

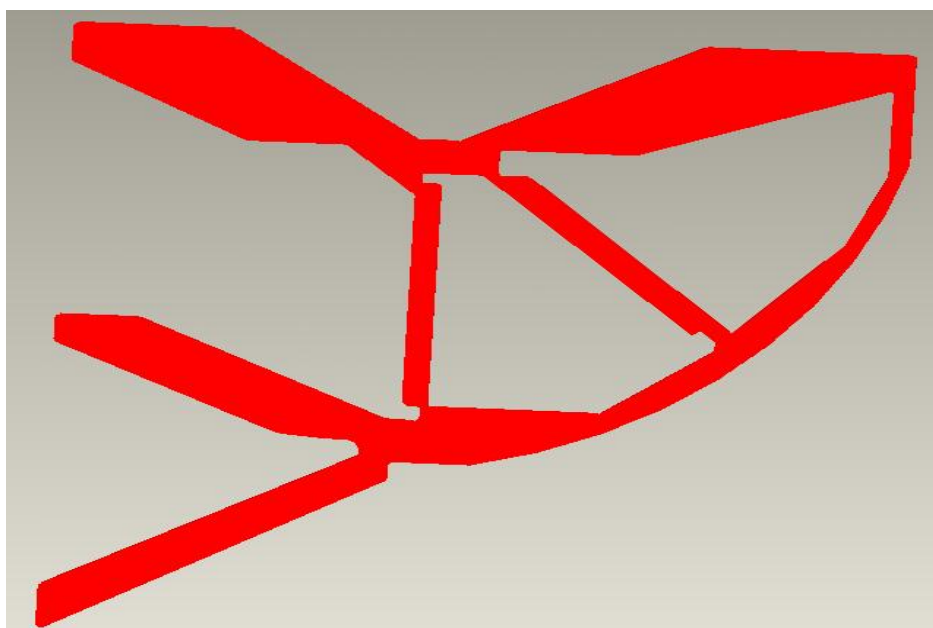


**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΚΡΗΤΗΣ**

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

**ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΥΚΑΜΠΤΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΣΜΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΤΩΝ
ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ**



Επιμέλεια: Σκαρβελάκης Εμμανουήλ

Επιβλέπων: Σταυρουλάκης Γεώργιος

Χανιά, Απρίλιος

2012

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	
1.Τοπολογική βελτιστοποίηση εύκαμπτων μηχανισμών	
1.1 Ορισμός Τοπολογικής Βελτιστοποίησης	
1.2 Εύκαμπτοι μηχανισμοί	
2.Πεπερασμένα στοιχεία και προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν	
2.1 Ιστορικό πεπερασμένων στοιχείων	
2.2 Μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων	
2.3 PRO/ENGINEER	
2.4 COMSOL MULTIPHYSICS 3.4	
3.Σχεδιασμός μοντέλων και εισαγωγή δεδομένων στο Comsol	
3.1 Σχεδιασμός μοντέλων στο PRO/ENGINEER	
3.1.1 Σχεδιασμός μοντέλου 1	
3.1.2 Σχεδιασμός μοντέλου 2	
3.2 Εισαγωγή δεδομένων στο COMSOL	
3.2.1 Εισαγωγή δεδομένων μοντέλου 1	
3.2.2 Εισαγωγή δεδομένων μοντέλου 2	
3.3 Εισαγωγή δυνάμεων και περιορισμών στο COMSOL	
3.3.1 Εισαγωγή δυνάμεων και περιορισμών μοντέλου 1	
3.3.2 Εισαγωγή δυνάμεων και περιορισμών μοντέλου 2	
4.Αποτελέσματα και συμπεράσματα	
4.1 Μοντέλο 1 χωρίς λείανση γωνιών	
4.2 Μοντέλο 1 με λείανση γωνιών	
4.3 Μοντέλο 2 χωρίς λείανση γωνιών	
4.3.1 Πρώτη περίπτωση (φόρτιση στον χ-άξονα)	

- 4.3.2 Δεύτερη περίπτωση (φόρτιση στον y -άξονα)
- 4.4 **Μοντέλο 2** με λείανση γωνιών
 - 4.4.1 Πρώτη περίπτωση (φόρτιση στον x -άξονα)
 - 4.4.2 Δεύτερη περίπτωση (φόρτιση στον y -άξονα)
- 4.5 Τάσεις Von Mises
 - 4.5.1 **Μοντέλο 1** χωρίς λείανση γωνιών
 - 4.5.2 **Μοντέλο 1** με λείανση γωνιών
 - 4.5.3 **Μοντέλο 2** χωρίς λείανση γωνιών
 - 4.5.3.1 Πρώτη περίπτωση (φόρτιση στον x -άξονα)
 - 4.5.3.2 Δεύτερη περίπτωση (φόρτιση στον y -άξονα)
 - 4.5.4 **Μοντέλο 2** με λείανση γωνιών
 - 4.5.4.1 Πρώτη περίπτωση (φόρτιση στον x -άξονα)
 - 4.5.4.2 Δεύτερη περίπτωση (φόρτιση στον y -άξονα)
- 4.6 Παραμορφώσεις
 - 4.6.1 **Μοντέλο 1** χωρίς λείανση γωνιών
 - 4.6.2 **Μοντέλο 1** με λείανση γωνιών
 - 4.6.3 **Μοντέλο 2** χωρίς λείανση γωνιών
 - 4.6.3.1 Πρώτη περίπτωση (φόρτιση στον x -άξονα)
 - 4.6.3.2 Δεύτερη περίπτωση (φόρτιση στον y -άξονα)
 - 4.6.4 **Μοντέλο 2** με λείανση γωνιών
 - 4.6.4.1 Πρώτη περίπτωση (φόρτιση στον x -άξονα)
 - 4.6.4.2 Δεύτερη περίπτωση (φόρτιση στον y -άξονα)
- 4.7 Σύγκριση αρχικού μοντέλου με τελικό βάσει των μετατοπίσεων που θέλουμε σε σχέση με τις θέσεις επιβολής φορτίου
 - 4.7.1 **Μοντέλο 1**
 - 4.7.2 **Μοντέλο 2**

4.8 Σύγκριση αρχικού μοντέλου με τελικό βάσει των μέγιστων τάσεων Von Mises

4.8.1 **Μοντέλο 1**

4.8.2 **Μοντελο 2**

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Σε αυτή την διπλωματική εργασία μελετάται η βελτιστοποίηση της μηχανικής συμπεριφοράς εύκαμπτων μοντέλων με την βοήθεια της χρήσης προγραμμάτων όπως το **PRO/ENGINEER** για την σχεδίαση αυτών και το **COMSOL MULTIPHYSICS 3.4** για την επίλυση του προβλήματος μας με την μεθοδο των πεπερασμένων στοιχείων.

Οι μηχανισμοί αυτοί και τα σχέδια αυτών επιλέχθηκαν απο μια επιστημονική μελέτη του Κ.Καμινάκη Νικόλαου με τίτλο “Σύνθεση Πολυμορφικών Εύκαμπτων Μηχανισμών με χρήση Τοπολογικής και Βελτιστοποίησης και Εξελικτικών Αλγορίθμων”.

Οι διαστάσεις και τα χαρακτηριστικά των μηχανισμών σχεδιάστηκαν με βάση τις πρωτότυπες μορφές που δίνει η μέθοδος της τοπολογικής βελτιστοποίησης.Μελετήθηκαν στατικά ασκώντας τους διάφορες φορτίσεις ως προς κάποιους άξονες και έχοντας τους κάποιες ακμές ακλόνητες.Το υλικό είναι του τύπου των ελαστομερών ή του πλαστικού που χρησιμοποιείται στις μηχανές ταχείας προτυποποίησης.

Με κατάλληλη μορφοποίηση του σχεδίου με λείανση των γωνιών όπου αυτό κρίθηκε απαραίτητο,βελτιώσαμε το μοντέλο,έτσι ώστε να υπάρξει μείωση των τάσεων στο χώρο που συγκεντρώνονταν οι περισσότερες με στόχο την αποφυγή κόπωσης σε αυτήν την περιοχή με την πάροδο του χρόνου και των συνεχών φορτίσεων.

Τέλος συγκεντρώθηκαν τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα, ενώ σχολιάστηκαν τα προβλήματα που αντιμετωπίστηκαν κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας αυτής.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

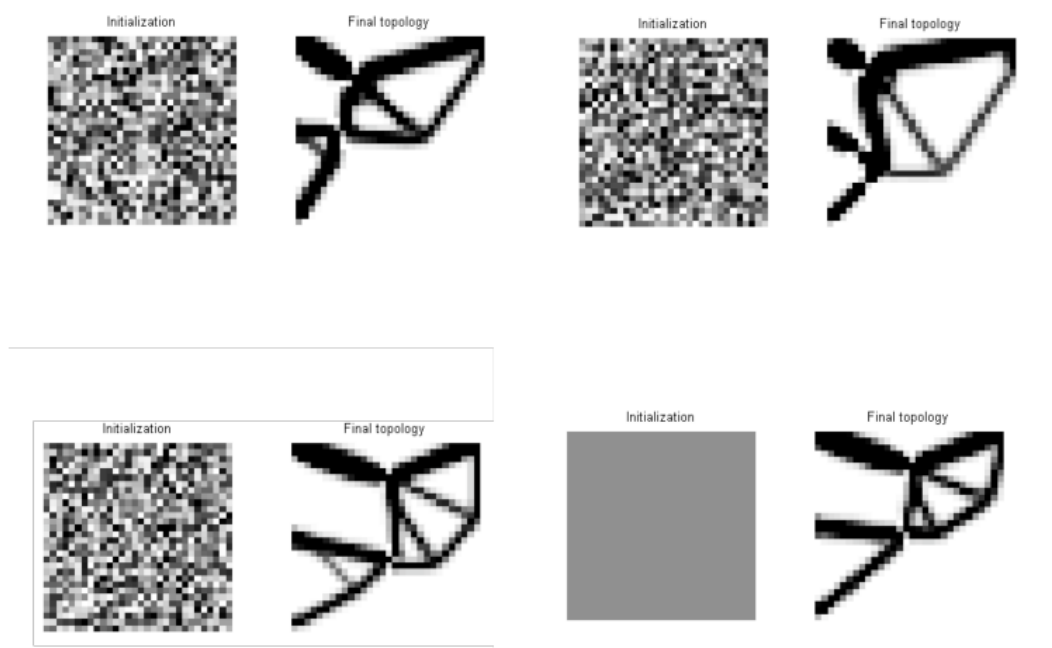
Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους αυτούς τους ανθρώπους που συνέβαλαν στην εκπόνηση αυτής της εργασίας, καθώς και στην ολοκλήρωση των σπουδών μου.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή αυτής της εργασίας, κύριο Γεώργιο Σταυρουλάκη, για την πολύτιμη βοήθειά του όλους αυτούς τους μήνες. Για την καθοδήγησή του, και την δυνατότητα που μου προσέφερε να εκπαιδευτώ στις μεθόδους σχεδιασμού κατασκευών και υπολογιστικής μηχανικής, καθώς και για τις γνώσεις που απέκτησα καθόλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας αυτής.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Κ.Καμινάκη Νικόλαο που μέσα από τις μελέτες του για τους εύκαμπτους μηχανισμούς έγινε η επιλογή των μοντέλων που μελετούνται παρακάτω.

1.Τοπολογική Βελτιστοποίηση εύκαμπτων μηχανισμών

1.1 Ορισμός Τοπολογικής Βελτιστοποίησης



Εικόνα από εργασία(master) Κ.Καμινάκη

Βέλτιστος Δομικός σχεδιασμός είναι μια παλαιά πειθαρχία που απαιτεί τη χρήση της θεωρίας και των αριθμητικών μεθόδων από διάφορες περιοχές:δομική ανάλυση, βελτιστοποίηση, παραμετρική μοντελοποίηση, επιστήμη υπολογιστών. Ακόμη και με αυτά τα εργαλεία και τη διαθεσιμότητα των υπολογιστών με υψηλές επιδόσεις,ο κλασικός βέλτιστος σχεδιασμός κατασκευών δεν μπορεί να απαλλαγεί από τους περιορισμούς που ορίζει η θετή παραμετροποίηση.Η τοπολογική βελτιστοποίηση μας επιτρέπει να χαλαρώσουμε τους περιορισμούς αυτούς και να έρθουμε κοντά στη μελέτη της κατασκευαστικής μορφογένεσης.

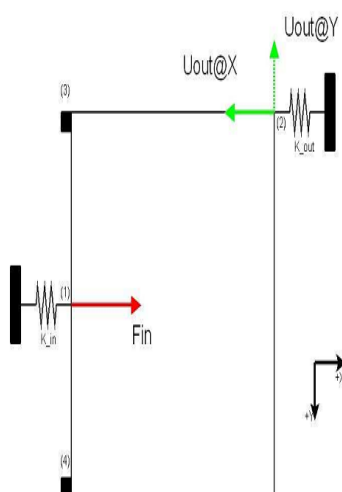
Το μεγαλύτερο μειονέκτημα της κλασικής βελτιστοποίησης κατασκευών είναι ότι η προκύπτουσα κατασκευή εξαρτάται από τον τύπο που εγκρίθηκε και μόνο η παραμετροποίηση δίνει κάποια ευελιξία στην αναζήτηση του βέλτιστου.Η σύγχρονη απάντηση στο αίτημα αυτό ονομάζεται τοπολογική βελτιστοποίηση.Συναντάμε δύο ειδών τοπολογικές βελτιστοποιήσεις:α)κατασκευών και β)εύκαμπτων

μηχανισμών, για μία ή πολλαπλές περιπτώσεις φόρτωσης (πολυμορφικών), η οποία οδηγεί σε μη κυρτά προβλήματα βελτιστοποίησης με πολλά τοπικά ελάχιστα.

Με λίγα λόγια η τοπολογική βελτιστοποίηση είναι μια μέθοδος βέλτιστης διανομής υλικού σε συγκεκριμένο χωρίο λαμβάνοντας ταυτόχρονα 3 προβλήματα υπόψη:

- 1) Σχήματος
- 2) Μεγέθους
- 3) Θέσης

1.2 Εύκαμπτοι μηχανισμοί



Εικόνα 1. Απεικόνιση προβλήματος

από εργασία(master) Κ.Καμινάκη



Εικόνα 2. Τελική κατανομή εύκαμπτου μηχανισμού

από εργασία(master) Κ.Καμινάκη

Η τοπολογική βελτιστοποίηση λύνει το βασικό πρόβλημα σχεδίου εφαρμοσμένης μηχανικής δηλαδή την κατανόη μιάς καθορισμένης ποσότητας υλικού μέσα σε μια διαθέσιμη περιοχή προκειμένου να διαμορφωθεί μια κατασκευή ή ένας μηχανισμός ώστε αυτός να λειτουργεί με έναν βέλτιστο τρόπο. Μια από τις πιο ενδιαφέρουσες εφαρμογές είναι η σύνθεση

υποχωρητικών μηχανισμών. Ένας εύκαμπτος μηχανισμός είναι μια δομή με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά γνωρίσματα:

- 1) το εξωτερικό φορτίο μετασχηματίζεται σε κίνηση κατά μήκος συγκεκριμένης κατεύθυνσης σε ένα δεδομένο σημείο της δομής (διαφορετική από αυτήν όπου η φόρτιση εφαρμόζεται),
- 2) είναι μια μονολιθική, δομή μονών κομματιών χωρίς οποιεσδήποτε ενώσεις και αρθρώσεις,
- 3) η δομή είναι αρκετά εύκαμπτη έτσι ώστε να μεταφέρει την κίνηση,
- 4) η δομή είναι αρκετά δύσκαμπτη έτσι ώστε να αντέξει το εφαρμοσμένο φορτίο.

Πιο εκτενής ανάλυση για το τι είναι τοπολογική βελτιστοποίηση και τι είναι εύκαμπτοι μηχανισμοί δίνεται στην εργασία του Κ. Καμινάκη Νικόλαο με τίτλο «Σύνθεση Πολυμορφικών Εύκαμπτων Μηχανισμών με χρήση Τοπολογικής και Βελτιστοποίησης και Εξελικτικών Αλγορίθμων» η οποία βρίσκεται στην βιβλιοθήκη του ιδρύματος του Πολυτεχνείου Κρήτης. Έδω απλά γίνεται αναφορά των βασικότερων εννοιών που χρησιμοποιήθηκαν.

2. Πεπερασμένα στοιχεία και προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν.

2.1 Ιστορικό πεπερασμένων στοιχείων

Οι βασικές έννοιες της μεθόδου πεπερασμένων στοιχείων προήλθαν από τις εξελίξεις στη δομική ανάλυση αεροσκαφών. Το 1941, ο Hrenikoff παρουσίασε μία λύση προβλημάτων ελαστικότητας με τη χρήση της "μεθόδου των δικτυωμάτων". Το 1943 δημοσιεύτηκε μία εργασία του Courant, η οποία χρησιμοποιούσε κατά τμήματα τριγωνική παρεμβολή σε τριγωνικές υποπεριοχές για να μοντελοποιήσει προβλήματα στρέψης. Οι Turner και άλλοι, δημιούργησαν μητρώα ακαμψίας για δικτυώματα δοκούς και άλλα στοιχεία, και παρουσίασαν τα ευρήματά τους το 1956. Ο όρος πεπερασμένα στοιχεία πρωτοεμφανίστηκε και χρησιμοποιήθηκε από τον Clough το 1960. Στις αρχές του 1960, οι μηχανικοί χρησιμοποίησαν τη μέθοδο για να δώσουν προσεγγιστικές λύσεις σε προβλήματα ανάλυσης τάσεων, ροής ρευστών, μεταφοράς θερμότητας και άλλων τομέων. Ο Αργύρης, το 1955, σε ένα βιβλίο για θεωρήματα ενέργειας και μητρωϊκές μεθόδους, έθεσε τα θέματα για μελλοντική ανάπτυξη στις μελέτες των πεπερασμένων στοιχείων. Το πρώτο βιβλίο για πεπερασμένα στοιχεία των Zienkiewicz και Chung κυκλοφόρησε το 1967. Στα τέλη της δεκαετίας του 60 και αρχές του 70', η ανάλυση των πεπερασμένων στοιχείων εφαρμόστηκε σε μη γραμμικά προβλήματα και άλλες παραμορφώσεις. Οι μαθηματικές βάσεις τέθηκαν στη δεκαετία του 70' και περιλαμβάνουν την ανάπτυξη νέων στοιχείων, μελέτες σύγκλισης και άλλους σχετικούς τομείς. (Tirupathi R. Chandrupatla 2005)

2.2 Μέθοδος Πεπερασμένων στοιχείων

Η **Μέθοδος Πεπερασμένων Στοιχείων** αποτελεί πλέον ένα ισχυρό εργαλείο για την αριθμητική επίλυση ενός μεγάλου

φάσματος προβλημάτων του μηχανικού. Οι εφαρμογές εκτείνονται από την παραμόρφωση και ανάλυση τάσεων σε αυτοκίνητα, αεροπλάνα, κτίρια και γέφυρες, μέχρι την ανάλυση πεδίων ροής, θερμότητας 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 πρώτο πρότυπό του. 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. Σε αυτή τη μέθοδο ανάλυσης, μία περίπλοκη περιοχή, η οποία ορίζει ένα συνεχές, διακριτοποιείται σε απλά γεωμετρικά σχήματα, τα οποία ονομάζονται πεπερασμένα στοιχεία (finite elements). Οι ιδιότητες των υλικών και οι διέπουσες σχέσεις υπολογίζονται 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. Η λύση αυτών των εξισώσεων δίνει την κατά προσέγγιση συμπεριφορά του συνεχούς.

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

1. Εισάγεται η γεωμετρία της κατασκευής σε ένα πρόγραμμα CAD και δημιουργείται το τρισδιάστατο μοντέλο (στην περίπτωση μας χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Pro-Engineer).
2. Χωρίζεται το μοντέλο σε πεπερασμένα στοιχεία και αφού ετοιμαστεί το πλέγμα επιλέγεται το είδος της επίλυσης και εισάγονται τα επιπλέον δεδομένα που απαιτούνται. Παραδείγματος χάριν, αν επιλεγεί να λυθεί το μοντέλο σε στατική καταπόνηση θα πρέπει να δοθούν τα δεδομένα για τις δυνάμεις και τις στηρίξεις. Αυτή η διαδικασία γίνεται με προγράμματα που αποκαλούνται pre processor (προεπεξεργαστές).
3. Όταν ετοιμαστούν τα δεδομένα για επίλυση, εισάγονται σε ένα πρόγραμμα το οποίο θα κάνει την επίλυση του προβλήματος. Τέτοιου είδους προγράμματα που επιλύουν λέγονται solver.

4. Όταν τελειώσει η επίλυση , πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα πρόγραμμα, που αποκαλείται post processor (μετεπεξεργαστής), για να μπορέσει ο μελετητής να δει τα αποτελέσματα.

2.3 Pro / ENGINEER

Το Pro/ENGINEER δημιουργήθηκε από την Parametric Technology Corporations (PTC). Ήταν η πρώτη εταιρεία στην αγορά που αξιοποίησε τον παραμετρικό σχεδιασμό. Η χρήση του προγράμματος αυτού, παρέχει στερεά μοντελοποίηση , μοντελοποίηση συναρμολόγησης και, ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων. Δημιουργήθηκε από τον Δρ Samuel P. Geisberg στα μέσα της δεκαετίας του 1980, το **Pro /ENGINEER** ήταν η πρώτη επιτυχία του κλάδου η οποία βασίζεται σε κανόνες περιορισμού. Η παραμετρική μοντελοποίηση είναι προσέγγιση που χρησιμοποιεί παραμέτρους τις διαστάσεις, χαρακτηριστικά, και τις μαθηματικές σχέσεις για να συλλάβει τη συμπεριφορά των προϊόντων που προορίζεται και να δημιουργήσει ένα μέσο που επιτρέπει την αυτοματοποίηση του σχεδιασμού και τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού και των διαδικασιών ανάπτυξης των προϊόντων. Το Pro /ENGINEER παρέχει ένα πλήρες σύνολο του σχεδιασμού, της ανάλυσης και των δυνατοτήτων κατασκευής σε μία, ενσωματωμένη, επεκτάσιμη πλατφόρμα. Οι απαιτούμενες ικανότητες περιλαμβάνουν Στερεά και Επιφανειακή Μοντελοποίηση (Solid-Surface Modeling), δημιουργώντας δεδομένα διαλειτουργικά, τα οποία αξιοποιούνται για τον Σχεδιασμό Συστημάτων, Προσομοίωση, Ανάλυση Αντοχής, καθώς και Σχεδιασμό εργαλείων.

Οι εταιρείες χρησιμοποιούν το **Pro /ENGINEER** για να δημιουργήσουν ένα πλήρες 3D ψηφιακό μοντέλο των προϊόντων τους. Τα μοντέλα αποτελούνται από 2D και 3D στερεά μοντέλα δεδομένων τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων, ταχεία προτυποποίηση , σχεδιασμό εργαλείων, και CNC κατασκευές.

2.4 Comsol Multiphysics

Το **Comsol Multiphysics**, είναι ένα εμπορικό πρόγραμμα το οποίο βοηθά στην επίλυση προβλημάτων εφαρμοσμένης μηχανικής καθώς και την αριθμητική προσέγγιση λύσεων μαθηματικών εξισώσεων με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Το περιβάλλον προσομοίωσης του Comsol Multiphysics δίνει τη δυνατότητα υλοποίησης όλων των βημάτων που είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη ενός μοντέλου. Καθορίζει τη γεωμετρία, ορίζει σταθερές και συνοριακές συνθήκες, διακριτοποιεί, καθώς και απεικονίζει γραφικά αποτελέσματα.

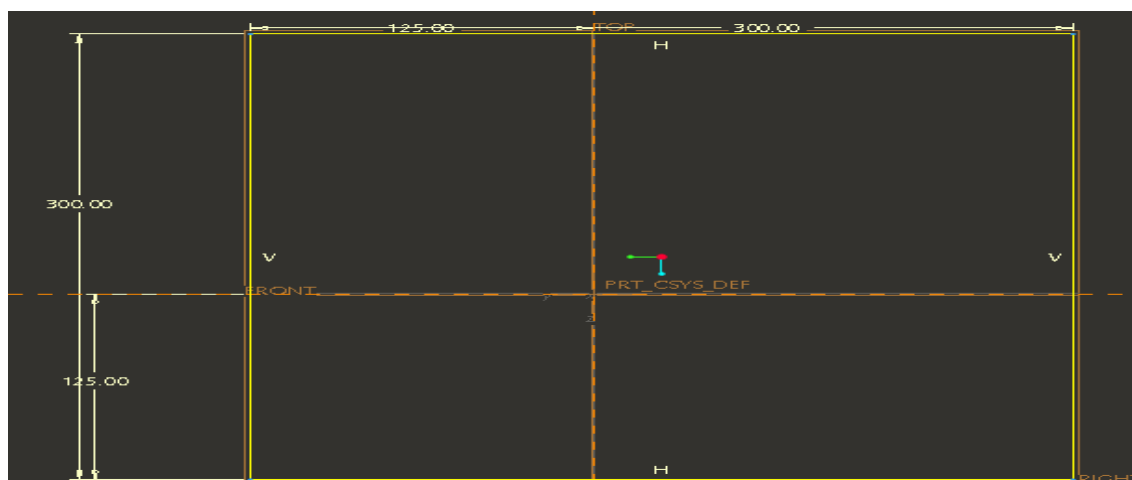
Παράλληλα έχει τη δυνατότητα να πραγματοποιεί διάφορες μελέτες στο ίδιο μοντέλο. Έχει τη δυνατότητα για παράδειγμα να μελετήσει ένα μοντέλο, στη μηχανική της κατασκευής του καθώς και στη μετάδοση θερμότητας, δημιουργώντας διάφορα επίπεδα, τα οποία συνεργάζονται μεταξύ τους για την επίλυση προβλημάτων συνδυασμένων πεδίων.

3.Σχεδιασμός μοντέλων και εισαγωγή δεδομένων στο Comsol

3.1 Σχεδιασμός μοντέλων στο PRO/ENGINEER

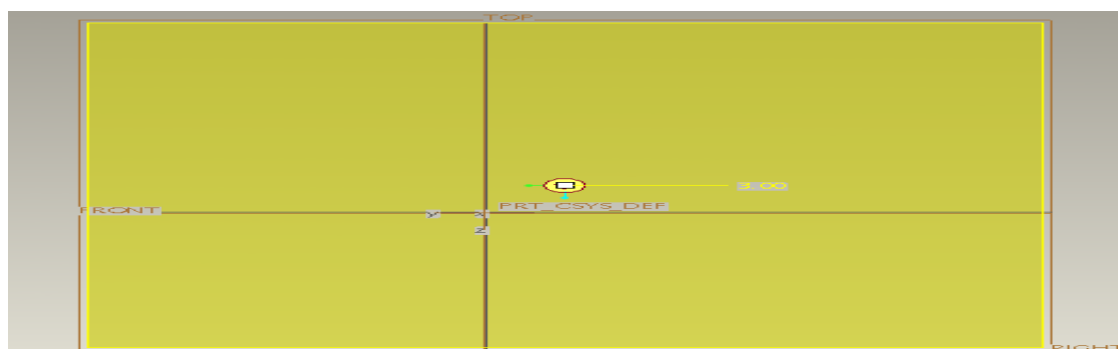
3.1.1 Σχεδιασμός μοντελου 1

Το μοντέλο μας σχεδιάστηκε στο περιβάλλον του προγράμματος Pro/ENGINEER. Αρχικά σχεδιάζουμε ένα ορθογώνιο με πλευρές 300x300(mm) όπως φαίνονται στο σχήμα.



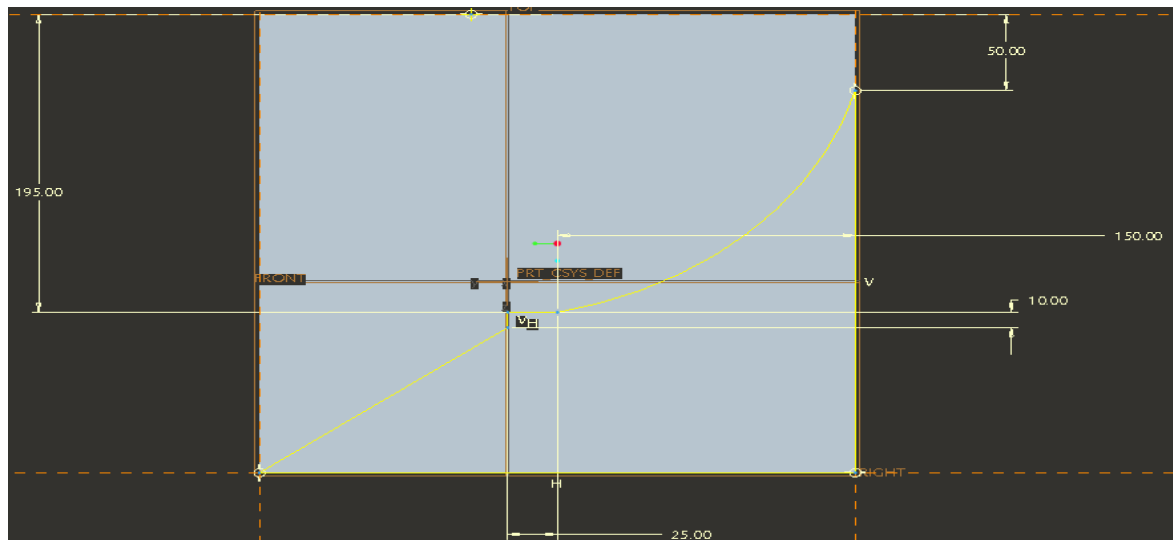
Εικόνα 3.Σχέδιο 1(οι διαστάσεις είναι σε mm)

Έπειτα με την εντολή extrude και παχος 3 mm κατασκευάζεται το τετράγωνο που επιθυμούμε.

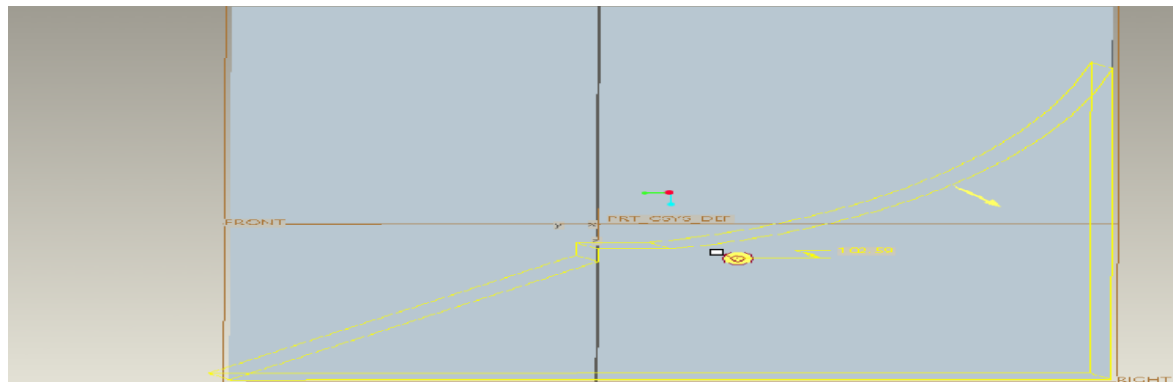


Εικόνα 4.Extrude 1

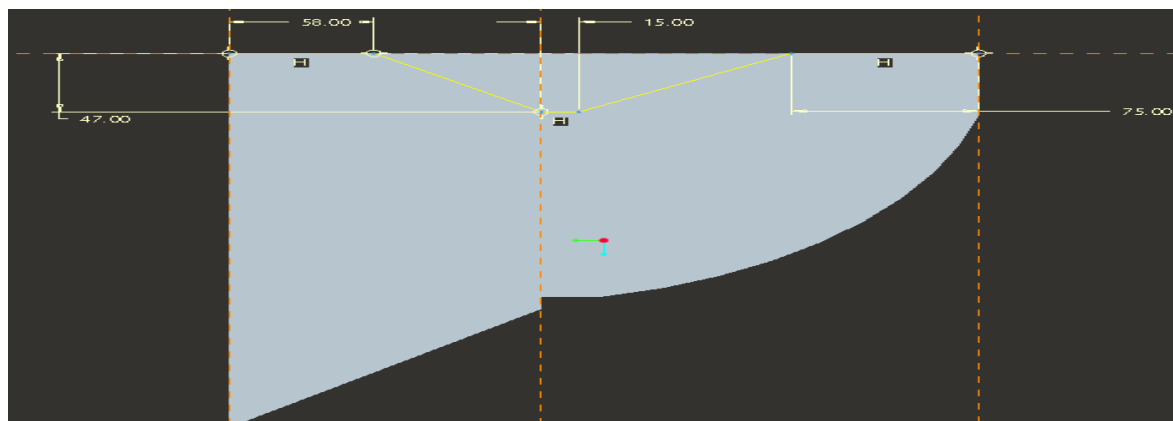
Εν συνεχεία θα χρησιμοποιηθεί η εντολή extrude για τον τελικό σχεδιασμό του μοντέλου όμως με την διαφορά οτι θα έχει επιλεγεί η τεχνική του **remove material**.Οι επόμενες απεικονήσεις δίνουν βήμα βήμα το σχεδιασμό του δοκιμίου μας.



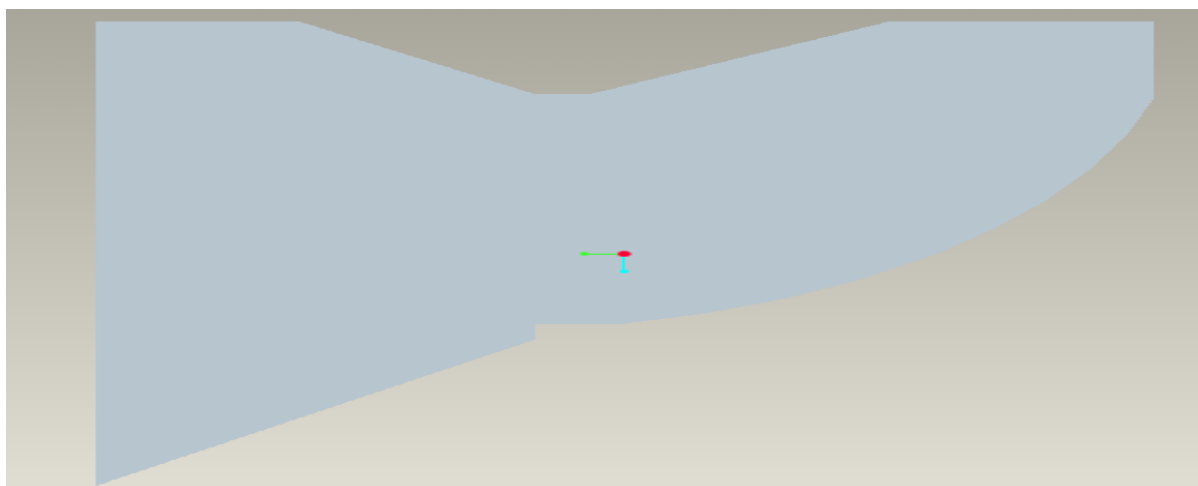
Εικόνα 5.Sketch 2



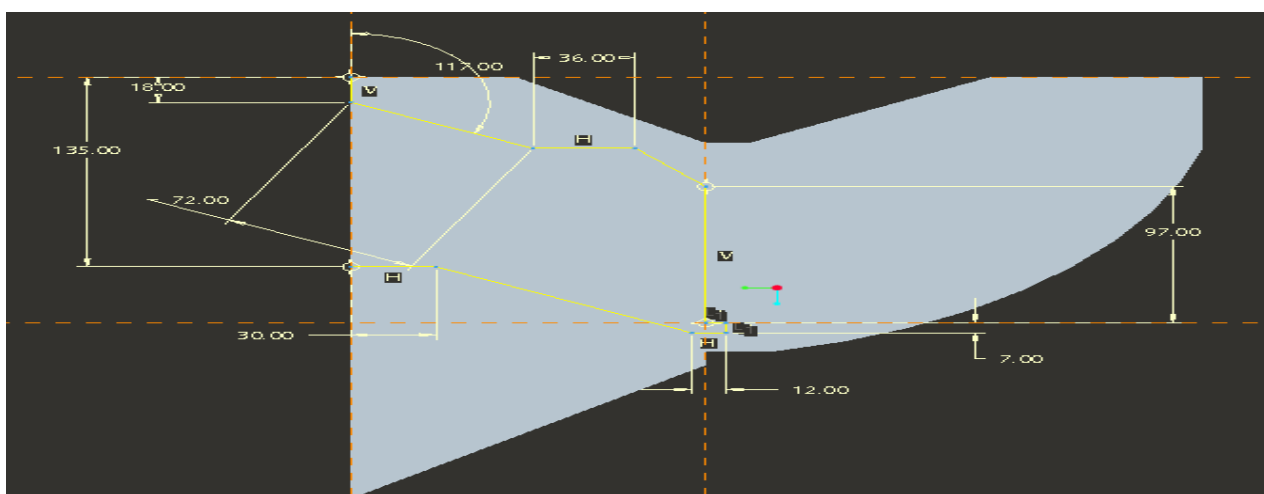
Εικόνα 6.Extrude 2(remove material)



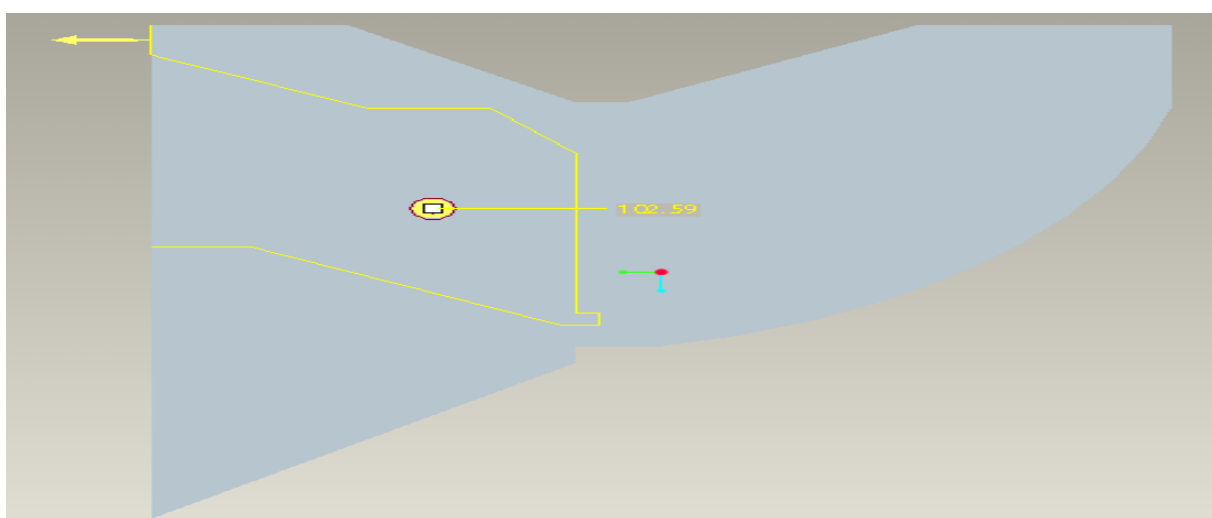
Εικόνα 7.Sketch 3



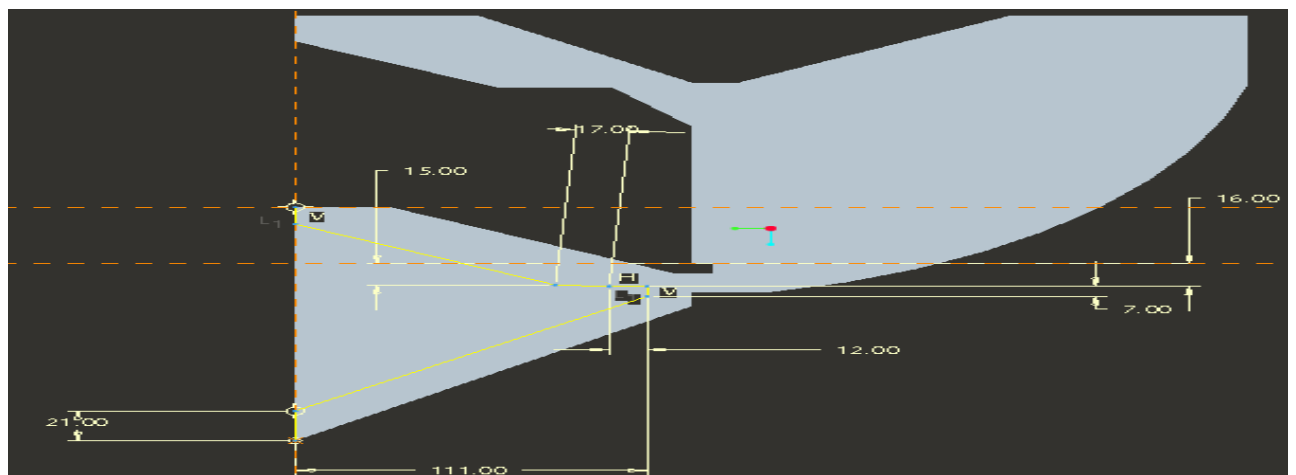
Εικόνα 8.Extrude 3



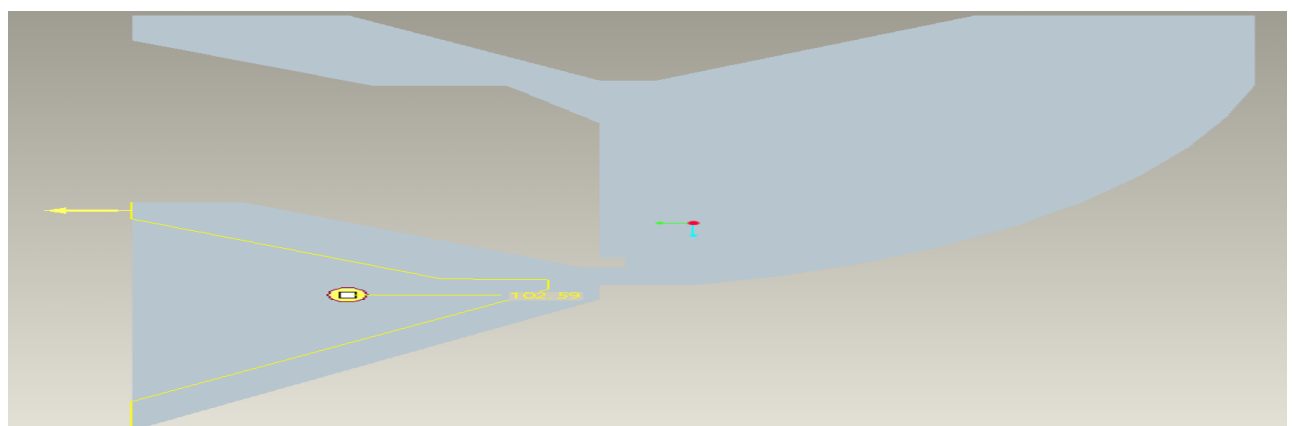
Εικόνα 9.Sketch 4



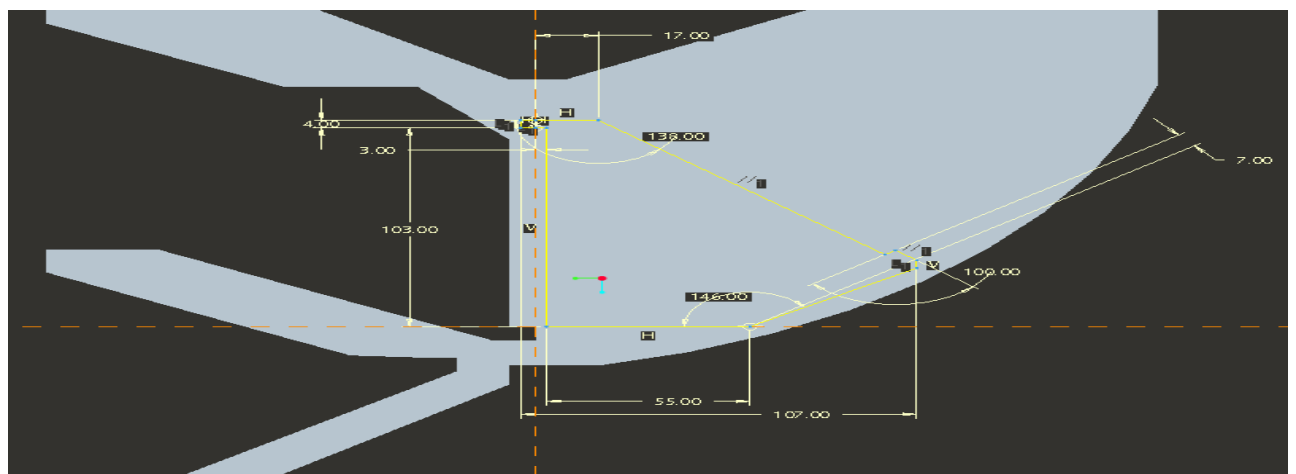
Εικόνα 10.Extrude 4



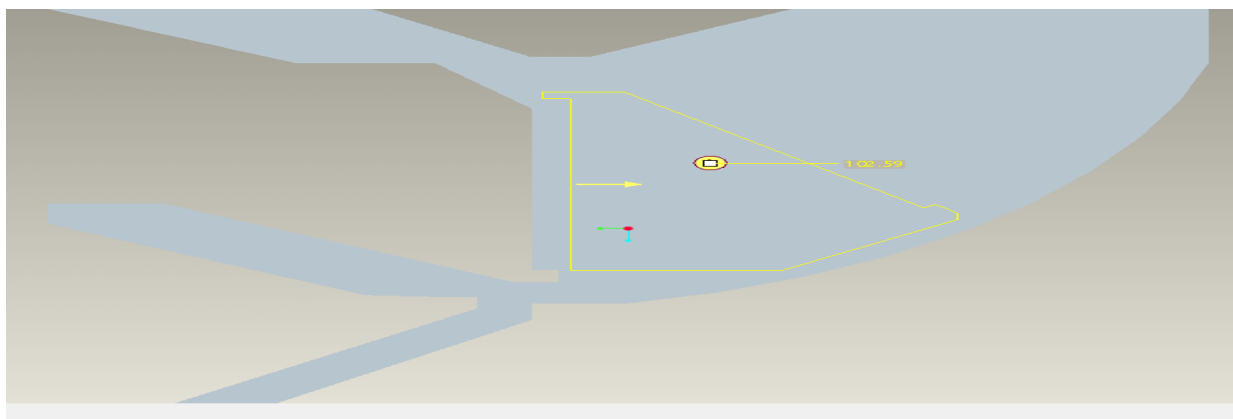
Εικόνα 11.Sketch 5



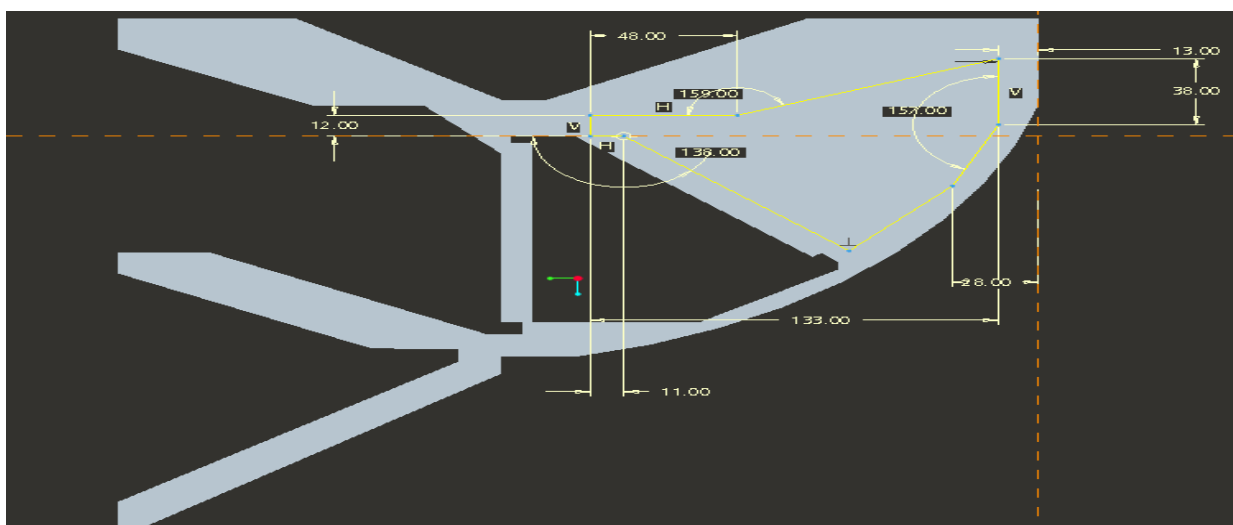
Εικόνα 12.Extrude 5



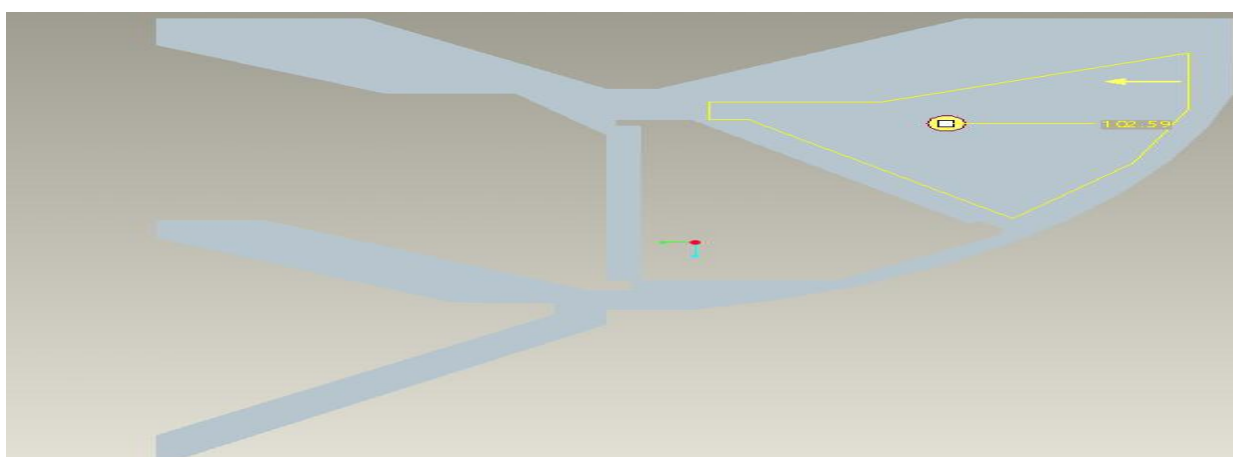
Εικόνα 13.Sketch 6



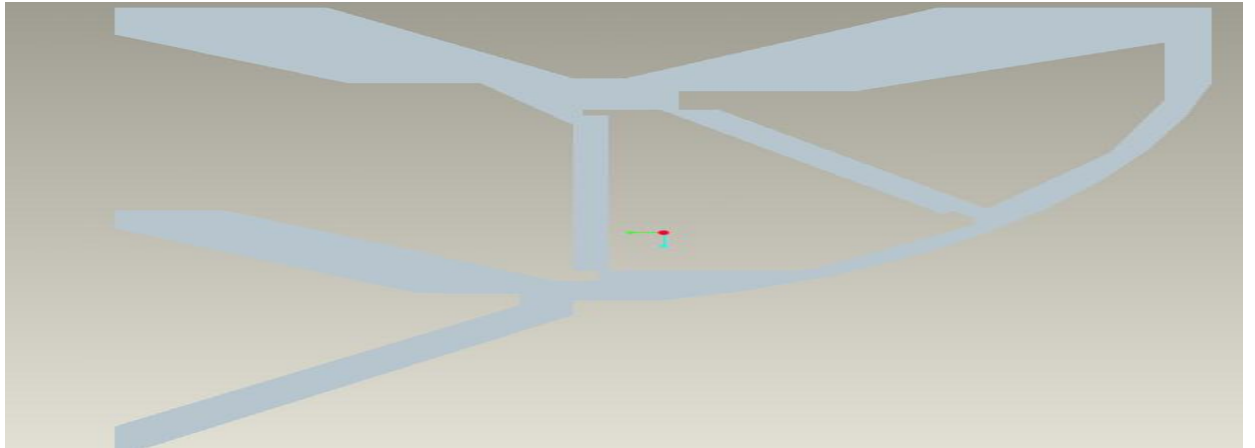
Εικόνα 14.Extrude 6



Εικόνα 15.Sketch 7

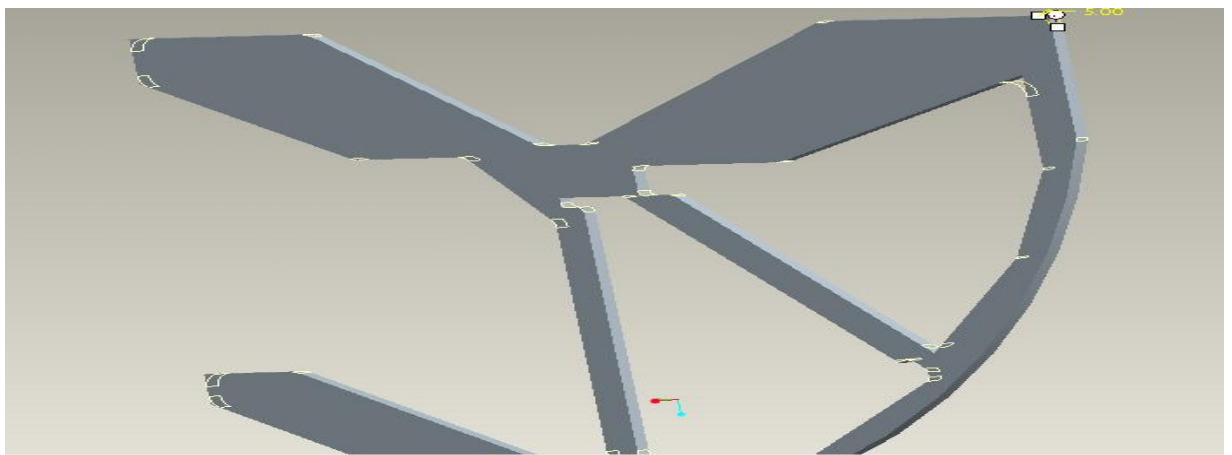


Εικόνα 16.Extrude 7

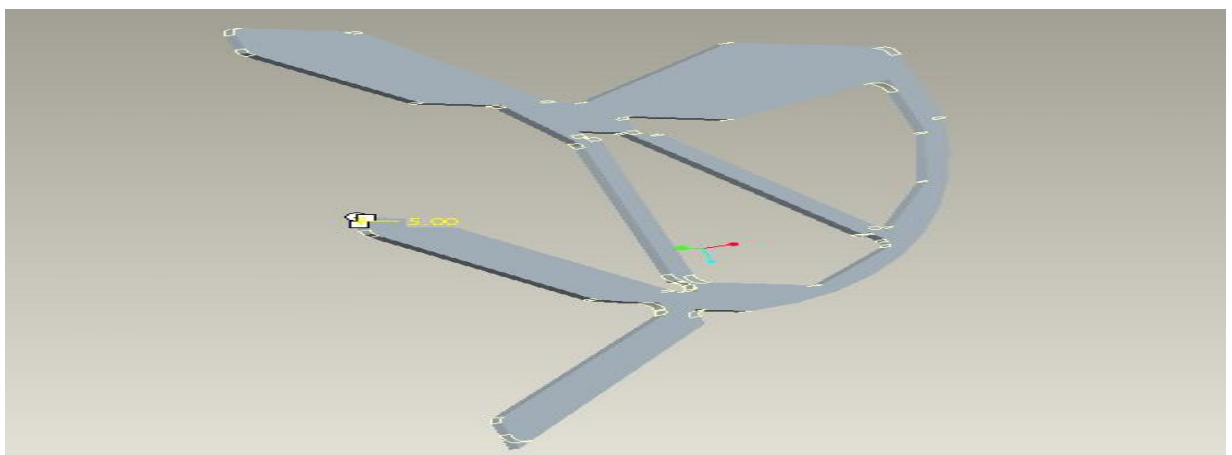


Εικόνα 17.Τελικό μοντέλο

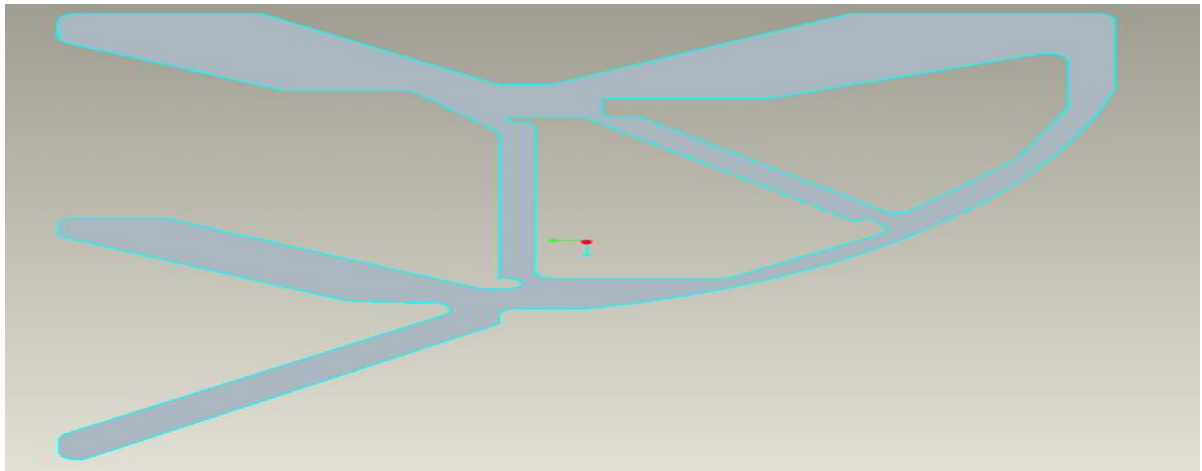
Αφού φέραμε στην τελική του μορφή τον μηχανισμό μας θα προσπαθήσουμε να μορφοποιήσουμε κατάλληλα το σχήμα με σωστή λείανση των γωνιών έτσι ώστε να έχουμε μείωση των τάσεων ό,που αυτές συγκεντρώνονται περισσότερο.Αυτό γίνεται με την εντολή **Round**.Παρακάτω θα γίνει παρουσίαση 2 εικόνων που δείχνουν το αποτέλεσμα της εντολής στο παρών μοντέλο.



Εικόνα 18.Εντολή round 1



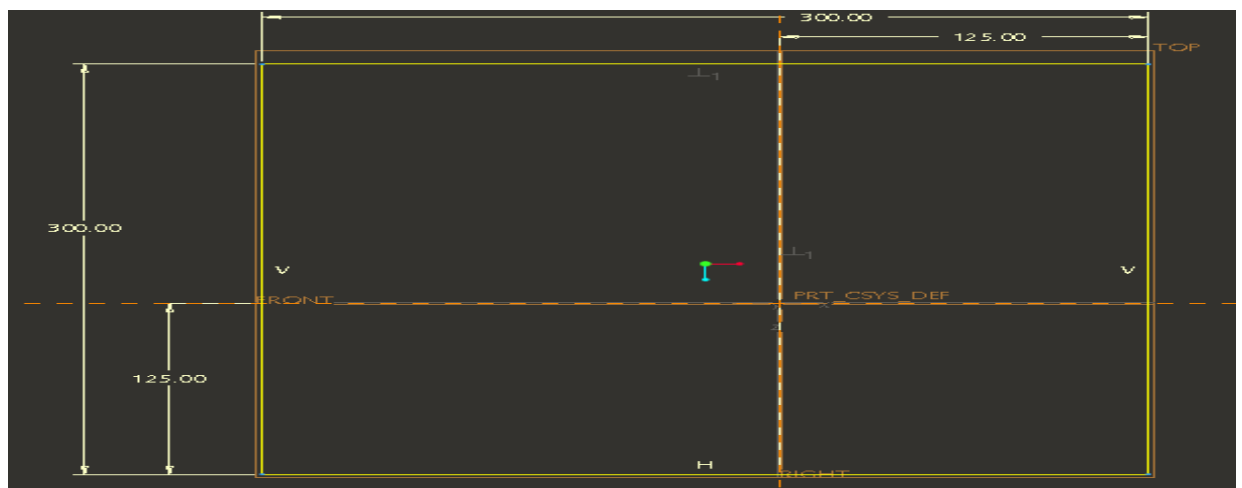
Εικόνα 19.Εντολή Round 2



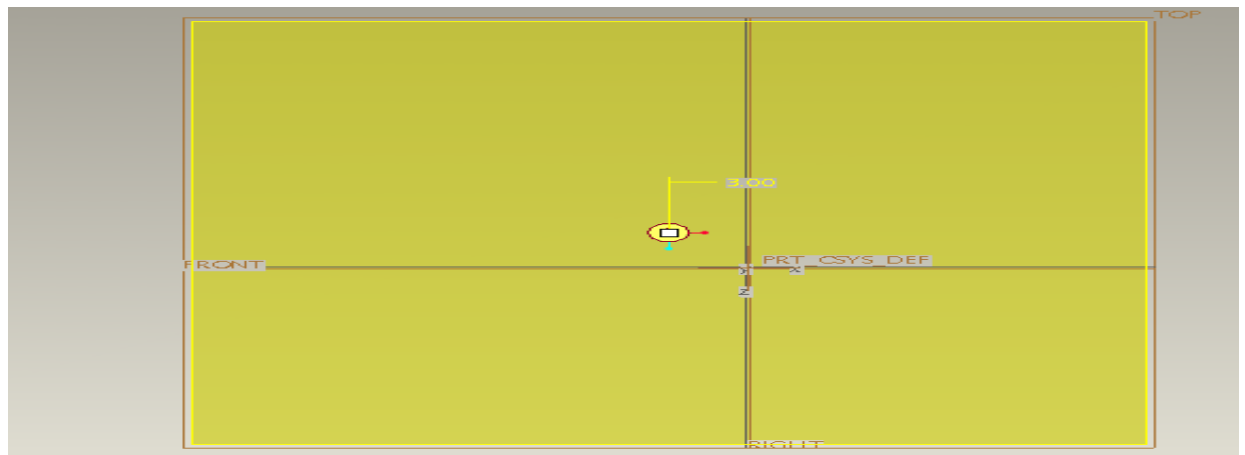
Εικόνα 20.Τελικό μοντέλο με λείανση γωνιών με εντολή Round

3.1.2 Σχεδιασμός μοντέλου 2

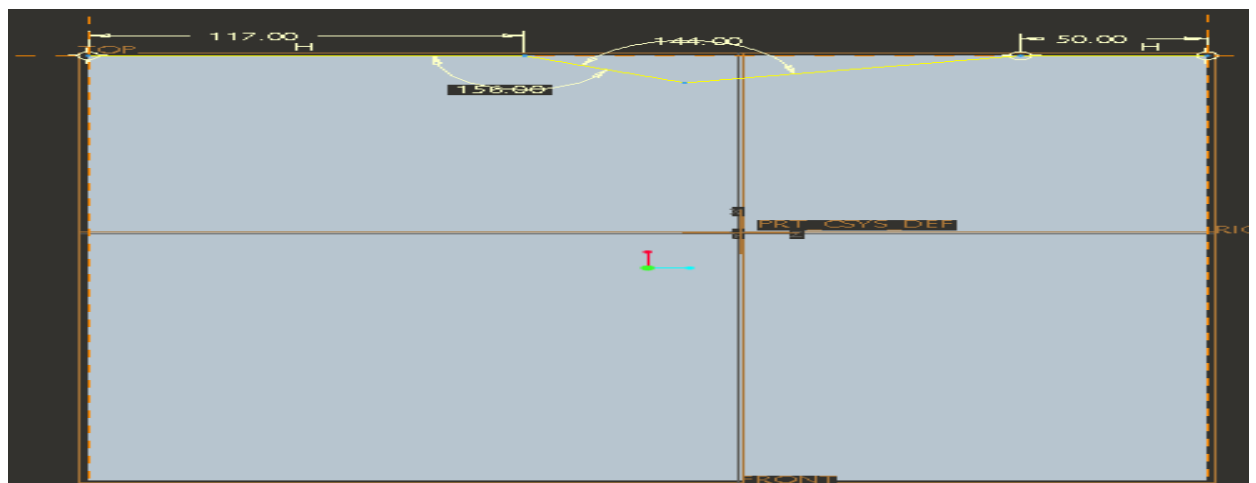
Για τον σχεδιασμό του δεύτερου μοντέλου θα κινηθούμε με τον ίδιο τρόπο όπως και στο πρώτο. Η κύρια εντολή που χρησιμοποιούμε είναι η εντολή **Extrude** και η υποεντολή αυτής **Remove Material**. Παρακάτω παρουσιάζονται κάποιες εικόνες όπου φαίνεται αναλυτικότερα ο σχεδιασμός βήμα βήμα.



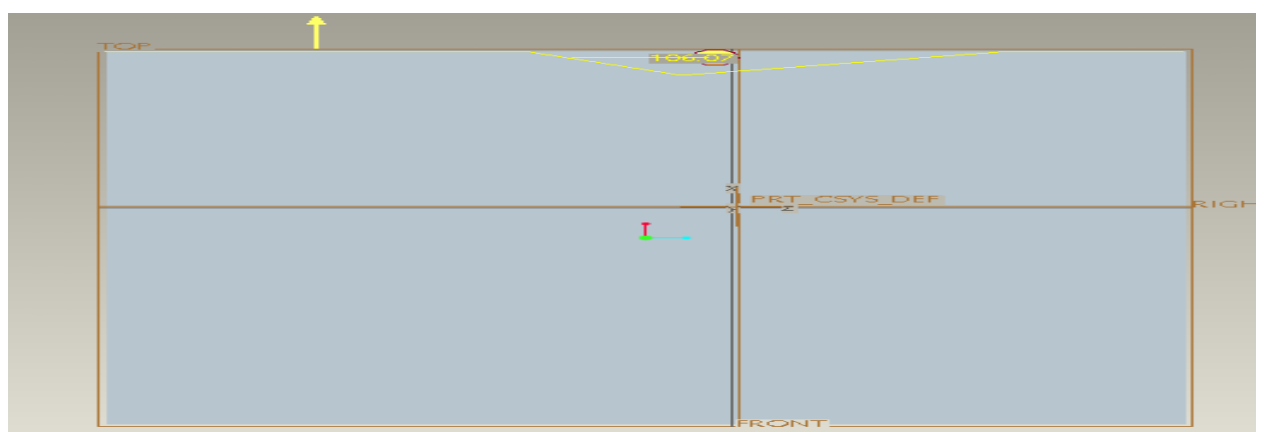
Εικόνα 21.Sketch 1 δευτέρου μοντέλου



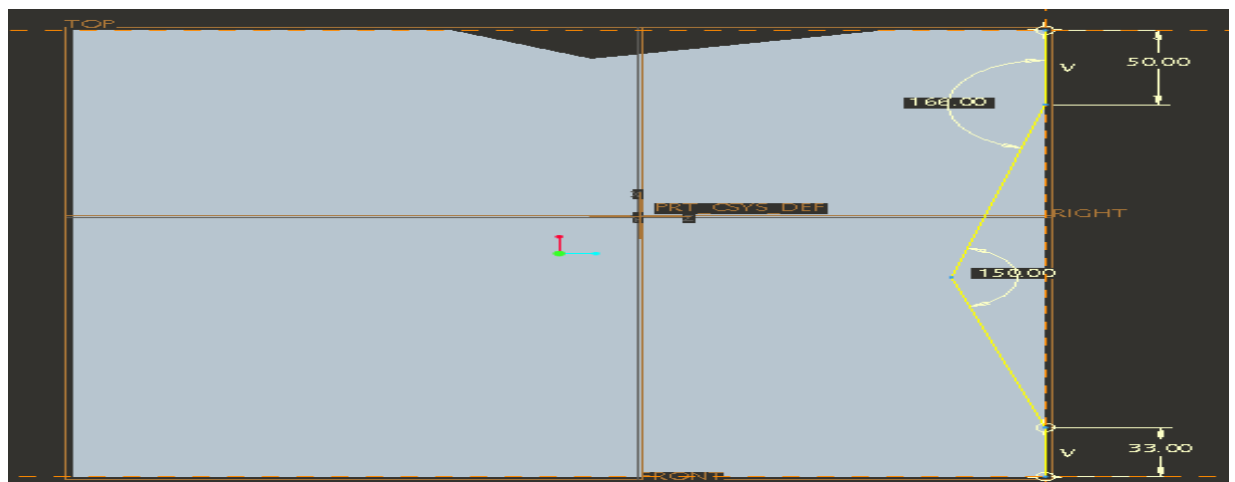
Εικόνα 22.Extrude 1 δευτέρου δοκιμίου



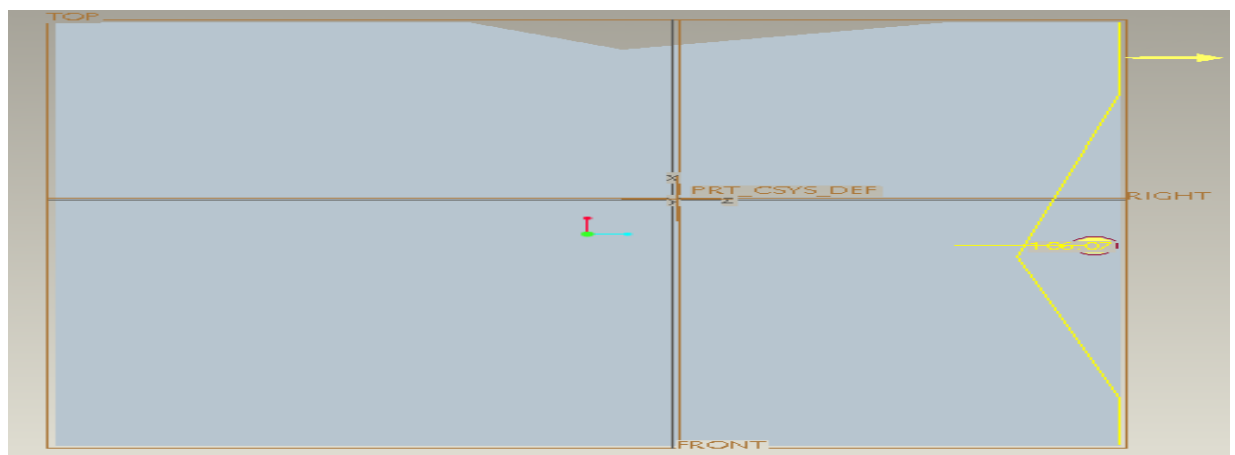
Εικόνα 23.Sketch 2 δεύτερου μοντέλου



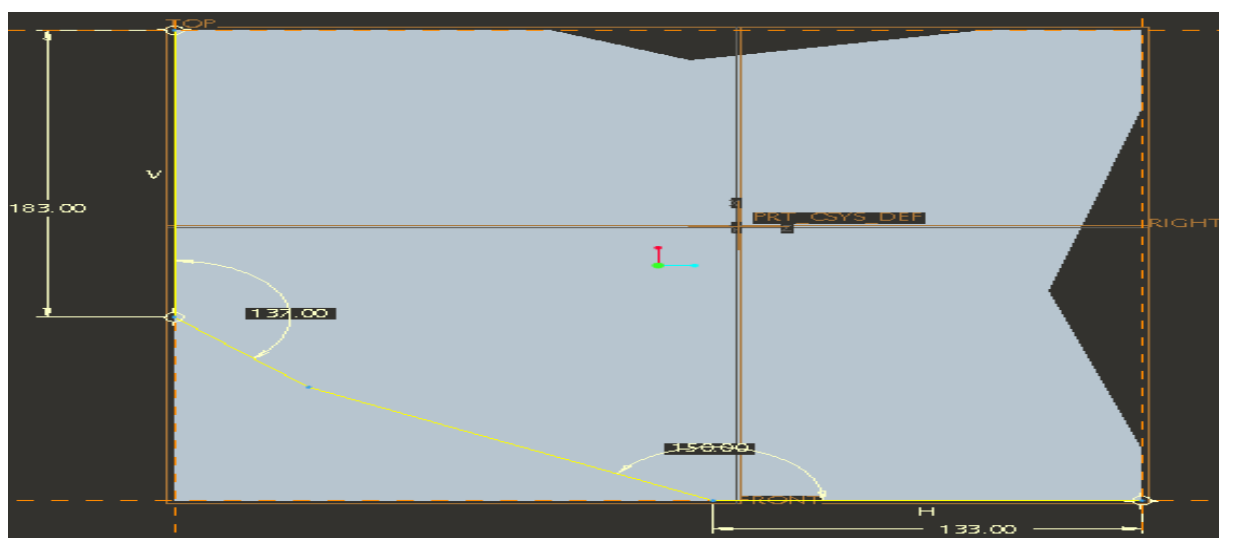
Εικόνα 24.Extrude 2 δεύτερου μοντέλου



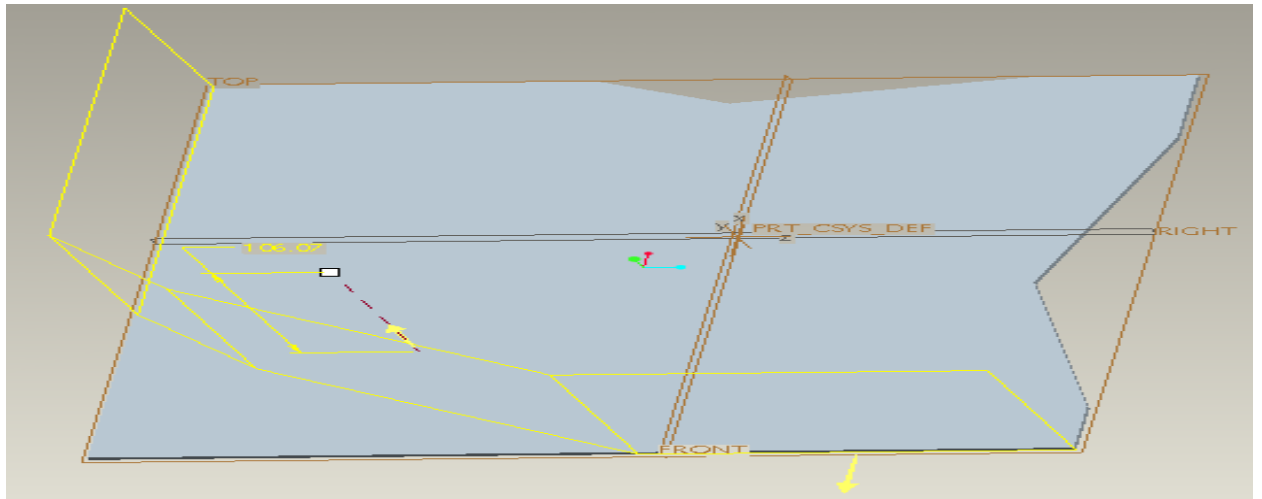
Εικόνα 25.Sketch 3 δεύτερου μοντέλου



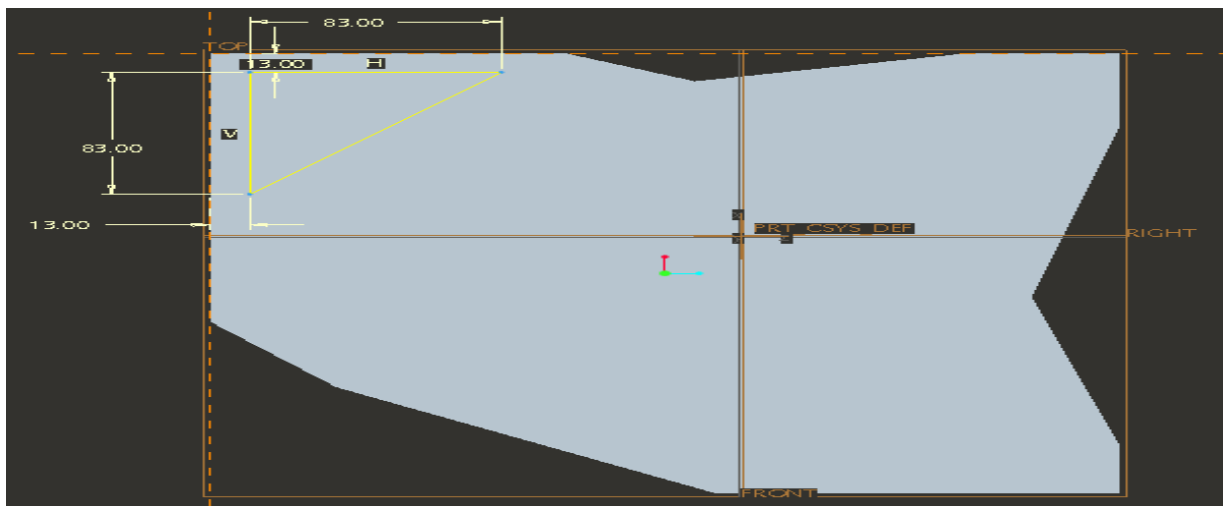
Εικόνα 26.Extrude 3 δεύτερου μοντέλου



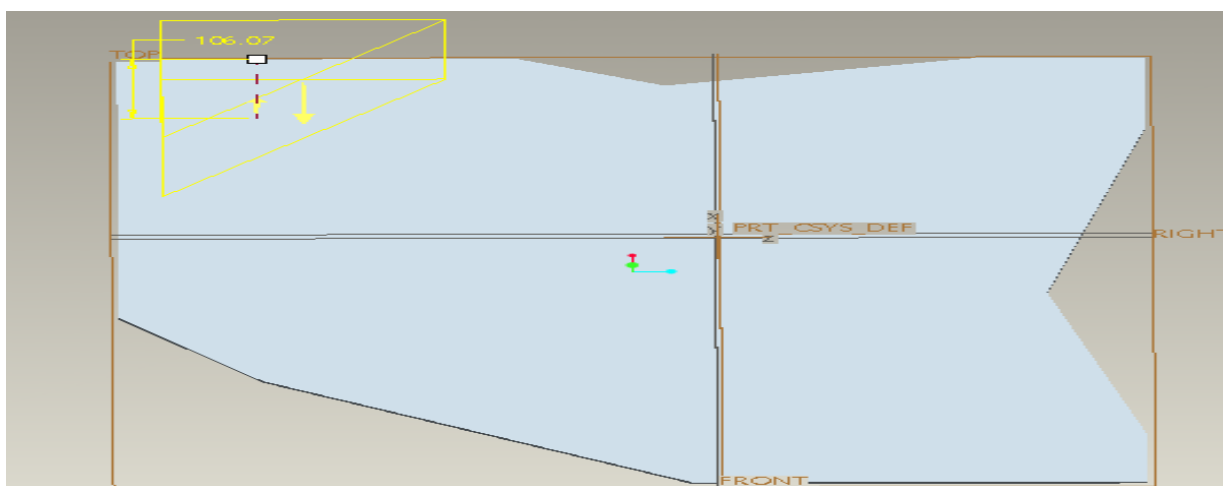
Εικόνα 27.Sketch 4 δεύτερου μοντέλου



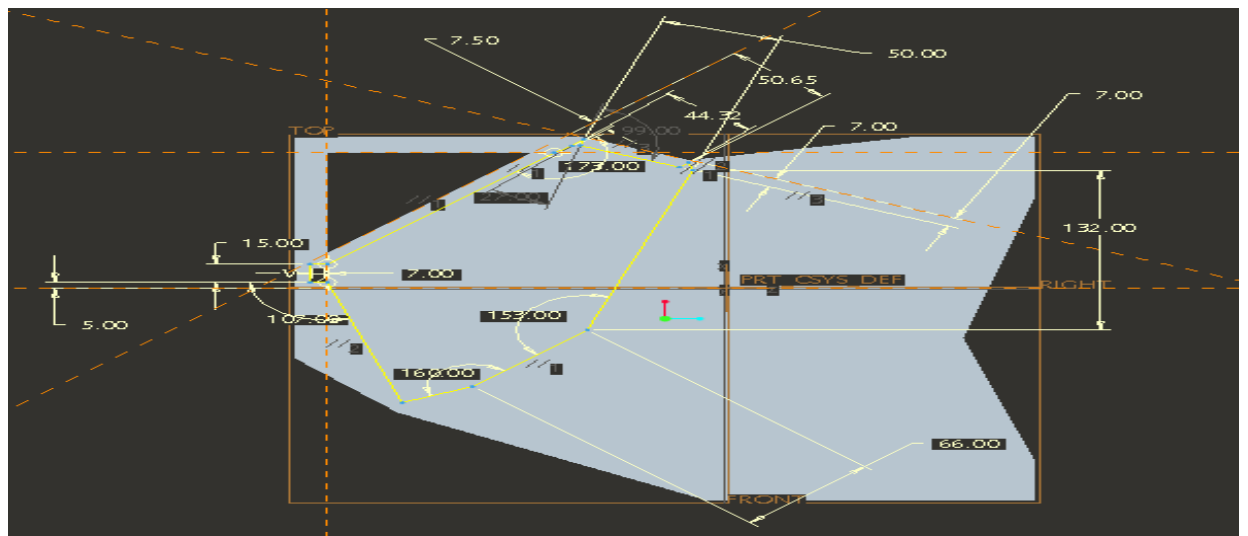
Εικόνα 28.Extrude 4 δεύτερου μοντέλου



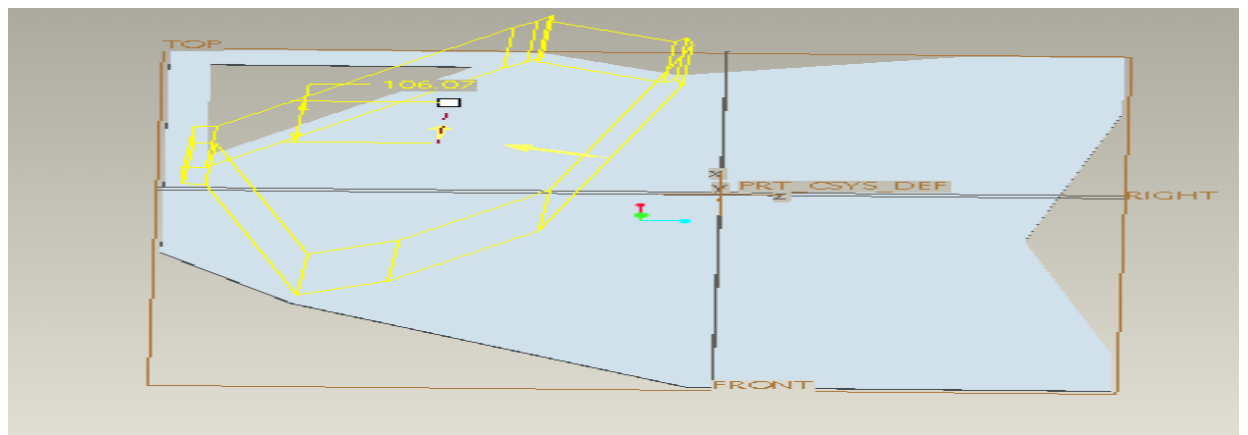
Εικόνα 29.Sketch 5 δεύτερου μοντέλου



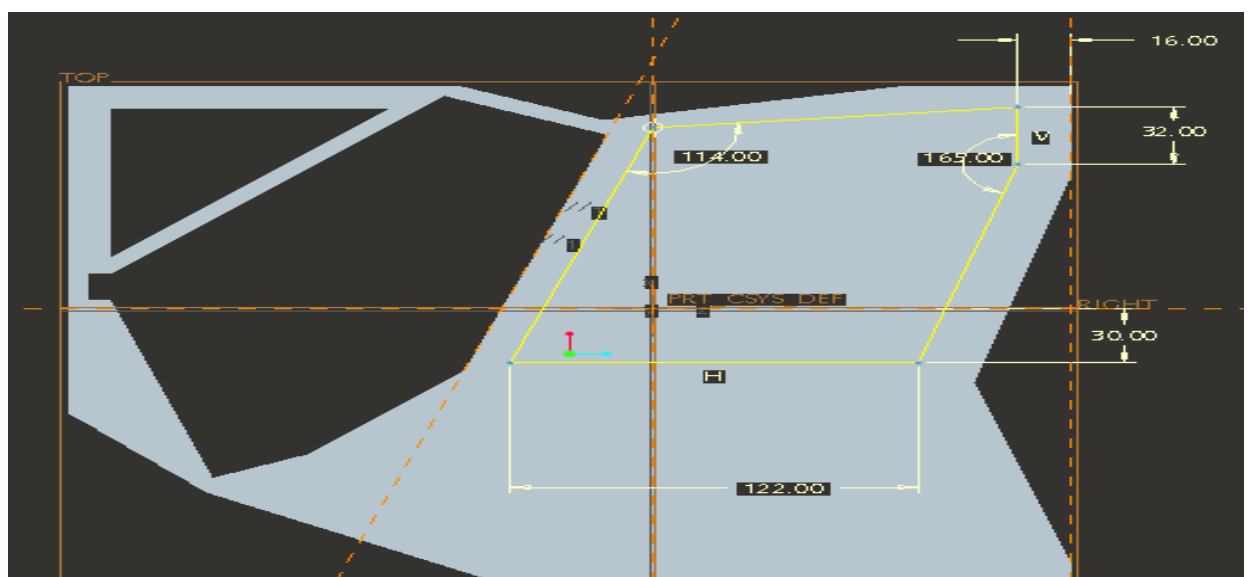
Εικόνα 30.Extrude 5 δεύτερου μοντέλου



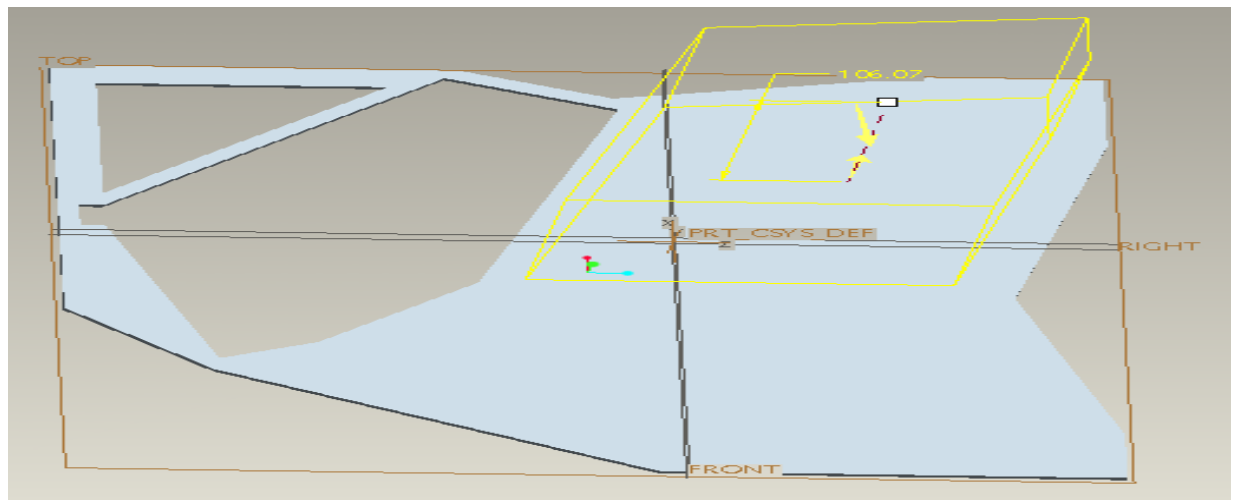
Εικόνα 31.Sketch 6 δεύτερου μοντέλου



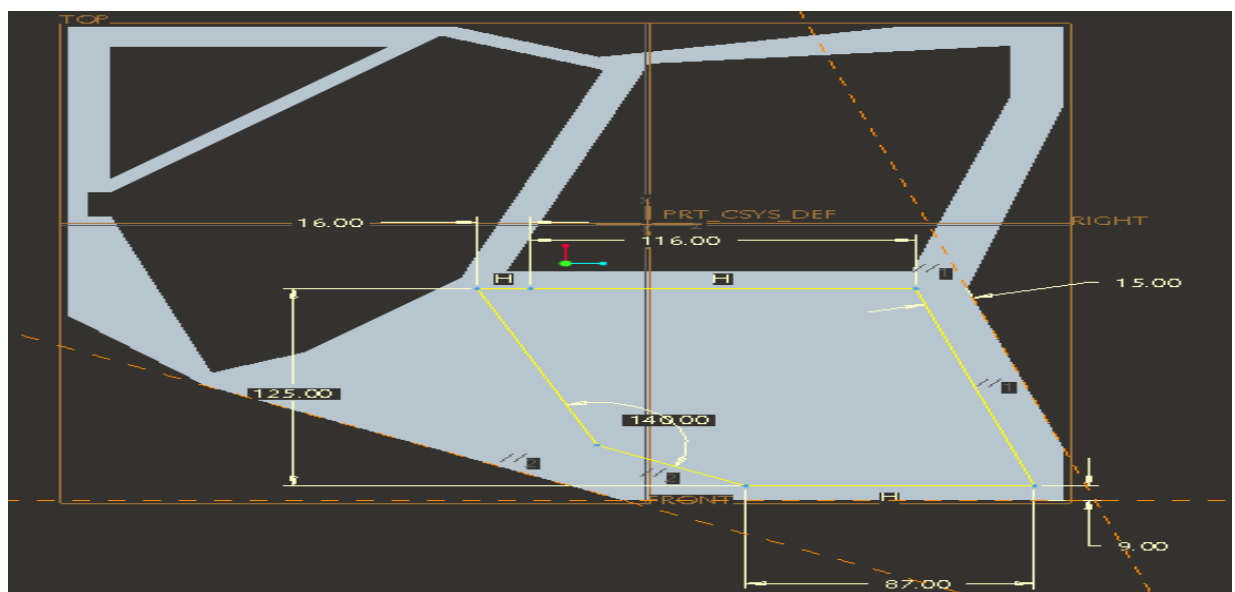
Εικόνα 32.Extrude 6 δεύτερου μοντέλου



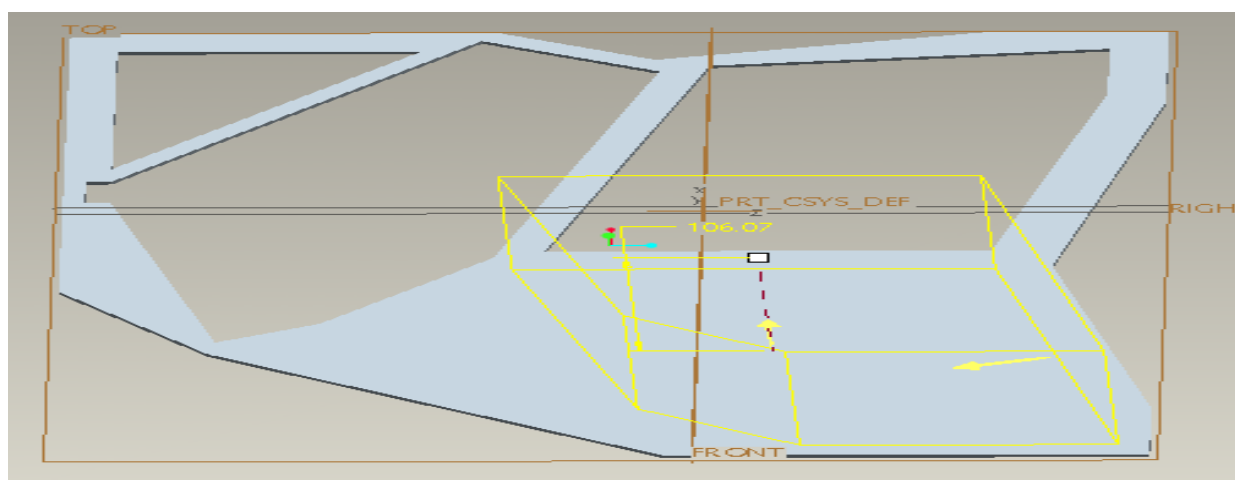
Εικόνα 33.Sketch 7 δεύτερου μοντέλου



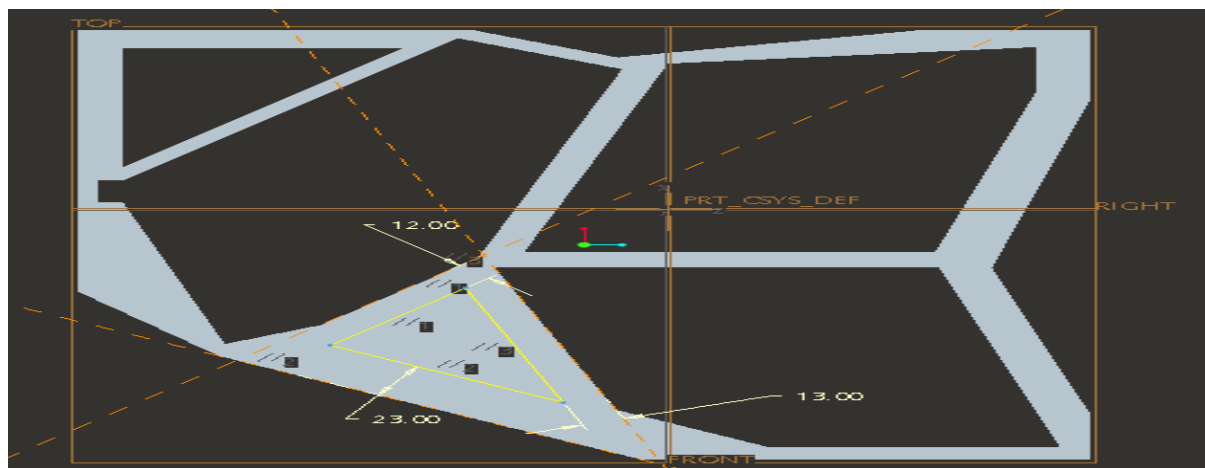
Εικόνα 34.Extrude 7 δεύτερου μοντέλου



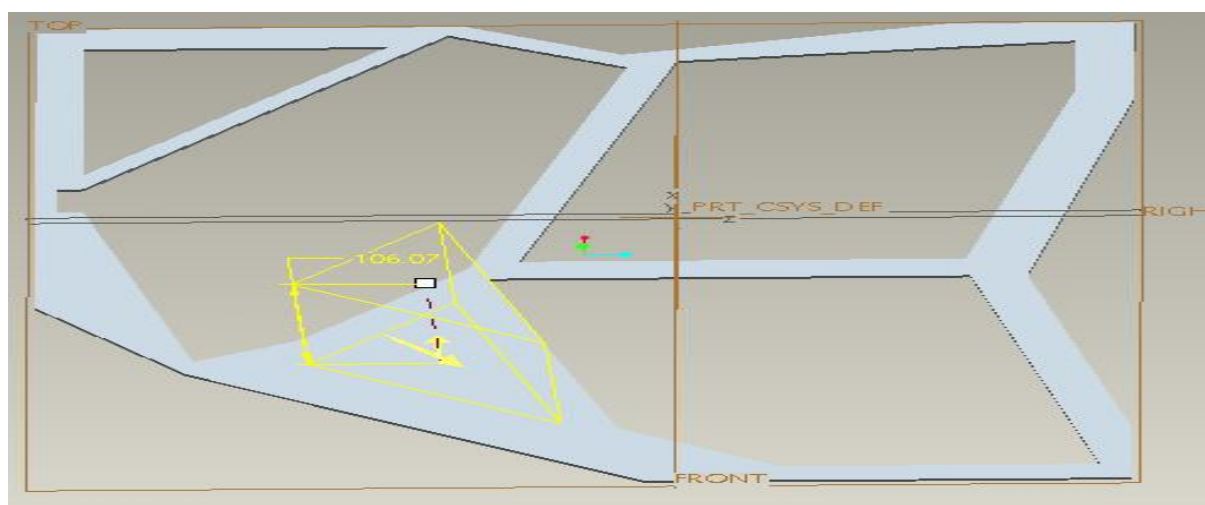
Εικόνα 35.Sketch 8 δεύτερου μοντέλου



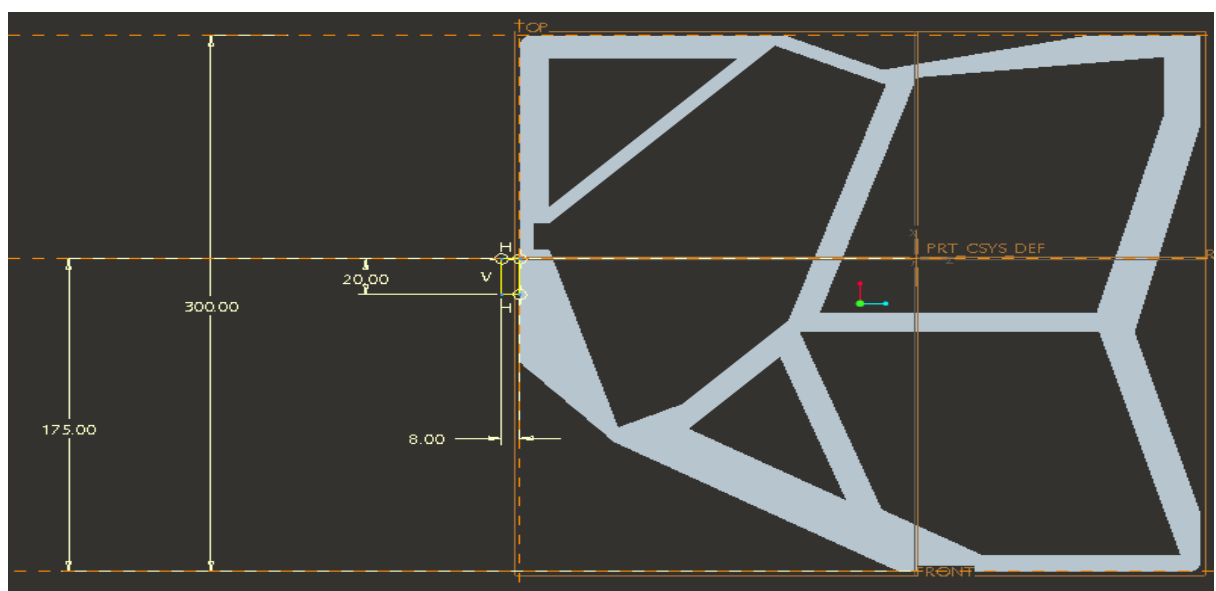
Εικόνα 36.Extrude 8 δεύτερου μοντέλου



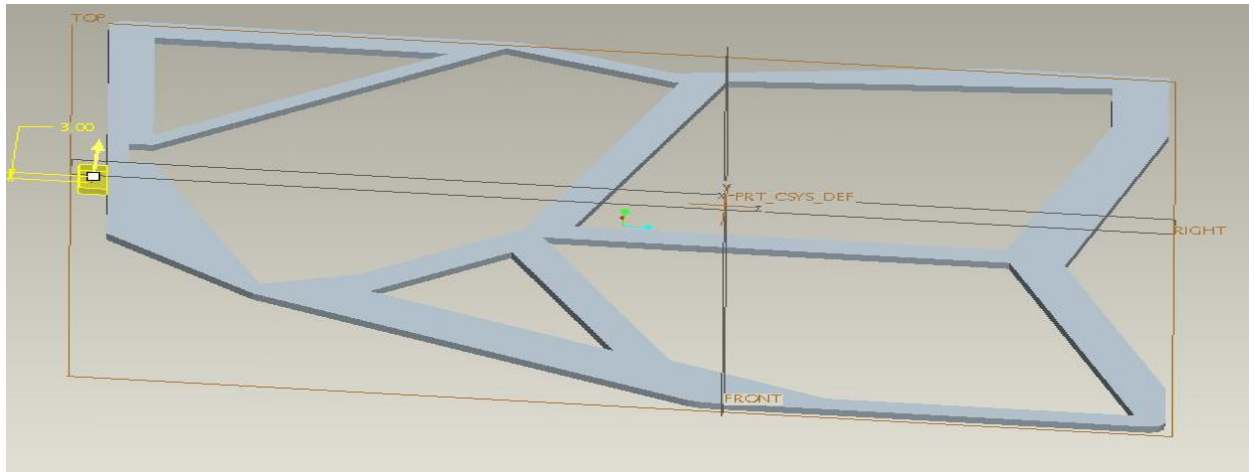
Εικόνα 41.Sketch 9 δεύτερου μοντέλου



Εικόνα 42.Extrude 9 δεύτερου μοντέλου

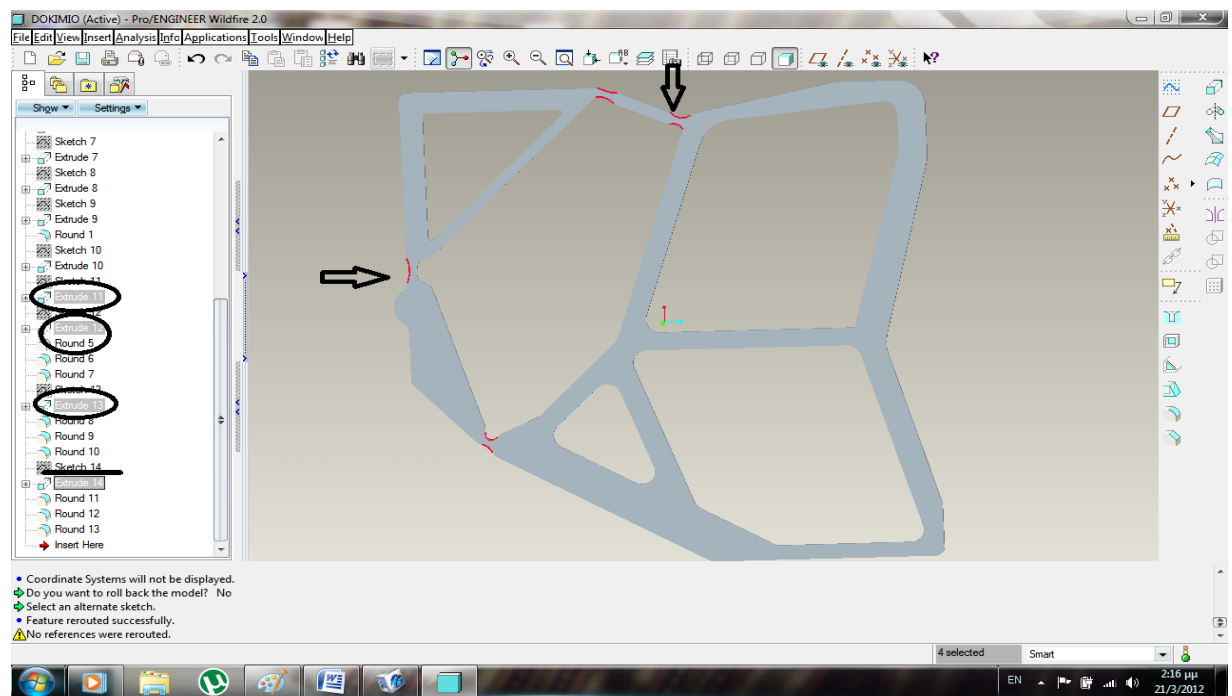


Εικόνα 43.Sketch 10 δεύτερου μοντέλου

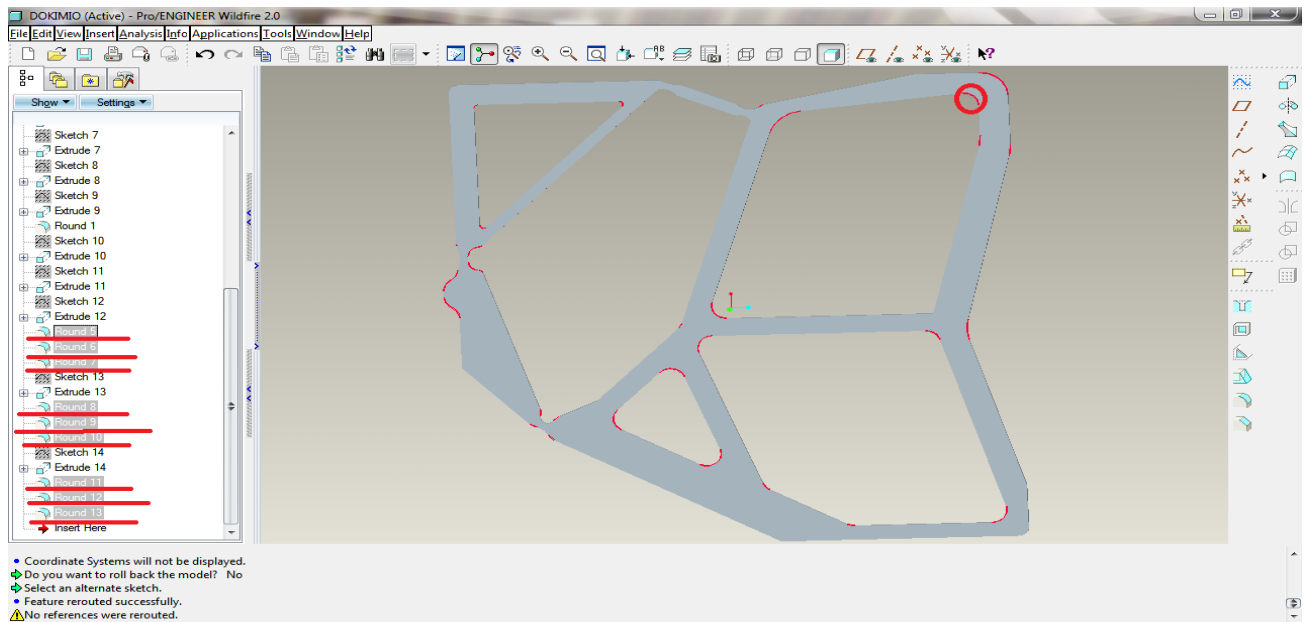


Εικόνα 44.Extrude 10 δεύτερου μοντέλου

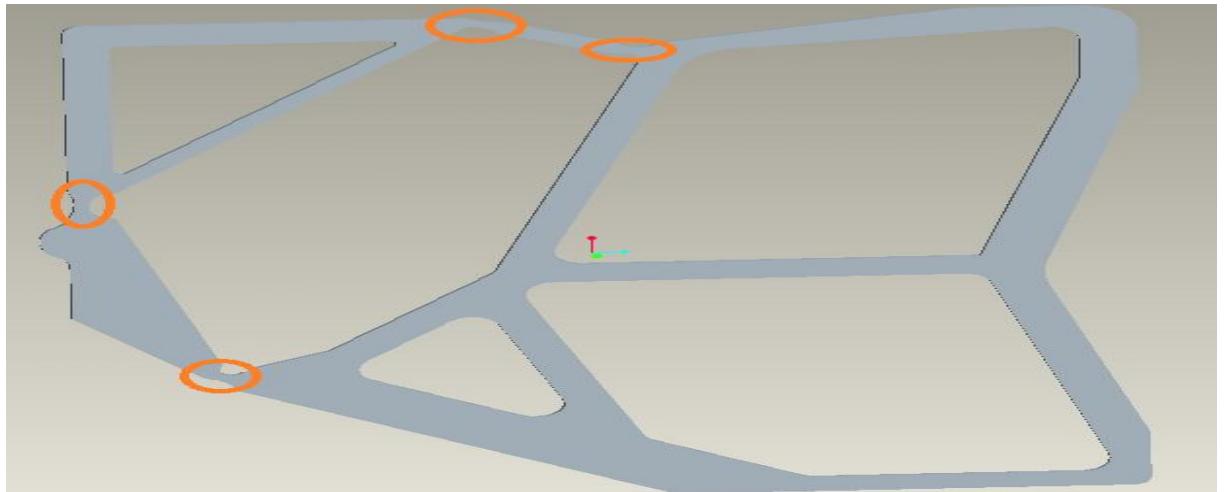
Είδαμε πως φτάσαμε στην τελική μορφή του δοκιμίου μας.Στη συνέχεια θα προσπαθήσουμε να τροποποιήσουμε το σχέδιο μας έτσι ώστε να επιτύχουμε μείωση των τάσεων όπου αυτές συγκεντρώνονται οι μεγαλύτερες.Συνήθως είναι στις περιοχές που υπάρχουν "μεντεσέδες".Με την εντολή **round** θα καταφέρουμε όχι μόνο μείωση των τάσεων αλλά θα είναι και πιο κομψή η γεωμετρία του μοντέλου μας.Εν συνεχεία ακολουθούν τα αποτελέσματα της σχεδίασης μας.



Εικόνα 45.Extrude 11,12,13,14 δεύτερου μοντέλου



Εικόνα 46.Rounds δεύτερου μοντέλου

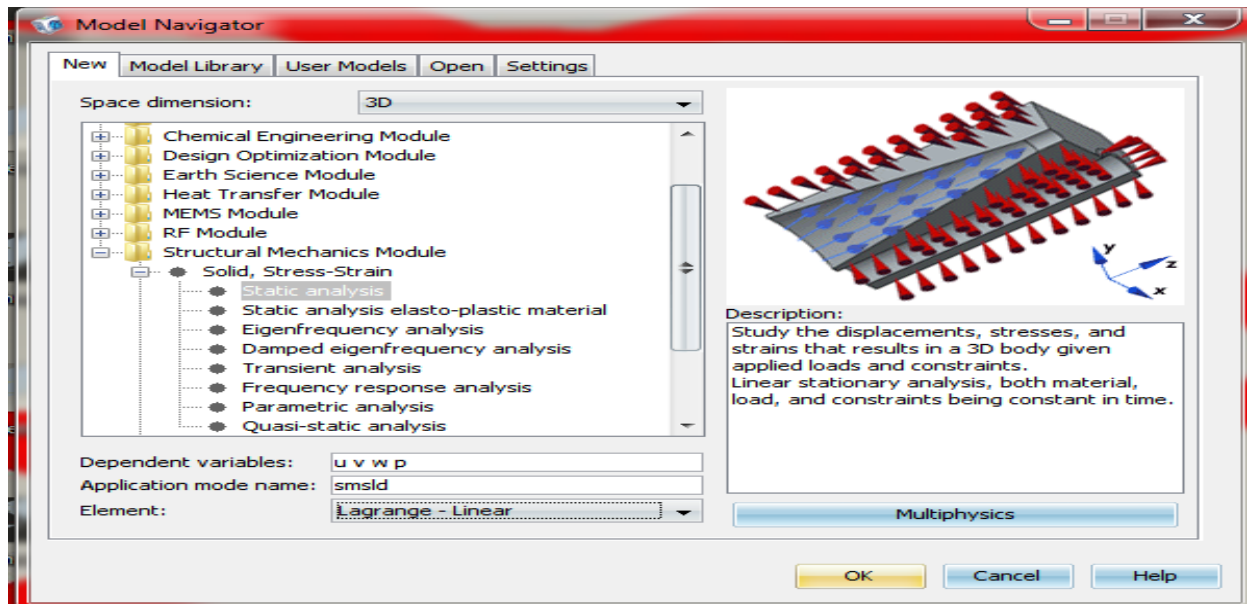


Εικόνα 47.Τελική μορφή δεύτερου μοντέλου με λείανση γωνιών

3.2 Εισαγωγή δεδομένων στο COMSOL

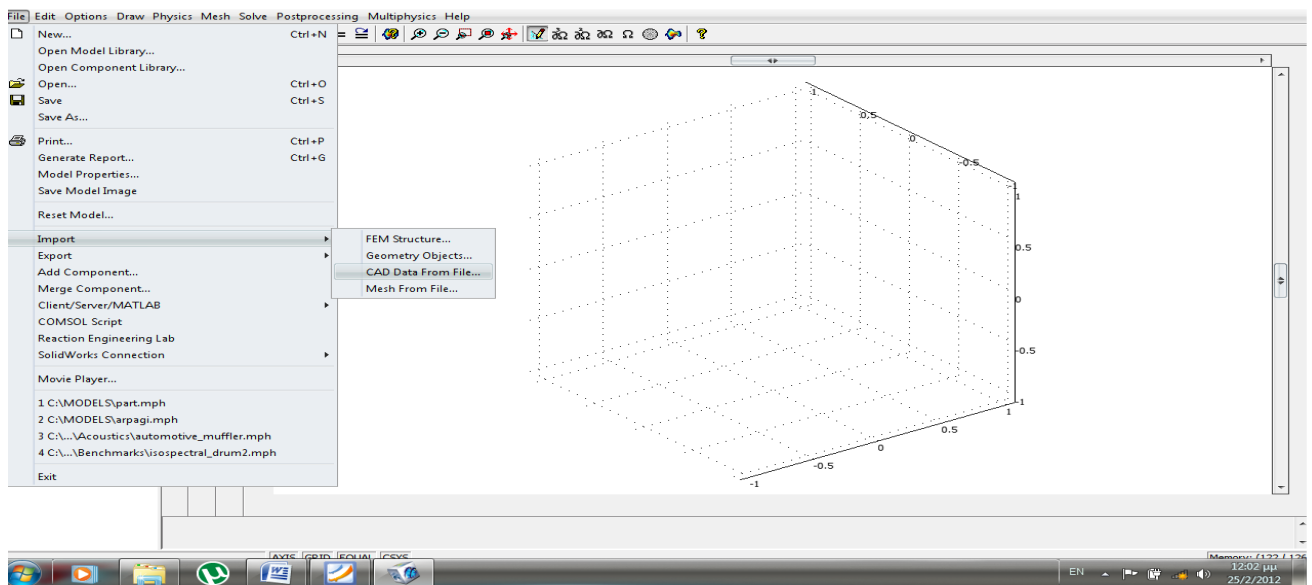
3.2.1 Εισαγωγή δεδομένων μοντέλου 1

Αρχικά γίνεται η επιλογή προβλήματος που θέλουμε να μελετήσουμε, το οποίο είναι κατασκευαστικό τρισ-διάστατο στατικής ανάλυσης, γραμμικής ειδικότερα.



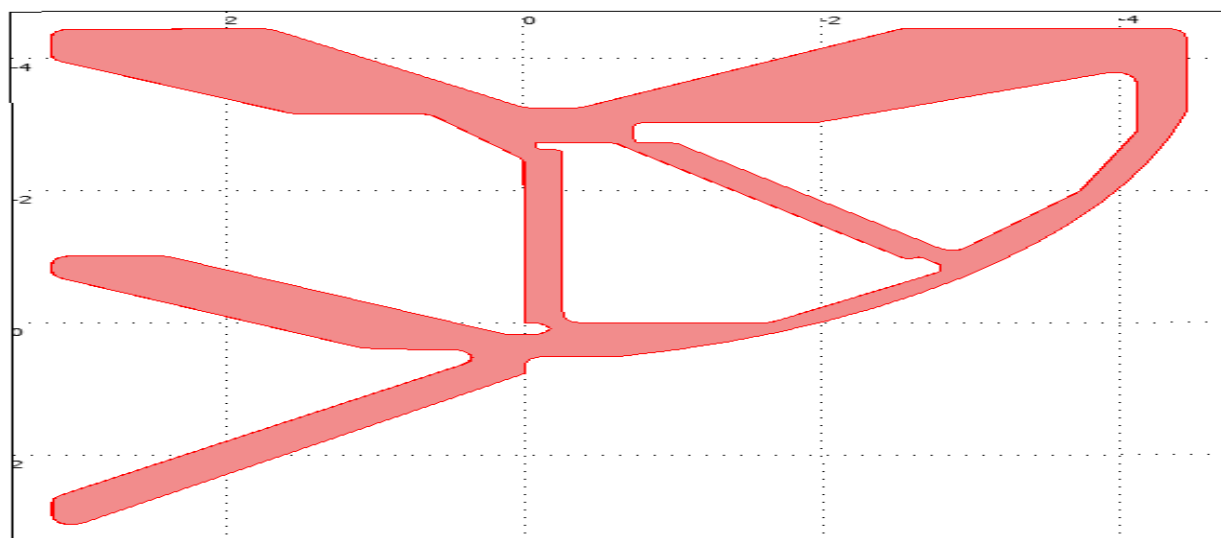
Εικόνα 48.Επιλογή Προβλήματος στο Comsol

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



Εικόνα 49.Εισαγωγή μοντέλου στο Comsol

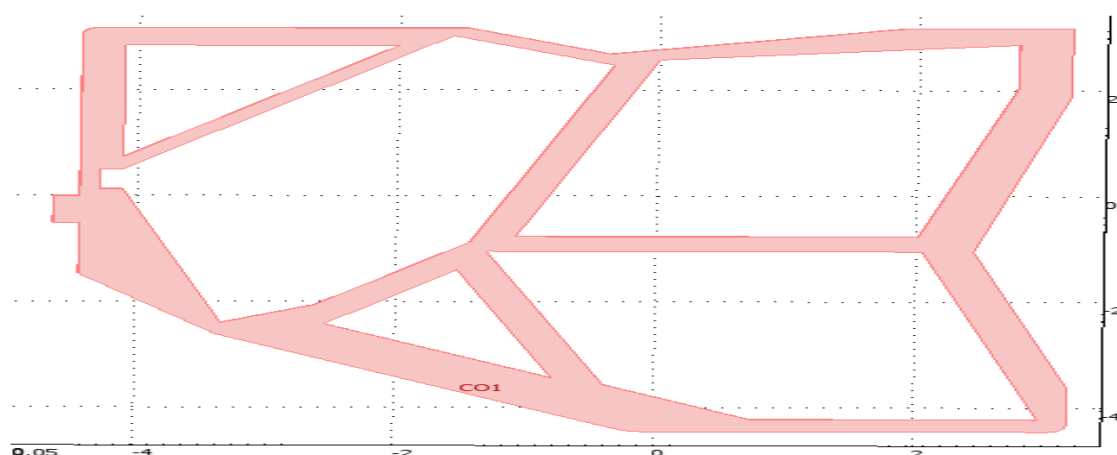
Παρακάτω φαίνεται σε οριζόντια θέση το μοντέλο μας έχοντας μπει στο comsol.



Εικόνα 50.Απεικόνιση μοντέλου στο Comsol

3.2.2 Εισαγωγή δεδομένων μοντέλου 2

Ότι ακριβώς ισχύει στο πρώτο μοντέλο για την εισαγωγή του στο Comsol το ίδιο ισχύει και τώρα.Οι ενέργειες είναι οι ίδιες όπως και η φύση του προβλήματος άλλωστε.

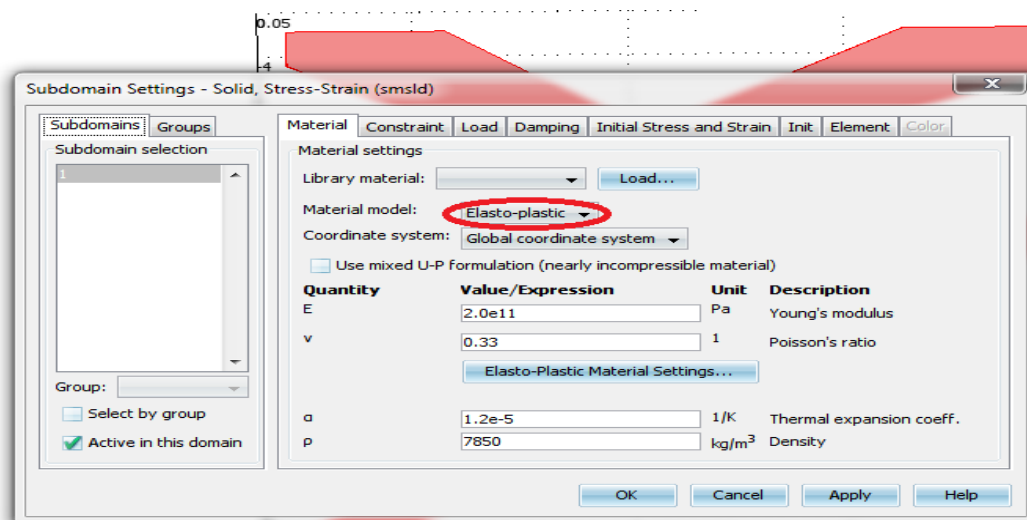


Εικόνα 51.Απεικόνιση μοντέλου 2 στο Comsol

3.3 Εισαγωγή δυνάμεων και περιορισμών στο COMSOL

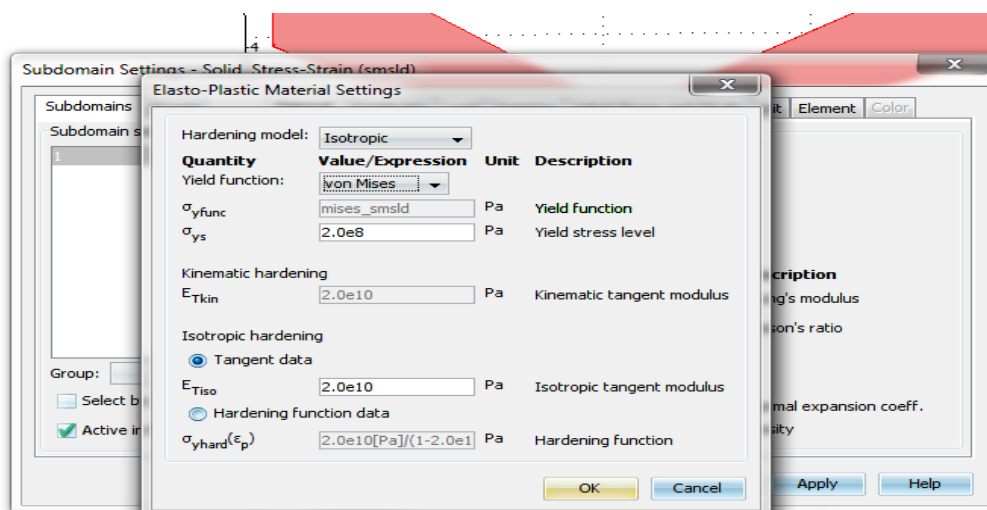
3.3.1 Εισαγωγή δυνάμεων και περιορισμών μοντέλου 1

Αφού εισάγαμε το δοκίμιο στο πρόγραμμα, τώρα έχει σειρά η εισαγωγή των διάφορων παραμέτρων όπως, επιλογή υλικού, τοποθέτηση δυνάμεων και τέλος η επιλογή κάποιων ακμών που θέλουμε να είναι ακλόνητες για να πετύχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα. Τέλος θα ήθελα να αναφέρω ότι η επιλογή της δύναμης γίνεται ενδεικτικά με τιμή -1000 N/m^2 . Το πρόσημο – υποδηλώνει τη φορά της.



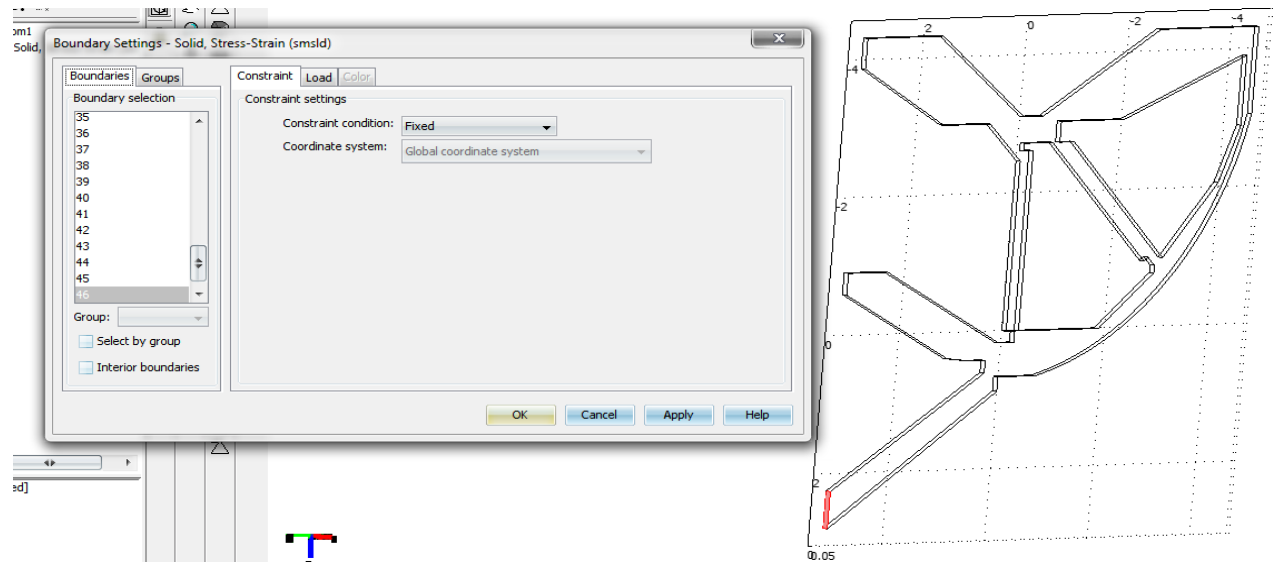
Εικόνα 52. Εισαγωγή υλικού

Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται αναλυτικά οι ιδιότητες του υλικού το είδος των ελαστο-πλαστικών.

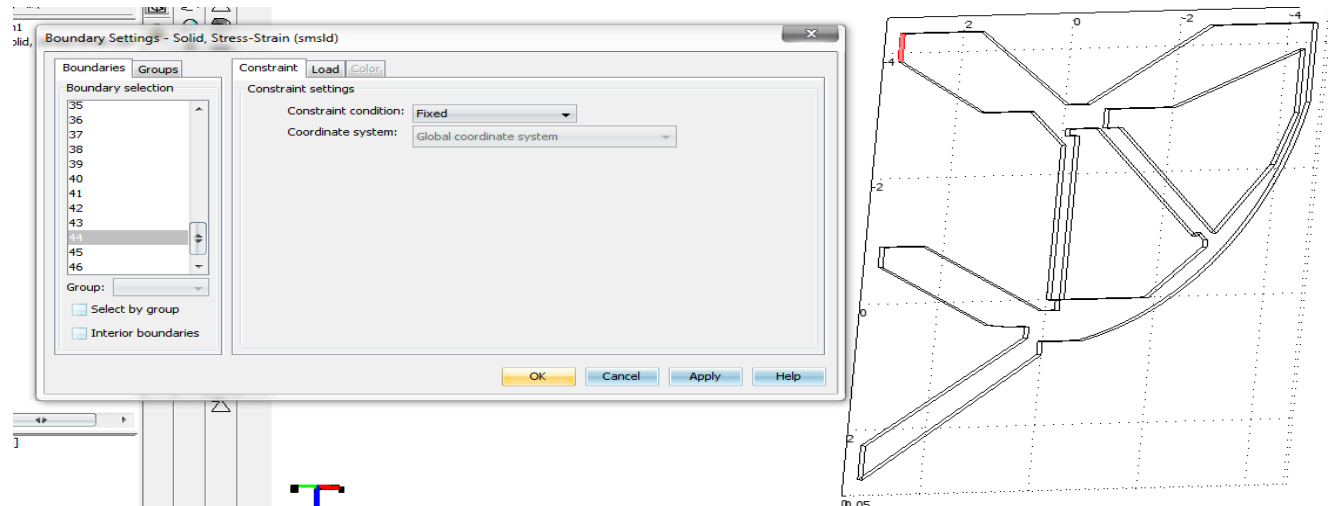


Εικόνα 53. Ιδιότητες υλικού

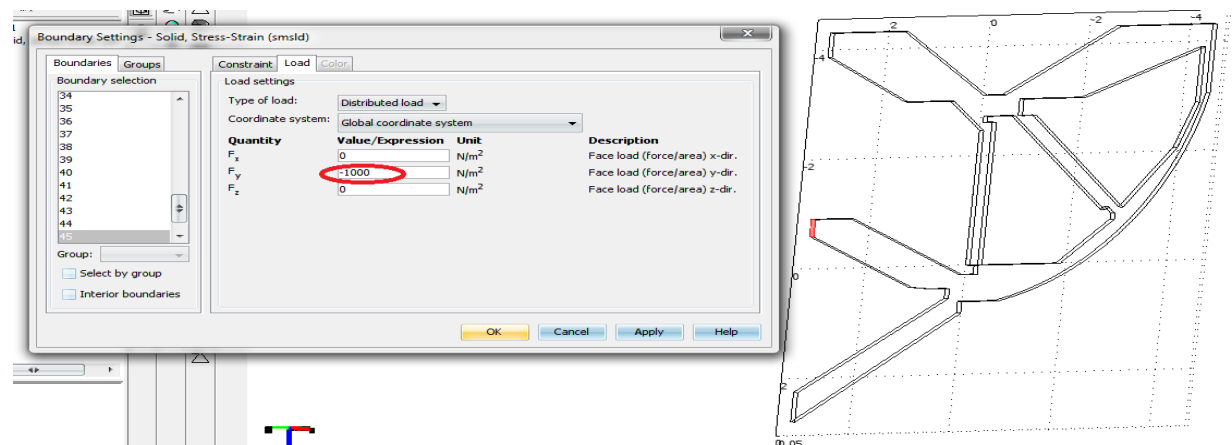
Έπειτα θα γίνει εισαγωγή των δυνάμεων και θα οριστούν οι ακλόνητες ακμές απο τις επιλογές των **physics->boundary settings**.



Εικόνα 54. Fixed 1

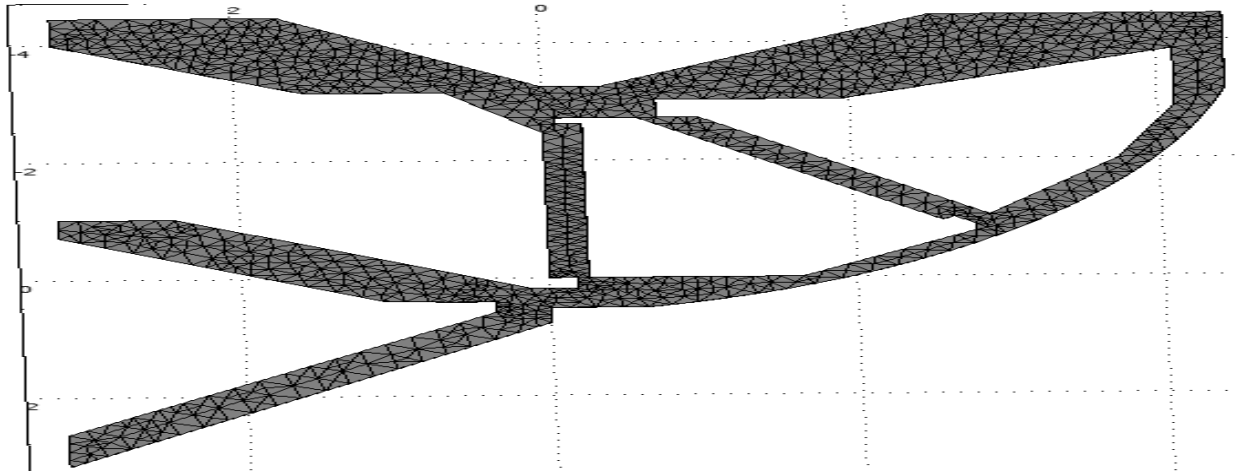


Εικόνα 55. Fixed 2

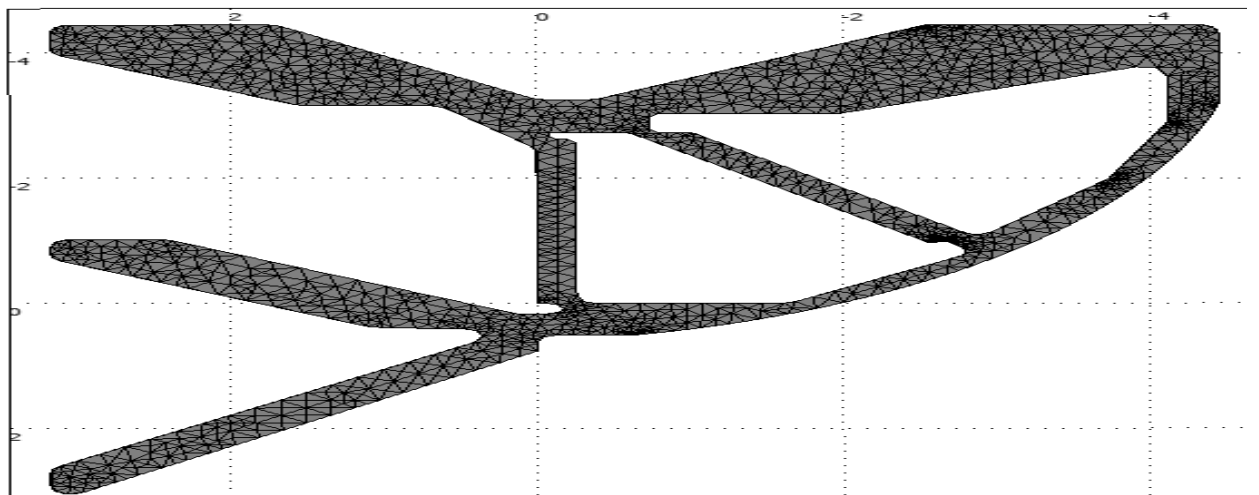


Εικόνα 56.Εισαγωγή δύναμης

Μετά από την εισαγωγή των φορτίσεων στην κάθε περίπτωση δίνουμε την εντολή **refine Mesh** και πλεγματοποιούμε το μοντέλο της εκάστοτε περίπτωσης. Αυτό εξυπηρετεί την μελέτη του μοντέλου σε οποιοδήποτε σημείο του. Και θα έχει τη μορφή αυτή :



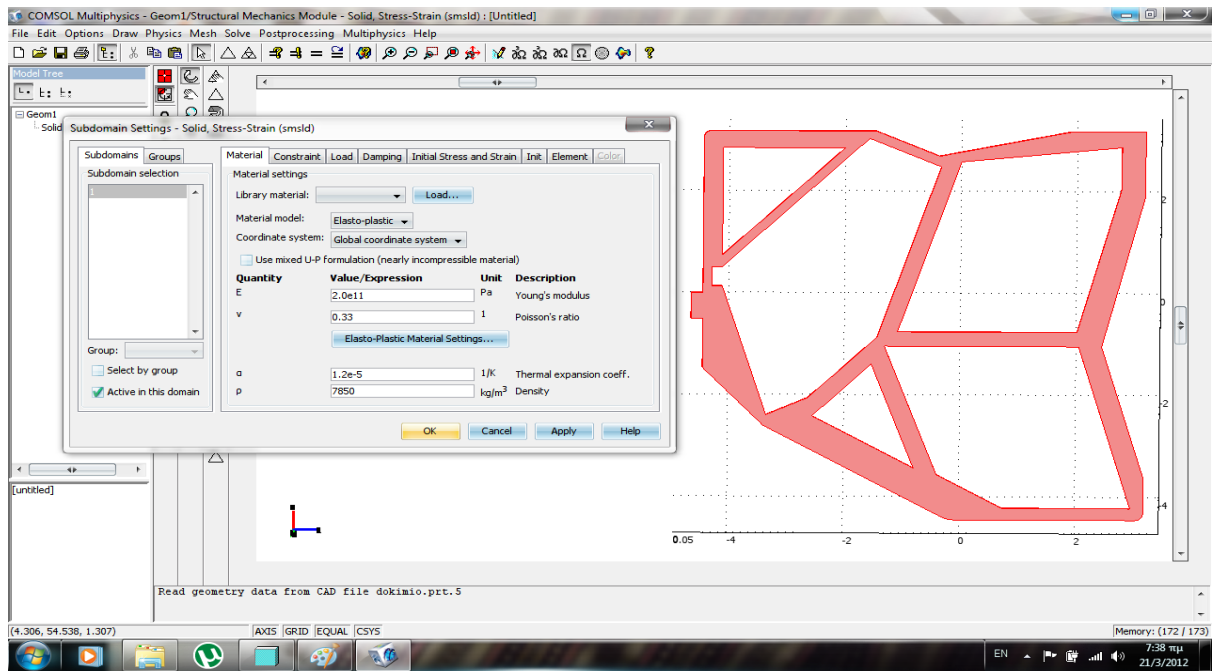
Εικόνα 57. Refine Mesh χωρίς λείανση γωνιών



Εικόνα 58. Refine Mesh μετά από λείανση γωνιών

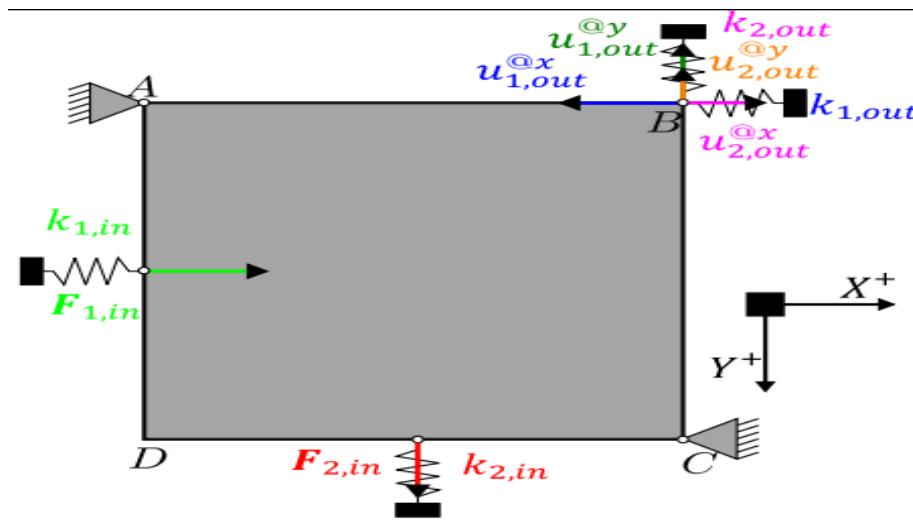
3.3.2 Εισαγωγή δυνάμεων και περιορισμών μοντέλου 2

Η εισαγωγή των δυνάμεων και των περιορισμών προϋποθέτει την επιλογή υλικού. Αυτό γίνεται απο το **physics->subdomain settings**.

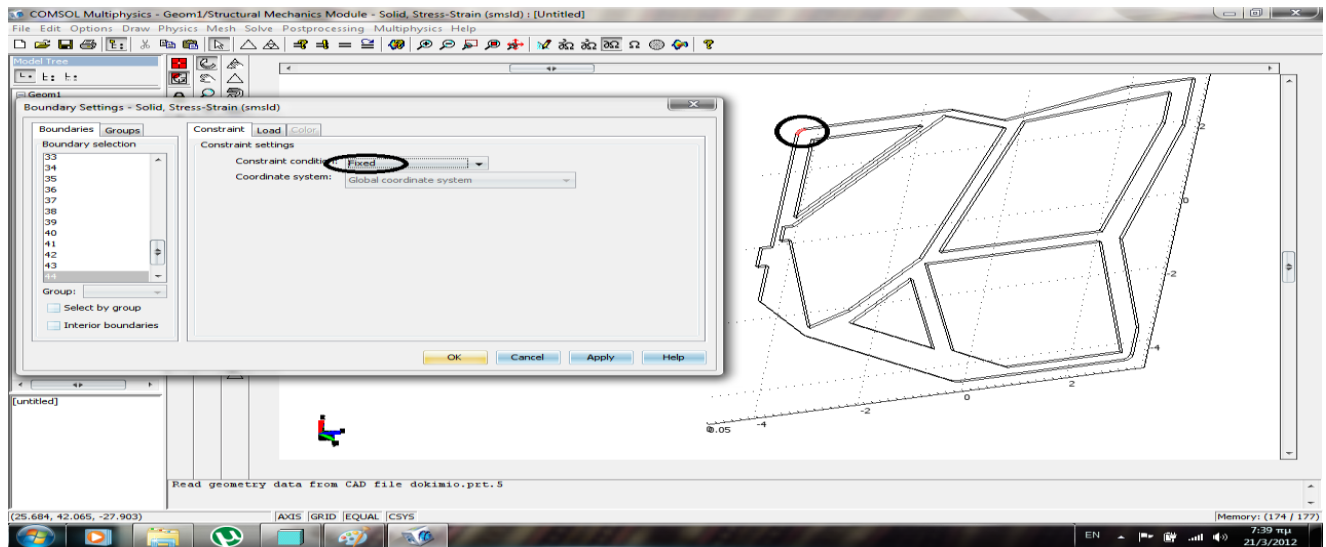


Εικόνα 59.Εισαγωγή υλικού

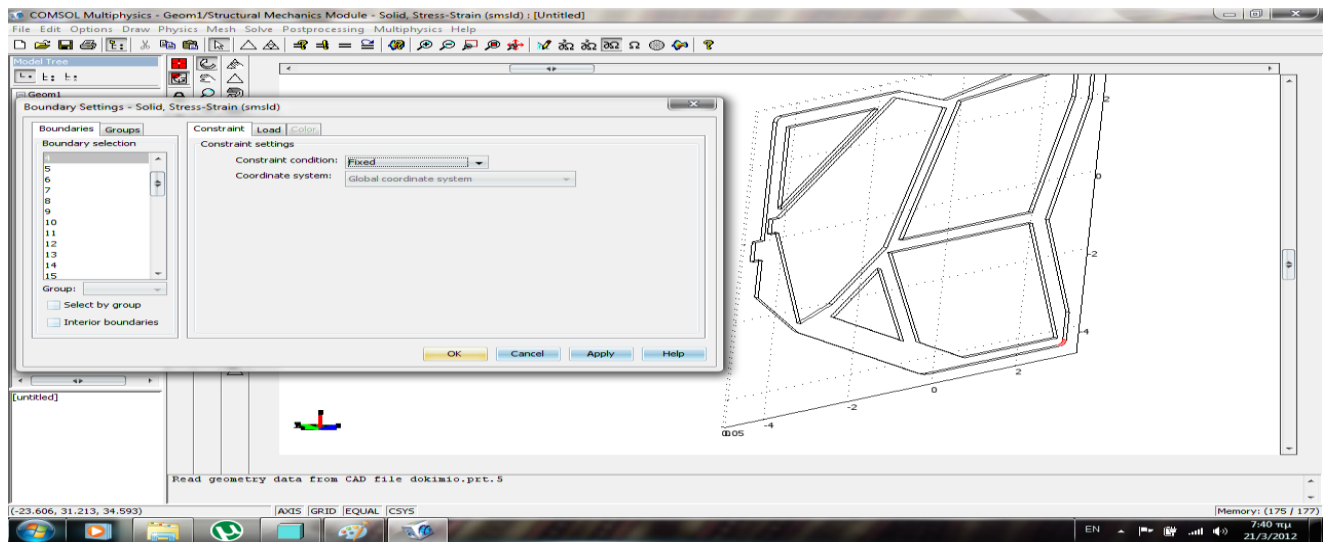
Αφού επιλέξαμε υλικό αμέσως μετά υποβάλουμε τους περιορισμούς. Σε δύο περιοχές το δοκίμιο μας είναι ακλόνητο. Επιλέγουμε όπου είναι και τοποθετούμε τις δυνάμεις οι οποίες σε αυτό το παράδειγμα είναι δύο. Μια με διεύθυνση στο χ-άξονα και μια με διεύθυνση στο γ-άξονα. Θα τις μελετήσουμε ξεχωριστά όμως η τιμή θα είναι κοινή όπως στο πρώτο παράδειγμα και ίση με 1000 N/m^2 .



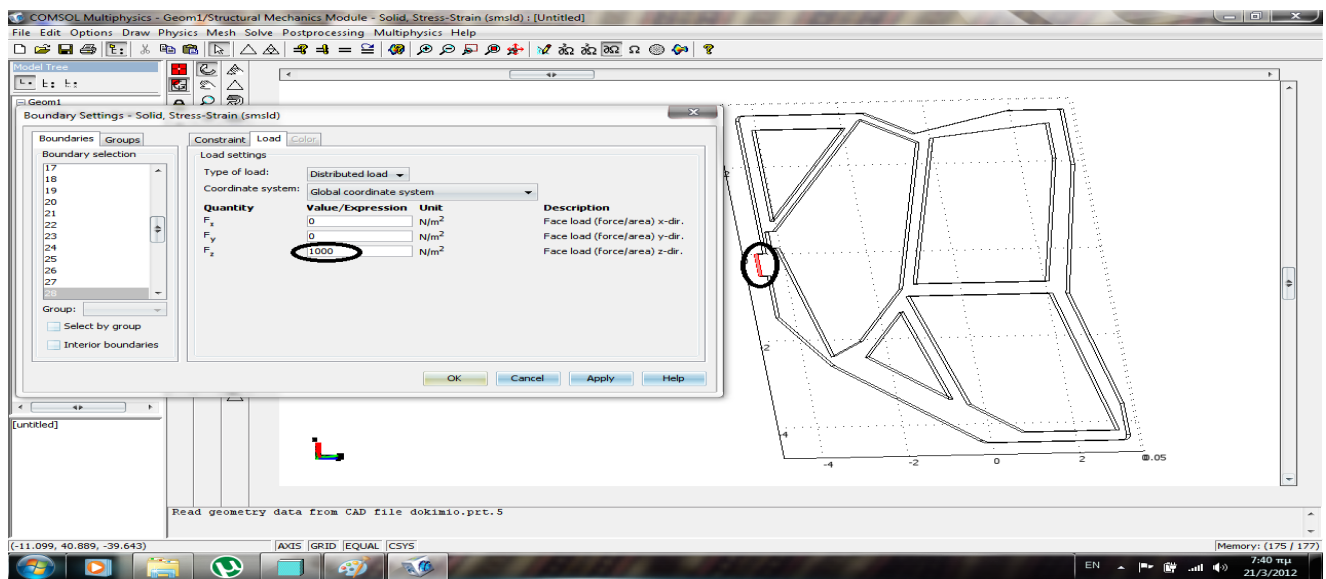
Εικόνα 60.Απεικόνιση προβλήματος από εργασία Κ Καμινάκη



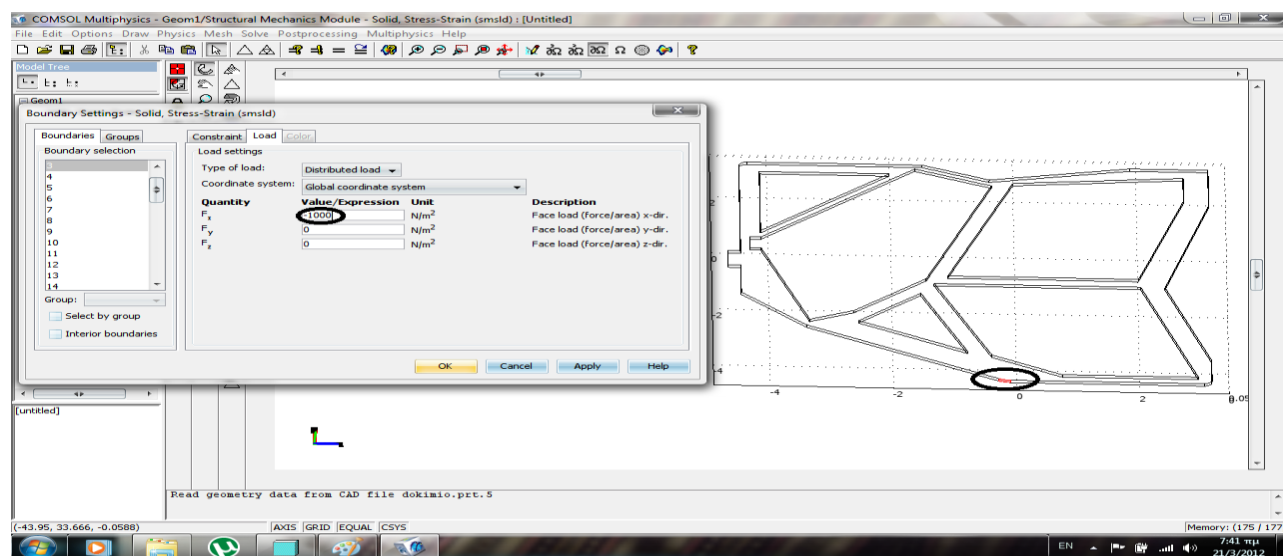
Εικόνα 61.Fixed 1



Εικόνα 62.Fixed 2

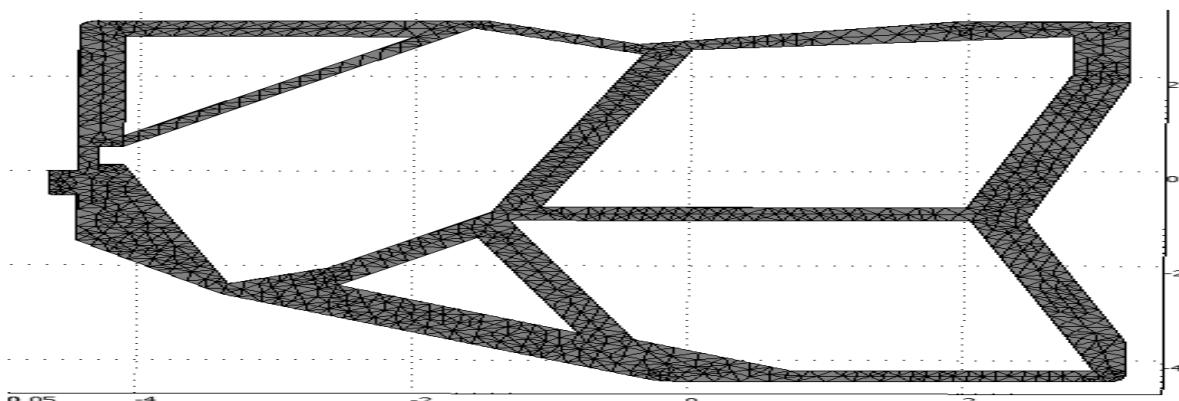


Εικόνα 63. Εισαγωγή δύναμης (Πρώτη περίπτωση)

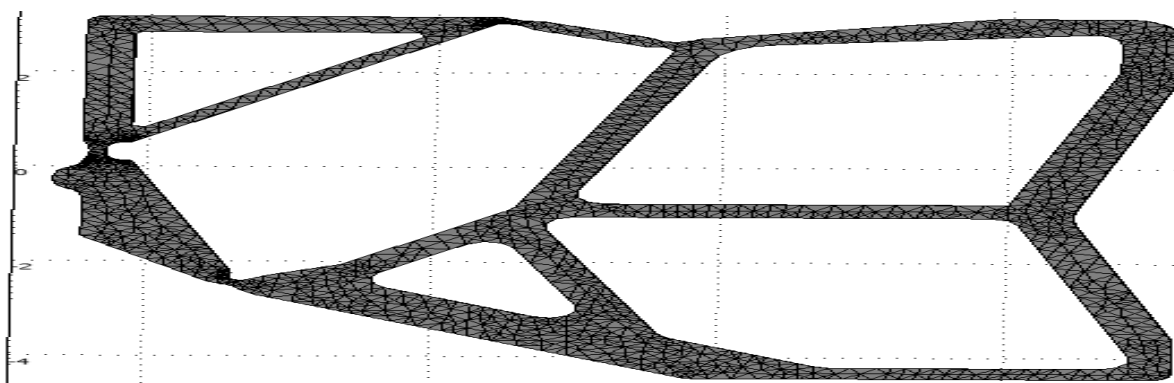


Εικόνα 64. Εισαγωγή δύναμης (Δεύτερη περίπτωση)

Μετά από την εισαγωγή των φορτίσεων στην κάθε περίπτωση δίνουμε την εντολή **refine Mesh** και πλεγματοποιούμε το μοντέλο της εκάστοτε περίπτωσης. Αυτό εξυπηρετεί την μελέτη του μοντέλου σε οποιοδήποτε σημείο του. Και θα έχει τη μορφή αυτή :



Εικόνα 65. Refine mesh χωρίς λείανση γωνιών



Εικόνα 66. Refine mesh μετά από λείανση γωνιών

4.Αποτελέσματα και συμπεράσματα

Στο κεφάλαιο αυτό θα σχολιαστούν τα αποτελέσματα των μοντέλων μας στην εκάστοτε περίπτωση. Αυτά τα διακρίνουμε σε:

1)Μοντέλο χωρίς λείανση γωνιών

2)Μοντέλο με λείανση γωνιών

Για να το επιτύχουμε αυτό θα μελετήσουμε τα μοντέλα μας σε διάφορα σημεία τους καθώς και περιοχές τους. Παρατηρούμε τις περιοχές όπου η κατασκευή έχει συγκεντρωμένες περισσότερες κύριες τάσεις(Σ_1, Σ_2).

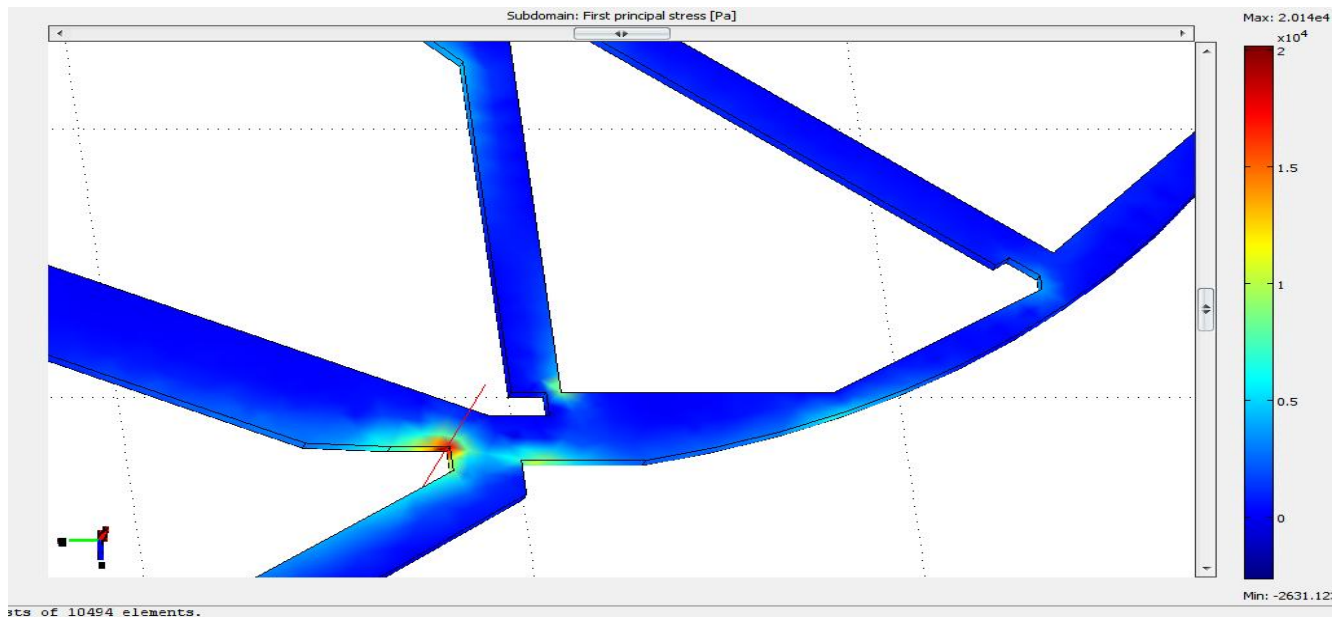
Επομένως για να παραθέσουμε τα αποτελέσματά μας θα πρέπει να κάνουμε τομές στο κάθε μοντέλο ξεχωριστά, στις προαναφερθέντες περιοχές.

Η διακριτοποίηση του τρισδιάστατου συνεχούς παραμένει αραιή και η αναμενόμενη ακρίβεια στον υπολογισμό των τάσεων δεν είναι πολύ υψηλή. Για τον λόγο αυτό σε επίπεδο προμελέτης χρησιμοποιούνται στην εργασία αυτή οι μέσες τιμές των διαγραμμάτων κύριων τάσεων στα κρίσιμα σημεία και διατομές. Η χρήση εξειδικευμένων πεπερασμένων στοιχείων κελύφους ή παραπέρα πύκνωση του μοντέλου αναμένεται να αυξήσουν την ακρίβεια των αποτελεσμάτων.

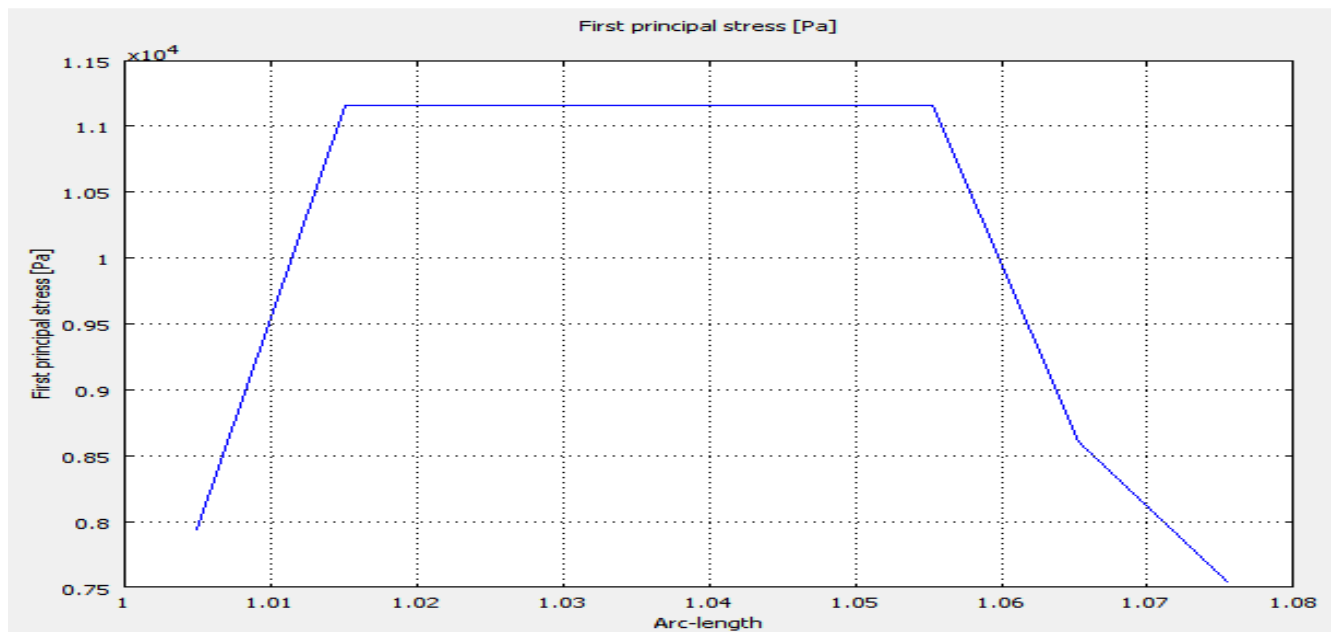
4.1 Μοντέλο 1 χωρίς λείανση γωνιών

Παρατίθενται οι τομές και τα διάγραμμα των κύριων τάσεων Σ_1 & Σ_2 .

A) Τομή A για κύρια τάση Σ_1 .



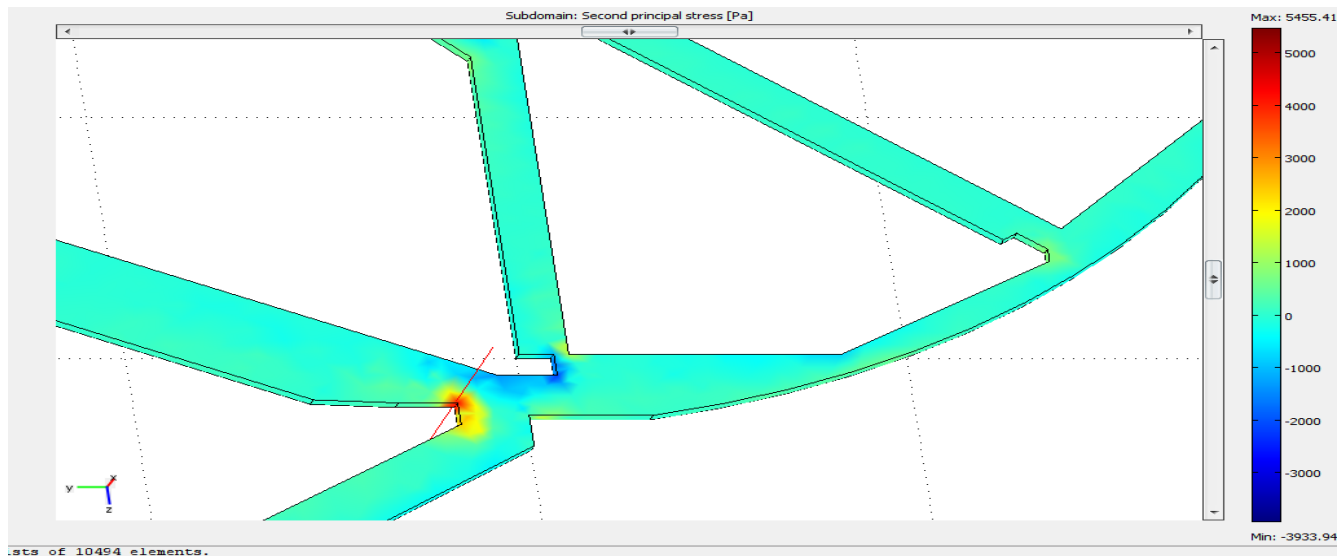
Εικόνα 67.



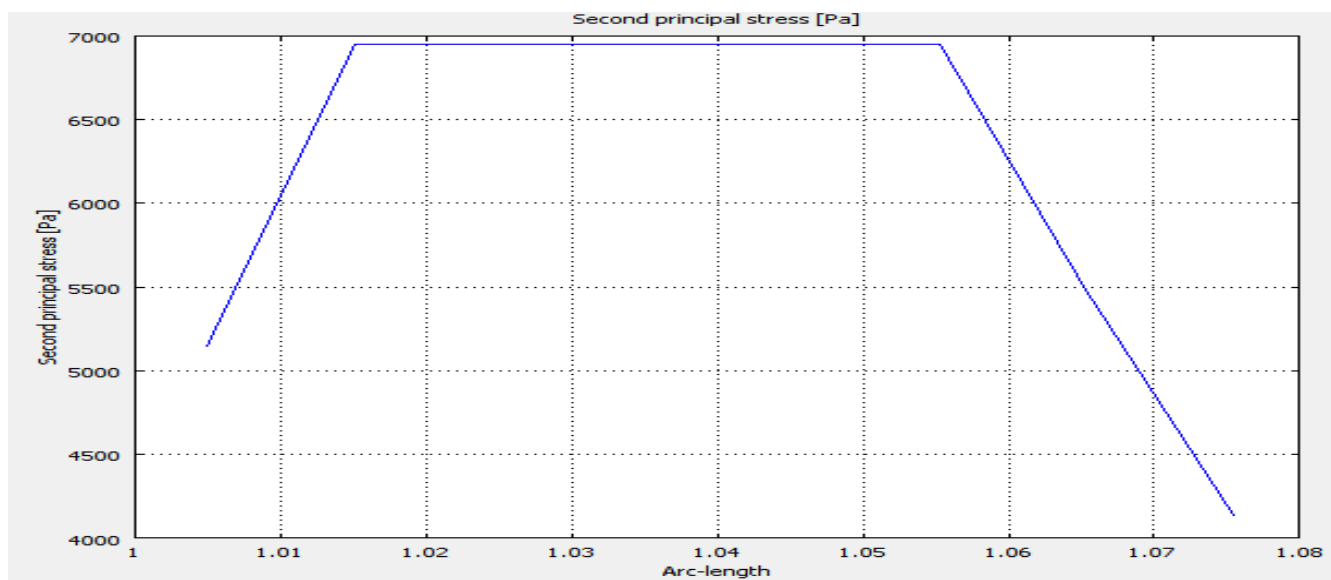
Εικόνα 68. Διάγραμμα πρώτης κύριας τάσης

Όπου παρατηρούμε ότι η μέση τάση είναι **$0.95 \cdot 10^4 \text{ Pa}$** .

Β) Τομή Α για κύρια τάση Σ_2 .



Εικόνα 69.



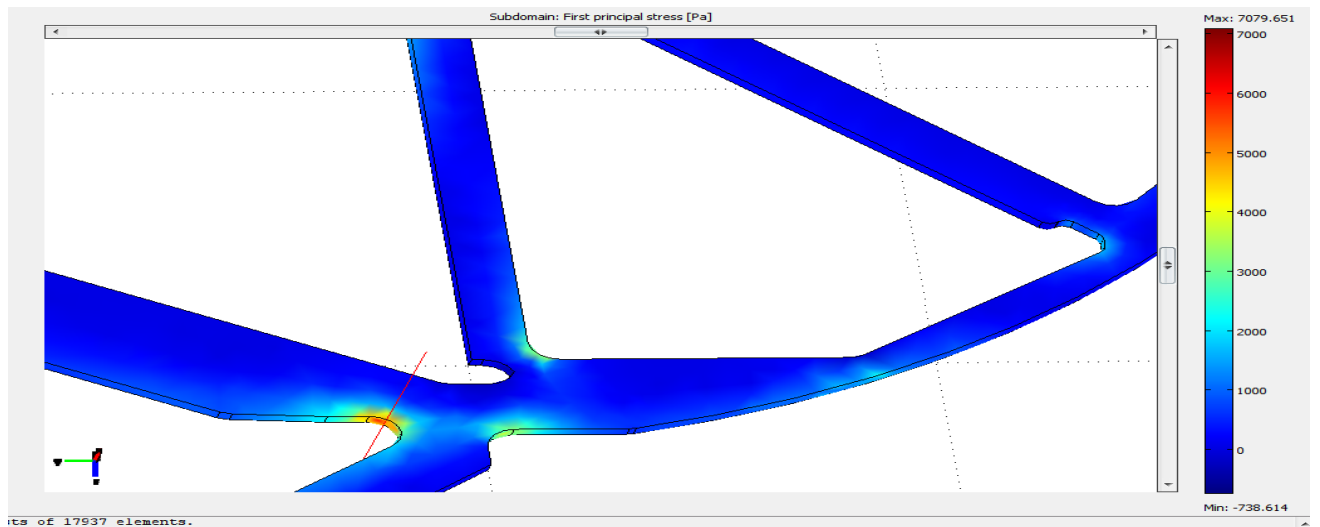
Εικόνα 70. Διάγραμμα δεύτερης κύριας τάσης

Όπου παρατηρούμε ότι η μέση τάση είναι **5645 Pa** .

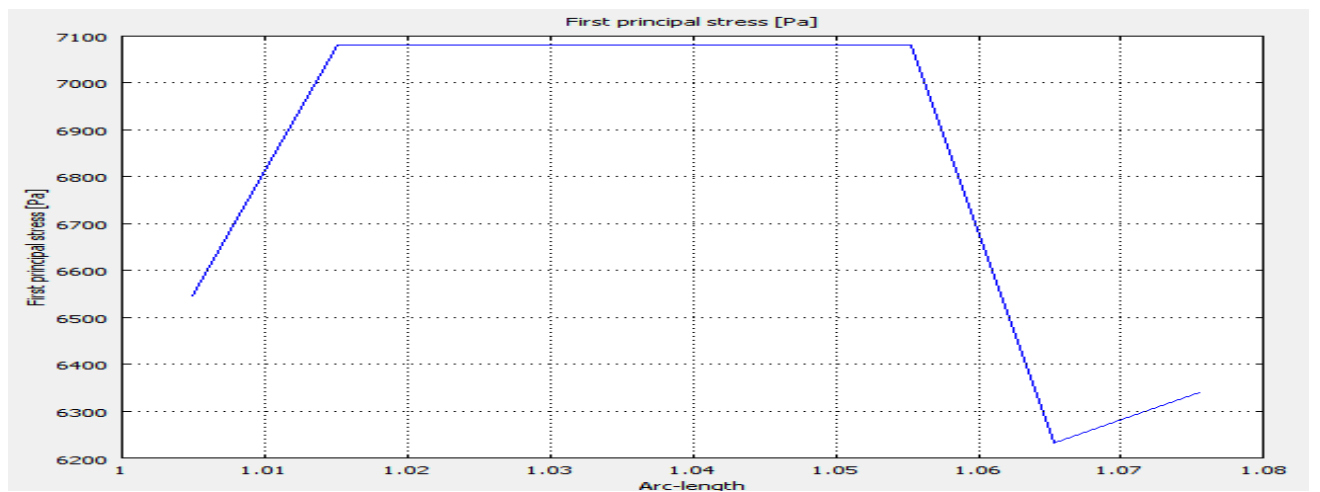
4.2 Μοντέλο 1 με λείανση γωνιών

Παρατίθενται οι τομές και τα διαγράμματα των κύριων τάσεων.

A) Τομή Β για κύρια τάση Σ_1 .



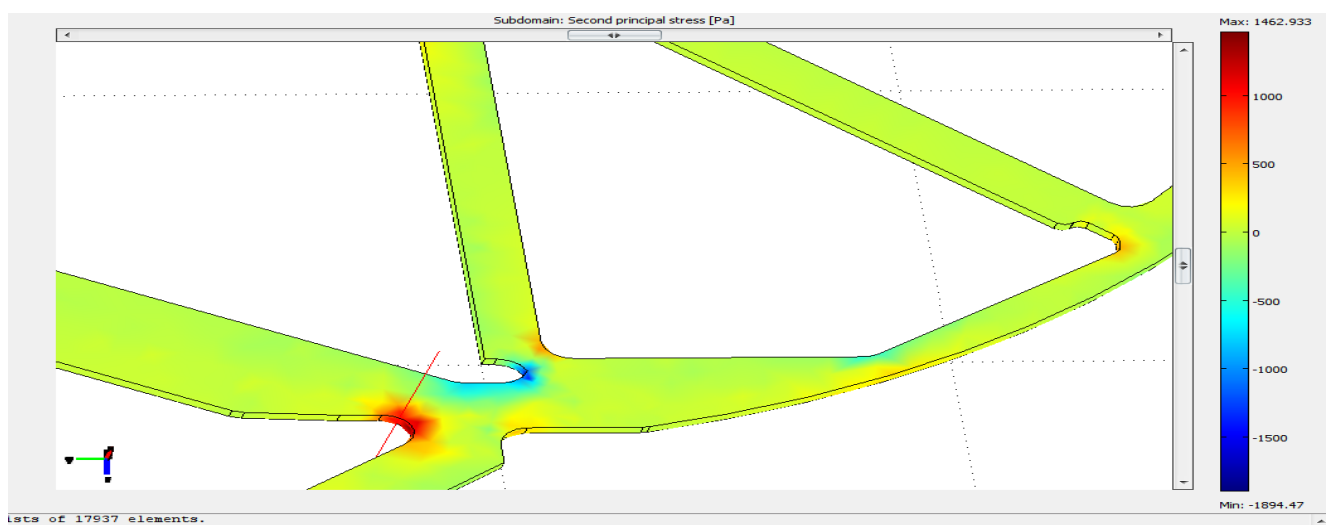
Εικόνα 71.



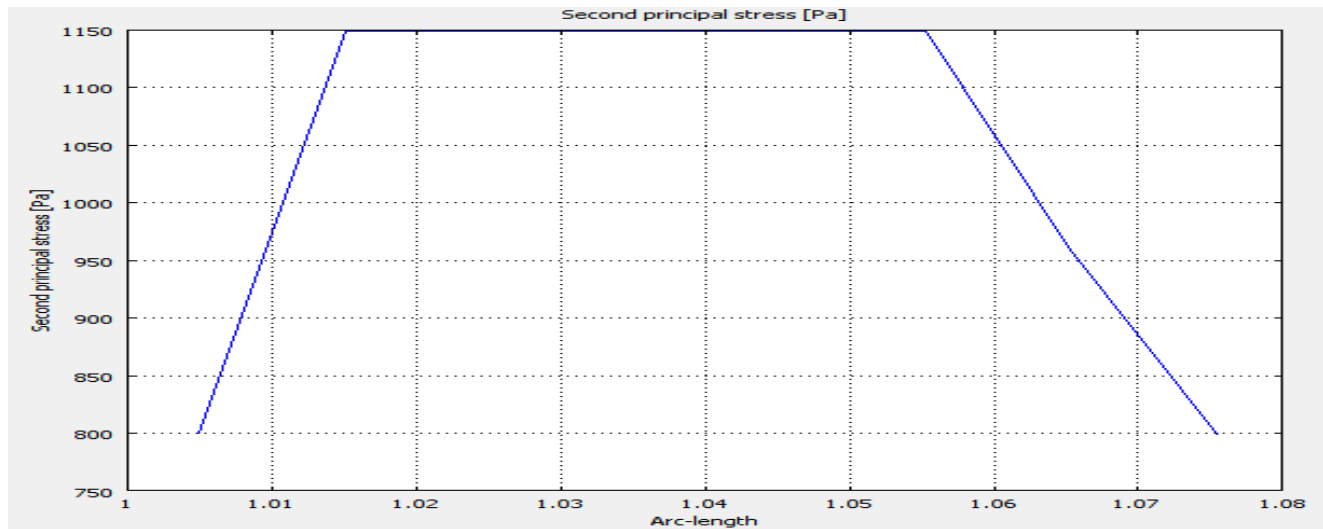
Εικόνα 72. Διάγραμμα πρώτης κύριας τάσης.

Όπου παρατηρούμε ότι η μέση τάση είναι **6658,5 Pa**.

Β) Τομή Β για κύρια τάση Σ_2 .



Εικόνα 73.



Εικόνα 74. Διάγραμμα δεύτερης κύριας τάσης

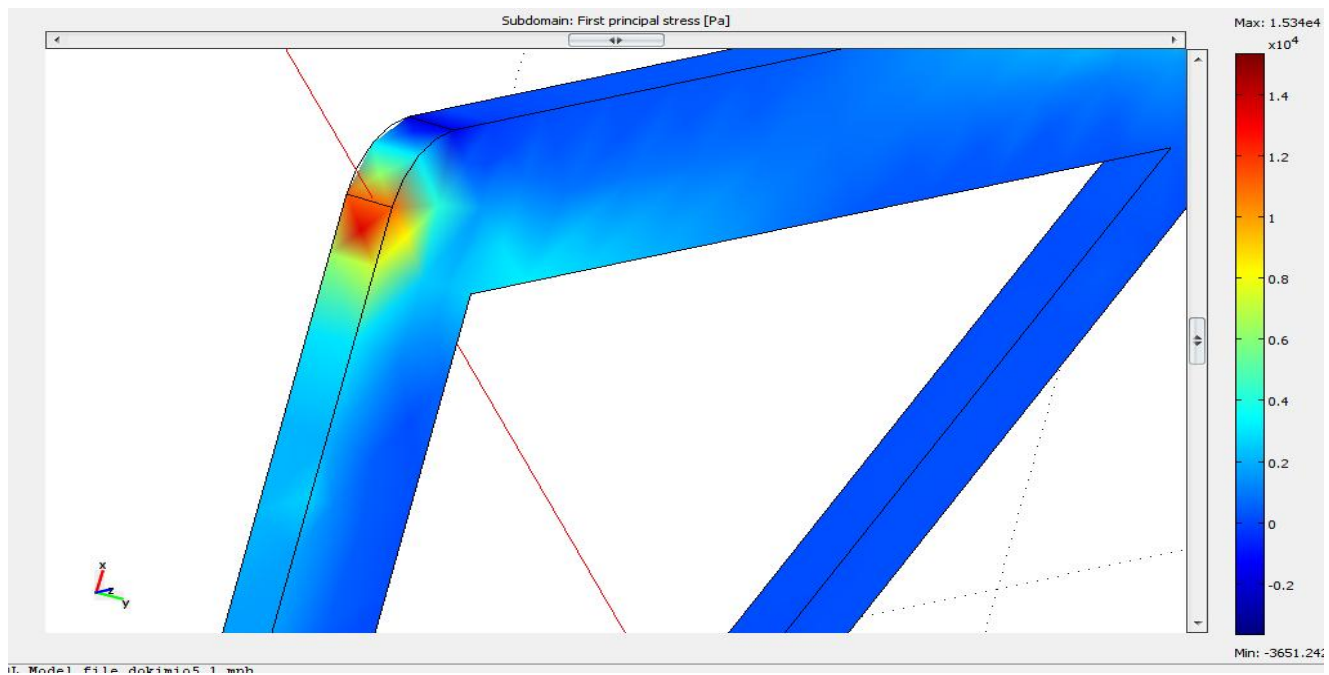
Όπου παρατηρούμε ότι η μέση τάση είναι **993 Pa**.

4.3 Μοντέλο 2 χωρίς λείανση γωνιών

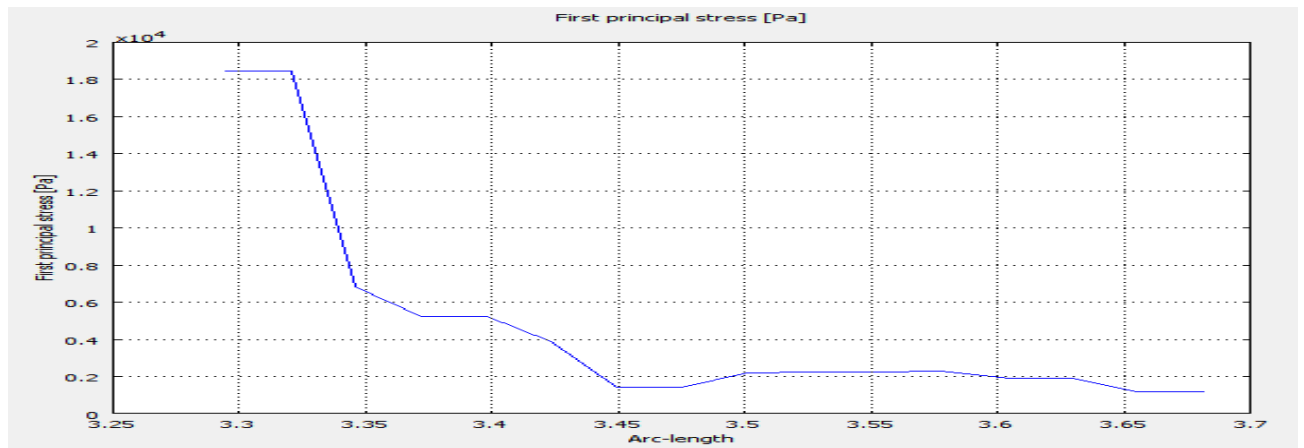
4.3.1 Πρώτη περίπτωση (φόρτιση στον χ-άξονα)

Παρατίθενται οι τομές και τα διαγράμματα των κύριων τάσεων $\Sigma 1$ & $\Sigma 2$.

Α) Τομή Α για κύρια τάση $\Sigma 1$.



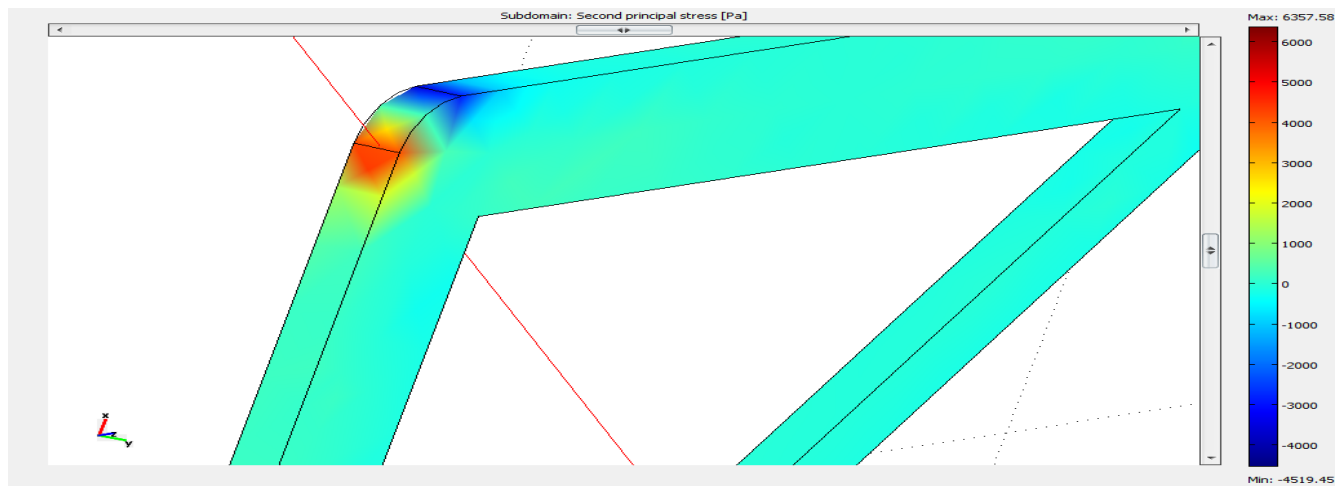
Εικόνα 75.



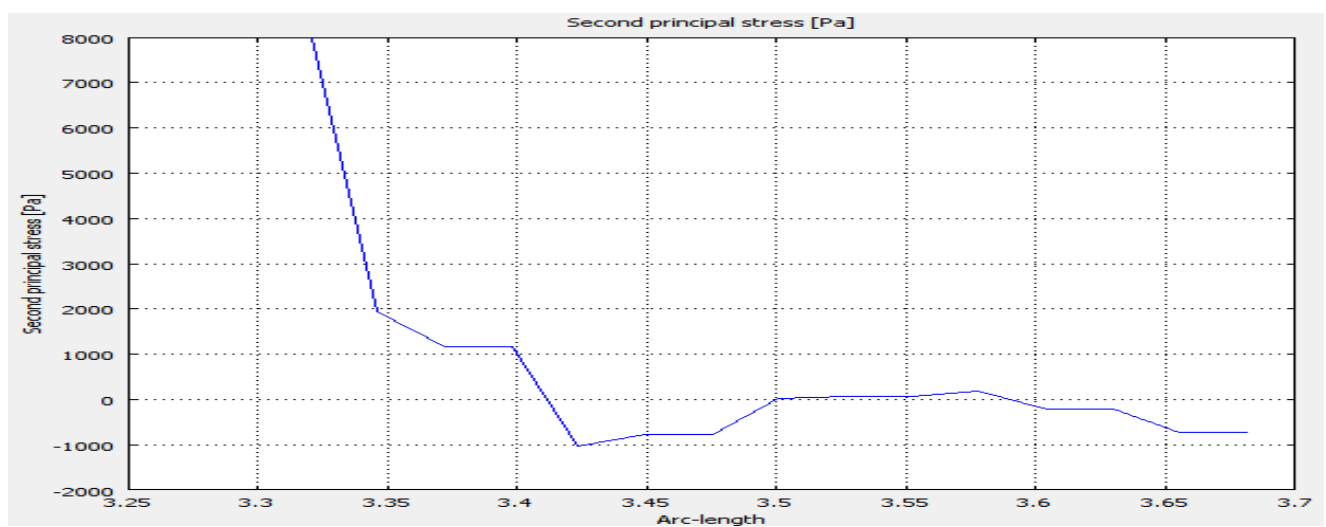
Εικόνα 76. Διάγραμμα πρώτης κύριας τάσης

Όπου παρατηρούμε ότι η μέση τάση είναι $1,225 * 10^4 \text{ Pa}$.

B) Τομή A για κύρια τάση Σ2.



Εικόνα 77.



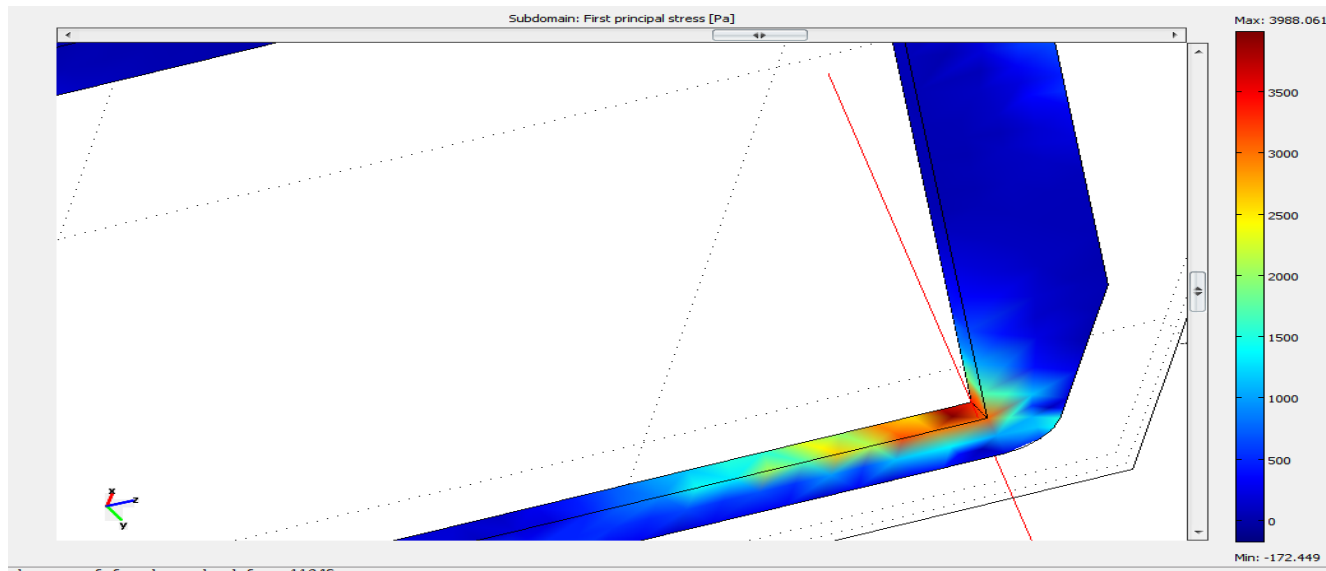
Εικόνα 78. Διάγραμμα δεύτερης κύριας τάσης.

Όπου παρατηρούμε ότι η μέση τάση είναι $3614,5 \text{ Pa}$.

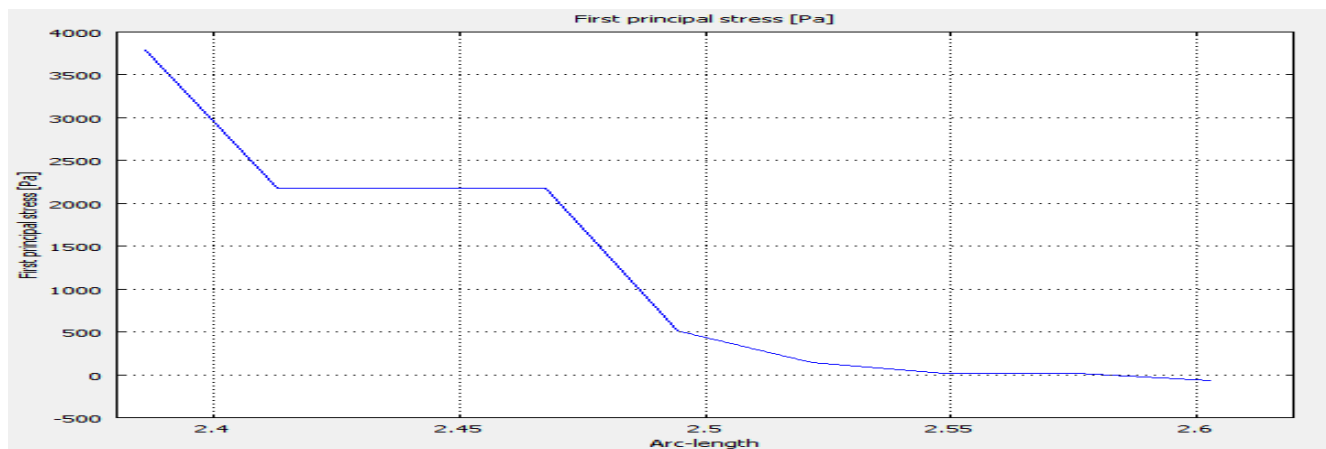
4.3.2 Δεύτερη περίπτωση (φόρτιση στον γ-άξονα)

Παρατίθενται οι τομές και τα διάγραμματα των κύριων τάσεων $\Sigma 1$ & $\Sigma 2$.

Α) Τομή Α για κύρια τάση $\Sigma 1$.



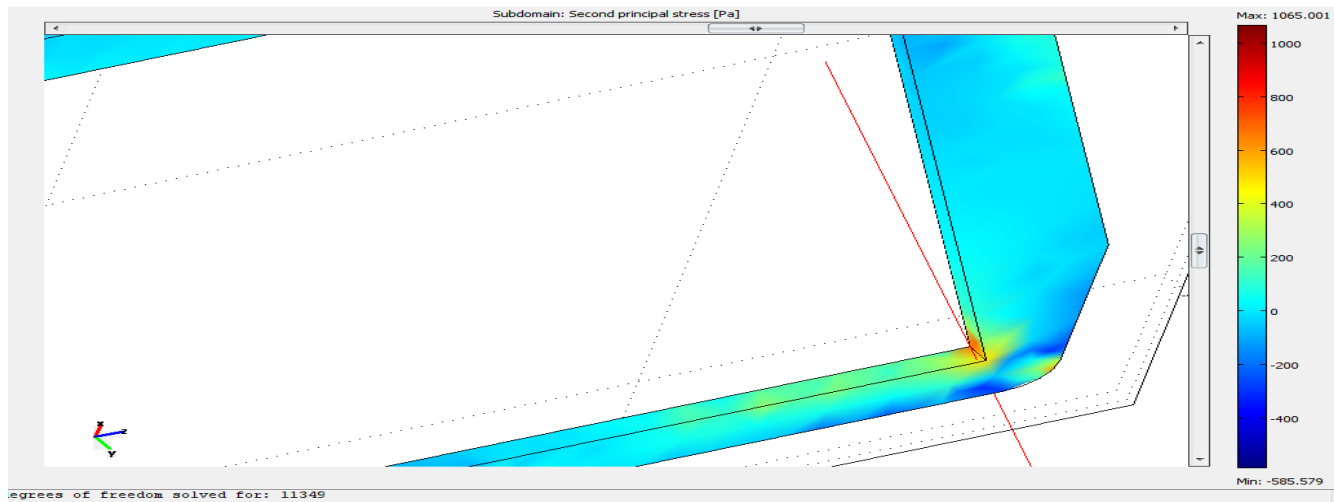
Εικόνα 79.



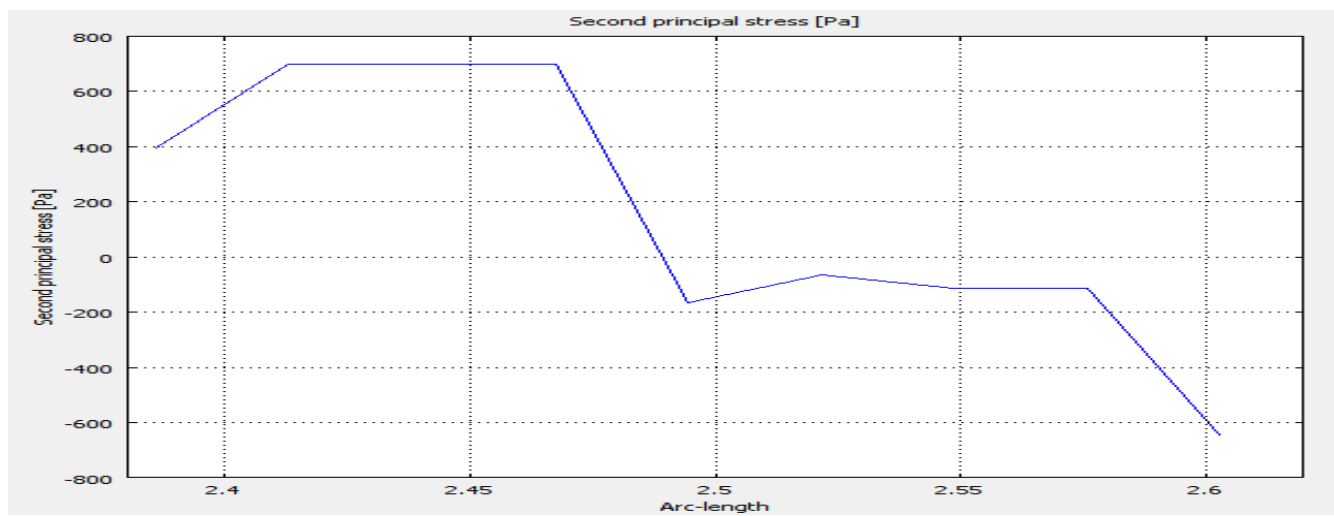
Εικόνα 80. Διάγραμμα δεύτερης κύριας τάσης.

Όπου παρατηρούμε ότι η μέση τάση είναι **1881 Pa**.

Β) Τομή Α για κύρια τάση $\Sigma 2$.



Εικόνα 81.



Εικόνα 82. Διάγραμμα δεύτερης κύριας τάσης.

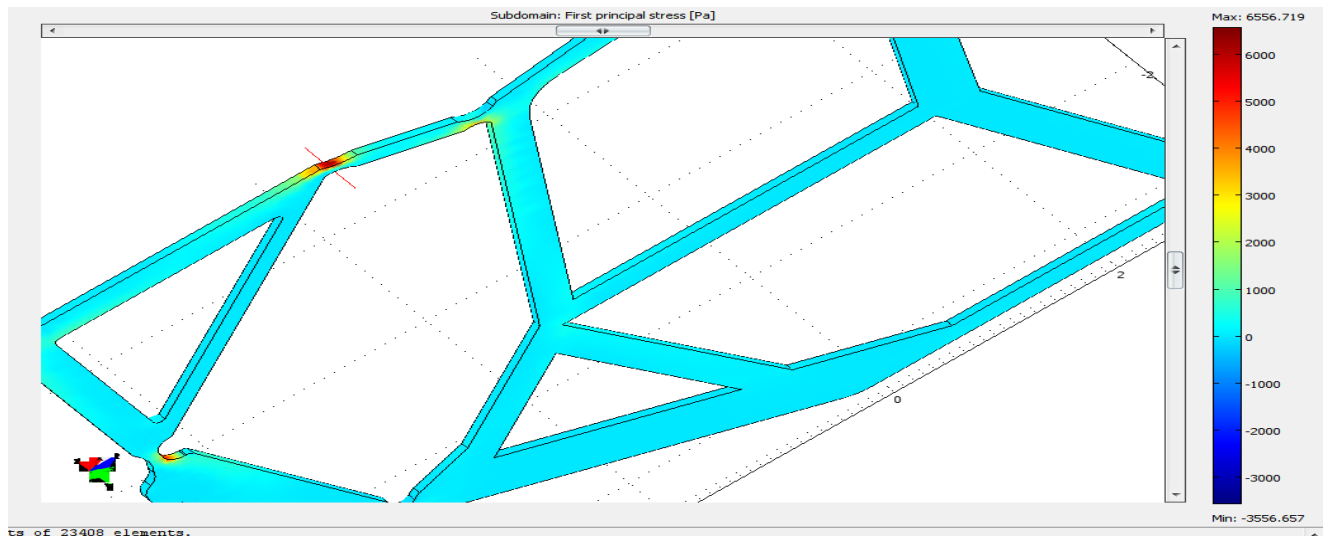
Όπου παρατηρούμε ότι η μέση τάση είναι **113,5 Pa**.

4.4 Μοντέλο 2 με λείανση γωνιών

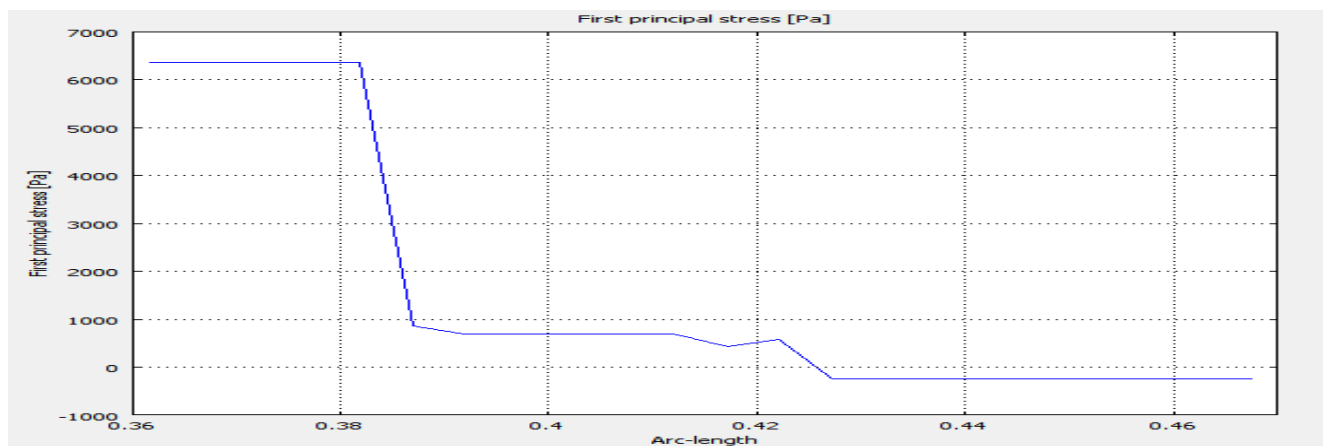
4.4.1 Πρώτη περίπτωση (φόρτιση στον χ-άξονα)

Παρατίθενται οι τομές και τα διαγράμματα των κύριων τάσεων Σ_1 & Σ_2 .

A) Τομή Β για κύρια τάση Σ_1 .



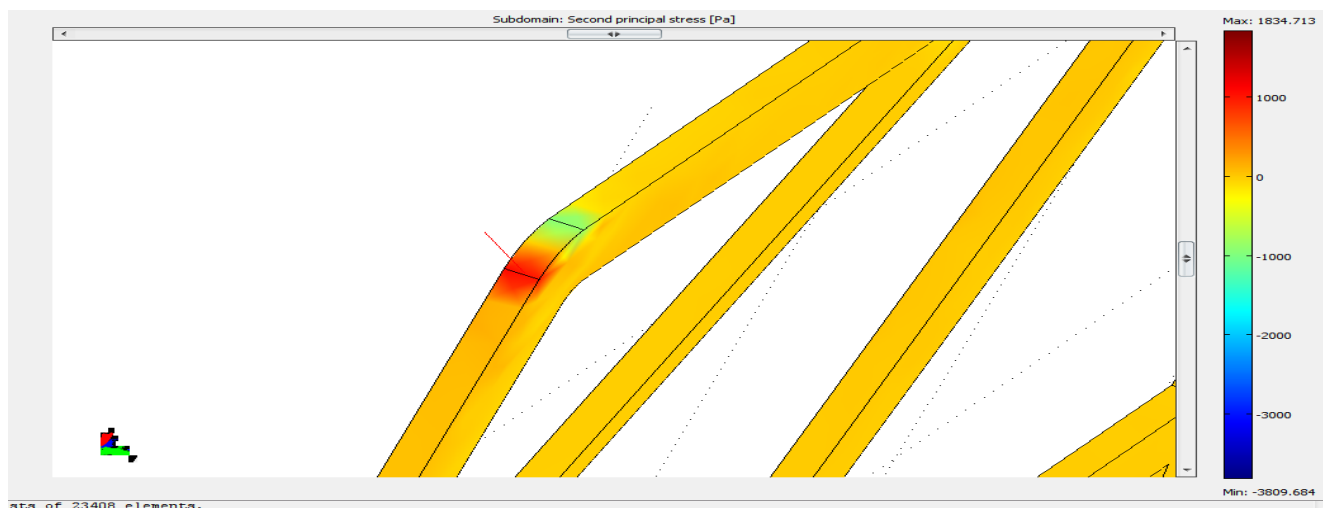
Εικόνα 83.



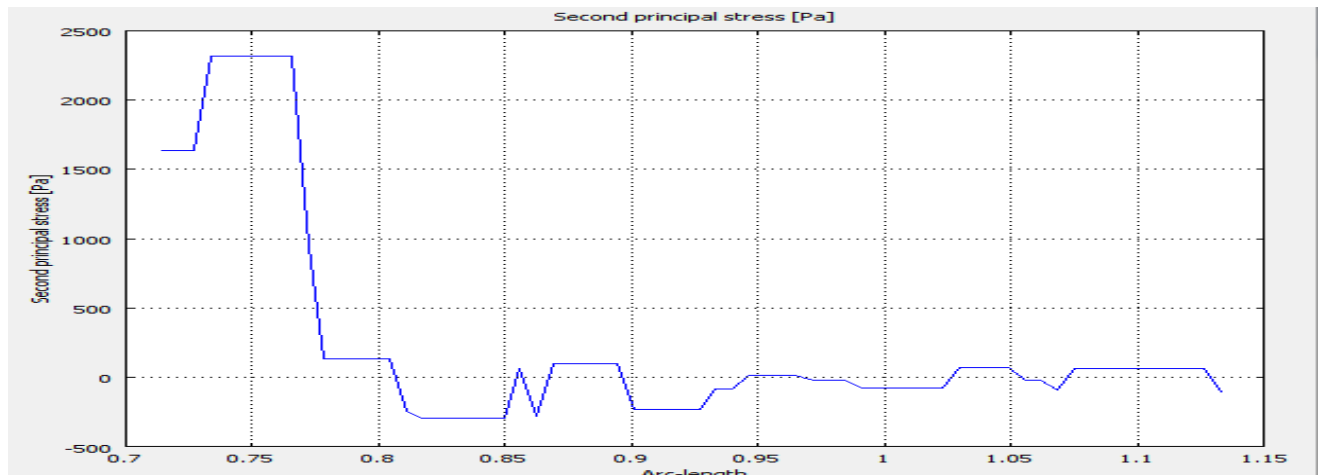
Εικόνα 84. Διάγραμμα πρώτης κύριας τάσης.

Όπου παρατηρούμε ότι η μέση τάση είναι **3102,5 Pa**.

Β) Τομή Β για κύρια τάση $\Sigma 2$.



Εικόνα 85.



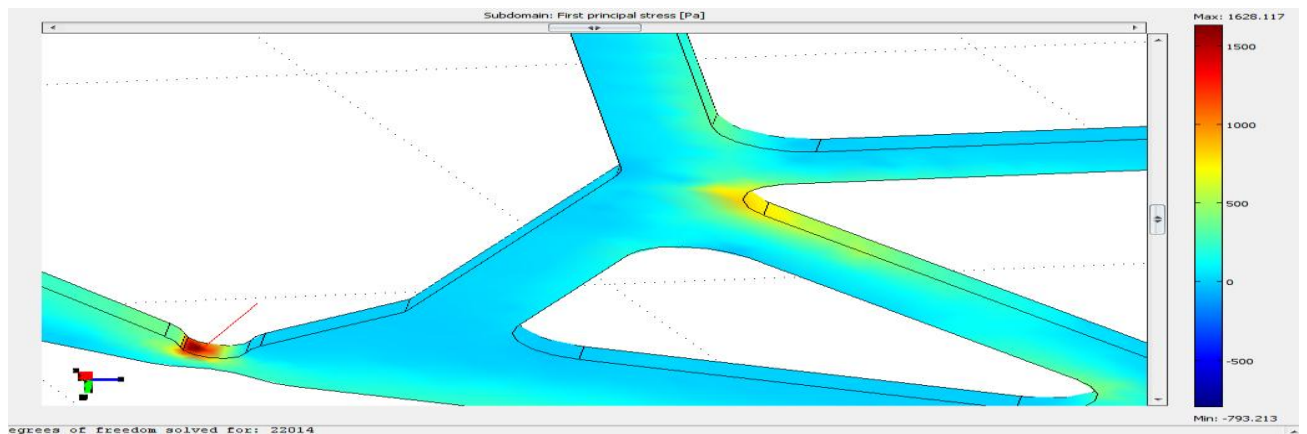
Εικόνα 86. Διάγραμμα δεύτερης κύριας τάσης.

Όπου παρατηρούμε ότι η μέση τάση είναι **1078Pa**.

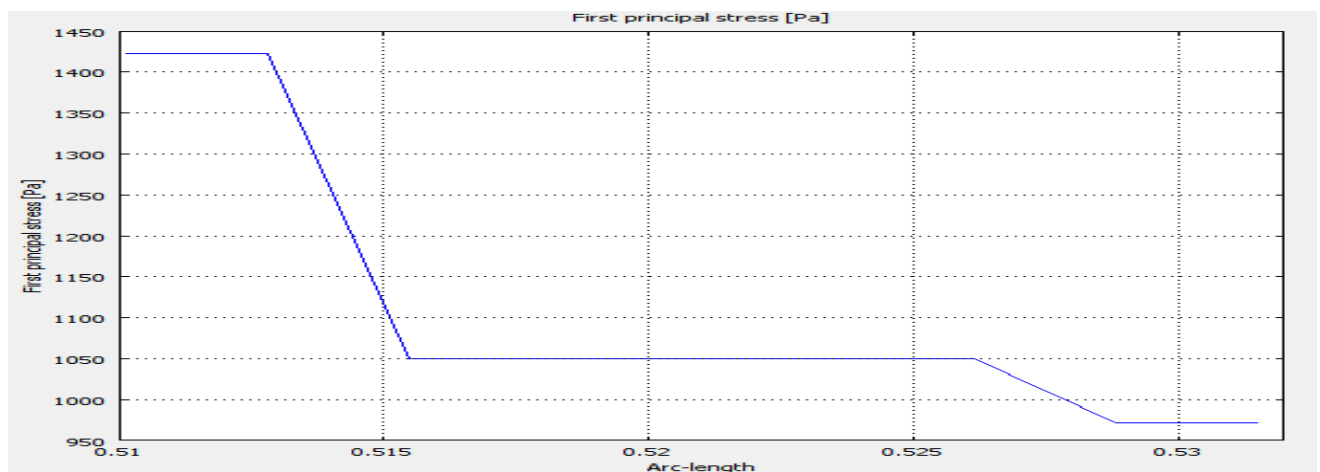
4.4.2 Δεύτερη περίπτωση (φόρτιση στον γ-άξονα)

Παρατίθενται οι τομές και τα διαγράμματα των κύριων τάσεων Σ_1 & Σ_2 .

Α) Τομή Β για κύρια τάση Σ_1 .



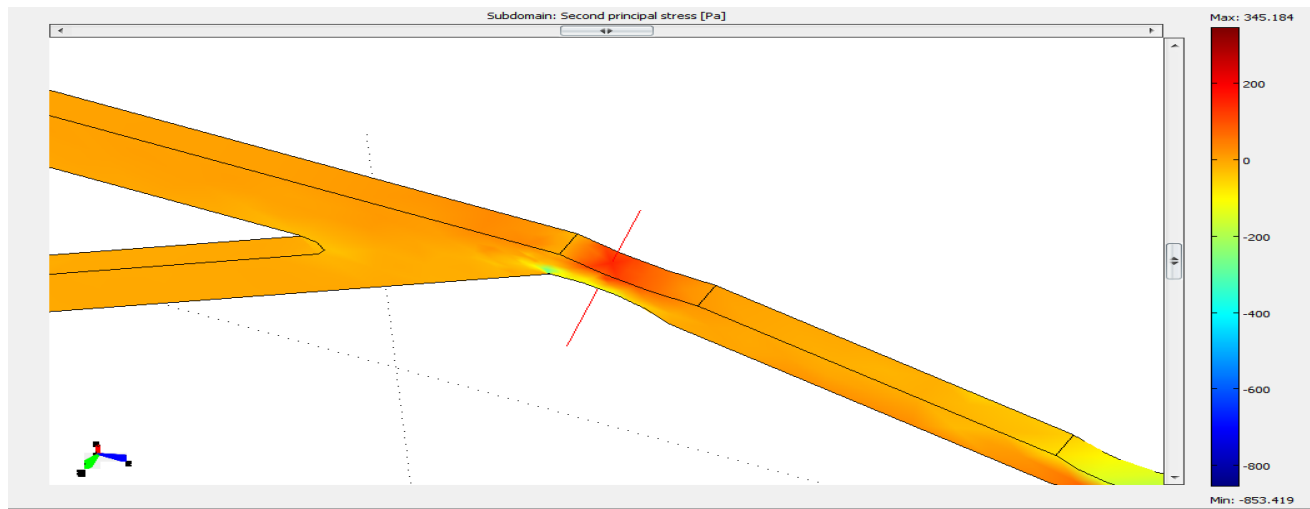
Εικόνα 87.



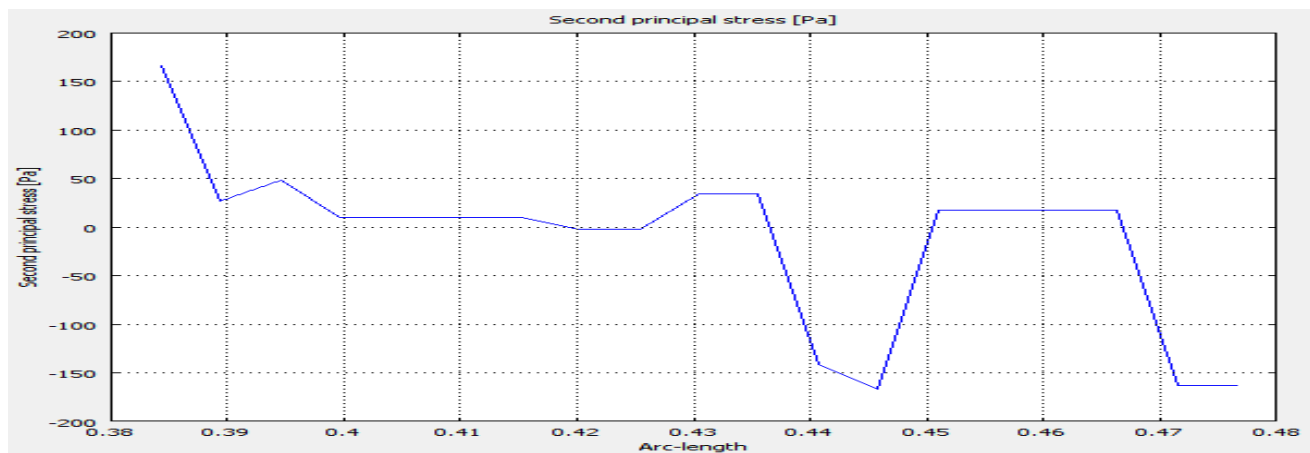
Εικόνα 88. Διάγραμμα πρώτης κύριας τάσης.

Όπου παρατηρούμε ότι η μέση τάση είναι **1200 Pa**.

Β) Τομή Β για κύρια τάση Σ2.



Εικόνα 89.



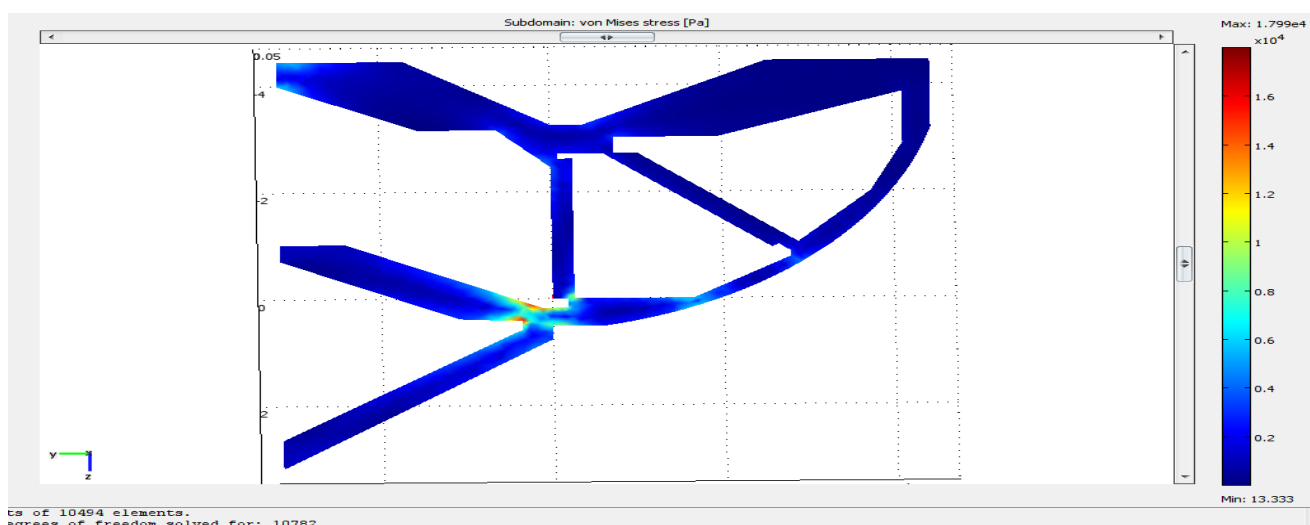
Εικόνα 90. Διάγραμμα δεύτερης κύριας τάσης.

Όπου παρατηρούμε ότι η μέση τάση είναι **8 Pa**.

4.5 Τάσεις Von Mises

Οι τάσεις Von Mises χρησιμοποιούνται γενικά ως βάση για την δημιουργία μοντέλων αστοχίας, πλαστικοποίησης. Στην προκειμένη χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό των περιοχών πιθανής αστοχίας. Δεν εισερχόμαστε στην περιοχή μη γραμμικής ανάλυσης, για να μελετήσουμε παραπέρα αστοχία. Επομένως το σημαντικό είναι πως οι τάσεις αυτές είναι ανεξάρτητες του τυχαία επιλεγθέντος συστήματος αναφοράς, κάτι που δεν συμβαίνει για τις κύριες τάσεις Σ1, Σ2, οπότε αναμένουμε τα αποτελέσματα να είναι ανεξάρτητα του συστήματος αναφοράς, και συνεπώς αντικειμενικά.

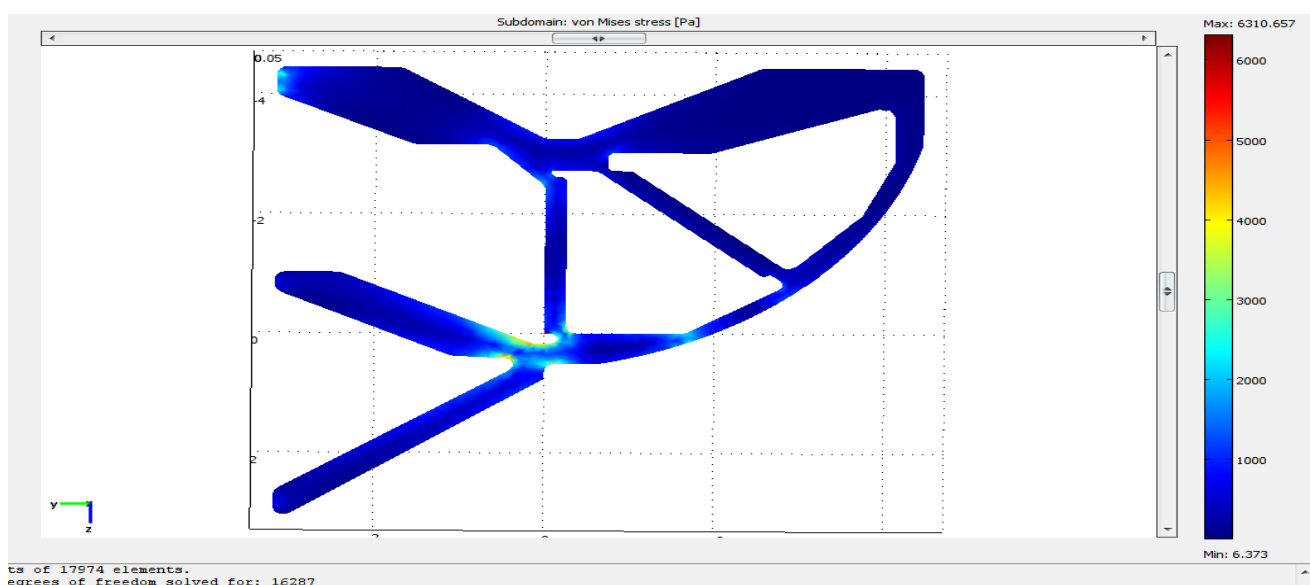
4.5.1 Μοντέλο χωρίς λείανση γωνιών



Εικόνα 91. Μοντέλο von mises χωρίς λείανση γωνιών

Η μέγιστη τιμή της κλίμακας του διαγράμματος είναι **1,799 *10⁴ Pa** , και η ελάχιστη **13,333 Pa** .Οι μέγιστες φορτίσεις παρουσιάζονται στα σημεία όπου ενώνεται το μεσαίο μπράτσο του δοκιμίου με το υπόλοιπο σχέδιο. Παρατηρούμε ότι η μεγαλύτερη περιοχή της εγκατάστασής μας έχει μπλε χρώμα. Αυτό σημαίνει ότι η συνολική κατασκευή δέχεται φορτίσεις κυρίως μέχρι **0,2 *10⁴ Pa** δηλαδή εντός του επιτρεπόμενου ορίου διαρροής. Οι τιμές παρατίθενται στην κλίμακα που παραβάλλεται δεξιά του διαγράμματος .

4.5.2 Μοντέλο με λείανση γωνιών



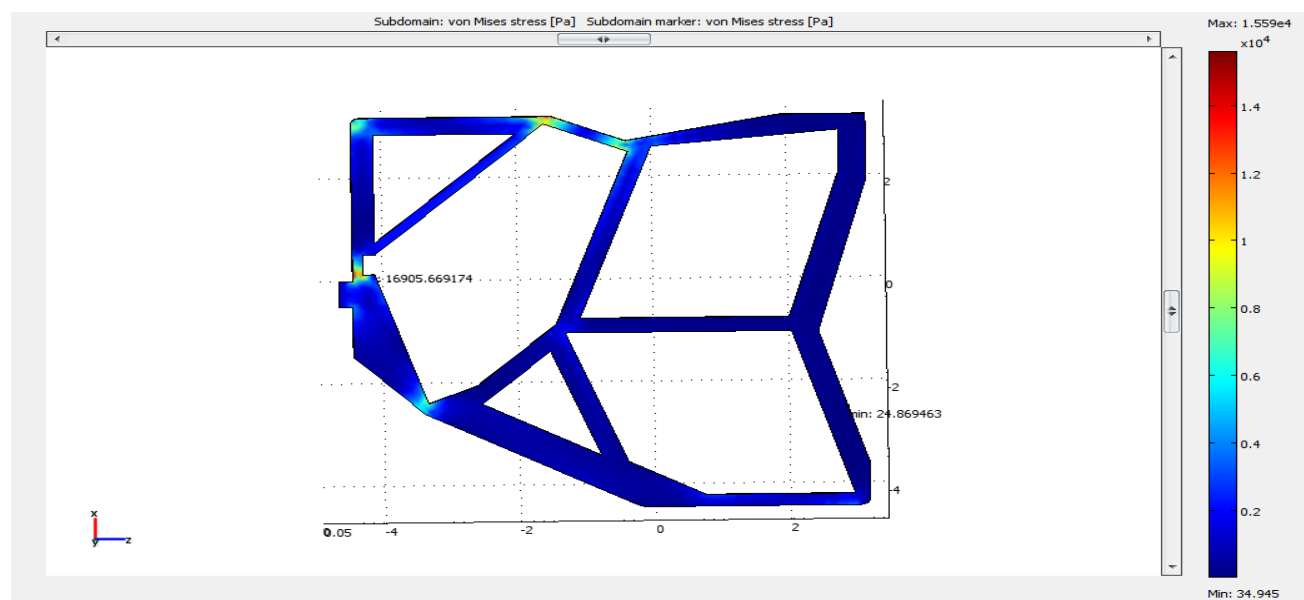
Εικόνα 92. Μοντέλο von mises με λείανση γωνιών

Η μέγιστη τιμή της κλίμακας του διαγράμματος είναι **6310,657 Pa** , και η ελάχιστη **6,373 Pa** .Οι μέγιστες φορτίσεις παρουσιάζονται στα σημεία όπου ενώνεται το μεσάιο μπράτσο του δοκιμίου με το υπόλοιπο σχέδιο.Παρατηρούμε ότι η μεγαλύτερη περιοχή της εγκατάστασής μας έχει μπλέ χρώμα. Αυτό σημαίνει ότι η συνολική κατασκευή δέχεται φορτίσεις κυρίως μέχρι **1000 Pa** δηλαδή εντός του επιτρεπόμενου ορίου διαρροής.Οι τιμές παρατίθενται στην κλίμακα που παραβάλλεται δεξιά του διαγράμματος .

4.5.3 Μοντέλο 2 χωρίς λείανση γωνιών

4.5.3.1 Πρώτη περίπτωση (φόρτιση στον x-άξονα)

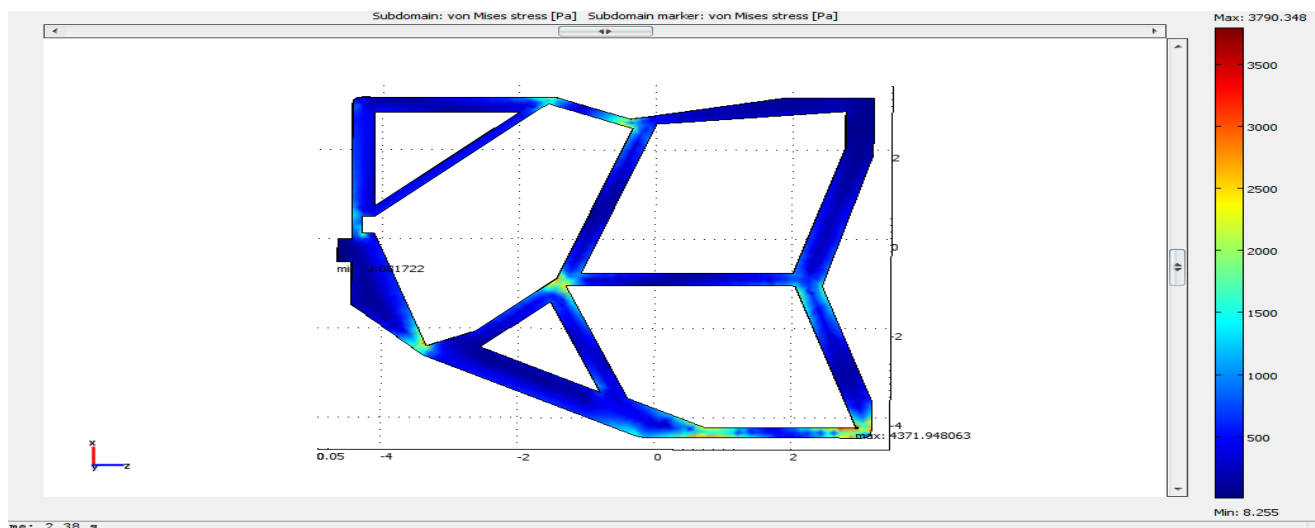
Η μέγιστη τιμή της κλίμακας του διαγράμματος είναι **1,559 *10⁴ Pa** ,και η ελάχιστη **34,945 Pa** .Οι μέγιστες φορτίσεις παρουσιάζονται στα σημεία όπου ενώνεται το μεσάιο μπράτσο του δοκιμίου με το υπόλοιπο σχέδιο.Παρατηρούμε ότι η μεγαλύτερη περιοχή της εγκατάστασής μας έχει μπλε χρώμα.Αυτό σημαίνει ότι η συνολική κατασκευή δέχεται φορτίσεις κυρίως μέχρι **0,2 *10⁴ Pa** δηλαδή εντός του επιτρεπόμενου ορίου διαρροής.Οι τιμές παρατίθενται στην κλίμακα που παραβάλλεται δεξιά του διαγράμματος .



Εικόνα 93.Μοντέλο von mises χωρίς λείανση γωνιών

4.5.3.2 Δεύτερη περίπτωση (φόρτιση στον y-άξονα)

Η μέγιστη τιμή της κλίμακας του διαγράμματος είναι **3790,348 Pa** , και η ελάχιστη **8,255 Pa** .Οι μέγιστες φορτίσεις παρουσιάζονται στα σημεία όπου ενώνεται το μεσάιο μπράτσο του δοκιμίου με το υπόλοιπο σχέδιο. Παρατηρούμε ότι η μεγαλύτερη περιοχή της εγκατάστασής μας έχει μπλε χρώμα. Αυτό σημαίνει ότι η συνολική κατασκευή δέχεται φορτίσεις κυρίως μέχρι **500 Pa** δηλαδή εντός του επιτρεπόμενου ορίου διαρροής. Οι τιμές παρατίθενται στην κλίμακα που παραβάλλεται δεξιά του διαγράμματος .

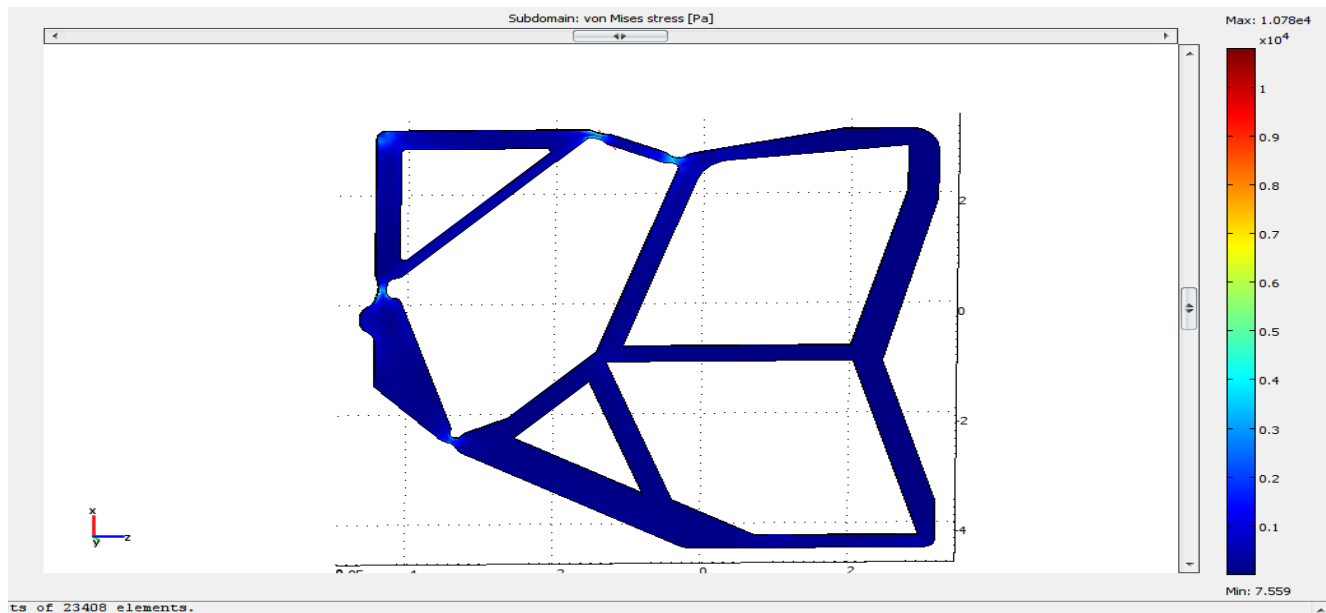


Εικόνα 94. Μοντέλο von mises χωρίς λείανση γωνιών

4.5.4 Μοντέλο 2 με λείανση γωνιών

4.5.4.1 Πρώτη περίπτωση (φόρτιση στον χ-άξονα)

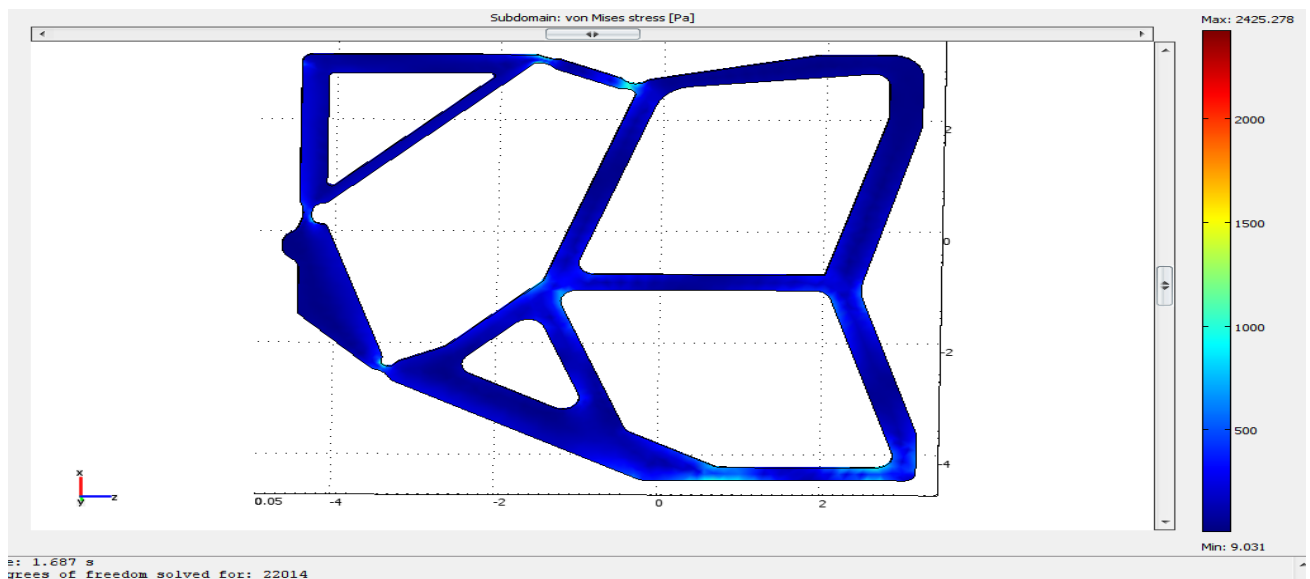
Η μέγιστη τιμή της κλίμακας του διαγράμματος είναι **$1,078 \cdot 10^4$ Pa** , και η ελάχιστη **7,559 Pa** .Οι μέγιστες φορτίσεις παρουσιάζονται στα σημεία όπου ενώνεται το μεσάιο μπράτσο του δοκιμίου με το υπόλοιπο σχέδιο. Παρατηρούμε ότι η μεγαλύτερη περιοχή της εγκατάστασής μας έχει μπλε χρώμα. Αυτό σημαίνει ότι η συνολική κατασκευή δέχεται φορτίσεις κυρίως μέχρι **$0,2 \cdot 10^4$ Pa** δηλαδή εντός του επιτρεπόμενου ορίου διαρροής. Οι τιμές παρατίθενται στην κλίμακα που παραβάλλεται δεξιά του διαγράμματος .



Εικόνα 95. Μοντέλο von mises με λείανση γωνιών

4.5.4.1 Δεύτερη περίπτωση (φόρτιση στον γ-άξονα)

Η μέγιστη τιμή της κλίμακας του διαγράμματος είναι **2425,278 Pa**, και η ελάχιστη **9,031 Pa**. Οι μέγιστες φορτίσεις παρουσιάζονται στα σημεία όπου ενώνεται το μεσαίο μπράτσο του δοκιμίου με το υπόλοιπο σχέδιο. Παρατηρούμε ότι η μεγαλύτερη περιοχή της εγκατάστασής μας έχει μπλε χρώμα. Αυτό σημαίνει ότι η συνολική κατασκευή δέχεται φορτίσεις κυρίως μέχρι **500 Pa** δηλαδή εντός του επιτρεπόμενου ορίου διαρροής. Οι τιμές παρατίθενται στην κλίμακα που παραβάλλεται δεξιά του διαγράμματος.

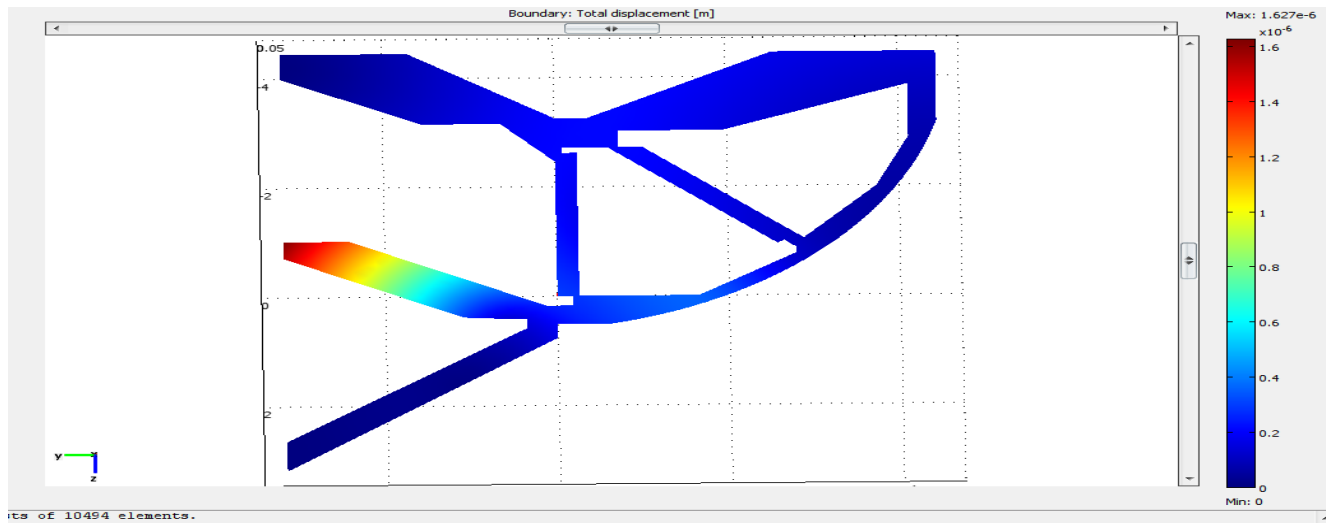


Εικόνα 96. Μοντέλο von mises με λείανση γωνιών

4.6 Παραμορφώσεις

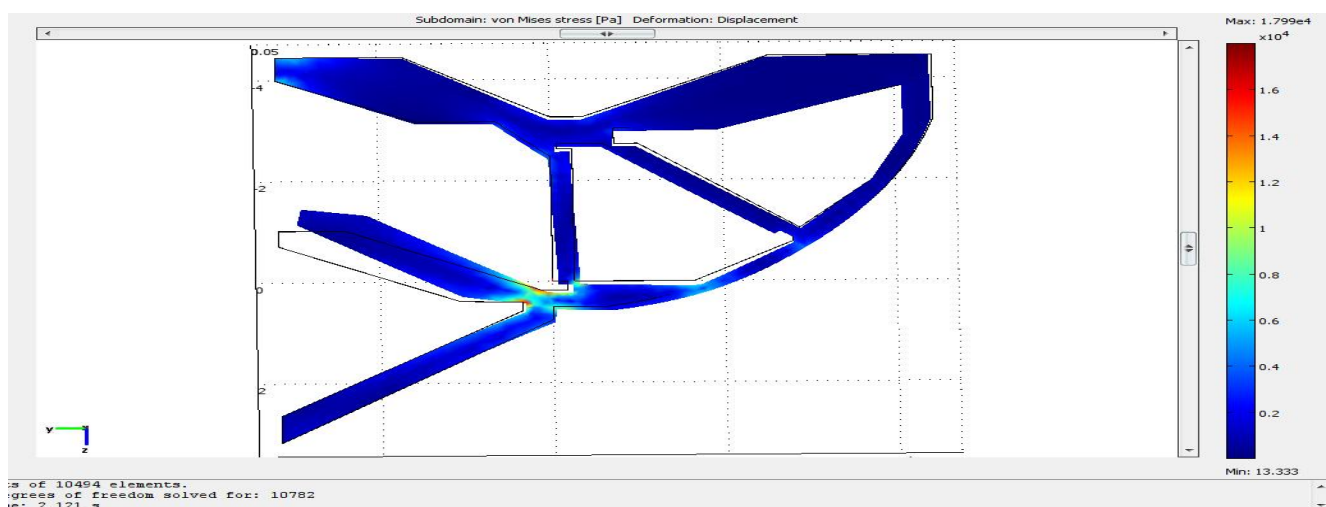
Θα παρουσιάσουμε τις συνολικές παραμορφώσεις που εμφανίζονται στα μοντέλα μας με τις φορτίσεις που έχουμε υποθέσει ότι δέχεται η κατασκευή, στην εκάστοτε περίπτωση.

4.6.1 Μοντέλο 1 χωρίς λείανση γωνιών



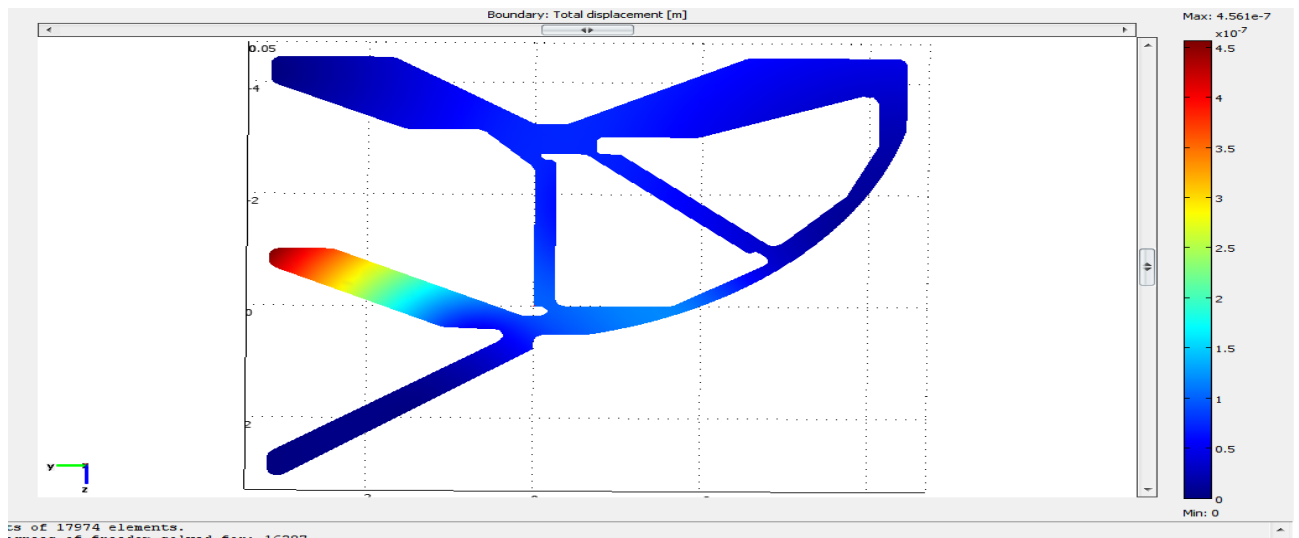
Εικόνα 97. Συνολική παραμόρφωση μοντέλου χ.λ.γ

Όπου παρατηρούμε από το διάγραμμα ότι η μέγιστη μετακίνηση εντοπίζεται στο μεσαίο μπράτσο του μηχανισμού, η οποία είναι της τάξης των **$1,62 * 10^{-6} \text{ m}$** . Αυτή είναι η πιο ακραία μετακίνηση του μοντέλου μας και οφείλεται στις ακραίες τιμές για τις φορτίσεις που λάβαμε. Στο μεγαλύτερο ποσοστό του μοντέλου οι μετατοπίσεις περιορίζονται μέχρι **$0,4 * 10^{-6} \text{ m}$** .



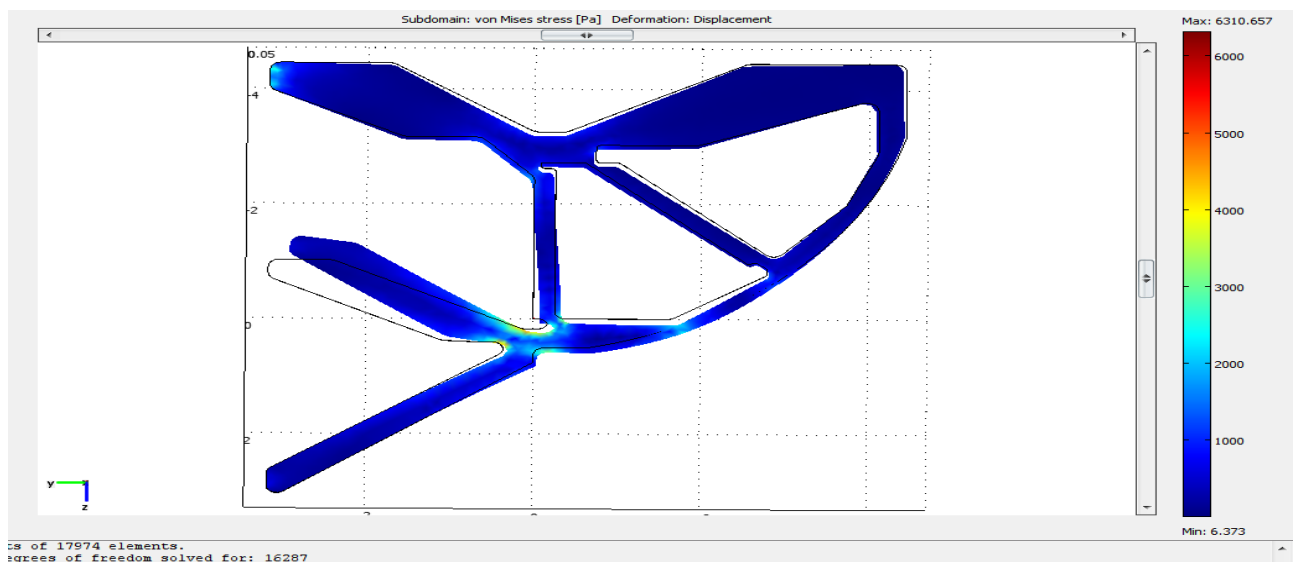
Εικόνα 98. Μοντέλο von mises χωρίς λείανση γωνιών & Συνολική παραμόρφωση

4.6.2 Μοντέλο 1 με λείανση γωνιών



Εικόνα 99. Συνολική παραμόρφωση μοντέλου μ.λ.γ

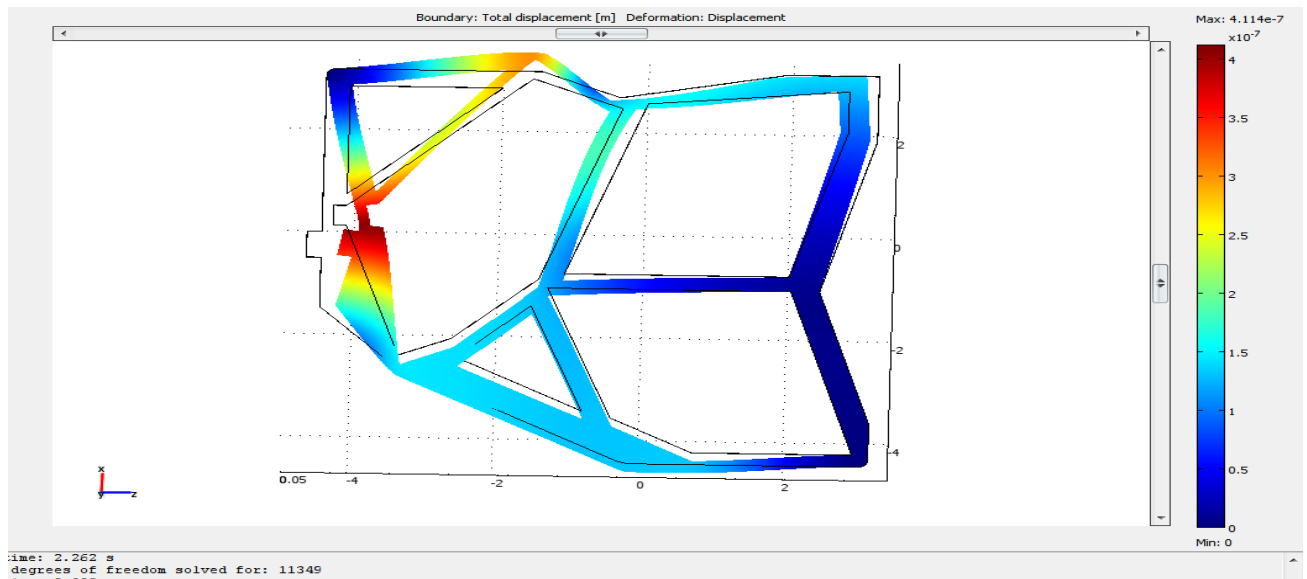
Όπου παρατηρούμε από το διάγραμμα ότι η μέγιστη μετακίνηση εντοπίζεται στο μεσαίο μπράτσο του μηχανισμού, η οποία είναι της τάξης των **$4,56 * 10^{-7} \text{ m}$** . Αυτή είναι η πιο ακραία μετακίνηση του μοντέλου μας και οφείλεται στις ακραίες τιμές για τις φορτίσεις που λάβαμε. Στο μεγαλύτερο ποσοστό του μοντέλου οι μετατοπίσεις περιορίζονται μέχρι **$1 * 10^{-7} \text{ m}$** .



Εικόνα 100. Μοντέλο von mises με λείανση γωνιών & Συνολική παραμόρφωση

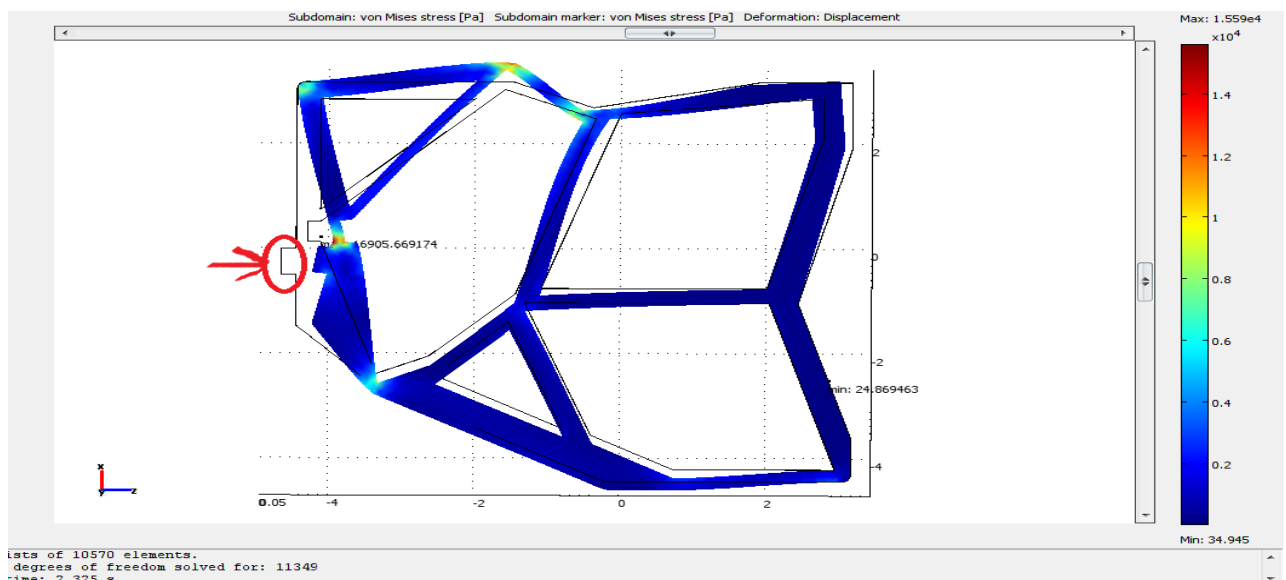
4.6.3 Μοντέλο 2 χωρίς λείανση γωνιών

4.6.3.1 Πρώτη περίπτωση (φόρτιση στον χ-άξονα)



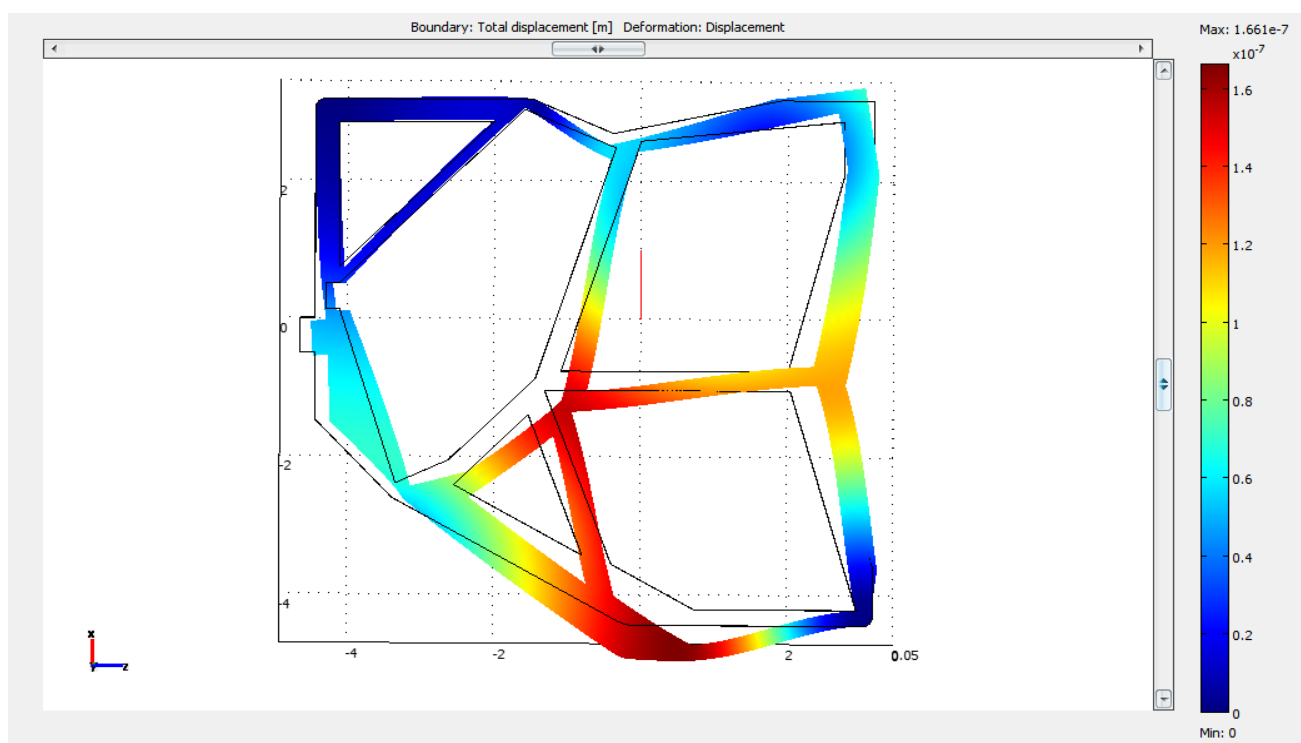
Εικόνα 101. Συνολική παραμόρφωση μοντέλου χ.λ.γ

Όπου παρατηρούμε από το διάγραμμα ότι η μέγιστη μετακίνηση εντοπίζεται στο αριστερότερο μπράτσο του μηχανισμού, η οποία είναι της τάξης των **$4,114 * 10^{-7} \text{ m}$** . Αυτή είναι η πιο ακραία μετακίνηση του μοντέλου μας και οφείλεται στις ακραίες τιμές για τις φορτίσεις που λάβαμε. Στο μεγαλύτερο ποσοστό του μοντέλου οι μετατοπίσεις περιορίζονται μέχρι **$1 * 10^{-7} \text{ m}$** .



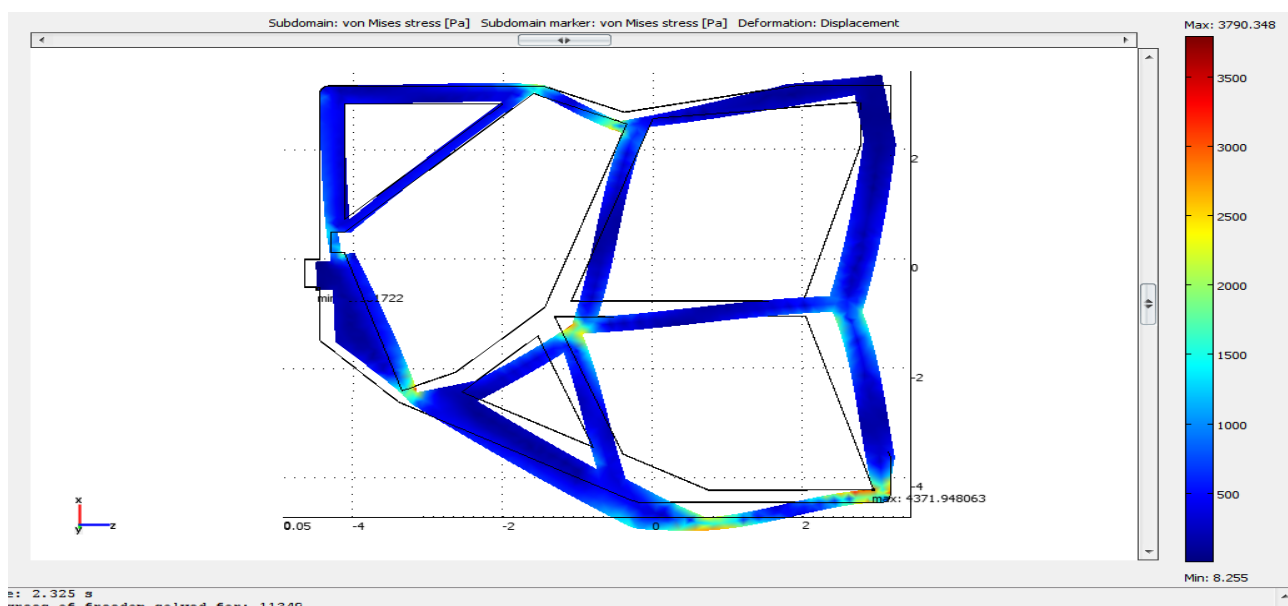
Εικόνα 102. Μοντέλο von mises χωρίς λείανση γωνιών & Συνολική παραμόρφωση

4.6.3.2 Δεύτερη περίπτωση (φόρτιση στον γ-άξονα)



Εικόνα 103. Συνολική παραμόρφωση μοντέλου χ.λ.γ

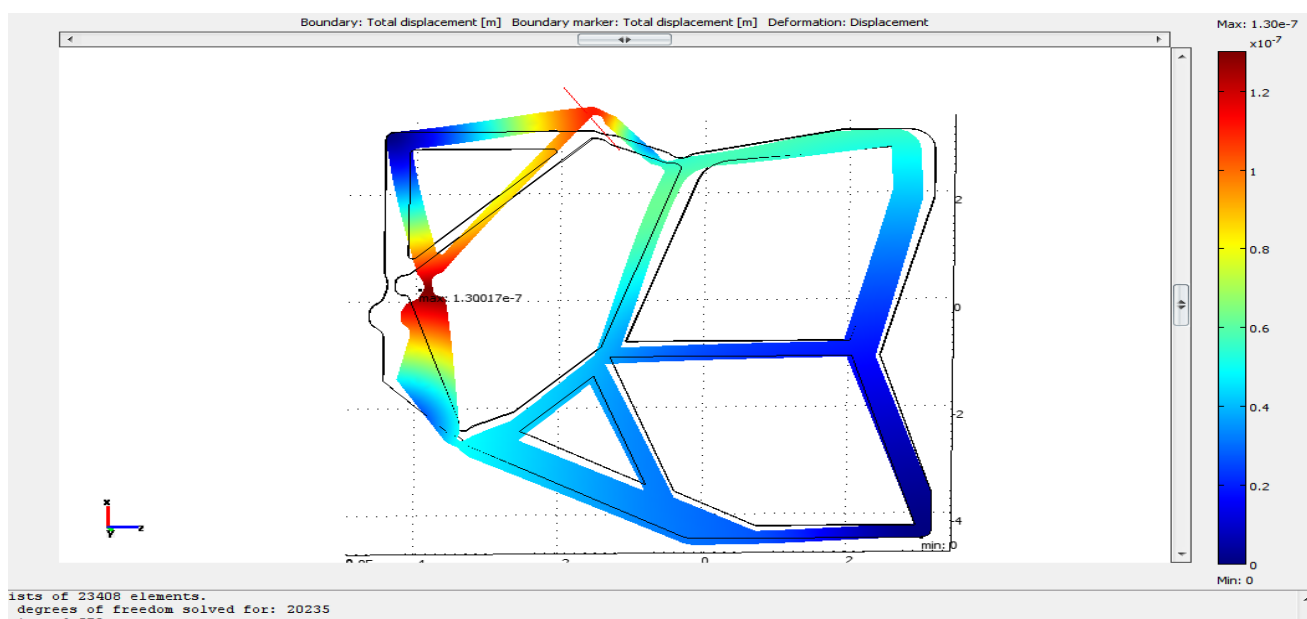
Όπου παρατηρούμε από το διάγραμμα ότι η μέγιστη μετακίνηση εντοπίζεται στο κατώτατο μπράτσο του μηχανισμού, η οποία είναι της τάξης των **$1,661 * 10^{-7} \text{ m}$** . Αυτή είναι η πιο ακραία μετακίνηση του μοντέλου μας και οφείλεται στις ακραίες τιμές για τις φορτίσεις που λάβαμε. Στο μεγαλύτερο ποσοστό του μοντέλου οι μετατοπίσεις περιορίζονται μέχρι **$0,4 * 10^{-7} \text{ m}$** .



Εικόνα 104. Μοντέλο von mises χωρίς λείανση γωνιών & Συνολική παραμόρφωση

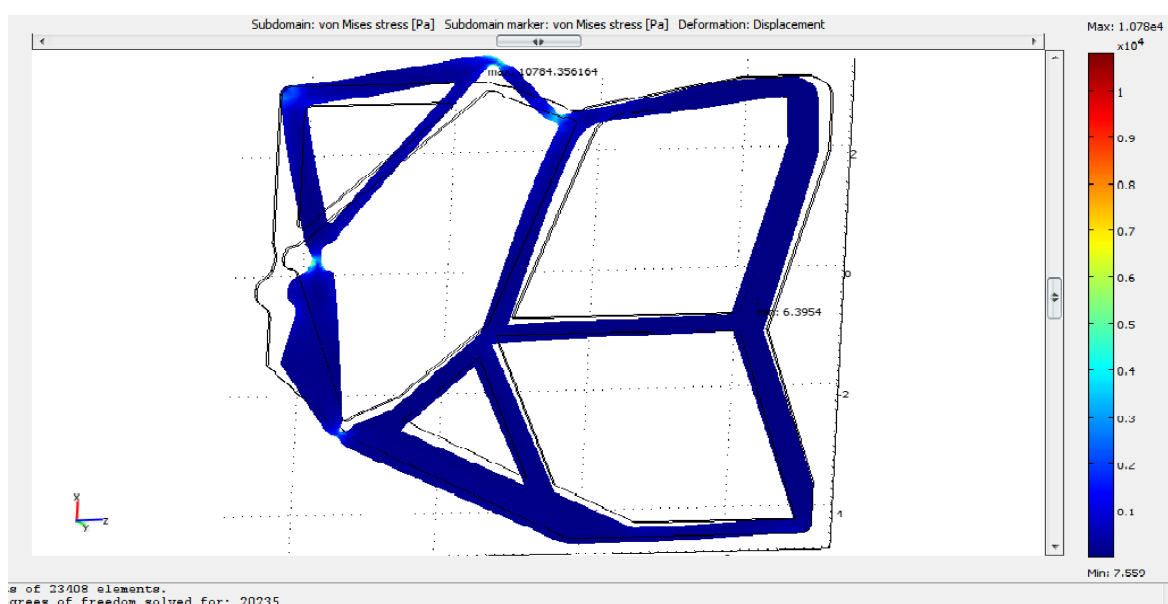
4.6.4 Μοντέλο 2 με λείανση γωνιών

4.6.4.1 Πρώτη περίπτωση (φόρτιση στον χ-άξονα)



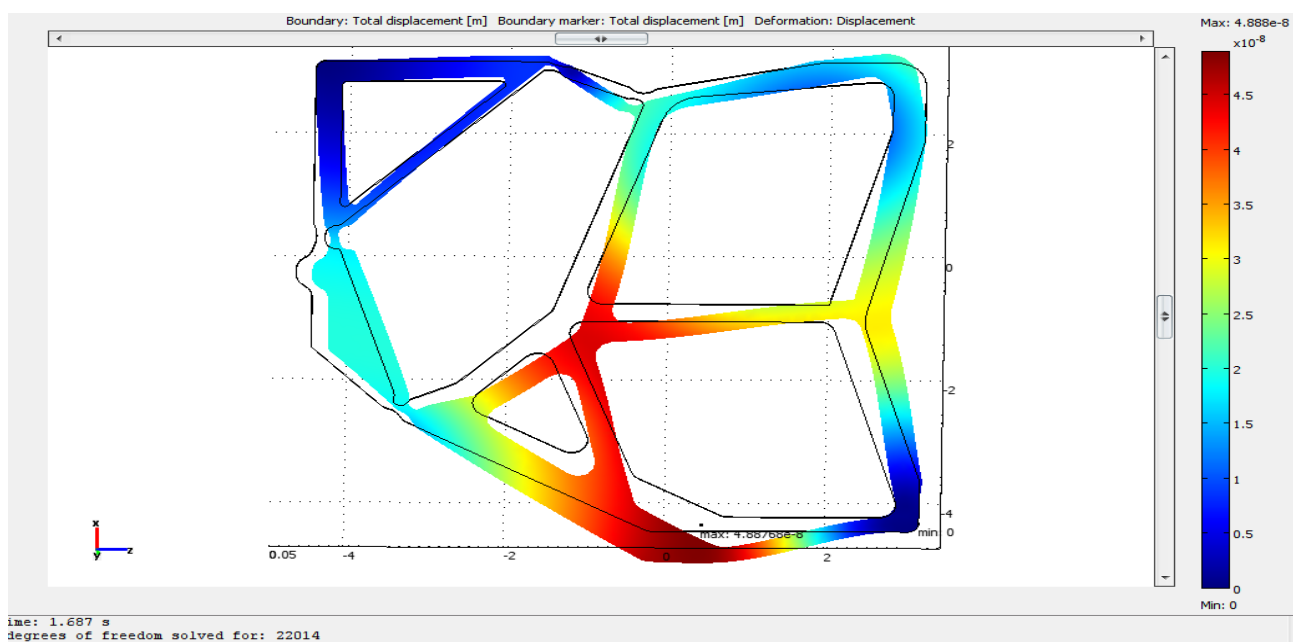
Εικόνα 105. Συνολική παραμόρφωση μοντέλου μ.λ.γ

Όπου παρατηρούμε από το διάγραμμα ότι η μέγιστη μετακίνηση εντοπίζεται στο αριστερότερο μπράτσο του μηχανισμού, η οποία είναι της τάξης των **$1,30 * 10^{-7} \text{ m}$** . Αυτή είναι η πιο ακραία μετακίνηση του μοντέλου μας και οφείλεται στις ακραίες τιμές για τις φορτίσεις που λάβαμε. Στο μεγαλύτερο ποσοστό του μοντέλου οι μετατοπίσεις περιορίζονται μέχρι **$0,4 * 10^{-7} \text{ m}$** .



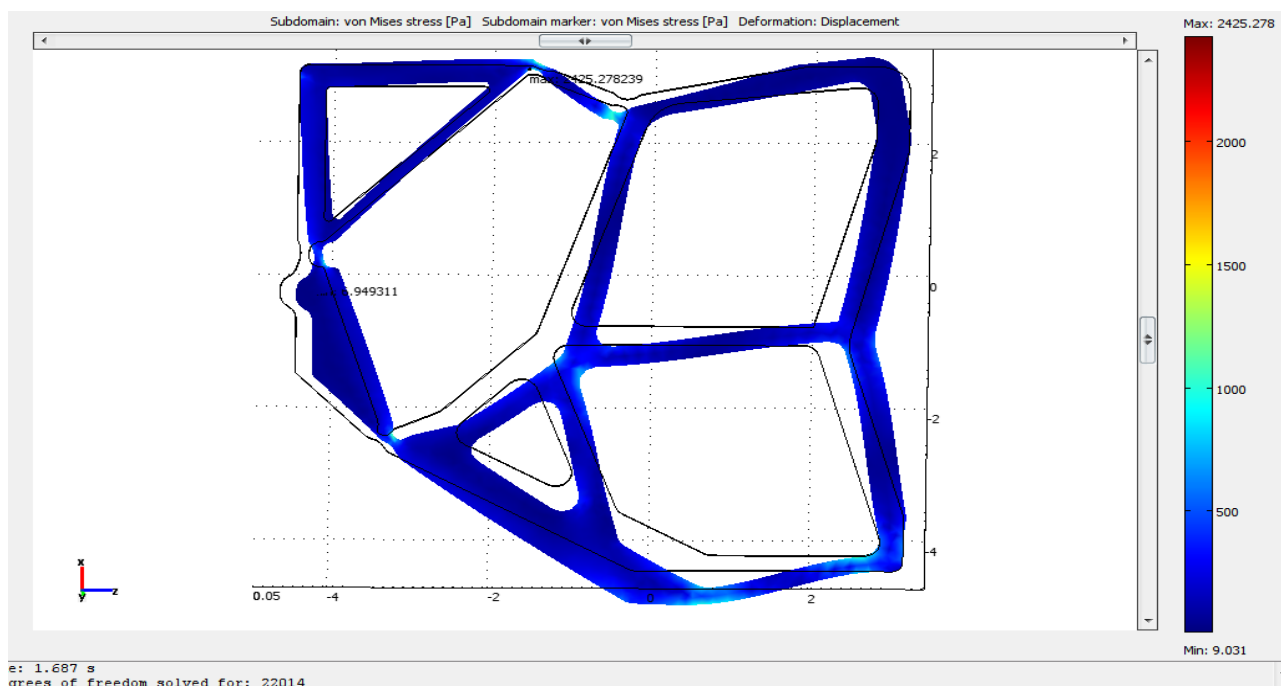
Εικόνα 106. Μοντέλο von mises με λείανση γωνιών & Συνολική παραμόρφωση

4.6.4.2 Δεύτερη περίπτωση (φόρτιση στον γ-άξονα)



Εικόνα 107. Συνολική παραμόρφωση μοντέλου μ.λ.γ

Όπου παρατηρούμε από το διάγραμμα ότι η μέγιστη μετακίνηση εντοπίζεται στο κατώτατο μπράτσο του μηχανισμού, η οποία είναι της τάξης των **$4,888 * 10^{-8} \text{ m}$** . Αυτή είναι η πιο ακραία μετακίνηση του μοντέλου μας και οφείλεται στις ακραίες τιμές για τις φορτίσεις που λάβαμε. Στο μεγαλύτερο ποσοστό του μοντέλου οι μετατοπίσεις περιορίζονται μέχρι **$1 * 10^{-8} \text{ m}$** .

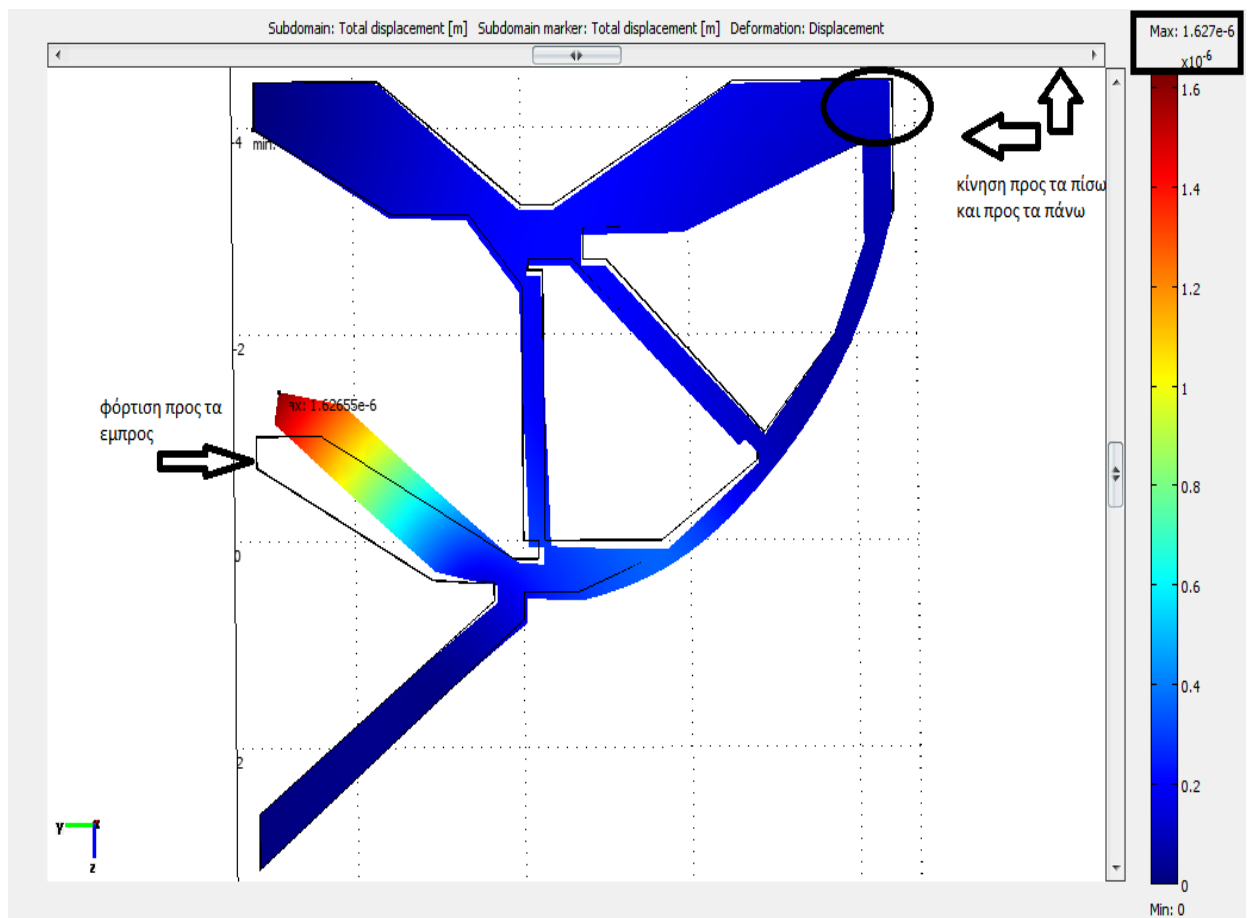


Εικόνα 108. Μοντέλο von mises με λείανση γωνιών & Συνολική παραμόρφωση

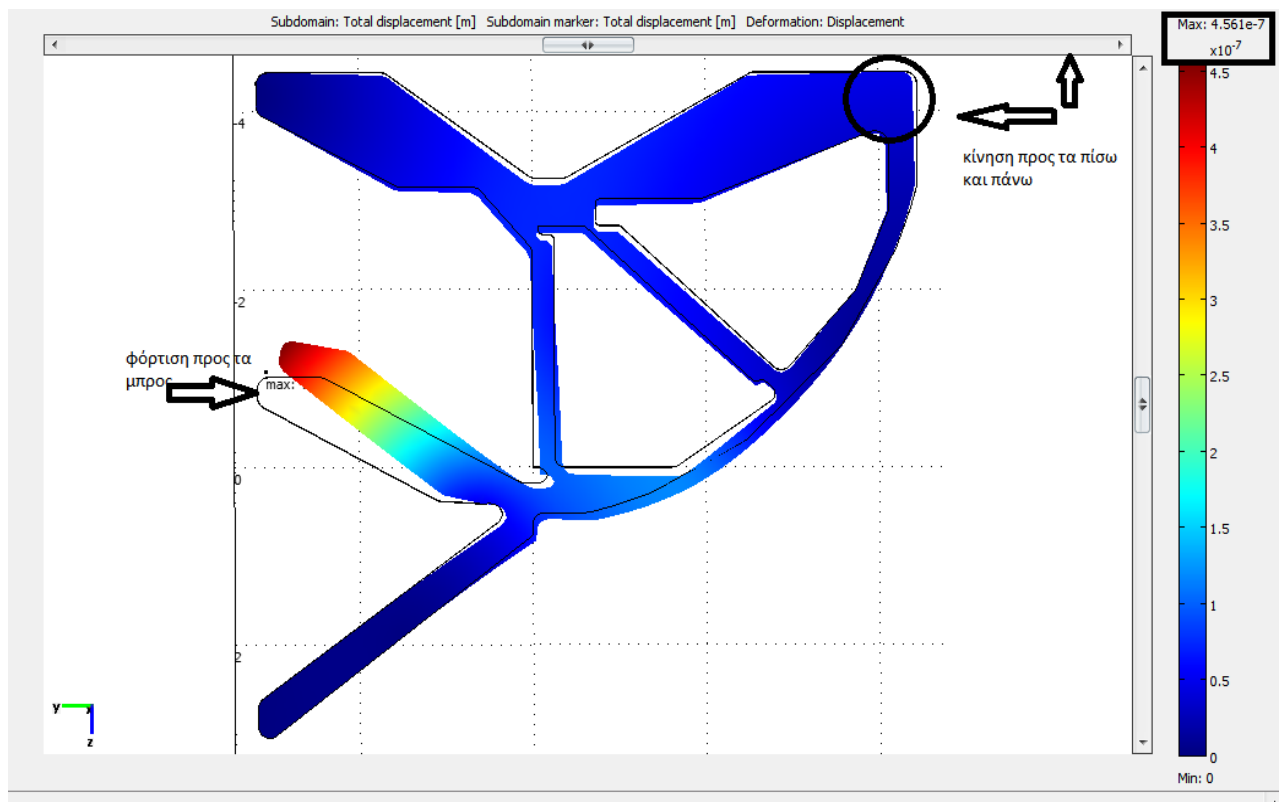
4.7 Σύγκριση αρχικού μοντέλου με τελικό βάσει των μετατοπίσεων που θέλουμε σε σχέση με τις θέσεις επιβολής φορτίου

4.7.1 Μοντέλο 1

Στο πρώτο μοντέλο που μελετάμε η επιθυμητή μετατόπιση είναι προς τα πίσω κ προς τα πάνω συγχρόνως, ενώ η φόρτιση μας είναι προς τα μπρος. Άρα παρατηρούμε ότι επιτυγχάνεται να αντιστρέψουμε την κίνηση. Παρατηρούμε όμως ότι το αρχικό μοντέλο σε σχέση με το τελικό με λείανση γωνιών έχει μεγαλύτερη maximum τιμή μετατόπισης, όμως οι επιθυμητές μετατοπίσεις παραμένουν, δηλαδή δεν επηρεάζουν το αποτέλεσμα. Παρακάτω φαίνονται συγκριτικά τα αποτελέσματα.



Εικόνα 109. Αρχικό μοντελο 1

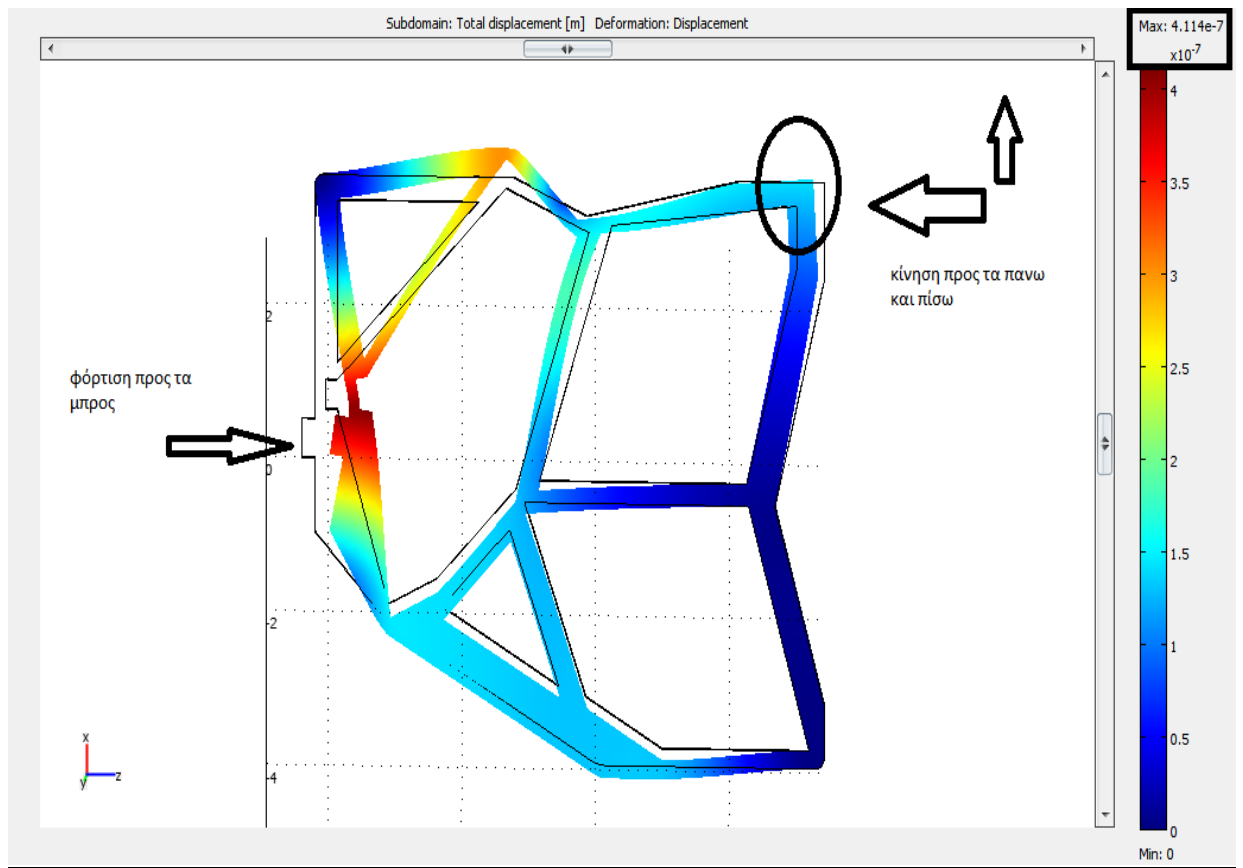


Εικόνα 110.Τελικό μοντέλο 1

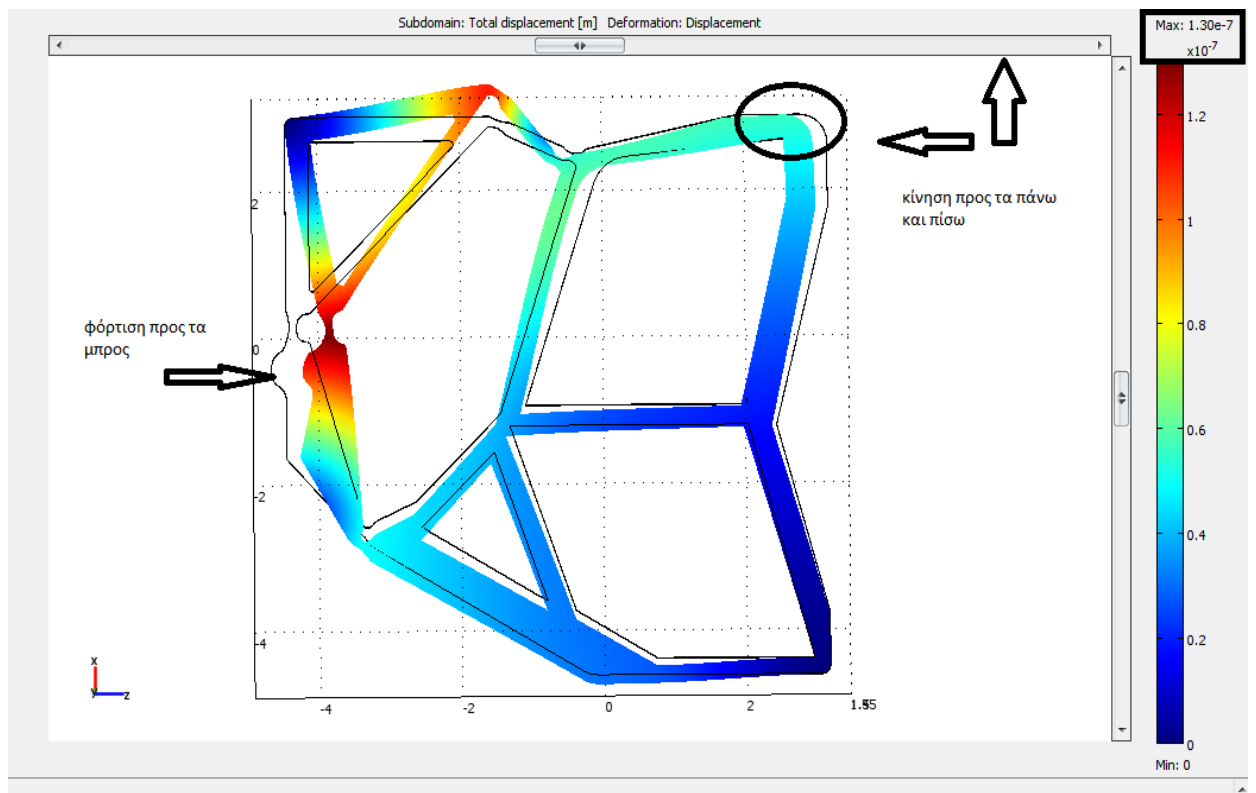
4.7.2 Μοντέλο 2

Πρώτη περίπτωση

Στην πρώτη περίπτωση έχουμε φόρτιση προς τα μπρος και η επιθυμητή μετατόπιση είναι προς τα πίσω και προς τα πάνω. Αυτό επιτυγχάνεται και στο αρχικό μοντέλο και στο τελικό μετά από λείανση γωνιών, όμως στο αρχικό μοντέλο η maximum μετατόπιση είναι $4,117 \cdot 10^{-7} \text{ m}$, ενώ στο τελικό είναι $1.30 \cdot 10^{-7} \text{ m}$. Αρα η σχεδίαση δεν επηρέασε τις μετακινήσεις.



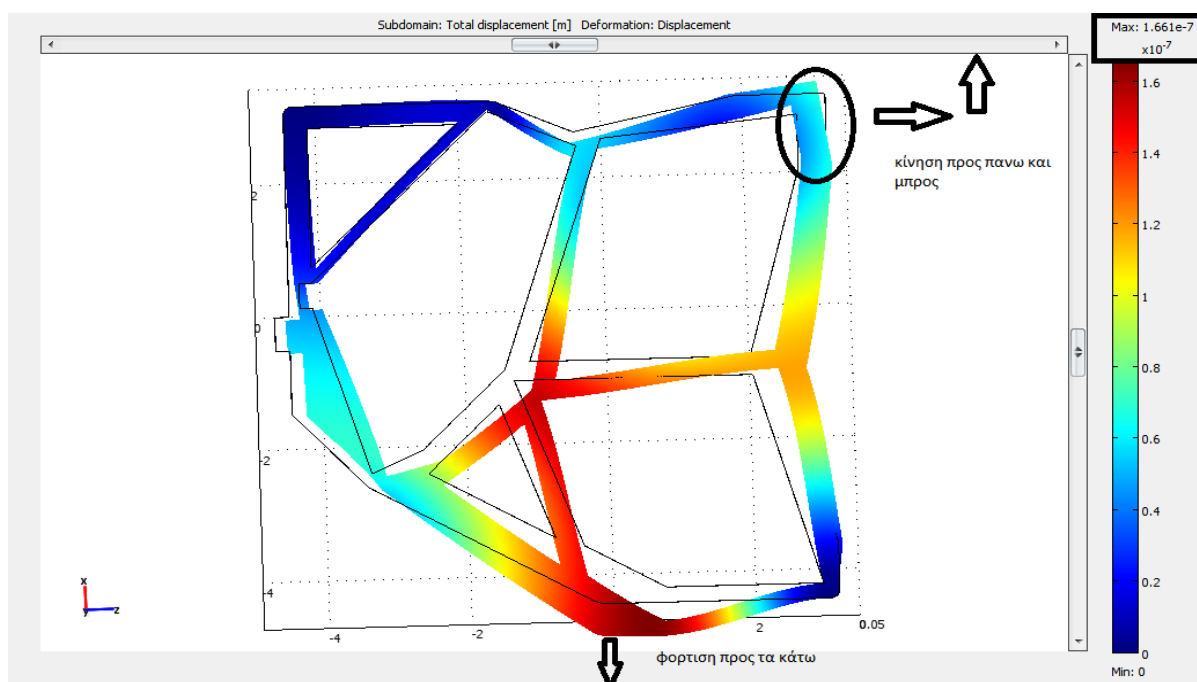
Εικόνα 111. Αρχικό μοντελο 2 πρώτη περίπτωση



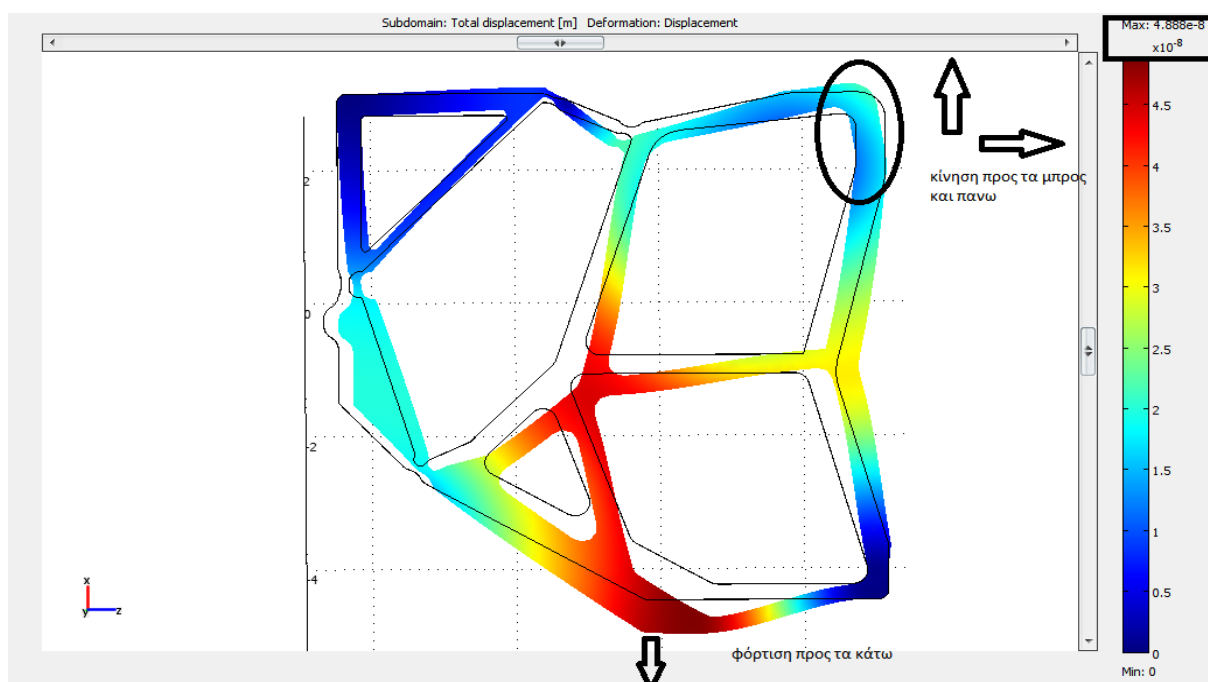
Εικόνα 112. Τελικό μοντελο 2 πρώτη περίπτωση

Δεύτερη περίπτωση

Στην δεύτερη περίπτωση έχουμε φόρτιση προς τα κάτω και η επιθυμητή μετατόπιση είναι προς τα μπρος και προς τα πάνω. Αυτό επιτυγχάνεται και στο αρχικό μοντέλο και στο τελικό μετά από λείανση γωνιών, όμως στο αρχικό μοντέλο η maximum μετατόπιση είναι $1,661 \cdot 10^{-7} \text{ m}$, ενώ στο τελικό είναι $4,888 \cdot 10^{-8} \text{ m}$. Άρα η σχεδίαση δεν επηρέασε τις μετακινήσεις.



Εικόνα 113. Αρχικό μοντέλο 2 δεύτερη περίπτωση

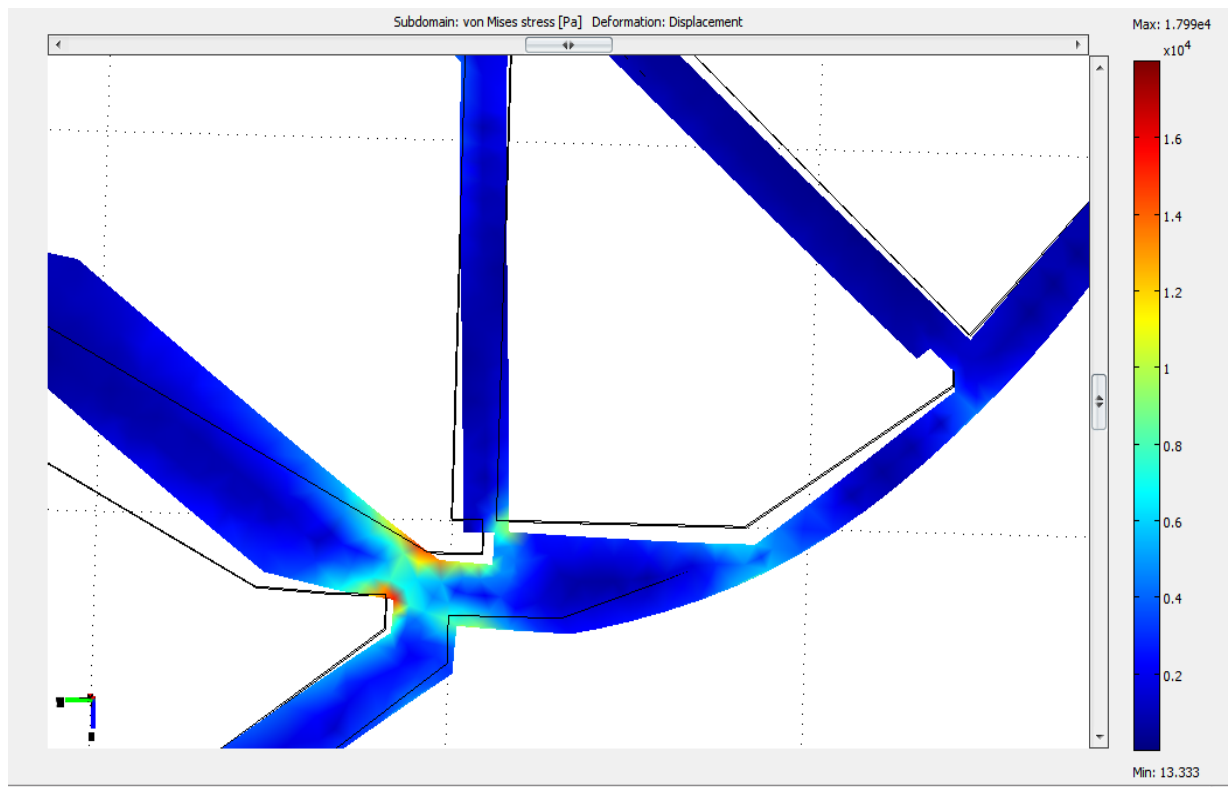


Εικόνα 114. Τελικό μοντέλο 2 δεύτερη περίπτωση

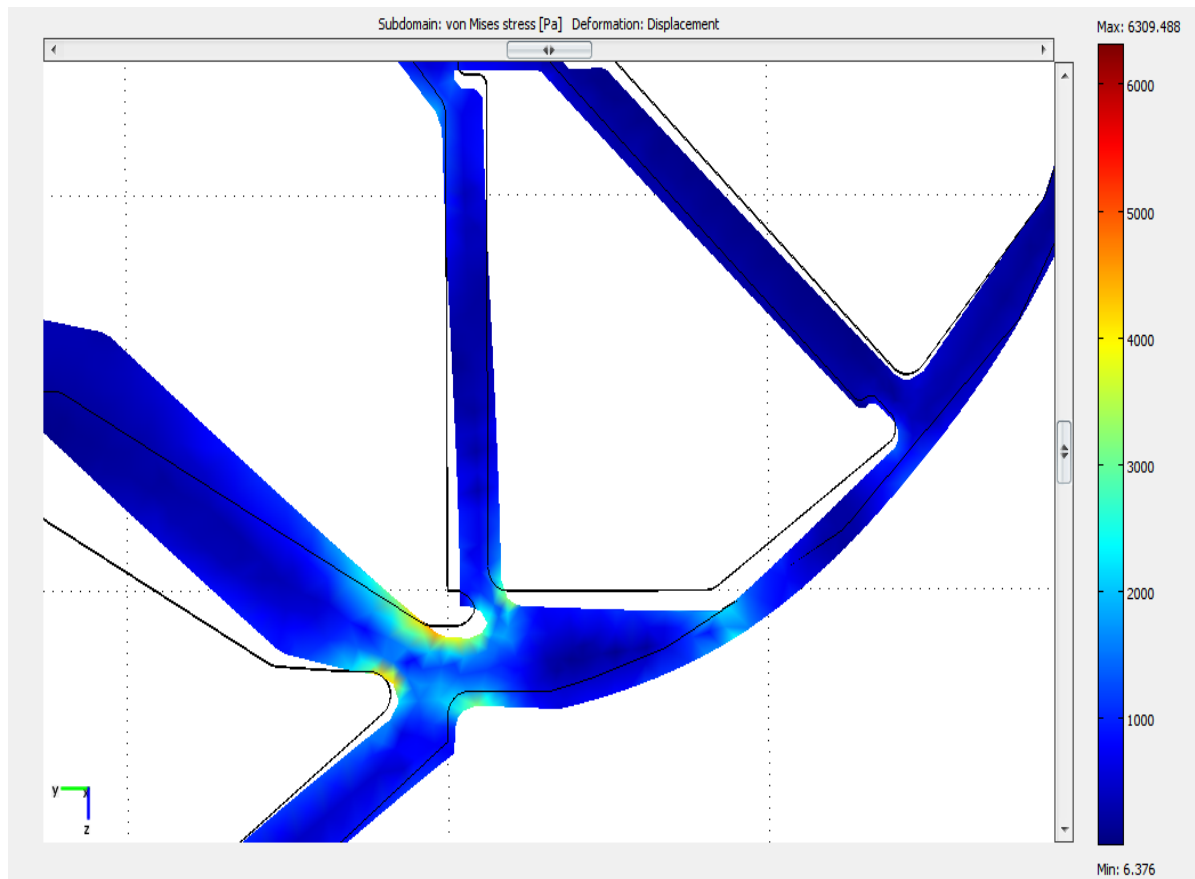
4.8 Σύγκριση αρχικού μοντέλου με τελικό βάσει των μέγιστων τάσεων Von Mises

4.8.1 Μοντέλο 1

Παρατηρούμε ότι με κατάλληλη λείανση των γωνιών στο αρχικό μοντέλο επιτυγχάνεται μείωση των τάσεων von mises στο τελικό μοντέλο. Στο πρώτο η μέγιστη τάση είναι $1.799 \cdot 10^4 \text{ Pa}$, ενώ στο τελικό είναι μειωμένη αισθητά ίση με 6309 Pa . Παρακάτω παρατίθενται τα γραφήματα.



Εικόνα 115 .Αρχικό μοντέλο 1

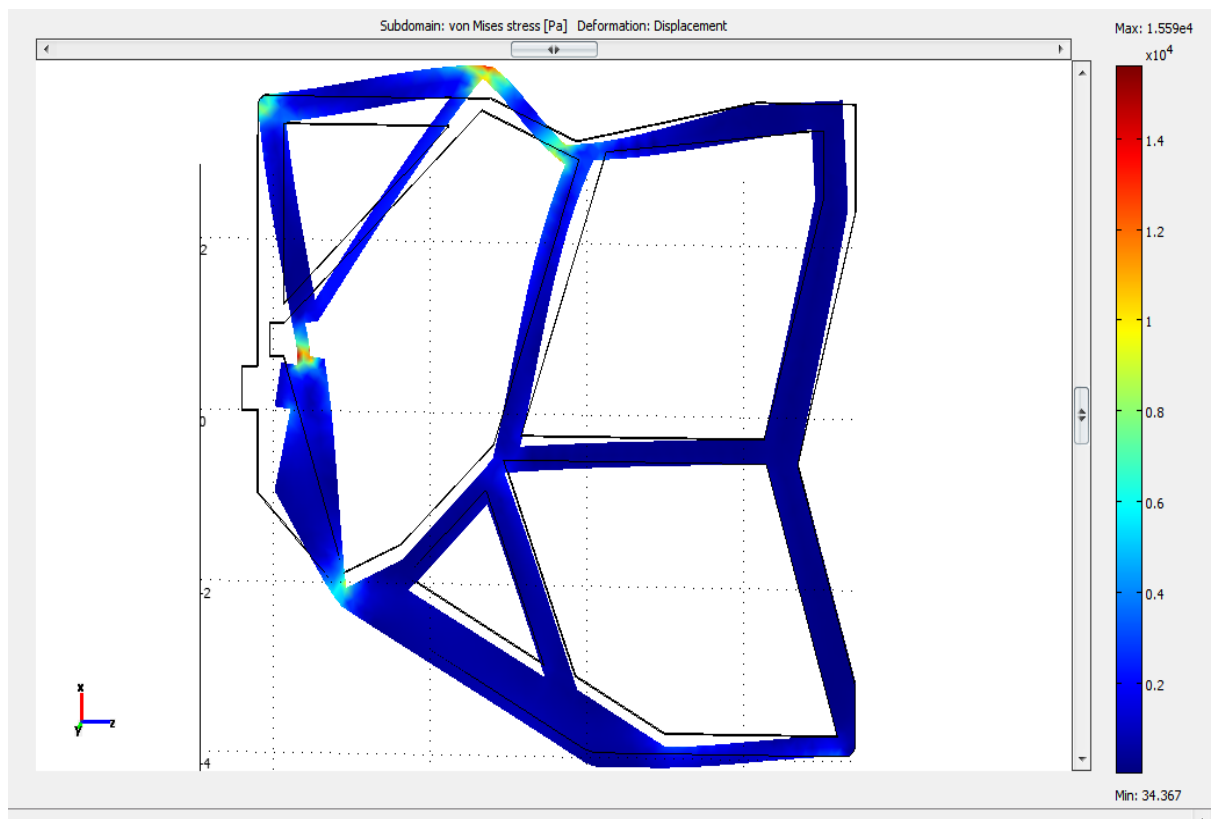


Εικόνα 116 .Τελικό μοντέλο 1

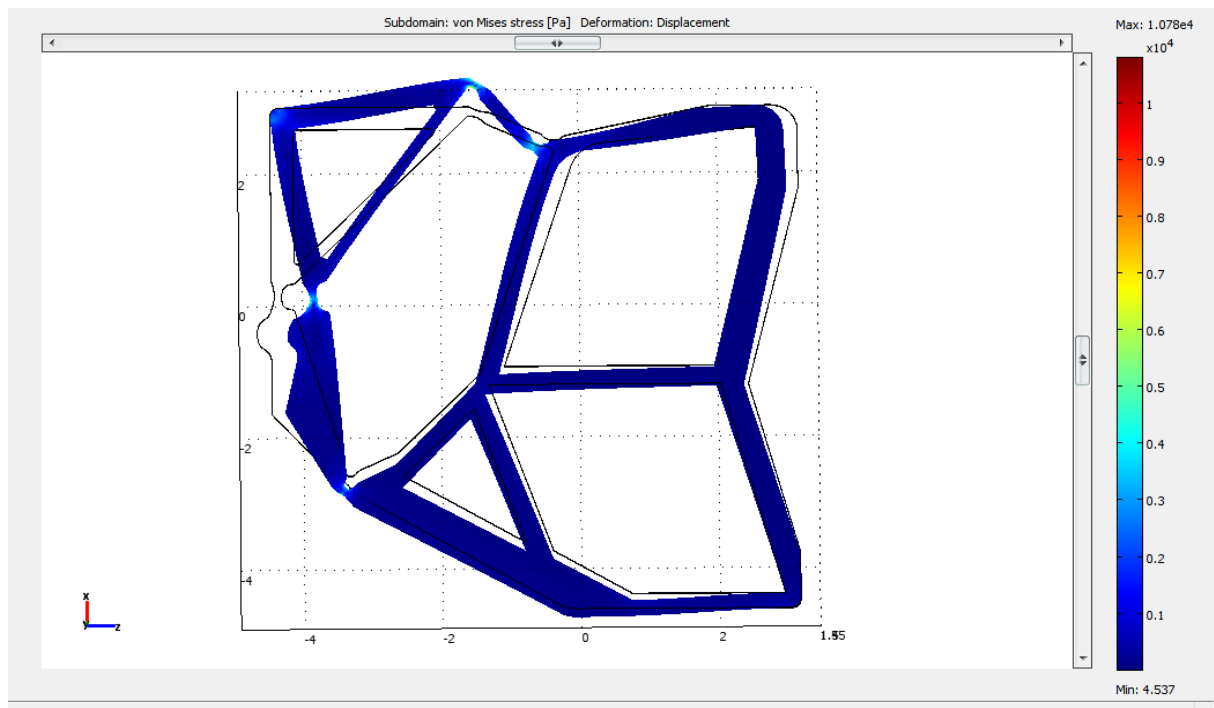
4.8.2 Μοντέλο 2

Πρώτη περίπτωση

Παρατηρούμε ότι με κατάλληλη λείανση των γωνιών στο αρχικό μοντέλο επιτυγχάνεται μείωση των τάσεων von mises στο τελικό μοντέλο. Στο πρώτο η μέγιστη τάση είναι **$1.559 * 10^4 \text{ Pa}$** , ενώ στο τελικό είναι μειωμένη αισθητά ίση με **$1,078 * 10^4 \text{ Pa}$** . Παρακάτω παρατίθενται τα γραφήματα.



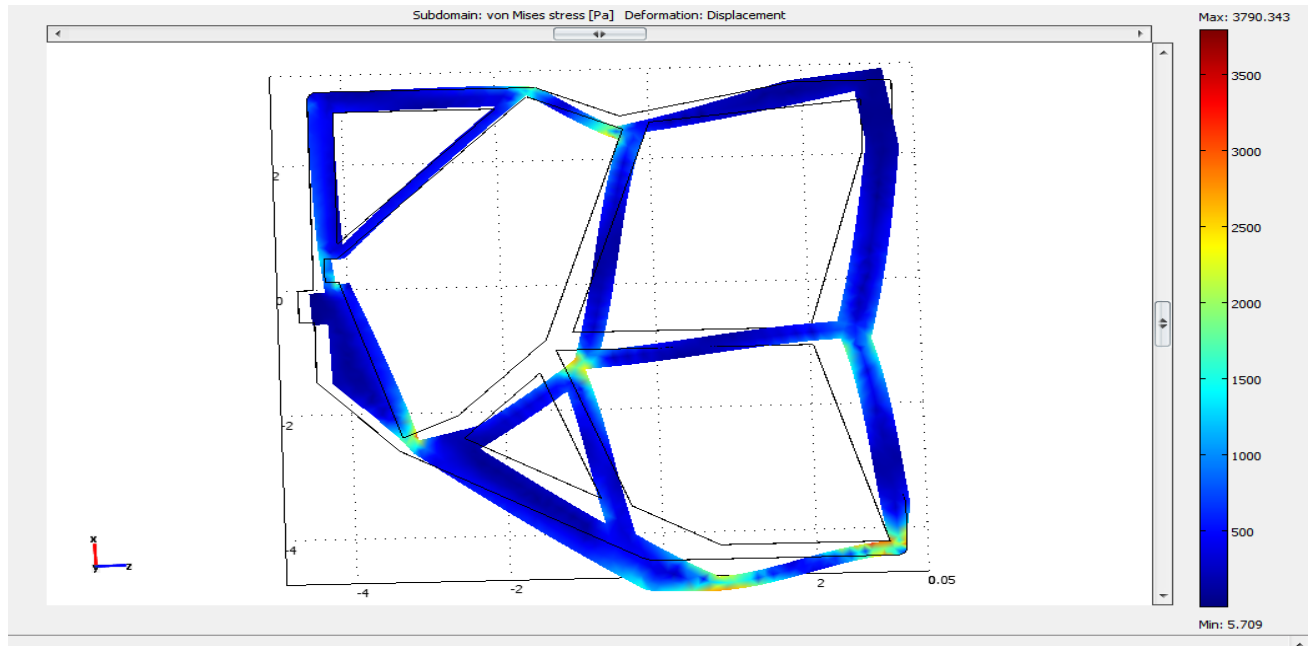
Εικόνα 117 .Αρχικό μοντέλο 2 πρώτη περίπτωση



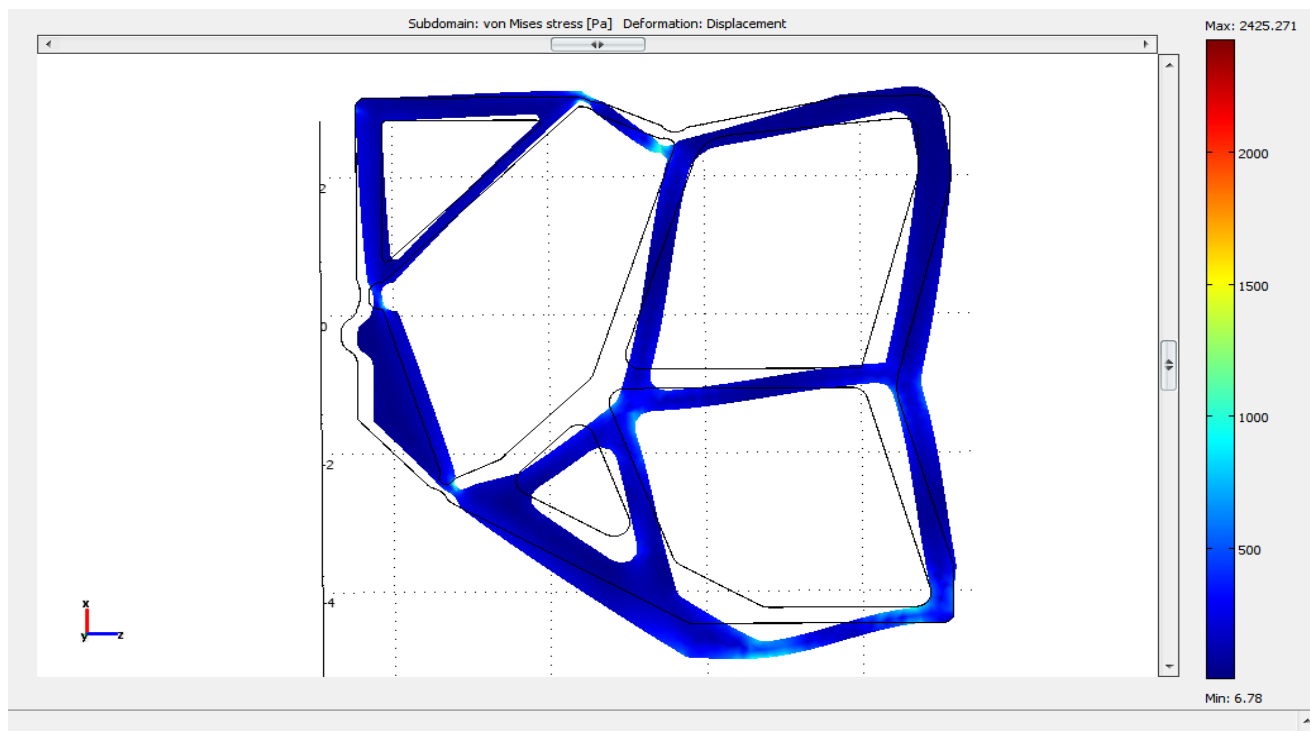
Εικόνα 118 .Τελικό μοντέλο 2 πρώτη περίπτωση

Δεύτερη περίπτωση

Παρατηρούμε ότι με κατάλληλη λείανση των γωνιών στο αρχικό μοντέλο επιτυγχάνεται μείωση των τάσεων von mises στο τελικό μοντέλο. Στο πρώτο η μέγιστη τάση είναι **3790.343 Pa**, ενώ στο τελικό είναι μειωμένη αισθητά ίση με **2425,271 Pa**. Παρακάτω παρατίθενται τα γραφήματα



Εικόνα 119 .Αρχικό μοντέλο 2 δεύτερη περίπτωση



Εικόνα 120.Τελικό μοντέλο 2 δεύτερη περίπτωση

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Beer/Johnson. ΤΕΧΝΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ, ΤΟΜΟΣ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ, ΣΤΑΤΙΚΗ. Αθήνα:Fountas.

Standarization, European Committee for. EUROPEAN PRESTANDARD . Brussels, 1995.

Tirupathi R. Chandrupatla, Asok D. Belegundu. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥΣ. ΑΘΗΝΑ: ΚΛΕΙΔΑΡΙΘΜΟΣ, 2005.

WILLIAM D. CALLISTER, JR. ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΛΙΚΩΝ. Αθήνα: ΤΖΙΟΛΑ, 2004.

Επιστημονικά άρθρα:

G.E.Stavroulakis,N. Kaminakis,Y. Marinakis and M.Marinaki (2009), "Multiobjective Global Topology Optimization for Structures and Mechanisms", 2th South East European Conference on Computational Mechanics, 22-24 June 2009, Rhodes, Greece.

N. Kaminakis, Design of multimodal compliant mechanisms with topology optimization and evolutionary algorithms. Master of Science Thesis, Technical University of Crete(in Greek), 2009

G.E.Stavroulakis,N.Kaminakis,Y.Marinakis,M.Marinaki(2009),"Nonconvex,multiobjective problems in topology optimization of mechanisms", Global Optimization, Theory, Models and Applications I, Lecture Notes in Decision Sciences(LNDS) 12,C.Q. Ma,L.A. Yu, D.B.Zhang and Z.B.Zhou(Eds.),Global-Link Publishers, Tokyo, 8-14 (First World Congress on Global Optimization in Engineering and Science WCGO2009, June 1-5 2009, Changsha and Zhangjiajie,China).