



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΣΕΡΡΩΝ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**

**Τμήμα Μηχανολογίας**

**Θέμα πτυχιακής : ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ  
ΓΕΡΑΝΟΓΕΓΥΡΑΣ ΜΕ ΕΝΑΝ ΚΥΡΙΟ ΦΟΡΕΑ**

**Σπουδαστής : ΚΟΛΙΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ**

**Επιβλέπων καθηγητής : Dr.-Ing ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ Θ. ΜΩΥΣΙΑΔΗΣ**

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ραγδαία εξέλιξη των τελευταίων ετών στην μηχανολογία οφείλεται, χωρίς αμφιβολία, στην εισαγωγή των Ηλεκτρονικών υπολογιστών (Η/Υ) σε όλους τους επί μέρους τομείς της.

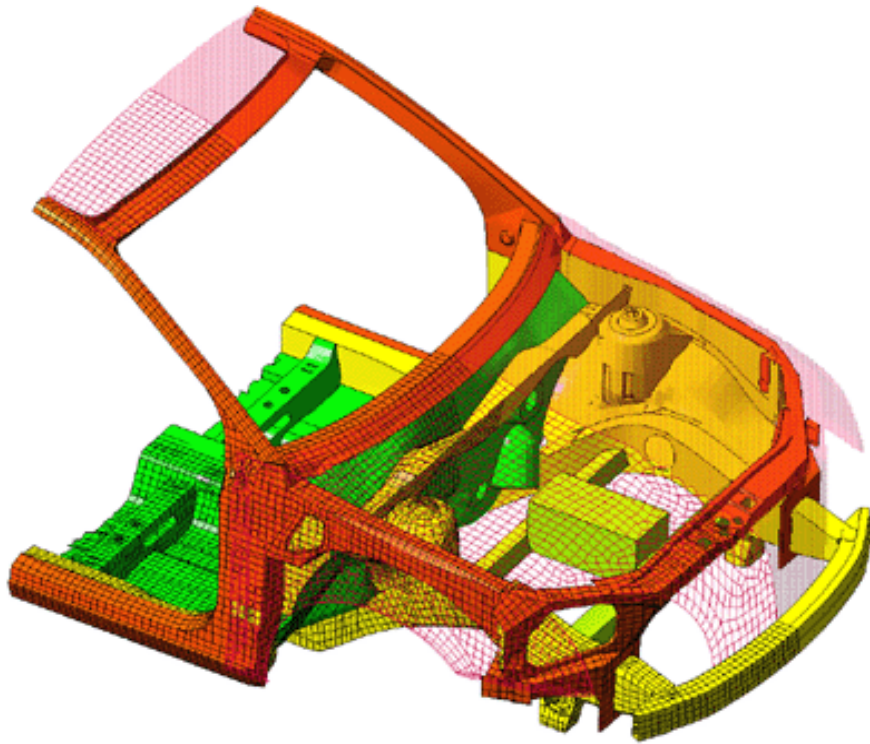
Σε σχέση με τις κατασκευαστικές επιστήμες, η δυνατότητα "απεικόνισης" της γεωμετρίας μιας κατασκευής στον Η/Υ, καθώς και η δυνατότητα "προσομοίωσης" της στατικής, δυναμικής, θερμικής, ρευστομηχανικής, κλπ. συμπεριφοράς της, αποτελούν επιτεύγματα των τελευταίων ετών και έχουν αλλάξει σημαντικά τόσο την εκπαίδευση όσο και την επαγγελματική πράξη του μηχανικού. Μηχανολόγου, Πολιτικού μηχανικού, Ηλεκτρολόγου μηχανικού κ.α.

Χαρακτηριστικά παραδείγματα εφαρμογών της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων καθώς και του ολοκληρωμένου περιβάλλοντος CAD-CAE αναφέρονται στα Σχήματα **1.1** έως **1.8**

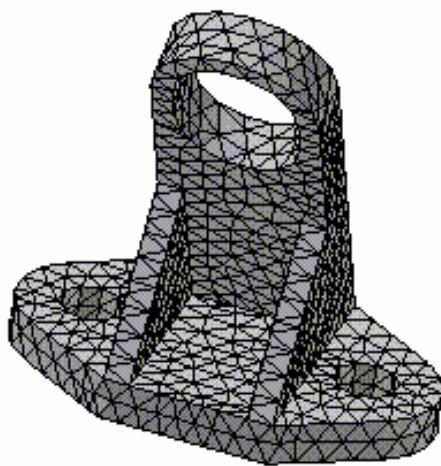
Για την σωστή εκπαίδευση του μηχανικού είναι απαραίτητη :

- η ενσωμάτωση της υπολογιστικής γεωμετρίας στην μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων
- η χρήση της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων σε όλη τη μηχανολογία
- η εμπέδωση των γνώσεων που αφορούν τη μηχανική, θερμική και ρευστομηχανική συμπεριφορά των υλικών
- η εμπέδωση των γνώσεων που αφορούν υπολογιστικές μεθόδους.

## 1.1 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ



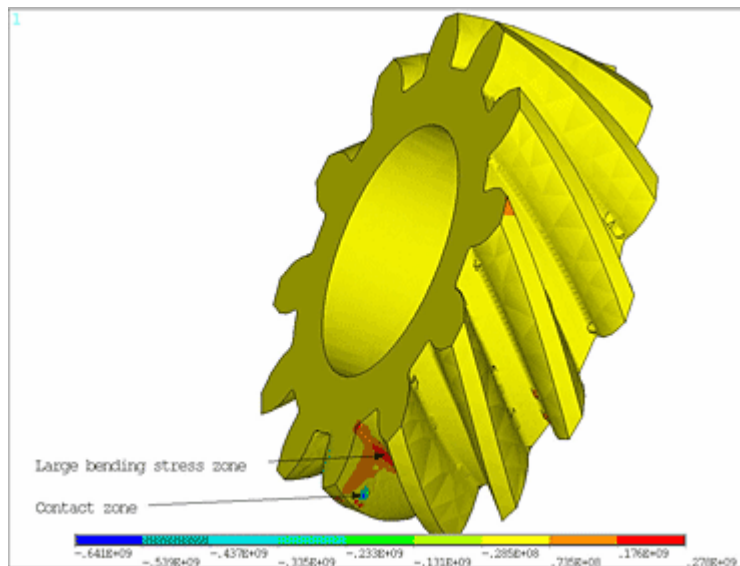
Σχήμα 1.1 : Μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων αμαξώματος αυτοκινήτου



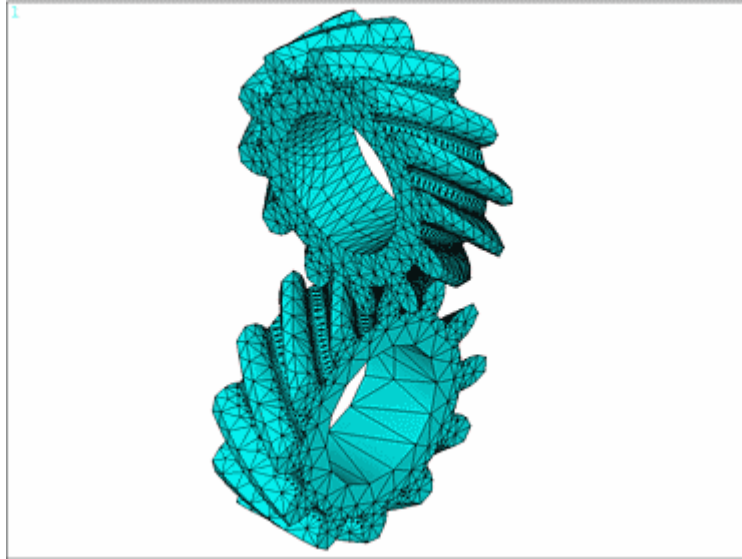
Σχήμα 1.2 : Μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων.



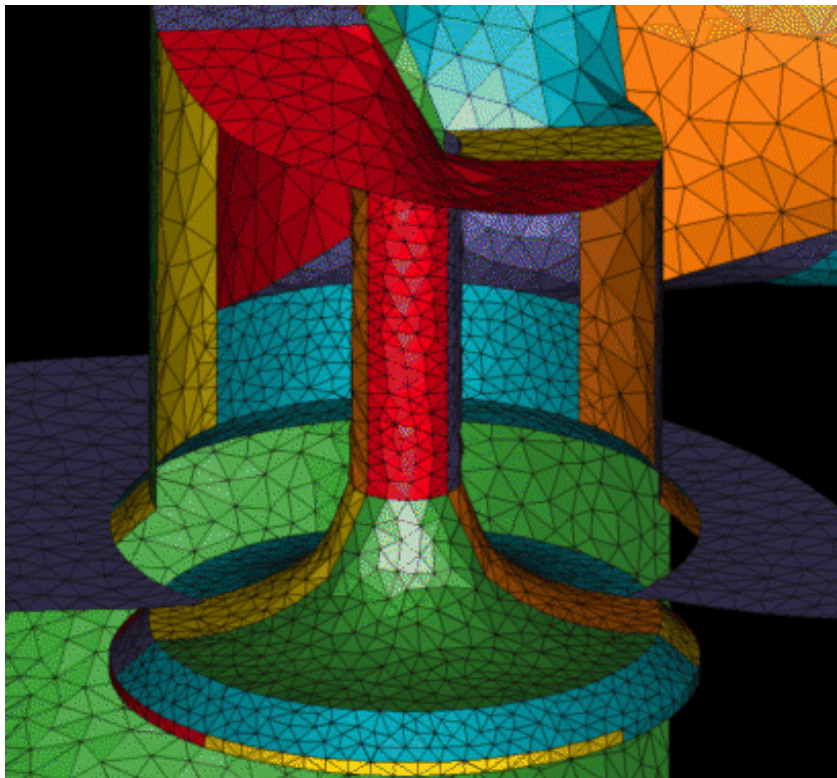
**Σχήμα 1.3 :** Σχεδιασμός δυο γραναζιών με ελικοειδή οδόντωση.



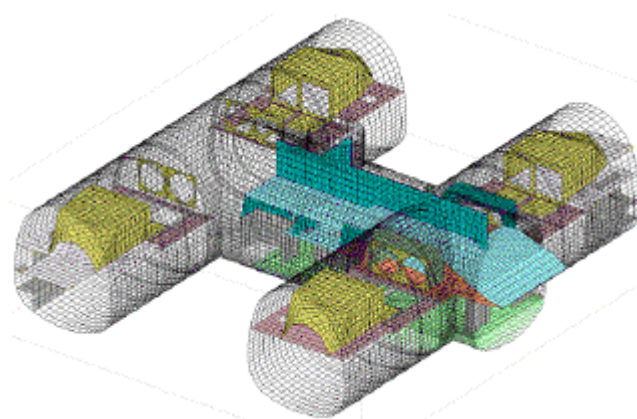
**Σχήμα 1.4 :** Καμπτική τάση στην ρίζα του δοντιού ενός από τα δυο γρανάζια.



**Σχήμα 1.5 :** Το πλέγμα των πεπερασμένων στοιχείων δυο γραναζιών σε εμπλοκή.



**Σχήμα 1.6 :** Μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων βαλβίδας εισαγωγής ενός κινητήρα.



**Σχήμα 1.7 :** Υπολογισμός σηράγγων με Πεπερασμένα στοιχεία.

Οι γεωτεχνικοί υπολογισμοί και ειδικότερα οι υπολογισμοί σηράγγων είναι από τα πιο σύνθετα προβλήματα που έχει να επιλύσει ο μηχανικός με πολλαπλές και μεταβαλλόμενες παραμέτρους σε τόπο και χρόνο.

Η προσομοίωση της διάνοιξης των σηράγγων απαιτεί κατ' αρχήν τη μόρφωση τρισδιάστατων ομοιωμάτων σε μέσο που εμφανίζει μη γραμμική συμπεριφορά λαμβάνοντας υπόψη ποικίλους τρόπους τοποθέτησης άμεσων μέτρων υποστήριξης. Η εφαρμογή τρισδιάστατων μοντέλων αποφεύγονταν συνήθως λόγω των δυσκολιών που παρουσιάζονταν κατά τη χρήση τους. Το εξελιγμένο λογισμικό και οι σύγχρονοι υπολογιστές δίνουν τη δυνατότητα χρήσης τους, υπερνικώντας σε μεγάλο βαθμό τα μέχρι σήμερα υφιστάμενα εμπόδια.

Το λογισμικό μπορεί να λάβει υπόψη:

- Φέρουσα ικανότητα του ιδίου του εδάφους.
- Προσομοίωση του συστήματος με όλες του τις λεπτομέρειες, όπως στρωματογραφία, ρωγμές, πολύπλοκες γεωμετρίες .
- Κατά το δυνατό ακριβή περιγραφή της χρονικής προόδου της κατασκευής και των φάσεων εκσκαφής.
- Ελαστοπλαστική συμπεριφορά του υλικού.
- Δισδιάστατα και τρισδιάστατα συστήματα.
- Τρισδιάστατη προσομοίωση:
  - √ μετάθεση του δικτύου κατά μήκος της σήραγγας
  - √ της διαδικασίας εξόρυξης

Η γραφική εισαγωγή παρέχει όλες τις δυνατότητες που χρειάζεται ο μελετητής για την παραγωγή πολύπλοκων γεωμετριών σηράγγων με τυχαία στρωματογραφία εδάφους, φορτίσεις και οριακές συνθήκες. Το πρόγραμμα περιλαμβάνει αυτόματη γεννήτρια πεπερασμένων στοιχείων για γεωμετρικές περιοχές πρακτικά οποιουδήποτε σχήματος.

## **1.2 Προϋπάρχουσες εντατικές καταστάσεις**

Στο έδαφος υφίσταται σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή μια εντατική κατάσταση. Η κατάσταση αυτή μπορεί να υπολογιστεί από το πρόγραμμα ή να δοθεί με αναλυτικές σχέσεις - οπότε προβλέπονται οι παρακάτω παράμετροι:

- Ίδιο βάρος με ή χωρίς άνωση.
- Επιπρόσθετο φορτίο σε οποιοδήποτε βάθος.
- Πλευρικός συντελεστής ώθησης.
- Προκαθορισμένες οριζόντιες τάσεις.
- Στάθμη υπογείου ύδατος.



### 1.3 Δισδιάστατα μοντέλα

Είναι δυνατά τα ακόλουθα υπολογιστικά μοντέλα:

- Επίπεδη παραμόρφωση με πάχος που μπορεί να καθοριστεί τμηματικά από τον χρήστη.
- Αξονική συμμετρία (μοντέλα εκ περιστροφής).

### 1.4 Στοιχεία

- Επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία με τρεις ή τέσσερις κόμβους.
- Ραβδωτά στοιχεία για την προσομοίωση της επένδυσης.
- Ελατήρια με μη γραμμικές ιδιότητες:

Προένταση

Πλαστικοποίηση

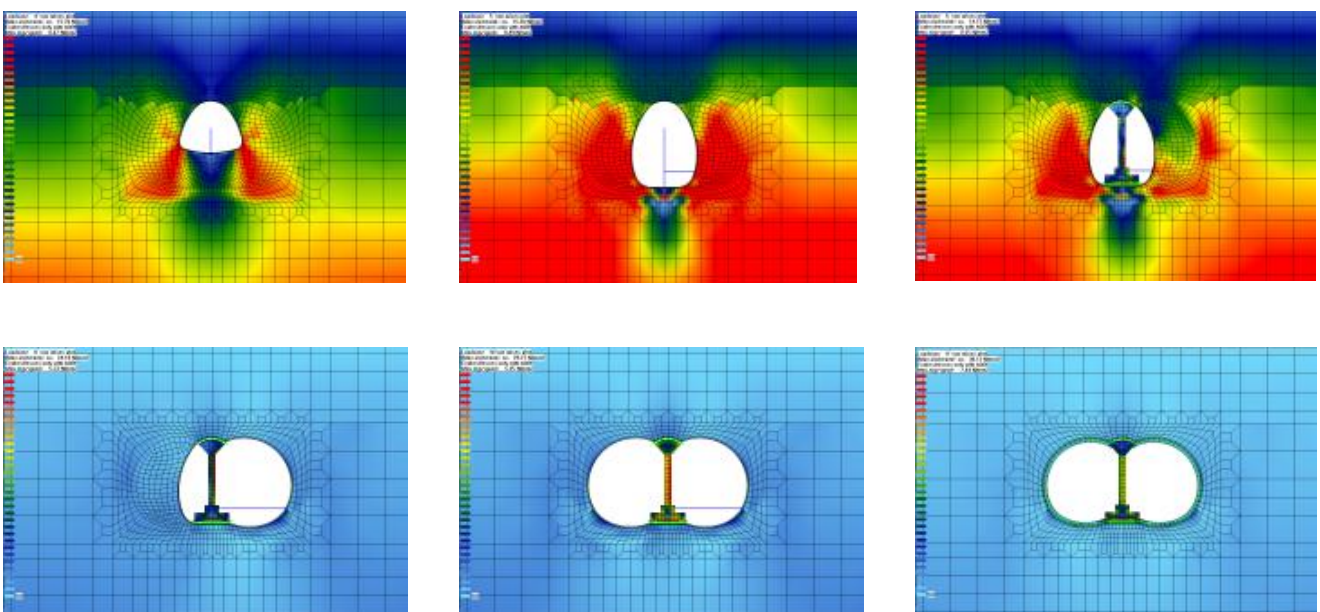
Θραύση / Διαρροή

Τριβή και συνοχή

Οποιαδήποτε γραμμή εργασίας

### 1.5 Φορτία

- Συγκεντρωμένα, γραμμικά, επιφανειακά, από θερμοκρασιακές μεταβολές.
- Υδροστατικές πιέσεις.



Σχήμα 1.8 . Σταθμός μετρό Αιγάλεω



Από τα παραπάνω παραδείγματα διαπιστώνουμε πως η ανάπτυξη στην τεχνολογία των Η/Υ κατάφερε να δώσει στους σχεδιαστές πολλές εφαρμογές , χρήσιμα εργαλεία σχεδιασμού και ανάλυσης κατασκευών. Πλέον για να σχεδιάσουμε μια υποψήφια προς παραγωγή κατασκευή χρησιμοποιούμε έξ' ολοκλήρου τον Η/Υ. Με τον τρόπο αυτό ο μηχανικός (σχεδιαστής) έχει την δυνατότητα να σχεδιάσει την κατασκευή του σε τρισδιάστατο περιβάλλον πολύ πιο γρήγορα από την σχεδίαση με το χέρι. Επιπλέον μέσω Η/Υ υπάρχει και δυνατότητα ταχείας τροποποίησης των σχεδίων σε περίπτωση σφάλματος. Με τον Η/Υ τα εξαρτήματα σχεδιάζονται με μεγάλη ακρίβεια και με μικρό κόστος και μπορούμε να σχεδιάσουμε από την πιο μικρή μέχρι και την πιο μεγάλη κατασκευή. Επίσης μπορούμε να συναρμολογήσουμε διάφορα εξαρτήματα μαζί σε ένα σχέδιο καθώς επίσης και να δούμε πως λειτουργούν σε πραγματικό χρόνο και κάτω από συνθήκες εργασίας.

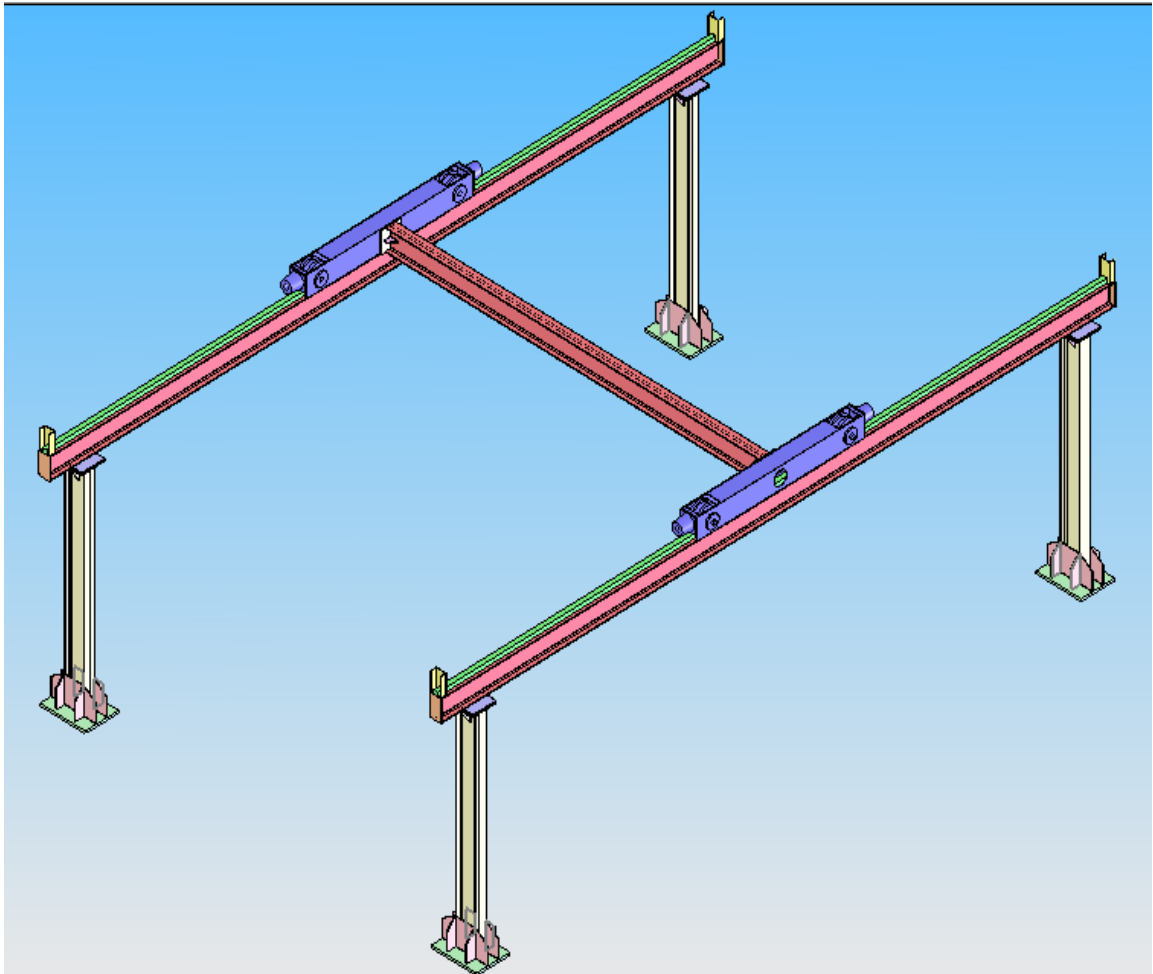
Με τον τρισδιάστατο σχεδιασμό κατασκευών παρόλο που πετυχαίνουμε την γρήγορη και οικονομική σχεδίαση του υλικού δεν καταφέρνουμε να καλύψουμε την ανάγκη των μηχανικών για αξιόπιστη παραγωγή του υλικού. Μέχρι πρότινος δεν είχαμε την απαιτούμενη υπολογιστική διαδικασία για να εξασφαλίσουμε την αντοχή των εξαρτημάτων, στα οποία ήταν δύσκολο με τις κλασσικές μεθόδους να υπολογίσουμε, λόγω της πολυπλοκότητας τους. Το πρόβλημα αυτό επιλύθηκε με την εφαρμογή της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων ( **finite element method** ).

Με την ραγδαία εξέλιξη των Η/Υ και των εφαρμογών του, δόθηκε η δυνατότητα σχεδιασμού και ανάλυσης σύνθετων κατασκευών με μεγάλη ακρίβεια. Δημιουργήθηκαν προγράμματα με λογισμικό πακέτο πεπερασμένων στοιχείων CAE ( **ALGOR, ANSYS, COSMOS, SOFISTIK** κ.α.) όπου ο μηχανικός μπορεί να ορίσει τις οριακές συνθήκες (σημεία στήριξης), να εισάγει διάφορα πραγματικά φορτία που θα καταπονούν την κατασκευή, να επιλέγει το υλικό κατασκευής ώστε να έχει μια ακριβή εικόνα της λειτουργίας και να μπορεί να την διορθώνει όταν αυτός θα το κρίνει απαραίτητο προτού αρχίσει η παραγωγή της κατασκευής. Το γεγονός αυτό εξοικονομεί τεράστιο κόστος επανασχεδιασμού και μελέτης.

## 2) ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ ... ΤΟΝΝΩΝ

Σκοπός της πτυχιακής είναι να σχεδιασθεί μια γερανογέφυρα ... τόννων (με την βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή) σε τρισδιάστατη μορφή. Η σχεδίαση στον Η/Υ θα υλοποιηθεί με την βοήθεια του πακέτου SolidWorks.

Κατόπιν θα μεταφερθούν τα αρχεία σε περιβάλλον πεπερασμένων στοιχείων προκειμένου να γίνουν υπολογισμοί αντοχής. Για το υπολογιστικό μέρος θα χρησιμοποιηθεί το πακέτο Algor.



**Σχήμα 2:** Γερανογέφυρα

Τα χαρακτηριστικά της παραπάνω γερανογέφυρας έχουν ως εξής :  
Ωφέλιμο φορτίο ..., άνοιγμα τροχών ..., ταχύτητα φορείου ..., ταχύτητα γέφυρας ...,

## 2.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΑΠΟΤΕΛΟΥΝ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ



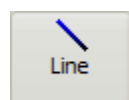
Σχήμα 2.1

Ο τρισδιάστατος σχεδιασμός των δοκών καθώς και των υπολοίπων εξαρτημάτων που απαρτίζουν την κατασκευή έγινε με την χρήση του μενού διαταγών **Command Manager** (σχήμα 2.1). Το μενού command manager αποτελείται από μια πληθώρα επιλογών που θα μας χρησιμεύσουν για την κατασκευή των εξαρτημάτων, στα οποία θα μπορέσουμε να δώσουμε οποιαδήποτε μορφή και πάχος επιθυμούμε. Θα ξεκινήσουμε με την δημιουργία ενός απλού σχήματος, όπως είναι μια δοκός `` I ``. Αρχίζουμε κάνοντας το σχέδιο σε δισδιάστατη μορφή δείχνοντας παράλληλα και τις διαστάσεις του. Για να γίνει εφικτή αυτή η κατασκευή θα μας χρειαστεί το μενού διαταγών sketch. (σχήμα 2.2)

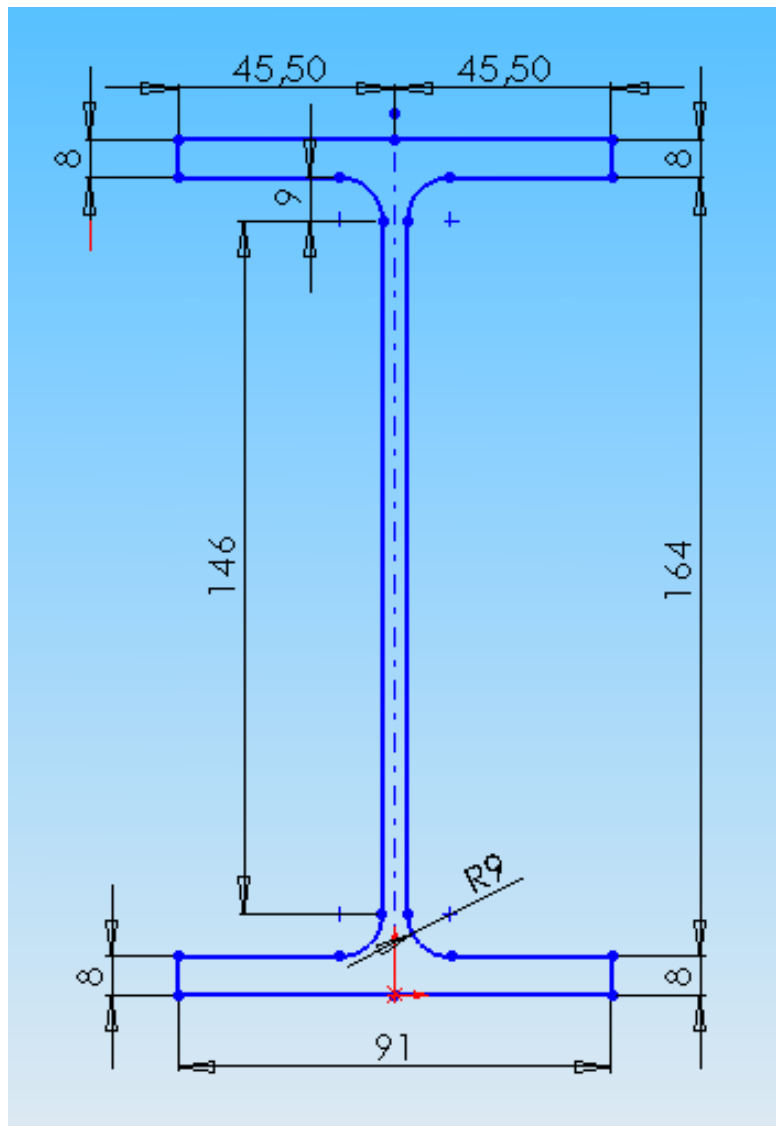


Σχήμα 2.2

Για την σχεδίαση της δοκού θα χρησιμοποιήσουμε την εντολή **line** ενώ για τις καμπυλότητες θα πάρουμε την εντολή **sketch fillet**.

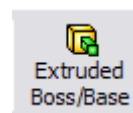


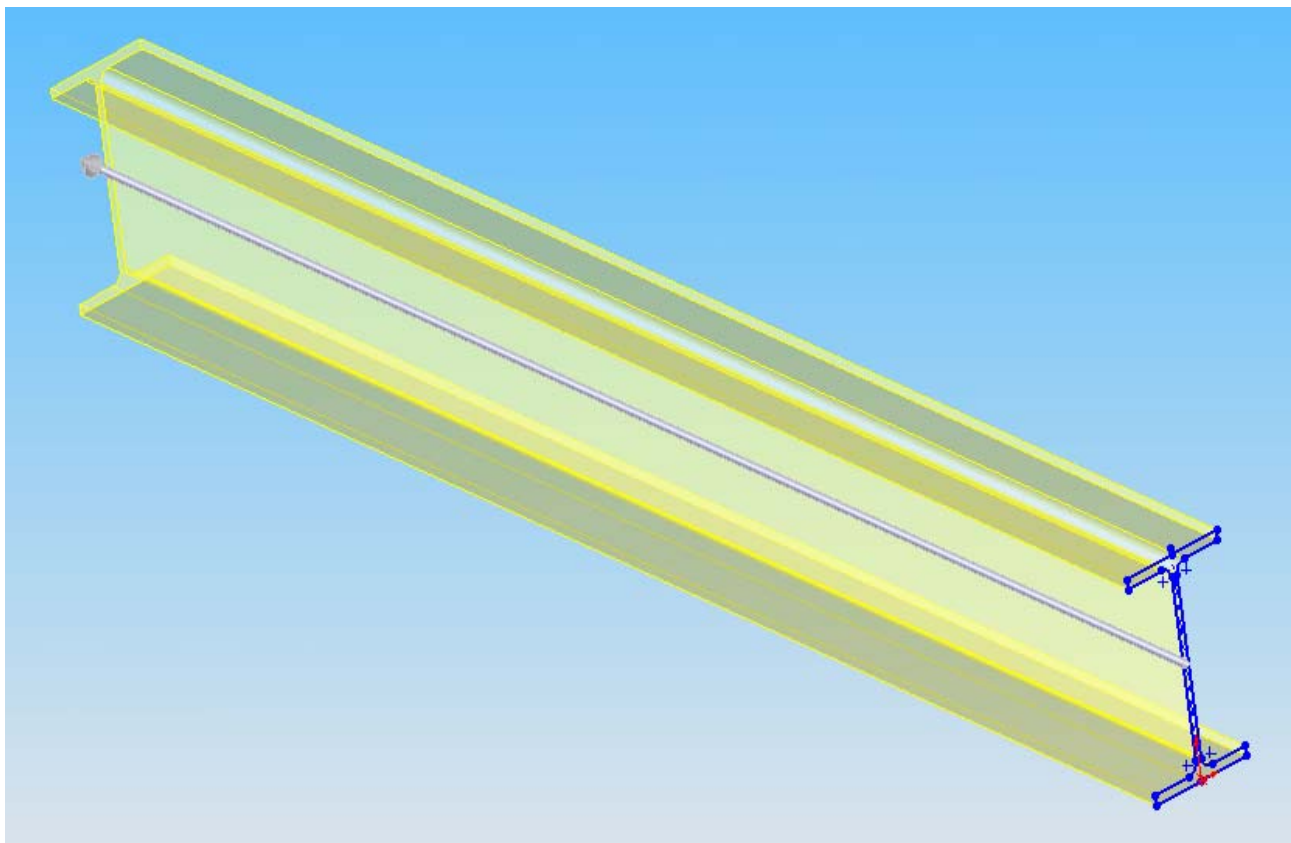
Στο σχήμα 2.3 βλέπουμε το τελικό σχέδιο της δοκού, στο οποίο απεικονίζονται και οι διαστάσεις της.



Σχήμα 2.3

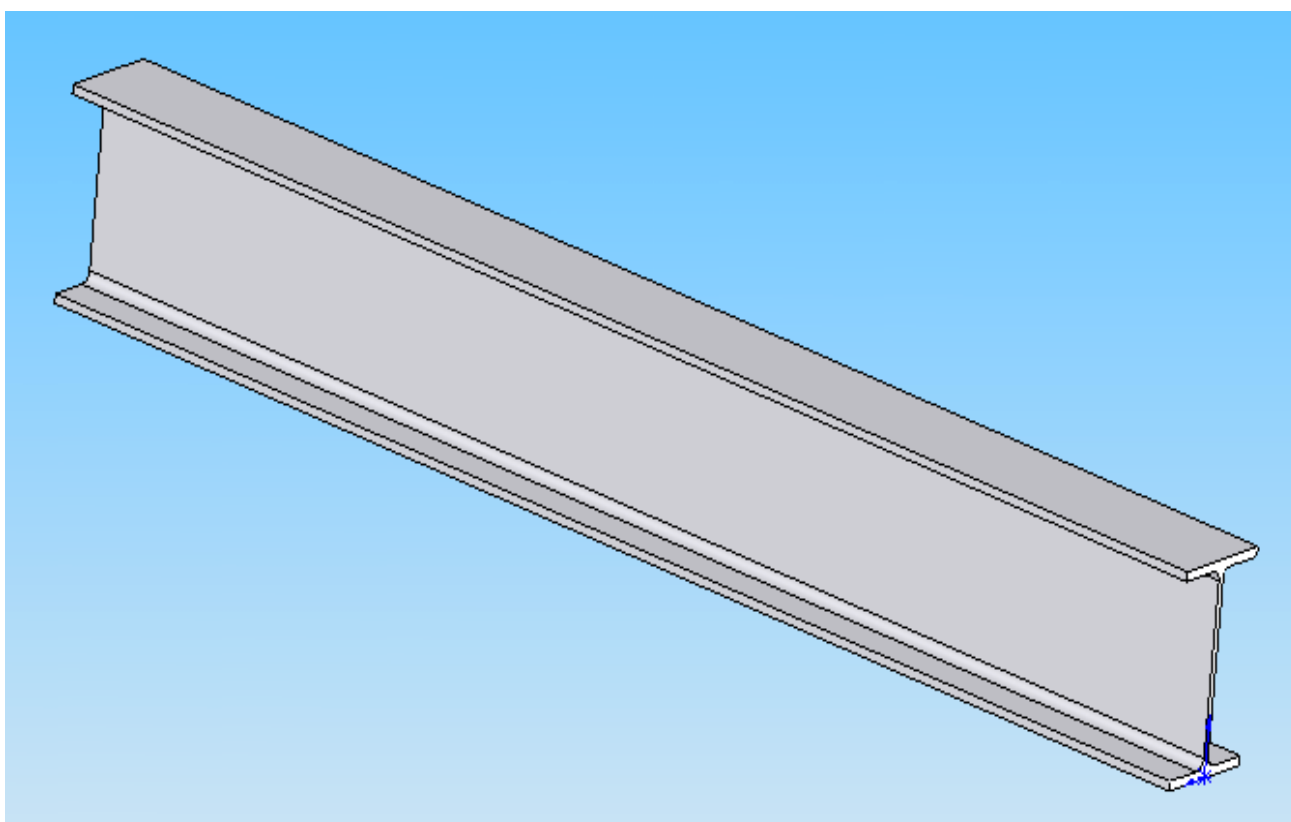
Στην συνέχεια θα αναπτύξουμε την δοκό με την εντολή **Extruded Boss/Base** (εντολή **Extruded Boss/Bane** που σημαίνει προσθήκη υλικού) έτσι ώστε να αποκτήσει την τρισδιάστατη μορφή. (σχήμα 2.4)





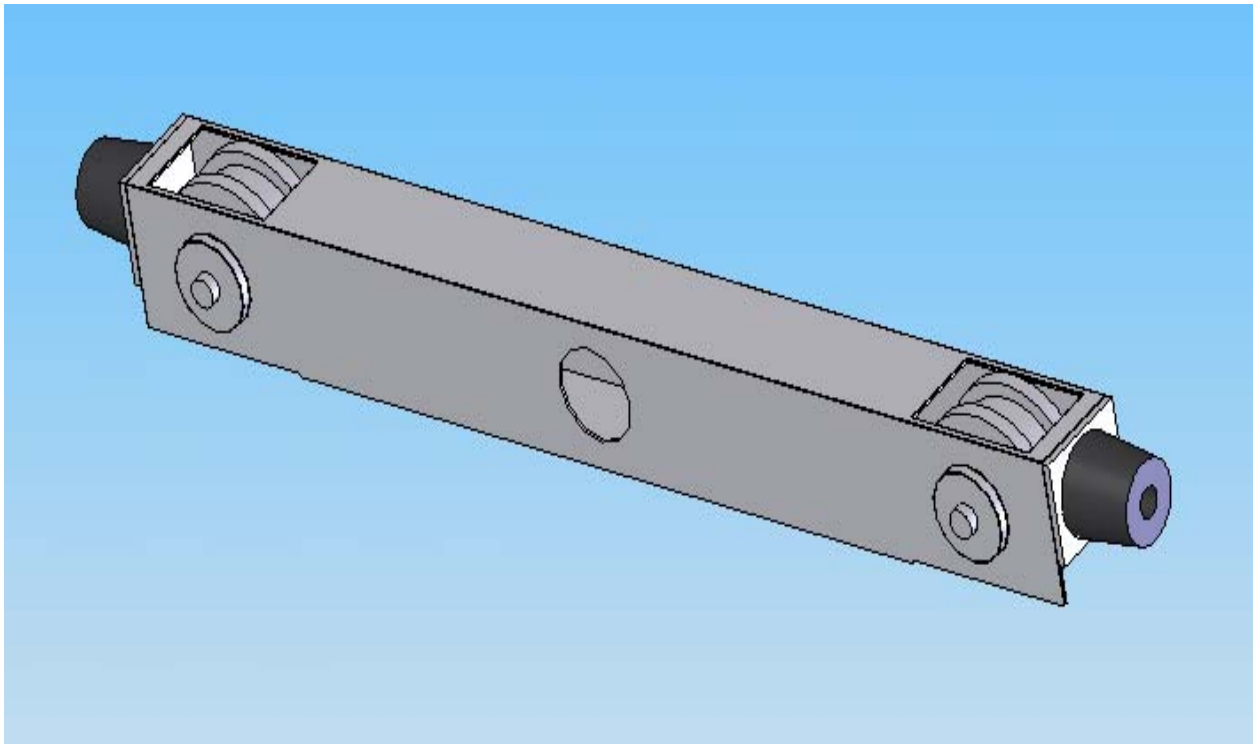
**Σχήμα 2.4**

Η τελική μορφή του θα είναι η εξής. (σχήμα 2.5)



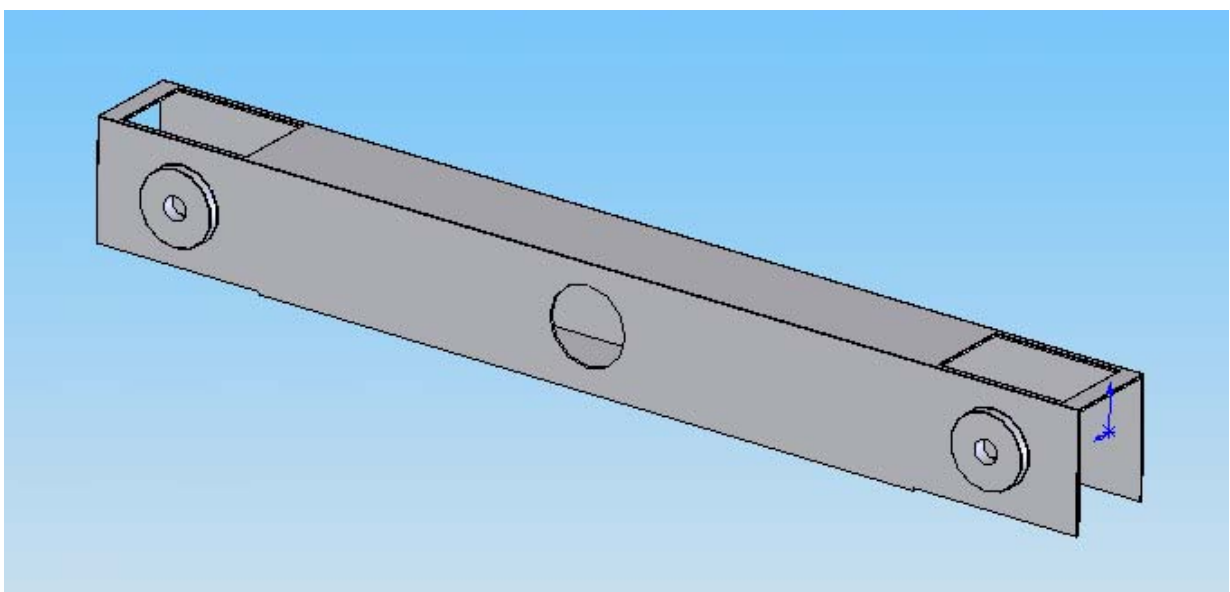
**Σχήμα 2.5**

Ένα άλλο μέρος που θέλουμε να απεικονίσουμε είναι οι πλευρικοί φορείς της γερανογέφυρας. (σχήμα 2.6)



**Σχήμα 2.6 :** Πλευρικός φορέας γερανογέφυρας (συναρμολογημένο)

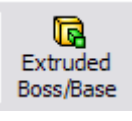
Όπως παρατηρούμε η κατασκευή αυτή δεν αποτελείται από μόνο ένα εξάρτημα αλλά από πολλά. Ο βασικός κορμός αυτού του πλευρικού φορέα φαίνεται στο σχήμα 2.7 και στην συνέχεια με συναρμολόγηση θα φτάσουμε στη τελική μορφή που θα έχει ο φορέας όπως δείχνει το σχήμα 2.6.




**Σχήμα 2.7 :** Πλευρικός φορέας γερανογέφυρας



Τα διάφορα εξογκώματα τα οποία παρατηρούμε στο σχέδιο μας έγιναν με την

εντολή  καθώς επίσης και η αφαίρεση υλικού που προκαλέσαμε στην

κατασκευή μας δημιουργήθηκε με την εντολή  (**Extruded Cut** που σημαίνει αφαίρεση υλικού).

## 2.2. ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

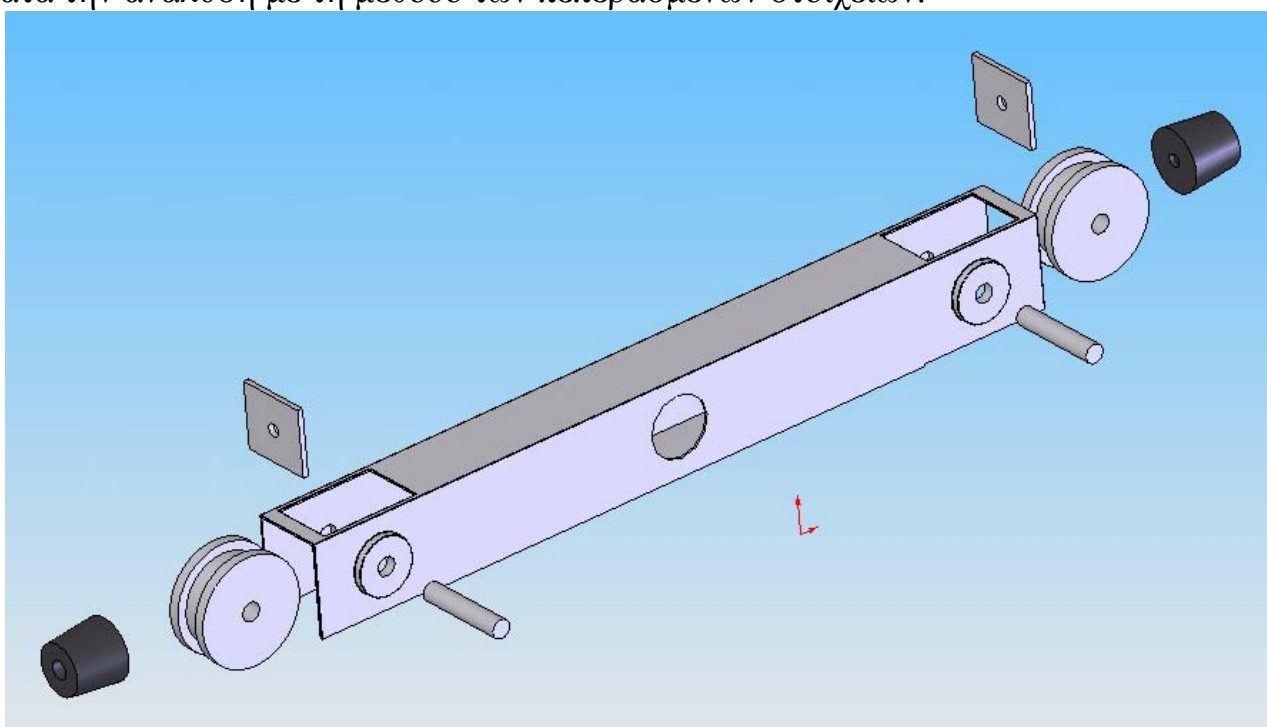


Σχήμα 2.8

Αφού σχεδιάσαμε τα επιμέρους στοιχεία που απαρτίζουν την κατασκευή δημιουργούμε την συναρμολόγηση (assembly) των στοιχείων αυτών χρησιμοποιώντας το μενού διαταγών **Assembly** (σχήμα 2.8). Η συναρμολόγηση δημιουργείται με την εισαγωγή των επιμέρους στοιχείων σε ένα αρχείο και την σύνδεση αυτών με οδηγίες αλληλεπίδρασης και επαφής. Το σχεδιαστικό πακέτο SolidWorks μπορεί να διαχειριστεί ένα πολύ μεγάλο αριθμό στοιχείων (εξαρτήματα). Έτσι μας δίνει την δυνατότητα να σχεδιάσουμε κατασκευές μεγάλου μεγέθους. Τα διάφορα εξαρτήματα που αποτελούν μια τέτοια κατασκευή θα πρέπει να είναι ενωμένα μεταξύ τους με ιδιαίτερες ζεύξεις.

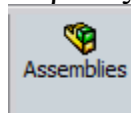
Στα πλαίσια της συγκεκριμένης κατασκευής έχουμε χρησιμοποιήσει όλα τα είδη ζεύξεων όπως είναι οι ζεύξεις απόστασης, παραλληλότητας, ομόκεντρες και συμπίπτουσες.

Περιγράφοντας τον τρόπο σύνδεσης δύο τεμαχίων που απαρτίζουν την κατασκευή θα πρέπει να σημειώσουμε ότι πρέπει οι οδηγίες ζεύξης να προσδιορίζονται προσέχοντας τυχόν εισχωρήσεις τεμαχίων. Και επίσης πρέπει να προσέξουμε τα τεμάχια να έρχονται σε απόλυτη επαφή μεταξύ τους διότι κάποιες αποστάσεις (κενά μεταξύ των δύο σωμάτων) θα μας δημιουργήσουν προβλήματα κατά την ανάλυση με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων.



Σχήμα 2.9

Στο παραπάνω σχήμα 2.9 παριστάνεται ο πλευρικός φορέας και φαίνονται



όλα τα εξαρτήματα να είναι μέσα στο ίδιο αρχείο .

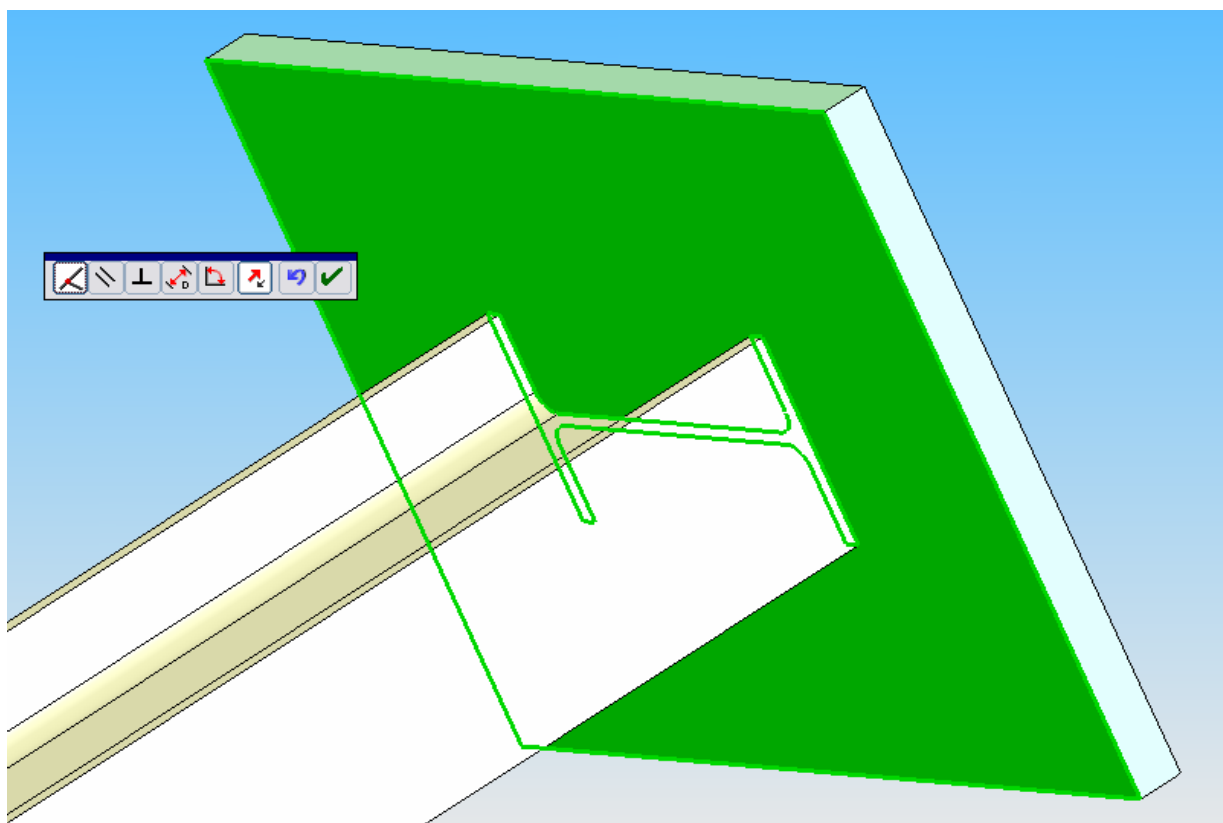
Έπειτα για την σωστή συναρμολόγηση θέτουμε τις εφαπτόμενες επιφάνειες



σε επαφή με την εντολή (εντολή **mate** που σημαίνει συναρμολόγηση δυο στοιχείων μαζί). Υπάρχουν τρεις βαθμοί ελευθερίας που πρέπει να περιορίσουμε για να μην έχουμε καμία μετατόπιση των συνδεδεμένων τεμαχίων.

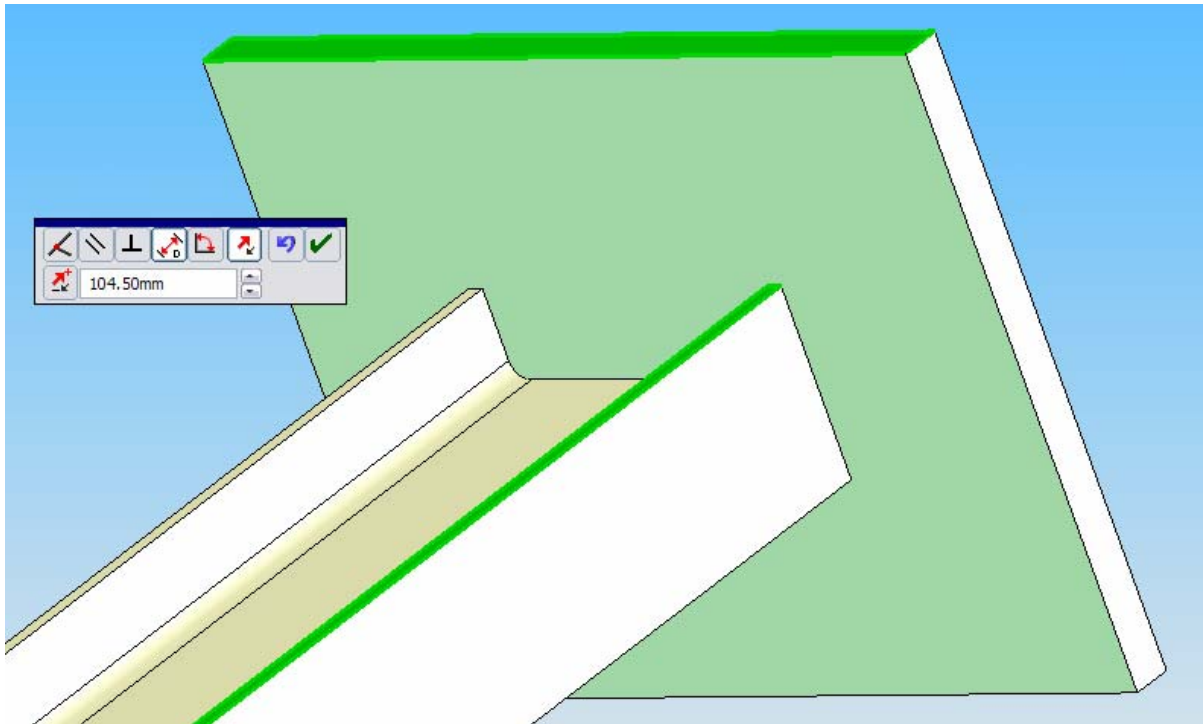
Ένα απλό παράδειγμα για να εξετάσουμε τις περιπτώσεις βαθμού ελευθερίας απεικονίζεται στο σχήμα 2.10.

1. Βαθμός ελευθερίας που πρέπει να περιορίσουμε όπως απεικονίζεται στο επόμενο σχήμα.



Σχήμα 2.10

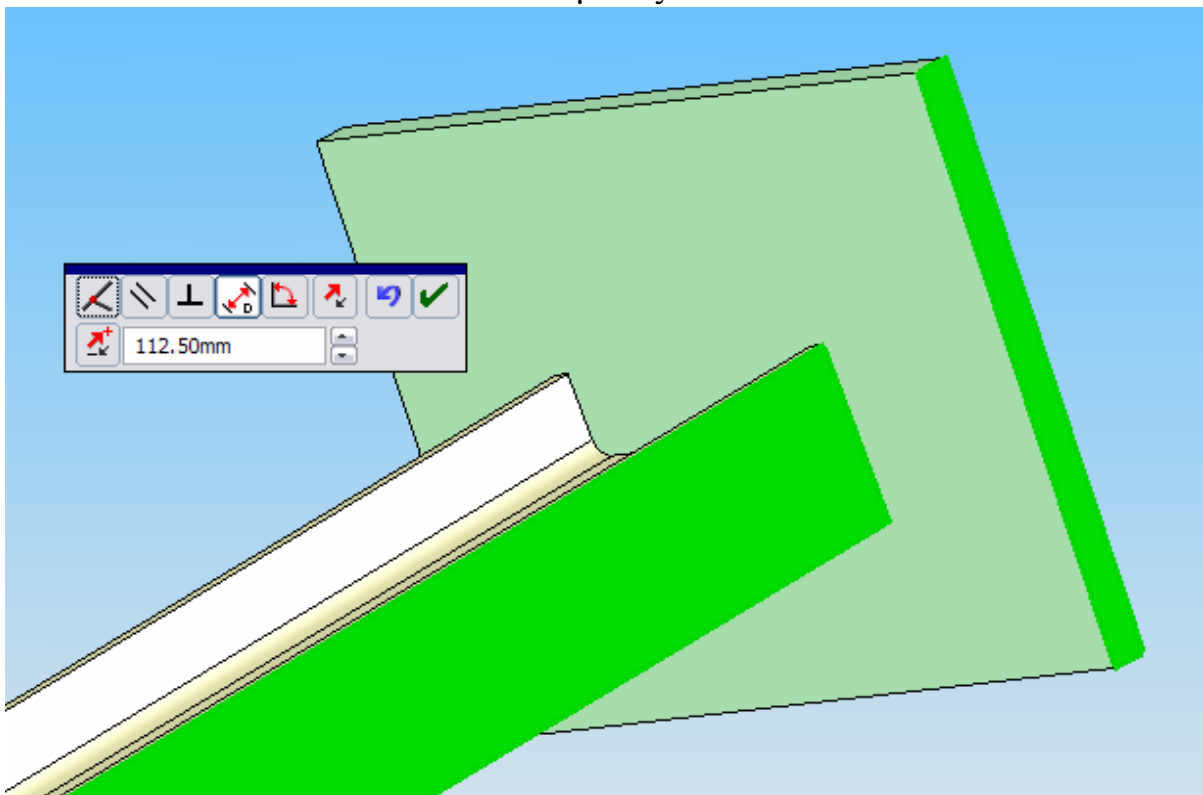
2. Βαθμός ελευθερίας που πρέπει να περιορίσουμε όπως στο επόμενο σχήμα. Έχουμε την δυνατότητα να θέσουμε περιορισμό μεταξύ των δυο επιφανειών με συγκεκριμένη απόσταση.



Σχήμα 2.11

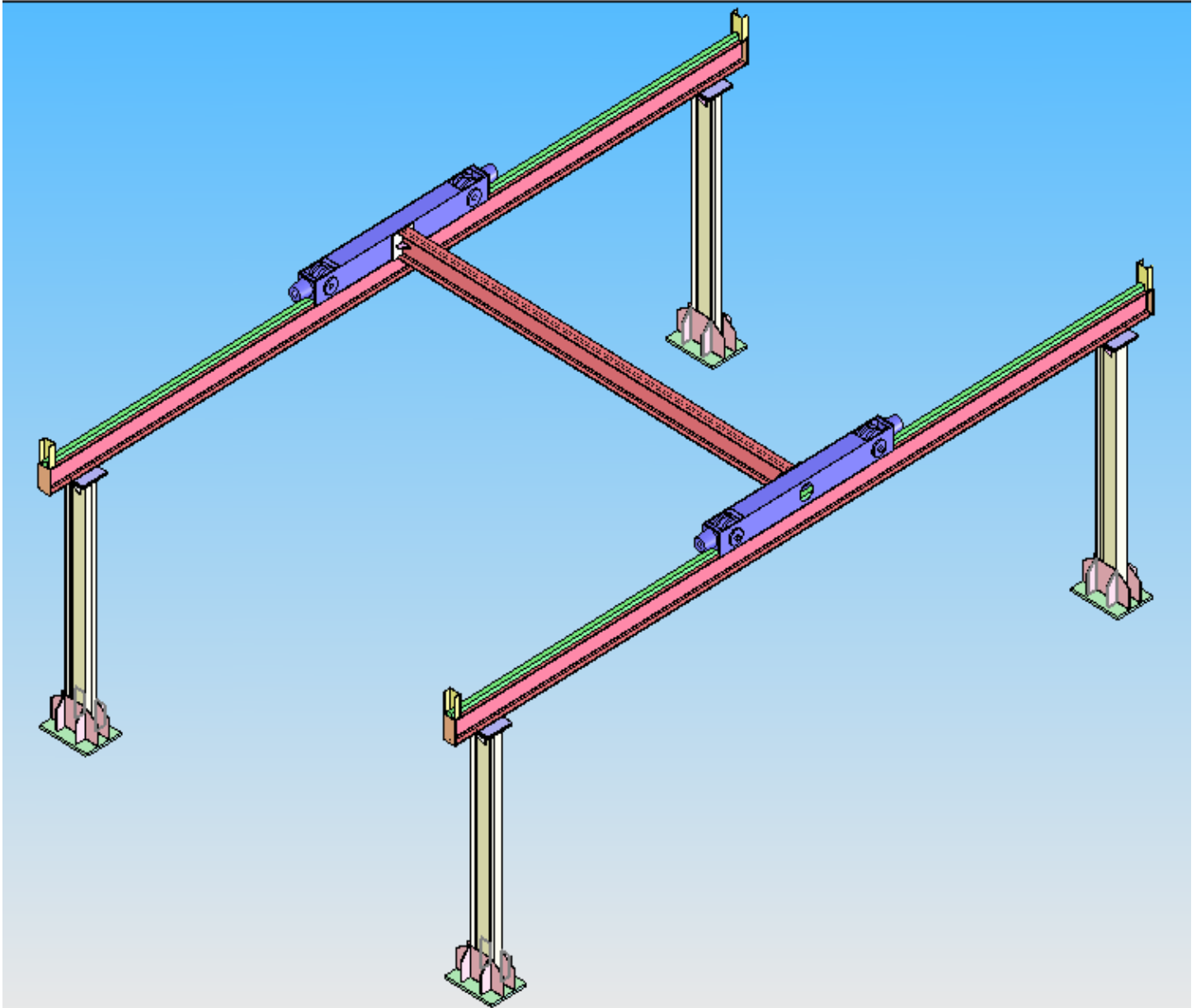
3. Βαθμός ελευθερίας που πρέπει να περιορίσουμε όπως απεικονίζεται στο επόμενο σχήμα. Θέτουμε και πάλι περιορισμό με συγκεκριμένη απόσταση αλλά αυτή τη φορά μπορώ να επιλέξω την μια επιφάνεια του ενός τεμαχίου και από το άλλο τεμάχιο έχω την δυνατότητα να επιλέξω το επίπεδό του.(Plane).

Ομοίως



Σχήμα 2.12

Το σχέδιο της γερανογέφυρας απεικονίζεται στο επόμενο σχήμα 2.13.



Σχήμα 2.13

### **3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΤΩΝ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ**

#### **3.1. Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ( finite element analysis )**

Η ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων είναι μια μηχανογραφημένη μέθοδος για την πρόβλεψη πώς θα αντιδράσει ένα αντικείμενο, σε δυνάμεις, θερμότητα, τριβή κτλ σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας. Αν θα σπάσει, θα λιώσει, ή θα δουλεύει με τον τρόπο με τον οποίο εμείς το έχουμε σχεδιάσει. Η ανάλυση αυτή γίνεται κατά την σχεδίαση του μοντέλου προκειμένου να προβλεφθεί τι πρόκειται να συμβεί όταν το μοντέλο θα λειτουργεί σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας.

Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων λειτουργεί διαιρώντας ένα πραγματικό αντικείμενο σε ένα μεγάλο αριθμό μικρότερων κομματιών που κυμαίνεται από 1.000 έως 100.000 στοιχεία τα οποία μοιάζουν με μικρούς κύβους, ή ράβδους ή επιφάνειες, ανάλογα με το είδος του αντικειμένου που μελετούμε. Η συμπεριφορά του κάθε ενός από τα μικρά στοιχεία, τα οποία είναι συμμετρικά τοποθετημένα στο σχήμα, εξετάζε με μία σειρά από μαθηματικές εξισώσεις. Μετά την εξέταση προσθέτονται οι συμπεριφορές όλων των στοιχείων για να μπορέσει να γίνει πρόβλεψη για την συμπεριφορά του μοντέλου σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας.

Ο περιορισμός στην ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων ήρθε από την ιδέα ότι πρέπει υπάρχει ένας περιορισμένος αριθμός στοιχείων σε ένα μοντέλο. Νωρίτερα οι μηχανικοί απασχολούνταν με ολοκληρωτικούς και διαφορικούς λογισμούς, τα οποία οδηγούσαν σε άπειρο αριθμό στοιχείων.

Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς των αντικειμένων με σεβασμό σε όλα τα πραγματικά φυσικά φαινόμενα τα οποία είναι :



- Μηχανική τάση ( **Mechanical stress** )
- Μηχανική ταλάντωση ( **Mechanical vibration** )
- Μεταφορά θερμότητας ( συναγωγή , αγωγιμότητα , ακτινοβολία )
- Ροή ρευστού ( **Fluid flow** )
- Ποικίλα ηλεκτρικά και μαγνητικά φαινόμενα
- Ακουστική ( **Acoustics** )

Σήμερα οι περισσότεροι μηχανικοί χρησιμοποιούν κάποιο λογισμικό πεπερασμένων στοιχείων για μηχανολογική σχεδίαση και βελτιστοποίηση. Στην συγκεκριμένη περίπτωση της μελέτης της γερανογέφυρας χρησιμοποιήθηκε ένα λογισμικό πεπερασμένων στοιχείων με δυνατότητες στατικής αλλά και δυναμικής ανάλυσης κατασκευών, το Algor.

### 3.2. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΘΕΩΡΙΑ ΤΩΝ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Το 1678, ο Robert Hooke έθεσε τις βάσεις για την μοντέρνα ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων με τον νόμο του Hooke. Σε απλή περιγραφή ένα ελαστικό σώμα στο οποίο εφαρμόζεται μια δύναμη, εμφανίζει μια παραμόρφωση (strain) ανάλογη με την δύναμη πάνω σε αυτό. Μαθηματικά αυτό εκφράζεται ως εξής :

$$F = k \cdot x$$

- $F$  = δύναμη
- $k$  = ελαστική σταθερά
- $x$  = μεταβολή του μήκους

Αυτή είναι η μόνη εξίσωση την οποία χρειαζόμαστε για να καταλάβουμε την ανάλυση των πεπερασμένων στοιχείων. Φανταζόμαστε ότι ένα φλιτζάνι καφέ είναι τοποθετημένο πάνω στο τραπέζι. Έστω ότι σπάει και δημιουργούνται 2.000 μικρά κομμάτια (στοιχεία). Κάθε στοιχείο έχει 8 γωνίες ή κόμβους. Όλοι οι κόμβοι της βάσης του φλιτζανιού είναι σταθεροί ή πακτωμένοι. Σύμφωνα με την ορολογία της μηχανολογίας όταν οι μετατοπίσεις και οι περιστροφές και στους 3 άξονες συντεταγμένων (x,y,z) είναι δεσμευμένες τότε λέμε ότι έχουμε πάκτωση. Θέτουμε κατόπιν μια δύναμη σε έναν κόμβο κοντά στην κορυφή του φλιτζανιού.

Αυτός ο μοναδικός κόμβος θα μετακινηθεί πολύ λίγο γιατί όλα τα υλικά έχουν κάποια ελαστικότητα. Αυτή η μετακίνηση μπορεί να περιγραφεί με τον τύπο  $F = k \cdot x$ . Το συγκεκριμένο στοιχείο δεν φεύγει από την θέση του διότι τα άλλα στοιχεία θα έχουν την τάση να το συγκρατούν όσο μπορούν για να μην φύγει. Στην πραγματικότητα καθώς η δύναμη μεταδίδεται διαμέσου του πρώτου στοιχείου, μεταφέρεται και μετατοπίζει τα άλλα στοιχεία. Χωρίς τον H/Y, εμείς θα χάναμε τα ίχνη των συμβάντων πολύ γρήγορα, διότι δεν θα μπορούσαμε να χειριστούμε εύκολα τις φορτίσεις και τις μετατοπίσεις των 2000 κομματιών με τους 8 κόμβους σε κάθε κομμάτι.

Στην μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων, ένα σημαντικό βήμα είναι ο σχηματισμός του μητρώου δυσκαμψίας των στοιχείων. Αυτό που συμβαίνει είναι ότι η δυσκαμψία,  $k$ , είναι δημιουργημένη για την σχέση μεταξύ κάθε κόμβου σε κάθε στοιχείο. Κατ'αυτό τον τρόπο κάθε κόμβος είναι συνδεδεμένος με άλλο κόμβο σε κάθε στοιχείο με ένα ελατήριο, το οποίο θα συμπεριφέρεται σαν  $F = k \cdot x$ .

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ :**  $F$  και  $x$  είναι διανύσματα όπου το καθένα έχει μία τιμή και μία κατεύθυνση.

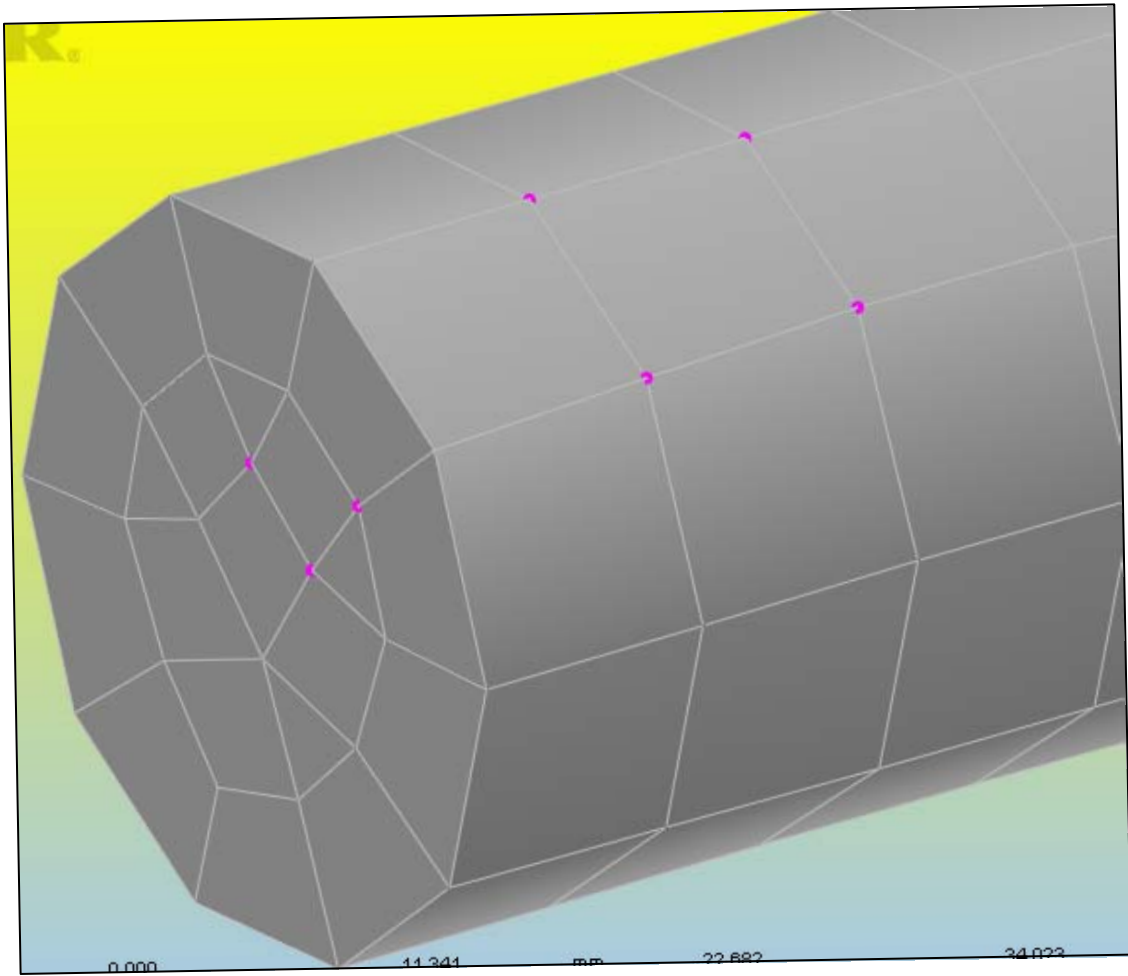
Στο τελικό στάδιο είναι η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Οι τάσεις είναι γνωστές γνωρίζοντας την δύναμη για κάθε κόμβο και την γεωμετρία του κάθε στοιχείου. Άλλα φυσικά φαινόμενα όπως η μεταφορά θερμότητας, η ροή ρευστού, και οι ηλεκτρικές επιδράσεις μπορούμε να τα χειριστούμε με τον ίδιο τρόπο χρησιμοποιώντας τις ίδιες συναφείς εξισώσεις.

### 3.3. Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΚΟΜΒΟΥ ( node )

Ο κόμβος είναι μια τοποθεσία στο σύστημα συντεταγμένων όπου οι βαθμοί ελευθερίας είναι ορισμένοι. Ο βαθμός ελευθερίας για αυτό το σημείο απεικονίζει την πιθανή μετακίνηση του σημείου εξαιτίας του φορτίου του δομήματος. Ο βαθμός ελευθερίας επίσης απεικονίζει τις δυνάμεις κατά τις χρονικές στιγμές, όπως αυτές μεταδίδονται από το ένα στοιχείο στο επόμενο. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης συνήθως δίνονται πάνω στους κόμβους.

Σε πραγματικό χρόνο, ένα σημείο μπορεί να μετακινηθεί σε 6 διαφορετικές κατευθύνσεις, μετατόπιση στους άξονες X,Y,Z και περιστροφή πάλι στους άξονες X,Y,Z. Στην ανάλυση με πεπερασμένα στοιχεία ένας κόμβος πιθανόν να έχει περιορισμένες υπολογιστικές κινήσεις για διάφορους λόγους. Οι βαθμοί ελευθερίας ενός κόμβου εξιστορούν επίσης τι τύποι δυνάμεων μεταδίδονται διαμέσου του κόμβου του στοιχείου. Μια δύναμη (αξονική ή διατμητική) είναι ισότιμη σε μια μετάθεση του βαθμού ελευθερίας.

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται ένα δοκίμιο. Με τα ροζ σημάδια βλέπουμε ποιοι είναι ο κόμβοι σε ένα ή περισσότερα στοιχεία.

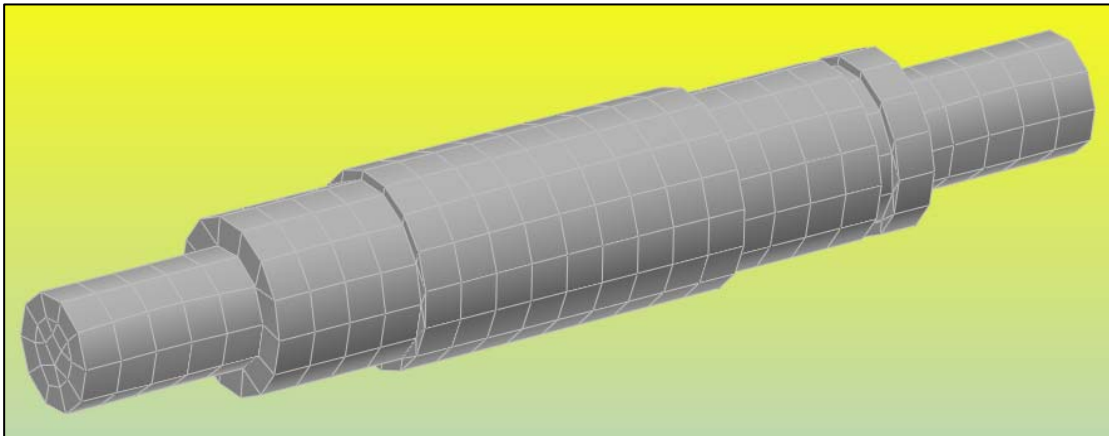


**Σχήμα 3.1 :** Διακριτοποίηση δοκιμίου – ανάλυση σε κόμβους

### 3.4. ENNOΙΑ ΤΟΥ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ ( element)

Ένα στοιχείο είναι το βασικό δομικό κομμάτι της ανάλυσης με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Υπάρχουν αρκετοί βασικοί τύποι στοιχείων. Οποιοσδήποτε τύπος στοιχείου για ανάλυση πεπερασμένων συνηθίζεται να εξαρτάται από τον τύπο του αντικειμένου το οποίο θα μοντελοποιηθεί για ανάλυση πεπερασμένων και τον τύπο της ανάλυσης που θα εκτελεστεί.

Ένα στοιχείο είναι μια μαθηματική σχέση που ορίζει τους βαθμούς ελευθερίας ενός κόμβου σε σχέση με τον διπλανό κόμβο. Αυτά τα στοιχεία μπορεί να είναι γραμμές, περιοχές ή στερεά (κυβικά η τετράεδρα). Αυτό περιγράφει πως οι μετατοπίσεις δημιουργούν τάσεις.



**Σχήμα 3.2 :** Διακριτοποίηση ατράκτου

Στο παραπάνω σχήμα παρατηρούμε ένα απλό δοκίμιο το οποίο αποτελείται από στοιχεία (514 στοιχεία για την ακρίβεια). Έτσι όπως παριστάνεται η άτρακτος το στοιχείο είναι ένας απλός κύβος (μόνο που εμείς το στοιχείο δεν το βλέπουμε σε 3σδιαστατη μορφή) και όλοι οι κόμβοι είναι ενωμένοι μεταξύ τους.



### 3.5. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΒΗΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Σε μια τυπική τασική ανάλυση υπάρχει μια βασική αλυσίδα βημάτων που θα πρέπει να ακολουθήσουμε για να μπορέσουμε να κάνουμε τον επιθυμητό έλεγχο. Η διαδικασία την οποία θα πρέπει να ακολουθήσουμε είναι η εξής :

1. Να δημιουργήσουμε ένα πλέγμα ( πλέγμα από κόμβους και στοιχεία ) που θα αντιπροσωπεύει το μοντέλο που θα αναλυθεί.
2. Να ορίσουμε ένα σύστημα μονάδων ( SI )
3. Να ορίσουμε τις παραμέτρους ανάλυσης του μοντέλου μας.
4. Να ορίσουμε τον τύπο των στοιχείων και τις παραμέτρους του.
5. Να ορίσουμε δυνάμεις και σημεία στήριξης.
6. Λύνουμε το σύστημα των γραμμικών αλγεβρικών εξισώσεων.
7. Υπολογίζουμε τα επιθυμητά μεγέθη.
8. Βλέπουμε τα αποτελέσματα.
9. Δημιουργούμε μία αναφορά των αποτελεσμάτων της ανάλυσης.

Συνήθως τα παραπάνω βήματα χωρίζονται σε τρία(3) στάδια :

- Προετοιμάζοντας το μοντέλο : Βήματα 1-5
- Αναλύοντας το μοντέλο : Βήματα 6-7
- Αξιολόγηση αποτελεσμάτων : Βήματα 8-9

Στην συνέχεια θα αναλυθούν τα βήματα που περιγράφηκαν παραπάνω στο περιβάλλον του συγκεκριμένου λογισμικού (ALGOR).

# The FEMPRO Interface

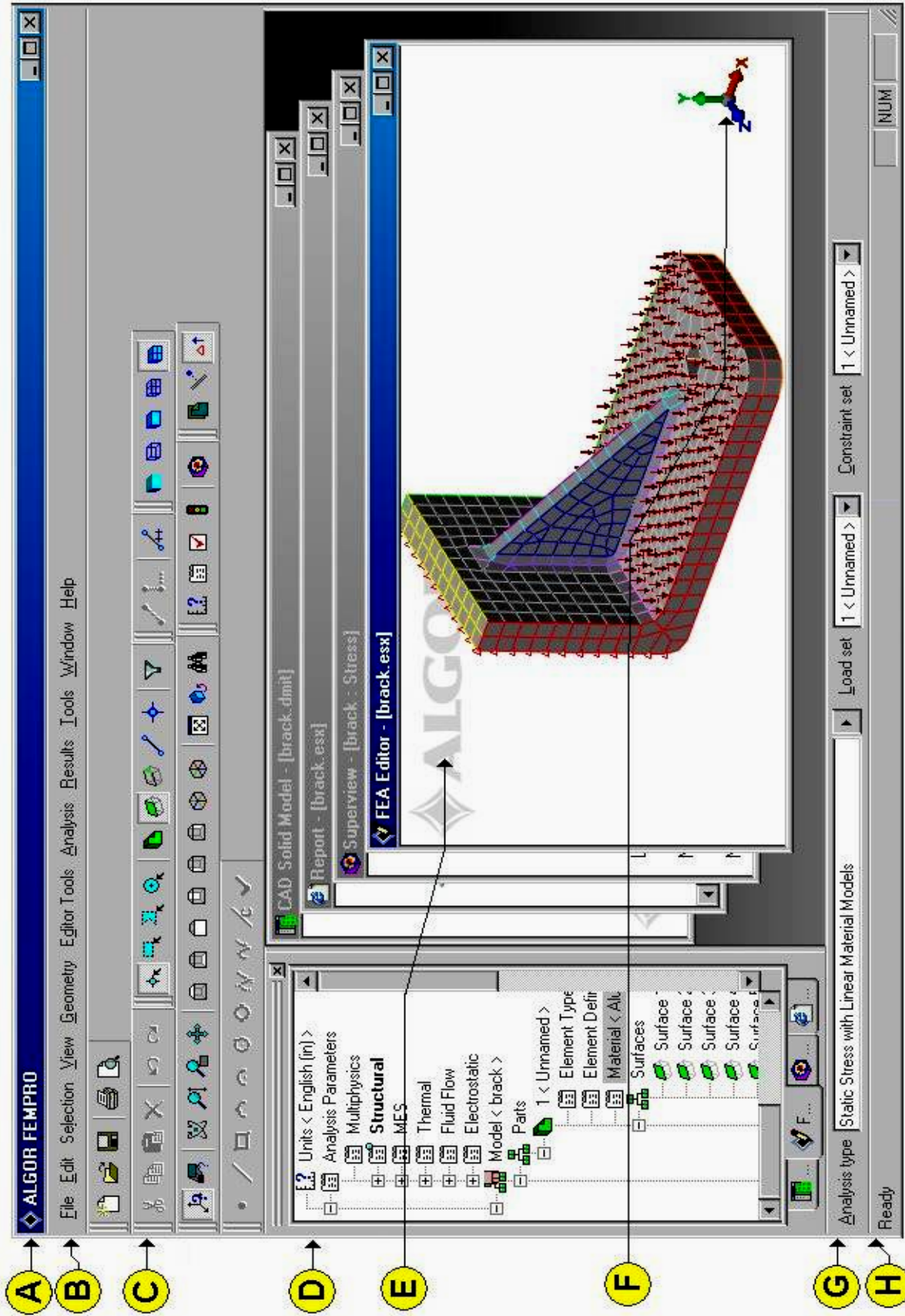


Figure 1: FEMPRO Interface

## 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΤΟΥ ALGOR

### 4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ

Στην παραπάνω εικόνα απεικονίζεται το γραφικό περιβάλλον του προγράμματος Algor. Τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά δείχνονται παρακάτω :

A. **Title bar:** Υποδηλώνει το όνομα του προγράμματος

B. **Menu bar:** Η παρούσα μπάρα βρίσκεται ακριβώς κάτω από την title bar και περιέχει τα υπομενού.

C. **Toolbars:** Αυτή η μπάρα εφοδιάζει τον χρήστη με γρήγορη πρόσβαση σε πολλές από τις εντολές.

D. **Tree view:** Στο δέντρο εργασιών μπορούμε να δούμε τις παραμέτρους ανάλυσης τις οποίες χρησιμοποιούμε. Υπάρχουν 4 περιβάλλοντα ή αλλιώς δέντρα με τα στοιχεία που είναι τα εξής:

1. CAD solid model
2. FEA editor
3. Results
4. Report

E. **Display area:** Είναι το πλαίσιο στο οποίο απεικονίζεται το μοντέλο μας και παρατηρούμε την μορφή που έχει και δουλεύουμε πάνω σε αυτό.

F. **Miniaxis:** Μας δείχνει το σύστημα συντεταγμένων X, Y, Z.

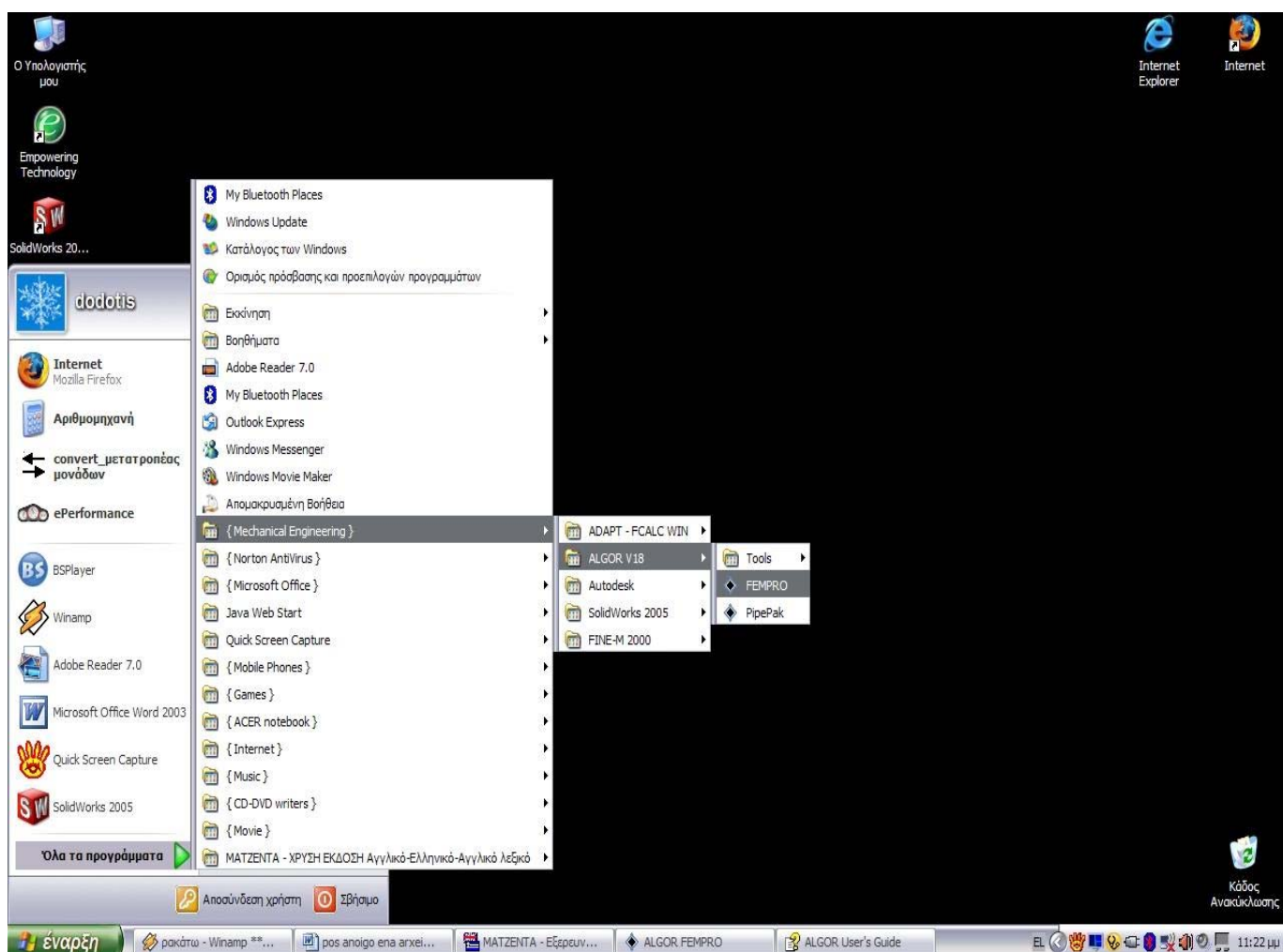
G. **Design Scenario Toolbar:** Η συγκεκριμένη μπάρα μας υποδεικνύει τον τύπο της ανάλυσης τον οποίο εμείς έχουμε διαλέξει για το δοκίμιο μας.

H. **Status bar:** Αυτή η μπάρα μας δείχνει διάφορα σημαντικά μηνύματα για την πορεία της εκτέλεσης των εργασιών.

## 4.2. ΞΕΚΙΝΩΝΤΑΣ ΤΟ ALGOR

Για να ξεκινήσουμε την εφαρμογή Algor θα πρέπει να ακολουθήσουμε την εξής διαδικασία :

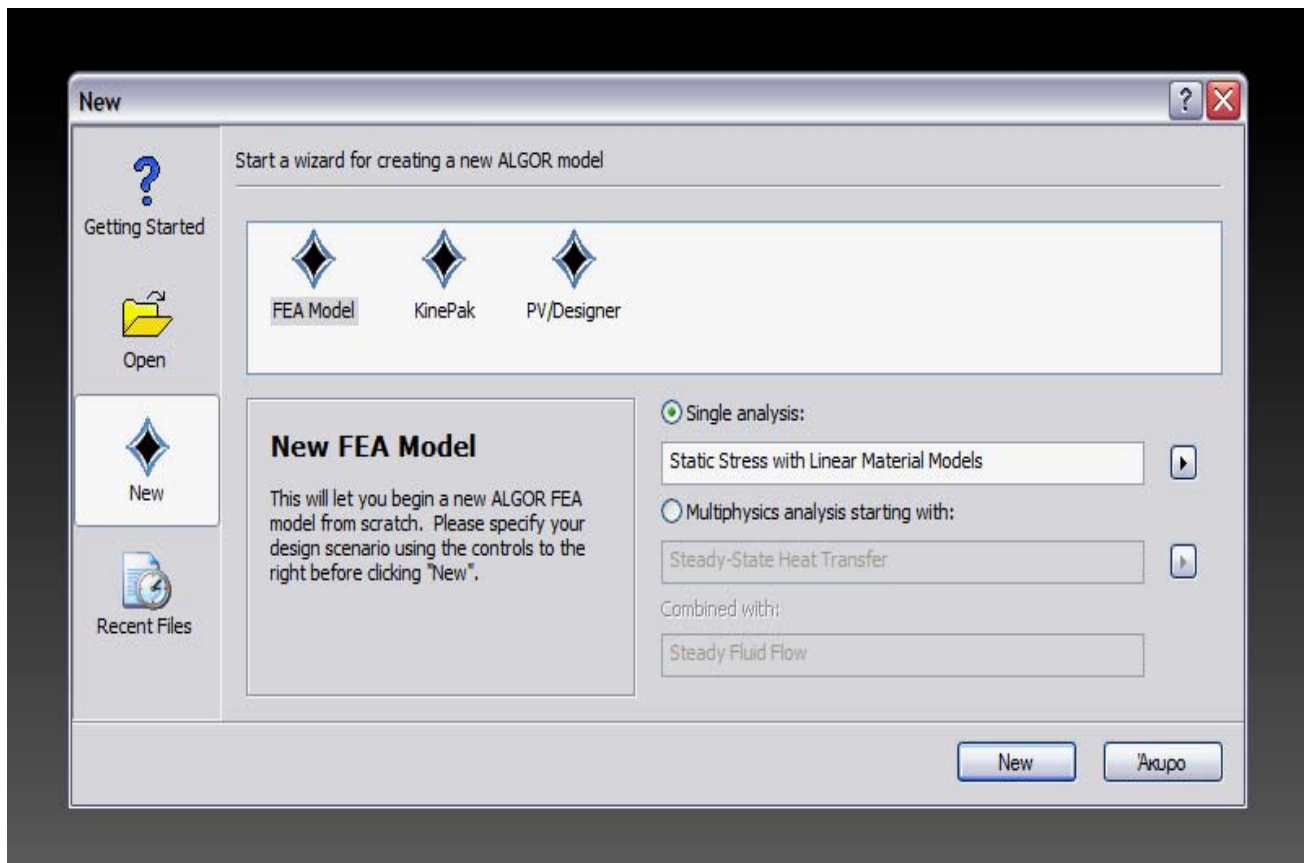
Έναρξη → προγράμματα → AlgorV18 (το V18 σημαίνει την έκδοση του Algor και μπορεί να αλλάζει κάθε φορά) → Fempro (η διαδικασία αυτή απεικονίζεται στο σχήμα 4.1)



Σχήμα 4.1

### 4.3. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΝΟΣ ΝΕΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Ανοίγοντας για πρώτη φορά το πρόγραμμα βγαίνει ένα παράθυρο διαλόγου που μας ρωτάει τι ακριβώς θέλουμε να κάνουμε. Έστω ότι εμείς θέλουμε να δημιουργήσουμε ένα νέο μοντέλο. Θα εμφανιστεί το παράθυρο διαλόγου (σχήμα 4.2).

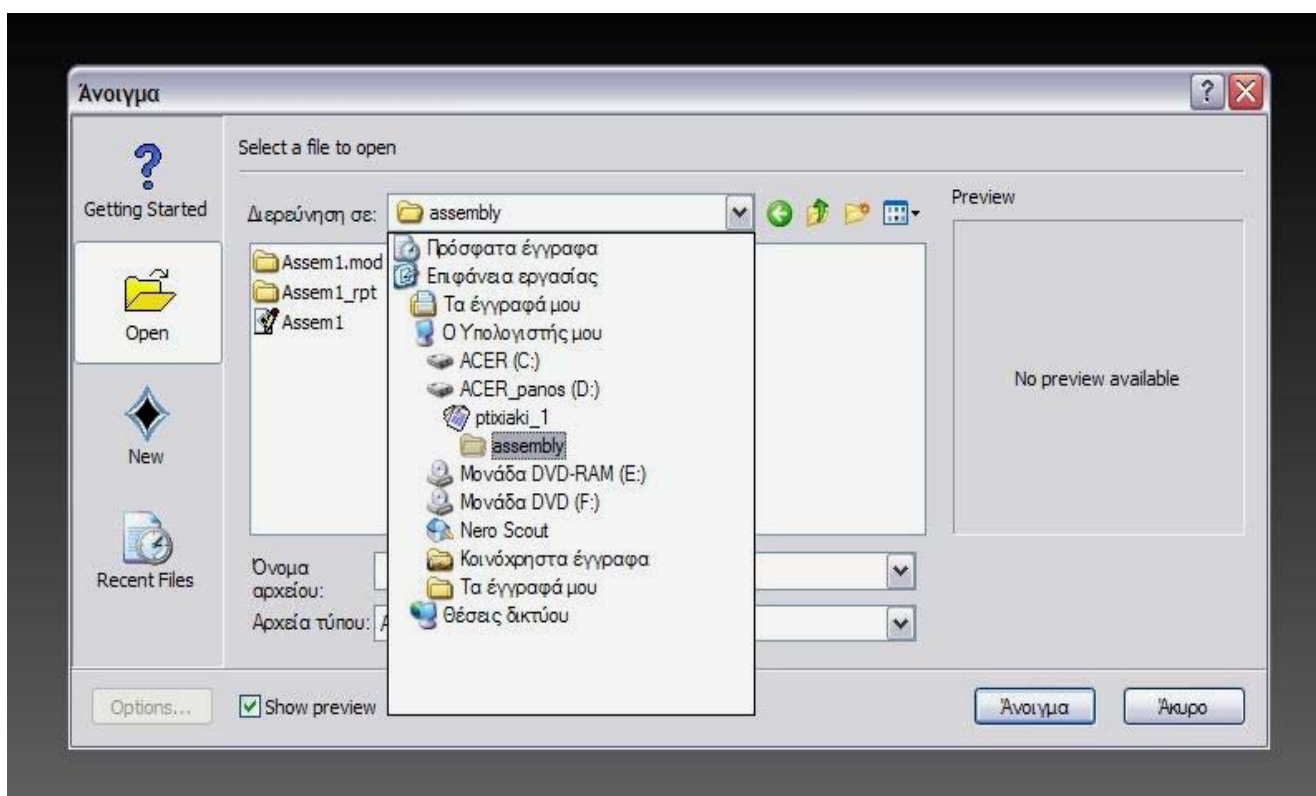


Σχήμα 4.2 : Δημιουργία νέου μοντέλου για ανάλυση με το Algor

Όπως βλέπουμε στο παραπάνω σχήμα όταν θέλουμε να κάνουμε ένα νέο σχέδιο έχουμε τρεις(3) επιλογές : α) FEA model , β) KinePak και γ) PV/Designer

## 4.4. ΑΝΟΙΓΟΝΤΑΣ ΕΝΑ ΥΠΑΡΧΟΝ ΜΟΝΤΕΛΟ

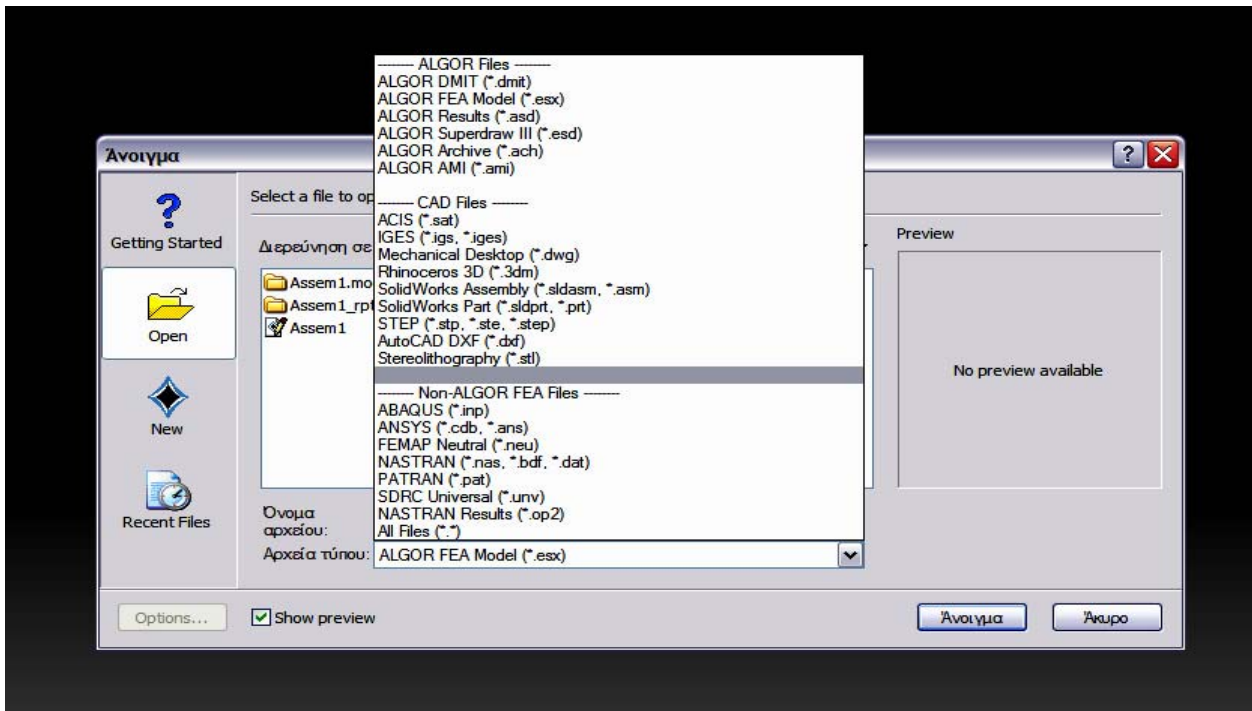
Εκτός της δυνατότητας δημιουργίας ενός νέου μοντέλου έχουμε και την δυνατότητα να ανοίξουμε και ένα ήδη υπάρχον αρχείο είτε το έχουμε επεξεργαστεί με το Algor είτε με άλλα προγράμματα. Το μόνο που θα πρέπει να γνωρίζουμε και είναι πολύ σημαντικό είναι το ότι θα πρέπει να φροντίσουμε το σχέδιο μας να έχει δημιουργηθεί με μια εφαρμογή η οποία να είναι συμβατή με το Algor.



Σχήμα 4.3 : Άνοιγμα υπάρχοντος σχεδίου για επεξεργασία με το Algor

Στο παραπάνω σχήμα βλέπουμε πως ανοίγουμε ένα υπάρχον σχέδιο. Παρατηρούμε την διαδρομή του δίσκου που πρέπει να ακολουθήσουμε για να ανοίξουμε το σχέδιο το οποίο εμείς επιθυμούμε πατώντας στο βελάκι που είναι στο `διερεύνηση σε` .





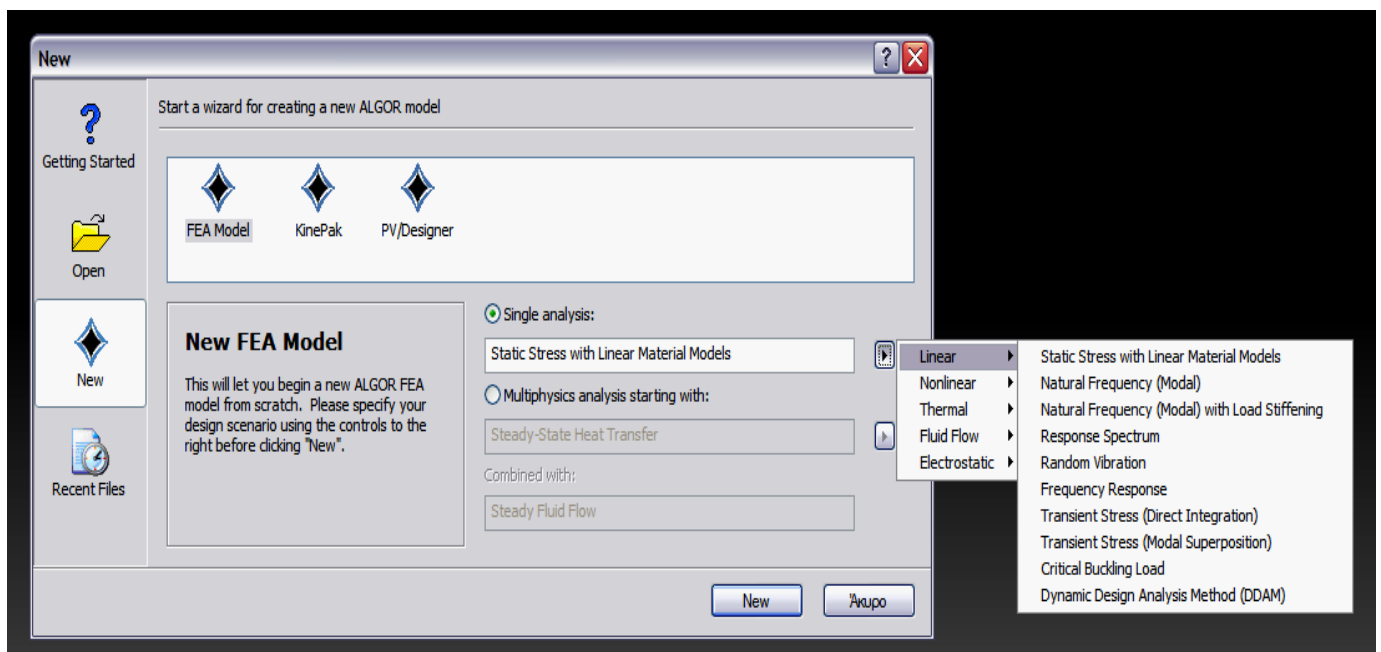
**Σχήμα 4.4 :** Αρχεία συμβατά με το Algor

Στο παραπάνω σχήμα βλέπουμε τα είδη των αρχείων τα οποία είναι συμβατά με το Algor. Αν δούμε πιο προσεκτικά θα παρατηρήσουμε ότι έχει την δυνατότητα να ανοίξει αρχεία AUTOCAD και SOLIDWORKS τα οποία είναι τα πλέον δεδομένα στο τομέα της μηχανολογίας.

## 4.5. ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ALGOR

Το Algor έχει τις παρακάτω δυνατότητες ανάλυσης σε ένα μοντέλο (κατασκευή).

A) γραμμικά ( Linear )

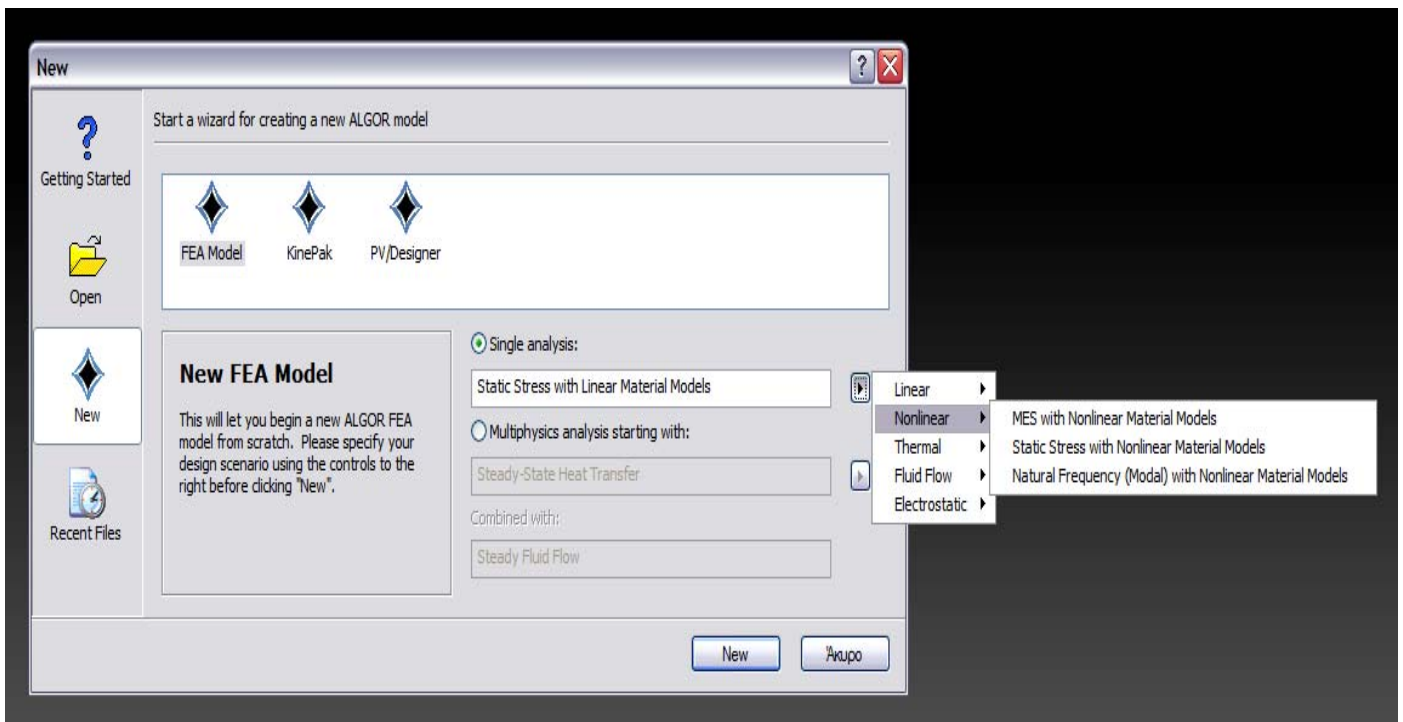


Σχήμα 4.5 : Υποκατηγορίες γραμμικής ανάλυσης

Στο σχήμα 4.5 παριστάνονται οι υποκατηγορίες που μπορεί να χρησιμοποιήσει κανείς εάν επιλέξει να κάνει γραμμική ανάλυση του μοντέλου. Η σημαντικότερη από τις υποκατηγορίες είναι η πρώτη, δηλαδή η στατική ανάλυση τάσεων με μοντέλα υλικών με γραμμική συμπεριφορά.

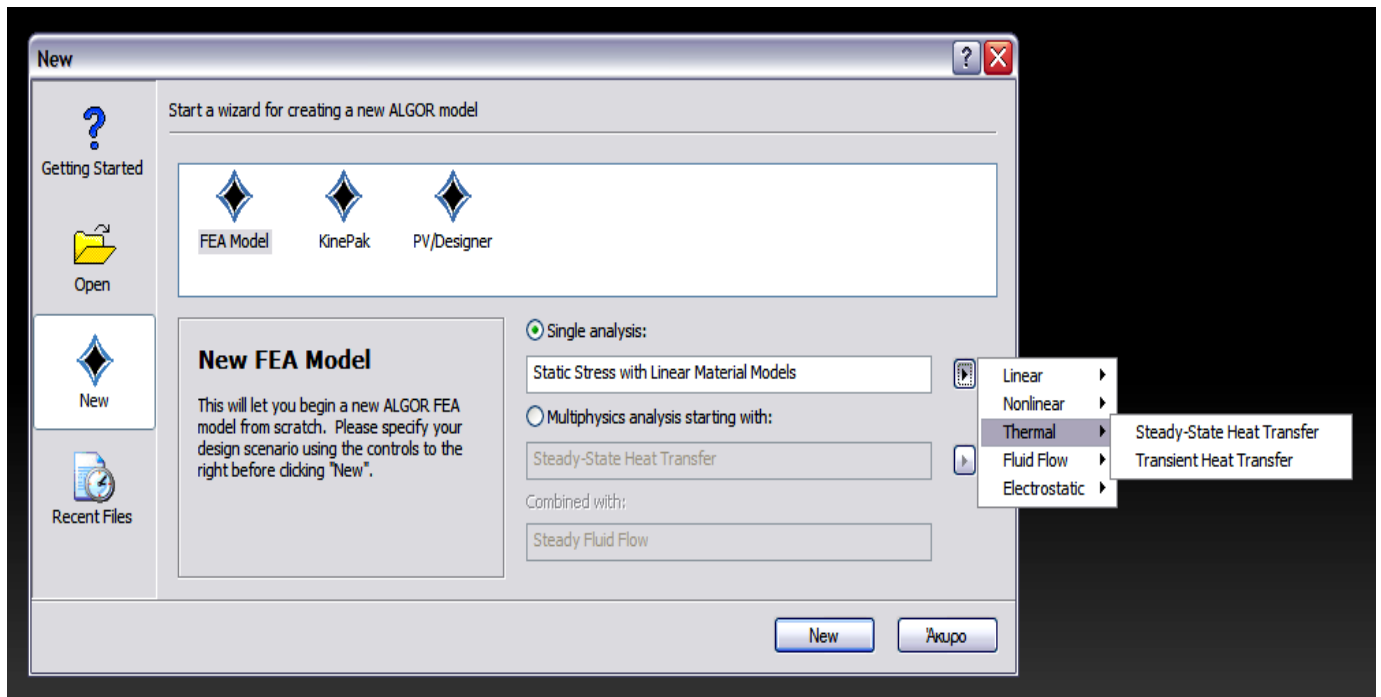
Στα παρακάτω σχήματα απεικονίζονται ομοίως οι υποκατηγορίες που προσφέρονται: στην μη γραμμική ανάλυση (σχήμα 4.6), στην θερμική ανάλυση (σχήμα 4.7), στην ρευστομηχανική ανάλυση (σχήμα 4.8) και στην ηλεκτροστατική ανάλυση (σχήμα 4.9).

## Β) μη-γραμμικά ( Nonlinear )



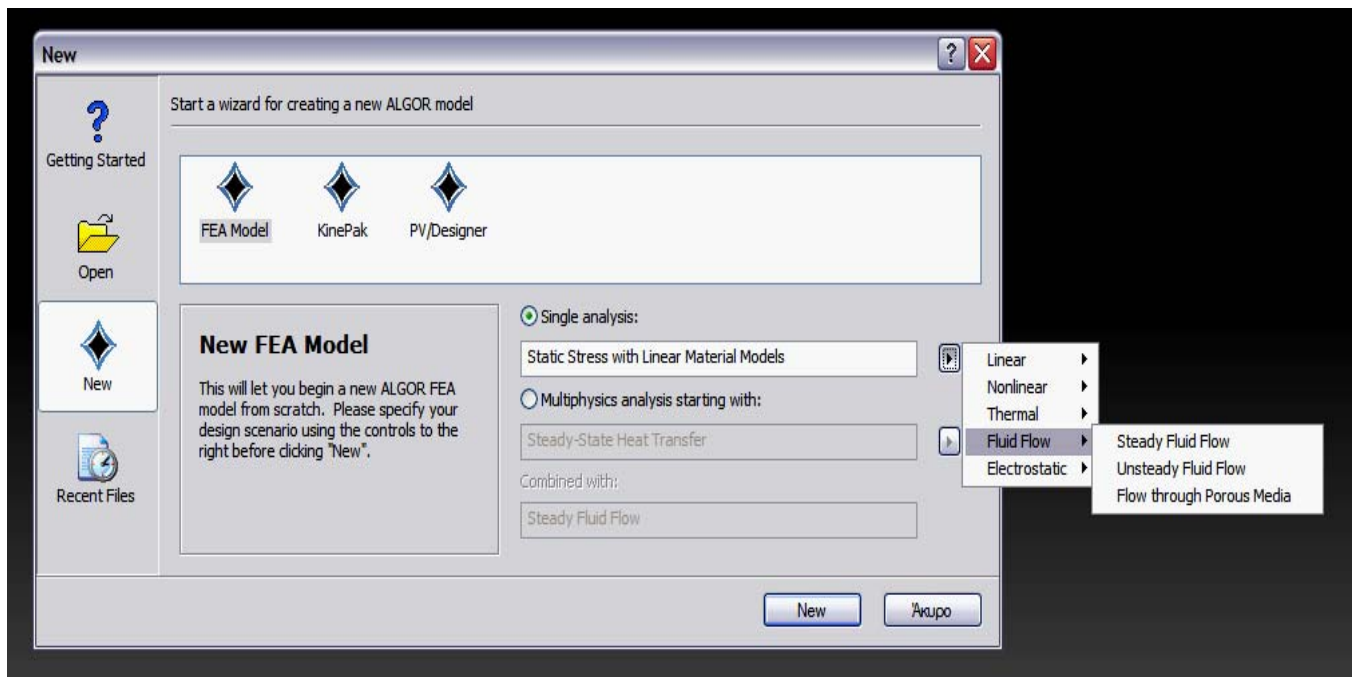
Σχήμα 4.6: Υποκατηγορίες μη γραμμικής ανάλυσης

## Γ) θερμικά ( Thermal )



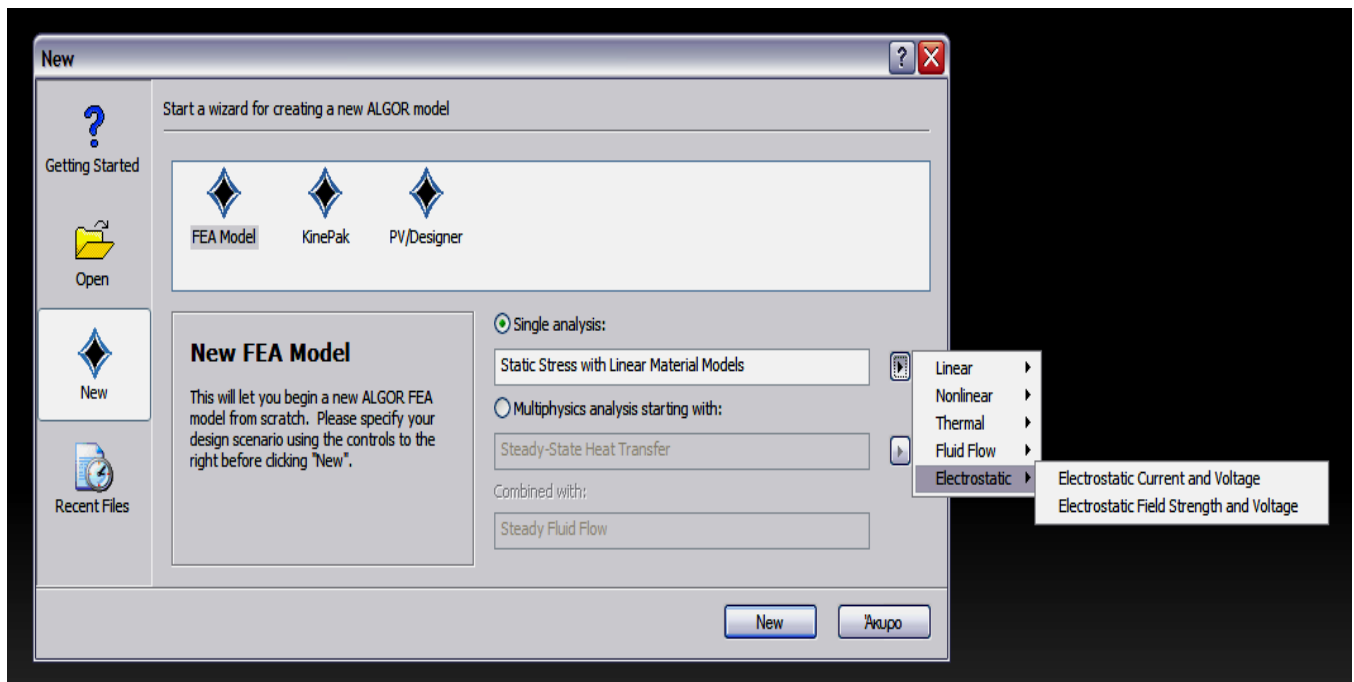
Σχήμα 4.7: Υποκατηγορίες θερμικής ανάλυσης

## Δ) ρευστά



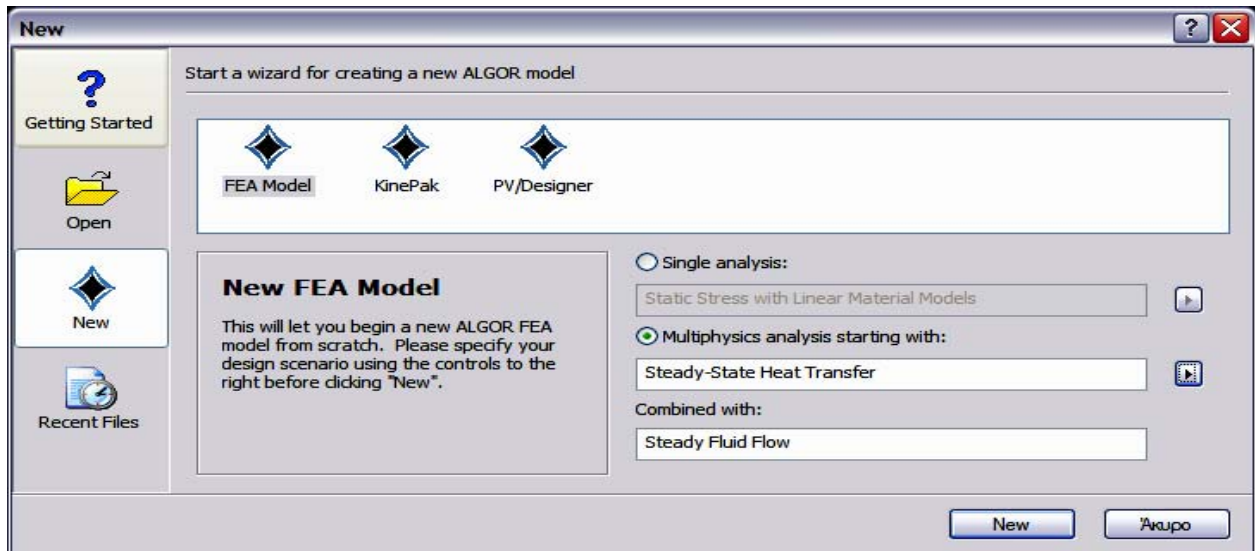
Σχήμα 4.8: Υποκατηγορίες ρευστομηχανικής ανάλυσης

## Ε) ηλεκτροστατικά





Σχήμα 4.9 : Υποκατηγορίες ηλεκτροστατικής ανάλυσης

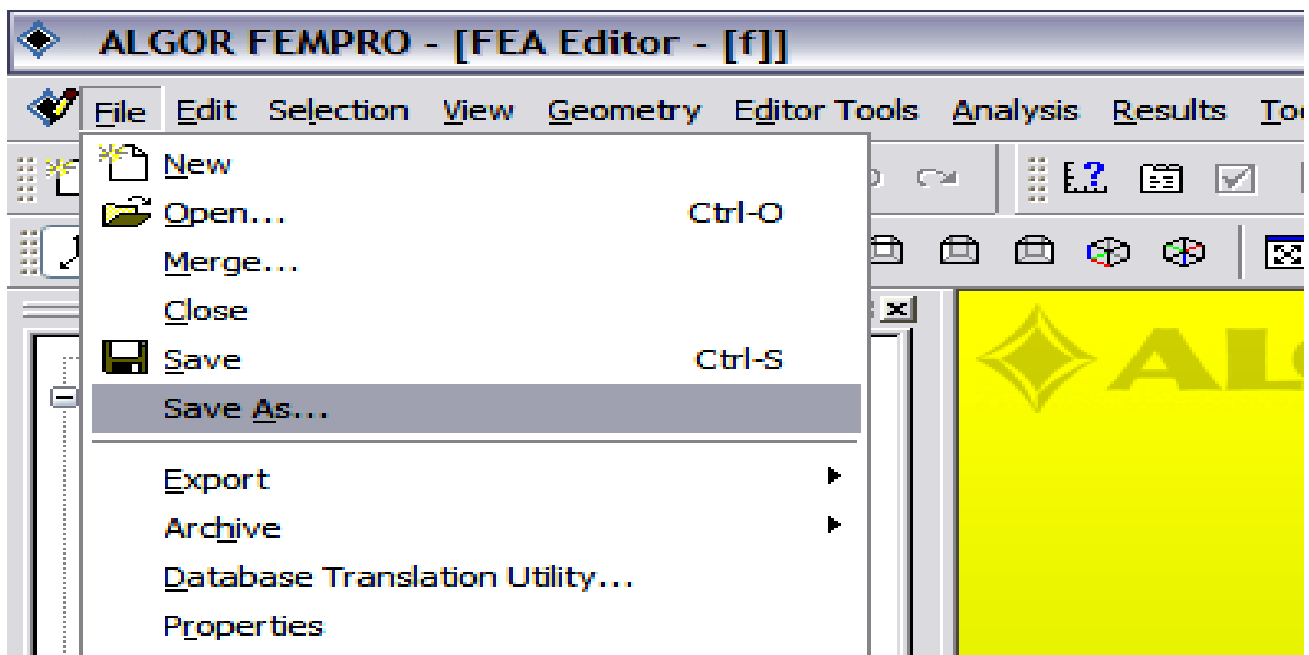
Εκτός των παραπάνω δυνατοτήτων υπάρχει και η περίπτωση και δυο αναλύσεων μαζί.(σχήμα 4.10)



Σχήμα 4.10: Συνδυασμός δυο αναλύσεων ταυτόχρονα

## 4.6 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΟΣ ΑΡΧΕΙΟΥ

Υπάρχουν 3 τρόποι να αποθηκεύσουμε ένα αρχείο. Πατάμε ταυτόχρονα <Ctrl+S> ή το κουμπί  το οποίο βρίσκεται στο περιβάλλον εργασίας ή ακολουθούμε την  διαδικασία που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

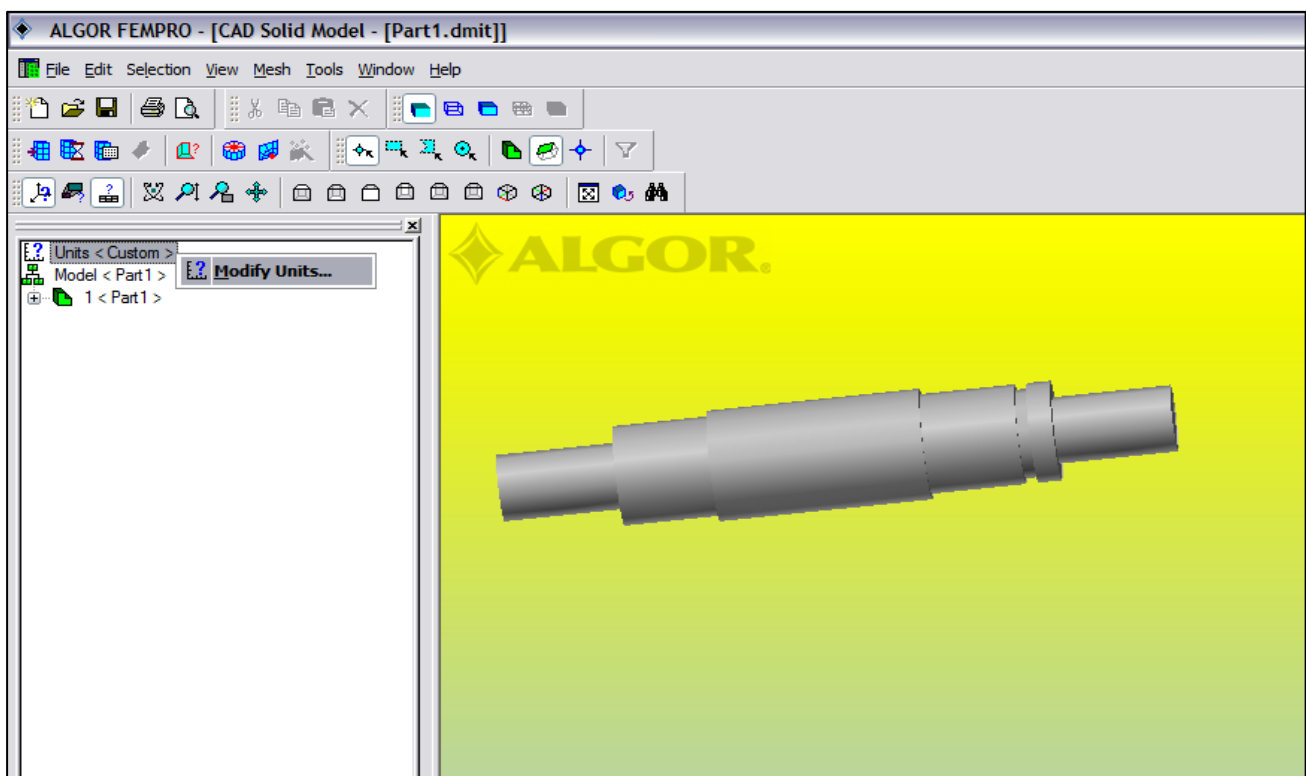


Σχήμα 4.11: Αποθήκευση αρχείων

## 4.7. ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΟΝΑΔΩΝ

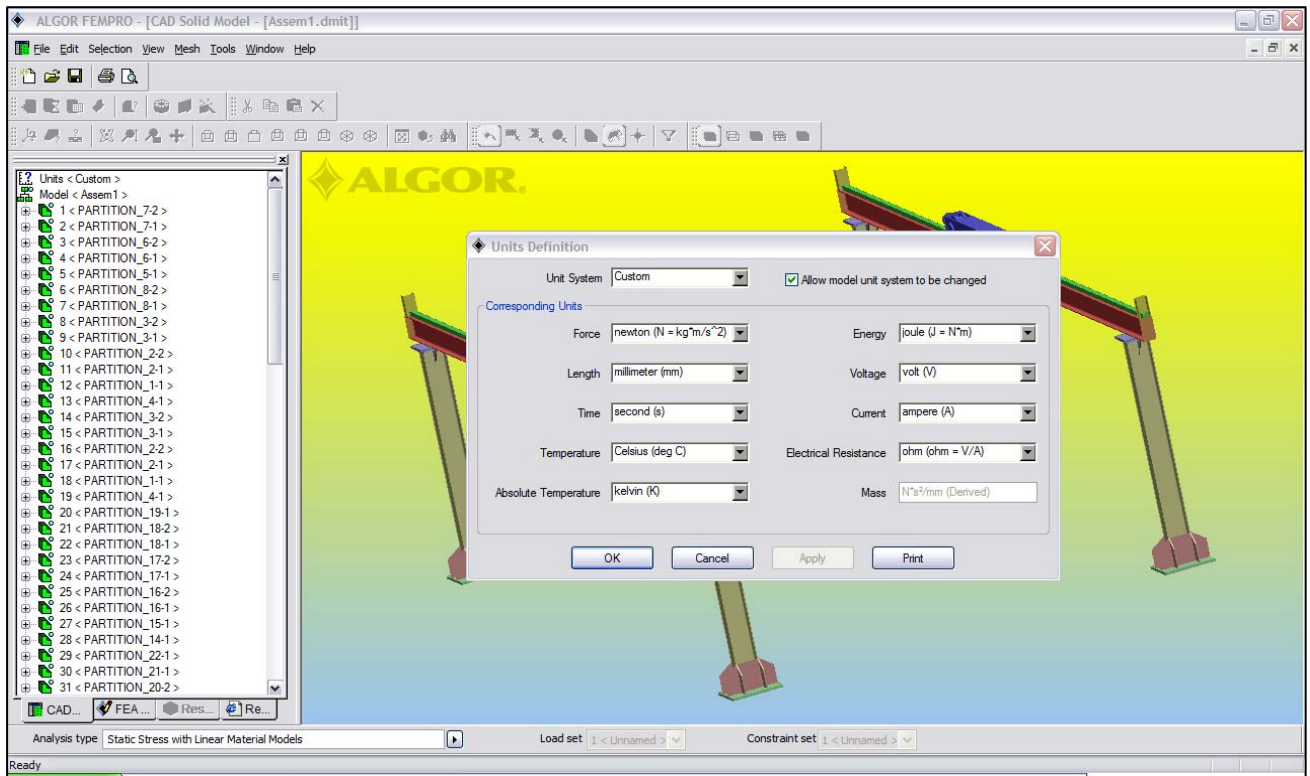
### 4.7.1. ΑΝΟΙΓΟΝΤΑΣ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΟΝΑΔΩΝ

Αφού ήδη έχει προσδιορισθεί αν θα ανοίξουμε ένα ήδη υπάρχον αρχείο ή αν θα δημιουργηθεί νέο αρχείο, το επόμενο βήμα είναι να ορίσουμε το σύστημα μονάδων με το οποίο θα γίνει η περαιτέρω επεξεργασία. Στο σχήμα 4.12 βλέπουμε τις κινήσεις που πρέπει να γίνουν ώστε στο παράθυρο διαλόγου να γίνει η επιλογή του συστήματος μονάδων.



Σχήμα 4.12: Επιλογή συστήματος μονάδων

Παραπάνω παρατηρούμε πως για να ορίσουμε το σύστημα μονάδων θα πρέπει να έχουμε ανοίξει ήδη ένα αρχείο διότι αλλιώς το πρόγραμμα δεν μπορεί να αναγνωρίσει τις μονάδες χωρίς να υπάρχει κάποιο εξάρτημα στο περιβάλλον εργασίας. Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε το παράθυρο διαλόγου το οποίο μας εμφανίζεται αν πατήσουμε πάνω στο **'Modify Units'**.



Σχήμα 4.13



## 4.7.2 ΑΛΛΑΓΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΟΝΑΔΩΝ

Variable	Metric mks (SI)	Metric cgs	English (in)	English (ft)
Force	Newton (N = kg*m/s <sup>2</sup> )	dyne (dyn = g*cm/s <sup>2</sup> )	pound (lbf)	pound (lbf)
Length	meter (m)	centimeter (cm)	inch (in)	foot (ft)
Time	second (s)	second (s)	second (s)	second (s)
Temperature	Celsius (°C)	Celsius (°C)	Fahrenheit (°F)	Fahrenheit (°F)
Absolute Temperature	Kelvin (K)	Kelvin (K)	Rankine (°R)	Rankine (°R)
Energy	joule (J = N*m)	erg (erg = dyn*cm)	inch-pound (in*lbf)	foot-pound (ft*lbf)
Voltage	volt (V)	volt (V)	volt (V)	volt (V)
Current	ampere (A)	ampere (A)	ampere (A)	ampere (A)
Electrical Resistance	ohm (ohm = V/A)	ohm (ohm = V/A)	ohm (ohm = V/A)	ohm (ohm = V/A)
Mass (Derived)	kilogram (kg)	gram (g)	...(lbf*s <sup>2</sup> /in)	slug (slug = lbf*s <sup>2</sup> /ft)

**Σχήμα 4.14**

Στο σχήμα 4.14 βλέπουμε ένα πίνακα ο οποίος μας δείχνει για κάθε μέγεθος ποιες μονάδες αντιστοιχούν σε 4 διαφορετικά συστήματα μονάδων τα οποία είναι : α) το μετρικό **mks (SI)** , β) το μετρικό **cgs** γ)το αγγλικό (**in**) , δ) το αγγλικό (**ft**) .

Αν παρατηρήσουμε τον πίνακα δεν διαφέρουν και πολύ όλα μεταξύ τους εκτός από την δύναμη, την απόσταση, την ενέργεια και την θερμοκρασία.

Φυσικά όταν ανοίγει το συγκεκριμένο παράθυρο δεν σημαίνει ότι είμαστε αναγκασμένοι να δουλέψουμε πάνω στις αρχικές επιλογές του υπολογιστή αλλά μπορούμε και να τις τροποποιήσουμε. Για να γίνει αυτό εφικτό θα πρέπει πρώτα να έχουμε τσεκάρει την επιλογή **`Allow model unit system to be changed`** όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.13. Στην συνέχεια το κουτάκι που λέει **`unit system`** θα πρέπει να το έχουμε στην επιλογή **`custom`** για να διαλέξουμε εμείς σε κάθε μέγεθος την μονάδα την οποία επιθυμούμε.

Variable	Custom Options
Force	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Newton (N = kg*m/s<sup>2</sup>)</li> <li>• dyne (dyn = g*cm/s<sup>2</sup>)</li> <li>• pound (lbf)</li> <li>• deciNewton (dN)</li> <li>• dekaNewton (dN)</li> <li>• kiloNewton (kN)</li> <li>• 1000 pounds (kip)</li> </ul>
Length	<ul style="list-style-type: none"> <li>• meter (m)</li> <li>• centimeter (cm)</li> <li>• inch (in)</li> <li>• feet (ft)</li> <li>• millimeter (mm)</li> <li>• micron (μ)</li> </ul>
Time	<ul style="list-style-type: none"> <li>• second (s)</li> <li>• minute (min)</li> <li>• hour (hr)</li> </ul>
Temperature	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Celsius (°C)</li> <li>• Fahrenheit (°F)</li> <li>• Kelvin (K)</li> <li>• Rankine (°R)</li> </ul>

Absolute Temperature	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kelvin (K)</li> <li>• Rankine (°R)</li> </ul>
Energy	<ul style="list-style-type: none"> <li>• joule (J = N*m)</li> <li>• erg (erg = dyn*cm)</li> <li>• inch-pound (in*lbf)</li> <li>• foot-pound (ft*lbf)</li> <li>• millijoule (mJ)</li> <li>• British thermal unit (Btu)</li> <li>• calorie (cal)</li> </ul>
Voltage	<ul style="list-style-type: none"> <li>• volt (V)</li> <li>• millivolt (mV)</li> </ul>
Current	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ampere (A)</li> <li>• milliamper (mA)</li> </ul>
Electrical Resistance	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ohm (ohm = V/A)</li> <li>• milliohm</li> <li>• megaohm</li> </ul>

### Σχήμα 8.2.2




Στο σχήμα 4.15 βλέπουμε στην περίπτωση που θελήσουμε να αλλάξουμε το σύστημα μονάδων τις επιλογές τις οποίες έχουμε στην διάθεση μας για να αλλάξουμε τις μονάδες στα μεγέθη.

## 5.ΣΧΕΔΙΑΖΟΝΤΑΣ ΤΟ ΠΛΕΓΜΑ (meshing)

### 5.1 ΑΝΟΙΓΜΑ ΤΟΥ MESH

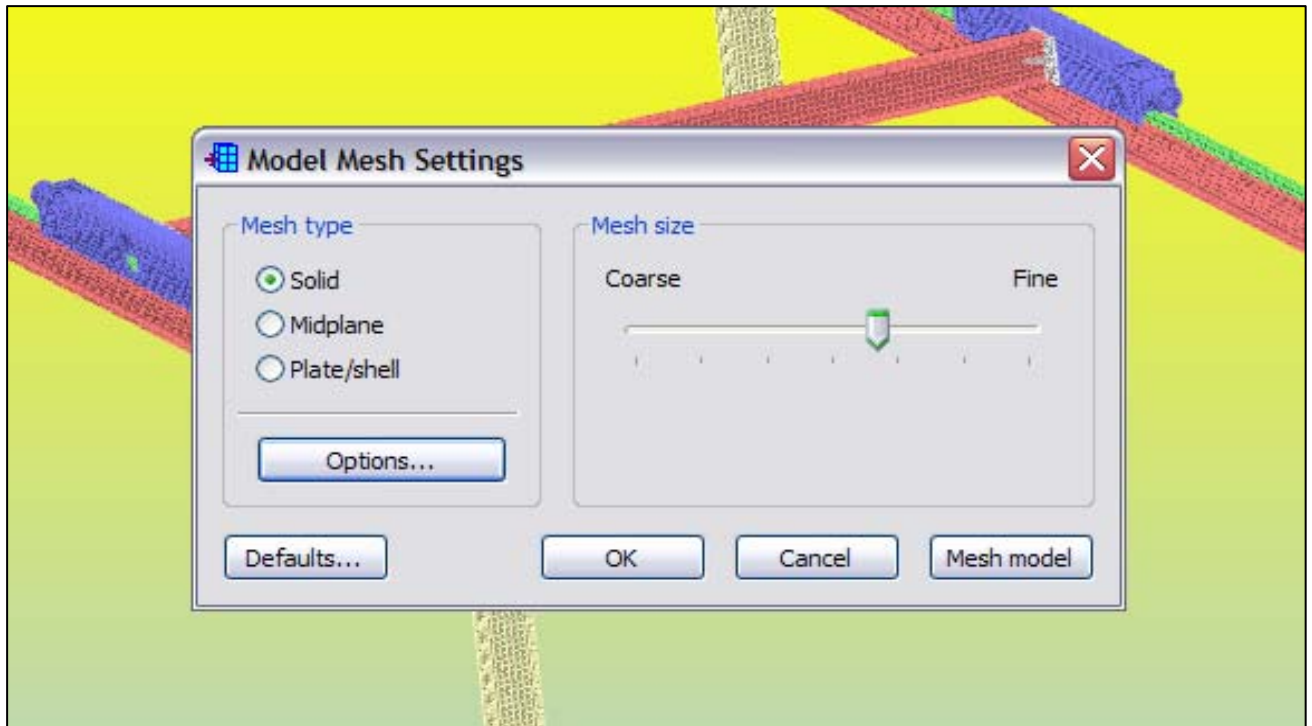


Σχήμα 5.1

Αφού έχουν ορισθεί και οι μονάδες το επόμενο βήμα είναι να δημιουργηθεί το πλέγμα στο μοντέλο το οποίο όπως είναι γνωστό αποτελείται από στοιχεία(elements) και από τους κόμβους(nodes) ενός στοιχείου. Για να γίνει αυτό εφικτό θα χρησιμοποιήσουμε το μενού εντολών **mesh** (σχήμα 5.1). Ξεκινώντας από τα αριστερά προς τα δεξιά η πρώτη εντολή είναι η model mesh settings . Στην εντολή αυτή κάνουμε διάφορες ρυθμίσεις όπως το μέγεθος των στοιχείων το είδος τους και τον τύπο τους. Η εντολή generate mesh  σπάει το μοντέλο μας σε πολύ μικρά κομμάτια. Τον αριθμό των στοιχείων είναι αδύνατον να τον ορίσουμε με ακρίβεια. Η εντολή view mesh results  μας δείχνει τον αριθμό των στοιχείων.

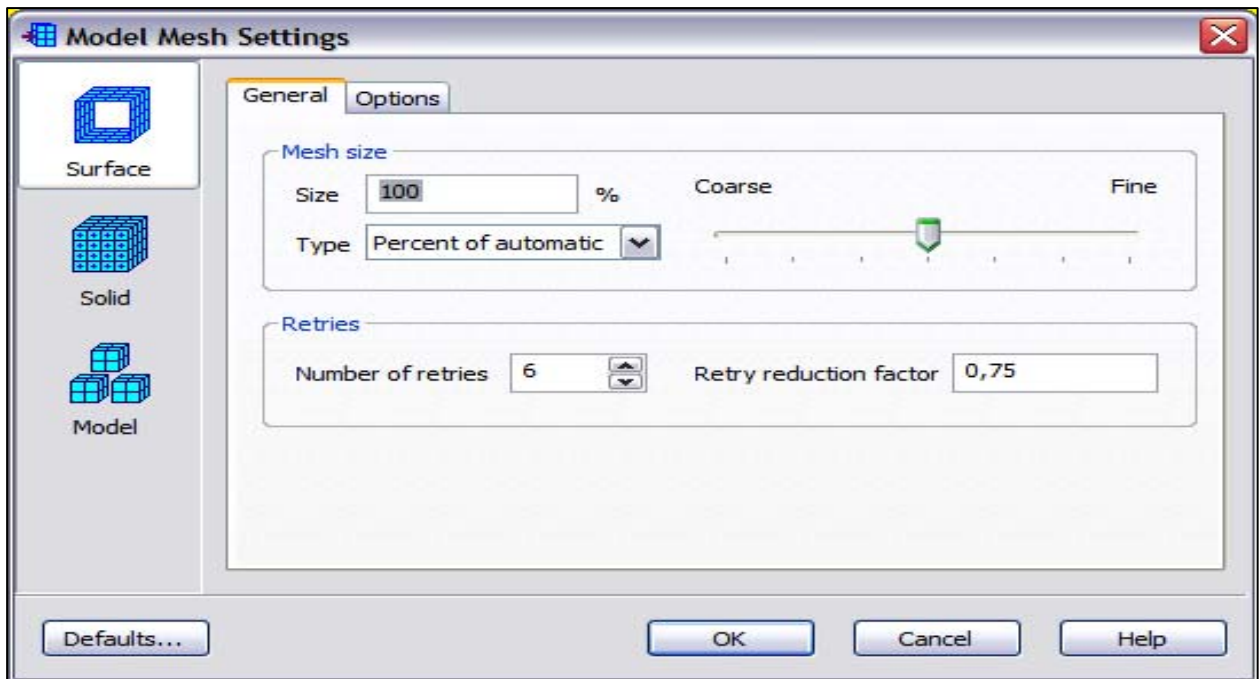
## 5.2 ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΤΟΥ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ (mesh)

Πατώντας από το μενού επιλογών **mesh** την εντολή ``model mesh settings`` θα εμφανιστεί ένα παράθυρο διαλόγου (σχήμα 5.2) στο οποίο θα μπορούμε να κάνουμε τις διάφορες ρυθμίσεις που επιθυμούμε σχετικά με το σχεδιασμό του πλέγματος του μοντέλου που εξετάζουμε.



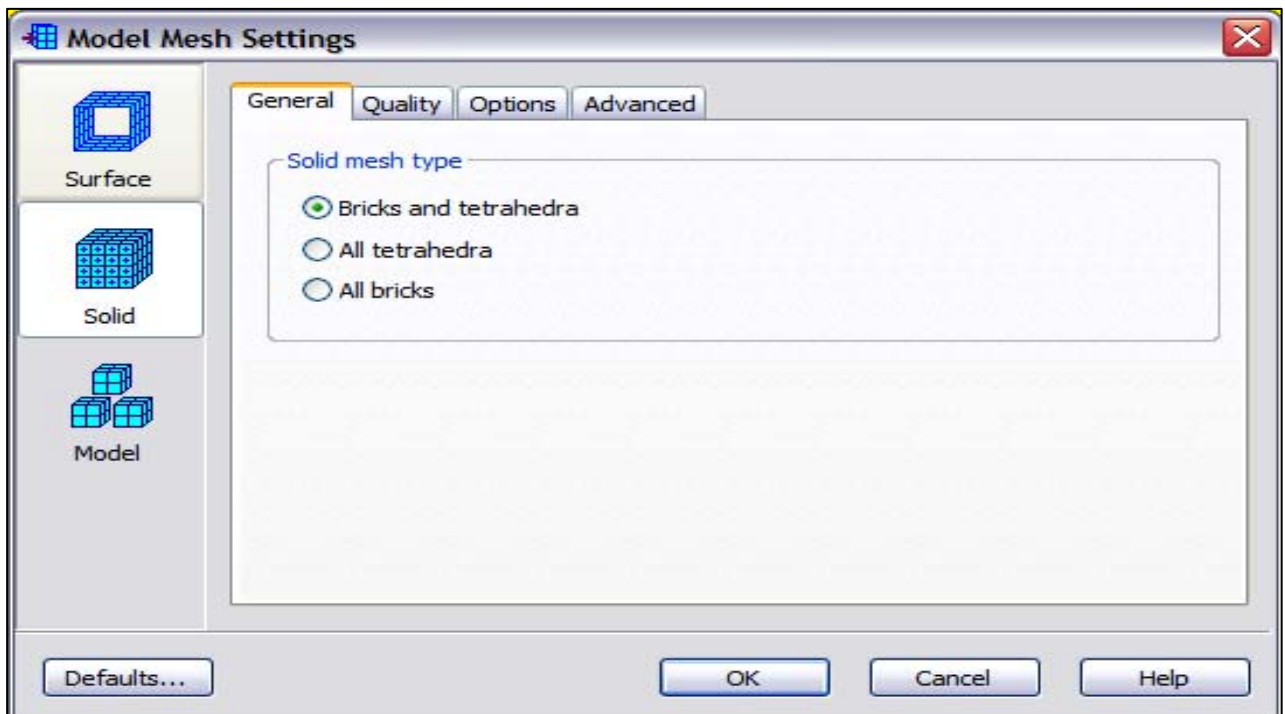
Σχήμα 5.2: Ρυθμίσεις πλέγματος

Στα αριστερά του παραθύρου διακρίνουμε το ``mesh type`` όπου διαλέγουμε τον τύπο του πλέγματος τον οποίο θέλουμε να έχει το μοντέλο. Οι επιλογές είναι τρεις(3) **solid** , **midplane** , **plate/shell**. Στα δεξιά του παραθύρου διακρίνουμε το ``mesh size`` αυτή είναι μια μπάρα οπού ρυθμίζουμε στο περίπου τον αριθμό των στοιχείων που θα έχει η κατασκευή μας. Όπως βλέπουμε , έχει το **coarse** και το **fine** , όσο πιο δεξιά το πάμε τόσο πιο μικρά θα γίνουν τα στοιχεία μας και πιο πολλά και όσο το πάμε προς τα αριστερά τόσο μεγαλύτερα θα γίνουν τα στοιχεία και λιγότερα.



Σχήμα 5.3

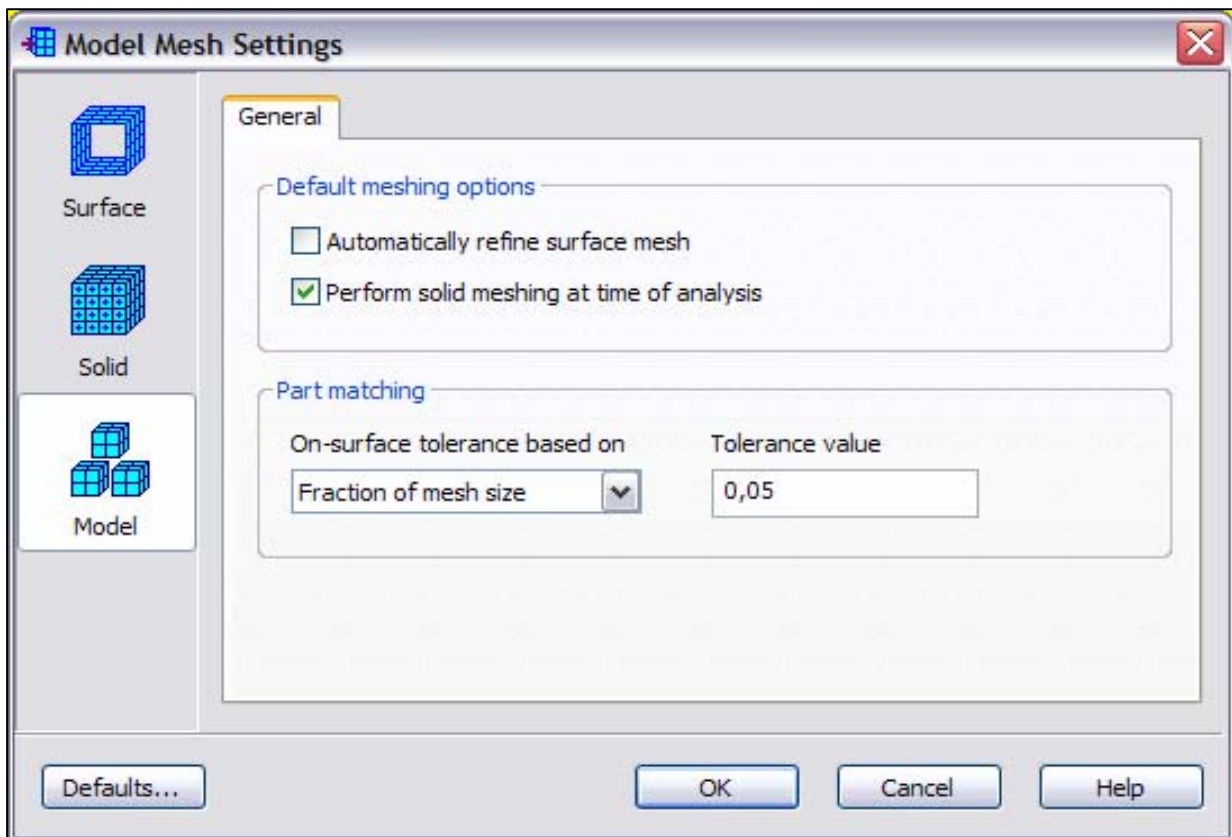
Στο παραπάνω σχήμα , αν πατήσουμε την επιλογή **`options`** (σχήμα 5.2) θα μας βγάλει το παραπάνω παράθυρο. Θα δούμε ότι μας βγάζει στην επιλογή **`surface`** όπου μπορούμε να ρυθμίσουμε το μέγεθος του πλέγματος.



Σχήμα 5.4

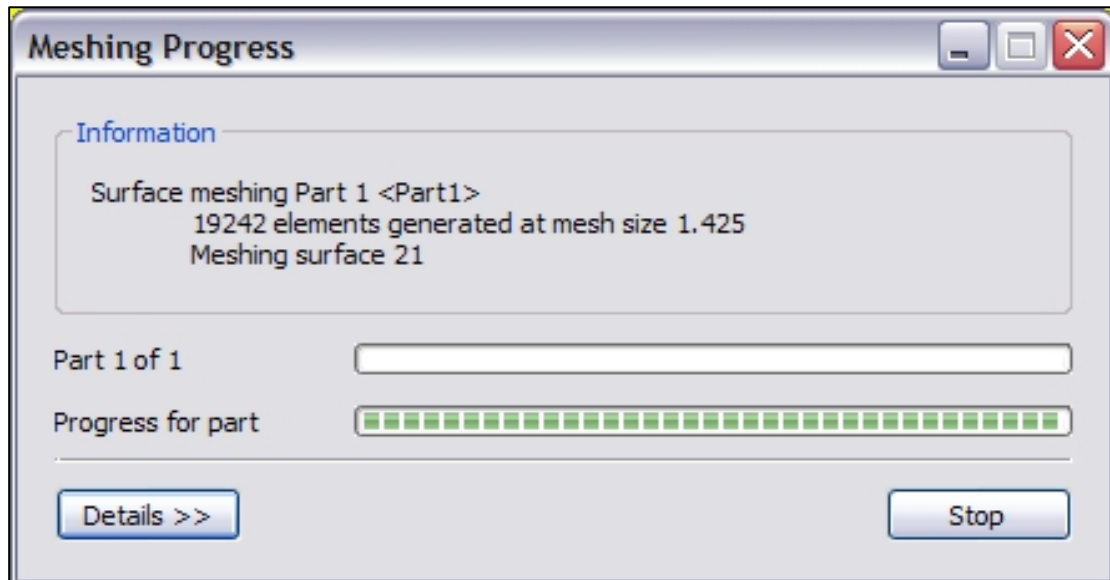
Διαλέγοντας στην συνέχεια την επιλογή **`solid`** θα μας βγάλει αυτό που φαίνεται στο σχήμα 5.4. Στο φάκελο αυτό μπορούμε να διαλέξουμε τον τύπο του πλέγματος αν τα στοιχεία θα είναι τουβλάκια (bricks) ή τετράεδρα (tetrahedral) ή ο συνδυασμός και των δύο, που είναι και ο συνηθέστερος τύπος.

Στο παρακάτω σχήμα 5.5 βλέπουμε και την τελευταία επιλογή των ρυθμίσεων του πλέγματος. Στον τρίτο φάκελο ο οποίος ονομάζεται **`model`** μπορούμε να ορίσουμε το περιθώριο εφαρμογής ή αλλιώς ανοχή σε mm, όπου συνήθως έχουμε 0,05mm.



Σχήμα 5.5

### 5.3 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΥ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ

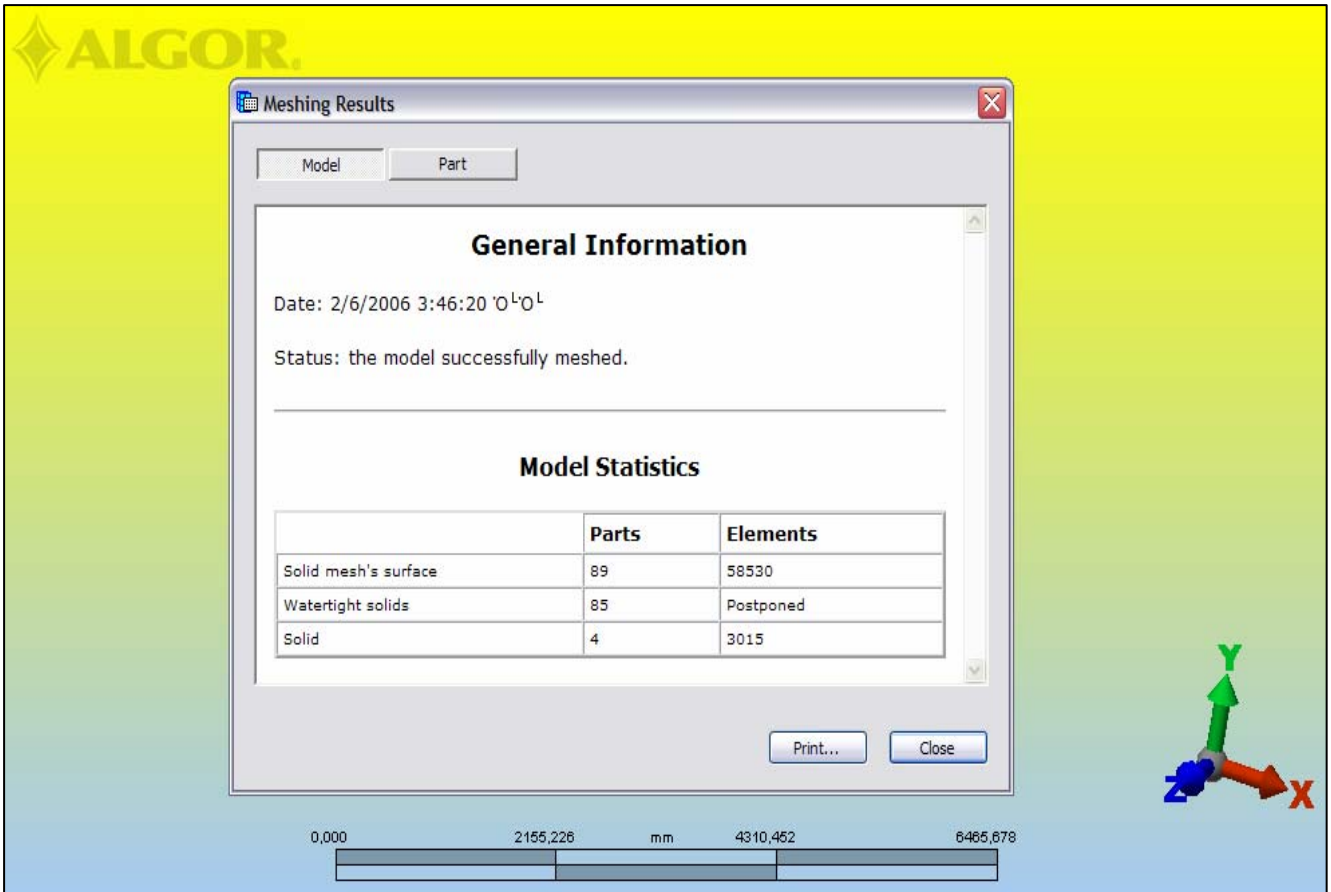


Σχήμα 5.6

Στην παραπάνω εικόνα 5.6 βλέπουμε την πορεία της επεξεργασίας του μοντέλου ώστε αυτό να διαμοιρασθεί σε πολύ μικρά κομμάτια (στοιχεία).

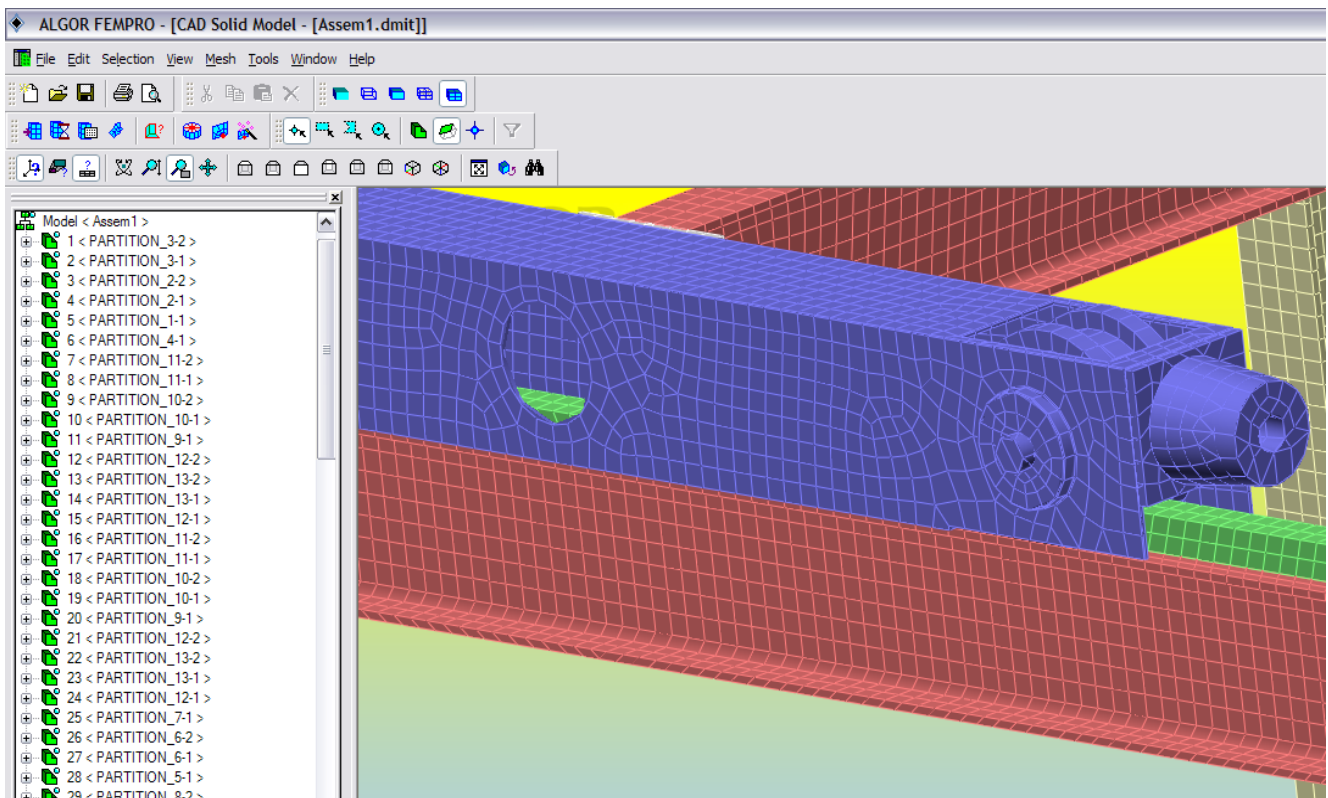
Κατόπιν μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα της διαίρεσης σε στοιχεία (σχήμα 5.7) από το ``generate mesh``.

Για το συγκεκριμένο παράδειγμα βλέπουμε ότι η διαίρεση έγινε σε 58530 στοιχεία. Αν επιθυμούμε να υπάρχουν περισσότερα ή λιγότερα στοιχεία μπορούμε από το ``mesh settings`` να μετακινήσουμε το βελάκι προς το ``fine`` ή το ``coarse`` αντίστοιχα.

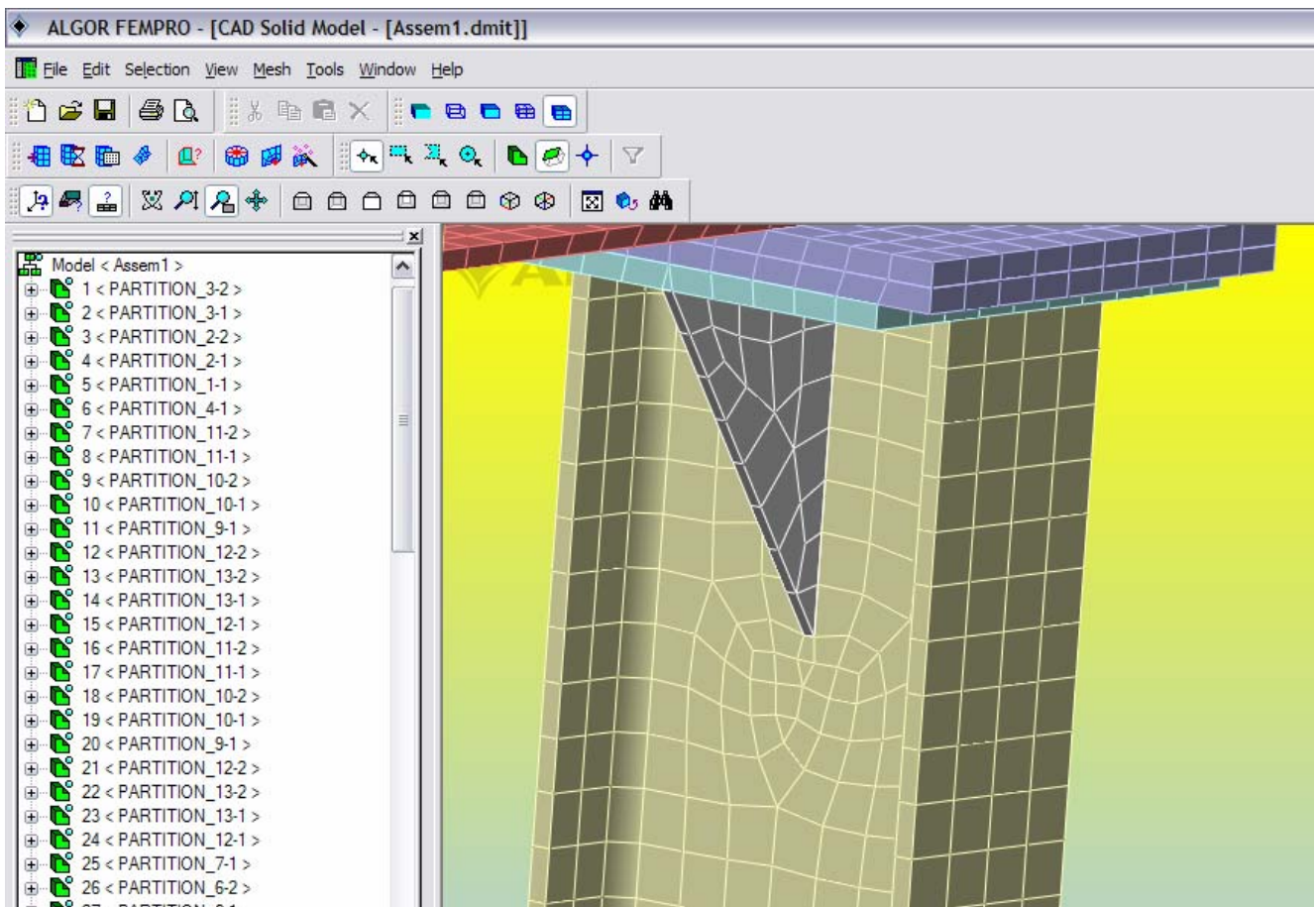


Σχήμα 5.7: Αποτελέσματα διαίρεσης





Σχήμα 5.8: Αποτελέσματα της διαίρεσης

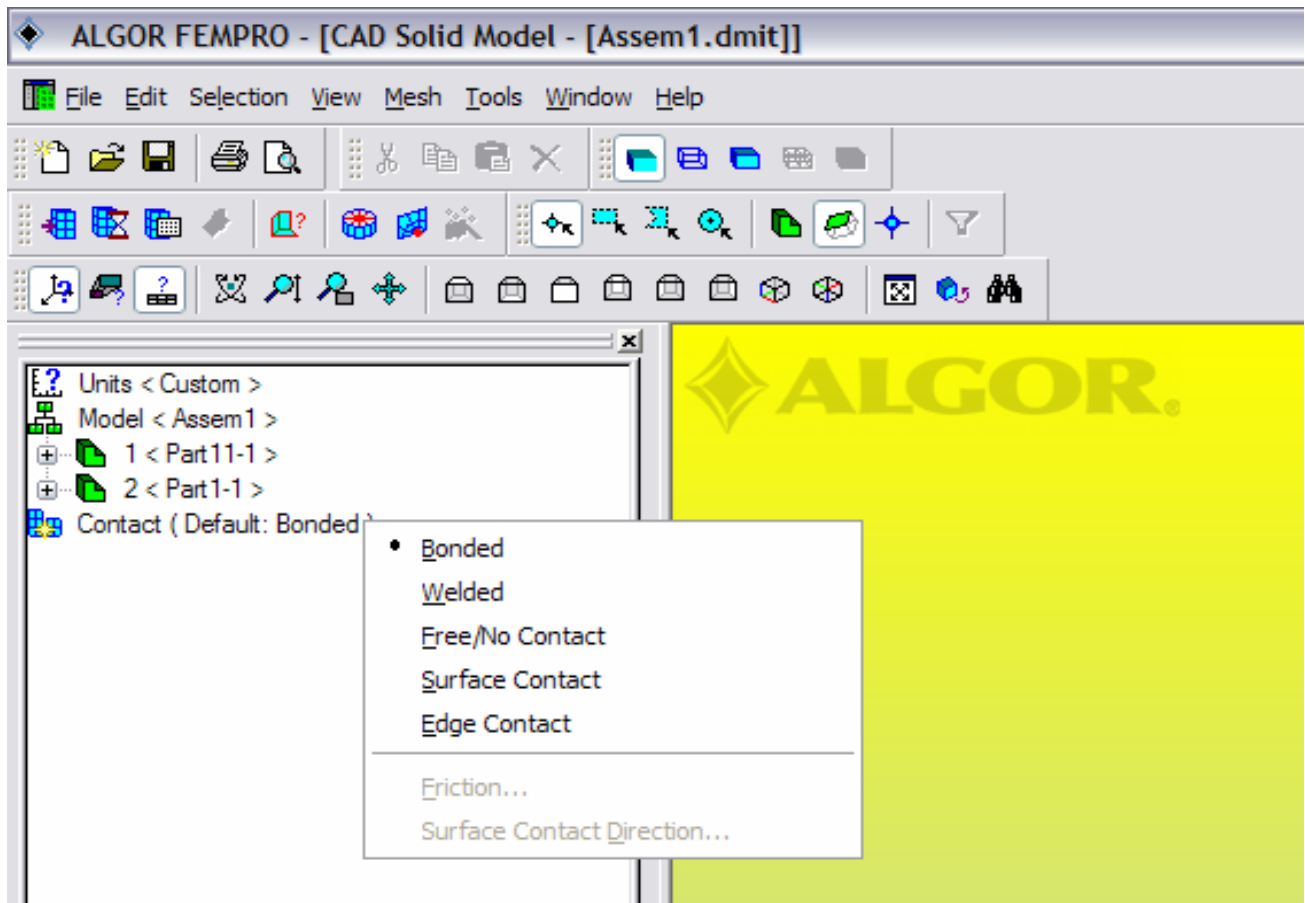


Σχήμα 5.9: Λεπτομέρεια από την διαίρεση

Λόγω του ότι η κατασκευή είναι πάρα πολύ μεγάλη και είναι δύσκολο να φανεί καθαρά το mesh θα δείξουμε ένα μικρό κομμάτι από αυτό (σχήμα 5.8). Στο σχήμα βλέπουμε τον φορέα της γερανογέφυρας και άμα προσέξουμε καλά θα δούμε ότι τα στοιχεία στο σχέδιο δεν δείχνονται με τετραγωνάκια άλλα τα στοιχεία έχουν και άλλο σχήμα ανάλογα με την θέση την οποία βρίσκονται. Αυτό γίνεται γιατί είχαμε επιλέξει **`bricks and tetrahedra`**.

## 5.4 ΕΠΑΦΗ ΜΕΤΑΞΥ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ

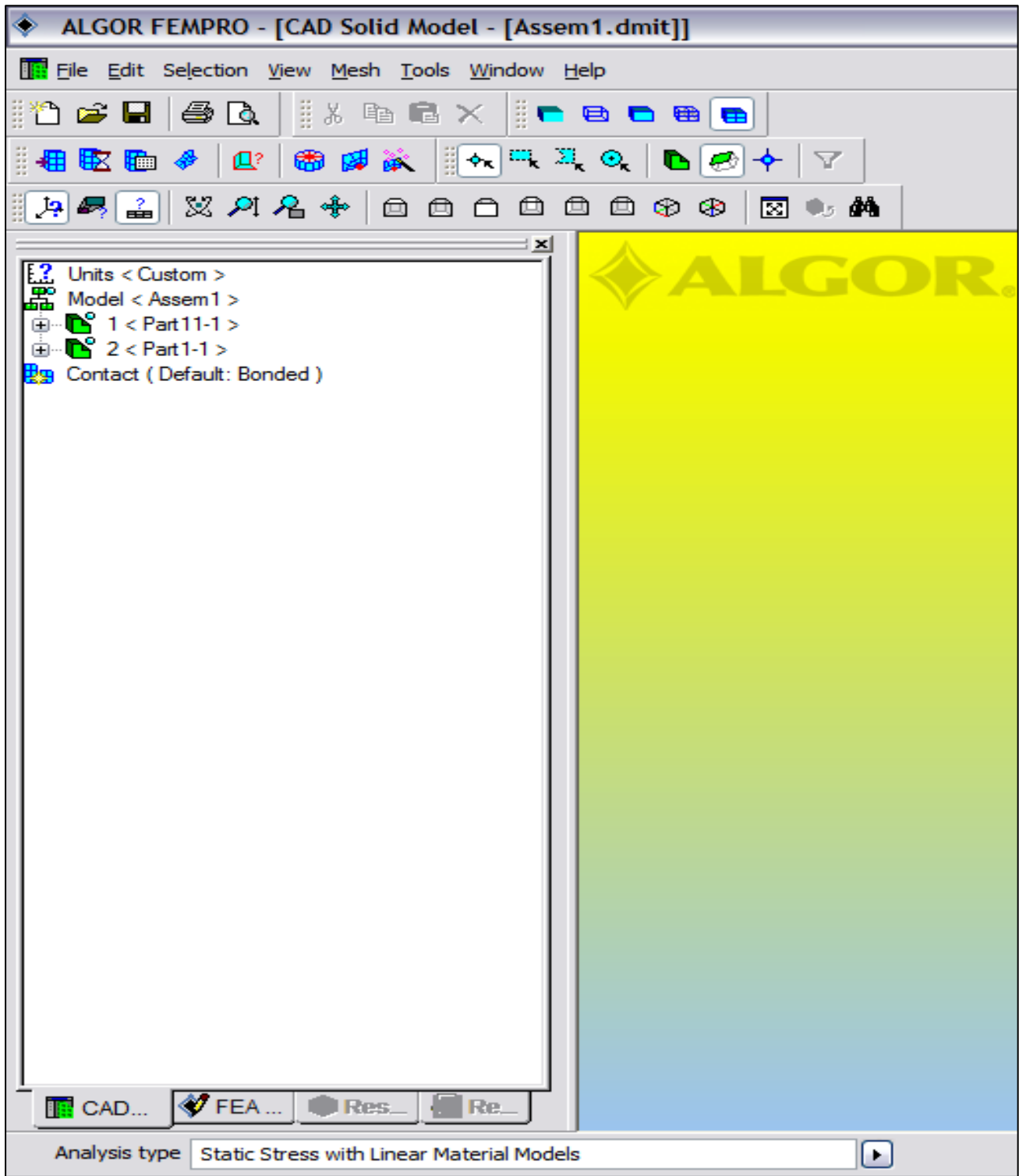
Όταν το μελετούμενο μοντέλο αποτελείται από πολλά επιμέρους κομμάτια, θα πρέπει να καθορίσουμε το είδος της επαφής που θα έχουν τα κομμάτια μεταξύ τους. Αν δηλαδή υπάρχει συγκόλληση μεταξύ τους ή είναι ελεύθερα ή με κάποιο άλλο τρόπο ενωμένα μεταξύ τους.



Σχήμα 5.10: Καθορισμός της επαφής των κομματιών μεταξύ τους.

Όπως βλέπουμε και στο σχήμα εμφανίζονται οι επιλογές τις οποίες έχουμε. Το **welded** σημαίνει ότι έχουμε συγκόλληση **free/no contact** σημαίνει ότι είναι ελεύθερα τα εξαρτήματα μεταξύ τους, **Bonded** σημαίνει ότι είναι πακτωμένα, **surface contact** σημαίνει ότι έχουν επιφανειακή επαφή, δηλαδή μια επιφάνεια του ενός και μια του άλλου δεν μπορούν να έχουν σχετική κίνηση μεταξύ τους και **Edge contact** σημαίνει ότι έχουν επαφή σε μία ακμή τους, δηλαδή μια ακμή του ενός και μια ακμή του άλλου δεν μπορούν να έχουν σχετική κίνηση μεταξύ τους.

## 6. ΤΕΛΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΕΝΑΡΞΗ ΤΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ CAD SOLID MODEL



Σχήμα 6.1: Cad Solid Model

Ο τελικός έλεγχος της κατασκευής γίνεται αφού έχουμε κάνει διακριτοποίηση (mesh), έχουμε ορίσει το σύστημα των μονάδων και έχουμε καθορίσει και τις οριακές συνθήκες (συνήθως συνθήκες στήριξης των κομματιών μεταξύ τους).

Στο Algor η διαδικασία υπολογισμού περιλαμβάνει τέσσερα στάδια:

- α) στο πρώτο στάδιο γίνεται ο τελικός έλεγχος που αναφέρθηκε παραπάνω (cad solid model).
- β) στο δεύτερο στάδιο γίνεται η επεξεργασία – επίλυση των δεδομένων (fea editor).
- γ) στο τρίτο στάδιο λαμβάνονται τα αποτελέσματα (results).
- δ) στο τέταρτο στάδιο συντάσσεται η τελική έκθεση των αποτελεσμάτων (report).

Πιο αναλυτικά :

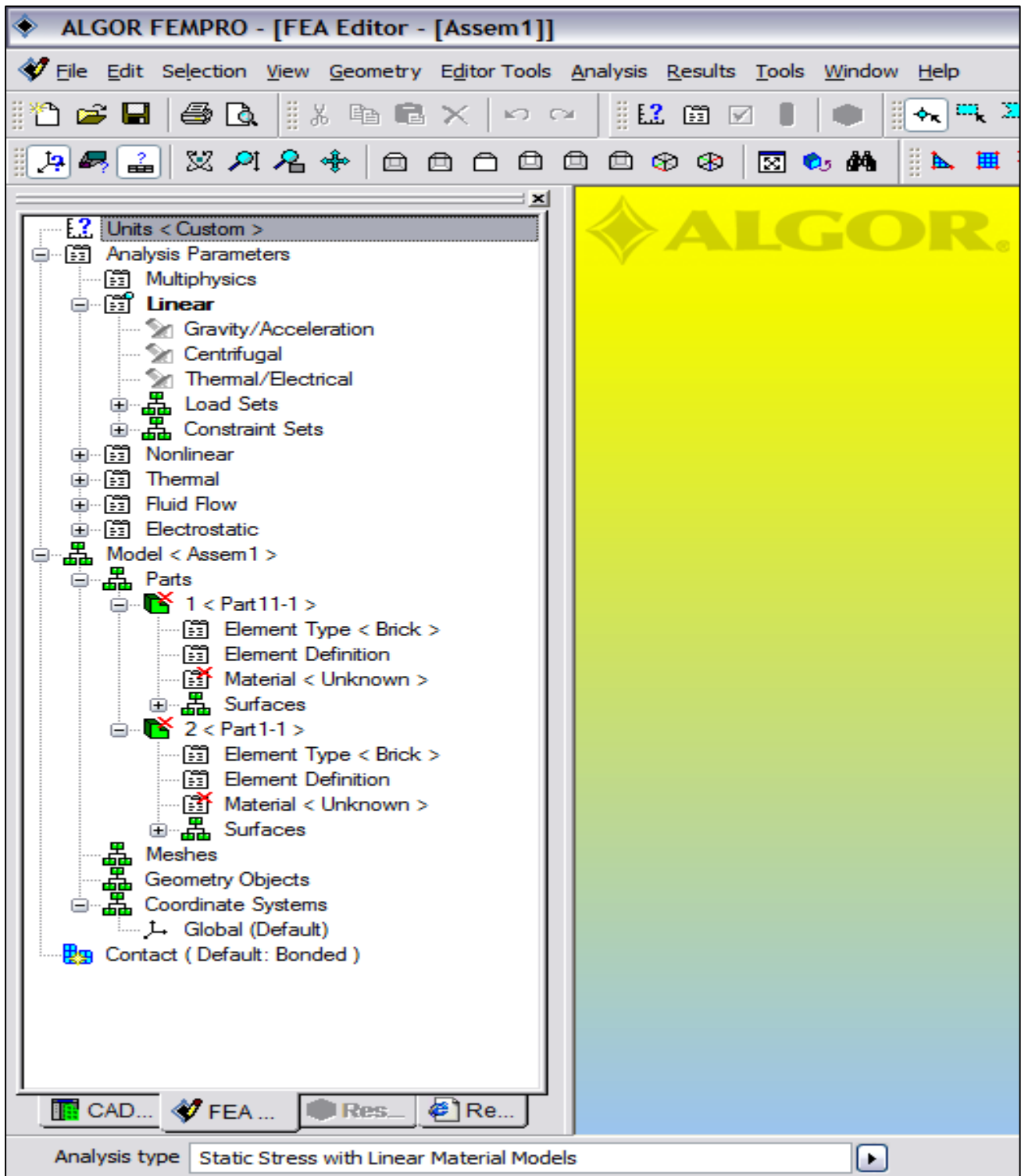
A) Το **Cad solid model** είναι το πρώτο στάδιο της ανάλυσης της κατασκευής. Στο στάδιο αυτό όπως διακρίνεται και στο σχήμα 6.1 μπορούμε να επεξεργαστούμε το σύστημα μονάδων, να δούμε τα εξαρτήματα από τα οποία αποτελείται η κατασκευή καθώς επίσης και το είδος επαφής των εξαρτημάτων.

Στο ίδιο παράθυρο γίνεται και το mesh του μοντέλου. Αν δεν ορισθεί κάποια παράμετρος όπως π.χ δεν κάνουμε mesh ή δεν ορίσουμε την επαφή των κομματιών δεν μπορούμε να πάμε στο επόμενο στάδιο. Με τον τρόπο αυτό δεν υπάρχει περίπτωση να ξεχάσουμε κάτι.

Στην συνέχεια και αφού έχουμε κάνει τις επιλογές που χρειάζονται πηγαίνουμε στο επόμενο στάδιο το οποίο είναι το **'fea editor'**.

**Σημείωση:** Η μετάβαση από το ένα στάδιο στο άλλο γίνεται μόνο με την σειρά που είναι τοποθετημένα μέσα στο πρόγραμμα. Δηλαδή δεν μπορούμε από το πρώτο στάδιο της κατασκευής να πάμε στα αποτελέσματα χωρίς να έχουμε ορίσει τις δυνάμεις και τα σημεία στήριξης τα οποία βρίσκονται στο 2<sup>ο</sup> στάδιο.

**B) Το ``FEA EDITOR`` είναι το δεύτερο στάδιο της ανάλυσης**



**Σχήμα 6.2:** Η διαδικασία για το ``FEA Editor``

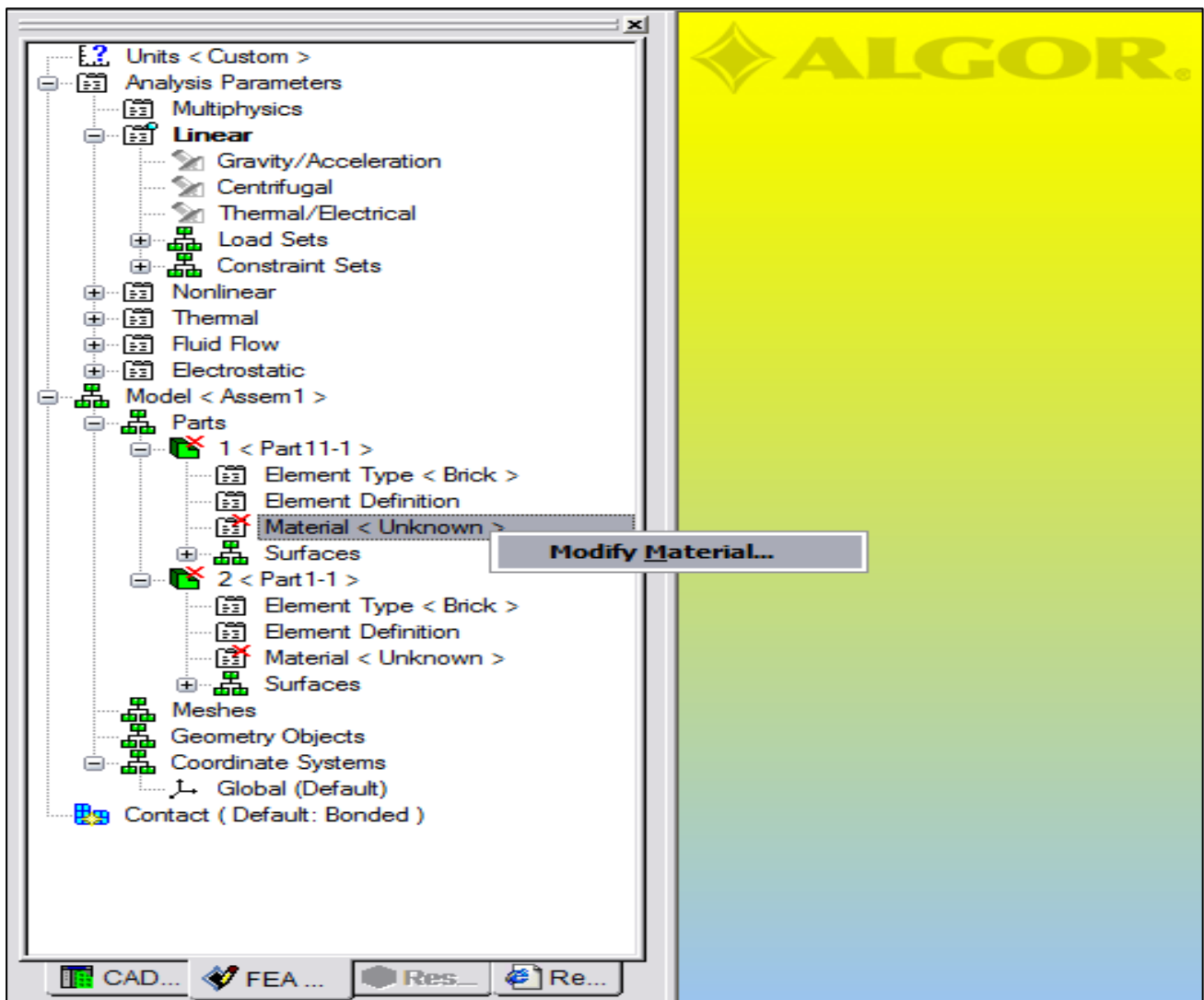
Στο στάδιο αυτό ορίζουμε τις δυνάμεις από τις οποίες καταπονείται η κατασκευή, τα σημεία στήριξης, το υλικό κατασκευής. Τις δυνάμεις και τα σημεία στήριξης τα βάζουμε απευθείας πάνω στην κατασκευή μας ενώ το υλικό μέσω του παράθυρου διαλόγου.

## B1) ΕΠΙΛΟΓΗ ΥΛΙΚΟΥ

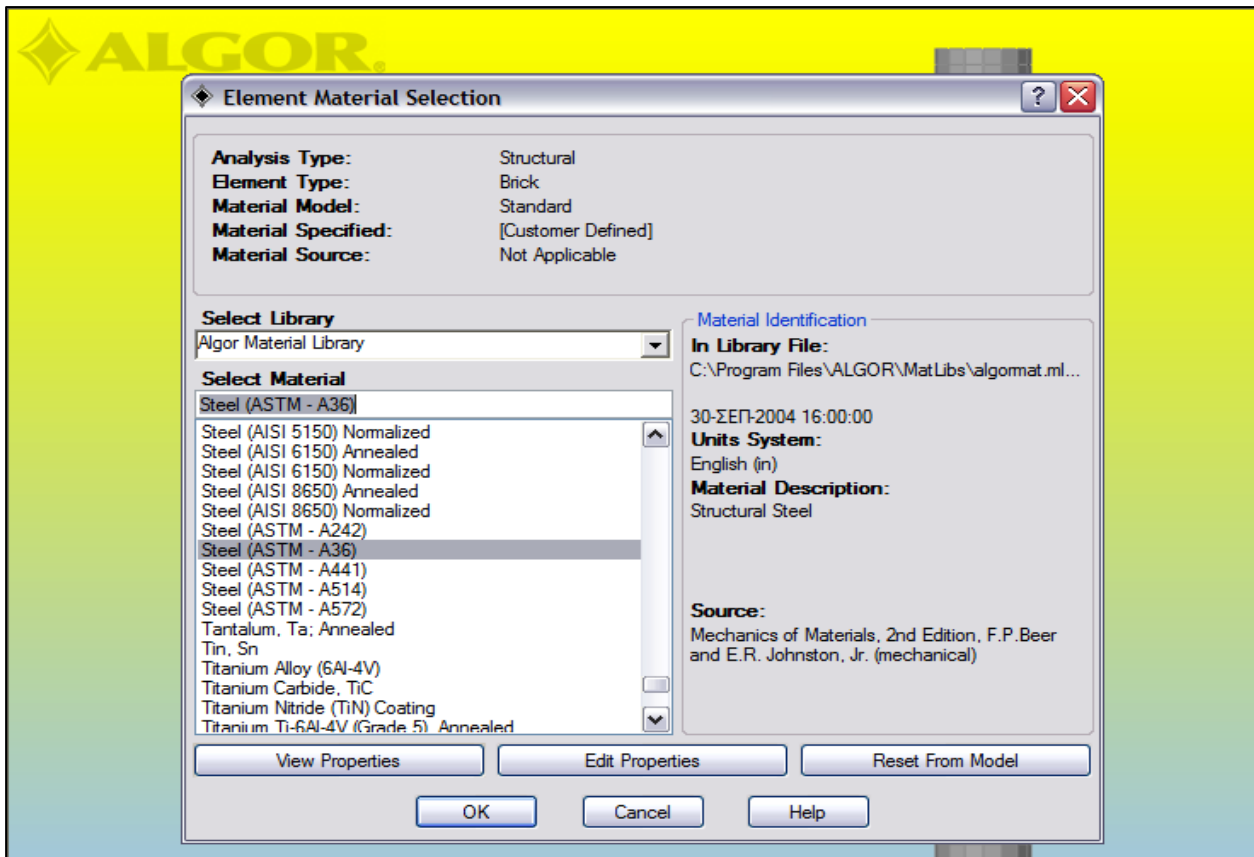
Η επιλογή του υλικού γίνεται μέσα από μια μεγάλη βιβλιοθήκη που διαθέτει το πρόγραμμα. Σε μια κατασκευή η οποία αποτελείται από πολλά εξαρτήματα θα πρέπει για το κάθε ένα ξεχωριστά να διαλέξουμε το υλικό. Για την επιλογή του υλικού ακολουθούμε την εξής διαδικασία:

Fea editor → material <unknown> → modify material

Το σχήμα 6.3 δείχνει ακριβώς πως γίνεται η διαδικασία.



Σχήμα 6.3: Επιλογή υλικού στο ``FEA Editor``



Σχήμα 6.4: Βιβλιοθήκη υλικών

Στο σχήμα 6.4 βλέπουμε την βιβλιοθήκη του προγράμματος με τα διαθέσιμα υλικά. Έχει σχεδόν τα πάντα από αλουμίνιο και πλαστικό μέχρι ανοξείδωτο χάλυβα και κράμα τιτανίου. Για περισσότερα υλικά μπορεί κανείς να ανατρέξει στην ιστοσελίδα [www.asci.com](http://www.asci.com). Λόγω του ότι η κατασκευή που μελετάμε στο παράδειγμα είναι από **St37** αλλά η βιβλιοθήκη δεν έχει το συγκεκριμένο υλικό θα πάρουμε σαν υλικό **St36**.





## B2) ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ





Σχήμα 6.5: Τοποθέτηση φορτίσεων


Για την σωστή τοποθέτηση των φορτίσεων της κατασκευής χρησιμεύει πολύ το μενού εντολών **`selection`**. Για να μπορέσει να γίνει η εκλογή ενός κόμβου όπου θα τοποθετηθεί μια φόρτιση θα πρέπει να υπάρχει ένας συνδυασμός επιλογών από το μενού εντολών **selection**. Ξεκινώντας από τα αριστερά προς τα δεξιά στο μενού εντολών **`selection`** έχουμε :


 **(point select)** → με την εντολή αυτή μπορούμε να διαλέξουμε μόνο έναν κόμβο για να βάλουμε δύναμη. Για να βάλουμε άλλη μία δύναμη σε έναν κόμβο που είναι πιο μακριά έχουμε πατημένο το Ctrl και διαλέγουμε το κόμβο που επιθυμούμε.


 **(rectangle select)** → με την εντολή αυτή συλλέγουμε μέσα σε ένα ορθογώνιο μια ομάδα κόμβων προκειμένου να εφαρμόσουμε σ' αυτούς φορτίσεις. Αφού έχουμε επιλέξει την εντολή τότε πατάμε αριστερό κλικ το έχουμε πατημένο και το σέρνουμε. Με τον τρόπο αυτό ρυθμίζουμε πόσο μεγάλο θα είναι το ορθογώνιο μας. Όταν το αφήσουμε ο υπολογιστής θα τσεκάρει όλους τους κόμβους που ήταν μέσα στο ορθογώνιο και έτσι εμείς βάζουμε την δύναμη που επιθυμούμε.


 **(polyline select)** → η εντολή αυτή είναι ίδια με την προηγούμενη μόνο που εδώ δημιουργούμε εμείς το σχήμα μέσα στο οποίο θα περιλαμβάνονται οι κόμβοι με τις δυνάμεις. Το σχήμα αυτό περιβάλλεται από ένα πολύγωνο.


 **(circle select)** → και αυτή η εντολή δεν διαφέρει από τις άλλες απλώς αυτή σχηματίζει κύκλο.


 (**select parts**) → με την εντολή αυτή μπορούμε να διαλέξουμε εξαρτήματα, αν φυσικά η κατασκευή αποτελείται από πολλά κομμάτια.



 (**select surfaces**) → με την εντολή αυτή μπορούμε να διαλέξουμε μια επιφάνεια από ένα εξάρτημα της κατασκευής προκειμένου να εφαρμόσουμε σ' αυτήν φορτίσεις.

 (**select edges**) → με την εντολή αυτή μπορούμε να επιλέξουμε μια ακμή ενός κομματιού προκειμένου να εφαρμόσουμε εκεί τις φορτίσεις.

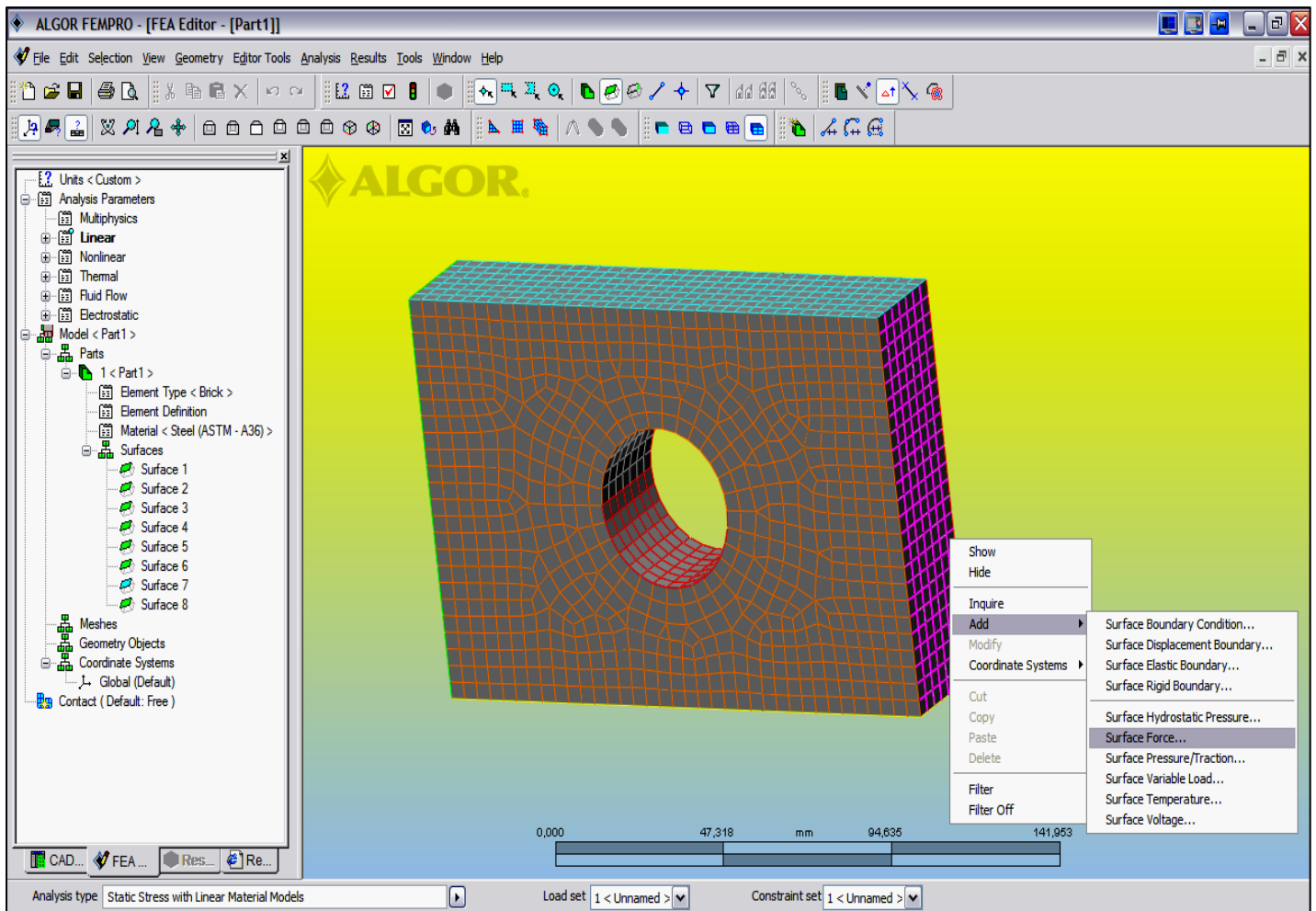
 (**select line**) → με την εντολή αυτή μπορούμε να επιλέξουμε μία γραμμή από ένα στοιχείο του κομματιού.

 (**select vertices**) → με την εντολή αυτή διαλέγουμε σημείο, δηλαδή κόμβο.

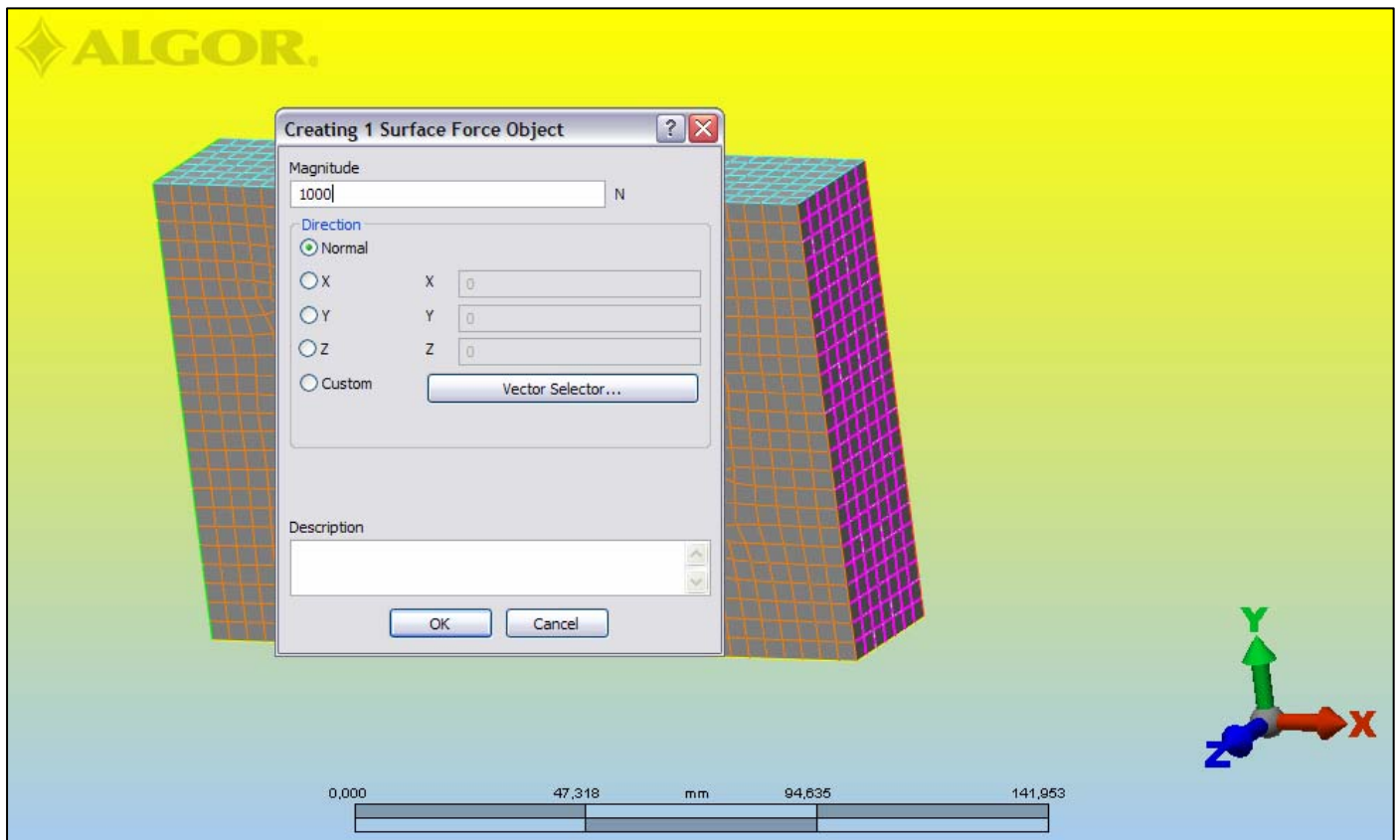
 (**select neighbor**) → η εντολή αυτή ενεργοποιείται μόνον άμα έχουμε ήδη έναν κόμβο. Αν πατήσουμε την εντολή θα δούμε ότι θα επιλεγθούν και άλλοι κόμβοι οι οποίοι βρίσκονται κοντά στον κόμβο που είχαμε επιλέξει.

Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε ένα αντικείμενο στο οποίο από την μία του πλευρά θα βάλουμε μια δύναμη ίση με 1KN και από την άλλη πλευρά θα ορίσουμε πάκτωση (στα σημεία στήριξης θα αναφερθούμε αργότερα). Για να βάλουμε δύναμη σε όλη την επιφάνεια από το μενού εντολών **'selection'** τις εντολές  και την . Στην συνέχεια αφού την διαλέξουμε θα δούμε ότι η επιφάνεια έχει πάρει ροζ χρώμα που αυτό σημαίνει ότι έχει επιλεγεί. Τα βήματα: **Εκλογή επιφάνειας → δεξί κλικ → add → surface force...**

Η παραπάνω διαδικασία παριστάνεται στο σχήμα 6.6



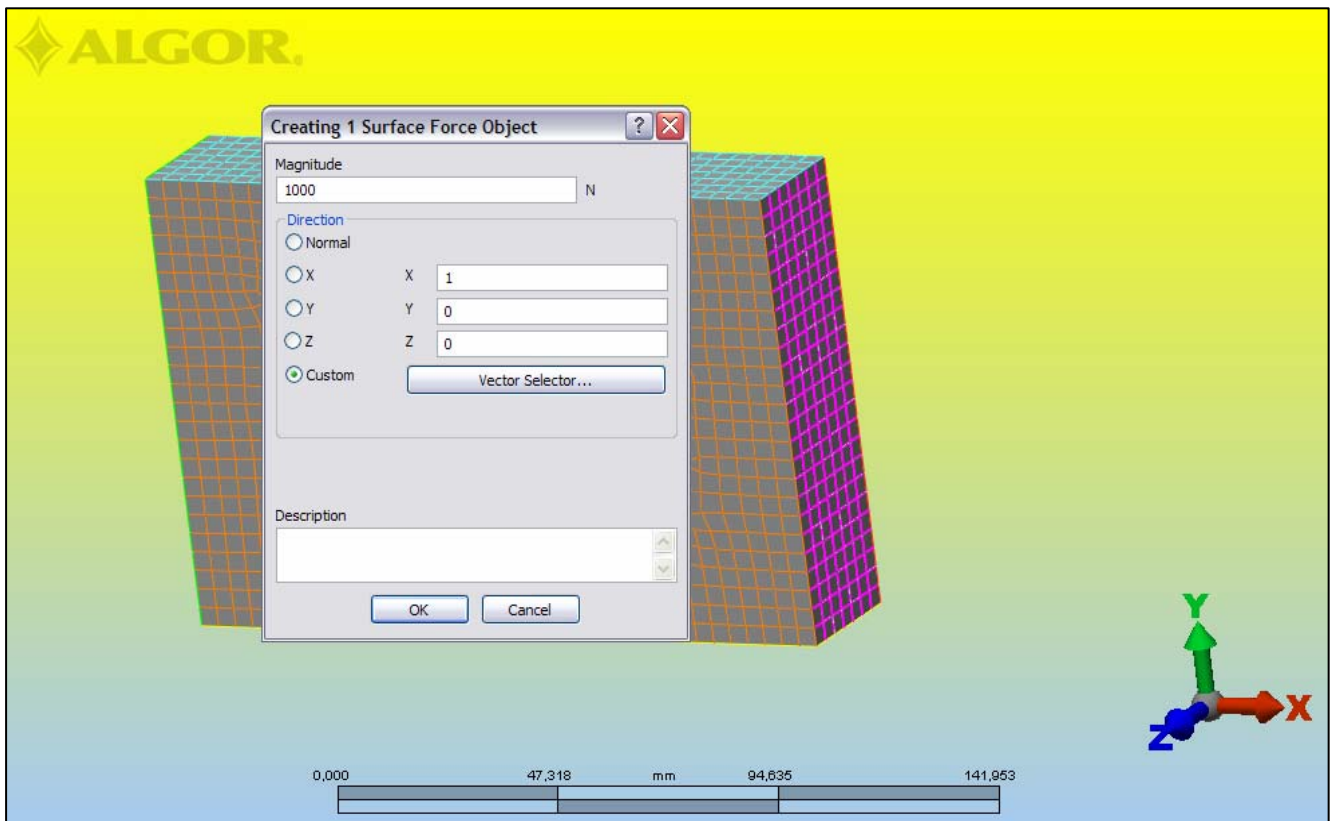
Σχήμα 6.6: Επιλογή επιφανειακής φόρτισης



Σχήμα 6.7: Ορισμός εφαρμοζόμενης δύναμης κατά μέγεθος και φορά

Πατώντας στο ``surface force`` μας βγάζει στο παράθυρο που μας δείχνει το σχήμα 6.7. Το παράθυρο χωρίζεται σε τρία μέρη. Στο πρώτο ορίζουμε την δύναμη που θέλουμε. Στο δεύτερο θέτουμε προς ποια κατεύθυνση θα πηγαίνει η δύναμη. Στο τρίτο απλώς γράφουμε μια περιγραφή(δεν είναι και τόσο απαραίτητο) η οποία θα φαίνεται στο δέντρο εργασίας.

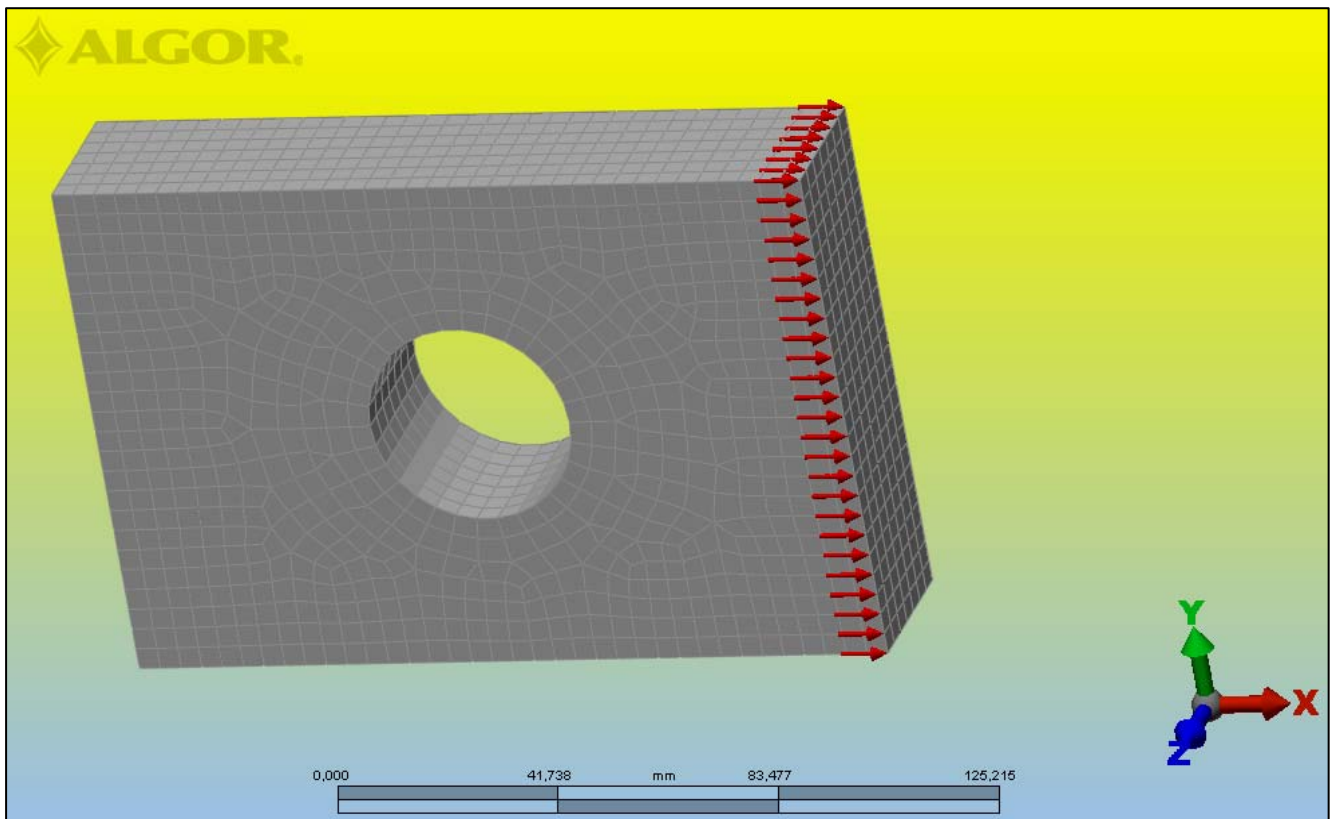
Για το παράδειγμα θα βάλουμε μια δύναμη 1000N που θα έχει κατεύθυνση ως προς τον άξονα **x**. Δηλαδή θα προκαλέσουμε εφελκυσμό στο μοντέλο με δύναμη 1000N.




Σχήμα 6.8: Τοποθέτηση επιφανειακής δύναμης

Όπως βλέπουμε στο σχήμα 6.8 εκεί που λέει `direction` βάλουμε στον άξονα **x** την τιμή **1** που σημαίνει πως προς εκείνη την κατεύθυνση θα δρα η δύναμη.

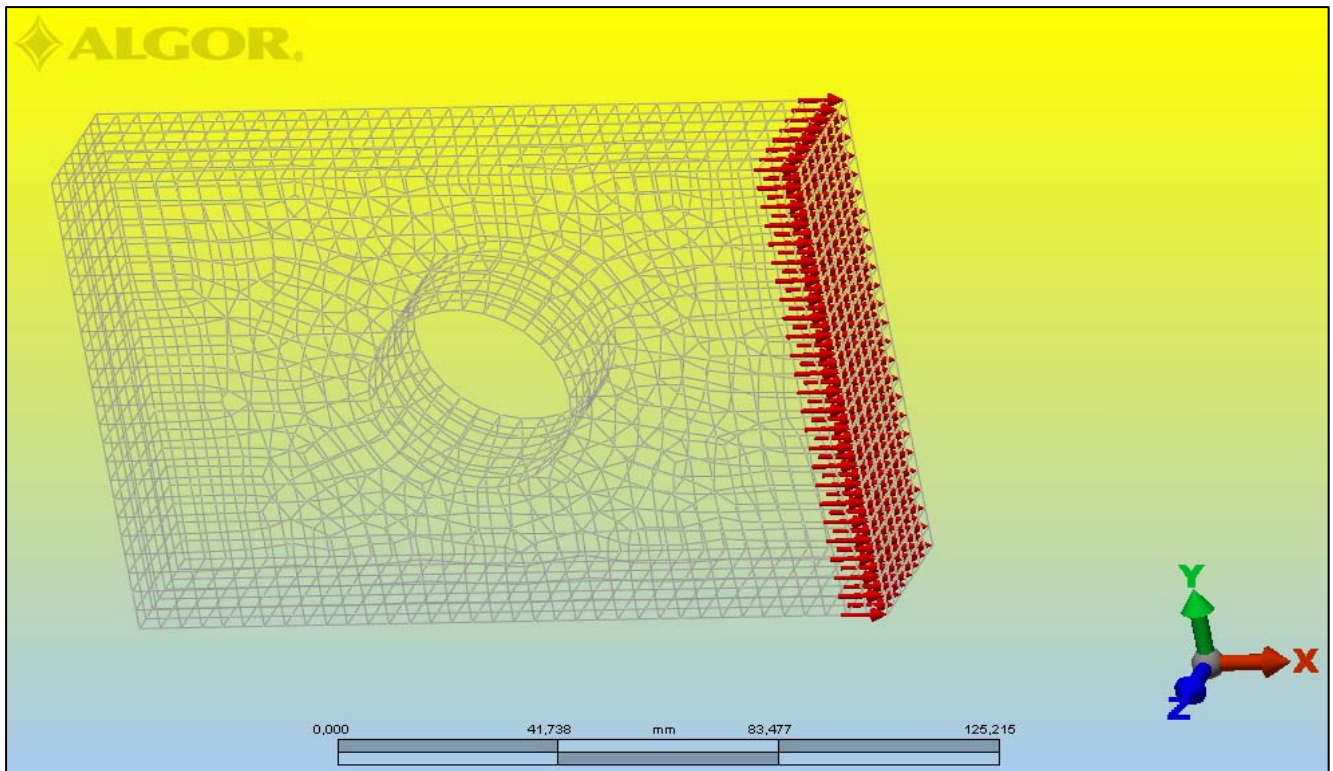
Τώρα άμα θέλουμε να δημιουργήσουμε θλίψη τότε αντί για τιμή **1** θα βάλουμε **-1**. Αυτό που θα πρέπει να προσέχουμε πάντα κατά την στιγμή που βάζουμε τις δυνάμεις είναι το σύστημα συντεταγμένων. Για παράδειγμα ,έτσι όπως βλέπουμε το σχήμα 6.8, θέλουμε στην ίδια επιφάνεια να βάλουμε δύναμη αλλά ως προς τον άξονα **y** και αντίθετη φορά από αυτή που δείχνει το σηματάκι κάτω αριστερά εμείς στο πινακάκι θα βάλουμε την τιμή **-1** στον άξονα **y**.



**Σχήμα 6.9:** Εμφάνιση των δυνάμεων στην επιφάνεια.

Στο σχήμα 6.9 βλέπουμε πως δημιουργήθηκαν οι δυνάμεις που διαλέξαμε για την συγκεκριμένη επιφάνεια. Επειδή όμως με αυτό το σχήμα μπορεί να υπάρξει ασάφεια ότι π.χ οι δυνάμεις τοποθετήθηκαν περιμετρικά της επιφάνειας αν πατήσουμε την εντολή  (**mesh**) θα το δούμε καλύτερα στο σχήμα 6.10.



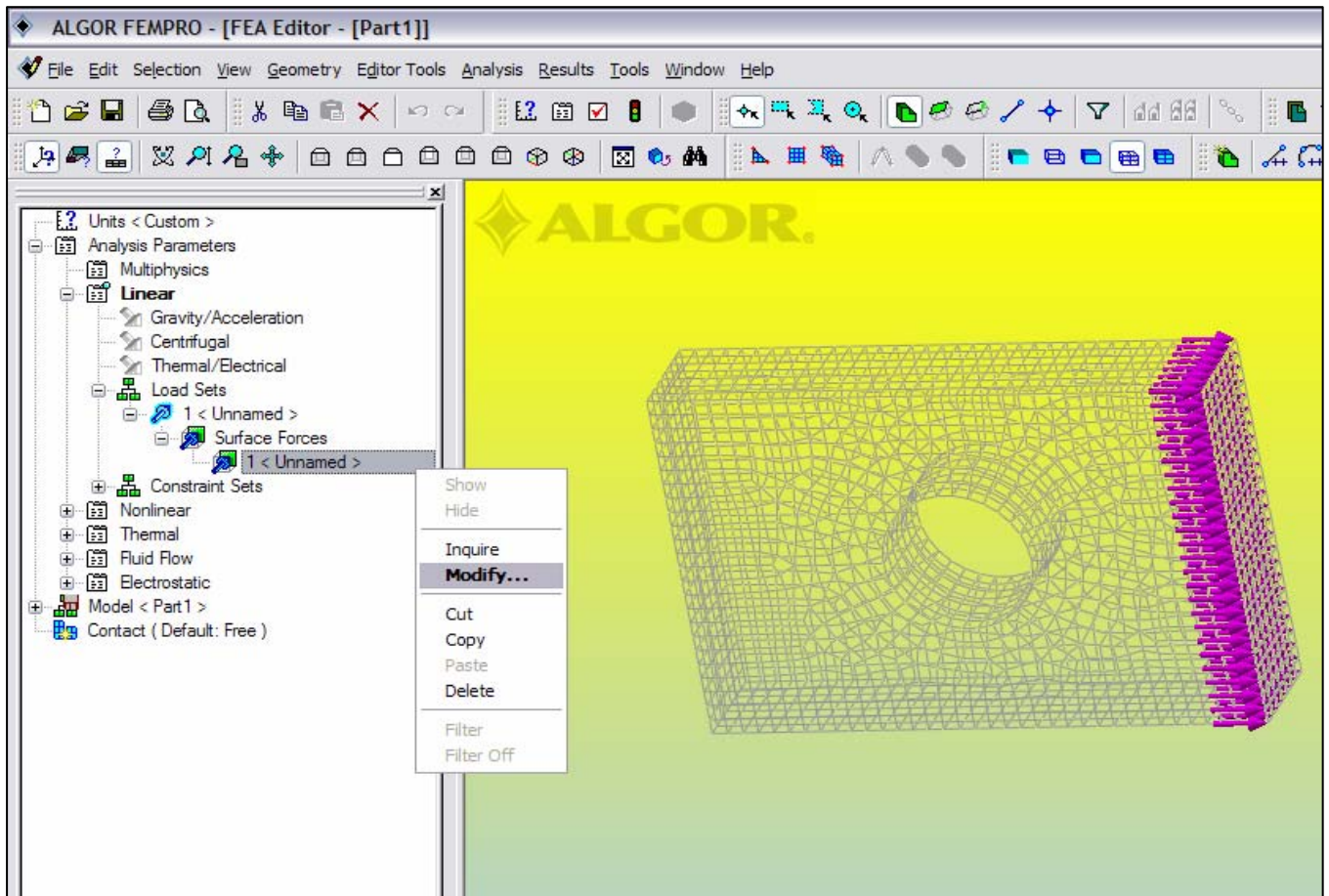


Σχήμα 6.10

Με το παραπάνω σχήμα βλέπουμε πολύ καθαρά πως οι δυνάμεις βρίσκονται ομοιόμορφα κατανεμημένες επάνω στην επιφάνεια.

Τώρα αν θέλουμε να αλλάξουμε κάτι σχετικά με την δύναμη όπως π.χ. να αλλάξουμε την κατεύθυνση της ακολουθούμε τα εξής βήματα: **linear** → **load sets** → **surface force** → **unnamed** → **modify...**

Στο παρακάτω σχήμα 6.11 φαίνονται ακριβώς η αλληλουχία των βημάτων.



Σχήμα 6.11

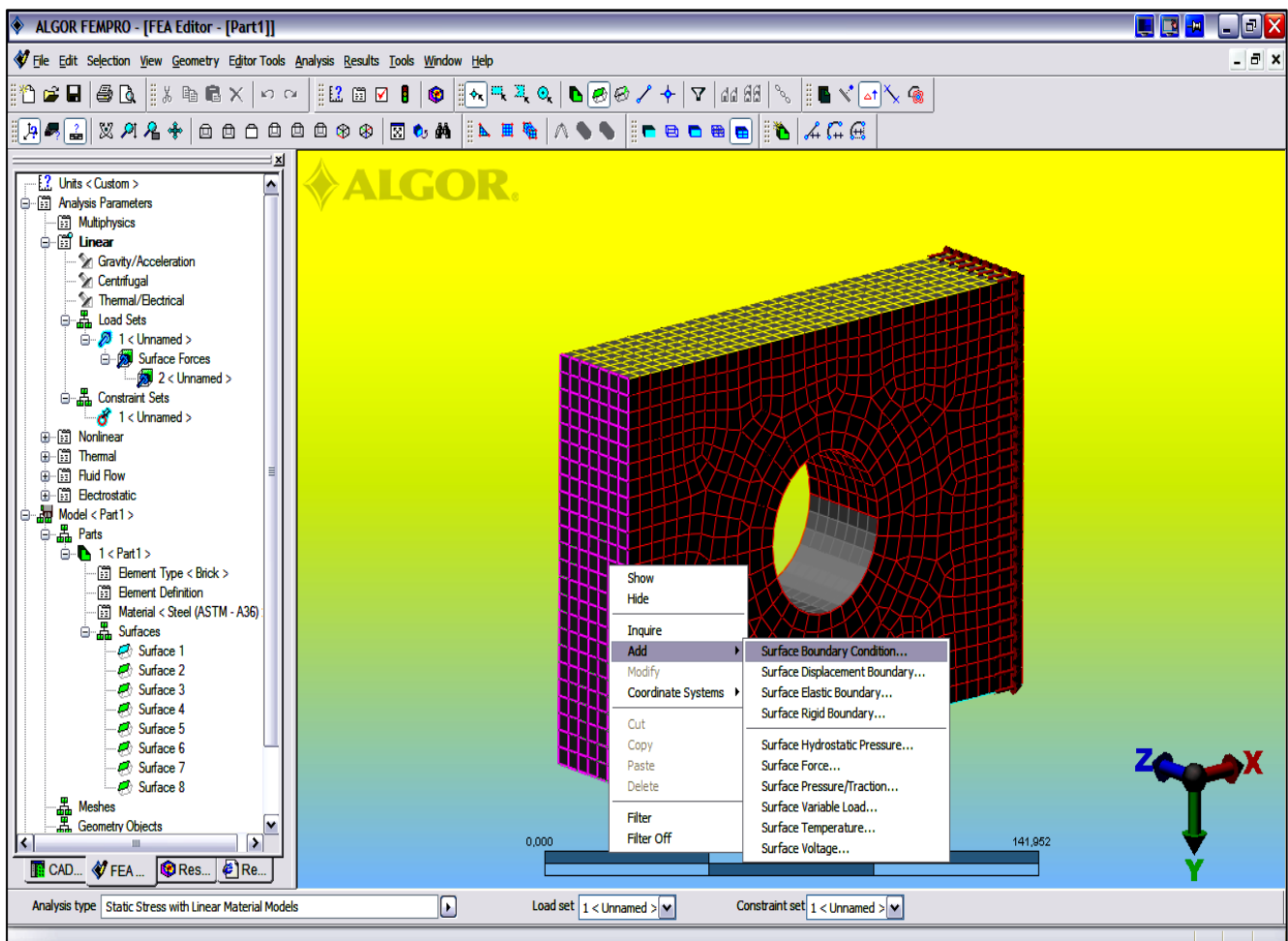
Αν πατήσουμε στην επιλογή modify θα μας βγάλει πάλι στο παράθυρο που φαίνεται στο σχήμα 6.8.

### B3) ΟΡΙΑΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ (ΘΕΤΟΝΤΑΣ ΣΗΜΕΙΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ)



Σχήμα 6.12

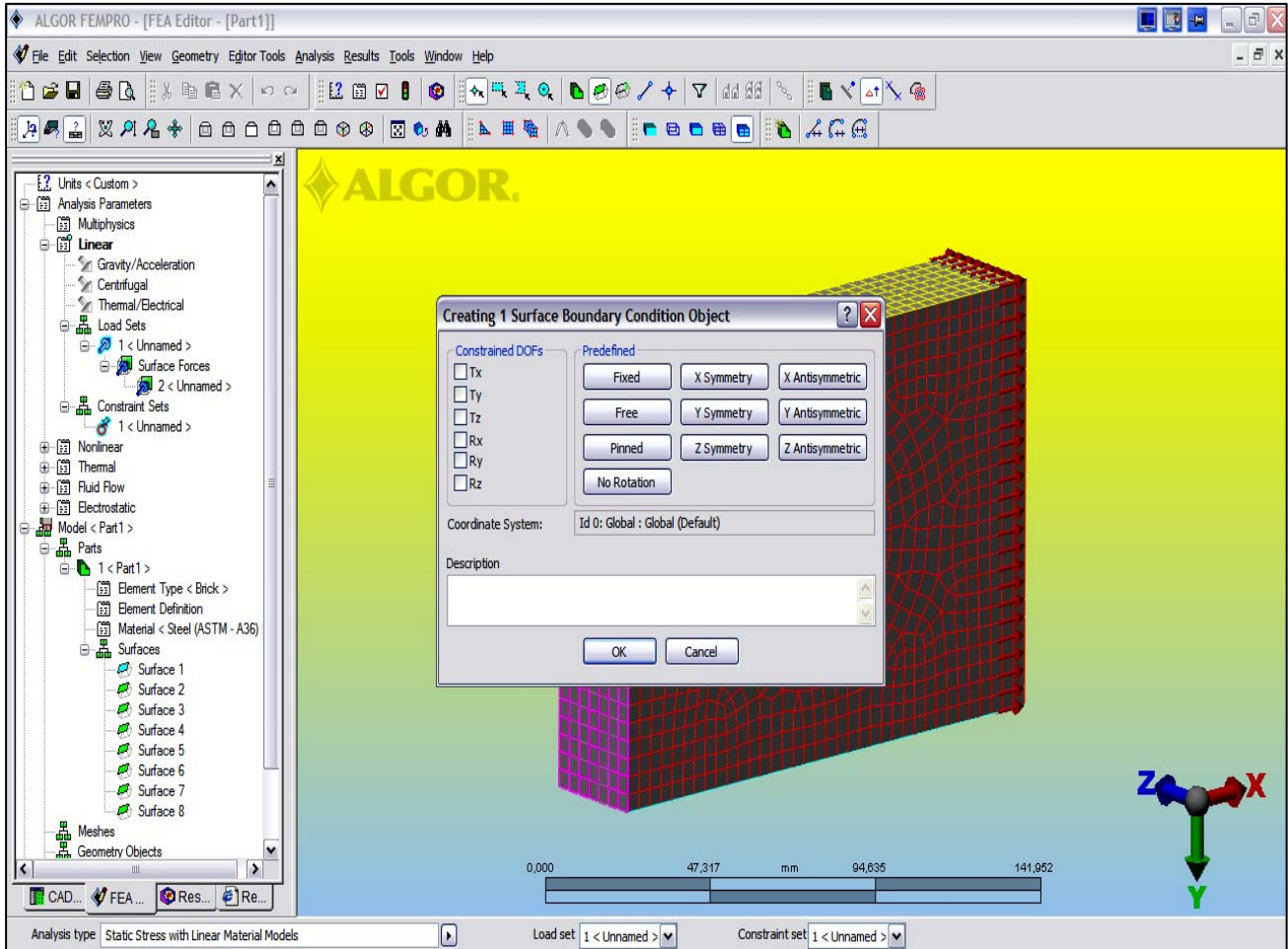
Τα σημεία στήριξης είναι πολύ σημαντικά για κάθε κατασκευή. Θα πρέπει να γνωρίζουμε τι είδους στήριξη έχουν. Είναι πακτωμένα, έχουν σταθερή έδραση, έδραση κύλισης, είναι ελεύθερα μεταξύ τους κλπ. Για να θέσουμε τις στηρίξεις θα χρειαστούμε πάλι το μενού εντολών `selection` και θα κάνουμε περίπου τα ίδια βήματα με αυτά που ακολουθούμε όταν ορίζουμε τις φορτίσεις. Έστω ότι τώρα διαλέγουμε την απέναντι επιφάνεια από αυτή που βάλουμε δυνάμεις.



Σχήμα 6.13: Ορισμός οριακών συνθηκών



Η αλληλουχία βημάτων για τον ορισμό των σημείων στήριξης είναι η εξής:  
εκλογή επιφάνειας → δεξί κλικ → add → surface boundary condition



Σχήμα 6.14: Επιλογή οριακών συνθηκών

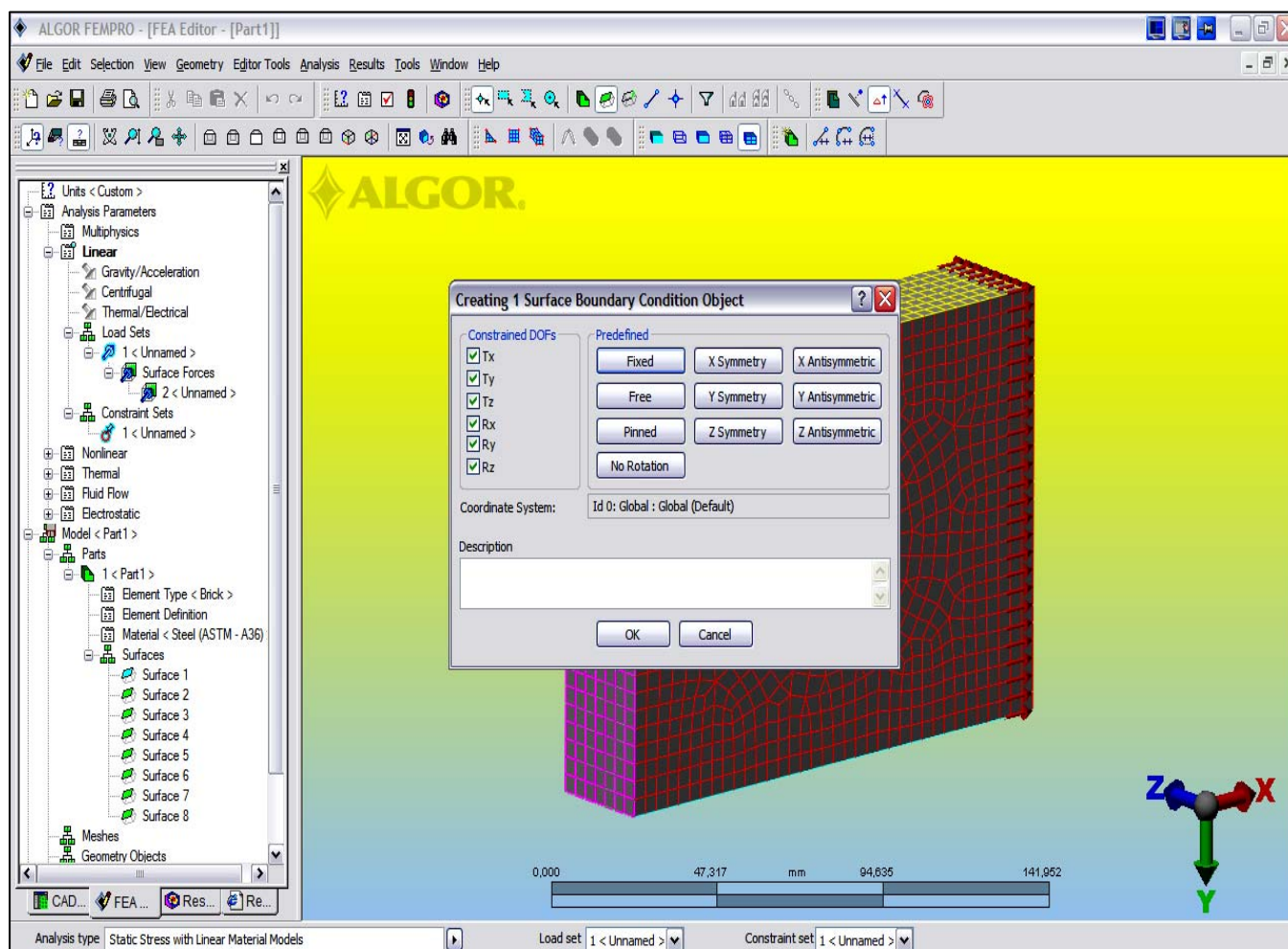
Στο σχήμα 6.14 βλέπουμε το παράθυρο διαλόγου όπου μπορούμε να ορίσουμε τις επιθυμητές συνθήκες στήριξης.

Το παράθυρο διαλόγου χωρίζεται σε δύο μέρη , το `constrained DOFs` (εξαναγκασμένος βαθμός ελευθερίας) και `predefined` (προκαθορισμένος).

Όπως βλέπουμε στο **constrained DOF** έχει τις επιλογές Tx Ty Tz και Rx Ry Rz. Οι τρεις πρώτες με το γράμμα T μπροστά υποδηλώνουν την μετατόπιση , οι άλλες τρεις με το R υποδηλώνουν την περιστροφή.

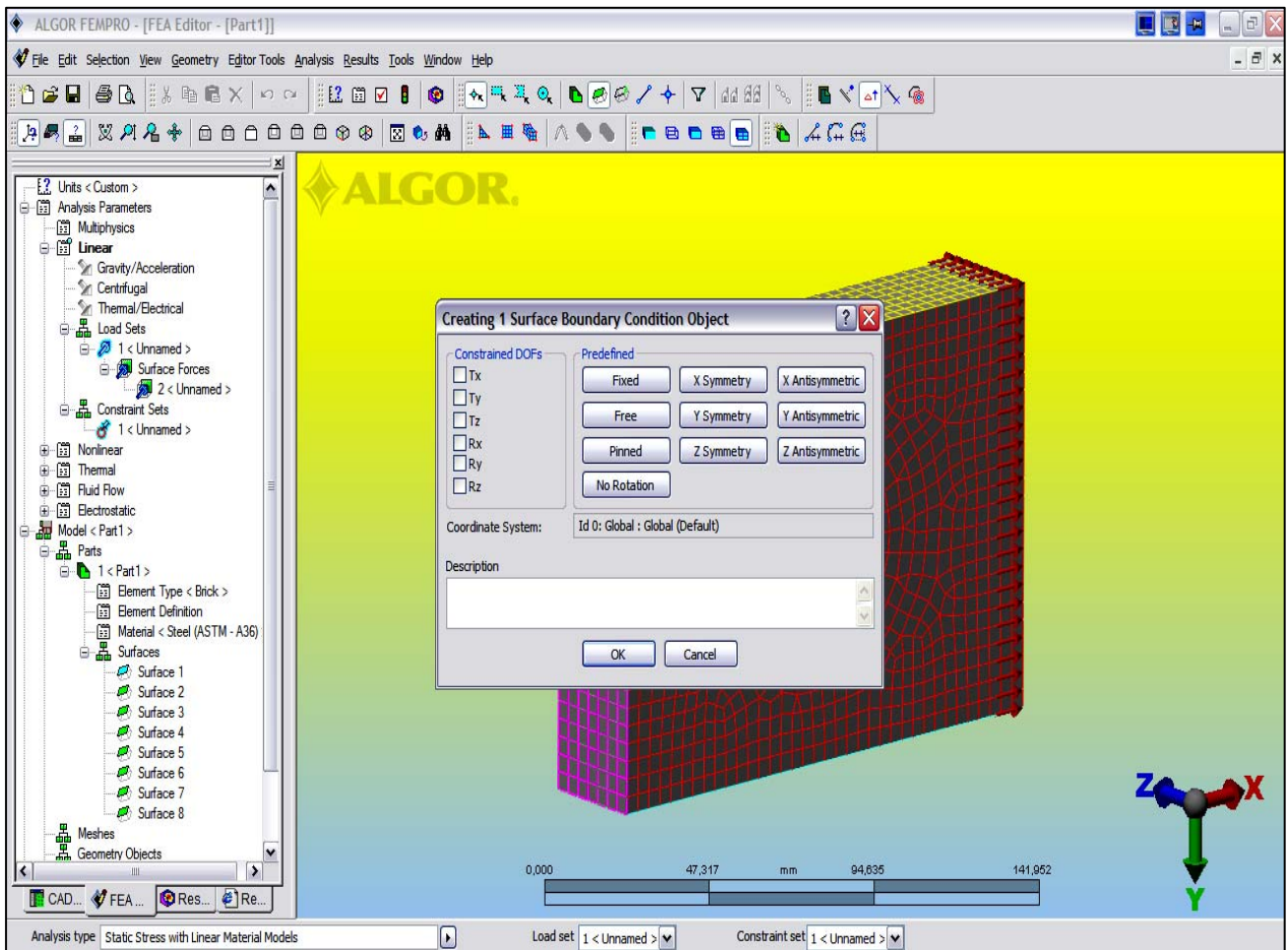
Η άλλη επιλογή είναι το **predefined** όπου υπάρχουν τέσσερις επιλογές : α) fixed , β) free , γ) pinned και δ) no rotation .

Fixed = εδώ έχουμε την πάκτωση, δηλαδή όλοι οι βαθμοί ελευθερίας είναι μπλοκαρισμένοι έτσι ώστε να μην κινείται προς καμία κατεύθυνση (σχήμα 6.15).



Σχήμα 6.15: Ορισμός πάκτωσης επιφάνειας

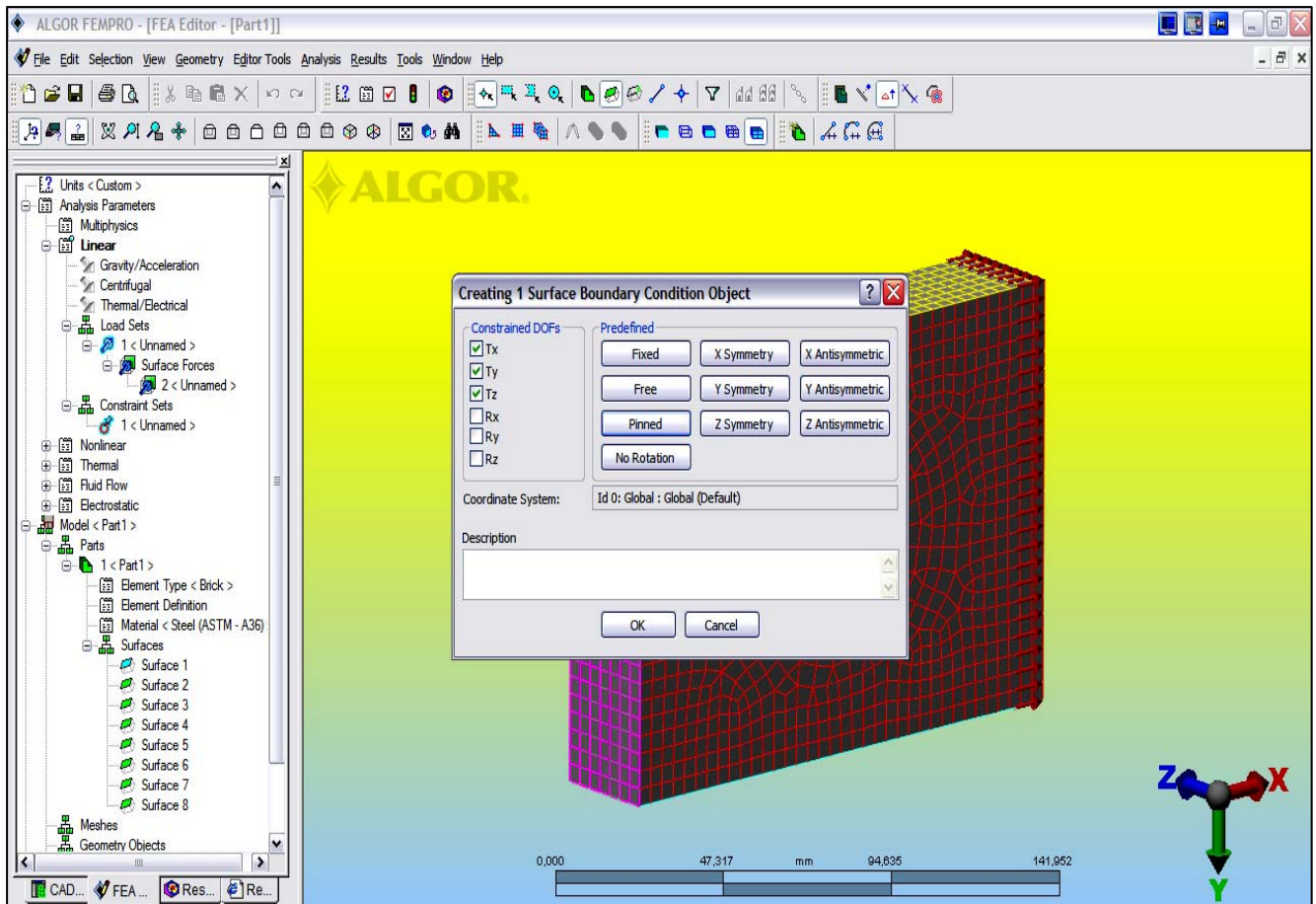
Free= εδώ όλοι οι βαθμοί ελευθερίας είναι ελεύθεροι, δηλαδή το κομμάτι μπορεί να μετατοπισθεί και να περιστραφεί και στους τρεις άξονες (σχήμα 6.16).



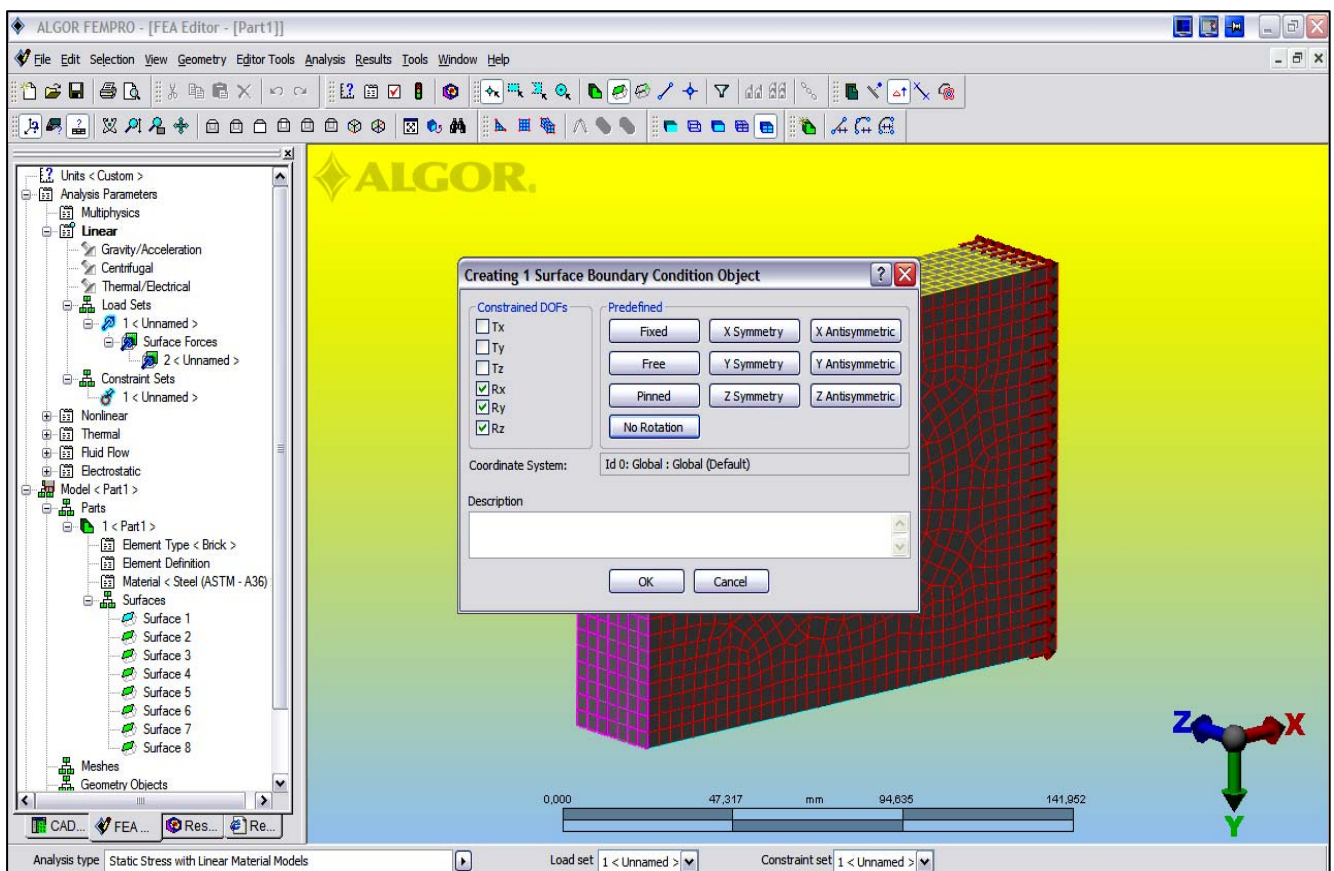
Σχήμα 6.16: Ελεύθεροι όλοι οι βαθμοί ελευθερίας.

Pinned= εδώ αποκλεισμένοι είναι μόνο οι βαθμοί ελευθερίας που αφορούν την μετατόπιση (σχήμα 6.17) ενώ οι βαθμοί ελευθερίας της περιστροφής παραμένουν ελεύθεροι με αποτέλεσμα το αντικείμενο να μπορεί μόνο να περιστραφεί.





Σχήμα 6.17: Χωρίς μετατοπίσεις



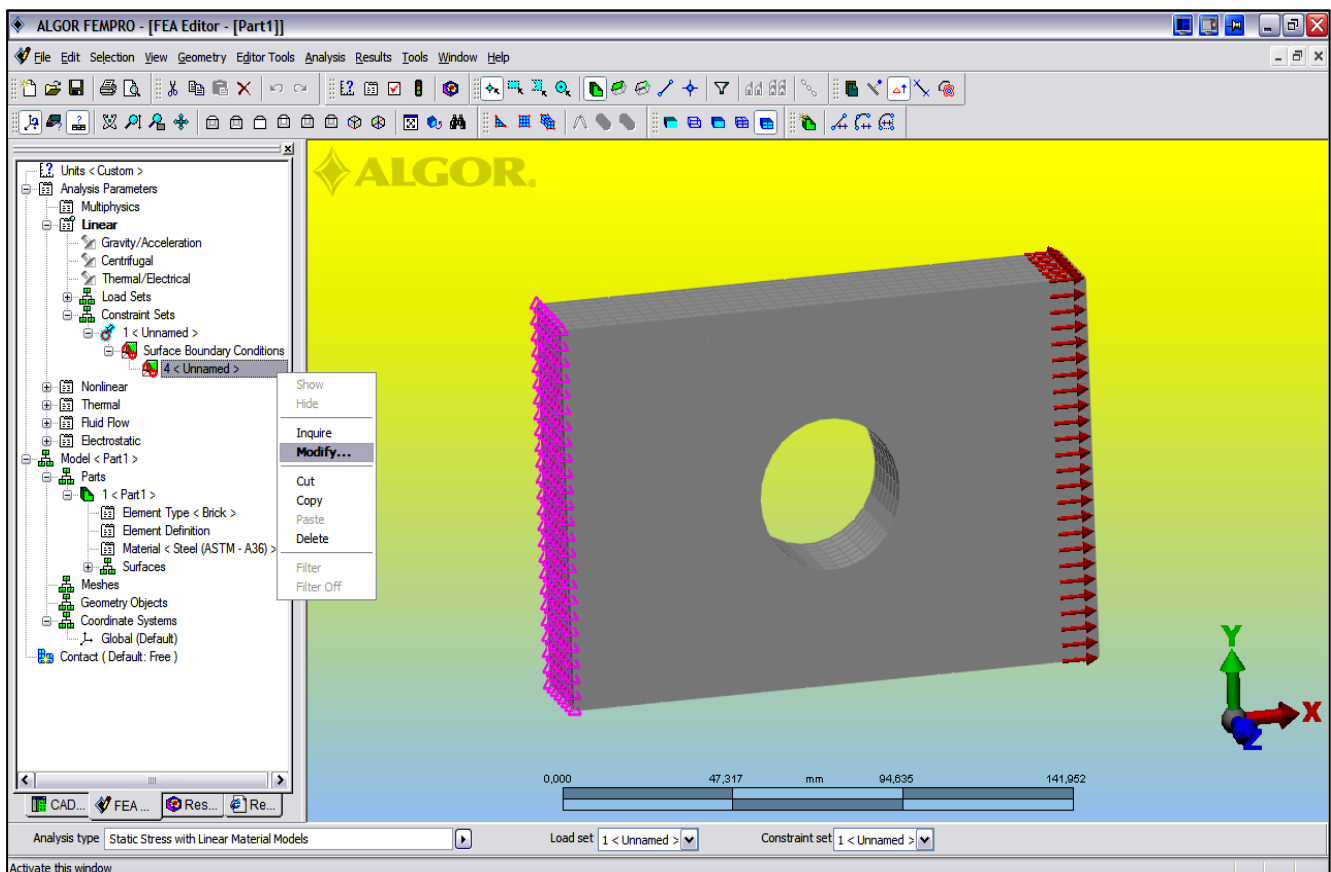
Σχήμα 6.18: Χωρίς περιστροφές

No Rotation = στην περίπτωση αυτή (σχήμα 6.18) αποκλεισμένοι είναι οι βαθμοί ελευθερίας που αφορούν την περιστροφή, έτσι ώστε να μην μπορεί το μοντέλο να περιστραφεί. Αντιθέτως όμως μπορεί να μετατοπίζεται.

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα θα θέσουμε σαν στήριξη την πάκτωση. Δηλαδή θα ορίσουμε ως `fixed`.

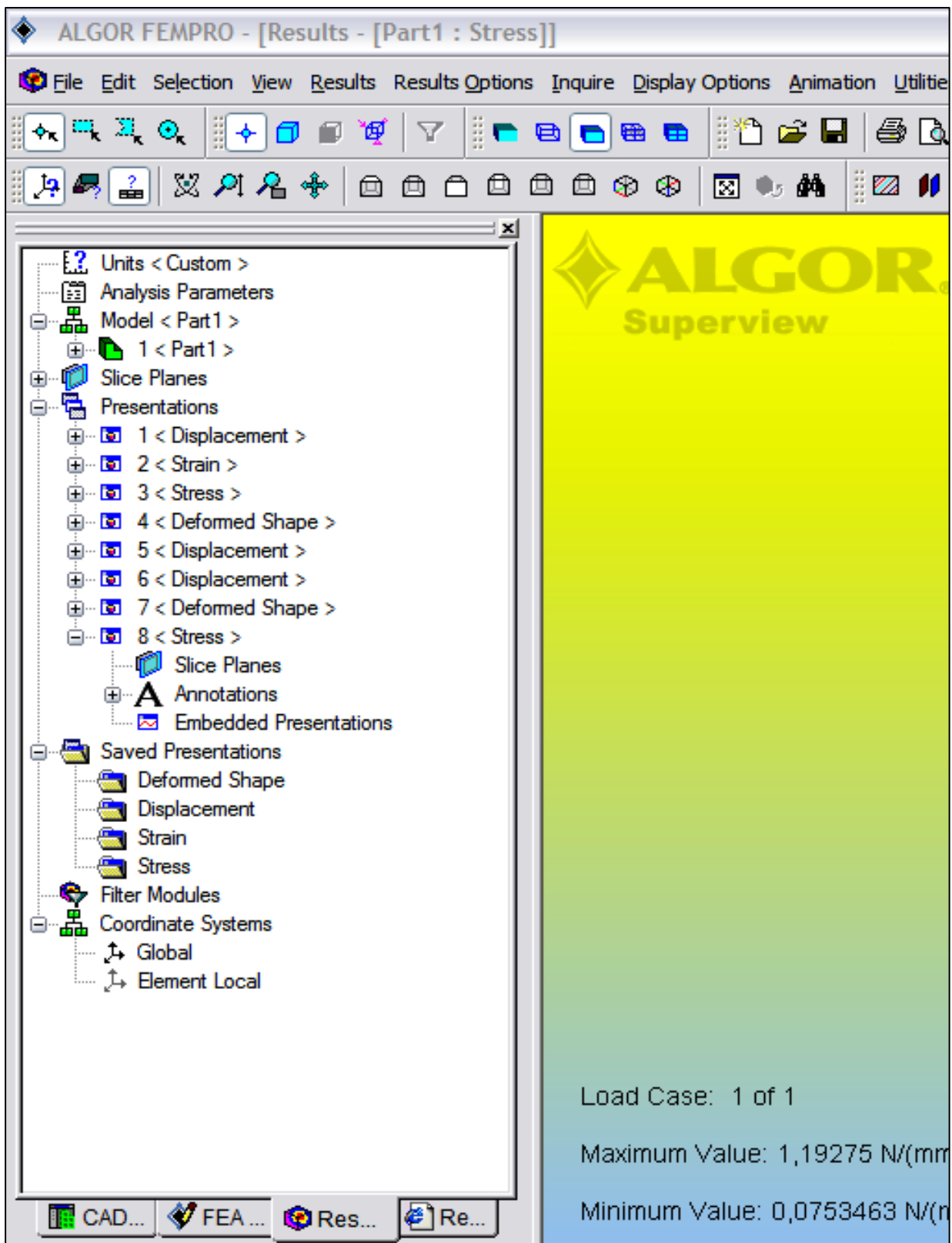
Τώρα αν θέλουμε να αλλάξουμε κάτι σχετικά με την δύναμη όπως π.χ. να αλλάξουμε την κατεύθυνσή της, ακολουθούμε τα εξής βήματα: **linear** → **constraint sets** → **surface boundary condition** → **unnamed** → **modify...**

Στο παρακάτω σχήμα 6.19 φαίνεται ακριβώς η ακολουθία των βημάτων.



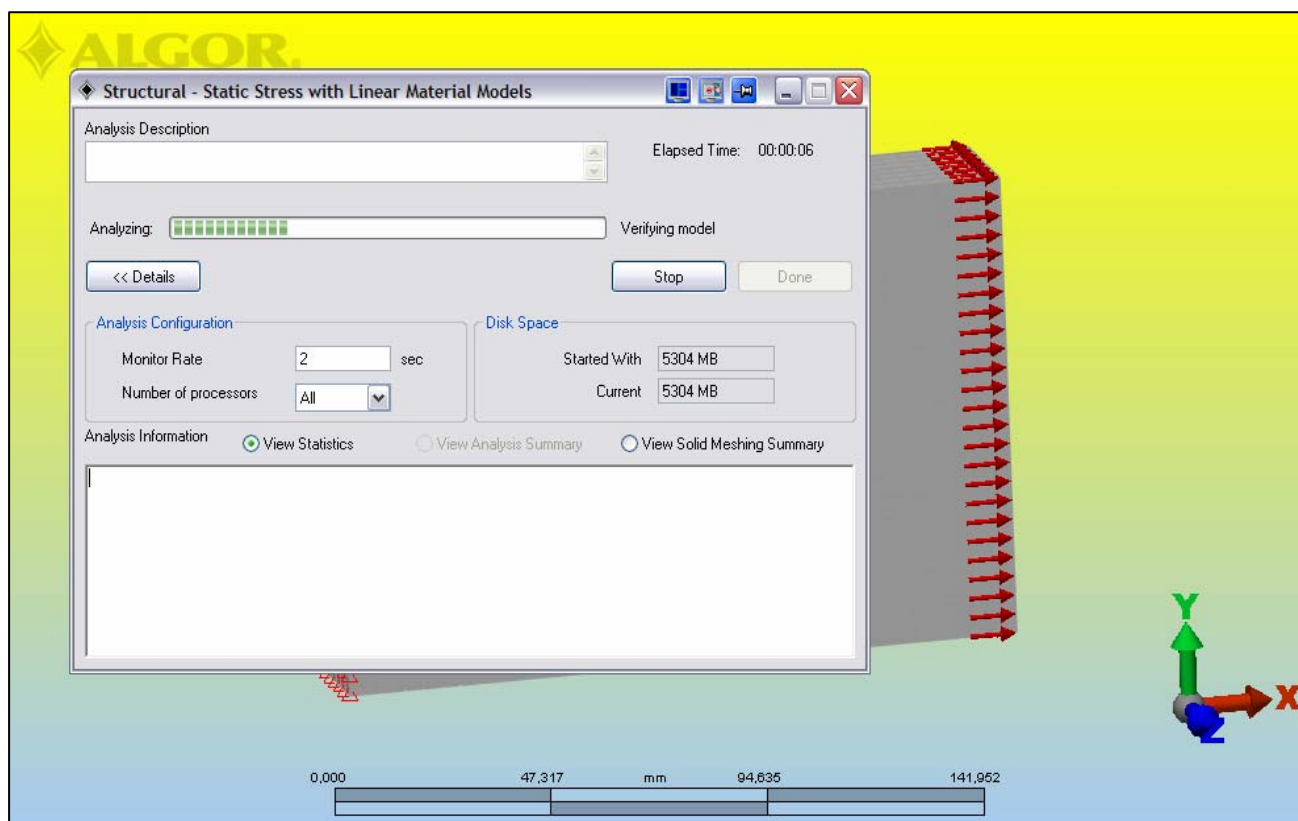
Σχήμα 6.19: Ορισμός πακτωμένης επιφάνειας

## Γ) RESULTS (ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ)



Σχήμα 6.20: Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Το τρίτο στάδιο του προγράμματος είναι τα αποτελέσματα της ανάλυσης. Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε και από το σχήμα 6.20 έχοντας αναλύσει το μοντέλο, μπορούμε να εξετάσουμε μέσω υπολογιστή το πώς θα συμπεριφέρεται η κατασκευή σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας. Μπορούμε να εξετάσουμε την μετατόπιση του, την παραμόρφωση, τις τάσεις κ.α.. Αφού λοιπόν έχει γίνει η ανάλυση πάμε να δούμε ένα, ένα τα αποτελέσματα. Θα ξεκινήσουμε με την τάση και στην συνέχεια θα δούμε την παραμόρφωση.

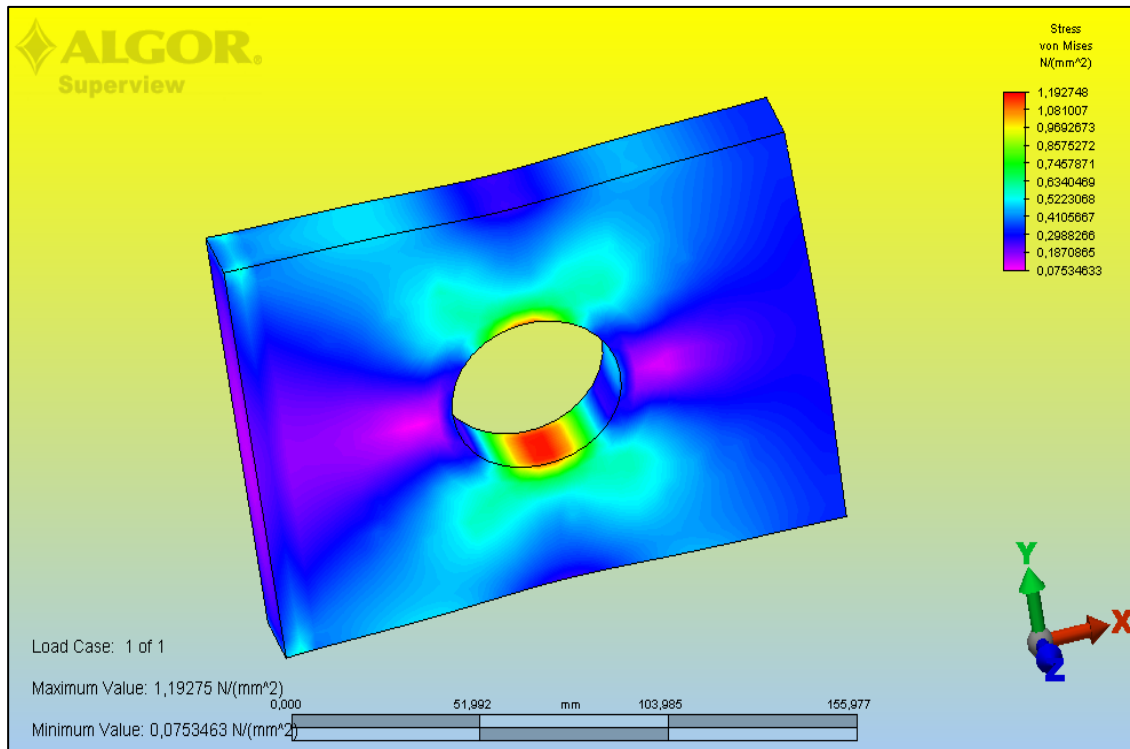


**Σχήμα 6.21:** Επίλυση του μοντέλου

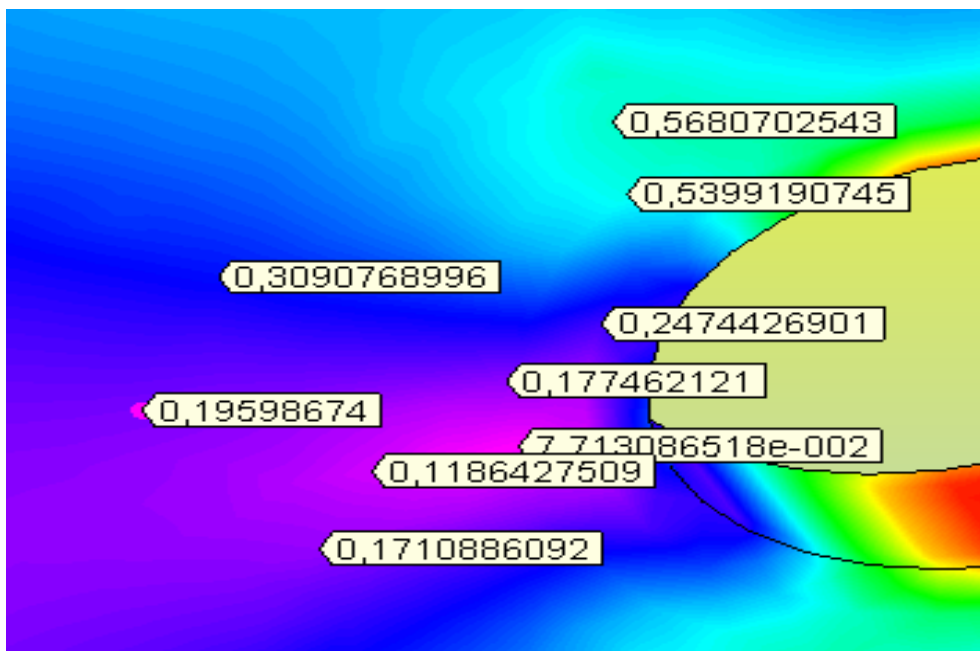
Στο παραπάνω σχήμα βλέπουμε την στιγμή που ο υπολογιστής αρχίζει και αναλύει το μοντέλο μας.

## Γ1) ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ (Stress von misses)

Στις παρακάτω εικόνες εμφανίζεται η ισοδύναμη τάση. (σχήματα 6.22 και 6.23 )



Σχήμα 6.22

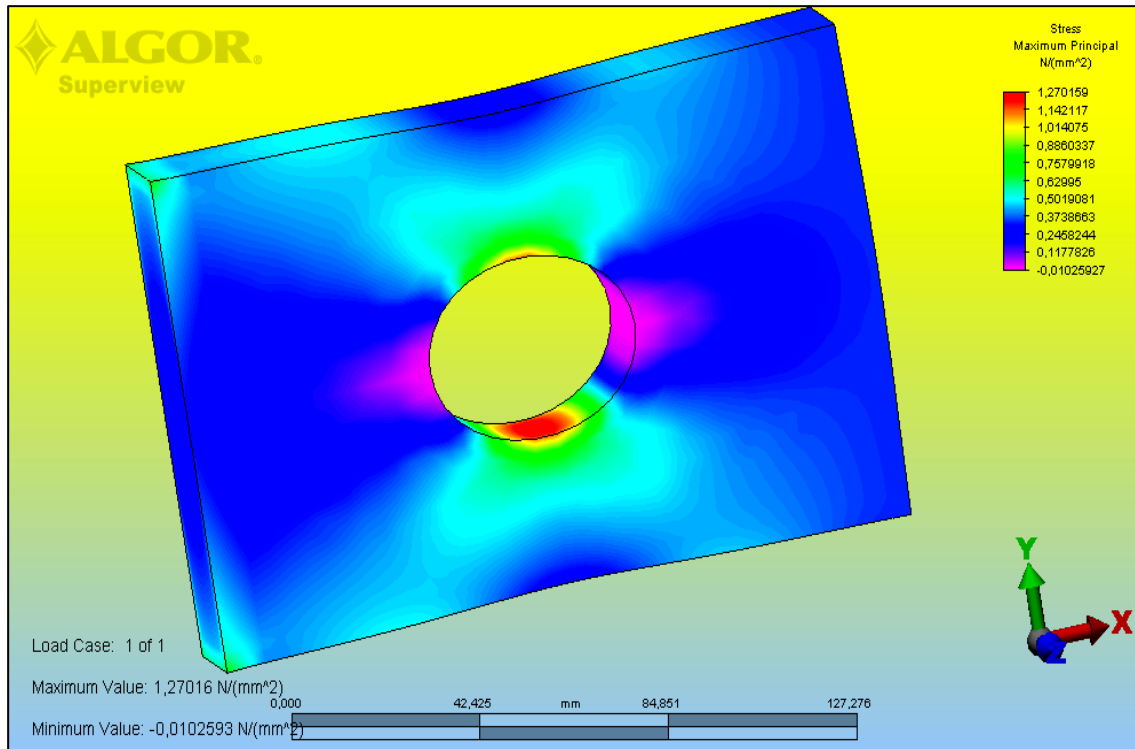


Σχήμα 6.23

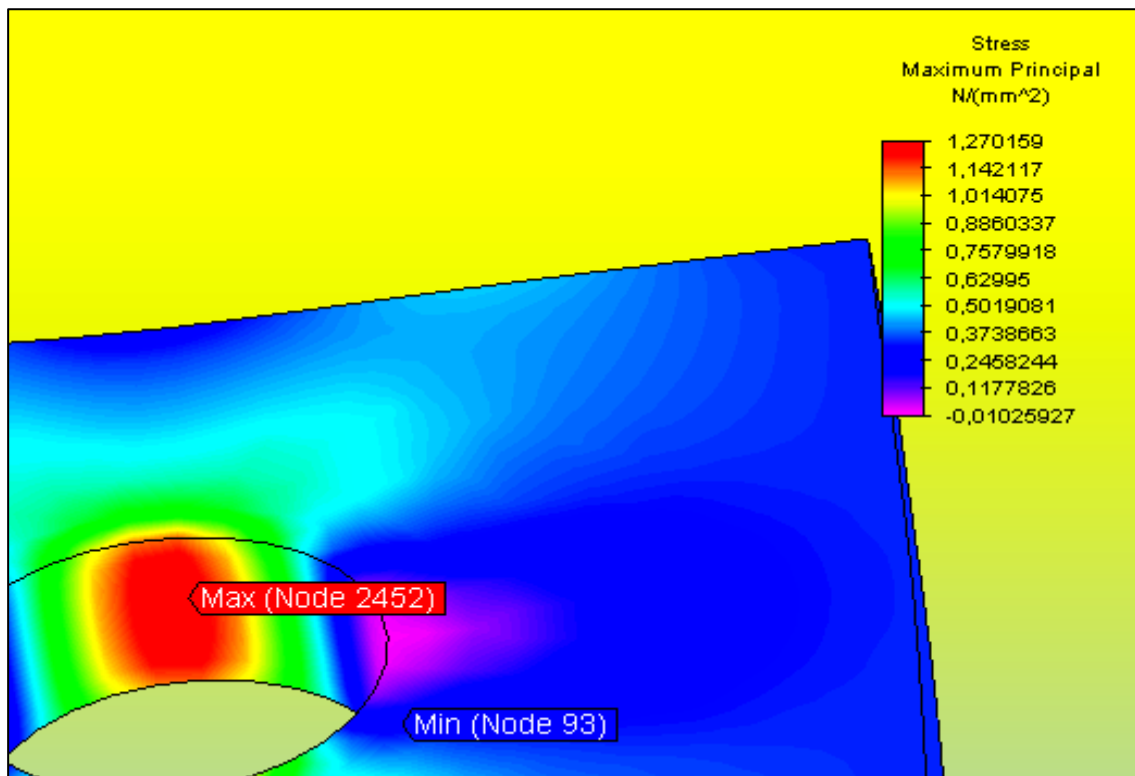


## Γ2) ΜΕΓΙΣΤΗ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΤΑΣΗ

Στα σχήματα 6.24 και 6.25 παριστάνεται η μέγιστη διατμητική τάση.

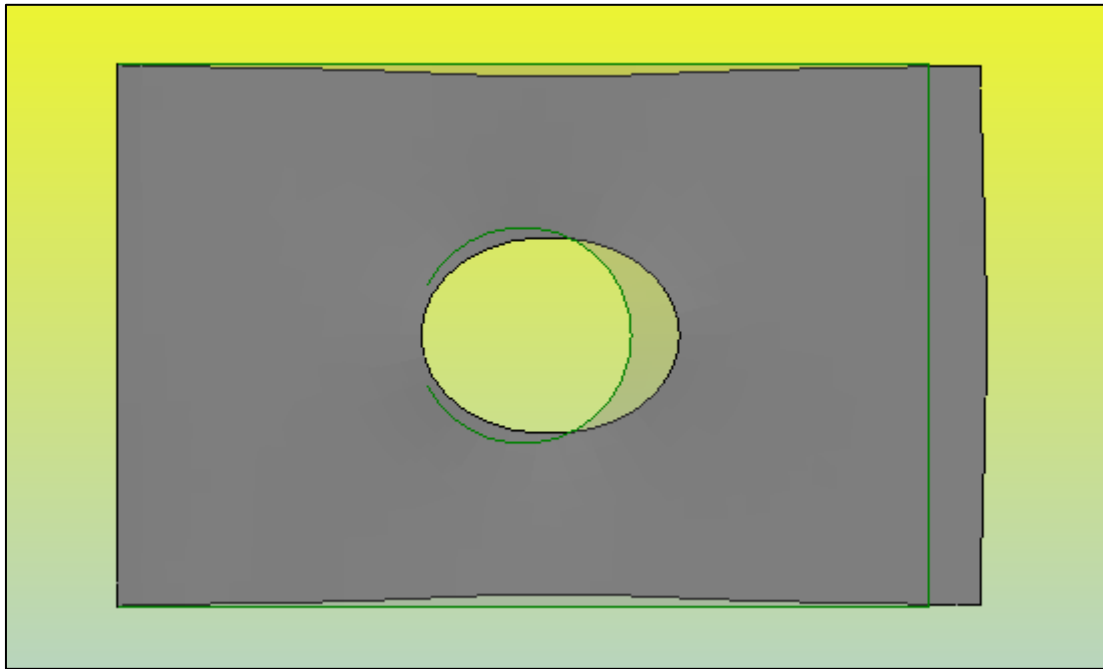


Σχήμα 6.24: Παράσταση των διατμητικών τάσεων.

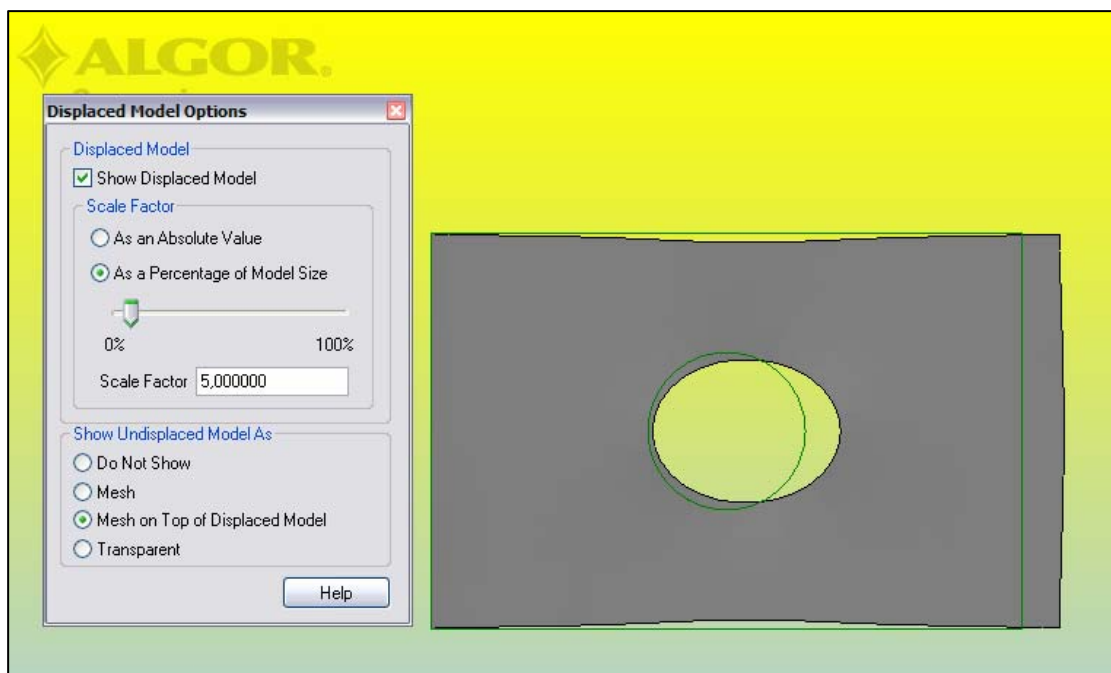


Σχήμα 6.25

### Γ3) ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ (Deformed shape)



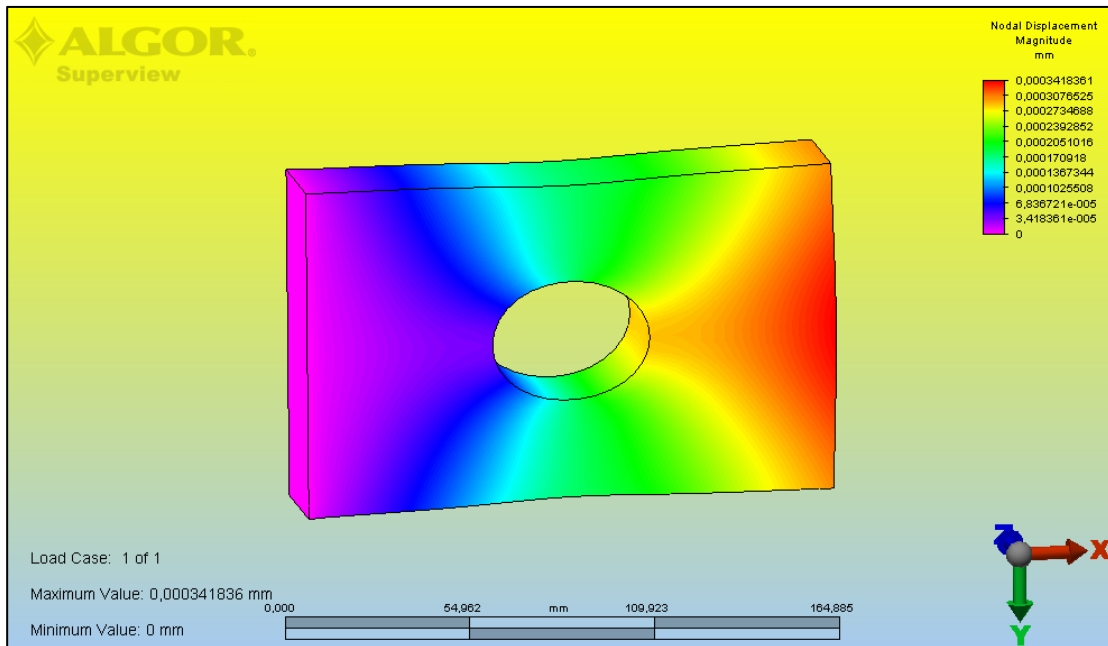
Σχήμα 6.26



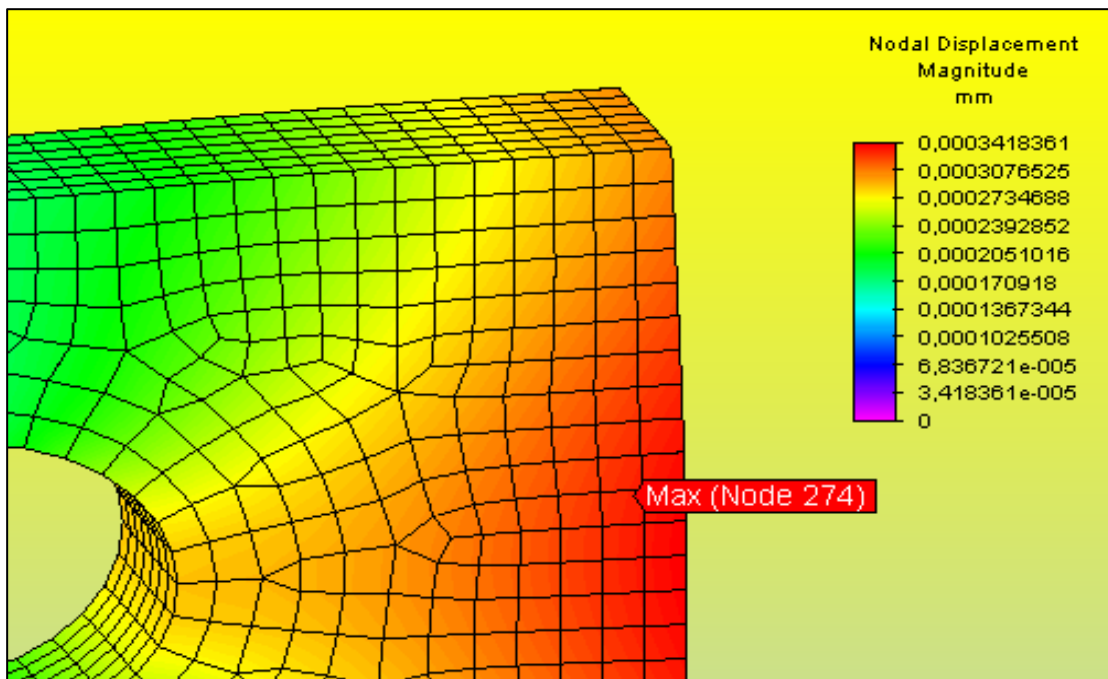
Σχήμα 6.27

Στα σχήματα 6.26 και 6.27 παριστάνεται η παραμόρφωση του μοντέλου.

## Γ4) ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ( Displacement)



Σχήμα 6.28



Σχήμα 6.29

Στα σχήματα 6.28 και 6.29 παριστάνονται οι μετατοπίσεις του μοντέλου.

Στο σχήμα 6.27 μπορούμε να καθορίσουμε εάν θα εμφανισθεί το παραμορφωμένο μοντέλο είτε σε απόλυτες τιμές (η παραμόρφωση ) είτε σε ποσοστό του απαραμόρφωτου (από 0% έως 100%).

## Δ) REPORT (Αναφορά αποτελεσμάτων γερανογέφυρας)

### Δ1 ) MODEL INFORMATION (Πληροφορίες κατασκευής)

Analysis Type - Static Stress with Linear Material Models  
Units - Custom - (N, mm, s, deg C, K, V, ohm, A, J)  
Model location - C:\Documents and Settings\panos\Τα έγγραφά μου\ptixiaki\_1\assembly\Assem1

#### Πίνακας 1 : Πληροφορίες μοντέλου

Στον πίνακα 1 απεικονίζονται πληροφορίες σχετικά με την κατασκευή την οποία θέλουμε να αναλύσουμε. Στον πίνακα δείχνεται ο τύπος ανάλυσης που επιλέχθηκε καθώς επίσης το σύστημα μονάδων που χρησιμοποιήθηκε και επιπλέον σε ποιο φάκελο έγινε η αποθήκευση όλης αυτής της μελέτης.

### Δ2 ) PART NFORMATION (Πληροφορίες κομματιών)

Part ID	Part Name	Element Type	Material Name
<a href="#">1</a>	PARTITION 3-2	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">2</a>	PARTITION 3-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">3</a>	PARTITION 2-2	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">4</a>	PARTITION 2-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">5</a>	PARTITION 1-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">6</a>	PARTITION 4-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">7</a>	PARTITION 11-2	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">8</a>	PARTITION 11-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">9</a>	PARTITION 10-2	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">10</a>	PARTITION 10-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">11</a>	PARTITION 9-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">12</a>	PARTITION 12-2	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">13</a>	PARTITION 13-2	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">14</a>	PARTITION 13-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">15</a>	PARTITION 12-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">16</a>	PARTITION 11-2	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">17</a>	PARTITION 11-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">18</a>	PARTITION 10-2	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">19</a>	PARTITION 10-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">20</a>	PARTITION 9-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">21</a>	PARTITION 12-2	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">22</a>	PARTITION 13-2	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">23</a>	PARTITION 13-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">24</a>	PARTITION 12-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">25</a>	PARTITION 7-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>

<a href="#">26</a>	PARTITION 6-2	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">27</a>	PARTITION 6-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">28</a>	PARTITION 5-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">29</a>	PARTITION 8-2	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">30</a>	PARTITION 8-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">31</a>	PARTITION 7-2	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">32</a>	PARTITION 3-2	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">33</a>	PARTITION 3-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">34</a>	PARTITION 2-2	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">35</a>	PARTITION 2-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">36</a>	PARTITION 1-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">37</a>	PARTITION 4-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">38</a>	PARTITION 17-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">39</a>	PARTITION 16-2	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">40</a>	PARTITION 16-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">41</a>	PARTITION 15-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">42</a>	PARTITION 14-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">43</a>	PARTITION 20-2	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">44</a>	PARTITION 20-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">45</a>	PARTITION 19-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">46</a>	PARTITION 18-2	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">47</a>	PARTITION 18-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">48</a>	PARTITION 17-2	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">49</a>	PARTITION 22-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">50</a>	PARTITION 21-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">51</a>	PARTITION 17-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">52</a>	PARTITION 16-2	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">53</a>	PARTITION 16-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">54</a>	PARTITION 15-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">55</a>	PARTITION 14-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">56</a>	PARTITION 20-2	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">57</a>	PARTITION 20-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">58</a>	PARTITION 19-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">59</a>	PARTITION 18-2	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">60</a>	PARTITION 18-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">61</a>	PARTITION 17-2	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">62</a>	PARTITION 22-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">63</a>	PARTITION 21-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">64</a>	PARTITION 17-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">65</a>	PARTITION 16-2	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">66</a>	PARTITION 16-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">67</a>	PARTITION 15-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">68</a>	PARTITION 14-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">69</a>	PARTITION 20-2	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">70</a>	PARTITION 20-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">71</a>	PARTITION 19-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">72</a>	PARTITION 18-2	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">73</a>	PARTITION 18-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>

<a href="#">74</a>	PARTITION 17-2	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">75</a>	PARTITION 22-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">76</a>	PARTITION 21-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">77</a>	PARTITION 17-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">78</a>	PARTITION 16-2	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">79</a>	PARTITION 16-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">80</a>	PARTITION 15-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">81</a>	PARTITION 14-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">82</a>	PARTITION 20-2	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">83</a>	PARTITION 20-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">84</a>	PARTITION 19-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">85</a>	PARTITION 18-2	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">86</a>	PARTITION 18-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">87</a>	PARTITION 17-2	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">88</a>	PARTITION 22-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>
<a href="#">89</a>	PARTITION 21-1	Brick	<a href="#">Steel (ASTM - A36)</a>

## Πίνακας 2 : Πληροφορίες κομματιών

Στον πίνακα 2 απεικονίζεται ο τύπος του στοιχείου που χρησιμοποιήθηκε για κάθε κομμάτι της κατασκευής καθώς και το υλικό του, όπου επιλέχθηκε χάλυβας ASTM – A36.

## Δ3 ) MATERIAL INFORMATION (Πληροφορίες υλικού)

### Χάλυβας (ASTM - A36) - Brick

Material Model	Standard
Material Source	Algor Material Library
Material Source File	C:\Program Files\ALGOR\MatLibs\algor.mat.mlb
Date Last Updated	2004/09/30-16:00:00
Material Description	Structural Steel
Mass Density	0.0000000078548 N*s <sup>2</sup> /mm/mm <sup>3</sup>
Modulus of Elasticity	199950 N/mm <sup>2</sup>
Poisson's Ratio	0.29
Shear Modulus of Elasticity	77221 N/mm <sup>2</sup>
Thermal Coefficient of Expansion	0.0000117 1/°C

### Πίνακας 3 : Πληροφορίες υλικού

Στον πίνακα 3 απεικονίζονται τα στοιχεία του υλικού που επιλέχθηκε για την κατασκευή. Έχουμε την δυνατότητα να διακρίνουμε από ποια βιβλιοθήκη υλικών του προγράμματος επιλέχθηκε το υλικό που χρησιμοποιήσαμε, την πηγή από την οποία επιλέξαμε το υλικό, την περιγραφή του υλικού και τα τεχνικά

χαρακτηριστικά του, όπως την mass density, το μέτρο ελαστικότητας, τον λόγο Poisson, το μέτρο διάτμησης, τον θερμικό συντελεστή διαστολής.

## **Δ4 ) LOAD AND CONSTRAINT INFORMATION ( Φορτία και οριακές συνθήκες της κατασκευής)**

### **A. LOAD (Φορτία)**

<b>ID</b>	<b>Description</b>	<b>Node ID</b>	<b>Magnitude</b>	<b>Vx</b>	<b>Vy</b>	<b>Vz</b>	<b>Load Case</b>	<b>Coordinate System ID</b>
1	Unnamed	27154	354,12	0	-1	0	1	0
2	Unnamed	27155	354,12	0	-1	0	1	0
3	Unnamed	27156	354,12	0	-1	0	1	0
4	Unnamed	27169	354,12	0	-1	0	1	0
5	Unnamed	27170	354,12	0	-1	0	1	0
6	Unnamed	27171	354,12	0	-1	0	1	0
7	Unnamed	27324	354,12	0	-1	0	1	0
8	Unnamed	27325	354,12	0	-1	0	1	0
9	Unnamed	27326	354,12	0	-1	0	1	0
10	Unnamed	27339	354,12	0	-1	0	1	0
11	Unnamed	27340	354,12	0	-1	0	1	0
12	Unnamed	27341	354,12	0	-1	0	1	0
13	Unnamed	29578	354,12	0	-1	0	1	0
14	Unnamed	29579	354,12	0	-1	0	1	0
15	Unnamed	29580	354,12	0	-1	0	1	0
16	Unnamed	29593	354,12	0	-1	0	1	0
17	Unnamed	29594	354,12	0	-1	0	1	0
18	Unnamed	29595	354,12	0	-1	0	1	0
19	Unnamed	26674	354,12	0	-1	0	1	0
20	Unnamed	26675	354,12	0	-1	0	1	0
21	Unnamed	26676	354,12	0	-1	0	1	0



22	Unnamed	26689	354,12	0	-1	0	1	0
23	Unnamed	26690	354,12	0	-1	0	1	0
24	Unnamed	26691	354,12	0	-1	0	1	0
25	Unnamed	26844	354,12	0	-1	0	1	0
26	Unnamed	26845	354,12	0	-1	0	1	0
27	Unnamed	26846	354,12	0	-1	0	1	0
28	Unnamed	26859	354,12	0	-1	0	1	0
29	Unnamed	26860	354,12	0	-1	0	1	0
30	Unnamed	26861	354,12	0	-1	0	1	0
31	Unnamed	28938	354,12	0	-1	0	1	0
32	Unnamed	28939	354,12	0	-1	0	1	0
33	Unnamed	28940	354,12	0	-1	0	1	0
34	Unnamed	28953	354,12	0	-1	0	1	0
35	Unnamed	28954	354,12	0	-1	0	1	0
36	Unnamed	28955	354,12	0	-1	0	1	0

#### Πίνακας 4 : Φορτία

Στο πίνακα 4 απεικονίζονται τα μεγέθη των φορτίων που καταπονούν κόμβους τους οποίους έχουμε επιλέξει εμείς καθώς και την διεύθυνση των φορτίσεων δηλαδή έναν από τους άξονες  $x, y, z$ . Για να γίνει εύκολα κατανοητό θα πάρουμε ως παράδειγμα το Νο1.

ID	Description	Node ID	Magnitude	Vx	Vy	Vz	Load Case	Coordinate System ID
1	Unnamed	27154	354,12	0	-1	0	1	0

Το παράδειγμα αυτό μας δείχνει πως στο κόμβο Νο27154 ασκήθηκε μια δύναμη 354,12 N και η διεύθυνση της δύναμης είναι στον άξονα  $y$ .

## B. CONSTRAINT (Οριακές συνθήκες)

ID	Description	Part ID	Surface ID	Tx	Ty	Tz	Rx	Ry	Rz
1	Unnamed	55	2	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
2	Unnamed	68	5	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
3	Unnamed	81	3	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
4	Unnamed	42	3	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
5	Unnamed	27	7	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
6	Unnamed	26	1	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

**Πίνακας 5 :** Οριακές συνθήκες

Στον πίνακα 5 απεικονίζονται οι οριακές συνθήκες της κατασκευής. Μας δείχνει ποια κομμάτια και ποιες επιφάνειες έχουν έδραση και τι είδους καθώς και σε ποια διεύθυνση.

## Δ5 ) MESHING RESULTS ( Αποτελέσματα της διακριτοποίησης)

Εξαιτίας των πολλών κομματιών που απαρτίζουν την κατασκευή θα δείξουμε ενδεικτικά την ανάλυση από μόνον ένα κομμάτι από όλη την κατασκευή.

Mesh type	Mix of bricks, wedges, pyramids and tetrahedra
Watertight	Yes
Mesh has microholes	Yes
Total nodes	254
Volume	137800 mm <sup>3</sup>
Total elements	197

**Πίνακας 6**

	Tetrahedra	Pyramids	Wedges	Bricks
Elements	93	34	8	62
Volume %	9400	77600	38500	789800
Max. length ratio	461	374	45	5
Avg. length ratio	114	71	42	42
Avg. aspect ratio	15	15	12	11
Unconstrained aspect ratio	33	29	13	12

**Πίνακας 7**

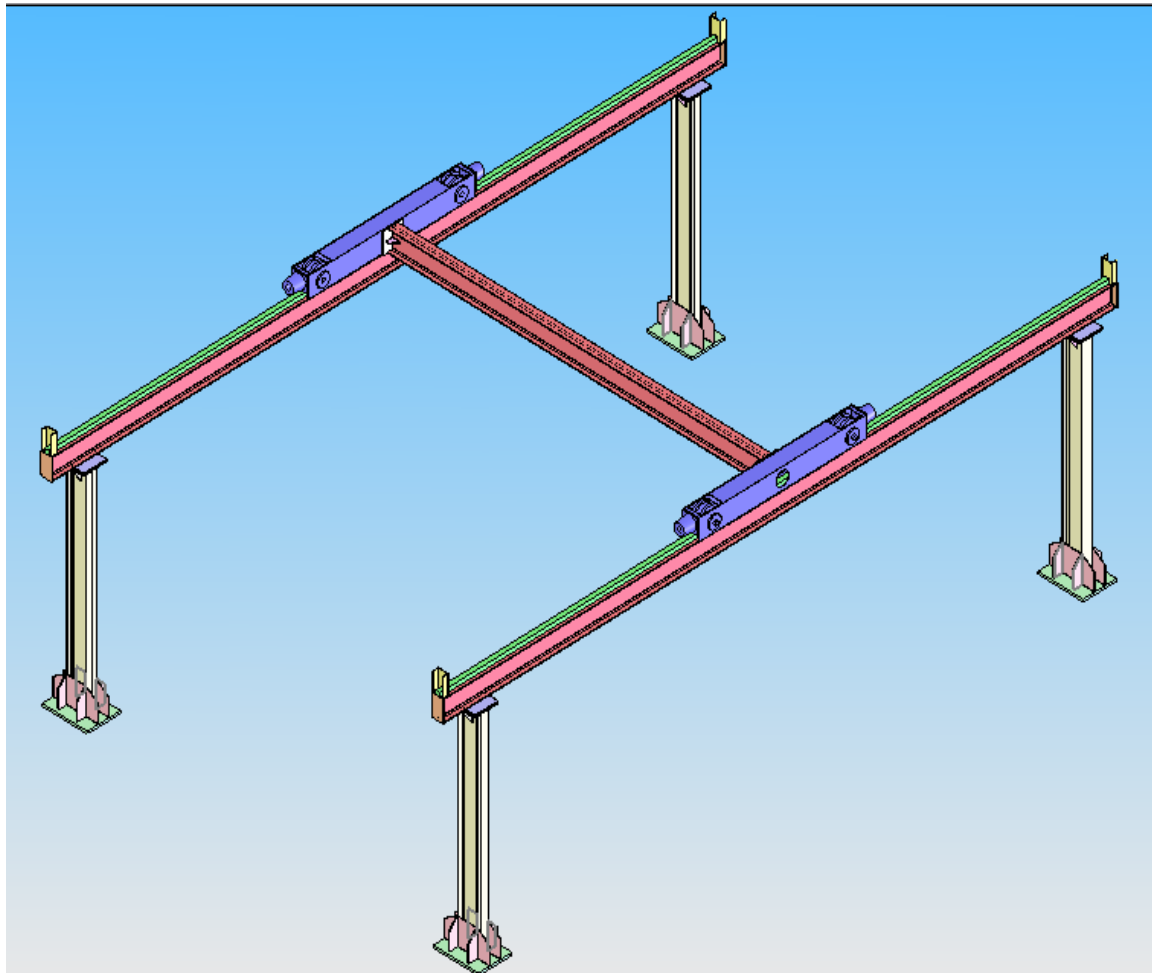
Στους πίνακες 6 και 7 απεικονίζονται διάφορα στοιχεία που έχουν να κάνουν με την ανάλυση του κάθε κομματιού. Το κομμάτι 1 της κατασκευής μετά την ανάλυση διαχωρίστηκε σε στοιχεία, των οποίων ο αριθμός φαίνεται στον πίνακα 6. Επιπλέον δείχνεται και ο αριθμός των κόμβων που έχουν δημιουργηθεί. Στον πίνακα 7 φαίνεται ο τύπος των στοιχείων (κύβοι, τετράεδρα, πυραμίδες) καθώς και ο ακριβής αριθμός του κάθε τύπου στοιχείων.

## 7. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ: ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ ΤΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ

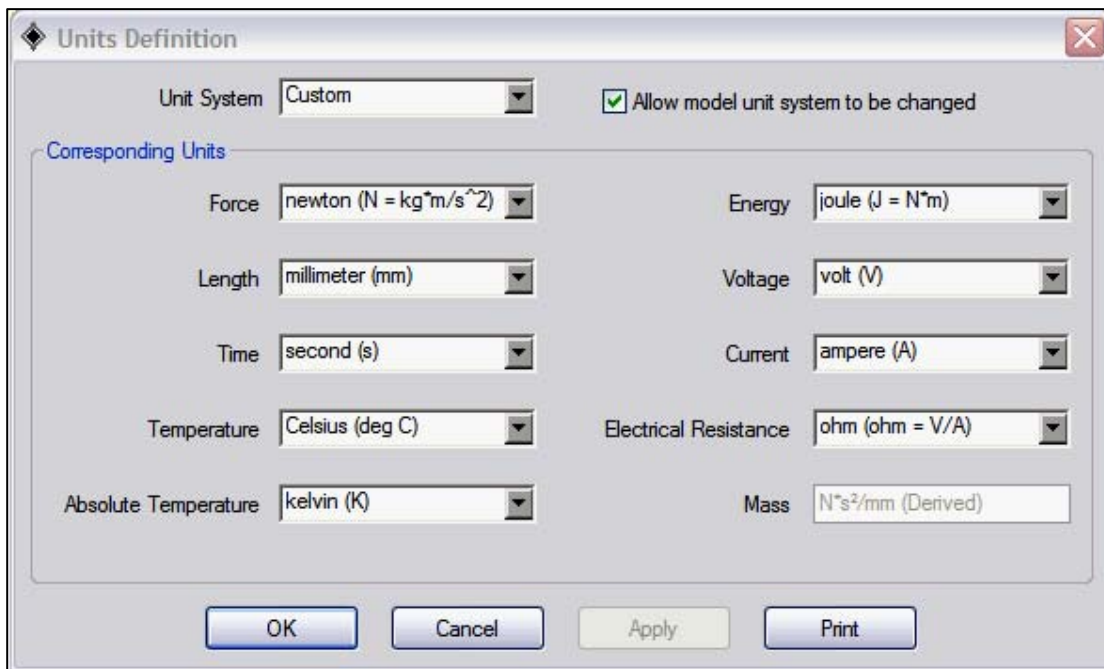
Αφού έγινε η ανάλυση της λειτουργίας του προγράμματος θα επιδειχθεί μια συγκεκριμένη εφαρμογή ως παράδειγμα. Σαν τέτοιο επιλέχθηκε η γερανογέφυρα του εργαστηρίου, στην οποία θα γίνει στατική ανάλυση ως προς τις τάσεις, τις παραμορφώσεις και τις μετατοπίσεις. Στο παράδειγμα που ακολουθεί θα γίνει μια απλή αναφορά στην εφαρμογή χωρίς να γίνει αναλυτική περιγραφή των βημάτων που ακολουθούμε, όπως αυτή έγινε στα προηγούμενα κεφάλαια.

Η γερανογέφυρα που χρησιμοποιήθηκε ως παράδειγμα έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά και την μορφή που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

Ωφέλιμο φορτίο 500kp, άνοιγμα τροχών 3,5m ,ταχύτητα φορείου 5m/min, ταχύτητα γέφυρας 10m/min,

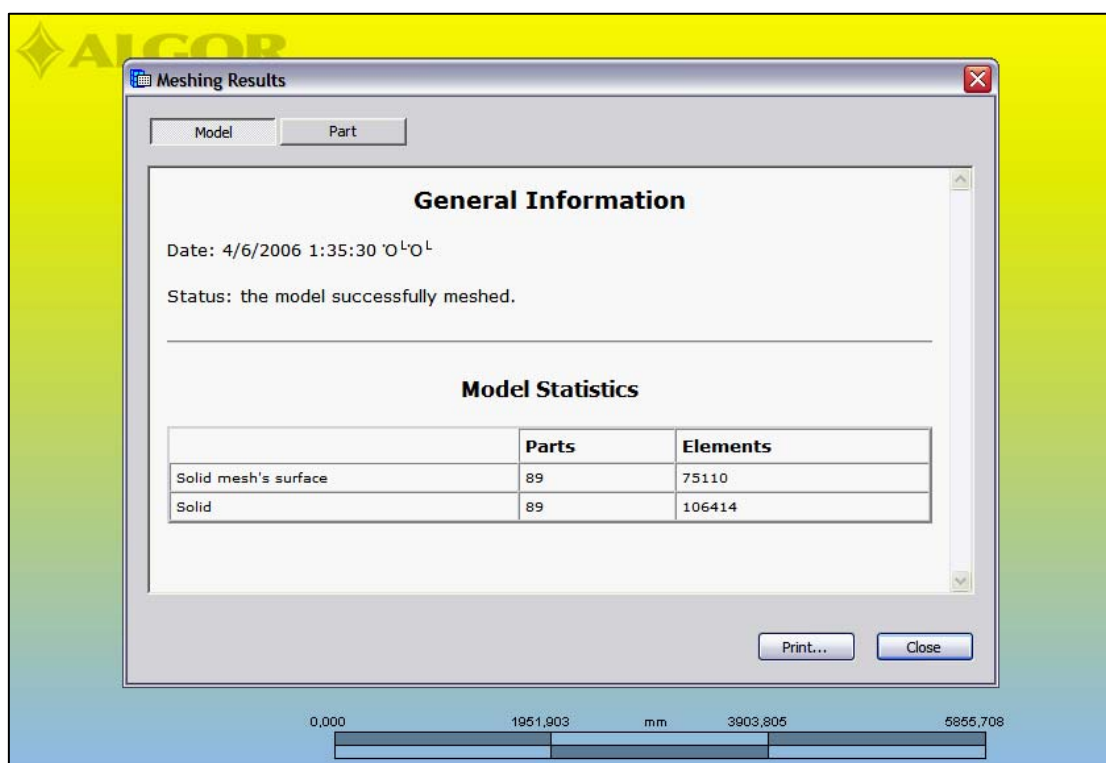


Σχήμα 7.1: Γερανογέφυρα

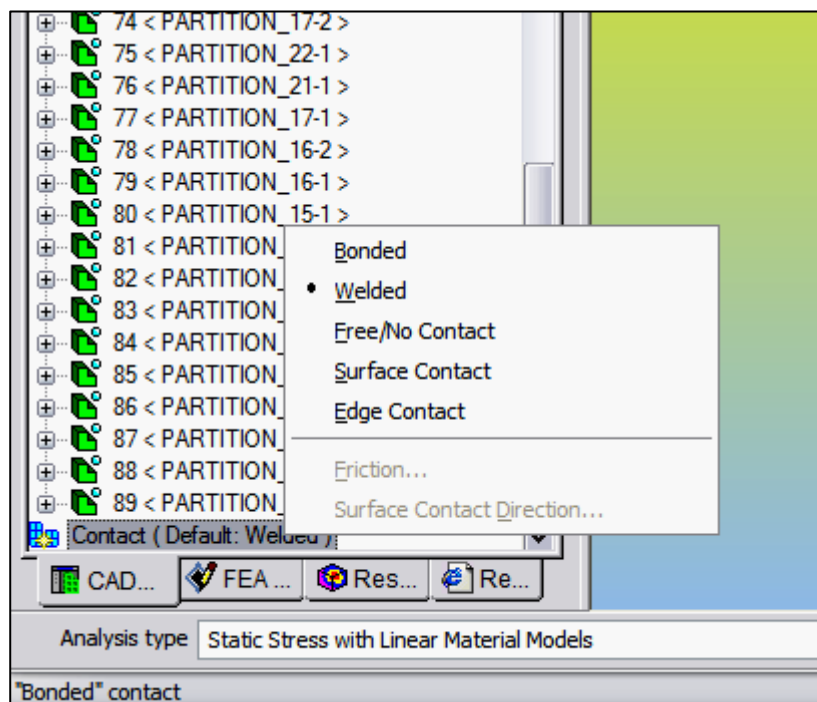


**Σχήμα 7.2:** Καθορισμός των μονάδων

Στο παραπάνω σχήμα 7.2 βλέπουμε με βάση ποιες μονάδες γίνεται η ανάλυση της κατασκευής. Τα αποτελέσματα θα έχουν τις συγκεκριμένες μονάδες. Στην παρακάτω εικόνα (σχήμα 7.3) θα δούμε τον αριθμό των στοιχείων από τον οποίο αποτελείται η κατασκευή.



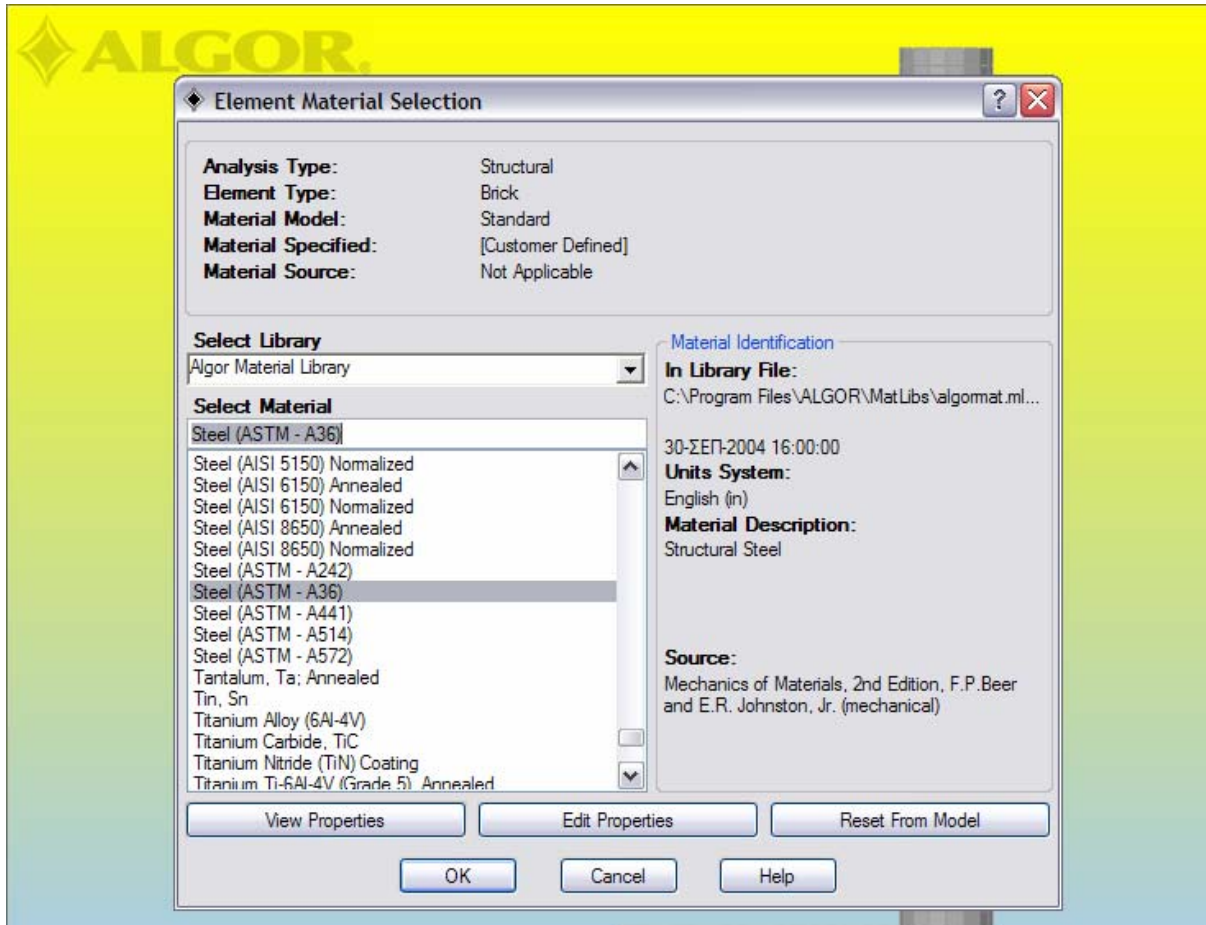
**Σχήμα 7.3:** Αποτελέσματα από την διακριτοποίηση (mesh) της γερανογέφυρας



**Σχήμα 7.4:** Καθορισμός των οριακών συνθηκών στήριξης-έδρασης των τεμαχίων της κατασκευής.

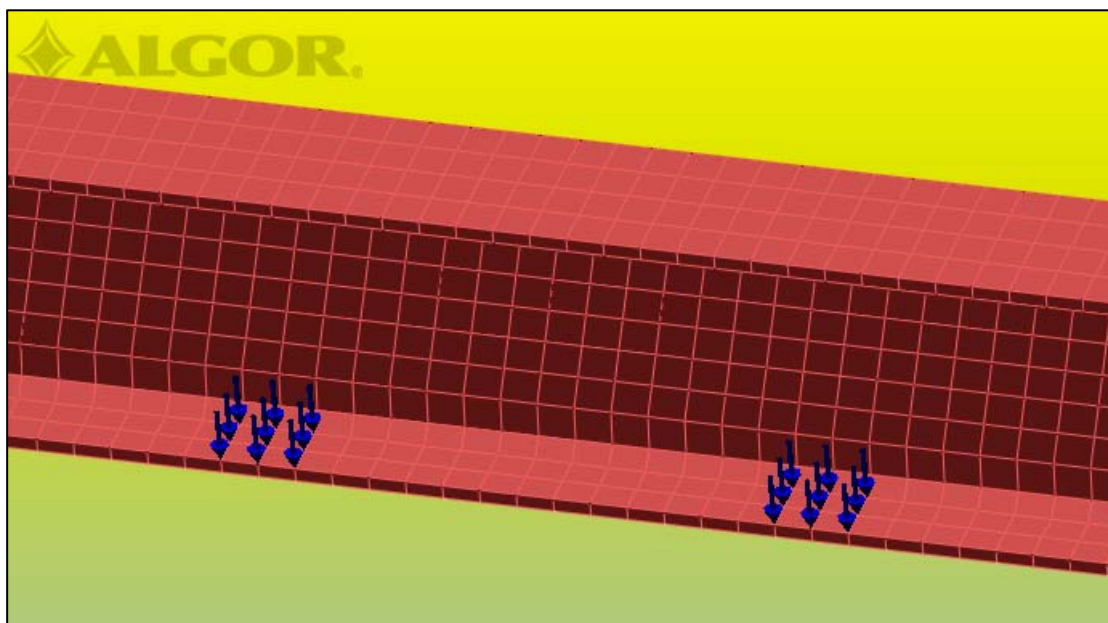
Η κατασκευή αποτελείται από πολλά εξαρτήματα όλα από st36 οπότε διαλέγουμε για όλα το υλικό **Steel (ASTM – A36)**, όπως φαίνεται στο σχήμα 7.5.

Στο σχήμα 7.4 έχει προηγηθεί η επιλογή των οριακών συνθηκών έδρασης-στήριξης των τεμαχίων μεταξύ τους.



Σχήμα 7.5

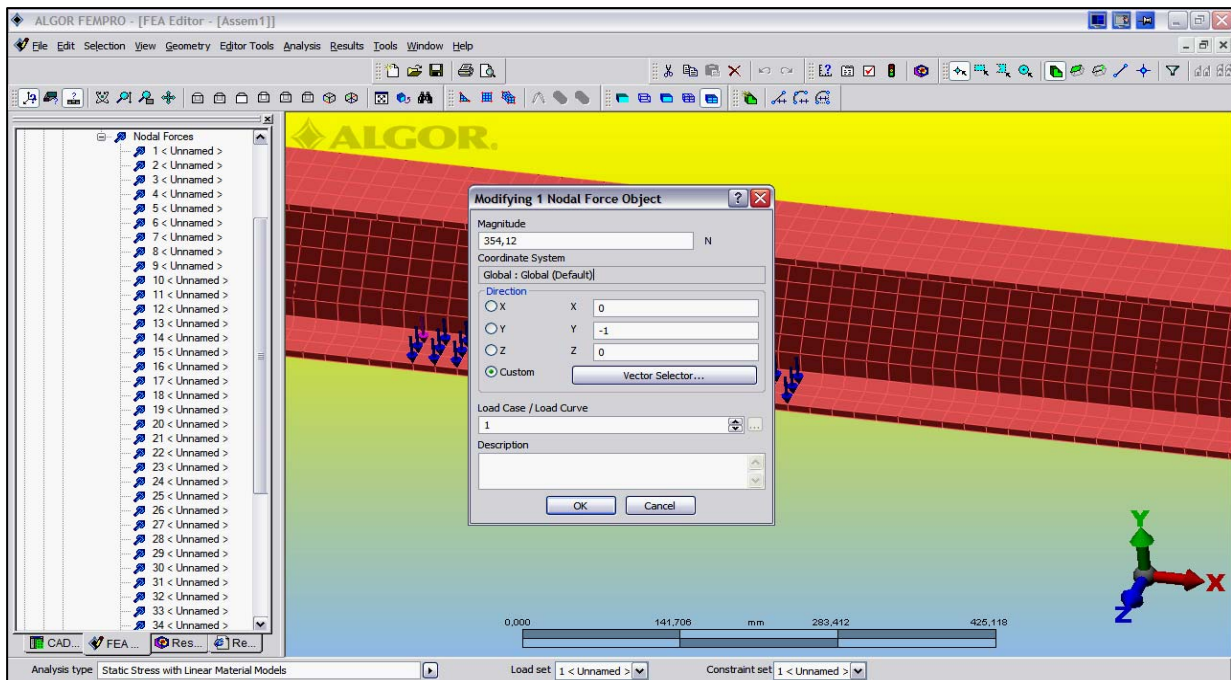
Οι δυνάμεις που εφαρμόζονται πάνω στην δοκό της γερανογέφυρας είναι τα φορτία των τροχών του φορείου. Τα φορτία αυτά δεν είναι σημειακά αλλά κατανέμονται σε όλη την επιφάνεια επαφής του τροχού με την δοκό. Έτσι τα φορτία εφαρμόζονται σε μια ομάδα κόμβων.



Σχήμα 7.6: Τα φορτία των τροχών

Όπως φαίνεται στο σχήμα 7.6 σε κάθε επαφή του τροχού με την δοκο αντιστοιχούν 9 κόμβοι, άρα το συνολικό φορτίο ισομοιράζεται σε 9 δυνάμεις. Η δύναμη που καταπονεί την δοκό είναι **1300 Kgr**. Επομένως άμα διαιρέσουμε δια του 4 που είναι οι τροχοί θα δούμε πως αντιστοιχεί σε κάθε τροχό μια δύναμη **325 Kgr**. Έτσι τα 325kp κάθε τροχού ισομοιράζονται σε εννέα φορτία από  $\frac{325}{9}kp$  το καθένα.





**Σχήμα 7.7:** Προσδιορισμός των φορτίσεων

Όπως βλέπουμε στο σχήμα 7.7 τοποθετούμε **354 N** σε κάθε κόμβο. Πιο συγκεκριμένα:

Έχουμε  $1300\text{Kgr}/4 = 325\text{Kgr}$  (κάθε τροχός)

Επομένως  $325\text{Kgr} \cdot 9,81 = 3187\text{N}$

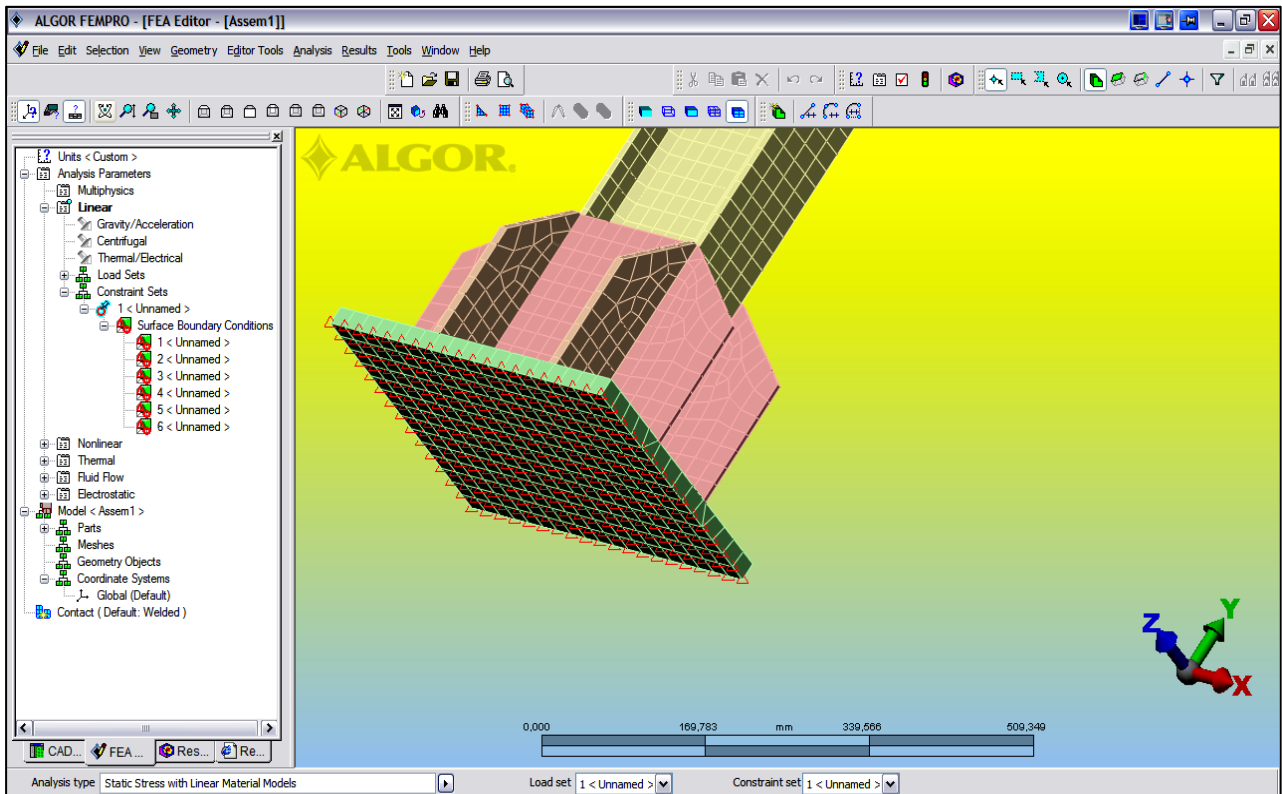
Επειδή στο τροχό αντιστοιχούν εννέα κόμβοι, άρα εννέα δυνάμεις θα έχουμε :

$3187\text{N}/9 = 354\text{N}$

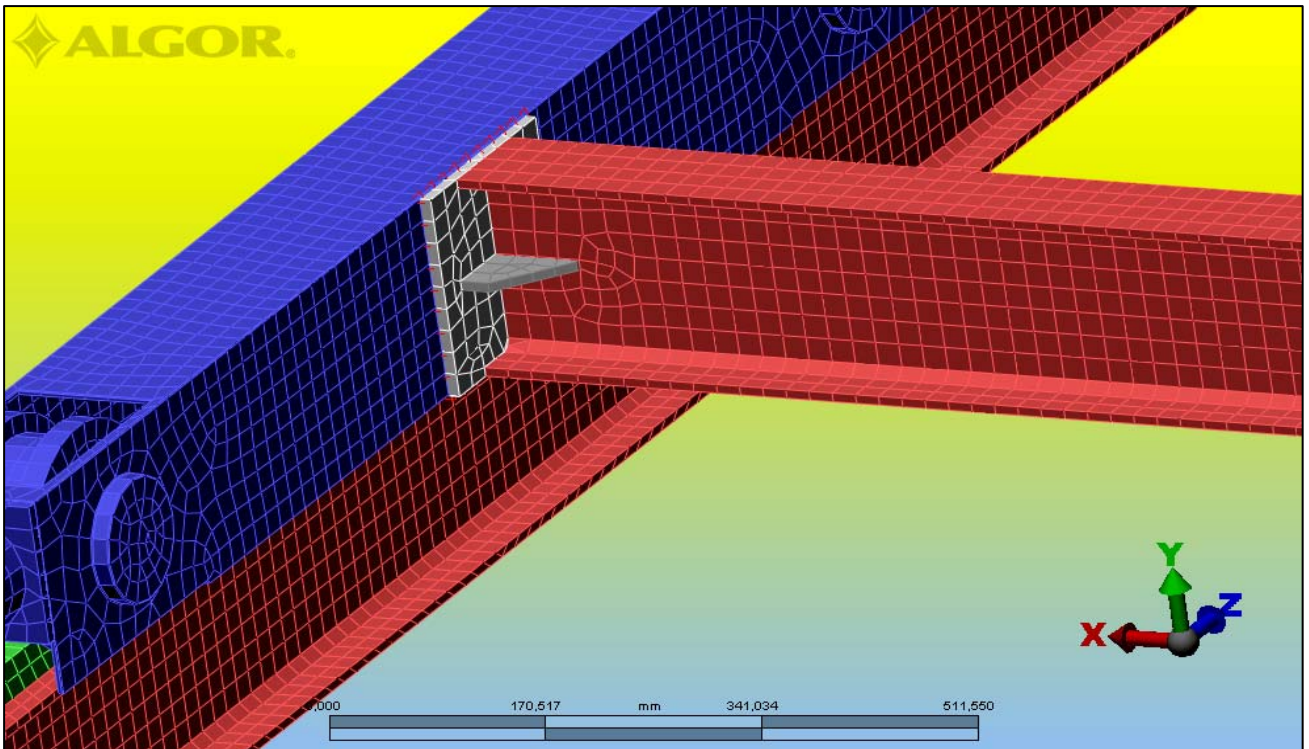
Επομένως κάθε δύναμη θα είναι ίση με 354 N και θα εφαρμόζεται σε καθένα από τους εννέα κόμβους με τους οποίους ο κάθε τροχός έρχεται σε επαφή με την δοκό.

**Σημείωση:** Οι ίδιες φορτίσεις θα τοποθετηθούν και στην άλλη πλευρά της δοκού για τους άλλους δυο τροχούς. Οι δυνάμεις στις δύο πλευρές της δοκού θα πρέπει να βρίσκονται στην ίδια ευθεία.

Σαν σημεία στήριξης ορίζονται οι βάσεις (πόδια) της γερανογέφυρας καθώς και οι βάσεις της δοκού που στηρίζεται με τους φορείς. Θα ορίσουμε πάκτωση, δηλαδή όλοι οι βαθμοί ελευθερίας θα είναι `εγκλωβισμένοι` . Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η έδραση που ορίζουμε σε μία από τις τέσσερις βάσεις. Την ίδια διαδικασία εφαρμόζουμε και για τις άλλες τρεις καθώς και για την μεσαία δοκό.



Σχήμα 7.8: Καθορισμός των σημείων στήριξης

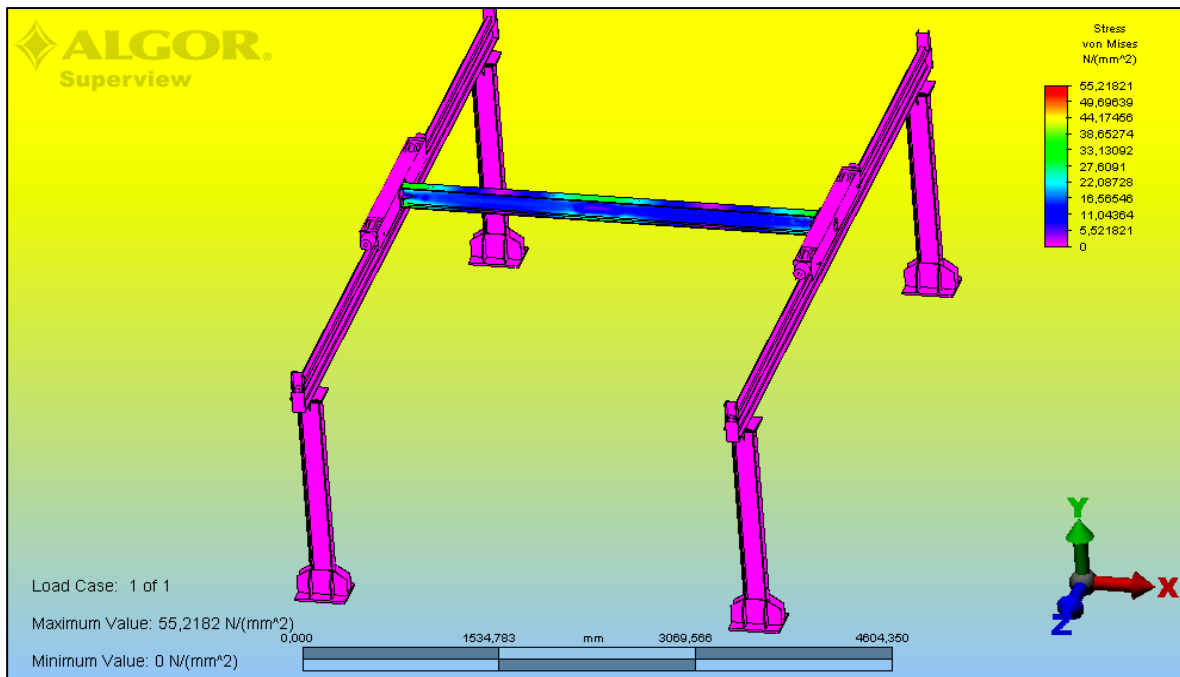


**Σχήμα 7.9:** Πάκτωση της κύριας δοκού στον πλευρικό φορέα.

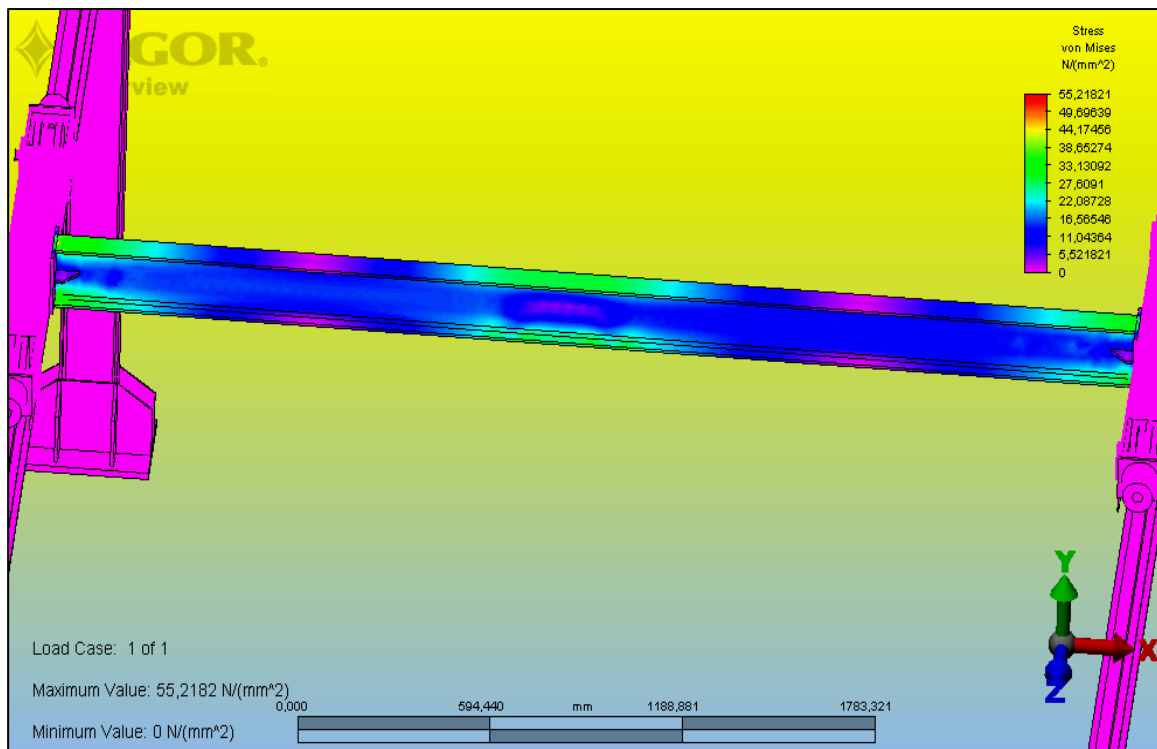
Στο παραπάνω σχήμα 7.9 βλέπουμε την πάκτωση μεταξύ της κεντρικής (κύριας) δοκού και του πλευρικού φορέα.

## 8. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

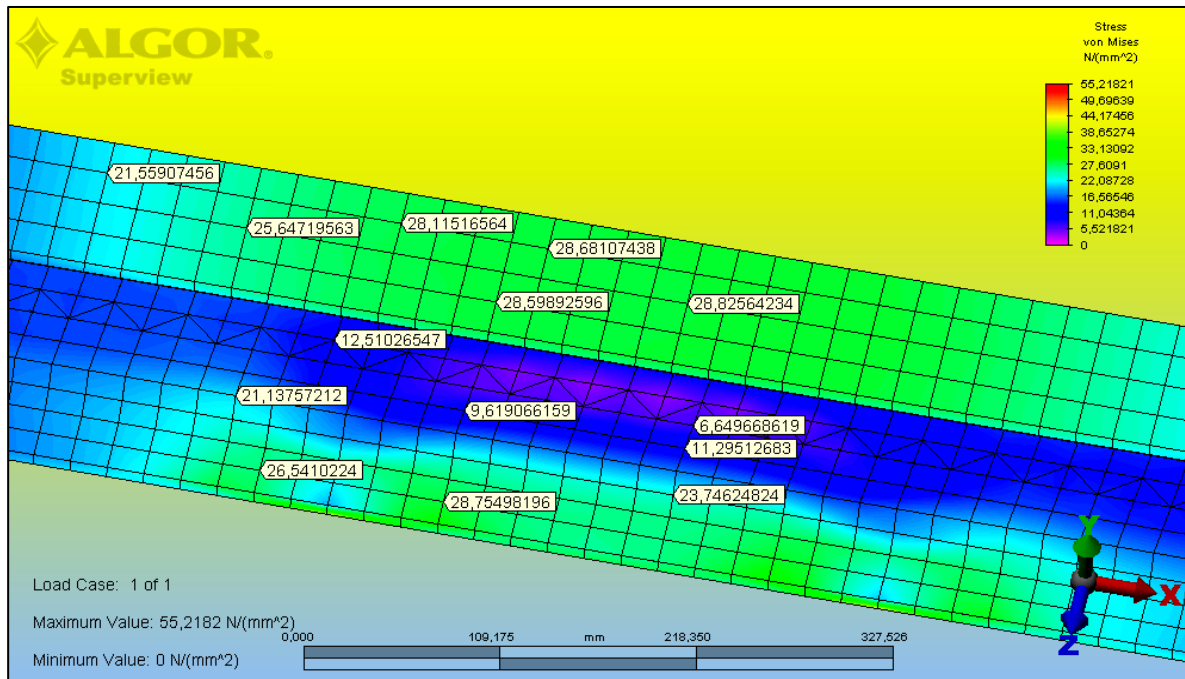
### 8.1 ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ (Stress von Mises)



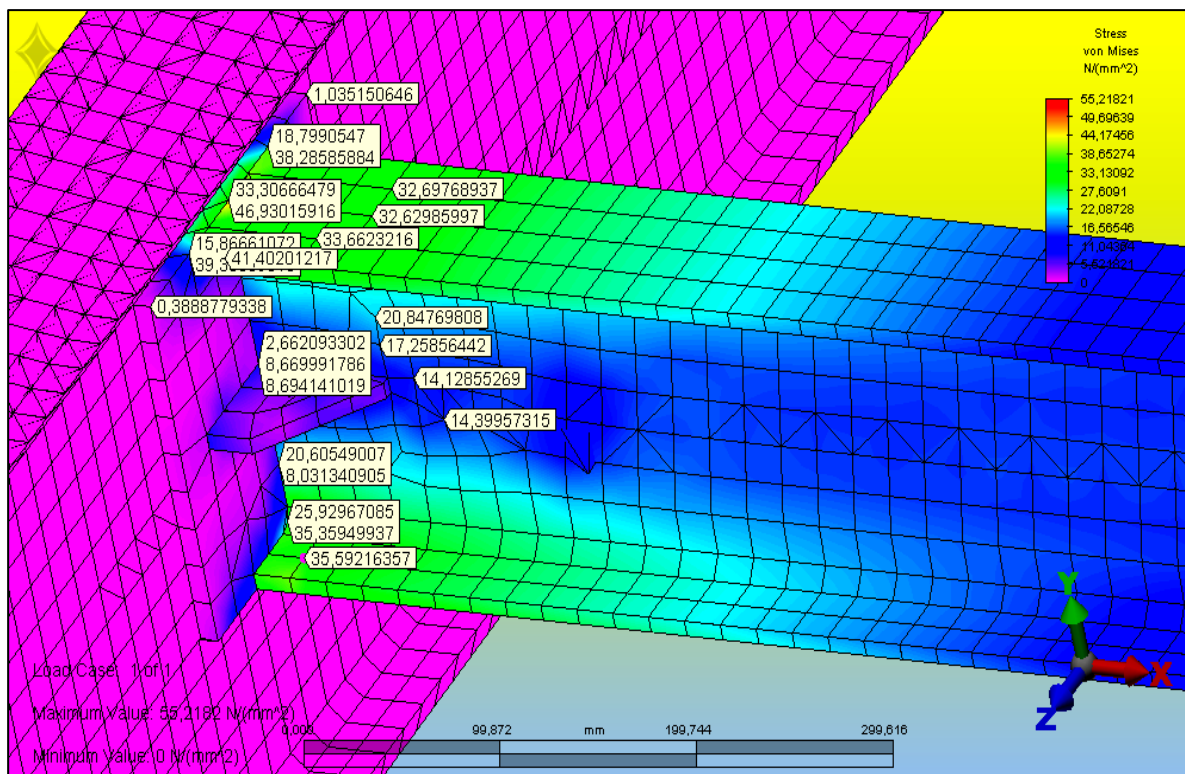
Σχήμα 8.1: Η κατανομή των τάσεων (ισοδύναμη τάση) στα δοκάρια της γερανογέφυρας.



Σχήμα 8.2: Λεπτομέρεια του σχήματος 8.1. Φόρτιση της κύριας δοκού.

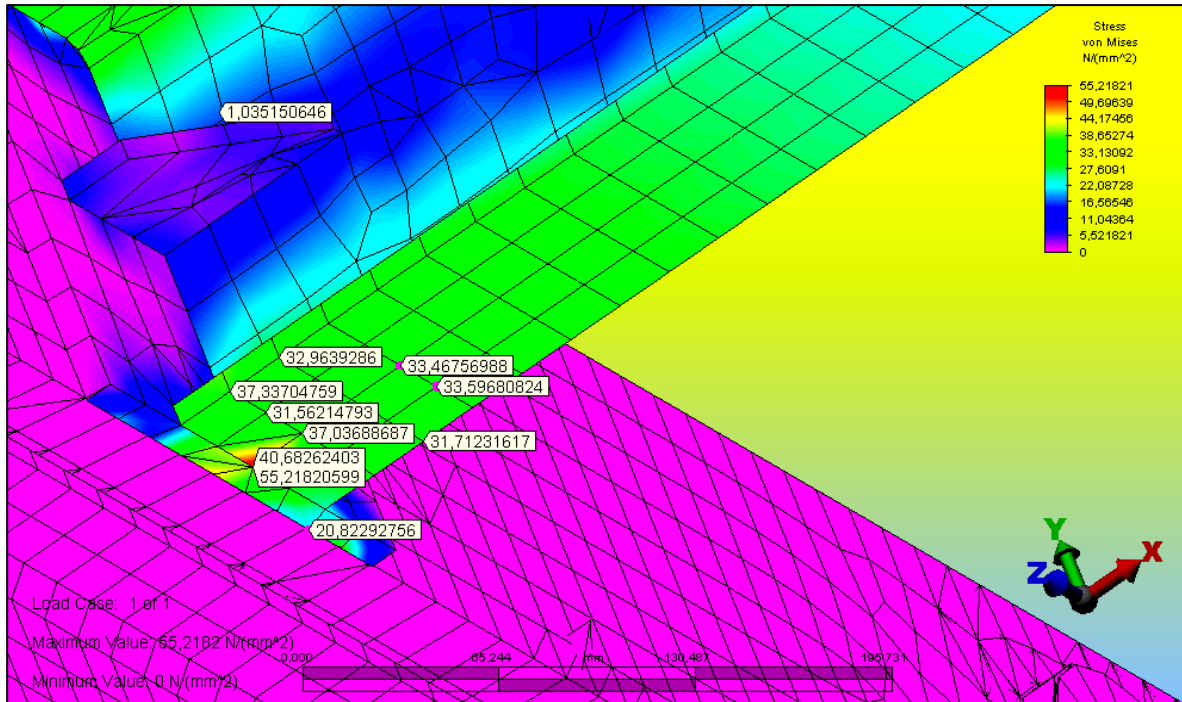


**Σχήμα 8.3:** Λεπτομέρεια του σχήματος 8.1 με αναγραφή των ισοδύναμων τάσεων στα στοιχεία της δοκού.

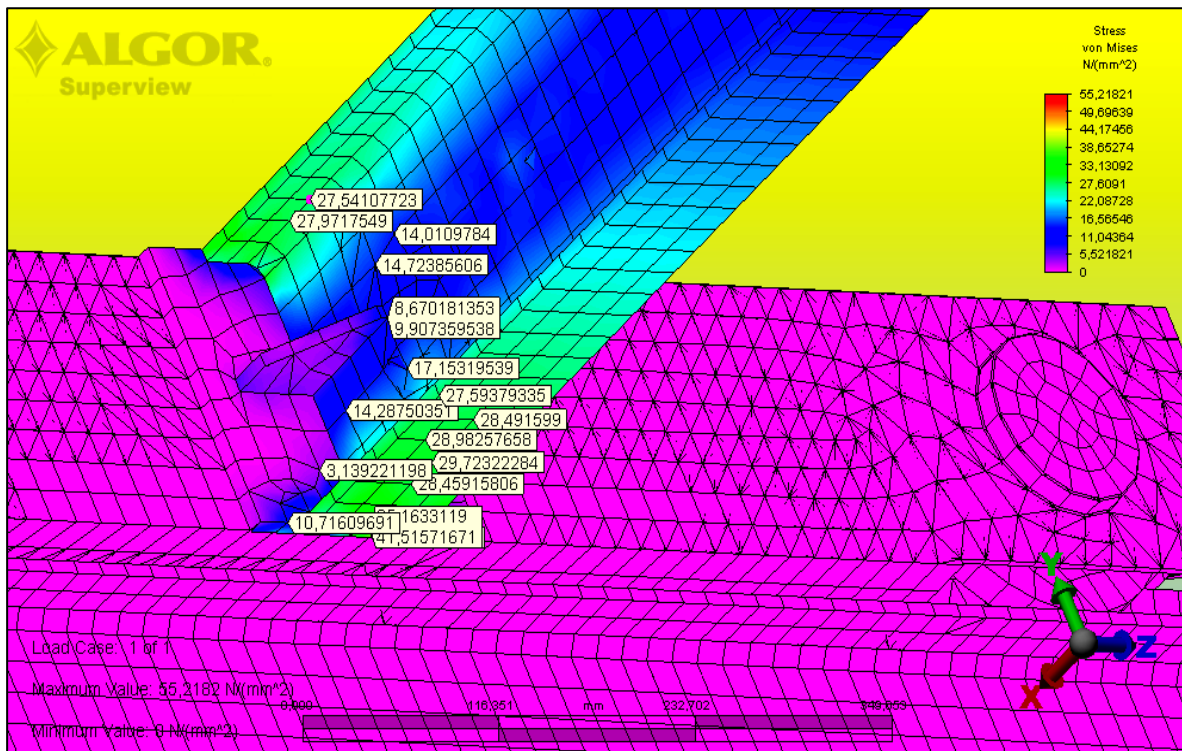


**Σχήμα 8.4:** Λεπτομέρεια του σχήματος 8.1 με αναγραφή των τάσεων στα στοιχεία σύνδεσης της κύριας με την πλευρική δοκό.





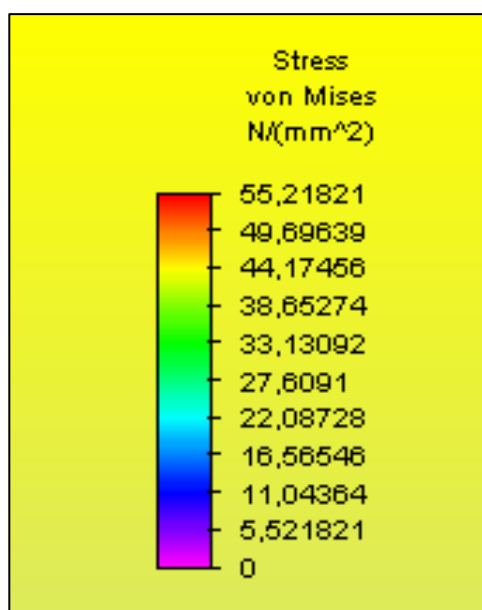
Σχήμα 8.5: Όπως σχήμα 8.4



Σχήμα 8.6: Όπως σχήμα 8.4

Στα παραπάνω σχήματα βλέπουμε την κατανομή των ισοδύναμων τάσεων στην γερανογέφυρα. Όπως βλέπουμε οι μεγάλες τάσεις εμφανίζονται στην κύρια δοκό που ουσιαστικά δέχεται το φορτίο.

Στα σχήματα 8.4 έως 8.6 βλέπουμε τις τάσεις που επικρατούν στα σημεία στήριξης της κύριας δοκού με τους πλευρικούς φορείς. Οι τιμές οι οποίες διακρίνονται στα σχήματα 8.3-8.4-8.5 είναι από διάφορους κόμβους. Θα παρατηρήσουμε ότι σε κάποιους κόμβους αναγράφονται δυο τιμές. Αυτό γίνεται γιατί εκεί υπάρχει συμβολή δυο εξαρτημάτων.



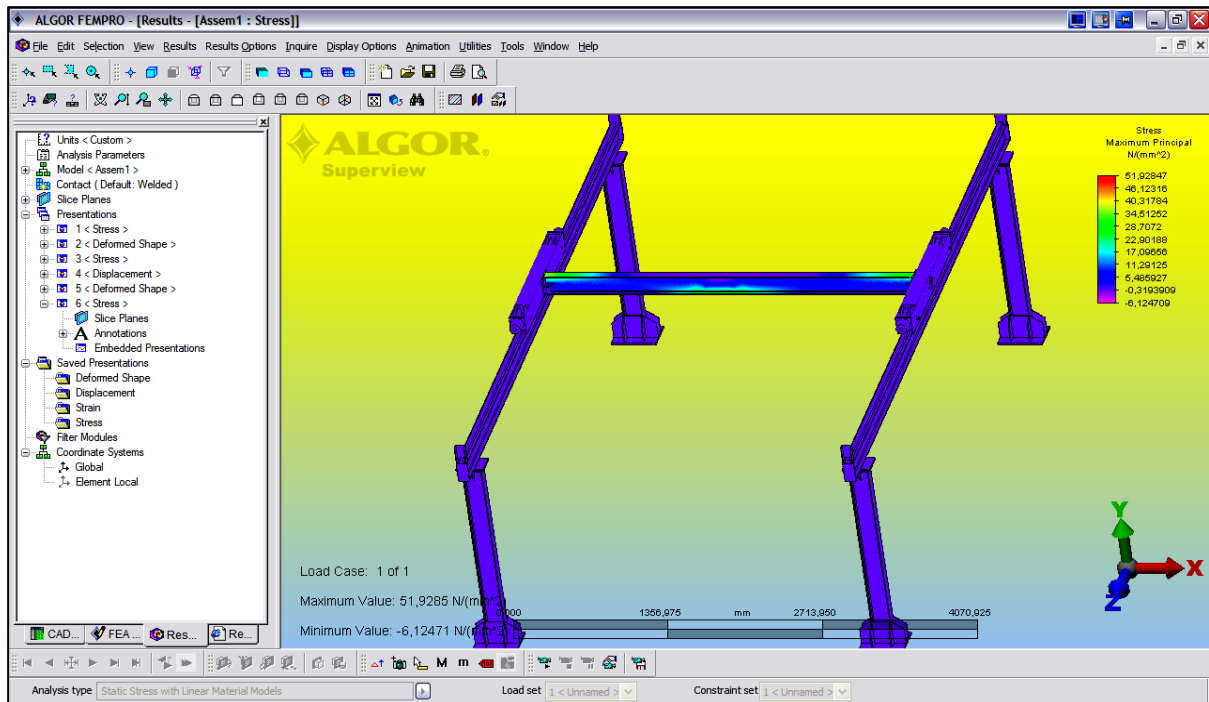
**Σχήμα 8.7:** Διακύμανση των τάσεων

Στο παραπάνω σχήμα 8.7 βλέπουμε την διακύμανση των τιμών των τάσεων από την χαμηλότερη που είναι **0  $N/(mm^2)$**  έως την μεγαλύτερη τιμή που είναι **55  $N/(mm^2)$**

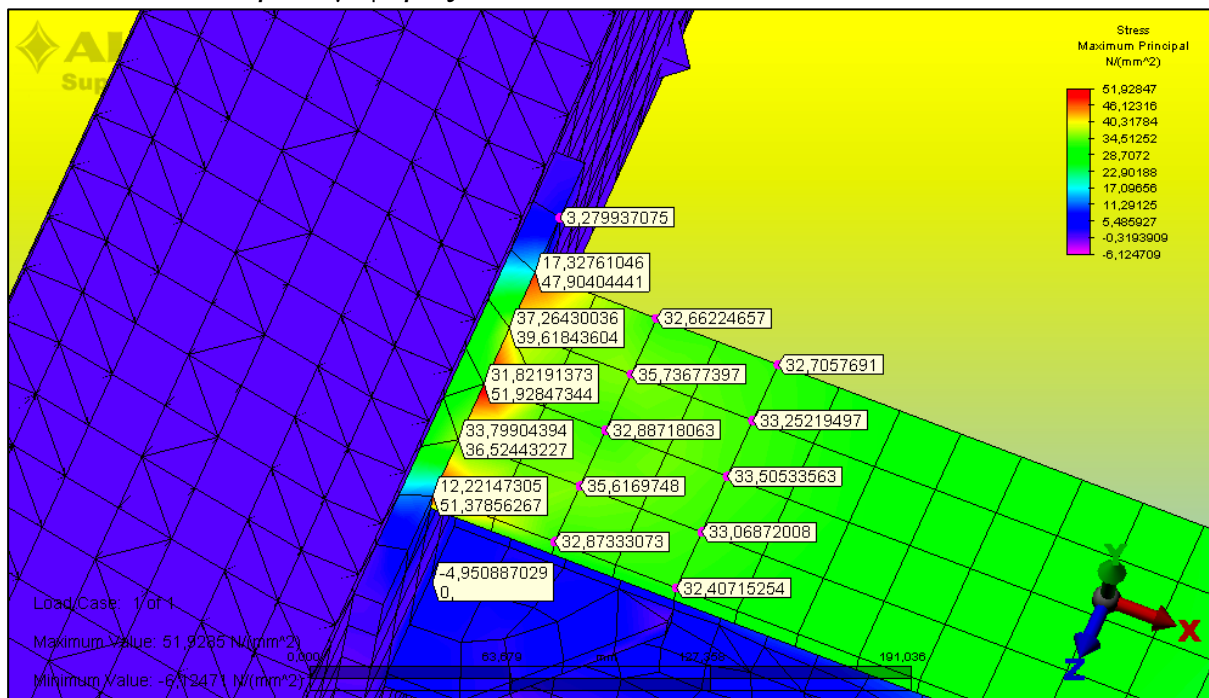
Αν παρατηρήσουμε το σχήμα 8.5 θα διακρίνουμε και τον κόμβο που έχει την υψηλότερη τάση.

## 8.2 ΜΕΓΙΣΤΗ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΤΑΣΗ

Στα σχήματα που ακολουθούν παριστάνεται η κατανομή των διατμητικών τάσεων στην γερανογέφυρα.

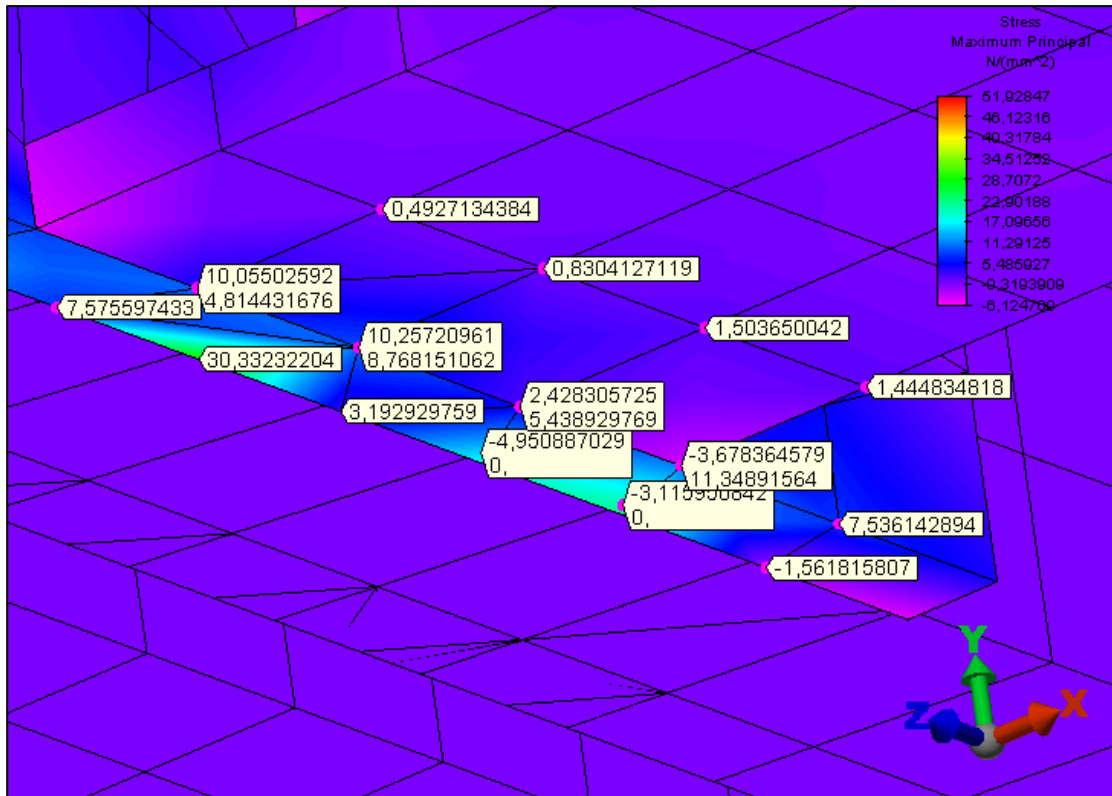


Σχήμα 8.8: Κατανομή των διατμητικών τάσεων στα δοκάρια της Γερανογέφυρας.

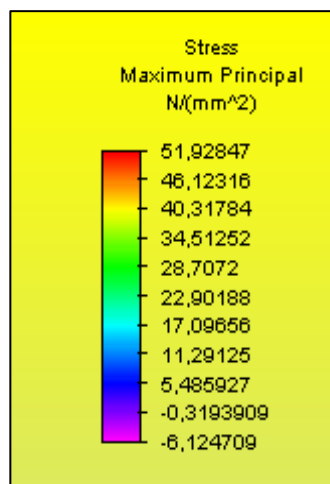


Σχήμα 8.9: Λεπτομέρεια του σχήματος 8.8 στην θέση σύνδεσης της κύριας δοκού με την πλευρική. Είναι ορατή η θέση όπου εμφανίζεται η μέγιστη τιμή της διατμητικής τάσης.





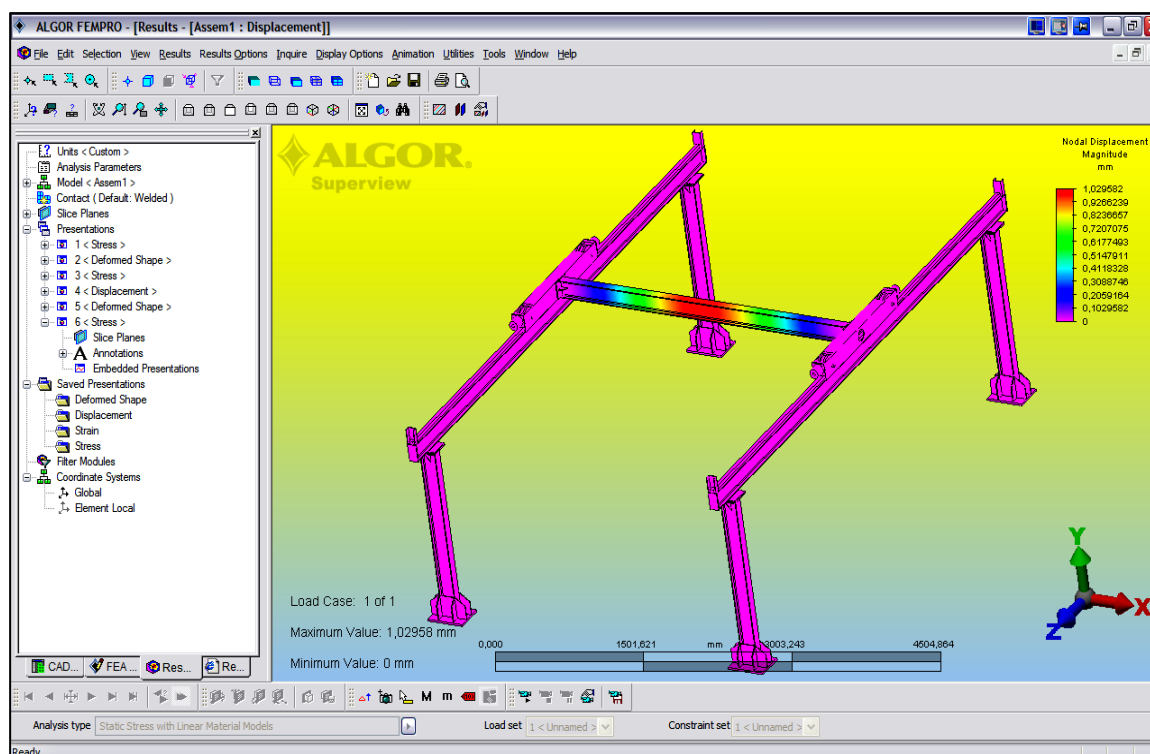
**Σχήμα 8.10:** Λεπτομέρεια του σχήματος 8.8 στην συνδεση της κύριας δοκού με τον πλευρικό φορέα



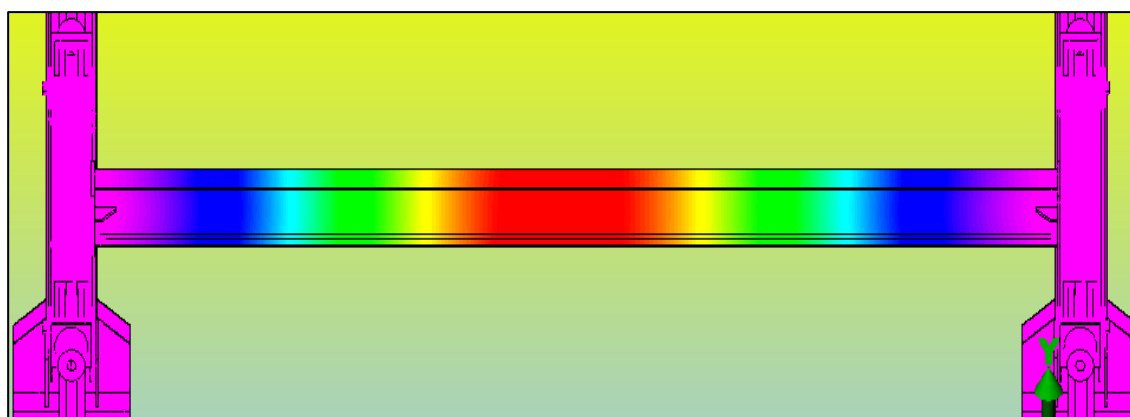
**Σχήμα 8.11:** Πεδίο διακύμανσης των διατμητικών τάσεων.

## 8.3 ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΙΣ

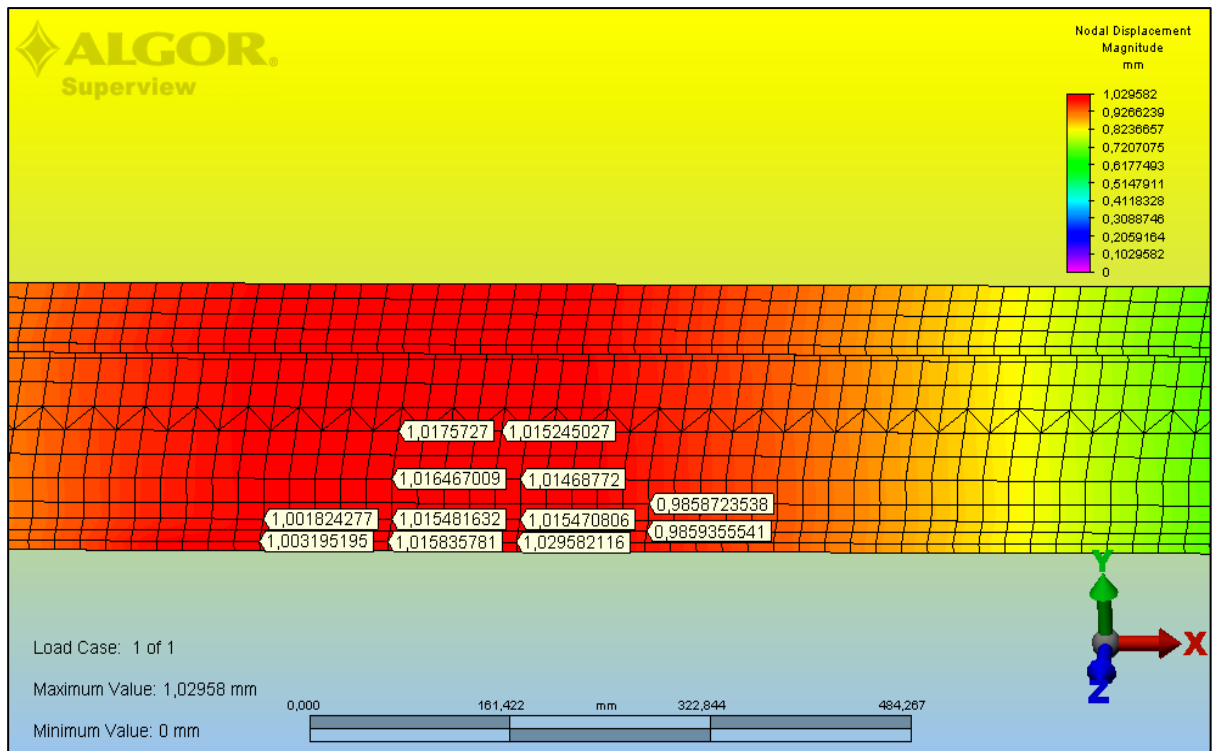
Στα παρακάτω σχήματα παριστάνονται οι μετατοπίσεις στα δοκάρια της γερανογέφυρας. Είναι ορατό, όπως ήταν και αναμενόμενο, ότι η μέγιστη τιμή εμφανίζεται περίπου στο μέσο της κύριας δοκού.



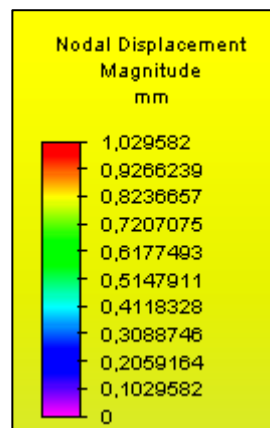
Σχήμα 8.12: Κατανομή των μετατοπίσεων στα δοκάρια της γερανογέφυρας.



Σχήμα 8.13: Λεπτομέρεια του σχήματος 8.12. Μετατοπίσεις στον κύριο φορέα (κεντρικό δοκάρι) της γερανογέφυρας.



**Σχήμα 8.14:** Λεπτομέρεια του σχήματος 8.12 στο κέντρο του κεντρικού δοκαριού. Εμφανίζεται η θέση με την μέγιστη μετατόπιση των 1,03mm.



**Σχήμα 8.15:** Πεδίο διακύμανσης των τιμών των μετατοπίσεων στα δοκάρια της γερανογέφυρας.

# ***ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ***

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ**

1.Εισαγωγή.....	1
1.1 Παραδείγματα εφαρμογών πεπερασμένων στοιχείων.....	2
1.2 Προϋπάρχουσες εντατικές καταστάσεις.....	6
1.3 Δισδιάστατα μοντέλα.....	7
1.4 Στοιχεία.....	7
1.5 Φορτία.....	7

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ**

2.1 Σχεδιασμός των εξαρτημάτων που αποτελούν την κατασκευή.....	10
2.2 Συναρμολόγηση στοιχείων.....	15

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ**

3.1 Η σημασία της ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων.....	19
3.2 Στοιχεία από την θεωρία των πεπερασμένων στοιχείων.....	21
3.3 Η έννοια του κόμβου.....	23
3.4 Έννοια του στοιχείου.....	25
3.5 Χαρακτηριστικά βήματα για την ανάλυση με πεπερασμένα στοιχεία...	26

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΣΣΕΡΑ**

4. Ανάλυση κατασκευών με το λογισμικό του algor.....	28
4.1 Εισαγωγικά.....	28
4.2 Ξεκινώντας το Algor.....	29
4.3 Δημιουργία ενός νέου μοντέλου.....	30

4.4	Ανοίγοντας ένα υπάρχον μοντελο.....	31
4.5	Δυνατότητες του Algor.....	33
4.6	Αποθήκευση ενός αρχείου.....	37
4.7	Ορισμός του συστήματος μονάδων.....	38
4.7.1	Ανοίγοντας το σύστημα μονάδων.....	38
4.7.2	Αλλαγή συστήματος μονάδων.....	40

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ**

5.	Σχεδιάζοντας το πλέγμα.....	42
5.1	Άνοιγμα του mesh.....	42
5.2	Ρυθμίσεις του πλέγματος.....	43
5.3	Δημιουργία και αποτελέσματα του πλέγματος.....	46
5.4	Επαφή μεταξύ εξαρτημάτων.....	50

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ**

6.	Τελικός έλεγχος πριν την έναρξη του υπολογισμού.....	51
B.	Το ``FEA EDITOR`` είναι το δευτερο στάδιο της ανάλυσης.....	53
B.1	Επιλογή υλικού.....	54
B.2	Τοποθέτηση φορτίσεων.....	56
B.3	Οριακές συνθήκες (θέτοντας σημεία στήριξης).....	63
Γ.	Αποτελέσματα.....	69
Γ.1	Ισοδύναμη τάση.....	71
Γ.2	Μέγιστη διατμητική τάση.....	72
Γ.3	Παραμόρφωση.....	73
Γ.4	Μετατόπιση.....	74

Δ. Αναφορά αποτελεσμάτων γερανογέφυρας.....	76
Δ.1 Πληροφορίες κατασκευής.....	76
Δ.2 Πληροφορίες κομματιών.....	76
Δ.3 Πληροφορίες υλικού.....	78
Δ.4 Φορτία και οριακές συνθήκες της κατασκευής.....	79
Δ.5 Αποτελέσματα της διακριτοποίησης.....	81

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ**

7. Στατική ανάλυση της γερανογέφυρας του εργαστηρίου.....	83
---	----

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΩΟ**

8. Αποτελέσματα.....	91
8.1 Ισοδύναμη τάση.....	91
8.2 Μέγιστη διατμητική τάση.....	95
8.3 Μετατοπίσεις.....	97