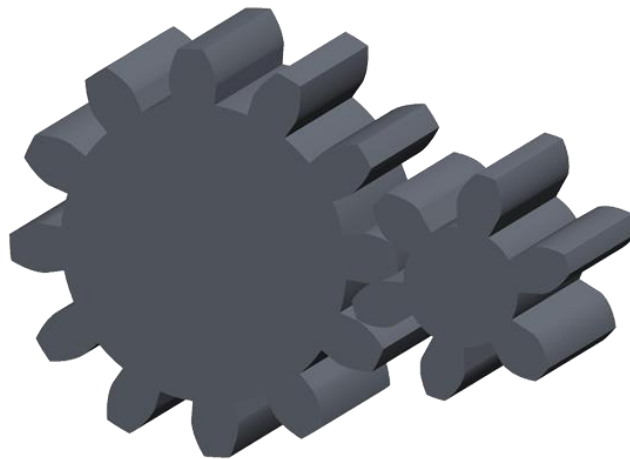




**ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ
Σ.Τ.Ε.Φ.
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**

Προσομοίωση κινηματικών χαρακτηριστικών μηχανισμού σε λογισμικό CAD



**Επιβλέπων : Δρ. Πετούσης Μάρκος
Σπουδαστής : Γκλίβα Ρόζα**

Ηρακλειο 2010

Εισαγωγή

Σκοπός της παρούσης εργασίας είναι η ενασχόληση του σπουδαστή με τα σύγχρονα λογισμικά εργαλεία προσομοίωσης μηχανισμών στον ηλεκτρονικό υπολογιστή και η διερεύνηση των δυνατοτήτων του Pro/Engineer στο σχεδιασμό, τη συναρμολόγηση και την προσομοίωση κίνησης μηχανισμών. Τέτοιοι μηχανισμοί μπορεί να είναι μηχανισμοί μετάδοσης κίνησης (γρανάζια, ιμάντες), ελατήρια κ.α.

Δομή εργασίας

Η εργασία αποτελείται από τέσσερα κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στους μηχανισμούς και παρουσιάζονται κάποιες βασικές έννοιες και ορισμοί σχετικά με το σχεδιασμό και τη συναρμολόγησή τους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση των βασικότερων εννοιών του pro/Engineer και του mechanism με ειδική αναφορά στις πιο βασικές εντολές τους.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται λεπτομερή tutorials τεσσάρων βασικών μηχανισμών από το σχεδιασμό των επιμέρους εξαρτημάτων, στη συναρμολόγησή τους και στον ορισμό των στοιχείων των μηχανισμών.

Στο τέταρτο και τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα γενικά συμπεράσματα της εργασίας.

Περιεχόμενα

Εισαγωγή.....	1
Περιεχόμενα	2
1. Μηχανισμοί.....	3
2. Pro/Engineer - Mechanism	9
2.1. Εισαγωγή στο Pro/Engineer	9
2.2. Εισαγωγή στο Mechanism.....	12
3. Σχεδιασμός – Συναρμολόγηση μηχανισμών	17
3.1. Οδοντωτοί τροχοί.....	17
Σχεδιασμός Οδοντωτού Τροχού.....	17
Assembly.....	27
Mechanism.....	32
3.2. Τροχός της Γενεύης.....	36
Σχεδιασμός.....	36
Assembly.....	43
Mechanism.....	46
3.3. Sliding connector.....	48
Σχεδιασμός.....	48
Assembly.....	51
3.4. Αλυσίδα	57
Σχεδιασμός.....	58
Assembly.....	67
Mechanism.....	79
4. Συμπεράσματα	82
5. Βιβλιογραφία	83

1. Μηχανισμοί

Ο μηχανισμός είναι μια μηχανολογική κατασκευή που προκύπτει από το συνδυασμό άκαμπτων σωμάτων, κατασκευασμένων και συναρμολογημένων ώστε να πραγματοποιούν προκαθορισμένες κινήσεις, η οποία μεταφέρει κίνηση ή δύναμη. Μπορεί να είναι μέρος ενός μεγαλύτερου συστήματος (μηχανής).

Τμήματα μηχανισμών:

Στοιχεία σύνδεσης: ήλοι, κοχλίες, σφήνες, πείροι κλπ

Στοιχεία έδρασης ή μετάδοσης κίνησης: έδρανα ολίσθησης και κύλισης, άξονες, άτρακτοι, συμπλέκτες, οδοντωτοί τροχοί και μειωτήρες στροφών, ιμάντες και αλυσίδες κίνησης

Η Κινηματική είναι κλάδος της μηχανικής που περιγράφει την κίνηση των σωμάτων αδιαφορώντας για τη μάζα τους ή τις αιτίες, δυνάμεις, που προκαλούν την κίνησή τους. Στην κινηματική, ο μηχανισμός είναι ένας τρόπος μετάδοσης, ελέγχου ή περιορισμού σχετικής κίνησης.

Όταν ανάμεσα σε δύο άκαμπτα σώματα εμφανίζεται σχετική κίνηση μέσω περιορισμού των βαθμών ελευθερίας τους, η σύνδεση αυτή ονομάζεται κινηματικό ζεύγος (άρθρωση). Ανάλογα με τον τρόπο επαφής των δύο σωμάτων οι τύποι αρθρώσεων κατατάσσονται ως εξής:

Χαμηλού επιπέδου ζεύγη: Ο περιορισμός κίνησης έχει να κάνει με επαφή επιφανειών (πχ τύπος σύνδεσης “Pin”, συνδέσεις με κύλιση, κυλινδρικές συνδέσεις κλπ)

Υψηλού επιπέδου ζεύγη: Ο περιορισμός κίνησης έχει να κάνει με επαφή σημείων ή καμπύλων (πχ έκκεντρα, οδοντωτοί τροχοί κλπ).

Ακολουθούν κάποια παραδείγματα μηχανισμών.

Μηχανισμός των Αντικυθήρων

Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων (γνωστός και ως αστρολάβος των Αντικυθήρων) πήρε αυτή την ονομασία από το ναυάγιο κοντά στη νήσο Αντικύθηρα, μέσα στο οποίο βρέθηκε το 1901. Άλλες ονομασίες που χρησιμοποιούνται για τον χαρακτηρισμό αυτού του ευρήματος είναι «υπολογιστής» και «πλανητάριο». Υπονοείται δηλαδή ότι πρόκειται για ένα μηχανικό «υπολογιστή», ο οποίος βάσει των γεωμετρικών σχέσεων των γραναζιών του αναπαράγει διάφορα αστρονομικά φαινόμενα: δηλαδή πρόκειται για ένα αναλογικό υπολογιστή, αφού τα αποτελέσματα που αναφέρονται σε χρονικές στιγμές και περιόδους, προκύπτουν κατ' αναλογία προς μηχανικά μεγέθη.



Στα διαβρωμένα υπολείμματα του μηχανισμού που παρέμειναν 20 και πλέον αιώνες στη θάλασσα, φαίνονται ακόμα κλίμακες με βαθμονομήσεις κατά το ζωδιακό κύκλο της Αστρολογίας και τα ελληνικά ονόματα των μηνών που

χρησιμοποιούνταν τότε. Στην πίσω πλευρά του μηχανισμού υπάρχουν τέσσερις περιστρεφόμενοι ομόκεντροι τροχοί (δακτυλίδια), με τους οποίους υπολογίζονταν θέσεις και φαινόμενα των γνωστών πλανητών και άλλων ουράνιων σωμάτων. Ο κύριος μηχανισμός περιλαμβάνει γρανάζια με δόντια που έχουν κοπεί με κλίση 60° , καθώς επίσης ένα διαφορικό σύστημα για την εκτέλεση αφαιρέσεων.

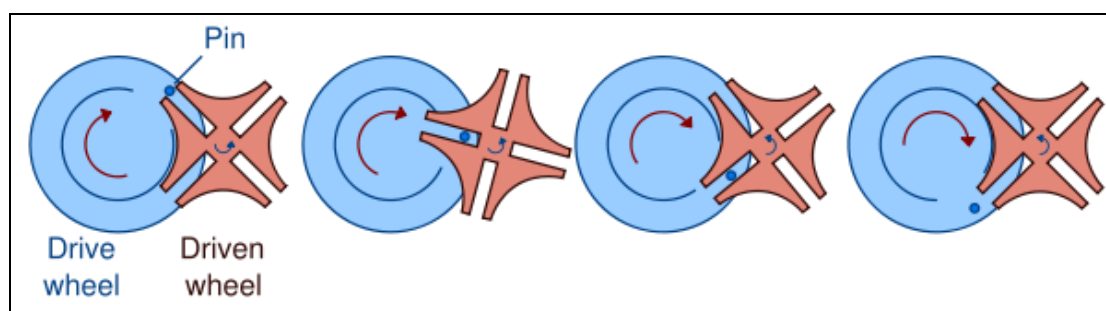
Έρευνες και μελέτες έδειξαν όμως ότι ο μηχανισμός αυτός χρονολογείται ανάμεσα στο 150 και το 100 π.Χ. Σ' αυτές τις έρευνες επιβεβαιώθηκε ακόμα ότι ο μηχανισμός δεν ήταν απλά ένα ομοίωμα αλλά βρισκόταν σε λειτουργία, όταν ναυάγησε το πλοίο. Αυτό συμπεραίνεται από το γεγονός ότι είχαν γίνει δύο επιδιορθώσεις στο μηχανισμό και συγκεκριμένα, είχαν αντικατασταθεί ένα δόντι γραναζιού και η ακτίνα ενός τροχού που είχαν σπάσει.

Τροχός της Γενεύης (Geneva Drive)



Ο μηχανισμός αυτός αποτελείται από ένα ζεύγος τροχών και μετατρέπει τη συνεχόμενη περιστροφική κίνηση σε διακοπτόμενη περιστροφική κίνηση. Ο κινητήριος τροχός έχει ένα κυλινδρικό τμήμα (pin) το οποίο εκτελώντας περιστροφική κίνηση γύρω από τον άξονα του τροχού, συμπλέκεται με τα

αυλάκια που υπάρχουν στον κινούμενο τροχό, με αποτέλεσμα ο κινούμενος τροχός να περιστρέφεται κατά ένα βήμα για κάθε περιστροφή του κινητήριου τροχού.

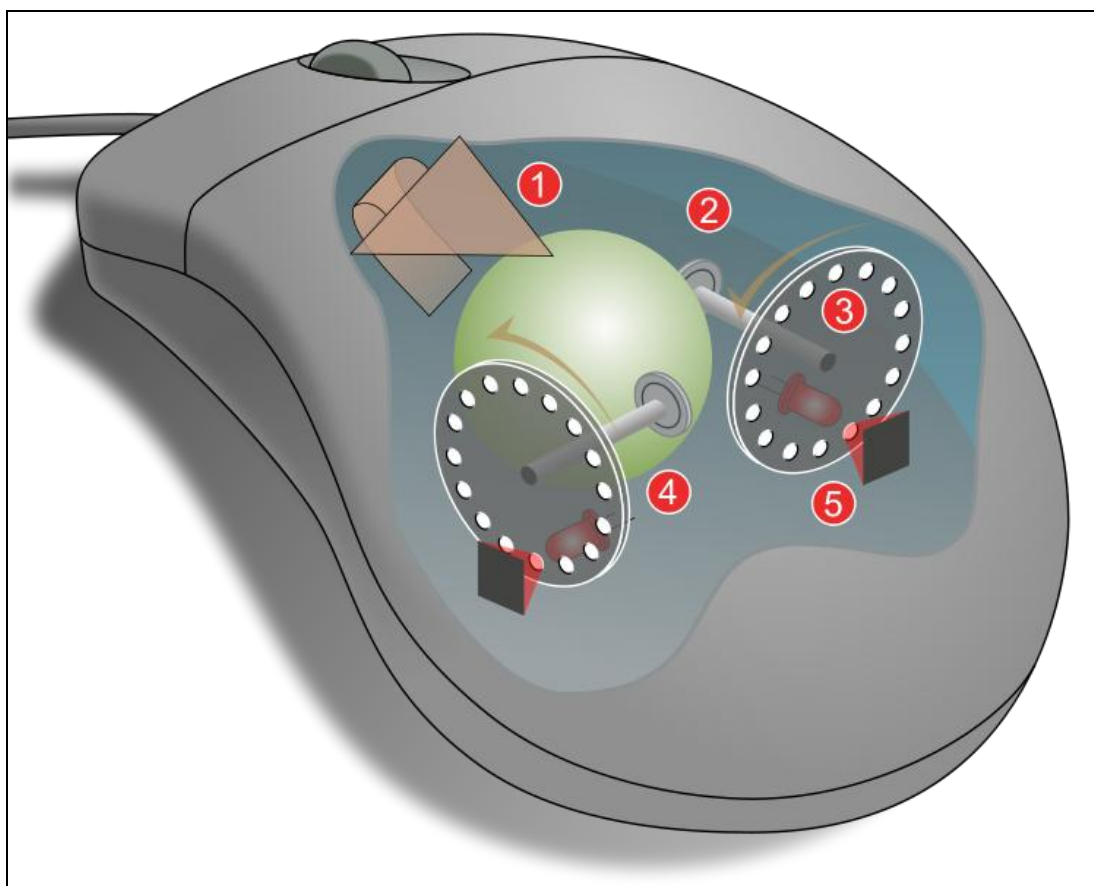


Αυτός ο μηχανισμός χρησιμοποιείται στις μηχανές προβολής ταινιών. Το φιλμ δεν περνάει με σταθερή ταχύτητα μπροστά από το φακό, αλλά προχωράει καρέ καρέ, με κάθε καρέ να μένει ακίνητο μπροστά στο φακό για 1/24 του δευτερολέπτου όπου γίνεται διπλή έκθεση, με αποτέλεσμα τη συχνότητα 48Hz. Πιο σύγχρονες μηχανές χρησιμοποιούν ηλεκτρονικά συστήματα ή βηματικούς κινητήρες.

Άλλη εφαρμογή του μηχανισμού αυτού είναι σε μηχανικά ρολόγια, όπου χρησιμεύει στον περιορισμό της τάσης που δέχεται το ελατήριο. Δεν επιτρέπει στο μηχανισμό που κουρδίζει το ρολόι να εφαρμόζει περισσότερη του επιτρεπτού τάση στο ελατήριο. Σ' αυτή την περίπτωση ο μηχανισμός ονομάζεται Geneva Stop.

Μηχανικό mouse

Το ποντίκι (mouse) είναι συσκευή εισόδου που χρησιμοποιείται στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές (Η/Υ). Πριν την εμφάνιση των οπτικών, laser, γυροσκοπικών κλπ ποντικιών, τα μηχανικά ποντίκια κάλυπταν τις ανάγκες των χρηστών Η/Υ.



Ο τρόπος λειτουργίας του μηχανικού μέρους για την αντιστοίχιση της κίνησης του ποντικιού με παρόμοια κίνηση ενός ίχνους (κέρσορα) στην οθόνη του Η/Υ είναι ο εξής:

Καθώς το ποντίκι κυλάει πάνω σε επιφάνεια, η μπίλια αφού εφάπτεται στην επιφάνεια αυτή, περιστρέφεται ελεύθερα προς κάθε κατεύθυνση χωρίς όμως να ξεφεύγει από τη θέση της. Ροδέλες στους άξονες x , y πιάνουν την κίνηση της μπίλιας και τη μεταφέρουν στους δίσκους δύο οπτικών encoders, οι οποίοι στέλνουν το σήμα σε onboard chip που μεταφράζει τα δεδομένα σε μορφή που να μπορεί να διαβάσει ο υπολογιστής.

Για να μένει η μπίλια στη θέση της και να μπορεί να περιστρέφεται ελεύθερα και να κυλάει χωρίς ολίσθηση πάνω στην επιφάνεια, θα πρέπει να περιορίζονται οι τρεις βαθμοί ελευθερίας που ορίζουν τη θέση της και να παραμένουν ανοιχτοί οι άλλοι τρεις που ορίζουν τον προσανατολισμό της.

Το σύστημα του encoder θα πρέπει να μπορεί να περιστρέφεται γύρω από τον άξονά του, χωρίς να κινείται κατά μήκος αυτού του άξονα, έτσι ώστε η

ροδέλα να βρίσκεται πάντα σε επαφή με τη μπίλια και ο διάτρητος δίσκος να βρίσκεται ανάμεσα από το led και τη φωτοδίοδο. Αυτό το σύστημα έχει μόνο έναν βαθμό ελευθερίας, αυτόν της περιστροφής γύρω από τον άξονά του.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη και η παρουσίαση υπολογιστικών εργαλείων, για την οπτικοποίηση και την προσομοίωση της κινηματικής μηχανισμών σε ηλεκτρονικό υπολογιστή.

2. Pro/Engineer - Mechanism

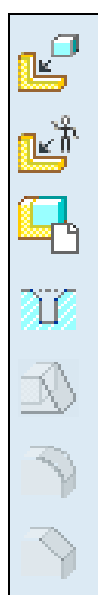
2.1. Εισαγωγή στο Pro/Engineer

Το Pro/Engineer είναι ένα λογισμικό 3D CAD/CAM/CAE που χρησιμοποιεί παραμετρικό (Parametric) σύστημα στερεάς και επιφανειακής μοντελοποίησης (Solid - Surface Modeling) βασισμένο σε χαρακτηριστικά (Feature based).

Parametric: Το γεωμετρικό στερεό εξαρτάται άμεσα από τις τιμές που έχουν δοθεί στα features του. Η μεταβολή μιας τιμής ενός feature έχει ως αποτέλεσμα τη μεταβολή τιμών άλλων features τα οποία εξαρτώνται από αυτό και κατά συνέπεια τη μεταβολή του σχήματος του στερεού

Feature Based: Το γεωμετρικό μοντέλο δημιουργείται από features υψηλού επιπέδου (αφαίρεση/προσθήκη υλικού, οπές κλπ) αντί για χαμηλού επιπέδου (γραμμές, τόξα, κύκλοι κλπ). Ανάμεσα στα features ενός μοντέλου μπορούν να δημιουργηθούν σχέσεις, ώστε μεταβάλλοντας ένα feature να μεταβάλλονται και όσα εξαρτώνται από αυτό.

Κατά τη διάρκεια της επιλογής parts προς συναρμολόγηση ή δημιουργία στο assembly υπάρχουν οι εξής επιλογές:



Assemble: Εισαγωγή ήδη σχεδιασμένου part προς συναρμολόγηση

Manikin: Εισαγωγή ανθρωπόμορφου μοντέλου

Create: Δημιουργία part μέσα από το assembly

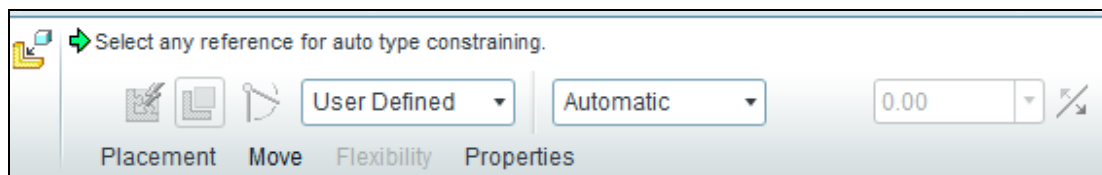
Hole: Δημιουργία τυποποιημένης οπής

Draft

Round

Edge Chamfer

Επιλέγοντας assemble και εισάγοντας κάποιο part εμφανίζεται το component placement dashboard (εικόνα 01) το οποίο περιέχει τις επιλογές και τους τρόπους συναρμολόγησης.



Εικόνα 01. Component Placement Dashboard

Τα προκαθορισμένα σετ περιορισμών ορίζουν την κίνηση ενός εξαρτήματος μέσα στο assembly. Ένα τέτοιο σετ περιέχει τους περιορισμούς που ορίζουν τον τύπο σύνδεσης, με ή χωρίς άξονα κίνησης. Οι συνδέσεις καθορίζουν συγκεκριμένους τύπους κινήσεων. Όλα τα προκαθορισμένα σετ περιορισμών μπορούν να υποστούν επεξεργασία στο Mechanism Design.

Τα εξαρτήματα που συναρμολογούνται με τα σετ περιορισμών μένουν όχι πλήρως περιορισμένα ώστε να διατηρούν έναν ή περισσότερους βαθμούς ελευθερίας.

Rigid: Συνδέει δυο εξαρτήματα ώστε να μην υπάρχει σχετική κίνηση μεταξύ τους. Τα εξαρτήματα που συνδέονται με αυτο τον τρόπο συμπεριφέρονται σαν ένα ακαμπτο σώμα. Αυτός ο τύπος περιορισμού είναι παρόμοιος με το User Defined σετ. Περιέχει: Mate, Align, Insert, Coordinate System, Tangent, Point On Line, Point On Surface, Edge On Surface και Fix.

Pin: Συνδέει ένα εξάρτημα σε άξονα, ώστε το εξάρτημα να περιστρέφεται γύρω από τον άξονα ή να κινείται πάνω σε αυτόν, με έναν βαθμό ελευθερίας. Αυτό το σετ έχει δύο περιορισμούς: Axis alignment και planar mate ή align.

Slider: Συνδέει ένα εξάρτημα σε άξονα, ώστε το εξάρτημα να κινείται πάνω σε αυτόν, με έναν βαθμό ελευθερίας. Αυτό το σετ έχει δύο περιορισμούς κινήσεων: axis alignment και planar mate/align για περιορισμό της περιστροφής πάνω στον άξονα (rotation).

Cylinder: Συνδέει ένα εξάρτημα σε άξονα ώστε να κινείται κατά μήκος και να περιστρέφεται γύρω από αυτόν με δύο βαθμούς ελευθερίας. Αυτό το σετ έχει μόνο τον περιορισμό axis alignment.

Planar: Συνδέει δυο εξαρτήματα ώστε να κινούνται το ένα σε σχέση με το άλλο πάνω σε επίπεδο με δύο βαθμούς ελευθερίας ως προς το επίπεδο και να περιστρέφονται γύρω από άξονα κάθετο στο επίπεδο αυτό με έναν βαθμό ελευθερίας. Αυτό το σετ έχει μόνο τον περιορισμό planar mate/align (μπορεί να γίνει flip).

Ball: Συνδέει ένα εξάρτημα ώστε να μπορεί να περιστρέφεται προς οποιαδήποτε κατεύθυνση με τρεις βαθμούς ελευθερίας (περιστροφή 360°). Αυτό το σετ έχει ένα point to point alignment περιορισμό.

Weld: Συνδέει ένα εξάρτημα πάνω σε άλλο ώστε να μην υπάρχει σχετική κίνηση μεταξύ τους. Το εξάρτημα τοποθετείται στο assembly ταυτίζοντας το σύστημα συντεταγμένων του εξαρτήματος με ένα του assembly. Η θέση του εξαρτήματος μπορεί να ρυθμιστεί περεταίρω χρησιμοποιώντας τους μη περιορισμένους βαθμούς ελευθερίας του. Αυτό το σετ έχει έναν περιορισμό coordinate system alignment.

Bearing: Αυτό το σετ είναι συνδυασμός των σετ Ball και Slider με τέσσερις βαθμούς ελευθερίας. Υπάρχουν τρεις βαθμοί ελευθερίας για την περιστροφή 360° και ένας για κίνηση κατά μήκος σε άξονα. Έχει έναν περιορισμό point on edge alignment.

General: Έχει έναν ή δύο ρυθμιζόμενους περιορισμούς όμοιους με αυτούς του user defined set.

6DOF: Δεν επηρεάζει την κίνηση του εξαρτήματος, γιατί δεν εφαρμόζεται κανένας περιορισμός. Το σύστημα συντεταγμένων του εξαρτήματος ευθυγραμμίζεται με ένα του assembly. Οι άξονες x, y, και z του assembly είναι άξινες κίνησης και επιτρέπουν περιστροφική (rotation) και ομοιόμορφη μη περιστροφική κίνηση (translation).

Slot: Συνδέει σημείο με μη ευθύγραμμη τροχιά. Αυτή η σύνδεση αφήνει τέσσερις βαθμούς ελευθερίας όπου το σημείο ακολουθεί την τροχιά σε τρεις

κατευθύνσεις. Αυτό το σετ έχει περιορισμό single point alignment σε πολλαπλές ακμές ή καμπύλες.

2.2. Εισαγωγή στο Mechanism

Το application mechanism του Pro/Engineer είναι ένα εργαλείο κινηματικής και δυναμικής ανάλυσης. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για:

- Τη δημιουργία απλών ή και σύνθετων μηχανισμών
- Τον ορισμό των συνδέσεων μεταξύ διαφορετικών στοιχείων ενός assembly
- Τον ορισμό κινητήρων και των παραμέτρων τους
- Την προσομοίωση κίνησης των στοιχείων του μηχανισμού σε καθορισμένες τροχιές
- Την ανάλυση ταχύτητας και επιτάχυνσης για τα επιμέρους parts ενός assembly
- Την εκτέλεση κύκλων κίνησης των μηχανισμών
- Τη δημιουργία τροχιών για κίνηση μερών του μηχανισμού
- Την αποθήκευση σε video της προσομοίωσης κίνησης του μηχανισμού.
- Την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης

Μετά την πλήρη συναρμολόγηση ενός μηχανισμού, το assembly περνάει στο application mechanism του pro/Engineer για τον ορισμό των στοιχείων του μηχανισμού. Εδώ υπάρχουν οι εξής επιλογές:



Mechanism Display: Εδώ επιλέγονται τα στοιχεία των μηχανισμών που θα είναι ορατά.



Cams: Ανοίγει το παράθυρο διαλόγου Cam-Follower Connection Definition για τη δημιουργία ή την επεξεργασία σύνδεσης τύπου cam-follower.

Στην πρώτη καρτέλα (Cam1) συμπληρώνονται τα στοιχεία του πρώτου cam. Επιλέγεται η επιφάνεια που θα αλληλεπιδρά με το δεύτερο cam. Αν είναι ενεργή η επιλογή Autoselect θα επιλεγούν αυτόματα και οι παρακείμενες επιφάνειες. Αλλαγή της κατεύθυνσης επαφής της επιφάνειας γίνεται πατώντας flip.

Αν επιλεγεί επιφάνεια ρυθμίζεται ο προσανατολισμός του cam πάνω στην επιφάνεια με τις επιλογές Depth Display Settings.

Η ίδια διαδικασία ακολουθείται και στη δεύτερη καρτέλα (Cam2).

Στην τρίτη καρτέλα (Properties) υπάρχουν οι επιλογές Enable Liftoff και Enable Friction. Η πρώτη επιτρέπει στο πρώτο cam να απομακρυνεται από το δεύτερο cam κατά τη διάρκεια χρήσης του εργαλείου Drag Components ή κατά τη διάρκεια ανάλυσης μηχανισμού. Η δεύτερη ενεργοποιεί δυνάμεις τριβής ανάμεσα στα δύο cams.



3D Contacts: Ανοίγει το 3D Contacts dashboard. Εδώ ορίζεται η σύνδεση ανάμεσα σε δύο μέρη που βρίσκονται σε διαφορετικά σώματα και η σύνδεση είναι ανάμεσα σε επιφάνεια ή γωνία του πρώτου σώματος και σε μια ή περισσότερες σφαιρικές, κυλινδρικές ή επίπεδες επιφάνειες ή γωνίες του δεύτερου.

Στο 3D Contacts dashboard συμπληρώνονται οι λεπτομέρειες της σύνδεσης.

Επιλέγονται δύο επιφάνειες αναφοράς από δύο parts. Όταν επιλεγεί γωνία θα πρέπει να οριστεί το Vertex Radius.

Στην καρτέλα Contact ρυθμίζονται οι ιδιότητες της σύνδεσης. Εδώ υπάρχουν δύο επιλογές:

- Use values: Γίνεται αποδοχή των προεπιλεγμένων ρυθμίσεων ή αλλαγή των Poisson's ratio, Young's modulus, ή Damping.
- Select material: Με πάτημα στο πεδίο "more" ανοίγει το παράθυρο διαλόγου "Materials" από το οποίο επιλέγεται το επιθυμητό υλικό. Οι

τιμές για Poisson's ratio, Young's modulus, or Damping ανανεώνονται αυτόματα με την αλλαγή υλικού.

Η τελευταία επιλογή "No Friction / With Friction" ενεργοποιεί τις δυνάμεις τριβής.



Gears: Ανοίγει το παράθυρο διαλόγου Gear Pair Definition για συμπλήρωση των ιδιοτήτων σύνδεσης μεταξύ δύο οδοντωτών τροχών.

Αρχικά θα πρέπει οι τροχοί να είναι προσανατολισμένοι στο assembly έτσι ώστε να μην υπάρχει σύγκρουση. Ο προσανατολισμός γίνεται με το Drag Components Tool.

Στο παράθυρο διαλόγου, στο πεδίο Type επιλέγεται αρχικά ο τύπος τροχών που χρησιμοποιείται.



Στην πρώτη καρτέλα (Gear1) συμπληρώνονται τα στοιχεία του πρώτου τροχού. Επιλέγεται ο άξονας περιστροφής του και συμπληρώνεται η διάμετρος του κύκλου κύλισης στο πεδίο Pitch Circle Diameter.


Η ίδια διαδικασία ακολουθείται στη δεύτερη καρτέλα (Gear2) για το δεύτερο τροχό.

Στην τρίτη καρτέλα συμπληρώνεται ο λόγος πρώτου/δεύτερου τροχού. Αν έχουν συμπληρωθεί οι διάμετροι στις δύο πρώτες καρτέλες, η τρίτη καρτέλα δε χρειάζεται αλλαγή.




Belts: Ανοίγει το Belt dashboard για ορισμό σύνδεσης Belt – Pulley. Επιλέγονται οι επιφάνειες που θα αλληλεπιδρούν με τον ιμάντα. Όταν επιλεγούν τουλάχιστον δύο τροχαλίες εμφανίζεται μια πράσινη καμπύλη που υποδεικνύει την τροχιά του ιμάντα.

Πατώντας  ενεργοποιείται το πεδίο στο οποίο μπορεί να συμπληρωθεί το μήκος του ιμάντα. Στο πεδίο  εισάγεται ο συντελεστής Young πολλαπλασιασμένος με την επιφάνεια του τομέα του ιμάντα.

 **Servo Motors:** Ανοίγει το παράθυρο διαλόγου Servo Motor Definition. Στην πρώτη καρτέλα επιλέγεται ο τύπος της οντότητας (Motion axis ή Geometry) για την επιλογή της θέσης του κινητήρα. Επιλέγονται τα στοιχεία (άξονας, επίπεδα κλπ) που ορίζουν τη θέση του κινητήρα.

Στη δεύτερη καρτέλα (profile) συμπληρώνονται τα υπόλοιπα στοιχεία του κινητήρα.

Στο Specification ορίζεται ο τύπος κίνησης που δίνει ο κινητήρας. Ανάλογα με την επιλογή εδώ (position, velocity, acceleration), ανοίγει το αντίστοιχο μενού για συμπλήρωση των απαραίτητων τιμών.

 **Mechanism Analysis:** Ανοίγει το παράθυρο διαλόγου Analysis Definition. Με αυτό το εργαλείο δημιουργείται ανάλυση του μηχανισμού. Αρχικά επιλέγεται ο τύπος ανάλυσης. Ανάλογα με τον τύπο ανάλυσης που επιλέγεται, μεταβάλλονται και τα πεδία που πρέπει να συμπληρωθούν.

Στη δεύτερη καρτέλα (Motors) φαίνονται οι κινητήρες που υπάρχουν στο μηχανισμό.

Η τρίτη καρτέλα δεν είναι ενεργή κατά την κινηματική ανάλυση. Πατώντας run γίνεται προσομοίωση της κίνησης του μηχανισμού.

Για ένα μηχανισμό μπορούν να γίνουν πολλαπλές αναλύσεις οποιουδήποτε τύπου, χρησιμοποιώντας διαφορετικούς κινητήρες και δυνάμεις και επικεντρώνοντας σε διαφορετικά μέρη του μηχανισμού και αγνοώντας άλλα.

Οι τύποι ανάλυσης είναι οι εξής:

Kinematic: Ο μηχανισμός κινείται με τη βοήθεια servo motors και η ανάλυση δε λαμβάνει υπ όψιν της τις δυνάμεις που επιδρούν στο σύστημα.

Dynamic: Εξετάζεται η επίδραση των βαρυτικών, εξωτερικών και αδρανειακών δυνάμεων στη μάζα των σωμάτων του μηχανισμού.

Static: Εξετάζονται οι δυνάμεις που επιδρούν σε σώμα όταν αυτό βρίσκεται σε ισορροπία.

Force Balance: Εξετάζονται οι δυνάμεις που είναι απαραίτητες για την ισορροπία μηχανισμού σε συγκεκριμένη κατάσταση.

Position: Εξετάζεται αν ο μηχανισμός μπορεί να συναρμολογηθεί με συγκεκριμένα servo motor και συνδέσεις.

Κινηματική ανάλυση

Η κινηματική είναι κλάδος της μηχανικής που ασχολείται με θέματα κίνησης χωρίς να λαμβάνονται υπ όψιν δυνάμεις και μάζα. Η κινηματική ανάλυση προσομοιώνει την κίνηση του μηχανισμού, όπως έχει οριστεί με τα χαρακτηριστικά των servo motors και των συνδέσεων (joint, cam-follower, slot-follower και ζεύγη τροχών).

Επειδή δε λαμβάνονται υπ όψιν δυνάμεις, δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί force motor και δε χρειάζεται να οριστούν οι ιδιότητες μάζας του μηχανισμού. Δυναμικές οντότητες του μοντέλου, όπως ελατήρια, αποσβεστήρες, βαρύτητα, δυνάμεις, ροπές και force motors δεν επηρεάζουν την κινηματική ανάλυση.

Με την κινηματική ανάλυση εξάγονται πληροφορίες σχετικά με

- Τη θέση, την ταχύτητα και την επιτάχυνση των γεωμετρικών στοιχείων και των συνδέσεων.
- Παρεμβολές μεταξύ εξαρτημάτων.
- Τροχιές κίνησης του μηχανισμού.
- Το χώρο που περιλαμβάνεται από όλες τις πιθανές κινήσεις του μηχανισμού.

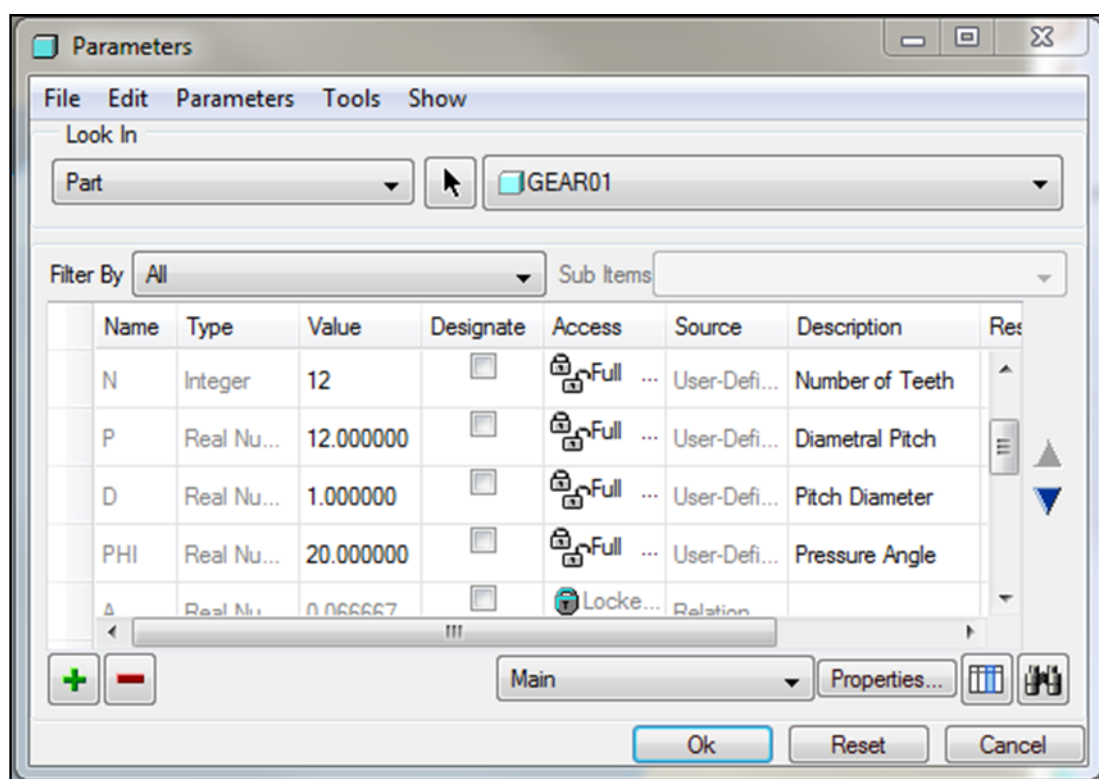
3. Σχεδιασμός – Συναρμολόγηση μηχανισμών

3.1. Οδοντωτοί τροχοί

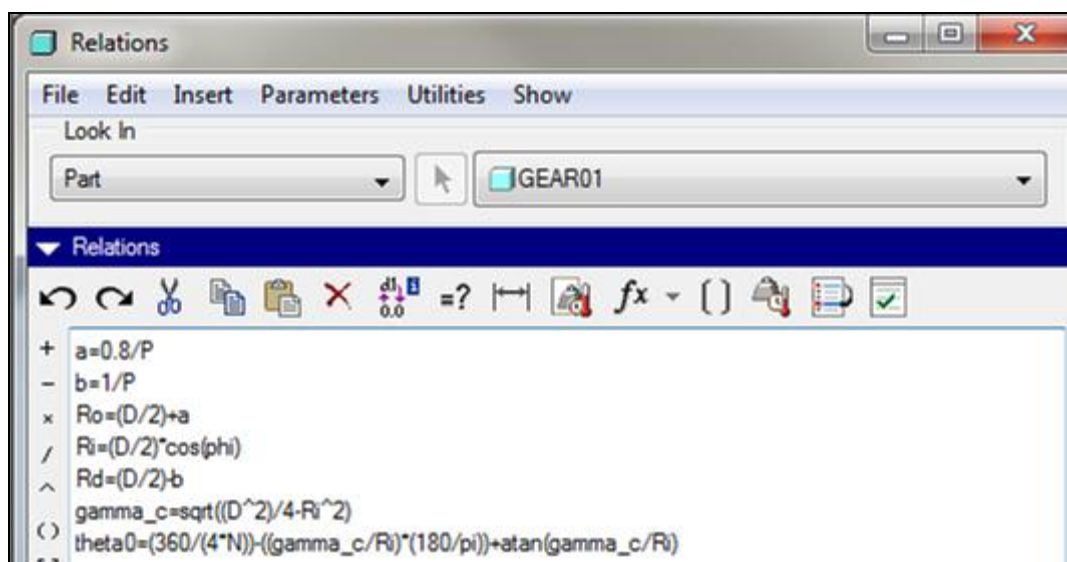
Σχεδιασμός Οδοντωτού Τροχού

3.1.1. Ορισμός παραμέτρων.

Στο μενού Tools>Parameters ορίζονται οι παράμετροι: N (αριθμός οδόντων), P (Diametral Pitch), D (διάμετρος κύκλου κύλισης), Phi (γωνία επαφής) (εικόνα 01)



Εικόνα 01. Ορισμός παραμέτρων



Εικόνα 02. Ορισμός σχέσεων (relations)

Οι βασικές παράμετροι καθορίζουν τις υπόλοιπες παραμέτρους που απαιτούνται, για να οριστεί το προφίλ του δοντιού ενός γραναζιού (ή το προφίλ του κενού χώρου ανάμεσα σε δυο δόντια του γραναζιού). Οι υπόλοιπες παράμετροι ορίζονται με τη μορφή εξισώσεων στο μενού Tools>Relations (εικόνα 02).

a: ύψος κεφαλής

b: ύψος ποδός

Ro: ακτίνα κύκλου κεφαλής

Ri: βασικός κύκλος

Rd: διάμετρος κύκλου πόδα

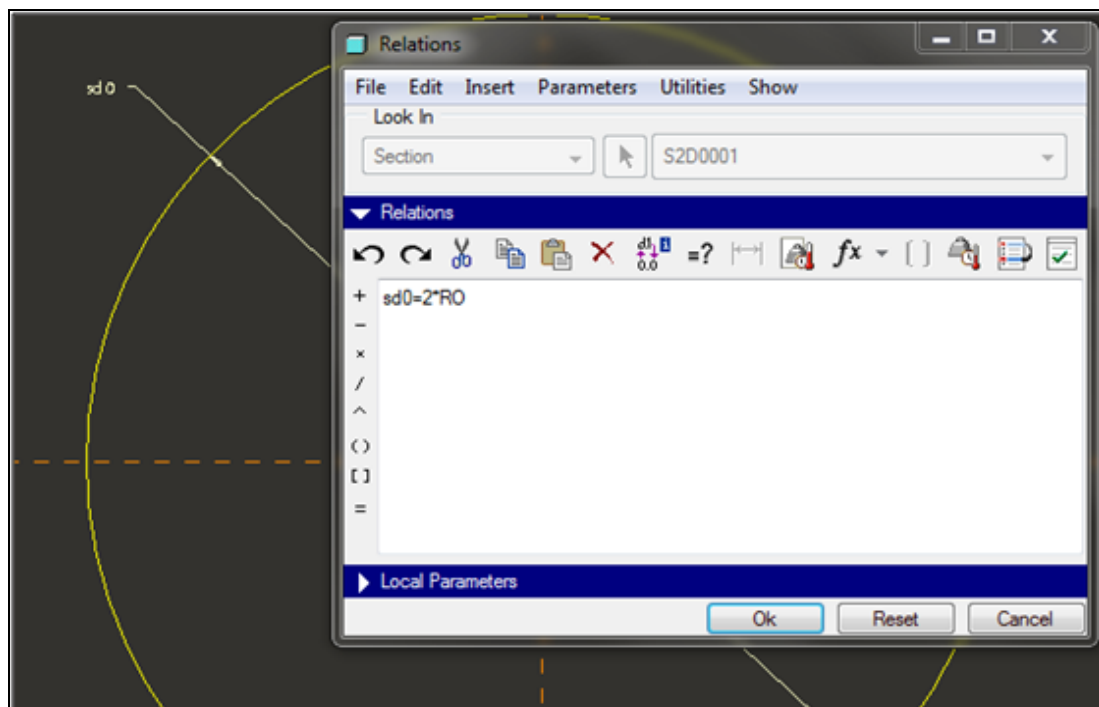
Gamma_c: γ – μεταβλητή που ακολουθεί το t στο διάστημα Ri – Ro

t: παραμετρική μεταβλητή του pro/e

theta0: πολικές συντεταγμένες της εξελεγμένης καμπύλης

3.1.2. Σχεδιασμός βασικού Feature

Για το σχεδιασμό του βασικού feature, σχεδιάζεται κύκλος (εξωτερικό προφίλ γραναζιού). Στο μενού Tools > Relations συμπληρώνονται οι σχέσεις μεταξύ των διαστάσεων του sketch και των διαστάσεων του part (εικόνα 03).

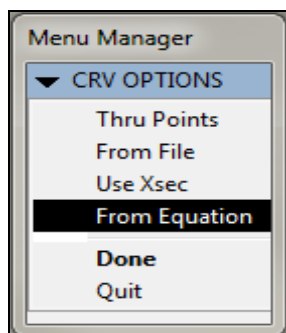


Εικόνα 03. Σχεδιασμός βασικού feature και ορισμός σχέσεων ανάμεσα σε διαστάσεις

Με έξοδο από το sketch ολοκληρώνεται το extrude

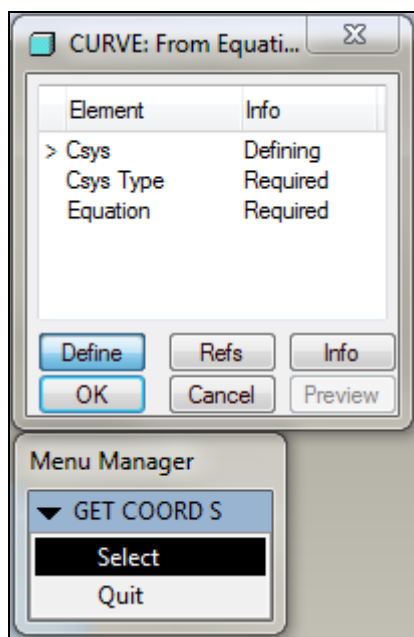
3.1.3. Σχεδιασμός εξελιγμένης καμπύλης\

Θα πρέπει να σχεδιαστεί μια καμπύλη, η οποία θα χρησιμοποιηθεί, για να οριστεί ο χώρος ανάμεσα από δυο δόντια του γραναζιού.



Εικόνα 04.

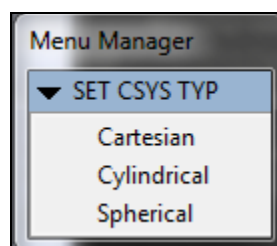
Στο μενού Insert> Model Datum επιλέγεται curve. Στο παράθυρο που εμφανίζεται επιλέγεται From Equation (εικόνα 04)



Εικόνα 05. Παράθυρο επιλογής συστήματος συντεταγμένων

Στη συνέχεια το πρόγραμμα ζητάει να οριστεί ένα σύστημα συντεταγμένων (εικόνα 05).

Επιλέγεται το «PRT_CSYS_DEF» ως κυλινδρικό (Cylindrical) (εικόνα 06).



Εικόνα 06. Παράθυρο επιλογής τύπου συστήματος συντεταγμένων.

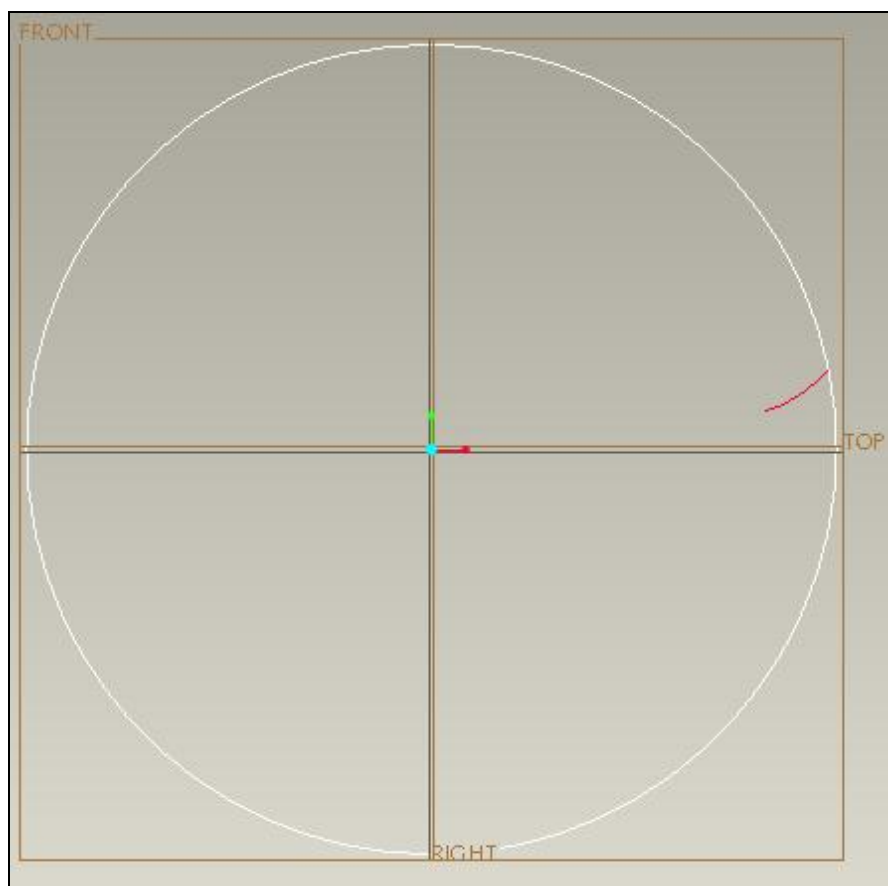
Σ' αυτό το σημείο εμφανίζεται ένα παράθυρο Notepad, όπου συμπληρώνονται όλες οι συναρτήσεις που ορίζουν την εξελεγμένη καμπύλη, ως εξής:

$$\text{gamma} = \text{sqrt}(\text{RO}^2 - \text{Ri}^2) * t$$

$$r = \text{sqrt}(\text{gamma}^2 + \text{Ri}^2)$$

$$\text{theta} = \text{theta0} + ((\text{gamma}/\text{Ri}) * (360/(2 * \text{pi}))) - \text{atan}(\text{gamma}/\text{Ri})$$

$$z = 0$$



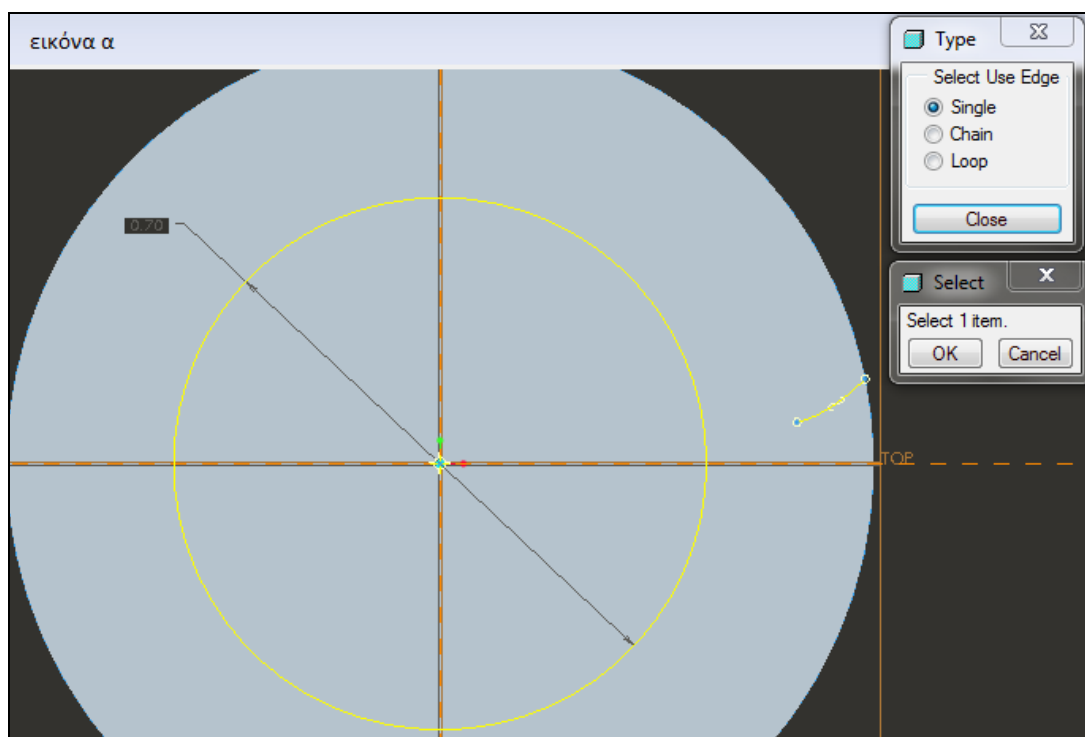
Εικόνα 07. Με preview φαίνεται η καμπύλη πάνω στο extrude που σχεδιάστηκε πριν.

3.1.4. Δημιουργία του κενού ανάμεσα σε δυο δόντια του γραναζιού

Θα χρησιμοποιηθεί η καμπύλη που σχεδιάστηκε για να γίνει το πρώτο extruded cut πάνω στο πρώτο extrude που σχεδιάστηκε.

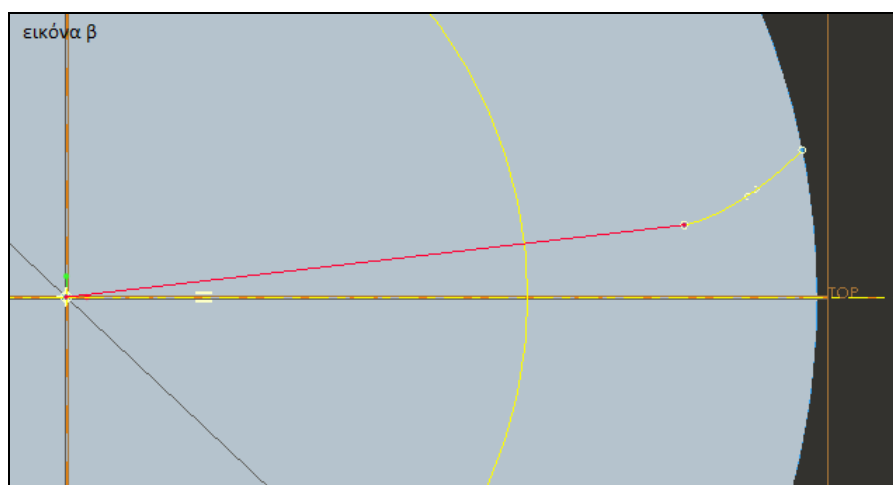
Γίνεται extrude στο επίπεδο που βρίσκεται και η καμπύλη. Η καμπύλη χρησιμοποιείται ως οδηγός για τα εξής:

- Σχεδιάζεται κύκλος ακτίνας μικρότερης από το σημείο της καμπύλης που βρίσκεται πιο κοντά στο κέντρο του κύκλου. Ο κύκλος αυτός θα είναι ο κύκλος ποδός (b)
- Με το use edge κατασκευάζεται καμπύλη που συμπίπτει με την εξελιγμένη καμπύλη (εικόνα α).



Εικόνα α. Χρήση use edge για δημιουργία καμπύλης σε sketch

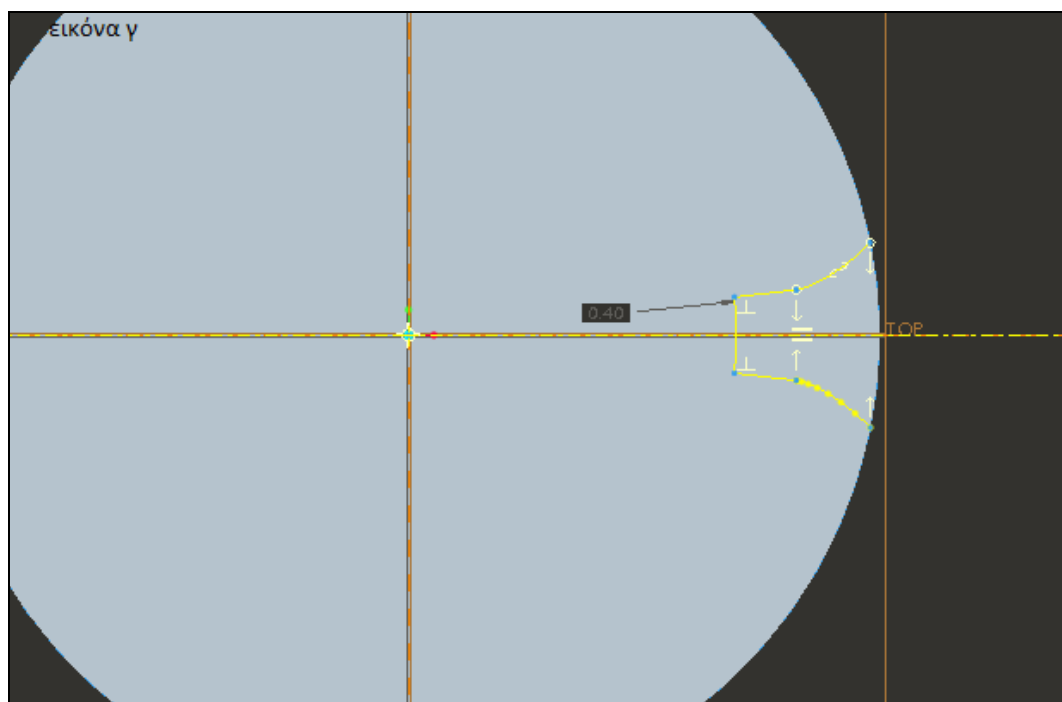
- Σχεδιάζεται οριζόντια centerline που να περνάει από το κέντρο του γραναζιού.
- Σχεδιάζεται ευθεία από το κέντρο του γραναζιού μέχρι το πιο κοντινό σημείο της εξελιγμένης (εικόνα β).



Εικόνα β. Ένωση της καμπύλης με το κέντρο του τροχού

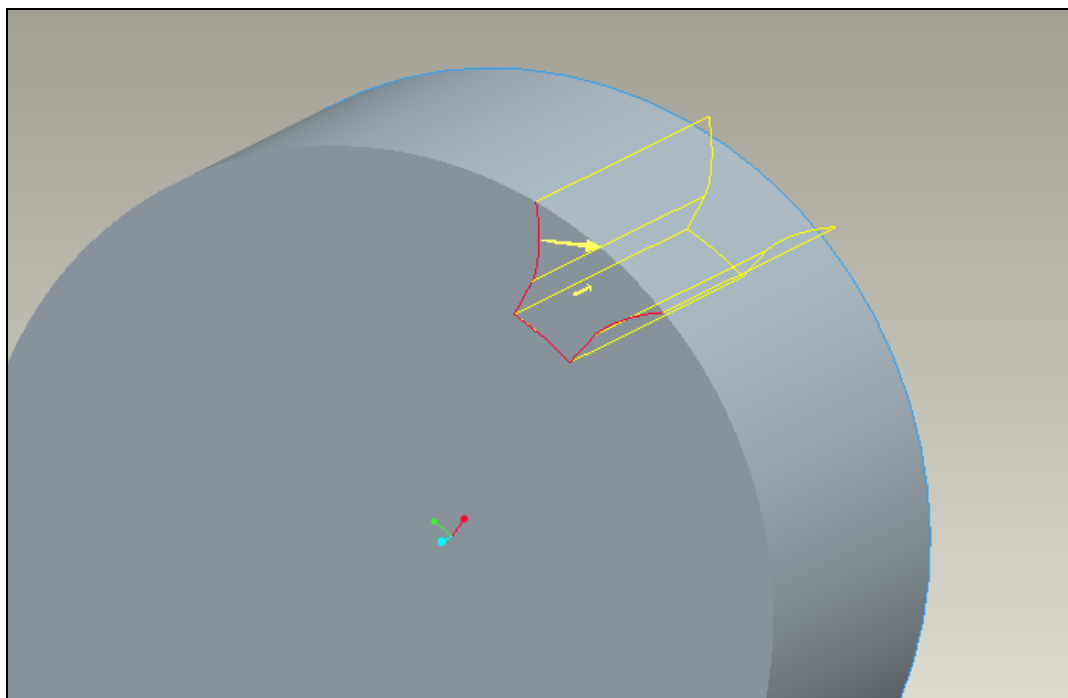
- Γίνεται Mirror της εξελιγμένη και της γραμμής που φτάνει ως το κέντρο με τη βοήθεια της οριζόντιας centerline.

- Γίνεται Trim στα μέρη γραμμών και τόξων που δεν είναι απαραίτητα(εικόνα γ)
- Στο μενού Tools> Relations ορίζεται η ακτίνα του εσωτερικού τόξου ίση με την παράμετρο Rd



Εικόνα γ. Το sketch μετά από trim

Όταν ολοκληρωθεί το sketch, περιέχει μόνο μια διάσταση (ακτίνα εσωτερικού τόξου=0.42). Το extrude ολοκληρώνεται με Remove Material στην περιοχή που περικλείει το sketch (εικόνα 08).

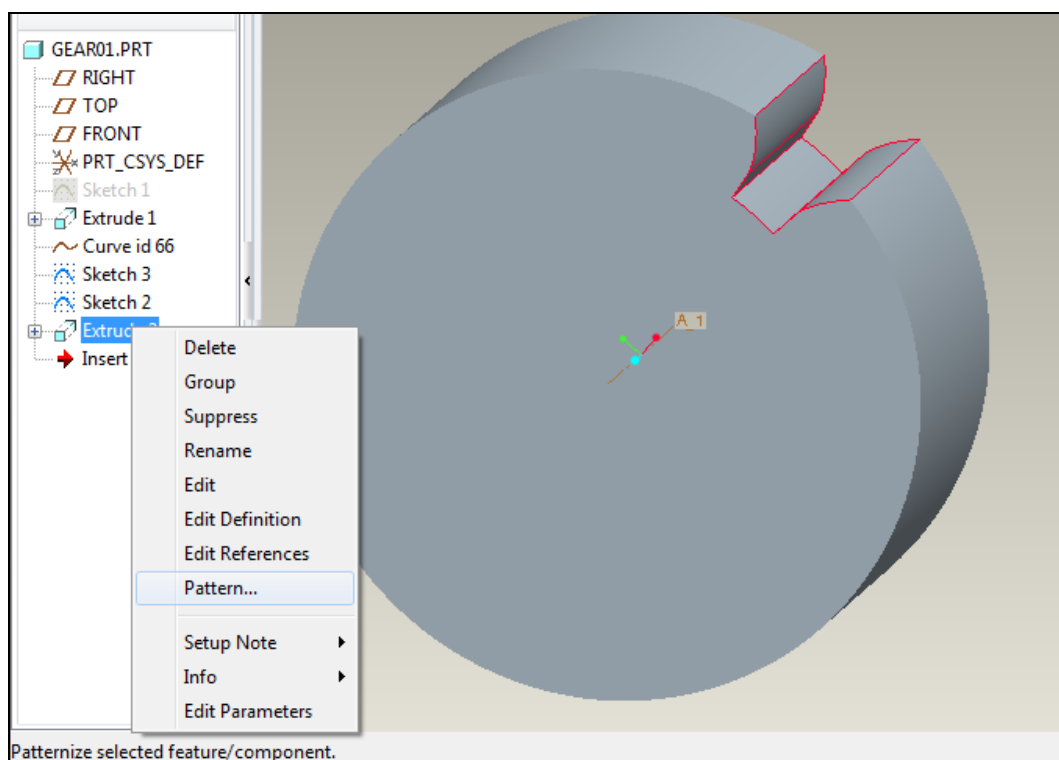


Εικόνα 08. Remove material για την ολοκλήρωση του feature.

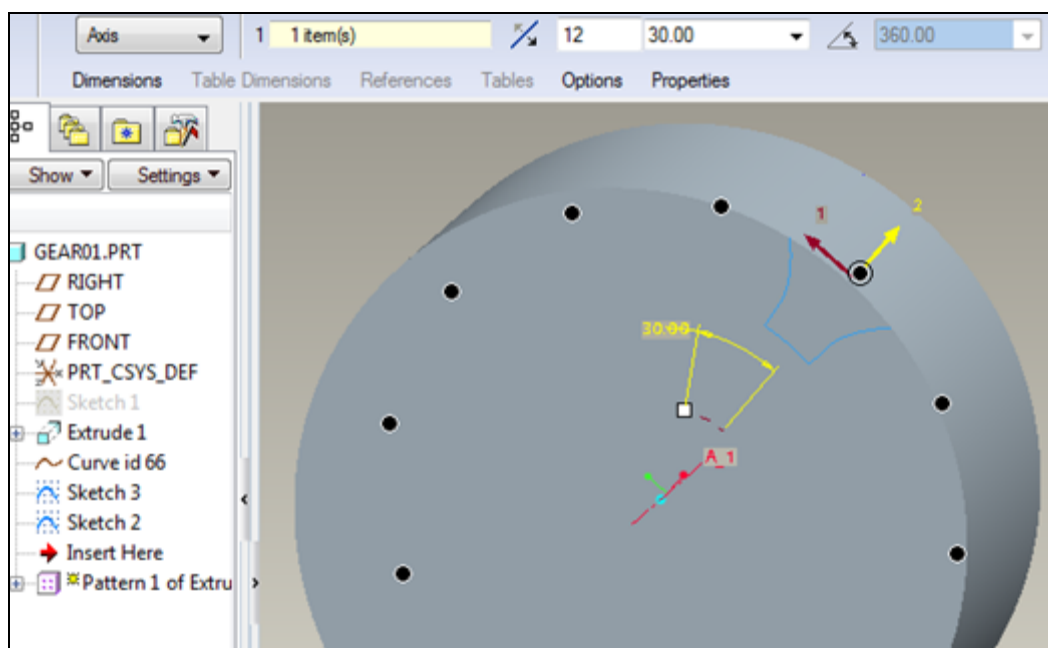
3.1.5. Δημιουργία Pattern

Αφού έχει δημιουργηθεί το κενό ανάμεσα σε δυο δόντια, γίνεται pattern (εικόνα 09) με σημείο αναφοράς τον άξονα που περνάει από το κέντρο του γραναζιού.

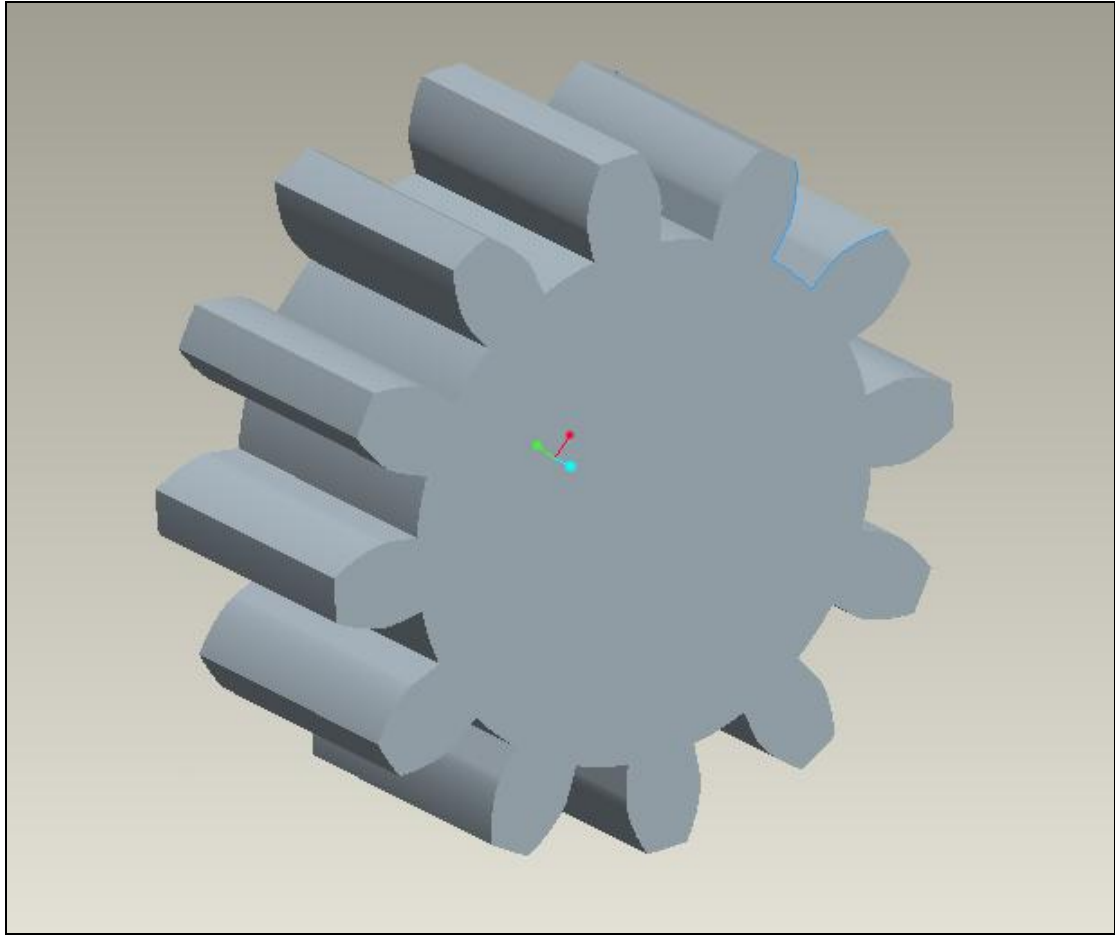
Με δεξί κλικ στο τελευταίο extrude που σχεδιάστηκε επιλέγεται Pattern.



Εικόνα 09. Δημιουργία pattern



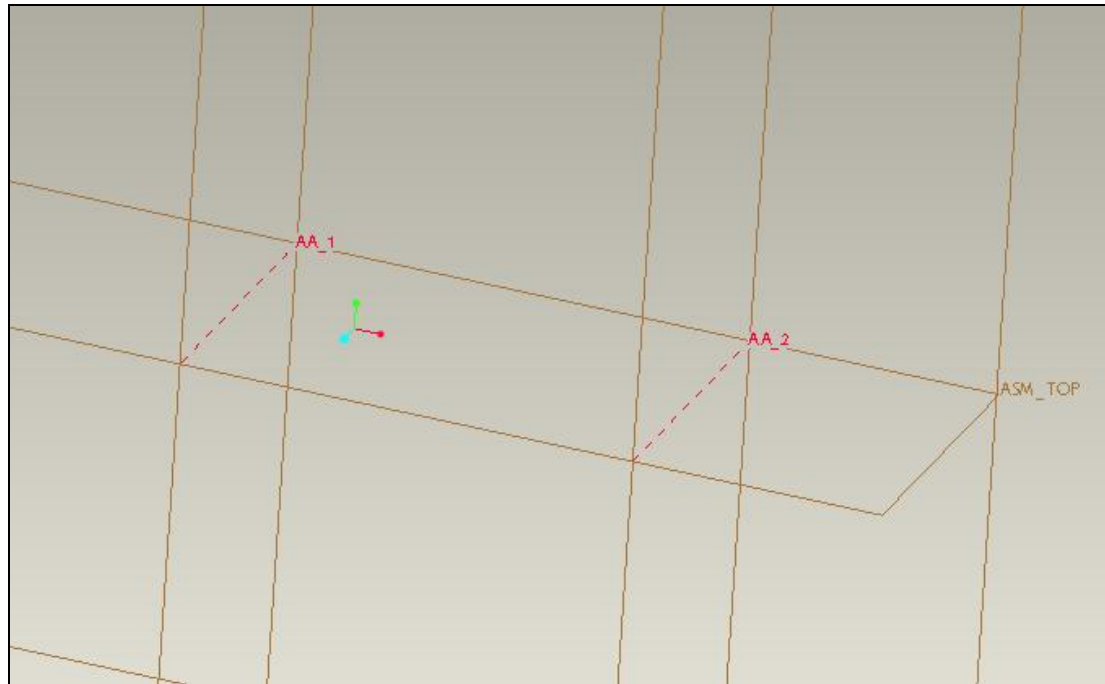
Εικόνα 10. Επιλογή άξονα και λοιπών στοιχείων για το pattern



Εικόνα 11. Το Pattern ολοκληρωμένο

Assembly

Για τη συναρμολόγηση του μηχανισμού σύμπλεξης δύο οδοντωτών τροχών είναι απαραίτητο να υπάρχουν οι άξονες περιστροφής τους. Στη συγκεκριμένη περίπτωση δημιουργούνται δύο άξονες με το datum axis tool (εικόνα 01).



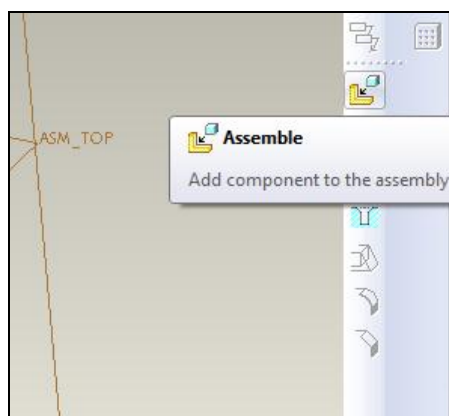
Εικόνα 01. Δημιουργία αξόνων για τη συναρμολόγηση του μηχανισμού.

Η απόσταση **S** μεταξύ των αξόνων υπολογίζεται από τον τύπο

$$\mathbf{S} = r1 + r2$$

r1: ακτίνα κύκλου κύλισης του πρώτου τροχού

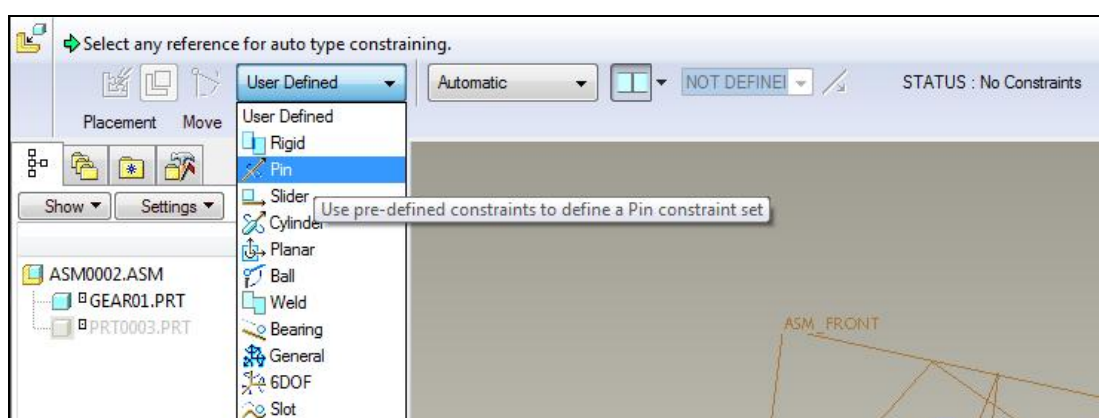
r2: ακτίνα κύκλου κύλισης του δεύτερου τροχού



Επιλέγεται assemble, για να εισαχθεί το πρώτο part στο assembly (εικόνα 02).

Εικόνα 02. Assemble

Αρχικά επιλέγεται τύπος constraint pin (εικόνα 03).

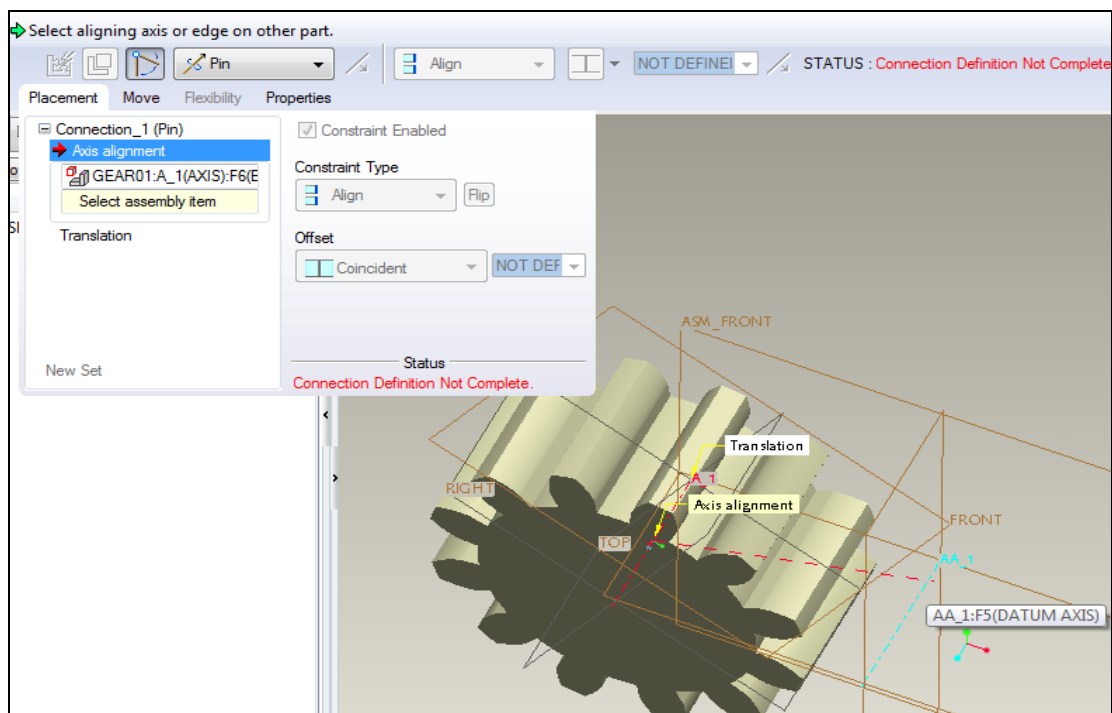


Εικόνα 03. Επιλογή τύπου constraint

Αυτός ο τύπος constraint είναι απαραίτητος για την κίνηση του τροχού γύρω από τον άξονά του.

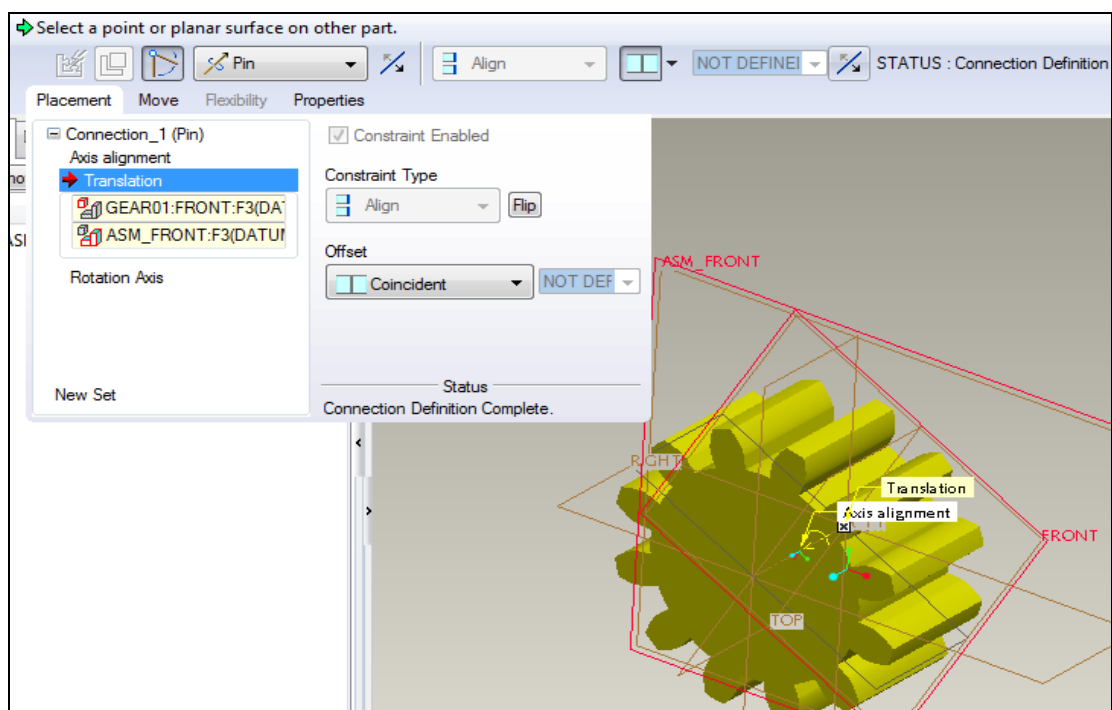
Στη συνέχεια, στο tab placement, ορίζονται οι συνδέσεις του τροχού με τα στοιχεία που υπάρχουν στο χώρο (περιορισμός βαθμών ελευθερίας) ως εξής:

- Axis alignment: ταυτίζεται ο άξονας του κέντρου περιστροφής του τροχού με έναν από τους άξονες που δημιουργήθηκαν στο πρώτο βήμα του assembly (εικόνα 04).



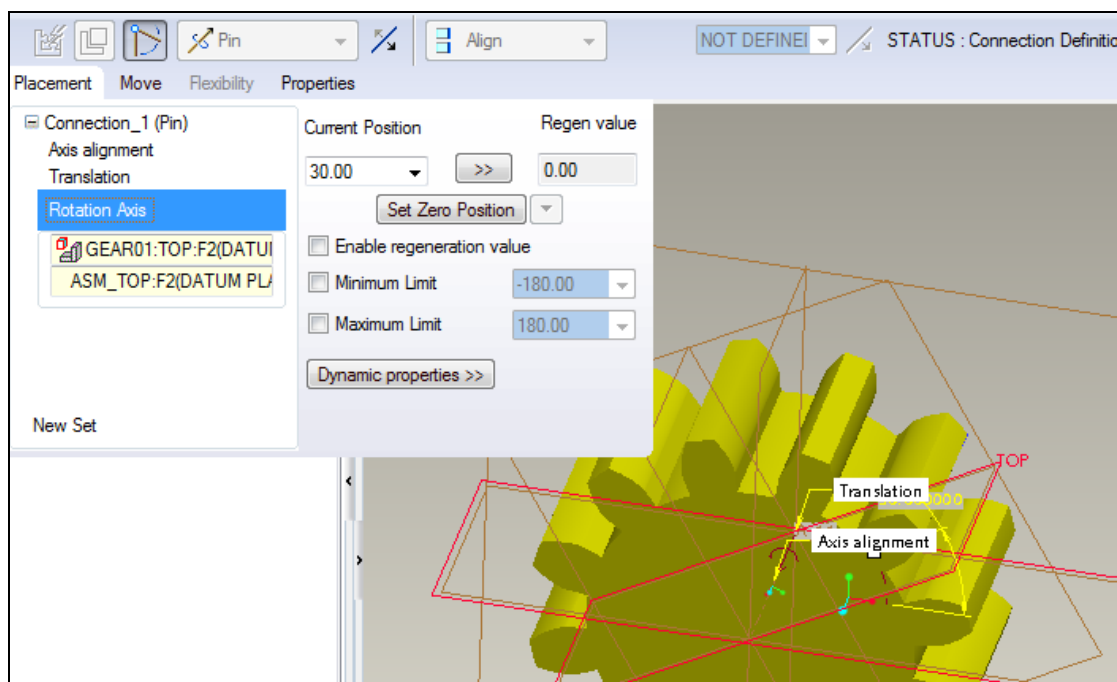
Εικόνα 04. Axis alignment

- Translation: ταυτίζονται τα επίπεδα front του assembly και του part αντίστοιχα (εικόνα 05).



Εικόνα 05. Translation

- Rotation axis: ταυτίζονται τα επίπεδα top του part και του assembly (εικόνα 06)



Εικόνα 06. Rotation Axis

Όταν ολοκληρωθεί ο ορισμός των συνδέσεων του πρώτου part, στη μπάρα διαλόγου φαίνεται το μήνυμα STATUS: Connection Definition Complete. Η συναρμολόγηση του πρώτου τροχού ολοκληρώνεται με επιβεβαίωση και έξοδο από το μενού της συναρμολόγησης.

Η συναρμολόγηση του δεύτερου τροχού γίνεται με τον ίδιο τρόπο. Προσοχή πρέπει να δοθεί στο τρίτο σκέλος του ορισμού των συνδέσεων, για να μην υπάρχει σύγκρουση των τροχών.

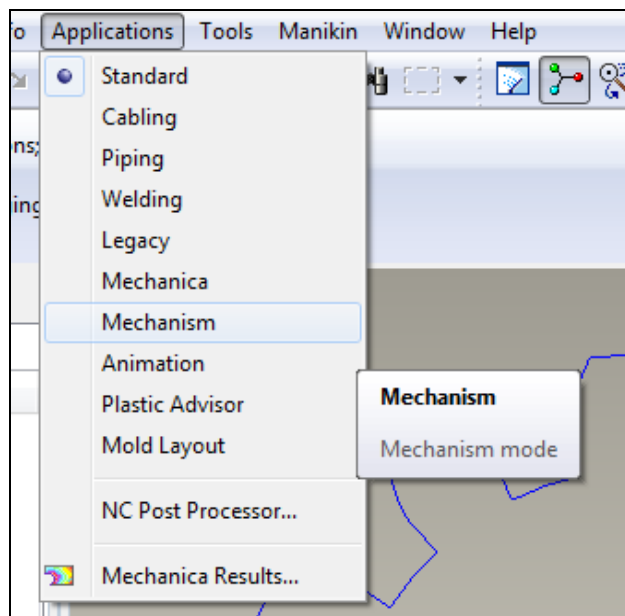
Στην εικόνα 07 φαίνεται ολοκληρωμένο το assembly δυο τροχών διαφορετικού μεγέθους.



Εικόνα 07. Το assembly ολοκληρωμένο.

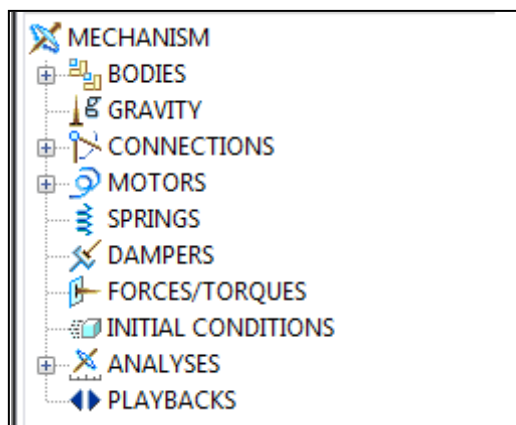
Mechanism

Για να οριστούν τα στοιχεία του μηχανισμού, θα πρέπει το assembly να μεταφερθεί στο application Mechanism (εικόνα 08).



Εικόνα 08. Μετάβαση στο application mechanism

Σαν προεπιλογή, στο δεξί κάτω μέρος του περιβάλλοντος εργασίας φαίνονται όλα τα στοιχεία του μηχανισμού (εικόνα 09). Στο αριστερό μέρος του περιβάλλοντος εργασίας φαίνονται τα εργαλεία του mechanism (εικόνα 10).

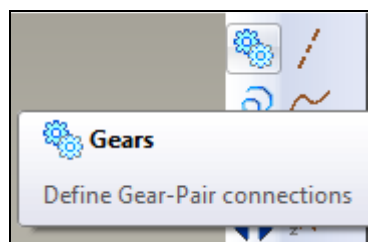


Εικόνα 09. Πίνακας στοιχείων μηχανισμού



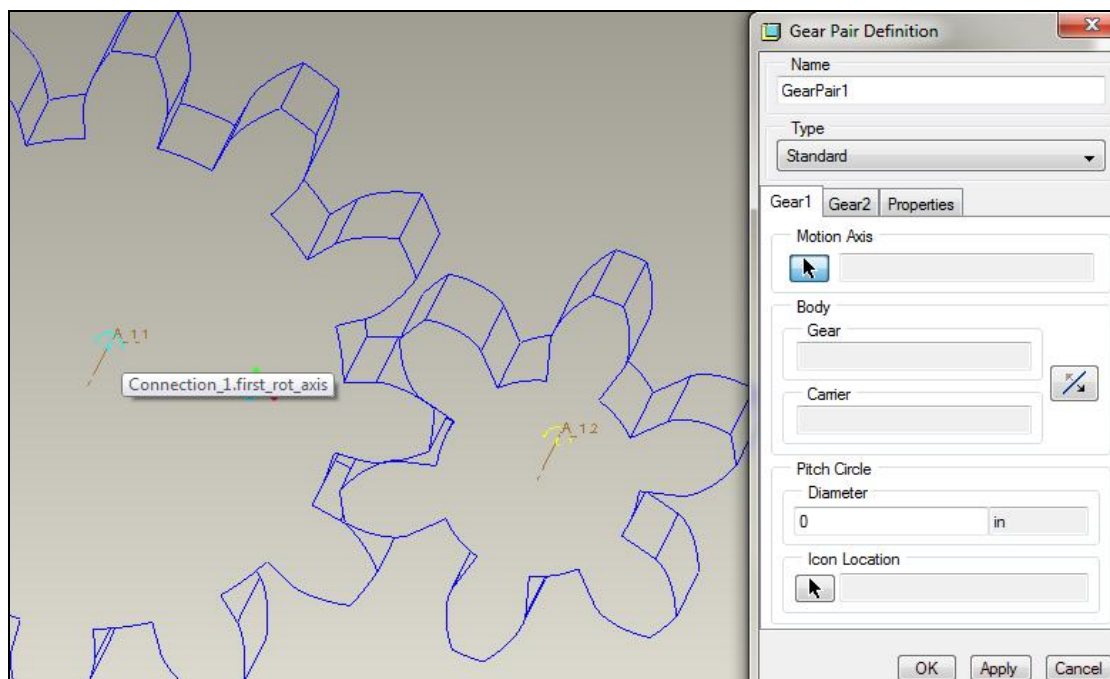
Εικόνα 10. Εργαλεία mechanism

Στο συγκεκριμένο assembly θα πρέπει να οριστεί η σχέση μεταξύ των δύο τροχών. Επιλέγεται τύπος σύνδεσης Gears (εικόνα 11).

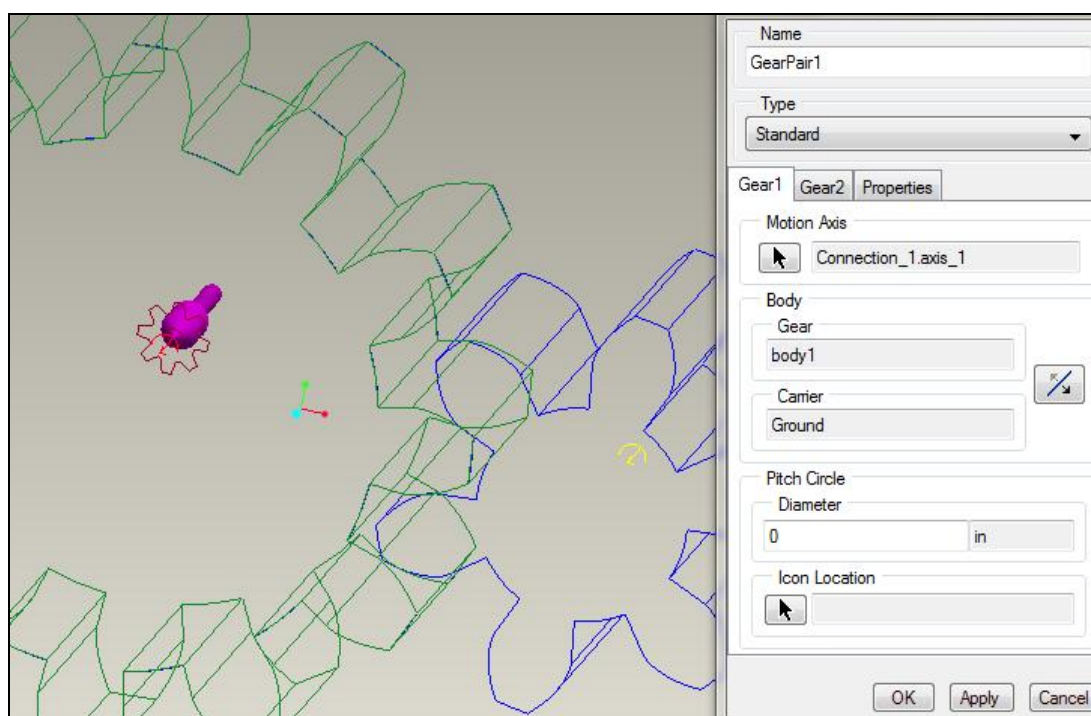


Εικόνα 11. Επιλογή τύπου σύνδεσης

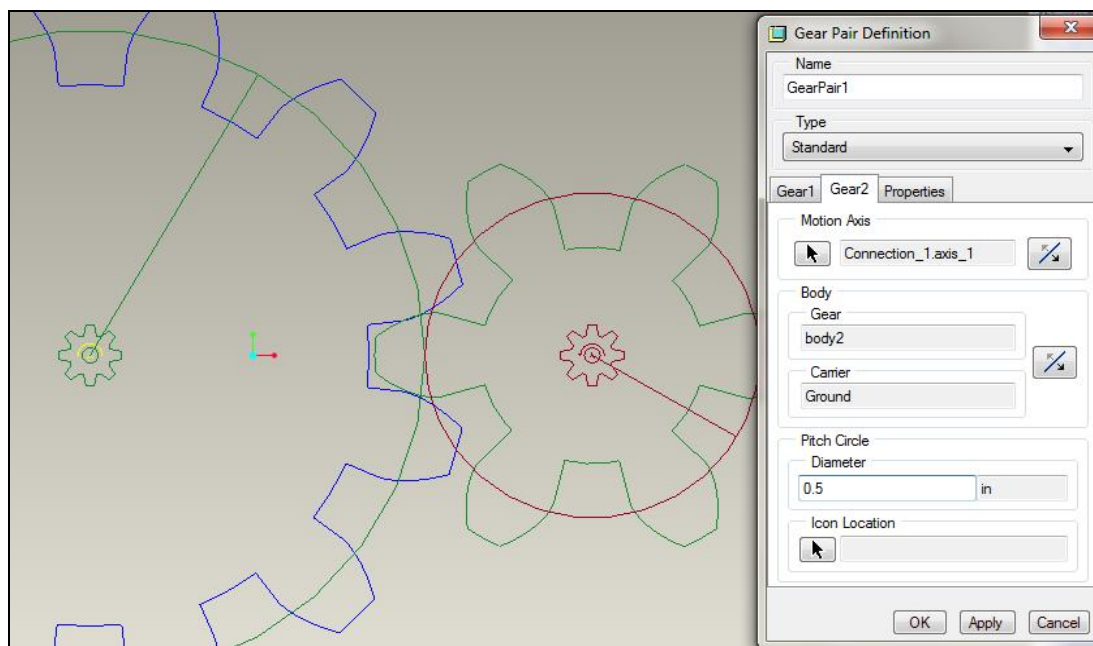
Εμφανίζεται ένα παράθυρο διαλόγου, στο οποίο συμπληρώνονται όλα τα στοιχεία που είναι απαραίτητα για τον ορισμό του ζεύγους τροχών. Αρχικά ορίζεται ο τύπος μηχανισμού ως standard. Στη συνέχεια, στα tabs "Gear 1" και "Gear 2" συμπληρώνονται τα στοιχεία του πρώτου και του δεύτερου τροχού αντίστοιχα. Απαραίτητα στοιχεία είναι ο άξονας περιστροφής (Motion Axis) (εικόνες 12,13) και η διάμετρος κύκλου κύλισης (pitch circle) (εικόνα 14)



Εικόνα 12. Επιλογή άξονα περιστροφής πρώτου τροχού

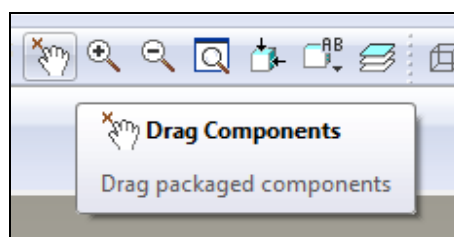


Εικόνα 13. Επιλογή άξονα περιστροφής πρώτου τροχού



Εικόνα 14. Ορισμός δεύτερου τροχού (άξονας περιστροφής και διάμετρος κύκλου κύλισης)

Με το εργαλείο Drag Components (εικόνα 15) φαίνεται χειροκίνητα η κίνηση του ενός τροχού σε σχέση με τον άλλο.



Εικόνα 15. Εργαλείο Drag Components

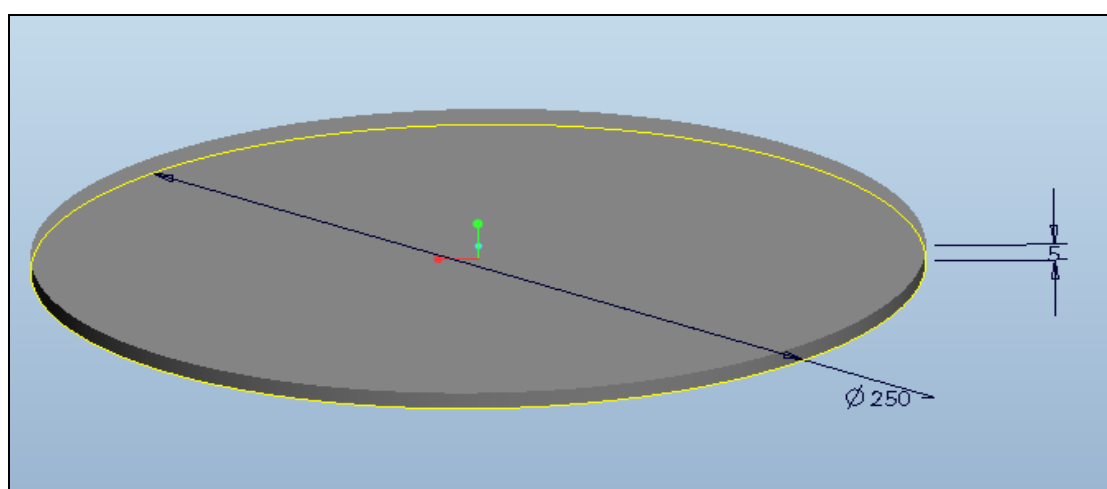
3.2. Τροχός της Γενεύης

Ο τροχός της Γενεύης (αλλιώς σταυρός της Μάλτας) είναι ένας μηχανισμός ο οποίος μετατρέπει τη συνεχόμενη κυκλική κίνηση σε διακοπτόμενη κυκλική κίνηση.

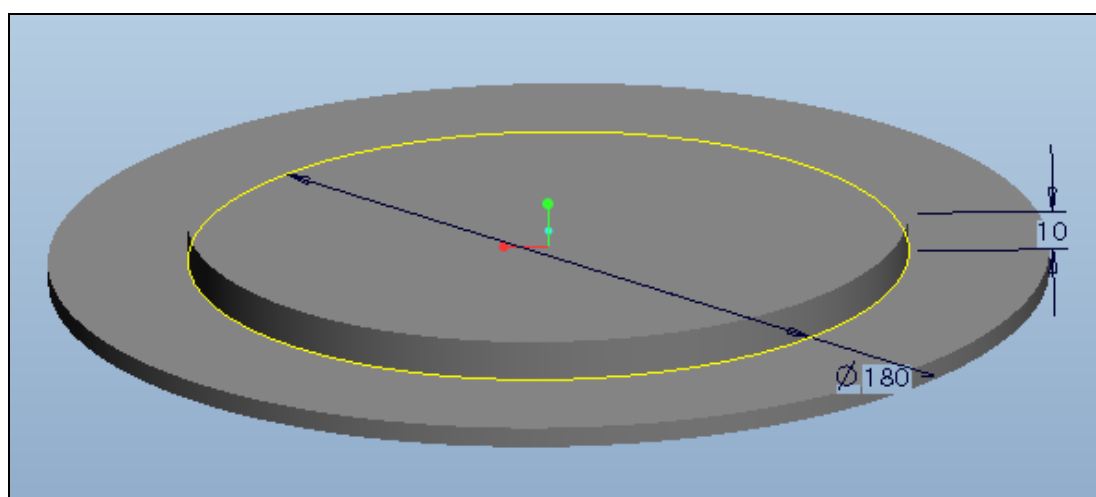
Σχεδιασμός

Κινητήριος τροχός

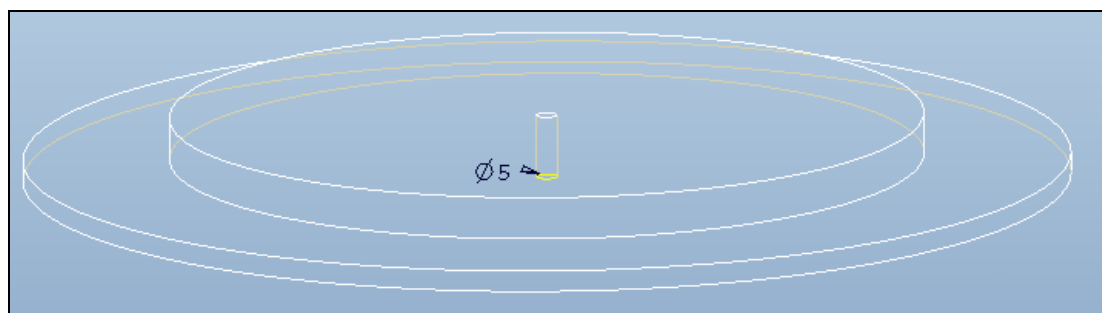
Σχεδιάζεται δίσκος με διάμετρο 250 και ύψος 5 (εικόνα 01).



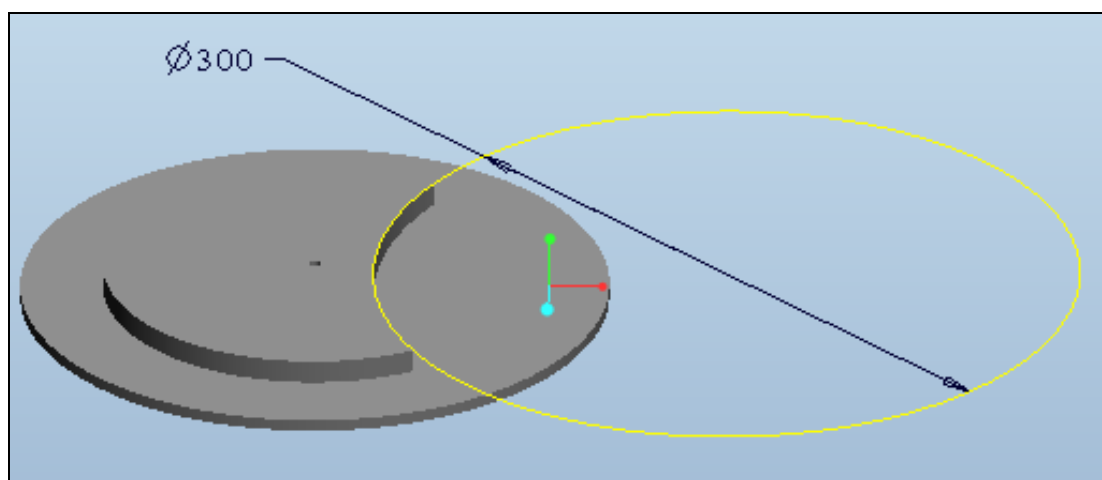
Στην πάνω πλευρά του πρώτου δίσκου σχεδιάζεται ομόκεντρος δίσκος με διάμετρο 180 και ύψος 10 (εικόνα 02).



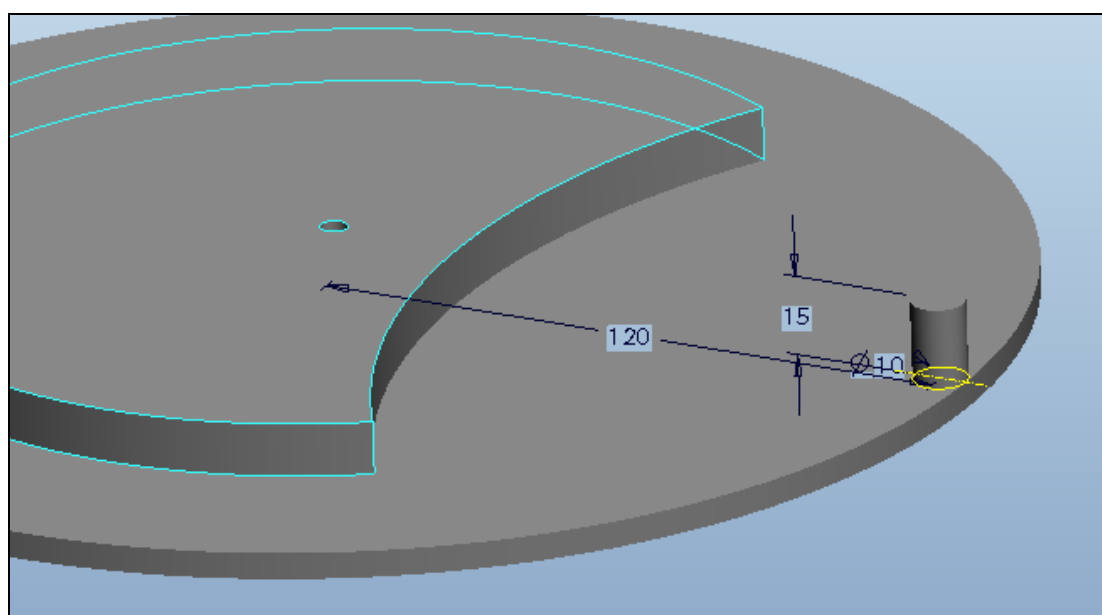
Γίνεται cut κυλινδρικού σχήματος που τέμνει και τους δυο δίσκους (εικόνα 03).



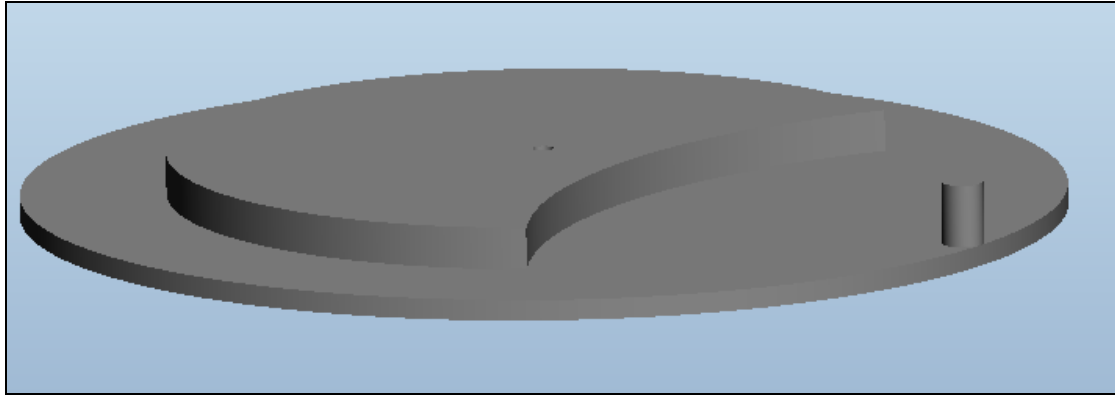
Σε απόσταση 175 από το κέντρο των δίσκων σχεδιάζεται κύκλος με διάμετρο 300 και γίνεται cut (εικόνα 04)



Σχεδιάζεται κύλινδρος με διάμετρο 10 και ύψος 15 (εικόνα 05).

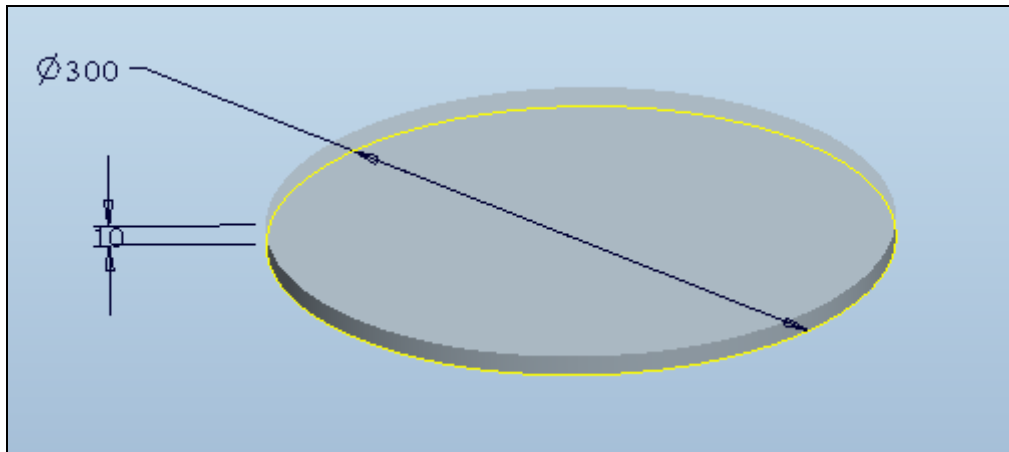


Ο κινητήριος τροχός ολοκληρωμένος (εικόνα 06).

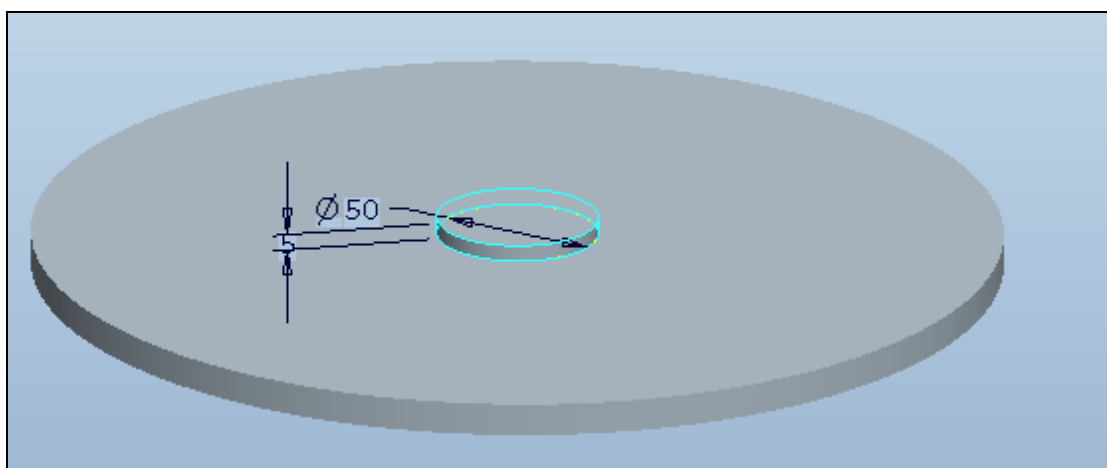


Κινούμενος Τροχός

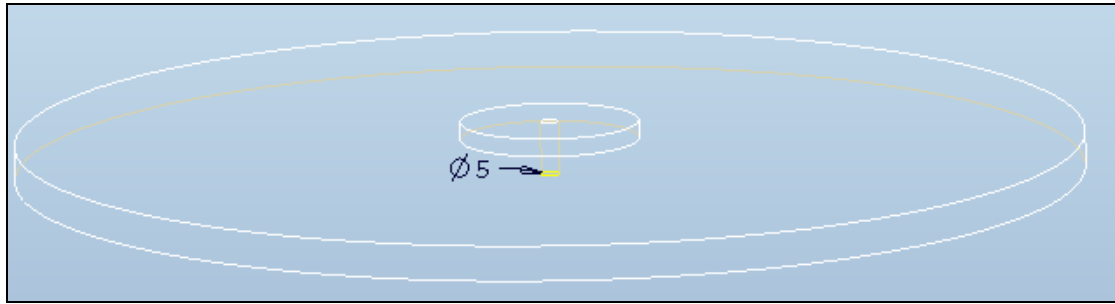
Σχεδιάζεται δίσκος με διάμετρο 300 και ύψος 10 (εικόνα 01).



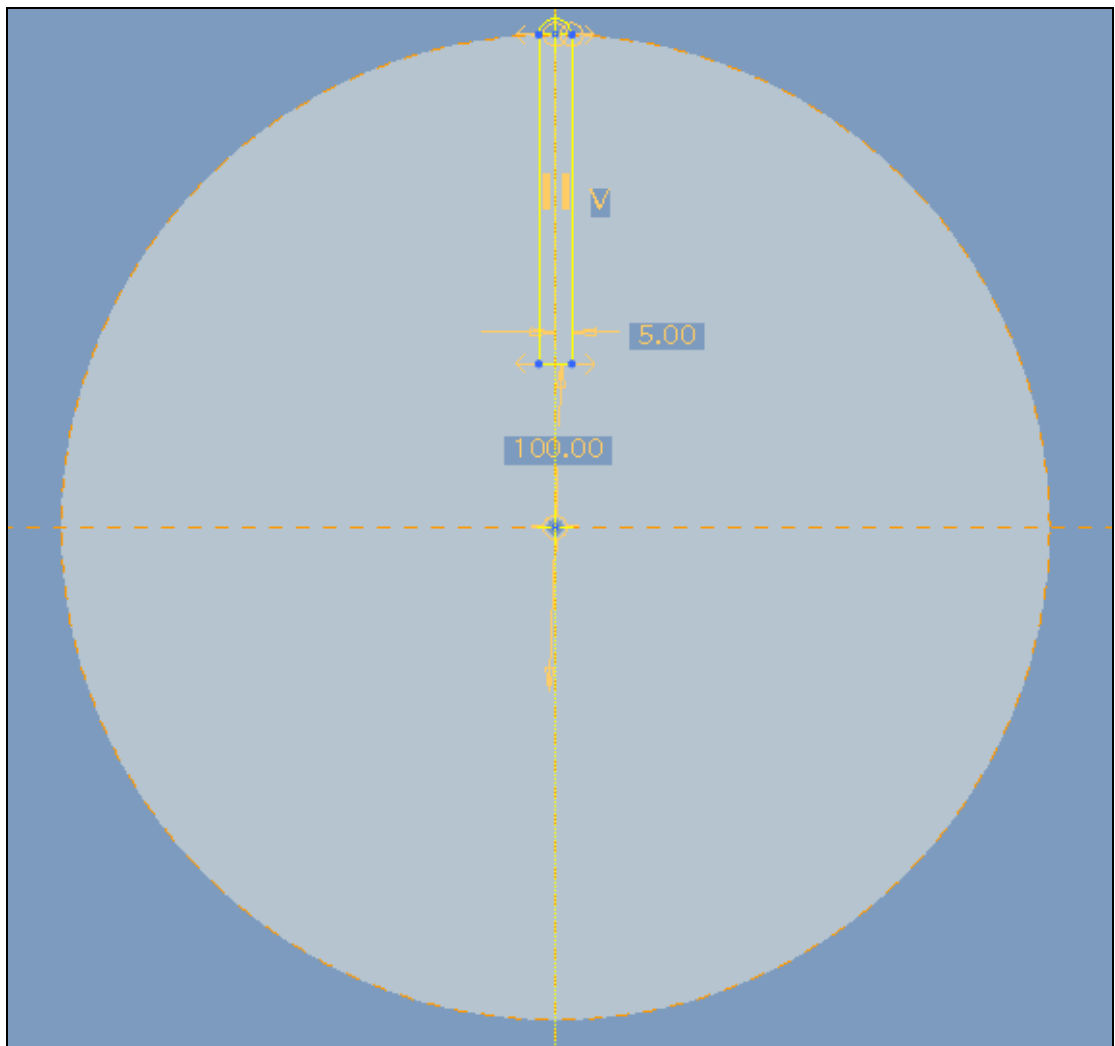
Σχεδιάζεται ομόκεντρος δίσκος με διάμετρο 50 και ύψος 5 (εικόνα 02).



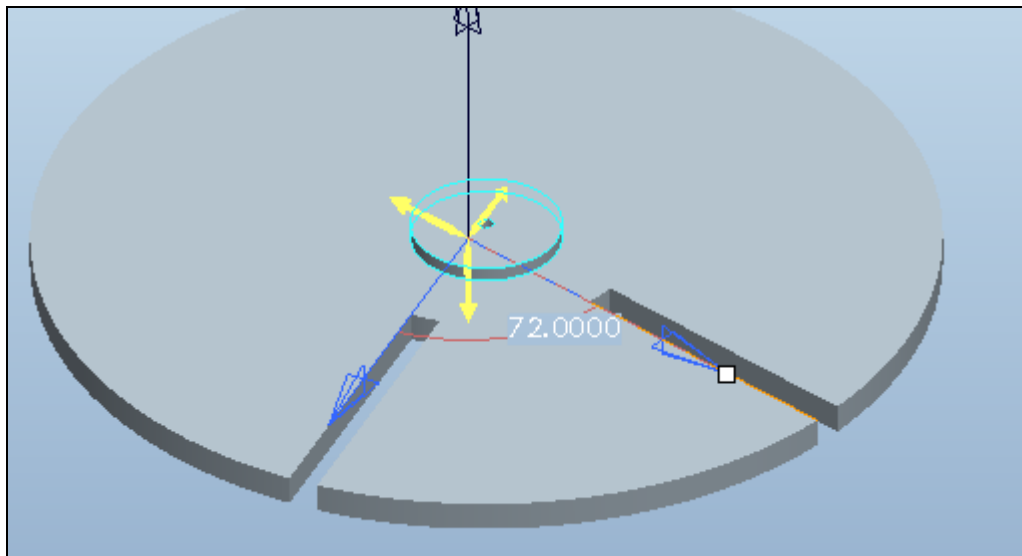
Γίνεται cut κυλινδρικού σχήματος που τέμνει και τους δυο δίσκους (εικόνα 03).



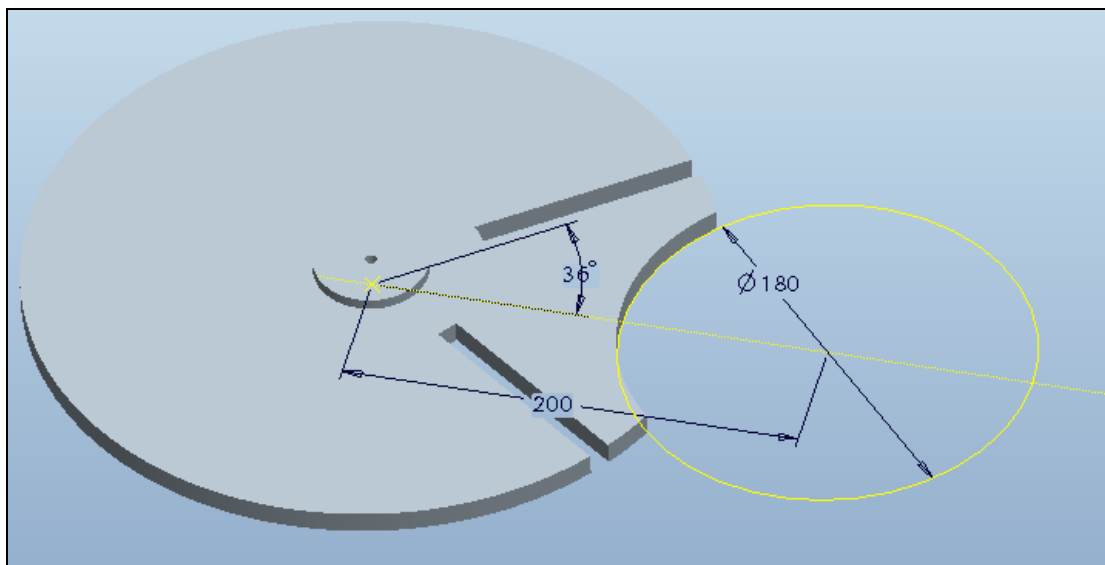
Γίνεται cut για το πρώτο αυλάκι (εικόνα 04). Η διάσταση 100 είναι τόξο.



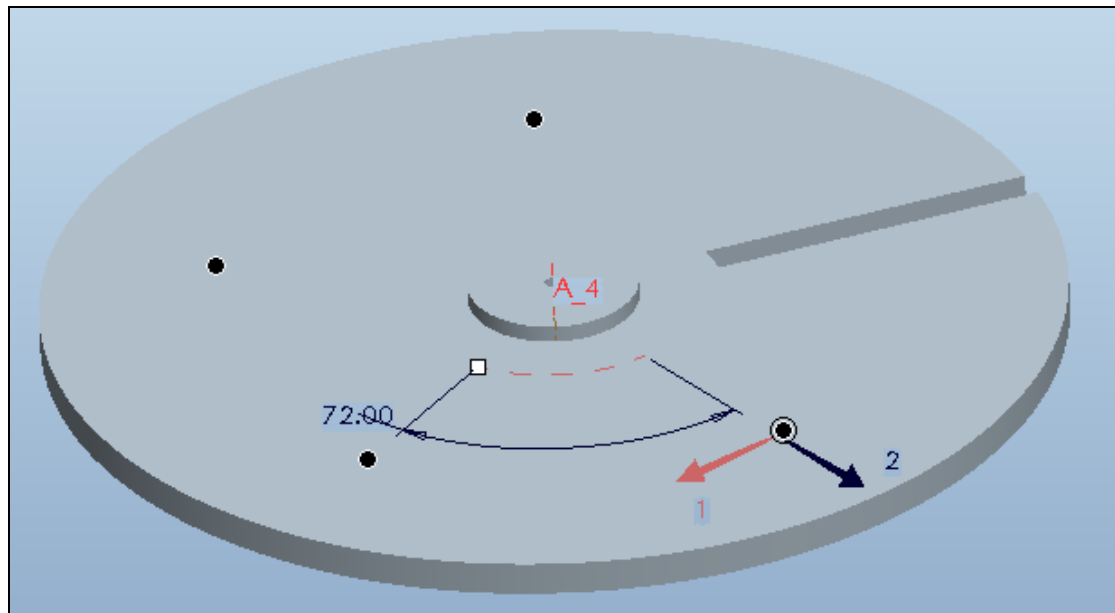
Γίνεται επανάληψη του πρώτου αυλακιού σε γωνία 72° από το πρώτο (εικόνα 05).



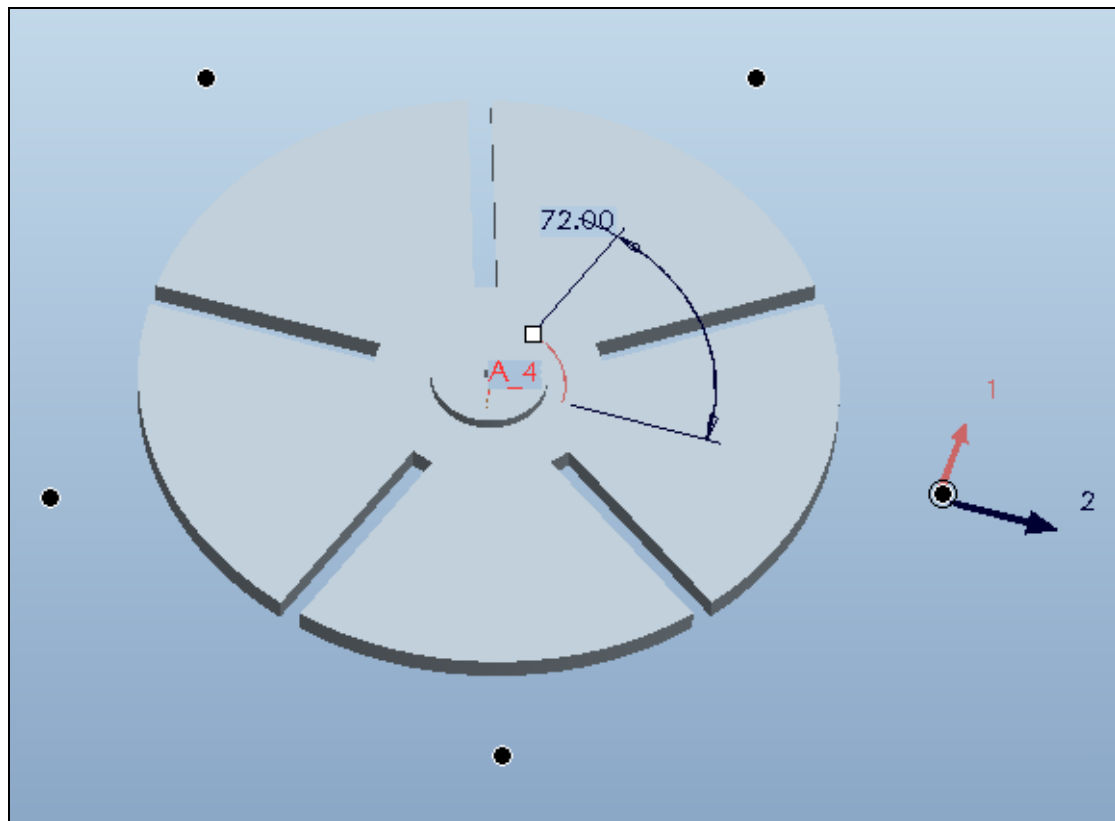
Σε απόσταση 200 από το κέντρο του πρώτου δίσκου και πάνω στη διάμεσο ανάμεσα από τα δυο αυλάκια σχεδιάζεται κύκλος με διάμετρο 180 και γίνεται cut (εικόνα 06).



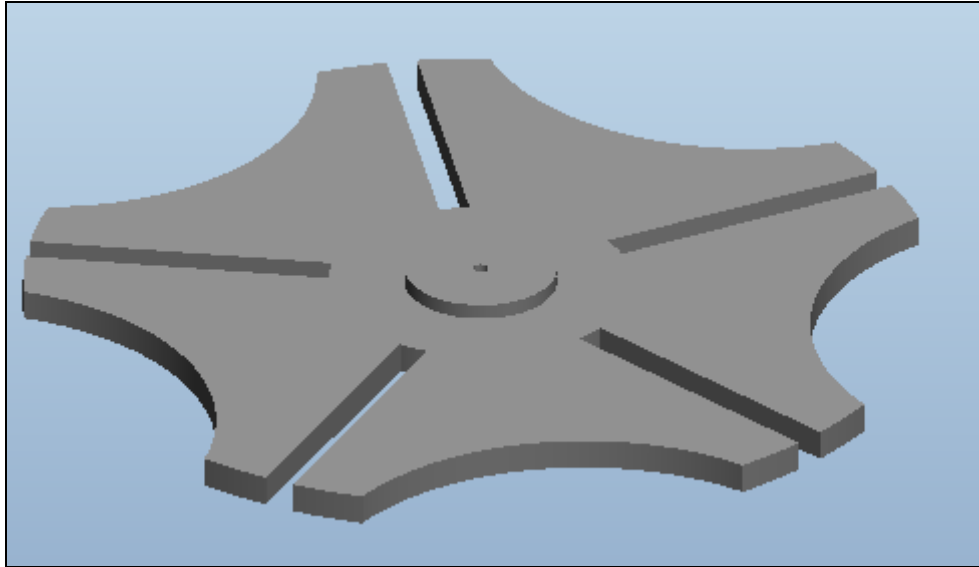
Γίνεται pattern του δεύτερου αυλακιού ως προς άξονα και ανά 72° με 4 επαναλήψεις (εικόνα 07)



Γίνεται pattern του κυκλικού cut ως προς άξονα και ανά 72° με 4 επαναλήψεις (εικόνα 08)

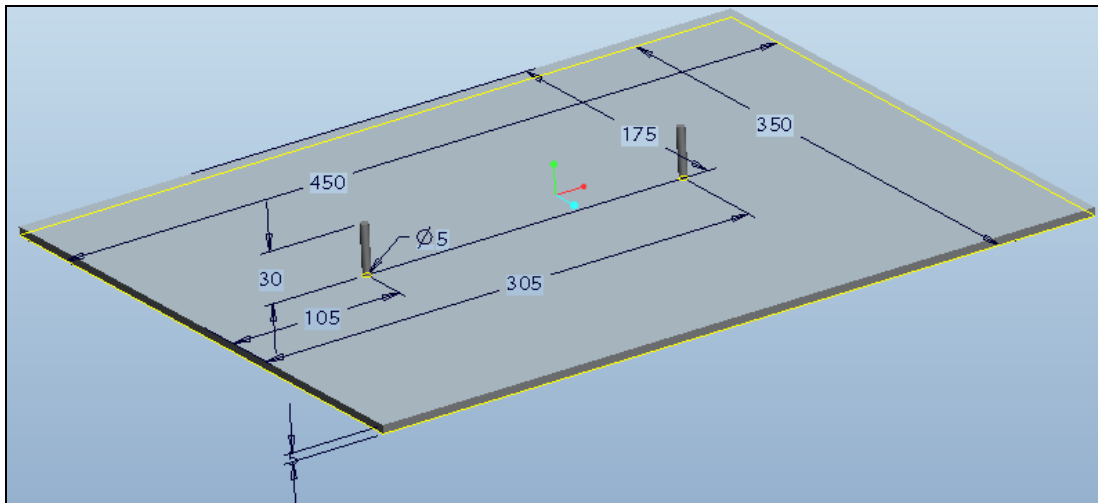


Ο κινούμενος τροχός ολοκληρωμένος (εικόνα 09)



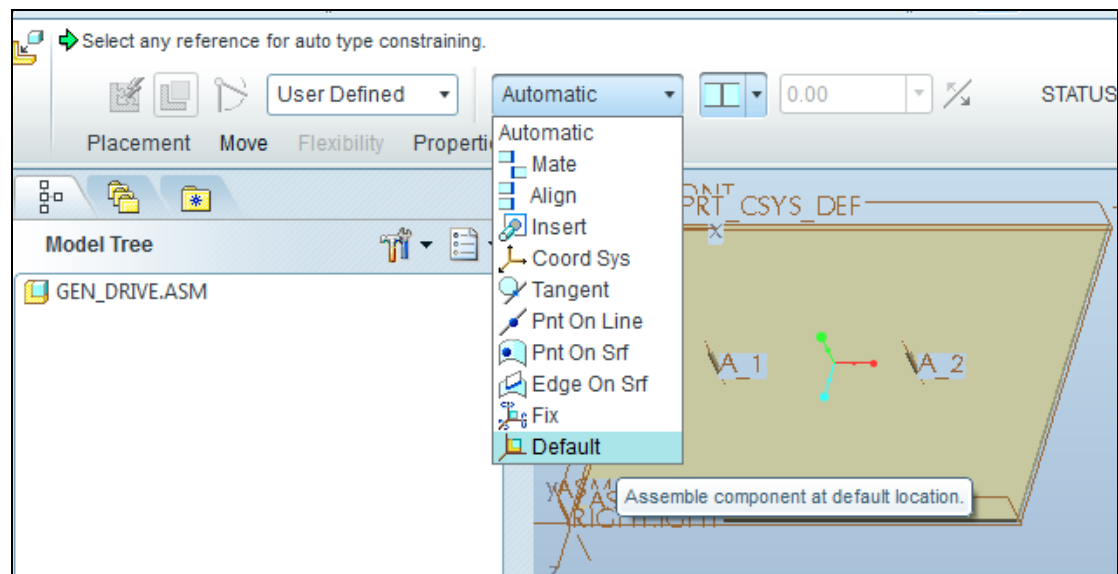
Βάση

Για πιο εύκολη συναρμολόγηση σχεδιάζεται η βάση του μηχανισμού ως εξής



Assembly

Επιλέγεται assembly για την εισαγωγή του πρώτου part. Εισάγεται η βάση με default assembly (εικόνα 01).

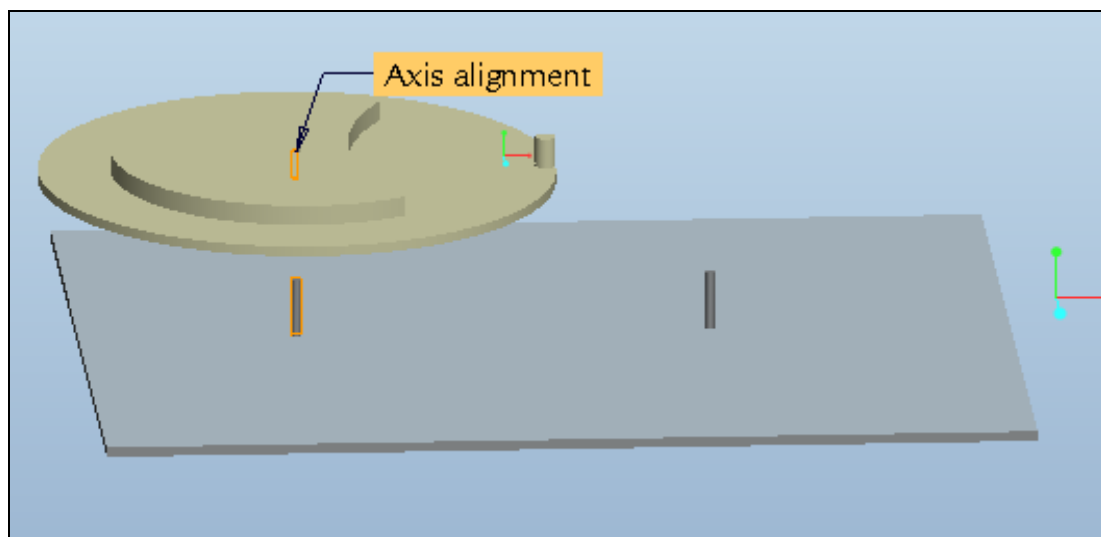


Εικόνα 01: Συναρμολόγηση βάσης

Επιλέγεται assembly για τη συναρμολόγηση του δεύτερου part. Εισάγεται ο κινητήριος τροχός. Επιλέγεται τύπος constraint pin. Αυτός ο τύπος constraint είναι απαραίτητος για την κίνηση του τροχού γύρω από τον άξονά του.

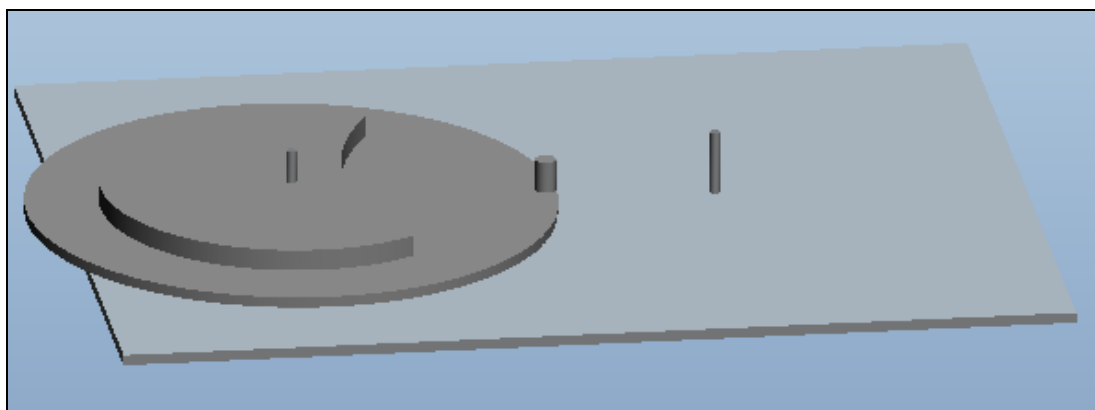
Στη συνέχεια, στο tab placement, ορίζονται οι συνδέσεις του τροχού με τα στοιχεία που υπάρχουν στο χώρο (περιορισμός βαθμών ελευθερίας) ως εξής:

Axis alignment: ταυτίζεται ο άξονας του κέντρου περιστροφής του τροχού με έναν από τους άξονες της βάσης (εικόνα 02)



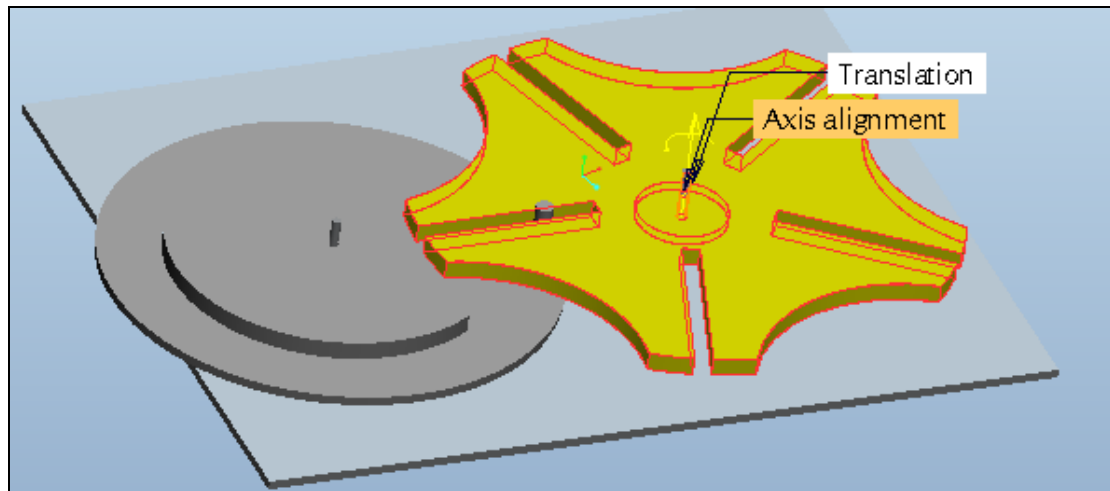
Εικόνα 02: Πρώτο σκέλος συναρμολόγησης κινητήριου τροχού (Axis alignment)

Translation: ταυτίζονται η πάνω πλευρά της βάσης με την κάτω πλευρά του part ώστε ο κινητήριος τροχός να εφάπτεται στη βάση (εικόνα 03).



Εικόνα 03: Δεύτερο σκέλος συναρμολόγησης κινητήριου τροχού (Translation)

Επιλέγεται assembly για τη συναρμολόγηση του τελευταίου part. Εισάγεται ο κινούμενος τροχός. Συναρμολογείται όμοια με τον κινητήριο τροχό. Προσοχή πρέπει να δοθεί στην τοποθέτηση αυτού του τμήματος ώστε να μην υπάρχει σύγκρουση με τον κινητήριο τροχό (εικόνα 04).

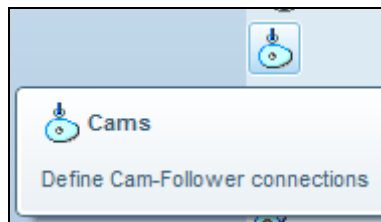


Εικόνα 04: Συναρμολόγηση κινούμενου τροχού

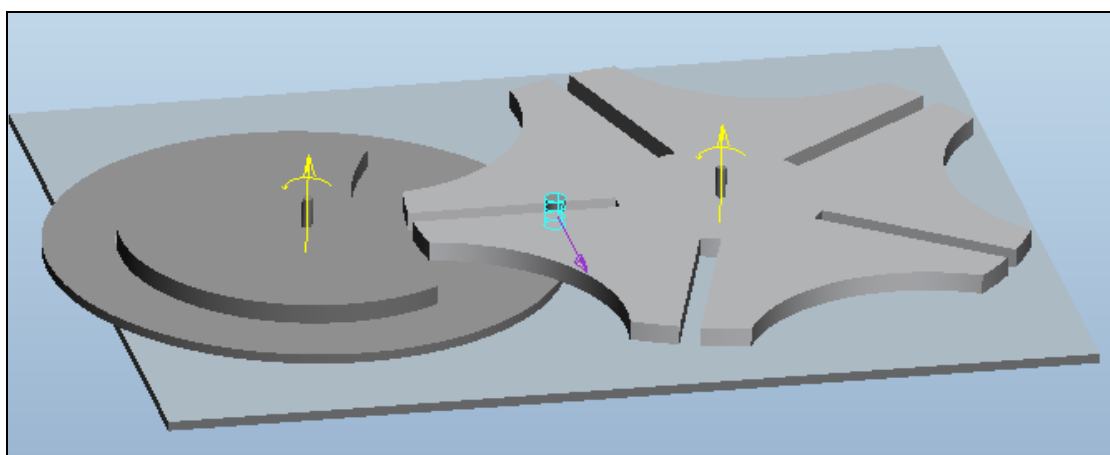
Mechanism

Το assembly μεταφέρεται στο application mechanism για να ολοκληρωθεί ο μηχανισμός.

Στο συγκεκριμένο assembly πρέπει να οριστεί η σχέση μεταξύ των τροχών. Επιλέγεται τύπος σύνδεσης Cams (Cam - Follower) (εικόνα 01).

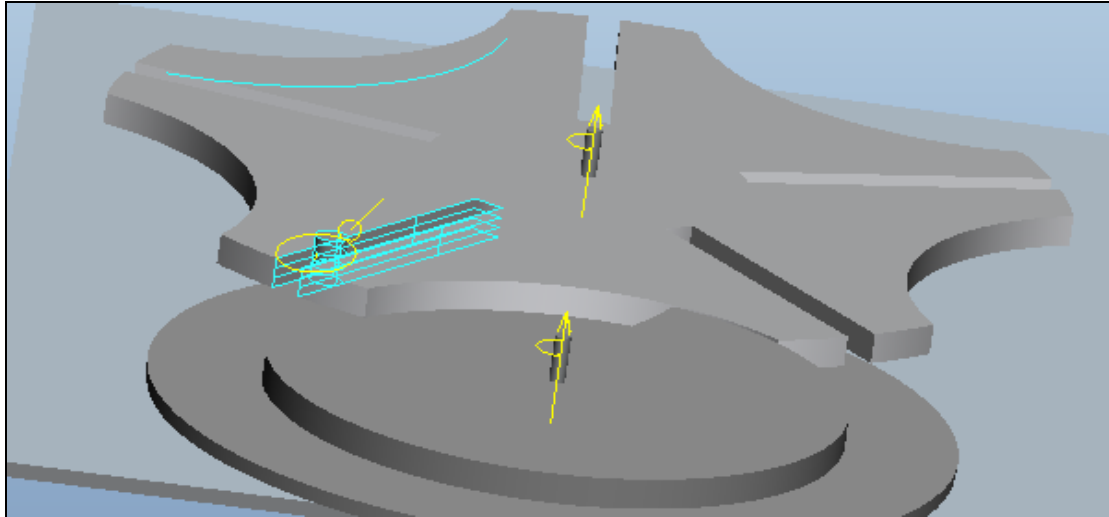


Στο πρώτο tab του παραθύρου που εμφανίζεται συμπληρώνονται τα στοιχεία του πρώτου cam. Αρχικά, με το Autoselect ενεργοποιημένο, επιλέγεται η επιφάνεια του πρώτου cam (εικόνα 02). Το depth Display Settings παραμένει Automatic.



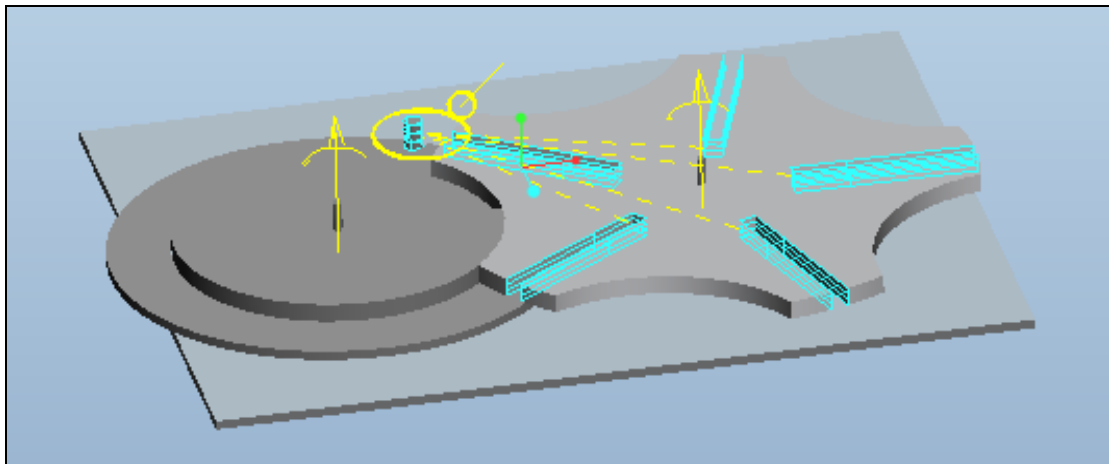
Εικόνα 02: Επιλογή πρώτου cam

Στο δεύτερο tab συμπληρώνονται τα στοιχεία του δεύτερου cam. Με το Autoselect ενεργοποιημένο, επιλέγονται οι τρεις επιφάνειες που σχηματίζουν ένα αυλάκι του κινούμενου τροχού όπως φαίνεται στην εικόνα 03. Στο τρίτο tab επιλέγεται "Enable Liftoff" με $0 \leq e \leq 1$



Εικόνα 03: Επιλογή δεύτερου cam

Η ίδια διαδικασία ακολουθείται και για τα υπόλοιπα αυλάκια του κινούμενου τροχού (εικόνα 04).



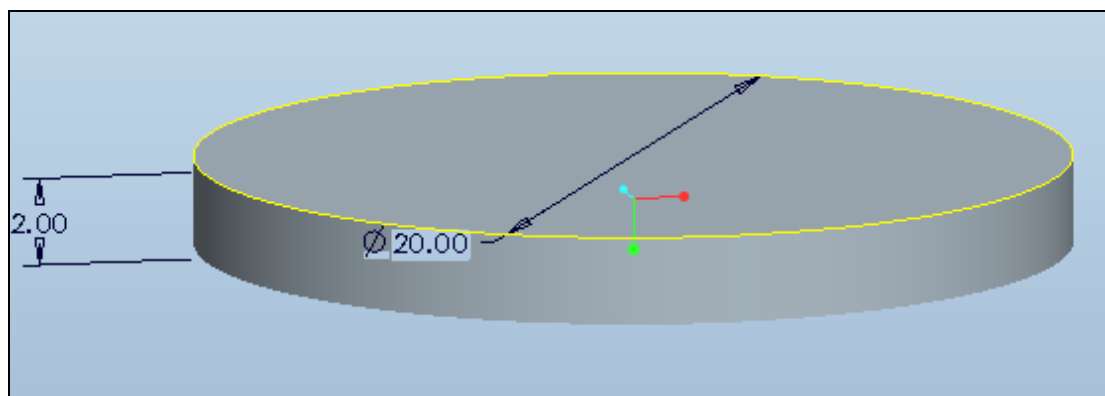
Εικόνα 04: Ολοκληρωμένος μηχανισμός

3.3. Sliding connector

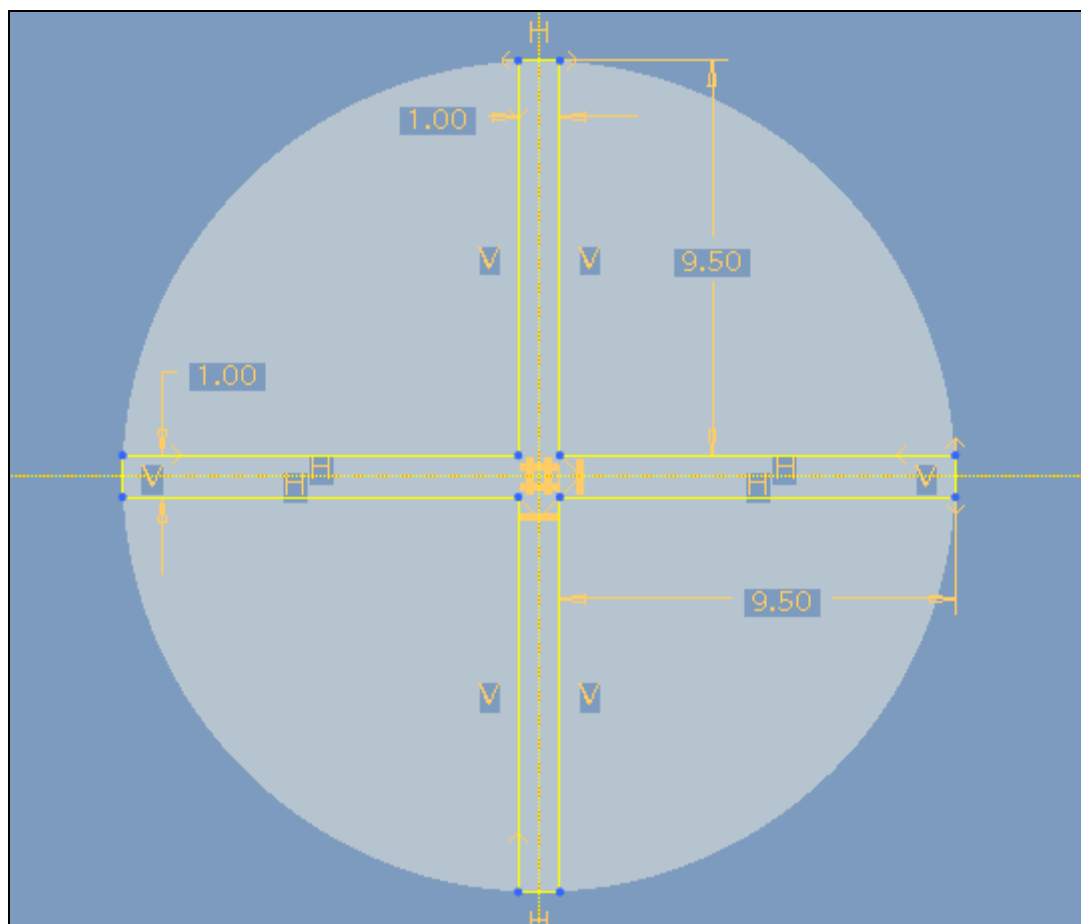
Σχεδιασμός

Βάση

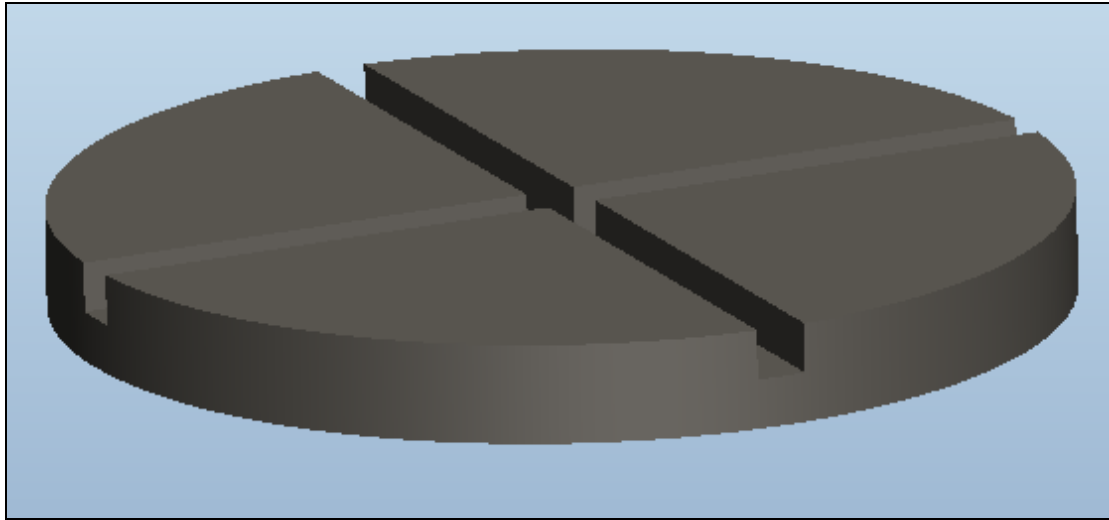
Σχεδιάζεται δίσκος με διάμετρο 20mm και ύψος 2mm (εικόνα 01)



Γίνεται cut σε σχήμα σταυρού (εικόνα 02) με βάθος 1mm.

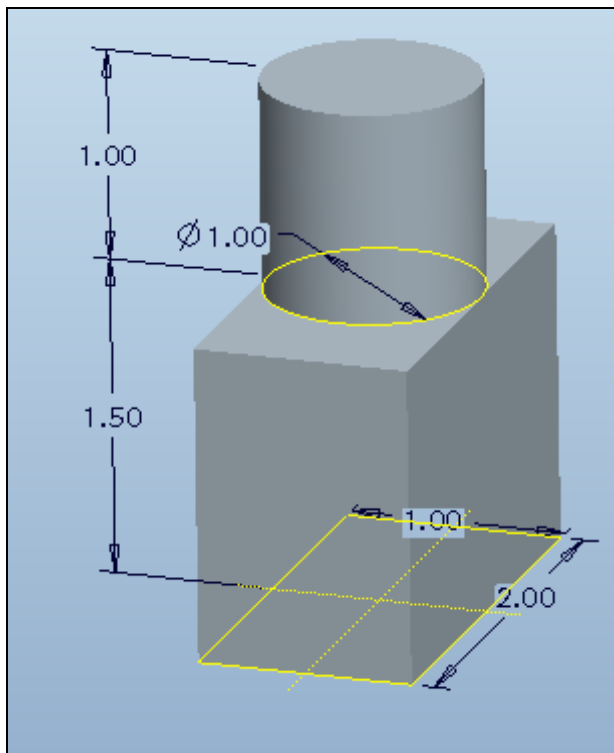


Η βάση ολοκληρωμένη.



Slider

Το τμήμα που εφάπτεται και κυλάει στα αυλάκια της βάσης σχεδιάζεται ως εξής

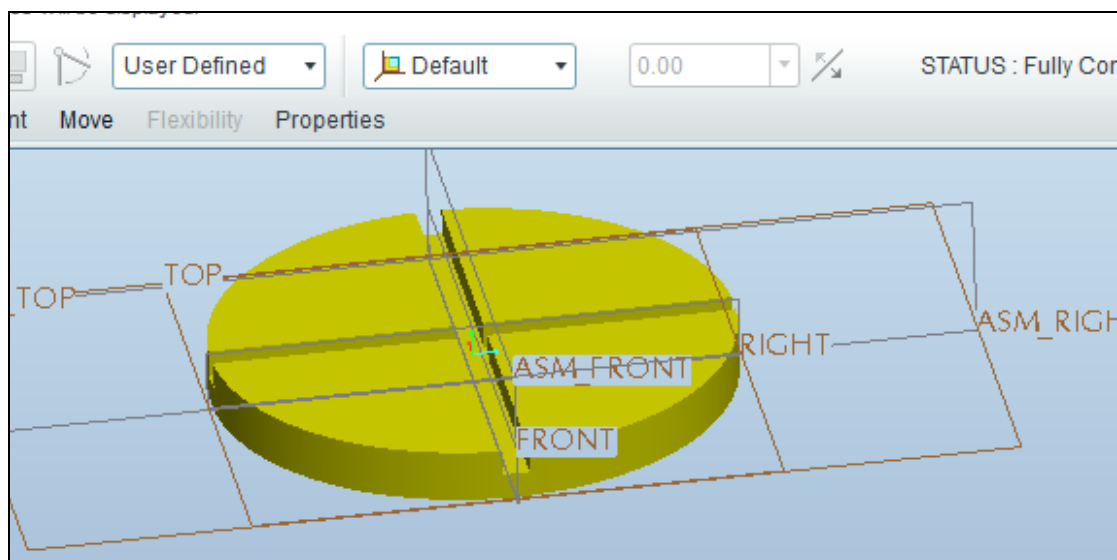


Connector

Η μπάρα που ενώνει τα δύο sliders σχεδιάζεται ως εξής

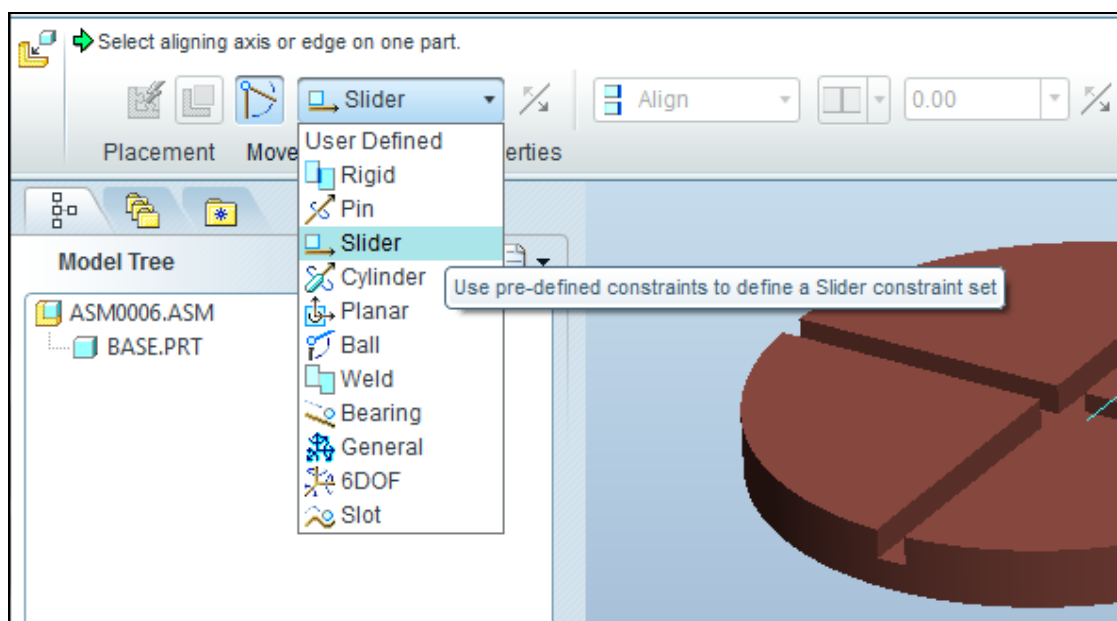
Assembly

Το πρώτο part που συναρμολογείται είναι η βάση. Επιλέγεται assembly και εισάγεται το συγκεκριμένο Part. Αυτό το τμήμα του μηχανισμού δε θα κινείται στο χώρο. Επιλέγεται default τύπος συναρμολόγησης (εικόνα 01).



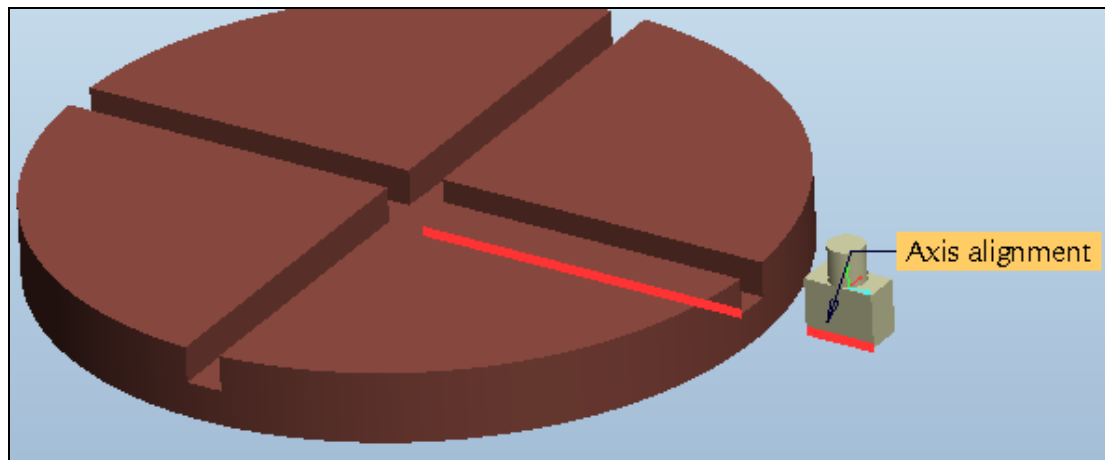
Εικόνα 01. Συναρμολόγηση βάσης.

Το δεύτερο part που συναρμολογείται είναι ένα slider. Επιλέγεται Slider Constraint Set (εικόνα 02)



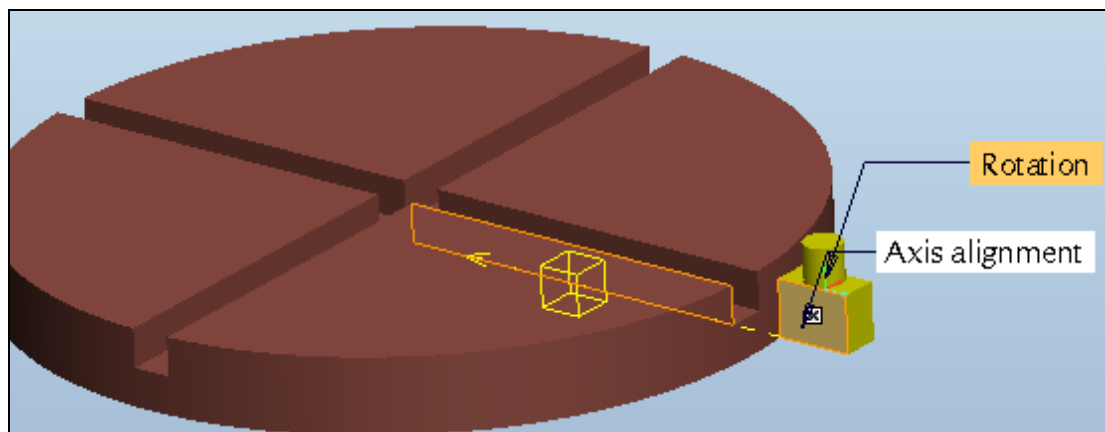
Εικόνα 02. Συναρμολόγηση slider.

Axis alignment: Επιλέγεται μια ακμή του slider και μια ακμή της βάσης όπως φαίνεται στην εικόνα 03.



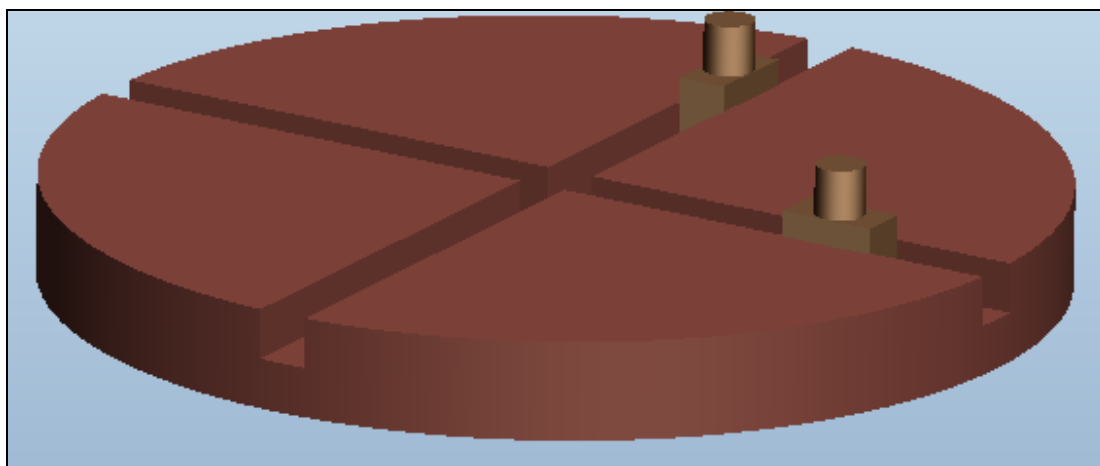
Εικόνα 03. Axis Alignment.

Rotation: Επιλέγεται μια πλευρά του slider και μια πλευρά της βάσης όπως φαίνεται στην εικόνα 04.



Εικόνα 04. Rotation.

Ομοίως συναρμολογείται ένα δεύτερο slider στο άλλο αυλάκι της βάσης (εικόνα 05).

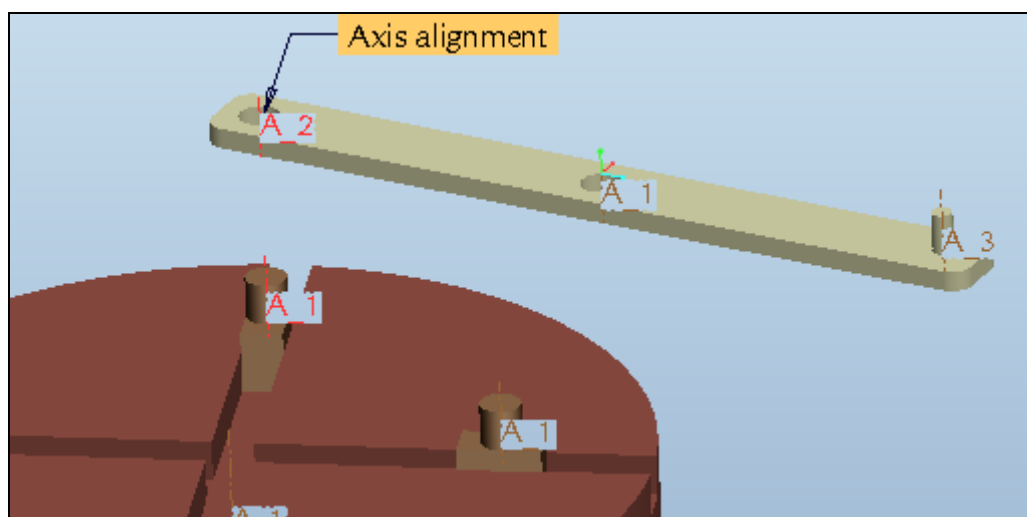


Εικόνα 05. Δυο sliders συναρμολογημένα.

Στη συνέχεια εισάγεται στο assembly η μπάρα που ενώνει τα δύο sliders. Εδώ θα χρειαστούν δύο pin constraint sets, ένα για κάθε slider.

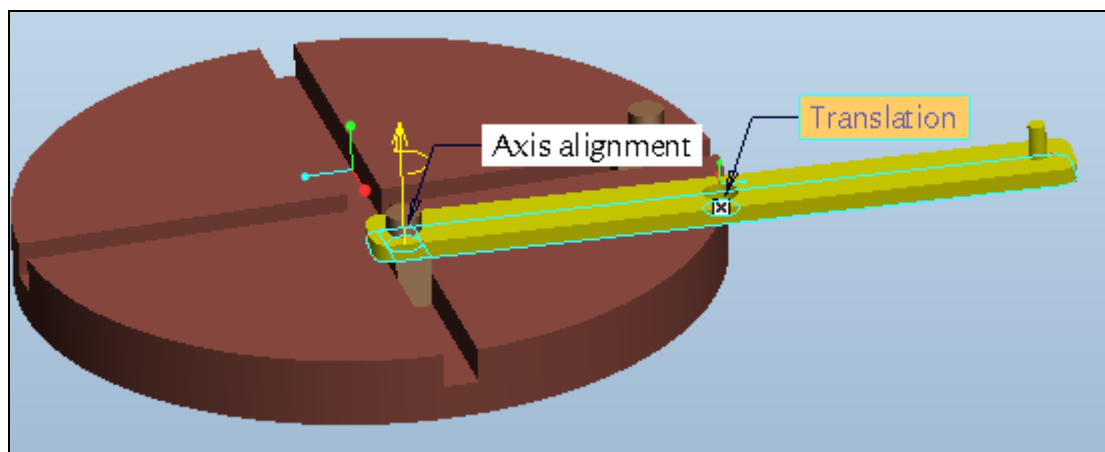
Επιλέγεται pin constraint set

Axis alignment: Επιλέγεται ο άξονας ενός slider και ο άξονας της τρύπας που βρίσκεται στη μπάρα (εικόνα 06).



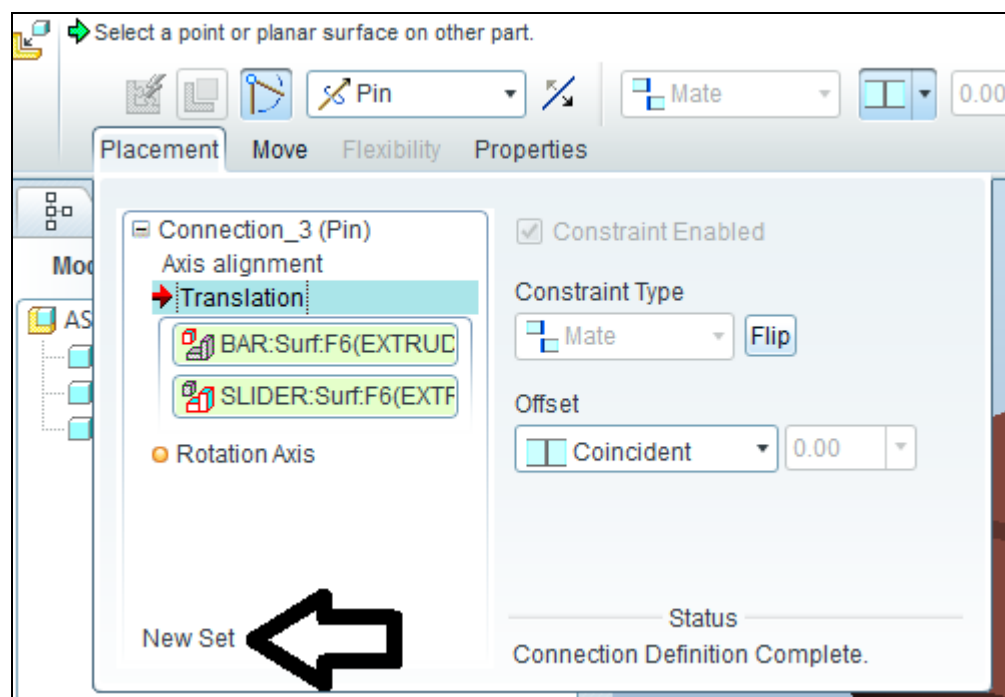
Εικόνα 06. Axis alignment.

Translation: Επιλέγεται η πάνω πλευρά του παραλληλεπίπεδου μέρους του slider και η κάτω πλευρά της μπάρας (εικόνα 07).

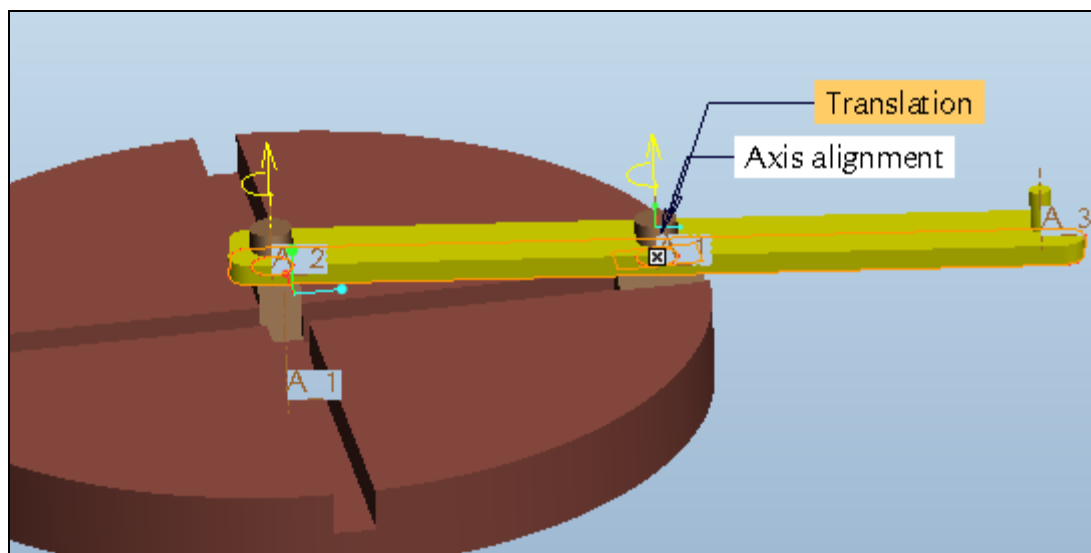


Εικόνα 07. Translation.

Ενώ το status δείχνει “Connection Definition Complete”, δημιουργείται άλλο ένα set constraints (εικόνα 08) και ταυτίζεται η τρύπα που βρίσκεται στη μέση της μπάρας με το pin του άλλου slider (εικόνα 09).

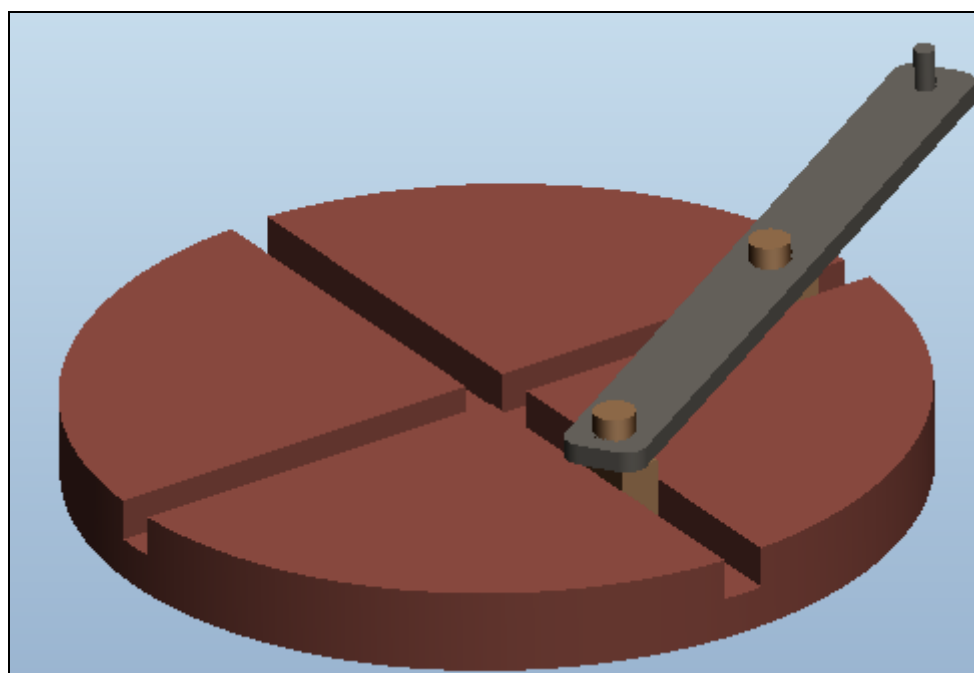


Εικόνα 08. Δημιουργία δεύτερου constraint set.



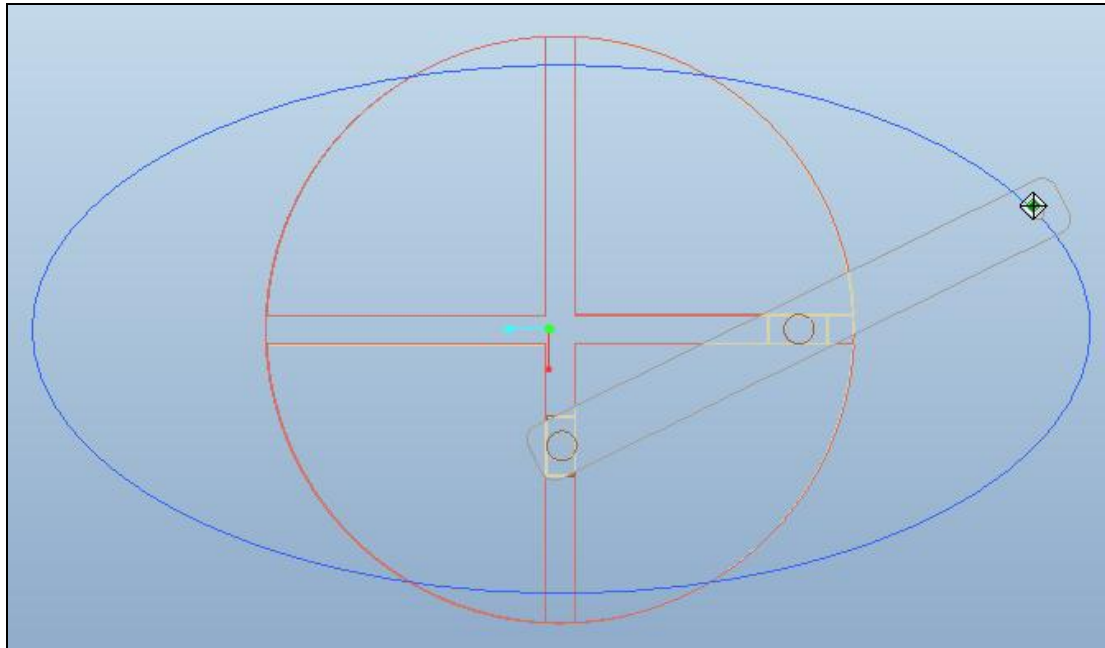
Εικόνα 09. Ορισμός δεύτερου constraint set.

Με το drag components tool και “πιάνοντας και περιστρέφοντας” το ελεύθερο άκρο της μπάρας, φαίνεται η λειτουργία του μηχανισμού.



Εικόνα 10. Ολοκληρωμένος μηχανισμός

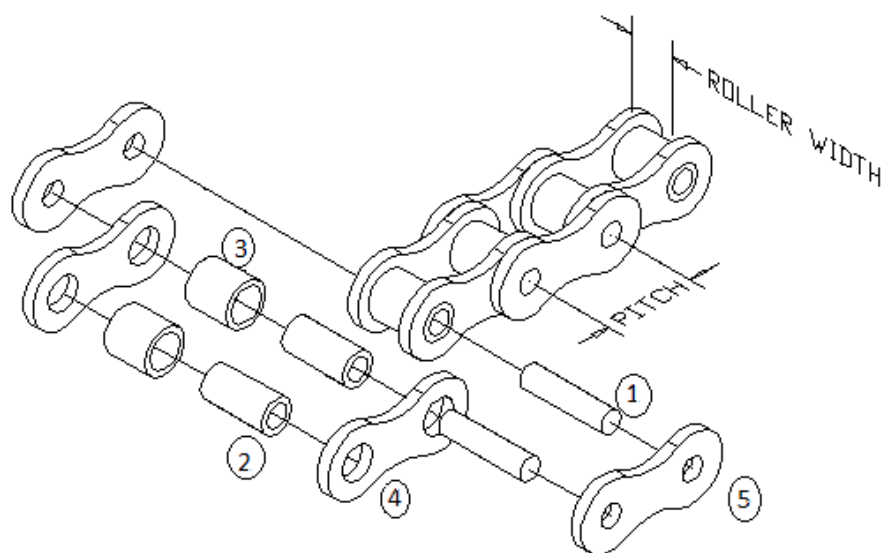
Στην εικόνα 11 φαίνεται η τροχιά που ακολουθεί το ελεύθερο άκρο της μπάρας (μπλε έλλειψη).



Εικόνα 11. Η τροχιά του ελεύθερου άκρου της μπάρας/connector

3.4. Αλυσίδα

Η αλυσίδα αποτελείται από πέντε διαφορετικά είδη κομματιών.



Τα rollers(3) περιστρέφονται ελεύθερα πάνω στα bushings (2) και έρχονται σε επαφή με το sprocket. Τα bushings είναι κολλημένα στα εσωτερικά καλύμματα (4). Μέσα από τα bushings περνάνε pins(1), τα οποία είναι κολλημένα στα εξωτερικά καλύμματα (5).

Σχεδιασμός

Sprocket - τροχός μετάδοσης κίνησης

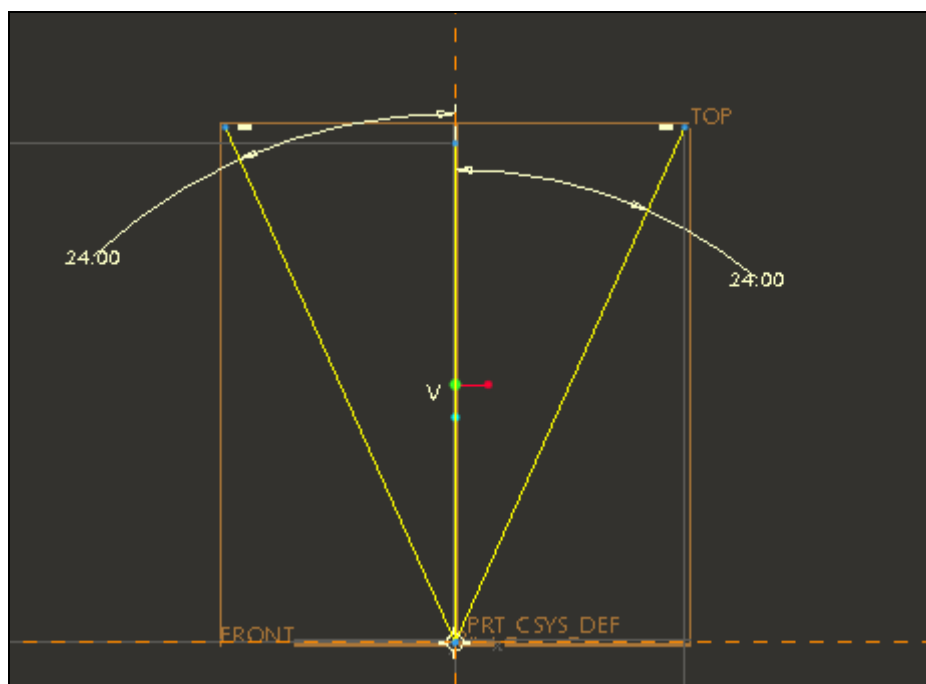
Απαραίτητη για το σχεδιασμό ενός sprocket είναι η γνώση των διαστάσεων της αλυσίδας με την οποία συνεργάζεται. Πιο συγκεκριμένα, θα πρέπει να είναι γνωστά τα Chain Pitch (P), roller diameter (d1) και roller width (w1). Επίσης, θα πρέπει να είναι γνωστός ο αριθμός δοντιών (N) του τροχού. Το πλήθος δοντιών εξαρτάται αποκλειστικά από την εφαρμογή για την οποία προορίζεται το assembly. Στην συγκεκριμένη περίπτωση N=15,

Η γωνία (θ) που σχηματίζεται ανάμεσα σε δυο δόντια υπολογίζεται διαιρώντας $360^\circ/N$, άρα $\theta = 24^\circ$.

Η διάμετρος του τροχού θα προκύψει από τα δεδομένα.

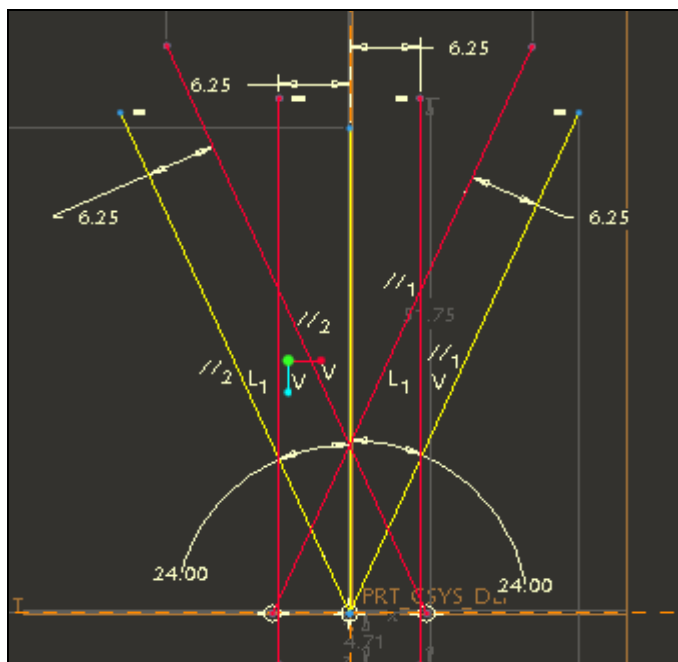
Δημιουργείται άξονας με το datum axis tool, με references τα Front και Right επίπεδα.

Σε sketch, στο επίπεδο top, σχεδιάζονται τρεις γραμμές που ξεκινούν από το κέντρο του sprocket και απέχουν κατά θ (εικόνα 01).



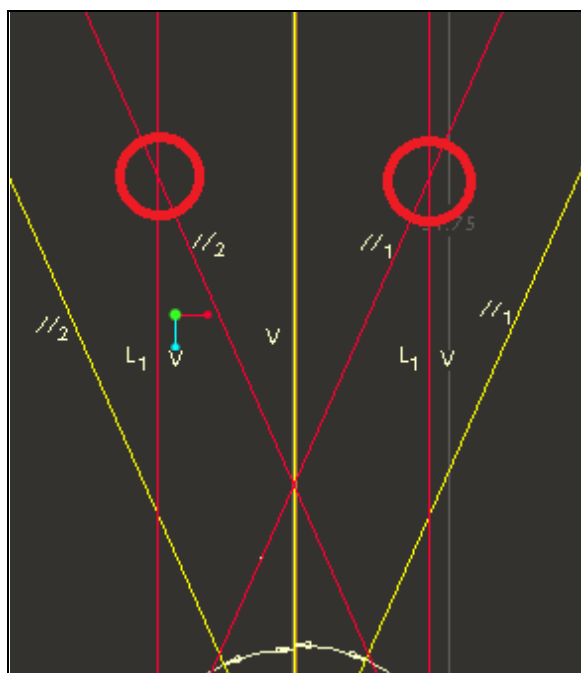
Εικόνα 01. Σχεδιασμός βοηθητικών γραμμών στο sketch

Σχεδιάζονται γραμμές παράλληλες στις προηγούμενες και σε απόσταση ίση με chain pitch ($P=6.25$) (εικόνα 02).



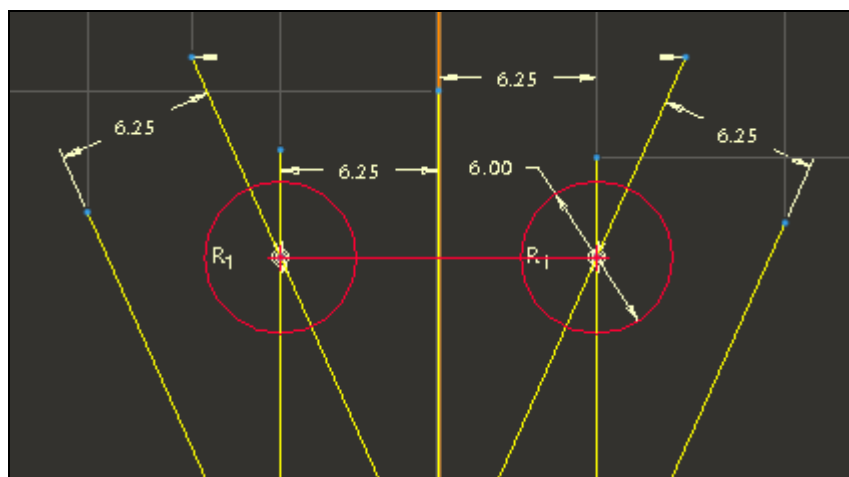
Εικόνα 02. Σχεδιασμός παράλληλων γραμμών.

Στις τομές των παράλληλων γραμμών θα βρίσκονται rollers (εικόνα 03).



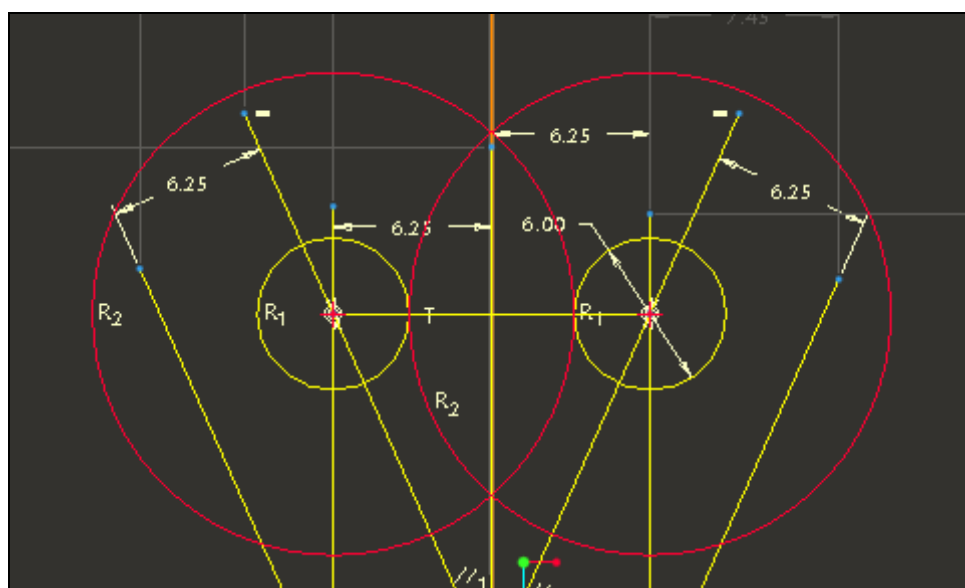
Εικόνα 03. Η τομή των γραμμών δείχνει πού θα βρίσκονται οι άξονες περιστροφής των rollers.

Σχεδιάζονται κύκλοι με διάμετρο ίση με roller diameter ($d_1=6$) και γραμμή που ενώνει τα κέντρα των κύκλων (εικόνα 04)



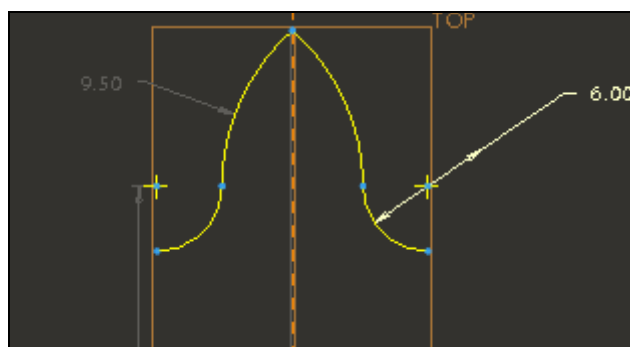
Εικόνα 04. Σχεδιασμός κύκλων και οριζόντιας γραμμής που ενώνει τα κέντρα τους.

Από τα κέντρα των πρώτων κύκλων σχεδιάζονται μεγαλύτεροι κύκλοι, ο καθένας από τους οποίους να εφάπτεται με τον απέναντι μικρό κύκλο (ε????) (εικόνα 05)



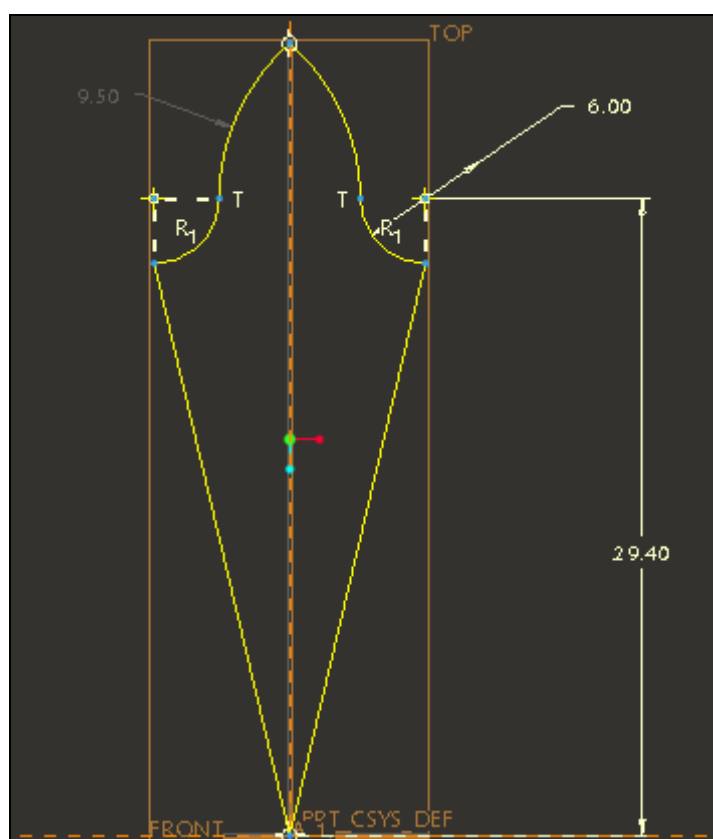
Εικόνα 06. Σχεδιασμός μεγαλύτερων κύκλων.

Γίνεται trim ώστε να μείνει στο sketch μόνο το προφίλ του δοντιού (εικόνα 06).



Εικόνα 06. Προφίλ ενός δοντιού του sprocket.

Το sketch συμπληρώνεται με γραμμές που ολοκληρώνουν το προφίλ του πρώτου extrude (εικόνα 07).

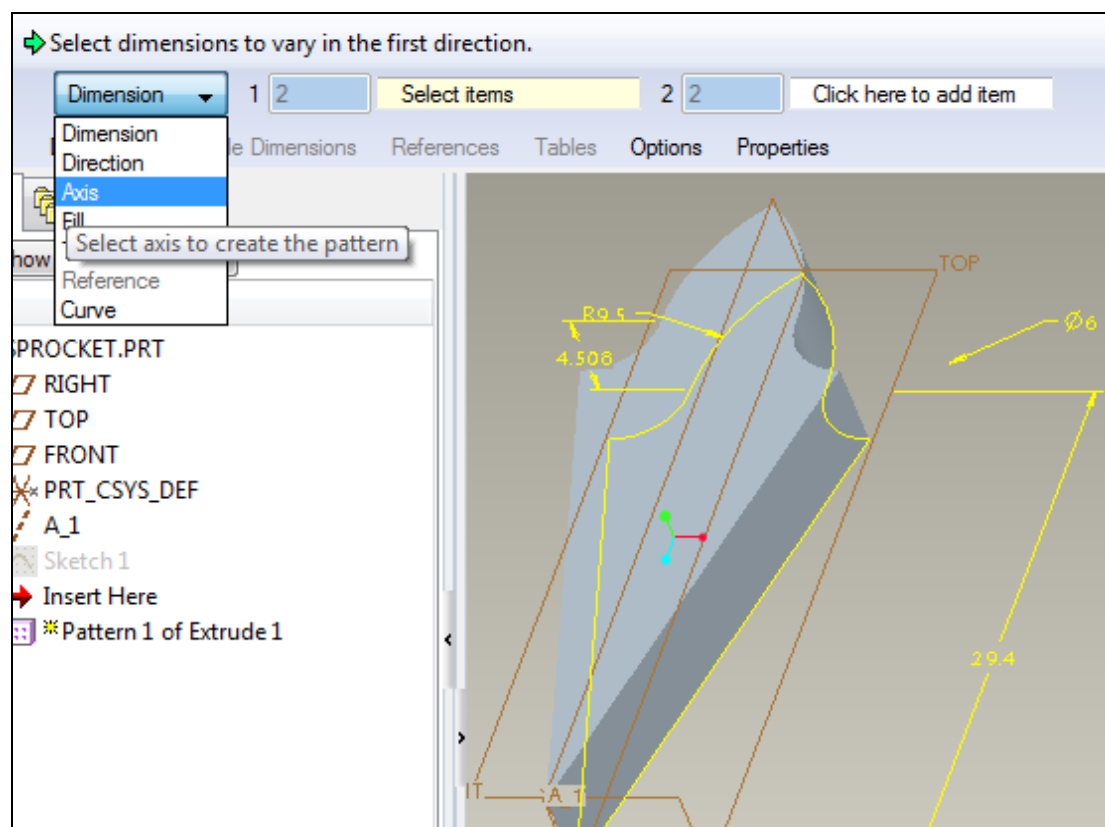


Εικόνα 07. Ολοκληρωμένο sketch.

Γίνεται extrude με πάχος ίσο με

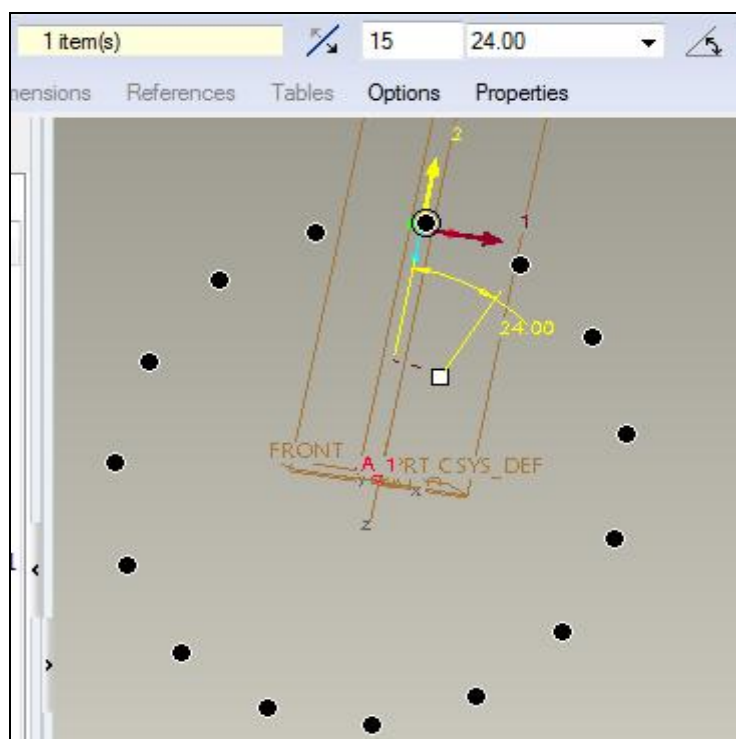
$$S = 0.93 \times \text{Roller Width} - 0,1524\text{mm} \approx 4.508$$

Στο extrude που δημιουργείται από το sketch γίνεται pattern γύρω από τον άξονα που δημιουργήθηκε στην αρχή του part (εικόνα 08).

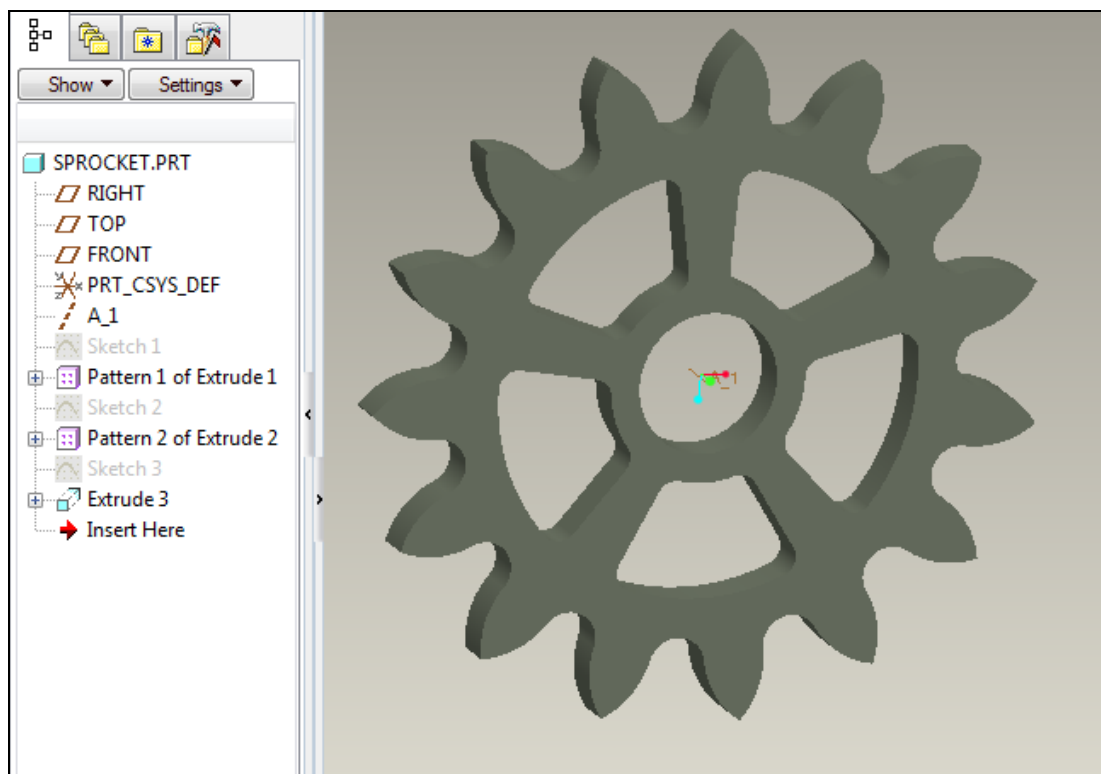


Εικόνα 08. Δημιουργία pattern ως προς άξονα.

Στο pattern περιέχονται 15 pattern members ανά 24° (εικόνα 09).



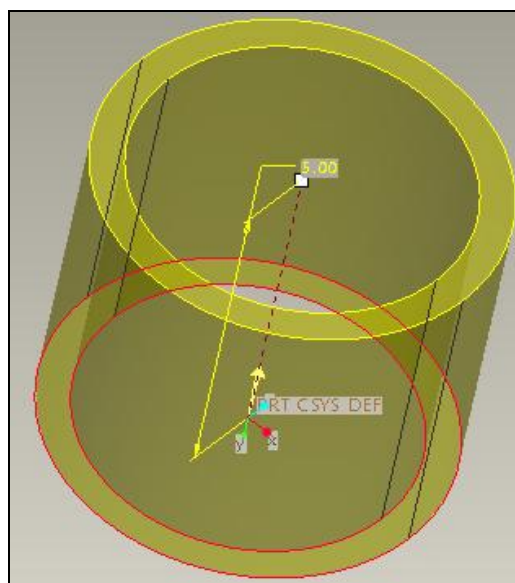
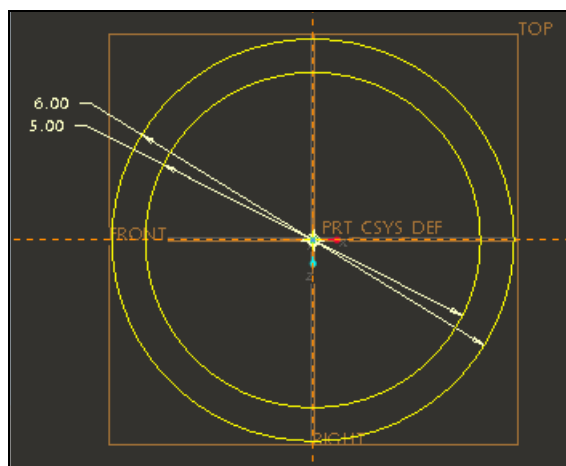
Εικόνα 09. Pattern



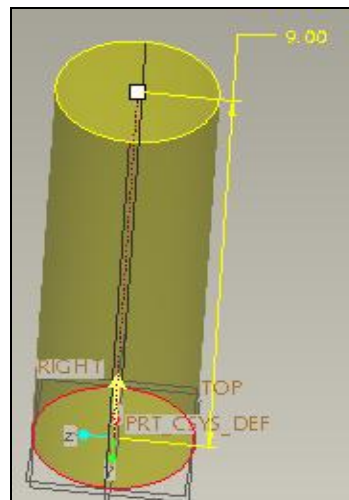
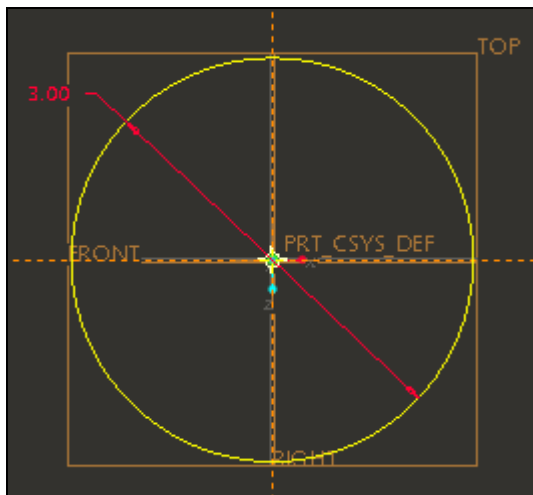
Εικόνα 10. Το sprocket ολοκληρωμένο

Σχεδιάζονται ένα ένα τα επιμέρους parts του assembly της αλυσίδας.

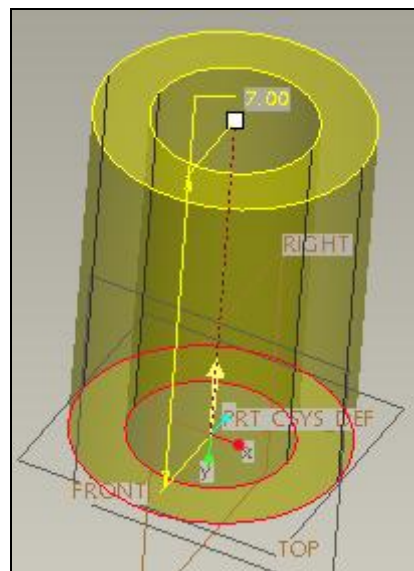
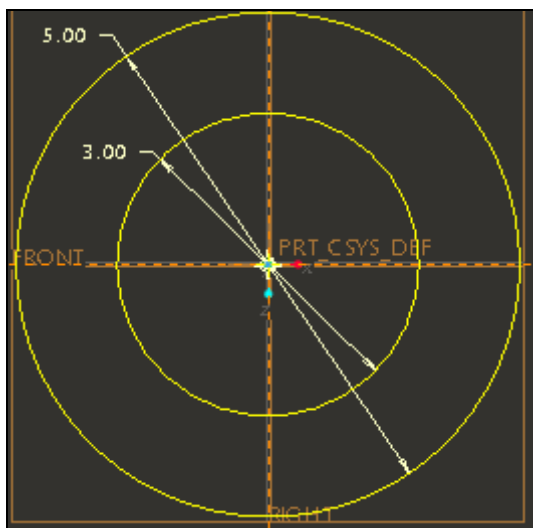
Roller



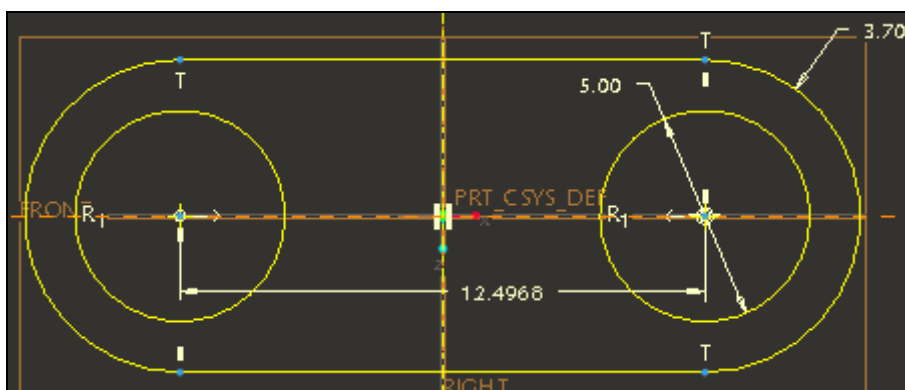
Pin

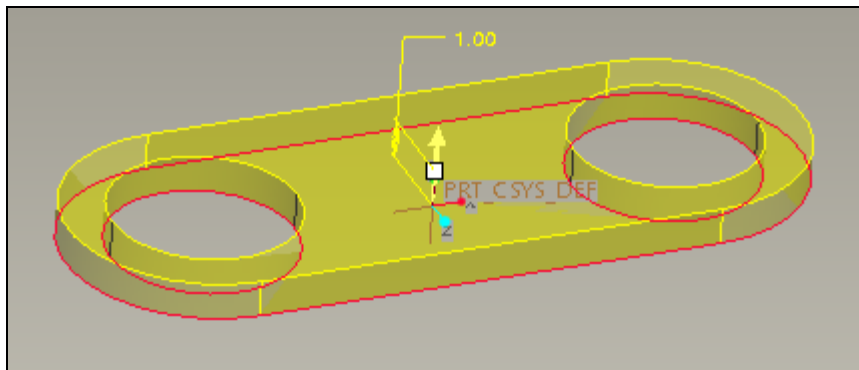


Bushing

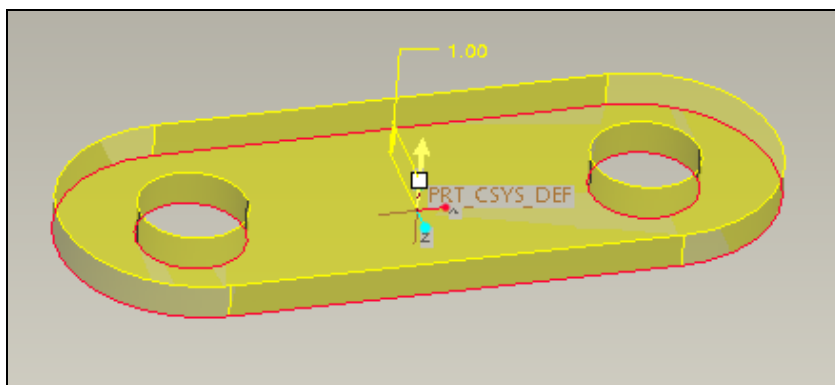
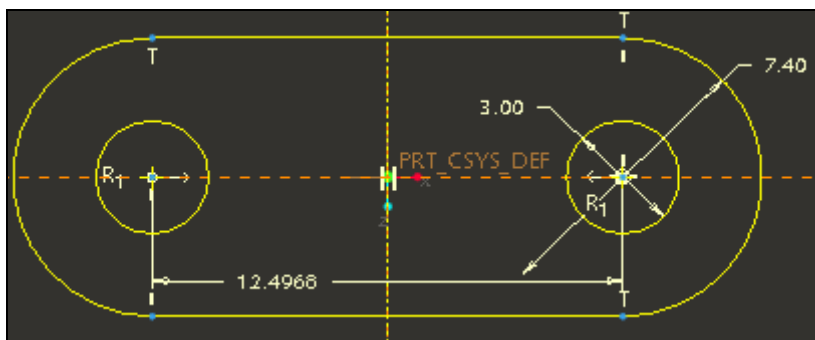


Inner plate



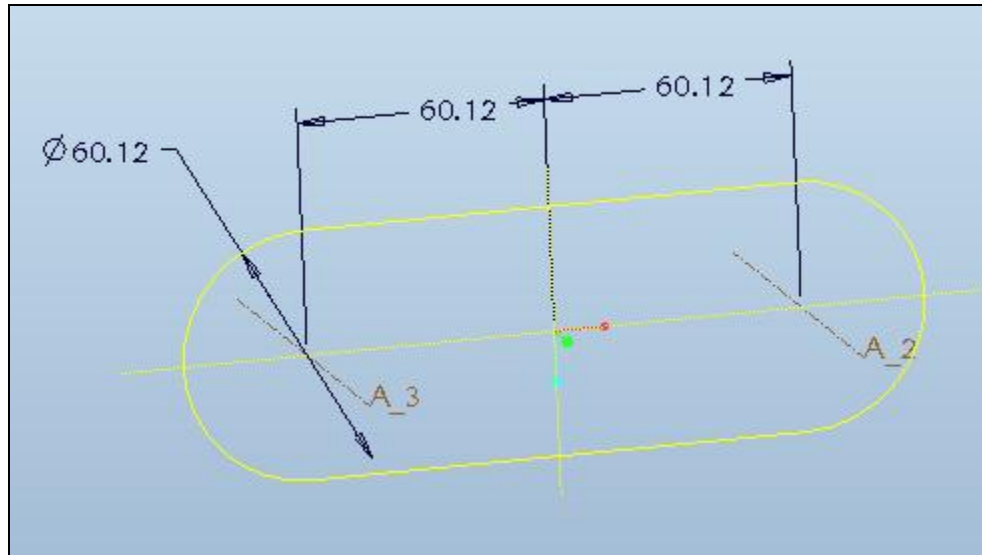


Outer plate



Τροχιά

Σχεδιάζεται η τροχιά την οποία θα ακολουθεί η αλυσίδα στο τελικό assembly (εικόνα 09).



Εικόνα 09. Σχεδιασμός τροχιάς κίνησης αλυσίδας.

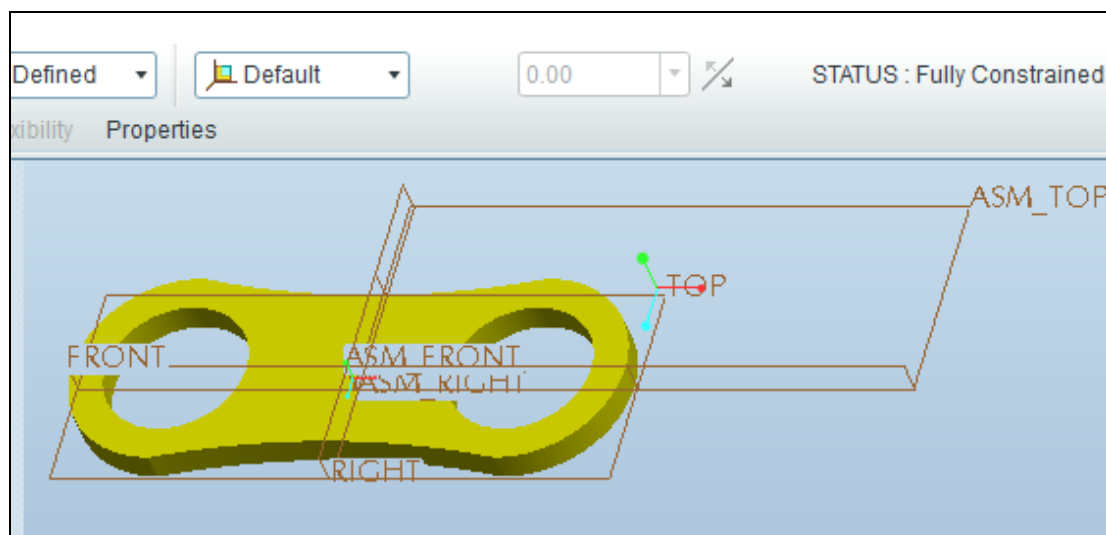
Οι διαστάσεις της τροχιάς είναι αποτέλεσμα των διαστάσεων του κινητήριου τροχού (sprocket).

Assembly

Τα σχεδιασμένα parts συνδυάζονται για να δημιουργηθούν δύο assemblies.

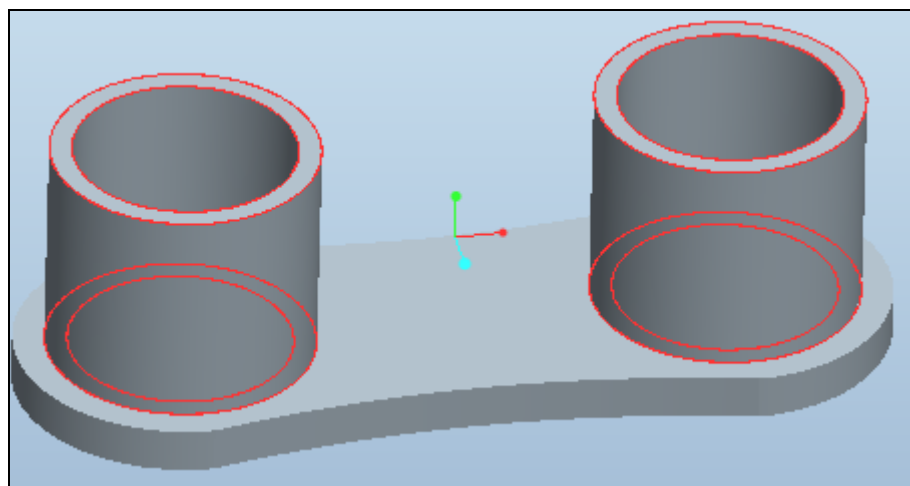
Roller Assembly

Συναρμολογείται ένα inner plate με default τύπο συναρμολόγησης (εικόνα 01).



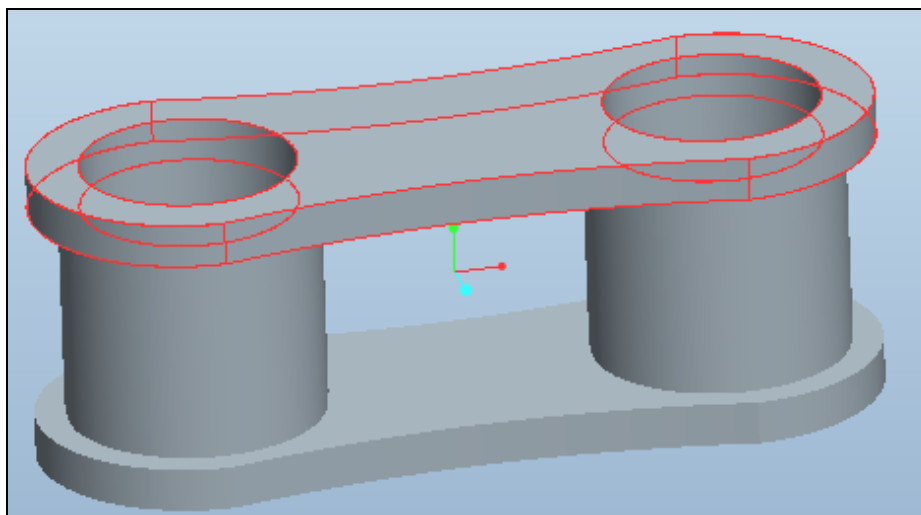
Εικόνα 01. Συναρμολόγηση Inner plate.

Στη συνέχεια συναρμολογούνται δύο rollers επαπτόμενα στο inner plate (εικόνα 02).



Εικόνα 02. Συναρμολόγηση rollers.

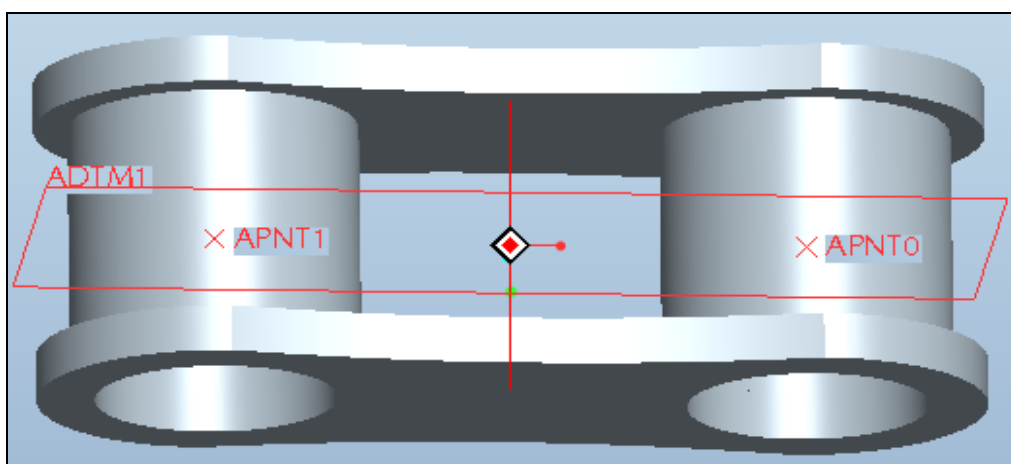
Τέλος, συναρμολογείται ένα inner plate επαπτόμενο στην πάνω πλευρά των rollers (εικόνα 03) και το roller assembly είναι έτοιμο.



Εικόνα 03. Συναρμολόγηση inner plate και ολοκλήρωση του assembly.

Για λόγους απλοποίησης του τελικού assembly έχουν παραλειφθεί τα bushings. Μπορούν, οποιαδήποτε στιγμή, να προστεθούν στο roller assembly.

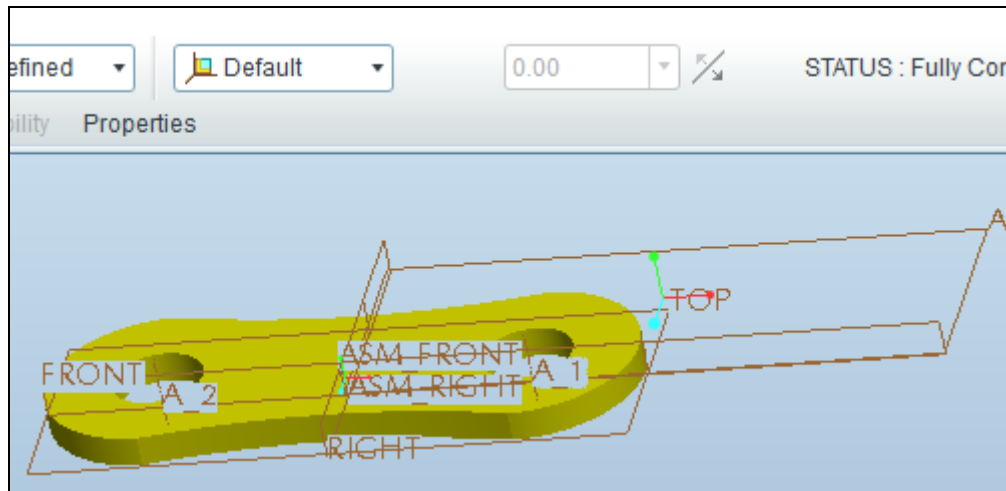
Δημιουργούνται ένα datum plane που διχοτομεί το assembly και δύο datum points που βρίσκονται πάνω σ' αυτό το επίπεδο και στην τομή του με τους άξονες των rollers (εικόνα 04). Τα στοιχεία αυτά θα χρησιμεύσουν κατά την τελική συναρμολόγηση του μηχανισμού.



Εικόνα 04. Επίπεδο και σημεία.

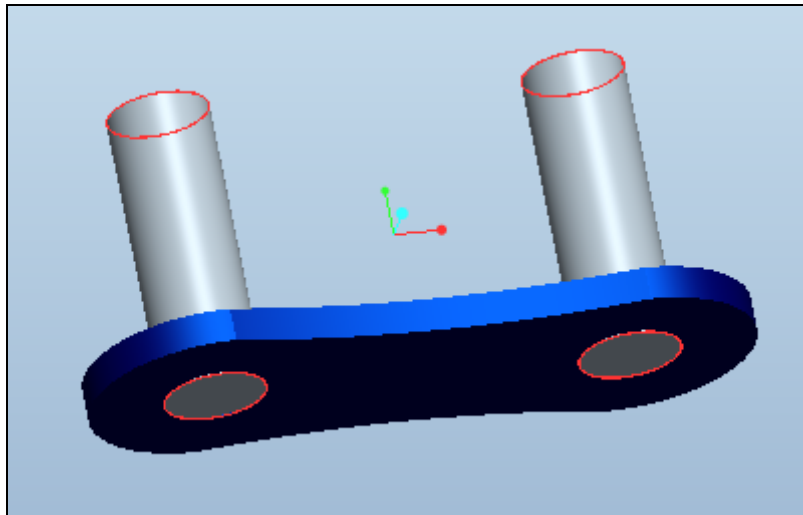
Pin Assembly

Συναρμολογείται ένα outer plate με default τύπο συναρμολόγησης (εικόνα 05).



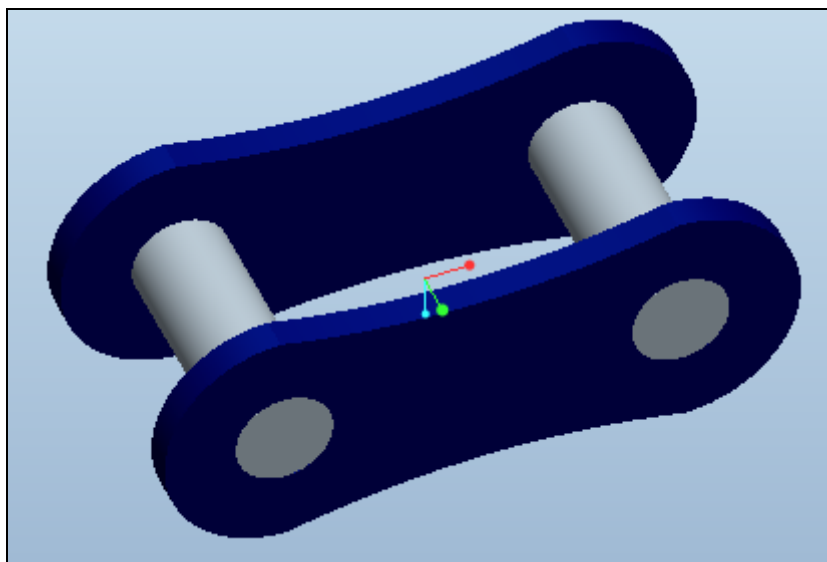
Εικόνα 05. Συναρμολόγηση outer plate.

Στη συνέχεια συναρμολογούνται δυο pins (εικόνα 06).



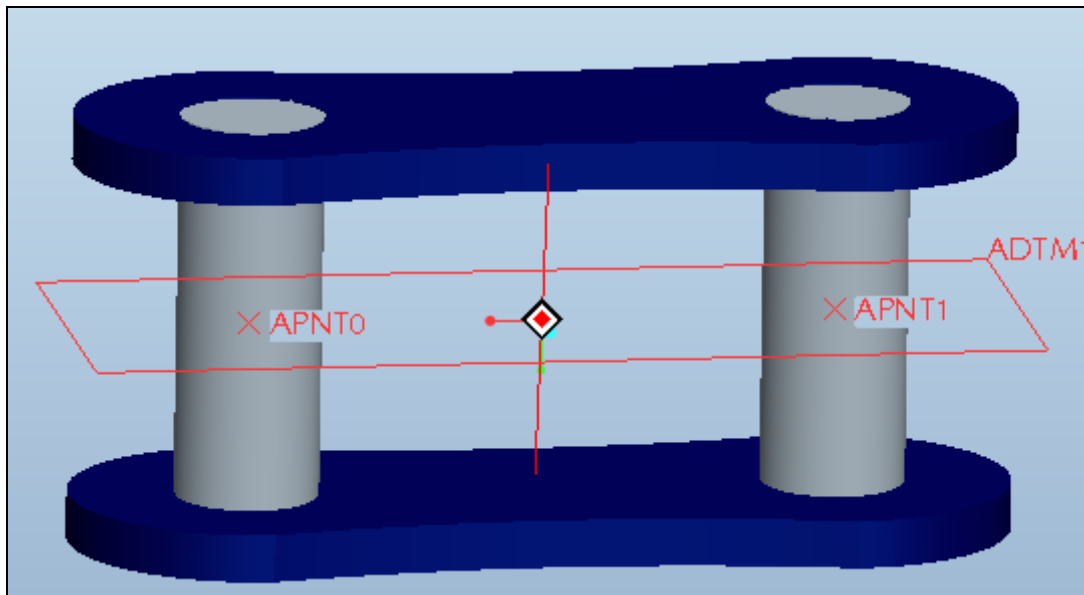
Εικόνα 06. Συναρμολόγηση pins.

Τέλος συναρμολογείται ένα outer plate (εικόνα 07) και το pin assembly είναι έτοιμο.



Εικόνα 07. Συναρμολόγηση outer plate και ολοκλήρωση assembly.

Δημιουργούνται ένα datum plane που διχοτομεί το assembly και δύο datum points που βρίσκονται πάνω σ' αυτό το επίπεδο και στην τομή του με τους άξονες των pins (εικόνα 08). Τα στοιχεία αυτά θα χρησιμεύσουν κατά την τελική συναρμολόγηση του μηχανισμού.



Εικόνα 08. Επίπεδο και σημεία.

Τελικό assembly

Σ' αυτό το σημείο, όλα τα parts που συνθέτουν το μηχανισμό αλυσίδα-κινητήριος τροχός, είναι έτοιμα.

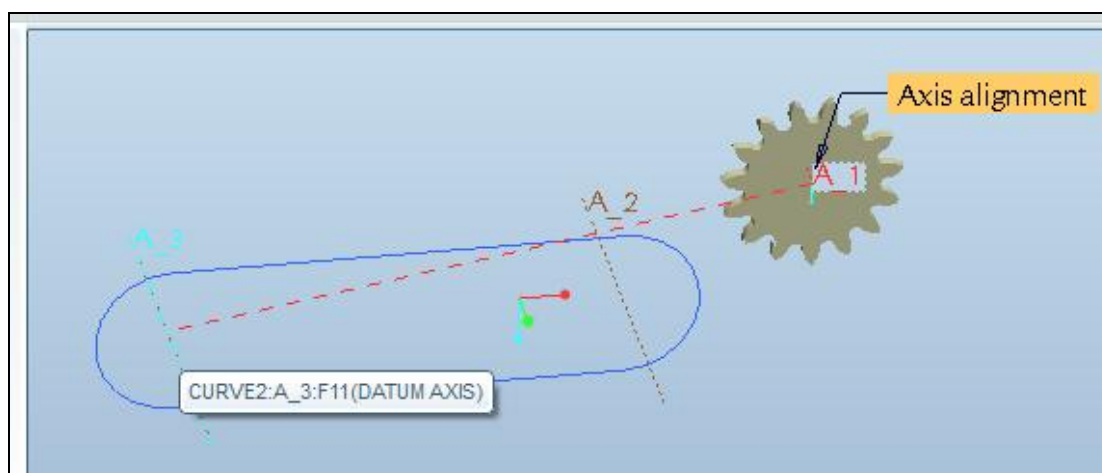
Δημιουργείται νέο assembly file για την τελική συναρμολόγηση των στοιχείων. Το πρώτο part που συναρμολογείται είναι η τροχιά. Επιλέχθηκε αυτό το part για χάριν ευκολίας συναρμολόγησης των υπολοίπων parts και γιατί είναι το μόνο μη κινητό μέρος του μηχανισμού. Επιλέγεται default τύπος συναρμολόγησης για αυτό το part (εικόνα 10).



Εικόνα 10. Συναρμολόγηση τροχιάς κίνησης αλυσίδας.

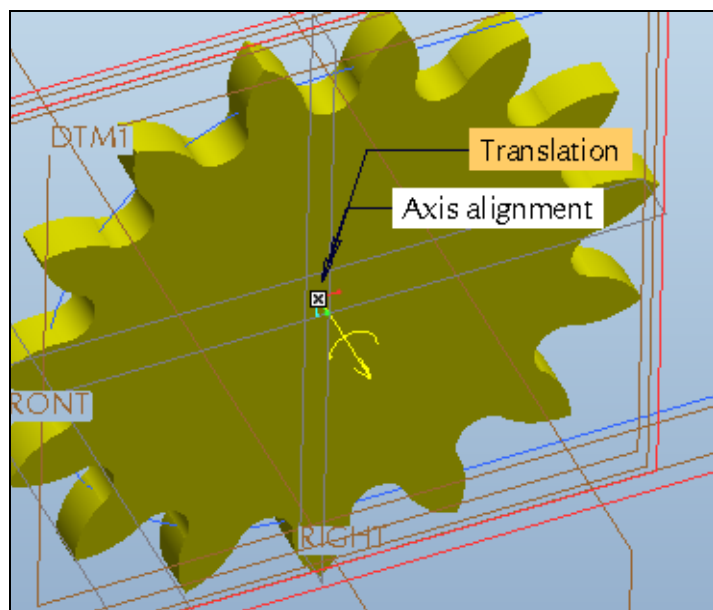
Στη συνέχεια συναρμολογείται ο κινητήριος τροχός. Επιλέγεται τύπος constraint pin.

Axis alignment: ταυτίζεται ο άξονας περιστροφής του τροχού με έναν άξονα που έχει σχεδιαστεί πάνω στην τροχιά (εικόνα 11).



Εικόνα 11. Axis alignment.

Translation: ταυτίζεται ένα επίπεδο που διχοτομεί το sprocket με το επίπεδο πάνω στο οποίο έχει σχεδιαστεί η τροχιά (εικόνα 12).

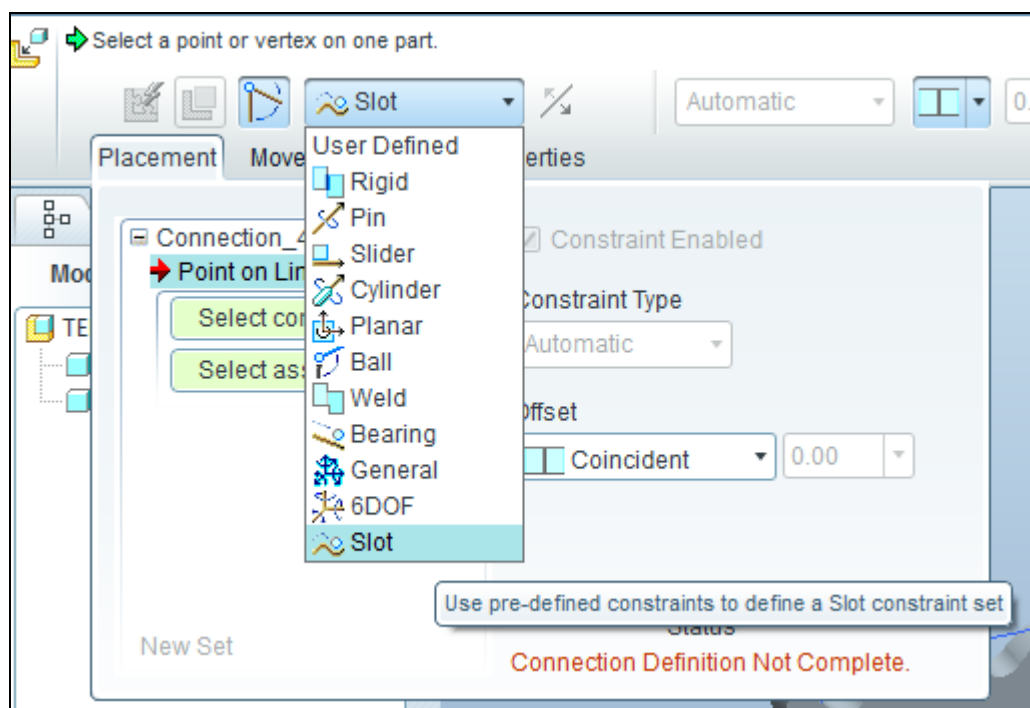


Εικόνα 12. Translation

Με αυτές τις ρυθμίσεις θα πρέπει ο κινητήριος τροχός να μπορεί να περιστρέφεται ελεύθερα γύρω από τον άξονά του, χωρίς να ξεφεύγει από το επίπεδο που βρίσκεται η τροχιά πάνω στην οποία θα κινείται η αλυσίδα.

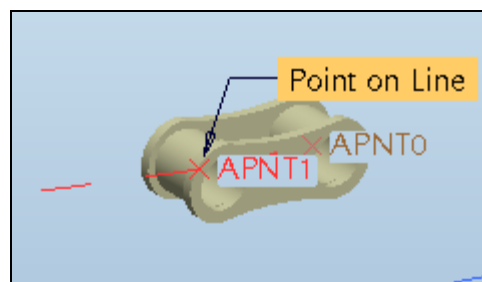
Στη συνέχεια συναρμολογείται ένα roller assembly. Ο σκοπός εδώ είναι να κινείται ο συγκεκριμένο part πάνω στην προκαθορισμένη τροχιά, χωρίς να περιστρέφεται γύρω από τον εαυτό του. Θα χρειαστούν τρία constraint sets.

Αρχικά επιλέγεται τύπος constraint slot (εικόνα 13)



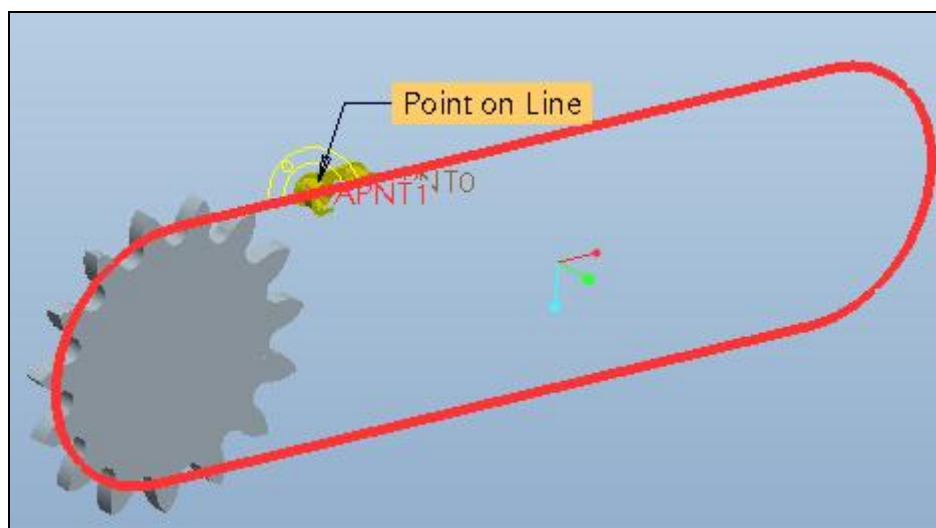
Εικόνα 13. Επιλογή πρώτου σετ στοιχείων συναρμολόγησης - Slot constraint set

Σαν πρώτο Point on line επιλέγεται το ένα σημείο που είχε δημιουργηθεί πάνω στο roller assembly (εικόνα 14).



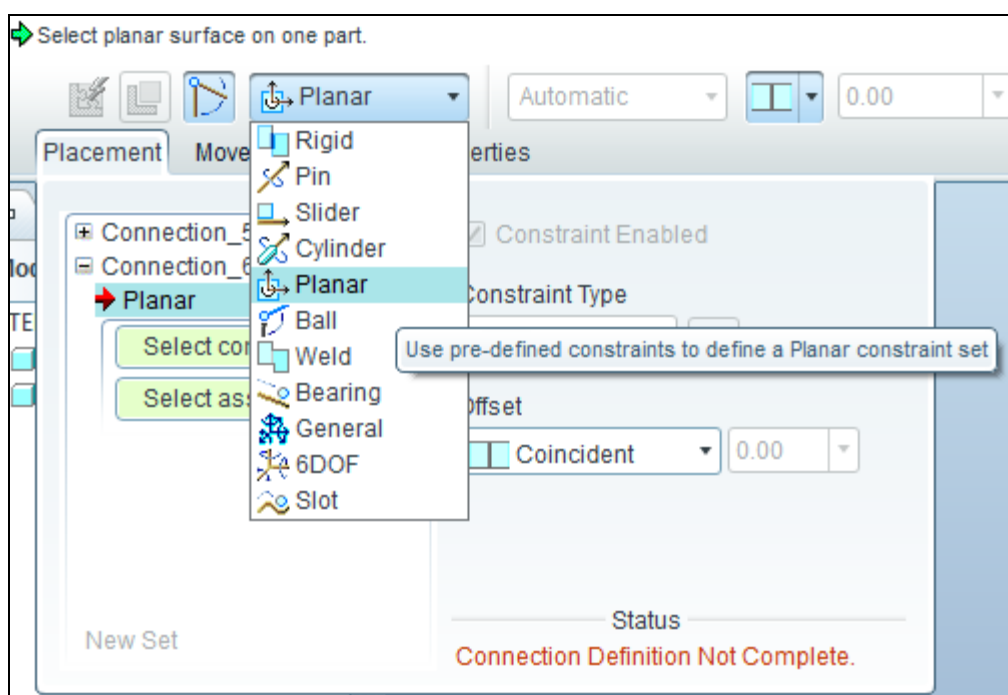
Εικόνα 14. Επιλογή σημείου.

Σαν δεύτερο στοιχείο επιλέγεται η τροχιά (εικόνα 15).

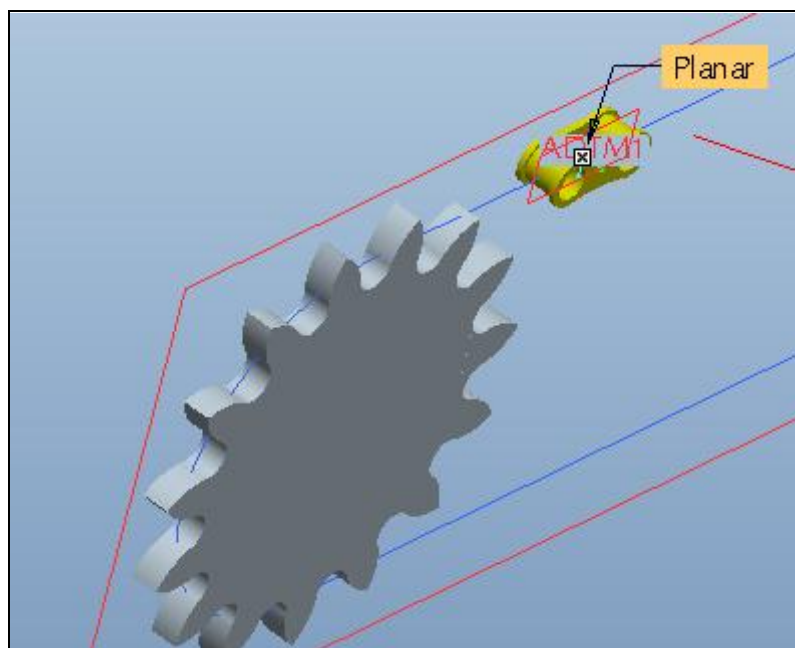


Εικόνα 15. Επιλογή τροχιάς.

Στο tab Placement επιλέγεται New Set για να οριστεί το δεύτερο constraint set. Επιλέγεται Planar constraint set (εικόνα 16) και ταυτίζεται το επίπεδο που διχοτομεί το roller assembly με το επίπεδο πάνω στο οποίο βρίσκεται η τροχιά (εικόνα 17).

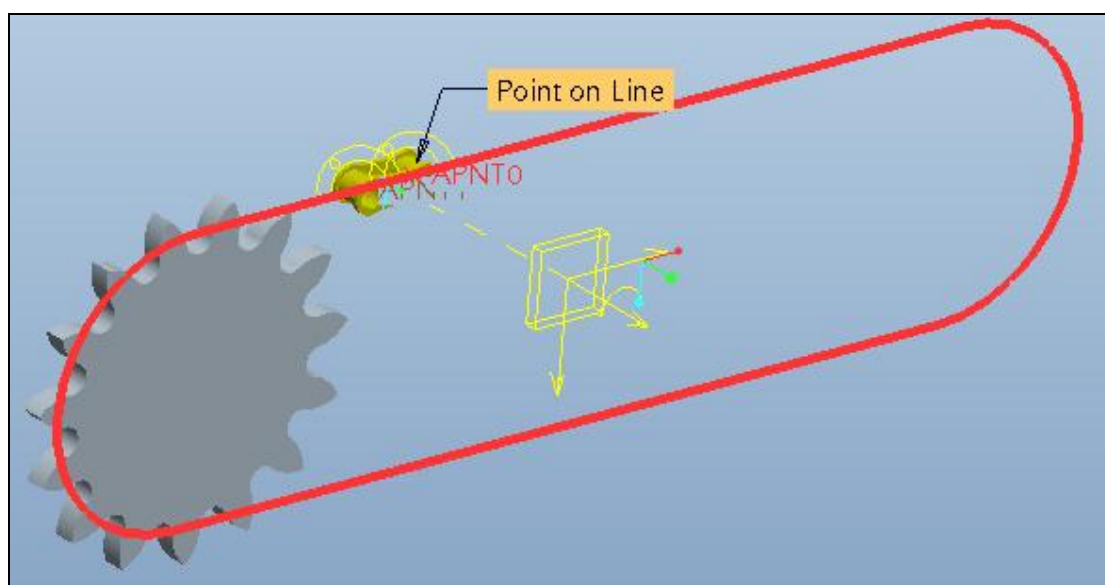


Εικόνα 16. Επιλογή Planar constraint set.



Εικόνα 17. Επιλογή επιπέδων για ορισμό του planar constraint set.

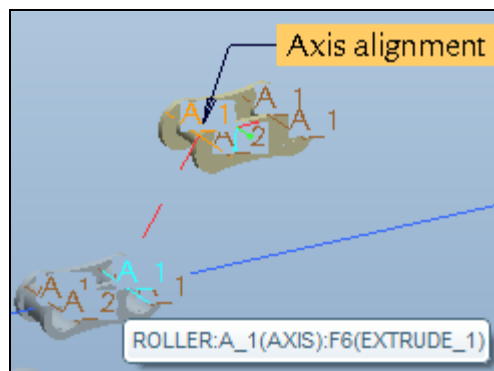
Στο tab Placement επιλέγεται New Set για να οριστεί το τελευταίο constraint set. Επιλέγεται Slot constraint set. Ακολουθείται η ίδια διαδικασία με το πρώτο σκέλος της συναρμολόγησης του roller assembly, αυτή τη φορά για το δεύτερο datum point του (εικόνα 18).



Εικόνα 18. Επιλογή τροχιάς στο δεύτερο slot constraint set και ολοκλήρωση συναρμολόγησης του roller assembly.

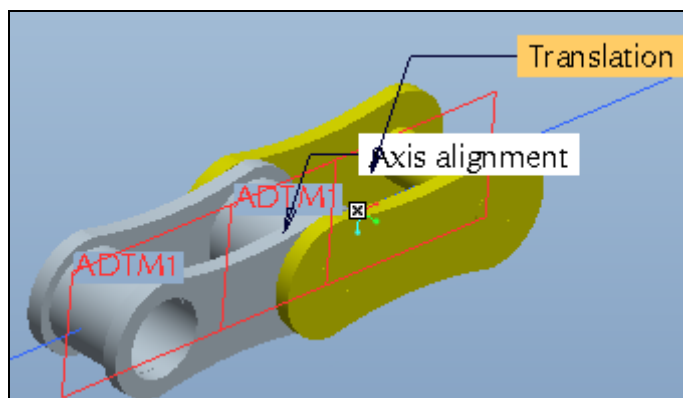
Στη συνέχεια συναρμολογείται ένα pin assembly. Η διαδικασία που ακολουθείται εδώ, διαφέρει από αυτή του πρώτου roller assembly και είναι αυτή που θα ακολουθηθεί για τη συναρμολόγηση των υπολοίπων parts της αλυσίδας. Επιλέγεται pin constraint set.

Axis alignment: ταυτίζεται ο άξονας του πρώτου pin με τον άξονα του δεύτερου roller από το roller assembly (εικόνα 19).



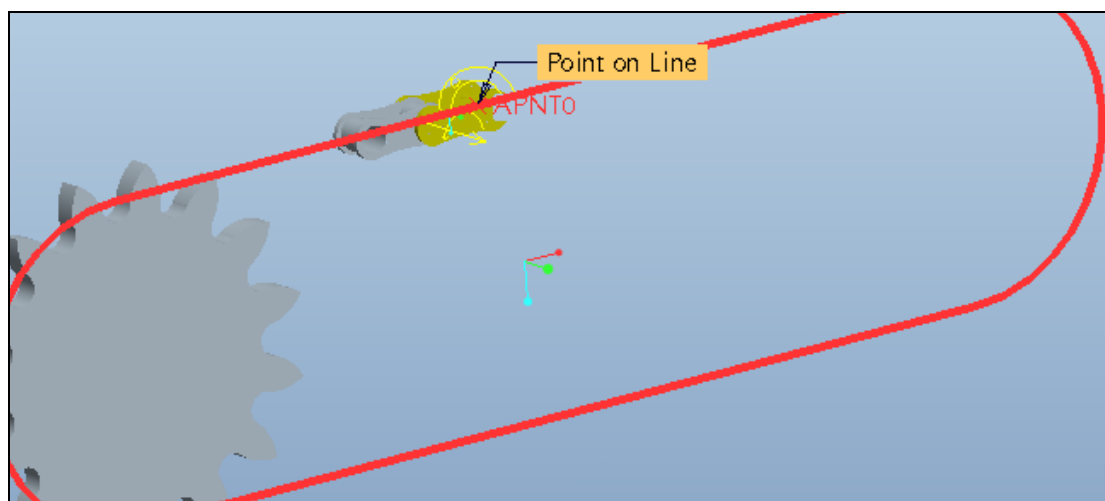
Εικόνα 19. Axis alignment

Translation: ταυτίζονται τα datum planes που διχοτομούν το roller assembly και το pin assembly (εικόνα 20).



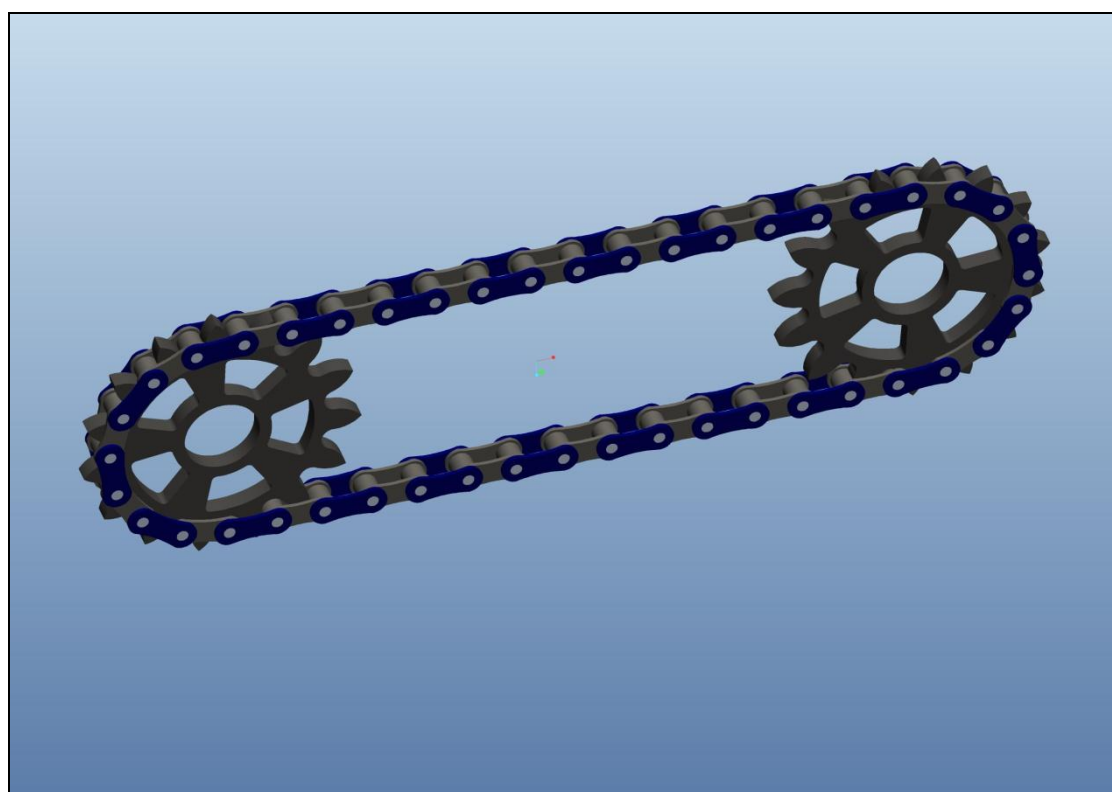
Εικόνα 20. Translation

Στο tab placement επιλέγεται New Set για την προσθήκη δεύτερου constraint set. Επιλέγεται Slot constraint set και επιλέγονται το δεύτερο datum point του pin assembly και η τροχιά (εικόνα 21).

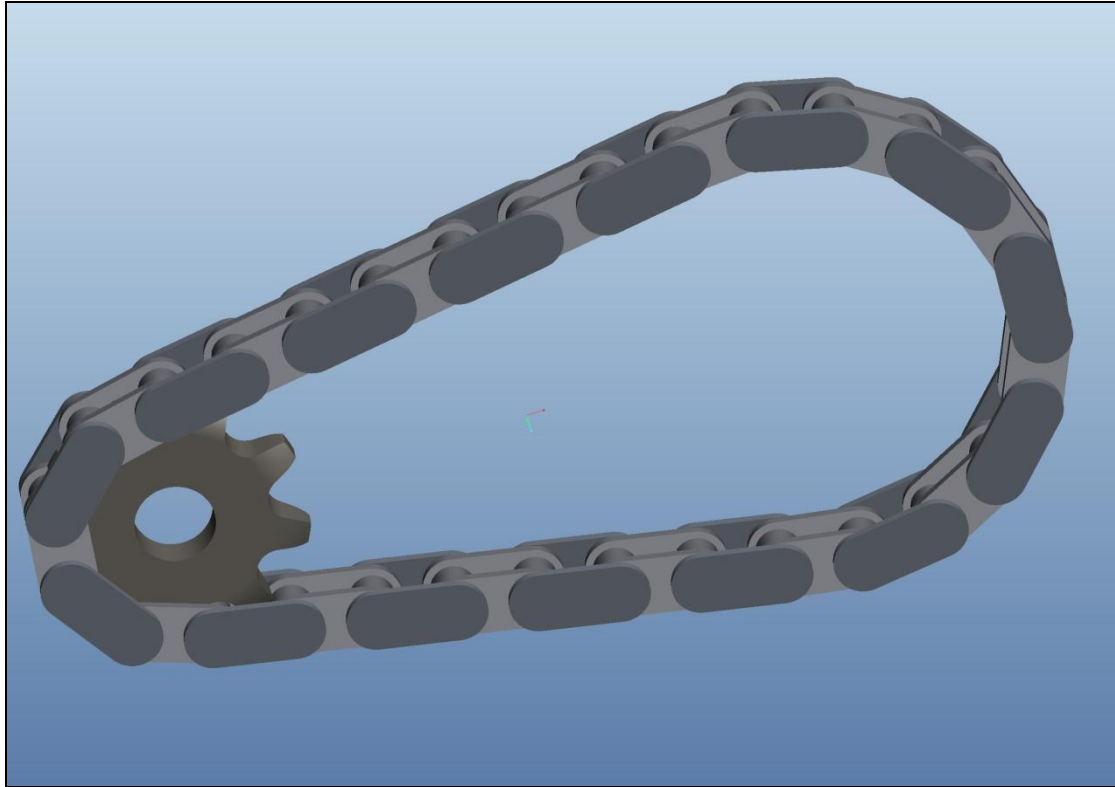


Εικόνα 21. Επιλογή στοιχείων για το Slot constraint set.

Με τον τρόπο αυτό μπορούν να συναρμολογηθούν εναλλάξ roller assemblies και pin assemblies για να καλυφθεί η τροχιά και να κλείσει η αλυσίδα (εικόνα 22).



Εικόνα 22. Ολοκληρωμένο assembly αλυσίδας με δύο τροχούς.

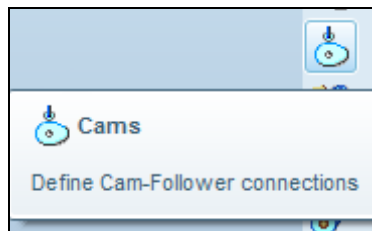


Εικόνα 23. Άλλο παράδειγμα assembly αλυσίδας

Mechanism

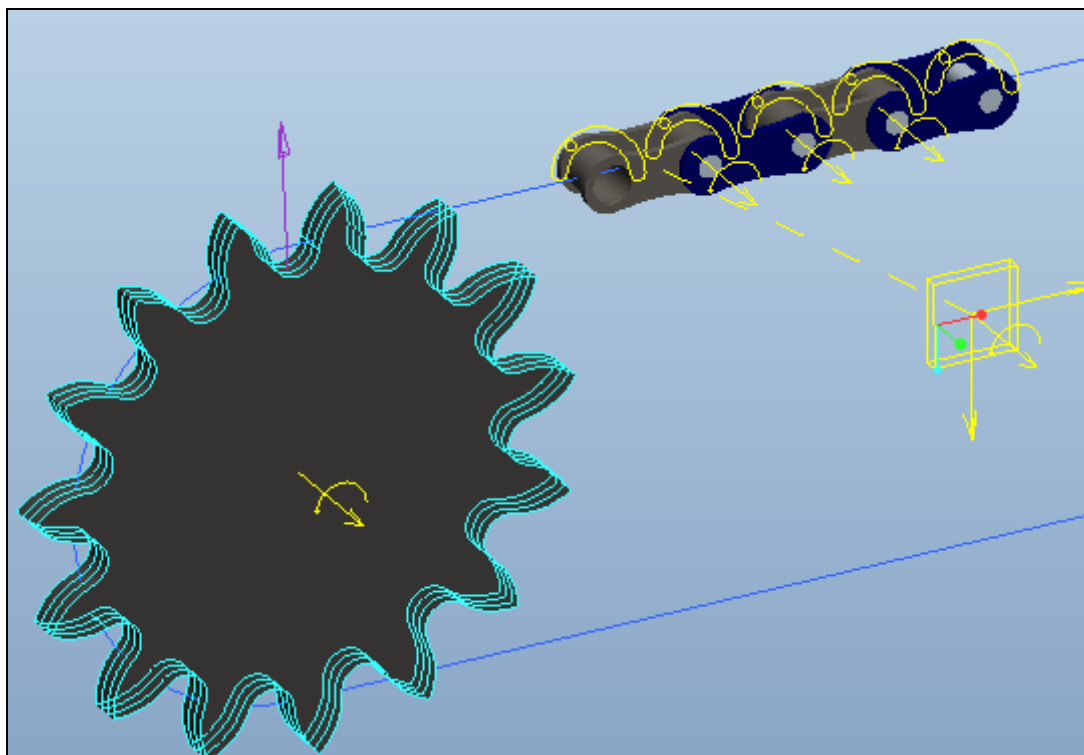
Το assembly μεταφέρεται στο application mechanism για τον ορισμό των στοιχείων του μηχανισμού.

Για κάθε roller του assembly θα πρέπει να οριστεί σχέση cam-follower με τον κινητήριο τροχό. Επιλέγεται τύπος σύνδεσης Cams (εικόνα 01).



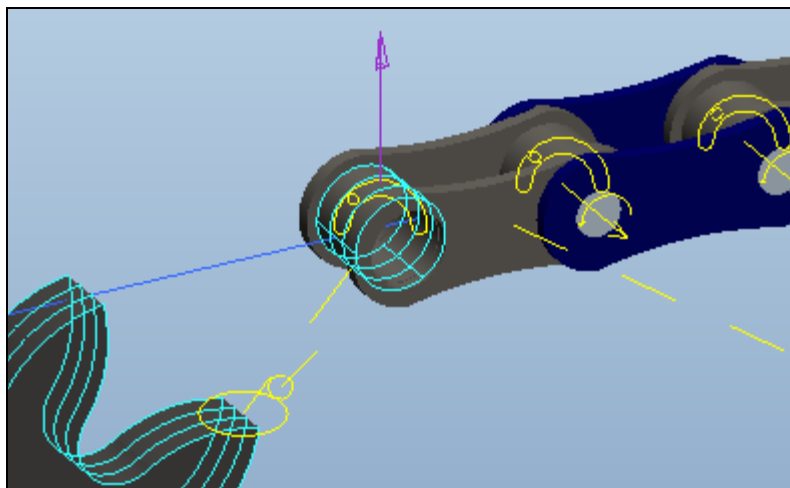
Εικόνα 01. Επιλογή τύπου σύνδεσης

Στο πρώτο tab του παραθύρου που εμφανίζεται συμπληρώνονται τα στοιχεία του πρώτου cam. Αρχικά, με το Autoselect ενεργοποιημένο, επιλέγεται η εξωτερική επιφάνεια του κινητήριου τροχού (εικόνα 02). Το depth Display Settings παραμένει Automatic.



Εικόνα 02. Επιλογή επιφάνειας κινητήριου τροχού, πρώτο cam.

Στο δεύτερο tab συμπληρώνονται τα στοιχεία του δεύτερου cam. Με το Autoselect ενεργοποιημένο, επιλέγεται η εξωτερική επιφάνεια του πρώτου roller (εικόνα 03). Το depth Display Settings παραμένει Automatic.

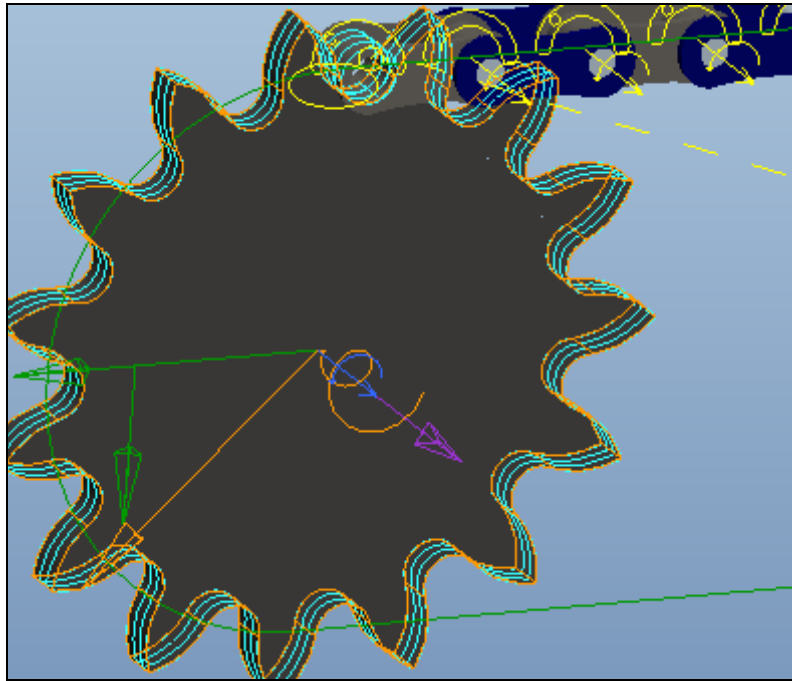


Εικόνα 03. Επιλογή επιφάνειας roller, δεύτερο cam.

Στο τρίτο tab επιλέγεται “Enable Liftoff” με $0 \leq e \leq 1$

Με τον ίδιο τρόπο ορίζεται η σχέση όλων των rollers με τον κινητήριο τροχό.

“Πιάνοντας” και σέρνοντας το roller assembly με το εργαλείο drag components φαίνεται η αλληλεπίδραση του roller με τον κινητήριο τροχό. Σε ένα assembly με ολοκληρωμένη αλυσίδα, μπορεί να προστεθεί κινητήρας στον άξονα περιστροφής του κινητήριου τροχού (εικόνα 04) για αυτόματη κίνηση του μηχανισμού.



Εικόνα 04. Προσθήκη servo motor για κίνηση του κινητήριου τροχού.

4. Συμπεράσματα

Στην εργασία αυτή διερευνήθηκαν οι δυνατότητες του Pro/Engineer όσον αφορά στο σχεδιασμό, τη συναρμολόγηση και τον ορισμό των στοιχείων μηχανισμών με σκοπό την προσομοίωση των κινηματικών χαρακτηριστικών τους.

Από τα σχέδια που δημιουργήθηκαν για την εργασία προκύπτει ότι το Pro/Engineer λόγω του παραμετρικού συστήματος που χρησιμοποιεί, είναι πολύ αποτελεσματικό λογισμικό μοντελοποίησης μηχανισμών. Ο συσχετισμός ανάμεσα στα features αλλά και τα parts και η δυναμική και κινηματική ανάλυση που προσφέρει, προσθέτει ευελιξία στο σχέδιο και δυνατότητες βελτιστοποίησής του.

Το πρόγραμμα παρέχει όλους τους βασικούς τύπους συνδέσεων, γεγονός που κάνει πολύ αποδοτική την ανάλυση και αξιολόγηση.

Η έλλειψη λεπτομερών θεωρητικών βοηθημάτων για το mechanism έκανε δύσκολη και χρονοβόρα τη διαδικασία ορισμού των στοιχείων κάποιων μηχανισμών.

Με τη χρήση κινηματικής ανάλυσης σε μηχανισμούς, η διαδικασία σχεδιασμού τους γίνεται πιο γρήγορη και ακριβής. Αυξάνεται η αποτελεσματικότητα των τρισδιάστατων μηχανολογικών σχεδίων και μειώνεται ο χρόνος και το κόστος παραγωγής φυσικών μοντέλων.

Η χρήση των εργαλείων προσομοίωσης κίνησης μηχανισμών δίνει στο χρήστη μια πιο σαφή εικόνα της λειτουργίας του μηχανισμού και τη δυνατότητα να εξετάσει αν ο μηχανισμός ικανοποιεί τις λειτουργικές απαιτήσεις και τις απαιτήσεις κίνησής του.

5. Βιβλιογραφία

1. Γραϊκούσης Ρ. (1983), Στοιχεία Μηχανών Ι - Στοιχεία συνδέσεως, Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις Γιαχούδη
2. Γραϊκούσης Ρ. Στοιχεία Μηχανών ΙΙΙ – Κινήσεις, Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις Γιαχούδη
3. Στεργίου, Ι. – Στεργίου, Κ. (2003), Στοιχεία Μηχανών Ι, Αθήνα, Σύγχρονη Εκδοτική ΕΠΕ
4. Στεργίου, Ι. – Στεργίου, Κ. (2002), Στοιχεία Μηχανών ΙΙ, Αθήνα, Σύγχρονη Εκδοτική ΕΠΕ
5. Johns W.E. (2003), Notes on Sprockets and Chains, <http://www.gizmology.net/sprockets.htm> (11/07/2010)
6. Educypedia, (2010) Mechanisms: animations and java applets, Belgium, <http://www.educypedia.be/education/mechanicsjavamechanisms.htm> (16/08/2010)
7. Yi Zhang, Finger S. Behrens S., (2010), Rapid Design through Virtual and Physical Prototyping, Carnegie Mellon University, <http://www.cs.cmu.edu/~rapidproto/mechanisms/chpt2.html>
8. Engineering - The Theory Of Machines: An introduction to the theory of Machines which includes instantaneous centres, friction circle, and Hooke's Joint and other worked examples. http://www.codecogs.com/reference/engineering/the_theory_of_machines/mechanisms.php (2/07/2010)
9. http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page
10. <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CF%8D%CE%BB%CE%B7:%CE%9A%CF%8D%CF%81%CE%B9%CE%B1>

11. <http://www.mcadcentral.com/proe/forum/default.asp>
12. <http://www.mcadforums.com/forums/viewforum.php?f=31>