

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΘΕΜΑ

**ΜΕΛΕΤΗ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ
ΠΑΝΕΛ**

Επιμέλεια: **Μάργαρη Μαρία**

Επιβλέπων Καθηγητής: **Σταυρουλάκης Γεώργιος**



Χανιά, Δεκέμβριος 2010

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας, , στα πλαίσια της φοίτησής μου στο Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε όλους τους ανθρώπους εκείνους που συνέβαλαν ώστε να καταφέρω να εκπληρώσω το στόχο μου.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές με τους οποίους ήρθα σε επαφή τα πέντε αυτά χρόνια, τον καθένα ξεχωριστά, τόσο για την υπομονή τους, όσο και την επιμονή τους, ώστε να μας διδάξουν και να μας εφοδιάσουν με όλα τα απαραίτητα στοιχεία, που θα χρειαστούμε στην πορεία της ζωής μας,

Ιδιαίτερα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου και υπεύθυνο για την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας κ.κ. Σταυρουλάκη Γεώργιο, για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου, την πολύτιμη βοήθειά του, και την αμέριστη συμπαράστασή του, την οποία έλαβα από την αρχή έως το τέλος των υποχρεώσεών μου.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ.. Βαγγέλη Σταυρουλάκη, κατασκευαστή μεταλλικών κατασκευών, στο Ρέθυμνο, ο οποίος μας έδωσε το έναυσμα για την παρούσα μελέτη και μας έδωσε τα αρχικά σχέδια της κατασκευής.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους μου τους φίλους, τόσο αυτούς τους οποίους απέκτησα κατά τη διάρκεια της φοιτητικής μου ζωής στην πόλη των Χανίων, όσο και εκείνους τους οποίους άφησα πίσω στην πόλη μου, την Αθήνα., για την αγάπη, το ενδιαφέρον και τη συμπαράσταση τους όλα αυτά τα χρόνια.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ θα ήθελα να δώσω στους γονείς μου, τον Κωνσταντίνο και την Βαΐα, τους ανθρώπους που με δίδαξαν τις αρχές και τις αξίες της ζωής, καθώς επίσης και στην αδερφή μου Λίλα που ήταν πάντοτε και θα είναι πάντα δίπλα μου, σε κάθε χαρούμενη και δυσάρεστη στιγμή μου. Τους ευχαριστώ για την ηθική και υλική στήριξη που μου προσέφεραν κατά τη διάρκεια των σπουδών μου, και ιδιαίτερα στις δύσκολες εκείνες στιγμές που αποζήτησα την απόλυτη συμπαράστασή τους. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω το αγόρι μου, τον Γιάννη, που είναι πάντα δίπλα μου τα τελευταία 5 χρόνια με στηρίζει και μου συμπαραστέκεται σε ότι χρειαστώ.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1	7
1.1 Εισαγωγή	7
Κεφάλαιο 2	10
Μέθοδος Πεπερασμένων Στοιχείων	10
2.1 Εισαγωγή	10
2.2 Ιστορικό	12
Κεφάλαιο 3	13
3.1 Το COMSOL Multiphysics	13
3.2 PRO-ENGINEER	13
3.2.1 Εισαγωγή	17
3.2.2 Η φιλοσοφία	17
3.2.3 Μοντελοποίηση	18
3.2.4 Συναρμολόγηση (Assembly)	19
Κεφάλαιο 4	21
4.1 Η σχεδίαση του Μοντέλου	21
4.2 Σχεδίαση με το Pro-engineer	26
4.3 Πρόγραμμα Comsol	33
4.3.1 Εισαγωγή μοντέλου στο Comsol	33
4.3.2 Υπολογισμός δυνάμεων και τοποθέτηση στο Comsol	34
4.3.3 Πλεγματοποίηση (MESH)	43
Κεφάλαιο 5	Error! Bookmark not defined.
Αποτελέσματα και Συμπεράσματα	45
5.1 Αποτελέσματα τομών και τάσεων με όλες τις στηρίξεις να είναι Roller	49
5.1.1 Μοντέλο Ανέμου	49
5.1.2 Μοντέλο Χιονιού	63
5.2 Αποτελέσματα τομών και τάσεων με την κεντρική στήριξη να είναι Fixed και οι υπόλοιπες Roller	70
5.2.1 Μοντέλο Ανέμου	70
5.2.2 Μοντέλο Χιονιού	78
5.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων τάσεων Von Mises	85
5.3.1 Μοντέλο Ανέμου	85
5.3.2 Μοντέλο Χιονιού	88
5.4 Αποτελέσματα Παραμορφώσεων	90
5.4.1 Μοντέλο Ανέμου	90
5.4.2 Μοντέλο Χιονιού	97
5.4.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων παραμορφώσεων για τα δύο μοντέλα (Ανέμου και του Χιονιού)	102
BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	104
Βιβλία	104
Site	104

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζουμε τη μελέτη μιας κατασκευής που αφορά τράκερ για φωτοβολταϊκά πάνελ. Η μελέτη αυτή θα γίνει με χρήση του προγράμματος COMSOL Multiphysics, το οποίο είναι ένα πρόγραμμα μελέτης κατασκευών με τη χρήση πεπερασμένων στοιχείων. Η διπλωματική εργασία αποτελείται από έξι κεφάλαια.

- 1^ο Κεφάλαιο: Εισαγωγή στον ηλιοστάτη και ιστορική αναφορά
- 2^ο Κεφάλαιο: Περίληψη στα πεπερασμένα στοιχεία.
- 3^ο Κεφάλαιο: Αναφορά στα προγράμματα comsol και pro-engineer
- 4^ο Κεφάλαιο: Σχεδίαση του μοντέλου μας στο pro-engineer, την εισαγωγή του στο Comsol και την τοποθέτηση των δυνάμεων.
- 5^ο Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και συμπεράσματα της μελέτης μας .
- 6^ο Κεφάλαιο: Βιβλιογραφία

Κεφάλαιο 1

1.1 Εισαγωγή

Στη σημερινή εποχή με το έντονο ενεργειακό πρόβλημα λόγω της πετρελαϊκής κρίσης είναι απαραίτητη η ανάπτυξη και η χρήση εναλλακτικών πηγών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτές οι μορφές ενέργειας πρέπει να είναι φιλικές προς το περιβάλλον καθώς η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ενοχοποιείται σε πολύ μεγάλο ποσοστό για την επιβάρυνση του περιβάλλοντος, αλλά και να μην εξαντλούν τους φυσικούς πόρους της γης. Μια μορφή από τις ονομαζόμενες Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας είναι και παραγωγή με χρήση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας. Η φωτοβολταϊκή τεχνολογία χρησιμοποιεί την ηλιακή ακτινοβολία για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Το πλεονέκτημα της χρήσης της είναι εμφανές: Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί τη μόνη διέξοδο για την αποτροπή των κλιματικών αλλαγών που απειλούν σήμερα τον πλανήτη. Επιπλέον, η χρήση της ηλιακής ενέργειας συνεπάγεται λιγότερες εκπομπές άλλων επικίνδυνων ρύπων (όπως τα καρκινογόνα μικροσωματίδια, τα οξείδια του αζώτου, οι ενώσεις του θείου, κ.λπ). Οι ρύποι αυτοί επιφέρουν σοβαρές βλάβες στην υγεία και το περιβάλλον. Αξίζει λοιπόν να ασχοληθούμε περισσότερο με αυτήν την μορφή ενέργειας, προσπαθώντας να την βελτιώσουμε και να την αναπτύξουμε.

Το φωτοβολταϊκό (Φ/Β) φαινόμενο αφορά τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Το Φ/Β φαινόμενο ανακαλύφθηκε το 1839 από τον Ανρί Μπεκερέλ (Becquerel). Περιληπτικά πρόκειται για την απορρόφηση της ενέργειας του φωτός από τα ηλεκτρόνια των ατόμων του Φ/Β στοιχείου και την απόδραση των ηλεκτρονίων αυτών από τις κανονικές τους θέσεις με αποτέλεσμα την δημιουργία ρεύματος. Το ηλεκτρικό πεδίο που προϋπάρχει στο Φ/Β στοιχείο οδηγεί το ρεύμα στο φορτίο.

Η ηλιακή ενέργεια είναι καθαρή, ανεξάντλητη, ήπια και ανανεώσιμη. Η ηλιακή ακτινοβολία δεν ελέγχεται από κανέναν και αποτελεί ένα ανεξάντλητο εγχώριο ενεργειακό πόρο, που παρέχει ανεξαρτησία, προβλεψιμότητα και ασφάλεια στην ενεργειακή τροφοδοσία. Τα φωτοβολταϊκά παρέχουν τον απόλυτο έλεγχο στον καταναλωτή και άμεση πρόσβαση στα στοιχεία που αφορούν την παραγόμενη και καταναλισκόμενη ενέργεια. Τον καθιστούν έτσι πιο προσεκτικό στον τρόπο που καταναλώνει την ενέργεια και συμβάλλουν μ' αυτό τον τρόπο στην ορθολογική χρήση και εξοικονόμηση της ενέργειας. Τα ηλιακά φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν αθόρυβη λειτουργία, αξιοπιστία και μεγάλη διάρκεια ζωής, δυνατότητα επέκτασης ανάλογα με τις ανάγκες, δυνατότητα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας (στο δίκτυο ή σε συσσωρευτές) και απαιτούν ελάχιστη συντήρηση.

Η χρήση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας έχει μερικά πολύ σημαντικά πλεονεκτήματα που την κάνουν ιδιαίτερα ελκυστική εναλλακτική μορφή ενέργειας. Αυτός είναι και ο λόγος που δημιουργήθηκαν κίνητρα στην φωτοβολταϊκή αγορά για αύξηση της παραγωγής (βέβαια με παράλληλη βελτίωση των τεχνολογιών),

έχοντας ως αποτέλεσμα την ραγδαία πτώση των τιμών τους. Έτσι μπορούμε εμείς σήμερα να μιλάμε για ευρεία χρήση των φωτοβολταϊκών σε εφαρμογές υψηλής ισχύος (οικιακή και βιομηχανική χρήση) ενώ παλιότερα εύρισκαν εφαρμογή σε πολύ χαμηλές απαιτήσεις ισχύος (ηλεκτρονικά ρολόγια, υπολογιστές τσέπης κ.τ.λ.). Όσον αφορά την οικιακή και βιομηχανική χρήση υπάρχουν πολλά είδη φωτοβολταϊκών συστημάτων. Αρχικά υπήρχαν συστήματα που δεν είχαν τη δυνατότητα μετακίνησης ώστε να παρακολουθούν την πορεία του ήλιου κατά τη διάρκεια της ημέρας και του χρόνου. Σε τέτοια συστήματα, η απόδοση δεν είναι η βέλτιστη δυνατή. Η αύξηση των αναγκών της εγκατάστασης σε ισχύ συνεπάγεται υποχρεωτικά την αύξηση της ωφέλιμης επιφάνειας με την προσθήκη περισσότερων πάνελ στο σύστημα. Για το λόγο αυτό, επινοήθηκε η τεχνολογία του ηλιοστάτη, ή εντοπιστή ηλιακής ακτινοβολίας (*tracker*). Ο ηλιοστάτης είναι μια μηχανολογική διάταξη, πάνω στην οποία τοποθετείται η φωτοβολταϊκή γεννήτρια, ώστε το σύστημα να μπορεί να περιστρέφεται μέσω των ειδικών εξαρτημάτων και του λογισμικού που διαθέτει. Με τον τρόπο αυτό γίνεται η καλύτερη δυνατή εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, ενώ εξοικονομείται χρήμα: σε σχέση με την αγορά επιπλέον φωτοβολταϊκών πάνελ, η αγορά ενός ηλιοστάτη είναι στις περισσότερες περιπτώσεις η συμφέρουσα λύση. Ο ηλιοστάτης έχει σχεδιαστεί με τρόπο ώστε να αντέχει σε υψηλές ταχύτητες ανέμου. Ένα τέτοιο παράδειγμα ηλιοστάτη είναι και το μοντέλο μας.

Τα Φωτοβολταϊκά (ηλιοστάτες) μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο τύπους: Standard φωτοβολταϊκά (PV Trackers) και Συμπυκνωμένα Φωτοβολταϊκά (CPV ηλιοστάτες). Κάθε ένας από αυτούς τους τύπους tracker μπορεί περαιτέρω να ταξινομηθεί από τον αριθμό και τον προσανατολισμό των αξόνων του, την αρχιτεκτονική ενεργοποίηση του και το είδος οδήγησης, που προορίζονται από τις εφαρμογές του, από τις κάθετες στηρίξεις του και το είδος θεμελίωσης.

Standard φωτοβολταϊκά (PV) Trackers : Φωτοβολταϊκά πάνελ τα οποία αποδέχονται τόσο το άμεσο όσο και το διάχυτο φως από τον ουρανό. Το πάνελ σε ένα Standard Φωτοβολταϊκό Tracker συγκεντρώνει πάντα το διαθέσιμο φως. Η λειτουργικότητα εντοπισμού στα Standard φωτοβολταϊκά Trackers χρησιμοποιεί την ελαχιστοποίηση της γωνίας πρόσπτωσης μεταξύ εισερχομένου φωτός και του φωτοβολταϊκού πάνελ. Αυτό αυξάνει την ποσότητα της ενέργειας που συγκεντρώνεται από την άμεση συνιστώσα του εισερχομένου φωτός.

Συμπυκνωμένο Φωτοβολταϊκών (CPV) Trackers : Τα οπτικά συστήματα στις μονάδες CPV αποδέχονται την άμεση συνιστώσα του εισερχομένου φωτός και, επομένως, πρέπει να προσανατολίζονται κατάλληλα για να μεγιστοποιηθεί η ενέργεια που συλλέγεται. Σε εφαρμογές χαμηλής συγκέντρωσης μια μερίδα του διάχυτου φωτός από τον ουρανό μπορεί επίσης να συλληφθεί. Η λειτουργικότητα εντοπισμού στις μονάδες CPV χρησιμοποιείται για να προσανατολίσει την οπτική έτσι ώστε το εισερχόμενο φως να εστιάζεται σε ένα φωτοβολταϊκό συλλέκτη.

Οι μονάδες CPV που επικεντρώνονται σε μια διάσταση πρέπει να παρακολουθούν κανονικά τον ήλιο σε έναν άξονα ενώ οι μονάδες CPV που επικεντρώνονται σε δύο διαστάσεις πρέπει να παρακολουθούν κανονικά τον ήλιο σε δύο άξονες.



Εικόνα 1.1 Ηλιοστάτης με έναν άξονα

Σε σύγκριση με μια σταθερή κατασκευή, ένα tracker με έναν άξονα αυξάνει την ετήσια παραγωγή κατά 30% περίπου, καθώς και ένα tracker με δύο άξονες επιπλέον κατά 6%.



Εικόνα 1.2 Ηλιοστάτης με δύο άξονες

Σήμερα επιπλέον έχουν φτιαχτεί συστήματα παρακολούθησης (εντοπισμού) ήλιου με μια πολύ καλή ακρίβεια εντοπισμού των $0,1^\circ$. Ταυτόχρονα είναι επίσης πολύ ισχυρή κατασκευή. Ακόμη και σε υψηλές ταχύτητες ανέμου έως και 11m/s , οι μονάδες παρακολουθούν τον ήλιο χωρίς αύξηση απωλειών.

Κεφάλαιο 2

Μέθοδος Πεπερασμένων Στοιχείων

2.1 Εισαγωγή

Η μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων είναι μια αριθμητική μέθοδος (δηλ. μέθοδος υπολογισμού με χρήση υπολογιστή) για τον υπολογισμό προσεγγιστικών λύσεων μερικών διαφορικών εξισώσεων. Η αναλυτική λύση των εξισώσεων με τις οποίες περιγράφονται τα διάφορα τεχνικά προβλήματα είναι δυνατή μόνο σε ειδικές περιπτώσεις, όπου οι καταπονήσεις και τα γεωμετρικά σχήματα είναι πάρα πολύ απλά. Όμως, υπήρχε η ανάγκη να λυθούν και πιο σύνθετα προβλήματα και γι' αυτό το λόγο αναπτύχθηκαν διάφορες προσεγγιστικές μέθοδοι. Μία τέτοια μέθοδος είναι και η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων. Αυτή η μέθοδος είναι μεν προσεγγιστική, αλλά μπορεί να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα και έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να εφαρμοστεί σε όλα τα προβλήματα. Το μειονέκτημά της είναι οι αυξημένες απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ, ιδίως όταν εφαρμόζεται σε σύνθετα μοντέλα. Αυτό όμως το μειονέκτημα ξεπεράστηκε τα τελευταία χρόνια χάρη στη ραγδαία ανάπτυξη των υπολογιστών.

Η επιτυχία αυτής της μεθόδου είναι τόσο μεγάλη που οι εφαρμογές της εκτείνονται στην παραμόρφωση και ανάλυση τάσεων σε αυτοκίνητα, αεροπλάνα, κτίρια και γέφυρες, μέχρι και την ανάλυση πεδίων ροής θερμότητας, ροής υγρών, μαγνητικής ροής και άλλων προβλημάτων ροής. Με τις εξελίξεις στην τεχνολογία των Η/Υ και των συστημάτων CAD, σύνθετα προβλήματα μπορούν να μοντελοποιηθούν πολύ εύκολα. Διάφορες εναλλακτικές συνθέσεις μπορούν να δοκιμαστούν σε έναν Η/Υ πριν κατασκευαστεί το πρότυπό τους. Έτσι μειώνεται σε σημαντικό βαθμό η περίπτωση λάθους με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση χρόνου και χρήματος. Όλα αυτά υποδεικνύουν την ανάγκη να διατηρήσουμε την επαφή μας με αυτές τις εξελίξεις, κατανοώντας τη βασική θεωρία, τις τεχνικές μοντελοποίησης και τις υπολογιστικές έννοιες της Μεθόδου των Πεπερασμένων Στοιχείων.

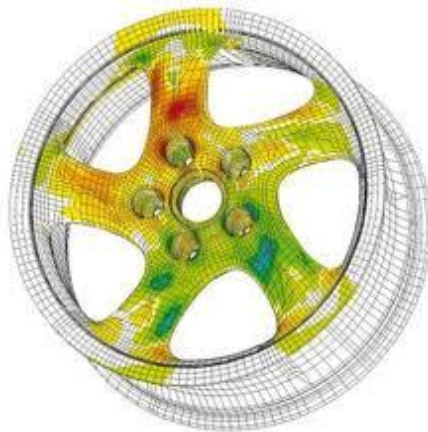
Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων είναι μία εξέλιξη των μητρωϊκών (δηλ. μία ορθογώνια διάταξη σε σχήμα ορθογώνιου παραλληλογράμμου που περιέχει $n \times m$ πλήθος στοιχείων) μεθόδων αριθμητικής επίλυσης διαφορικών εξισώσεων και έγινε από διάφορους σπουδαίους επιστήμονες όπως ο Ιωάννης Αργύρης, ο Clough, ο Ritz και άλλοι. Σε αυτή τη μέθοδο ανάλυσης, μια περίπλοκη περιοχή, η οποία ορίζει ένα συνεχές, διακριτοποιείται σε απλά γεωμετρικά σχήματα που ονομάζονται πεπερασμένα στοιχεία (finite elements). Οι ιδιότητες των υλικών και οι διέπουσες σχέσεις θεωρούνται πάνω σε αυτά τα στοιχεία και εκφράζονται σε όρους των άγνωστων τιμών στις γωνίες των στοιχείων. Μία διαδικασία σύνθεσης, η οποία καταλλήλως θεωρεί τα φορτία και τους

περιορισμούς, έχει ως αποτέλεσμα ένα σύνολο εξισώσεων, όπου η λύση αυτών των εξισώσεων δίνει την κατά προσέγγιση συμπεριφορά του συνεχούς.

Για να εφαρμοστεί η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων απαιτούνται τα εξής στάδια:

- Εισάγεται η γεωμετρία της κατασκευής σε ένα πρόγραμμα CAD και δημιουργείται το τρισδιάστατο μοντέλο.
- 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.
- 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.
- Όταν τελειώσει η επίλυση τα αποτελέσματα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα πρόγραμμα, που αποκαλείται post processor, για να μπορέσει ο μελετητής να δει τα αποτελέσματα.

Στη συνέχεια παραθέτω ένα διάγραμμα πεπερασμένων στοιχείων:



Εικόνα 2.1 Διάγραμμα πεπερασμένων στοιχείων

2.2 Ιστορικό

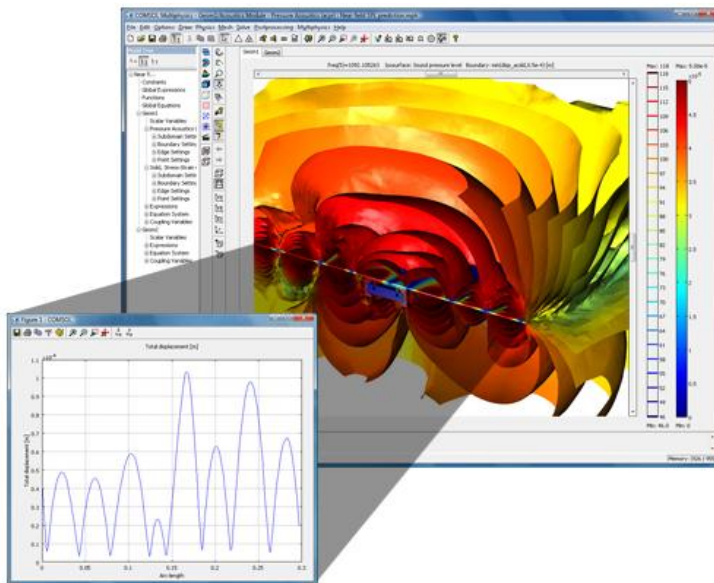
Η πεπερασμένη ανάλυση στοιχείων από τη μαθηματική πλευρά ξεκίνησε το 1941 όταν ο Hrenikoff παρουσίασε μία λύση των προβλημάτων ελαστικότητας με τη χρήση της μεθόδου των δικτυωμάτων και αναπτύχθηκε το 1943 κοντά Richard Courant. Από την πλευρά εφαρμοσμένης μηχανικής, η πεπερασμένη ανάλυση στοιχείων δημιουργήθηκε ως μέθοδος μετατοπίσεων από μήτρα δομικής ανάλυσης, το οποίο προέκυψε κατά τη διάρκεια αρκετών δεκαετιών κυρίως στη βρετανική αεροδιαστημική έρευνα ως παραλλαγή κατάλληλη για υπολογιστές. Μέχρι την πρόσφατη δεκαετία του '50, οι βασικές έννοιες της μήτρας ακαμψίας και της συνέλευσης στοιχείων υπήρξαν ουσιαστικά σε μορφή χρησιμοποιούμενη μέχρι και σήμερα. Η NASA εξέδωσε το αίτημα για την ανάπτυξη του πεπερασμένου στοιχείου λογισμικού NASTRAN το 1965. Στα τέλη της δεκαετίας του 1960 και στις αρχές της δεκαετίας του 1970, η ανάλυση των πεπερασμένων στοιχείων εφαρμόστηκε σε μη γραμμικά προβλήματα και μεγάλες παραμορφώσεις. Οι μαθηματικές βάσεις τέθηκαν στη δεκαετία του 1970 και περιλαμβάνουν την ανάπτυξη νέων στοιχείων, μελέτες σύγκλισης και άλλους σχετικούς τομείς. Σήμερα, οι εξελίξεις στους μεγάλους Η/Υ και η διαθεσιμότητα ισχυρών μικροϋπολογιστών έχουν φέρει τη μέθοδο αυτή στη διάθεση σπουδαστών και μηχανικών που εργάζονται σε μικρές βιομηχανίες.

Κεφάλαιο 3

3.1 Το COMSOL Multiphysics

Το COMSOL Multiphysics (στο παρελθόν FEMLAB) είναι ένα εμπορικό πρόγραμμα για την επίλυση προβλημάτων φυσικής και εφαρμοσμένης μηχανικής, και για την αριθμητική προσέγγιση λύσεων μαθηματικών εξισώσεων με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Το περιβάλλον προσομοίωσης του COMSOL Multiphysics, διευκολύνει όλα τα βήματα που απαιτούνται για την ανάπτυξη ενός μοντέλου. Καθορίζει τη γεωμετρία, ορίζει σταθερές και συνοριακές συνθήκες, διακριτοποιεί, λύνει και τέλος απεικονίζει γραφικά τα αποτελέσματα.

Επιπλέον έχει τη δυνατότητα να θεωρήσει διάφορα φυσικά φαινόμενα που αλληλεπιδρούν ταυτόχρονα στην ίδια κατασκευή για αυτό λέγεται και multiphysics. Μπορεί να μελετήσει για παράδειγμα τη συμπεριφορά μιας κατασκευής ως προς την μηχανική της συμπεριφορά και την μετάδοση θερμότητας (για παράδειγμα θερμοελαστικότητα) δημιουργώντας διάφορα επίπεδα στο καθένα από τα οποία γίνεται μια διαφορετική ανάλυση.



Εικόνα 3.1 Οθόνη διεπαφής (interface) του προγράμματος COMSOL

Το COMSOL άρχισε από τους μεταπτυχιακούς φοιτητές Germund&Dahlquist με βάση τους κώδικες που αναπτύσσονται για μια σειρά μεταπτυχιακών μαθημάτων μαθημάτων στο Βασιλικό Ίδρυμα Τεχνολογίας (KTH) στη Στοκχόλμη της Σουηδίας.

Οι δυνατότητες του COMSOL Multiphysics φαίνονται στις παρακάτω υποενότητες που το αποτελούν:

- Υποενότητα συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος AC/DC
- Υποενότητα ακουστικής
- Υποενότητα χημικής μηχανικής
- Υποενότητα γεωεπιστημών
- Υποενότητα μεταφοράς θερμότητας
- Υποενότητα σχεδιαστικής βελτιστοποίησης
- Υποενότητα μικροηλεκτρονικών μηχανισμών MEMS
- Υποενότητα ραδιοσημάτων RF
- Υποενότητα δομικής μηχανικής

AC/DC Υποενότητα

Προσομειώνει τη λειτουργία και συμπεριφορά ηλεκτρικών ρευμάτων και συσκευών, που σχετίζονται με ηλεκτροστατικές, μαγνητοστατικές και ηλεκτρομαγνητικές – κβαντοστατικές εφαρμογές πηγών διαφόρων τύπων ακτινοβολιών. Υποστηρίζει συγκεκριμένες διεπαφές και αλληλεπιδράσεις περιστροφικών μηχανισμών, καθώς και την εισαγωγή λιστών κυκλωμάτων τύπου SPICE.

Υποενότητα Ακουστικής

Περιέχει ενσωματωμένες διαδικασίες εφαρμογής και τα αντίστοιχα οριοθετημένα περιβάλλοντα, για τη μελέτη και μοντελοποίηση της διάδοσης και διασποράς των ακουστικών κυμάτων στα στερεά και στάσιμα υγρά. Επίσης, μοντελοποιεί εφαρμογές της αεροακουστικής για κινούμενα – επιταχυνόμενα υγρά.

Υποενότητα Χημικής Μηχανικής

Αναλύει τις ισοροπίες της μάζας, της ενέργειας και της υπολογιστικής δυναμικής των ρευστών (*Computational fluid dynamics* ή *CFD*), και τη σχέση αυτών με τις αντιδράσεις σε φαινόμενα χημικής κινητικής. Ενσωματώνει μια πληθώρα εφαρμογών του τομέα των φαινομένων μεταφοράς, περιλαμβάνοντας την ιοντική μεταφορά και την πολυσυνθετική διάχυση.

Υποενότητα Σχεδιαστικής Βελτιστοποίησης

Βελτιστοποίηση πολυφυσικών μεταβλητών και ανάλυση ευαισθησίας.

Υποενότητα Γεωεπιστημών

Μοντελοποιεί μεμονομένες και αλληλεπιδρούσες διαδικασίες γεολογικών και περιβαλλοντικών φαινομένων, τα οποία ως επί το πλείστον βασίζονται σε υπεδάφεια ροή. Ιδανικό για τη μελέτη της ροής στο πορώδες των μεσαίων γεωεδαφικών στρωμάτων που σχετίζονται και με άλλους τομείς της φυσικής, όπως οι ποροελαστικές εφαρμογές (έλεγχος της ελαστικότητας πορώδους υλικού).

Υποενότητα Μεταφοράς Θερμότητας

Αποτελείται από προχωρημένες διαδικασίες και εφαρμογές για την ανάλυση της μεταφοράς θερμότητας μέσω της διαδικασίας της αγωγής, συναγωγής και ακτινοβολίας. Ιδανικό για βιομηχανικές εφαρμογές όπως η ψύξη ηλεκτρονικών συστημάτων και η μηχανική διαδικασιών.

Υποενότητα MEMS

Αναπαριστά συσχετιζόμενες διαδικασίες μικροηλεκτρομηχανικών συσκευών και συσκευών μικρορευστότητας. Ενσωματώνει συγκεκριμένα πολυφυσικά ζεύγη για εφαρμογές όπως η ηλεκτροοσμωτική ροή, η απόσβεση κραδασμών από δημιουργούμενη μεμβράνη, το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο, καθώς και τις διάφορες αντιδράσεις στη δομή των ρευστών.

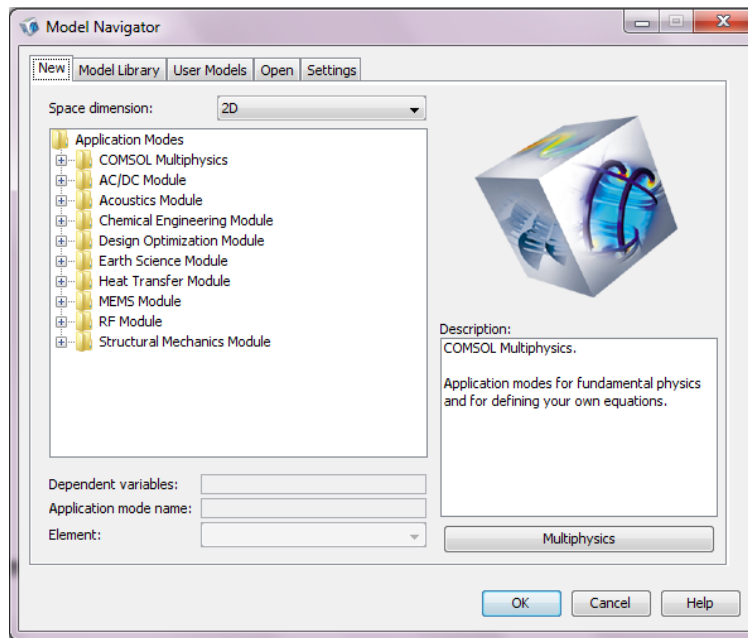
Υποενότητα RF

Χαρακτηρίζει ηλεκτρομαγνητικά πεδία, ρεύματα, και κύματα συσκευών ραδιοσυχνότητας (RF), μικροκυμάτων, οπτικών και άλλων υψηλής συχνότητας ακτινοβολιών. Επιτρέπει την εκτενή μετα-επεξεργασία όπως είναι οι υπολογισμοί της παραμέτρου – s και οι απομακρυσμένες αναλύσεις.

Υποενότητα Δομικής Μηχανικής

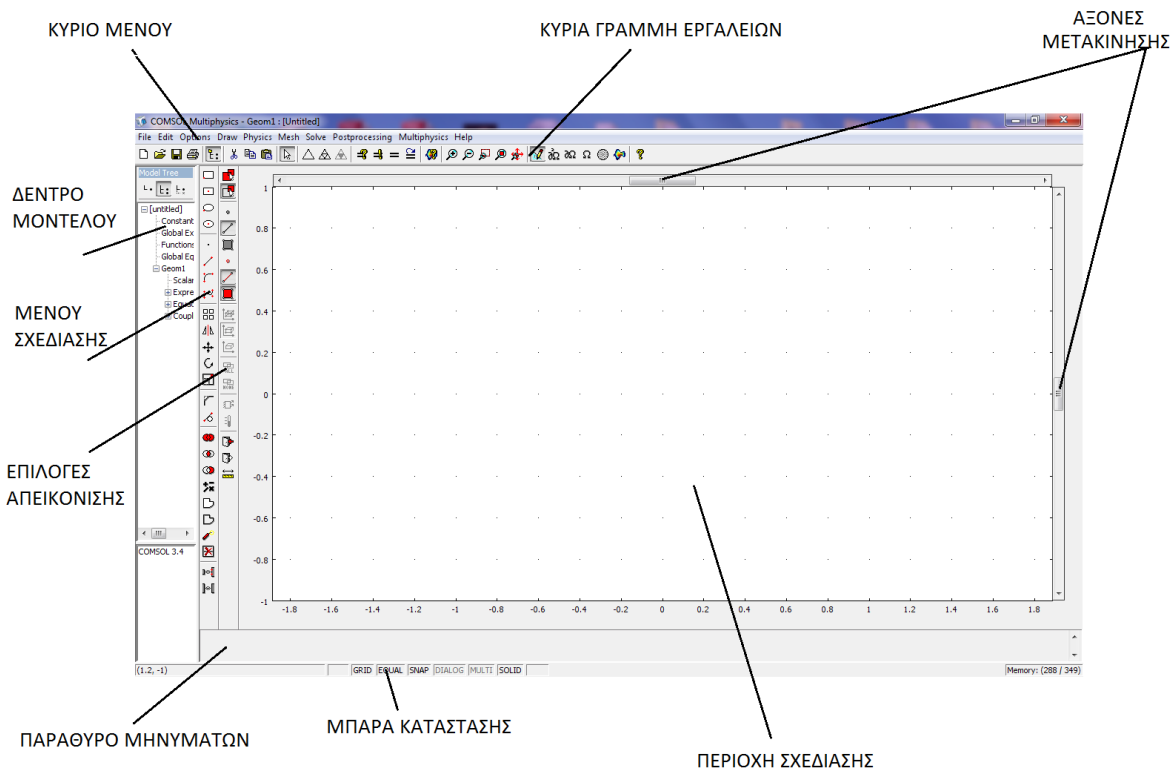
Εκτελεί τις κλασσικές αναλύσεις για τη μελέτη της καταπόνησης λόγω των τάσεων των κατασκευών, περιλαμβάνοντας το σύνολο των δυνατοτήτων πολλών συνδυασμένων πεδίων. Περιλαμβάνει μη γραμμικά μοντέλα, μεγάλες παραμορφώσεις, πλαστικότητα και ικανότητες συσχέτισης και ζεύξης. Εμπεριέχει εξιδεικευμένες εφαρμογές για τη μελέτη δοκών, συνδέσεων, πλαισίων καθώς και προβλημάτων επίπεδης έντασης ή πλακών σε κάμψη.

Το Model Navigator εμφανίζεται όταν αρχίζει το πρόγραμμα την λειτουργία του και είναι το πρώτο παράθυρο που εμφανίζεται. Εδώ δημιουργείται ένα καινούριο μοντέλο φτιάχνοντας πρώτα τις κατάλληλες παραμέτρους ανάλογα με αυτό που θέλουμε να σχεδιάσουμε. Στην Εικόνα 3.2 βλέπουμε το Model Navigator.



Εικόνα 3.2 Οθόνη παρουσίασης του Model Navigator

Έχοντας πραγματοποιήσει όλες τις απαραίτητες ρυθμίσεις, πατώντας το OK εμφανίζονται στην οθόνη μας όλες οι δραστηριότητες του COMSOL.



Εικόνα 3.3 Παράθυρο σχεδίασης του COMSOL

Στην Εικόνα 3.3 εμφανίζεται το αρχικό παράθυρο του COMSOL το οποίο περιέχει κυρίως το παράθυρο σχεδίασης του προγράμματος και τα βασικά εργαλεία σχεδίασης.

3.2 PRO-ENGINEER

3.2.1 Εισαγωγή

Το Pro/ENGINEER είναι ένα λογισμικό το οποίο παρουσιάστηκε στην πρώτη του έκδοση, το 1987. Η πρώτη αυτή έκδοση μπορεί να ήταν αρκετά δύσχρηστη, αλλά το εργαλείο παραμετρικής σχεδίασης (parametric design) και μοντελοποίησης στερεών (solid modeling) που χρησιμοποιούσε ήταν εντελώς πρωτοποριακό για την εποχή του και αποτέλεσε την πρώτη ιδέα και σημείο αναφοράς για την δομή των αντίστοιχων προγραμμάτων που ακολούθησαν. Σήμερα το Pro/Engineer κατέχει το μεγαλύτερο μερίδιο αγοράς παγκοσμίως στα προγράμματα παραμετρικής σχεδίασης.

Το Pro/ENGINEER χρησιμοποιείται στο σχεδιασμό, στην ανάλυση και στην κατεργασία ενός πρακτικά απεριόριστου εύρους προϊόντων. Συνοπτικά το Pro/Engineer είναι ένα παραμετρικό (Parametric) σύστημα στερεάς και επιφανειακής μοντελοποίησης (Solid - Surface Modeling) βασισμένο σε χαρακτηριστικά (Feature based).

Ένα βασικό σημείο διαφοροποίησης του Pro/Engineer και άλλων προγραμμάτων που χρησιμοποιούν μεθόδους στερεάς μοντελοποίησης σε σχέση με άλλα προγράμματα, είναι ότι αδυνατούν να σχεδιάσουν μη ρεαλιστικά αντικείμενα δηλαδή αντικείμενα που δεν υφίστανται στην πράξη.

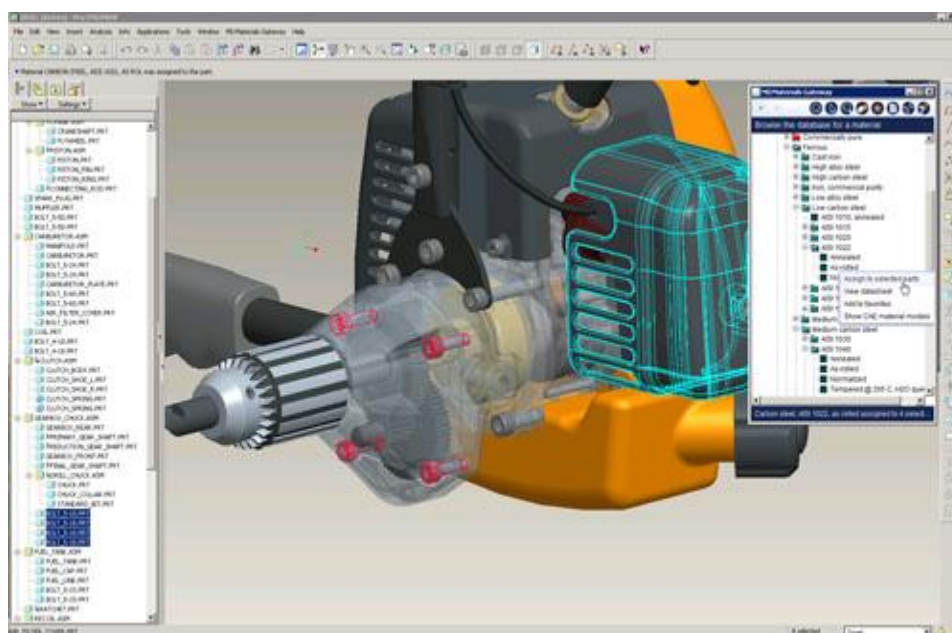
3.2.2 Η φιλοσοφία

Η φιλοσοφία του Pro/Engineer κρύβεται στα 3 βασικά χαρακτηριστικά του. Όταν σχεδιάζεται ένα κομμάτι (part), είναι σαν να το χτίζεται feature by feature. Τα features είναι στερεά που προκύπτουν από προέκταση, από περιστροφή κλπ, σε οπές, σε κοψίματα και άλλα. Κάθε κομμάτι δηλαδή, είναι ένα μπλοκ του οποίου τα μέρη που το συνιστούν είναι στοιχειώδη, τα features. Αυτά ορίζουν επακριβώς τον τρόπο με τον οποίο θα προστεθεί ή θα αφαιρεθεί υλικό και είναι έξυπνα, γιατί προσαρμόζονται αυτόματα στις αλλαγές που κάνει ο σχεδιαστής. Κάθε feature συνδέεται με κάποιες σχέσεις-παραμέτρους με το μοντέλο και με τα άλλα features. Ο χρήστης λοιπόν, ορίζει σε κάθε σχέδιο τις παραμέτρους με τέτοιο τρόπο, ώστε να τον εξυπηρετούν να φτάσει τους στόχους του, και να έχει τη δυνατότητα με μερικές αλλαγές να μοντελοποιεί διαφορετικά το κομμάτι του, όπως επιθυμεί.

Η παραμετρική μοντελοποίηση δίνει μεγάλες δυνατότητες στον χρήστη του προγράμματος, ο οποίος μπορεί να σχεδιάζει ελεύθερος, γνωρίζοντας ότι μπορεί ανά πάσα στιγμή να κάνει ριζικές αλλαγές με μικρό σχετικά κόστος.

3.2.3 Μοντελοποίηση

Η σχεδίαση με παραμετρική στερεά μοντελοποίηση, χρησιμοποιείται από τις περισσότερες βιομηχανίες, και ένας από τους βασικούς λόγους για αυτό είναι ότι παρέχει ακριβείς αναπαραστάσεις της γεωμετρίας και ιδιότητες μάζας. Παρέχει πλήρη προσδιορισμό του προϊόντος, δίνοντας ολοκληρωμένα και ακριβή αποτελέσματα για το προϊόν, για παράδειγμα, στην κατεργασία, στην ανάλυση όπως και στις απαιτήσεις των υλικών και της μηχανικής. Παρέχοντας παραμετρική μοντελοποίηση βασισμένη σε features (χαρακτηριστικά) και πλήρη επικοινωνία, επιτρέπει αλλαγές που γίνονται σε οποιοδήποτε στάδιο της ανάπτυξης του προϊόντος να μεταδίδονται σε όλο το σχέδιο.



Εικόνα 3.4 Προϊόν σχεδιασμένο μέσω της παραμετρικής μοντελοποίησης

Συγκεκριμένα, αυτός ο τρόπος λειτουργίας της τρισδιάστατης μοντελοποίησης επιτρέπει στους σχεδιαστές:

- 1) Να βρίσκουν ταχέως εναλλακτικές λύσεις σχεδιασμού. Επειδή τα σχέδια του Pro/Engineer συνίστανται από παρόμοια παραμετρικά χαρακτηριστικά και υπάρχει κάποια πρόβλεψη στον τρόπο που μπορούν να αλλάξουν αυτά, οι σχεδιαστές μπορούν να αναζητήσουν ταχύτατα εναλλακτικές λύσεις.

- 2) Να αναπαριστούν επακριβώς κάθε σχέδιο. Έχει αποδειχθεί πως το Pro/Engineer είναι ένα ευέλικτο σχεδιαστικό πακέτο που υποστηρίζει πολύπλοκη γεωμετρία, δίνοντας ταυτόχρονα τη δυνατότητα πλήρους προσδιορισμού του μοντέλου. Αυτό εξασφαλίζει ακριβή και διαρκή πληροφόρηση για κάθε σχέδιο σε κάθε στιγμή κατά τη διαδικασία ανάπτυξης.
- 3) Να πετυχαίνουν με εύκολο τρόπο τη μοντελοποίηση περίπλοκων χαρακτηριστικών. Οι χρήστες μπορούν να δημιουργήσουν καμπύλες, πολύπλοκα rounds, μοντέλα από "σάρωση" διάφορων διατμών, μοντέλα από "μίξη" διατομών. Όλα αυτά σε ελάχιστο χρόνο σε σύγκριση με αυτόν που απαιτείται με τα συμβατικά εργαλεία σχεδίασης.

3.2.4 Συναρμολόγηση (Assembly)

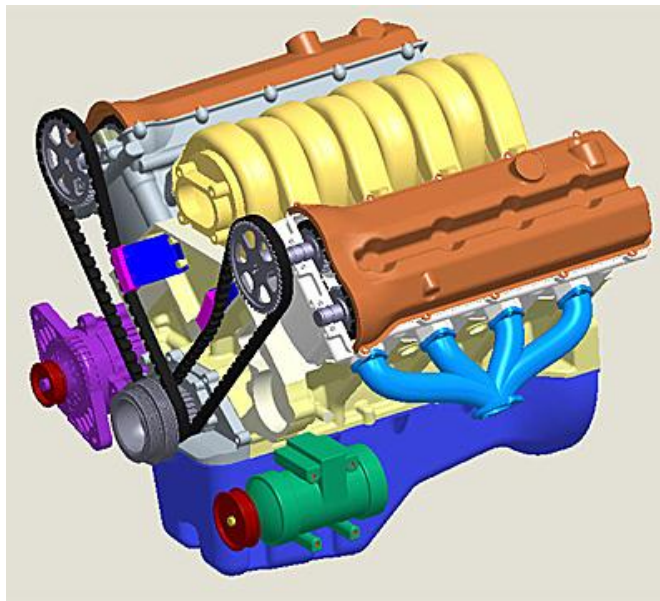
Οι διάφορες εταιρείες αναπτύσσουν προϊόντα και όχι απλά κομμάτια, γι' αυτό η αρχιτεκτονική του Pro/Engineer τους παρέχει εκτεταμένες δυνατότητες για να προσδιορίσουν και να δημιουργήσουν αυτές τις συναρμολογήσεις. Συγκεκριμένα ο τρόπος λειτουργίας της συναρμολόγησης επιτρέπει στους σχεδιαστές:

- Να δημιουργούν συναρμολογήσεις από υπάρχοντα ή νέα συστατικά. Οι χρήστες μπορούν να συναρμολογήσουν υπάρχοντα εξαρτήματα για να δημιουργήσουν συναρμολογήσεις ή να δημιουργήσουν νέα εξαρτήματα κατά τη διάρκεια της συναρμολόγησης. Η δημιουργία νέων εξαρτημάτων μπορεί να γίνει από: κοπή, αναπαραγωγή, αντιγραφή των ήδη υπάρχοντων κομματιών. Αντικείμενα όπως κόλλα, ταινία και μπογιά μπορούν να αναπαρασταθούν επίσης.
- Να πραγματοποιούν με εύκολο τρόπο μελέτη της συναρμολόγησης. Οι χρήστες μπορούν να προσθέτουν εξαρτήματα στη συναρμολόγηση μέχρι να επιτύχουν τον επιθυμητό στόχο, εκμεταλλευόμενοι τους εναπομείναντες βαθμούς ελευθερίας κάθε φορά.
- Να αναζητούν εναλλακτικές λύσεις σχεδιασμού.

Οι χρήστες μπορούν να :

- Σχεδιάζουν διαφορετικές εκδόσεις του προϊόντος κρατώντας διαφορετικά configuration, δηλαδή παραμέτρους για τα μοντέλα.
- Δημιουργούν εναλλακτικά σχέδια αλλάζοντας αυτόματα τα συστατικά σε μια συναρμολόγηση.
- Δημιουργούν παραμετρικές εξισώσεις στις συναρμολογήσεις

Οι χρήστες μπορούν να πετύχουν το σκοπό τους στις συναρμολογήσεις θέτοντας παραμετρικές σχέσεις μεταξύ των διαστάσεων και άλλων παραμέτρων.



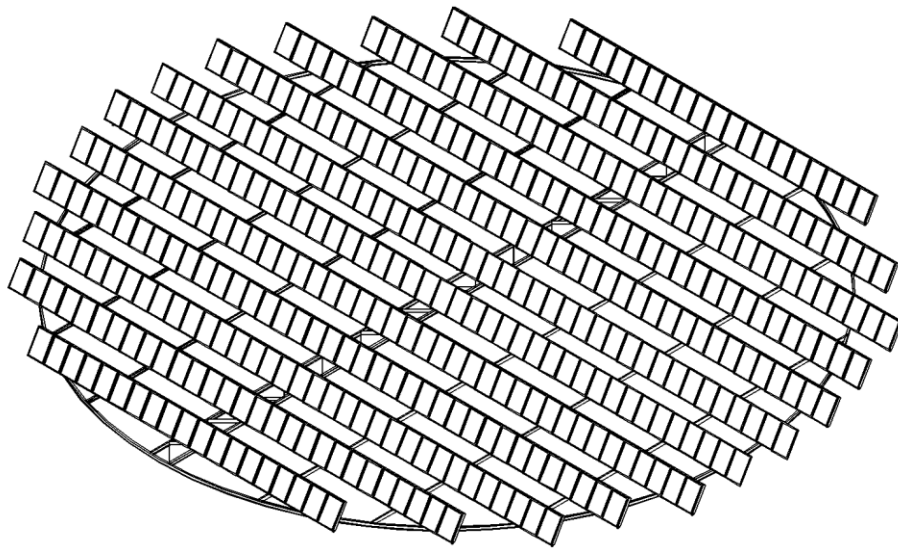
Εικόνα 3.5 Έτοιμο συναρμολογημένο μοντέλο (Assembled)

Κεφάλαιο 4

4.1 Η σχεδίαση του Μοντέλου

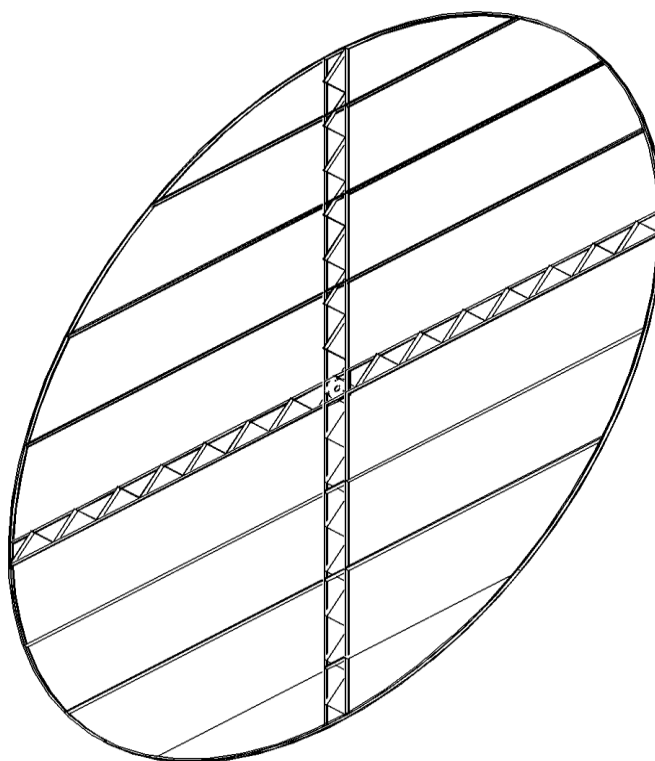
Η κατασκευή η οποία επιθυμούμε να μελετήσουμε είναι ένας ηλιοστάτης κυκλικής μορφής, όπως φαίνεται στην παρακάτω Εικόνα (4.1). Τα αρχικά σχέδια της κατασκευής παραχωρήθηκαν από το εργοστάσιο μεταλλικών κατασκευών του κ.Βαγγέλη Σταυρουλάκη στο Ρέθυμνο. Ο συγκεκριμένος ηλιοστάτης αποτελείται από:

- έναν κυκλικό φορέα
- δύο κεντρικές βασικές στηρίξεις(σκάλες)
- έξι δοκούς στήριξης
- έναν άξονα περιστροφής



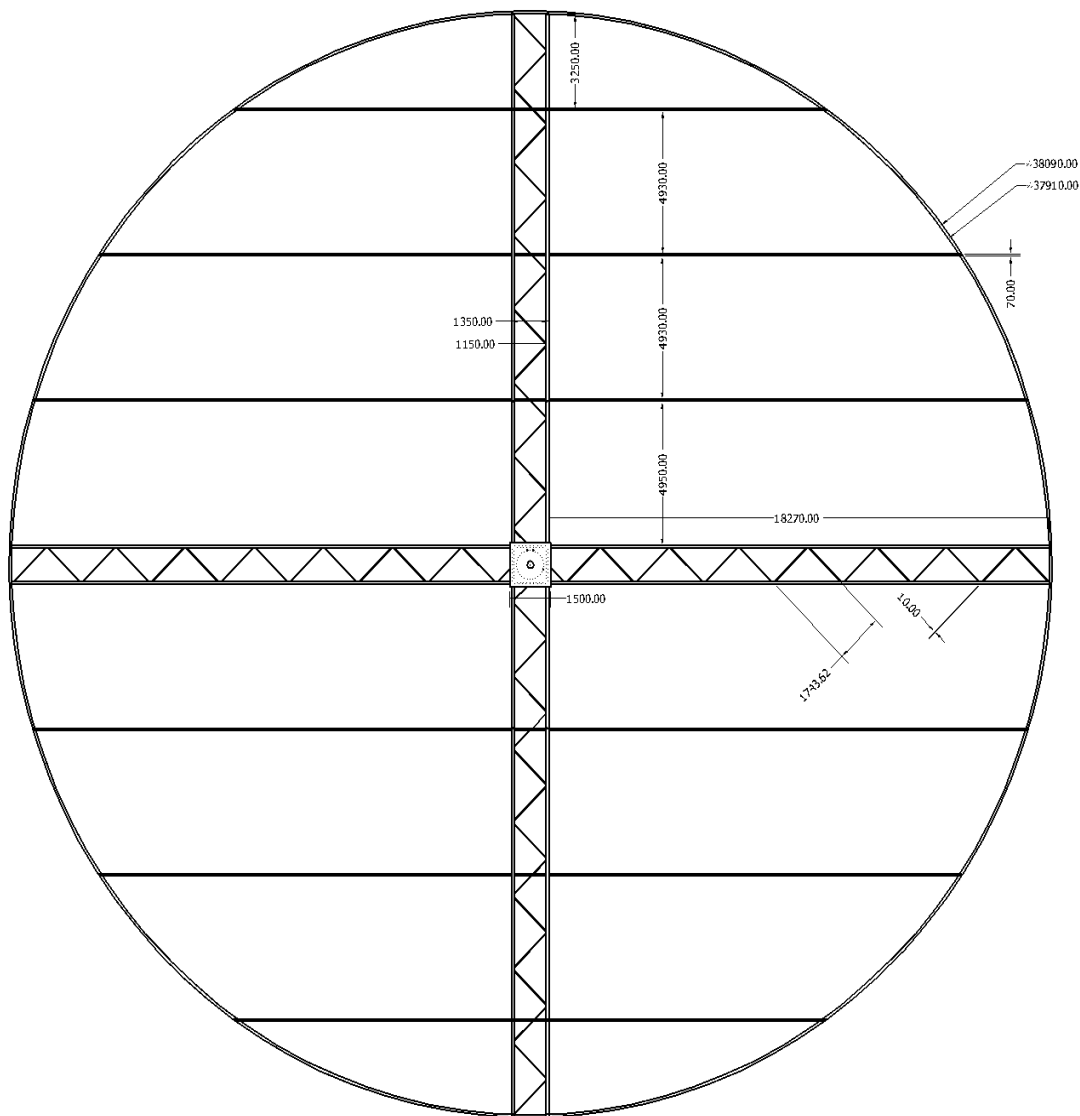
Εικόνα 4.1 Ηλιοστάτης Κυκλικής Μορφής

Αφαιρώντας τα πάνελ από την κατασκευή, ο ηλιοστάτης παίρνει την ακόλουθη μορφή:

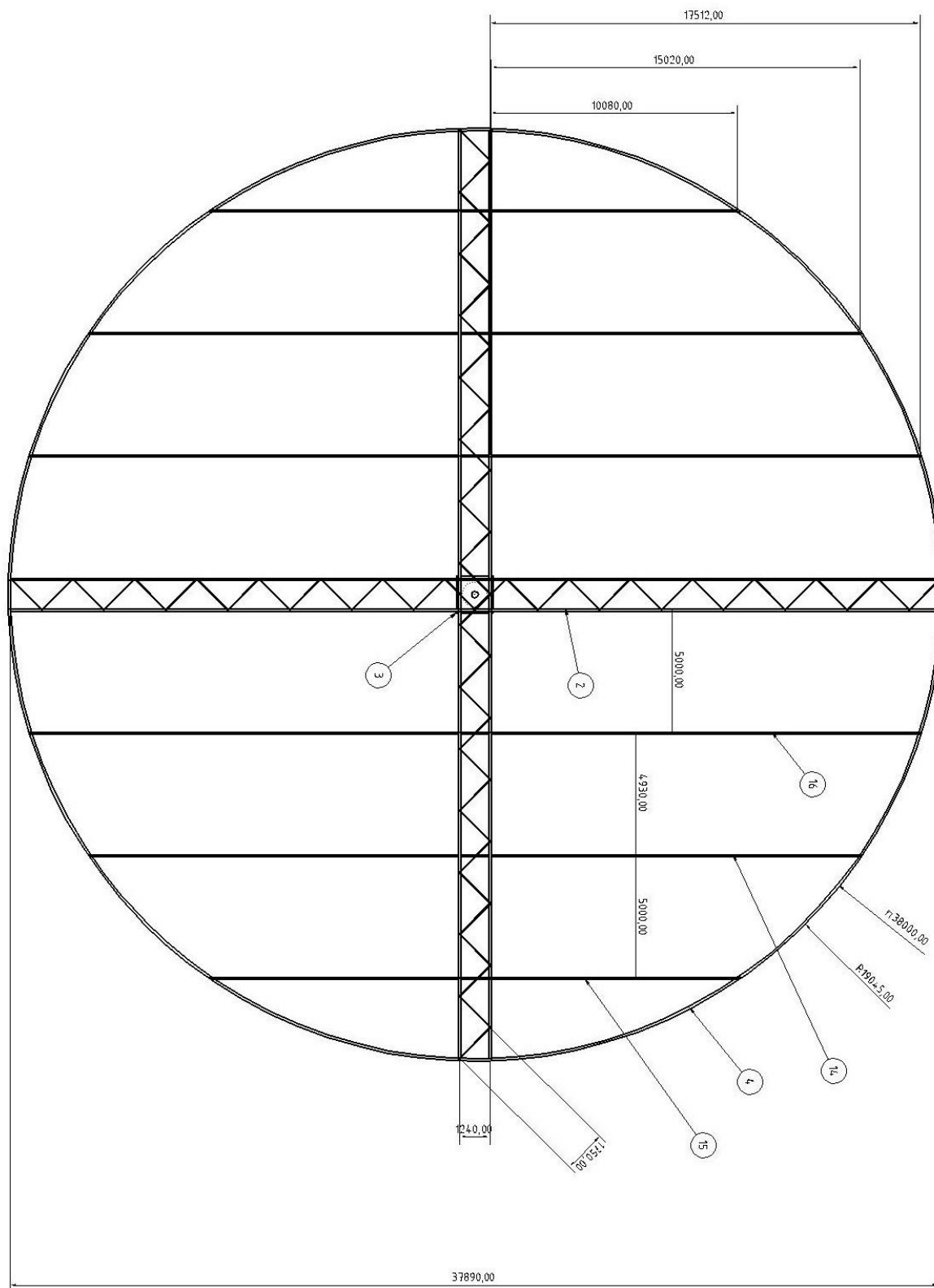


Εικόνα 4.2 Ηλιοστάτης με αφαιρεμένα τα πάνελς

Οι διαστάσεις του μοντέλου μας έχουν ληφθεί από αρχεία Autocad και είναι οι ακόλουθες:

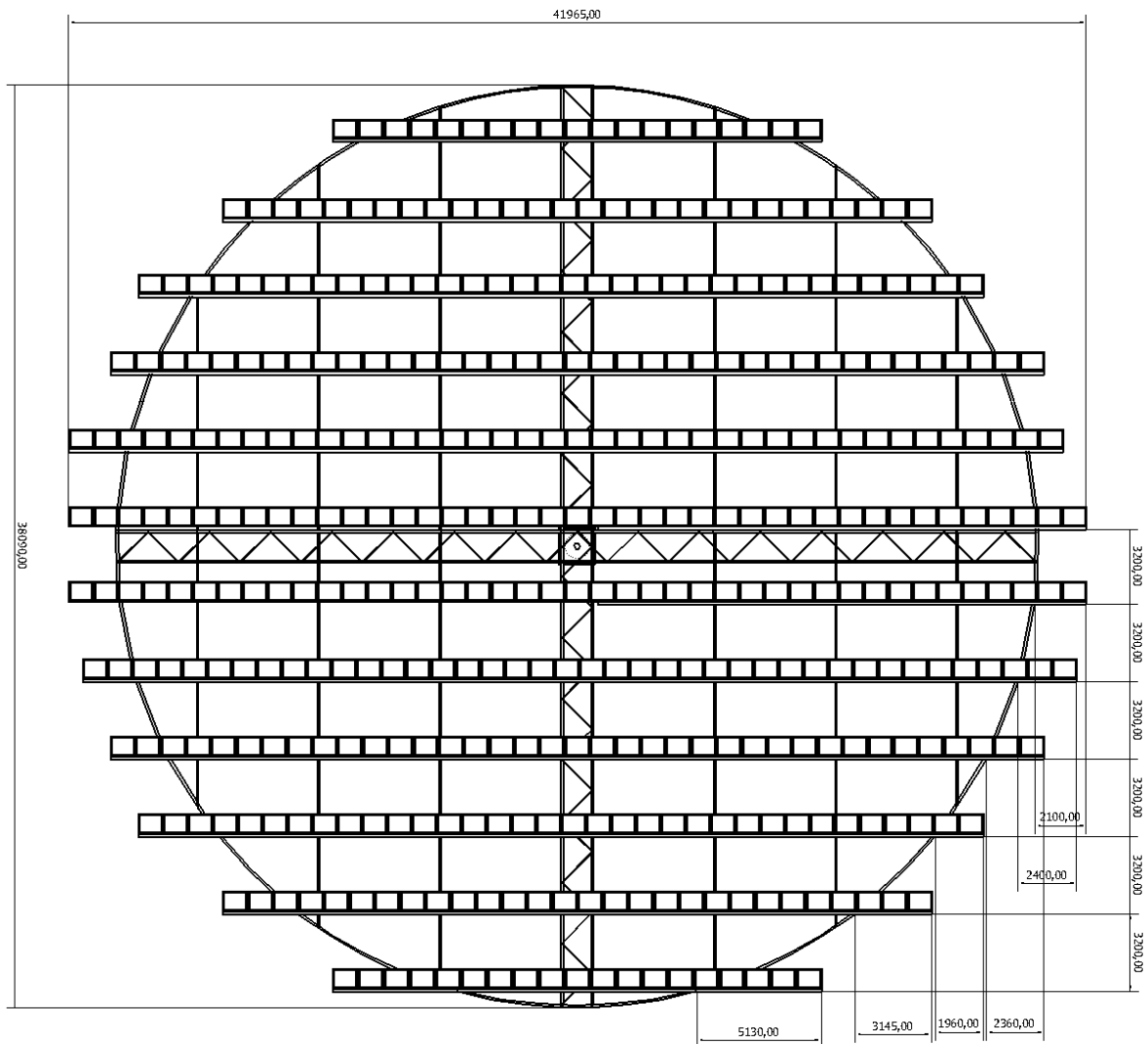


Εικόνα 4.3 Διαστασιολογημένο Μοντέλο



Εικόνα 4.4 Διαστασιολογημένο Μοντέλο

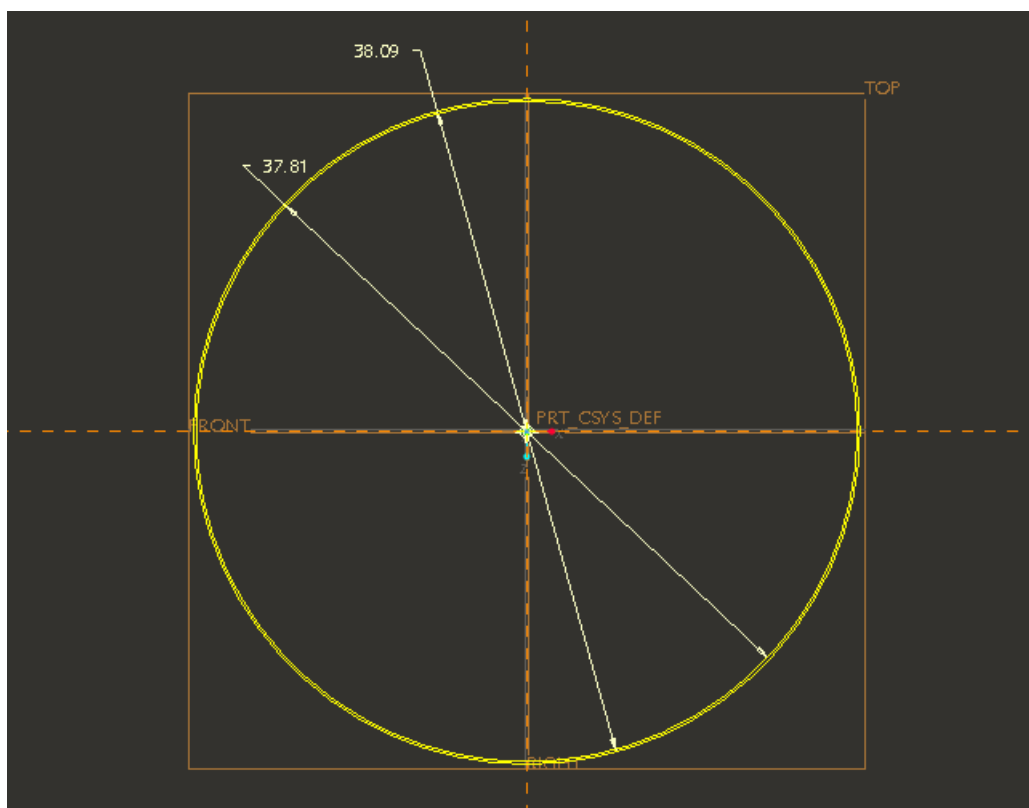
Οι αποστάσεις και η τοποθεσία των σειρών των πάνελ είναι αυτές που φαίνονται στην Εικόνα 4.5.



Εικόνα 4.5 Διαστασιολογημένο Μοντέλο με τοποθετημένα πάνελς

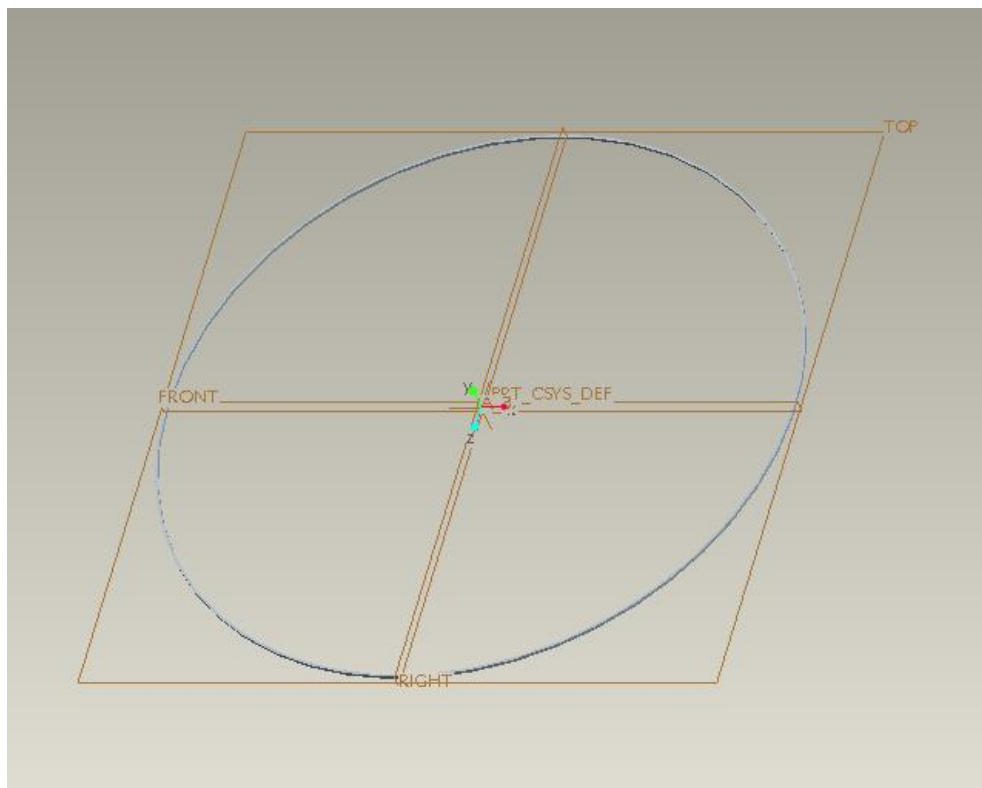
4.2 Σχεδίαση με το Pro-engineer

Στη συνέχεια σχεδιάζουμε την κατασκευή μας με τη βοήθεια του προγράμματος Pro-engineer. Για τον σχεδιασμό του κυκλικού φορέα επιλέγουμε το Top Datum Plane και σχεδιάζουμε δύο ομόκεντρους κύκλους με διαμέτρους 38m και 37.8m αντίστοιχα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.6.



Εικόνα 4.6 Διδιάστατο σχέδιο του κυκλικού φορέα

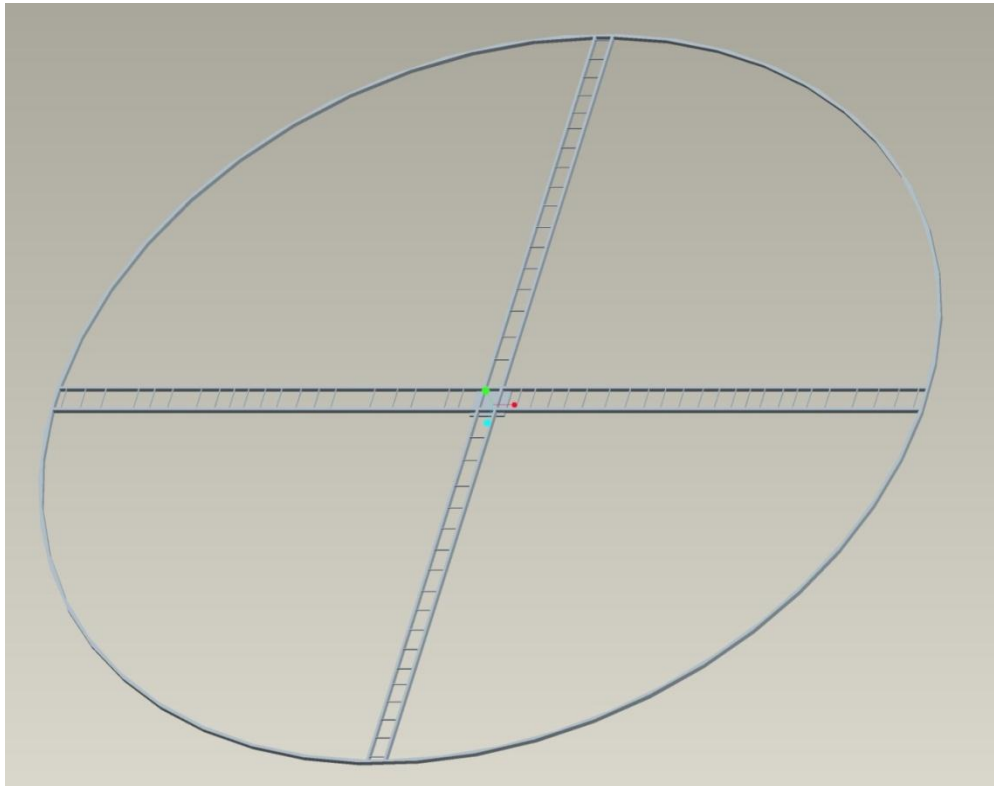
Πατώντας το ακόλουθο κουμπί ☒ εμφανίζεται το επόμενο σχήμα :



Εικόνα 4.7 Τριδιάστατο σχέδιο του κυκλικού φορέα

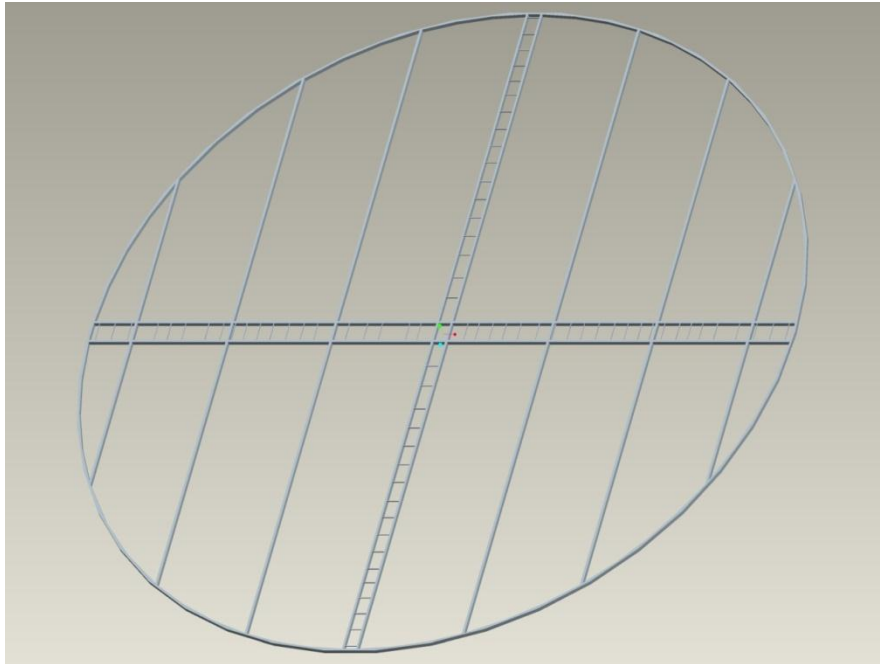
Στη συνέχεια κατασκευάζουμε τον άξονα περιστροφής της κατασκευής μας, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.8, ο οποίος θα τοποθετηθεί ομόκεντρα με τον κύκλο που σχεδιάσαμε στο προηγούμενο σχήμα.

Η τελική μορφή του σχήματος είναι η ακόλουθη:



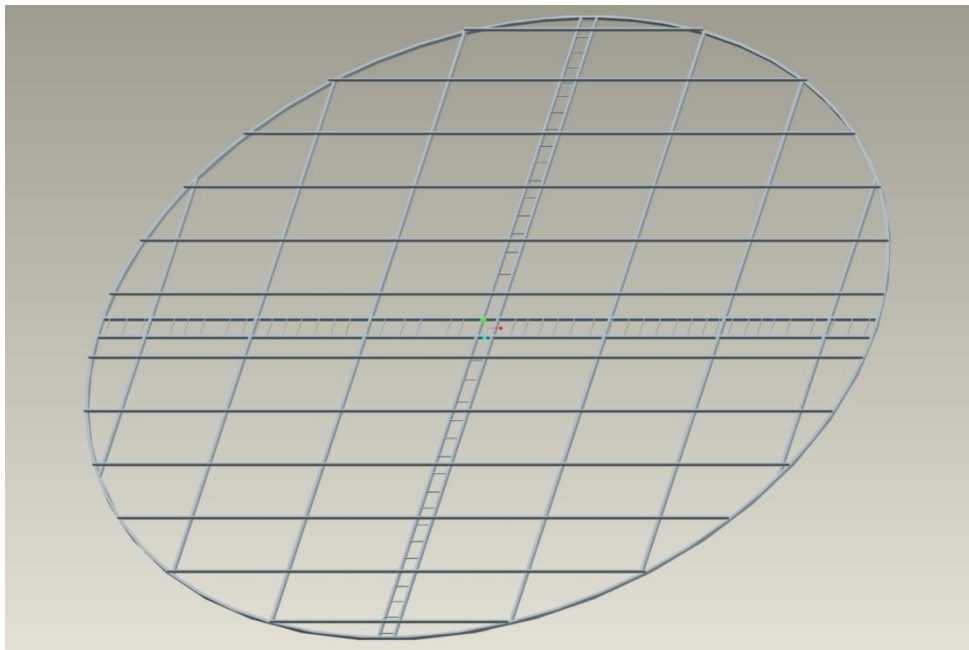
Εικόνα 4.10 Τελικό σχήμα

Πάνω στο σχέδιο της Εικόνας (4.10), σχεδιάζουμε τις έξι δοκούς του ηλιοστάτη, όπως φαίνεται στην Εικόνα (4.11):



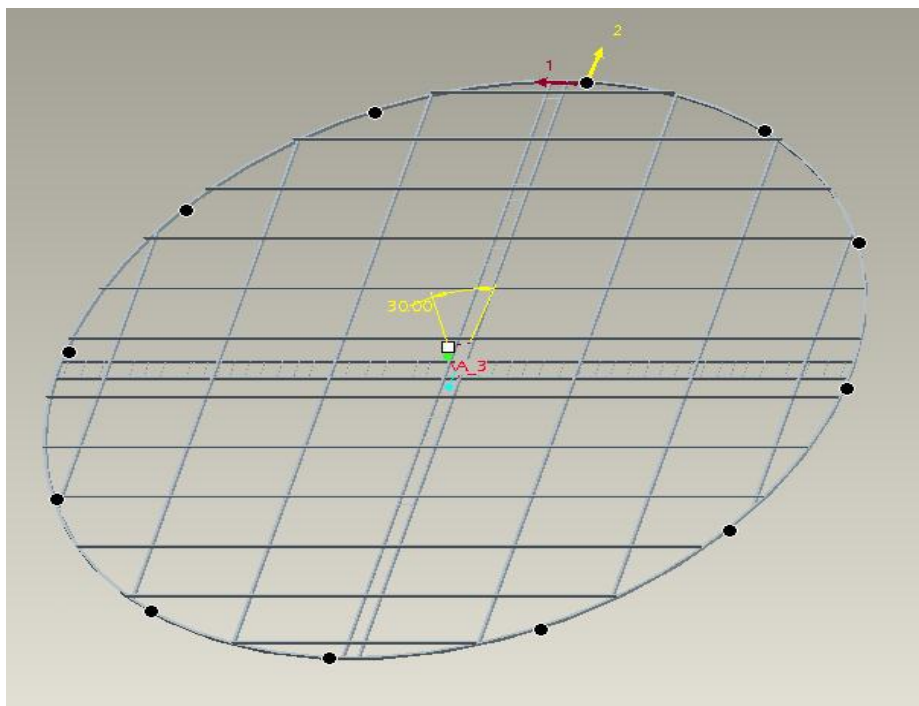
Εικόνα 4.11 Τελικό σχήμα με την προσθήκη των έξι δοκών

Επιπροσθέτως για να μπορέσουν να εφαρμοστούν οι δυνάμεις των πάνελ είναι απαραίτητο να σχεδιαστούν δώδεκα δοκοί επιπλέον.

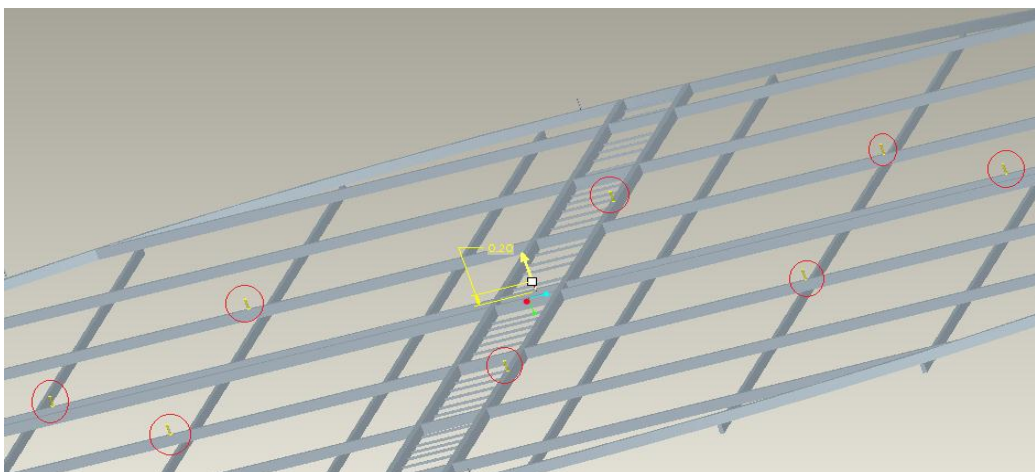


Εικόνα 4.12 Σχήμα με την προσθήκη δώδεκα επιπλέον δοκών

Ακόμη για να μπορέσουν να εφαρμοστούν οι κατάλληλες στηρίξεις για την ελαχιστοποίηση της παραμόρφωσης του μοντέλου μας, σχεδιάζουμε στην εξωτερική πλευρά της περιμέτρου του σχήματος μας δώδεκα στηρίξεις Εικόνα (4.13) και άλλες οχτώ, εφτά μέτρα γύρω από το κέντρο Εικόνα (4.14).

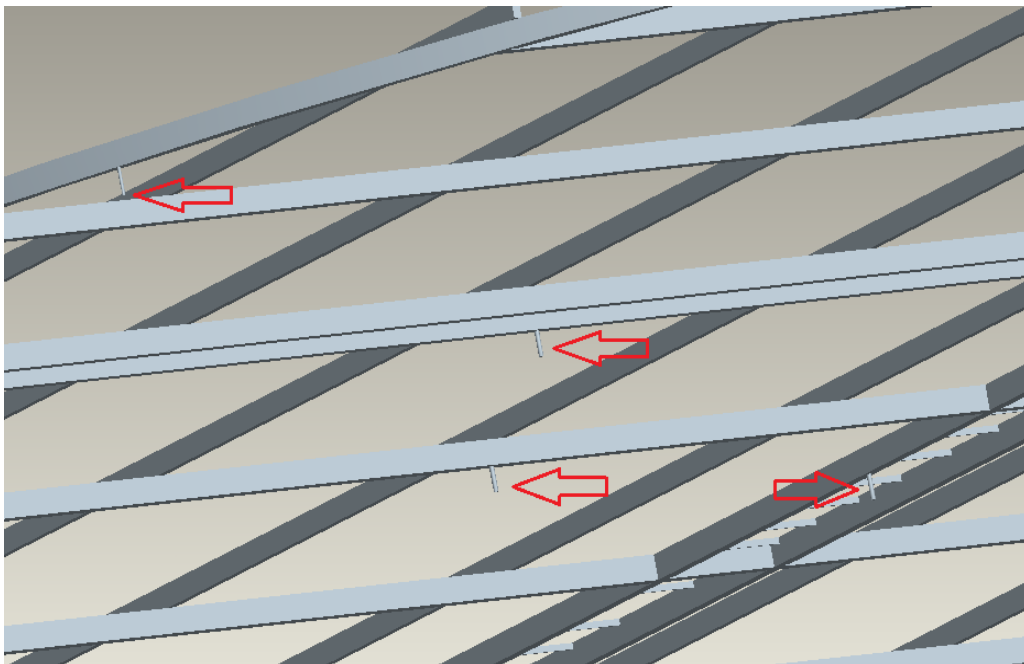


Εικόνα 4.13 Οι δώδεκα επιπλέον στηρίξεις στην εξωτερική πλευρά της περιμέτρου



Εικόνα 4.14 Οι υπόλοιπες οκτώ στηρίξεις

Οι στηρίξεις έχουν την ακόλουθη μορφή πάνω στο σχήμα:

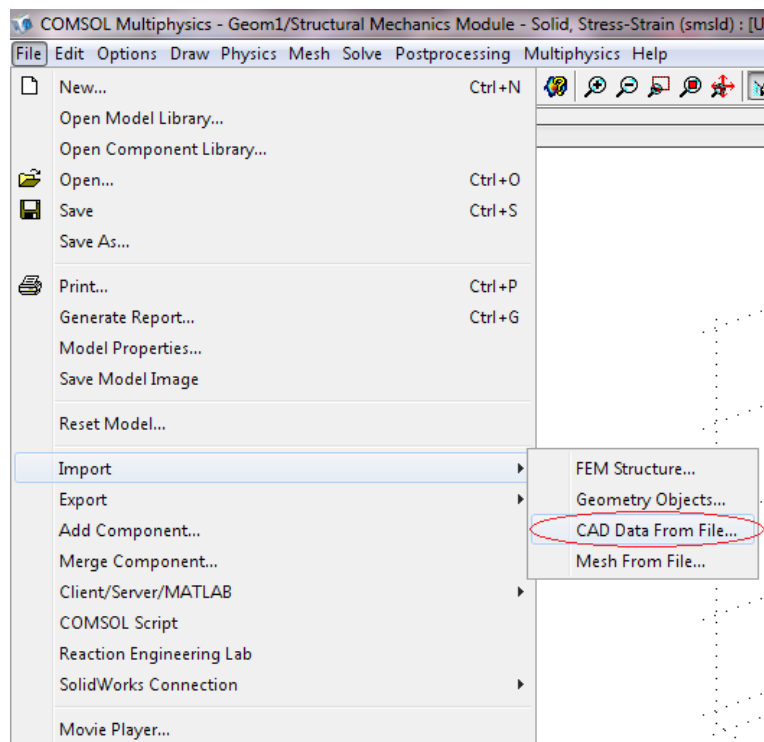


Εικόνα 4.15 Μορφή και φορά των στηρίξεων

4.3 Πρόγραμμα Comsol

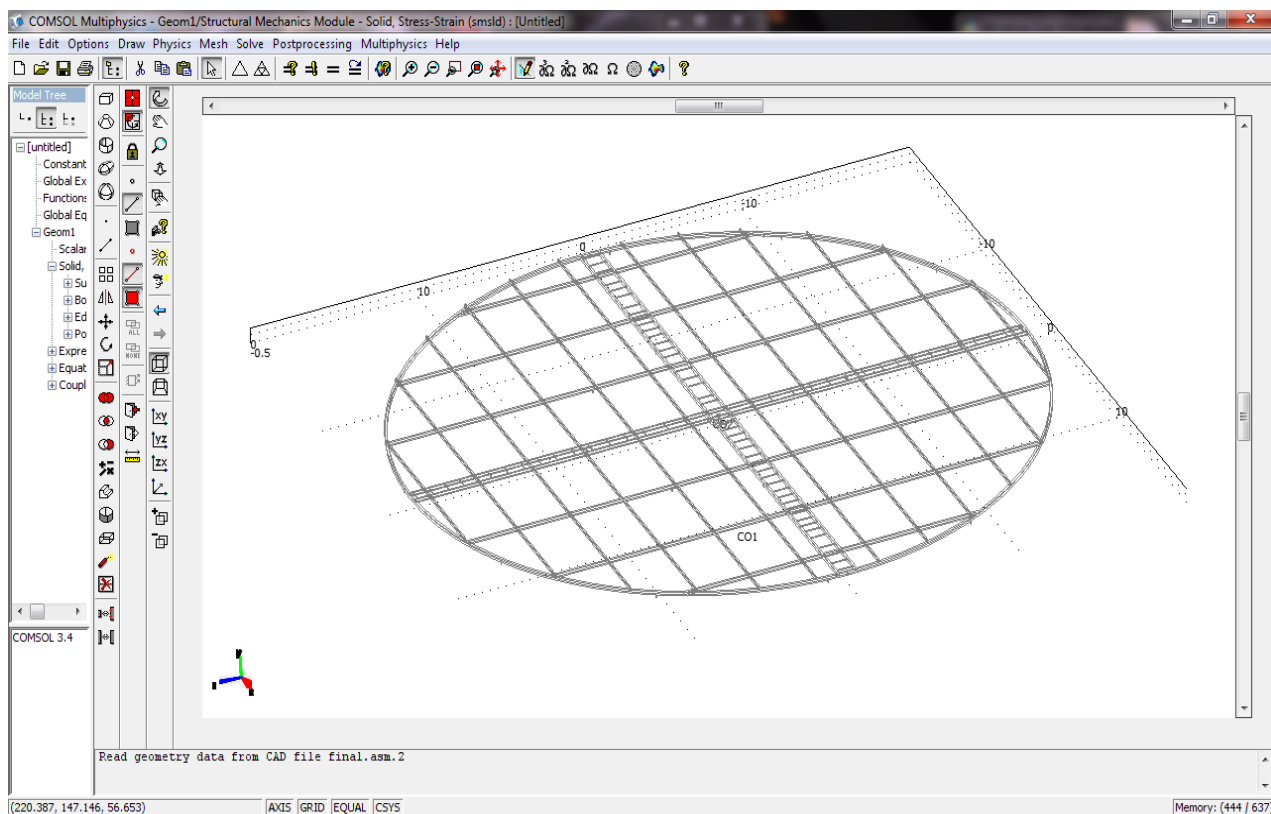
4.3.1 Εισαγωγή μοντέλου στο Comsol

Για την εισαγωγή του μοντέλου μας στο Comsol πηγαίνουμε στο menu file επιλέγουμε import και μετά την εντολή CAD Data From File.



Εικόνα 4.16 Εισαγωγή του μοντέλου στο COMSOL

Κάνοντας την παραπάνω διαδικασία παίρνουμε το ακόλουθο σχήμα:



Εικόνα 4.17 Τελικό σχήμα όπως φαίνεται στο COMSOL

4.3.2 Υπολογισμός δυνάμεων και τοποθέτηση στο Comsol

Στη συνέχεια προχωράμε στον υπολογισμό των δυνάμεων που απαιτούνται σε αυτήν την κατασκευή. Οι δυνάμεις είναι οι εξής:

- 1) Βάρος των πάνελ
- 2) Δύναμη του χιονιού
- 3) Αδρανειακή δύναμη
- 4) Δύναμη του ανέμου

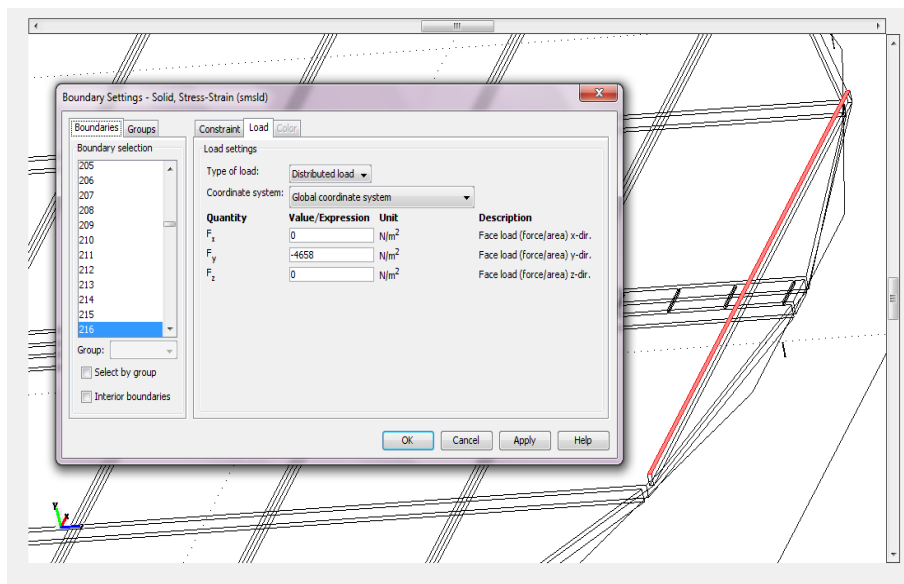
Υπολογισμός του βάρους των πάνελ

Θα ξεκινήσουμε την μελέτη μας με τον υπολογισμό του βάρους των πάνελ. Γνωρίζουμε ότι η κατασκευή μας έχει συνολικά 12 σειρές με πάνελ, όπου το κάθε ημικύκλιο της κατασκευής μας περιέχει 6 σειρές με πάνελ. Ξεκινώντας τη μέτρησή μας από την δοκό που βρίσκεται στην άκρη του κύκλου και πηγαίνοντας προς το κέντρο βρήκαμε ότι η κάθε δοκός έχει 19, 28, 34, 36, 41 και 42 πάνελ αντίστοιχα. Το κάθε πάνελ ζυγίζει 25kg, δηλαδή 245,167N (25×9.80665). Επομένως έχουμε:

1^η δοκός: $19 \times 25 \text{ Kg} = 475 \text{ Kg}$ άρα 4658.159 N
 2^η δοκός: $28 \times 25 \text{ Kg} = 700 \text{ Kg}$ άρα 6864.655 N
 3^η δοκός: $34 \times 25 \text{ Kg} = 850 \text{ Kg}$ άρα 8335.653 N
 4^η δοκός: $36 \times 25 \text{ Kg} = 900 \text{ Kg}$ άρα 8825.985 N
 5^η δοκός: $41 \times 25 \text{ Kg} = 1025 \text{ Kg}$ άρα 10051.82 N
 6^η δοκός: $42 \times 25 \text{ Kg} = 1050 \text{ Kg}$ άρα 10296.98 N

Αυτά τα βάρη τοποθετούνται στο comsol σύμφωνα με τον ακόλουθο τρόπο:

Πηγαίνουμε στο menu , πατάμε Physics→ Boundary Settings→ στην καρτέλα Load , επιλέγουμε την επιφάνεια που θέλουμε να τοποθετήσουμε τη δύναμη και βάζουμε την τιμή της δύναμης στο αντίστοιχο κουτί (F_y) όπως φαίνεται στην Εικόνα (4.18).



Εικόνα 4.18 Τοποθέτηση της δύναμης του βάρους σε μία πλευρά κατά τον άξονα y

Υπολογισμός της δύναμης του βάρους του χιονιού

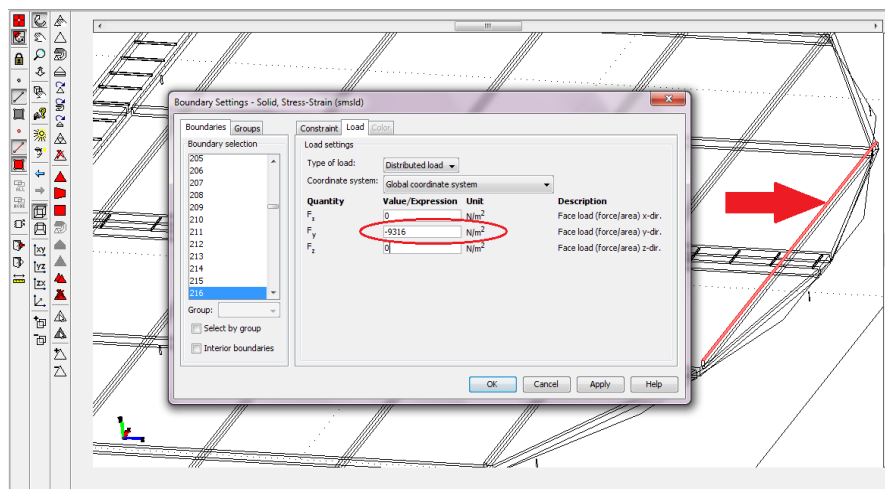
Προχωράμε στον υπολογισμό της δύναμης του χιονιού. Γνωρίζουμε ότι όταν υπάρχει χιόνι το κάθε πάνελ επιβαρύνεται επιπλέον με 25kg. Επομένως η δύναμη του χιονιού σε κάθε δοκό είναι η ακόλουθη:

1^η δοκός: $19 \times 25 \text{ Kg} = 475 \text{ Kg}$ άρα 4658.159 N
 2^η δοκός: $28 \times 25 \text{ Kg} = 700 \text{ Kg}$ άρα 6864.655 N
 3^η δοκός: $34 \times 25 \text{ Kg} = 850 \text{ Kg}$ άρα 8335.653 N
 4^η δοκός: $36 \times 25 \text{ Kg} = 900 \text{ Kg}$ άρα 8825.985 N
 5^η δοκός: $41 \times 25 \text{ Kg} = 1025 \text{ Kg}$ άρα 10051.82 N
 6^η δοκός: $42 \times 25 \text{ Kg} = 1050 \text{ Kg}$ άρα 10296.98 N

Το συνολικό βάρος των δοκών(βάρος πάνελ και βάρος χιονιού) είναι:

- 1^η δοκός: $475 \times 2 = 950 \text{ kg}$ άρα 9316 N
 2^η δοκός: $700 \times 2 = 1400 \text{ kg}$ άρα 13728 N
 3^η δοκός: $850 \times 2 = 1700 \text{ kg}$ άρα 16670 N
 4^η δοκός: $900 \times 2 = 1800 \text{ kg}$ άρα 17650 N
 5^η δοκός: $1025 \times 2 = 2050 \text{ kg}$ άρα 20100 N
 6^η δοκός: $1050 \times 2 = 2100 \text{ kg}$ άρα 20592 N

Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία με τον υπολογισμό του βάρους των πάνελ τοποθετούμε στο Comsol στον άξονα y την συνολική δύναμη του βάρους των πάνελ και τη δύναμη του χιονιού όπως φαίνεται στην Εικόνα (4.19).



Εικόνα 4.19 Τοποθέτηση της δύναμης του βάρους των πάνελ και του χιονιού σε μία πλευρά κατά τον άξονα y.

Υπολογισμός της αδρανειακής δύναμης

Η αδρανειακή δύναμη είναι η δύναμη που σχετίζεται με την επιτάχυνση. Ο τύπος που δίνει την αδρανειακή δύναμη είναι ο ακόλουθος:

$$F = m \times a$$

όπου m η μάζα του σώματος, a η επιτάχυνση (u/t), u η ταχύτητα και t ο χρόνος επιβράδυνσης της κατασκευής μας.

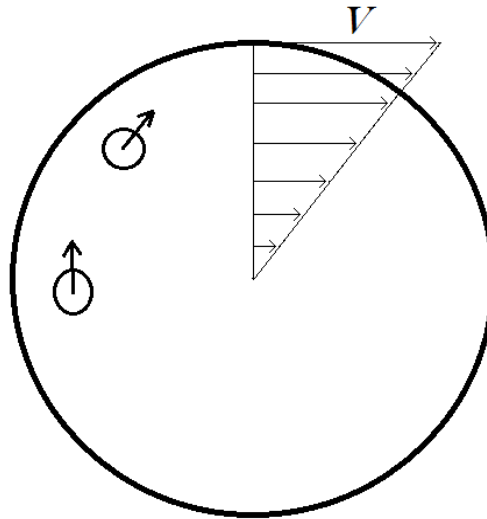
Για το υπολογισμό της μάζας έχουμε:

$$m = \rho \times V$$

, όπου ρ η πυκνότητα του υλικού (το υλικό μας είναι χάλυβας ASTM A514 και η πυκνότητά του είναι $\rho = 7860 \text{ kg/m}^3$) και V ο όγκος της κατασκευής μας (υπολογίζεται μέσω εντολής του Comsol και είναι $V = 15.020663 \text{ m}^3$).

Για τον υπολογισμό της αδρανειακής δύναμης στο μοντέλο μας ακολουθούμε την εξής διαδικασία:

Αρχικά υπολογίζουμε την συνολική μάζα της κατασκευής μας (m). Κάθε στοιχείο της μάζας του μοντέλου μας έχει μια συγκεκριμένη ταχύτητα και μια συγκεκριμένη επιτάχυνση. Επειδή δεν μπορούμε να υπολογίσουμε την ταχύτητα για κάθε στοιχείο της μάζας ξεχωριστά χωρίζουμε την κατασκευή μας σε οχτώ φέτες όπως φαίνεται στην Εικόνα (4.20) και η κάθε φέτα έχει συνολική μάζα $m/8$.



Εικόνα 4.20 Απεικόνιση της ταχύτητας και της μάζας σε κάθε φέτα

Συμπυκνώνουμε την συνολική μάζα της φέτας σε μία μάζα και της θέτουμε μία μέση ταχύτητα που ισούται με την μέγιστη ταχύτητα του τελευταίου στοιχείου της μάζας (δηλαδή το πιο απομακρυσμένο στοιχείο μαζας από τον άξονα περιστροφής του μοντέλου, που έχει ταχύτητα u_i). Άρα έχουμε οχτώ ίσες μέσες ταχύτητες (και επιταχύνσεις) και οχτώ ίσες μάζες που περιστρέφονται γύρω από τον άξονα περιστροφής του μοντέλου.

Έπειτα βρίσκω την αδρανειακή δύναμη σε κάθε φέτα απο τον τύπο:

$$F = m/8 \times a$$

, όπου $a = u/t$.

Γνωρίζουμε ότι η ταχύτητα του μοντέλου είναι:

$$u = 50 \text{ cm/min}$$

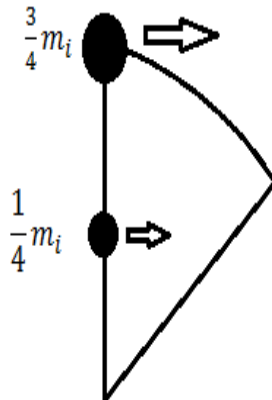
και ότι ο χρόνος επιβράδυνσης μας είναι $t = 2 \text{ sec}$.

Για να τα μετατρέψουμε σε ίδιες μονάδες έχουμε ότι

$$\rightarrow 50 \text{ cm/min} = (50 \times 10^{-2})/60 \text{ m/s} \rightarrow u = 0.008 \text{ m/s}.$$

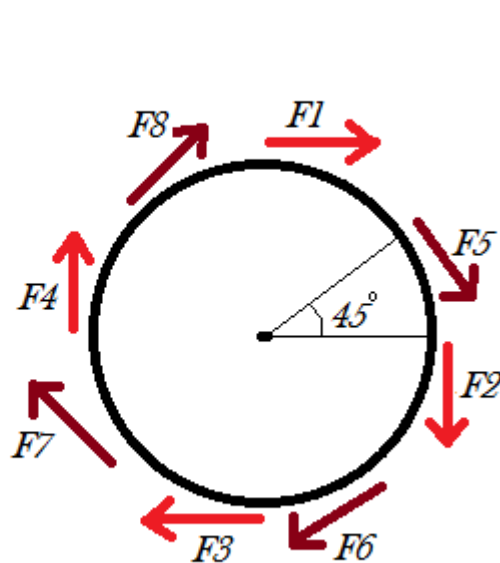
Επομένως η επιτάχυνση είναι $a = 0.004 \text{ m/s}^2$.

Για να έχουμε πιο ομαλή εφαρμογή της αδρανειακής δύναμης μοιράζουμε την δύναμη σε δύο σημεία σε κάθε φέτα και την εφαρμόζουμε κατάλληλα στο πρόγραμμα. Στην Εικόνα (4.21) φαίνεται αυτή η απεικόνιση, όπου m_i είναι η μάζα της κάθε φέτας.



Εικόνα 4.21 Εφαρμογή της αδρανειακής δύναμης

Τα σημεία εφαρμογής της αδρανειακής δύναμης στο μοντέλο μας φαίνονται στην Εικόνα (4.22). Τα σημεία απέχουν μεταξύ τους απόσταση ίση με το τόξο που διαγράφει γωνία κλίσης 45° μοιρών.



Εικόνα 4.22 Τοποθέτηση της αδρανειακής δύναμης

Οι αδρανειακές δυνάμεις F_1 , F_3 βρίσκονται κατά την θετική και κατά την αρνητική φορά του άξονα x αντίστοιχα και έχουν την ακόλουθη τιμή:

$$F_3 = - F_1 = 14757.77193 \times 0.004 = 59.03108772 \text{ N}$$

Οι αδρανειακές δυνάμεις F_2 , F_4 βρίσκονται κατά την αρνητική και κατά την θετική φορά του άξονα z αντίστοιχα και έχουν την ακόλουθη τιμή:

$$F_2 = - F_4 = 59.03108772 \text{ N}$$

Όσον αφορά τις αδρανειακές δυνάμεις F_5 , F_6 , F_7 , F_8 έχουμε την ανάλυση τους στους άξονες x και z. Επομένως:

Για την F_5 έχουμε ότι αναλύεται στην θετική πλευρά του άξονα x και στην αρνητική πλευρά του άξονα z με τιμές:

$$F_{5x} = \cos 45^\circ \times 59.03108772 = 41.74 \text{ N}$$

$$F_{5z} = \sin 45^\circ \times 59.03108772 = 41.74 \text{ N}$$

Για την F_6 έχουμε ότι αναλύεται στην αρνητική πλευρά του άξονα x και στην αρνητική πλευρά του άξονα z με τιμές:

$$F_{6x} = 41.74 \text{ N}$$

$$F_{6z} = 41.74 \text{ N}$$

Για την F_7 έχουμε ότι αναλύεται στην αρνητική πλευρά του άξονα x και στην θετική πλευρά του άξονα z με τιμές:

$$F_{7x} = - 41.74 \text{ N}$$

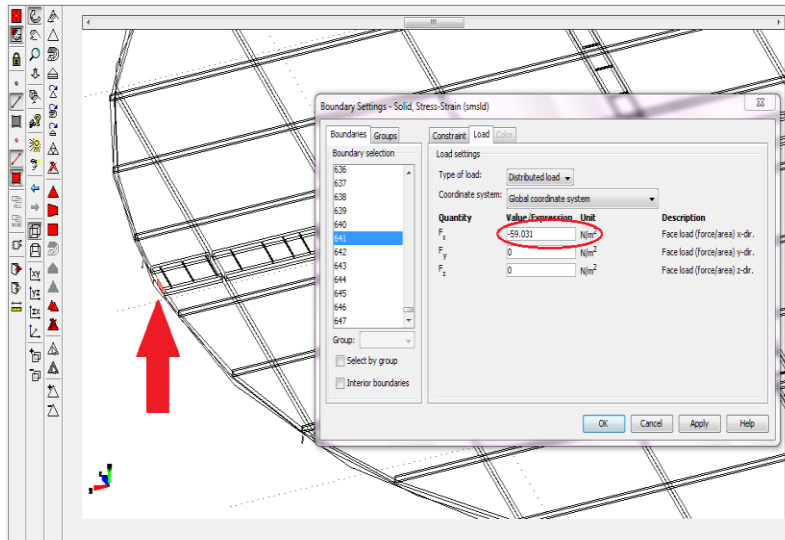
$$F_{7z} = 41.74 \text{ N}$$

Για την F_8 έχουμε ότι αναλύεται στην θετική πλευρά του άξονα x και στην θετική πλευρά του άξονα z με τιμές:

$$F_{8x} = 41.74 \text{ N}$$

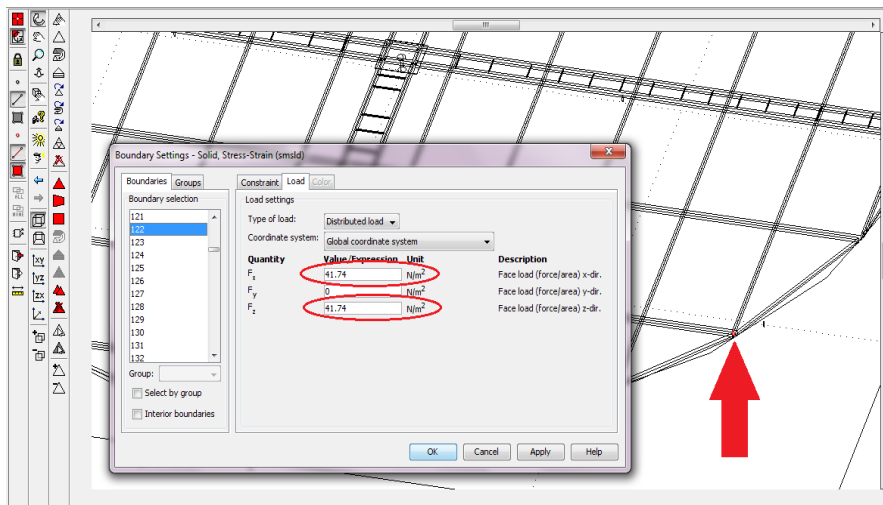
$$F_{8z} = 41.74 \text{ N}$$

Στο Comsol οι αδρανειακές δυνάμεις F_1 , F_3 τοποθετούνται στον άξονα x όπως φαίνονται στην Εικόνα (4.23).



Εικόνα 4.23 Τοποθέτηση της αδρανειακής δύναμης κατά τον άξονα x.

Αντίστοιχα οι αδρανειακές δυνάμεις (F_5 , F_6 , F_7 , F_8) τοποθετούνται στον άξονα x και στον άξονα z όπως φαίνονται στην Εικόνα (4.24).



Εικόνα 4.24 Τοποθέτηση της αδρανειακής δύναμης κατά τους άξονες x και z.

Υπολογισμός της δύναμης του ανέμου

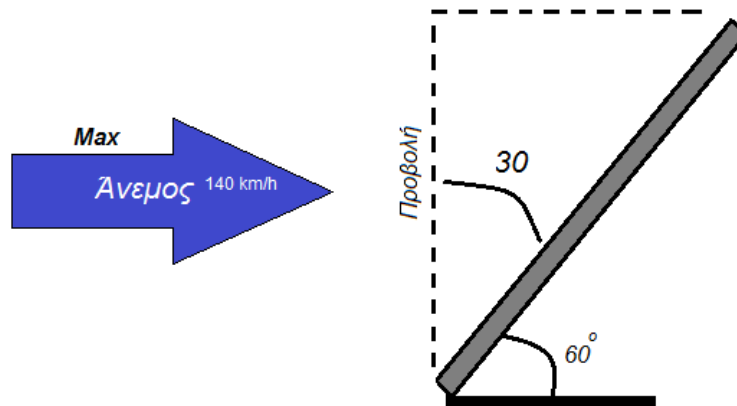
Ο άνεμος επιδρά πάνω στα πάνελ όπως στην εικόνα (4.25). Θεωρούμε ότι η δύναμη του ανέμου θα είναι το 10% της δύναμης του βάρους των πάνελ της μισής κατασκευής. Το συνολικό βάρος των πάνελ είναι το ακόλουθο:

$$(4658.159 + 6864.655 + 8335.653 + 8825.985 + 10051.82 + 10296.98) =$$

$$= 49033.252 \text{ N}$$

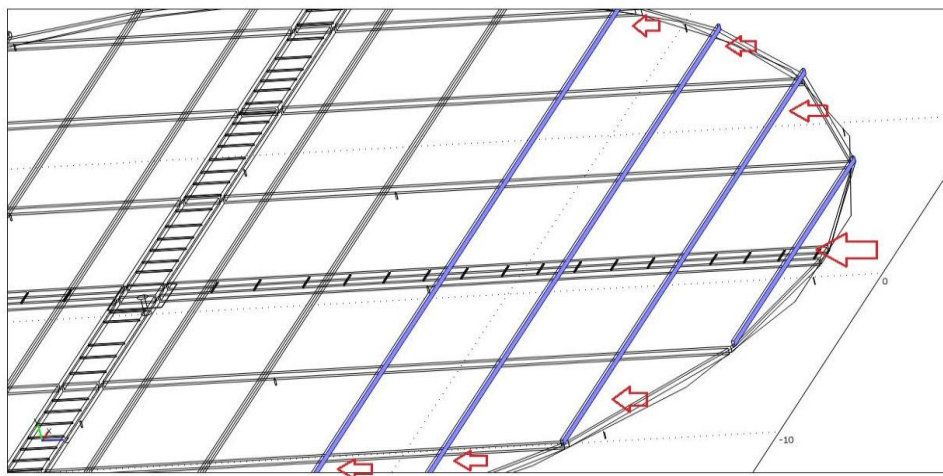
Επομένως η συνολική δύναμη του ανέμου είναι :

$$49033.252 \times 0.10 = 4903.3252 \text{ N}$$



Εικόνα 4.25 Επίδραση ανέμου

Αυτή η δύναμη εφαρμόζεται στο μοντέλο μας σύμφωνα με τον ακόλουθο τρόπο: Στην πρώτη δοκό όπως κοιτάμε το μοντέλο μας με μηδενική περιστροφή εφαρμόζεται το 60% της συνολικής δύναμης του ανέμου , στη δεύτερη δοκό το 20% , στην τρίτη και τέταρτη το υπόλοιπο 20% αντίστοιχα, όπως φαίνεται στην Εικόνα (4.26).



Εικόνα 4.26 Εφαρμογή του ανέμου

Επομένως έχουμε:

$$1^{\text{η}} \text{ δοκός: } 0.6 \times 4903.3252 = 2941.9 \text{ N}$$

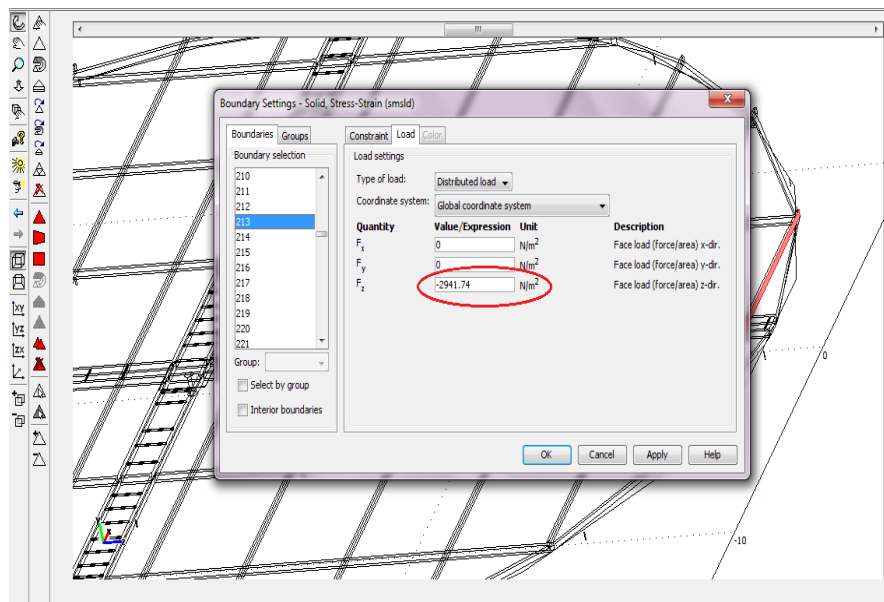
$$2^{\text{η}} \text{ δοκός: } 0.2 \times 4903.3252 = 980.58 \text{ N}$$

$$3^{\text{η}} \text{ δοκός: } 0.1 \times 4903.3252 = 490.29 \text{ N}$$

$$4^{\text{η}} \text{ δοκός: } 0.1 \times 4903.3252 = 490.29 \text{ N}$$

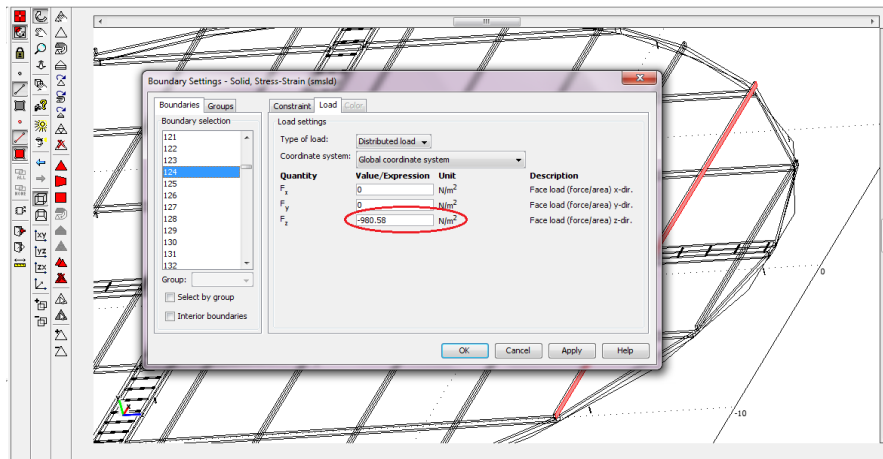
Οι τιμές αυτές θα τοποθετηθούν στην μπροστινή πλευρά της κάθε δοκού με αρνητική τιμή διότι εφαρμόζονται κατά την αρνητική φορά του άξονα z (Εικόνες 4.27, 4.28, 4.29). Αυτό επιτυγχάνεται πηγαίνοντας στο menu, πατώντας Physics→ Boundary Settings→ στην καρτέλα Load, επιλέγοντας την επιφάνεια που θέλουμε να τοποθετήσουμε τη δύναμη και βάζοντας την τιμή της δύναμης στο αντίστοιχο κουτί (F_z).

Επομένως για την πρώτη δοκό έχουμε :



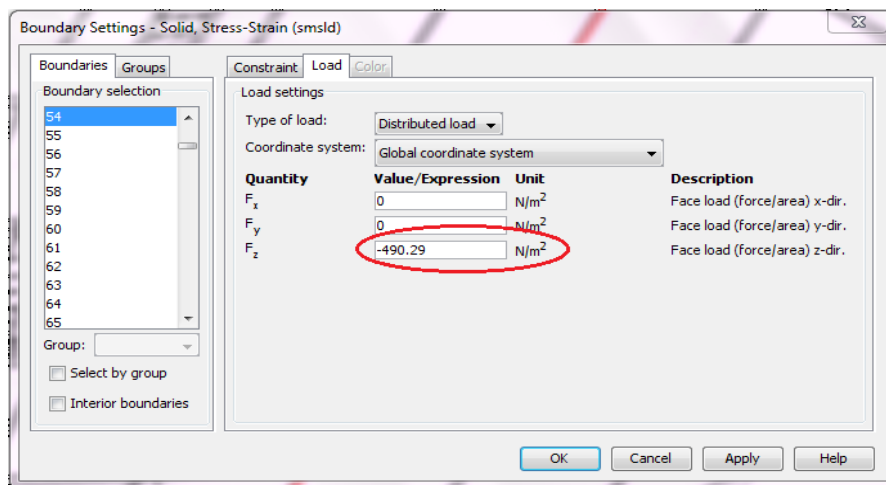
Εικόνα 4.27 Εφαρμογή της δύναμης του ανέμου κατά τον άξονα z στην 1^η δοκό

Για την δεύτερη δοκό έχουμε :



Εικόνα 4.28 Εφαρμογή της δύναμης του ανέμου κατά τον άξονα z στην 2^η δοκό

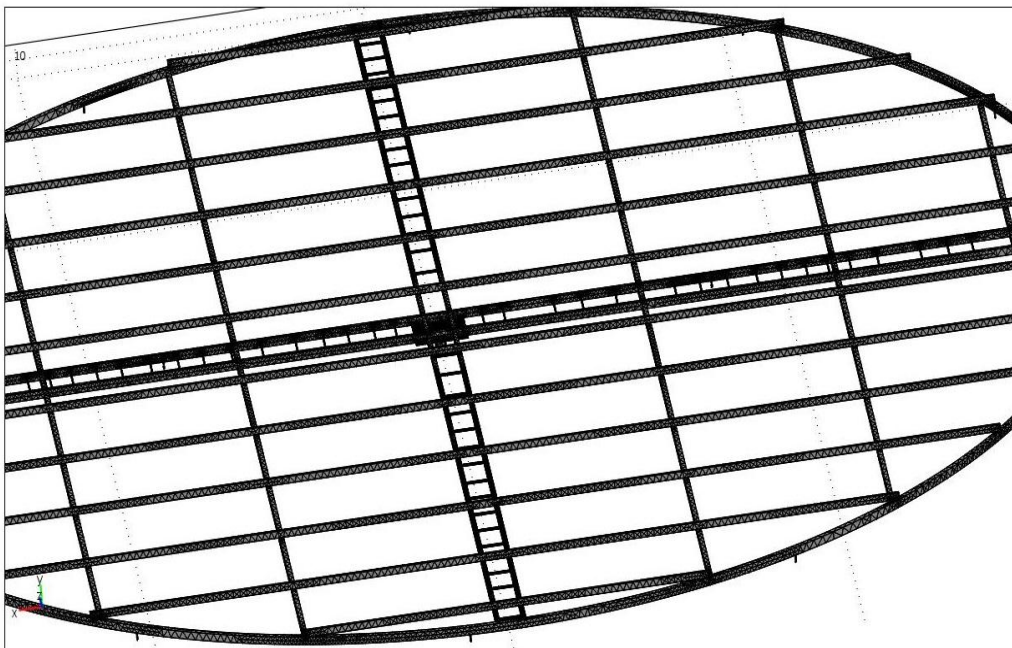
Για την τρίτη και τέταρτη δοκό έχουμε :



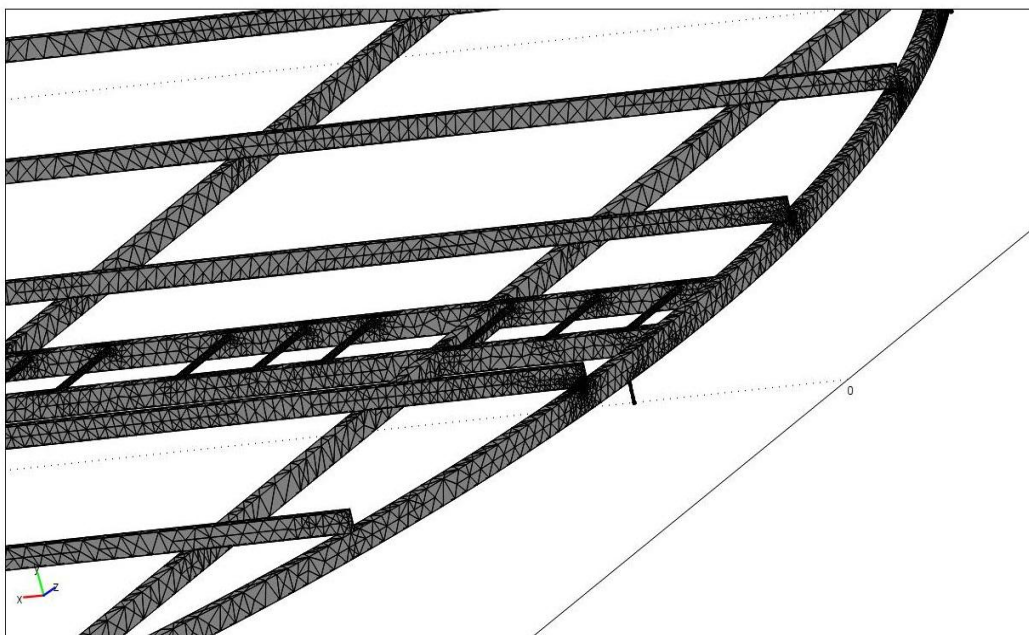
Εικόνα 4.29 Εφαρμογή της δύναμης του ανέμου κατά τον άξονα z στην 3^η και 4^η δοκό.

4.3.3 Πλεγματοποίηση (MESH)

Αφότου τοποθετήσω όλες τις δυνάμεις στο comsol στη συνέχεια κάνω πλεγματοποίηση. Η πλεγματοποίηση μας βοηθάει να υπολογίσουμε τις δυνάμεις και τις τάσεις σε οποιοδήποτε σημείο στο μοντέλο μας. Αυτό επιτυγχάνεται πατώντας το ακόλουθο κουμπί . Η πλεγματοποίηση φαίνεται στην εικόνα (4.30)



Εικόνα 4.30 Πλεγματοποίηση μοντέλο
Σε περίπτωση που κάνουμε zoom το μοντέλο μας φαίνεται όπως στη Εικόνα (4.31).



Εικόνα 4.31 Πλεγματοποίηση μοντέλου

Κεφάλαιο 5

Αποτελέσματα και Συμπεράσματα

Στο κεφάλαιο αυτό θα ασχοληθούμε με την επίλυση και τον σχολιασμό των αποτελεσμάτων του μοντέλου μας. Θα μελετήσουμε το μοντέλο μας σε δύο φάσεις:

- 1^η φάση: Μοντέλο με την επίδραση του βάρους των πάνελ, της δύναμης του ανέμου και της αδρανειακής δύναμης. (*Μοντέλο ανέμου*)
- 2^η φάση: Μοντέλο με την επίδραση του βάρους των πάνελ, της δύναμης του χιονιού και της αδρανειακής δύναμης. (*Μοντέλο χιονιού*)

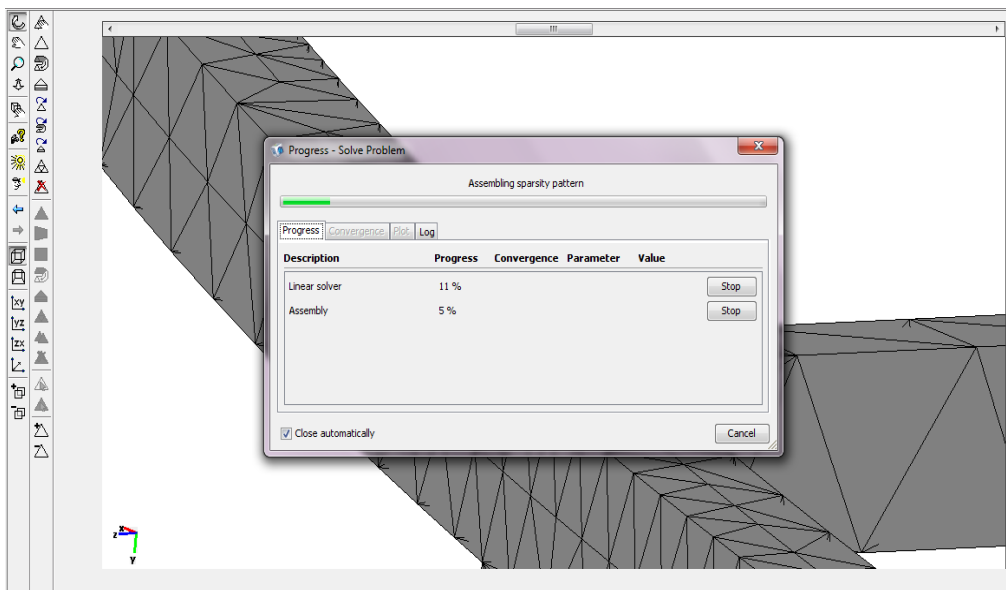
Όλη αυτή η μελέτη θα γίνει με τον ακόλουθο τρόπο:

Κάνουμε τομές σε διάφορα σημεία και στους τρεις άξονες συντεταγμένων και θα βγάλουμε το διάγραμμα των τάσεων σε κάθε τομή καθώς και τη μέση τάση. Οι τομές θα γίνουν σε τρία διαφορετικά σημεία:

- Τομή στον άξονα περιστροφής του μοντέλου.
- Τομή σε μια στήριξη
- Τομή στην άκρη της σκάλας

Οι τομές γίνονται με τον ακόλουθο τρόπο:

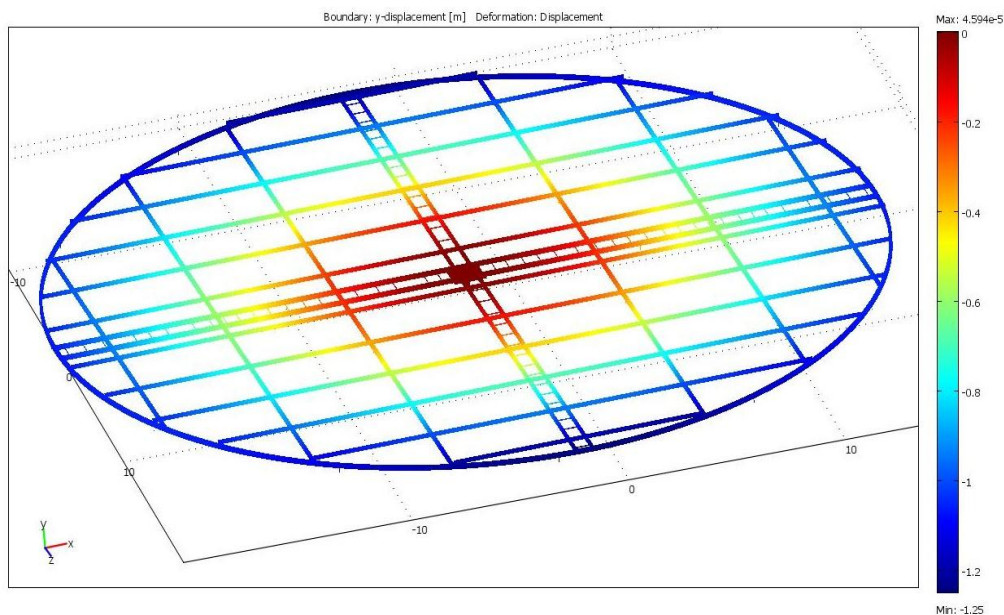
Μετά την πλεγματοποίηση κάνουμε επίλυση πατώντας το ακόλουθο κουμπί . Κατά την διάρκεια της επίλυσης εμφανίζεται η Εικόνα (5.1), η οποία μας δείχνει τα κομμάτια που επιλύονται καθ' όλη τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας.



Εικόνα 5.1 Επίλυση Μοντέλου

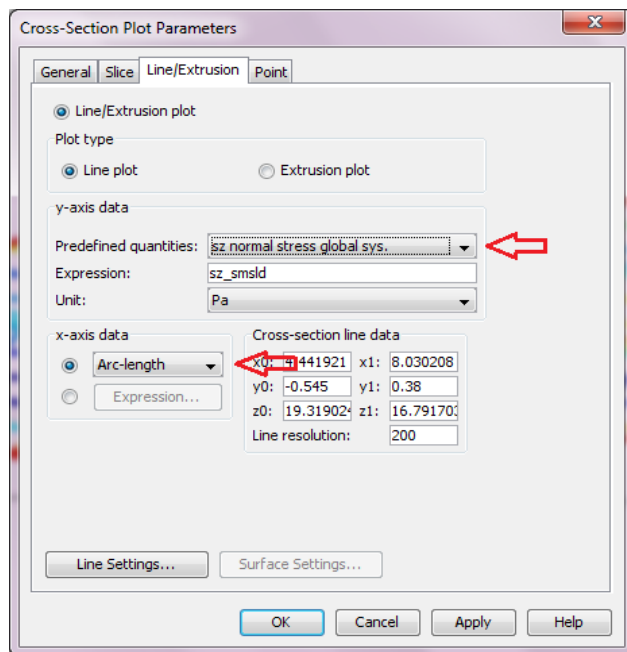
Στη συνέχεια εφόσον ολοκληρωθεί η επίλυση πηγαίνουμε στην καρτέλα Postprocessing → Plot Parameters και μετά επιλέγουμε κατάλληλα τρόπους εμφάνισης των αποτελεσμάτων μας.

Για παράδειγμα, αν θέλουμε να εμφανίσουμε τη μετατόπιση κατά τον y-άξονα επιλέγουμε Postprocessing → Plot Parameters → Boundary. Στο κελί Predefined quantities επιλέγουμε y-displacement. Έπειτα πηγαίνουμε στην καρτέλα General, μαρκάρουμε το Boundary, πατάμε Apply και εμφανίζεται το σχήμα της Εικόνας (5.2). Στη δεξιά πλευρά της εικόνας εμφανίζεται μία κλίμακα, η οποία μας δείχνει το φάσμα των μετατοπίσεων.



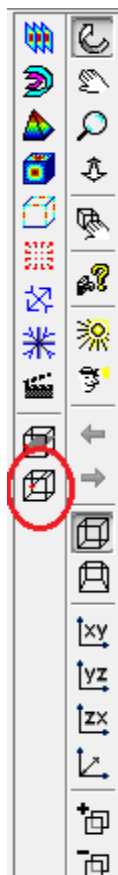
Εικόνα 5.2 Μετατοπίσεις κατά τον y-άξονα

Μετά από την ολοκλήρωση αυτής της διαδικασίας μπορούμε να εμφανίσουμε τις τάσεις και τις δυνάμεις. Αυτό γίνεται πηγαίνοντας στο Postprocessing → Cross- Section Plot Parameters → Line/Extrusion. Στο κελί Predefined quantities επιλέγουμε τί θέλουμε να εμφανίσουμε (π.χ. τάσεις κατά τον x,y,z, δυνάμεις σε όλους τους άξονες κ.α.), όπως φαίνεται στην Εικόνα (5.3).



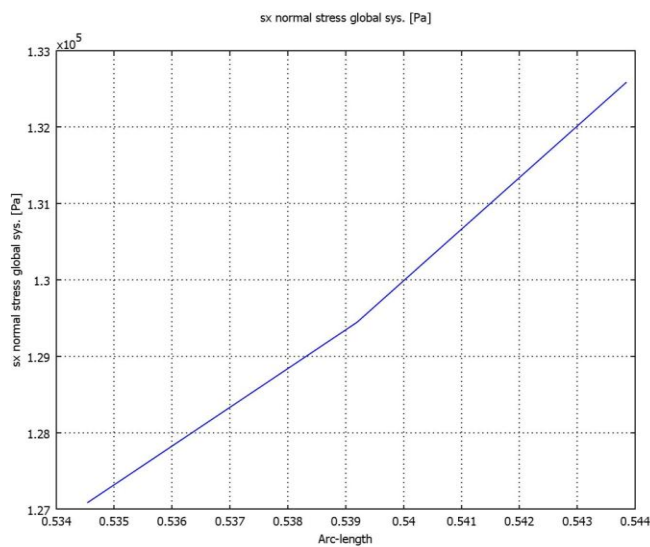
Εικόνα 5.3 Παράθυρο τομών

Έπειτα μεταφερόμαστε στο κομμάτι που αφορά τον x-άξονα (x-axis data) και επιλέγουμε τον τύπο δεδομένων που θέλουμε να εμφανίσουμε κατά τον x-άξονα, όπου στη δικιά μας περίπτωση επιλέγουμε το Arc-length (Μήκος τόξου). Μετά επιλέγουμε το εργαλείο που είναι κυκλωμένο στην Εικόνα (5.4) πατάμε Apply και εμφανίζονται τα κατάλληλα διαγράμματα [π.χ. Εικόνα (5.5)].



Εικόνα 5.4 Εργαλείο τομών

Στα τρισδιάστατα σχήματα όλες οι τομές έχουν μορφή μια κόκκινη γραμμή.



Εικόνα 5.5 Διάγραμμα τάσεων

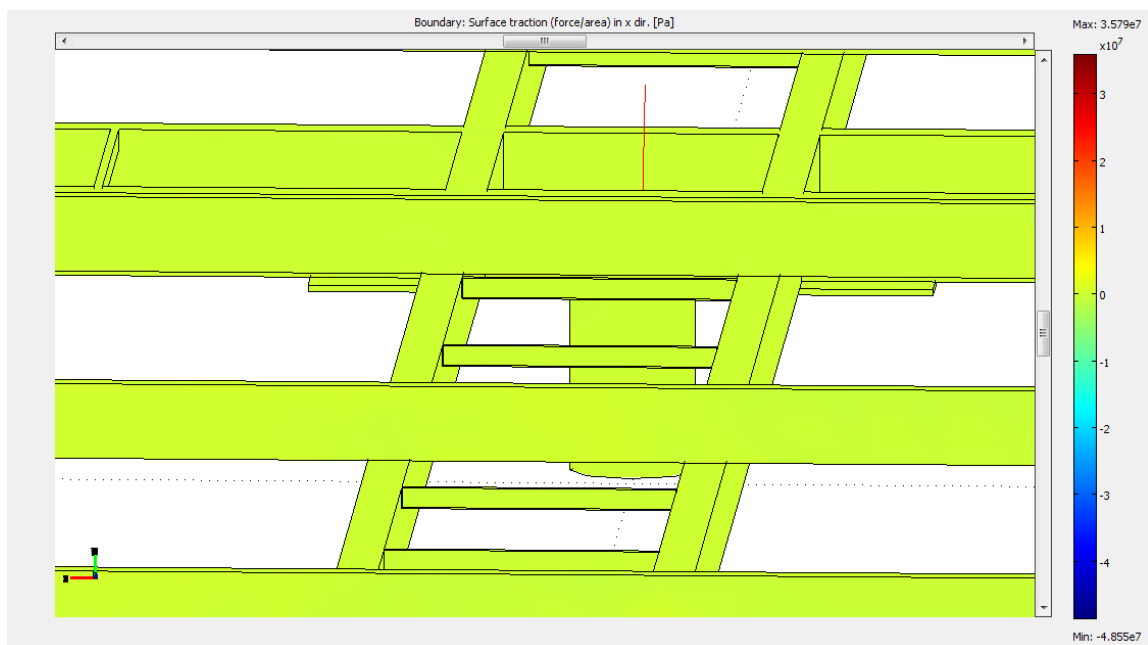
Στο παραπάνω διάγραμμα στον οριζόντιο άξονα εμφανίζεται το βάθος της τομής και στον κάθετο άξονα οι τάσεις που εμφανίζονται σε όλη την τομή.

5.1 Αποτελέσματα τομών και τάσεων με όλες τις στηρίξεις να είναι *Roller*.

5.1.1 Μοντέλο Ανέμου

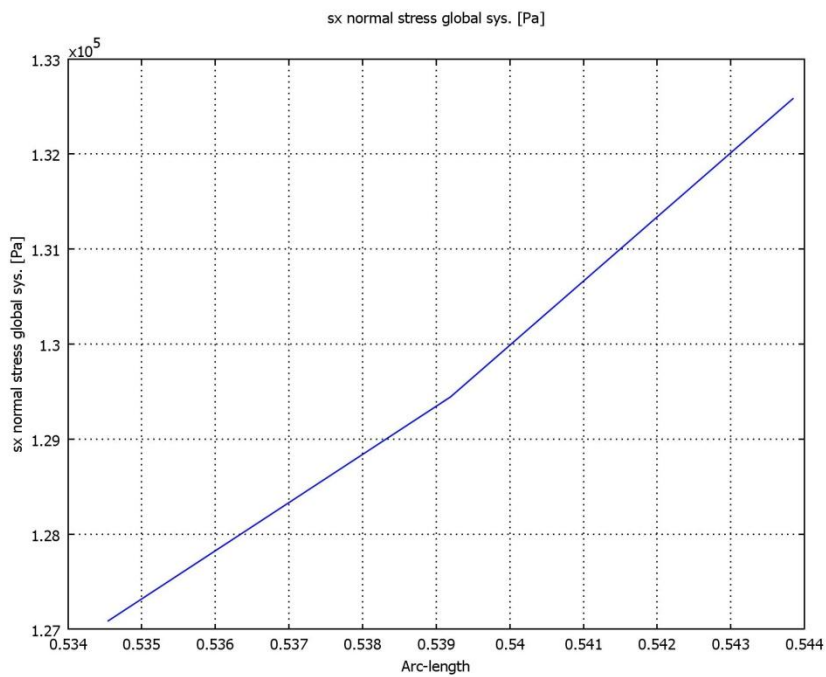
Α) Τομές κατά τον x-άξονα

1. Τομή στον άξονα περιστροφής του μοντέλου. (Εικόνα 5.6)



Εικόνα 5.6 Τομή στον άξονα περιστροφής του μοντέλου

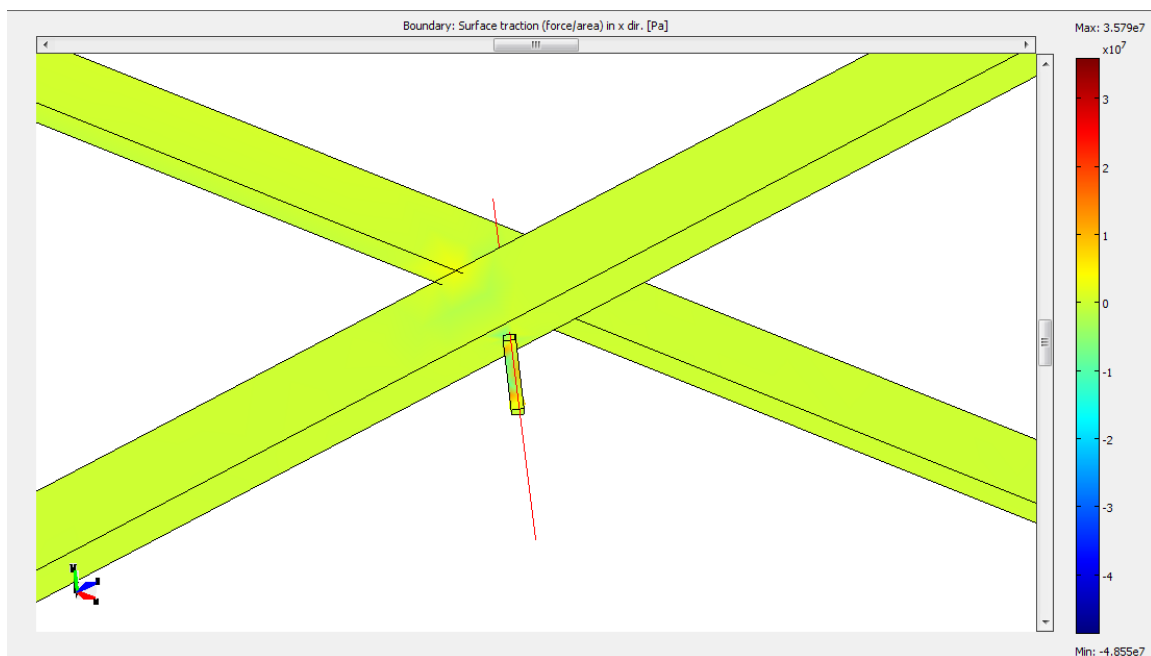
Το διάγραμμα των τάσεων είναι το ακόλουθο Εικόνα (5.7):



Εικόνα 5.7 Διάγραμμα τάσεων στον άξονα περιστροφής του μοντέλου κατά τον x άξονα

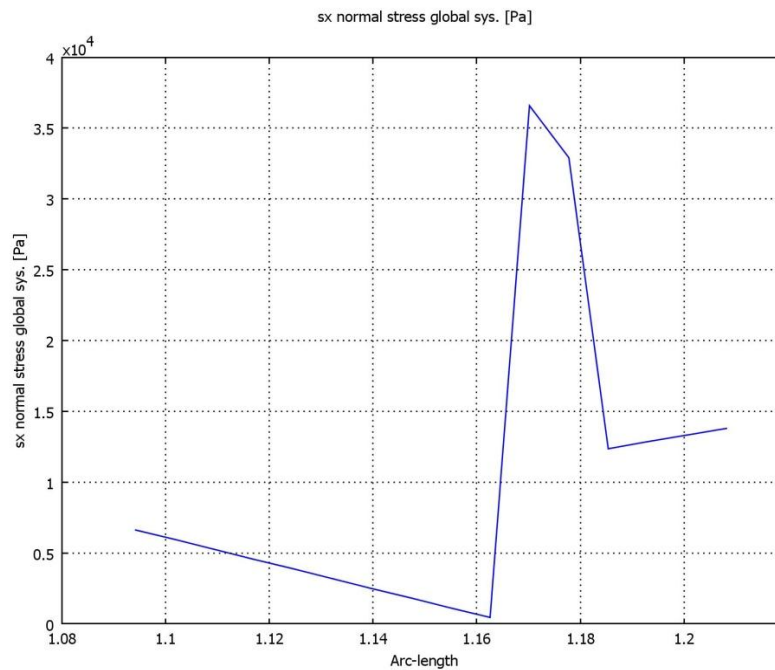
Η μέση τάση είναι: $1,3 \times 10^5$ Pa

2. Τομή σε μια στήριξη (Εικόνα 5.8).



Εικόνα 5.8 Τομή σε μια στήριξη

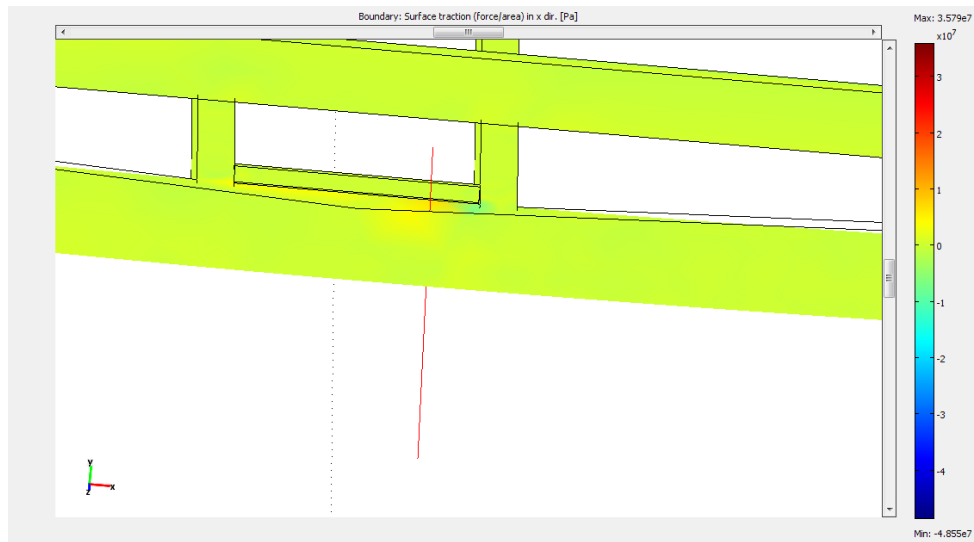
Το διάγραμμα των τάσεων που βγαίνει είναι αυτό που παρουσιάζεται στη Εικόνα (5.9).



Εικόνα 5. 9 Διάγραμμα τάσεων σε μια στήριξη του μοντέλου κατά τον x άξονα

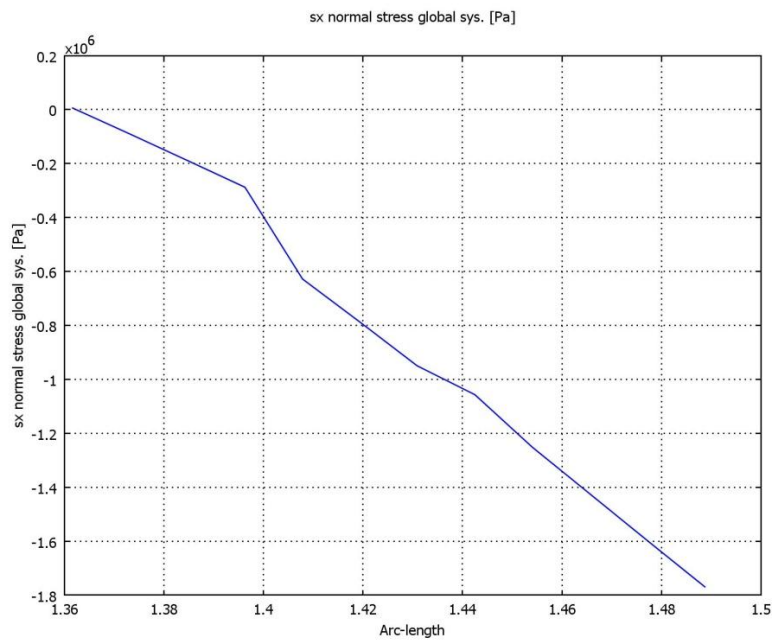
Και η μέση τάση είναι: 9766 Pa

3. Τομή στην άκρη της σκάλας (Εικόνα 5.10).



Εικόνα 5.10 Τομή στην άκρη της σκάλας

Το διάγραμμα των τάσεων είναι το ακόλουθο Εικόνα (5.11):

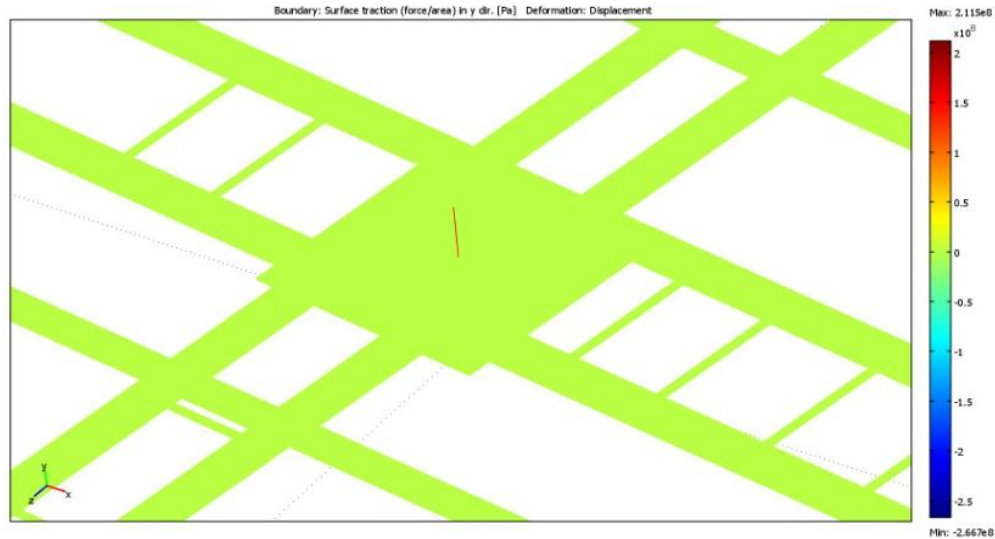


Εικόνα 5. 11 Διάγραμμα τάσεων στην άκρη της σκάλας κατά τον x άξονα

Και η μέση τάση είναι: -835803.25 Pa

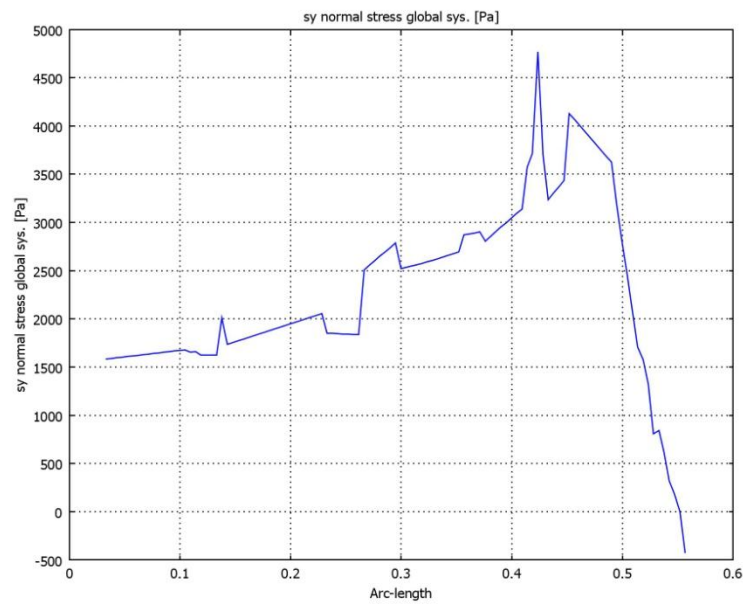
Β) Τομές κατά τον y-άξονα

1. Τομή στον άξονα περιστροφής του μοντέλου. (Εικόνα 5.12)



Εικόνα 5.12 Τομή στον άξονα περιστροφής του μοντέλου

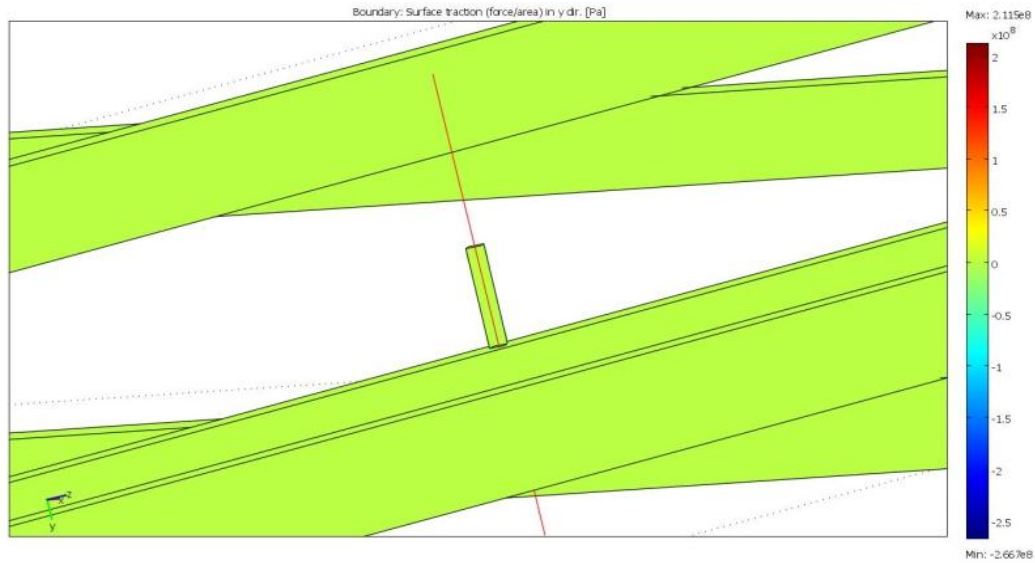
Το διάγραμμα των τάσεων είναι το ακόλουθο Εικόνα (5.13):



Εικόνα 5.13 Διάγραμμα τάσεων στον άξονα περιστροφής του μοντέλου κατά τον y άξονα

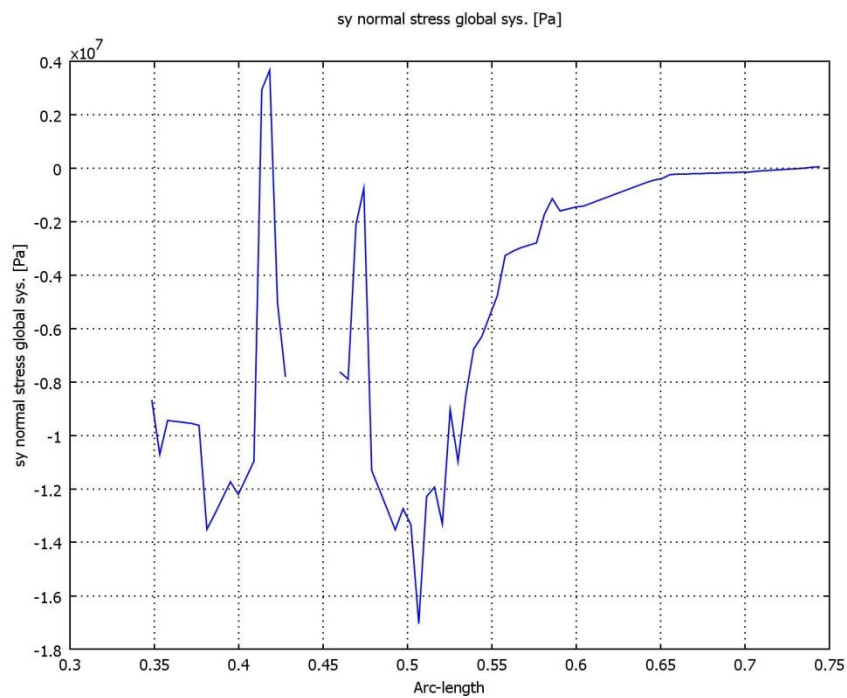
Η μέση τάση είναι: 2200 Pa.

2. Τομή σε μια στήριξη (Εικόνα 5.14).



Εικόνα 5.14 Τομή σε μια στήριξη

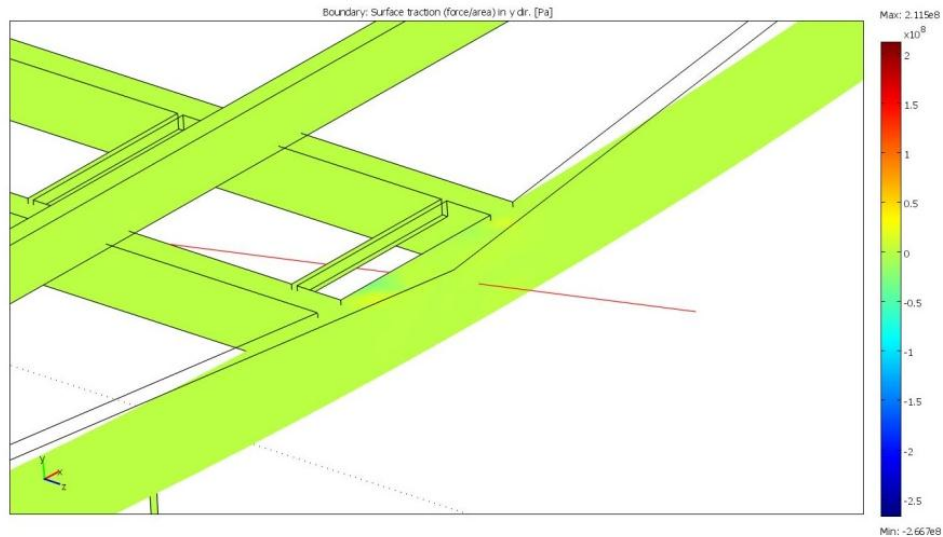
Το διάγραμμα των τάσεων είναι αυτό της Εικόνας (5.15)



Εικόνα 5. 15 Διάγραμμα τάσεων σε μια στήριξη του μοντέλου κατά τον y άξονα

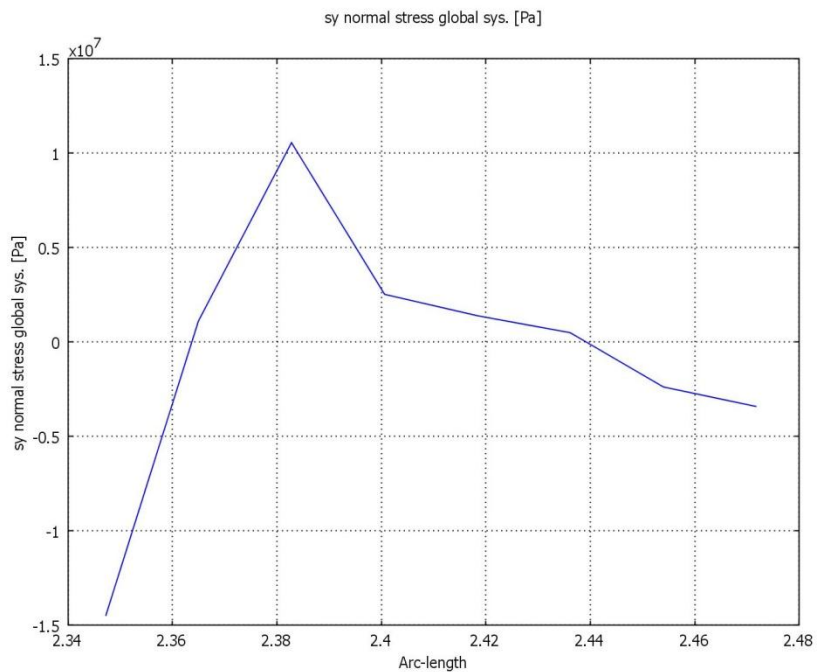
Και η μέση τάση είναι: -6146780.92 Pa

3. Τομή στην άκρη της σκάλας (Εικόνα 5.16).



Εικόνα 5.16 Τομή στην άκρη της σκάλας

Το διάγραμμα των τάσεων είναι το ακόλουθο Εικόνα (5.17):

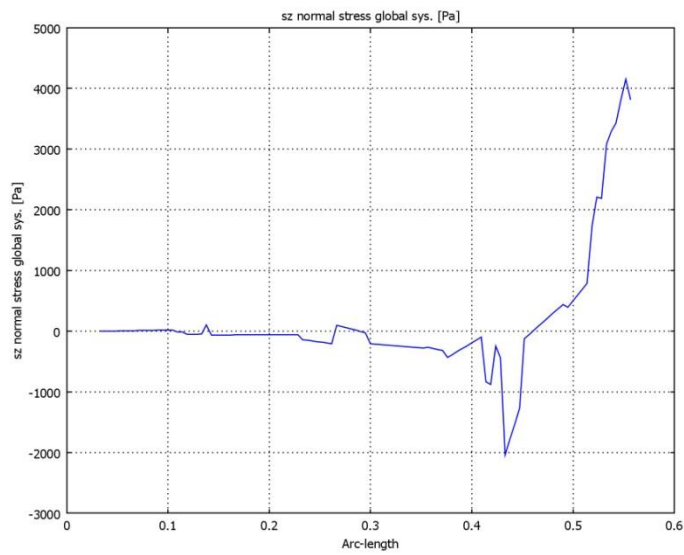


Εικόνα 5. 17 Διάγραμμα τάσεων στην άκρη της σκάλας κατά τον y άξονα

Και η μέση τάση είναι: -1687599.875 Pa.

Γ) Τομές κατά τον z-άξονα

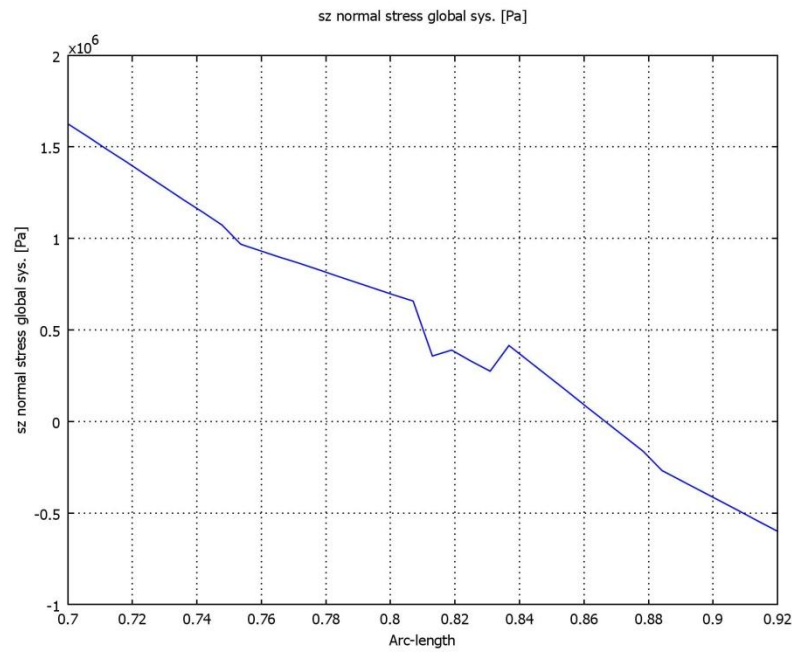
1. Τομή στον άξονα περιστροφής του μοντέλου με το ακόλουθο διάγραμμα τάσεων Εικόνα(5.18).



Εικόνα 5.18 Διάγραμμα τάσεων στον άξονα περιστροφής του μοντέλου κατά τον z άξονα

Η μέση τάση είναι: 828.96 Pa.

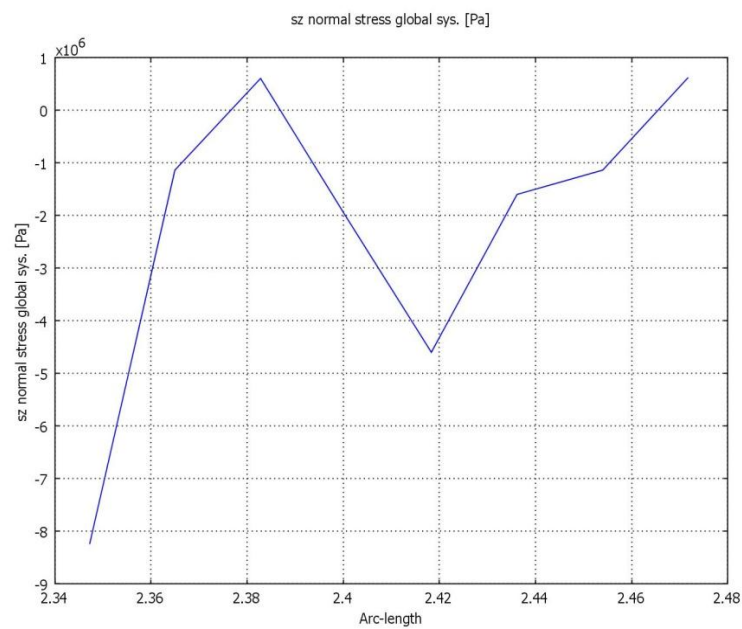
2. Τομή σε μια στήριξη με το επόμενο διάγραμμα τάσεων(Εικόνα 5.19).



Εικόνα 5. 19 Διάγραμμα τάσεων σε μια στήριξη του μοντέλου κατά τον z άξονα

Και η μέση τάση είναι: 340095.4783 Pa.

3. Τομή στην άκρη της σκάλας με διάγραμμα τάσεων(Εικόνα 5.20).

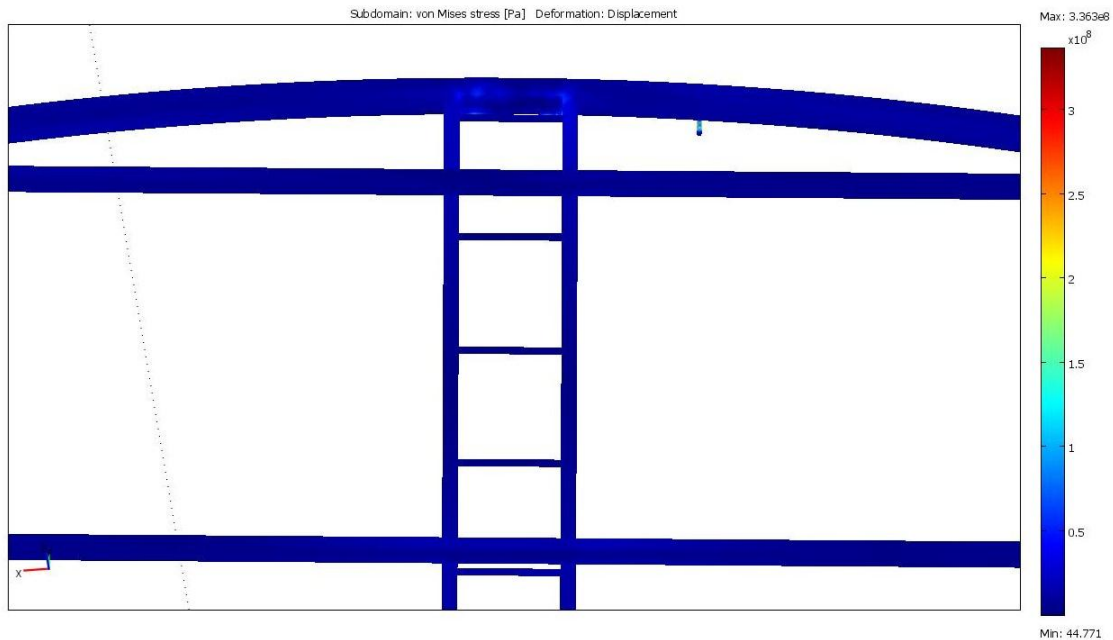


Εικόνα 5. 20 Διάγραμμα τάσεων στην άκρη της σκάλας κατά τον z άξονα

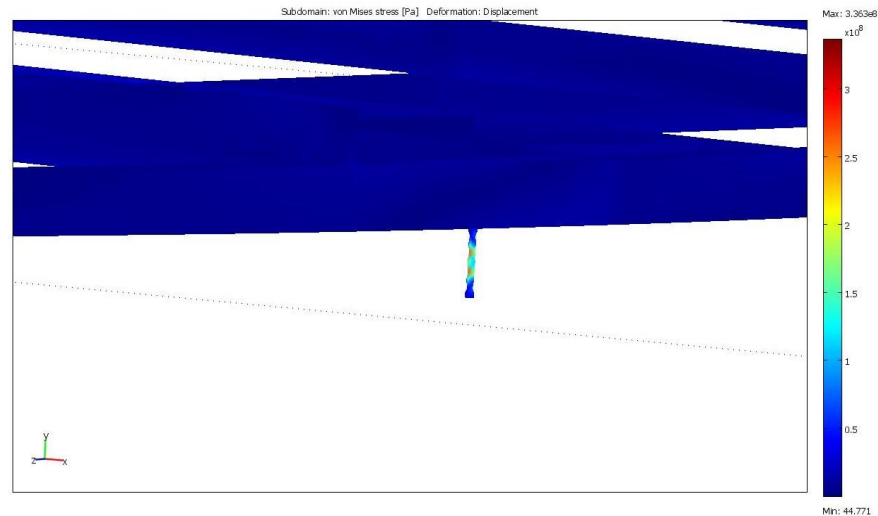
Και η μέση τάση είναι: -182529.125 Pa.

Δ)Τάσεις Von Mises

Οι τάσεις Von Mises είναι οι τάσεις που εμφανίζονται όταν το υλικό αρχίζει να αστοχεί. Στην παρακάτω Εικόνα (5.21) εμφανίζονται οι τάσεις Von Mises. Παρατηρούμε ότι φαίνονται έντονα στο σημείο που γίνεται η ένωση της “σκάλας” με τον κυκλικό φορέα καθώς επίσης και στις στηρίξεις Εικόνα (5.22).



Εικόνα 5. 21 Τάσεις Von Mises στο σημείο ένωσης της “σκάλας” με τον κυκλικό φορέα

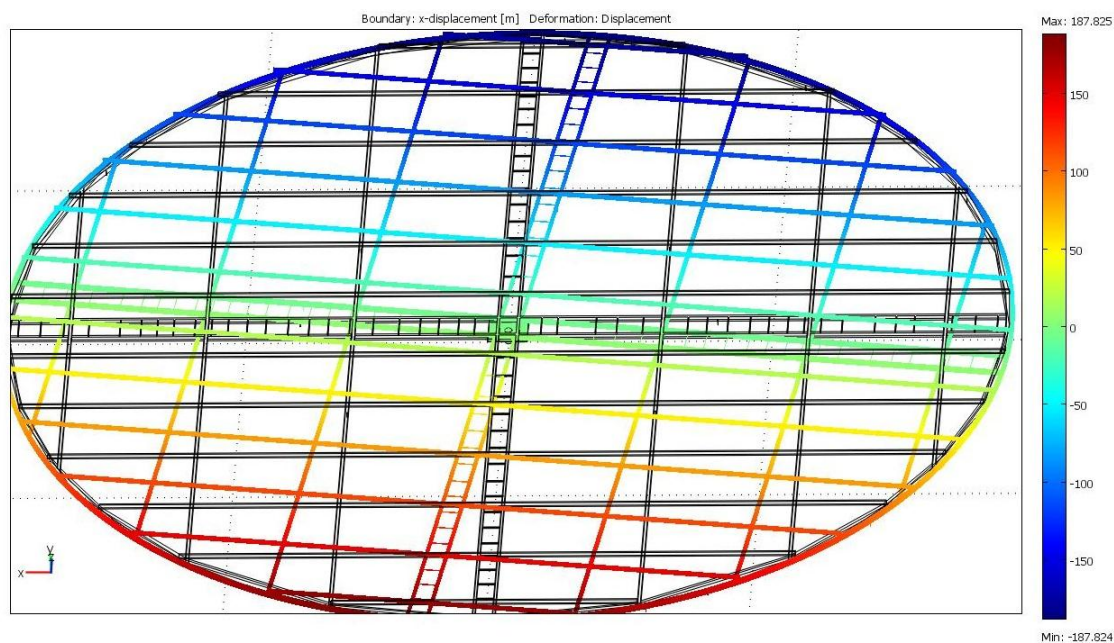


Εικόνα 5. 22 Τάσεις Von Mises σε μία στήριξη

Στη συνέχεια κάνοντας την παρακάτω διαδικασία εμφανίζεται η μετατόπιση στον άξονα x, y,z αντίστοιχα ανάλογα με τον πιο άξονα θα επιλέξουμε στο κελί Predefined quantities. Η διαδικασία είναι η ακόλουθη:

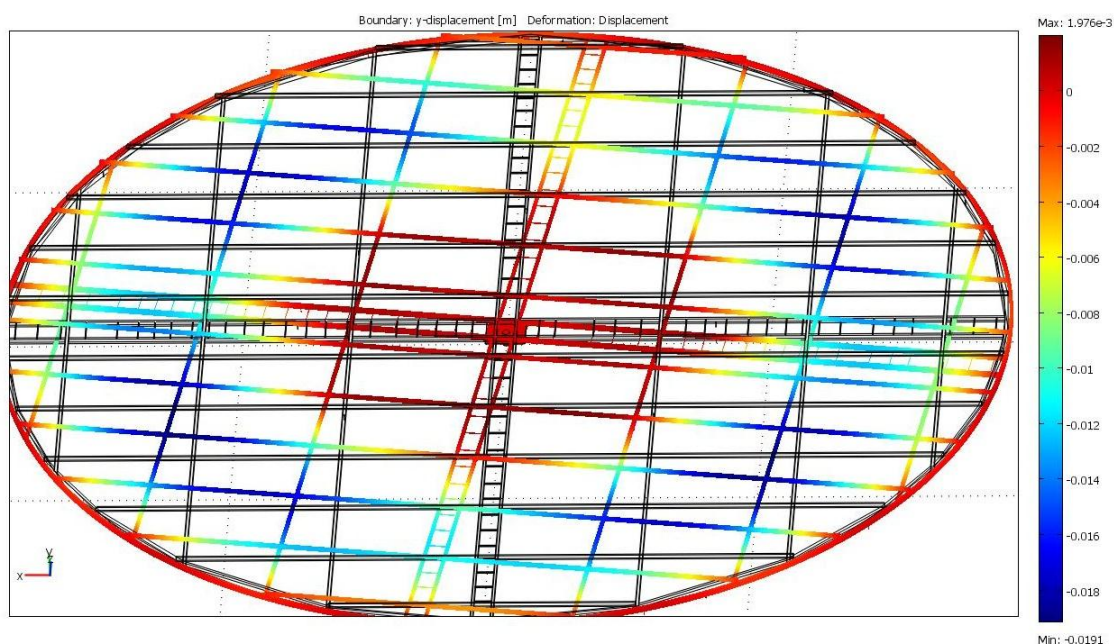
Postprocessing → Plot Parameters → Boundary→ Predefined quantities (x, y ή z displacement)

Η παρακάτω Εικόνα (5.23) εμφανίζει τις μετατοπίσεις που γίνονται κατά τον x-άξονα. Παρατηρούμε την αρχική και την τελική θέση του μοντέλου μας.



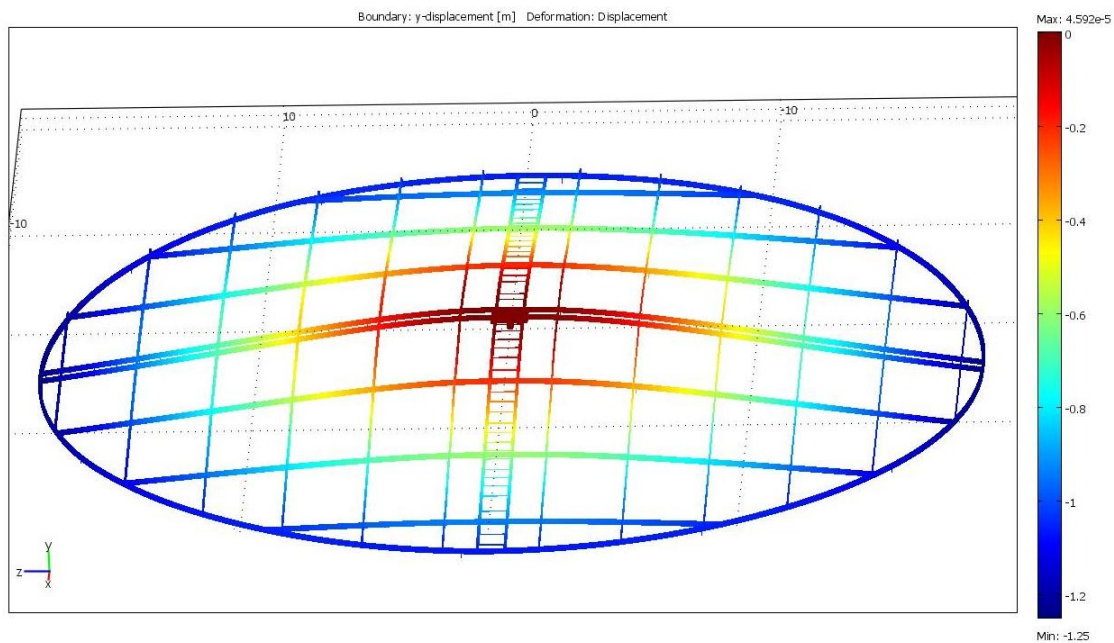
Εικόνα 5. 23 Μετατόπιση του μοντέλου μας κατά τον x-άξονα

Στην επόμενη Εικόνα (5.24) βλέπουμε τις παραμορφώσεις κατά τον y-άξονα. Παρατηρούμε ότι στο κέντρο και στην περιφέρεια όπου υπάρχουν στηρίξεις έχουμε σχεδόν μηδενικές παραμορφώσεις.



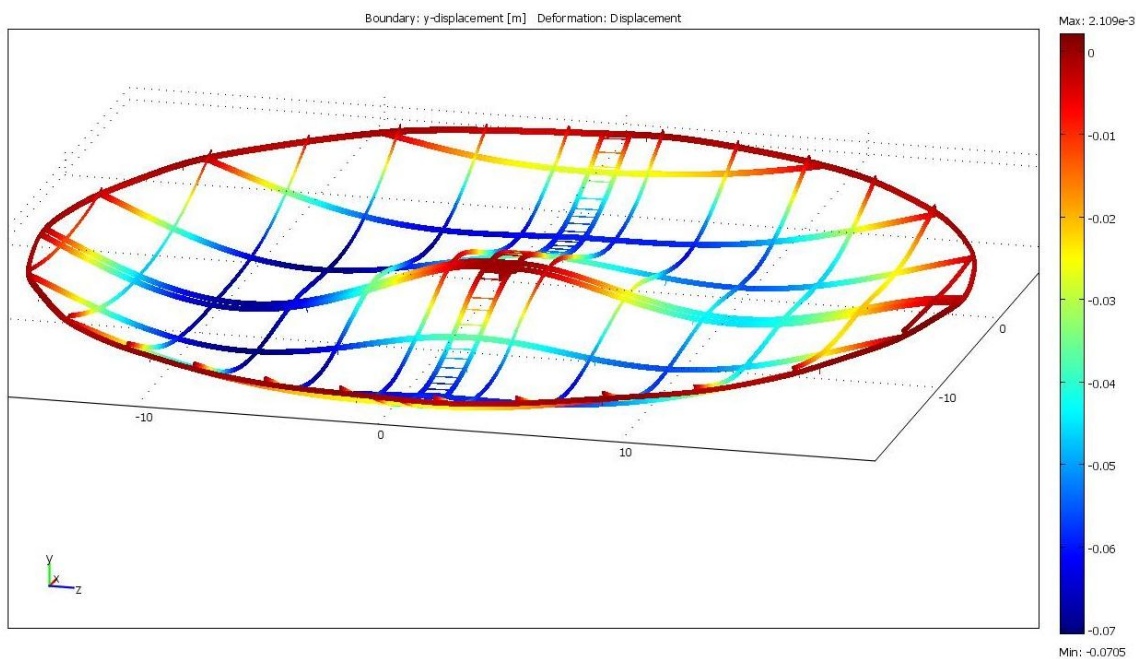
Εικόνα 5. 24 Παραμορφώσεις κατά των y-άξονα

Στη συνέχεια παραθέτουμε την Εικόνα (5.25) στην οποία εμφανίζεται η παραμόρφωση κατά τον y-άξονα, με μοναδική στήριξη την κεντρική.



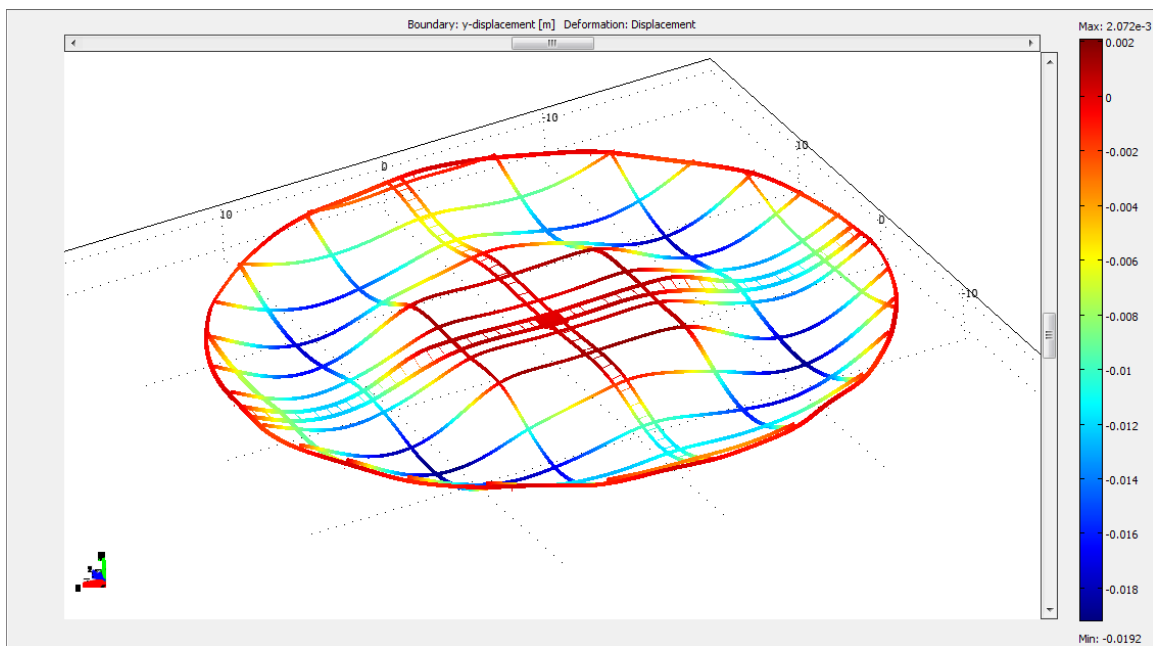
Εικόνα 5. 25 Παραμόρφωση κατά τον y-άξονα μόνο με μία κεντρική στήριξη.

Στην Εικόνα (5.26) φαίνεται η παραμόρφωση κατά τον y-αξονα αφού τοποθετήσουμε και τις περιφερειακές στηρίξεις.



Εικόνα 5. 26 Παραμόρφωση κατά τον y-άξονα και με την προσθήκη περιφερειακών στηρίξεων.

Στην Εικόνα (5.27) έχουμε την παραμόρφωση στον y-άξονα τοποθετώντας στηρίξεις και σε απόσταση 7 μέτρων από τον άξονα περιστροφής της κατασκευής.



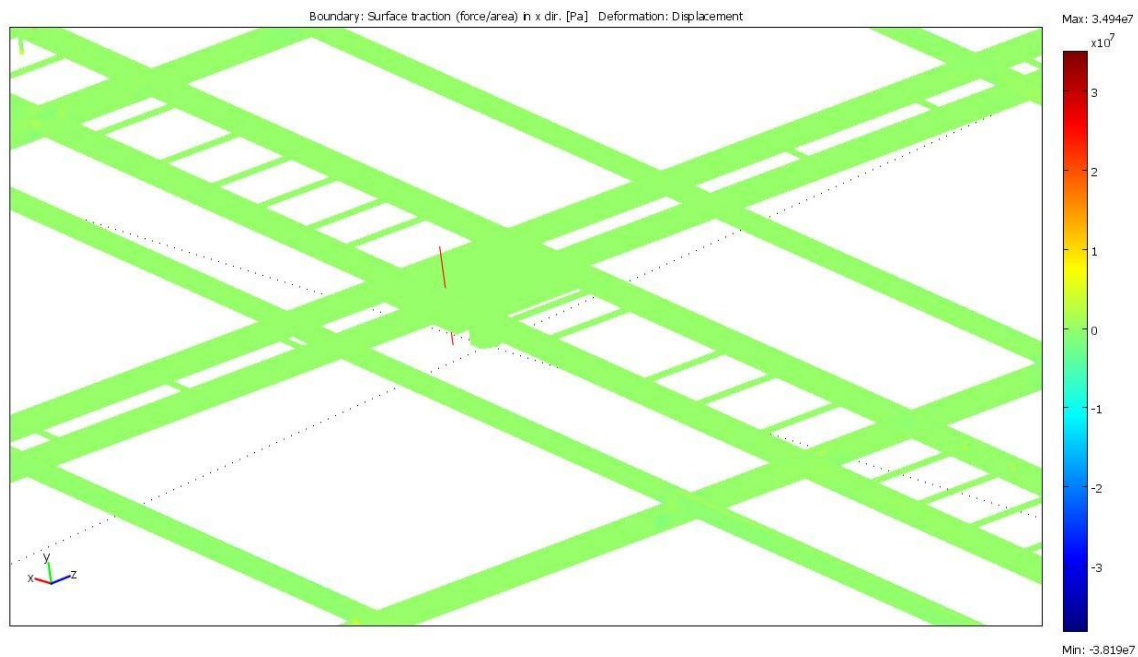
Εικόνα 5. 27 Παραμόρφωση κατά τον y-άξονα και με την προσθήκη στηρίξεων 7 μέτρα από το κέντρο.

Στο μοντέλο μας όλες οι στηρίξεις μπόκανε Roller διότι με αυτό τον τρόπο μπορούν να ολισθαίνουν και να στηρίζουν την κατασκευή μας. Αυτό στο comsol γίνεται επιλέγοντας Physics → Boundary Settings → Constraint και στο κελί Constraint condition επιλέγω την εντολή Roller.

Μοντέλο	Χωρίς στηρίξεις	Στηρίξεις στην περιφέρεια	Στηρίξεις στην περιφέρεια και μέσα στο μοντέλο
Μέγιστη Παραμόρφωση [m]	1,2	0,07	0,018

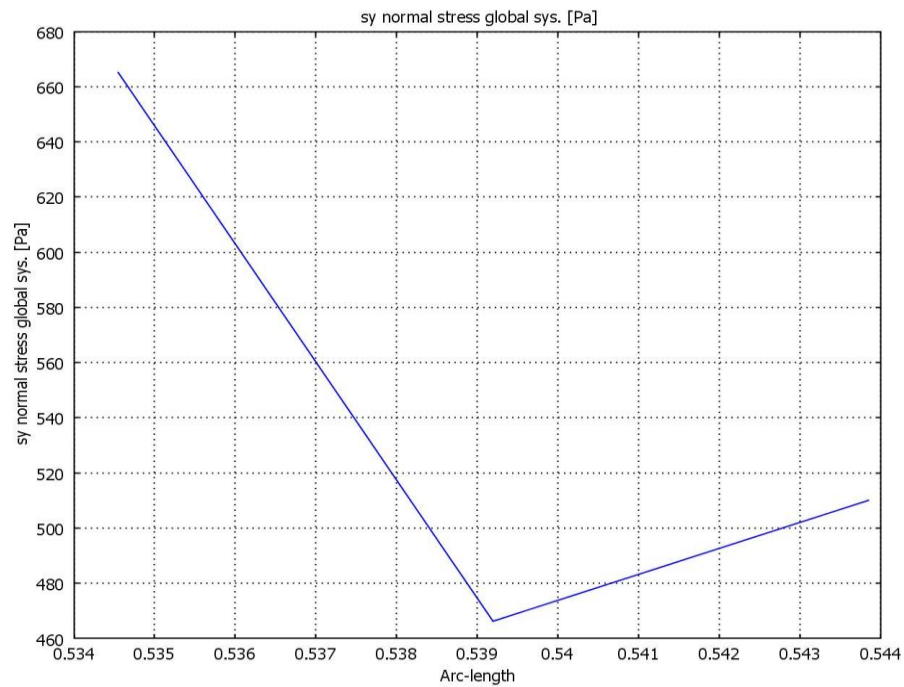
5.1.2 Μοντέλο Χιονιού

1. Τομή στον άξονα περιστροφής του μοντέλου.(Εικόνα 5.28)



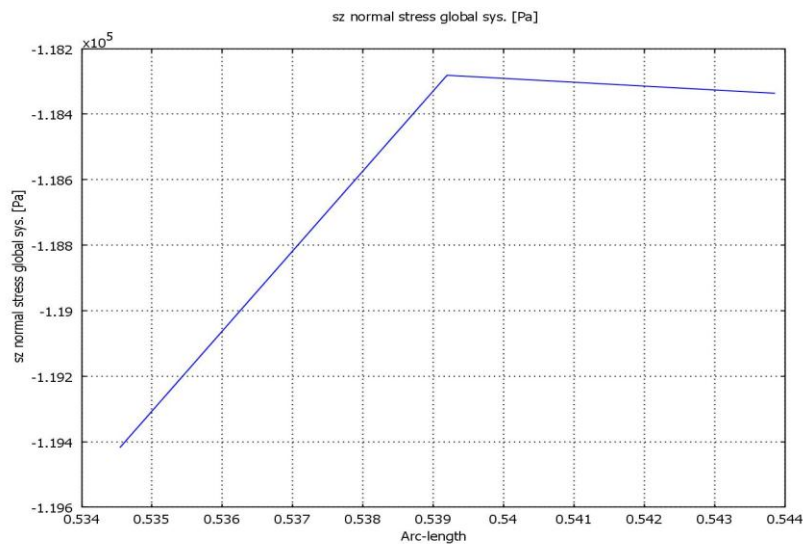
Εικόνα 5.28 Τομή στον άξονα περιστροφής του μοντέλου

Το διάγραμμα των τάσεων κατά τον y-άξονα είναι το ακόλουθο Εικόνα (5.29):



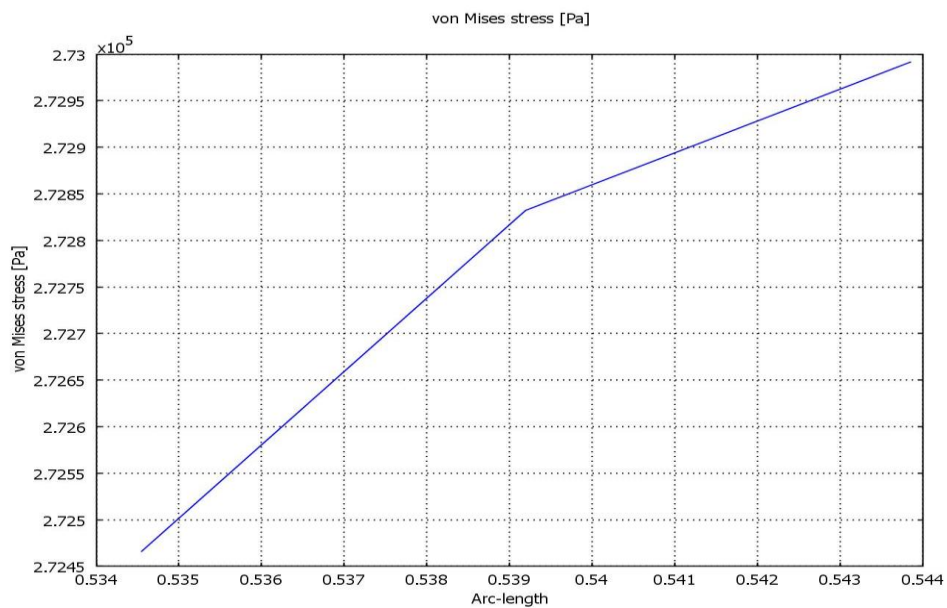
Εικόνα 5.29 Διάγραμμα τάσεων στον άξονα περιστροφής του μοντέλου κατά τον y άξονα

Το διάγραμμα των τάσεων κατά τον z-άξονα είναι το ακόλουθο Εικόνα (5.30):



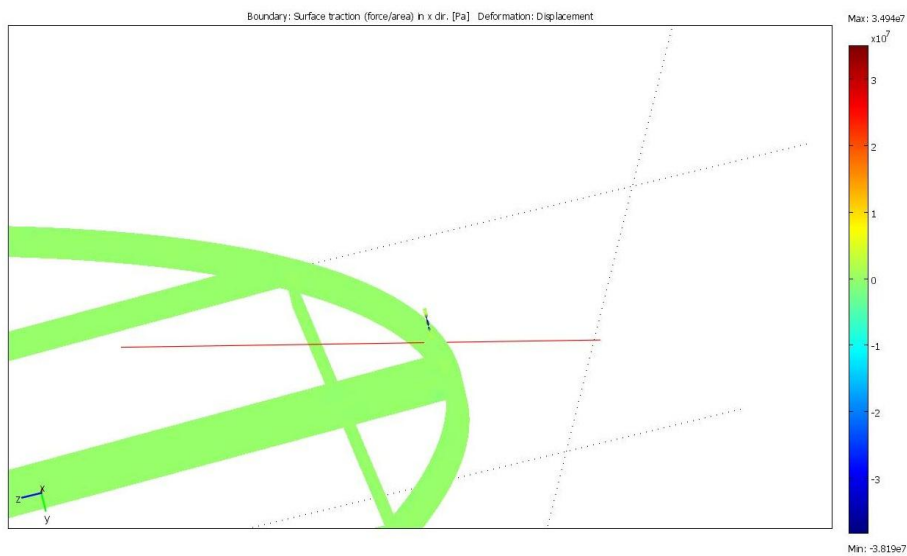
Εικόνα 5.30 Διάγραμμα τάσεων στον άξονα περιστροφής του μοντέλου κατά τον z άξονα

Το διάγραμμα των τάσεων Von Mises είναι το ακόλουθο Εικόνα (5.31):



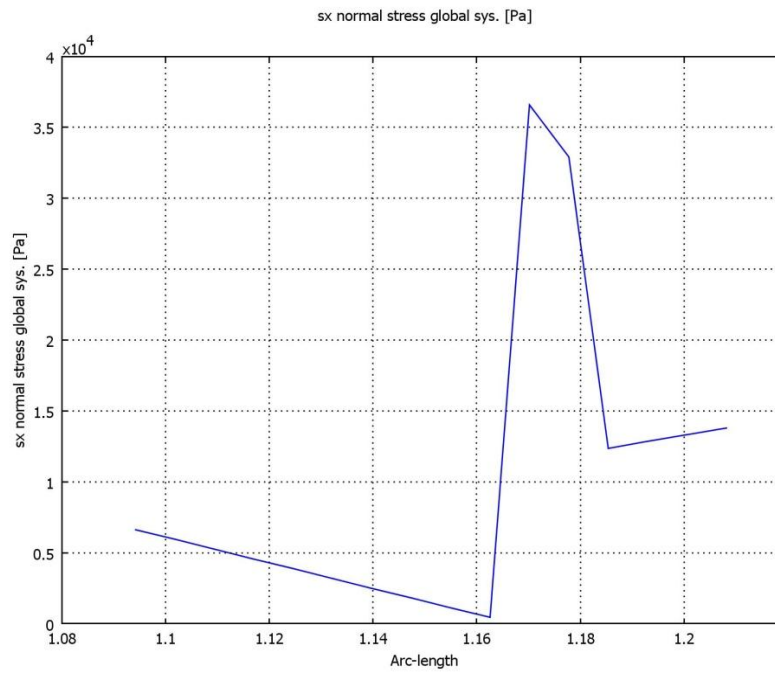
Εικόνα 5.31 Διάγραμμα τάσεων Von Mises

2. Τομή σε μια στήριξη (Εικόνα 5.32).



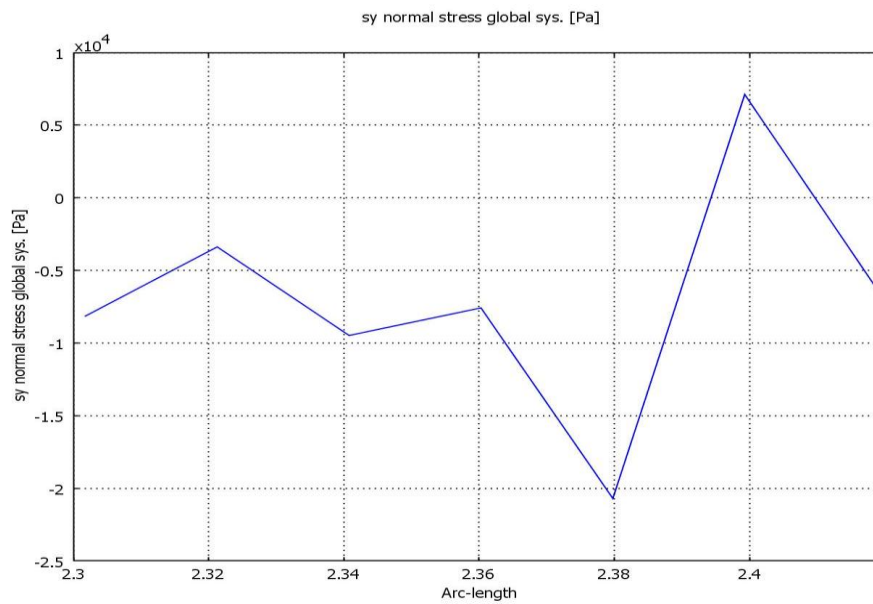
Εικόνα 5.32 Τομή σε μια στήριξη

Το διάγραμμα των τάσεων κατά τον x-άξονα είναι το ακόλουθο Εικόνα (5.33):



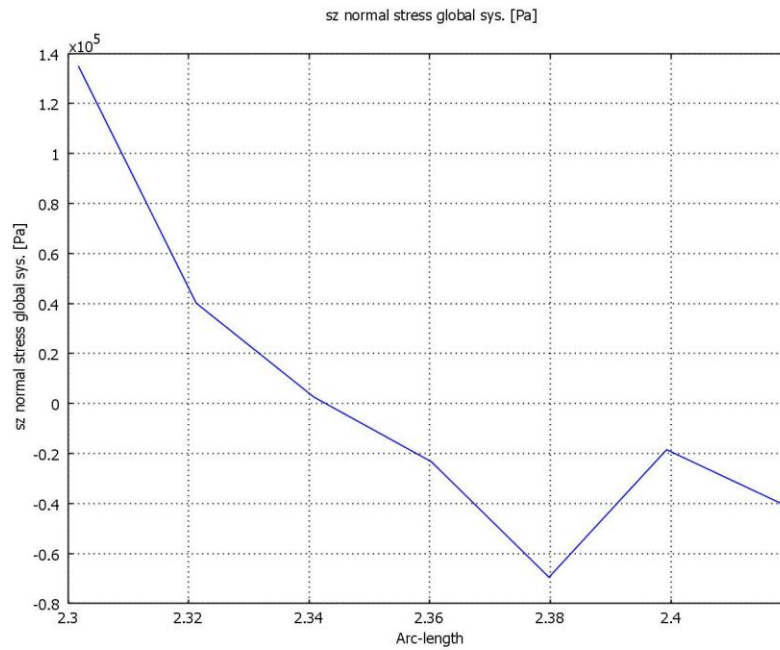
Εικόνα 5. 33 Διάγραμμα τάσεων σε μια στήριξη του μοντέλου κατά τον x άξονα

Το διάγραμμα των τάσεων κατά τον y-άξονα είναι το ακόλουθο Εικόνα (5.34):



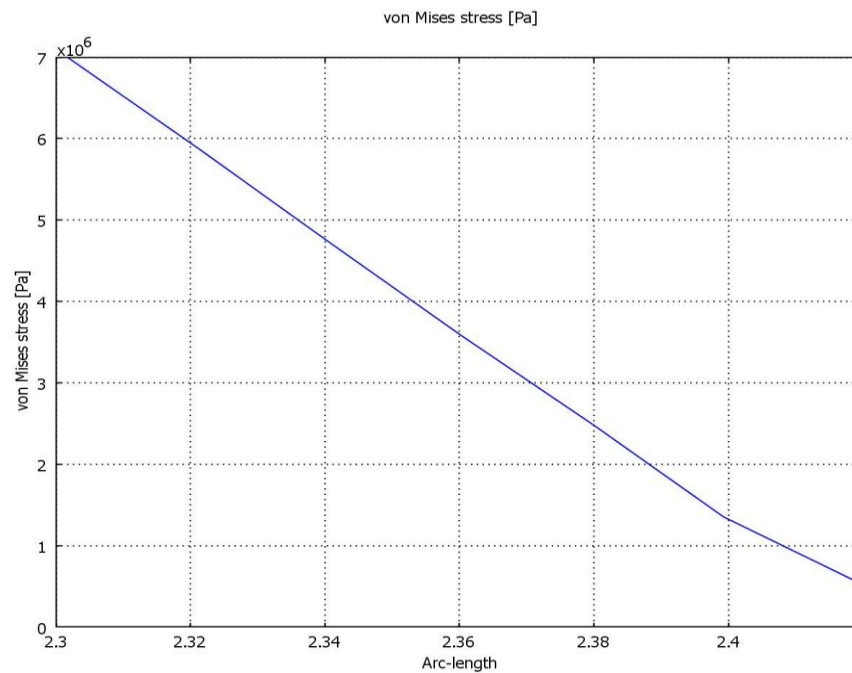
Εικόνα 5. 34 Διάγραμμα τάσεων σε μια στήριξη του μοντέλου κατά τον y άξονα

Το διάγραμμα των τάσεων κατά τον z-άξονα είναι το ακόλουθο Εικόνα (5.35):



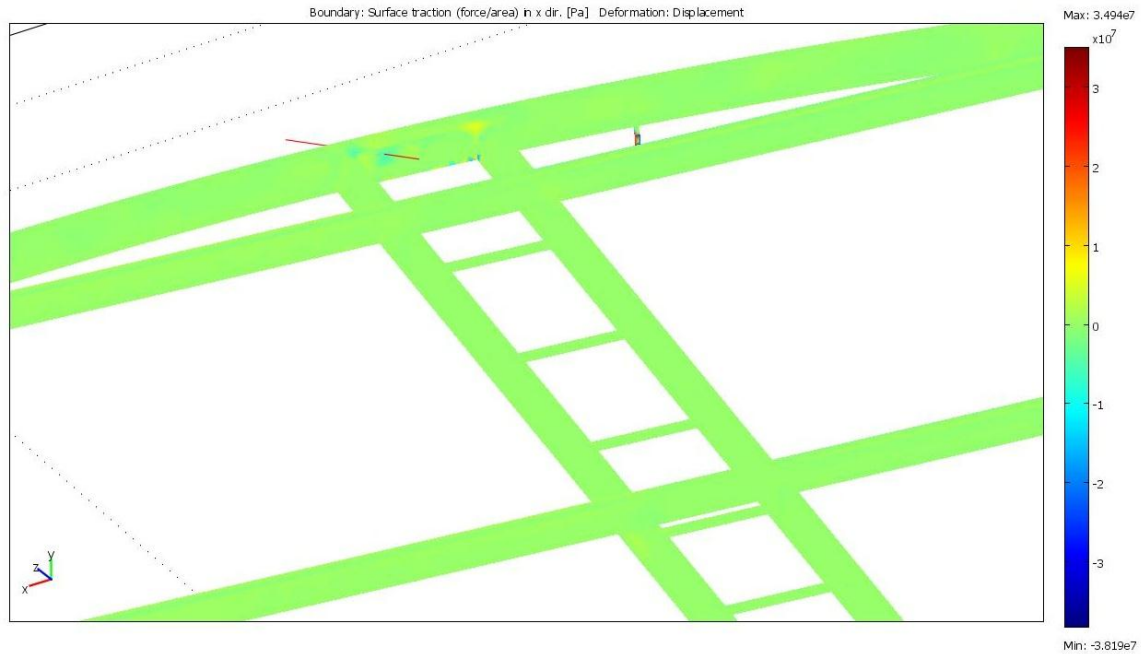
Εικόνα 5. 35 Διάγραμμα τάσεων σε μια στήριξη του μοντέλου κατά τον z άξονα

Το διάγραμμα των τάσεων Von Mises είναι το ακόλουθο Εικόνα (5.36):



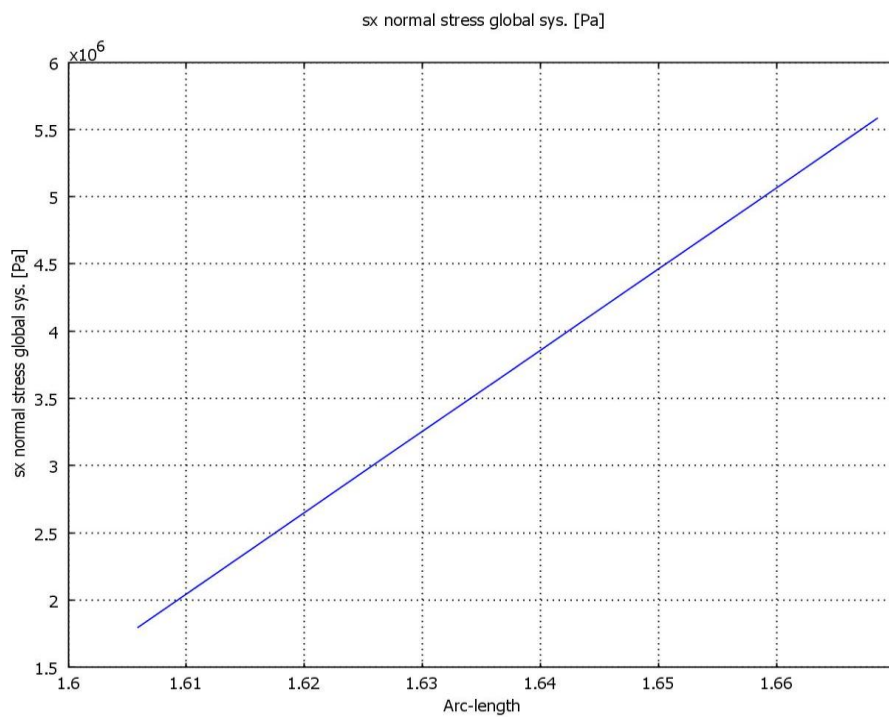
Εικόνα 5.36 Διάγραμμα τάσεων Von Mises

3. Τομή στην άκρη της σκάλας (Εικόνα 5.37).



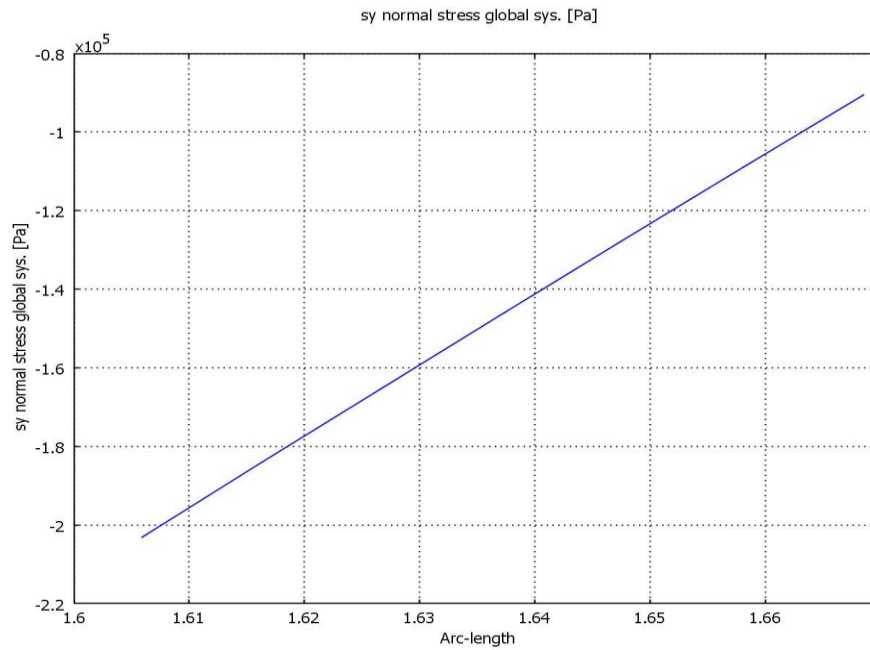
Εικόνα 5.37 Τομή στην άκρη της σκάλας

Το διάγραμμα των τάσεων κατά τον x-άξονα είναι το ακόλουθο Εικόνα (5.38):

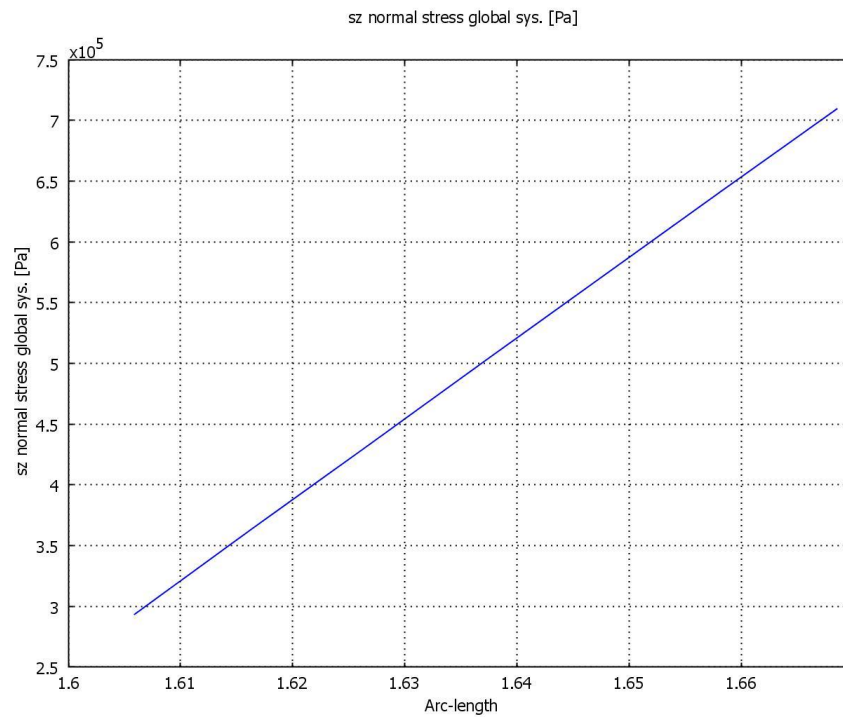


Εικόνα 5. 38 Διάγραμμα τάσεων στην άκρη της σκάλας κατά τον x άξονα

Το διάγραμμα των τάσεων κατά τον y-άξονα είναι το ακόλουθο Εικόνα (5.39):

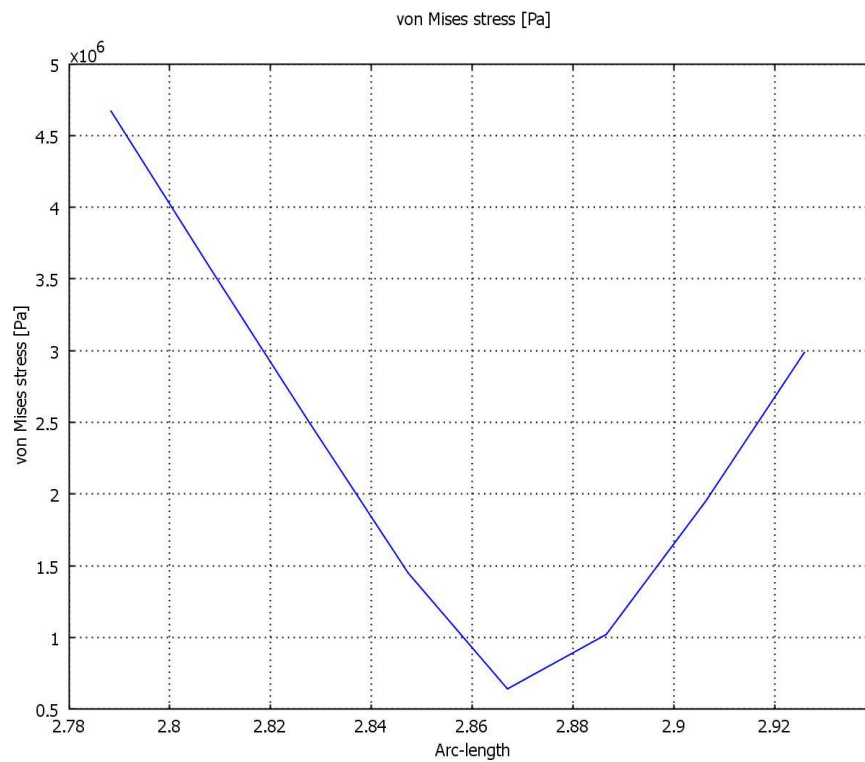


Εικόνα 5. 39 Διάγραμμα τάσεων στην άκρη της σκάλας κατά τον y άξονα
Το διάγραμμα των τάσεων κατά τον z-άξονα είναι το ακόλουθο Εικόνα (5.40):



Εικόνα 5. 40 Διάγραμμα τάσεων στην άκρη της σκάλας κατά τον z άξονα

Το διάγραμμα των τάσεων Von Mises είναι το ακόλουθο Εικόνα (5.41):

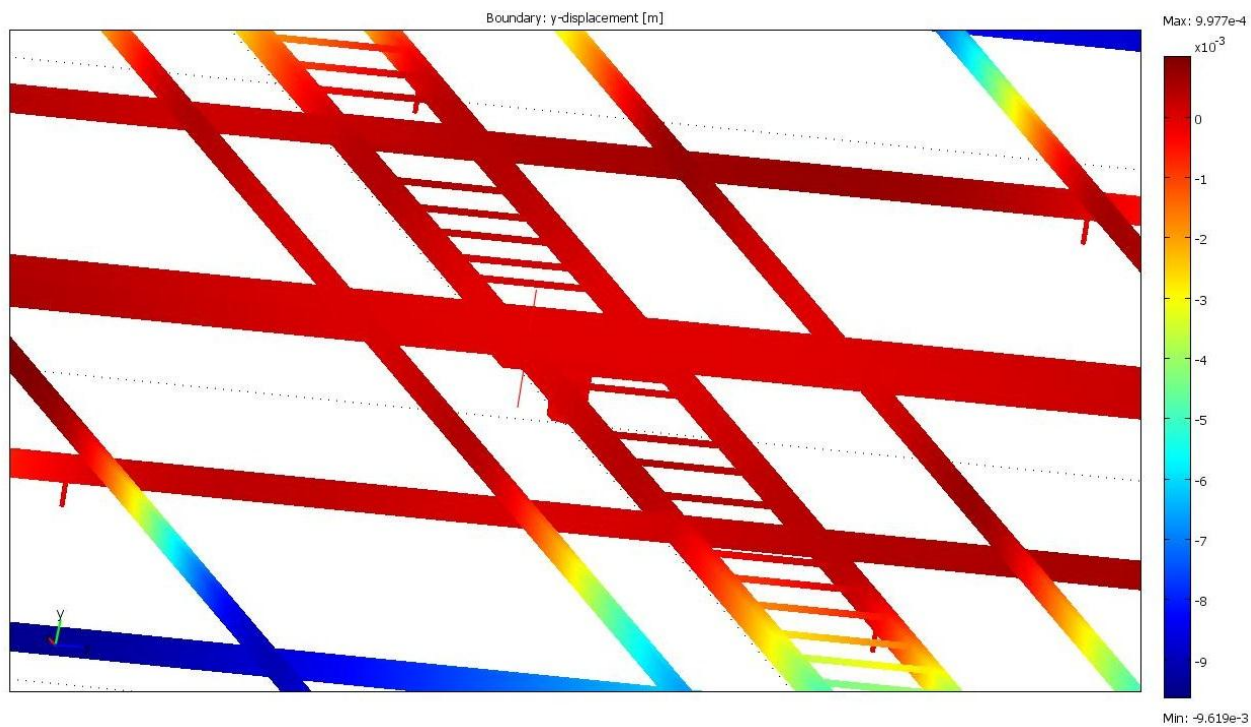


Εικόνα 5.41 Διάγραμμα τάσεων Von Mises

5.2 Αποτελέσματα τομών και τάσεων με την κεντρική στήριξη να είναι *Fixed* και οι υπόλοιπες *Roller*.

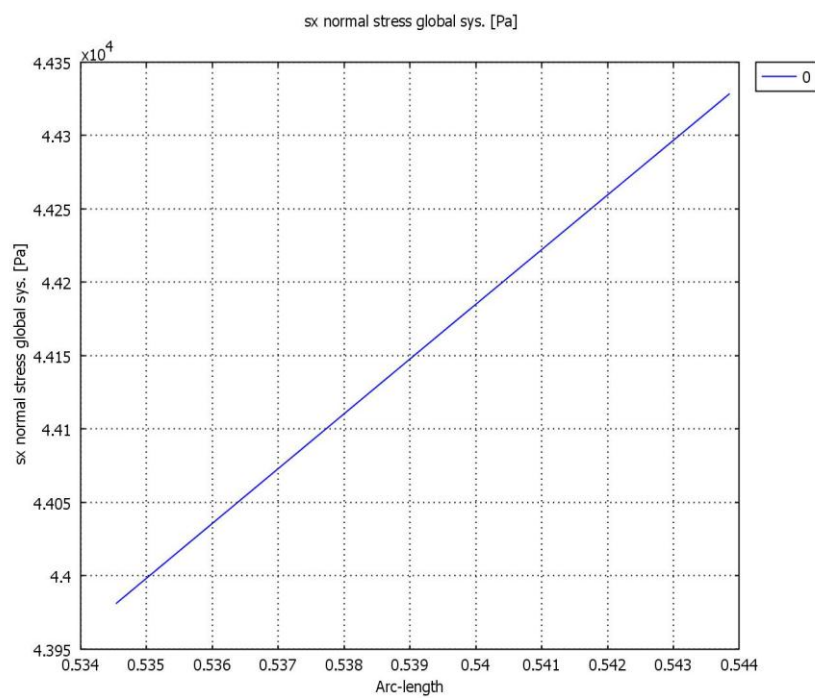
5.2.1 Μοντέλο Ανέμου

1. Τομή στον άξονα περιστροφής του μοντέλου.(Εικόνα 5.42)



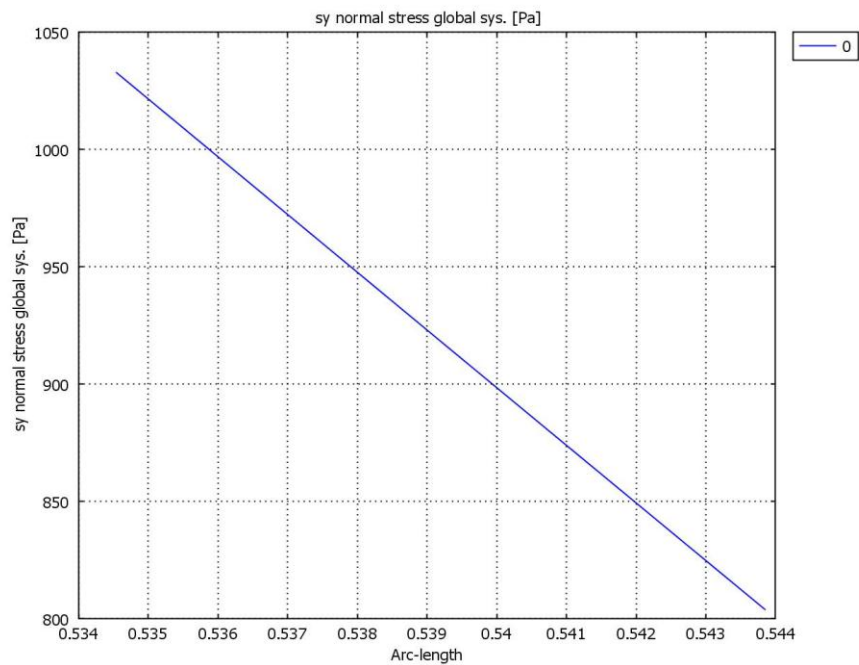
Εικόνα 5.42 Τομή στον άξονα περιστροφής του μοντέλου

Το διάγραμμα των τάσεων κατά τον x-άξονα είναι το ακόλουθο Εικόνα (5.43):



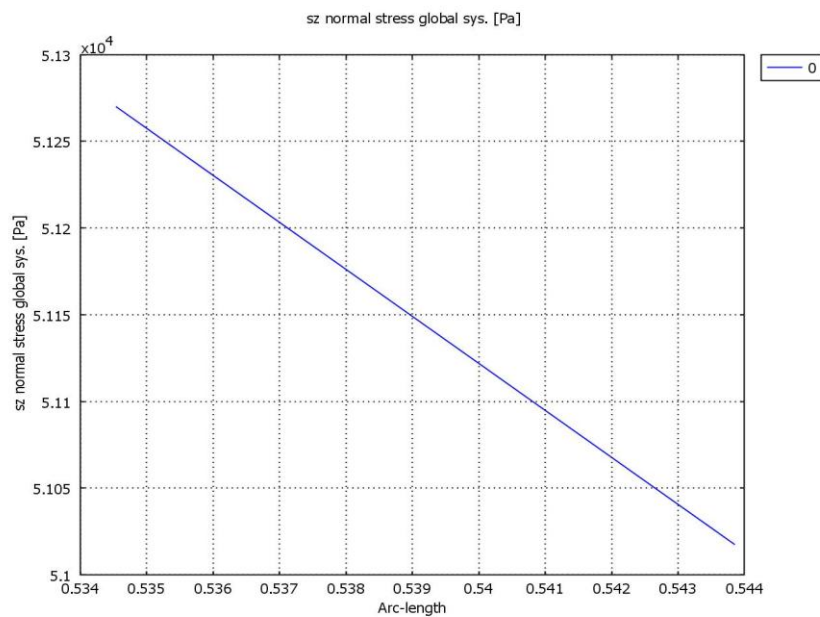
Εικόνα 5.43 Διάγραμμα τάσεων στον άξονα περιστροφής του μοντέλου κατά τον x άξονα

Το διάγραμμα των τάσεων κατά τον y-άξονα είναι το ακόλουθο Εικόνα (5.44):



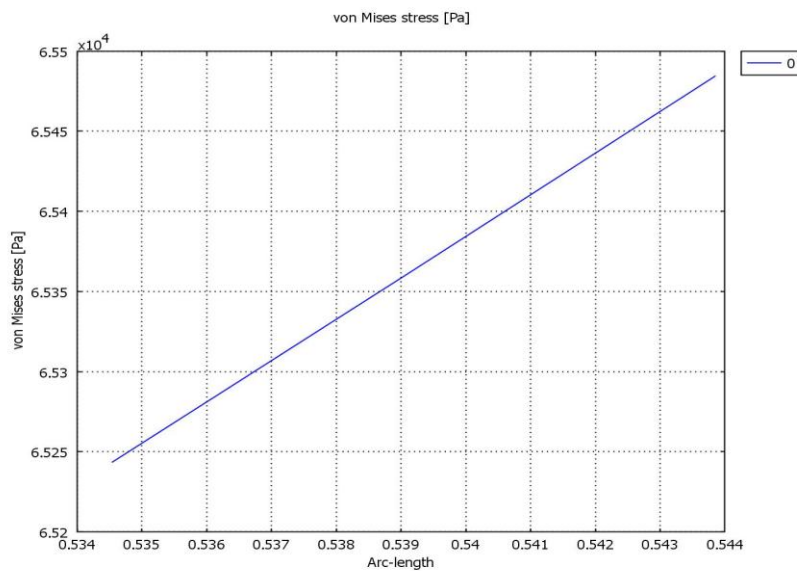
Εικόνα 5.44 Διάγραμμα τάσεων στον άξονα περιστροφής του μοντέλου κατά τον y άξονα

Το διάγραμμα των τάσεων κατά τον z-άξονα είναι το ακόλουθο Εικόνα (5.45):



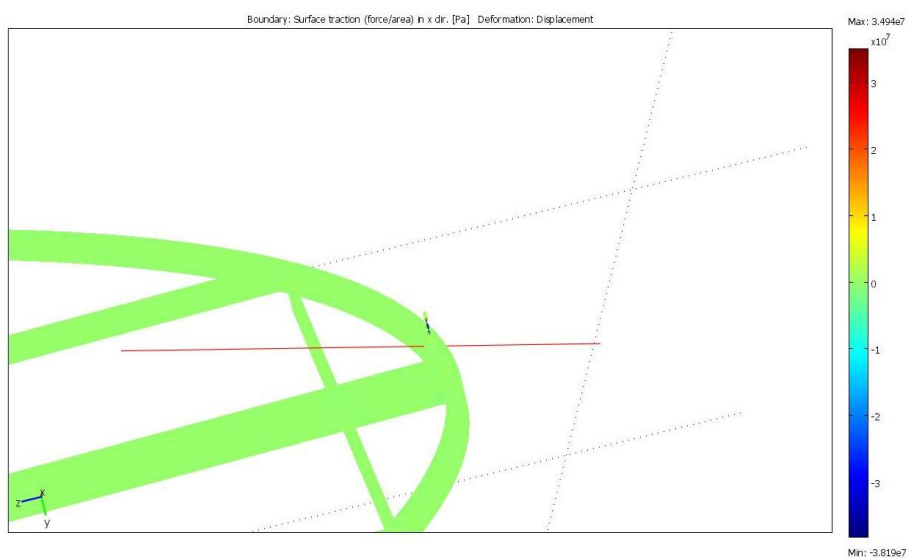
Εικόνα 5.45 Διάγραμμα τάσεων στον άξονα περιστροφής του μοντέλου κατά τον z άξονα

Το διάγραμμα των τάσεων Von Mises είναι το ακόλουθο Εικόνα (5.46):



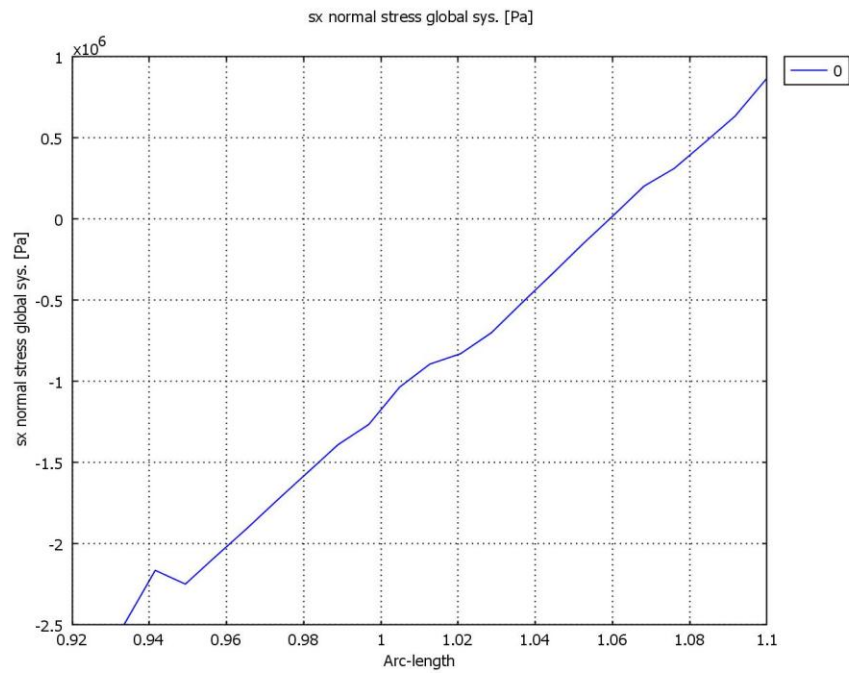
Εικόνα 5.46 Διάγραμμα τάσεων Von Mises

2. Τομή σε μια στήριξη (Εικόνα 5.47).



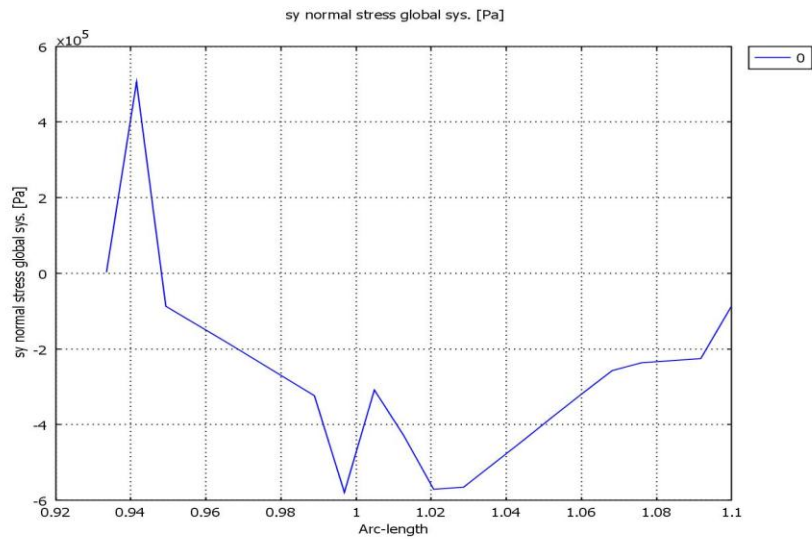
Εικόνα 5.47 Τομή σε μια στήριξη

Το διάγραμμα των τάσεων κατά τον x-άξονα είναι το ακόλουθο Εικόνα (5.48):



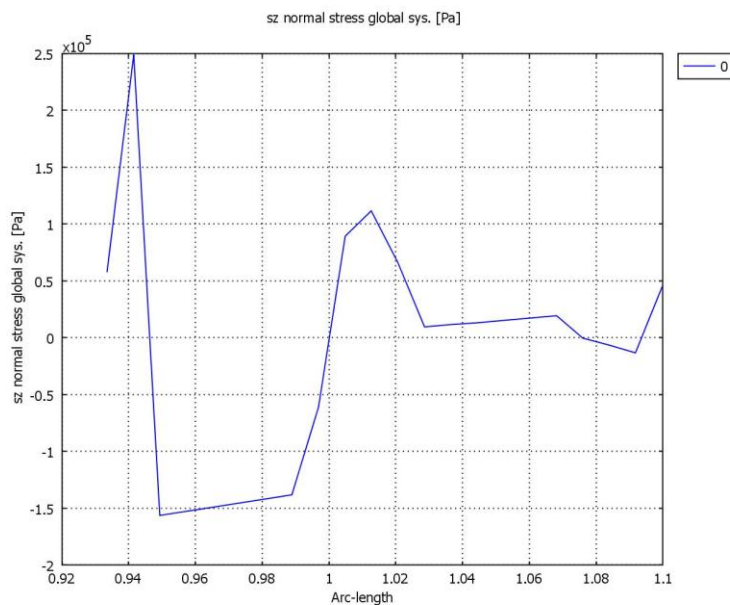
Εικόνα 5. 48 Διάγραμμα τάσεων σε μια στήριξη του μοντέλου κατά τον x άξονα

Το διάγραμμα των τάσεων κατά τον y-άξονα είναι το ακόλουθο Εικόνα (5.49):



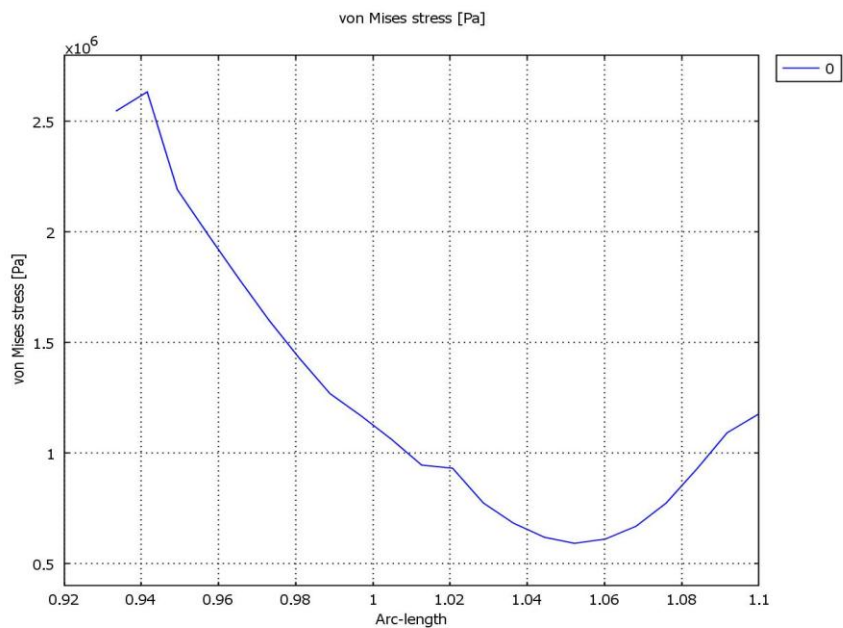
Εικόνα 5. 49 Διάγραμμα τάσεων σε μια στήριξη του μοντέλου κατά τον y άξονα

Το διάγραμμα των τάσεων κατά τον z-άξονα είναι το ακόλουθο Εικόνα (5.50):



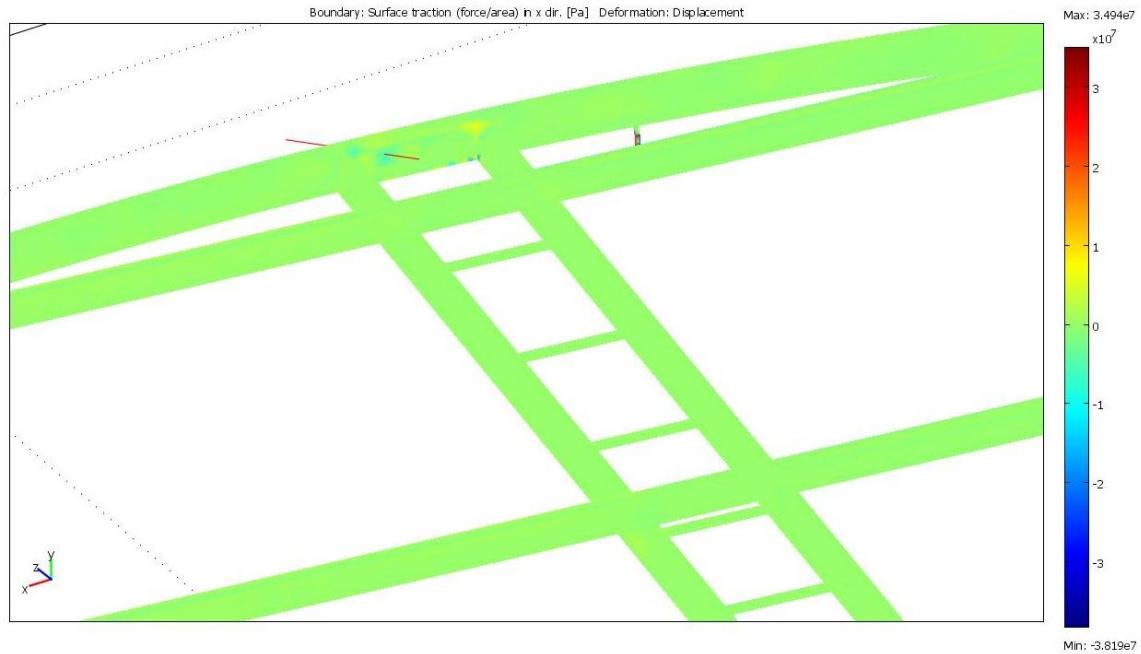
Εικόνα 5. 50 Διάγραμμα τάσεων σε μια στήριξη του μοντέλου κατά τον z άξονα

Το διάγραμμα των τάσεων Von Mises είναι το ακόλουθο Εικόνα (5.51):



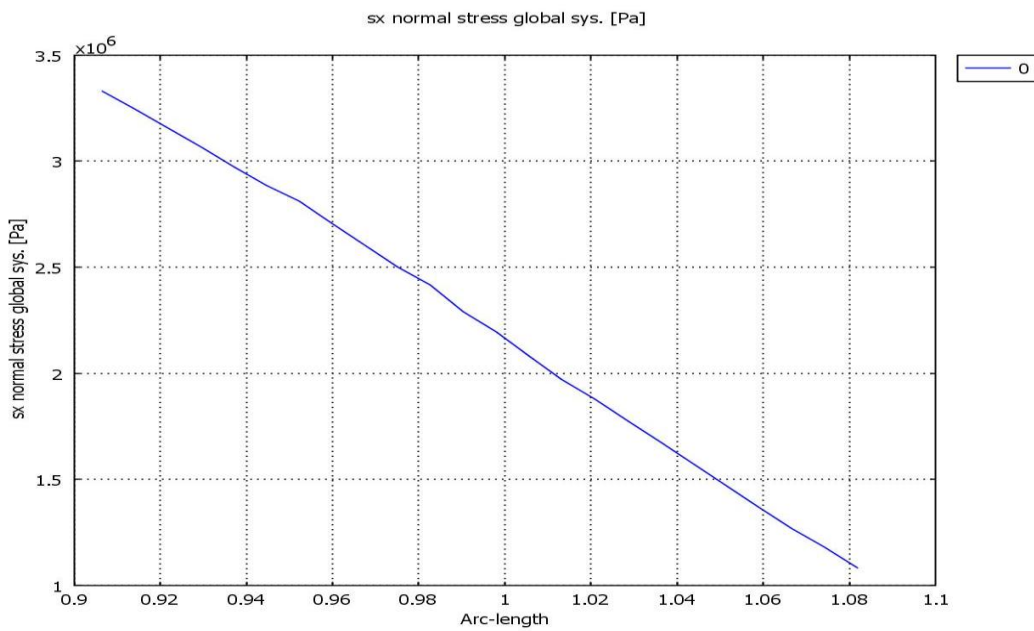
Εικόνα 5.51 Διάγραμμα τάσεων Von Mises

3. Τομή στην άκρη της σκάλας (Εικόνα 5.52).



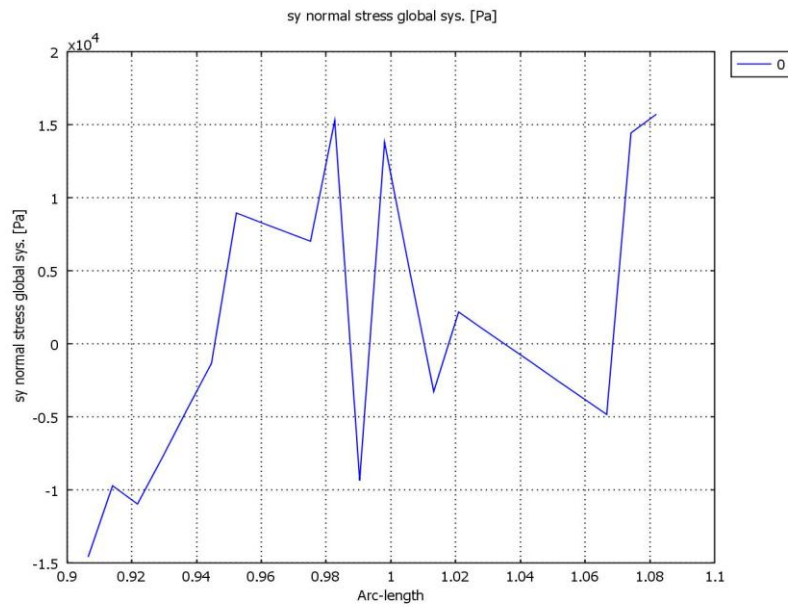
Εικόνα 5.52 Τομή στην άκρη της σκάλας

Το διάγραμμα των τάσεων κατά τον x-άξονα είναι το ακόλουθο Εικόνα (5.53):



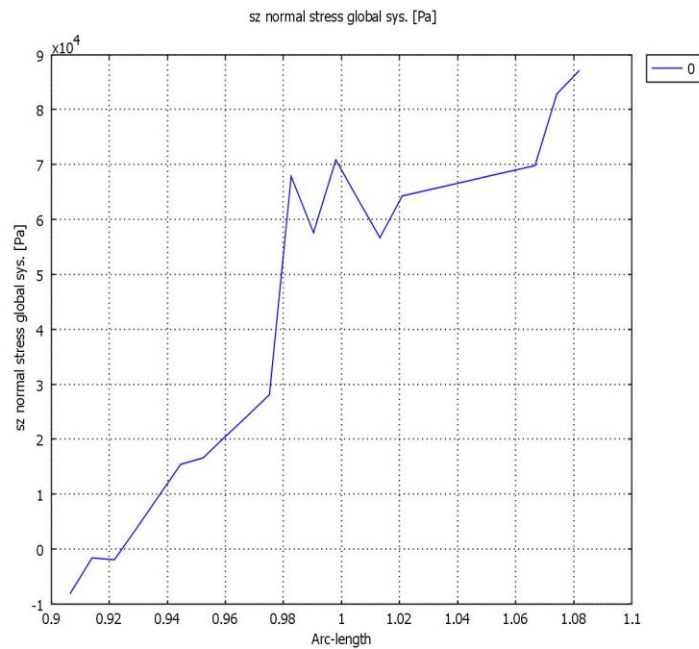
Εικόνα 5. 53 Διάγραμμα τάσεων στην άκρη της σκάλας κατά τον x άξονα

Το διάγραμμα των τάσεων κατά τον y-άξονα είναι το ακόλουθο Εικόνα (5.54):



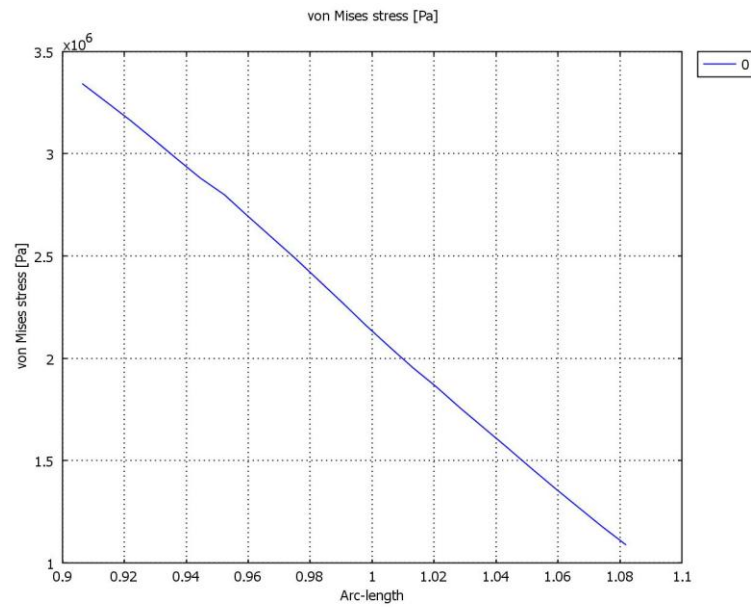
Εικόνα 5.54 Διάγραμμα τάσεων στην άκρη της σκάλας κατά τον y άξονα

Το διάγραμμα των τάσεων κατά τον z-άξονα είναι το ακόλουθο Εικόνα (5.55):



Εικόνα 5.55 Διάγραμμα τάσεων στην άκρη της σκάλας κατά τον z άξονα

Το διάγραμμα των τάσεων Von Mises είναι το ακόλουθο Εικόνα (5.56):

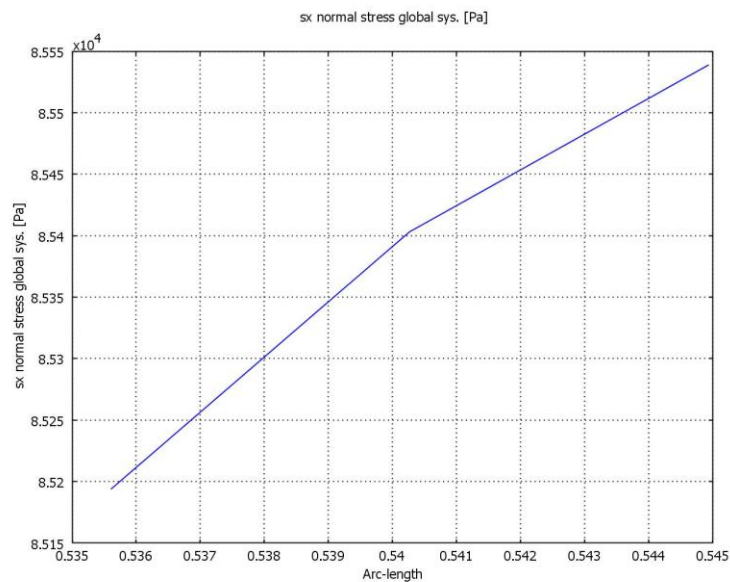


Εικόνα 5.56 Διάγραμμα τάσεων Von Mises

5.2.2 Μοντέλο Χιονιού

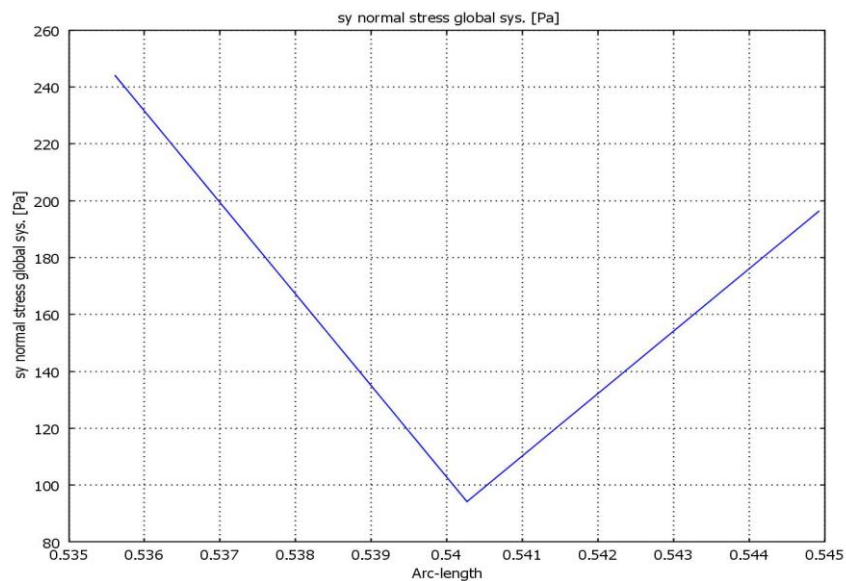
1. Τομή στον άξονα περιστροφής του μοντέλου.

Το διάγραμμα των τάσεων κατά τον x-άξονα είναι το ακόλουθο Εικόνα (5.57):



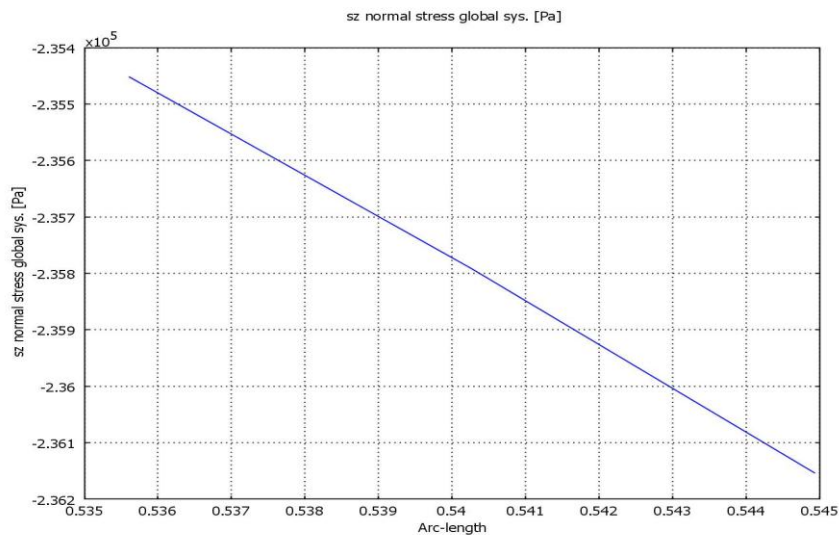
Εικόνα 5.57 Διάγραμμα τάσεων στον άξονα περιστροφής του μοντέλου κατά τον x άξονα

Το διάγραμμα των τάσεων κατά τον y-άξονα είναι το ακόλουθο Εικόνα (5.58):



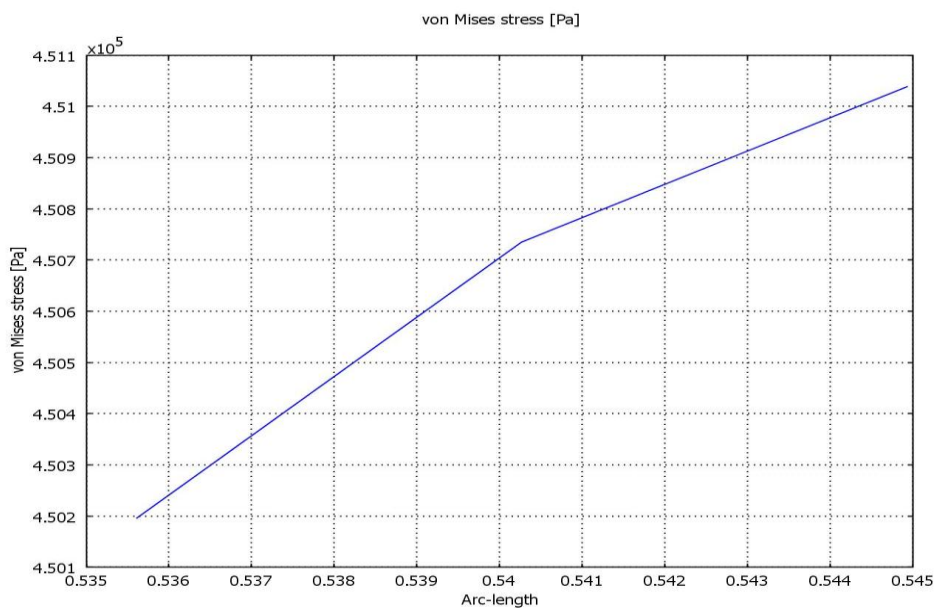
Εικόνα 5.58 Διάγραμμα τάσεων στον άξονα περιστροφής του μοντέλου κατά τον y άξονα

Το διάγραμμα των τάσεων κατά τον z-άξονα είναι το ακόλουθο Εικόνα (5.59):



Εικόνα 5.59 Διάγραμμα τάσεων στον άξονα περιστροφής του μοντέλου κατά τον z άξονα

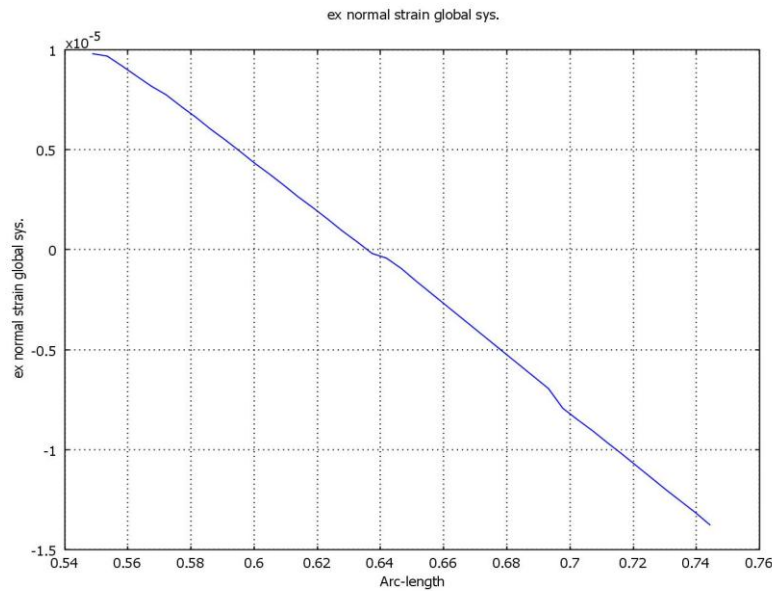
Το διάγραμμα των τάσεων Von Mises είναι το ακόλουθο Εικόνα (5.60):



Εικόνα 5.60 Διάγραμμα τάσεων Von Mises

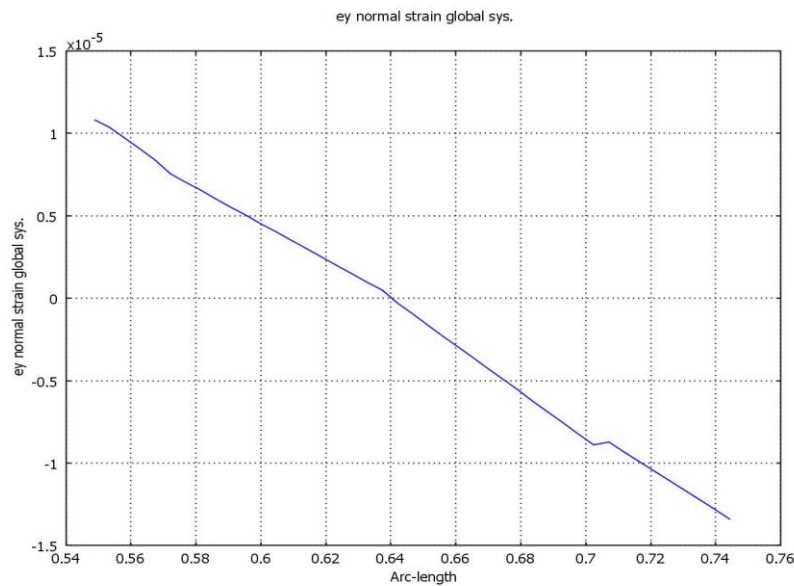
2. Τομή σε μια στήριξη.

Το διάγραμμα των τάσεων κατά τον x-άξονα είναι το ακόλουθο Εικόνα (5.61):



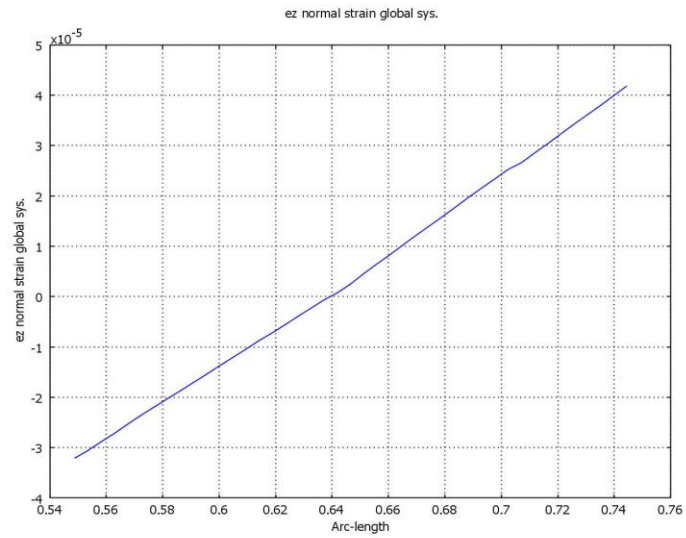
Εικόνα 5. 61 Διάγραμμα τάσεων σε μια στήριξη του μοντέλου κατά τον x άξονα

Το διάγραμμα των τάσεων κατά τον y-άξονα είναι το ακόλουθο Εικόνα (5.62):



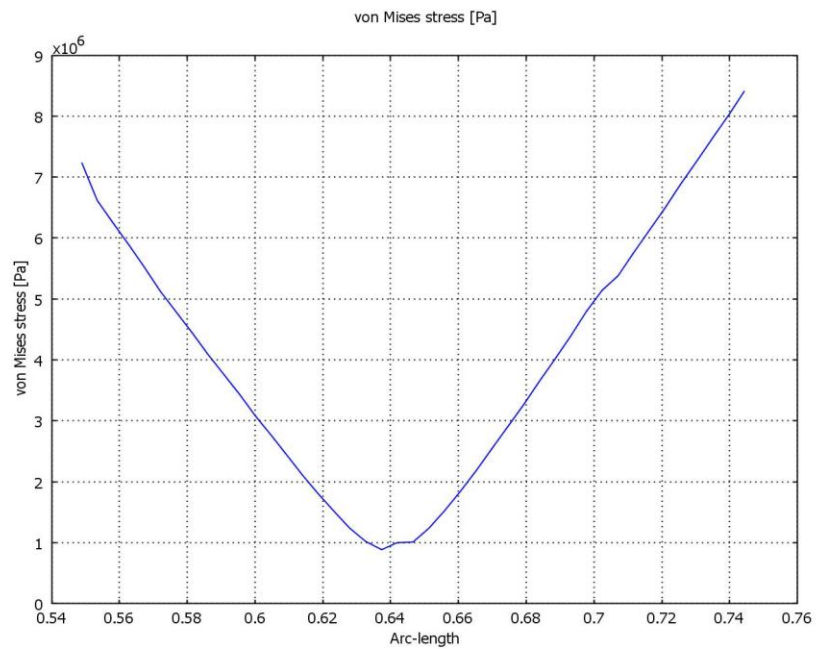
Εικόνα 5. 62 Διάγραμμα τάσεων σε μια στήριξη του μοντέλου κατά τον y άξονα

Το διάγραμμα των τάσεων κατά τον z-άξονα είναι το ακόλουθο Εικόνα (5.63):



Εικόνα 5.63 Διάγραμμα τάσεων σε μια στήριξη του μοντέλου κατά τον z άξονα

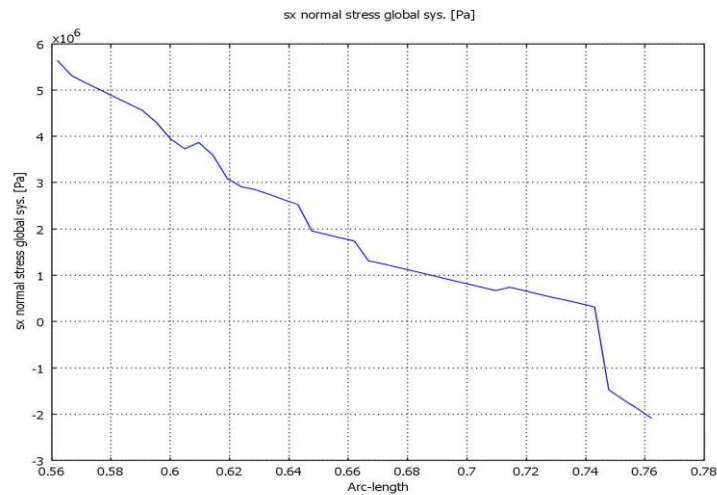
Το διάγραμμα των τάσεων Von Mises είναι το ακόλουθο Εικόνα (5.64):



Εικόνα 5.64 Διάγραμμα τάσεων Von Mises

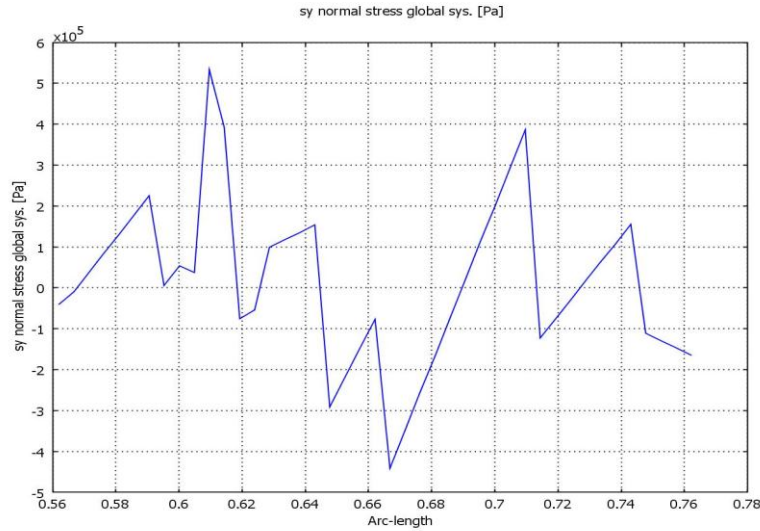
3. Τομή στην άκρη της σκάλας.

Το διάγραμμα των τάσεων κατά τον x-άξονα είναι το ακόλουθο Εικόνα (5.65):



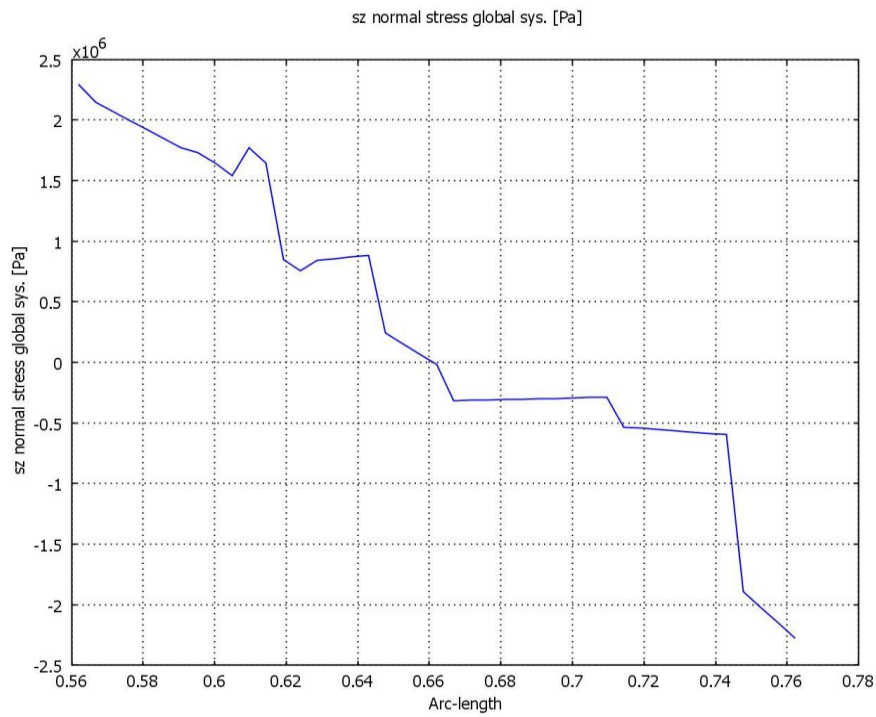
Εικόνα 5. 65 Διάγραμμα τάσεων στην άκρη της σκάλας κατά τον x άξονα

Το διάγραμμα των τάσεων κατά τον y-άξονα είναι το ακόλουθο Εικόνα (5.66):



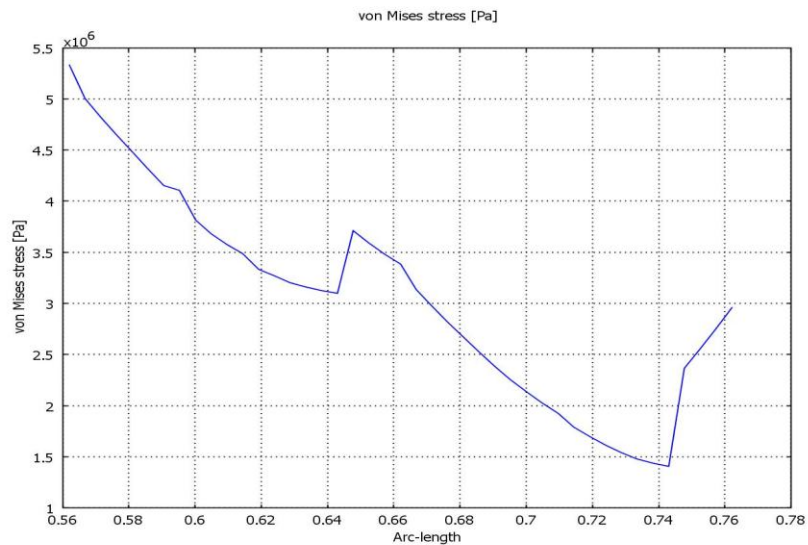
Εικόνα 5.66 Διάγραμμα τάσεων στην άκρη της σκάλας κατά τον y άξονα

Το διάγραμμα των τάσεων κατά τον z-άξονα είναι το ακόλουθο Εικόνα (5.67):



Εικόνα 5. 67 Διάγραμμα τάσεων στην άκρη της σκάλας κατά τον z άξονα

Το διάγραμμα των τάσεων Von Mises είναι το ακόλουθο Εικόνα (5.68):



Εικόνα 5.68 Διάγραμμα τάσεων Von Mises

5.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων τάσεων Von Mises

Το υλικό το οποίο χρησιμοποιήσαμε για να φτιάξουμε την κατασκευή μας είναι χάλυβας ASTM A514 με τα παρακάτω στοιχεία:

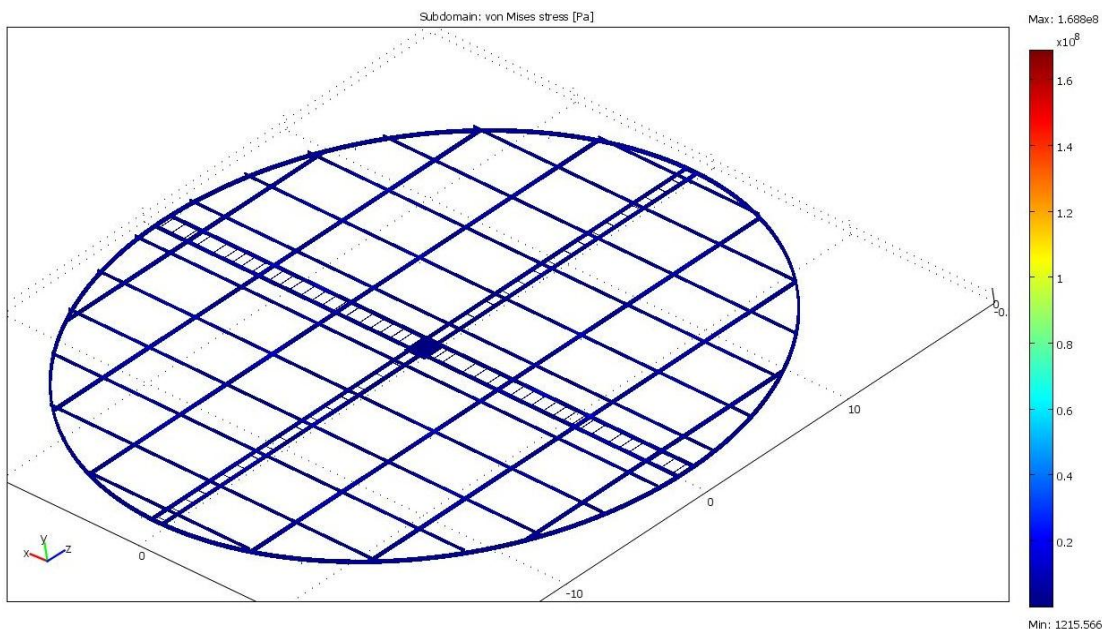
- Πυκνότητα $\rightarrow \rho = 7,8 \text{ gr/cm}^3$
- Όριο θραύσης $\rightarrow \sigma_M = 690 \text{ MPa}$
- Όριο θραύσης σε εφελκυσμού $\rightarrow \sigma_E = 760 \text{ MPa}$

Για να ελέγξω αν η κατασκευή θα αντέξει πηγαίνω σε καθένα από τα τρία μοντέλα που έχω και συγκρίνω αρχικά τις τάσεις Von Mises με το όριο θραύσης που είναι 690 MPa.

5.3.1 Μοντέλο Ανέμου

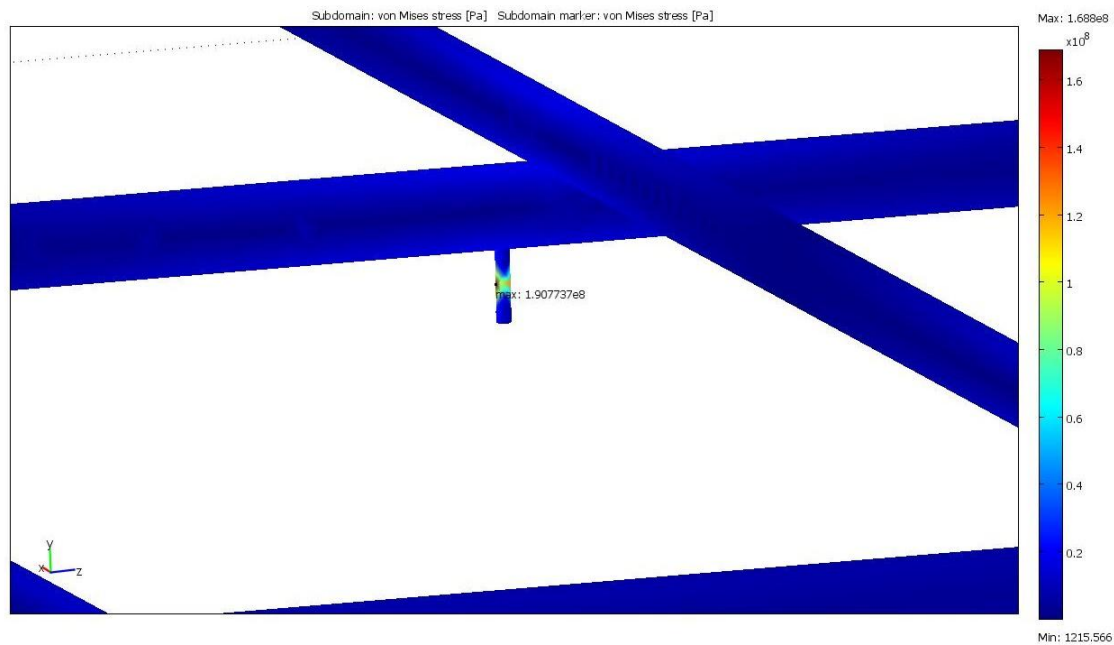
- Το είδος της κεντρικής στήριξης είναι Fixed (Fixed Model):

Οι τάσεις Von Mises της κατασκευής είναι αυτές που φαίνονται στην Εικόνα (5.69).



Εικόνα 5.69 Τάσεις Von Mises κατασκευής

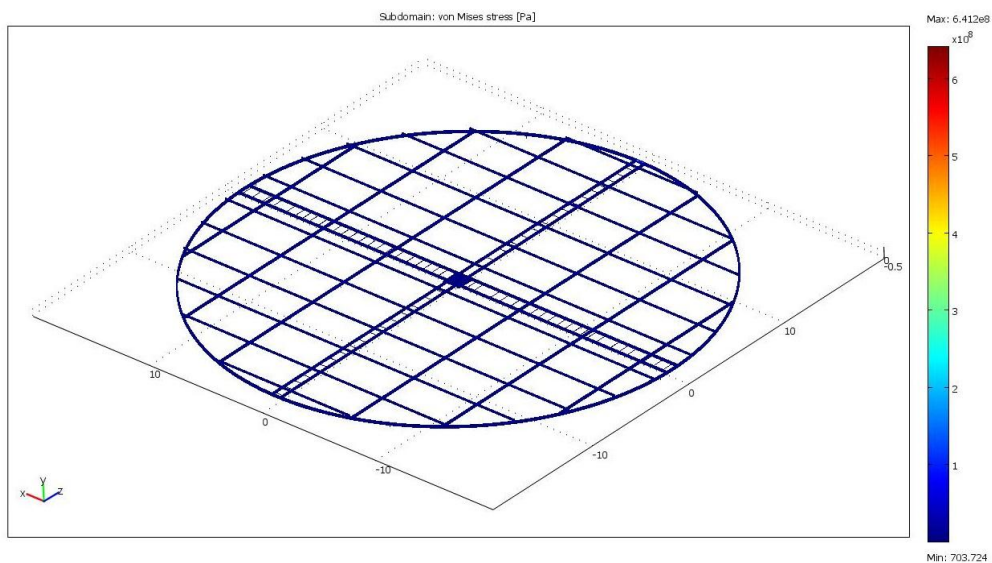
Παρατηρούμε ότι η μέγιστη τάση είναι της τάξης των 1.688×10^8 Pa και βρίσκεται σε μία στήριξη του μοντέλου μας όπως φαίνεται στην Εικόνα (5.70).



Εικόνα 5.70 Μέγιστη τάση Von Mises σε μια στήριξη.

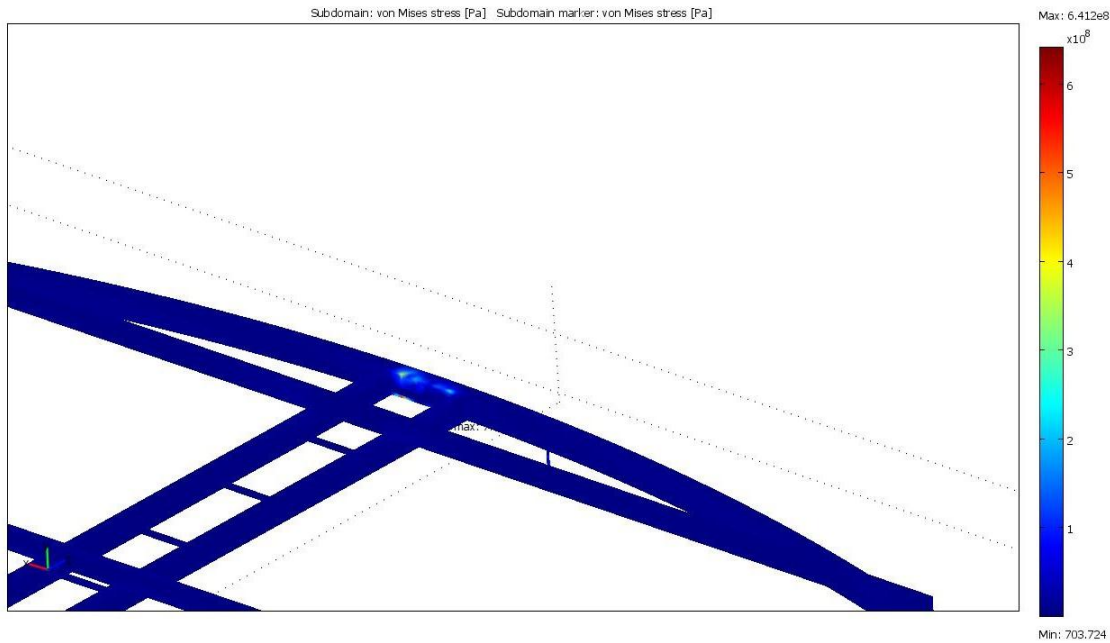
- Το είδος της κεντρικής στήριξης είναι Roller(Roller Model):

Οι τάσεις Von Mises της κατασκευής είναι αυτές που φαίνονται στην Εικόνα (5.71).



Εικόνα 5.71 Τάσεις Von Mises κατασκευής

Παρατηρούμε ότι η μέγιστη τάση είναι της τάξης των 6.412×10^8 Pa και βρίσκεται σε μία στήριξη του μοντέλου μας όπως φαίνεται στην Εικόνα (5.72).



Εικόνα 5.72 Μέγιστη τάση Von Mises σε μια στήριξη.

Τάσεις Von Mises και για τις δύο περιπτώσεις:

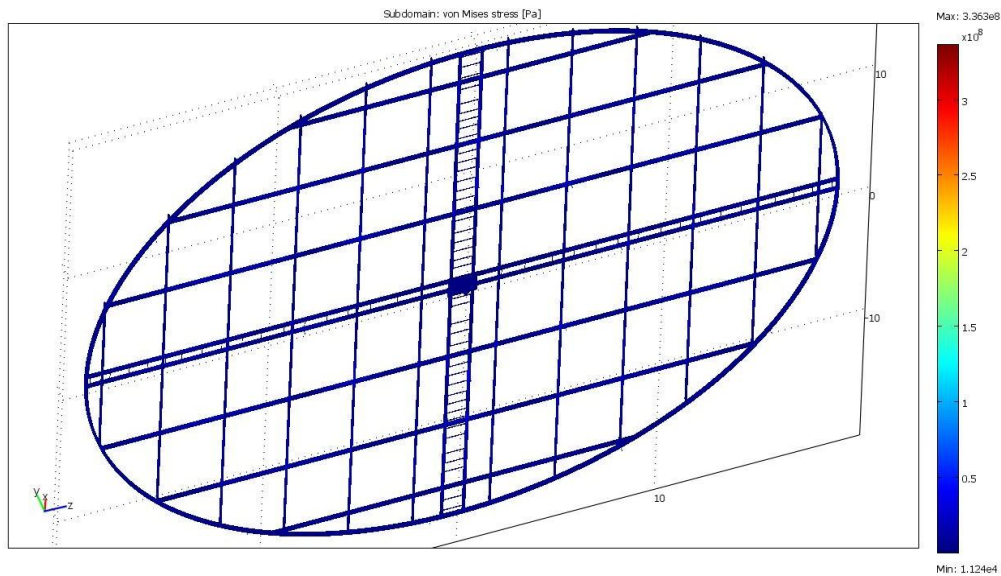
- Μοντέλο Ανέμου (Fixed) $\rightarrow \sigma = 1.688 \times 10^8$ Pa
- Μοντέλο Ανέμου (Roller) $\rightarrow \sigma = 6.412 \times 10^8$ Pa

Παρατηρούμε ότι το μοντέλο μας και στις δύο περιπτώσεις δεν θα καταρρεύσει διότι το όριο θραύσης είναι πιο υψηλό από τις τάσεις Von Mises, αλλά στην περίπτωση κατασκευής του μοντέλου θα πρέπει να δοθεί μεγάλη σημασία στον τρόπο κατασκευής ειδικά στο σημείο που έχουμε μεγάλες τάσεις για να μην καταρρεύσει.

5.3.2 Μοντέλο Χιονιού

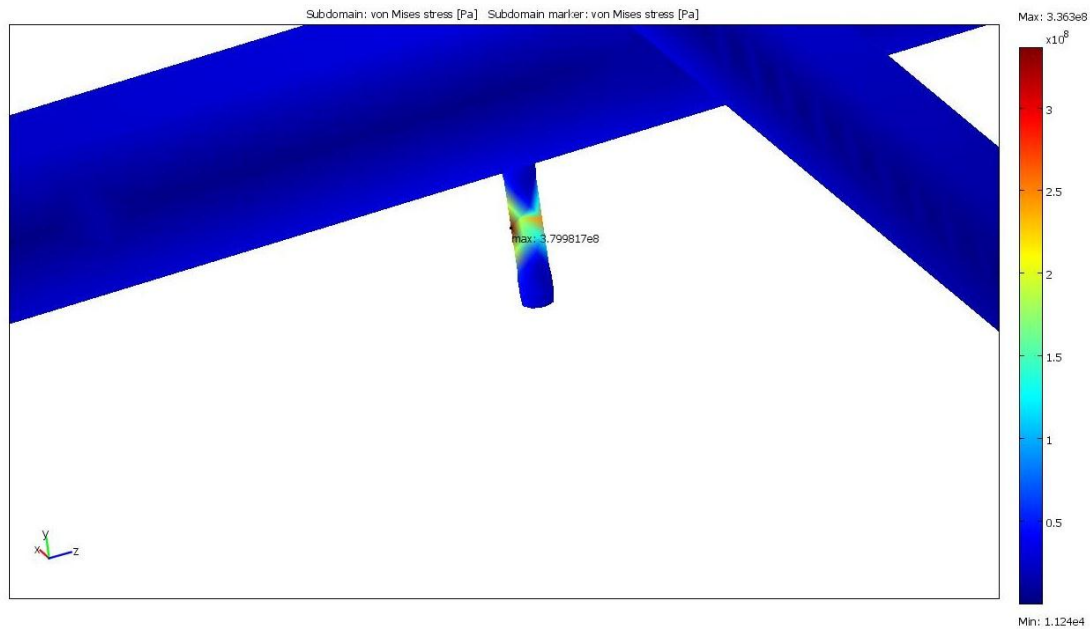
- Το είδος της κεντρικής στήριξης είναι Fixed (Fixed Model):

Οι τάσεις Von Mises της κατασκευής είναι αυτές που φαίνονται στην Εικόνα (5.73).



Εικόνα 5.73 Τάσεις Von Mises κατασκευής

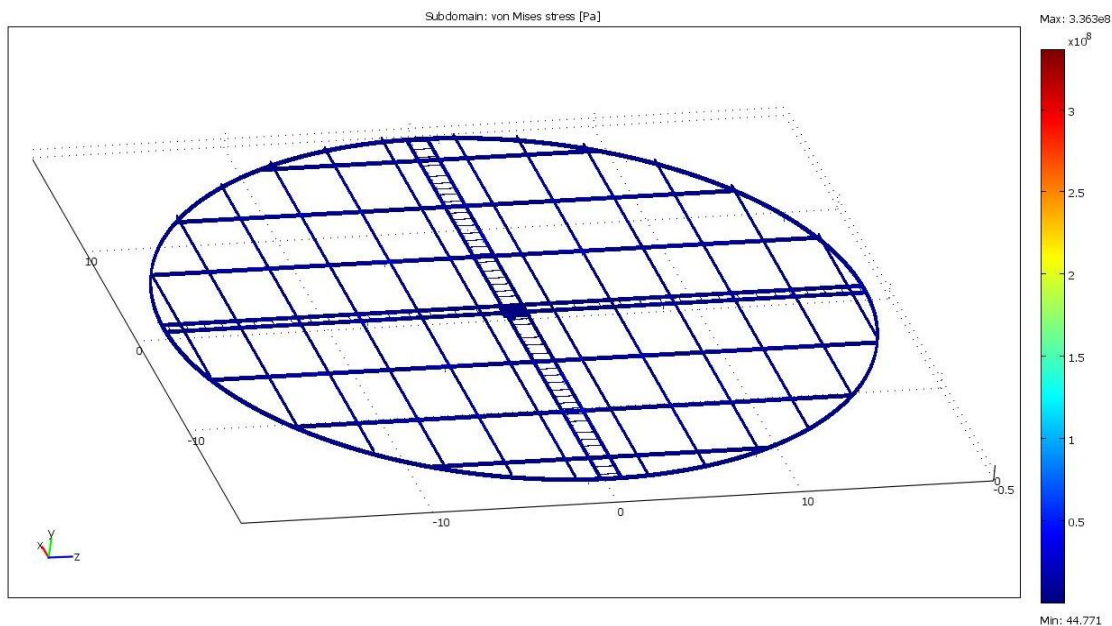
Παρατηρούμε ότι η μέγιστη τάση είναι της τάξης των 3.363×10^8 Pa και βρίσκεται σε μία στήριξη του μοντέλου μας όπως φαίνεται στην Εικόνα (5.74).



Εικόνα 5.74 Μέγιστη τάση Von Mises.

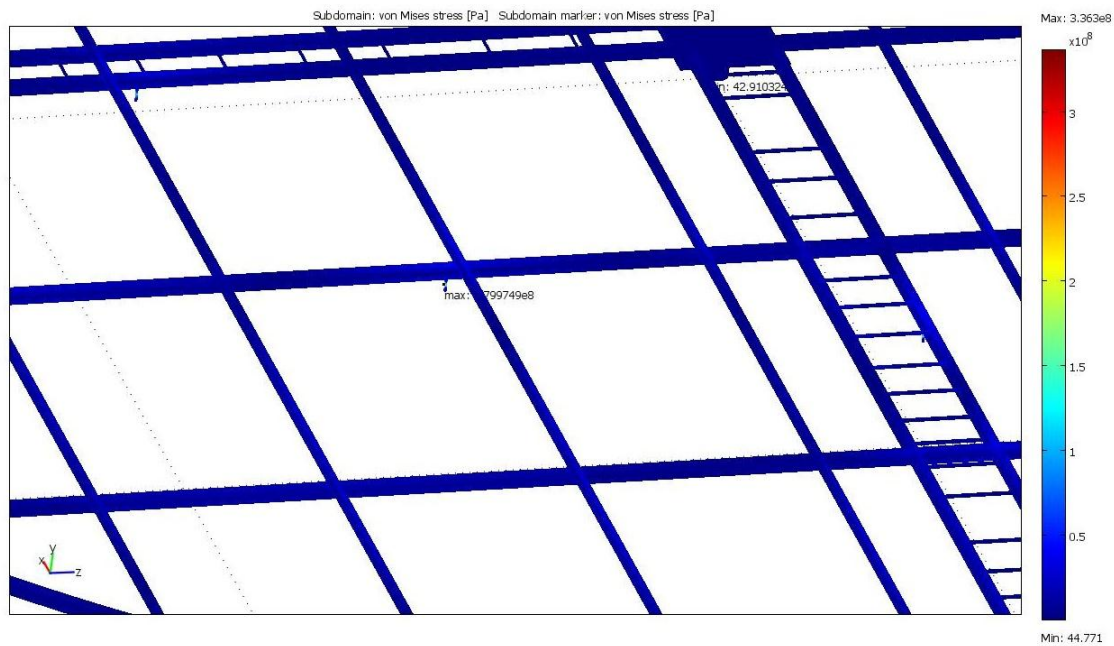
- Το είδος της κεντρικής στήριξης είναι Roller(Roller Model):

Οι τάσεις Von Mises της κατασκευής είναι αυτές που φαίνονται στην Εικόνα (5.75).



Εικόνα 5.75 Τάσεις Von Mises κατασκευής

Παρατηρούμε ότι η μέγιστη τάση είναι της τάξης των 3.363×10^8 Pa και βρίσκεται σε μία στήριξη του μοντέλου μας όπως φαίνεται στην Εικόνα (5.76).



Εικόνα 5.76 Μέγιστη τάση Von Mises.

Τάσεις Von Mises και για τις δύο περιπτώσεις:

- Μοντέλο Χιονιού (Fixed) $\rightarrow \sigma = 3.363 \times 10^8 \text{ Pa}$
- Μοντέλο Χιονιού (Roller) $\rightarrow \sigma = 3.363 \times 10^8 \text{ Pa}$

Παρατηρούμε ότι το μοντέλο μας θα αντέξει και στις δύο περιπτώσεις εφόσον η τάση είναι $3.363 \times 10^8 \text{ Pa}$ και το όριο θραύσης είναι 690 MPa .

5.4 Αποτελέσματα Παραμορφώσεων

Σε αυτήν την ενότητα θα μελετήσουμε τις παραμορφώσεις κατά τους τρεις άξονες ανάλογα με το είδος της στήριξης που υπάρχει στην κεντρική άτρακτο.

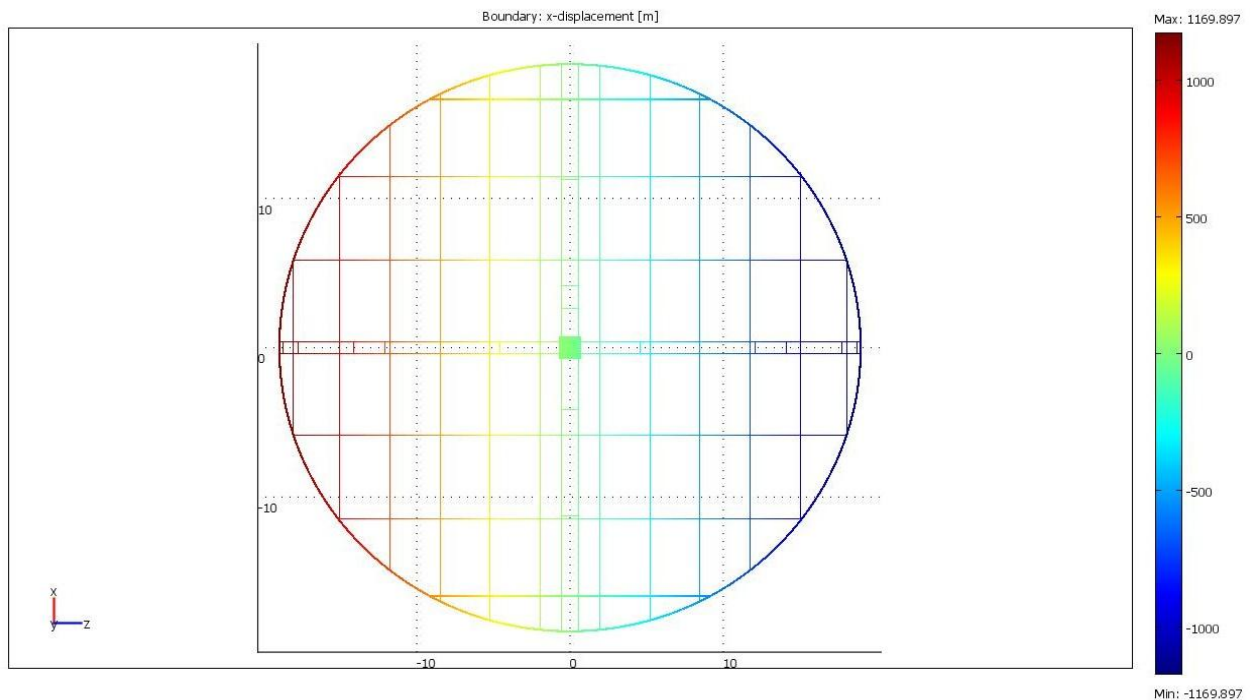
5.4.1 Μοντέλο Ανέμου

Παραμόρφωση κατά τον x-άξονα:

- Το είδος της κεντρικής στήριξης είναι Roller (Roller Model):

Οι μεγάλες μετακινήσεις που εμφανίζονται κατά αυτόν τον άξονα οφείλονται στο γεγονός ότι ο άξονας περιστροφής είναι ελεύθερος στην κίνηση του κατά τον x και z άξονα

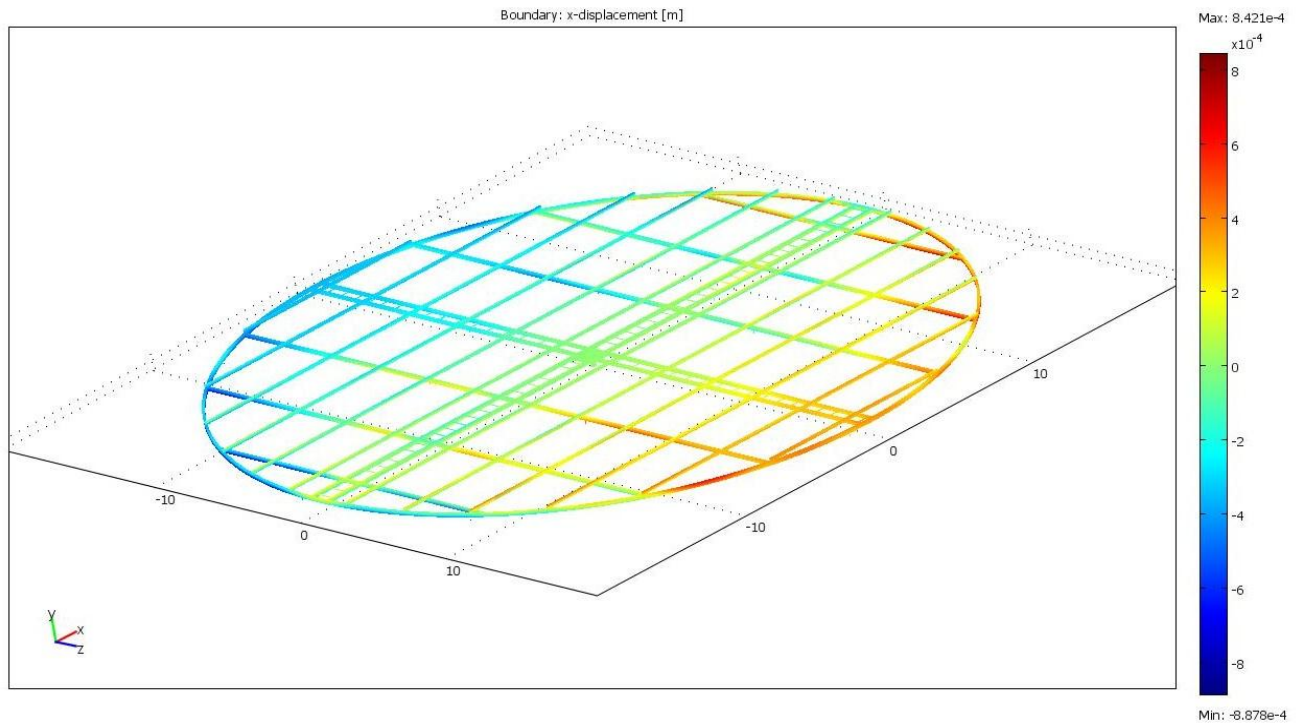
και στο ότι η κατασκευή δέχεται από αυτή την κατεύθυνση μόνο την επίδραση της Αδρανειακής Δύναμης (σημειώνεται ότι κατά τον x και y άξονα δεν έχουμε επίδραση του ανέμου!) όπως φαίνεται στην Εικόνα (5.77).



Εικόνα 5.77 Μετακινήσεις που εμφανίζονται κατά τον x -άξονα, Roller Model

- Το είδος της κεντρικής στήριξης είναι Fixed (Fixed Model):

Λόγω του ότι ο άξονας περιστροφής είναι πακτωμένος, μειώνεται σημαντικά η επίδραση της Αδρανειακής Δύναμης η οποία έχει συνιστώσα κατά τον x -άξονα. Γι' αυτό το λόγο παρατηρούμε πολύ μεγάλη και σημαντική διαφορά σε αυτό το μοντέλο σε σχέση με το προηγούμενο που είχε διαφορετικό είδος στήριξης. Αυτό είναι φανερό στην Εικόνα (5.78).

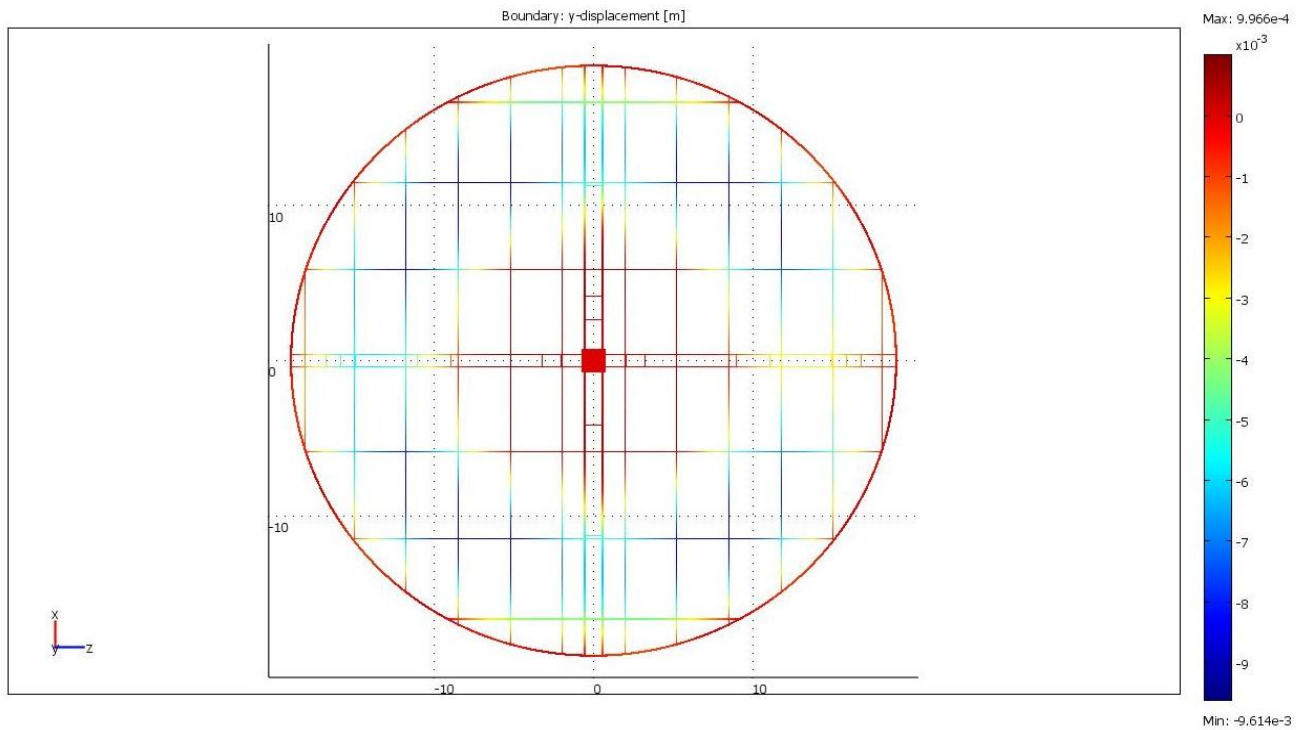


Εικόνα 5.78 Μετακινήσεις που εμφανίζονται κατά τον x-άξονα, Fixed Model

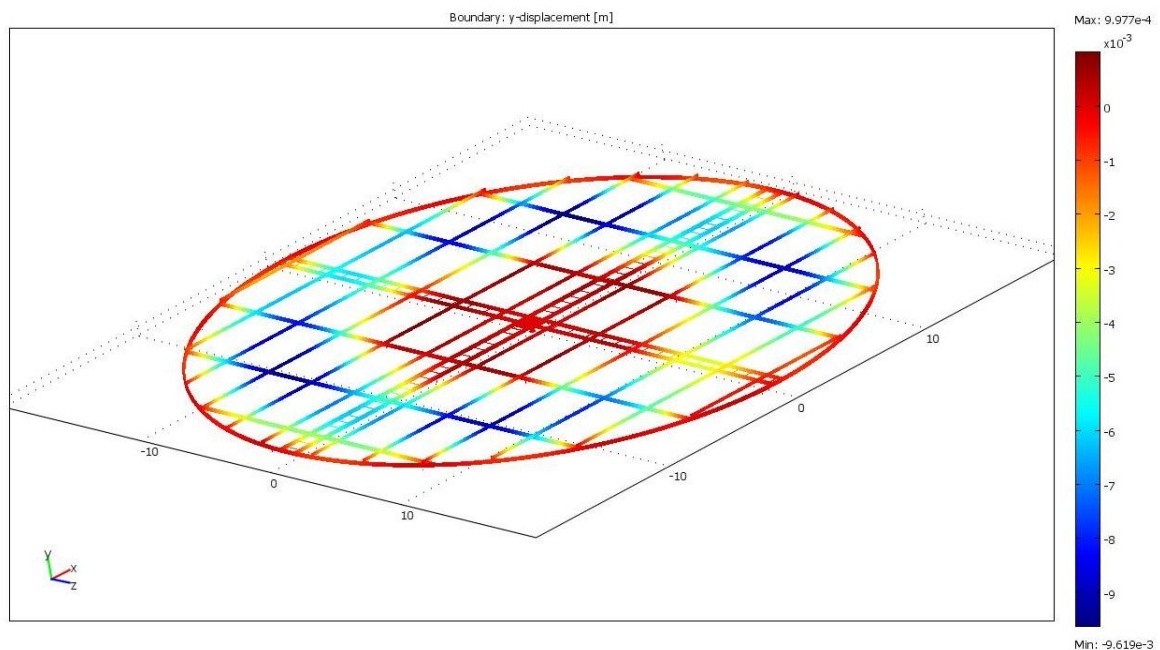
Παραμόρφωση κατά τον y-άξονα:

- Το είδος της κεντρικής στήριξης είναι Fixed (Fixed Model) και Roller (Roller Model) :

Η μετακίνηση κατά τον y-άξονα είναι ίδια και στις δύο περιπτώσεις (Fixed και Roller model) και αυτό οφείλεται σε ότι η κατασκευή λαμβάνει υπ' όψιν της μόνο την επίδραση του βάρους της. Αφού μελετάμε την παραμόρφωση κατά τον κάθετο άξονα στο επίπεδο της κατασκευής τότε θα έχουμε ίδια αποτελέσματα αφού λαμβάνουν και τα δύο μοντέλα το ίδιο βάρος όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες.



Εικόνα 5.79 Μετακινήσεις που εμφανίζονται κατά τον y-άξονα, Roller Model



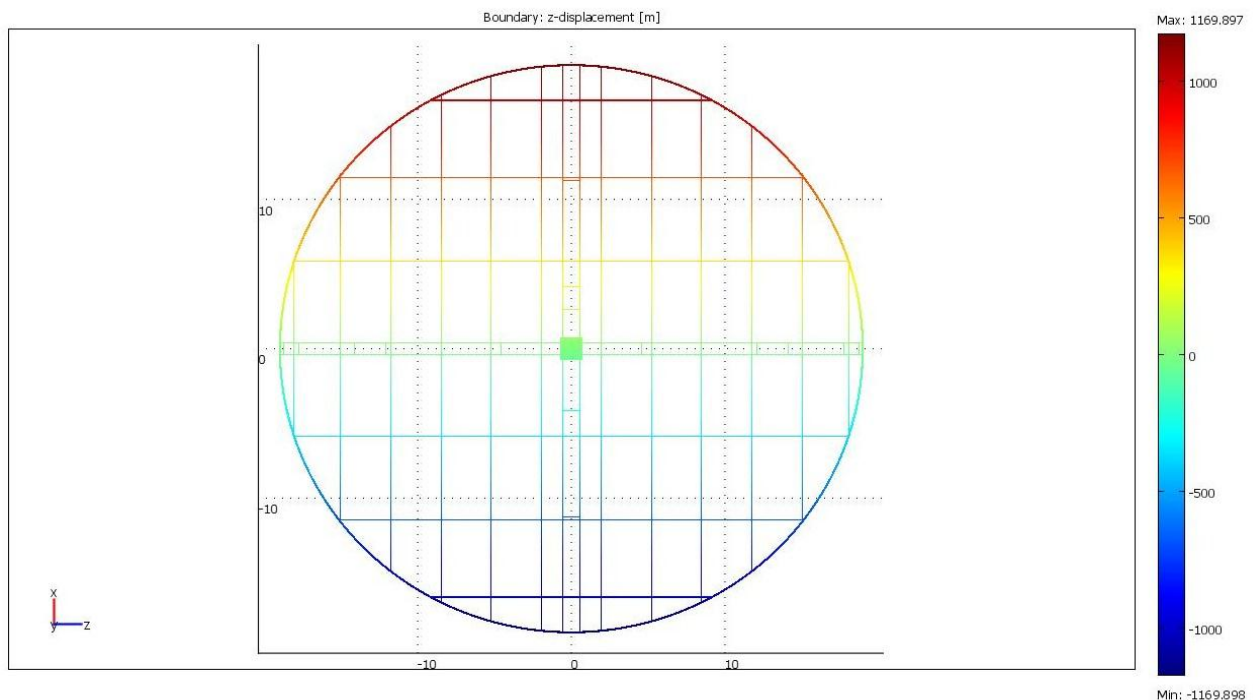
Εικόνα 5.80 Μετακινήσεις που εμφανίζονται κατά τον y-άξονα, Fixed Model

Τα κόκκινα μέλη της κατασκευής δείχνουν μια ελάχιστη παραμόρφωση σε σχέση με τα μπλέ μέλη, και αυτό οφείλεται στις στηρίξεις που έχουν τοποθετηθεί στην περίμετρο του μοντέλου και σε απόσταση 7 μέτρων γύρω από τον άξονα περιστροφής του μοντέλου. Τα μέλη με το μπλέ χρώμα δείχνουν μια μικρή βύθιση λόγω του ότι δεν υπάρχουν σε αυτά τα σημεία στηρίξεις.

Παραμόρφωση κατά τον z-άξονα:

- Το είδος της κεντρικής στήριξης είναι Roller (Roller Model):

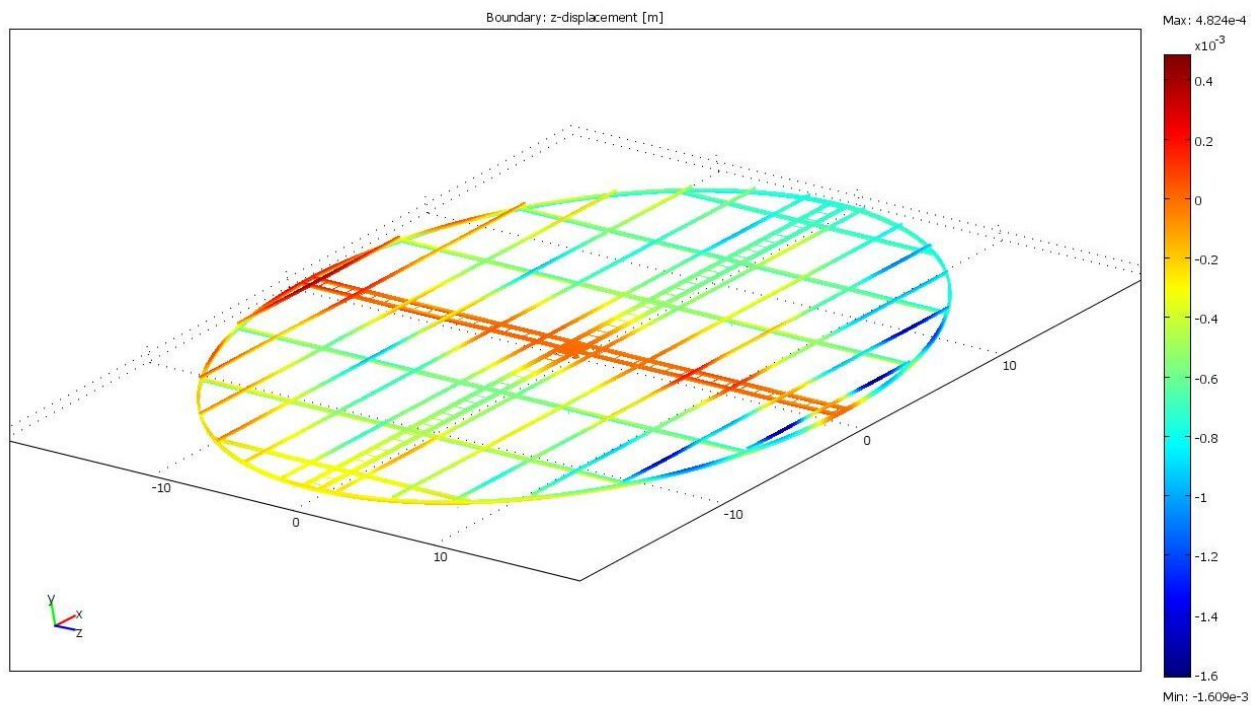
Εδώ παρατηρούμε μία μεγάλη μετακίνηση λόγω του ότι ο άξονας περιστροφής έχει μία ελεύθερη μετακίνηση προς αυτήν την κατεύθυνση (όπως αναφέρθηκε παραπάνω) και οι δυνάμεις του Ανέμου έχουν τοποθετηθεί προς αυτήν την κατεύθυνση επίσης Όλο αυτό κάνει την κατασκευή μας να μετακινείται σε πολύ μεγάλες αποστάσεις χωρίς να υπάρχει κάποιο εμπόδιο για να την σταματήσει, Εικόνα (5.81).



Εικόνα 5.81 Μετακινήσεις που εμφανίζονται κατά τον z-άξονα, Roller Model

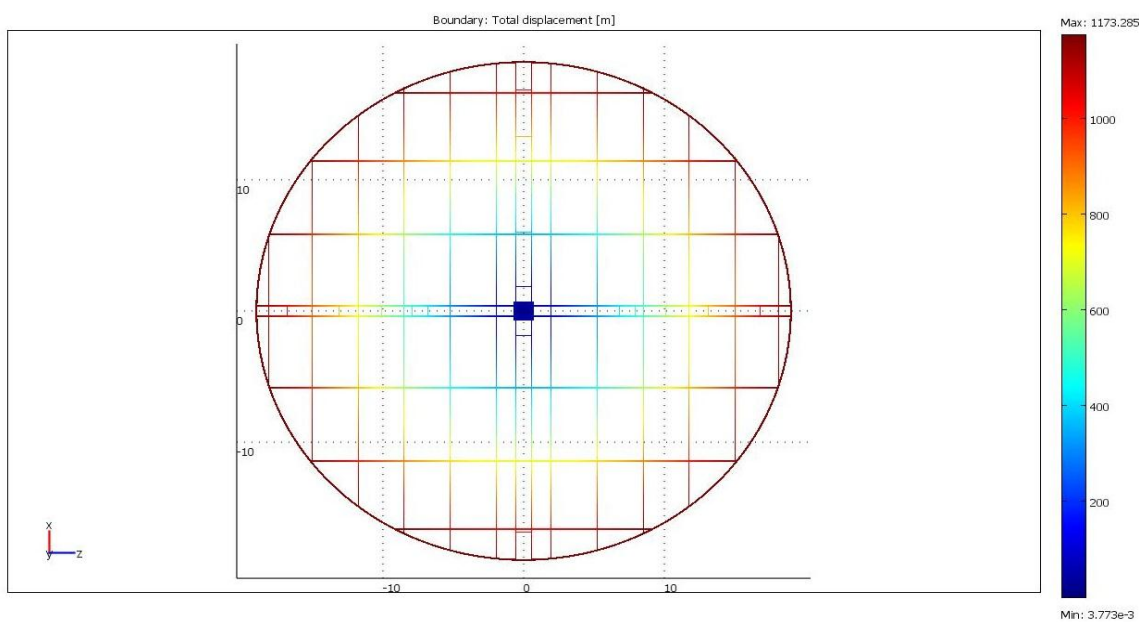
- Το είδος της κεντρικής στήριξης είναι Fixed (Fixed Model):

Στο μοντέλο Fixed όπου ο άξονας περιστροφής είναι πακτωμένος παρατηρούμε μία μικρή μετακίνηση της κατασκευής και οι μεγαλύτερες τιμές εμφανίζονται στα σημεία που εφαρμόζονται οι δυνάμεις του Ανέμου (τα κομμάτια με το έντονο μπλέ χρώμα), Εικόνα (5.82). Εδώ είναι φανερό πόσο σημαντική είναι η πάκτωση της ατράκτου, καθώς και το πώς αυτή επηρεάζει τις μετακινήσεις του μοντέλου.



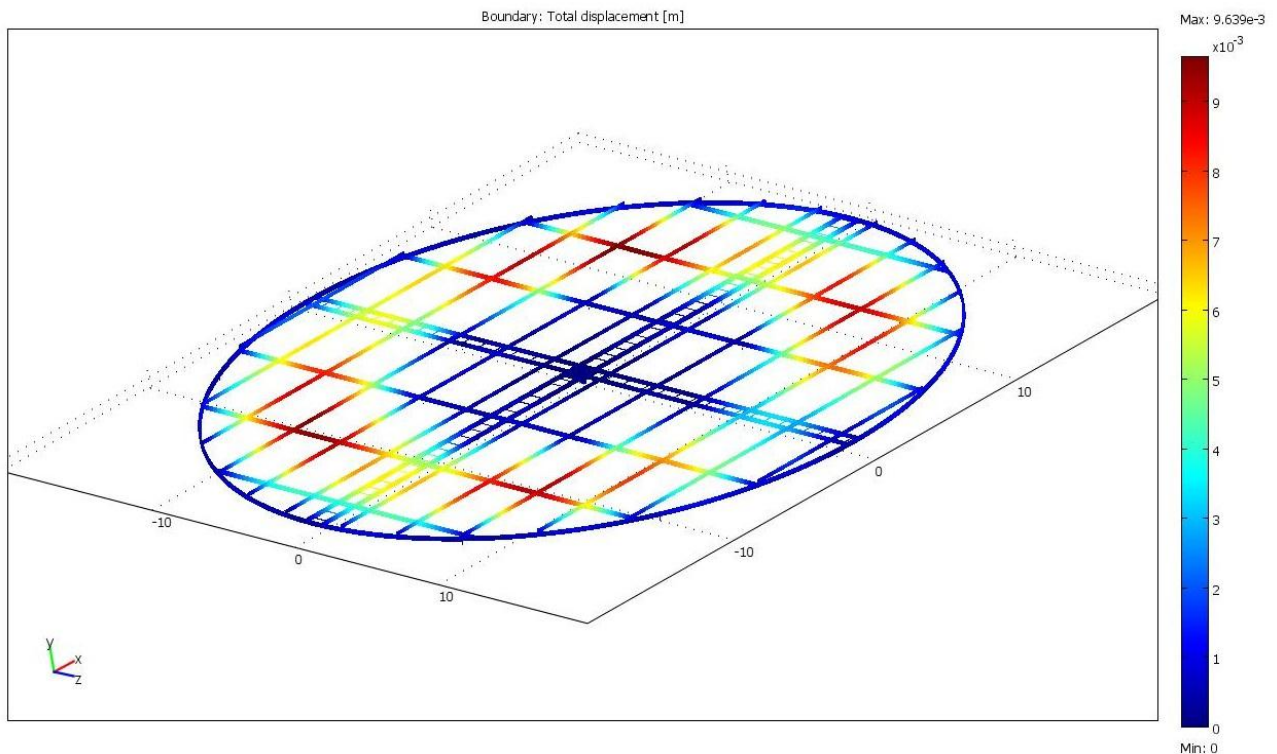
Εικόνα 5.82 Μετακινήσεις που εμφανίζονται κατά τον z-άξονα, Fixed Model

Η συνολική μετακίνηση της κατασκευής για το Roller Model είναι όπως φαίνεται στην Εικόνα (5.83).



Εικόνα 5.83 Η συνολική μετακίνηση του μοντέλου Roller

Η συνολική μετακίνηση της κατασκευής για το Fixed Model είναι όπως φαίνεται στην Εικόνα (5.84).



Εικόνα 5.84 Η συνολική μετακίνηση του μοντέλου Fixed

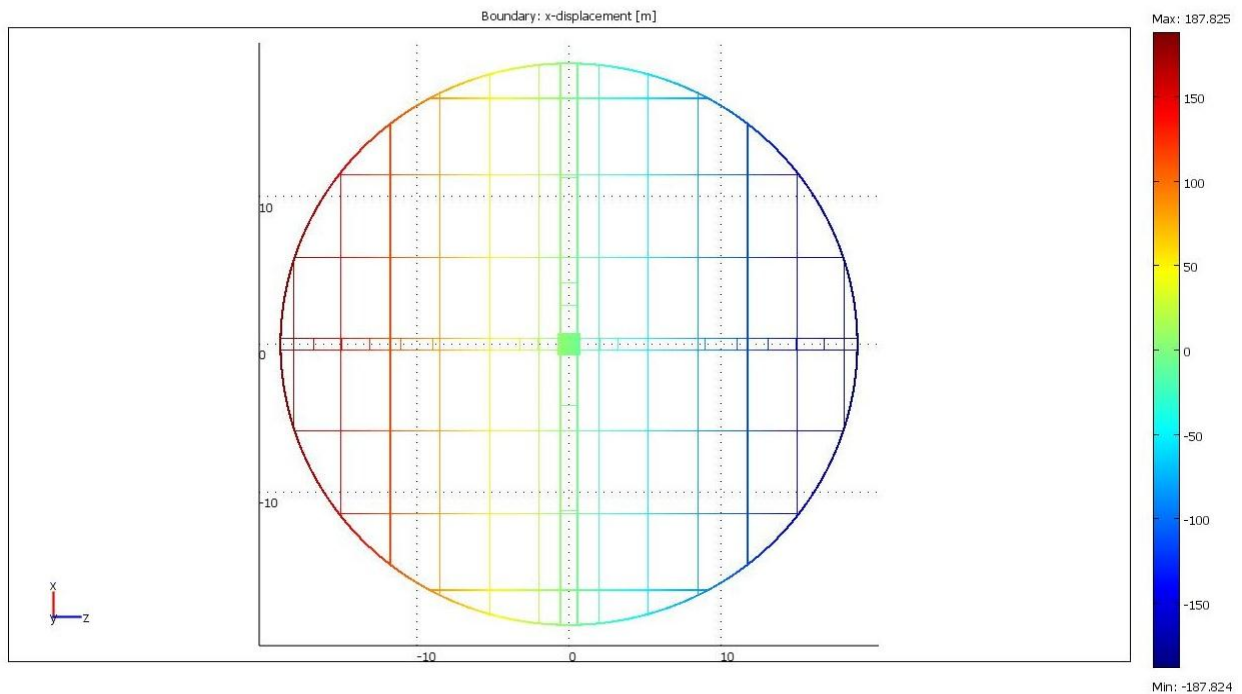
Γενικά στο μοντέλο του Ανέμου μας ενδιαφέρει πιο πολύ η παραμόρφωση που θα έχει η κατασκευή μας από την επίδραση του ανέμου και η οποία φαίνεται να είναι ελάχιστη από την μετακίνηση που εμφανίστηκε κατά τον **z**-άξονα.

5.4.2 Μοντέλο Χιονιού

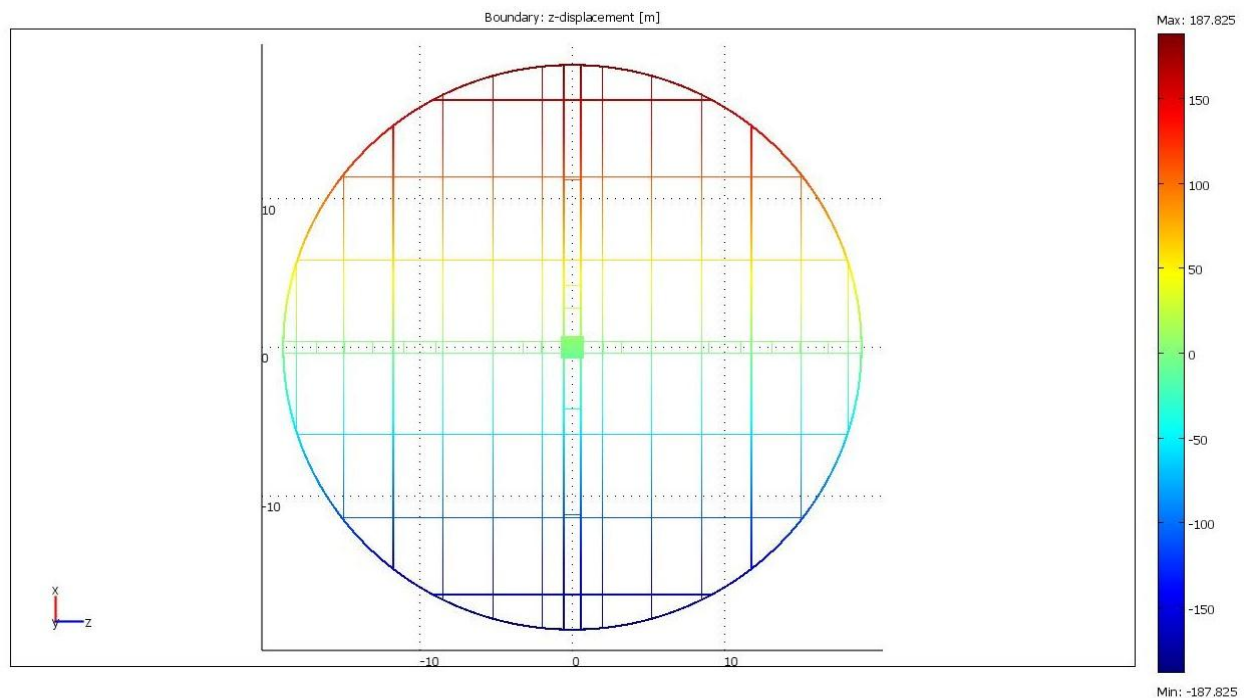
Παραμόρφωση κατά τους άξονες x και z:

- Το είδος της κεντρικής στήριξης είναι Roller (Roller Model):

Ο άξονας περιστροφής έχει μορφή Roller, άρα έχουμε μία ελεύθερη μετακίνηση κατά τους άξονες x και z και γι' αυτό το λόγο παρατηρούμε μία μεγάλη μετακίνηση, Εικόνα (5.85 , 5.86).



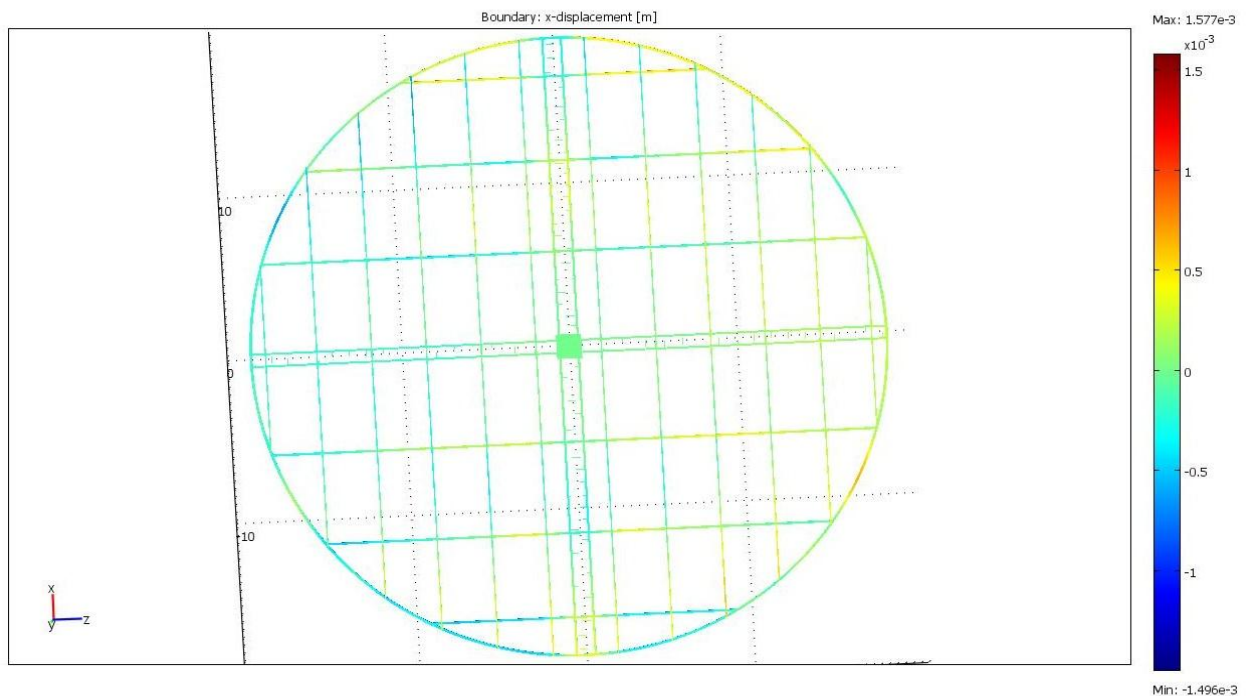
Εικόνα 5.85 Μετακινήσεις που εμφανίζονται κατά τον x-άξονα, Roller Model



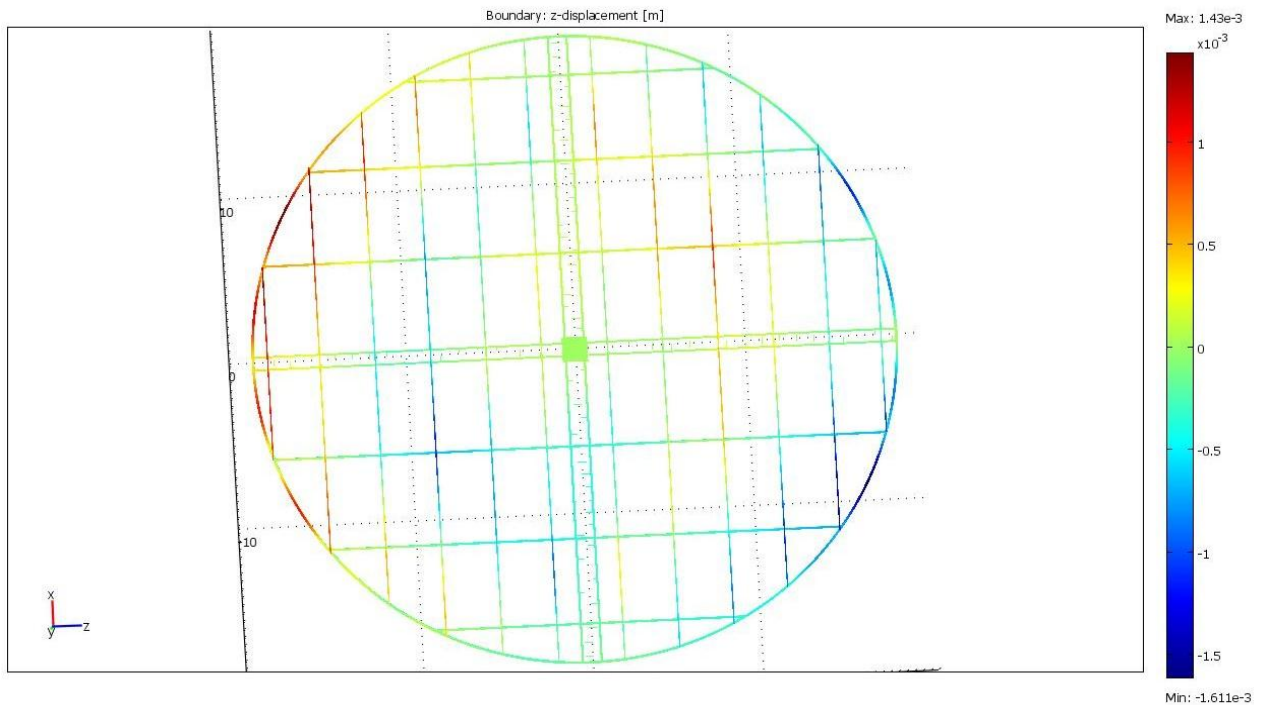
Εικόνα 5.86 Μετακινήσεις που εμφανίζονται κατά τον z-άξονα, Roller Model

- Το είδος της κεντρικής στήριξης είναι Fixed (Fixed Model):

Σε αυτήν την περίπτωση παρατηρούμε μικρές μετακινήσεις λόγω του ότι ο άξονας περιστροφής είναι πακτωμένος και αυτό εμποδίζει την μετακίνηση κατά τους άξονες x και z , Εικόνες (5.87, 5.88).



Εικόνα 5.87 Μετακινήσεις που εμφανίζονται κατά τον x-άξονα, Fixed Model



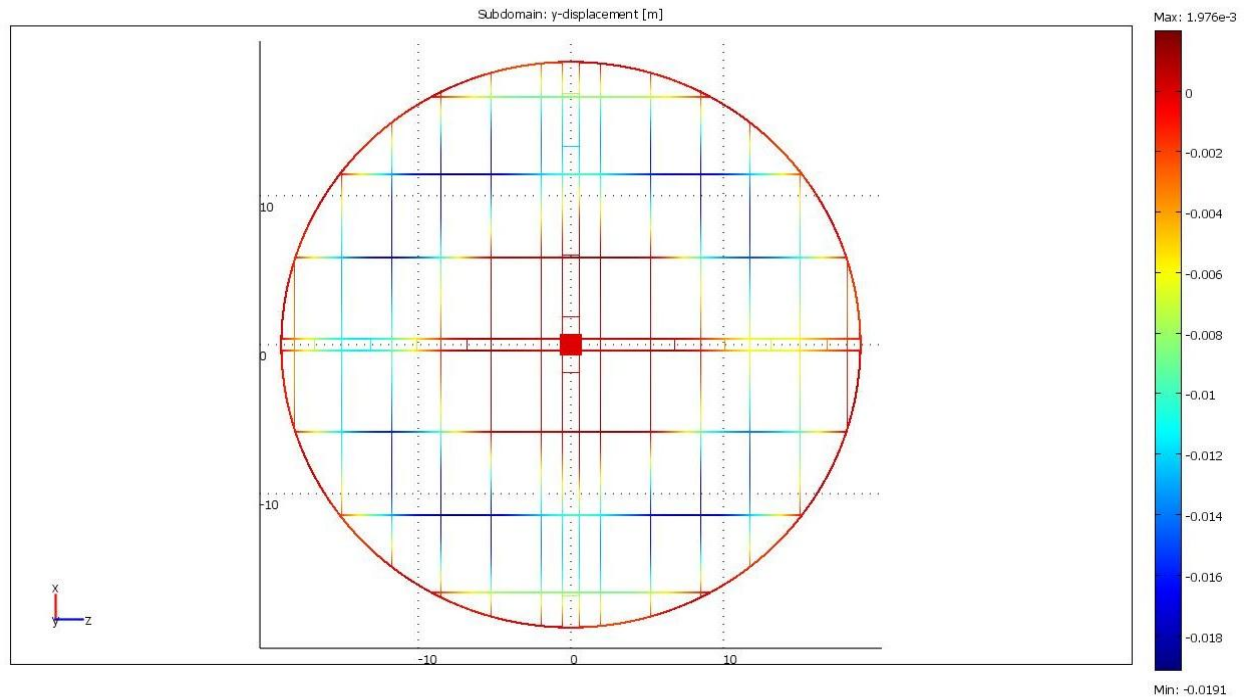
Εικόνα 5.88 Μετακινήσεις που εμφανίζονται κατά τον z-άξονα, Fixed Model

Μία άλλη πολύ σημαντική παρατήρηση είναι ότι άμα πάρουμε ένα είδος στήριξης (Fixed ή Roller) θα δούμε ότι οι μετακινήσεις που έχουμε κατά τους δύο άξονες (x ή z) είναι ακριβώς ίδιες και αυτό σημαίνει ότι από οποιαδήποτε γωνία κι αν κοιτάξουμε την κατασκευή μας θα έχουμε ακριβώς την ίδια μετακίνηση λόγω του ότι δεν έχουμε ξένες δυνάμεις ως προς αυτές τις δύο κατευθύνσεις.

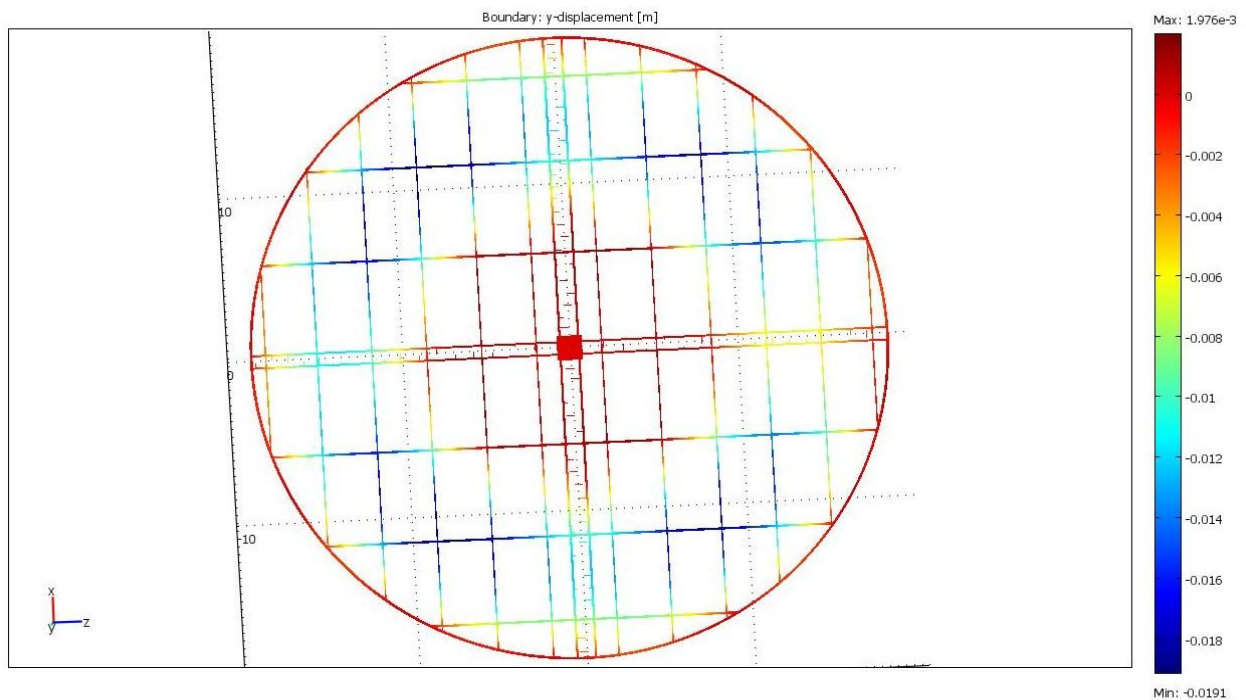
Παραμόρφωση κατά τον y-άξονα:

- Το είδος της κεντρικής στήριξης είναι Fixed (Fixed Model) και Roller (Roller Model) :

Τα αποτελέσματα των δύο μοντέλων είναι ίδια ακριβώς και αυτό οφείλεται σε ότι κάθε φορά φορτώνουμε την κατασκευή μας από την ίδια κατεύθυνση (y-άξονα) με το ίδιο φορτίο (τη δύναμη του βάρους και τη δύναμη του βάρους του χιονιού) και το μόνο που αλλάζει είναι το είδος της στήριξης (τη μία φορά είναι πακτωμένη και την άλλη έχει ελεύθερη μετακίνηση στο επίπεδο x-z) άρα είναι λογικό να έχει την ίδια παραμόρφωση κατά τον άξονα y, Εικόνες (5.89, 5.90).



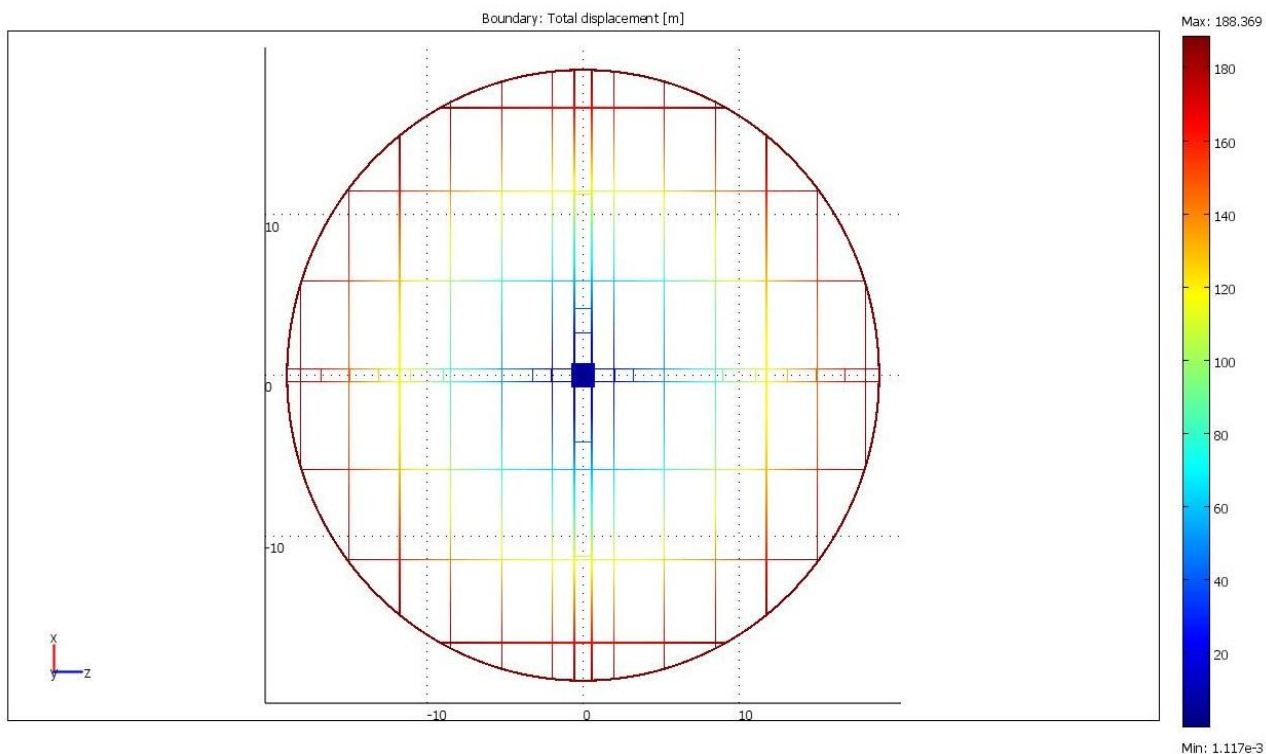
Εικόνα 5.89 Μετακινήσεις που εμφανίζονται κατά τον y-άξονα, Roller Model



Εικόνα 5.90 Μετακινήσεις που εμφανίζονται κατά τον y-άξονα, Fixed Model

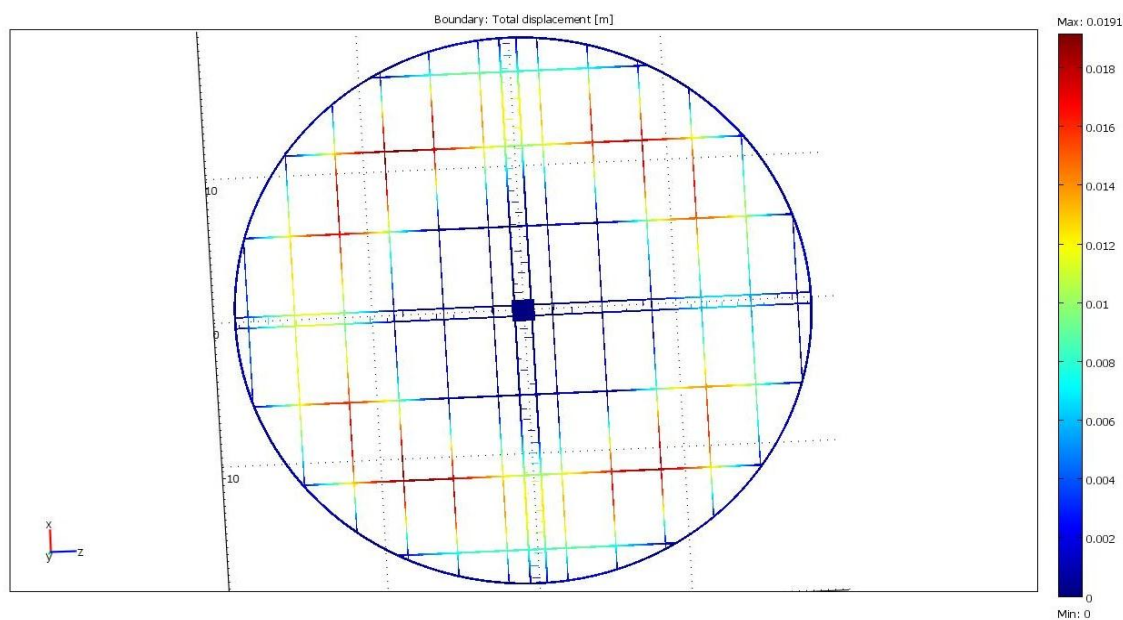
Στα μέλη που έχουν κόκκινο χρώμα σημειώνεται μία ελάχιστη παραμόρφωση και αυτό οφείλεται στις στηρίξεις που είναι γύρω από τον άξονα περιστροφής και στην περίμετρο του μοντέλου, ενώ στα σημεία με μπλέ χρώμα σημειώνεται μία «σχετικά» μεγάλη βύθιση λόγω του ότι δεν υπάρχουν στηρίξεις σε αυτά τα σημεία.

Η συνολική μετακίνηση της κατασκευής για το Roller Model είναι όπως φαίνεται στην Εικόνα (5.91).



Εικόνα 5.91 Η συνολική μετακίνηση του μοντέλου Roller

Η συνολική μετακίνηση της κατασκευής για το Fixed Model είναι όπως φαίνεται στην Εικόνα (5.92).



Εικόνα 5.92 Η συνολική μετακίνηση του μοντέλου Fixed

Γενικά σε αυτή την ενότητα είδαμε την επίδραση του βάρους του Χιονιού πάνω στο μοντέλο μας, και την παραμόρφωση που εμφανίστηκε πάνω στον άξονα της φόρτισης (άξονας -y).

Τελικά τα αποτελέσματα που εμφανίστηκαν είναι ότι στο μοντέλο του Ανέμου κατά τον άξονα z έχουμε μεγαλύτερες μετακινήσεις απ' ότι στο μοντέλο του Χιονιού, ενώ κατά τον άξονα y έχουμε μεγαλύτερες μετακινήσεις στο μοντέλο του Χιονιού απ' ότι στο μοντέλο του Ανέμου.

5.4.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων παραμορφώσεων για τα δύο μοντέλα (Ανέμου και του Χιονιού).

Σε αυτήν την ενότητα θα θέσουμε ένα επιτρεπτό όριο παραμόρφωσης και θα το συγκρίνουμε με την μέγιστη μετατόπιση κατά τον y-άξονα στο μοντέλο του Ανέμου και του Χιονιού.

Το όριο αυτό θέτεται σύμφωνα με τον ακόλουθο τρόπο:

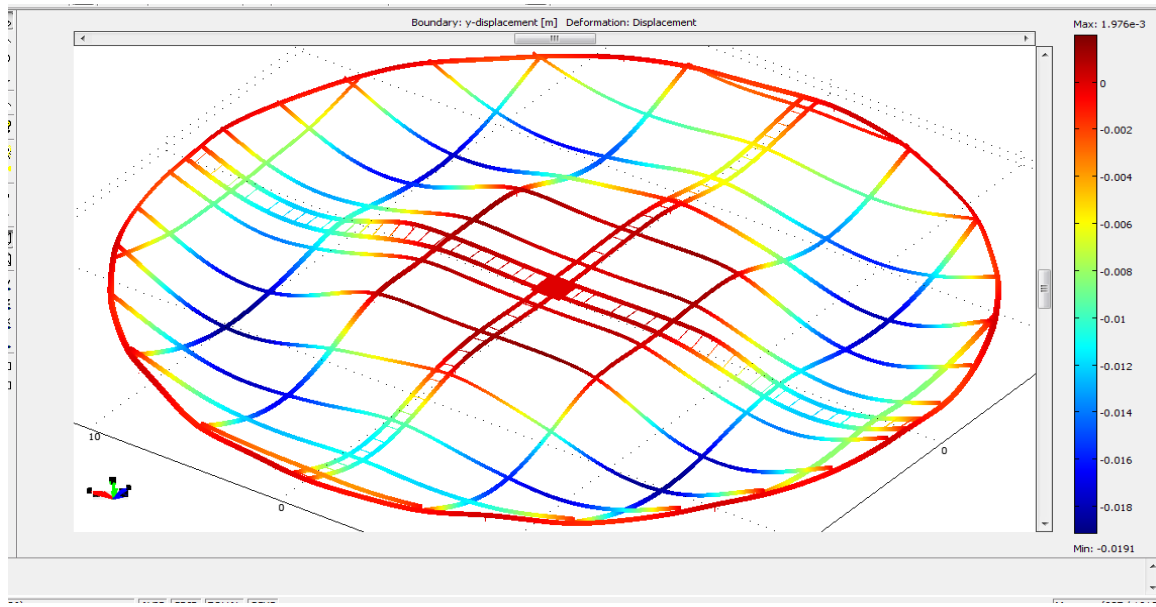
Βρίσκουμε μία ράβδο η οποία θεωρούμε ότι καταπονείται πάρα πολύ και η οποία βρίσκεται μεταξύ δύο στηρίξεων. Το επιτρεπτό όριο της παραμόρφωσης είναι το 5% του μήκους αυτής της ράβδου. Για να μετρήσουμε το μήκος της ράβδου κάνουμε την ακόλουθη διαδικασία:

Draw → Draw Mode → Geometric Properties → Edge και στη συνέχεια επιλέγω την ακμή που θέλω να μετρήσω.

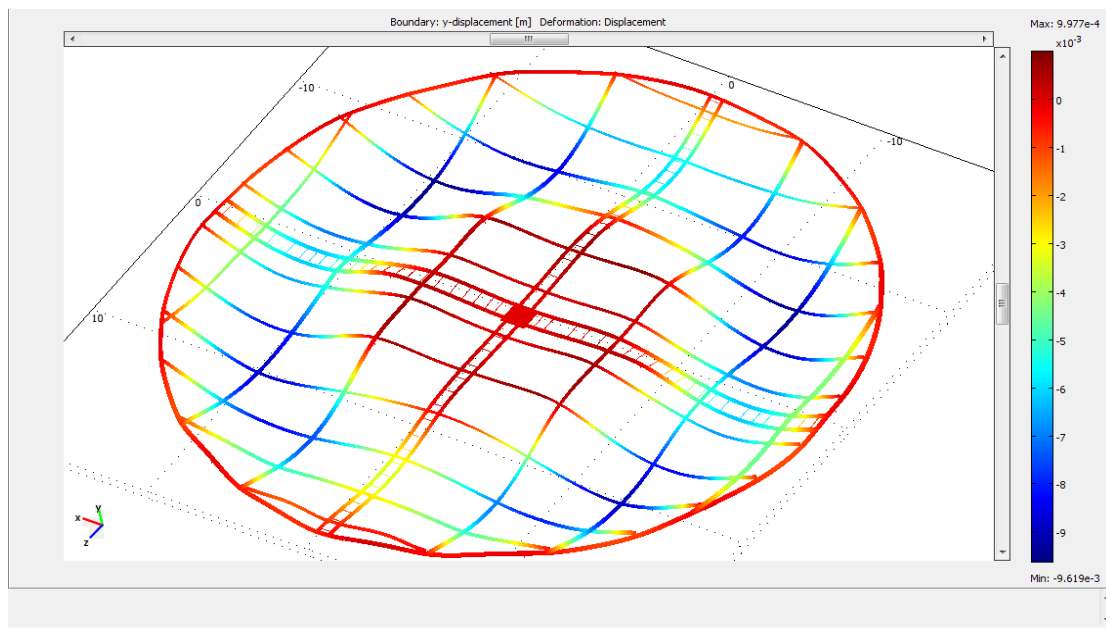
Πηγαίνουμε στο κάθε μοντέλο του κάνουμε επίλυση και επιλέγουμε από την καρτέλα τα ακόλουθα :

Postprocessing → Plot Parameters → Boundary → Predefined quantities (y displacement).

Με αυτό τον τρόπο βρίσκουμε την παραμόρφωση κατά τον άξονα y όπως φαίνεται στην Εικόνα (5.93) για το Μοντέλο του Χιονιού όταν η κεντρική στήριξη είναι Fixed και για το Μοντέλο του Ανέμου όπως φαίνεται στην Εικόνα (5.94).



Εικόνα 5.93 Παραμόρφωση κατά τον y-άξονα στο Μοντέλο του Χιονιού (Fixed Model).



Εικόνα 5.94 Παραμόρφωση κατά τον y-άξονα στο Μοντέλο του Ανέμου (Fixed Model).

Και στα δύο μοντέλα παρατηρούμε ότι η μέγιστη βύθιση βρίσκεται στην 2^η ράβδο. Σύμφωνα με τα παραπάνω βρήκαμε ότι το μήκος της ράβδου είναι 9.6m. Επομένως το επιτρεπτό όριο παραμόρφωσης είναι $9.6 \times 0.05 = 0.48 \text{ m}$.

Έπειτα πηγαίνω στα δύο μοντέλα και βλέπω ότι η μέγιστη παραμόρφωση κατά τον άξονα των y στο μοντέλο του Ανέμου είναι 0.00961 m και στο Μοντέλο του Χιονιού 0.0191 m. Και τα δύο μοντέλα είναι εντός ορίου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βιβλία

- 1.Εισαγωγή στα πεπερασμένα στοιχεία για μηχανικούς. Tirupathi R.Chandrupatla-Ashok D. Belegundu, Εκδόσεις Κλειδάριθμος 2005, Τρίτη Αμερικάνικη Έκδοση. Ελληνική μετάφραση, Εκδόσεις Κλειδάριθμος.
- 2.Στατική-Μηχανική του Απαραμόρφωτου Στερεού, Αναστάσιος Χ. Χρυσάκης επίκουρος καθηγητής ΕΜΠ,Αθήνα 1999.
- 3.Εγχειρίδιο Comsol, www.comsol.com ή μέσω των εντολών βοήθειας του προγράμματος
- 4.Εγχειρίδιο Pro-engineer, από το helpdesk του προγράμματος
- 5.Σημειώσεις εργαστηρίου CAD για το Pro-engineer, www.eclass.tuc.gr/modules/document/document.php
6. Σημειώσεις μαθήματος υπολογιστικής μηχανικής, καθ. Γ.Ε. Σταυρουλάκης, Πολυτεχνείο Κρήτης, μέσω του www.eclass.tuc.gr

Site

Όλες οι πληροφορίες από τις ακόλουθες ιστοσελίδες έχουν ληφθεί τον Νοέμβριο του 2010.

1. Στοιχεία για τα standard και τα συμπυκνωμένα φωτοβολταϊκά trackers.
Αναφορά http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_tracker
2. Αναφορά στο λόγο επινόησης των φωτοβολταϊκών συστημάτων
<http://el.wikipedia.org/wiki/Ηλιοστάτης>
3. Αναφορά στα πεπερασμένα στοιχεία,
http://www.worldlingo.com/ma/enwiki/el/Finite_element_analysis
4. Αναφορά στους ηλιοστάτες με έναν και με δύο άξονες καθώς και στην νέα τεχνολογία φωτοβολταϊκών tracker.
<http://www.concentrix-solar.de/technology/tracking-system/?L=1>
5. Αναφορά στο Comsol Multiphysics καθώς και στις ενότητες που το αποτελούν
http://www.worldlingo.com/ma/enwiki/el/COMSOL_Multiphysics#External_links
6. Αναφορά στην Ηλιακή Ενέργεια
<http://www.seners.gr/pages/gr/faq.htm>
7. Αναφορά στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο,
<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A6%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CE%AC>
8. Επιλογή του υλικού της κατασκευής
http://en.wikipedia.org/wiki/Yield_strength