμου με αναπηρία στα κάτω άκρα, για αρκετά χρόνια συνεχούς χρήσης.

## 1.6 ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ-ΜΕΛΕΤΗ

Το κομμάτι αυτό της εργασίας θα αναλωθεί στο κόστος κατασκευής – συντήρησης μέσω μιας τεchnοοικονομικής οπτικής γωνίας. Το κόστος αυτό, επηρεάζει άμεσα την τιμή του στην αγορά, κάτι που είναι πολύ σημαντικό, διότι από αυτό εξαρτάται κατά κύριο λόγο η επιτυχία του.

Έχει επιλεγεί ένα σενάριο το οποίο δεν αντιπροσωπεύει ούτε την φθηνή αλλά ούτε την ακριβή λύση. Το δεύτερο σενάριο βρίσκεται στο μεταίχμιο της οικονομίας και της ποιότητας κατασκευής ώστε να επιτευχθεί αξιοπιστία και αντοχή στο χρόνο χωρίς να επιβαρυνθεί αισθητά ο υποψήφιος αγοραστής, όσον αναφορά το οικονομικό σκέλος, και ταυτόχρονα μπορεί να απευθυνθεί σε ένα ευρύ τμήμα της αγοράς.

Όπως είναι γνωστό, η τιμή των προϊόντων ελαχιστοποιείται κατά την μαζική παραγωγή, έτσι κατασκευάζοντας πολλά αμαξίδια, η τιμή τους θα μειωθεί. Παράλληλη λογική θα χρησιμοποιηθεί και για τα διάφορα εξαρτήματα τα οποία είναι ήδη τυποποιημένα στην αγορά. Τέτοια βρίσκονται:

- ✓ Στις ρόδες
- ✓ Στις συνδέσεις με πείρους, κοχλίες και σπειρώματα
- ✓ Στα μαξιλάρια – πλαστικά μέρη

Θα γίνει μια πιο αναλυτική αναφορά στα επιμέρους τμήματα του

- *Πλαίσιο*

Θα αποτελείται από ανοξείδωτο χάλυβα ώστε να κρατηθεί σε χαμηλά επίπεδα το βάρος αλλά ταυτόχρονα να έχουμε και μεγάλη αντοχή κατασκευής.

- *Τροχοί*

Οι τροχοί του είναι μεταλλικοί από κράμα αλουμινίου ακτινωτοί τυποποιημένοι. Είναι πιο ακριβοί από τους χαλύβδινους και ίσως πιο ευπαθής αλλά περισσότερο ελαφριοί και ευκίνητοι.

Τα ελαστικά έχουν αεροθάλαμο εμπρός αλλά και πίσω ώστε να επιτύχουμε να μειώσουμε το βάρος του και να αυξήσουμε την άνεση. Ενδεικτικά ελαστικά 21,9x1 κοστίζουν 34€ τιμή λιανικής το ζευγάρι. Για το μπροστά ελαστικό μια ενδεικτική τιμή είναι 17€ το ζεύγος.

- *Πλαστικά μέρη μαξιλάρια*

Το πανί καθίσματος αποτελείται από δέρμα και το κόστος του ανέρχεται ενδεικτικά στα  $3\text{m}^2 \times 13\text{€} = 39\text{€}$ . Διάφορα εξαρτήματα όπως πλαστικά καπάκια και χερούλια είναι τυποποιημένα. Τα μαξιλαράκια και τα χερούλια είναι αμελητέου κόστους.

**Πίνακας 1.2:** Κοστολόγηση του υπό σχεδίαση μοντέλου

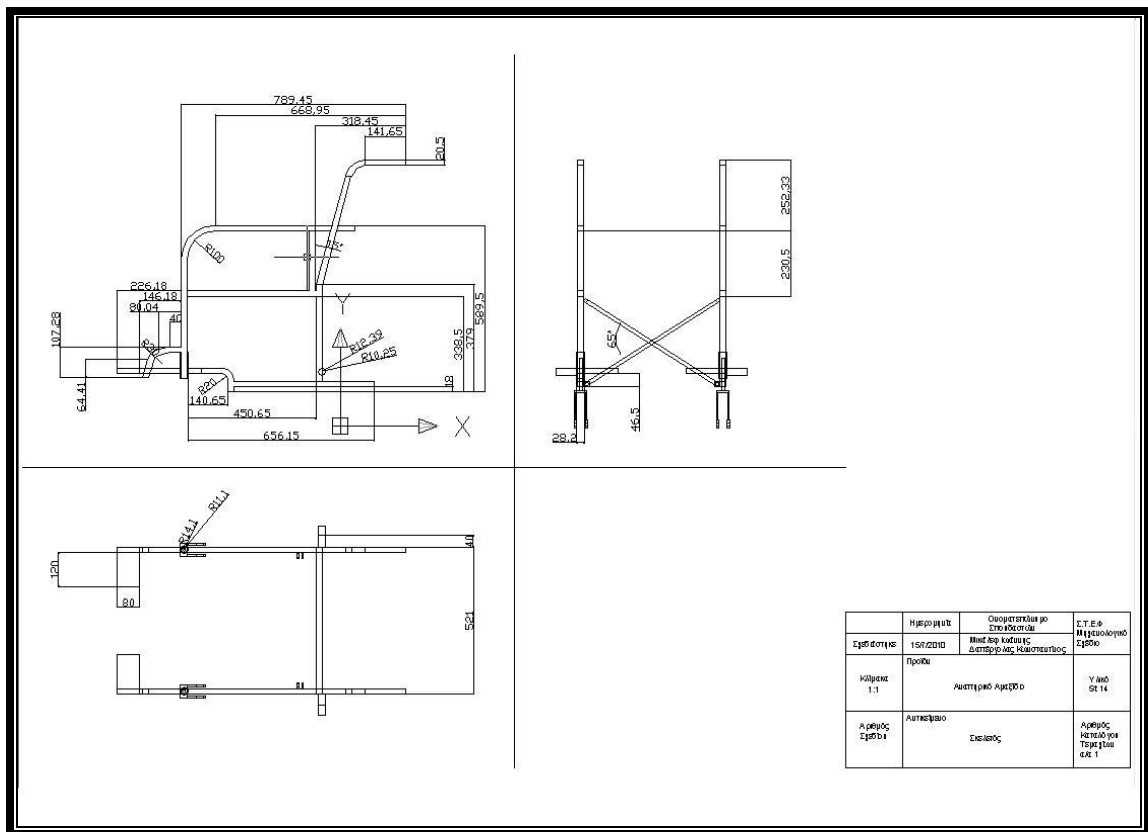
Είδος	Τεμάχια	Κόστος τεμαχίου	Σύνολο
Άξονες	4	10 €	40 €
Ψαλίδια	2	18 €	36 €
Εμπρόσθιοι τροχοί	2	10 €	20 €
Οπίσθιοι τροχοί	2	40 €	80 €
Υποπόδια	2	10 €	20 €
Χειρολαβές	2	20 €	40 €
Κάθισμα	1	39 €	39 €
Φρένα	2	8 €	16 €
Σκελετός	1	120 €	120 €
Σύνολο			411 €

(πηγή [www.wheelchairparts.net](http://www.wheelchairparts.net) )

## 2 . ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΣΧΕΔΙΩΝ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει μία λεπτομερής παρουσίαση των σχεδίων του αμαξιδίου σε δισδιάστατη μορφή. Επίσης θα παρουσιαστούν και τα διάφορα εξαρτήματα του αναπηρικού αμαξιδίου με τις διαστάσεις του καθώς και διάφορες λεπτομέρειες οι οποίες είναι σημαντικές για την μελέτη και κατασκευή του.

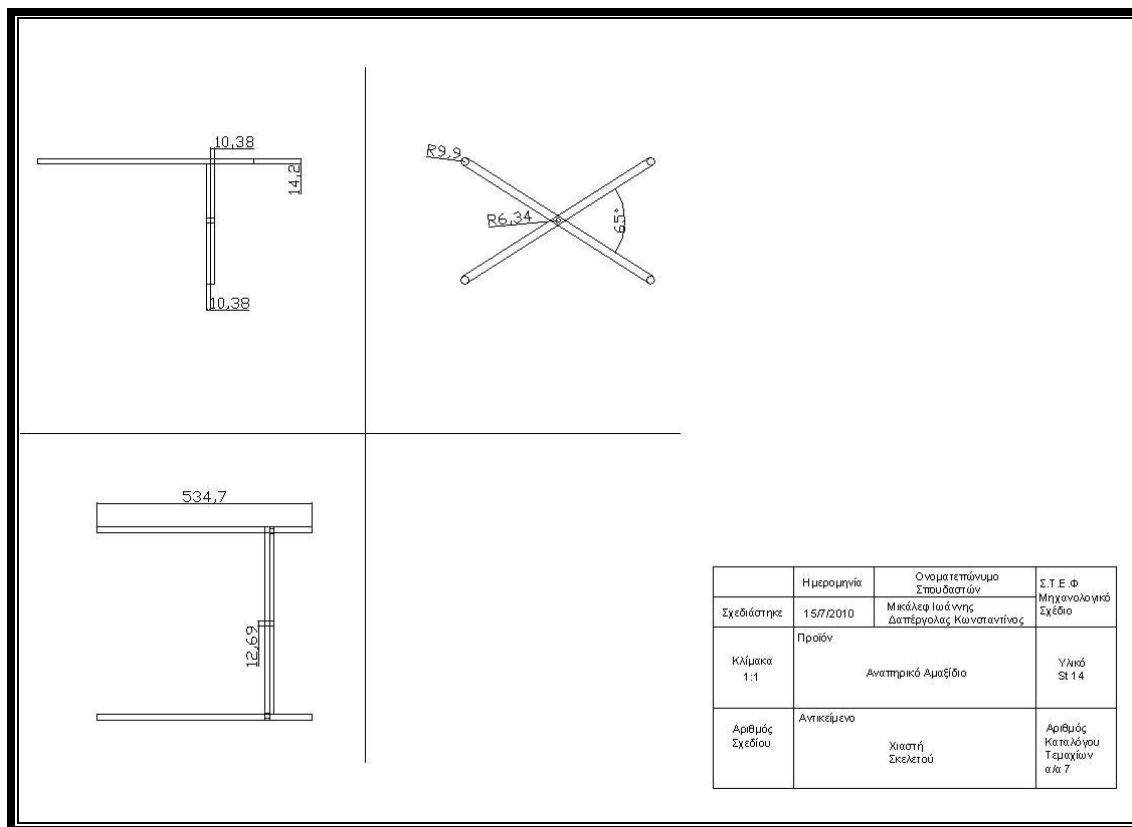
### 2.1 ΣΚΕΛΕΤΟΣ ΑΜΑΞΙΔΙΟΥ



Σχήμα 2.1

Οι τρεις όψεις του σκελετού: πρόσοψη κάτοψη και πλάγια όψη. Ο σκελετός είναι κατασκευασμένος από σύνολο σωλήνων. Οι σωλήνες έχουν διάμετρο :  $D=20.5$  mm και εσωτερική διάμετρο:  $d=18.5$ mm.

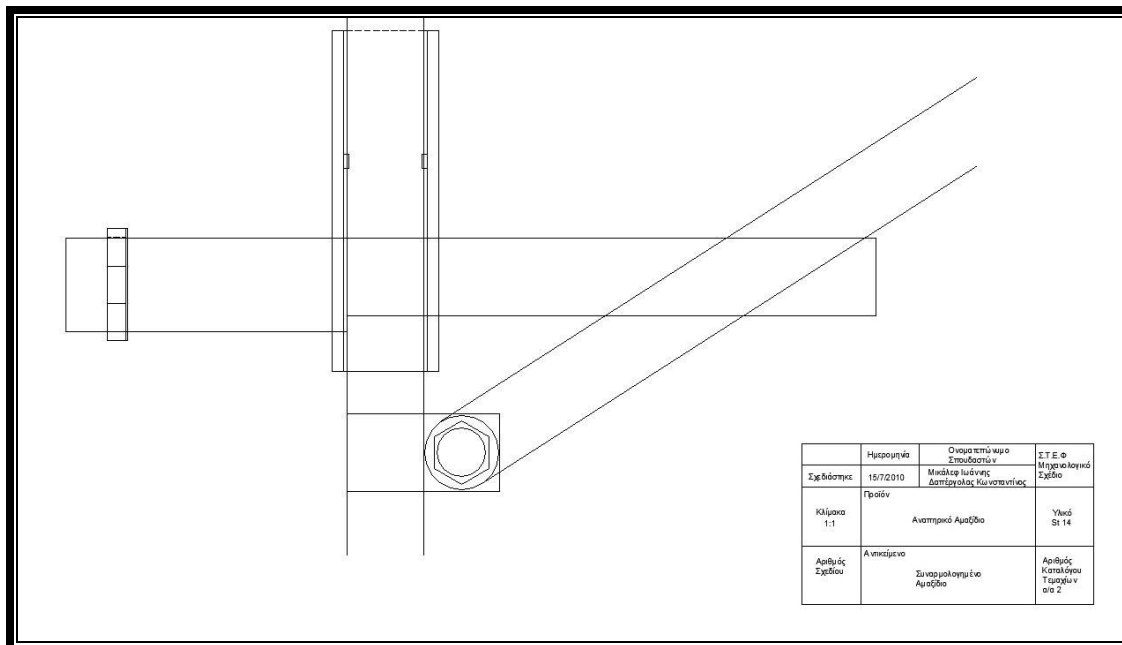
## 2.2 ΧΙΑΣΤΗ ΣΚΕΛΕΤΟΥ



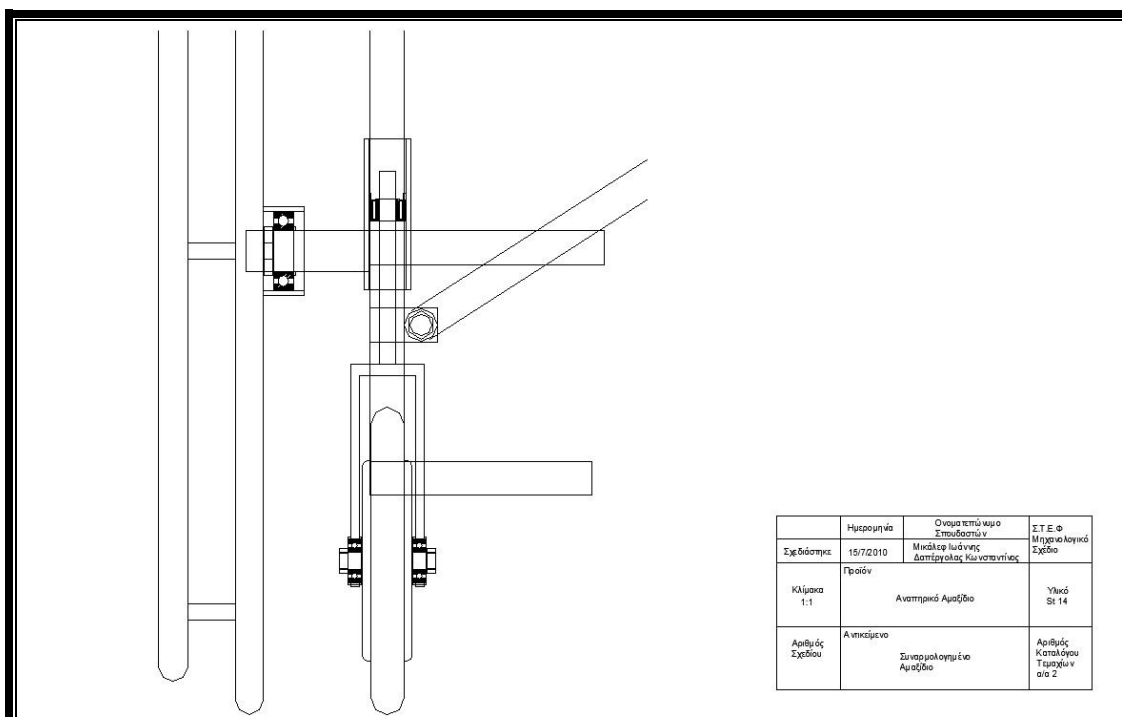
Σχήμα 2.2

Οι τρεις όψεις της χιαστής πρόσοψη κάτοψη και πλάγια όψη.

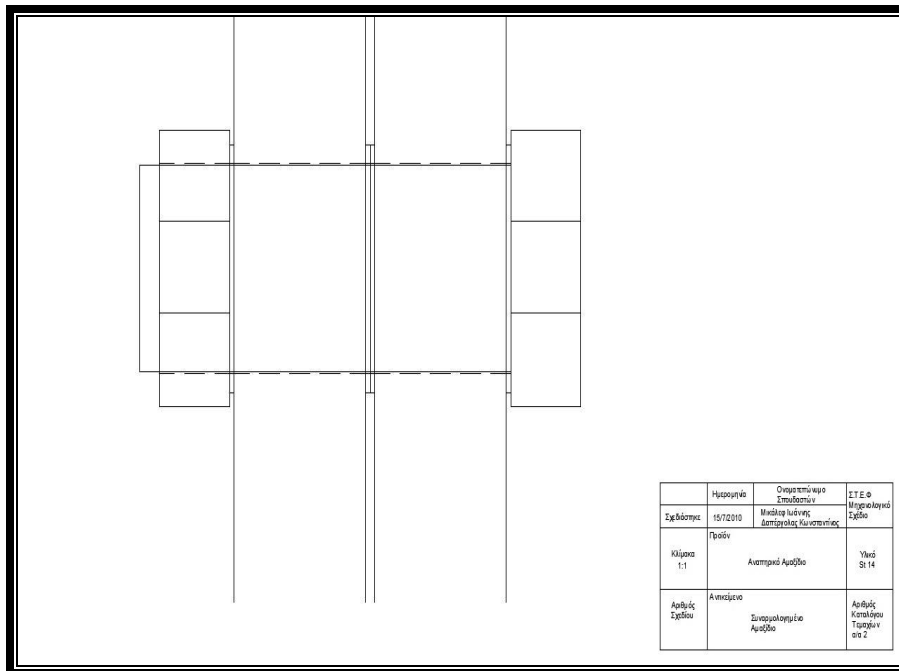
Η χιαστή δένεται στο σκελετό στο κάτω σημείο αυτού (λεπτομέρεια σχήμα 3). Έχει μικρότερη διάμετρο από τον σκελετό:  $D=10.4\text{mm}$ . Επάνω στην χιαστή δένεται το πανί του αμαξιδίου όπου αποτελεί και το κάθισμα του ασθενούς. Όταν το αμαξίδιο είναι σε χρήση η χιαστή ανοίγει και ακουμπάει στον σκελετό και σε συνδυασμό με το βάρος του ασθενούς παραμένει σταθερό (λεπτομέρεια σχήμα 4).



Σχήμα 2.3  
Λεπτομέρεια συγκράτησης άρθρωσης στο σκελετό.

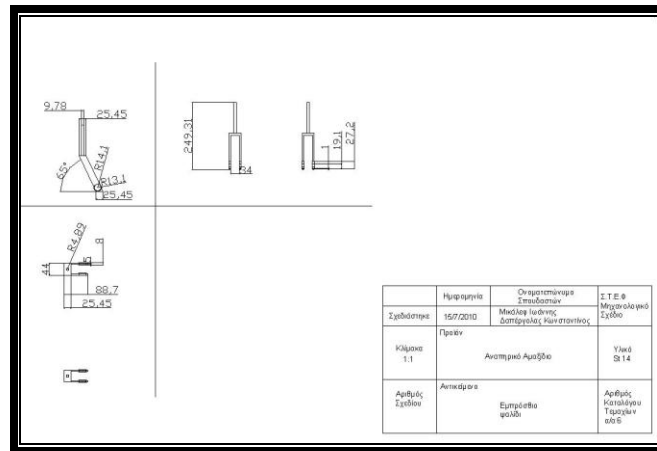


Σχήμα 2.4  
Λεπτομέρεια συγκράτησης άρθρωσης στο σκελετό.



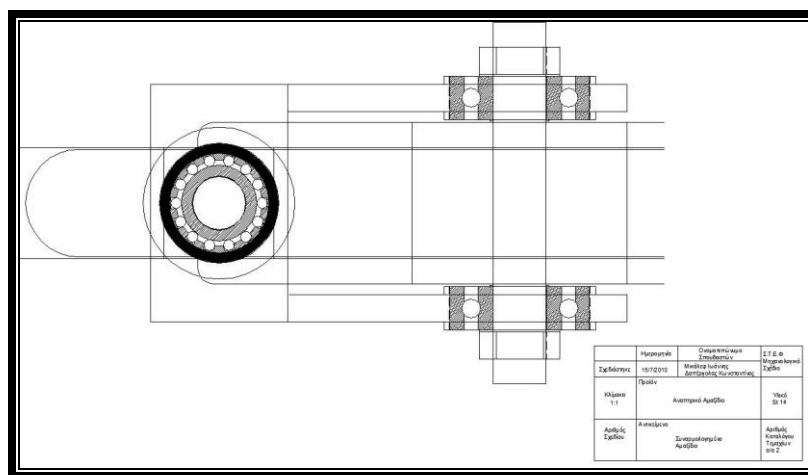
Σχήμα 2.5  
Συγκράτηση δοκών χιαστής (πλάγια όψη).

## 2.3 ΨΑΛΙΔΙ ΕΜΠΡΟΣΘΙΟΥ ΤΡΟΧΟΥ



Σχήμα 2.6

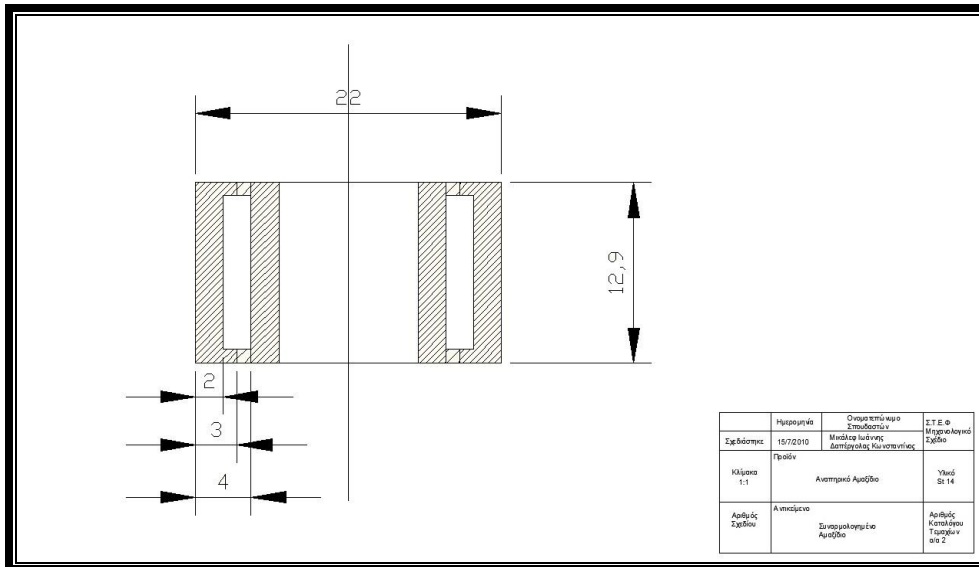
Οι τρεις όψεις του ψαλιδιού του εμπρόσθιου τροχού: πρόσοψη, κάτοψη και πλάγια όψη. Το ψαλίδι εισέρχεται στον σκελετό και στηρίζεται από ένα δακτύλιο (stop) εσωτερικά στο σημείο του σκελετού όπου εφάπτεται αυτό. Η περιστροφή του ψαλιδιού κατά την κίνηση γίνεται χάρη σε έδρανα κύλισης τα οποία απεικονίζονται λεπτομερώς στο σχήμα 7,8 και 9.



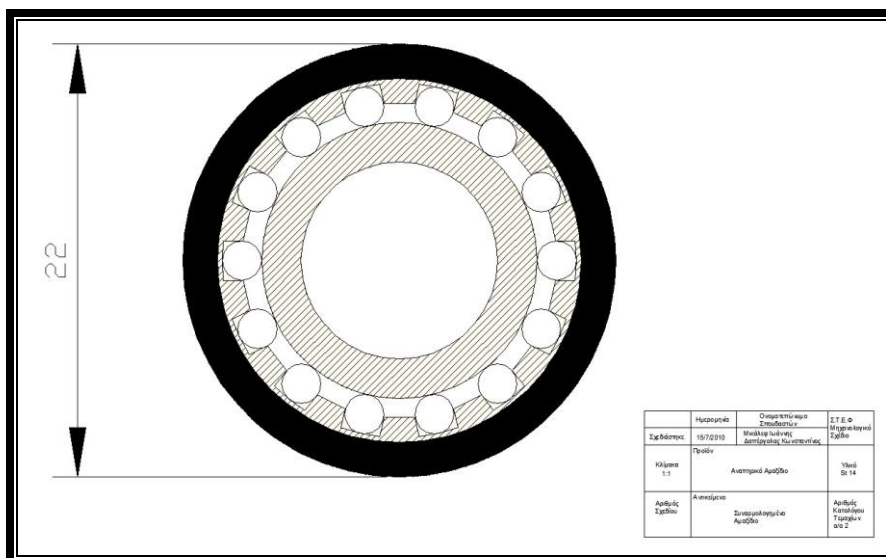
Σχήμα 2.7

Το έδρανο κύλισης του ψαλιδιού σε συναρμολογή

## 2.4 ΈΔΡΑΝΟ ΚΥΛΙΣΗΣ ΨΑΛΙΔΙΟΥ



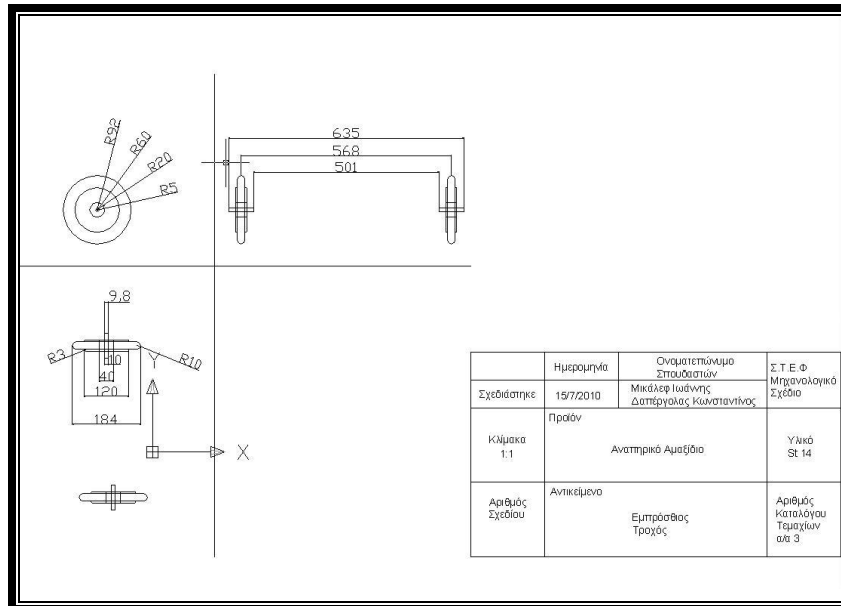
Σχήμα 2.8  
Έδρανο κύλισης ψαλιδιού σε πρόσοψη



Σχήμα 2.9  
Έδρανο κύλισης ψαλιδιού σε κάτοψη.

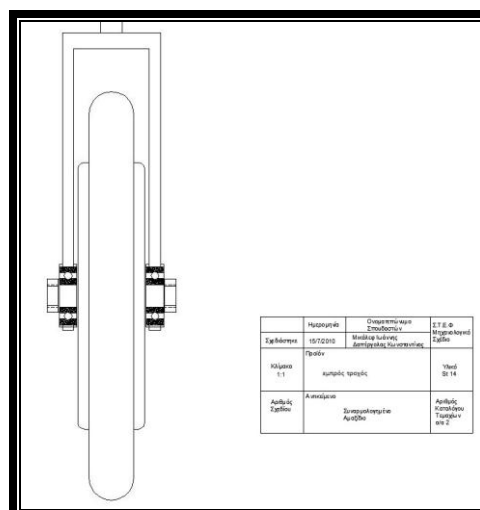


## 2.5 ΕΜΠΡΟΣΘΙΟΣ ΤΡΟΧΟΣ



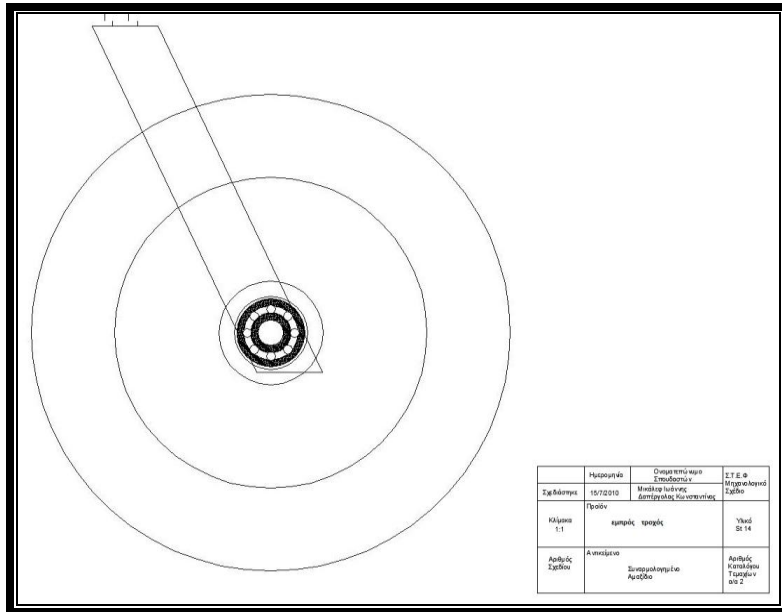
Σχήμα 2.10

Οι τρεις όψεις του εμπρόσθιου τροχού: πρόσοψη κάτοψη και πλάγια όψη. Οι τροχοί εδράζονται σε έδρανα κύλισης που εφαρμόζουν στο ψαλίδι. Βίδες συγκρατούν τις ρόδες στα ψαλίδια. Ακολουθούν αναλυτικά σχέδια.

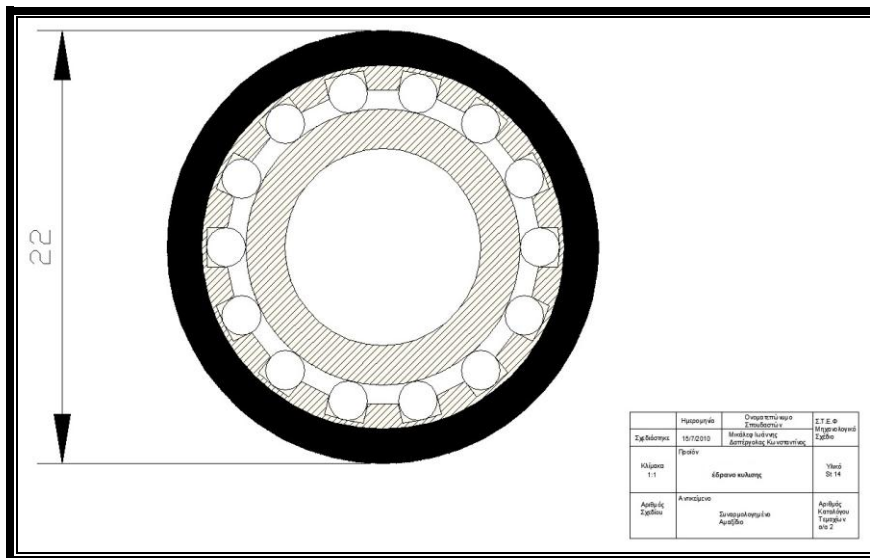


Σχήμα 2.11

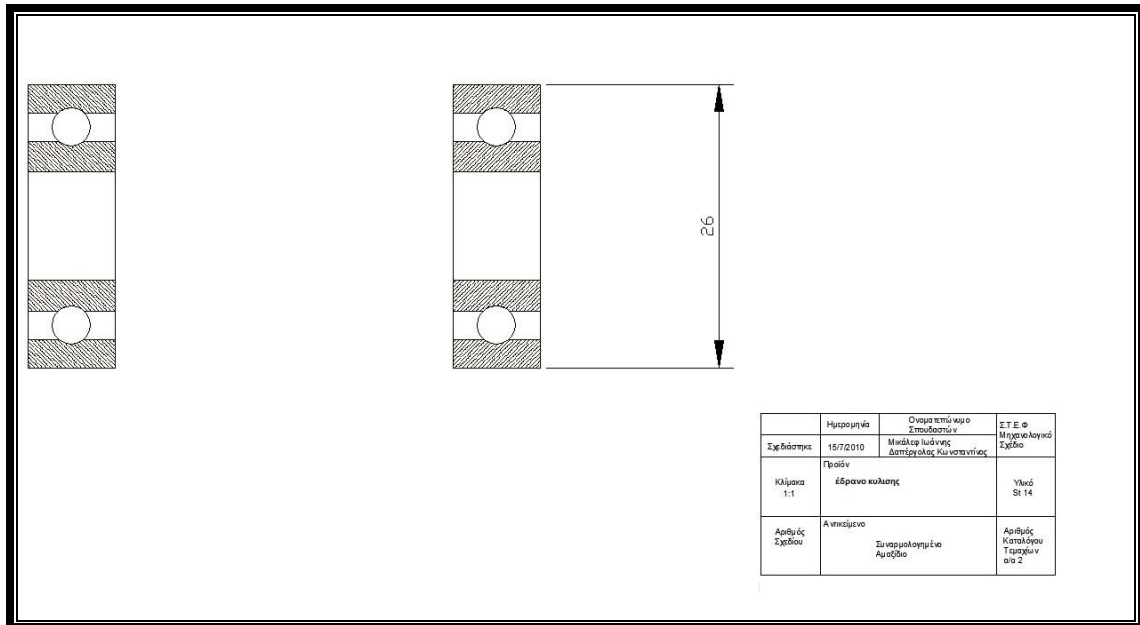
Πρόσοψη εμπρόσθιου τροχού δεμένου πάνω στο ψαλίδι.



Σχήμα 2.12  
Πλάγια όψη εμπρός τροχού δεμένου πάνω στο ψαλίδι.

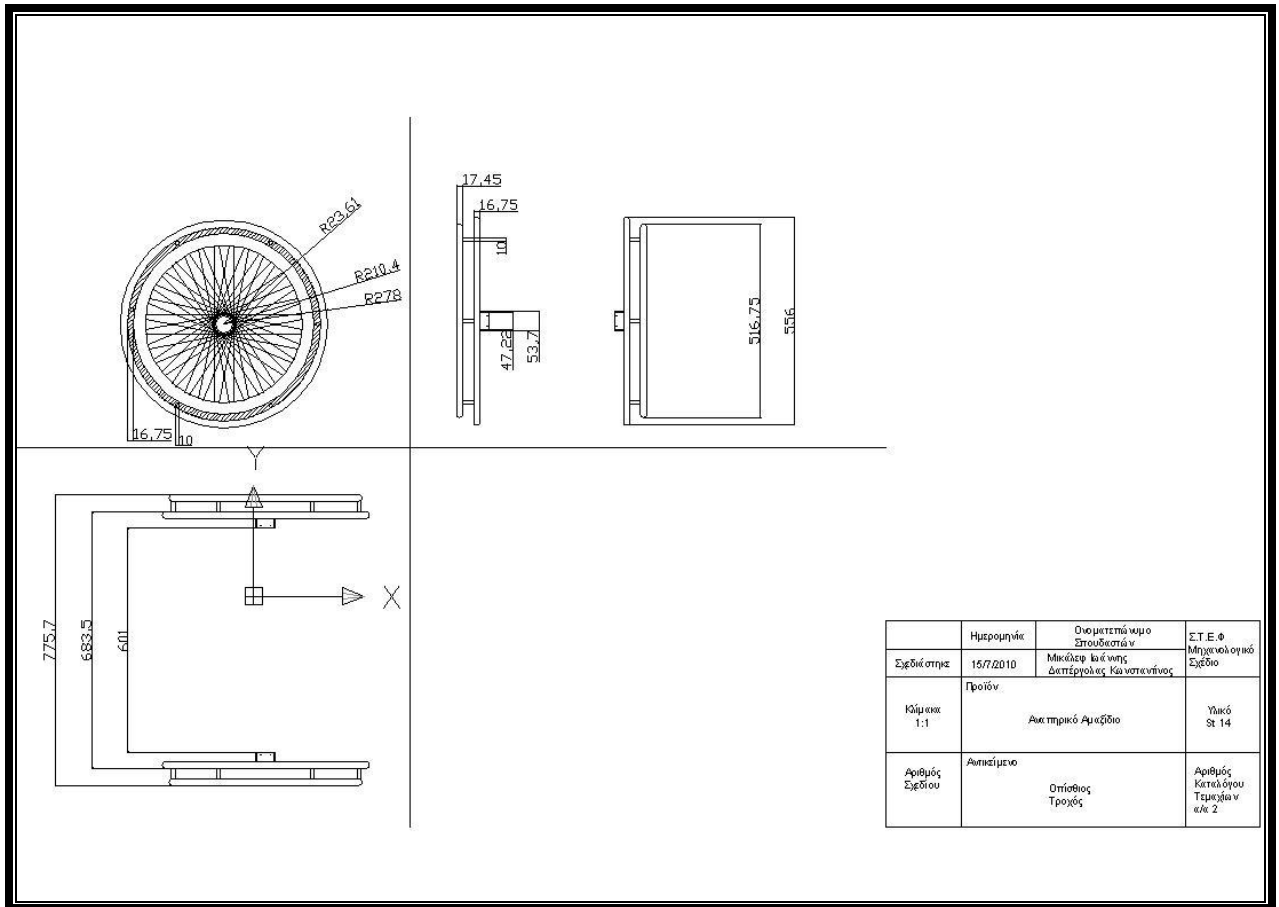


Σχήμα 2.13  
Πρόσοψη εδράνου κύλισης εμπρός τροχού



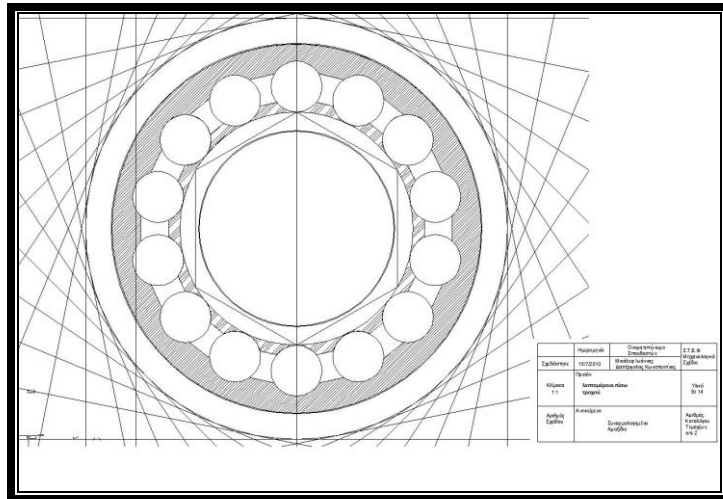
Σχήμα 2.14  
Πλάγια όψη εδράνου κύλισης εμπρόςθιου τροχού

## 2.6 ΟΠΙΣΘΙΟΣ ΤΡΟΧΟΣ



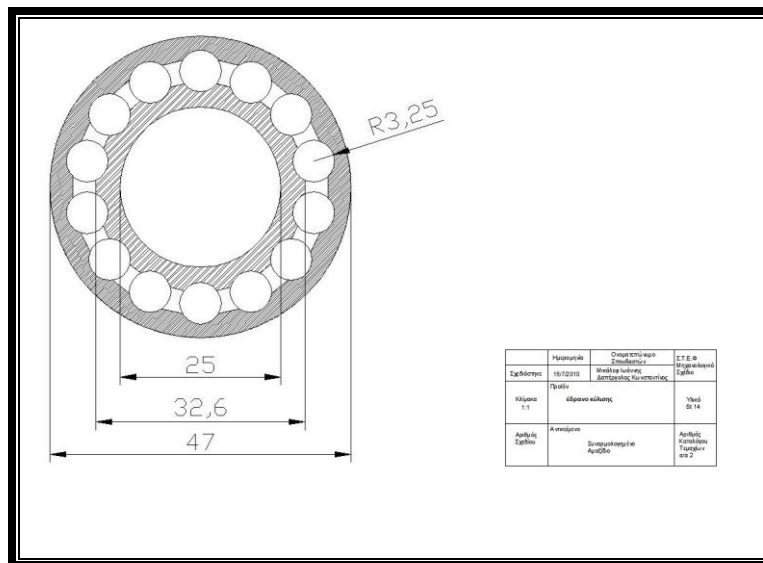
Σχήμα 2.15

Οι τρεις όψεις του πίσω τροχού: Πρόσωση, κάτοψη και πλάγια όψη. Οι πίσω τροχοί συγκρατούνται με έδρανα κύλισης πάνω στον σκελετό. Ο σκελετός έχει στο σημείο αυτό μία ασφάλεια ώστε να παραμένουν τα έδρανα κύλισης και κατά επέκταση οι τροχοί σταθεροί στην θέση τους. Βίδες με ροδέλες κρατούν σταθερούς τους τροχούς στις θέσεις τους. Ακολουθούν αναλυτικά σχέδια.

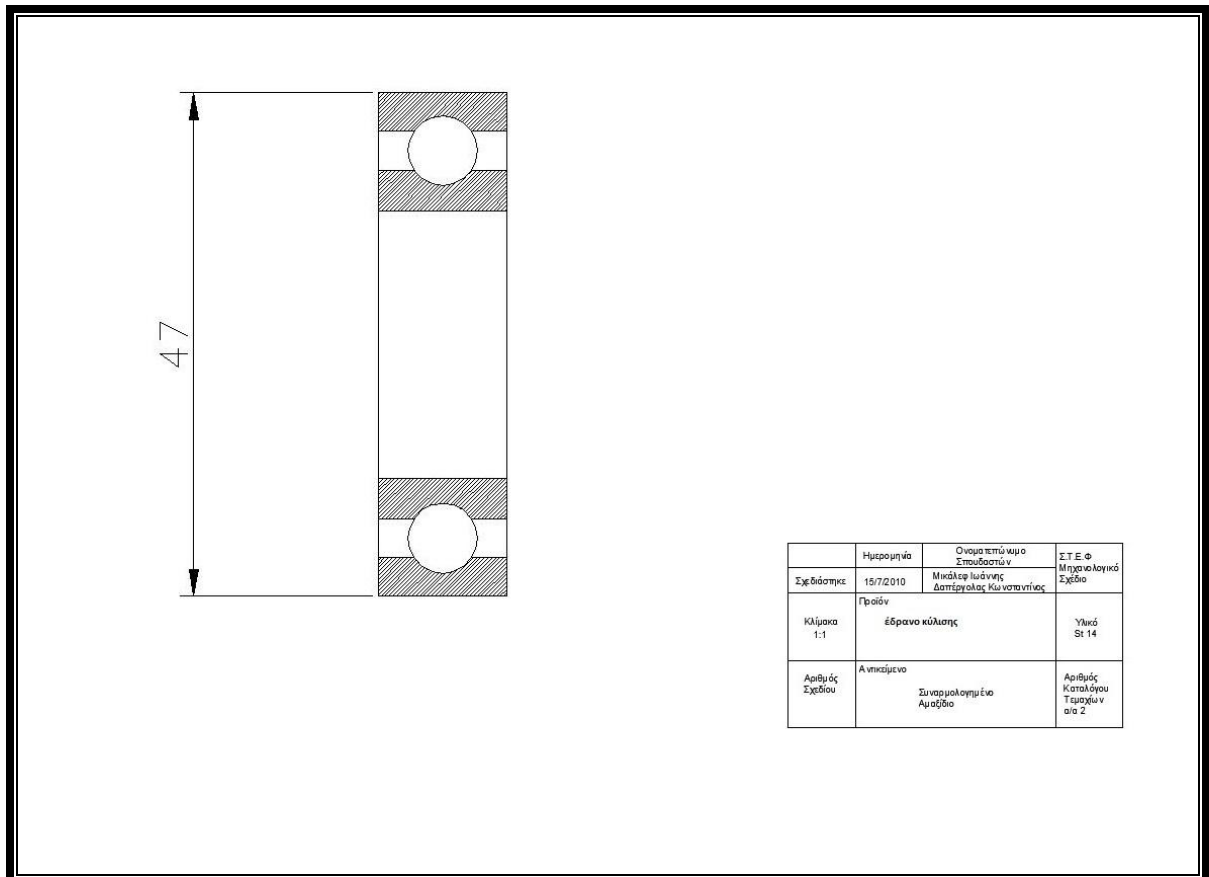


Σχήμα 2.16  
Λεπτομέρεια συγκράτησης πίσω τροχού

Εδώ παρουσιάζεται το έδρανο κύλισης σε πλάγια όψη. Ξεχωρίζουν οι ακτίνες των οπίσθιων οι οποίες στηρίζονται περιμετρικά του άξονα κύλισης.

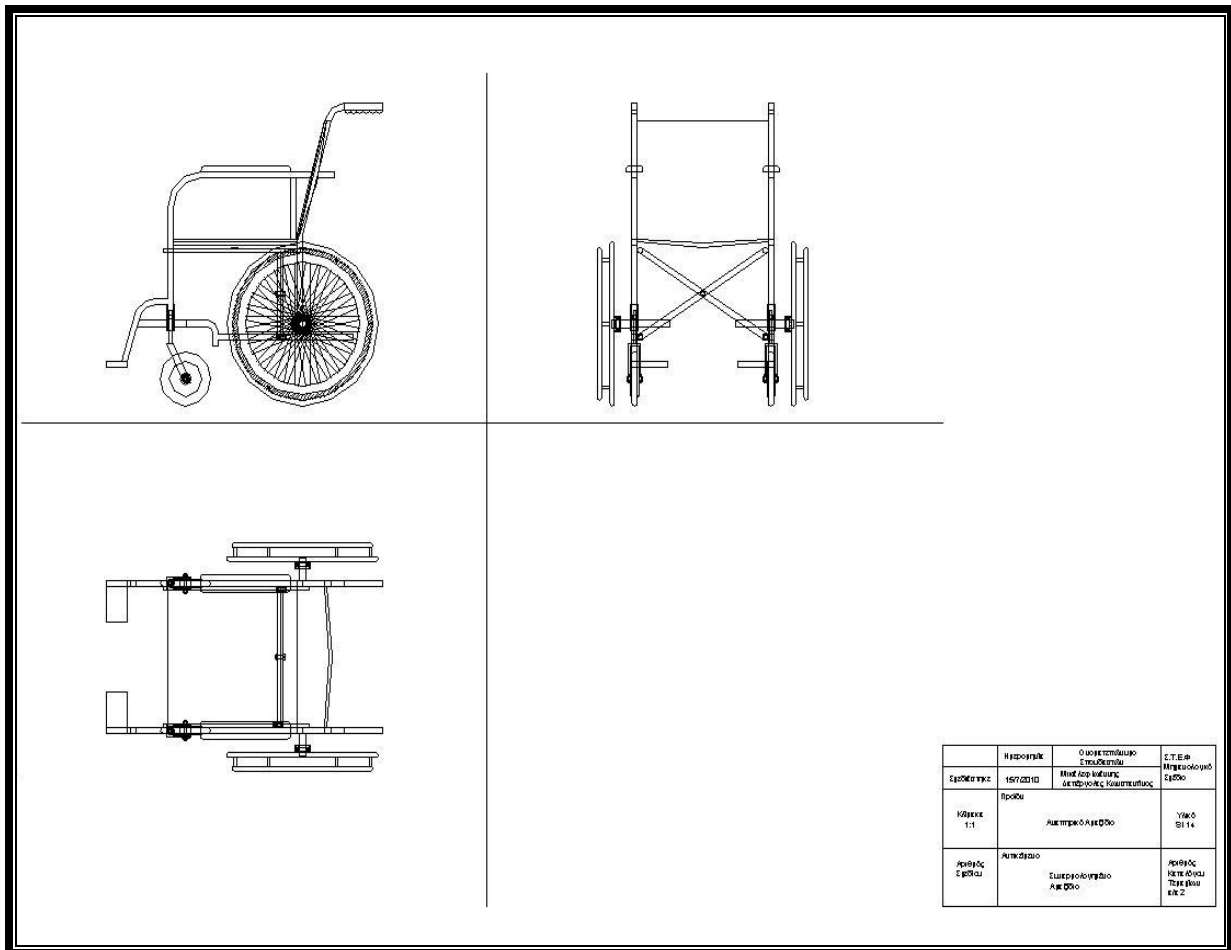


Σχήμα 2.17  
Έδρανο κύλισης πίσω τροχού (πρόσωση).



Σχήμα 2.18  
Έδρανο κύλισης πίσω τροχού (πλάγια όψη).

## 2.7 ΑΝΑΠΗΡΙΚΟ ΑΜΑΞΙΔΙΟ ΣΕ ΤΡΕΙΣ ΎΦΕΙΣ



Σχήμα 2.19

Οι τρεις όψεις του αναπηρικού αμαξιδίου: πρόσοψη κάτοψη και πλάγια όψη.

### 3 . ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΜΟΡΦΗΣ ΑΜΑΞΙΔΙΟΥ

Για την διευκόλυνση της παρουσίασης και για να γίνει περισσότερο κατανοητή, έχει σχεδιαστεί το καροτσάκι σε τρισδιάστατη μορφή. Το αναπηρικό αμαξίδιο απεικονίζεται στην εικόνα 1. Όπως είναι φανερό περιλαμβάνει βοηθητικά χερούλια για μετακίνηση από τρίτο πρόσωπο, υποπόδια, μαξιλάρια για τα άνω άκρα του χρήστη, και βοηθητικά φρένα και στους δύο οπίσθιους τροχούς. Οι τροχοί μπροστά είναι συμπαγείς ενώ πίσω είναι ακτινωτοί.



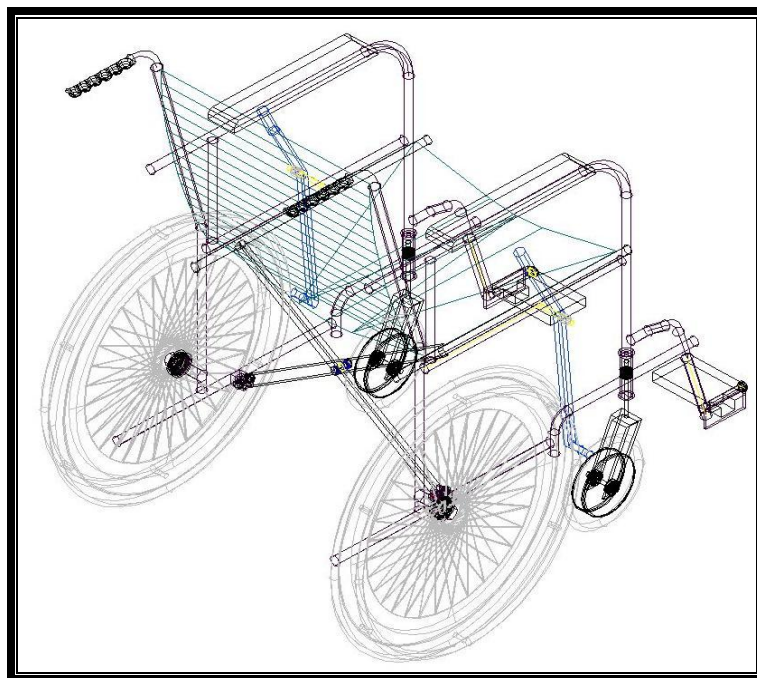
Εικόνα 3.1  
Αναπηρικό αμαξίδιο.



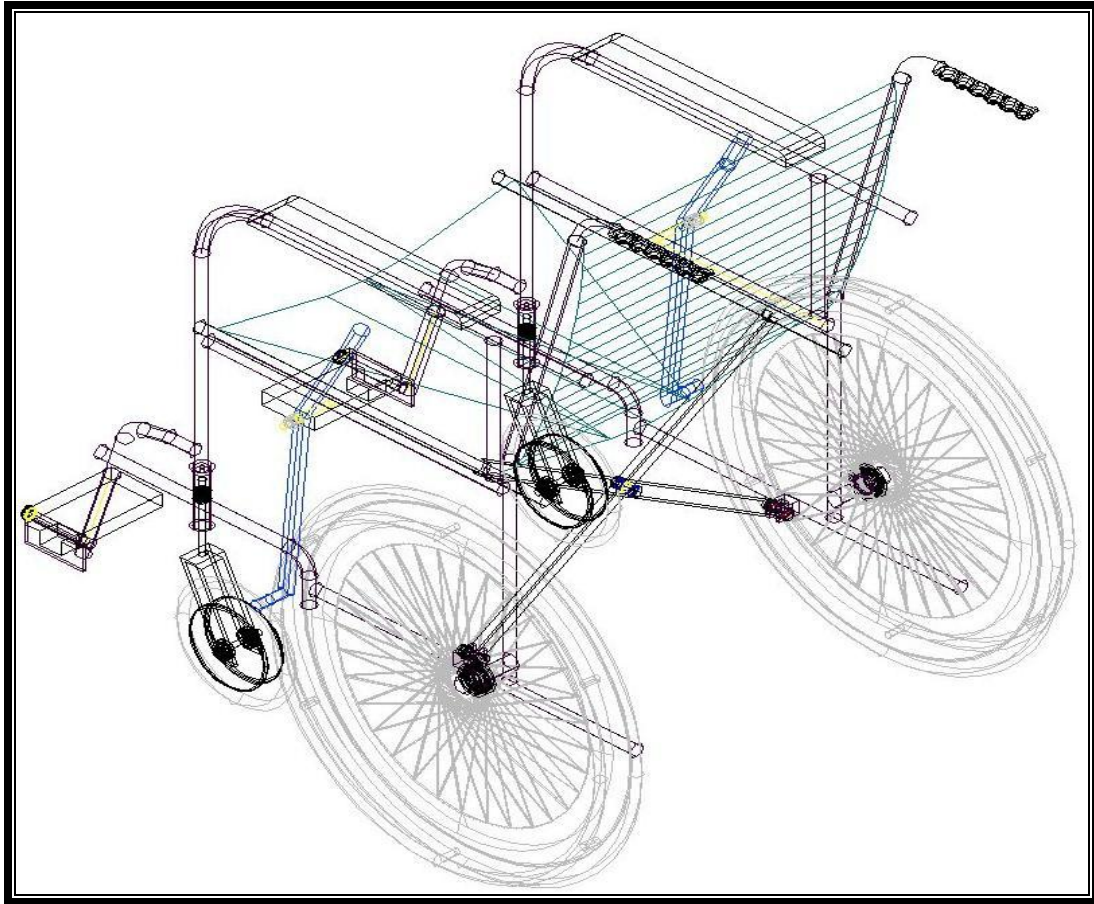


Εικόνα 3.2  
Από άλλη οπτική γωνία το αναπηρικό αμαξίδιο

Στην εικόνα 2 διακρίνεται καλύτερα η δυνατότητα αναδίπλωσης του αμαξιδίου με τη βοήθεια της χιαστής. Ενδεικτικά παρατίθενται μερικές ακόμα φωτογραφίες του αμαξιδίου.

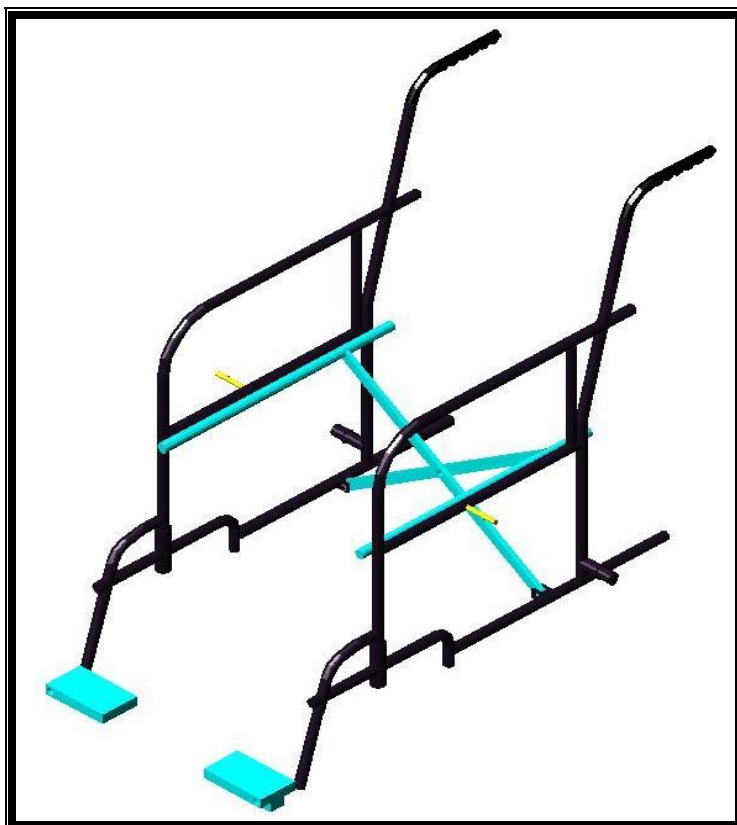


Εικόνα 3.3  
Αναπηρικό αμαξίδιο σε 3D wireframe.



Εικόνα 3.4  
Αναπηρικό αμαξίδιο σε 3D wireframe από άλλη οπτική γωνία.

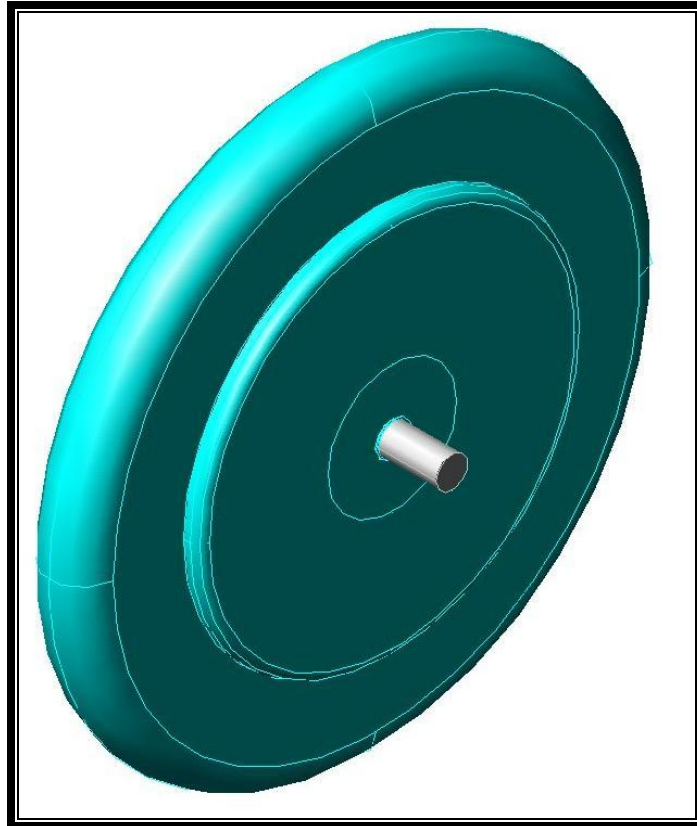
### 3.1 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΜΟΡΦΗΣ ΣΚΕΛΕΤΟΥ



Εικόνα 3.5  
Σκελετός αμαξιδίου με τις χιαστές και τα υποπόδια.

Εδώ παρουσιάζεται η τρισδιάστατη μορφή του σκελετού χωρίς τα λοιπά μέρη. Περιλαμβάνεται και η χιαστή σε διαφορετικό χρώμα ώστε να είναι ευδιάκριτη, καθώς όπως και τα υποπόδια. Ο σκελετός περιλαμβάνει όλες τις βάσεις όπου τοποθετούνται τα υπόλοιπα εξαρτήματα. Επίσης είναι το βασικότερο κομμάτι της πτυχιακής εργασίας καθώς είναι αυτός ο οποίος θα μελετηθεί όσον αναφορά την αντοχή του.

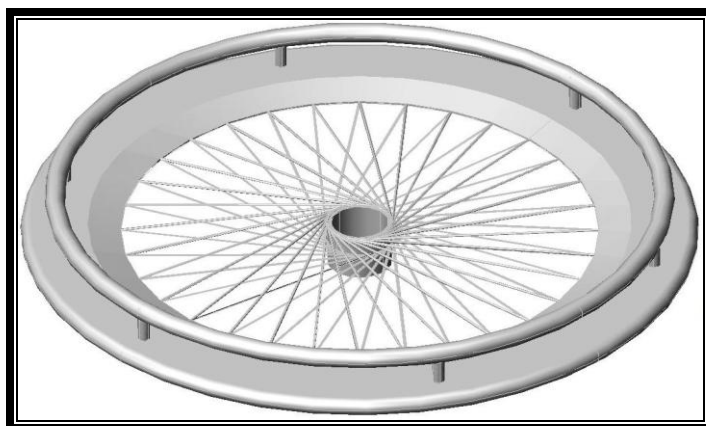
### 3.2 ΕΜΠΡΟΣΘΙΟΣ ΤΡΟΧΟΣ ΜΕ ΑΞΟΝΑ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗΣ



Εικόνα 3.6  
Εμπρόσθιος τροχός.

Ο εμπρός τροχός είναι συμπαγής και περιλαμβάνει άξονα ο οποίος στηρίζεται στο εμπρόσθιο ψαλίδι. Οι μπροστινοί τροχοί εκτός από κύλιση, αναλαμβάνουν και τον προσανατολισμό του καροτσιού, καθώς στηρίζονται σε ένα ψαλίδι το οποίο έχει δυνατότητα περιστροφής γύρω από τον άξονά του.

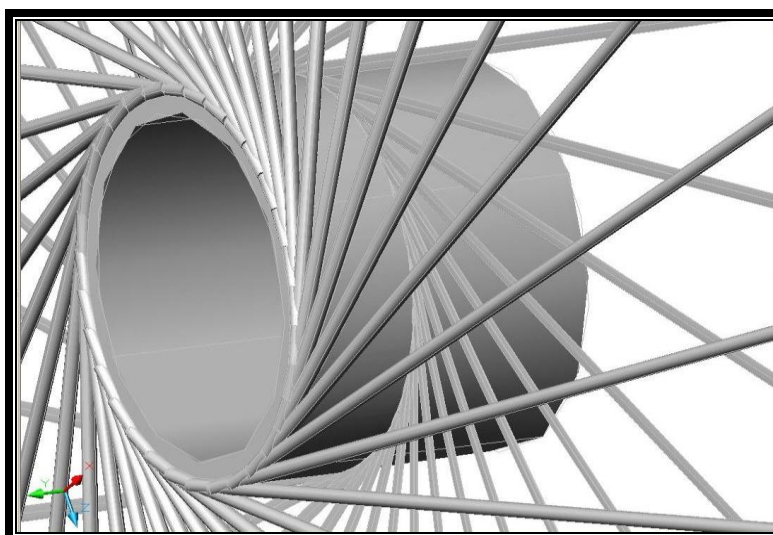
### 3.3 ΟΠΙΣΘΙΟΣ ΤΡΟΧΟΣ ΜΕ ΠΕΡΙΜΕΤΡΙΚΗ ΛΑΒΗ ΥΠΟΒΟΗΘΗΣΗΣ ΚΥΛΙΣΗΣ



Εικόνα 3.7α  
Οπίσθιος τροχός.

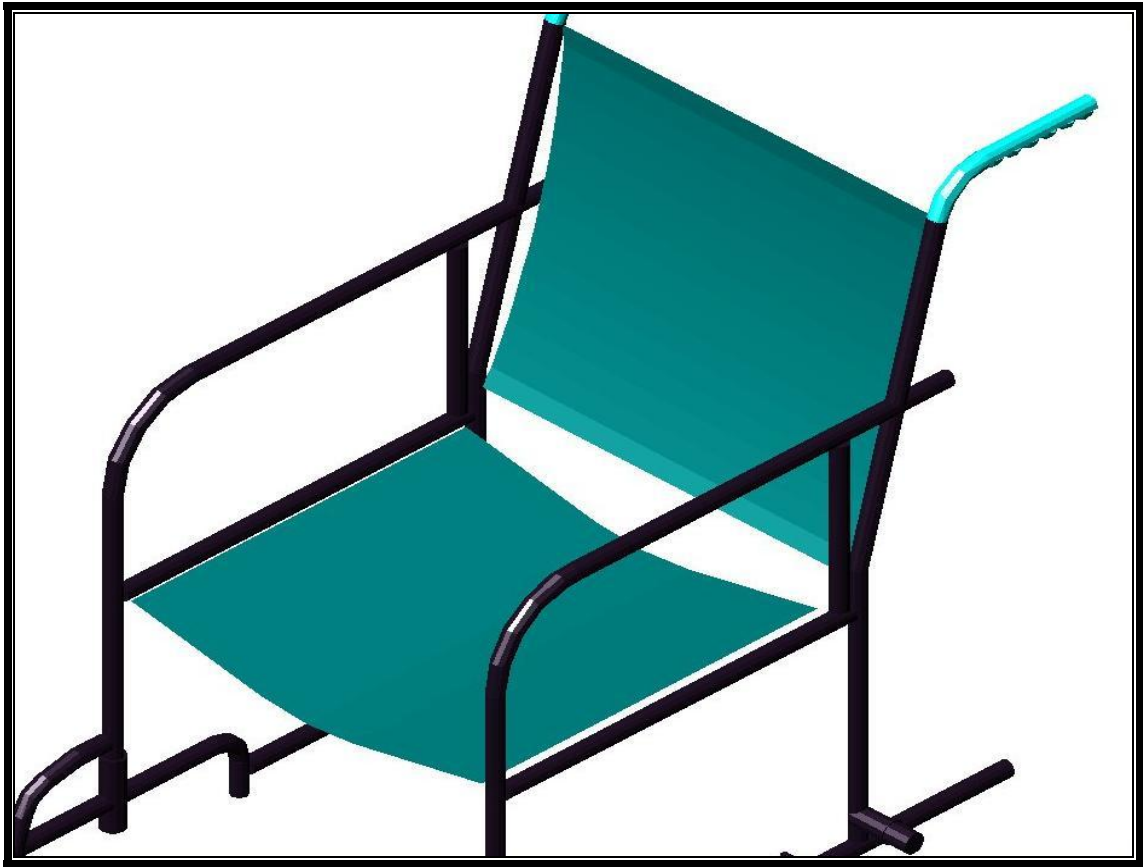
Ο οπίσθιος τροχός, ο οποίος είναι ακτινωτός με ζάντα ελαφρού κράματος για μικρότερο βάρος. Το ελαστικό που περιλαμβάνει είναι με αεροθάλαμο για μεγαλύτερη άνεση αλλά και μικρότερο βάρος.

Προσαρμοσμένο είναι επίσης ένα βοηθητικό χερούλι το οποίο εξυπηρετεί στην ώθηση του αμαξιδίου για την μετακίνησή του. Η ώθηση αυτή δίνεται από τον χρήστη με τα άνω άκρα του. Στον πίσω τροχό εμπλέκεται και το σύστημα πέδησης.



Εικόνα 3.7β  
Λεπτομέρεια σύνδεσης οπίσθιου τροχού με ακτίνες.

### 3.4 ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΘΙΣΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΣΤΗΡΙΞΕΩΣ



Εικόνα 3.8  
Κάθισμα αμαξιδίου.

Το κάθισμα αποτελείται από δέρμα ώστε να είναι ελαστικό και να έχει αντοχή στο χρόνο. Στηρίζεται πάνω στον σκελετό ο οποίος είναι αναδιπλούμενος και απαιτεί υλικό σχετικά εύπλαστο.



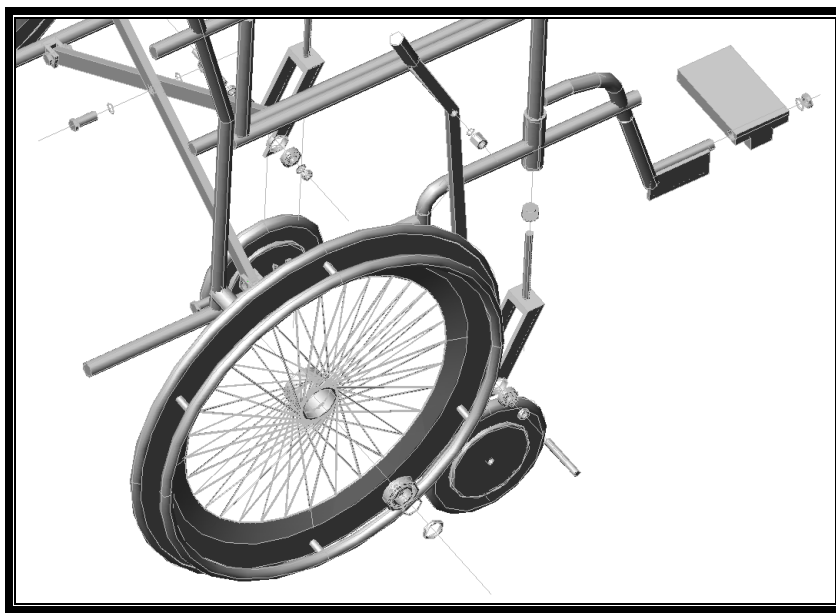
## 4. ΣΧΕΔΙΑ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ

Το κάθε εξάρτημα που αποτελεί το αμαξίδιο έχει ένα συγκεκριμένο τρόπο σύμφωνα με τον οποίο εφαρμόζει και 'κουμπώνει' πάνω στο σκελετό. Στην τρισδιάστατη σχεδίαση αυτό παρουσιάζεται με βοηθητικές γραμμές και εξυπηρετεί στην πλήρη κατανόηση των σχεδίων όσο αναφορά την συνδεσιμότητα τους.



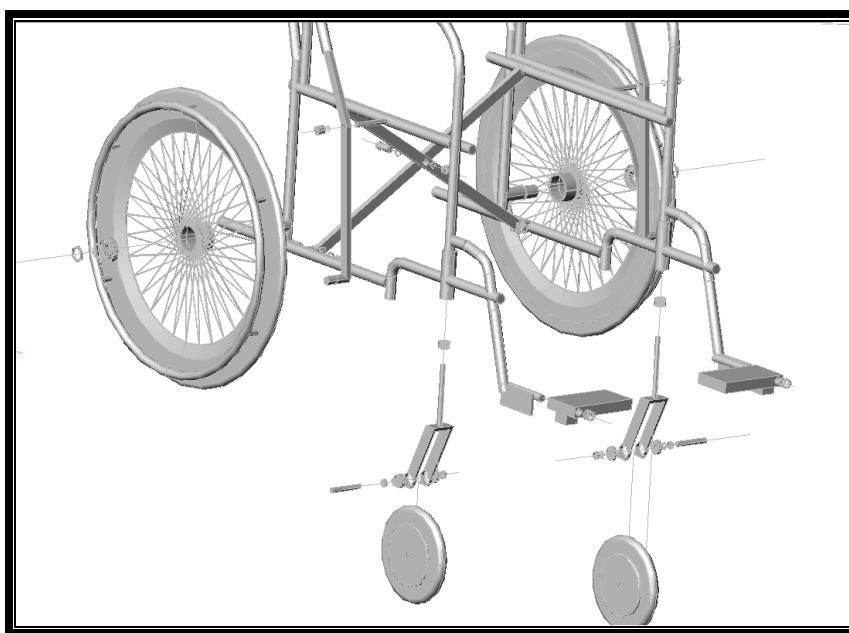
Εικόνα 4.1

Σε αυτή την ολοκληρωμένη εικόνα παρουσιάζονται όλα τα εξαρτήματα και ο τρόπος που συνδέονται με τον σκελετό. Εκτενέστερη ανάλυση παρουσιάζεται στις επόμενες εικόνες.



Εικόνα 4.2

Σε αυτήν την εικόνα παρουσιάζεται το αμαξίδιο από πλάγια όψη. Φαίνονται αποσυναρμολογημένα: η πίσω και η εμπρός ρόδα με το ψαλίδι της, το υποπόδιο, η χιαστή και το φρένο.

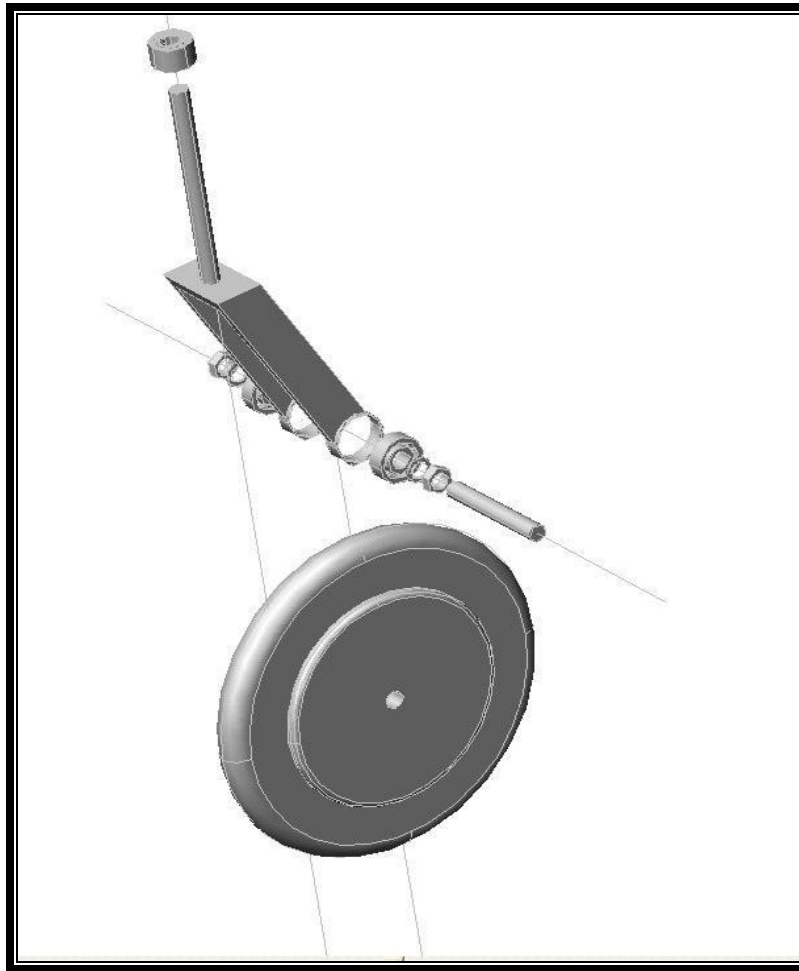


Εικόνα 4.3

Άλλη μια όψη του αμαξιδίου αποσυναρμολογημένο , χωρίς το κάθισμα του αναβάτη.

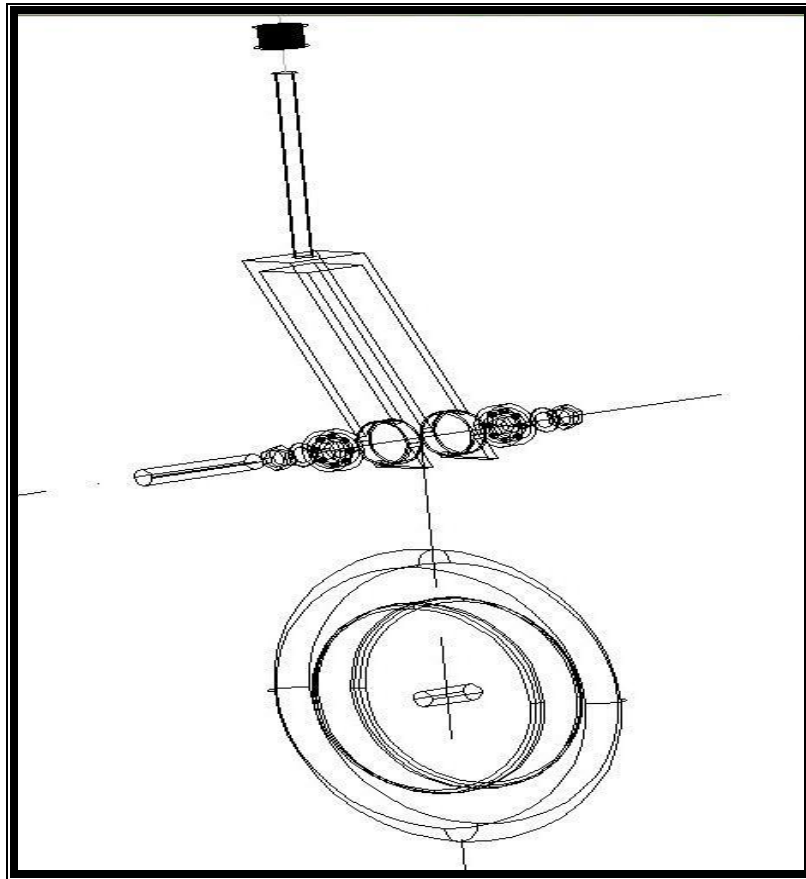


#### 4.1 ΕΜΠΡΟΣΘΙΟ ΨΑΛΙΔΙ ΜΕ ΤΡΟΧΟ

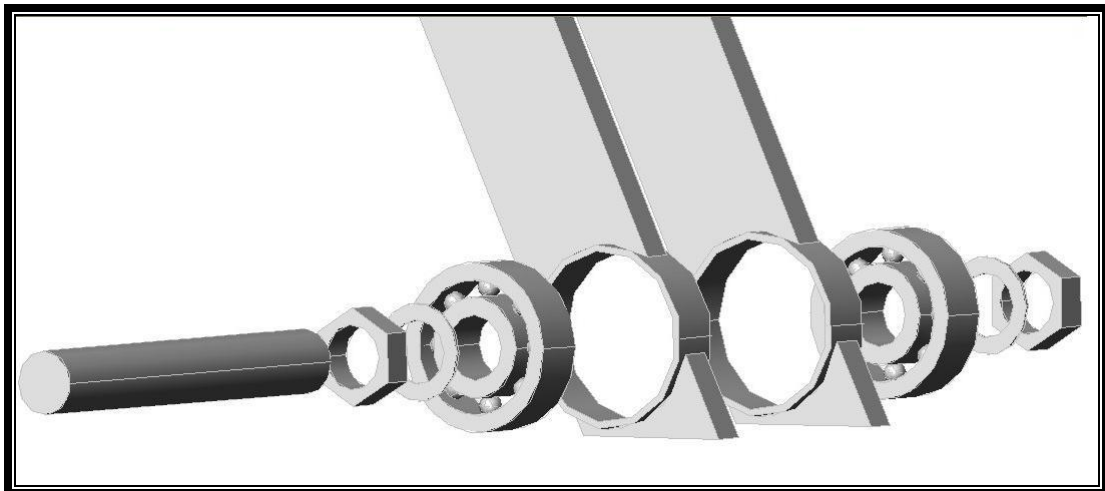


Εικόνα 4.4

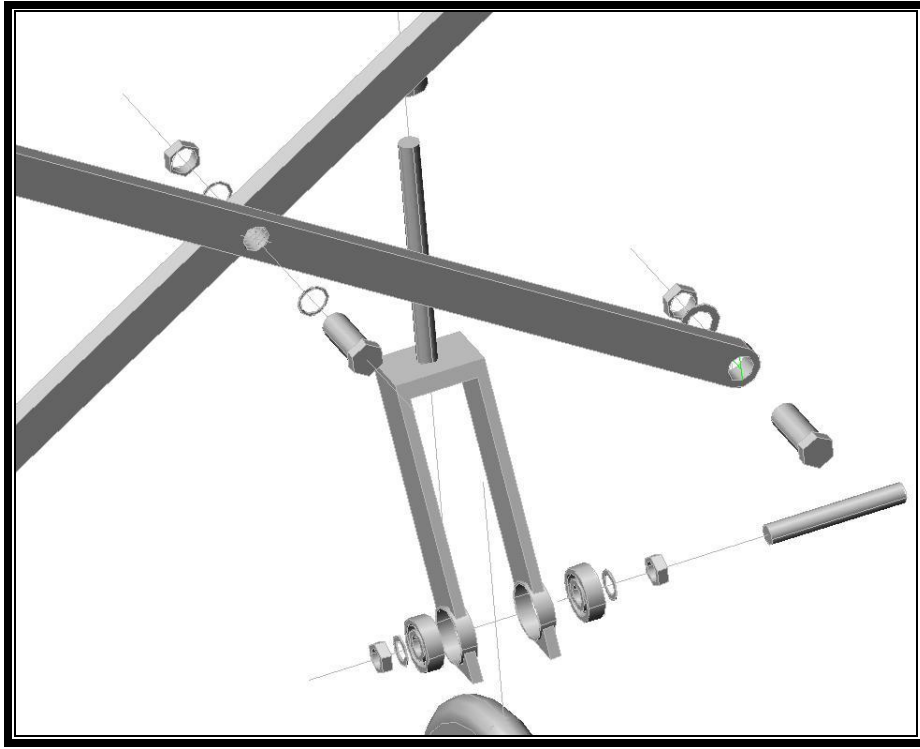
Εδώ παρουσιάζεται το εμπρόσθιο ψαλίδι στο οποίο εφαρμόζει ο τροχός. Υπάρχει άξονας ο οποίος περνά από το κέντρο του τροχού και διαπερνά το διάτρητο ψαλίδι. Έδρανα κύλισης βοηθούν στην ομαλή κύλιση και μειώνουν τις τριβές που ασκούνται στον άξονα λόγω του βάρους. Επίσης υπάρχει ένα ακόμα έδρανο κύλισης στο πάνω μέρος του άξονα του ψαλιδιού το οποίο βοηθάει στην εύκολη αλλαγή διεύθυνσης του αμαξιδίου κατά την κύλιση του.



Εικόνα 4.5  
Εμπρόσθιο ψαλίδι

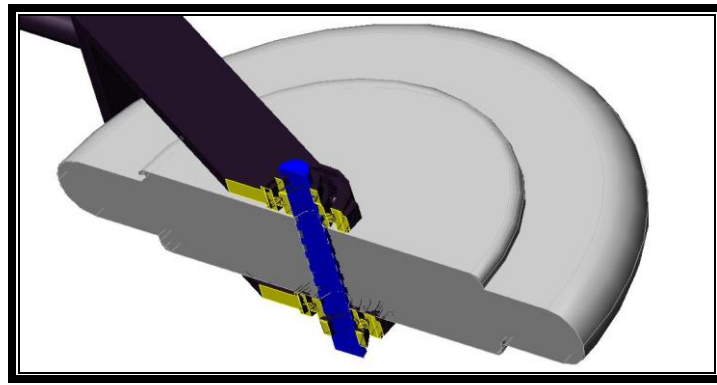


Εικόνα 4.6  
Συναρμολόγηση εμπρόσθιου άξονα και εδράνου κύλισης.



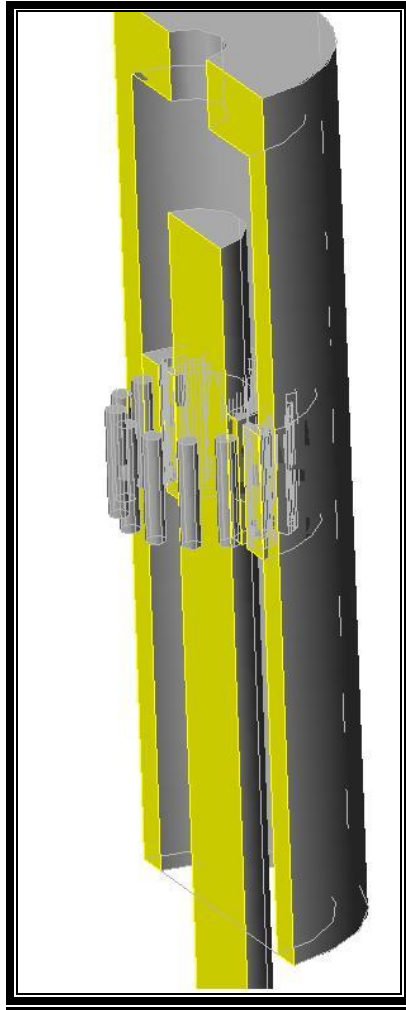
Εικόνα 4.7

Σε αυτή την φωτογραφία φαίνεται η συναρμολόγηση του εμπρόσθιου τροχού καθώς και η χιαστή του αμαξιδίου.

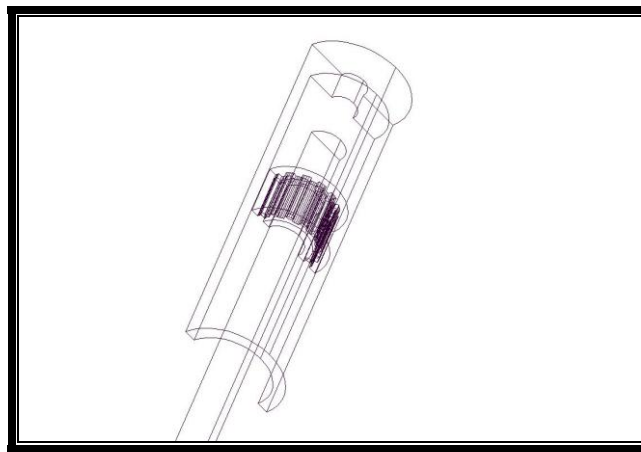


Εικόνα 4.8

Εδώ παρουσιάζεται τομή του εμπρόσθιου τροχού. Διακρίνονται ο άξονας της ρόδας καθώς και τα έδρανα κύλισης.

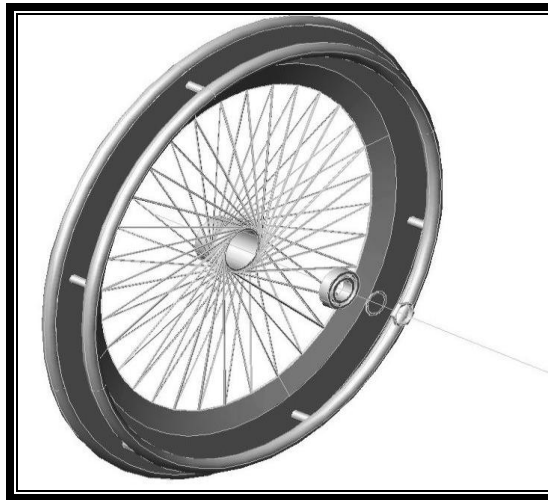


Εικόνα 4.9  
Τομή ψαλιδιού μέσα στον κορμό του σκελετού.



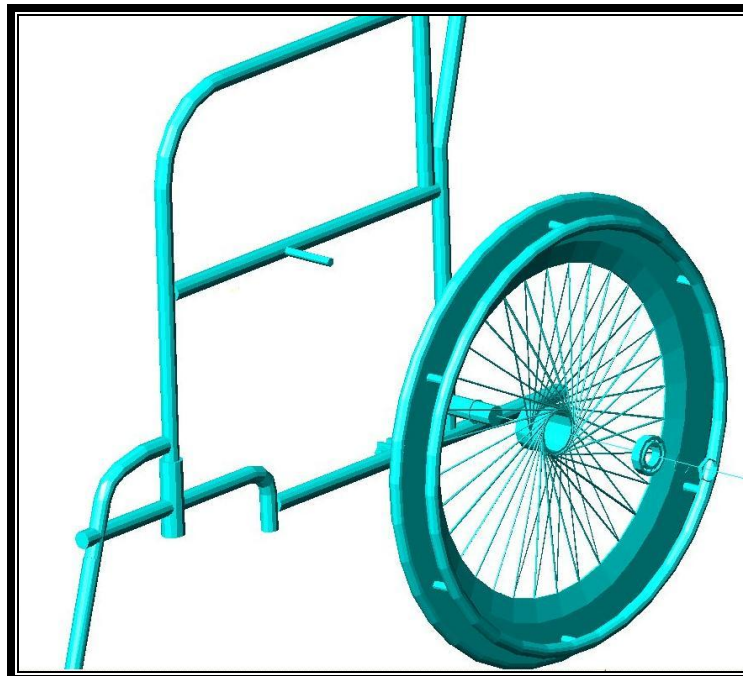
Εικόνα 4.10  
Τομή ψαλιδιού μέσα στον κορμό του σκελετού σε “2D Wireframe”.

## 4.2 ΟΠΙΣΘΙΟΣ ΤΡΟΧΟΣ ΜΕ ΕΔΡΑΝΟ ΚΥΛΙΣΗΣ



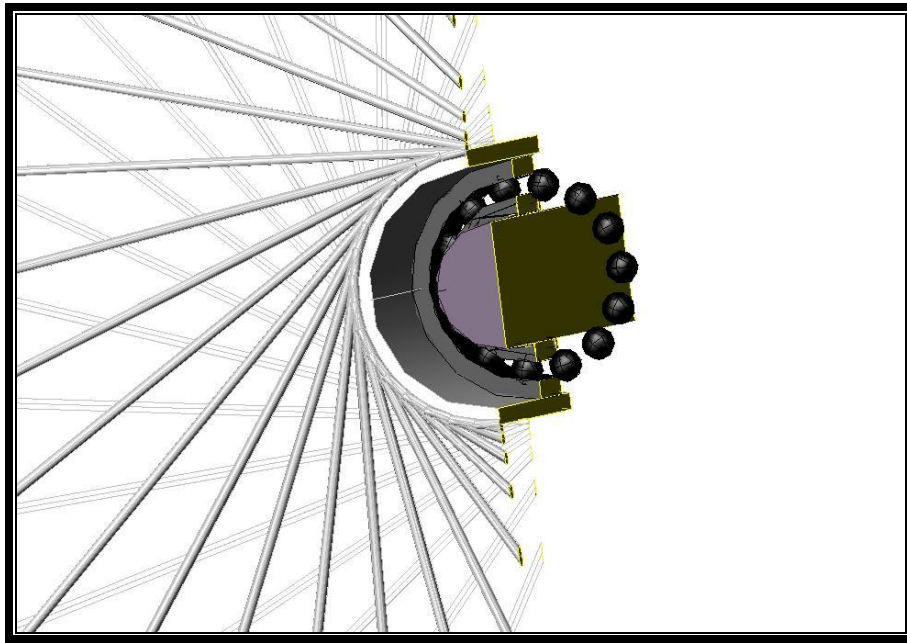
Εικόνα 4.11

Στον οπίσθιο τροχό υπάρχει έδρανο κύλισης το οποίο στηρίζεται στον άξονα όπου είναι προσαρμοσμένος επάνω στον σκελετό με την μέθοδο της συγκόλλησης.



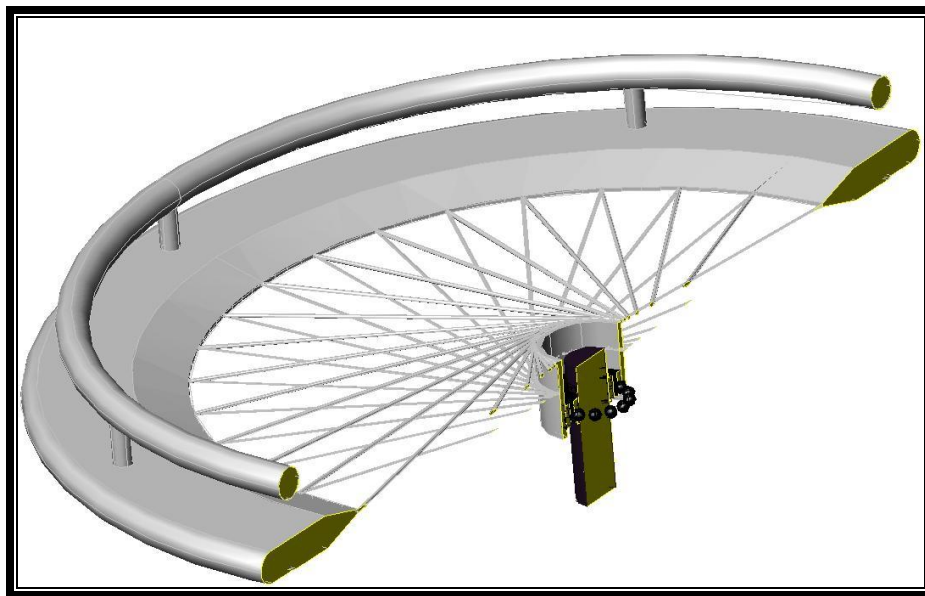
Εικόνα 4.12

Σκελετός αμαξιδίου με οπίσθιο τροχό και έδρανο κύλισης.

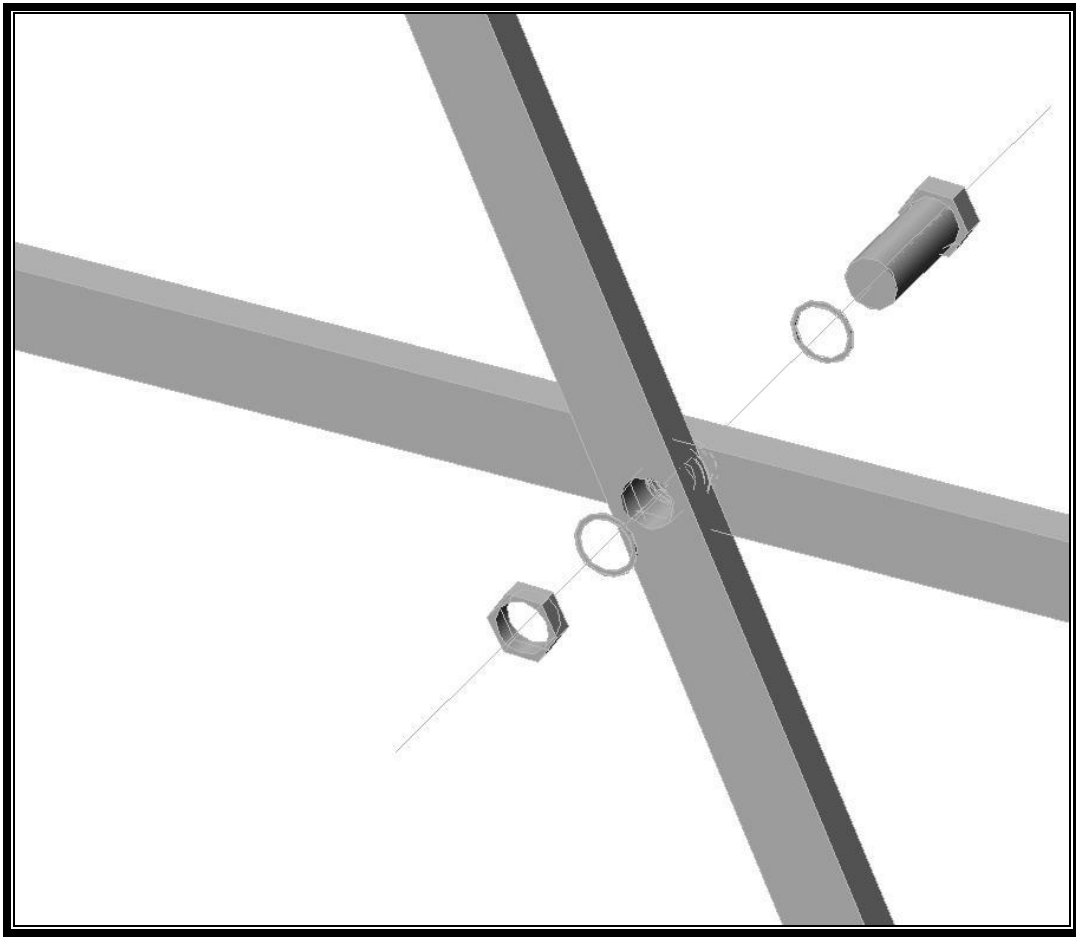


Εικόνα 4.13

Τομή πίσω τροχού. Διακρίνεται καθαρά το έδρανο κύλισης και πως αυτό συνεργάζεται με τον τροχό και τον άξονα του αμαξιδίου.



Εικόνα 4.14  
Τομή πίσω τροχού.



Εικόνα 4.15  
Χιαστή αμαξιδίου.

## 5. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Η μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων είναι μια αριθμητική μέθοδος για τον υπολογισμό προσεγγιστικών λύσεων μερικών διαφορικών εξισώσεων.

Αυτή η μέθοδος είναι μεν προσεγγιστική, αλλά μπορεί να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα και έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να εφαρμοστεί σε όλα τα προβλήματα. Η επιτυχία αυτής της μεθόδου είναι τόσο μεγάλη, που ακόμα και σήμερα χρησιμοποιείται στην έρευνα και στην βιομηχανία για τον υπολογισμό και τη μελέτη διάφορων κατασκευών.

Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων είναι υπολογιστική μέθοδος η οποία επιλύει με προσεγγιστικές και αριθμητικές μεθόδους τις θεμελιώδεις εξισώσεις που διέπουν μία ευρεία ομάδα προβλημάτων συνεχούς μέσου (πχ. προβλήματα παραμορφώσιμων στερεών, ανάλυση κατασκευών και δομικών στοιχείων, μετάδοσης θερμότητας, μηχανικής ρευστών, κλπ) τα οποία έχουν αυθαίρετη γεωμετρία, συνοριακές συνθήκες και φόρτιση. Ανάμεσα στα κύρια χαρακτηριστικά τα οποία την ξεχωρίζουν από άλλες προσεγγιστικές και αριθμητικές μεθόδους, είναι ότι για την διακριτοποίηση του προβλήματος βασίζεται στον συνδυασμό μεταβαλλόμενων (variational) μορφών εξισώσεων ισορροπίας και τοπικών προσεγγίσεων οι οποίες ισχύουν σε περιορισμένη (η πεπερασμένη) περιοχή του μέσου, η οποία ονομάζεται πεπερασμένο στοιχείο. Επανάληψη της τοπικής διακριτοποίησης στον υπολοιπο χώρο του μέσου καταλήγει στην διακριτοποίηση του προβλήματος σε ισοδύναμες διακριτές εξισώσεις και στην προσεγγιστική λύση τους με τεχνικές γραμμικής άλγεβρας. Για να εφαρμοστεί η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων απαιτούνται τα εξής στάδια:

1. Εισάγεται η γεωμετρία της κατασκευής σε ένα πρόγραμμα CAD και δημιουργείται το τρισδιάστατο μοντέλο.
2. Χωρίζεται το μοντέλο σε πεπερασμένα στοιχεία και αφού ετοιμαστεί το πλέγμα επιλέγεται το είδος της επίλυσης και εισάγονται τα επιπλέον δεδομένα που απαιτούνται. Παραδείγματος χάριν, αν επιλεγεί να λυθεί το μοντέλο σε στατική καταπόνηση θα πρέπει να δοθούν τα δεδομένα για τις δυνάμεις και τις στηρίξεις. Αυτή η διαδικασία γίνεται με προγράμματα που αποκαλούνται pre processor.
3. Όταν ετοιμαστούν τα δεδομένα για επίλυση, εισάγονται σε ένα πρόγραμμα το οποίο θα κάνει την επίλυση του προβλήματος. Τέτοιου είδους προγράμματα λέγονται solver και χρησιμοποιούν για τις επιλύσεις αριθμητικές μεθόδους.
4. Όταν τελειώσει η επίλυση τα αποτελέσματα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα πρόγραμμα, που αποκαλείται post processor, για να μπορέσει ο μελετητής να δει τα αποτελέσματα.

Οι πρώτες αναφορές στην μέθοδο των Πεπερασμένων Στοιχείων (ΠΣ) βασίζονται στην μητρική μέθοδο (matrix method) και προέρχονται από έρευνα στην ανάλυση αεροπορικών κατασκευών, ταυτίζονται δε με την ανάπτυξη των πρώτων στοιχειωδών συστημάτων ηλεκτρονικών υπολογιστών. Ο HERNIKOFF (1941) παρουσίασε λύση προβλημάτων



ελαστικότητας με την μέθοδο του "frame work". Ο Courant (1943) χρησιμοποίησε συνεχείς κατά τμήματα συναρτήσεις με μεταβαλλόμενες (variational) μεθόδους για την λύση προβλημάτων στρέψης. Οι Turner, Clough και συνεργάτες (1956) παρουσίασαν μητρώα δυσκαμψίας για ράβδους και δοκούς. Ο Clough (1960) εισήγαγε τον ορο "πεπερασμένα στοιχεία (finite στοιχεία)". Οι Argyris (1955) και Zienkiewicz (1967) έγραψαν τα πρώτα βιβλία για την μέθοδο. Στις δεκαετίες 1960-70, η μέθοδος εφαρμόζεται σε προβλήματα ελαστικότητας, μεταφοράς θερμότητας, ρευστών και μη γραμμικά προβλήματα. Εμφανίζονται τα πρώτα πακέτα για ανάλυση με πεπερασμένα στοιχεία, NASTRAN, SAP, κλπ. Τα πακέτα τρέχουν σε κεντρικούς ΗΥ (mainframes) από μικρό αριθμό έμπειρων χρηστών.

Στη δεκαετία του 1980, η μέθοδος αρχίζει να εφαρμόζεται ευρέως και να χρησιμοποιείται από μηχανικούς, μικρές επιχειρήσεις και πανεπιστήμια. Η ανάπτυξη οφείλεται στην ανάπτυξη των μικρών mainframes, workstations και των προσωπικών υπολογιστών (PCs). Η διαθεσιμότητα γραφικών περιβάλλοντων για την ευκολότερη ανάπτυξη μοντέλων και παρουσίαση (visualization) των αποτελεσμάτων συνέβαλε επίσης στη διάδοση της μεθόδου. Αρχίζει η ολοκλήρωση της μεθόδου σε περιβάλλοντα υπολογιστικού σχεδιασμού CAD/CAE (Computer Aided Design) και CAM (Computer Aided Manufacturing)

Στην δεκαετία του 1990 η μέθοδος εφαρμόζεται σε πολύπλοκα προβλήματα ρευστομηχανικής, συζευγμένα προβλήματα πολλαπλών πεδίων & περιοχών (coupled multidisciplinary analysis), και στην επίλυση προβλημάτων μεγάλης κλίμακας σε παράλληλους υπολογιστές (parallel computers). Γίνεται ευρεία χρήση της μεθόδου στην ανάλυση και σχεδιασμό σε προσωπικούς υπολογιστές και σταθμούς εργασίας (workstations). Η ολοκλήρωση της μεθόδου σε περιβάλλοντα CAD και CAM γίνεται σχεδόν χωρίς προβλήματα συμβατότητας και ανταλλαγής δεδομένων.

## **5.1 ΣΤΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΣΚΕΛΕΤΟΥ ΑΜΑΞΙΔΙΟΥ**

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει μία λεπτομερής παρουσίαση του αμαξιδίου όσο αναφορά τη στατική μελέτη του σκελετού, και τα σημεία τα οποία καταπονούνται περισσότερο. Πραγματοποιήθηκε μια πληθώρα μελετών, στις οποίες χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικά δεδομένα, όσο αναφορά το πλήθος των κόμβων όπου διαχωρίστηκε η κάθε δοκός, όπως και οι διάμετροί τους. Τα φορτία τοποθετήθηκαν στα υποπόδια και στις δοκούς όπου στηρίζεται το πανί. Θεωρήθηκε το βάρος ενός ατόμου με ειδικές

ανάγκες, στα εκατό κιλά (100 Kg), έτσι και το συνολικό φορτίο υπολογίστηκε από τον τύπο

$$B = m \times g$$

$$B = 100 \text{ [Kg]} \times 10 \text{ [m/s}^2\text{]} = 1000 \text{ [Nt]}$$

Στη μελέτη χρησιμοποιήθηκε φορτίο ύψους 1400 [Nt] ουτοσώστε να καλυφτεί μεγαλύτερο εύρος ατόμων με ειδικές ανάγκες. Φυσικά το φορτίο μοιράστηκε άλλοτε σε 4 σημεία των δοκών όπου δέχονται την κύρια φόρτιση ( 4 x 350[Nt] ), και άλλοτε σε 2 σημεία (2 x 700 [Nt]). Στα υποπόδια χρησιμοποιήθηκε συνολικό φορτίο ύψους 100 [Nt] μοιρασμένο σε 2 x 50 [Nt]. Έχει χρησιμοποιηθεί πάκτωση στο 'πίσω' μέρος όπου στηρίζονται οι οπίσθιοι τροχοί, και άρθρωση στο εμπρόσθιο μέρος, διότι εάν είχε χρησιμοποιηθεί πάκτωση σε όλα τα σημεία το σύστημα θα ήταν υπερστατικό

## Ιδιότητες Υλικών

	αν. Χάλυβας	αλουμίνιο	αν. Χάλυβας
Εξ. διάμετρος mm..	20.5	20.5	10
Πάχος τοιχώματος	2	2	1
Λόγος Poisson	0.3	0.33	0.3
Μ. Ελαστ. Gra	210	70	210

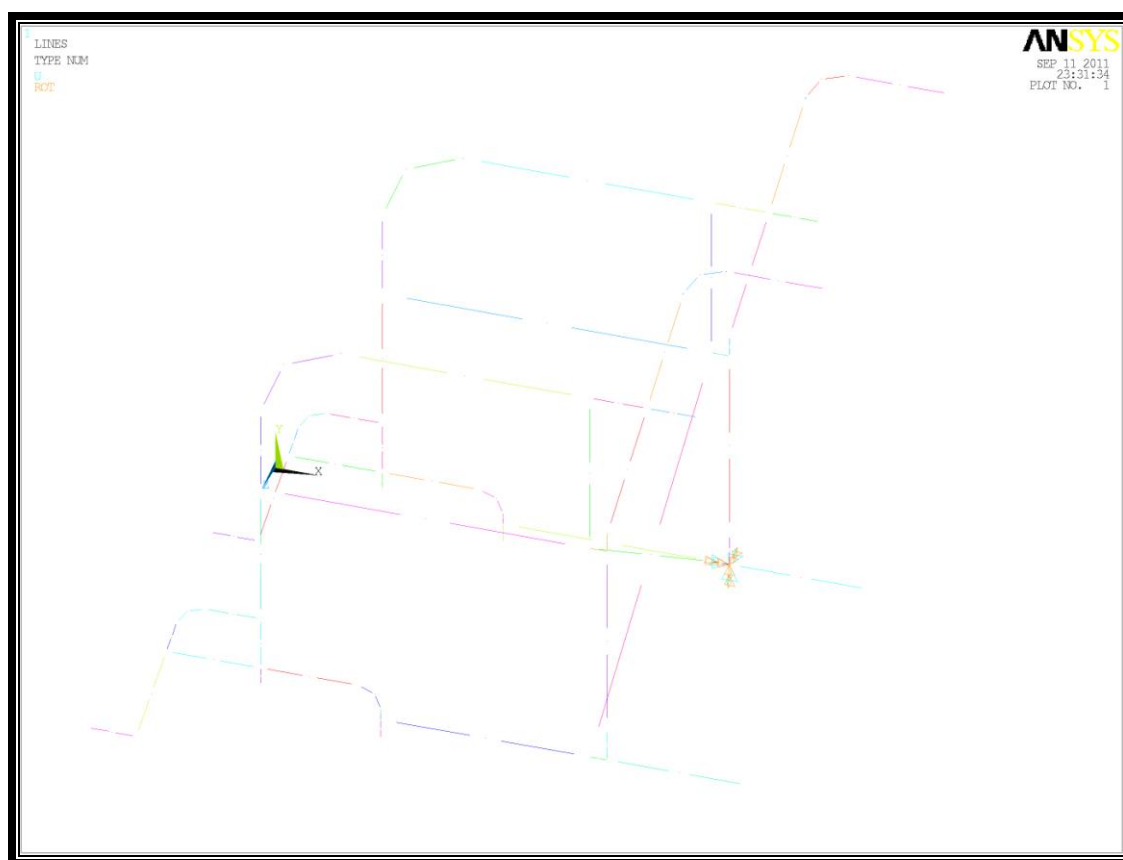
Πίνακας 5.1. Ιδιότητες υλικών

Στον πίνακα των υλικών παρουσιάζονται τα υλικά τα οποία χρησιμοποιήσαμε κατά την μελέτη του αμαξιδίου καθώς και τα χαρακτηριστικά τους.

## 5.2 ΜΕΛΕΤΗ 1η ΣΕ 2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ

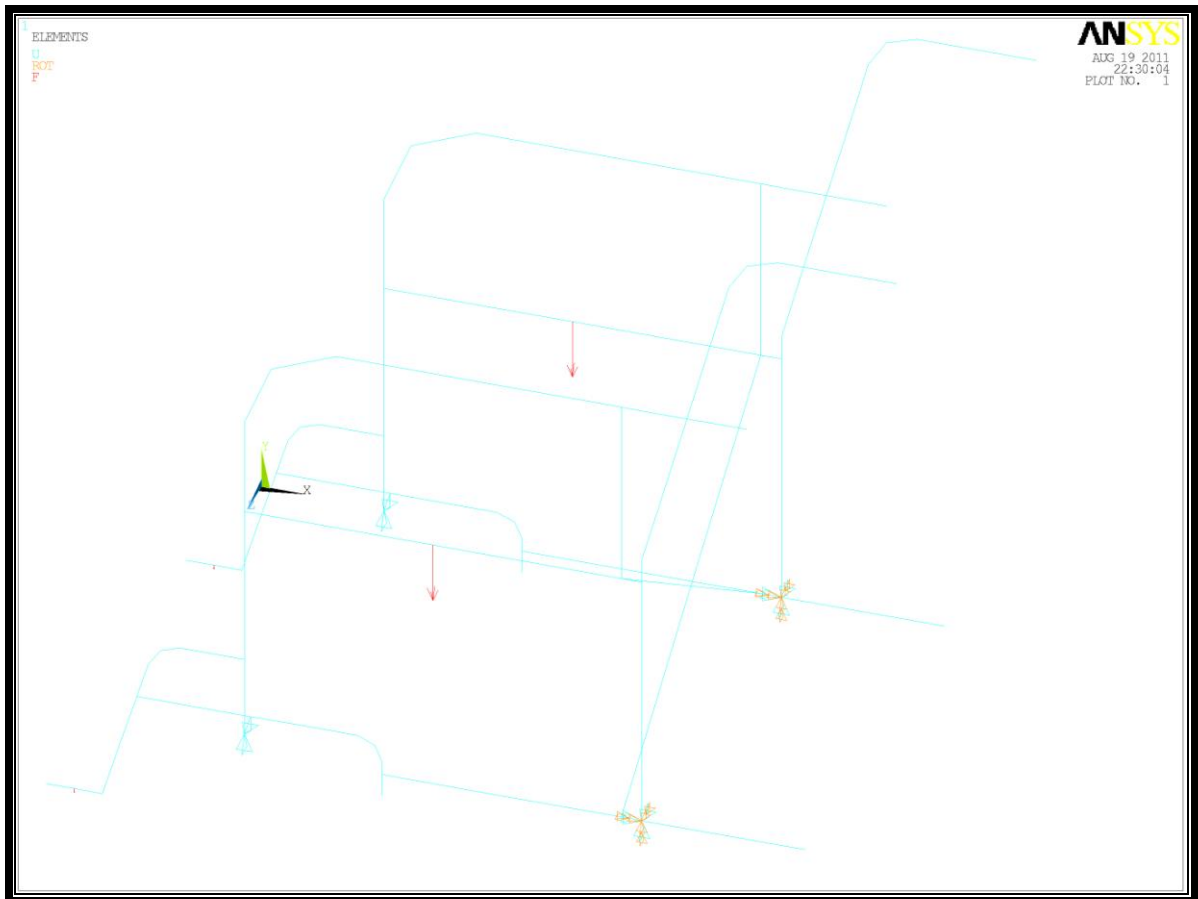
### 5.2.1 Δύο στοιχεία με μια δύναμη σε κάθε δοκό.

Στην επόμενη στατική μελέτη έχει διαχωριστεί σε 2 στοιχεία δηλαδή η κάθε δοκός έχει χωριστεί σε 2 κομμάτια. Είναι η «απλούστερη» μέθοδος με ίσως το μεγαλύτερο σφάλμα το οποίο θα μπορούσε να δοθεί, για αυτόν τον λόγο και στο τέλος θα πραγματοποιηθεί σχετικός πίνακας όπου τα αποτελέσματα θα αναλύονται και θα συγκρίνονται τυχών αποκλίσεις.



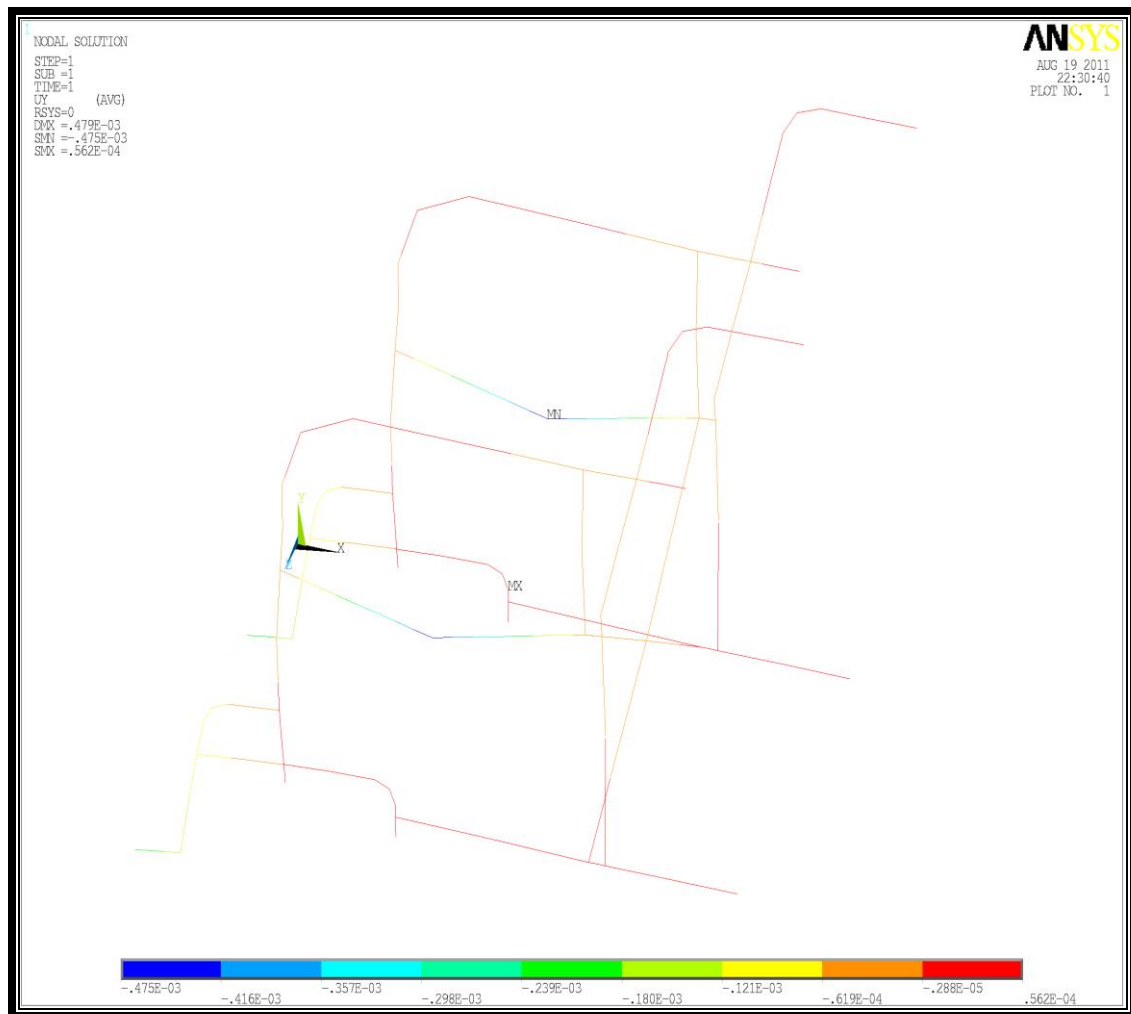
Σχήμα 5.1. Διακριτοποίηση σε 2 στοιχεία.

Στο σχήμα 5.1 παρατηρείται ότι η κάθε δοκός χωρίζεται σε 2 στοιχεία.



Σχήμα 5.2. Εφαρμογή φορτίων και συνθηκών στήριξης.

Ο σκελετός του αμαξιδίου απεικονίζεται σε μπλε χρώμα και οι δυνάμεις σε κόκκινο, είναι 2 συνολικά, οι δύο στις κεντρικές δοκούς όπου αντικαθιστούν τον αναβάτη, και 2 πολύ μικρότερες στα υποπόδια όπου αντικαθιστούν τα άκρα του αναβάτη. Διακρίνονται οι δύο πακτώσεις στην θέση των οπίσθιων τροχών και οι δύο κυλίσσεις στην θέση των εμπρόσθιων τροχών.



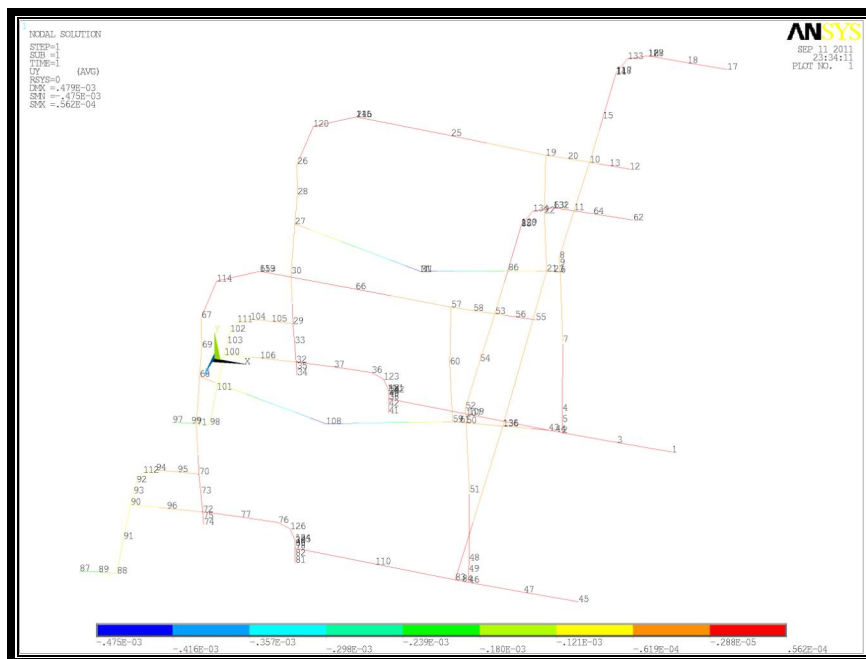
Σχήμα 5.3. Χρωματική αναπαράσταση μετατοπίσεων.

Στο σχήμα 5.3 απεικονίζονται οι επιπτώσεις των φορτίων στο σκελετό ανάλογα με το αποτέλεσμα τους όσο αναφορά στη μετατόπιση τους στον άξονα y. Σε μπλε χρώμα παρουσιάζονται οι μικρότερες τιμές και σε κόκκινο οι μεγαλύτερες.



Σχήμα 5.4. Σκελετός πριν και μετά την εφαρμογή φορτίων.

Εδώ παρουσιάζεται με το μαύρο χρώμα ο σκελετός πριν τις τοποθετηθούν τα φορτία, και με το μπλε χρώμα μετά τα φορτία. Οι μετατοπίσεις παρατίθενται σε υπερβολή για την καλύτερη κατανόηση τους.

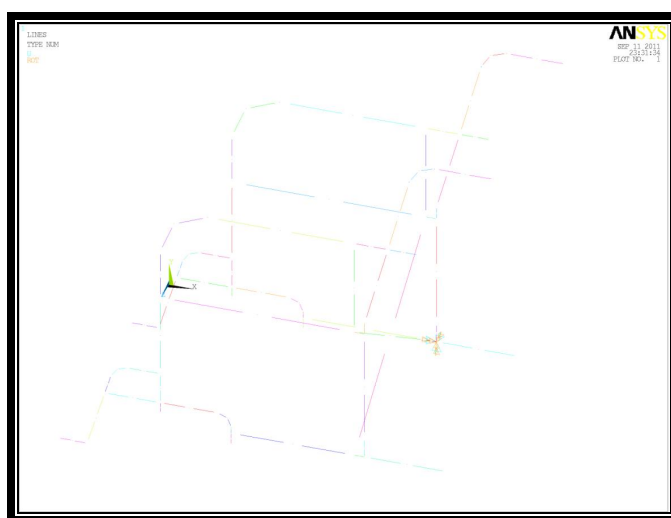


Σχήμα 5.5. Αρίθμηση κόμβων.

Στο σχήμα 5.5 απεικονίζονται αριθμημένοι οι κόμβοι του σκελετού με τις μέγιστες και τις ελάχιστες τιμές των. Συγκεκριμένα ο κόμβος 108 έχει τη μέγιστη μετατόπιση η οποία είναι 0,47542mm. Αυτό το σημείο βρίσκεται στο κέντρο της δοκού όπου στηρίζεται το πανί.

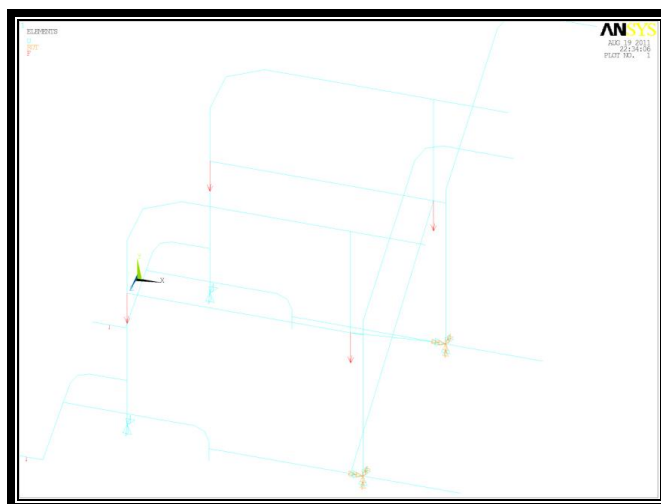
### 5.2.2 Δύο στοιχεία με δύο δυνάμεις σε κάθε δοκό.

Σε αυτή τη μελέτη έχουν τοποθετηθεί 2 δυνάμεις σε κάθε δοκό στήριξης και έχει διαμοιραστεί το φορτίο σε τέσσερα μέρη της τάξεως των 350 [Nt] έκαστο. Στα υποπόδια παραμένει το ίδιο φορτίο από 50 [Nt] στο καθένα. Ίδιες και οι στηρίξεις.



Σχήμα 5.6. Διακριτοποίηση σε 2 στοιχεία.

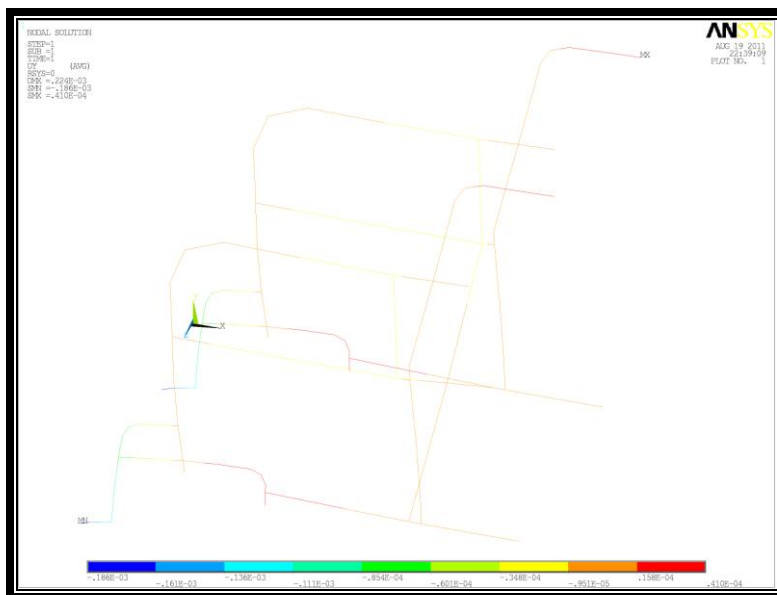
Στο σχήμα 5.6 παρατηρείται ότι η κάθε δοκός χωρίζεται σε 2 στοιχεία.



Σχήμα 5.7. Εφαρμογή φορτίων και συνθηκών στήριξης.

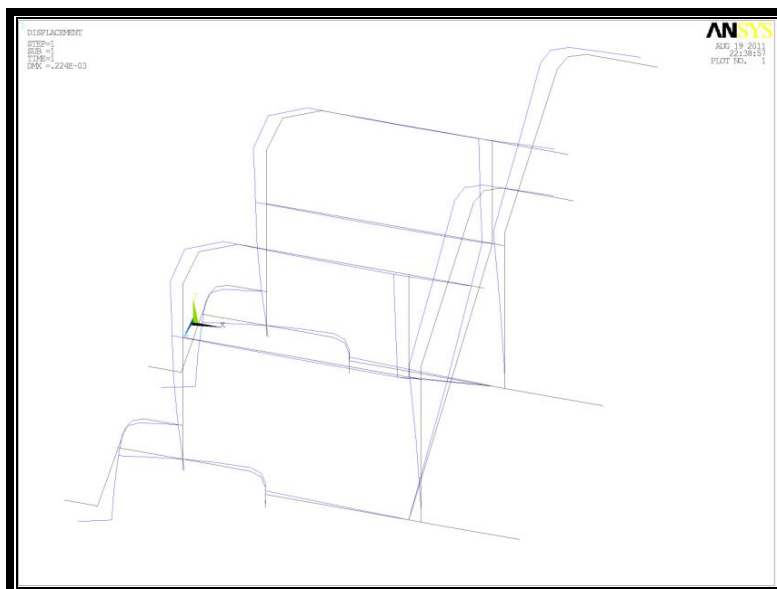
Ο σκελετός του αμαξιδίου σε μπλε χρώμα, οι δυνάμεις σε κόκκινο, είναι 4 συνολικά, οι δύο στις κεντρικές δοκούς όπου αντικαθιστούν τον αναβάτη, και 2 πολύ μικρότερες στα υποπόδια όπου αντικαθιστούν τα άκρα του

αναβάτη. Διακρίνονται οι δύο πακτώσεις στην θέση των οπίσθιων τροχών και οι δύο κυλίσσεις στην θέση των εμπρόσθιων τροχών.



Σχήμα 5.8. Χρωματική αναπαράσταση μετατοπίσεων.

Ο σκελετός σε χρωματική αναπαράσταση σχετικά με τις μετατοπίσεις που υπόκειται. Σε μπλε χρώμα παρουσιάζονται οι μικρότερες τιμές και σε κόκκινο οι μεγαλύτερες. Όλες οι μετατοπίσεις αναφέρονται στον άξονα y, ο οποίος είναι έχει την ίδια διεύθυνση με τα τοποθετημένα φορτία.



Σχήμα 5.9. Σκελετός πριν και μετά την εφαρμογή φορτίων.

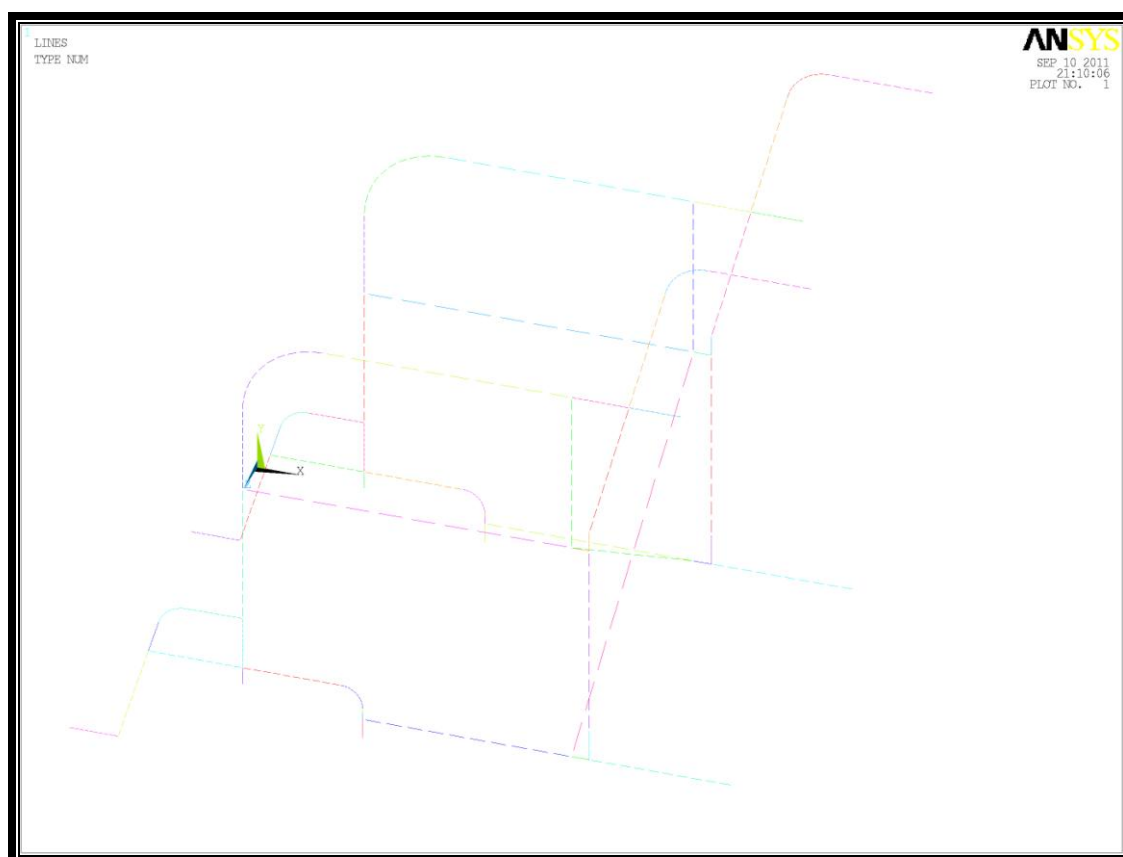




## 5.3 ΜΕΛΕΤΗ 2<sup>η</sup> ΣΕ 10 ΣΤΟΙΧΕΙΑ

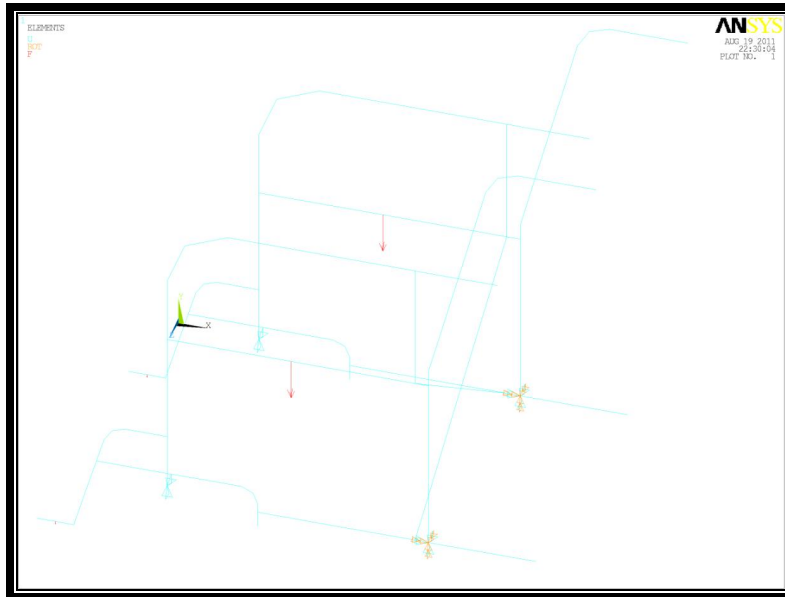
### 5.3.1 Δέκα στοιχεία με μια δύναμη σε κάθε δοκό.

Παρακάτω συνεχίζεται η μελέτη σε 10 στοιχεία. Κάθε δοκός διαχωρίζεται σε 11 κόμβους. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνουμε μεγαλύτερη ακρίβεια σε σχέση με τη μελέτη των 2 στοιχείων. Ενδεικτικά παρατίθενται οι κόμβοι οι οποίοι δημιουργήθηκαν για τη μελέτη του σκελετού, αριθμημένοι, ώστε να μπορούμε να εντοπίσουμε ξεχωριστά το κάθε σημείο όπου υπόκειται σε λυγισμό, καθώς και τα χιλιοστά όπου μετακινήθηκε στους άξονες (x,y,z) .



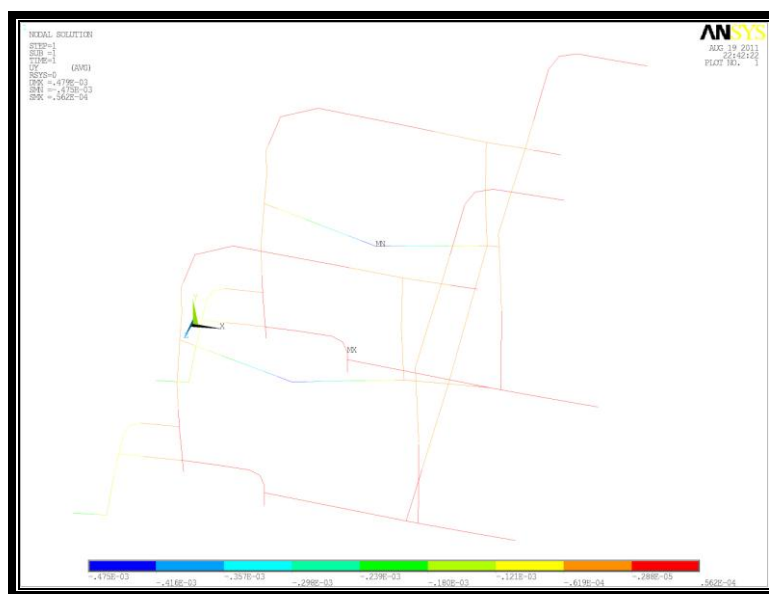
Σχήμα 5.12. Διακριτοποίηση σε 10 στοιχεία.

Στο σχήμα 5.12 παρατηρείται ότι η κάθε δοκός χωρίζεται σε 10 στοιχεία.



Σχήμα 5.13. Εφαρμογή φορτίων και συνθηκών στήριξης.

Ο σκελετός του αμαξιδίου απεικονίζεται σε μπλε χρώμα και οι δυνάμεις σε κόκκινο, είναι 2 συνολικά, οι δύο στις κεντρικές δοκούς όπου αντικαθιστούν τον αναβάτη, και 2 πολύ μικρότερες στα υποπόδια όπου αντικαθιστούν τα άκρα του αναβάτη. Διακρίνονται οι δύο πακτώσεις στην θέση των οπίσθιων τροχών και οι δύο κυλίσεις στην θέση των εμπρόσθιων τροχών



Σχήμα 5.14. Χρωματική αναπαράσταση μετατοπίσεων.

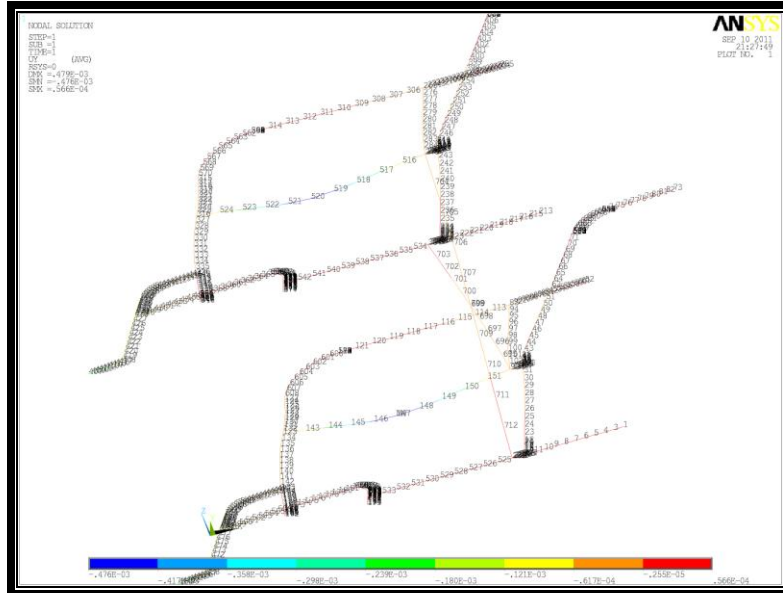
Και εδώ υπάρχει χρωματική αναπαράσταση σχετικά με τις μετατοπίσεις που υπόκειται. Σε μπλε χρώμα παρουσιάζονται οι μικρότερες τιμές και σε κόκκινο

οι μεγαλύτερες. Όλες οι μετατοπίσεις αναφέρονται στον άξονα y, ο οποίος είναι παράλληλος με τα φορτία.



Σχήμα 5.15. Σκελετός πριν και μετά την εφαρμογή φορτίων.

Εδώ παρουσιάζεται με το μαύρο χρώμα ο σκελετός πριν τις τοποθετηθούν τα φορτία, και με το μπλε χρώμα μετά τα φορτία. Οι μετατοπίσεις παρατίθενται σε υπερβολή για την καλύτερη κατανόηση των.



Σχήμα 5.16. Αρίθμηση κόμβων.

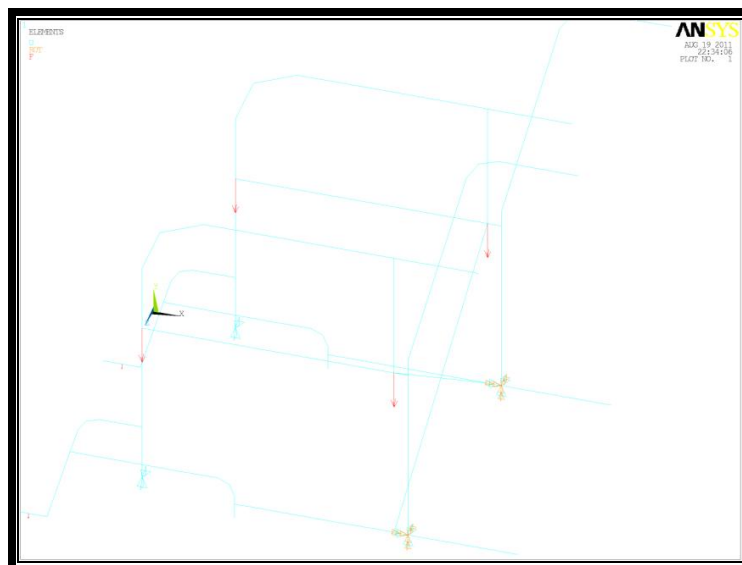
Στο σχήμα 5.16 αριθμείται το σύνολο των κόμβων. Συγκεκριμένα ο κόμβος 520 έχει τη μέγιστη μετατόπιση η οποία είναι 0,47598mm. Αυτό το σημείο βρίσκεται στο κέντρο της δοκού όπου στηρίζεται το πανί.

### 5.3.2 Δέκα στοιχεία με δύο δυνάμεις σε κάθε δοκό.



Σχήμα 5.17. Διακριτοποίηση σε 10 στοιχεία.

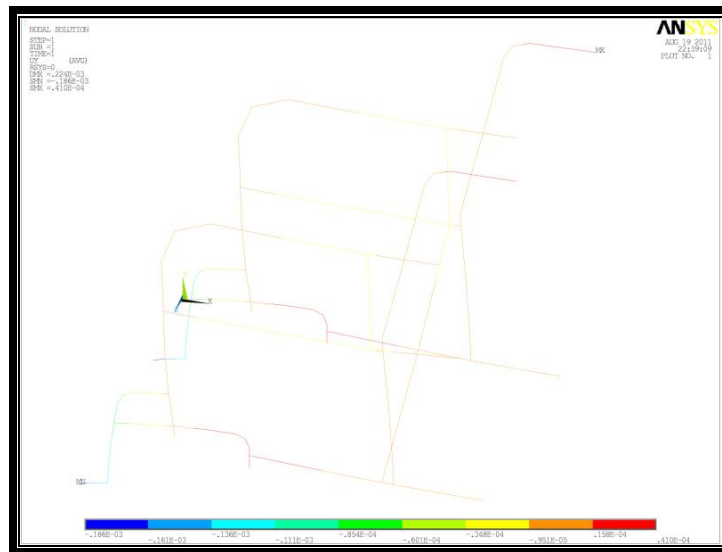
Στο σχήμα 5.17 παρατηρείται ότι η κάθε δοκός χωρίζεται σε 10 στοιχεία.



Σχήμα 5.18. Εφαρμογή φορτίων και συνθηκών στήριξης.

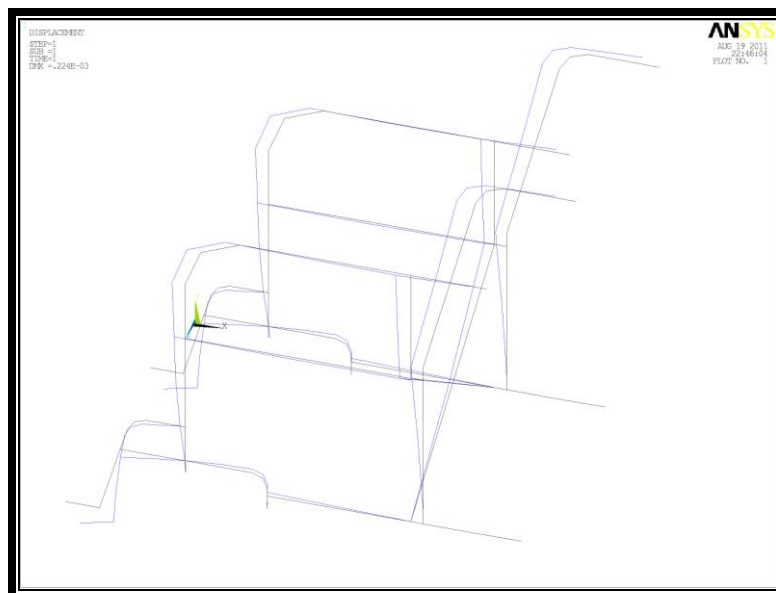
Ο σκελετός του αμαξιδίου σε μπλε χρώμα, οι δυνάμεις σε κόκκινο, είναι 4 συνολικά, οι δύο στις κεντρικές δοκούς όπου αντικαθιστούν τον αναβάτη, και 2 πολύ μικρότερες στα υποπόδια όπου αντικαθιστούν τα άκρα του

αναβάτη. Διακρίνονται οι δύο πακτώσεις στην θέση των οπίσθιων τροχών και οι δύο κυλίσσεις στην θέση των εμπρόσθιων τροχών.



Σχήμα 5.19. Χρωματική αναπαράσταση μετατοπίσεων.

Ο σκελετός σε χρωματική αναπαράσταση σχετικά με τις μετατοπίσεις που υπόκειται. Σε μπλε χρώμα παρουσιάζονται οι μικρότερες τιμές και σε κόκκινο οι μεγαλύτερες. Όλες οι μετατοπίσεις αναφέρονται στον άξονα  $y$ , ο οποίος είναι έχει την ίδια διεύθυνση με τα τοποθετημένα φορτία.



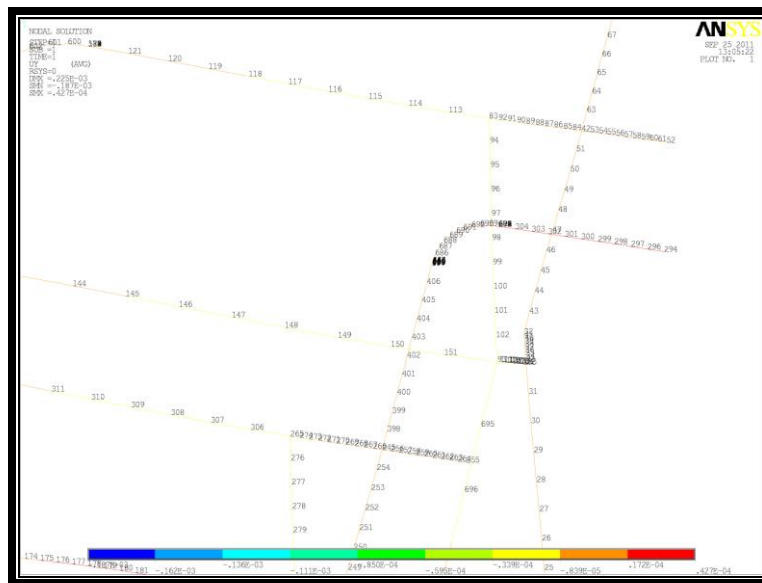
Σχήμα 5.20. Σκελετός πριν και μετά την εφαρμογή φορτίων.

Εδώ παρουσιάζεται με το μαύρο χρώμα ο σκελετός πριν τις τοποθετηθούν τα φορτία, και με το μπλε χρώμα μετά τα φορτία. Οι μετατοπίσεις παρατίθενται σε υπερβολή για την καλύτερη κατανόηση των.



Σχήμα 5.21. Αρίθμηση κόμβων.

Στο σχήμα 5.21 αριθμείται το σύνολο των κόμβων με τον κόμβο 407 να δέχεται τη μεγαλύτερη μετατόπιση.



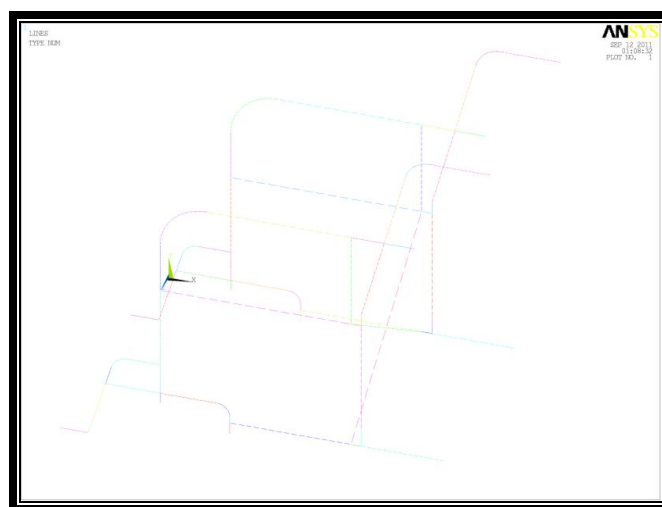
Σχήμα 5.22. Αρίθμηση κόμβων.

Στο σχήμα 5.22 διακρίνεται ο κόμβος 407 ο οποίος έχει τη μεγαλύτερη μετατόπιση και ισούται με 0,18722mm.

## 5.4 ΜΕΛΕΤΗ 3<sup>η</sup> ΣΕ 16 ΣΤΟΙΧΕΙΑ

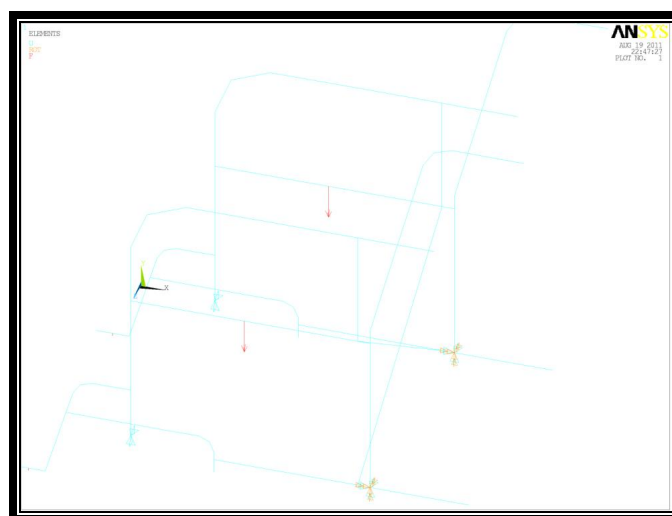
### 5.4.1 Δεκαέξι στοιχεία με μια δύναμη σε κάθε δοκό.

Παρακάτω συνεχίζουμε με την μελέτη σε 16 κομμάτια . Κάθε δοκός διαχωρίζεται σε 17 κόμβους. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνουμε μεγαλύτερη ακρίβεια. Ενδεικτικά παρατίθενται οι κόμβοι οι οποίοι δημιουργήθηκαν για τη μελέτη του σκελετού, αριθμημένοι, ώστε να μπορούμε να εντοπίσουμε ξεχωριστά το κάθε σημείο όπου υπόκειται σε λυγισμό, καθώς και τα χλίσια όπου μετακινήθηκε στους άξονες (x,y,z).



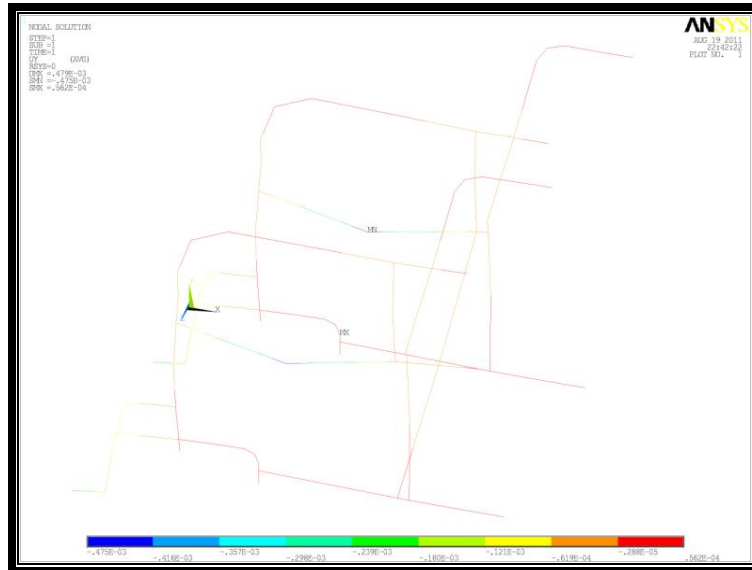
Σχήμα 5.23. Διακριτοποίηση σε 16 στοιχεία.

Στο σχήμα 5.23 ο σκελετός έχει διαχωριστεί σε 16 στοιχεία



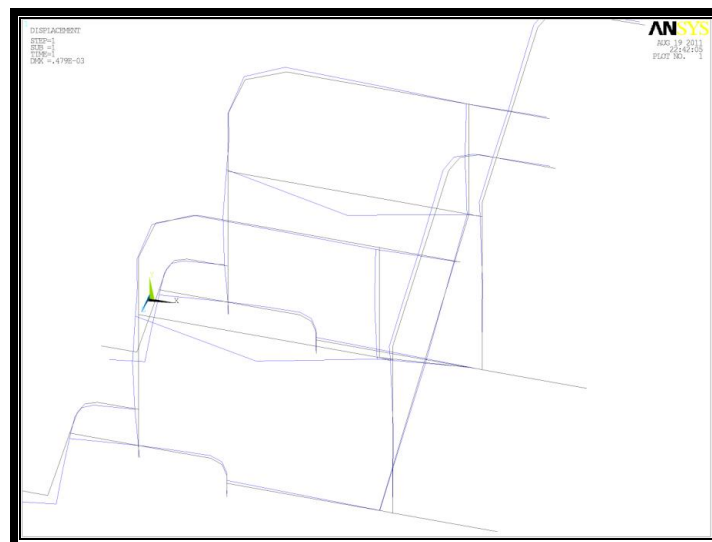
Σχήμα 5.24. Εφαρμογή φορτίων και συνθηκών στήριξης. Ο σκελετός του αμαξιδίου με τα φορτία και με τις στηρίξεις.





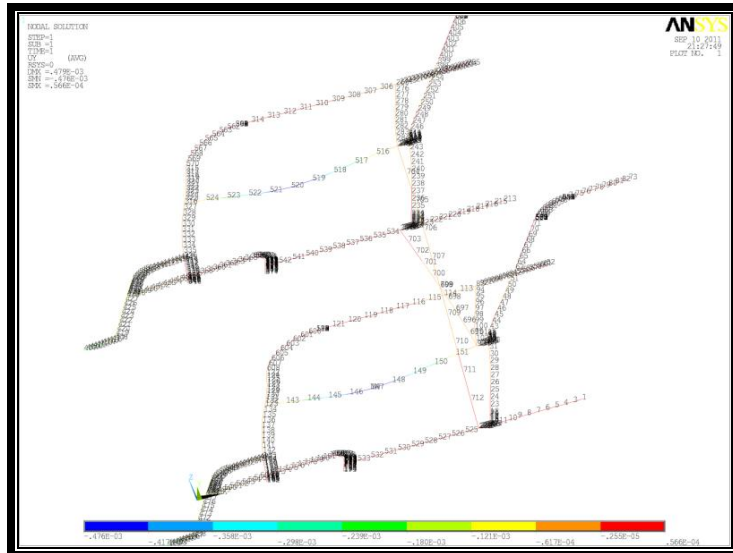
Σχήμα 5.25. Χρωματική αναπαράσταση μετατοπίσεων.

Και εδώ υπάρχει χρωματική αναπαράσταση σχετικά με τις μετατοπίσεις που υπόκειται. Σε μπλε χρώμα παρουσιάζονται οι μικρότερες τιμές και σε κόκκινο οι μεγαλύτερες. Όλες οι μετατοπίσεις αναφέρονται στον άξονα  $y$ , ο οποίος είναι παράλληλος με τα φορτία.



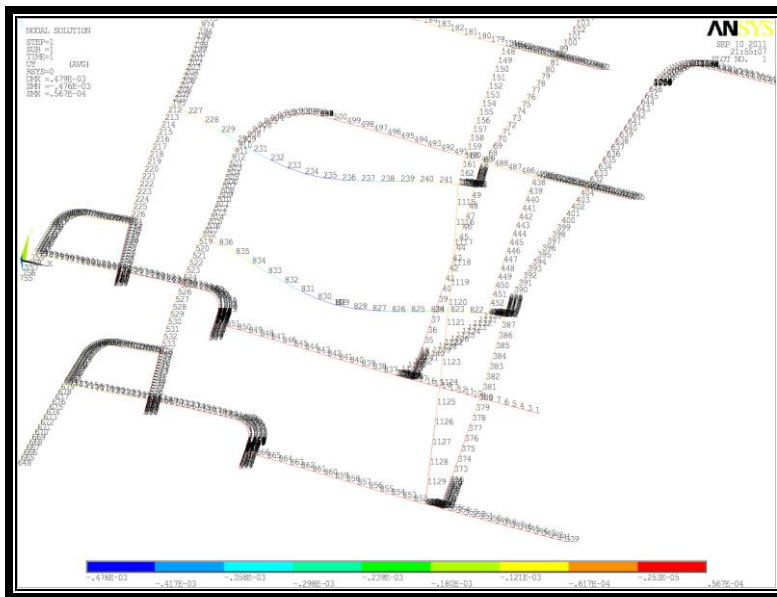
Σχήμα 5.26. Σκελετός πριν και μετά την εφαρμογή φορτίων.

Εδώ παρουσιάζεται με το μαύρο χρώμα ο σκελετός πριν τις τοποθετηθούν τα φορτία, και με το μπλε χρώμα μετά τα φορτία. Οι μετατοπίσεις παρατίθενται σε υπερβολή για την καλύτερη κατανόηση των.



Σχήμα 5.27. Αριθμηση κόμβων.

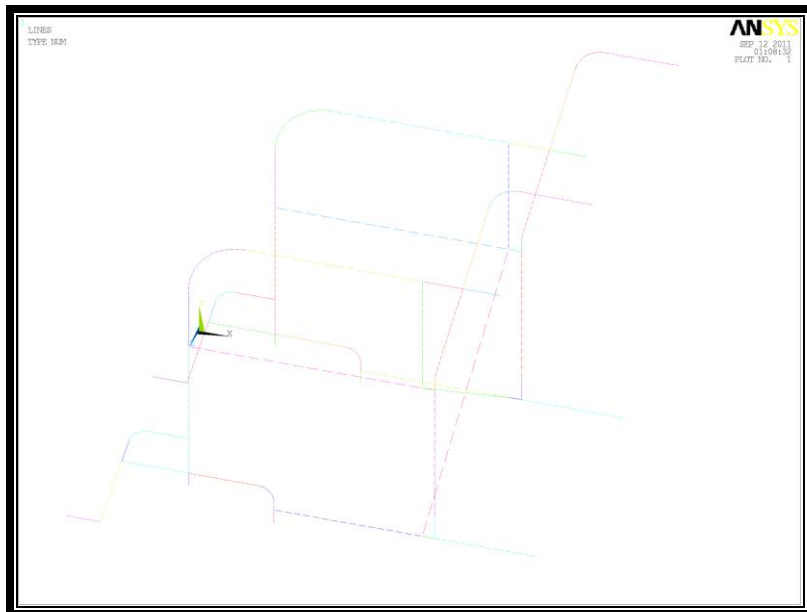
Εδώ παρουσιάζεται ο σκελετός του αμαξιδίου με αριθμημένους τους κόμβους.



Σχήμα 5.28. Αριθμηση κόμβων.

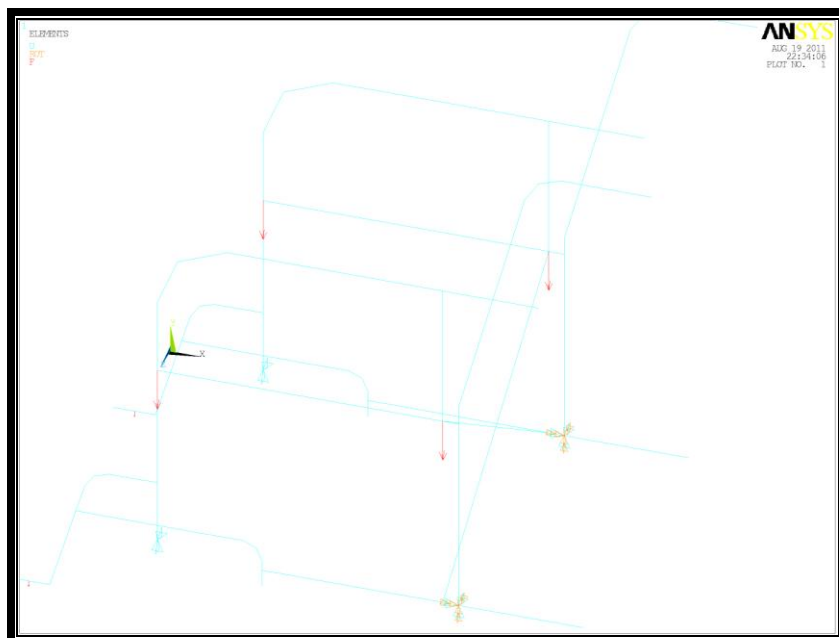
Στο σχήμα 5.28 φαίνεται ο κόμβος ο οποίος δέχεται τη μεγαλύτερη μετατόπιση. Συγκεκριμένα ο κόμβος 829 έχει τη μέγιστη μετατόπιση η οποία είναι 0,47599mm. Αυτό το σημείο βρίσκεται στο κέντρο της δοκού όπου στηρίζεται το πανί.

#### 5.4.2 Δεκαέξι στοιχεία με δυο δυνάμεις σε κάθε δοκό.



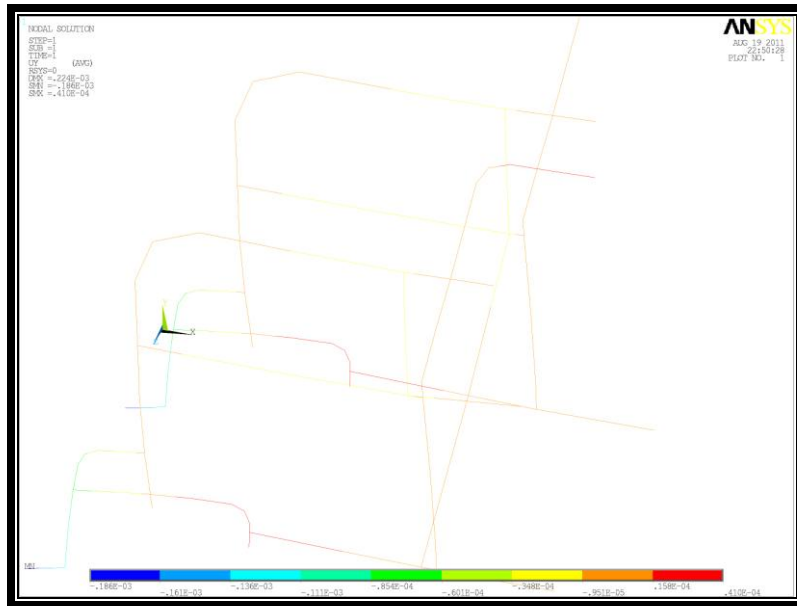
Σχήμα 5.29. Διακριτοποίηση σε 16 στοιχεία.

Στο σχήμα 5.29 ο σκελετός έχει διαχωριστεί σε 16 στοιχεία.



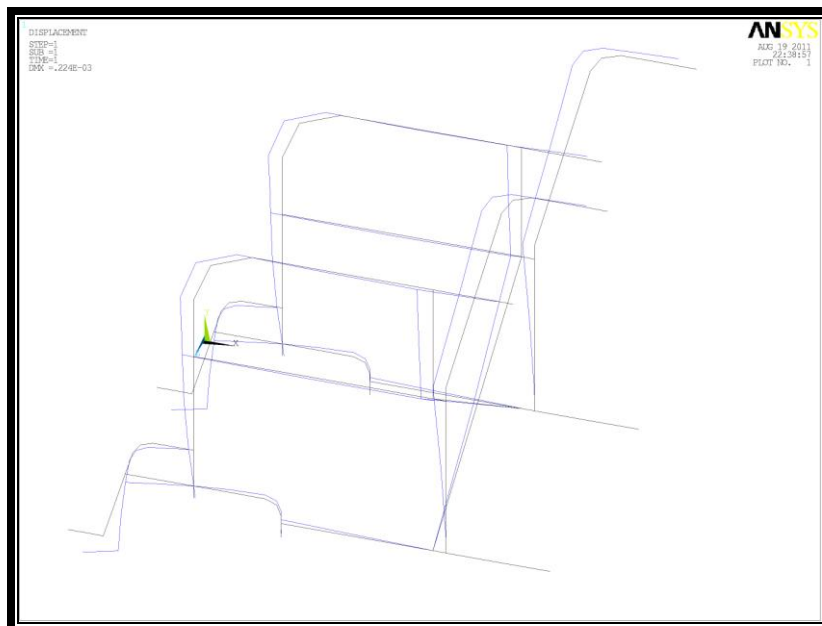
Σχήμα 5.30. Εφαρμογή φορτίων και συνθηκών στήριξης.

Ο σκελετός του αμαξιδίου φορτισμένος με τέσσερα φορτία.



Σχήμα 5.31. Χρωματική αναπαράσταση μετατοπίσεων.

Σε αυτό το σχήμα φαίνονται οι παραμορφώσεις του αμαξιδίου μετά την άσκηση των φορτίων σε αυτό.



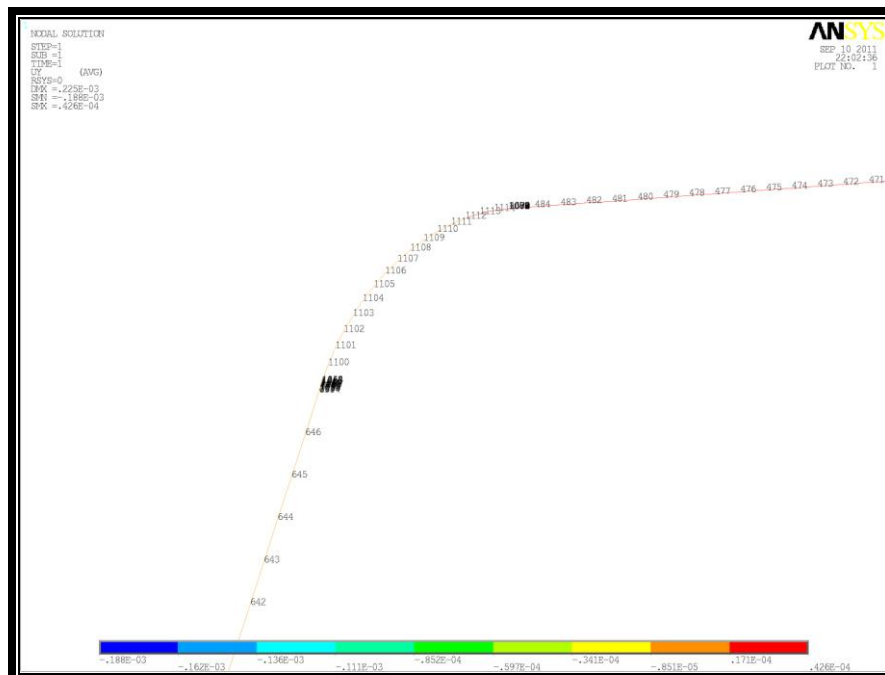
Σχήμα 5.32. Σκελετός πριν και μετά την εφαρμογή φορτίων.

Ο σκελετός του αμαξιδίου μετά την φόρτιση του.



Σχήμα 5.33. Αριθμηση κόμβων.

Το αμαξίδιο με τους κόμβους του αριθμημένους (1144 κόμβοι).



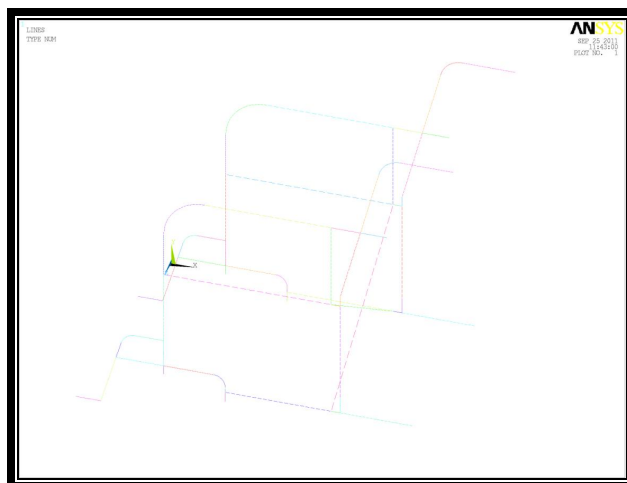
Σχήμα 5.34. Αριθμηση κόμβων.

Στο σχήμα 5.34 παρατηρείται ότι ο κόμβος 647 υπόκειται στη μεγαλύτερη μετατόπιση και ισούται με 0,18755mm.

## 5.5 ΜΕΛΕΤΗ 4η ΣΕ 20 ΣΤΟΙΧΕΙΑ

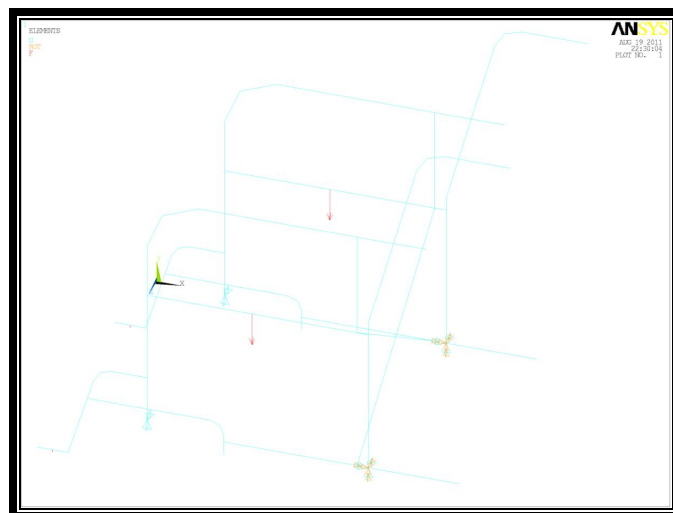
### 5.5.1 Είκοσι στοιχεία με μια δύναμη σε κάθε δοκό.

Στην επόμενη στατική μελέτη έχει διαχωριστεί σε 20 στοιχεία δηλαδή η κάθε δοκός έχει χωριστεί σε 20 κομμάτια.



Σχήμα 5.35. Διακριτοποίηση σε 20 στοιχεία.

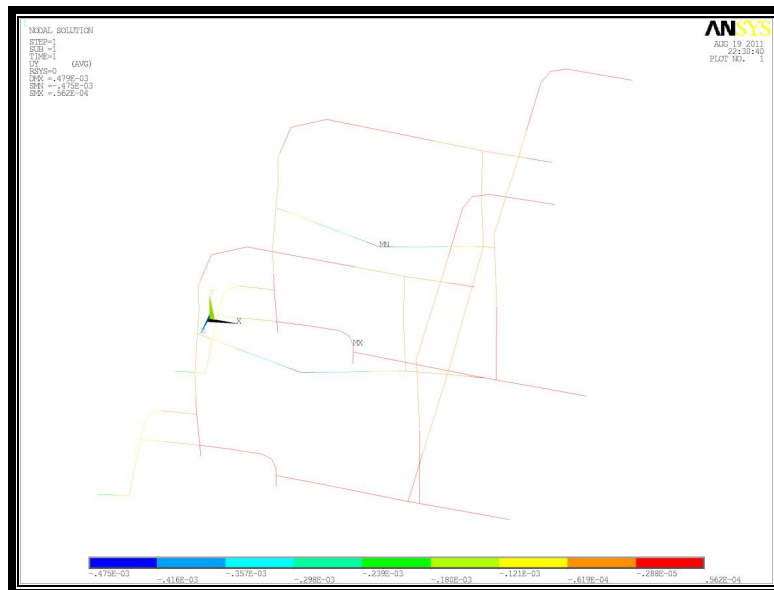
Στο σχήμα 5.35 παρατηρείται ότι η κάθε δοκός χωρίζεται σε 20 στοιχεία.



Σχήμα 5.36. Εφαρμογή φορτίων και συνθηκών στήριξης.

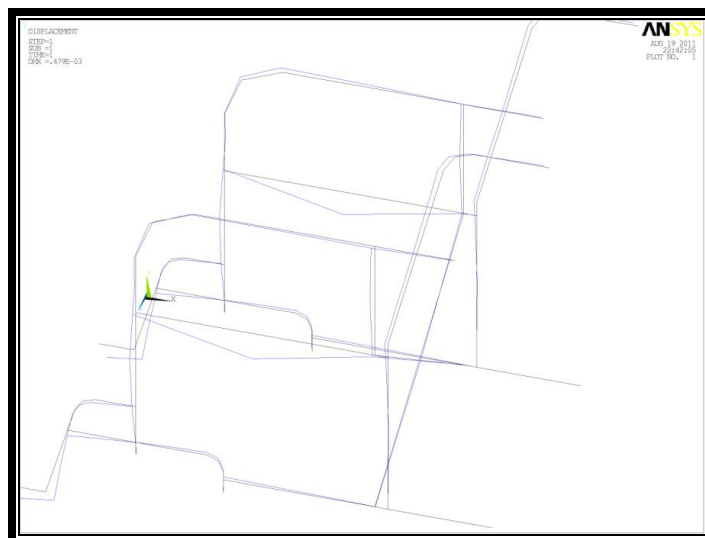
Ο σκελετός του αμαξιδίου απεικονίζεται σε μπλε χρώμα και οι δυνάμεις σε κόκκινο, είναι 2 συνολικά, οι δύο στις κεντρικές δοκούς όπου αντικαθιστούν τον αναβάτη, και 2 πολύ μικρότερες στα υποπόδια όπου αντικαθιστούν τα

άκρα του αναβάτη. Διακρίνονται οι δύο πακτώσεις στην θέση των οπίσθιων τροχών και οι δύο κυλίσεις στην θέση των εμπρόσθιων τροχών.



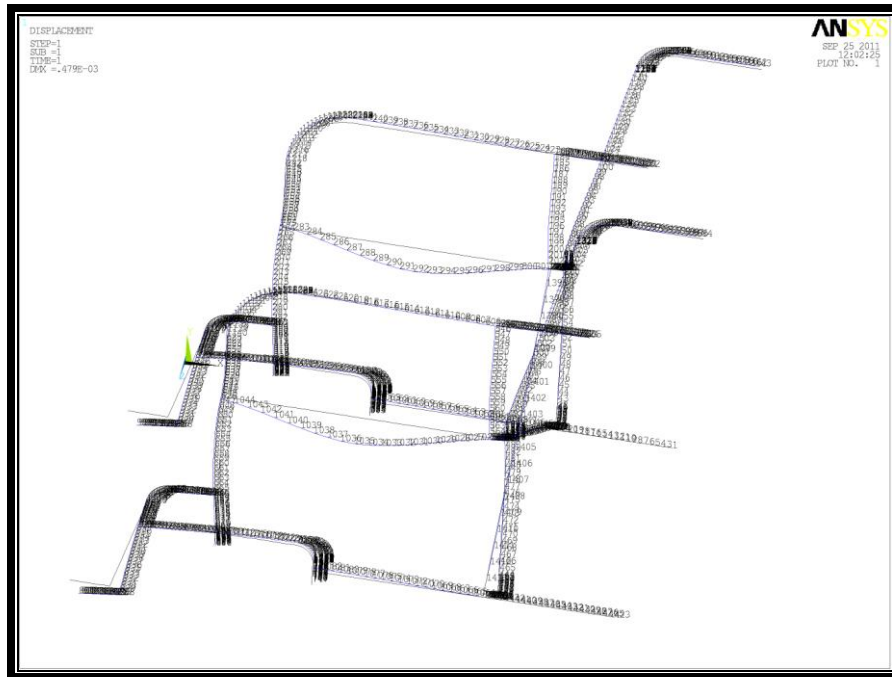
Σχήμα 5.37. Χρωματική αναπαράσταση μετατοπίσεων.

Στο σχήμα 5.37 απεικονίζονται οι επιπτώσεις των φορτίων στο σκελετό ανάλογα με το αποτέλεσμα τους όσο αναφορά στη μετατόπιση τους στον άξονα y. Σε μπλε χρώμα παρουσιάζονται οι μικρότερες τιμές και σε κόκκινο οι μεγαλύτερες.



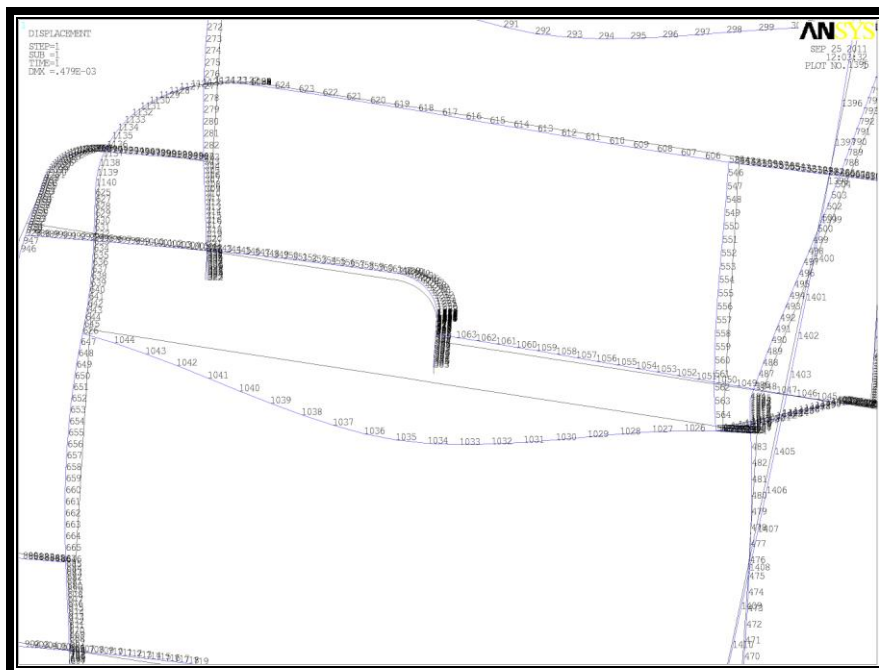
Σχήμα 5.38. Σκελετός πριν και μετά την εφαρμογή φορτίων.

Εδώ παρουσιάζεται με το μαύρο χρώμα ο σκελετός πριν τις τοποθετηθούν τα φορτία, και με το μπλε χρώμα μετά τα φορτία. Οι μετατοπίσεις παρατίθενται σε υπερβολή για την καλύτερη κατανόηση τους.



Σχήμα 5.39. Αρίθμηση κόμβων.

Στο σχήμα 5.39 απεικονίζονται αριθμημένοι οι κόμβοι του σκελετού με τις μέγιστες και τις ελάχιστες τιμές των.



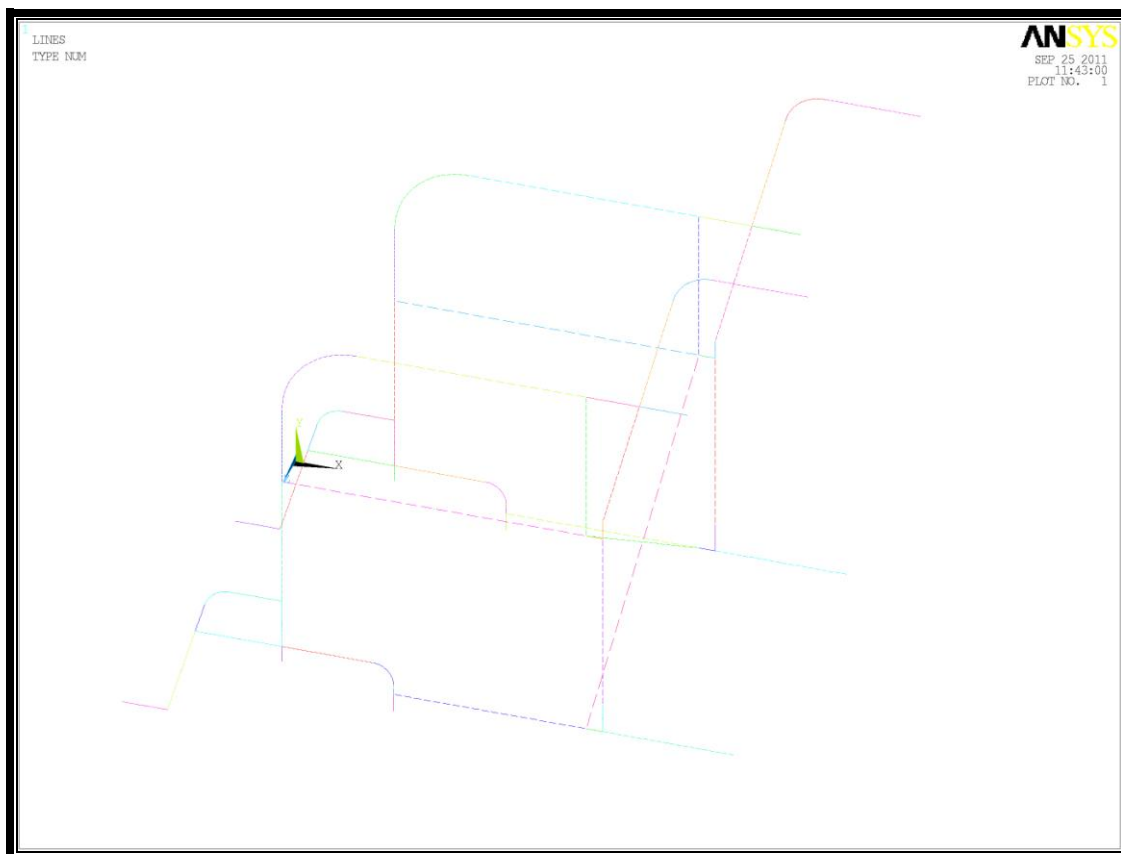
Εικόνα 5.40. Αρίθμηση κόμβων.

Εδώ παρουσιάζεται σε μεγέθυνση ο κόμβος με τη μεγαλύτερη μετατόπιση. Συγκεκριμένα ο κόμβος 292 έχει τη μέγιστη μετατόπιση η οποία είναι 0,47600mm. Αυτό το σημείο βρίσκεται στο κέντρο της δοκού όπου στηρίζεται το πανί.



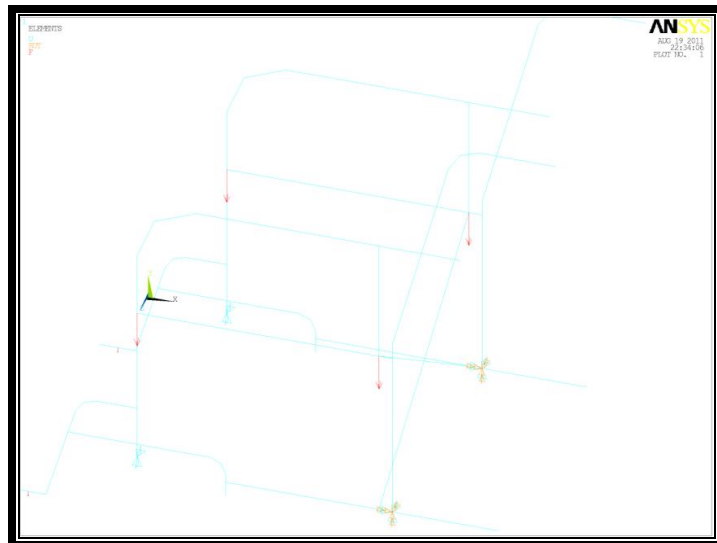
### 5.5.2 Είκοσι στοιχεία με δύο δυνάμεις σε κάθε δοκό.

Σε αυτή τη μελέτη έχουν τοποθετηθεί 2 δυνάμεις σε κάθε δοκό στήριξης και έχει διαμοιραστεί το φορτίο σε τέσσερα μέρη της τάξεως των 350 [Nt] έκαστο. Στα υποπόδια παραμένει το ίδιο φορτίο από 50 [Nt] στο καθένα. Ίδιες και οι στηρίξεις.



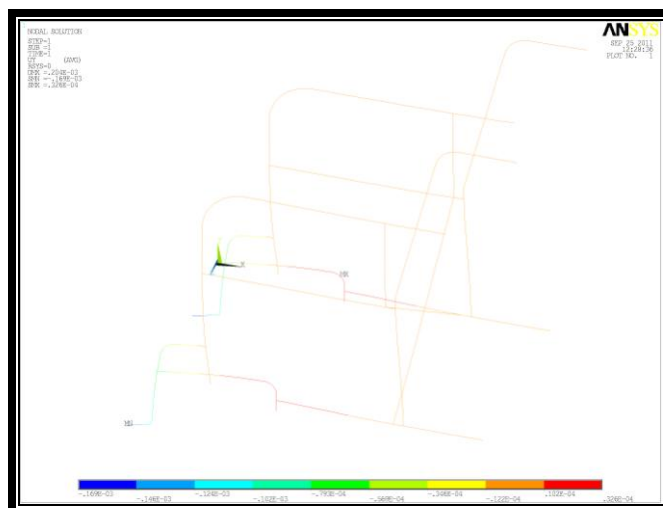
Σχήμα 5.41. Διακριτοποίηση σε 20 στοιχεία.

Στο σχήμα 5.41 παρατηρείται ότι η κάθε δοκός χωρίζεται σε 20 στοιχεία.



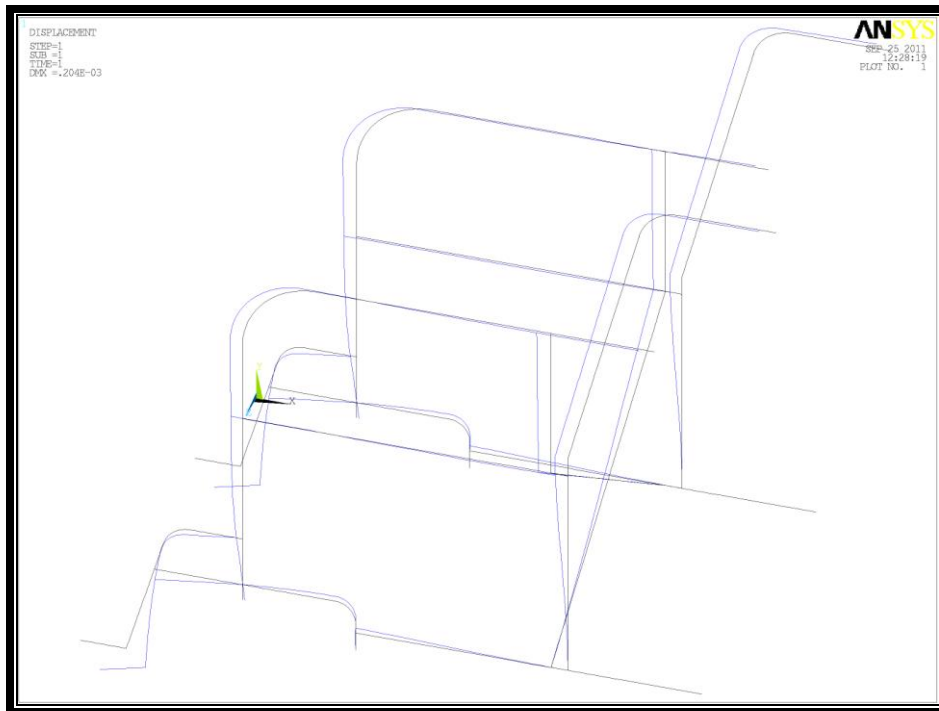
Σχήμα 5.42. Εφαρμογή φορτίων και συνθηκών στήριξης.

Ο σκελετός του αμαξιδίου σε μπλε χρώμα, οι δυνάμεις σε κόκκινο, είναι 4 συνολικά, οι δύο στις κεντρικές δοκούς όπου αντικαθιστούν τον αναβάτη, και 2 πολύ μικρότερες στα υποπόδια όπου αντικαθιστούν τα άκρα του αναβάτη. Διακρίνονται οι δύο πακτώσεις στην θέση των οπίσθιων τροχών και οι δύο κυλίσεις στην θέση των εμπρόσθιων τροχών.



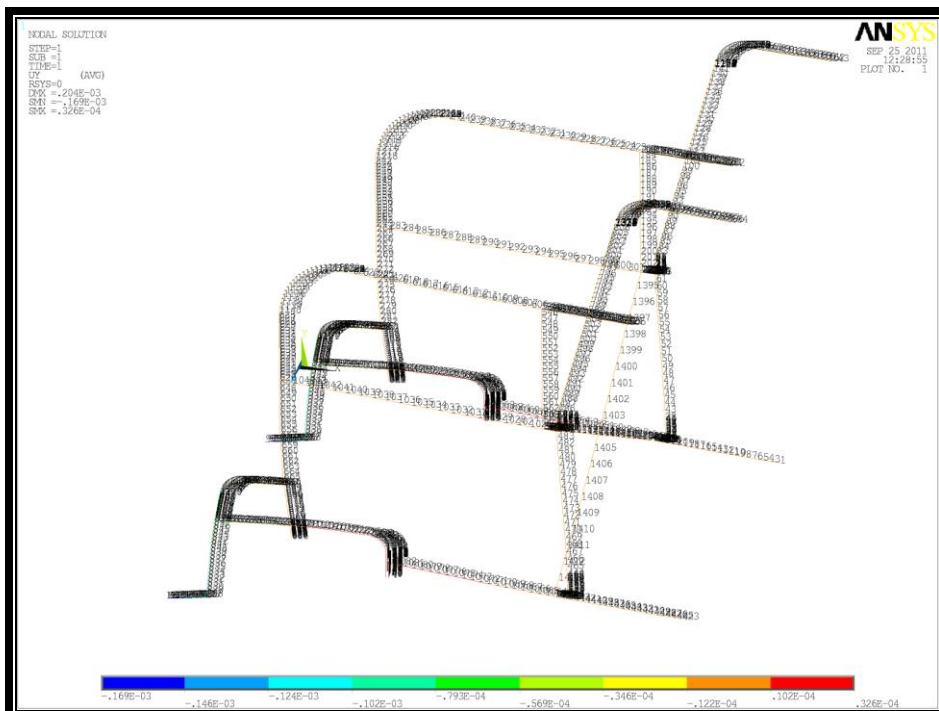
Σχήμα 5.43. Χρωματική αναπαράσταση μετατοπίσεων.

Ο σκελετός σε χρωματική αναπαράσταση σχετικά με τις μετατοπίσεις που υπόκειται. Σε μπλε χρώμα παρουσιάζονται οι μικρότερες τιμές και σε κόκκινο οι μεγαλύτερες. Όλες οι μετατοπίσεις αναφέρονται στον άξονα y, ο οποίος είναι έχει την ίδια διεύθυνση με τα τοποθετημένα φορτία.



Σχήμα 5.44. Σκελετός πριν και μετά την εφαρμογή φορτίων.

Εδώ παρουσιάζεται με το μαύρο χρώμα ο σκελετός πριν τις τοποθετηθούν τα φορτία, και με το μπλε χρώμα μετά τα φορτία. Οι μετατοπίσεις παρατίθενται σε υπερβολή για την καλύτερη κατανόηση τους.



Σχήμα 5.45. Αριθμηση κόμβων.

Στο σχήμα 5.45 απεικονίζονται αριθμημένοι οι κόμβοι του σκελετού με τις μέγιστες και τις ελάχιστες τιμές των.



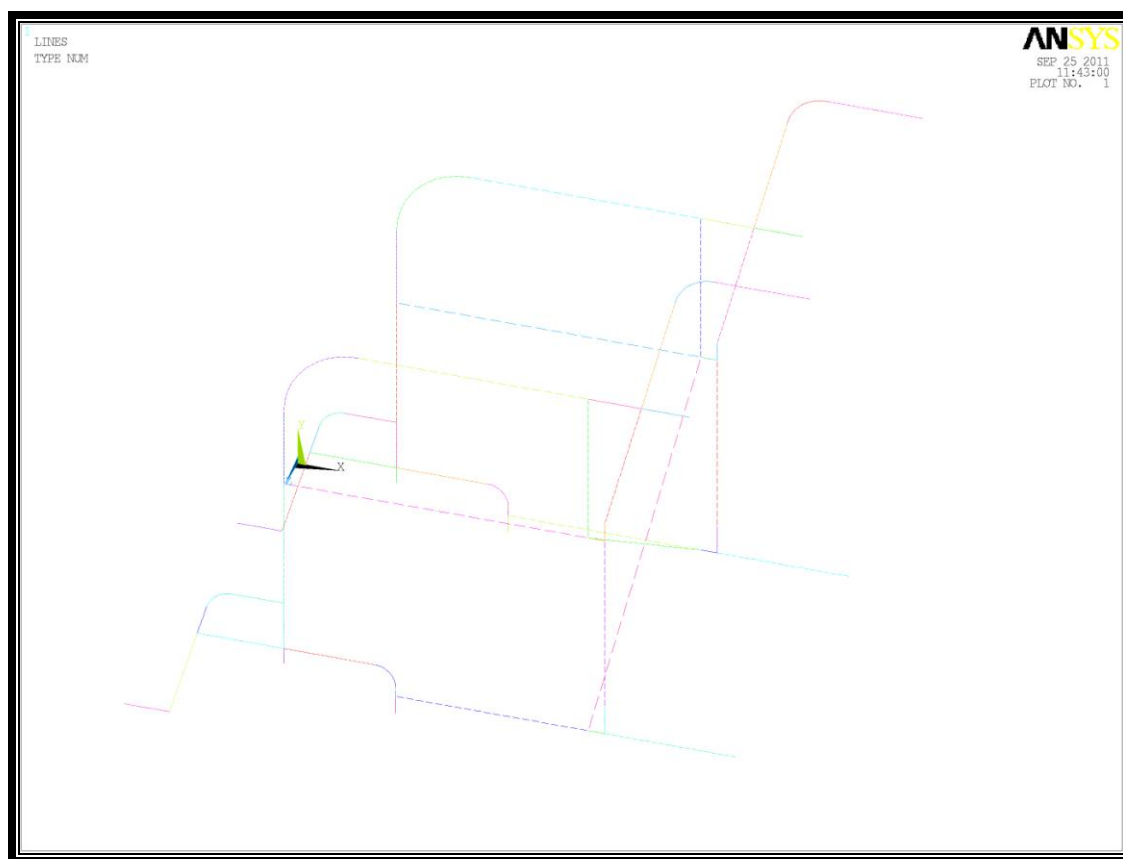
Σχήμα 5.46. Αρίθμηση κόμβων.

Στο σχήμα 5.46 απεικονίζεται σε μεγέθυνση ο κόμβος 807 οποίος υπόκειται στη μεγαλύτερη μετατόπιση η οποία ισούται με 0,18723mm.

## 5.6 ΜΕΛΕΤΗ 5<sup>η</sup> ΣΕ 20 ΣΤΟΙΧΕΙΑ (διάμετρος δοκού 1 cm και πάχος τοιχώματος 1.5mm)

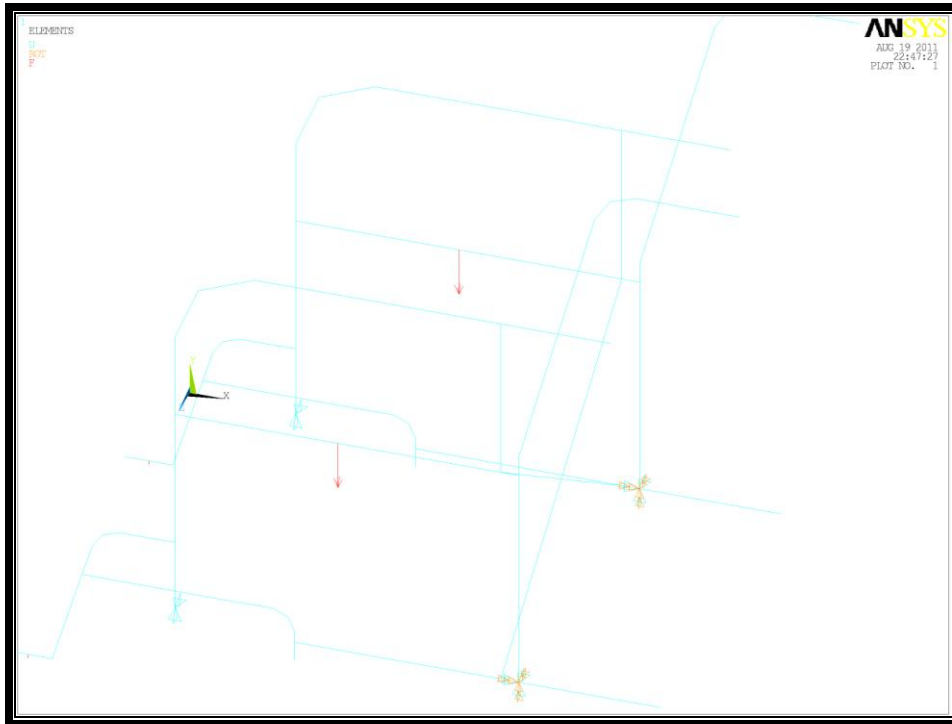
### 5.6.1 Είκοσι στοιχεία με μια δύναμη σε κάθε δοκό.

Παρακάτω συνεχίζεται η μελέτη σε 20 στοιχεία . Κάθε στοιχείο χωρίζεται σε 21 κόμβους. Εδώ επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ακρίβεια. Ενδεικτικά παρατίθενται οι κόμβοι οι οποίοι δημιουργήθηκαν για τη μελέτη του σκελετού, αριθμημένοι, ώστε να μπορούμε να εντοπίσουμε ξεχωριστά το κάθε σημείο όπου υπόκειται σε λυγισμό.



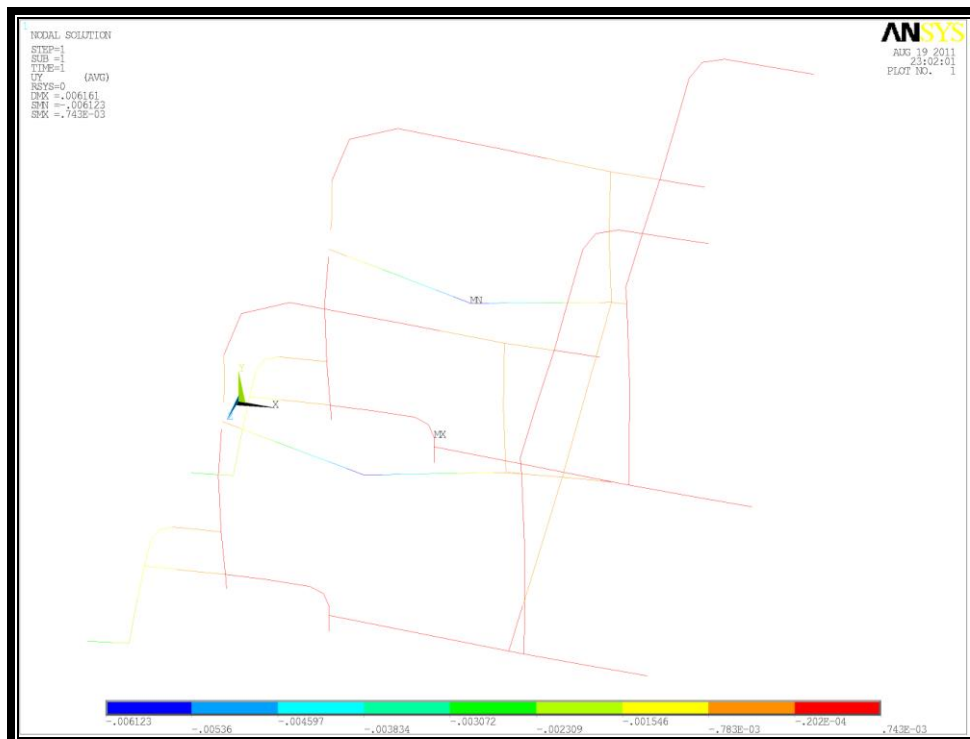
Σχήμα 5.47. Διακριτοποίηση σε 20 στοιχεία.

Στο σχήμα 5.47 ο σκελετός έχει διαχωριστεί σε 20 στοιχεία.



Σχήμα 5.48. Εφαρμογή φορτίων και συνθηκών στήριξης.

Το αμαξίδιο με τα φορτία: 700 Nt σε κάθε δοκό και από 50 Nt σε κάθε υποπόδιο.



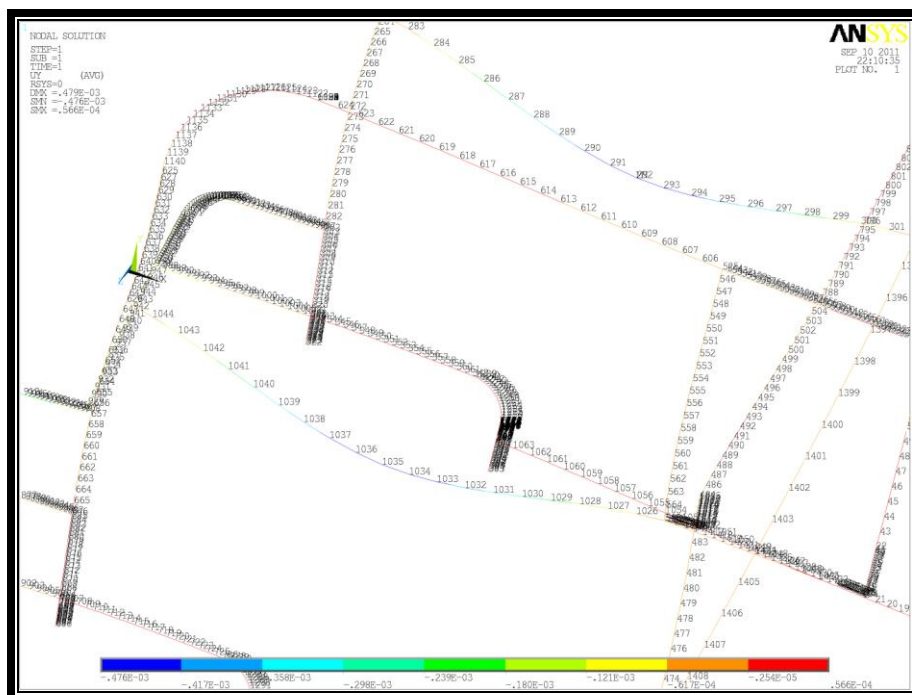
Σχήμα 5.49. Χρωματική αναπαράσταση μετατοπίσεων.

Το αμαξίδιο μετά την φόρτιση του. Διακρίνονται οι μέγιστες μετατοπίσεις.



Σχήμα 5.50. Σκελετός πριν και μετά την εφαρμογή φορτίων.

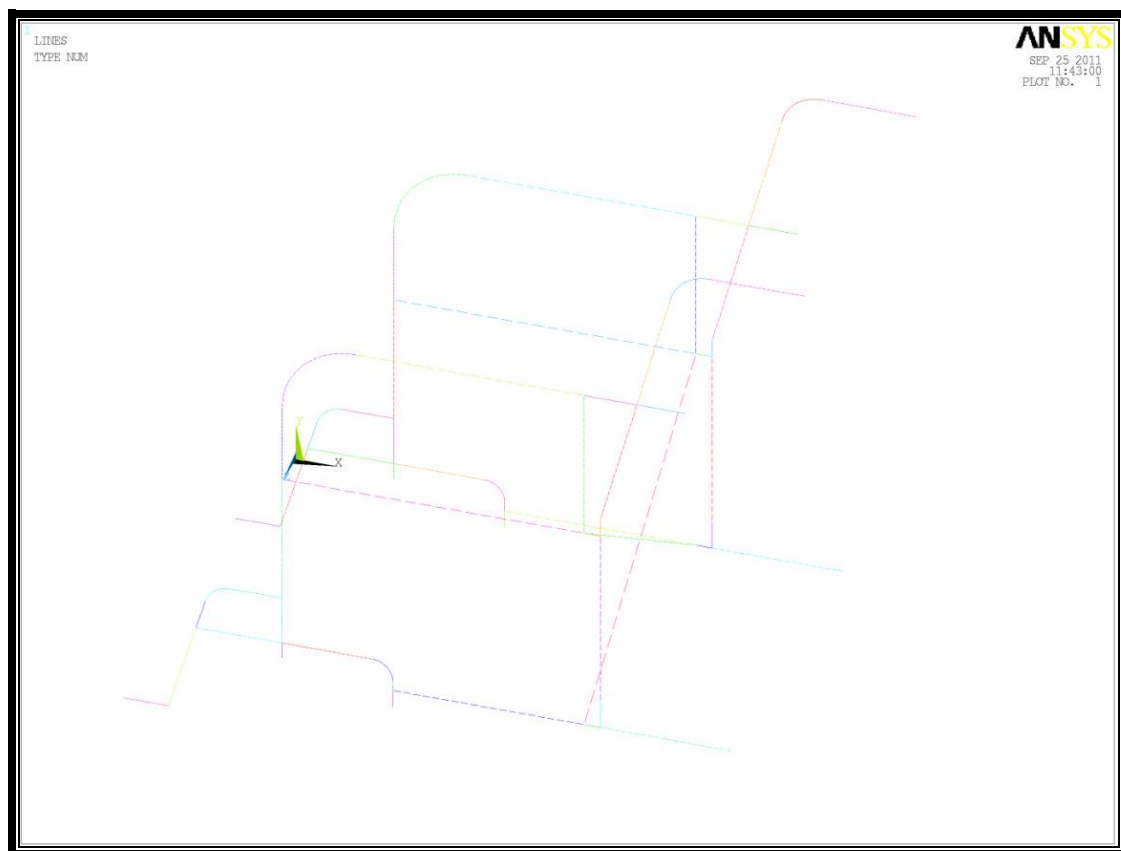
Εδώ παρουσιάζεται με το μαύρο χρώμα ο σκελετός πριν τις τοποθετηθούν τα φορτία, και με το μπλε χρώμα μετά τα φορτία. Οι μετατοπίσεις παρατίθενται σε υπερβολή για την καλύτερη κατανόηση των.



Σχήμα 5.51. Αρίθμηση κόμβων.

Στο σχήμα 5.51 παρατηρείται ότι ο κόμβος 1035 παρουσιάζει τη μέγιστη μετατόπιση η οποία ισούται με 0,47600mm. Ο κόμβος 1035 βρίσκεται στη δοκό στην οποία στηρίζεται το πανί.

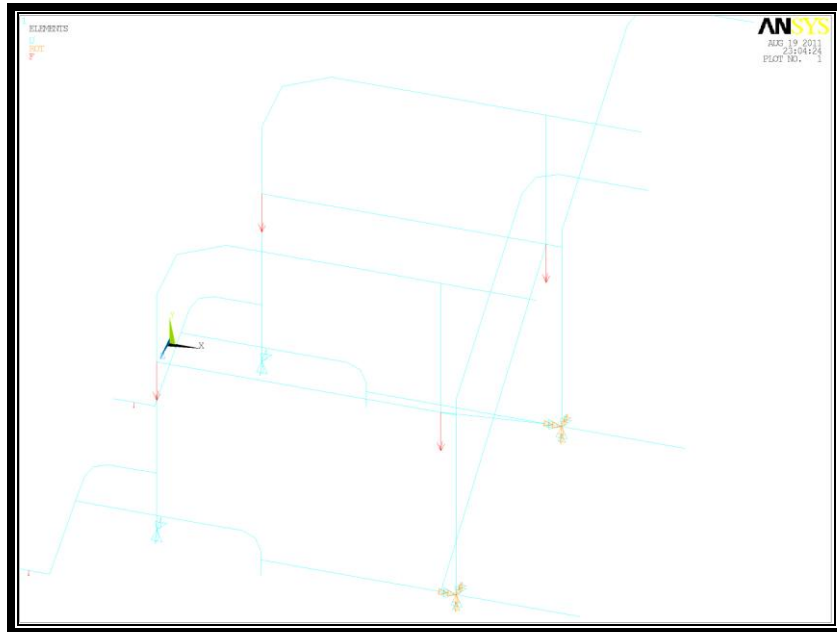
### 5.6.2 Είκοσι στοιχεία (διάμετρος δοκού 1cm και πάχος τοιχώματος 1.5 mm) με δύο δυνάμεις σε κάθε δοκό.



Σχήμα 5.52. Διακριτοποίηση σε 20 στοιχεία.

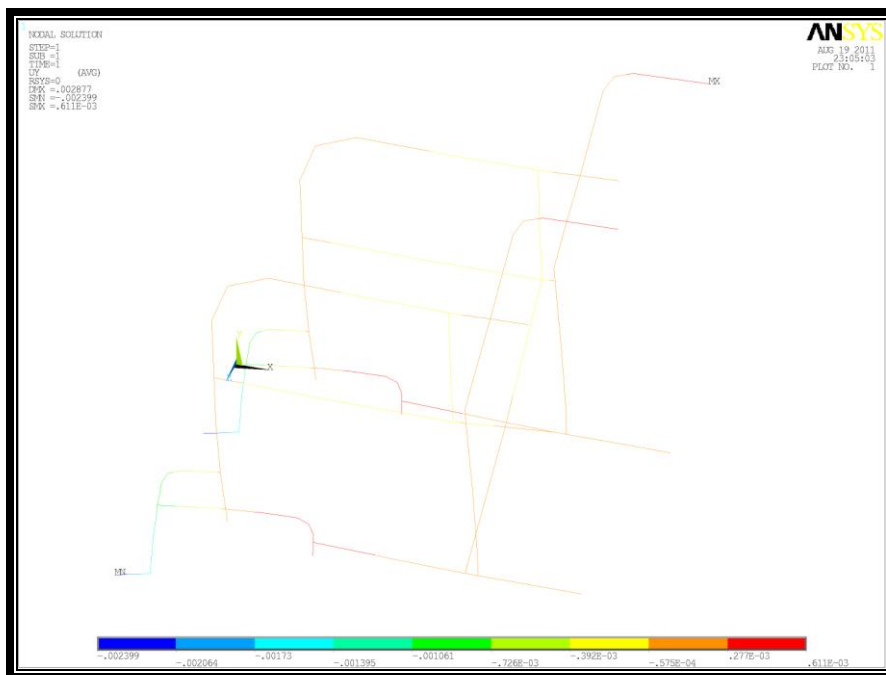
Στο σχήμα 5.51 ο σκελετός έχει διαχωριστεί σε 20 στοιχεία.





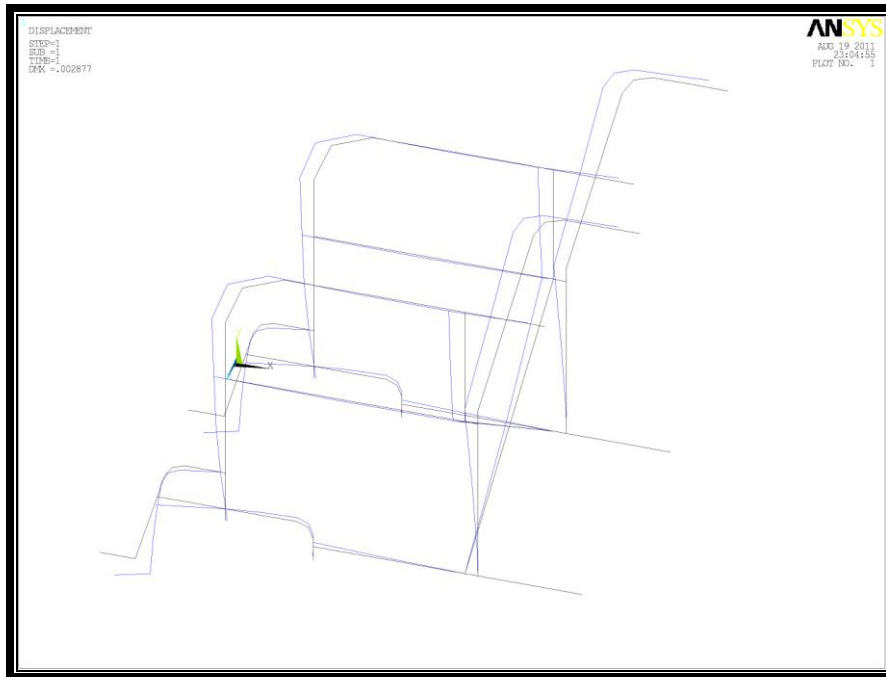
Σχήμα 5.53. Εφαρμογή φορτίων και συνθηκών στήριξης.

Ο σκελετός του αμαξιδίου φορτισμένος με τέσσερα φορτία.



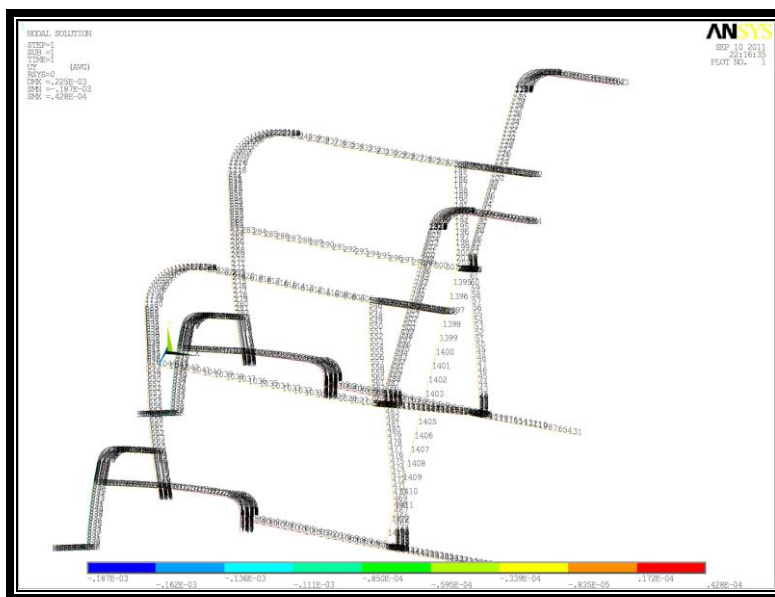
Σχήμα 5.54. Χρωματική αναπαράσταση μετατοπίσεων.

Το αμαξίδιο παραμορφωμένο μετά την άσκηση του φορτίου σε αυτό.



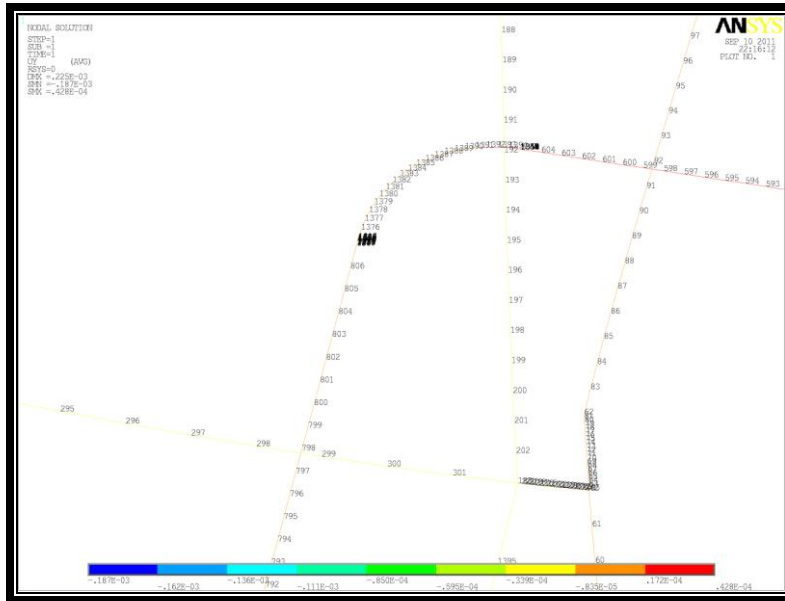
Σχήμα 5.55. Εφαρμογή φορτίων και συνθηκών στήριξης.

Οι μετατοπίσεις του σκελετού απεικονίζονται με υπερβολή.



Σχήμα 5.56. Αρίθμηση κόμβων.

Στο σχήμα 5.56 διακρίνονται οι κόμβοι στον παραμορφωμένο σκελετό και οι μέγιστες και οι ελάχιστες μετατοπίσεις.

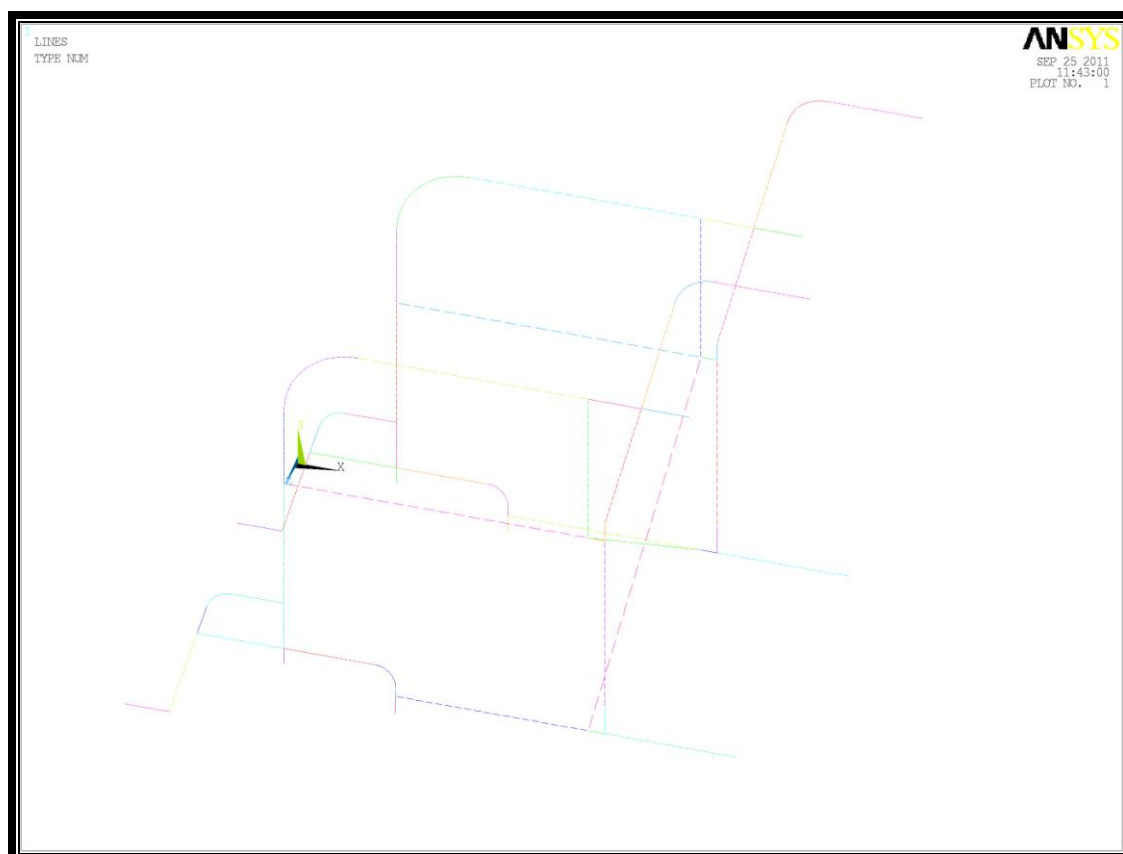


Σχήμα 5.57. Αρίθμηση κόμβων.

Εδώ παρατηρείται ο κόμβος 807 ο οποίος έχει τη μεγαλύτερη μετατόπιση η οποία ισούται με 0,18722mm. Το σημείο 807 βρίσκεται πλησίον της χειρολαβής.

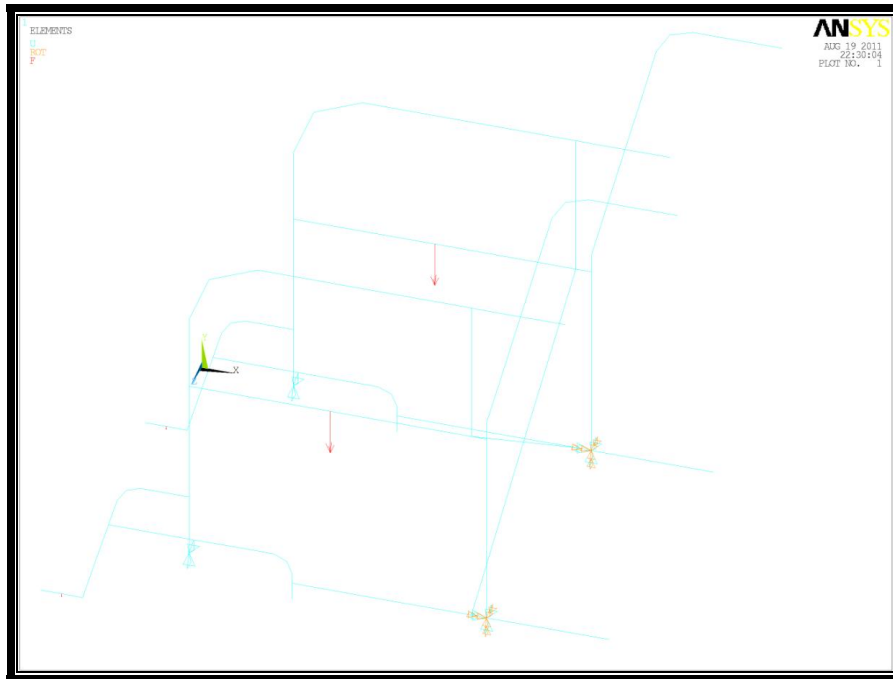
## 5.7 ΜΕΛΕΤΗ 6<sup>η</sup> ΣΕ 20 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ (Πυκνότητα 2.7g/cm<sup>3</sup>).

Εδώ πραγματοποιείται μία ακόμη μελέτη, η οποία αντί του ανοξείδωτου χάλυβα όπου έχει χρησιμοποιηθεί στις υπόλοιπες μελέτες, έχει χρησιμοποιηθεί αλουμίνιο. Αυτή η μελέτη έχει ως σκοπό να εξετάσει την αντοχή του σκελετού, σε ακόμα ένα υλικό, ένα υλικό όπου θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στο μέλλον για ένα ελαφρύτερο αλλά και φυσικά ακριβότερο αμαξίδιο. Τα αποτελέσματα όπου παρατείνονται στο τέλος της είναι ενθαρυντικά.



Σχήμα 5.58. Διακριτοποίηση σε 20 στοιχεία.

Στο σχήμα 5.58 ο σκελετός έχει διαχωριστεί σε 20 στοιχεία.



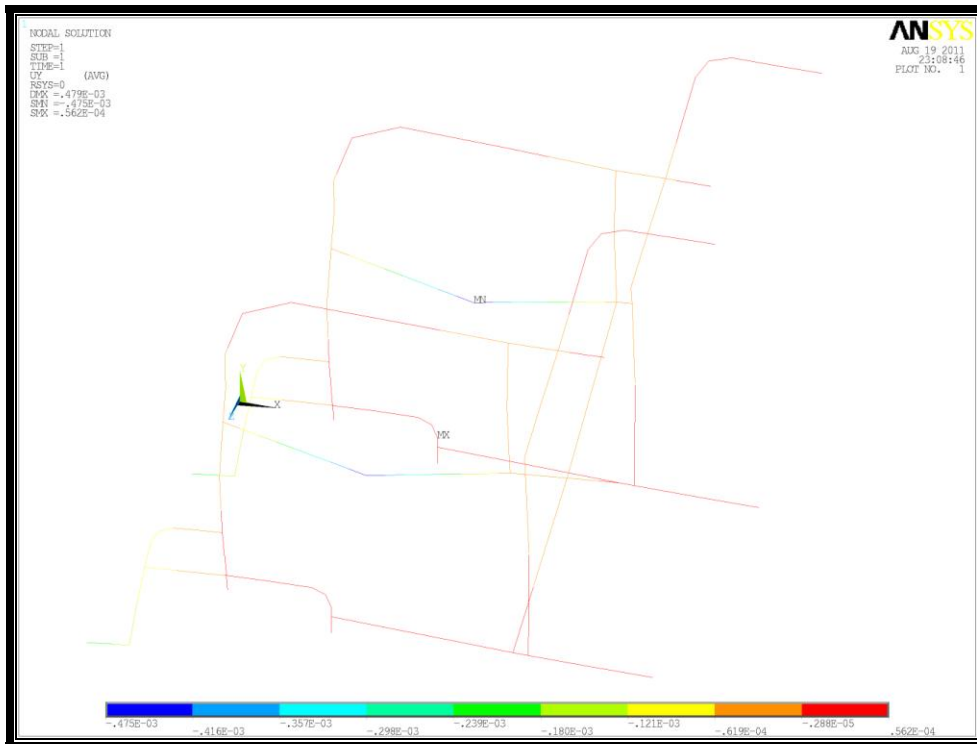
Σχήμα 5.59. Εφαρμογή φορτίων και συνθηκών στήριξης.

Στο σχήμα 5.59 παρουσιάζεται ο σκελετός με τα 2 φορτία στις κεντρικές δοκούς στήριξης του καθίσματος καθώς και τα δύο φορτία στα υποπόδια.



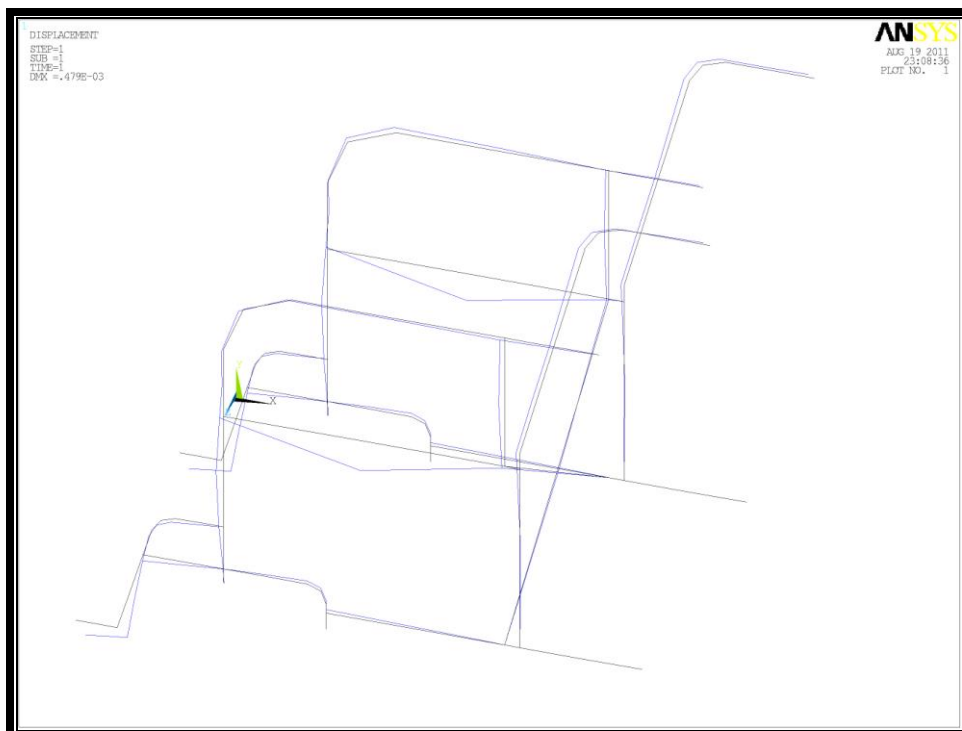
Σχήμα 5.60. Σκελετός πριν και μετά την εφαρμογή φορτίων.

Εδώ παρουσιάζεται με το μαύρο χρώμα ο σκελετός πριν τις τοποθετηθούν τα φορτία, και με το μπλε χρώμα μετά τα φορτία. Οι μετατοπίσεις παρατίθενται σε υπερβολή για την καλύτερη κατανόηση των.



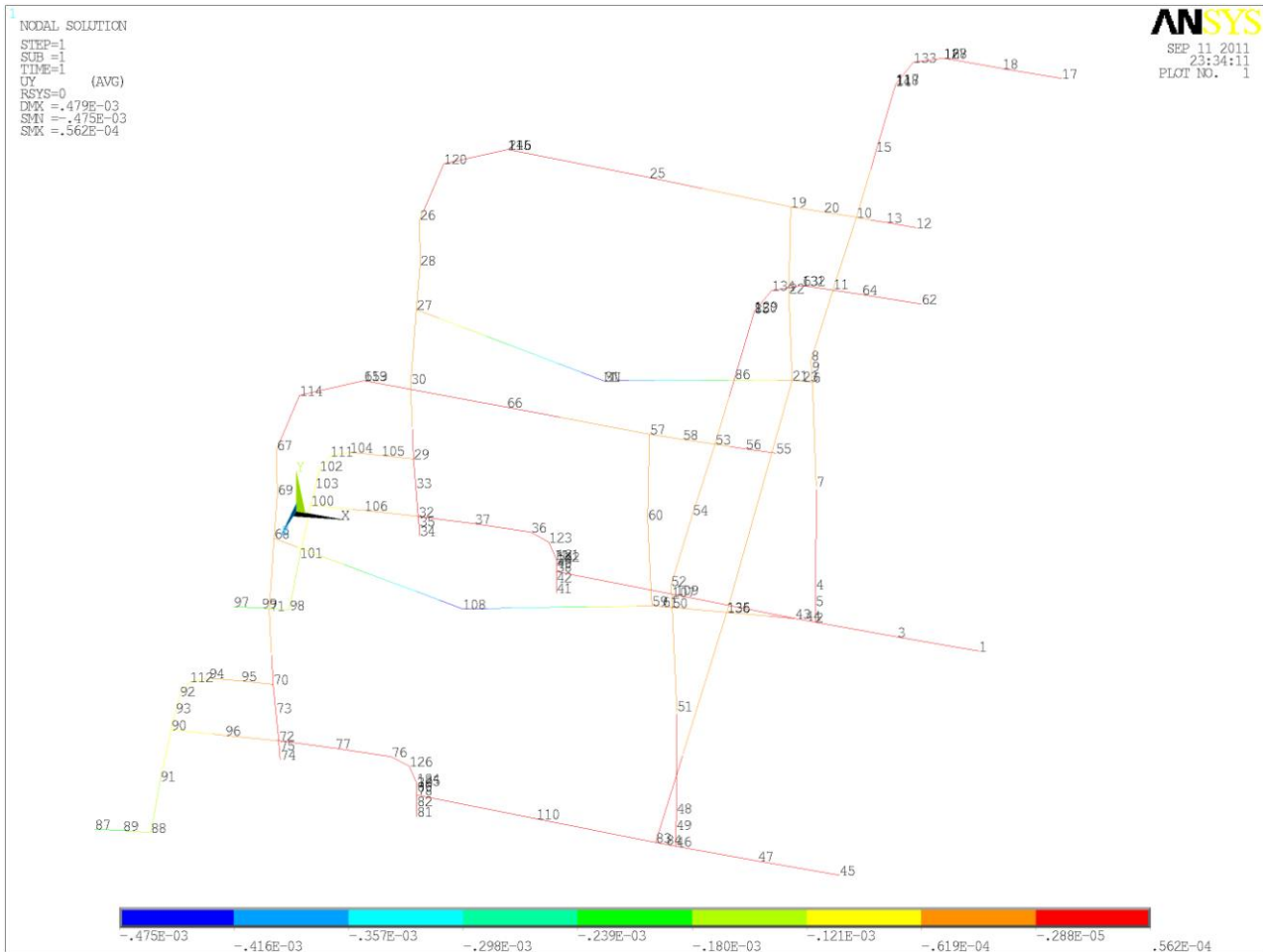
Σχήμα 5.61. Χρωματική αναπαράσταση μετατοπίσεων.

Το αμαξίδιο παραμορφωμένο μετά την άσκηση του φορτίου σε αυτό.



Σχήμα 5.62. Σκελετός πριν και μετά την εφαρμογή φορτίων.

Οι μετατοπίσεις του σκελετού απεικονίζονται σε υπερβολή.



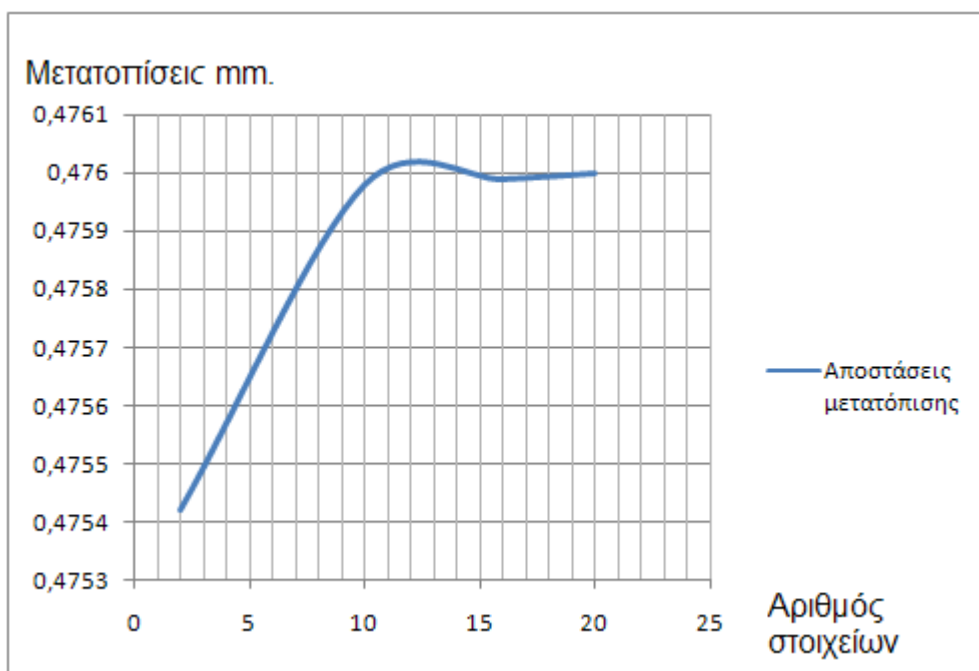
Σχήμα 5.63. Αρίθμηση κόμβων.

Στο σκελετό όπου αποτελείται από αλουμίνιο η μέγιστη μετατόπιση είναι στον κόμβο 108 και ισούται 0,475422mm. Παρατηρείται ότι δεν έχει μεγάλη διάφορα από τον χάλυβα που χρησιμοποιήθηκε στις υπόλοιπες μελέτες. Έτσι για περισσότερο ελαφρύ σκελετό θα ήταν δυνατό να χρησιμοποιηθεί ως υλικό το αλουμίνιο, αλλά αυτό οδηγεί σε μεγαλύτερο κόστος, κάτι το οποίο δεν είναι επιθυμητό. Παρόλα αυτά η κατασκευή του καθίσταται θεωρείται πραγματοποιήσιμη και απόλυτα δυνατή.

## 5.8 ΣΧΟΛΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.

Παρακάτω παρατίθενται 2 πίνακες οι οποίοι παρέχουν πληροφορίες γραφικά, όσο αναφορά στη γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων των μελετών όπου πραγματοποιήθηκαν στις προηγούμενες σελίδες.

Στον πίνακα του σχήματος 5.61 στον οριζόντιο άξονα ορίζεται το πλήθος των στοιχείων στα οποία διαχωρίζεται η δοκός σε κάθε μελέτη, ξεκινώντας από τα 2 στοιχεία και καταλήγοντας στα 20 όπου ήταν και η μελέτη με τα περισσότερα στοιχεία. Στον κατακόρυφο άξονα παρατίθενται οι μετατοπίσεις στον άξονα y σε χιλιοστά, και κυμαίνονται από 0,4755 έως και 0,477. Η γραφική αναπαράσταση αναφέρεται στις μελέτες με 1 φορτίο σε κάθε δοκό της τάξεως των 700 Nt. και από ένα φορτίο σε κάθε υποπόδιο της τάξεως των 50 Nt.

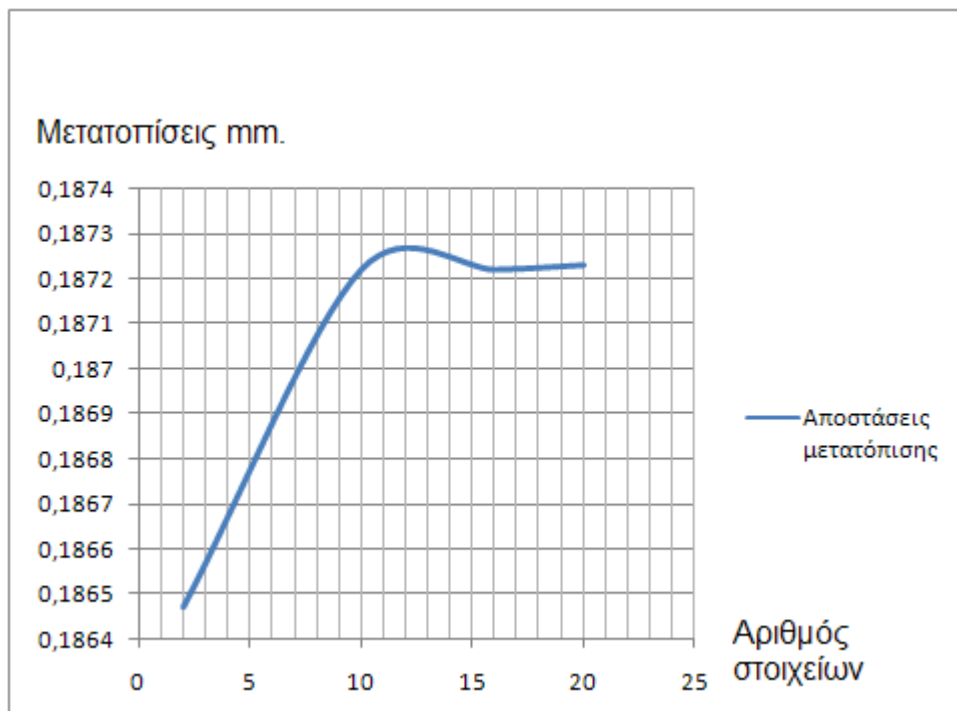


Σχήμα 5.64. Διάγραμμα μελέτης σύγκλισης.

Στο σχήμα 5.64 γίνεται αντιληπτό το ότι όσο αυξάνονται τα στοιχεία τα οποία διαχωρίζεται η εκάστοτε δοκός, τόσο αυξάνεται η μετατόπιση στον άξονα y. Παρατηρείται ότι τα αποτελέσματα των μελετών σταθεροποιούνται μετά τον διαχωρισμό των στοιχείων από 16 και άνω. Αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχει νόημα στην αύξηση του διαχωρισμού των στοιχείων για την συγκεκριμένη μελέτη του συστήματος του σκελετού του αμαξιδίου, διότι το σφάλμα έχει ελαχιστοποιηθεί. Συμπερασματικά το διάγραμμα συγκλίνει.



Στον πίνακα του σχήματος 5.62 στον οριζόντιο άξονα ορίζεται το πλήθος των στοιχείων στα οποία διαχωρίζεται η δοκός σε κάθε μελέτη, ξεκινώντας από τα 2 στοιχεία και καταλήγοντας στα 20 όπου ήταν και η μελέτη με τα περισσότερα στοιχεία. Στον κατακόρυφο άξονα παρατίθενται οι μετατοπίσεις στον άξονα y σε χιλιοστά, και κυμαίνονται από 0,1864 έως και 0,1872. Η γραφική αναπαράσταση αναφέρεται στις μελέτες με 2 φορτία σε κάθε δοκό, της τάξεως των 350Nt. και από ένα φορτίο σε κάθε υποπόδιο της τάξεως των 50 Nt.



Σχήμα 5.65. Διάγραμμα μελέτης σύγκλισης.

Στο σχήμα 5.62 γίνεται αντιληπτό το ότι όσο αυξάνονται τα στοιχεία τα οποία διαχωρίζεται η εκάστοτε δοκός, τόσο αυξάνεται η μετατόπιση στον άξονα y. Παρατηρείται ότι τα αποτελέσματα των μελετών σταθεροποιούνται μετά τον διαχωρισμό των στοιχείων από 16 και άνω. Αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχει νόημα στην αύξηση του διαχωρισμού των στοιχείων για την συγκεκριμένη μελέτη του συστήματος του σκελετού του αμαξιδίου, διότι το σφάλμα έχει ελαχιστοποιηθεί. Συμπερασματικά το διάγραμμα συγκλίνει.

Φυσικά, όπως και ήταν αναμενόμενο, οι μετατοπίσεις στον άξονα y στην περίπτωση των 2 φορτίων σε κάθε δοκό, είναι μικρότερες από αυτές των μελετών με 1 φορτίο σε κάθε δοκό. Αυτό συνέβη καθώς το φορτίο των 1400 Nt στην περίπτωση των 2 φορτίων, μοιράζεται πιο ομοιόμορφα σε σχέση με την περίπτωση του ενός φορτίου, και έτσι ο σκελετός του αμαξιδίου καταπονείται λιγότερο.



## ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στόχος της εργασίας ήταν να σχεδιάσουμε και να μελετήσουμε τη αντοχή ενός αναπηρικού αμαξιδίου απλού και οικονομικού για ένα μεγάλο εύρος καταναλωτών με σωματικές βλάβες και αναπηρίες.

Κατά τον σχεδιασμό χρησιμοποιήσαμε τις γνώσεις μας πάνω στο σχεδιαστικό πρόγραμμα AutoCAD καθώς επίσης και τις εμπλουτίσαμε ακόμα περισσότερο. Αντιμετωπίσαμε πόλλες δυσκολίες κυρίως κατά την σχεδίαση των τρισδιάστατων μοντέλων αλλά αυτή η δυσκολία μας οδήγησε σε ένα παραπάνω βήμα όσο αναφορά στον κόσμο του τρισδιάστατου σχεδίου, κάτι το οποίο ήταν εξαιρετικά ενδιαφέρον. Όλα τα επιμέρους εξαρτήματα σχεδιάστηκαν από εμάς (έδρανα κύλισης, τροχοί, ψαλίδια εμπρόσθιου τροχού, υποπόδια, συστημα πέδησης, χιαστή σκελετού, κάθισμα αναβάτη καθώς και οι βοηθητικές χειρολαβές).

Για την μελέτη του μοντέλου χρησιμοποιήσαμε το πρόγραμμα Ansys, ένα πρόγραμμα το οποίο έχει πάρα πολλές δυνατότητες και μας δυσκόλεψε αρκετά, καθώς δεν είχαμε καμία εμπειρία όσο αναφορά στη χρήση του. Αυτό επίσης ήταν μια μεγάλη πρόκληση για εμάς.

Κατά τη μελέτη του αμαξιδίου διαπιστώσαμε ότι οι αποκλίσεις των αποτεσμάτων σε όλες τις μελέτες ήταν πάρα πολύ μικρές, κάτι που σημαίνει ότι δεν έχει νόημα να διαχωρίσουμε τις δοκούς σε περισσότερα από 20 στοιχεία.

Διαπιστώσαμε ότι το αμαξίδιο μας μπορεί να υποβληθεί σε μεγάλα φορτία με επιτυχία και είναι ικανό να βγει στην παραγωγή, καθώς διαθέτει όλες τις απαραίτητες προδιαγραφές, είναι εύχρηστο, ανταγωνιστικό, οικονομικό, απλό στη χρήση και κυρίως χωρίς να ξεφεύγει από το φάσμα της ποιότητας σε σχέση με την τιμή.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. Εισαγωγή στη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Δημήτρης Α.Σαραβάνος.
2. Στοιχεία Μηχανών Ι. Ιωάννης Κ.Σεργίου Δρ. Μηχανολόγος Μηχανικός, Κωνσταντίνος Ι.Στεργίου Δρ. Μηχανολόγος Μηχανικός.
3. Σχεδίαση με χρήση Η/Υ (AutoCAD). Καβαλλιεράτος Νίκος Καθηγητής Εφαρμογών.
4. [www.wheelchairparts.net](http://www.wheelchairparts.net)