



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ**  
**ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών**  
**Επιστήμη και Τεχνολογία της Πληροφορικής και**  
**των Υπολογιστών**

**Ειδίκευση Λογισμικού και Πληροφοριακών Συστημάτων,**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Σχεδιασμός και προσομοίωση λειτουργίας υδραυλικού**  
**εργαλείου με το πρόγραμμα SolidWorks**

**Δημήτριος Ηγουμενίδης**  
**A.M. 18008**

**Εισηγητής: Σταύρος Φατούρος, Αν. Καθηγητής**



**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Σχεδιασμός και προσομοίωση λειτουργίας υδραυλικού εργαλείου με το πρόγραμμα SolidWorks**

**Δημήτριος Ηγουμενίδης  
Α.Μ. 18008**

**Εισηγητής:**

**Σταύρος Φατούρος, Αν. Καθηγητής**

**Εξεταστική Επιτροπή:**

<b>Σταύρος Φατούρος, Αν. Καθηγητής</b>	<b>Διονύσιος Κανδρής, Καθηγητής</b>	<b>Ιωάννης Βογιατζής, Καθηγητής</b>
(Υπογραφή)	(Υπογραφή)	(Υπογραφή)

**Ημερομηνία εξέτασης: 15/06/2022**



## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Ηγουμενίδης Δημήτριος του Ευθυμίου, με αριθμό μητρώου 18008 φοιτητής του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών Επιστήμη και Τεχνολογία της Πληροφορικής και των Υπολογιστών του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής και Υπολογιστών της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

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

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

Ο Δηλών  
Ηγουμενίδης Δημήτριος





## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Ευχαριστώ τους καθηγητές και τους υπευθύνους του μεταπτυχιακού καθώς και το προσωπικό του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής για το συνολικό τους έργο, αλλά και για τη μεγάλη προσπάθεια που καταβάλλουν καθημερινά.





## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε αυτή την εργασία θα παρουσιαστεί και θα αναλυθεί το πώς ένα CAD λογισμικό, και πιο συγκεκριμένα το SolidWorks, μπορεί να βοηθήσει τη βιομηχανία, σαν σύνολο και τις επιχειρήσεις, οι οποίες δρουν πάνω στη βιομηχανία γενικότερα, να σχεδιάζουν και να ελέγχουν για λόγους ποιότητας και ασφάλειας, το οποιοδήποτε, προς παραγωγή, αντικείμενο. Από μικρά και απλά πράγματα, όπως ένα κάθισμα ή ένα πλαστικό εξάρτημα μέχρι και υδραυλικά εργαλεία, όπου η ακρίβειά τους και η ποιότητά τους είναι σημαντικά για μια σωστή και ασφαλή λειτουργία. Ο αναγνώστης θα περιηγηθεί μέσα από κάποιες εισαγωγικές έννοιες, όπως το τι είναι ένα CAD λογισμικό και από τι αποτελείται, καθώς και τα οφέλη αυτού. Στη συνέχεια, θα γίνει μία ανάλυση ενός εργαλείου και συγκεκριμένα ενός υδραυλικού κυλίνδρου προκειμένου να κατανοηθεί τι είναι αυτό. Ακολουθεί, έπειτα, το κύριο κομμάτι της εργασίας, όπου βήμα-βήμα θα σχεδιαστεί καθένα από τα επιμέρους κομμάτια του υδραυλικού κυλίνδρου και αυτό θα αποτελέσει το κύριο παράδειγμα της βοήθειας που προσφέρει το εν λόγω λογισμικό. Εν κατακλείδι, θα γίνει η προσπάθεια να εξαχθεί ένα συμπέρασμα, αναφορικά με το σύστημα αυτό ως προς τη βοήθεια που μπορεί να παρέχει στον κάθε μηχανικό και στην κάθε βιομηχανία.

Ο σχεδιασμός ενός προϊόντος πρέπει να είναι σωστός, μέχρι και στην πιο μικρή λεπτομέρεια, πριν προχωρήσει η παραγωγή του. Αυτό διαβεβαιώνει ότι κανένα πρόβλημα δεν θα παρουσιαστεί, και καμία αλλαγή δε χρειάζεται να προκύψει στο μέλλον, προκαλώντας οικονομικά ζητήματα. Παραδοσιακά, για να σχεδιαστεί ένα προϊόν χρησιμοποιείται ο σχεδιασμός στο χέρι με χαρτί και μολύβι. Σήμερα, υπάρχουν συστήματα/λογισμικά τα οποία μειώνουν, σε πάρα πολύ σημαντικό ποσοστό, το χρόνο της δουλειάς που απαιτείται. Το να δημιουργεί κανείς 3D μοντέλα είναι πιο εύκολο από ποτέ.

Λέξεις κλειδιά: CAD, SolidWorks, σχεδιασμός, υδραυλικός κύλινδρος.

## **ABSTRACT**

This paper will present and analyze how CAD software, and more specifically SolidWorks, can help the industry, as a whole, and the companies that operate in the industry in general, design and control for quality reasons and security, any object to be produced. From small and simple things, such as a seat or a plastic accessory to hydraulic tools, where their accuracy and quality are important for a proper and safe operation. The reader will be introduced to some introductory concepts, such as what a CAD software is and what it consists of, as well as its benefits. Then, an analysis will be made of a tool and specifically a hydraulic cylinder in order to understand what it is. The following is the main part of the work, where each of the individual parts of the hydraulic cylinder will be designed step by step and this will be the main example of the help offered by this software. At the end, an attempt will be made to draw a conclusion regarding this system in terms of the assistance it can provide to each engineer and to each industry.

The design of a product must be correct, down to the smallest detail, before its production can proceed. This ensures that no problems will arise, and no changes needs to occur in the future, causing financial issues. Traditionally, hand drawing with paper and pencil is used to design a product. Today, there are systems/software that reduce, to a very significant degree, the work time required. Creating 3D models is easier than ever.

Keywords: CAD, SolidWorks, design, hydraulic cylinder

## Περιεχόμενα

<b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ</b> .....	6
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	8
<b>ABSTRACT</b> .....	9
<b>Περιεχόμενα</b> .....	10
<b>Κεφάλαιο 1ο: Τα λογισμικά Τεχνικού Σχεδιασμού (C.A.D.)</b> .....	11
1.1 Τι ακριβώς είναι ένα Λογισμικό Τεχνικού Σχεδιασμού .....	11
1.2 Χρησιμότητα στη βιομηχανία.....	11
1.3 Η τεχνολογία πίσω από τα συστήματα CAD .....	12
1.4 Περιγραφή του λογισμικού «SolidWorks».....	13
<b>Κεφάλαιο 2ο: Ο υδραυλικός κύλινδρος</b> .....	14
2.1 Ο υδραυλικός κύλινδρος και οι αρχές που τον διέπουν .....	14
2.2 Υδραυλικοί κύλινδροι σήμερα.....	14
2.3 Μέρη υδραυλικού κυλίνδρου.....	15
<b>Κεφάλαιο 3ο: Υλοποίηση υδραυλικού κυλίνδρου με το SolidWorks</b> .....	16
3.1 Σχεδιασμός της κάννης .....	16
3.2 Σχεδιασμός της ράβδου .....	18
3.3 Σχεδιασμός του εμβόλου (πιστόνι) .....	20
3.4 Σχεδιασμός του καπακιού εμβόλου .....	22
3.5 Σχεδιασμός του οπίσθιου καπακιού.....	23
3.6 Σχεδιασμός του οπίσθιου καπακιού κάννης.....	30
3.7 Σχεδιασμός του εμπρόσθιου καπακιού κάννης .....	33
3.8 Σχεδιασμός του εμπρόσθιου αγκίστρου .....	43
3.9 Σχεδιασμός του οπίσθιου αγκίστρου .....	48
<b>Κεφάλαιο 4ο: Στάδιο συναρμολόγησης και προσομοίωσης</b> .....	52
4.1 Συναρμολόγηση υδραυλικού κυλίνδρου .....	53
4.2 Διευρυμένη προβολή και προσομοίωση.....	59
4.3 Προσομοίωση διευρυμένης προβολής.....	59
4.4 Προσομοίωση κίνησης υδραυλικού κυλίνδρου .....	60
<b>Κεφάλαιο 5ο: Συμπεράσματα</b> .....	62
<b>Βιβλιογραφία</b> .....	63

## **Κεφάλαιο 1ο: Τα λογισμικά Τεχνικού Σχεδιασμού (C.A.D.)**

### **1.1 Τι ακριβώς είναι ένα Λογισμικό Τεχνικού Σχεδιασμού**

Σχεδίαση με τη βοήθεια υπολογιστή - ή CAD - είναι η χρήση υπολογιστών (ή σταθμών εργασίας) για να βοηθήσουν στη δημιουργία, τροποποίηση, ανάλυση ή βελτιστοποίηση ενός σχεδίου. Αυτό το λογισμικό χρησιμοποιείται για την αύξηση της παραγωγικότητας του σχεδιαστή, τη βελτίωση της ποιότητας του σχεδιασμού, τη βελτίωση των επικοινωνιών μέσω της τεκμηρίωσης και τη δημιουργία μιας βάσης δεδομένων για την κατασκευή. Η έξοδος CAD είναι συχνά με τη μορφή ηλεκτρονικών αρχείων για εκτύπωση, μηχανική καταργασία ή άλλες κατασκευαστικές εργασίες.

Το λογισμικό CAD για μηχανικό σχεδιασμό χρησιμοποιεί είτε διανυσματικά γραφικά για να απεικονίσει τα αντικείμενα της παραδοσιακής σχεδίασης είτε μπορεί επίσης να παράγει γραφικά που δείχνουν τη συνολική εμφάνιση των σχεδιασμένων αντικειμένων. Ωστόσο, περιλαμβάνει περισσότερα από απλά σχήματα. Όπως και στη μη αυτόματη σύνταξη τεχνικών και μηχανικών σχεδίων, η έξοδος του CAD πρέπει να μεταφέρει πληροφορίες, όπως υλικά, διεργασίες, διαστάσεις και ανοχές, σύμφωνα με τις συγκεκριμένες συμβάσεις της εφαρμογής.

Το CAD μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το σχεδιασμό καμπυλών και σχημάτων σε δισδιάστατο (2D) χώρο ή καμπύλες, επιφάνειες και στερεά σε τρισδιάστατο (3D) χώρο.

Το CAD είναι μια σημαντική βιομηχανική τέχνη που χρησιμοποιείται ευρέως σε πολλές εφαρμογές, όπως η αυτοκινητοβιομηχανία, η ναυπηγική και η αεροδιαστημική βιομηχανία, ο βιομηχανικός και αρχιτεκτονικός σχεδιασμός, η προσθετική και πολλά άλλα. Χρησιμοποιείται, επίσης, ευρέως για την παραγωγή κινούμενων σχεδίων υπολογιστή για ειδικά εφέ σε ταινίες, διαφημίσεις και τεχνικά εγχειρίδια, που συχνά ονομάζονται δημιουργία ψηφιακού περιεχομένου (DCC). Η σύγχρονη πανταχού παρουσία και η ισχύς των υπολογιστών σημαίνει ότι ακόμη και τα μπουκάλια αρωμάτων και οι διανομείς σαμπουάν έχουν σχεδιαστεί χρησιμοποιώντας τις ίδιες τεχνικές. Λόγω της τεράστιας οικονομικής σημασίας του, το CAD υπήρξε μια σημαντική κινητήρια δύναμη για την έρευνα στην υπολογιστική γεωμετρία, τα γραφικά υπολογιστών (τόσο υλικό όσο και λογισμικό) και τη διακριτή διαφορική γεωμετρία. Πέρα από το SolidWorks υπάρχει πληθώρα άλλων αντίστοιχων λογισμικών, όπως τα Fusion 360, AutoCAD, Creo, Catia κ.α.

### **1.2 Χρησιμότητα στη βιομηχανία**

Ο Τεχνικός Σχεδιασμός καταλαμβάνει την πρώτη φάση βιομηχανικής παραγωγικής διαδικασίας, που αποσκοπεί στην παραγωγή ενός προϊόντος. Η διαδικασία του τεχνικού σχεδιασμού μπορεί να υποβοηθηθεί με τη χρήση του Η/Υ. Στην περίπτωση αυτή, το σύνολο των προγραμμάτων εφαρμογών, που αποσκοπούν στην δημιουργία, τροποποίηση, ανάλυση και βελτιστοποίηση του Τεχνικού Σχεδιασμού αποτελεί το Λογισμικό Τεχνικού Σχεδιασμού (Computer-Aided-Design - CAD).

Φυσικά, υπάρχουν άμεσα οφέλη από της χρήση CAD συστημάτων:

- Αύξηση της παραγωγικότητας
- Ευκολία σε τροποποιήσεις που επιθυμεί ο πελάτης
- Βελτιωμένη ακρίβεια σχεδίασης
- Καλύτερη τυποποίηση σχεδιάσεων
- Καλύτερα αποτελέσματα

Λόγω του μεγάλου κόστους οι εταιρείες/επιχειρήσεις ήταν κάποτε επιφυλακτικές αλλά, πλέον, όλοι καταλαβαίνουν πως η ανάγκη είναι επιτακτική. Σίγουρα έχει μειωθεί το κόστος των συστημάτων αυτών αλλά και πάλι δε θα γινόταν να υπάρξει ανταγωνιστικότητα χωρίς τη χρήση τους.

Αυξημένες είναι και οι απαιτήσεις όσον αφορά το τεχνικό προσωπικό. Κάποτε υπήρχε αδυναμία στο συγκεκριμένο τομέα. Τελευταία, όμως, ολοένα και περισσότεροι τεχνικοί εξειδικεύονται στα εν λόγω λογισμικά. Πάντα θα παραμένει, βέβαια, η ανάγκη για περαιτέρω επιμόρφωση του υφιστάμενου προσωπικού σε νέες λειτουργίες και συστήματα, διότι πρέπει να υπάρχει και κατανόηση συμβατότητας των διαφόρων συστημάτων CAD με τα interfaces, που εξασφαλίζει την επικοινωνία μεταξύ των συστημάτων.

Στη χώρα μας υπάρχουν εταιρείες που προμηθεύουν συστήματα CAD από τη δεκαετία του '90. Τότε αντιμετώπιζαν πρόβλημα μικρού ενδιαφέροντος της ελληνικής βιομηχανίας και αποσκοπούσαν στην ανανέωση εγκατεστημένων συστημάτων παρά στην εύρεση νέων πελατών. Πλέον, η ζήτηση έχει αυξηθεί ραγδαία, η τεχνολογία έχει ριζώσει στις ζωές όλων και οι απαιτήσεις ανάγκασαν πληθώρα βιομηχανιών και εταιρειών να υιοθετήσει συστήματα CAD. Οπότε, μιλάμε για ένα συνεχόμενο ενδιαφέρον εγκατάστασης αλλά και αναβάθμισης, μιας και τα τεχνολογικά δρώμενα «τρέχουν» πλέον με μεγάλες ταχύτητες.

### **1.3 Η τεχνολογία πίσω από τα συστήματα CAD**

Τα τυπικά σύγχρονα παραμετρικά συστήματα μοντελοποίησης και επιφανειών ελεύθερης μορφής βασισμένα σε παραμετρικά χαρακτηριστικά είναι χτισμένα γύρω από έναν αριθμό βασικών μονάδων C με τα δικά τους API. Ένα σύστημα CAD μπορεί να θεωρηθεί ότι δημιουργείται από την αλληλεπίδραση μιας γραφικής διεπαφής χρήστη (GUI) με δεδομένα γεωμετρίας ή αναπαράστασης ορίων, μέσω ενός πυρήνα γεωμετρικής μοντελοποίησης. Ένας κινητήρας περιορισμού γεωμετρίας μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τη διαχείριση των συσχετιστικών σχέσεων μεταξύ της γεωμετρίας, όπως η γεωμετρία πλαισίων καλωδίων σε ένα σκίτσο ή εξαρτήματα σε ένα συγκρότημα.

Οι απροσδόκητες δυνατότητες αυτών των συσχετιστικών σχέσεων οδήγησαν σε μια νέα μορφή πρωτοτύπων που ονομάζεται ψηφιακή πρωτότυπη. Σε αντίθεση με τα φυσικά πρωτότυπα, τα οποία συνεπάγονται χρόνο κατασκευής στο σχεδιασμό. Τούτου λεχθέντος, τα μοντέλα CAD μπορούν να δημιουργηθούν από έναν υπολογιστή αφού σαρωθεί το φυσικό πρωτότυπο χρησιμοποιώντας μια βιομηχανική μηχανή σάρωσης. Ανάλογα με τη φύση της επιχείρησης, μπορούν αρχικά να επιλεγούν ψηφιακά ή φυσικά πρωτότυπα σύμφωνα με συγκεκριμένες ανάγκες.

Σήμερα, υπάρχουν συστήματα CAD για όλες τις μεγάλες πλατφόρμες (Windows, Linux, UNIX και Mac OS X). Ορισμένα πακέτα υποστηρίζουν

πολλαπλές πλατφόρμες. Επί του παρόντος, δεν απαιτείται ειδικό υλικό για τα περισσότερα λογισμικά CAD. Ωστόσο, ορισμένα συστήματα CAD μπορούν να κάνουν εντατικές εργασίες, γραφικά και υπολογιστικά, επομένως μπορεί να συνιστάται μια σύγχρονη κάρτα γραφικών, CPU υψηλής ταχύτητας και μεγάλες ποσότητες μνήμης RAM.

Η διεπαφή ανθρώπου-μηχανής είναι γενικά μέσω ενός ποντικιού υπολογιστή, αλλά μπορεί επίσης να γίνει μέσω γραφίδας ή tablet ψηφιοποίησης. Ορισμένα συστήματα υποστηρίζουν επίσης στερεοσκοπικά γυαλιά για την προβολή του τρισδιάστατου μοντέλου. Τεχνολογίες που στο παρελθόν περιορίζονταν σε μεγαλύτερες εγκαταστάσεις ή εξειδικευμένες εφαρμογές έχουν γίνει διαθέσιμες σε μια ευρεία ομάδα χρηστών.

Με βάση τα στατιστικά στοιχεία της αγοράς, το εμπορικό λογισμικό της Autodesk, της Dassault Systems, της Siemens PLM Software και της PTC κυριαρχούν στη βιομηχανία. Στην παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε με το λογισμικό solid works, της Dassault Systems, η οποία αγόρασε το προϊόν, από την SolidWorks Corporation, το 1997.

#### **1.4 Περιγραφή του λογισμικού «SolidWorks»**

Το λογισμικό SolidWorks δημιουργήθηκε το 1995, από την SolidWorks Corporation. Η κεντρική ιδέα ήταν να δημιουργηθεί ένα CAD λογισμικό προσιτό στην τιμή και στην χρήση, ώστε να υπάρχει μια μοντελοποίηση ενός αντικειμένου πριν από την παραγωγή του, προκειμένου να μελετηθούν ατέλειες, λάθη και καινούριες ιδέες για ευχρηστία ή/και οικονομία.

Το λογισμικό αυτό χρησιμοποιεί ένα σύνολο αρχών για την μαθηματική και υπολογιστική μοντελοποίηση, σε τρεις διαστάσεις. Οι παράμετροι που θέτονται για κάθε σχεδιασμό αφορούν περιορισμούς των οποίων οι τιμές καθορίζουν το σχήμα και τη γεωμετρία του μοντέλου. Αυτές οι παράμετροι μπορούν να είναι είτε αριθμητικές π.χ. μήκη γραμμών, ακτίνες κύκλων κλπ. Είτε γεωμετρικές π.χ. εφαπτομένη, ομόκεντρα κλπ. Ύστερα συσχετίζονται μεταξύ τους μέσω σχέσεων και επιτρέπεται έτσι να υπάρχει ένας άριστα σωστός σχεδιασμός.

Ο σχεδιασμός είναι ο τρόπος με τον οποίο ο δημιουργός θα θέλει να ανταποκριθεί στις αλλαγές και στις ενημερώσεις. Έτσι, για παράδειγμα μπορεί να σχεδιαστεί μια τρύπα στην κορυφή ενός κυλίνδρου και να είναι ανεξάρτητη από το ύψος ή το μέγεθος του κυλίνδρου. Να είναι, δηλαδή, ένα διαφορετικό χαρακτηριστικό, παρά το γεγονός πως αποτελεί μέρος του ίδιου συνόλου.

Ένα σύνολο, λοιπόν, αποτελείται από χαρακτηριστικά, τις δομικές μονάδες του κάθε τμήματος. Αυτά, βάση του σχήματος ξεκινούν συνήθως με ένα γεωμετρικό 2D ή 3D σκίτσο, όπως τρύπες, σχισμές, γραμμές κλπ. Τοποθετούνται συγκεκριμένες διαστάσεις και στη συνέχεια αυτά τα σχήματα «εξωθούνται» (extrude) για πρόσθεση ή αφαίρεση υλικού, από το τμήμα. Επίσης υπάρχουν και άλλου είδους χαρακτηριστικά για εξομαλύνσεις και άλλα.

Στη συναρμολόγηση των τμημάτων, ώστε να δημιουργηθεί ένα τελικό σύνολο οι σχέσεις των σκίτσων και των τμημάτων ονομάζονται «mates». Αυτός είναι ο τρόπος που ένα μέρος «κλειδώνει» με ένα άλλο. Βάση της γεωμετρίας τα «mates» ορίζουν ισοδύναμες σχέσεις και κάνουν τη συναρμολόγηση ακριβής και εύκολη. Επιτρέπεται έτσι στο χρήστη να παρατηρήσει την λειτουργία και την κίνηση ενός μοντέλου και να ελέγξει για πιθανά λάθη ή

ατέλειες, που θα ήταν καταστροφικά για ένα μοντέλο ή ακόμα και για τον χρήστη του προϊόντος.

## **Κεφάλαιο 2ο: Ο υδραυλικός κύλινδρος**

### **2.1 Ο υδραυλικός κύλινδρος και οι αρχές που τον διέπουν**

Η αξιοποίηση της δύναμης του υγρού σε κίνηση δεν είναι κάτι καινούργιο. Είναι μια ισχυρή πηγή ενέργειας για χιλιάδες χρόνια, μέχρι σήμερα, και αναπόσπαστο μέρος της προόδου της ανθρωπότητας. Αρχικά, το νερό χρησιμοποιήθηκε για την περιστροφή τροχών και την ώθηση των μοχλών. Τα υδραυλικά έχουν εξελιχθεί τον περασμένο αιώνα σε αυτό που γνωρίζουμε ως ρευστή ισχύ με τους σημερινούς όρους. Όμως, ακόμη και καθώς η τεχνολογία των υδραυλικών κυλίνδρων προχωρά, οι βασικές αρχές της ισχύος του υγρού εξακολουθούν να ισχύουν σήμερα: η στήριξη σε υγρά υπό πίεση για την παραγωγή ισχυρών δυνάμεων.

Η χρήση της ρευστής ενέργειας χρονολογείται χιλιάδες χρόνια πίσω, όταν οι αρχαίοι Αιγύπτιοι χρησιμοποιούσαν υδραυλικά για την άρδευση των καλλιεργειών. Αλλά πολύ αργότερα οι νόμοι της υδροδυναμικής ανακαλύφθηκαν και παρουσιάστηκαν στις μάζες. Περί το 1648, ο Γάλλος φυσικός Blaise Pascal συνειδητοποίησε ότι η πίεση σε ένα περιορισμένο υγρό ασκούσε ίση δύναμη προς όλες τις κατευθύνσεις και αυτές οι δυνάμεις μπορούσαν να αξιοποιηθούν. Σχεδόν 100 χρόνια αργότερα, το 1738, ο Daniel Bernoulli χρησιμοποίησε την ανακάλυψη της ρευστής ισχύος του Pascal πιέζοντας νερό σε αντλίες και μύλους χρησιμοποιώντας αυτό που σήμερα είναι γνωστό ως η αρχή του Bernoulli. Το 1795 ο Joseph Bramah κατοχυρώνει με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το πρώτο υδραυλικό πιεστήριο στην Αγγλία, ανοίγοντας το δρόμο για τη βιομηχανική επανάσταση. Οι υδραυλικές πρέσες εκμεταλλεύονταν την ισχύ του υγρού για να αυτοματοποιήσουν όλους τους τύπους κατασκευαστικού εξοπλισμού, από πιεστήρια εκτύπωσης και γεραμούς έως μηχανές κοπής και σφράγισης.

Οι υδραυλικοί κύλινδροι παίρνουν την ισχύ τους από το υδραυλικό υγρό, το οποίο είναι συνήθως ορυκτέλαιο και στο οποίο ασκείται πίεση. Λάδια τέτοιου τύπου είναι ιδανικά, διότι η σύστασή τους δεν αλλάζει με την άσκηση πίεσης. Ο υδραυλικός κύλινδρος αποτελείται από μία κυλινδρική κάννη, στην οποία ένα έμβολο (πιστόνι) συνδεόμενο με μία ράβδο κινείται εμπρός και πίσω. Εμπρός και πίσω υπάρχουν καπάκια, τα οποία σφραγίζουν το έμβολο και τους θαλάμους. Μέσω μιας αντλίας παρέχεται μία σταθερή ή ρυθμιζόμενη ροή λαδιού στον υδραυλικό κύλινδρο για να κινείται το έμβολο. Το έμβολο σπρώχνει το λάδι εμπρός και πίσω στους θόλους αποθήκευσης (ρεζερβουάρ) και καύσης. Αφού, έγινε μια βασική επεξήγηση του πως δουλεύει, ο υδραυλικός κύλινδρος είναι ένας μηχανικός ενεργοποιητής που χρησιμοποιείται για να δώσει μία κατευθυντήρια δύναμη μέσω μίας διαδρομής.

### **2.2 Υδραυλικοί κύλινδροι σήμερα**

Οι σημαντικές εξελίξεις τα τελευταία 75 χρόνια έχουν φέρει τη δύναμη των υδραυλικών σε κάθε αγορά που μπορεί κανείς να φανταστεί. Οι υδραυλικοί

κύλινδροι χρησιμοποιούνται σε γεραμούς, επιφάνειες ελέγχου αεροσκαφών και εξοπλισμό προσγείωσης, πλοία και μεγάλα σκάφη, εξοπλισμό υπερράκιων γεωτρήσεων και εξόρυξης και διάφορους τύπους μηχανημάτων. Τα υδραυλικά χρησιμοποιούνται ακόμη και σε εφαρμογές υδροηλεκτρικής ενέργειας και παραγωγής ενέργειας.

Μπορούν να παρέχουν έως και 10 φορές την ισχύ ενός ηλεκτροκινητήρα, καθιστώντας τα ιδανικά για βαριές εφαρμογές ώθησης, έλξης και ανύψωσης. Ο ακριβής έλεγχος καθιστά επίσης ασφαλέστερη την εργασία πάνω ή γύρω από τον υδραυλικό εξοπλισμό.

Αυτό που ξεκίνησε με την αρχική ανακάλυψη της ισχύος ρευστού από τον Blaise Pascal και τον Joseph Bramah, που σχεδίασε την πρώτη υδραυλική πρέσα, έχει εξελιχθεί σε τεχνολογικά προηγμένους «έξυπνους» υδραυλικούς κύλινδρους που μπορούν να ελεγχθούν χρησιμοποιώντας έναν υπολογιστή.

### 2.3 Μέρη υδραυλικού κυλίνδρου

Εδώ θα παραθέσουμε τα μέρη από τα οποία αποτελείται ο υδραυλικός κύλινδρος:

- Κάννη κυλίνδρου

Αποτελεί το σώμα του κυλίνδρου και η χρησιμότητά της είναι να διοχετεύει την πίεση που δημιουργείται εντός του κυλίνδρου. Είναι κατασκευασμένη, κυρίως, από ειδικά ακονισμένους σωλήνες. Οι ακονισμένοι σωλήνες παράγονται από χάλυβα και είναι κατάλληλα επεξεργασμένοι, για να μην έχουν το παραμικρό ίχνος τριβής. Η ακονισμένη σωλήνωση είναι άμεσα έτοιμη για χρήση σε υδραυλικούς κύλινδρους, χωρίς περαιτέρω επεξεργασία της εσωτερικής τους διαμέτρου. Το φινίρισμα της επιφάνειας του κυλίνδρου είναι συνήθως 4 έως 16 μικροίντσες. Η διαδικασία λείανσης με ειδικά υλικά κοπής, απόξεσης και φινιρίσματος είναι οι κύριοι τύποι διαδικασιών για την κατασκευή σωλήνων κυλίνδρων. Εντός αυτής είναι που το έμβολο παλινδρομεί. Η κάννη του κυλίνδρου έχει χαρακτηριστικά λεία εσωτερική επιφάνεια και είναι εξαιρετικά ανθεκτική στη χρήση.

- Καπάκια κυλίνδρου

Η κύρια λειτουργία των καλυμμάτων αυτών είναι ένα περικλείουν την πίεση μέσα στο θάλαμο. Από τη μια πλευρά υπάρχει το μπροστινό καπάκι και αντιθέτως, στην άλλη υπάρχει το οπίσθιο καπάκι. Συνδέονται με το κύριο σώμα μέσω συγκόλλησης, αλλά και με βίδες και μπουλόνια. Το μέγεθός τους προσδιορίζεται ανάλογα με την τάση της κάμψης. Για να επιτευχθεί απόλυτη μόνωση, μεταξύ αυτών και της κάννης, χρησιμοποιείται στατικό στεγανοποιητικό ή/και ένας ειδικός στατικός δακτύλιος μεταξύ του καπακιού και τις κάννης.

- Έμβολο (πιστόνι)

Η λειτουργία του εμβόλου είναι να διαχωρίζει τις ζώνες πίεσης μέσα στην κάννη. Το έμβολο είναι καταλλήλως κατεργασμένο, ώστε να έχει αυλακώσεις, για να εφαρμόζει πάνω του ελαστομερή ή μεταλλικά στεγανοποιητικά και ρουλεμάν. Αυτές οι στεγανοποιήσεις μπορεί να είναι μονής ή διπλής δράσης. Η διαφορά πίεσης μεταξύ των δύο πλευρών του εμβόλου προκαλούν την επέκταση και την επιστροφή της ράβδου.

- Ράβδος



Η ράβδος του εμβόλου είναι συνήθως ένα σκληρό κομμάτι χάλυβα, με χρώμιο, το οποίο συνδέεται με το έμβολο και εκτείνεται σε όλο το μήκος του κυλίνδρου. Είναι υψίστης σημασίας, διότι, αυτό είναι το κομμάτι το οποίο ενώνει τον υδραυλικό ενεργοποιητή με την μηχανή που κάνει μία εργασία. Η ράβδος είναι εξαιρετικά λεία, ώστε να προσφέρει επαρκής μόνωση και έτσι να προλαμβάνονται τυχόν διαρροές.

- Άγκιστρα

Ένας υδραυλικός κύλινδρος αναγκαστικά θα αποτελείται από μπροστά και πίσω άγκιστρα, τα οποία χρησιμεύουν στην εφαρμογή του κυλίνδρου επάνω στη μηχανή για την οποία χρειάζεται να παραχθεί δύναμη. Με λίγα λόγια, η μία πλευρά είναι για στήριξη/σταθεροποίηση και η άλλη πλευρά αποτελεί τη σύνδεση του κυλίνδρου με την οποιαδήποτε μηχανή. Συνήθως σε αυτά τα άγκιστρα τοποθετούνται και ρουλεμάν προκειμένου να καλύπτεται η όποια απόκλιση της ευθυγράμμισης, μεταξύ των συνδεδεμένων εξαρτημάτων, αλλά και να ελαχιστοποιείται και να διευκολύνεται η τριβή και η περιστροφή.

## Κεφάλαιο 3ο: Υλοποίηση υδραυλικού κυλίνδρου με το SolidWorks

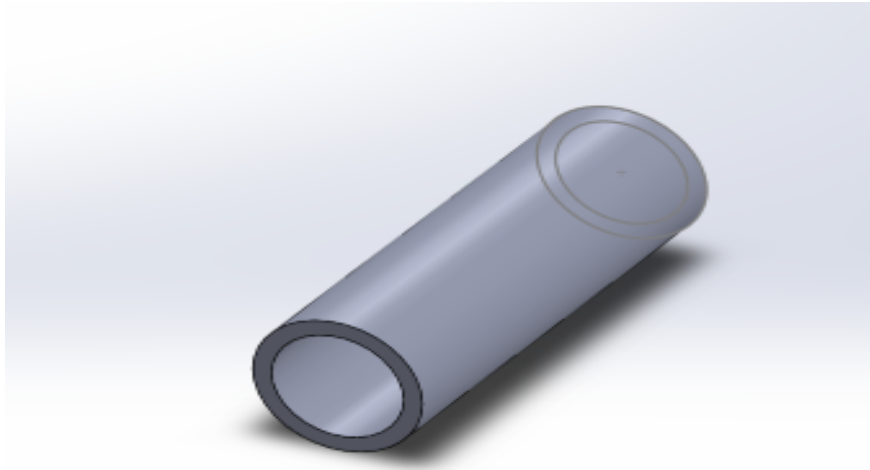
### Εισαγωγή

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα αναλυθεί βήμα – βήμα η σχεδίαση ενός υδραυλικού εργαλείου. Ειδικότερα ένας υδραυλικός κύλινδρος. Θα παρουσιαστεί, έτσι, η χρησιμότητα του λογισμικού και η ευκολία που μπορεί να παρέχει σε μια βιομηχανική επιχείρηση.

Προκειμένου να ξεκινήσουμε τα βήματα σχεδίασης του χρειάζεται να εκκινήσουμε το πρόγραμμα και να αρχικοποιήσουμε τις διαστάσεις σε κάθε νέο αρχείο που θα δημιουργούμε σε χιλιοστά (mm). Έπειτα θα επιλέγουμε **File -> New -> Part** και θα μπορούμε να ξεκινάμε την υλοποίηση του εκάστοτε «κομματιού».

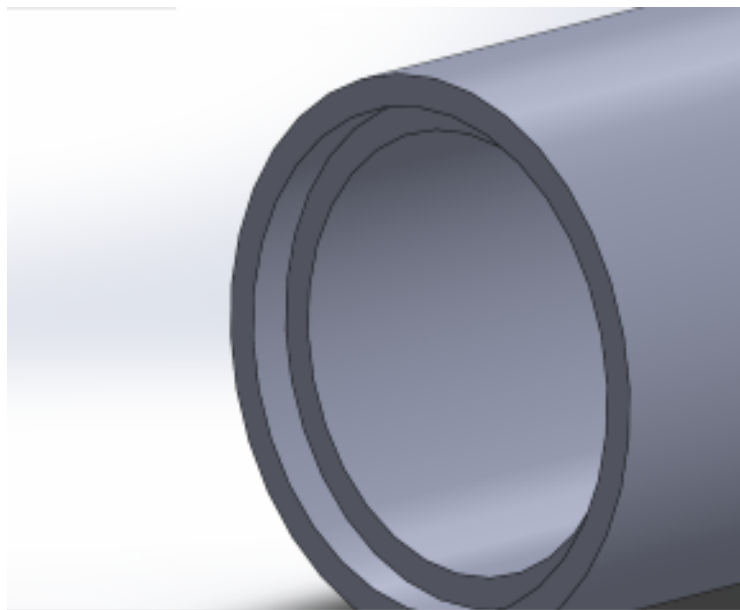
#### 3.1 Σχεδιασμός της κάννης

Επιλέγουμε το **Front Plane** και πατάμε **Sketch**. Σχεδιάζουμε δύο κύκλους διαστάσεων 114.3 και 88.9 χιλιοστά, αντίστοιχα.

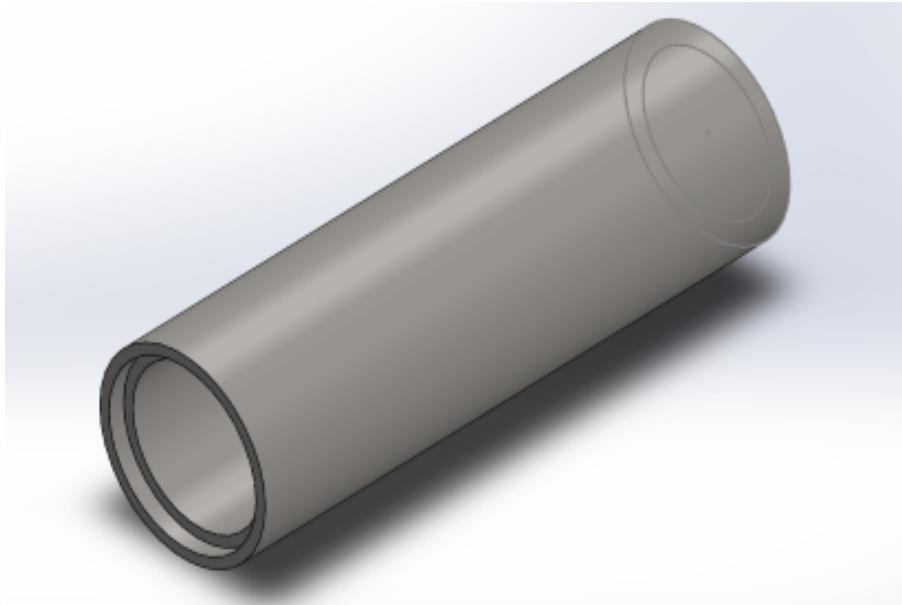


Επιλέγουμε το εργαλείο **Extruded Boss/Base**, ώστε να προστεθεί υλικό στο σχέδιο. Ορίζουμε βάθος 362.5 χιλιοστά και πατάμε **OK**.

Επιλέγουμε τη μια από τις δύο βάσεις και σχεδιάζουμε έναν ακόμα κύκλο με το **Circle Tool**, διαστάσεων 101.6 χιλιοστών. Εν συνεχεία επιλέγουμε **Extruded Cut** 10 χιλιοστών, για να αφαιρέσουμε υλικό, και πατάμε **Ok**.



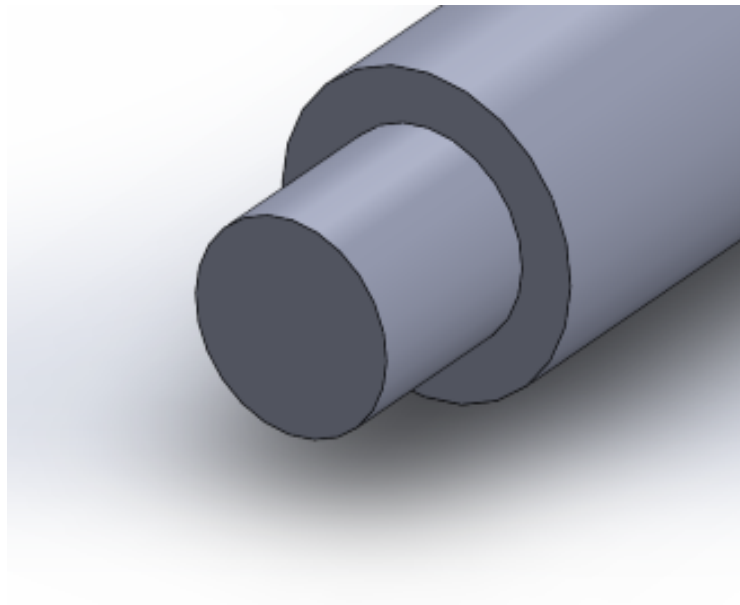
Για λόγους εμφάνισης μπορούμε να αλλάξουμε το υλικό από το οποίο αποτελείται το «κομμάτι» μας, καθώς και το χρώμα του. Για να το κάνουμε αυτό επιλέγουμε είτε το σύνολο του σχεδίου είτε τα μέρη της επιλογής μας, κρατώντας πατημένο το πλήκτρο **Ctrl** και επιλέγουμε το μέρος όπου επιθυμούμε να κάνουμε τις εν λόγω αλλαγές και επιλέγουμε το **Edit Appearance**. Έπειτα έχουμε τις επιλογές των υλικών (metal, aluminum κλπ.) και τις χρωματικές επιλογές.



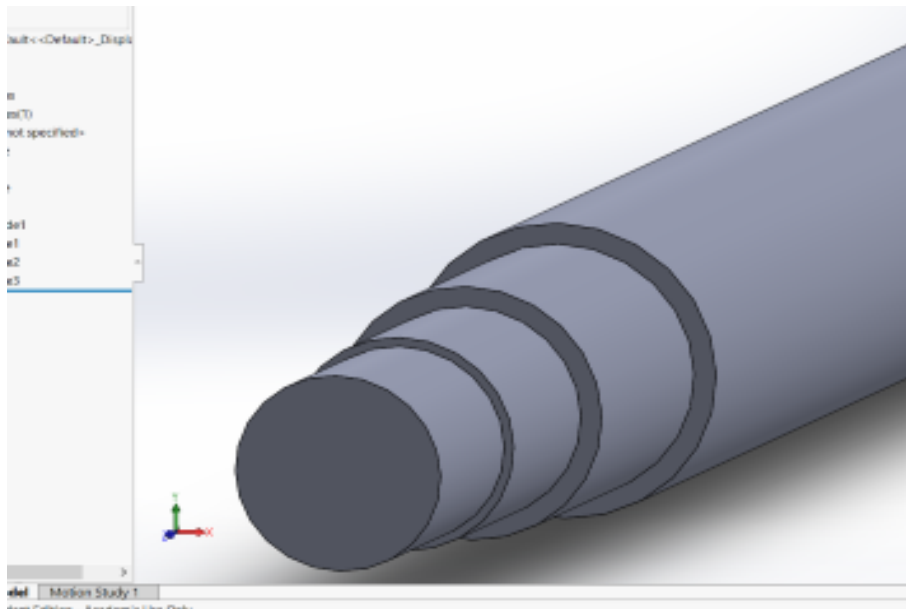
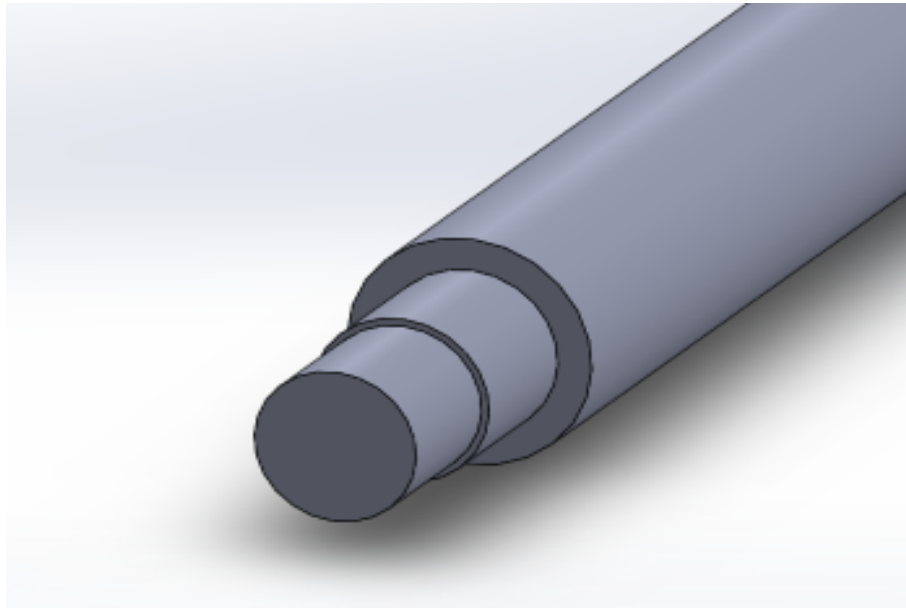
### 3.2 Σχεδιασμός της ράβδου

Επιλέγουμε το **Front Plane**, πατάμε **Sketch** και δημιουργούμε κύκλο 57.15 χιλιοστών. Κάνουμε **Extruded Boss/Base**, με το σχετικό εργαλείο, με 530 χιλιοστά βάθος και πατάμε **Ok**.

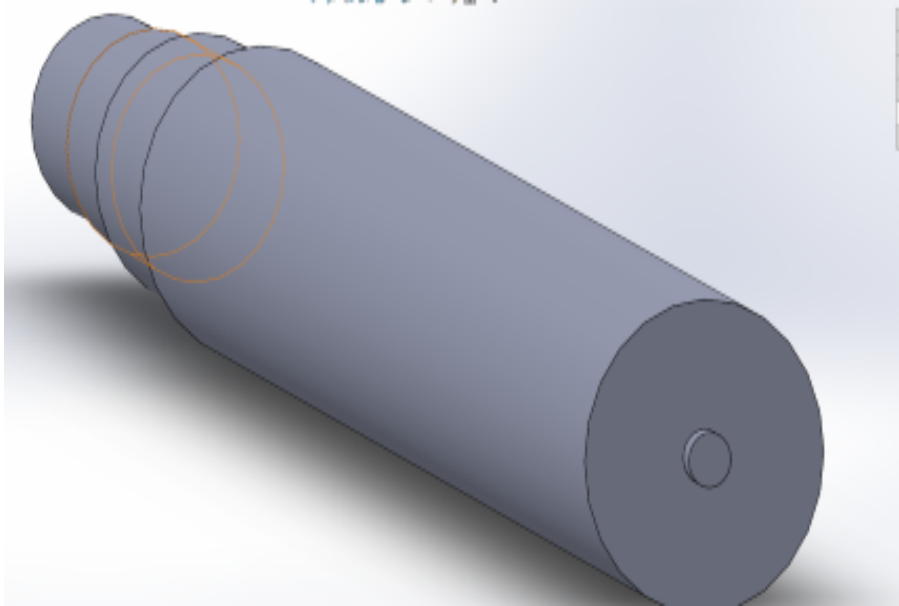
Έπειτα επιλέγουμε τη μια βάση του, σχεδιάζουμε εκ νέου κύκλο 37.8 χιλιοστών κάνουμε **extrude cut** 38 χιλιοστών, ενεργοποιώντας το **Flip Side to Cut**, για αντιστροφή της αφαίρεσης υλικού προς την αντίθετη πλευρά και πατάμε **Ok**.



Θα χρειαστεί να κάνουμε το ίδιο άλλες δύο φορές για να δημιουργήσουμε ακόμα δύο πτυχές στην ίδια βάση, δηλαδή τρεις συνολικά. Οπότε δημιουργούμε ξανά κύκλο 41.28 χιλιοστών και κάνουμε **Extrude Cut** και ακόμα έναν με διαστάσεις 40 χιλιοστά και **Extrude Cut** 55 χιλιοστών.

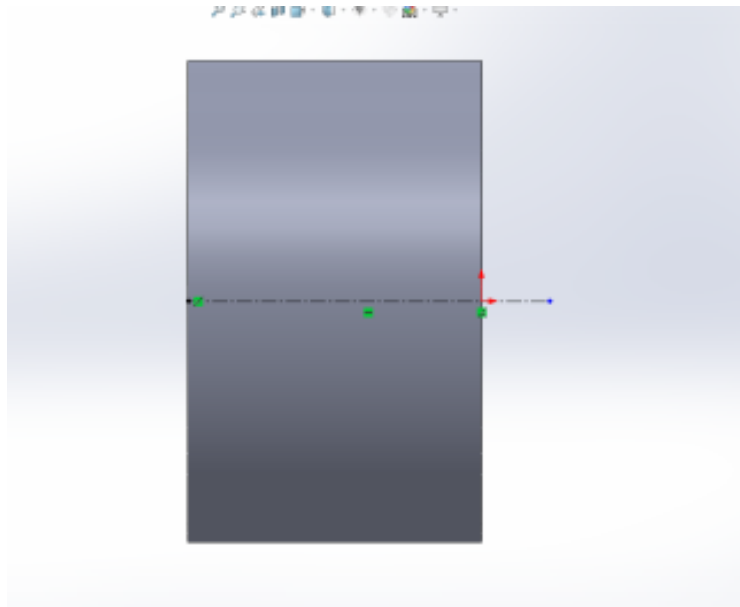


Στην άλλη βάση, που ακόμα παραμένει λεία, θα σχεδιάσουμε μια πτυχή, η οποία θα κουμπώνει με ένα άγκιστρο που θα παρουσιαστεί σε προσεχές βήμα. Οπότε, σχεδιάζουμε κύκλο 10 χιλιοστών και κάνουμε **Extrude Cut** 5 χιλιοστών. Επιλέγουμε την πτυχή αυτή και με το εργαλείο chamfer θα εξομαλύνουμε τις άκρες της κατά 1 χιλιοστό, ώστε να μην χαλάσουν, όταν το πιστόνι θα τεθεί σε χρήση.

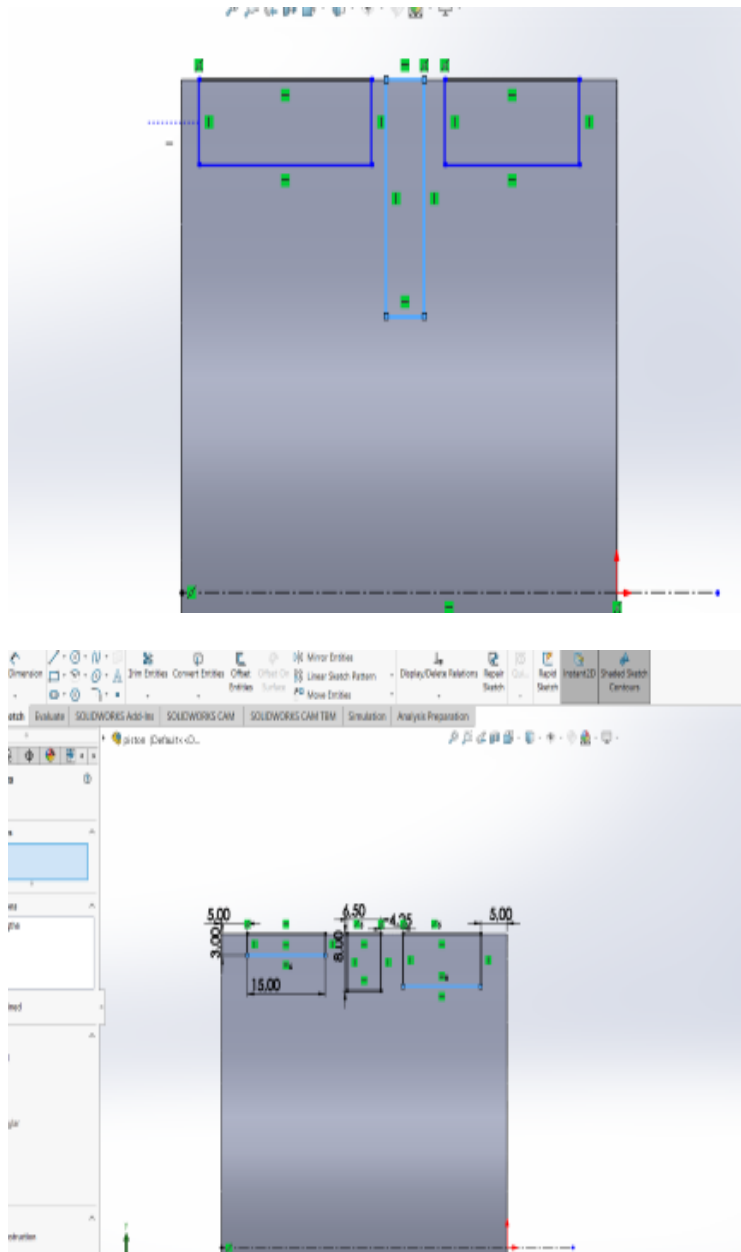


### 3.3 Σχεδιασμός του εμβόλου (πιστόνι)

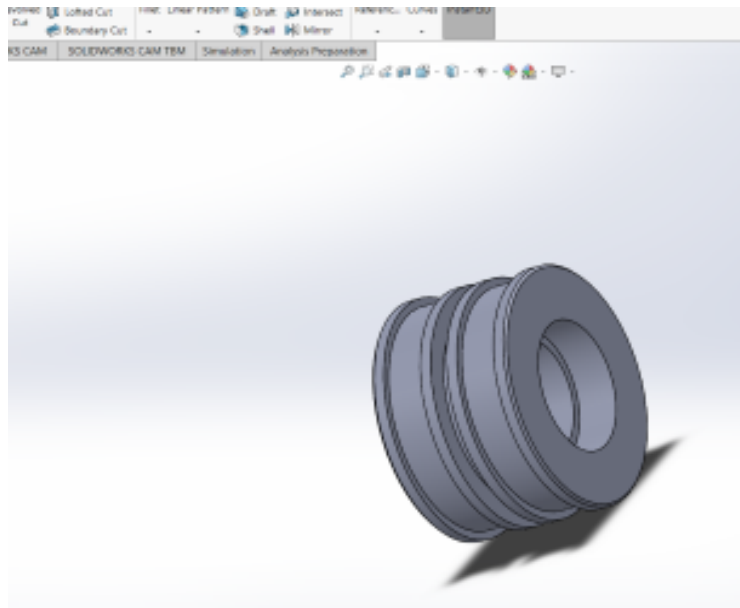
Επιλέγουμε το **Front Plane** και σχεδιάζουμε 2 κύκλους 88.35 και 41.25 χιλιοστών. Από το μενού **Features** επιλέγουμε **Extruded Boss/Base** με αντίθετη κατεύθυνση (**Reverse Direction**). Επιλέγουμε βάθος 55 χιλιοστών. Εν συνεχεία θα δημιουργήσουμε τις αυλακώσεις του εμβόλου. Επιλέγουμε το **Right Plane** και σχεδιάσουμε στο κέντρο της μια γραμμή, με τη μορφή **Centerline**.



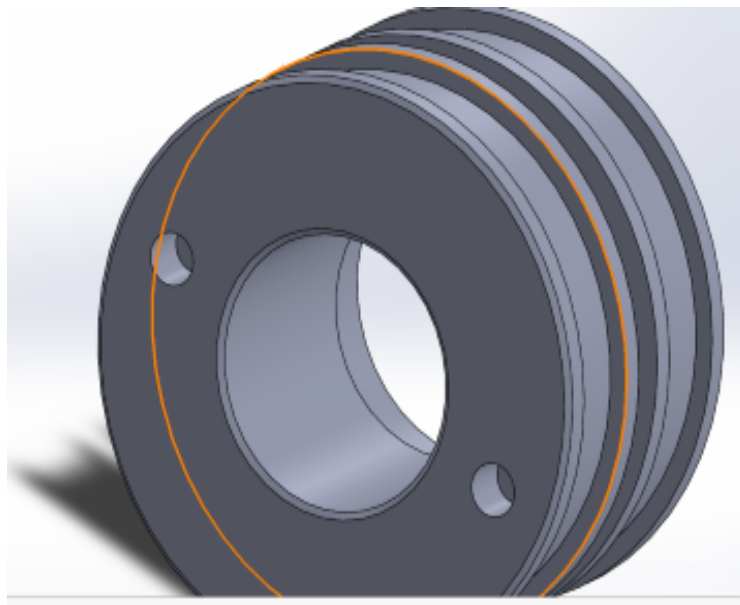
Αυτό, διότι, θα χρειαστεί να σχεδιάσουμε 3 ορθογώνια, στοιχισμένα σε ίσες αποστάσεις από το κέντρο του **Right Plane (Colinear)**. Θέτουμε τις επιθυμητές διαστάσεις με το εργαλείο **Smart Dimension**.



Κάνουμε **Extruded Cut** και πλέον δημιουργήσαμε τις αυλακώσεις που θέλαμε.



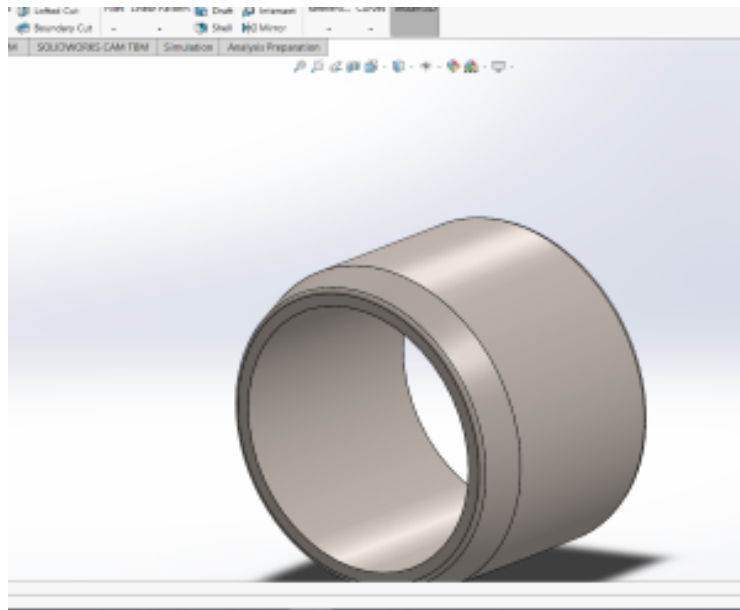
Επιλέγουμε, εκ νέου, το **Front Plane** και σχεδιάζουμε κύκλο. Ελέγχουμε η επιλογή **For Construction** να είναι επιλεγμένη. Αυτός ο κύκλος που σχεδιάσαμε θα είναι σημείο αναφοράς για να σχεδιάσουμε δύο νέους κύκλους, για τις πλαϊνές οπές του εμβόλου. Προσέχουμε οι δύο νέοι κύκλοι να είναι σωστά στοιχισμένοι και να έχουν ίδια ακτίνα. Με το εργαλείο **Extruded Cut** το υλικό αφαιρείται και οι οπές δημιουργούνται.



### 3.4 Σχεδιασμός του καπακιού εμβόλου

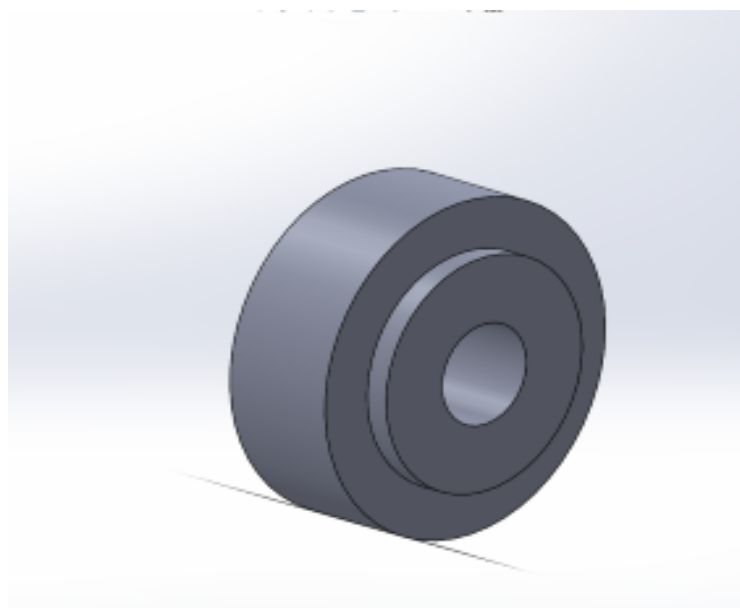
Επιλέγουμε **Front Plane** και **Sketch**. Φτιάχνουμε κύκλους 60 και 49 χιλιοστών. Κάνουμε **Extruded Boss/Base** με βάθος 40 χιλιοστά και επιλέγουμε **Ok**.

Εξομαλύνουμε με το εργαλείο **Fillet** τις εξωτερικές γωνίες του καπακιού, για αύξηση της αντοχής του, ως προς τις ενώσεις και με το εργαλείο **Chamfer** τις υπόλοιπες πτυχές.



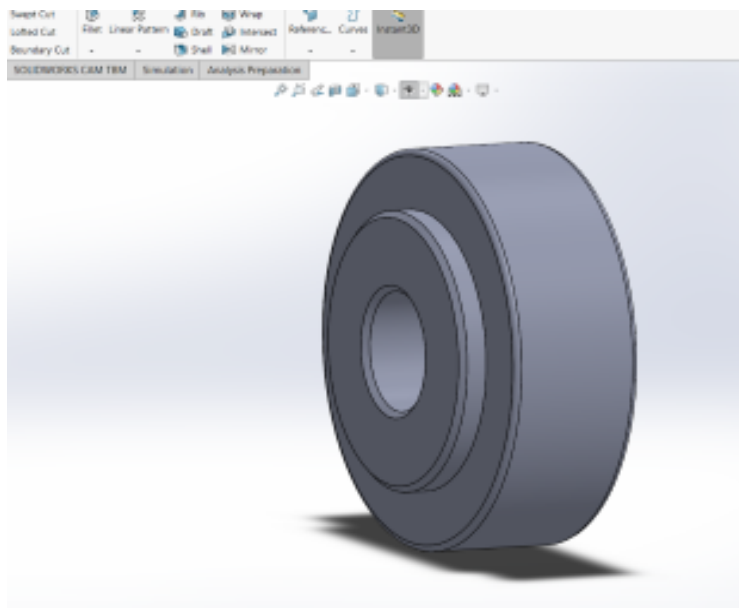
### 3.5 Σχεδιασμός του οπίσθιου καπακιού

Στο **Front Plane** σχεδιάζουμε ένα κύκλο, διάστασης 127 χιλιοστά. Επιλέγουμε **Extruded Boss/Base** με βάθος 43.3 χιλιοστά. Σε μια από τις δύο επιφάνειες σχεδιάζουμε, εκ νέου, κύκλο στα 88.9 χιλιοστά και κάνουμε **Extruded Boss/Base**, βάθους 8.7 χιλιοστά. Στο ίδιο σημείο σχεδιάζουμε νέο κύκλο, στα 38.2 χιλιοστά και πραγματοποιούμε διάτρηση, με το **Extruded Cut**, στα 38 χιλιοστά.

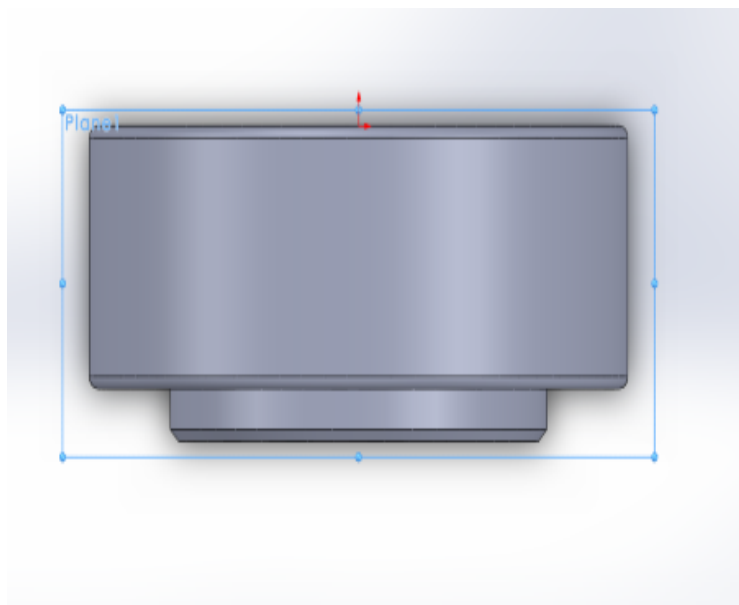




Εξομαλύνουμε τις πτυχές με τα εργαλεία **Chamfer** και **Fillet**.

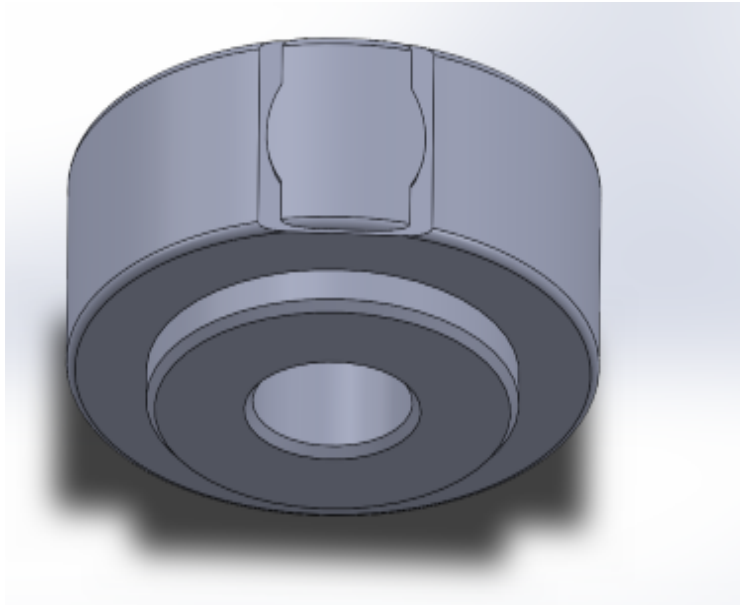


Τώρα θα δημιουργήσουμε ένα custom **Plane**, το οποίο θα αναφέρεται στο **Top Plane**.

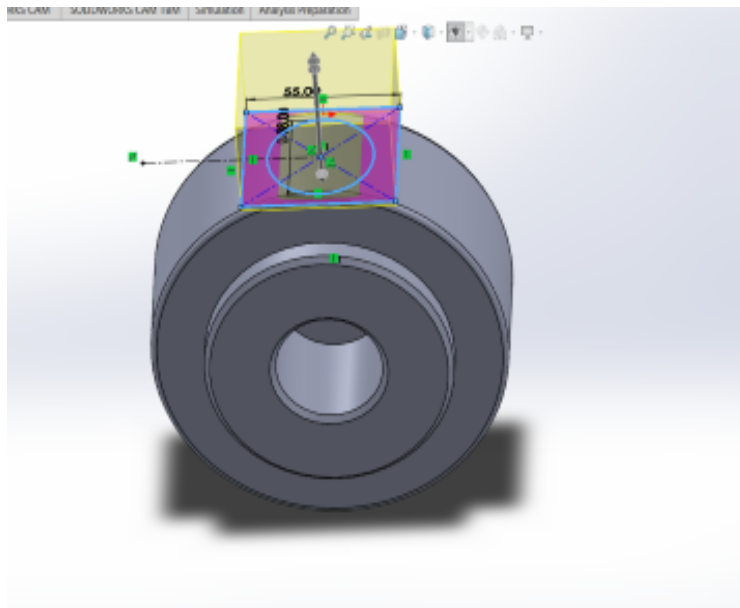


Επιλέγουμε το **Top Plane** και από το μενού **Features** επιλέγουμε **Reference Geometry**. Ορίζουμε το νέο **Plane1** να απέχει 61.6 χιλιοστά από το **Top Plane** και ξεκινάμε να σχεδιάζουμε πάνω του με το **Sketch**.

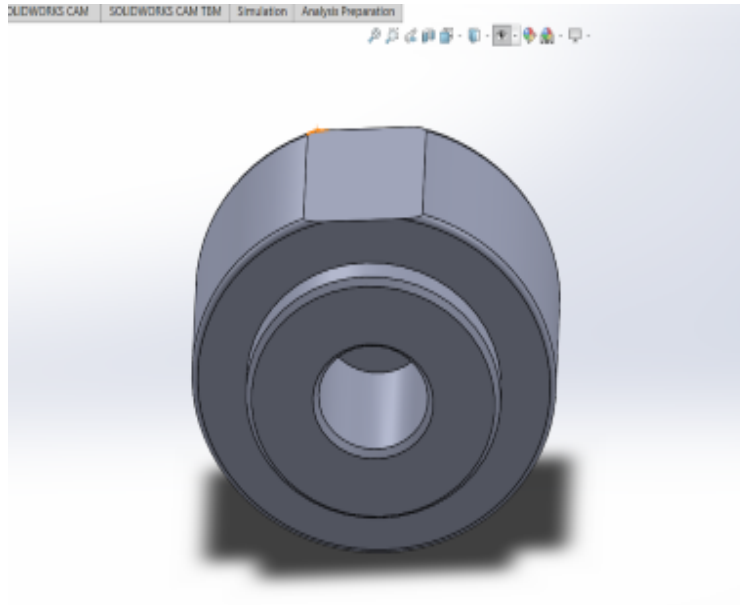
Προκειμένου να διατηρηθεί κούλο το νέο μας σχέδιο δημιουργούμε κύκλο 38 χιλιοστών. Με **Centerline** θα στοιχίζεται ακριβώς στο κέντρο του **Top Plane** και θα ισαπέχει από τις δύο πλευρές του. Πραγματοποιούμε διάτρηση 1.6 χιλιοστών.



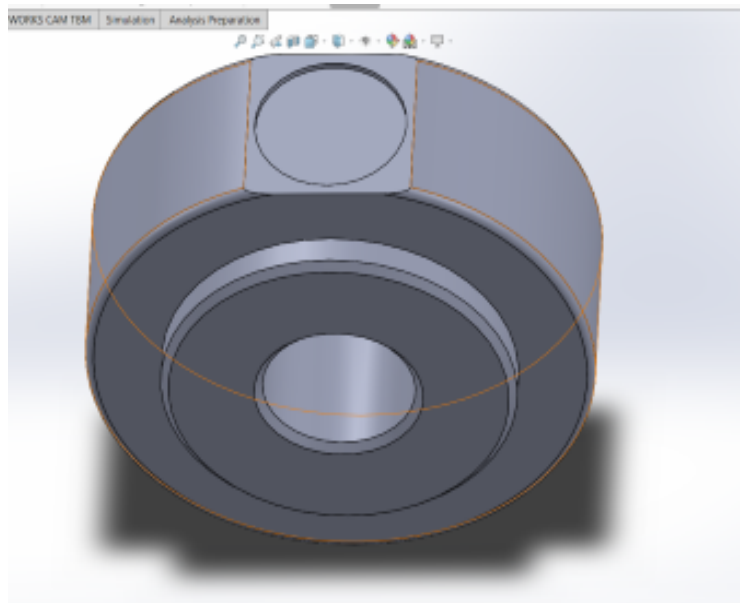
Από το κέντρο του τελευταίου **Sketch** σχεδιάζουμε τετράγωνο, με το **Rectangle Tool**, ο οποίος να έχει μήκος πλευράς τα 56 χιλιοστά. Με το **Extruded Cut** και την επιλογή **Opposite Direction** επιλεγμένη στα 31.6 χιλιοστά, κάνουμε αφαίρεση υλικού.



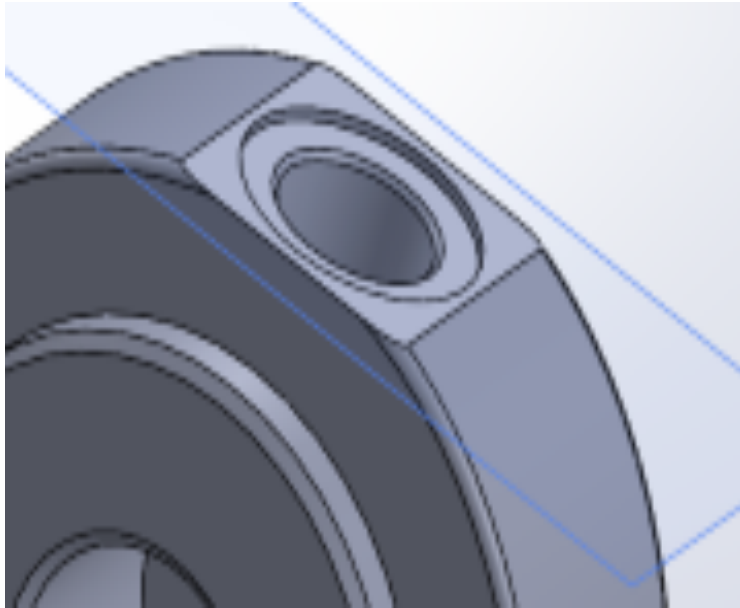
Οπότε και αφαιρεί υλικό προς τα πάνω, διατηρώντας έτσι το σχήμα ώστε να είναι κοίλο.



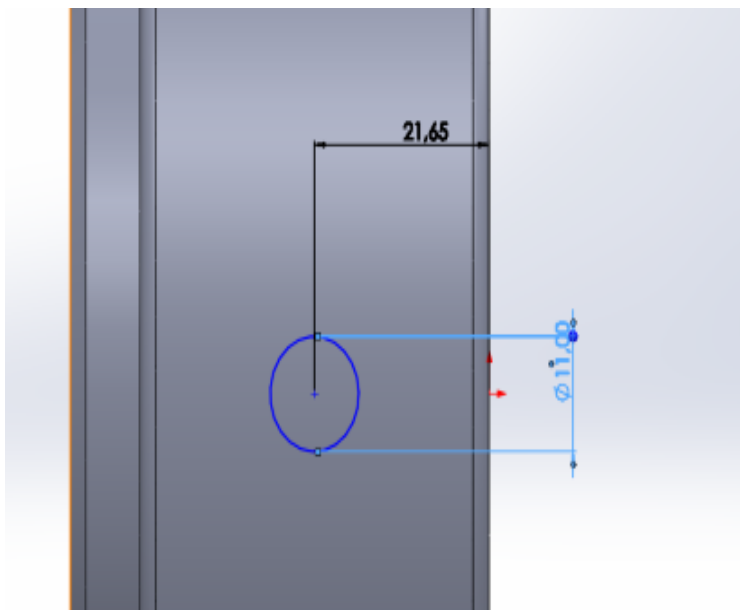
Επιλέγουμε τον κύκλο που σχεδιάσαμε προηγουμένως στο **Plane1** και πραγματοποιούμε νέα διάτρηση 3.2 χιλιοστών.



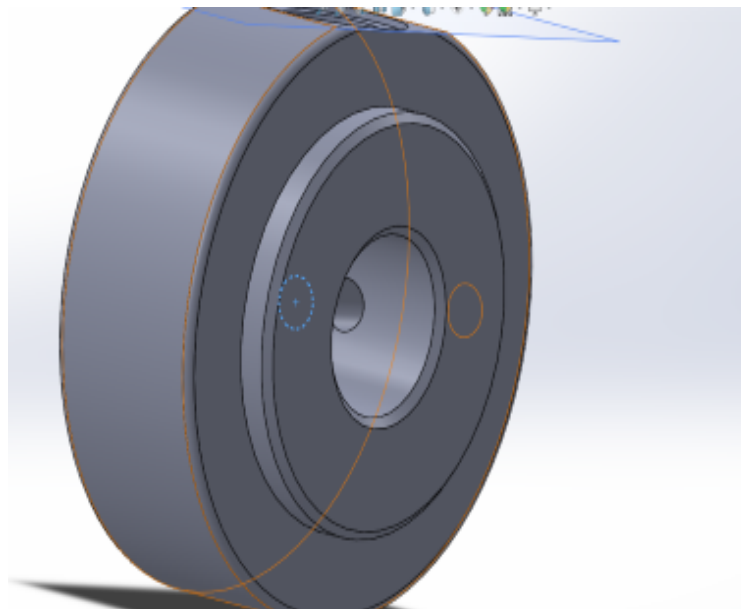
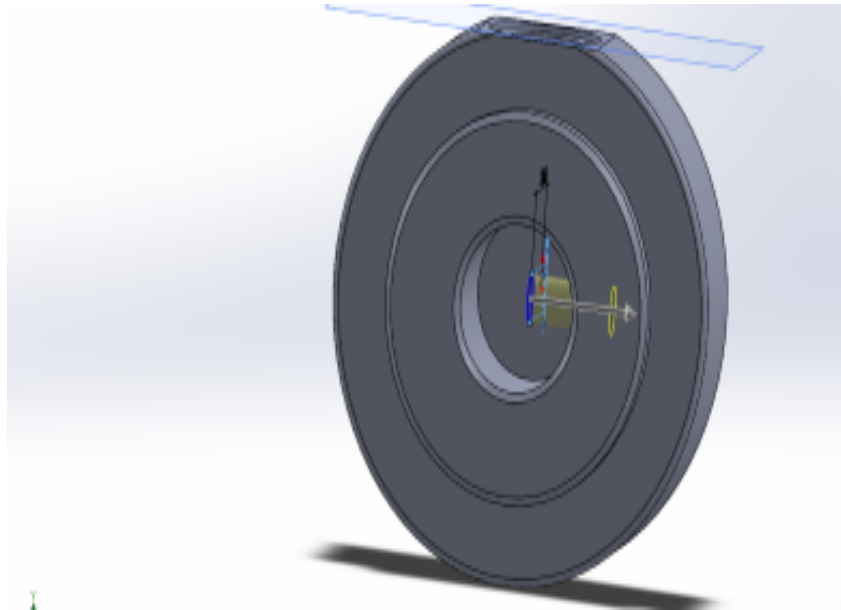
Αφού γίνει αυτό στο κέντρο, όπου πραγματοποιήθηκε η διάτρηση, ξανά-σχεδιάζουμε κύκλο 24.8 χιλιοστών. Επαναλαμβάνουμε ακόμα μια φορά τα ίδια βήματα αφαιρώντας υλικό στα 23 χιλιοστά και σχεδίαση νέου κύκλου 15 χιλιοστών με διάτρηση στα 28 χιλιοστά. Δημιουργήθηκαν έτσι οι αυλακώσεις του επάνω μέρους του οπίσθιου καπακιού, για να δημιουργείται μόνωση κατά τη λειτουργία του.



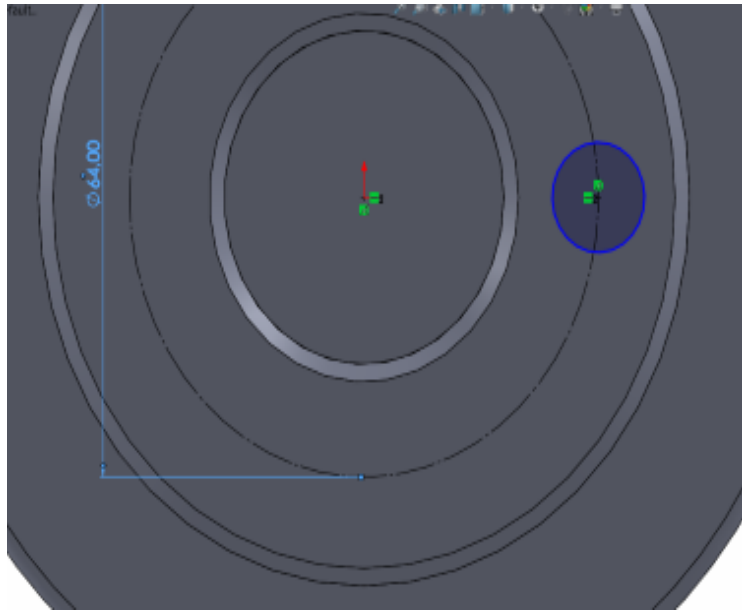
Ύστερα, σχεδιάζουμε κύκλο στο **Right Plane** του καπακιού, με διάσταση 11 χιλιοστά. Καθορίζουμε, επίσης, και να ισαπέχει από την δεξιά πλευρά και το κέντρο των αξόνων 21.65 χιλιοστά.



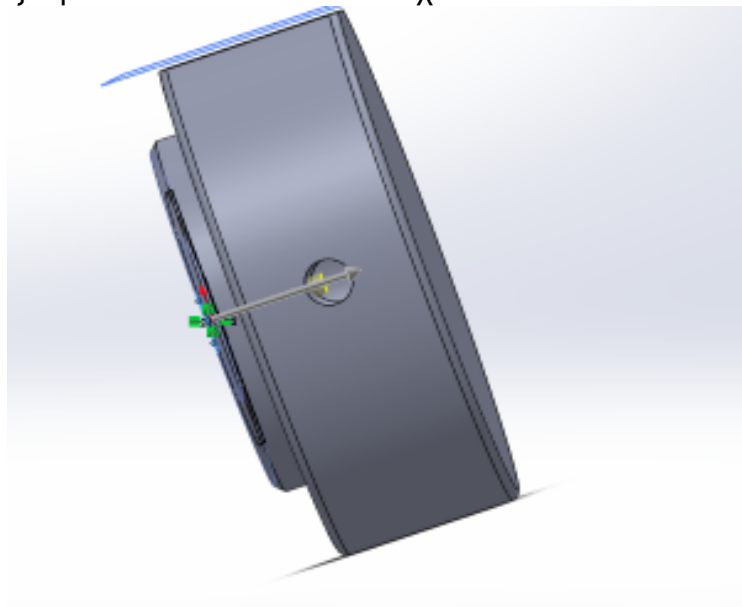
Κάνουμε διάτρηση, με το **Extruded Cut** και επιλέγουμε τη φορά **Through All**, για να τρυπηθεί εντελώς εκείνο το σημείο.



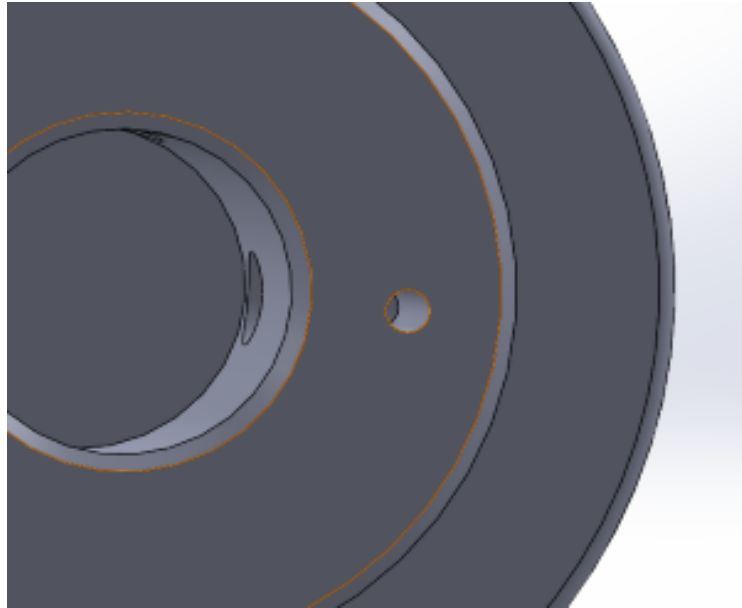
Στα αριστερά μας, όπου περιέχονται όλα τα βήματα και οι κινήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί, επιλέγουμε το **Boss Extrude2**, προκειμένου να σχεδιάσουμε επάνω του κύκλο με την επιλογή For Construction, επιλεγμένη. Θέτουμε διάσταση κύκλου στα 64 χιλιοστά. Όταν θα εμφανιστούν οι κίτρινες τελείες αναφοράς θα επιλέξουμε την δεξιά, χρησιμοποιώντας την ως κέντρο και σχεδιάζουμε κύκλο 5 χιλιοστών.



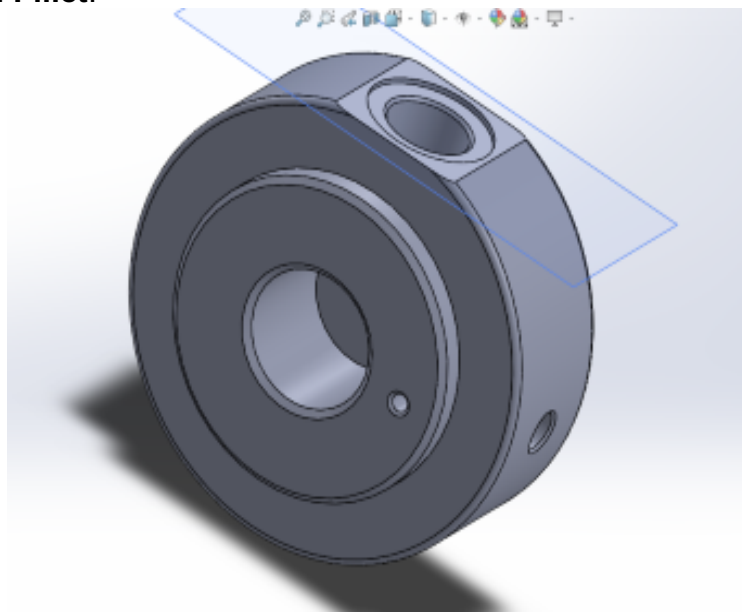
Εκεί θα επιλέξουμε **Extruded Cut** στα 28 χιλιοστά.



Οι τρύπες μεταξύ τους, πλέον, επικοινωνούν.



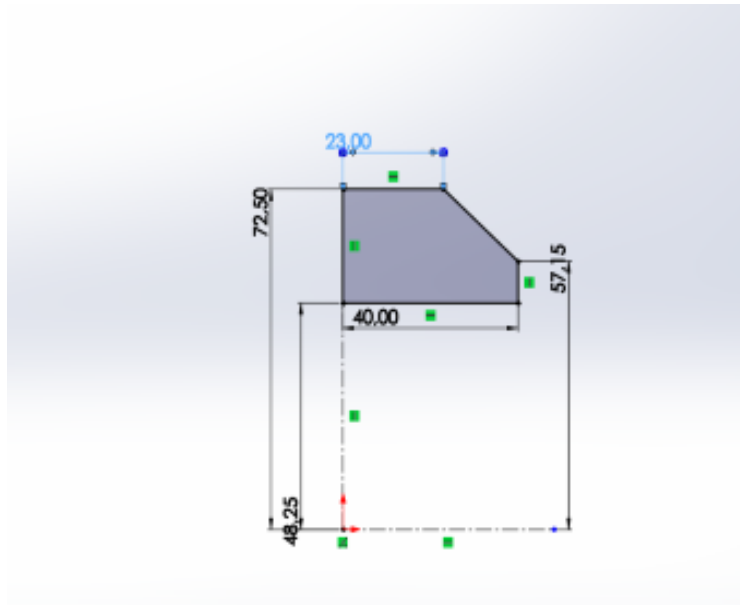
Ολοκληρώνουμε εξομαλύνοντας τις πτυχές του κομματιού, με τα εργαλεία **Chamfer** και **Fillet**.



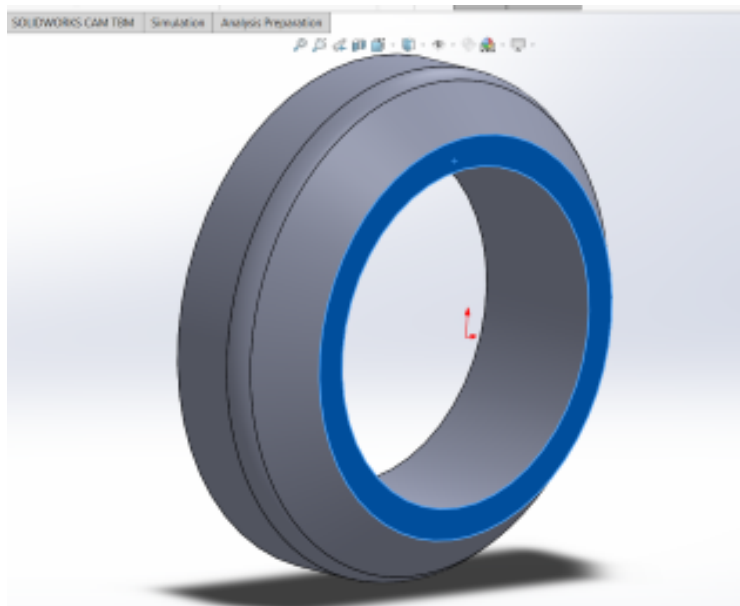
### 3.6 Σχεδιασμός του οπίσθιου καπακιού κάννης

Ξεκινάμε από το **Front Plane**. Προκειμένου να δημιουργηθούν οι πτυχές του καπακιού αυτού θα σχεδιασθεί μια σειρά από γραμμές, οι οποίες θα μας δώσουν γρηγορότερα το τελικό σχήμα.

Δημιουργούμε μια ορθή γωνία, χρησιμοποιώντας το εργαλείο **Centerline**, ώστε να έχουμε ως σημείο στοίχισης και ρύθμισης αποστάσεων το κέντρο των αξόνων. Τραβάμε τις απαιτούμενες γραμμές με το εργαλείο **Line Tool** και θέτουμε τις διαστάσεις που χρειαζόμαστε μέσω του **Smart Dimension**.

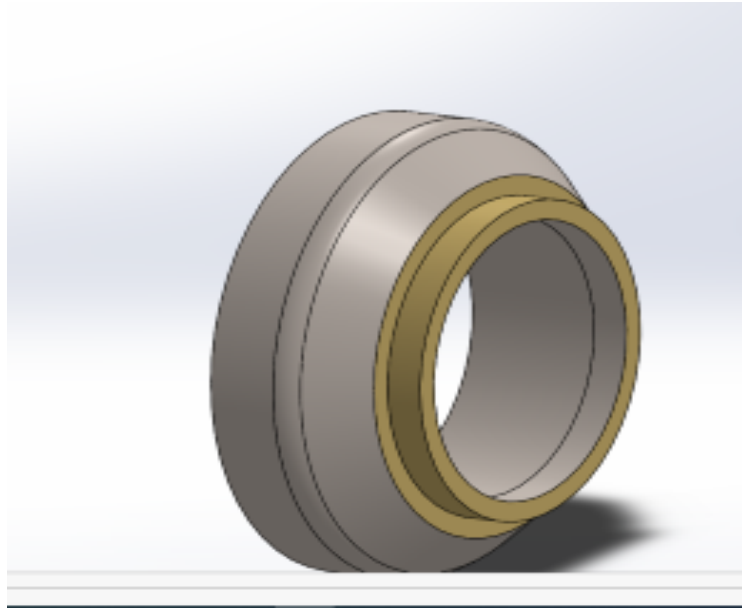


Δίνουμε 3D διαστάσεις στο σχέδιό μας, μέσω του **Revolved Boss/Base** – που χρησιμεύει για να δίνει κυκλικό σχήμα γύρω από άξονα που ορίζει ο χρήστης.

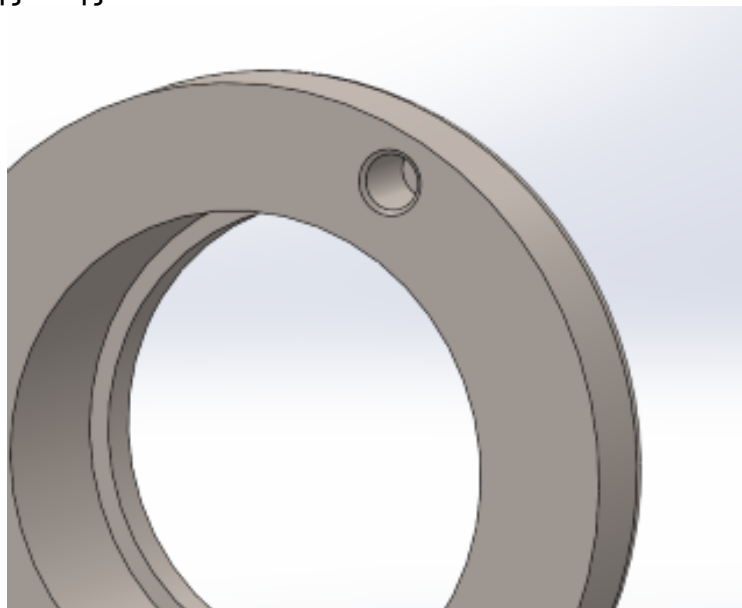


Το καπάκι κάννης άρχισε να παίρνει μορφή. Σχεδιάζουμε δύο νέους κύκλους, 101.6 και 88.9 χιλιοστά αντίστοιχα. Κάνουμε **Extruded Boss/Base** και προσθέτουμε την νέα πτυχή, που χρησιμεύει για μόνωση.

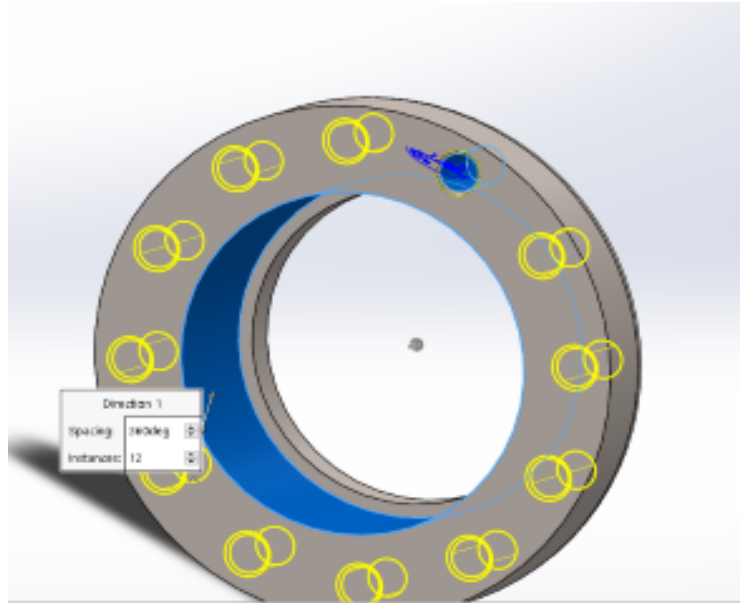




Θα χρειαστεί να δημιουργηθούν οπές για τις βίδες, που θα κλείνουν τα δύο καπάκια της κάννης. Στην πίσω πλευρά του καπακιού, λοιπόν, «τραβάμε» από το κέντρο, κύκλο - **For Construction** – διαμέτρου 125 χιλιοστών. Στο πάνω σημείο αναφοράς «τραβάμε» νέο κύκλο 10.7 χιλιοστών. Πραγματοποιούμε **Extruded Cut**, με βάθος 19.7 χιλιοστά. Με το εργαλείο **Chamfer** εξομαλύνουμε την πτυχή της οπής.

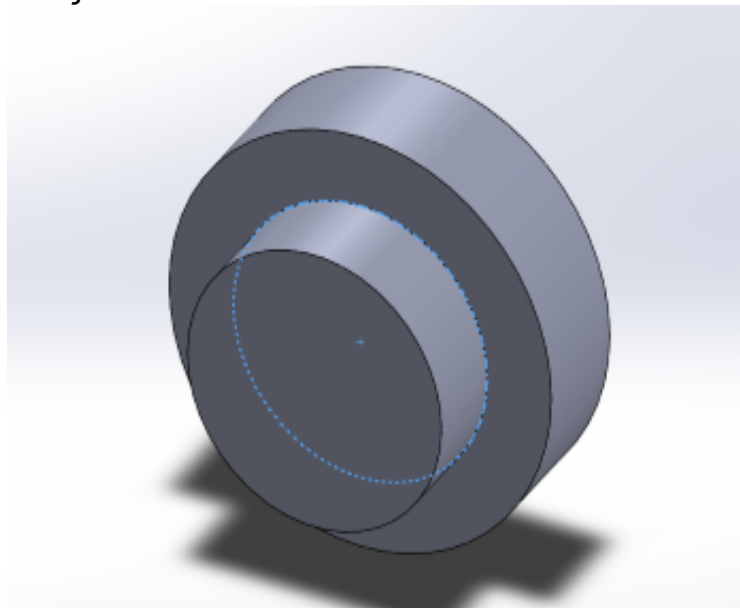


Τώρα θα έχουμε ως σημείο αναφοράς την οπή, που μόλις δημιουργήθηκε και θα χρησιμοποιήσουμε το εργαλείο **Circular Pattern**, ώστε να δημιουργηθεί αυτόματα ο προτιμητέος αριθμός οπών, κατά μήκος της επιφάνειας, με συγκεκριμένες αποστάσεις. Θέτουμε, λοιπόν, 12 επαναλήψεις, με 360 μοίρες επιφάνεια και την επιλογή **Equal Spacing** επιλεγμένη.

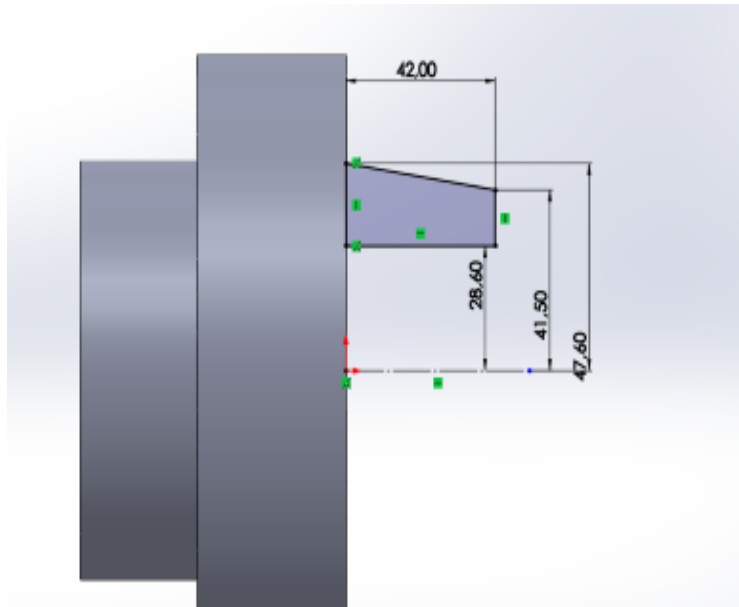


### 3.7 Σχεδιασμός του εμπρόσθιου καπακιού κάννης

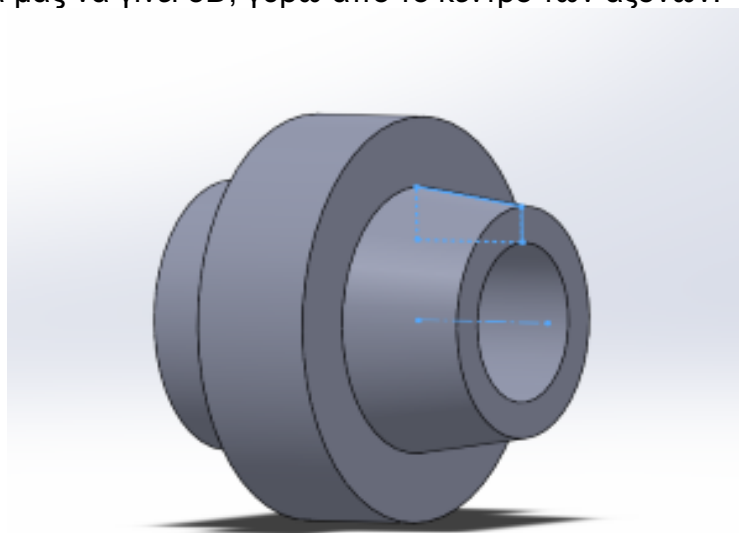
Δημιουργούμε κύκλο 145 χιλιοστών, στο **Front Plane** του αρχείου μας και επιλέγουμε **Extruded Boss/Base** στα 42 χιλιοστά. Επιλέγουμε μια επιφάνεια, δημιουργούμε νέο κύκλο 96.4 χιλιοστών και πατάμε **Extruded Boss/Base**, στα 33 χιλιοστά βάθος.



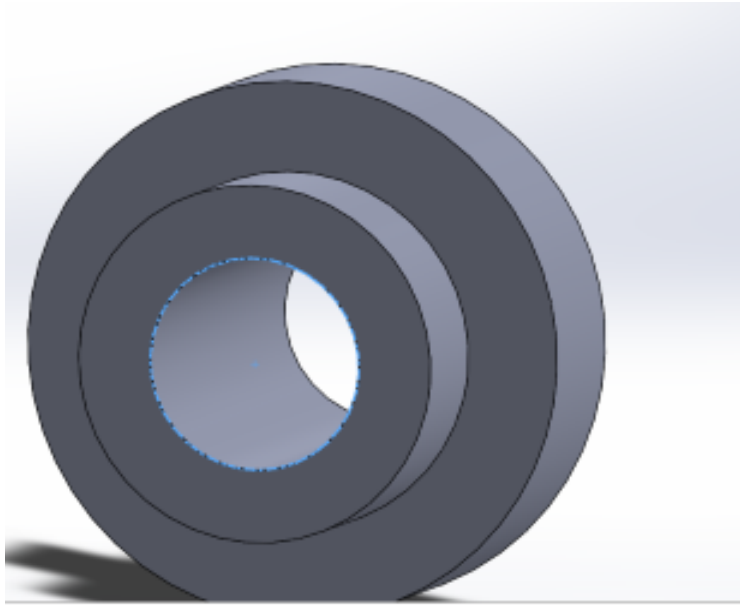
Προχωράμε στο **Right Plane**, όπου δημιουργούμε σχήμα με σημείο αναφοράς το κέντρο των αξόνων – μέσω **Line for Construction** – όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



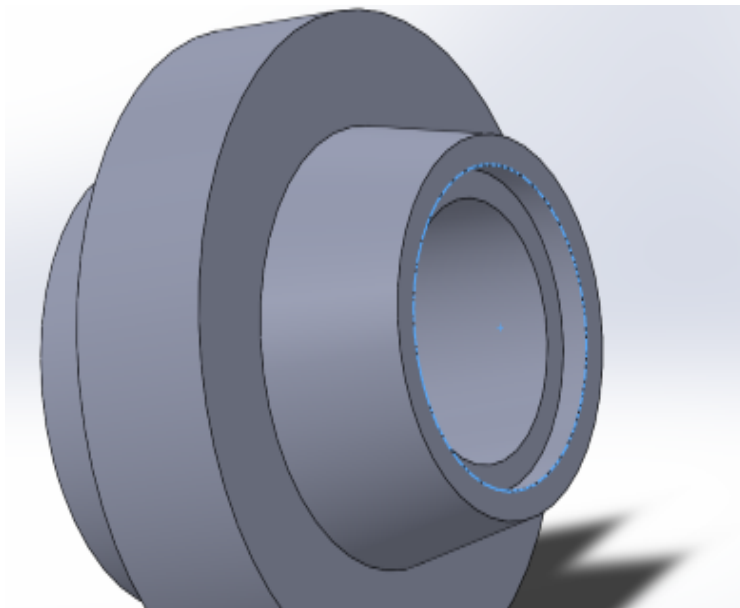
Έτσι θα μπορέσουμε να χρησιμοποιήσουμε ξανά το **Revolved Boss/Base** και το 2D σχήμα μας να γίνει 3D, γύρω από το κέντρο των αξόνων.



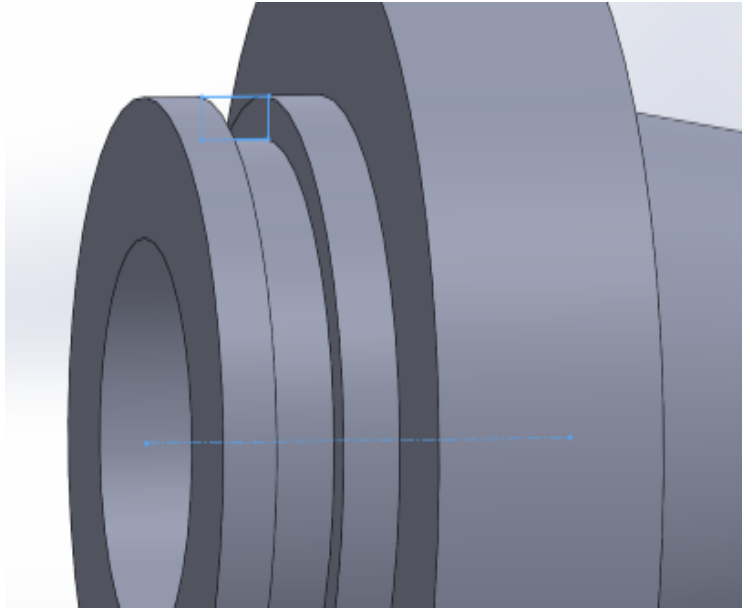
Επιλέγουμε την αντίθετη επιφάνεια και κάνουμε διάτρηση, σχεδιάζοντας κύκλο 57.2 χιλιοστών και **Extruded Cut Through All**.



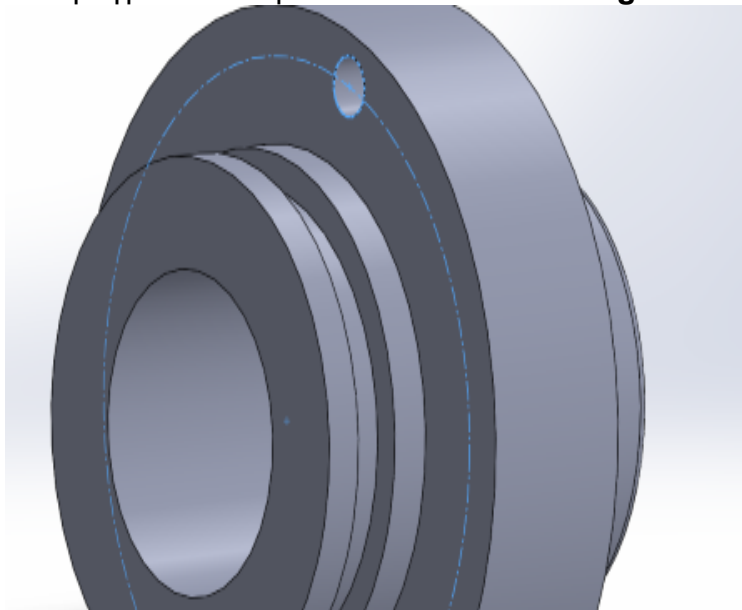
Στο **Revolved Boss/Base** σημείο, της αντίθετης πλευράς, σχεδιάζουμε κύκλο 70 χιλιοστών και «κόβουμε» υλικό, βάθους 8 χιλιοστών.



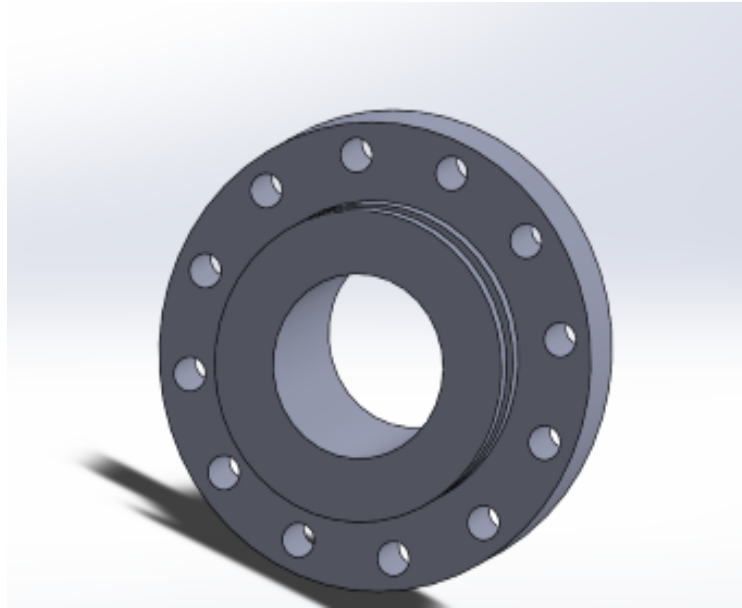
Αυτό ήταν το βήμα μόνωσης, κατά την εφαρμογή με το οπίσθιο καπάκι. Τώρα θα χρειαστεί να δημιουργηθούν αυλακώσεις για περαιτέρω μόνωση. Επιλέγουμε να σχεδιάσουμε στο **Right Plane**. Από το μέσο της αριστερής πλευράς τραβάμε **Centerline**, έως και το κέντρο των αξόνων. Στην αριστερή πλευρά και στο πάνω μέρος της, δημιουργούμε με το **Corner Rectangle** σχήμα, 6 και 12.5 χιλιοστών ύψους και μήκους, αντίστοιχα και απόστασης από την πλευρά 10 χιλιοστά. Επιλέγουμε **Revolved Cut**, ώστε να κοπεί κυκλικά το υλικό, γύρω από τον άξονα επιλογής μας. Το **Centerline** θα είναι ο άξονας που θα επιλέξουμε, ως σημείο αναφοράς.



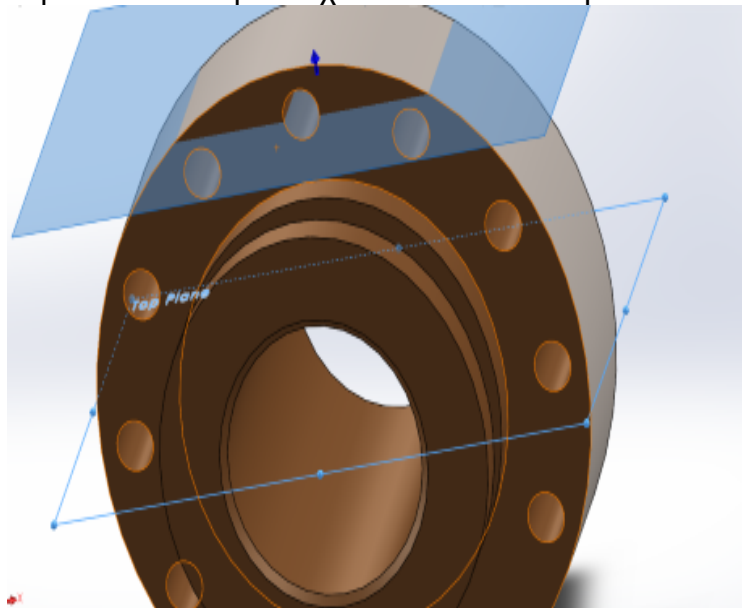
Τώρα θα δημιουργήσουμε οπές, όπως και προηγουμένως, προκειμένου να κλειδώσουμε με βίδες τα δύο καπάκια. Επιλέγουμε από τα αριστερά της οθόνης μας το **Sketch** με όνομα **Boss Extrude1**. Δημιουργούμε κύκλο – **For Construction** – μεγέθους 125 χιλιοστών και στο πάνω σημείο αναφοράς κύκλο 10.7 χιλιοστών. Πραγματοποιούμε **Extruded Cut Through All**.



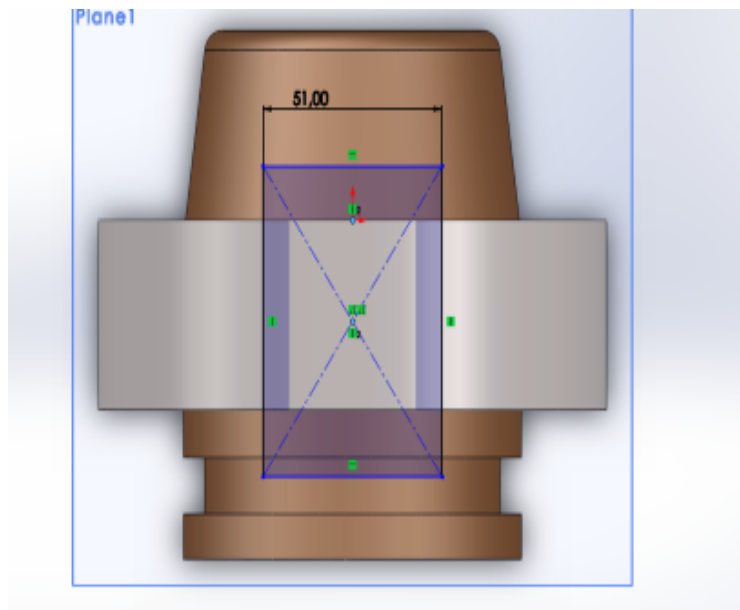
Όπως πριν, με την οπή επιλεγμένη, πατάμε **Circular Pattern** και έχουμε πάλι 12 οπές.



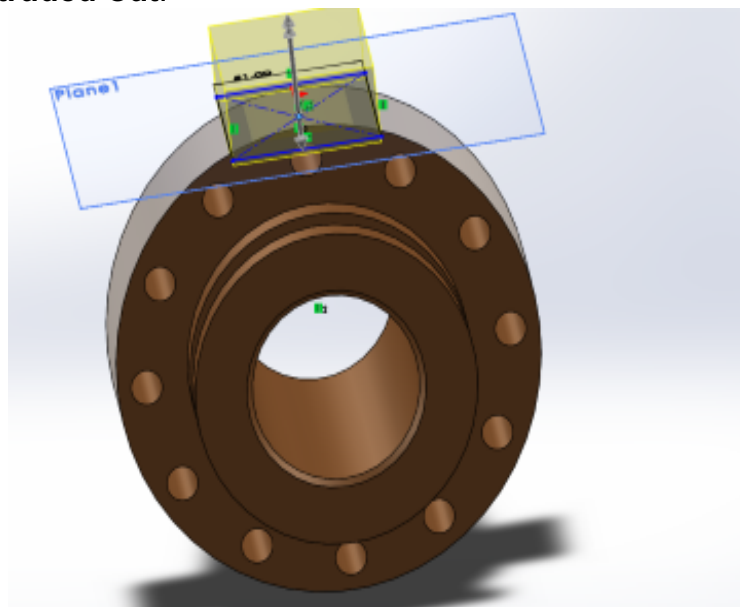
Τώρα θα δημιουργήσουμε την τρύπα εισαγωγής υγρού. Επιλέγουμε το **Top Plane** και κάνουμε κλικ στο **tab Reference Geometry**. Από εκεί πατάμε **Plane** και δημιουργούμε το **Plane1** με 70 χιλιοστά απόσταση από το **Top Plane**.

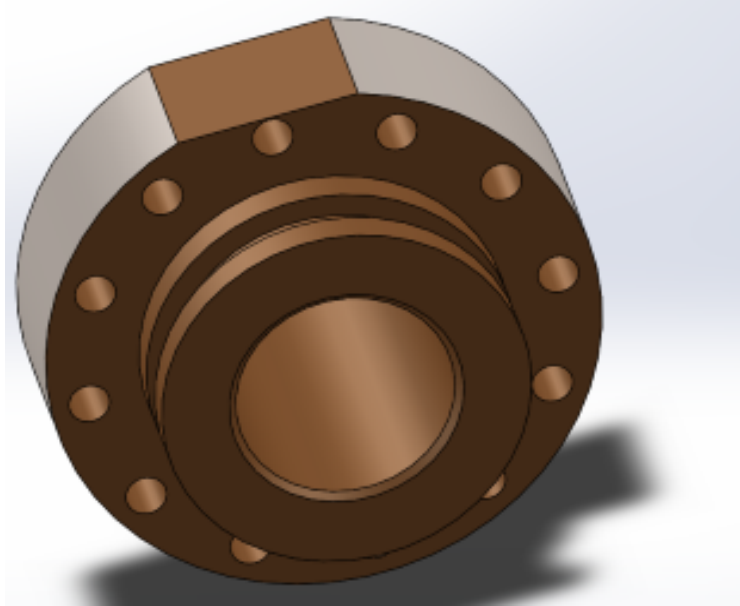


Όπως στο προηγούμενο οπίσθιο καπάκι του κυλίνδρου έτσι θα έχουμε ως στόχο να αφαιρέσουμε υλικό, κρατώντας μια κοιλότητα, αντί να αφαιρεθεί εντελώς και να δημιουργηθούν κοφτές γωνίες. Δημιουργούμε **Center Rectangle**, 51 χιλιοστών. Επιλέγουμε το κέντρο των αξόνων και με το κουμπί **Ctrl** πατημένο επιλέγουμε το κέντρο του ορθογωνίου που μόλις σχεδιάσαμε. Πατάμε **Make Vertical** και πλέον είναι στοιχισμένα.



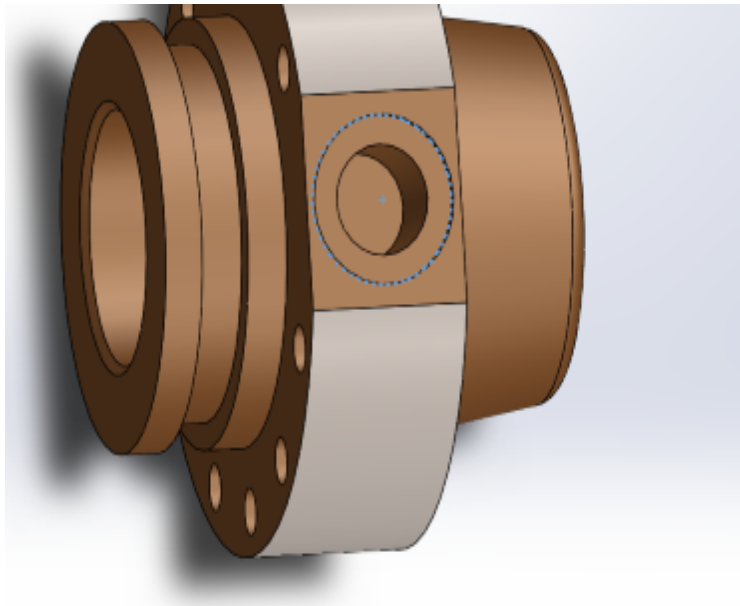
Κάνουμε **Extruded Cut**.





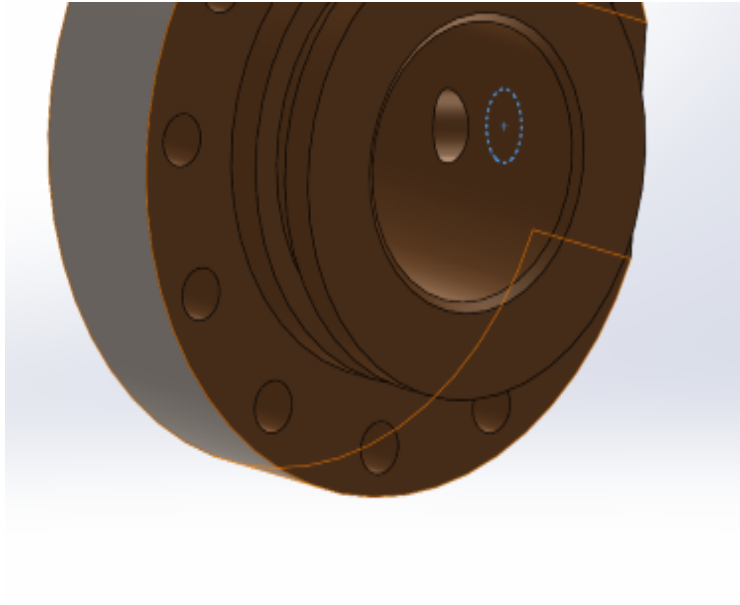
Θέλουμε να γεμίσουμε με υλικό την πάνω οπή, πλέον δεν μας χρειάζεται κάπου, ειδικότερα εκεί όπου θα δημιουργήσουμε την οπή εισαγωγής υγρού. Την επιλέγουμε και τη γεμίζουμε υλικό, μέσω του **Boss Extrude**, με 42 χιλιοστά βάθος.

Δημιουργούμε πάνω του κύκλο, 38 χιλιοστών και κάνουμε, πάλι, **Extruded Cut**, 1.6 χιλιοστών.

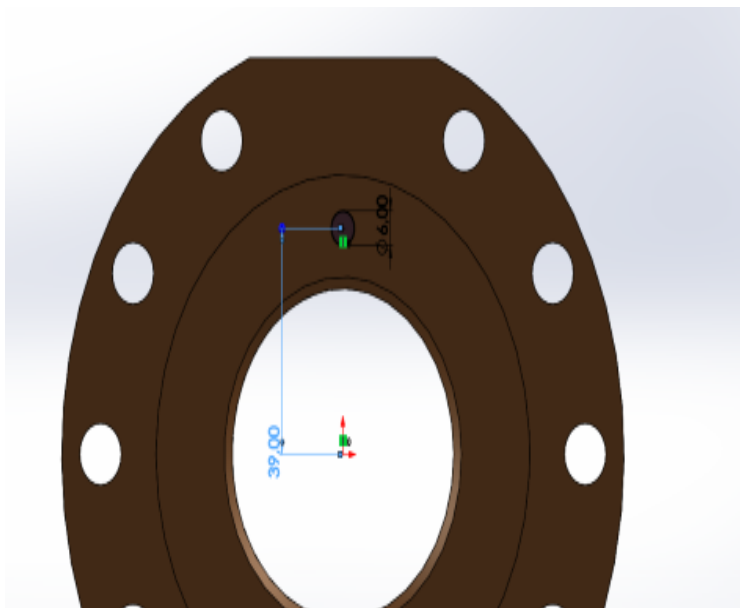


Επιλέγουμε την εσωτερική επιφάνεια, μετά την αφαίρεση υλικού και δημιουργούμε κύκλο 15 χιλιοστών, όπου και κάνουμε διάτρηση, με το **Extruded Cut**, στα 23 χιλιοστά.

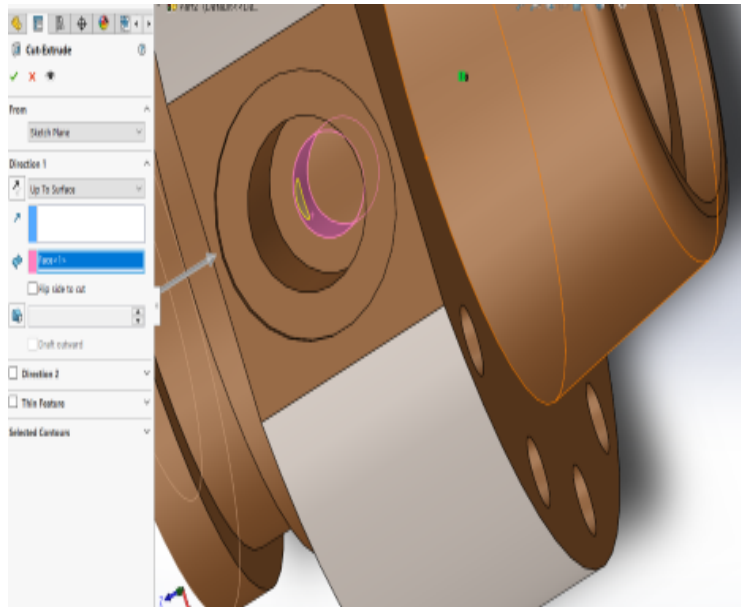




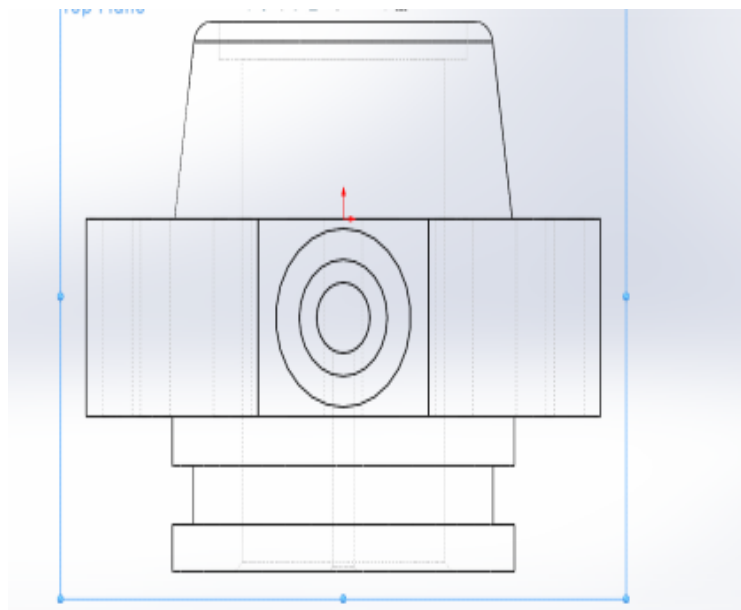
Στην πλευρά αυτή σχεδιάζουμε νέο κύκλο διάστασης 6 χιλιοστών, στοιχισμένο με απόσταση 39 χιλιοστών, στο κέντρο των αξόνων.



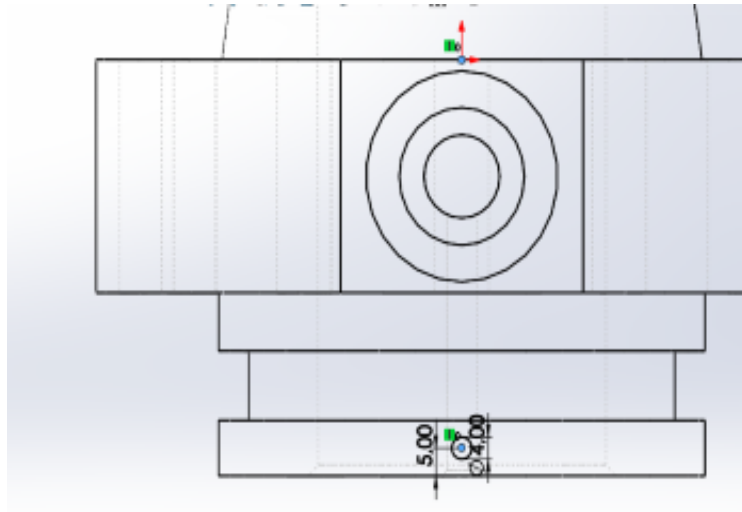
Επιλέγουμε **Extruded Cut**, μέχρι την επιφάνεια της εσωτερικής οπής, επιλέγοντας την αντίστοιχη πλευρά, ως σημείο αναφοράς, όπως φαίνεται παρακάτω.



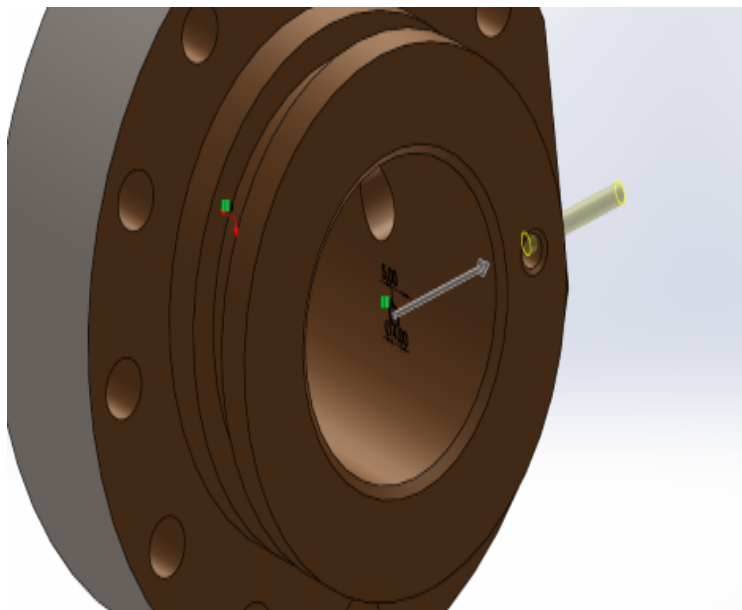
Πριν ολοκληρώσουμε, με το κομμάτι αυτό, θα πρέπει να δημιουργήσουμε άλλη μια τρύπα που θα αφήνει το υγρό να διαχέεται στο εσωτερικό του κυλίνδρου. Θα επιλέξουμε **Top Plane** και θα πατήσουμε **Hidden Lines Visible**, για να έχουμε καλύτερη εικόνα και να είμαστε πιο ακριβείς.



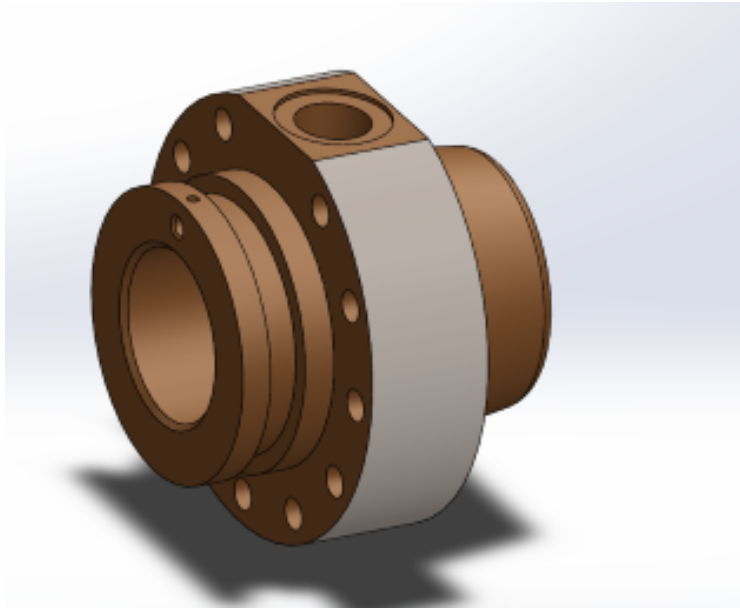
Θα σχεδιάσουμε κύκλο 4 χιλιοστών και ο οποίος θα απέχει από την κάτω πλευρά 5 χιλιοστά, όπως φαίνεται και παρακάτω. Επίσης, επιλέγουμε το κέντρο του κύκλου και το κέντρο των αξόνων και τα κάνουμε μεταξύ τους **Vertical**, για σωστή στοίχιση στο κέντρο.



Θα κάνουμε **Extruded Cut Through All** και αυτή τη φορά θα επιλέξουμε **Offset** 40 χιλιοστών, ώστε να γίνει η διάτρηση με φορά από κάτω προς τα πάνω.

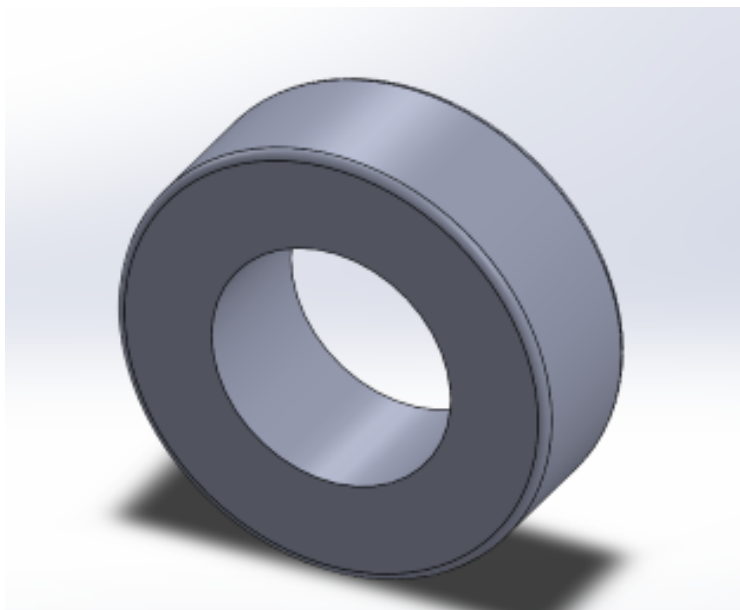


Εξομαλύνουμε με το **Chamfer**, όπου έχουμε κάνει διατρήσεις, με 1 χιλιοστό βάθος.

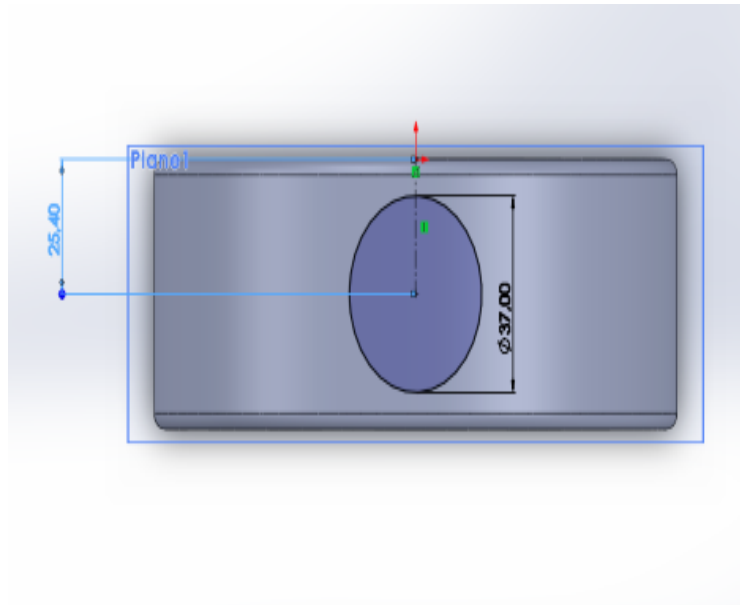


### 3.8 Σχεδιασμός του εμπρόσθιου αγκίστρου

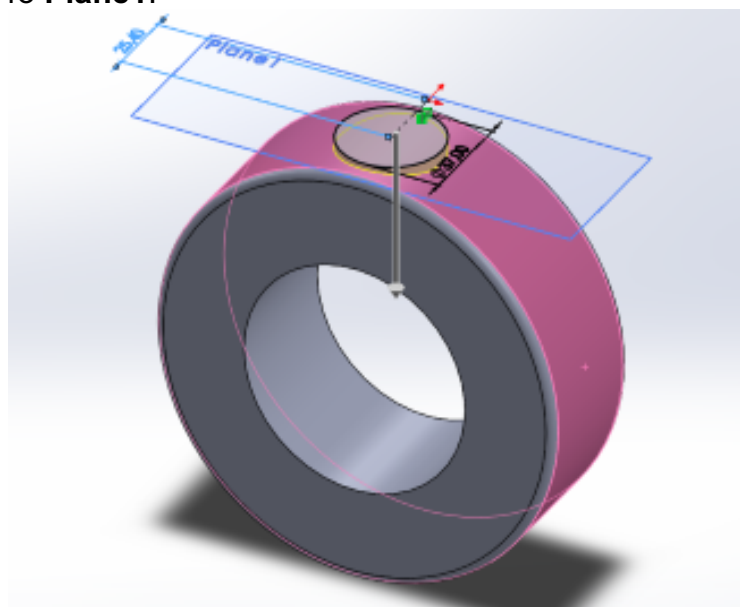
Επιλέγουμε **Front Plane** και κάνουμε **Sketch** δύο κύκλους 146 και 80.9 χιλιοστών. Κάνουμε **Extruded Boss/Base**, βάθους 50.8 χιλιοστών. Εξομαλύνουμε την εξωτερική πτυχή με **Fillet** 3 χιλιοστών.



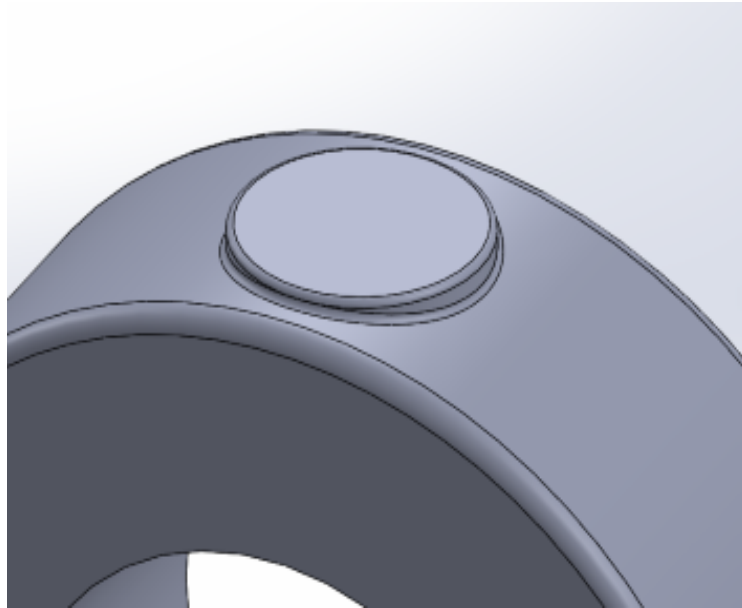
Επιλέγουμε το **Top Plane** και με το **Reference Geometry** σχεδιάζουμε νέο **Plane1**, με απόσταση από το **Top Plane** 75 χιλιοστά. Σχεδιάζουμε, πάνω του, κύκλο 37 χιλιοστών. Χρησιμοποιούμε το εργαλείο **Centerline**, για να ενώσουμε το κέντρο του με την αρχή των αξόνων, με απόσταση μεταξύ τους στα 25.4 χιλιοστά.



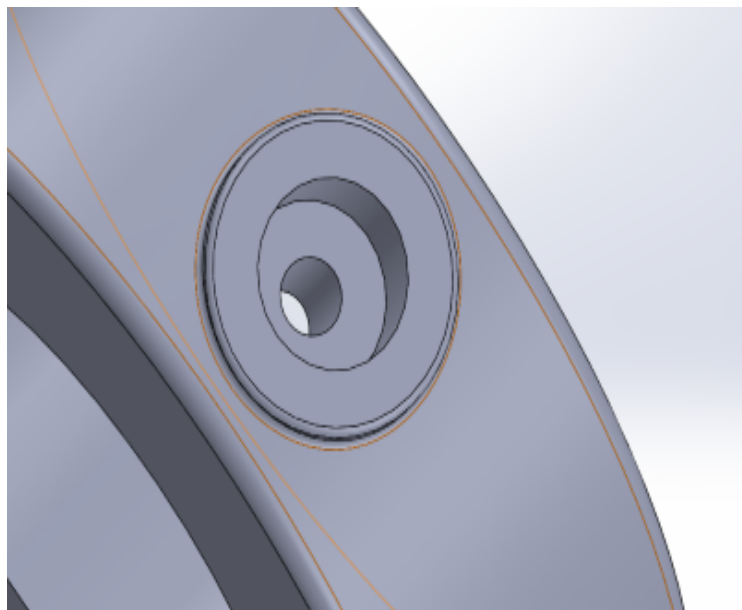
Έχοντας το νέο κύκλο επιλεγμένο κάνουμε **Extruded Boss/Base** με επιλογές το **invert**, για να γεμίσουμε προς την αντίθετη πλευρά και **Up to Face1**, για να έχει ως όριο το **Plane1**.



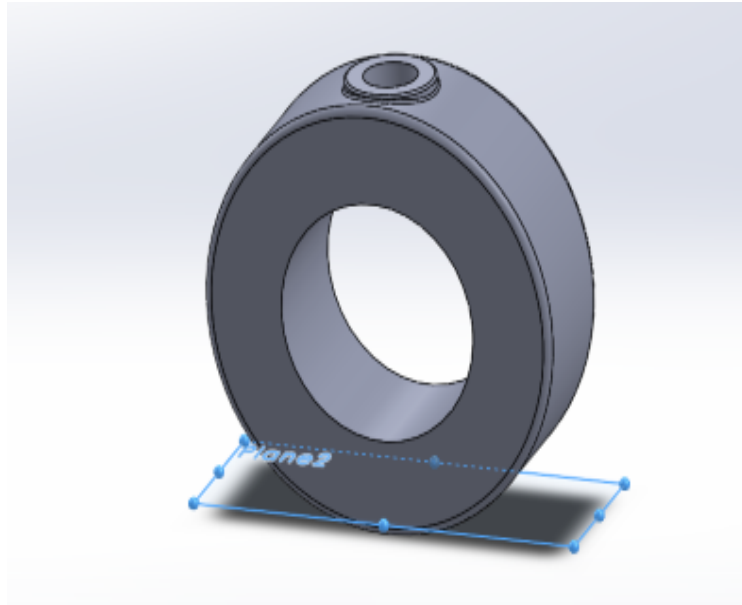
Κάνουμε τις αντίστοιχες εξομαλύνσεις, με το **Fillet**.



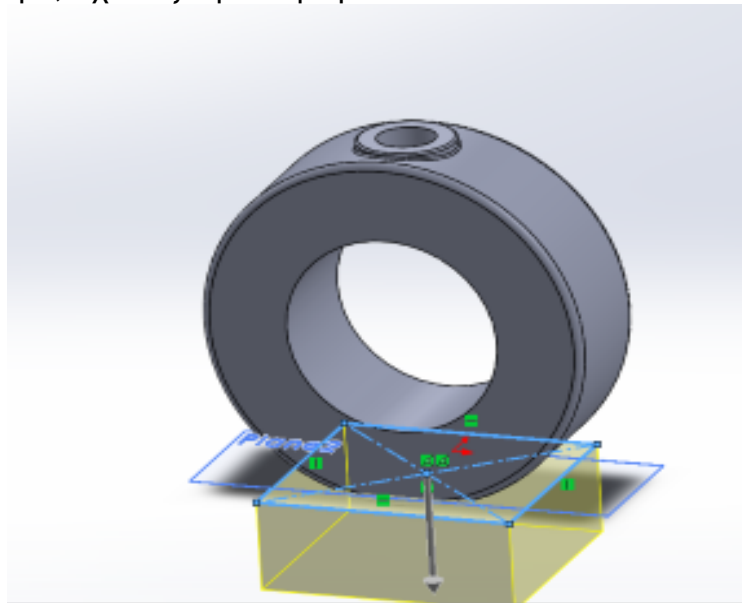
Επιλέγουμε το **Boss Extrude2**, πατάμε **Sketch** και δημιουργούμε κύκλο 22 χιλιοστών. Κάνουμε διάτρηση, με το **Extruded Cut** στα 14 χιλιοστά.



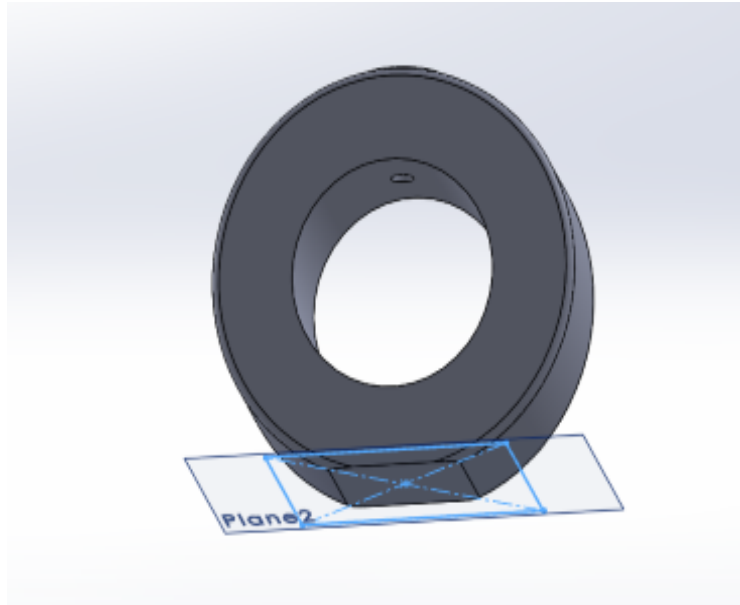
Δημιουργούμε νέο **Plane2**. Κάνουμε κλικ στο **Top Plane**, και με το **Reference Geometry** φτιάχνουμε το **Plane2**, έχοντας απόσταση από το αναφερόμενο στα 68 χιλιοστά. Πατάμε, επίσης, το **Flip Offset**, για να πάει προς την αντίθετη πλευρά.



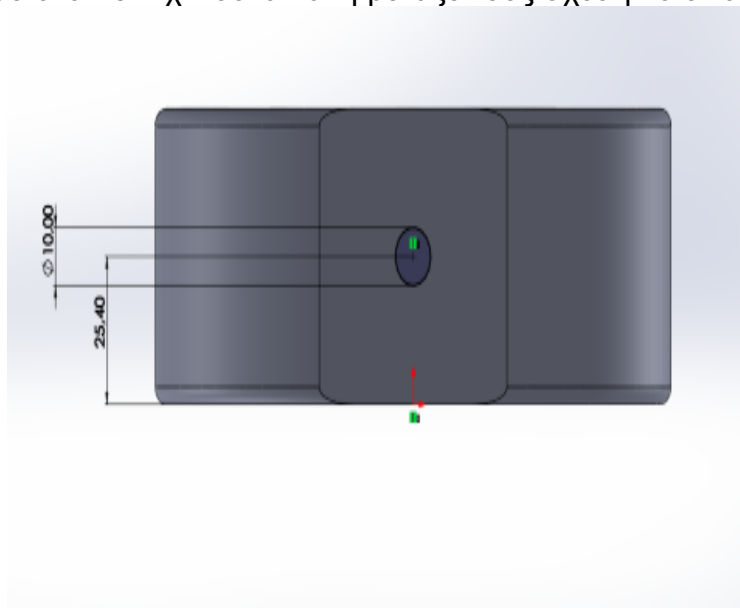
Εκεί, στο κέντρο, σχεδιάζουμε τετράγωνο.



Κάνουμε **Extruded Cut**.

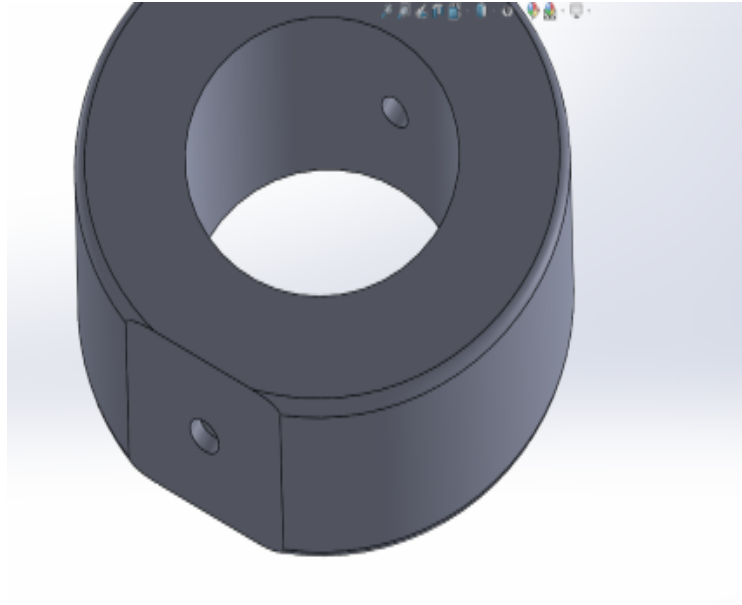


Στο ίδιο σημείο σχεδιάζουμε κύκλο 10 χιλιοστών, με απόσταση από την πλευρά του κομματιού στα 25.4 χιλιοστά και η μεταξύ τους σχέση να είναι **Vertical**.



Κάνουμε διάτρηση με το **Extruded Cut** στα 5 χιλιοστά. Αυτή είναι η οπή όπου εφαρμόζει η πτυχή, 10 χιλιοστών, της ράβδου

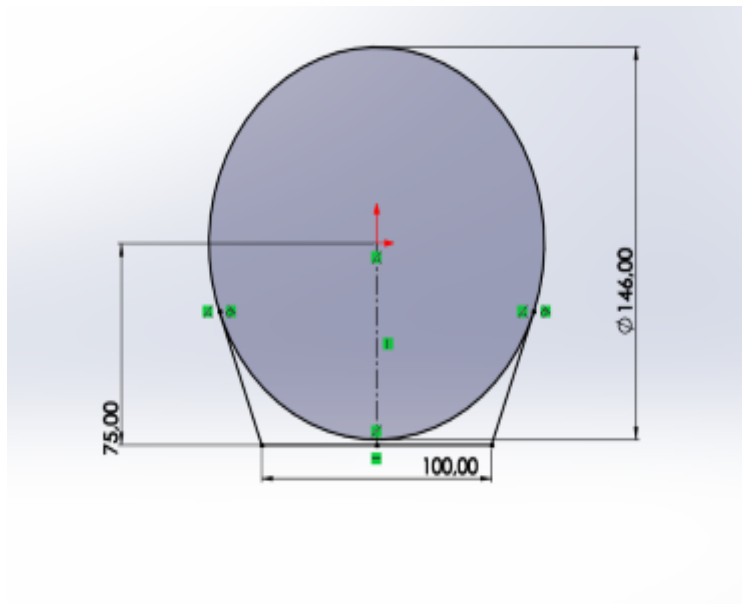




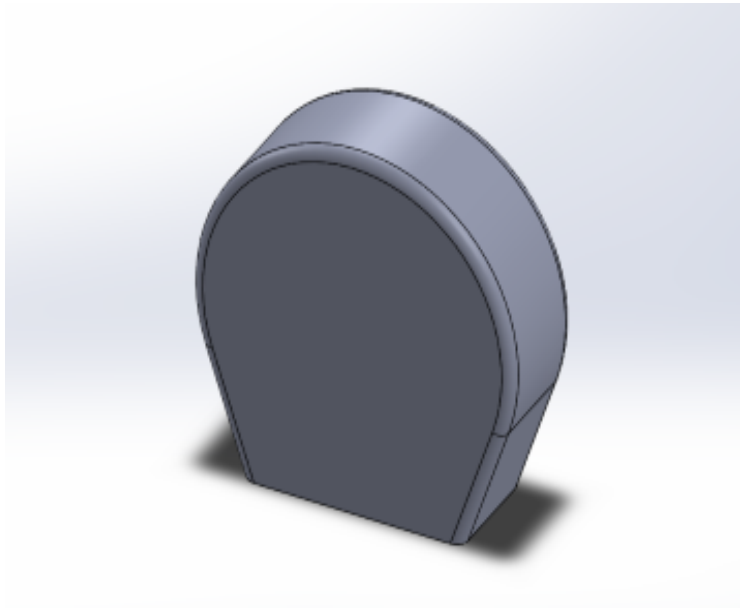
Εξομαλύνουμε τις νέες πτυχές, με το **Chamfer** στα 2 χιλιοστά.

### 3.9 Σχεδιασμός του οπίσθιου αγκίστρου

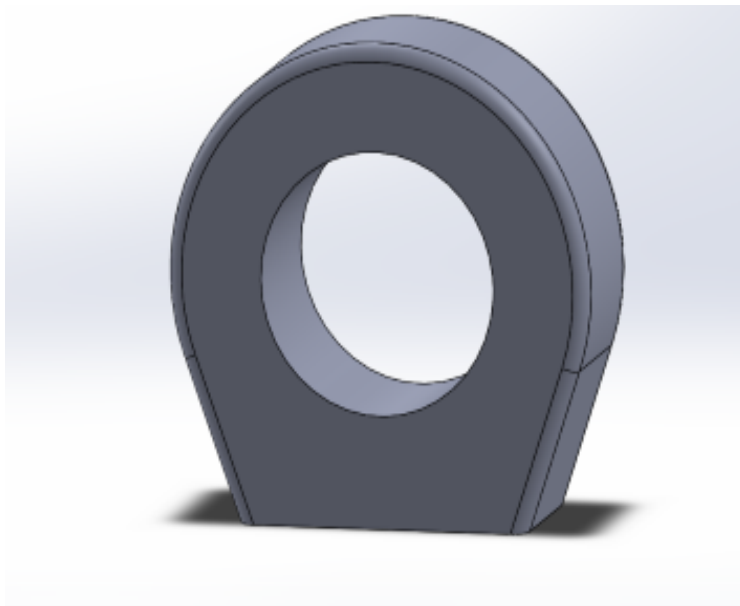
Στο **Front Plane** κάνουμε **Sketch** και σχεδιάζουμε κύκλο 146 χιλιοστών. Θέλουμε να δημιουργήσουμε βάση, για την ένωση με το εργαλείο μας. Από κάτω από τον κύκλο λοιπόν, «τραβάμε!» γραμμή, ενώνοντας τα 2 κέντρα των σχεδίων με **Centerline** και **Vertical Match**. Με 2 νέες γραμμές, ενώνουμε την κάτω γραμμή με τον αρχικό κύκλο. Επιλέγουμε τις δύο νέες γραμμές και επιλέγουμε να τις κάνουμε να εφάπτονται με τον κύκλο, οπότε πατάμε **Make Tangent**.



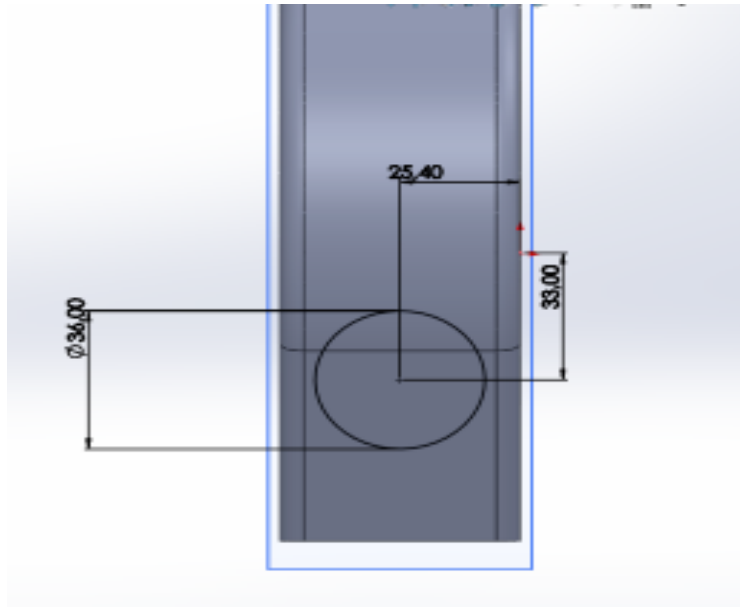
Πατάμε **Extruded Boss/Base**, με βάθος στα 50.8 χιλιοστά. Ως περιγράμματα πρόσθεσης υλικού θα επιλέξουμε την εσωτερική πλευρά του κύκλου και τις δύο γωνίες που δημιουργήθηκαν από τις γραμμές. Εξομαλύνουμε με το **Fillet**.



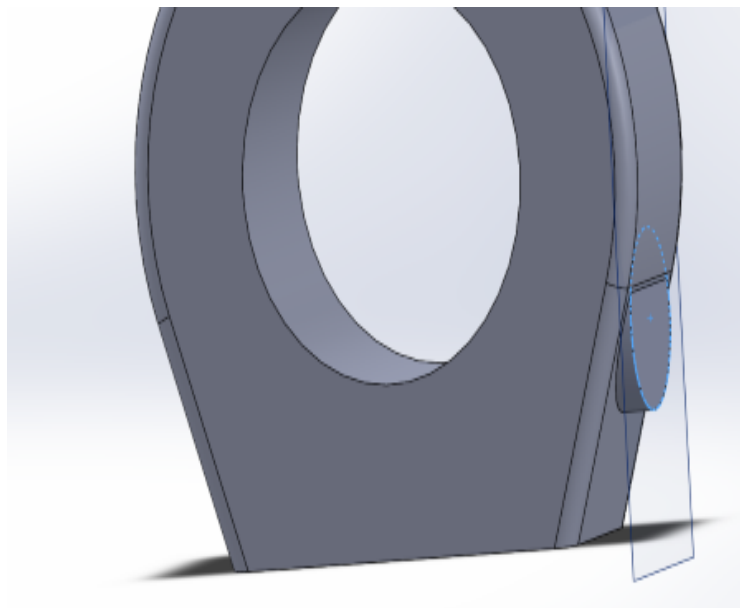
Στην νέα επιφάνεια σχεδιάζουμε κύκλο στα 80.9 χιλιοστά και κάνουμε **Extruded Cut**.



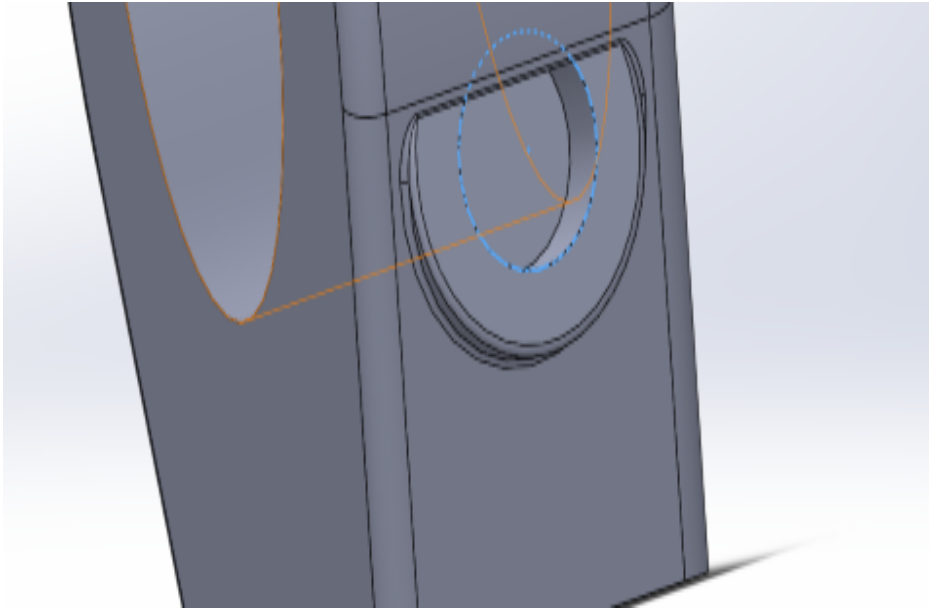
Με Reference το **Right Plane**, δημιουργούμε νέο **Plane1** επιλέγοντας απόσταση 68 χιλιοστά και **Flip Offset**. Σχεδιάζουμε κύκλο 36 χιλιοστών, με απόσταση 33 χιλιοστά από το κέντρο των αξόνων και 25.4 χιλιοστά από τη δεξιά πλευρά.



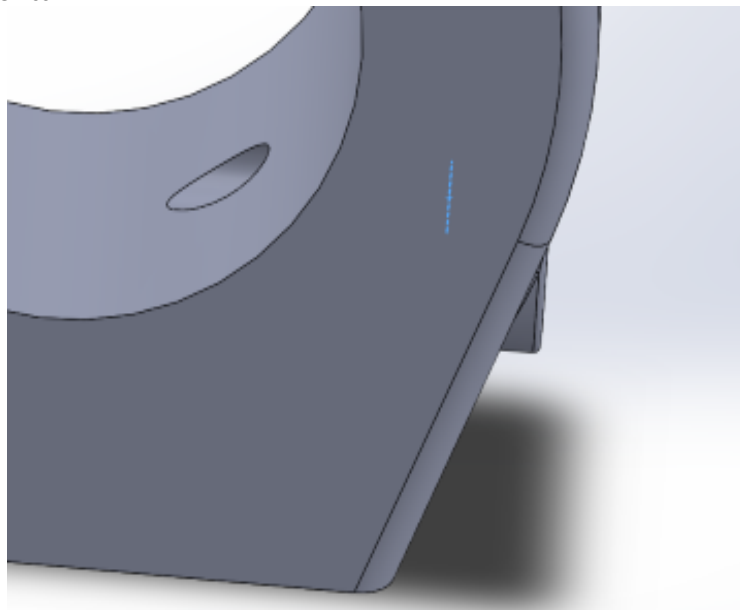
Κάνουμε **Extruded Boss/Base** και επιλογή **Up to Next**, για να έχουμε ως όριο δημιουργίας το **Plane1**.

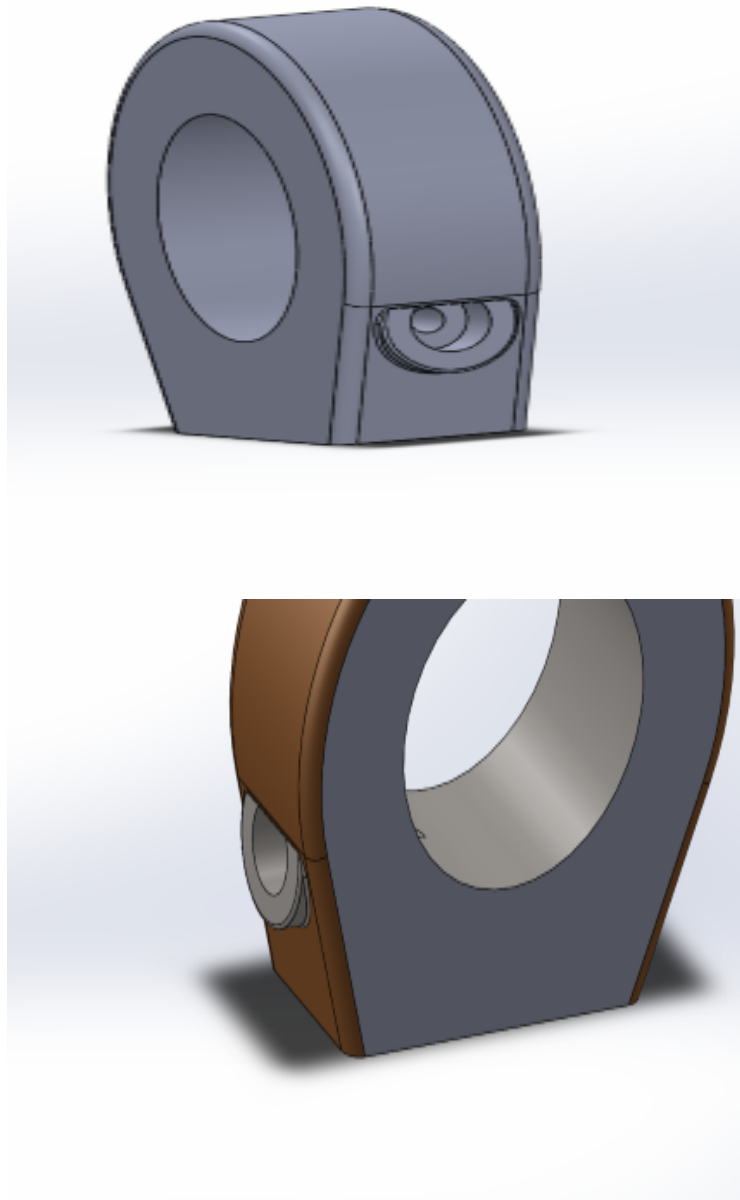


Εξομαλύνουμε τη νέα πτυχή και εν συνεχεία την επιλέγουμε και πατάμε **Sketch**. Δημιουργούμε κύκλο 21 χιλιοστών και κάνουμε **Extruded Cut** για δημιουργία οπής κλειδώματος/βιδώματος, με 14 χιλιοστά βάθος.



Στη νέα επιφάνεια δημιουργούμε νέο κύκλο 9 χιλιοστών και κάνουμε **Extruded Cut** 44 χιλιοστών.





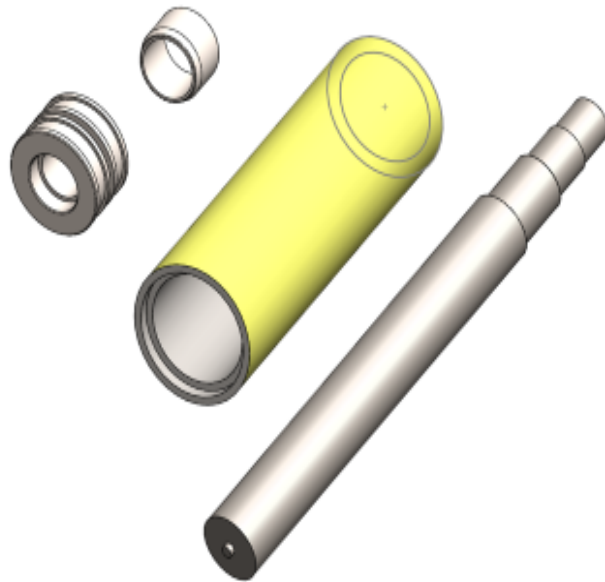
## Κεφάλαιο 4ο: Στάδιο συναρμολόγησης και προσομοίωσης

### Εισαγωγή

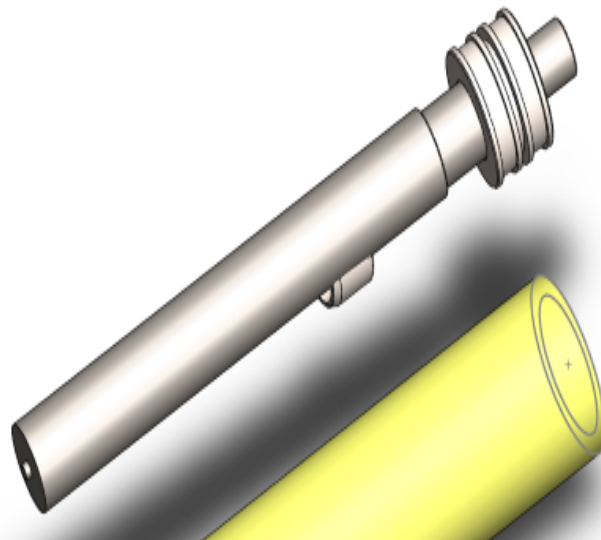
Στο κεφάλαιο αυτό, αρχικά, θα συναρμολογήσουμε όλα τα κομμάτια που δημιουργήσαμε στα προηγούμενα βήματα. Θα έχουμε, έτσι, μια πλήρη εικόνα του εργαλείου μας και θα είμαστε σε θέση να καταλάβουμε αν κάποιο από τα κομμάτια έχει πρόβλημα, μιας και το **SolidWorks** μας ενημερώνει όταν υπάρχει τέτοια περίπτωση. Εάν, δηλαδή, έχει γίνει κάποιο σχεδιαστικό λάθος ή κάποια λάθος ένωση το εργαλείο δε θα μπορεί να «κολλήσει» εντελώς. Αργότερα, θα προσομοιωθεί η κίνησή του (διευρυμένη προβολή και προσομοίωση κίνησης), όπου και εκεί μπορεί κανείς να καταλάβει εάν ξέφυγε από την αντίληψη του κάτι και δε μπορεί να λειτουργήσει σωστά.

#### 4.1 Συναρμολόγηση υδραυλικού κυλίνδρου

Επιλέγουμε **New Assembly**. Επιλέγουμε, για αρχή, την κάννη, το έμβολο, τη ράβδο και το καπάκι πιστονιού. Με το εργαλείο **Move Component** εκτελούμε **Rotate** τη ράβδο και το καπάκι.



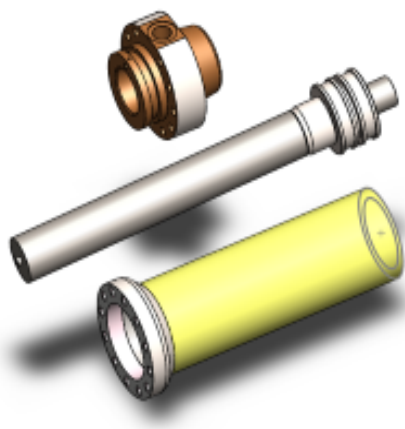
Πατάμε το κουμπί **Mate** και έκτοτε επιλέγουμε το έμβολο και τη ράβδο. Έτσι δημιουργείται μεταξύ τους μια σχέση και «κλειδώνουν».



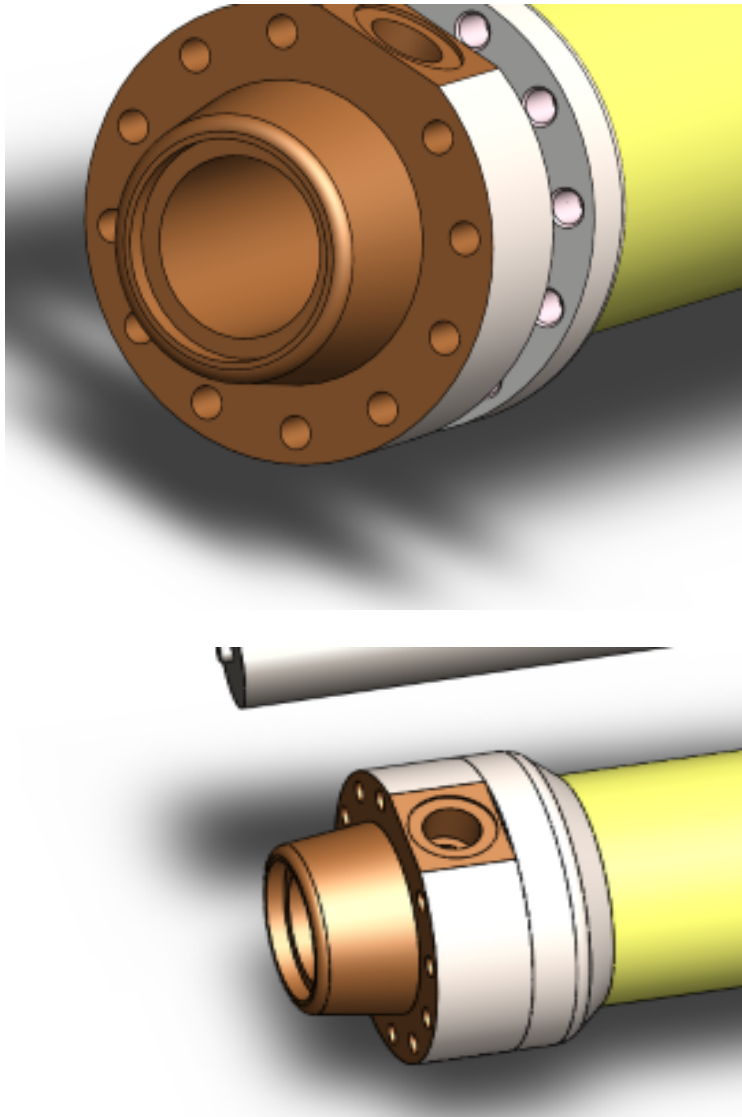
Έπειτα, επιλέγουμε το καπάκι και το κομμάτι ανάμεσα στη ράβδο και το έμβολο. Κάνουμε και αυτά μεταξύ τους **Mate**. Το ίδιο θα γίνει και με τις εξωτερικές πλευρές εμβόλου – καπακιού, αμφότερες.



Εισάγουμε δύο νέα κομμάτια στο assembly μας, αυτά του καπακιού κάννης και του εμπρόσθιου καπακιού.

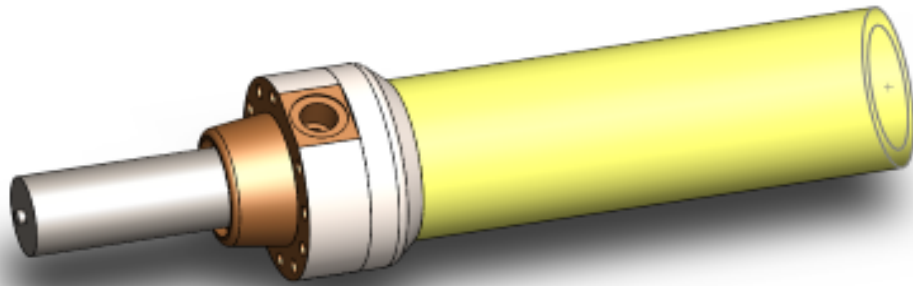


Εφαρμόζουμε το καπάκι της κάννης, στην κάννη, με την αντίθετη επιφάνεια από αυτή που φέρει τις οπές.

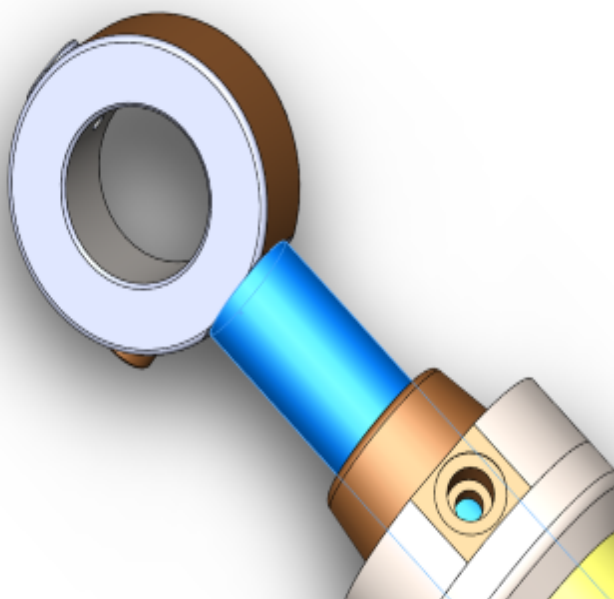


Αντίστοιχα, στην επιφάνεια με τις τρύπες εφαρμόζουμε το εμπρόσθιο καπάκι, έτσι ώστε οι σπές να εφάπτονται σωστά μεταξύ τους. Τοποθετούμε τη ράβδο μέσα στον κύλινδρο, ώστε το έμβολο να είναι προς την πλευρά του κυλίνδρου που δε φέρει ακόμα καπάκι.

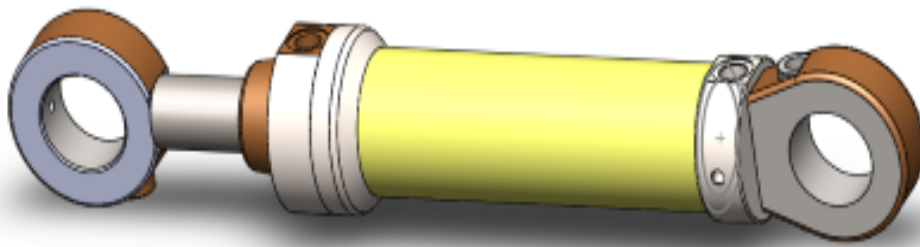




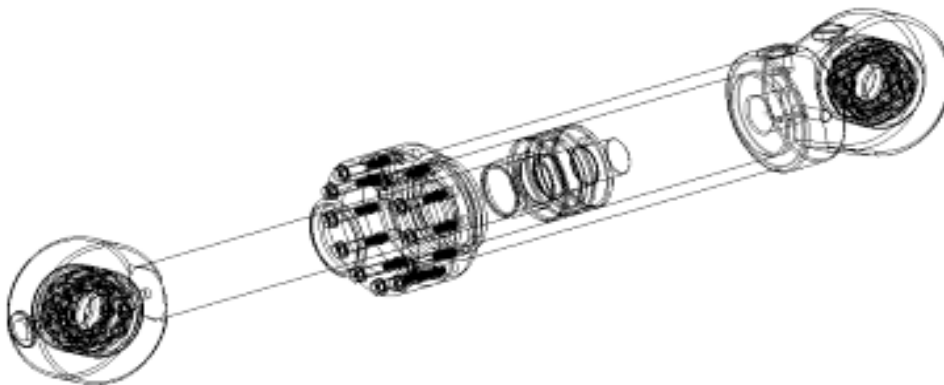
Τοποθετούμε και το εμπρόσθιο άγκιστρο στη ράβδο, στο σημείο όπου υπάρχουν η οπή και η πτυχή 10 χιλιοστών.



Τώρα μπορούμε να εισάγουμε το οπίσθιο καπάκι και να το εφαρμόσουμε στην ακάλυπτη πλευρά του κυλίνδρου.  
Κάνουμε **Rotate** το οπίσθιο άγκιστρο και φέρνουμε την επίπεδη επιφάνειά του δίπλα στο οπίσθιο καπάκι. Τα κάνουμε **Mate**.



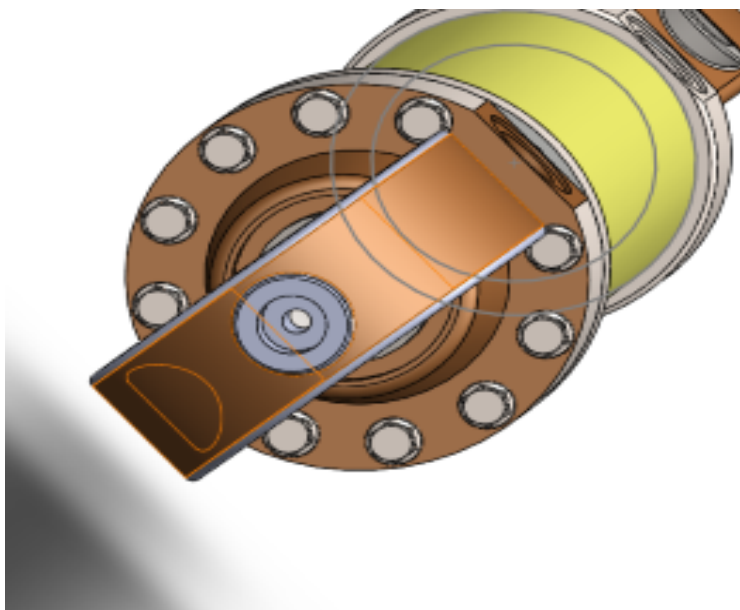
Πριν κλειδώσουμε τη ράβδο μέσα στον κύλινδρο είναι σημαντικό να ρυθμίσουμε το πόσο μπορεί να μπαίνει και να βγαίνει μέσα του. Εάν πατήσουμε το κουμπί **Hidden Lines Visible** μπορούμε να δούμε στο εσωτερικό του κυλίνδρου και να καταλάβουμε περίπου σε τι ποσοστό θέλουμε να το ρυθμίσουμε. Οπότε επιλέγουμε το **Advanced Mate**, μέσα από το μενού του **Mate**.



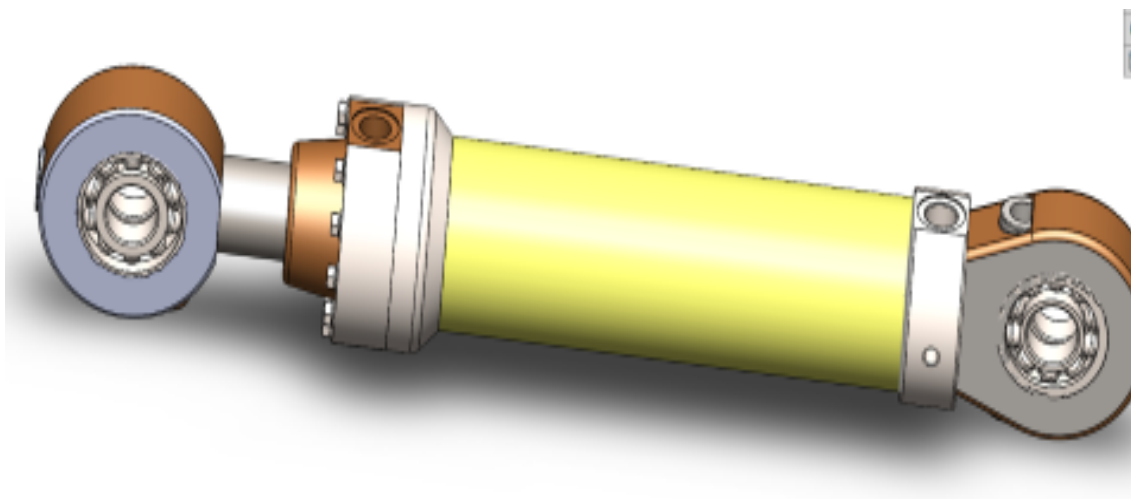
Θέτουμε απόσταση εμπρόσθιου αγκίστρου και εμπρόσθιου αγκίστρου 1 χιλιοστό. Ως **Max Distance** που μπορεί να επιτρέπεται στην κίνηση μεταξύ των mates αυτών θέτουμε 300 χιλιοστά.

Για το τέλος έχουμε να προσθέσουμε τις βίδες και τα ρουλεμάν. Για τις διαδικασίες αυτές, από το ίδιο το **SolidWorks**, παρέχονται βιβλιοθήκες με έτοιμα κομμάτια, όπως βίδες, παξιμάδια κλπ. Επιλέγουμε **Design Library > Toolbox > ANSI Metric > Bolts & Screws > Hex Head**. Επιλέγουμε μια βίδα της επιλογής μας και τη «σέρνουμε» σε μια από τις οπές του εμπρόσθιου

καπακιού. Με το μόλις την τοποθετήσουμε εμφανίζεται το μενού επιλογών της βίδας. Θέτουμε μέγεθος 8 χιλιοστά, μήκος 50 χιλιοστά και επιλέγουμε να είναι **Schematic**, για περισσότερη λεπτομέρεια. «Σέρνουμε» όσες βίδες μας υπολείπονται στις εναπομείναντες οπές.



Επιλέγουμε **Design Library > Toolbox > SKF > Bearings > Ball Bearings**. Βρίσκουμε το επιθυμητό μέγεθος – εδώ χρησιμοποιήθηκε το **7308 BE** – και επιλέγουμε 10 μπάλες, **Detailed** εμφάνιση και να έχει **Cage**, ώστε να μην ακουμπούν οι μπάλες μεταξύ τους, φύγουν από τη θέση τους και καταστήσουν άχρηστο το ρουλεμάν. «Σέρνουμε» 4 από αυτά στο assembly μας και κάνουμε καθένα από αυτά **Mate** στα άγκιστρα, ένα από την κάθε πλευρά.



## 4.2 Διευρυμένη προβολή και προσομοίωση

Η διευρυμένη προβολή (Exploded View) και η προσομοίωση (Motion Study) είναι εξίσου σημαντικά εργαλεία, μιας και επιτρέπουν να δει κανείς αν όλα κυλούν ομαλά, να παρουσιάσει το σχέδιο σε κάποιον συνεργάτη/πελάτη, να κάνει απαραίτητες αλλαγές κλπ.

Αρχικά, μια διευρυμένη προβολή δείχνει τα εξαρτήματα ενός assembly απλωμένα, αλλά τοποθετημένα ώστε να δείχνουν πώς τα εξαρτήματα ταιριάζουν μεταξύ τους όταν συναρμολογούνται.

Θα εμφανίσουμε μια εξελιγμένη προβολή επιλέγοντας και σέρνοντας μέρη στην περιοχή γραφικών για να δημιουργήσουμε βήματα έκρηξης και να υποδείξουμε έτσι τις σχέσεις μεταξύ των στοιχείων.

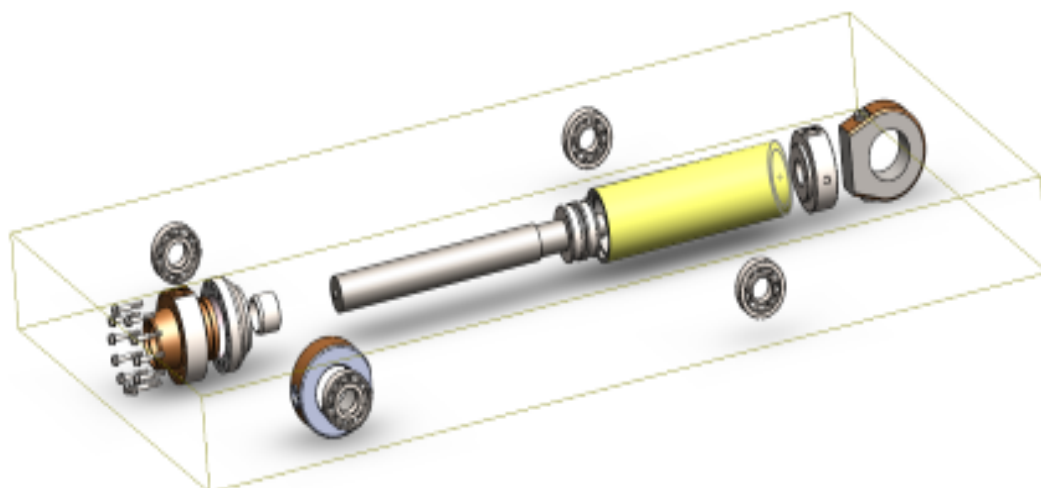
Δεύτερον, οι μελέτες κίνησης είναι γραφικές προσομοιώσεις κίνησης για μοντέλα συναρμολόγησης. Εκεί, μπορούν να ενσωματωθούν οπτικές ιδιότητες όπως ο φωτισμός και η προοπτική της κάμερας. Οι μελέτες κίνησης δεν αλλάζουν ένα μοντέλο συναρμολόγησης ή τις ιδιότητές του. Προσομοιώνουν και ζωντανεύουν την κίνηση που ορίζεται για ένα μοντέλο.

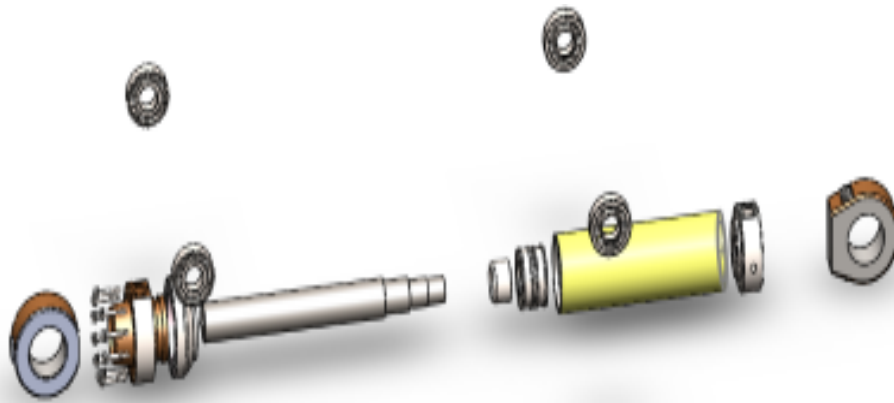
Θα δημιουργηθεί ένα Basic Motion, όπου θα προσεγγίσουμε τις επιπτώσεις της κίνησης στο assembly. Η βασική κίνηση λαμβάνει υπόψη τη μάζα στον υπολογισμό της κίνησης. Ο βασικός υπολογισμός κίνησης είναι σχετικά γρήγορος, επομένως μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία κινούμενων εικόνων που αξίζουν την παρουσίαση χρησιμοποιώντας προσομοιώσεις που βασίζονται στη φυσική.

## 4.3 Προσομοίωση διευρυμένης προβολής

Έχοντας το assembly μπροστά μας επιλέγουμε **Exploded View**, από το πάνω μενού επιλογών.

Έπειτα σέρνουμε το κάθε κομμάτι, ξεχωριστά, στις επιθυμητές θέσεις.



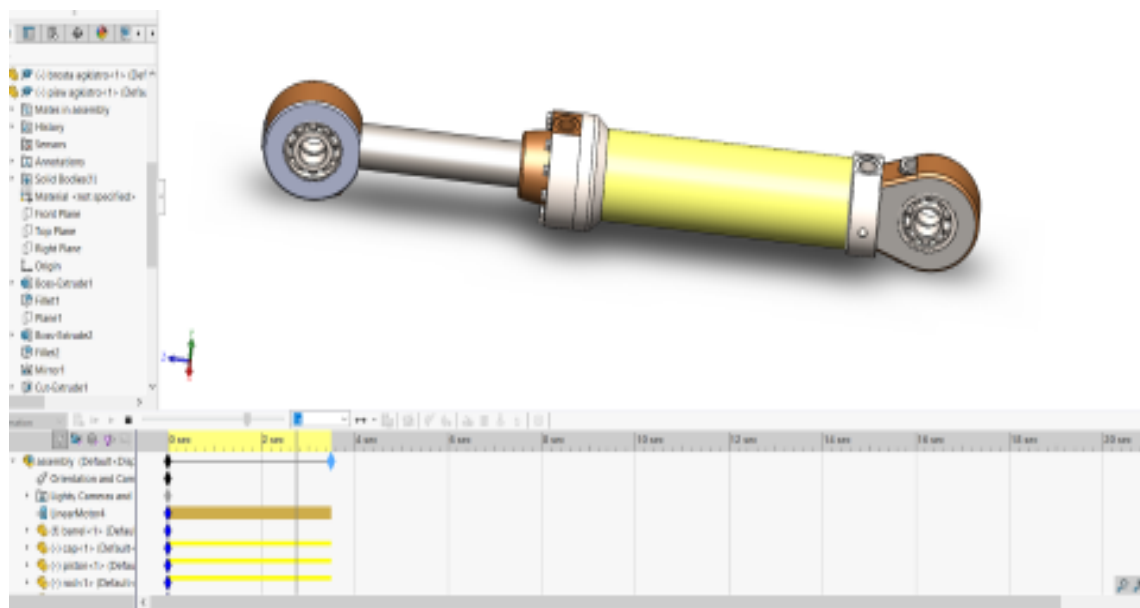


Από το μενού του **Motion Study** πατάμε το κουμπί **Animation Wizard**. Εμφανίζεται το παράθυρο ρυθμίσεων, όπου επιλέγουμε **Explode**. Ελέγχουμε τους χρόνους που θέλουμε να πραγματοποιείται η προσομοίωση και πατάμε **Finish**.

Επιλέγουμε **Calculate**, ώστε να πραγματοποιηθεί **Build** της προσομοίωσης και έπειτα, ως **Playback Mode**, το **Reciprocate**, για να υπάρχει συνεχόμενη επανάληψη της κίνησης.

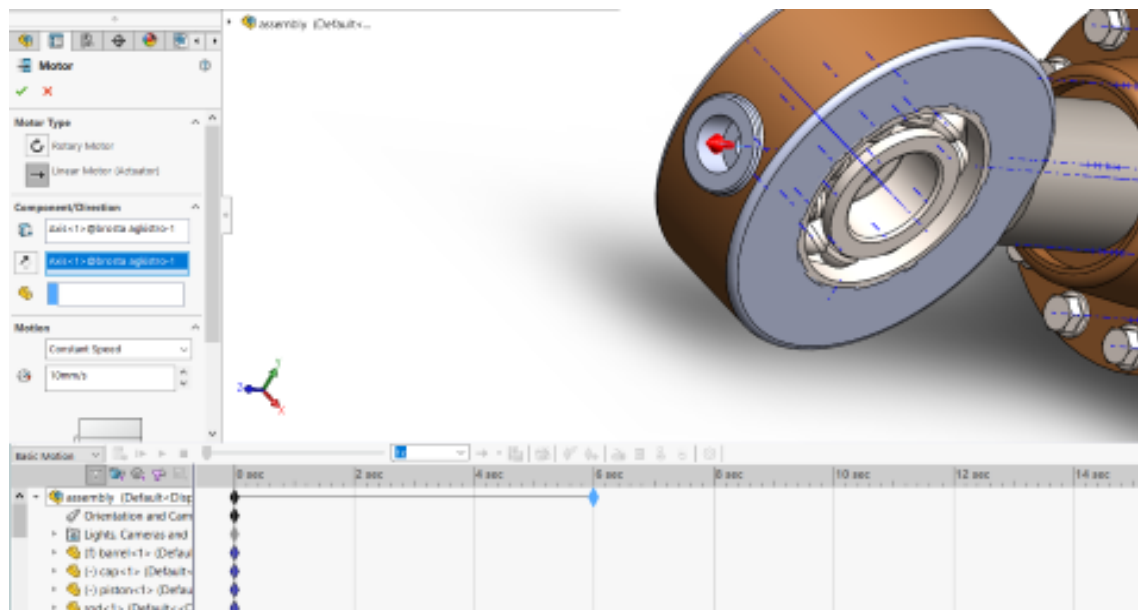
#### 4.4 Προσομοίωση κίνησης υδραυλικού κυλίνδρου

Επιλέγουμε να δημιουργήσουμε ένα νέο **Motion Study**. Κάτω δεξιά πατάμε πάνω στο βέλος, για να εμφανιστεί ολόκληρο το tab του **Animation Menu**.



Επιλέγουμε, στα αριστερά, **Basic Motion** και μετά το γρανάζι, **Motion Study Properties**. Ταυτόχρονα, θα επιλέξουμε να δούμε τους άξονες του σχεδίου,

επιλέγοντας **View Temporary Axes**. Έκτοτε, πατάμε το κουμπί **Motor**, που δίνει δυνατότητα ρύθμισης της μηχανής. Στο μενού, πατάμε **Linear Motor**, για γραμμική κίνηση, με ταχύτητα 50 mm/s, **Reciprocate** και **Calculate**, ως **Playback Mode**.



## Κεφάλαιο 5ο: Συμπεράσματα

Στη σύγχρονη εποχή, όπου η παραγωγή έχει αυξηθεί ραγδαία λόγω της αμείωτης ζήτησης, οι απαιτήσεις καθιστούν απαραίτητες λύσεις για εξοικονόμηση χρόνου, πόρων αλλά και διασφάλισης ποιότητας και ασφάλειας. Για το λόγο αυτό, πέραν του απαραίτητου εξειδικευμένου εργατικού δυναμικού οι περισσότερες βιομηχανίες έχουν προχωρήσει στη λύση ειδικών λογισμικών CAD.

Ένα από αυτά είναι το SolidWorks, το οποίο είναι ανάμεσα σε αυτά που κυριαρχούν στην αγορά αντίστοιχων λογισμικών, λόγω της εύκολης και απλής χρήσης και της προσιτής τιμής. Με το συγκεκριμένο, μπορεί κανείς να μοντελοποιήσει ένα αντικείμενο, με σκοπό τη μελέτη, την προσομοίωση και την παρουσίαση.

Όπως και σε συνθήκες πραγματικής μελέτης και προ-παραγωγής προσομοιώθηκε η κατάσταση στην οποία θα χρειαζόταν να δημιουργηθεί ένα εργαλείο πραγματικών διαστάσεων και να τεθεί σε παραγωγή. Τα βήματα περιλάμβαναν σχεδίαση σε 2D και κατόπιν 3D σχέδιο, συναρμολόγηση και εν τέλει προσομοίωση λειτουργίας.

Μέσα από το λογισμικό SolidWorks, εύκολα κατέστη δυνατό να πραγματοποιηθεί αυτή η εργασία, να ελεγχθούν τυχόν αστοχίες στο σχεδιασμό και στην υλοποίηση και εν τέλει να παρουσιαστεί και να μελετηθεί, ακριβώς όπως θα έπρεπε να γίνει και σε συνθήκες κανονικής παραγωγής.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι, λοιπόν, να καταστήσει εμφανές το πόσο εύκολο είναι σε ένα χρήστη να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις αυτές, μέσα από τον αναλυτικό σχεδιασμό ενός υδραυλικού κυλίνδρου. Φυσικά, θα πρέπει να είναι κατάλληλα καταρτισμένος και να προσπαθεί να εκπαιδευτεί διαρκώς στις νέες εκδόσεις και βιβλιοθήκες και στα συνεχόμενες νέες τεχνολογίες που ο ασταμάτητος ρυθμός ζωής, παραγωγής και ζήτησης επιφέρει.

## Βιβλιογραφία

- [1] HandyTube, “Precision Tube ID Surface Condition & Cleanliness: High-Purity Results”, 2019. <https://handytube.com/precision-tube-id-surface-condition-cleanliness-high-purity-results/>
- [2] Team Tube, “Honed Tubing”, <http://teamtubellc.com/en/products/honed-tubing>
- [3] Wikipedia, “Hydraulic Cylinder”, [https://en.wikipedia.org/wiki/Hydraulic\\_cylinder](https://en.wikipedia.org/wiki/Hydraulic_cylinder)
- [4] Fractory, “Why Every Engineer Should Be Using CAD”, by Velling A., 2020. <https://fractory.com/cad-advantages/>
- [5] Shaanxi Shew-e Steel Pipe Co., LTD, “The Difference Between Skiving And Roller Burnishing For Hydraulic Cylinder Tubing, 2018. <https://www.shew-esteelpipe.com/news/the-difference-between-skiving-and-roller-burn-16514340.html>
- [6] Hydroline, “How Does A Hydraulic Cylinder Work?”, by Huttunen T., 2019. <https://hydroline.fi/blog/how-does-a-hydraulic-cylinder-work/>
- [7] Interfluid, “Forked Clevis Mounted Hydraulic Cylinders”. <https://hydroline.fi/blog/how-does-a-hydraulic-cylinder-work/>
- [8] BocaBearings, “Rod End Bearings”. <https://www.bocabearings.com/products/bearing-and-ball-types/rod-end-bearings?ProductType=0>
- [9] Wikipedia, “SolidWorks”. <https://en.wikipedia.org/wiki/SolidWorks>
- [10] SosEng, “Computer Aided Design: The Advantages Of CAD”, 2018. <https://www.soseng.com/computer-aided-design-advantages-cad/>
- [11] Living History Farm, “Hydraulics”, by Ganzel B. [https://livinghistoryfarm.org/farminginthe40s/machines\\_11.html](https://livinghistoryfarm.org/farminginthe40s/machines_11.html)
- [12] Aggressive Hydraulics, “JHydraulic Cylinders: A Brief History”, 2016. <https://www.aggressivehydraulics.com/hydraulic-cylinders-a-brief-history/>
- [13] University Of Windsor, “Piston And Piston Rings”. [https://courses.washington.edu/engr100/Section\\_Wei/engine/UofWindsorManual/Piston%20and%20Piston%20Rings.htm](https://courses.washington.edu/engr100/Section_Wei/engine/UofWindsorManual/Piston%20and%20Piston%20Rings.htm)
- [14] Hartford Technologies, “Cage Bearings”. <https://hartfordtechnologies.com/custom-bearing-assemblies-manufacturer/cage-bearings/>
- [15] Wikipedia, “Computer-Aided Design”. [https://en.wikipedia.org/wiki/Computer-aided\\_design](https://en.wikipedia.org/wiki/Computer-aided_design)