

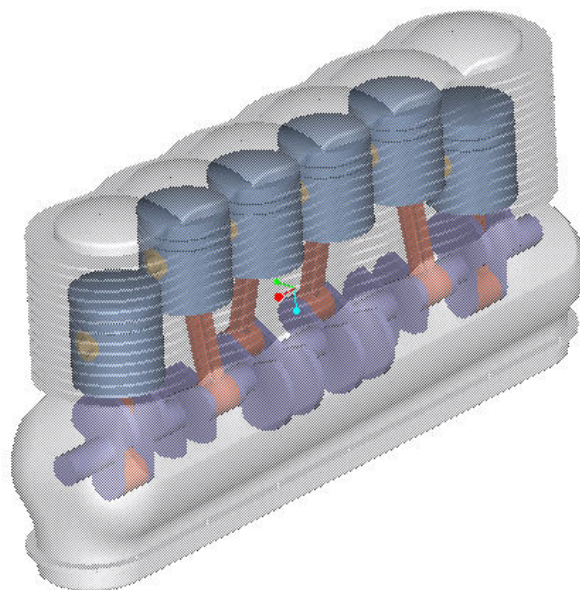


ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης

Διπλωματική Εργασία

**ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ Η/Υ –
ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Pro/MECHANICA Motion**



Χρήστος Αναστασόπουλος

Επιβλέπων Καθηγητής: Νικόλαος Μπιλάλης

Χανιά, Μάρτιος 2005

Στους Βασίλειο και Αγγελική Αναστασοπούλου

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου κ. Νικόλαο Μπιλάλη για το σύγχρονο θέμα που μου ανέθεσε. Επίσης, τον καθηγητή μου κ. Ιωάννη Νικολό ο οποίος με βοήθησε καθοριστικά με το πλούσιο βιβλιογραφικό υλικό που μου παρέθεσε. Τέλος, τους υπεύθυνους του εργαστηρίου Μελέτης & Σχεδίασης Με Χρήση Η/Υ, κ.κ. Ιωάννη Κατσίγιαννη και Νικόλαο Κυρίτση για την υποστήριξή τους σε τεχνικά θέματα σε όλη τη διάρκεια της Διπλωματικής μου Εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας είναι η σχεδίαση, η προσομοίωση και η κινηματική ανάλυση με τη χρήση Η/Υ δύο μηχανισμών. Η σχεδίαση και η συναρμολόγηση έγιναν με μοντέλα στερεών και πραγματοποιήθηκαν με το σύστημα Pro/ENGINEER, που είναι ένα πακέτο λογισμικού τρισδιάστατης και παραμετρικής μοντελοποίησης. Η προσομοίωση και η κινηματική ανάλυση πραγματοποιήθηκαν με το σύστημα Pro/MECHANICA Motion, που είναι ένα πακέτο λογισμικού για την προσομοίωση της κίνησης μηχανισμών. Η εργασία στο Pro/MECHANICA Motion έγινε μέσα από το περιβάλλον του Pro/ENGINEER. Η Διπλωματική Εργασία που ακολουθεί περιέχει τρία κεφάλαια:

- **ΕΙΣΑΓΩΓΗ:** Περιγράφει την ανάγκη της ανάπτυξης των συστημάτων Μελέτης & Σχεδίασης με τη Χρήση Η/Υ, το λογικό διάγραμμα ροής της εργασίας στο Pro/MECHANICA Motion και τις δυνατότητες προσομοίωσης που παρέχει με μια παρουσίαση των διαθέσιμων επιλογών του.
- **ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ:** Περιγράφει όλα τα βήματα της εργασίας στο Pro/MECHANICA Motion για δύο εφαρμογές και παρουσιάζει τα αποτελέσματα της κινηματικής ανάλυσης, που είναι η τρισδιάστατη προβολή της κίνησης των δύο μηχανισμών και κάποια γραφήματα μετρήσιμων μεγεθών σε συνάρτηση με το χρόνο της προσομοίωσης.
- **ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ – ΠΡΟΕΚΤΑΣΕΙΣ:** Περιγράφει τα συμπεράσματα που προκύψανε από τη Διπλωματική Εργασία και προτείνει δύο νέα πεδία για μελλοντική εργασία.

Τέλος, παρατείνεται ένα παράρτημα με τα μηχανολογικά σχέδια των εξαρτημάτων που σχεδιάστηκαν στο Pro/ENGINEER.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
Συμβατική σχεδιομελέτη και σχεδίαση με υπολογιστή	6
Βασικές έννοιες και χαρακτηριστικά στο Pro/MECHANICA Motion	10
• Ιδιότητες Υλικών (Material Properties):	10
• Σώματα (Bodies):	10
• Συνδέσεις (Connections):	10
○ Αρθρώσεις (Joints):	10
○ Ακολουθητές Εκκέντρων (Cam-Followers):	10
○ Ακολουθητές Εγκοπών (Slot-Followers):	10
○ Ζεύγη Οδοντωτών Τροχών (Gear Pairs):	10
• Φορτία (Loads):	14
• Οδηγοί (Drivers):	15
• Μέτρα (Measures):	15
• Περιοχές Επαφής (Contact Regions):	17
• Ανάλυση του Μοντέλου (Model Analysis):	17
• Επιθεώρηση Αποτελεσμάτων (Results):	18
ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ	19
Πριν ξεκινήσετε για πρώτη φορά το Pro/MECHANICA Motion...	19
Κάθε φορά που εισέρχεστε στο Pro/ENGINEER	20
Πώς να διαβάζετε το εγχειρίδιο:	21
Εφαρμογή 1 (“6 Cylinder In-Line”)	22
Δημιουργία του Motion Model	22
Κινηματική ανάλυση του μοντέλου	30
Επιθεώρηση των αποτελεσμάτων	32
Εφαρμογή 2 (“Camshaft-Valves”)	34
Δημιουργία του Motion Model	34
Κινηματική ανάλυση του μοντέλου	47
Επιθεώρηση των αποτελεσμάτων	49
ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ - ΠΡΟΕΚΤΑΣΕΙΣ	52
ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	53
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	53
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ – ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ	54

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Συμβατική σχεδιομελέτη και σχεδίαση με υπολογιστή

Το 2001, το εργαστήριο Δικτύων Παραγωγής (C.A.M. – Computer Aided Manufacturing) του τμήματος Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης ζήτησε από τους φοιτητές τη σχεδίαση και κατασκευή μιας μηχανής εξωτερικής κάυσης, τύπου Stirling. Σκοπός του εργαστηρίου ήταν η εκπαίδευση των φοιτητών στη χρήση των C.N.C. εργαλειομηχανών. Προκειται για εργαλειομηχανές με ενσωματωμένο μικροεπεξεργαστή, οι οποίες προγραμματίζονται πλήρως για να εκτελούν κατεργασίες, χωρίς ο χρήστης να χρειάζεται να επεμβαίνει κατά τη διάρκεια της κατεργασίας. Η κάθε ομάδα κλήθηκε να αναπτύξει τη δική της μηχανή Stirling. Οι μηχανές όλων των ομάδων θα στηρίζονταν στις ίδιες αρχές που χαρακτηρίζουν αυτού του τύπου τις μηχανές. Η σχεδίαση διήρκεσε τρεις ημέρες κατά μέσο όρο σε όλες τις ομάδες. Αρχικά χρειάστηκε να γίνει αναζήτηση και μελέτη υλοποιημένων σχεδίων και στη συνέχεια να σχεδιαστεί η νέα μηχανή. Παρόλο που η τριήμερη σχεδίαση καθόρισε κατά το μεγαλύτερο ποσοστό την κατασκευή της μηχανής, σε τόσο μικρό χρόνο και με ελάχιστο κόστος, δε στάθηκε δυνατό να επιλυθούν ορισμένα προβλήματα που παρουσιάστηκαν κατά τη διάρκεια της κατασκευής. Τέτοια προβλήματα ήταν οι αναπροσαρμογές που χρειάζονταν οι διαστάσεις ορισμένων εξαρτημάτων, η επιλογή των υλικών, ο τρόπος σύνδεσης των εξαρτημάτων και η μεταξύ τους επιτρεπόμενη κίνηση. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τα αρχικά σχέδια να μεταβάλλονται συχνά σε ολόκληρη τη φάση της κατασκευής. Αυτό σήμαινε επιπλέον χρόνο για να γίνουν οι αλλαγές καθώς και επιπλέον κόστος όταν τα εξαρτήματα και τα υλικά ήταν ανάγκη να αγορασθούν ξανά και να γίνουν οι νέες απαραίτητες κατεργασίες.

Ως σχεδιομελέτη με χρήση Η/Υ (C.A.D. – Computer Aided Design), ορίζεται η χρήση της τεχνολογίας των υπολογιστών σε όλα τα στάδια ανάπτυξης του προϊόντος και ιδιαίτερα στη δημιουργία, τη μεταβολή, την ανάλυση και τη βελτιστοποίηση της μορφής του προϊόντος. Περιλαμβάνει την τεχνολογία γραφικών, βάσεων δεδομένων, μαθηματικής μοντελοποίησης, προσομοίωσης και ελέγχου δεδομένων για τη δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου του προϊόντος.

Πολλά από τα προβλήματα κατά την ανάπτυξη του προϊόντος μπορούν να αποφευχθούν με τη χρήση κατάλληλων εργαλείων για τη συνεργασία της

ομάδας ανάπτυξης. Βασικός σκοπός είναι να αποφύγουμε αλλαγές στη φάση της παραγωγής καθώς και η διεξαγωγή δοκιμών με χρήση ψηφιακών μοντέλων. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση συστήματος σχεδιομελέτης με Η/Υ όπου μπορούμε να υλοποιήσουμε εύκολα, αλλαγές που υποδεικνύονται από το τμήμα Παραγωγής, στη φάση της μελέτης, και βοηθάει στη συνεργασία των επιμέρους ομάδων.

Στις μέρες μας έχουν αναπτυχθεί εργαλεία στον υπολογιστή, που επιτρέπουν την ανάλυση της συμπεριφοράς του προϊόντος με εξαιρετική ακρίβεια. Με τη χρήση των εργαλείων αυτών αλλάζει η κλασσική μέθοδος δοκιμής των προϊόντων που χρησιμοποιεί τα φυσικά μοντέλα και που είναι επίσης ανακριβής. Με την παραδοσιακή μέθοδο δεν υπάρχει έγκαιρη ανάδραση δεδομένων από το βρόγχο της μελέτης στο βρόγχο του μοντέλου, με συνέπεια τα τελικά αποτελέσματα να είναι αμφίβολης ποιότητας. Με τη νέα μέθοδο υπάρχει γρήγορη ανάδραση αποτελεσμάτων από το ένα στάδιο στο άλλο, χωρίς να υπάρχει παράλληλη ανάπτυξη δύο κύκλων λειτουργίας, επειδή οι περισσότερες από τις λειτουργίες γίνονται γρήγορα και πάντα υπάρχει μια κοινή βάση αναφοράς, το τρισδιάστατο μοντέλο στον υπολογιστή. Το σύστημα σχεδίασης επιτρέπει στο χειριστή του, αφού εξοικειωθεί με αυτό, να δουλεύει πιο αποδοτικά, με αποτέλεσμα ή να επιτυγχάνει μεγαλύτερη αποδοτικότητα για την ίδια ποιότητα εργασίας ή να επιτυγχάνει καλύτερη ποιότητα για τον ίδιο φόρτο εργασίας [Ν. Μπιλάλης, Μελέτη και Ανάπτυξη Προϊόντων, 2003].

Μεταξύ των σταδίων ανάπτυξης του προϊόντος διακρίνονται δύο κύριες δραστηριότητες, η σχεδιομελέτη (The Design Process) και η παραγωγή (The Manufacturing Process). Η σχεδιομελέτη απαρτίζεται από τη σύνθεση (Synthesis) και την ανάλυση (Analysis). Η σύνθεση περιλαμβάνει τα στάδια, απαίτηση για νέο προϊόν, προμελέτη και σύνταξη προδιαγραφών, μελέτη σκοπιμότητας, σύλληψη προϊόντος, μοντελοποίηση και προσομοίωση. Η ανάλυση περιλαμβάνει την ανάλυση του προϊόντος, τη βελτιστοποίηση της μελέτης, την αξιολόγηση και την τεκμηρίωση. Ένα τμήμα της σύνθεσης και σχεδόν όλα τα στάδια της ανάλυσης μπορούν να εξυπηρετηθούν από προϊόντα λογισμικού C.A.D./C.A.M. Στη δραστηριότητα της παραγωγής, όλα σχεδόν τα στάδια μπορούν να εξυπηρετηθούν από προϊόντα λογισμικού C.A.D./C.A.M., εκτός του εμπορικού (Marketing) και της αποστολής (Shipping).

Εξαιρετικά σημαντικό είναι ότι υπάρχει μεταφορά αποτελεσμάτων από το ένα στάδιο στο επόμενο και ανάδραση των αποτελεσμάτων προς τα προηγούμενα στάδια. Η όλη διαδικασία δεν πρέπει να είναι σειριακή και να περιμένουμε να τελειώσει ένα στάδιο για να αρχίσει το επόμενο, ιδιαίτερα

για μεγάλα έργα, αλλά να υπάρχει συνεργασία των ομάδων για την εκτέλεση κάθε σταδίου και να ελαχιστοποιούνται οι αλλαγές που απαιτούνται στα τελευταία στάδια της μελέτης παραγωγής του προϊόντος. Η τάση αυτή ξεκίνησε από τους μεγάλους χρήστες συστημάτων που σχεδιάζουν και παράγουν σύνθετα προϊόντα, και στη συνέχεια επεκτάθηκε και σε άλλους τομείς. Αυτή η μεθοδολογία εργασίας ονομάζεται Παράλληλη Μηχανική (Concurrent Engineering) [N. Μπιλάλης, Μελέτη και Ανάπτυξη Προϊόντων, 2003].

Το Pro/ENGINEER είναι ένα σύστημα τρισδιάστατης παραμετρικής σχεδίασης. Η λέξη "παραμετρική" σημαίνει ότι οι διαστάσεις που ορίζουν το μέγεθος και την τοποθεσία των μερών του μοντέλου μπορούν να διαφοροποιούνται οποτεδήποτε κατά τη διαδικασία της σχεδίασης. Αυτό είναι χρησιμότερο, διότι επιτρέπει στο σχεδιαστή να βελτιστοποιεί τα σχέδιά του με ευλυγισία. Η παραμετρική σχεδίαση είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στο σχεδιασμό ενός μηχανισμού καθώς η δυνατότητα διαφοροποίησης των διαστάσεων που καθορίζουν τη θέση ενός μέρους σε μία συναρμολόγηση, επιτρέπει στο μηχανισμό να προσαρμοστεί στις αλλαγές αν το αποτέλεσμα είναι ικανοποιητικό. Αν υπάρχουν ελαττώματα στο σχέδιο, οι διαστάσεις μπορούν να αλλάξουν ώστε να βελτιωθεί η λειτουργία του μηχανισμού.

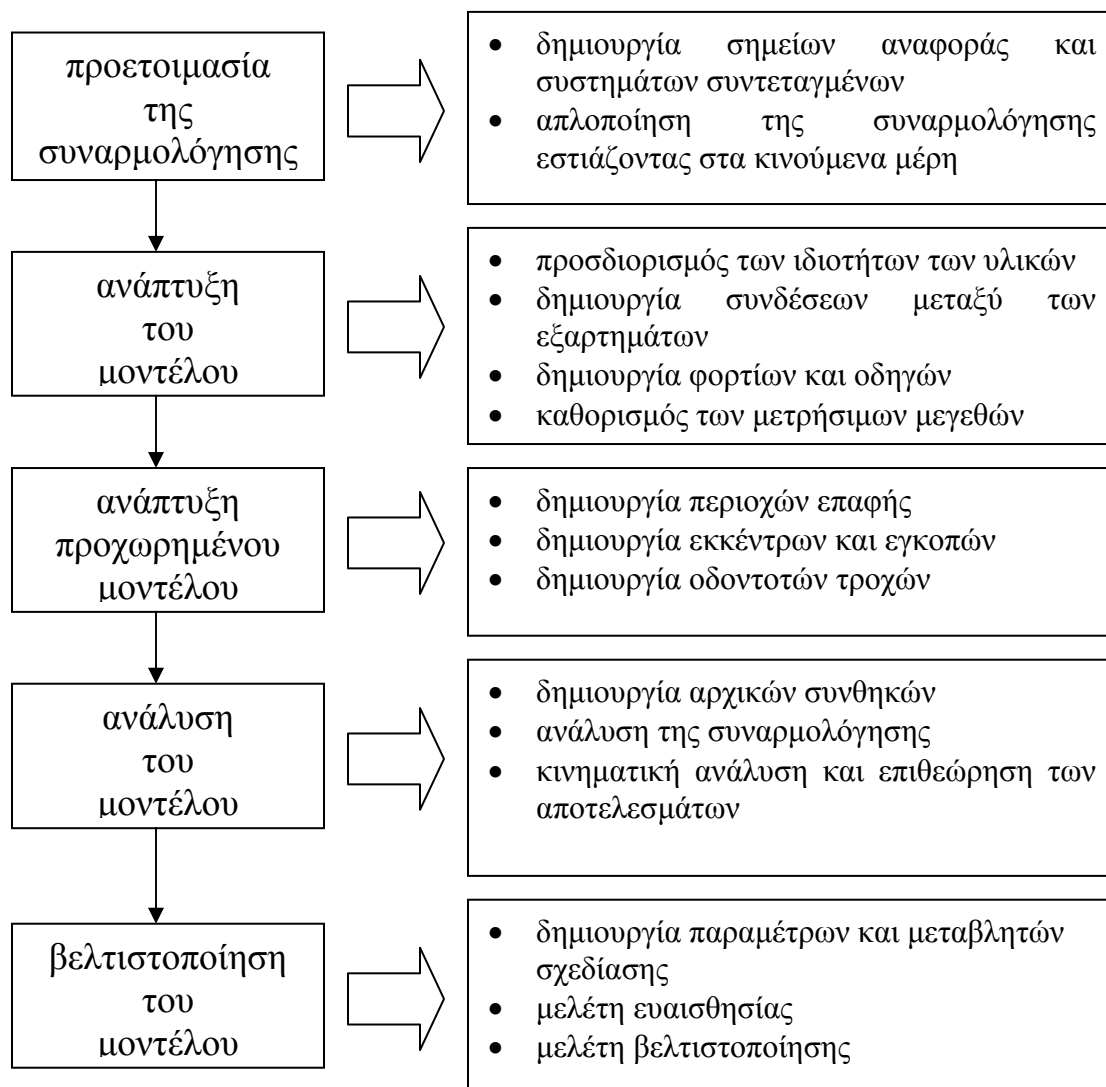
Το Pro/MECHANICA Motion είναι ένα εικονικό εργαλείο πρωτοτυποποίησης για το σχεδιασμό μηχανισμών. Αντί της κατασκευής και δοκιμής πρωτοτύπων, μπορεί κανείς με το Motion να δοκιμάσει και να βελτιώσει τη σχεδίαση μηχανισμών με πολύ μικρότερο κόστος και στον ελάχιστο δυνατό χρόνο.

Το Motion χρησιμοποιείται για τη δημιουργία μηχανισμών από το μοντέλο συναρμολόγησης του Pro/ENGINEER (Assembly Model). Στη συνέχεια, μπορεί κανείς να πετύχει τα ακόλουθα με το Motion μοντέλο.

- Να επιβεβαιώσει τη σωστή κίνηση μηχανισμών. Με την προσομοίωση της κίνησης μπορεί να γίνει έλεγχος της θέσης, της ταχύτητας και της επιτάχυνσης των εξαρτημάτων μηχανισμών.
- Να ελέγξει για τυχόν παρέμβαση μεταξύ μερών μηχανισμών, καθώς αυτοί κινούνται.
- Να βρει τη σωστή διαμόρφωση των μερών για την τελική συναρμολόγηση, με την ανάλυση συναρμολόγησης στο Motion.
- Να προσδιορίσει αποτελέσματα κίνησης και αντίδρασης από τα δεδομένα εφηρμοσμένα φορτία.

- Να προσδιορίσει τα φορτία που απαιτούνται ώστε να παράγει μια ορισμένη κίνηση.
- Να προσδιορίσει τα φορτία σε ρουλεμάν και αρθρώσεις.
- Να βελτιστοποιήσει το σχεδιασμό μηχανισμών παραλάσσοντας τις διαστάσεις στο Pro/ENGINEER και τις μεταβλητές σχεδιασμού στο Motion, ώστε να επιτευχθούν οι στόχοι της σχεδίασης.


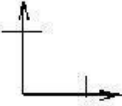
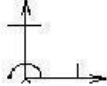
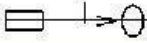

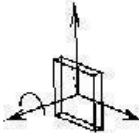
Στο Σχήμα 1.1 παρουσιάζεται το λογικό διάγραμμα ροής που χρησιμοποιείται στο Pro/MECHANICA Motion.




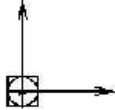
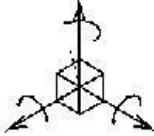
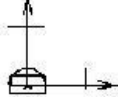

Εικόνα 1.1

Βασικές έννοιες και χαρακτηριστικά στο Pro/MECHANICA Motion











- **Ιδιότητες Υλικών (Material Properties):** Είναι δυνατή η προσθήκη ιδιοτήτων υλικών είτε από τα υλικά που υπάρχουν στη βιβλιοθήκη του Pro/MECHANICA Motion είτε με τον προσδιορισμό ενός νέου υλικού.
- **Σώματα (Bodies):** Το Motion δημιουργεί αυτόματα ένα σώμα για κάθε εξάρτημα του μηχανισμού. Είναι δυνατή η δημιουργία σωμάτων που περιλαμβάνουν περισσότερα από ένα εξαρτήματα τα οποία επιθυμούμε να συμπεριφερθούν σαν ένα ενιαίο εξάρτημα στο μηχανισμό.
- **Συνδέσεις (Connections):** Ενεργοποιούν τη συναρμολόγηση του μοντέλου και επιτρέπουν την κίνηση στο μηχανισμό. Κάθε σώμα του μηχανισμού οφείλει να είναι συνδεδεμένο με τουλάχιστον ένα άλλο σώμα. Το Pro/MECHANICA Motion παρέχει τη δυνατότητα δημιουργίας τεσσάρων τύπων συνδέσεων:
 - **Αρθρώσεις (Joints):** Το Pro/MECHANICA Motion διαθέτει έντεκα τύπους αρθρώσεων (Εικόνες 1.2α και 1.2β).
 - **Ακολουθητές Εκκέντρων (Cam-Followers):** Ένα σημείο ή μια επιφάνεια ενός σώματος ακολουθεί μια επιφάνεια ενός άλλου σώματος.
 - **Ακολουθητές Εγκοπών (Slot-Followers):** Ένα σημείο ενός σώματος ακολουθεί μία εγκοπή.
 - **Ζεύγη Οδοντωτών Τροχών (Gear Pairs):** Το Pro/MECHANICA Motion χρησιμοποιεί απλοποιημένη γεωμετρία για να αναπαραστήσει ένα ζεύγος οδοντωτών τροχών. Σχεδιάζοντας στο Pro/ENGINEER, για να αναπαραστήσουμε την οδόντωση ενός οδοντωτού τροχού, χρησιμοποιούμε μια απλή κυλινδρική επιφάνεια με ακτίνα ίση με εκείνη της επιφάνειας επαφής. Το Pro/MECHANICA Motion διαθέτει οχτώ τύπους γραναζιών (Εκόνες 1.3α και 1.3β).

Τύπος Άρθρωσης	Βαθμοί Ελευθερίας		Περιγραφή
	Περιστροφικοί	Πρισματικοί	
Περιστροφική (Pin) 	1	0	Επιτρέπει την περιστροφική κίνηση σε έναν άξονα.
U-joint 	2	0	Επιτρέπει την περιστροφική κίνηση σε δύο άξονες.
Gimbal 	3	0	Επιτρέπει την περιστροφική κίνηση σε τρεις συγκεκριμένους άξονες στο χώρο.
Κυλινδρική (Cylindrical) 	1	1	Επιτρέπει την περιστροφική και την μεταφορική κίνηση στον ίδιο άξονα, διαγράφοντας κυλινδρικό χώρο.
Πρισματική (Slider) 	0	1	Επιτρέπει την μεταφορική κίνηση σε έναν άξονα.
Επίπεδη (Planar) 	1	2	Τα σώματα που συνδέονται με επίπεδη άρθρωση κινούνται σε σχέση μεταξύ τους σε ένα επίπεδο.


Εικόνα 1.2α

Τύπος Άρθρωσης	Βαθμοί Ελευθερίας		Περιγραφή
	Περιστροφικοί	Πρισματικοί	
Σφαιρική (Ball) 	3	0	Οι περιστροφικοί βαθμοί ελευθερίας δεν σχετίζονται με κάποιον συγκεκριμένο άξονα.
Ελεύθερη (Free) 	3	3	Επιτρέπει την ίδια κίνηση με την 6dof άρθρωση. Χρησιμοποιείται όταν τα σώματα εκτελούν μεγάλες περιστροφές.
6 βαθμών ελευθερίας (6dof) 	3	3	Χρησιμοποιεί συγκεκριμένους άξονες για τους περιστροφικούς βαθμούς ελευθερίας. Χρησιμοποιείται σε σώματα που οι μεταξύ τους περιστροφές είναι μικρές.
Bearing 	3	1	Ο πρώτος άξονας επιτρέπει περιστροφή και μεταφορά επίσης.
Συγκόλληση (Weld) 	0	0	Δεν επιτρέπει την κίνηση μεταξύ των σωμάτων στα οποία εφαρμόζεται. Τα σώματα συμπεριφέρονται σαν συγκολλημένα.

Εικόνα 1.2β







Οδοντοτός Τροχός	Επιφάνεια	Πραγματική Απεικόνιση	Απλοποιημένη Απεικόνιση
Σπιρούνι (Spur) - Χαρακτηρίζεται από εξωτερική, ευθεία οδόντωση ως προς τον άξονα του οδοντωτού τροχού.	Κυλινδρική		
Ελικοειδής (Helical) - Χαρακτηρίζεται από εξωτερική, λοξή οδόντωση ως προς τον άξονα του οδοντωτού τροχού.	Κυλινδρική		
Κωνικός (Bevel) - Χαρακτηρίζεται από εξωτερική οδόντωση η οποία επεκτείνεται από μια μικρής ακτίνας κυκλική επιφάνεια προς μια μεγαλύτερης ακτίνας.	Κωνική		
Κορώνα (Face) - Χαρακτηρίζεται από οδόντωση η οποία επεκτείνεται ακτινικά από το κέντρο μιας κυκλικής επιφάνειας προς τα έξω.	Κυκλικά επίπεδη		
Δακτύλιος (Ring) - Χαρακτηρίζεται από εσωτερική, ευθεία ή λοξή οδόντωση ως προς τον άξονα του οδοντωτού τροχού.	Κυλινδρική		

Εικόνα 1.3α

Οδοντοτός Τροχός	Επιφάνεια	Πραγματική Απεικόνιση	Απλοποιημένη Απεικόνιση
Σπείρα (Worm) - Χαρακτηρίζεται από εξωτερική οδόντωση η οποία επεκτείνεται σπειροειδώς γύρω από την κυλινδρική επιφάνεια.	Κυλινδρική		
Οδοντωτή Ράβδος (Rack) - Χαρακτηρίζεται από οδόντωση η οποία επεκτείνεται κατά μήκος μιας επίπεδης, ορθογώνιας επιφάνειας.	Ορθογώνια		
Κωνικός Δακτύλιος (Beveled Ring) - Χαρακτηρίζεται από εσωτερική οδόντωση η οποία επεκτείνεται από μια μικρής ακτίνας κυκλική επιφάνεια προς μια μεγαλύτερης ακτίνας.	Κωνική		

Εκόνα 1.3β

- Φορτία (Loads):** Είναι οι δυνάμεις που εφαρμόζονται στο μηχανισμό. Μπορούν να είναι δυνάμεις από την επαφή ενός εξαρτήματος του μηχανισμού με ένα σώμα εκτός του μηχανισμού, από την επαφή μεταξύ εξαρτημάτων του μηχανισμού καθώς και δυνάμεις που δρουν από απόσταση, όπως η βαρύτητα και τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Το Pro/MECHANICA διαθέτει έξι τύπους φορτίων (Εικόνα 1.4).

Τύπος Φορτίου	Περιγραφή	Εφαρμογή
Fixed Force 	Είναι μία δύναμη εξωτερική ως προς το μηχανισμό, με τη διεύθυνσή της σταθερή σε σχέση με τη γη.	Σε σημείο.
Follower Force 	Είναι μία δύναμη εξωτερική ως προς το μηχανισμό, με τη διεύθυνσή της σταθερή σε σχέση με το κινούμενο μέρος.	Σε σημείο.
Fixed Torque 	Είναι μία ροπή εξωτερική ως προς το μηχανισμό, με τη διεύθυνσή της σταθερή σε σχέση με τη γη.	Σε σώμα.
Follower Torque 	Είναι μία ροπή εξωτερική ως προς το μηχανισμό, με τη διεύθυνσή της σταθερή σε σχέση με το κινούμενο μέρος.	Σε σώμα.
Joint Axis 	Είναι μία δύναμη που ασκείται σε δύο μέρη που συνδέονται μεταξύ τους με μία άρθρωση, δράση - αντίδραση.	Σε άξονα άρθρωσης.
Point-to-Point 	Είναι μία δύναμη που ασκείται σε δύο μέρη του μηχανισμού, δράση - αντίδραση, που δε συνδέονται μεταξύ τους.	Σε δύο σημεία που ανήκουν σε διαφορετικά σώματα.

Εικόνα 1.4

- **Οδηγοί (Drivers):** Οι οδηγοί χρησιμοποιούνται για να επιβάλουν κίνηση σε ένα μηχανισμό. Ένας οδηγός προσδιορίζεται με βάση τη θέση, την ταχύτητα ή την επιτάχυνση ενός άξονα μιας άρθρωσης, σε συνάρτηση με το χρόνο.
- **Μέτρα (Measures):** Με τα μέτρα είναι δυνατός ο καθορισμός κάθε μετρήσιμου μεγέθους που αφορά το μηχανισμό. Τα μέτρα υπολογίζονται αυτόματα κατά την κινηματική ανάλυση του μοντέλου. Στην επιθεώρηση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης είναι δυνατή η απεικόνιση των τιμών σε γραφήματα. Το Pro/MECHANICA δίνει τη δυνατότητα δημιουργίας

δέκα τύπων μέτρων, καθώς και πέντε προκαθορισμένους τύπους μέτρων που υπολογίζονται για κάθε μοντέλο (Εικόνες 1.5 και 1.6).

Μέτρο	Μετρήσιμα Μεγέθη	Παράδειγμα
Σύνδεση	Δυνάμεις αντίδρασης σε κάθε τύπο σύνδεσης.	Το φορτίο σε μια σφαιρική σύνδεση.
Άξονας Άρθρωσης	Θέση, ταχύτητα, επιτάχυνση ή πλέγμα δυνάμεων σε έναν άξονα άρθρωσης.	Η γωνία περιστροφής σε σχέση με το χρόνο.
Φορτίο	Συνισταμένη ενός φορτίου.	Η συνιστώσα σε έναν άξονα ενός φορτίου που ασκείται από ελατήριο.
Σώμα	Προσανατολισμός, γωνιακή ταχύτητα, γωνιακή επιτάχυνση, μάζα, κέντρο μάζας, αδράνεια ενός σώματος.	Η γωνιακή επιτάχυνση ενός τροχού.
Σημείο	Θέση, ταχύτητα, επιτάχυνση ή πλέγμα δυνάμεων σε ένα σημείο.	Η ταχύτητα του άκρου ενός ρομποτικού βραχίονα.
Σημείο με Σημείο	Απόσταση, ταχύτητα ή μεταβολή της σχετικής ταχύτητας δύο σημείων που ανήκουν σε διαφορετικά μέρη.	Η απόσταση ενός σημείου του εμβόλου από το άκρο του αναφλεκτήρα.
Σύστημα	Κινητική ενέργεια, συναρμολόγηση, απομάκρυνση, στατική, συνολική μάζα, γραμμική ορμή, γωνιακή ορμή ως προς το κέντρο μάζας, συνολικό κέντρο μάζας, συνολική αδράνεια ενός μηχανισμού.	Η συνολική μάζα μιας συναρμολόγησης.
Υπολογισμός	Μια συνάρτηση με τη μορφή μαθηματικής σχέσης ή ένας πίνακας τιμών που μπορεί να συμπεριλαμβάνει τον χρόνο και άλλα μέτρα ή παραμέτρους.	Το τετράγωνο της απόστασης ενός σημείου του εμβόλου από τον αναφλεκτήρα.
Πραγματική Γωνία	Η γωνία που σχηματίζουν δύο διανύσματα, που είναι εφαρμοσμένα σε ένα σώμα ή στη γη.	Η γωνία που σχηματίζει μία θύρα με το πλαίσió της.
Ζεύγος Επαφής	Δύναμη επαφής, περιοχή επαφής, ταχύτητα ολίσθησης, βάθος διείσδυσης, εύρος παραμόρφωσης.	Η δύναμη μεταξύ δύο επιφανειών που έρχονται σε επαφή.
Διάκενο	Μήκος διακένου ή το πλησιέστερο σημείο σε μία επιφάνεια.	Η συμπλοκή ή η απομάκρυνση επιφανειών.

Εικόνα 1.5

Μέτρο	Μετρήσιμα Μεγέθη
Χρόνος	Ο τρέχων χρόνος της προσομοίωσης.
Χρόνος Επεξεργαστή	Ο χρόνος ο οποίος απαιτείται από τον επεξεργαστή του ηλεκτρονικού υπολογιστή για τη λειτουργία της Μηχανής Κίνησης.
Παρερχόμενος Χρόνος	Ο συνολικός χρόνος από την έναρξη της ανάλυσης.
Κινητική Ενέργεια	Το άθροισμα της συνολικής κινητικής ενέργειας όλων των μερών του μηχανισμού.
Πλεονασμός	Ο αριθμός των υπερβολικών εξαναγκασμών κίνησης στο μοντέλο. Ένας πλεονασμός εμφανίζεται όταν υπάρχουν περισσότεροι από ένας εξαναγκασμοί (άρθρωση ή οδηγός) που επιβάλλουν την ίδια κίνηση σε ένα σώμα.

Εικόνα 1.6

- **Περιοχές Επαφής (Contact Regions):** Περιοχή επαφής είναι το τμήμα μιας οποιασδήποτε επιφάνειας στο μοντέλο που έρχεται σε επαφή με οποιαδήποτε άλλη επιφάνεια στο μοντέλο. Είναι δυνατή η προσομοίωση της επαφής δύο σωμάτων ως κανονική επαφή, ολίσθηση και stiction.
- **Ανάλυση του Μοντέλου (Model Analysis):** Το Pro/MECHANICA μπορεί να πετύχει τρεις τύπους αναλύσεων στο μοντέλο (Εικόνα 1.7). Αυτό γίνεται με μια διαδικασία που ξεκινάει από το ίδιο το σύστημα και ονομάζεται Μηχανή Κίνησης (Motion Engine). Η Μηχανή Κίνησης με τη σειρά της ξεκινάει μια διαδικασία που καλείται Εξομοιωτής, ο οποίος μεταγλωττίζει τις κινηματικές εξισώσεις για το μηχανισμό και στη συνέχεια τις επιλύει.

Τύπος Ανάλυσης	Περιγραφή
Συναρμολόγησης	Τοποθετεί τα μέρη σύμφωνα με τις αρθρώσεις που δημιουργήθηκαν.
Κινηματική	Προσομοιώνει την κίνηση του μηχανισμού σύμφωνα με τις αρθρώσεις, τα φορτία και τους οδηγούς που δημιουργήθηκαν.
Στατική	Υπολογίζει την κατάσταση ισορροπίας του μηχανισμού

Εικόνα 1.7

- **Επιθεώρηση Αποτελεσμάτων (Results):** Είναι δυνατή η επιθεώρηση των αποτελεσμάτων, τα οποία έχει υπολογίσει η Μηχανή Κίνησης, σε τέσσερις μορφές: τρισδιάστατη προβολή της κίνησης του μηχανισμού (Animation), έλεγχος παρεμβολής εξαρτημάτων (Interference), καμπύλη τροχιάς ενός σημείου του μηχανισμού που κινείται (Trace) και γραφήματα (Graph).

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ

Το εγχειρίδιο που ακολουθεί αναφέρεται στην έκδοση 2001 των Pro/ENGINEER και Pro/MECHANICA. Ο χαρακτήρας του είναι καθαρά εισαγωγικός, και όποιος επιθυμεί να εμβαθύνει τις γνώσεις του μπορεί να ανατρέξει στα manuals της P.T.C. (Parametric Technology Corporation) για το Pro/MECHANICA: Using Motion With Pro/ENGINEER και Model Reference For Motion.

Πριν ξεκινήσετε για πρώτη φορά το Pro/MECHANICA Motion...

- Βεβαιωθείτε ότι εκτός από το Pro/ENGINEER 2001 και το Pro/MECHANICA 2001, είναι εγκατεστημένος στον υπολογιστή σας το λογισμικό του Μεταγλωτιστή της C++ , συγκεκριμένα το MS Visual Studio 6. Δεν χρειάζεται να εγκατασταθεί ολόκληρο το πακέτο του Visual Studio, παρό μόνο το Visual C++ και οι βιβλιοθήκες του πακέτου. Επίσης, για το περιβάλλον των Windows XP χρειάζεται να εισαχθεί η μεταβλητή περιβάλλοντος MM_C_HOME με την τιμή: C:\Program Files\Microsoft Visual C++ 6.0 Standard Edition\VC98, καθώς και να προστεθεί στο PATH ένα ελληνικό ερωτηματικό (;) ακολουθούμενο από την εξής γραμμή: C:\Program Files\Microsoft Visual C++ 6.0 Standard Edition\COMMON\MSDEV98\BIN. Οποιοσδήποτε άλλος Μεταγλωτιστής της C δεν είναι συμβατός με τα προϊόντα της P.T.C..
- Δημιουργήστε δύο Directories στα οποία θα αναπτύξετε τις δύο εφαρμογές σας (Working Directories).
- Βεβαιωθείτε ότι το πρώτο Working Directory, το οποίο μπορεί να ονομαστεί "6 Cylinder In-Line", περιέχει τα παρακάτω οχτώ αρχεία:

m_bass.prt.1	(βάση του μηχανισμού)
m_pit.prt.1	(κορμός του μηχανισμού)
m_cyl.prt.1	(κύλινδροι του μηχανισμού)
m_crankshaft.prt.1	(στροφαλοφόρος άξονας του μηχανισμού)
m_rodcom.prt.1	(διωστήρας του μηχανισμού)
m_pyros.prt.1	(πείρος του μηχανισμού)

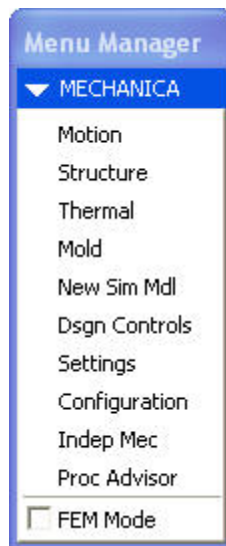
m_piston.prt.1	(έμβολο του μηχανισμού)
m_superfly.asm.1	(μοντέλο συναρμολόγησης του μηχανισμού)

- Βεβαιωθείτε ότι το δεύτερο Working Directory, το οποίο μπορεί να ονομαστεί “Camshaft-Valves”, περιέχει τα παρακάτω δέκα αρχεία:

cv_basstation.prt.1	(βάση του μηχανισμού)
cv_cylinder.prt.1	(κύλινδρος του μηχανισμού)
cv_head.prt.1	(κεφαλή του μηχανισμού)
cv_rocker_arm.prt.1	(ζύγωθρο του μηχανισμού)
cv_camshaft.prt.1	(εκκεντροφόρος άξονας του μηχανισμού)
cv_ostirio.prt.1	(ωστήριο του μηχανισμού)
cv_rod.prt.1	(ωστική ράβδος του μηχανισμού)
cv_valve.prt.1	(βαλβίδα του μηχανισμού)
cv_crankshaft.prt.1	(στροφαλοφόρος άξονας του μηχανισμού)
vc_prim.asm.1	(μοντέλο συναρμολόγησης του μηχανισμού)

Κάθε φορά που εισέρχεστε στο Pro/ENGINEER...

- Από File → Working Directory και επιλέξτε το Working Directory σας.
- Από File → Open ανοίγετε το μοντέλο συναρμολόγησης (Assembly Model).
- Από την καρτέλα Applications → Mechanics για να χρησιμοποιήσουμε το Motion μέσα από το περιβάλλον του Pro/ENGINEER.
- Το παράθυρο που εμφανίζεται μας πληροφορεί για το σύστημα μονάδων στο οποίο έχουν δημιουργηθεί τα σχέδια στο Pro/ENGINEER και μας ρωτά αν επιθυμούμε να συνεχίσουμε στο ίδιο. Πατήστε [yes] για να συνεχίσετε στο ίδιο σύστημα μονάδων και να εισέρθετε στο Pro/MECHANICA ή [cancel] για να το αλλάξετε από το Menu Manager του Pro/ENGINEER: Menu Manager → Set Up → Units.
- Είναι πλέον διαθέσιμο το μενού του Pro/MECHANICA. Επιλέξτε Motion για να εισέρθετε στη λειτουργία του Motion (Εικόνα 2.1).



Εικόνα 2.1

Πώς να διαβάσετε το εγχειρίδιο:

ΚΕΦΑΛΑΙΑ

Έντονα Γράμματα

{ πληροφορίες }

<CR>

[Κουμπί]

όνομα μενού (π.χ. MECHANICA).

επιλογές από το μενού (π.χ. **Motion**) ή επιλογή σε Dialog Box (π.χ. **m_superfly.asm.1**).

πληροφορίες ή τιμές που πρέπει να εισάγετε από το πληκτρολόγιο.

η εντολή RETURN του πληκτρολογίου.

κουμπί που πρέπει να πατήσετε (π.χ. [OK]).

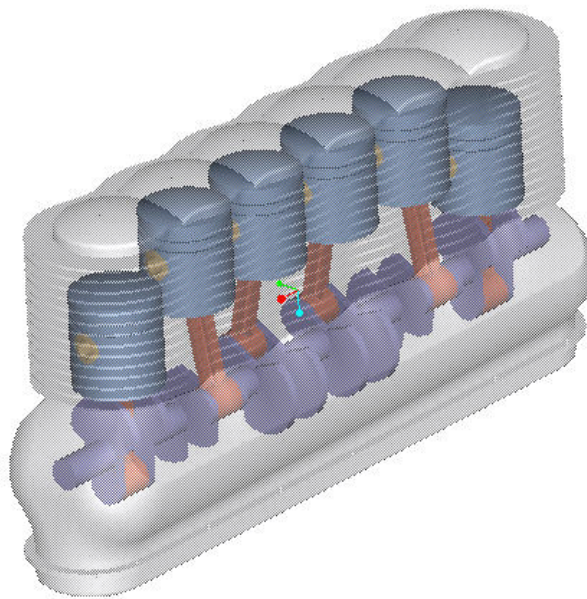
Εφαρμογή 1 (“6 Cylinder In-Line”)

Δημιουργία του Motion Model

Είναι το στάδιο αμέσως μετά την προετοιμασία του Μοντέλου Συναρμολόγησης (Assembly Model), από τα μέρη που σχεδιάστηκαν στο Pro/ENGINEER. Με τη χρήση του MODEL μενού γίνεται ο καθορισμός όλων των βασικών στοιχείων και χαρακτηριστικών ενός μηχανισμού που μπορεί να αναλυθεί από το Pro/MECHANICA.

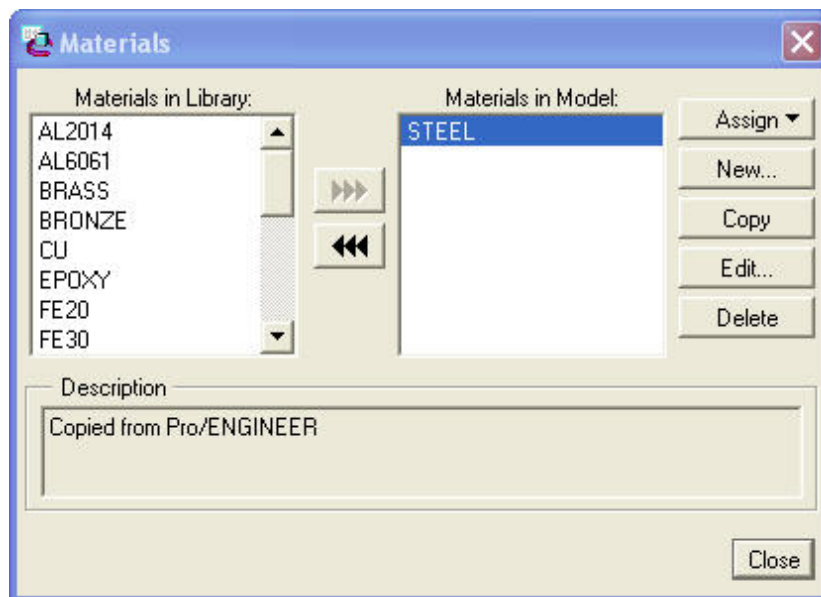
Σε αυτό το στάδιο καθορίζονται τα υλικά, τα σώματα, οι συνδέσεις, και ένας οδηγός.

1. Έχετε ανοίξει το παράθυρο του Pro/ENGINEER και από File → Open επιλέγετε το **m_superfly.asm.1**. Το Μοντέλο Συναρμολόγησης (Assembly Model) εμφανίζεται στο παράθυρο του Pro/ENGINEER (Εικόνα 2.2). Από την καρτέλα Applications επιλέξτε Mechanics και πατήστε [yes] για να δεχτείτε να εργαστείτε στο ίδιο σύστημα μονάδων. Είναι πλέον διαθέσιμο το MECHANICA μενού. Επιλέξτε **Motion** για να εισέλθετε στην Motion λειτουργία του Pro/MECHANICA. Από το MOTION μενού επιλέξτε **Model** για να δημιουργήσετε το Motion Model.



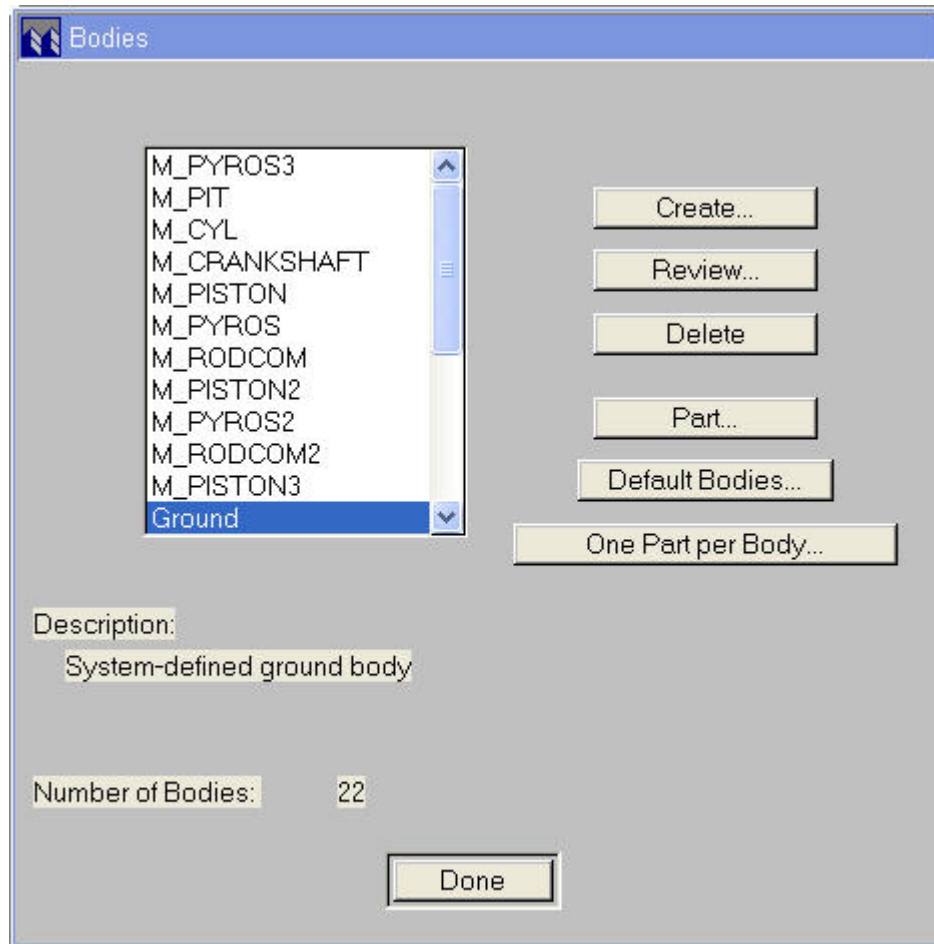
Εικόνα 2.3

2. Σε αυτό το σημείο θα γίνει ο καθορισμός των υλικών από τα οποία επιθυμούμε να είναι τα μέρη της συναρμολόγησης. Από το MOTN MODEL μενού επιλέξτε **Property** και στη συνέχεια **Material**. Από το παράθυρο των υλικών που εμφανίζεται (Εικόνα 2.3) επιλέξτε **Steel** και πατήστε το κουμπί [Add]. Επιλέξτε **Assign** → **Part** και από το GET SELECT → Pick και επιλέξτε το **m_bass**. Το μέρος m_bass έχει πλέον τις ιδιότητες του χάλυβα. Κατά τον ίδιο τρόπο προσδίδετε και στα υπόλοιπα μέρη της συναρμολόγησης τις ιδιότητες του χάλυβα. Μόλις τελειώστε με τις ιδιότητες των υλικών πατήστε [Close] για να κλείσει το παράθυρο των υλικών και από το PROPERTY μενού επιλέξτε **Done/Return**.



Εικόνα 2.3

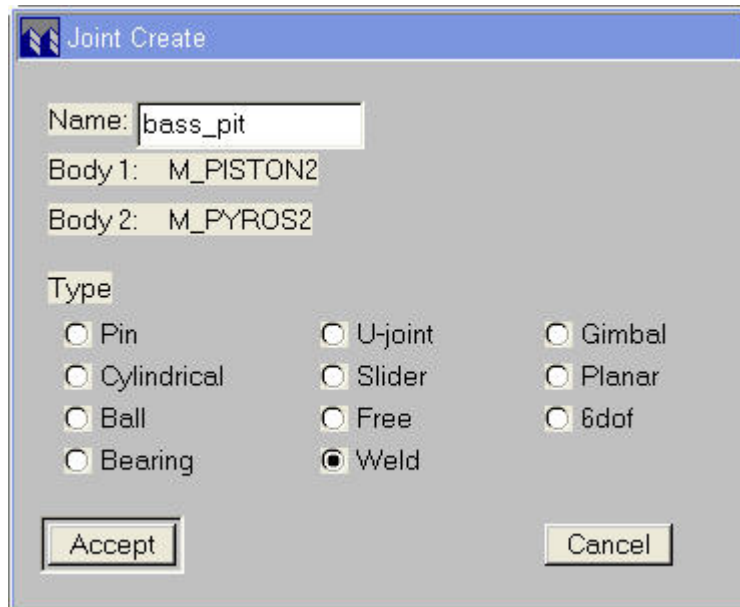
3. Σε αυτό το σημείο θα γίνει ο καθορισμός των σωμάτων από τα οποία θα αποτελείται ο μηχανισμός. Από το MOTN MODEL μενού επιλέξτε **Bodies**. Από το παράθυρο των σωμάτων που εμφανίζεται (Εικόνα 2.4) επιλέξτε το **m_bass** και πατήστε [**Delete**]. Στη συνέχεια επιλέξτε **Ground**, πατήστε [**Part**], επιλέξτε το **m_bass** από το παράθυρο του Pro/ENGINEER, πατήστε [**Accept**] και [**Done**]. Έχουνε πλέον δημιουργηθεί 22 σώματα και το m_bass έχει θεωρηθεί γειωμένο.



Εικόνα 2.4

3. Σε αυτό το σημείο θα δημιουργηθούν οι συνδέσεις των σωμάτων. Πρέπει να τονιστεί η σημασία των σημείων αναφοράς που έχουνε τοποθετηθεί στα μέρη της συναρμολόγησης, καθώς με βάση τα σημεία αυτά θα τοποθετηθούν οι συνδέσεις των σωμάτων. Από το MOTN MODEL μενού επιλέξτε **Connections** και στη συνέχεια **Joints** και **Create**. Με **Query Sel** επιλέξτε το PNT0 του m_bass και το PNT2 του m_pit. Στο παράθυρο των αρθρώσεων που εμφανίζεται (Εικόνα 2.5)

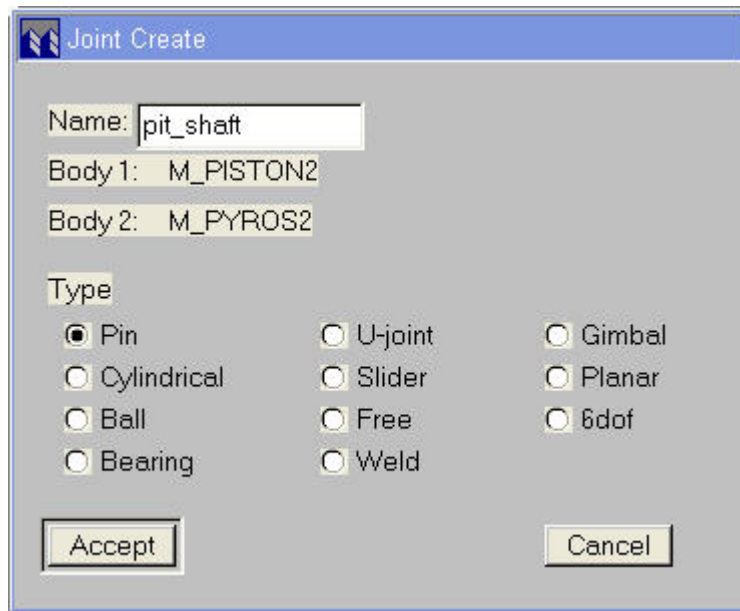
δώστε όνομα **{bass_pit}**, επιλέξτε ως τύπο άρθρωσης **Weld** και πατήστε **[Accept]**.



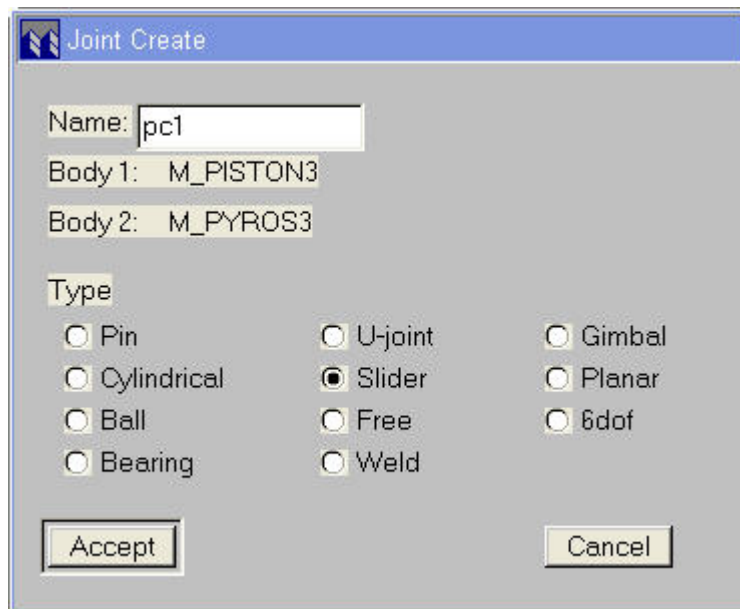
Εικόνα 2.5

Στη συνέχεια επιλέξτε το PNT3 του m_pit και το PNT8 του m_cyl. Στο νέο παράθυρο των αρθρώσεων που εμφανίζεται δώστε όνομα **{pit_cyl}**, επιλέξτε ως τύπο άρθρωσης **Weld** και πατήστε **[Accept]**. Η βάση, ο κορμός και οι κύλινδροι του μηχανισμού είναι πλέον συγκολλημένοι μεταξύ τους. Επιλέξτε το PNT6 του m_crankshaft και το PNT0 του m_pit και στο παράθυρο των αρθρώσεων που εμφανίζεται (Εικόνα 2.6) δώστε όνομα **{pit_shaft}**, επιλέξτε ως τύπο άρθρωσης **Pin** και πατήστε **[Accept]**. Ο στροφαλοφόρος άξονας είναι πλέον συνδεδεμένος με τον κορμό του μηχανισμού με περιστροφική άρθρωση. Επιλέξτε το PNT0 του m_crankshaft και το PNT0 του m_rodcom, δώστε όνομα **{rod_shaft_1}**, επιλέξτε ως τύπο άρθρωσης **Pin** και πατήστε **[Accept]**. Κατά τον ίδιο τρόπο και επιλέγοντας άλλες πέντε φορές το PNT0 και των υπόλοιπων m_rodcom, επιλέξτε διαδοχικά τα αντίστοιχα σημεία του m_crankshaft (PNT2, PNT4, PNT5, PNT3 και PNT7) και δώστε τα ονόματα **{rod_shaft_2}**, **{rod_shaft_3}**, **{rod_shaft_4}**, **{rod_shaft_5}** και **{rod_shaft_6}**. Οι έξι διωστήρες είναι πλέον συνδεδεμένοι με έξι σημεία του στροφαλοφόρου άξονα με περιστροφικές αρθρώσεις. Επιλέξτε το PNT0 του m_pyros και το PNT1 του m_rodcom, δώστε όνομα

{pyros_rod_1}, επιλέξτε ως τύπο άρθρωσης **Pin** και πατήστε [**Accept**]. Επαναλάβετε ομοίως και για τα υπόλοιπα πέντε ζεύγη διωστήρα-πείρου, δίνοντας τα ονόματα {pyros_rod_2}, {pyros_rod_3}, {pyros_rod_4}, {pyros_rod_5} και {pyros_rod_6}. Οι διωστήρες είναι πλέον συνδεδεμένοι με τους αντίστοιχους πείρους με περιστροφικές αρθρώσεις. Επιλέξτε το PNT2 του m_piston και το PNT2 του m_pyros, δώστε όνομα {pp1}, επιλέξτε ως τύπο άρθρωσης **Pin** και πατήστε [**Accept**]. Επαναλάβετε ομοίως και για τα υπόλοιπα πέντε ζεύγη εμβόλου-πείρου, δίνοντας τα ονόματα {pp2}, {pp3}, {pp4}, {pp5} και {pp6}. Τα έμβολα είναι πλέον συνδεδεμένα με τους αντίστοιχους πείρους με περιστροφικές αρθρώσεις. Επιλέξτε το PNT9 του m_cyl και ο PNT1 του m_pyros. Στο παράθυρο των αρθρώσεων που εμφανίζεται (Εικόνα 2.7) δώστε όνομα {pc1}, επιλέξτε ως τύπο άρθρωσης **Slider** και ατήστε [**Accept**]. Κατά τον ίδιο τρόπο και επιλέγοντας άλλες πέντε φορές το PNT1 και των υπόλοιπων m_pyros, επιλέξτε διαδοχικά τα αντίστοιχα σημεία του m_cyl (PNT14, PNT13, PNT12, PNT11 και PNT10) και δώστε τα ονόματα {pc2}, {pc3}, {pc4}, {pc5} και {pc6}. Οι πείροι είναι πλέον συνδεδεμένοι με τους κυλίνδρους με μεταφορικές (πρισματικές) αρθρώσεις. Πρέπει να τονιστεί η σημασία της διεύθυνσης του κάθε άξονα άρθρωσης και ο ρόλος που παίζει στην κίνηση των σωμάτων που συνδέονται με την άρθρωση αυτή. Μπορείτε να χρησιμοποιείτε το μενού τροποποίησης άρθρωσης (EDIT JOINT μενού) για να καθορίζετε την κατάλληλη διεύθυνση του κάθε άξονα άρθρωσης.



Εικόνα 2.6



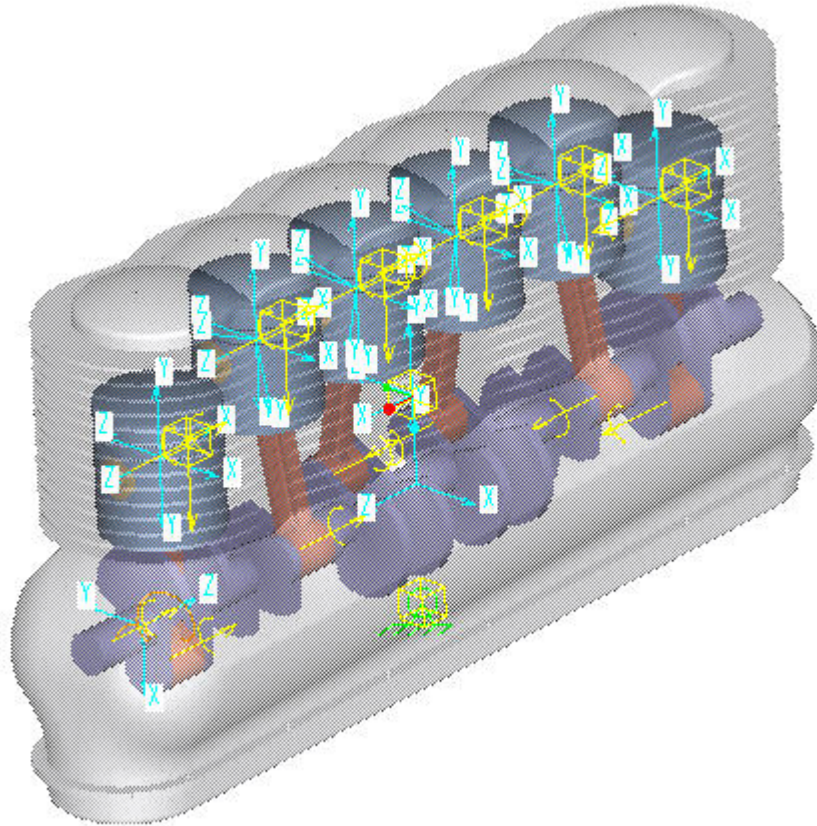
Εικόνα 2.7

4. Σε αυτό το σημείο θα γίνει ο καθορισμός ενός οδηγού ο οποίος θα δώσει κίνηση στο μηχανισμό. Από το MOTN MODEL μενού επιλέξτε **Drivers** και **Create**. Από το GET SELECT μενού επιλέξτε με **Query Sel** την άρθρωση **pit_shaft**. Στο παράθυρο οδηγού που εμφανίζεται (Εικόνα 2.8) δώστε όνομα {**driver**}, επιλέξτε **Position**, **Ramp** και δώστε τις τιμές {0} για **Constant** και {6.283} για **Slope** για να καθορίσετε τη γωνιακή συνάρτηση $\theta=2\pi$. Ο στροφαλοφόρος άξονας θα εκτελεί περιστροφή 360° κάθε ένα δευτερόλεπτο. Πατήστε [**Accept**].

The image shows a software dialog box titled "Create Joint Driver". It has a "Driver Name" text field with the value "driver". Below this are three radio buttons: "Acceleration", "Velocity", and "Position". The "Position" radio button is selected. Under the "Position" section, there is a checked checkbox for "Ramp". Below the "Ramp" checkbox are two text fields: "Constant" with the value "0" and "Slope" with the value "6.283". There are also unchecked checkboxes for "Cosine" and "Table". At the bottom of the dialog are two buttons: "Accept" and "Cancel".

Εικόνα 2.8

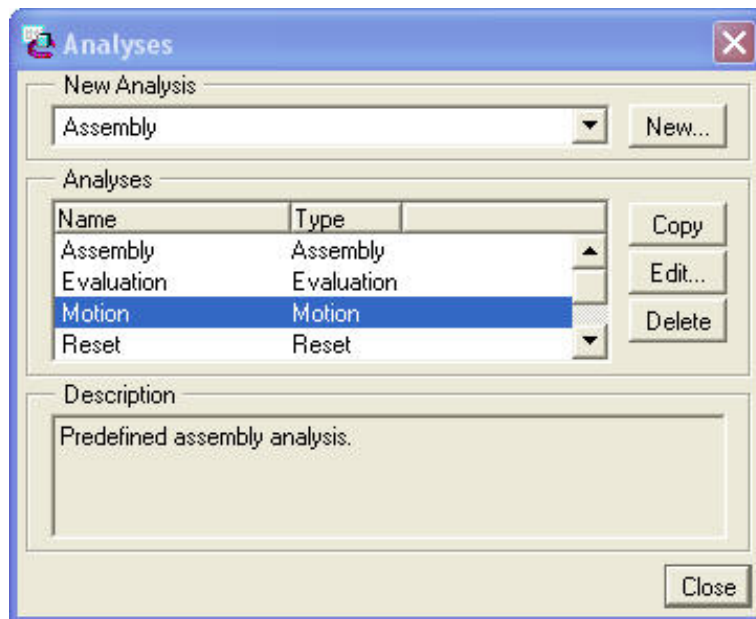
5. Η μοντελοποίηση του μηχανισμού έχει πλέον ολοκληρωθεί. Το Motion Model εμφανίζεται στο παράθυρο του Pro/ENGINEER όπως στην Εικόνα 2.9.



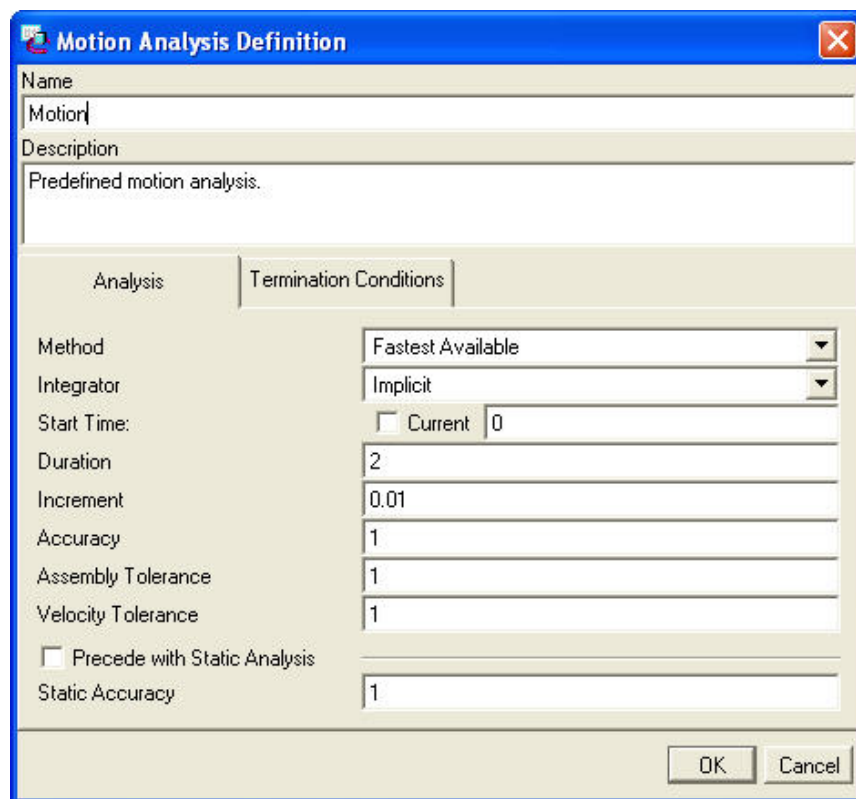
Εικόνα 2.9

Κινηματική ανάλυση του μοντέλου

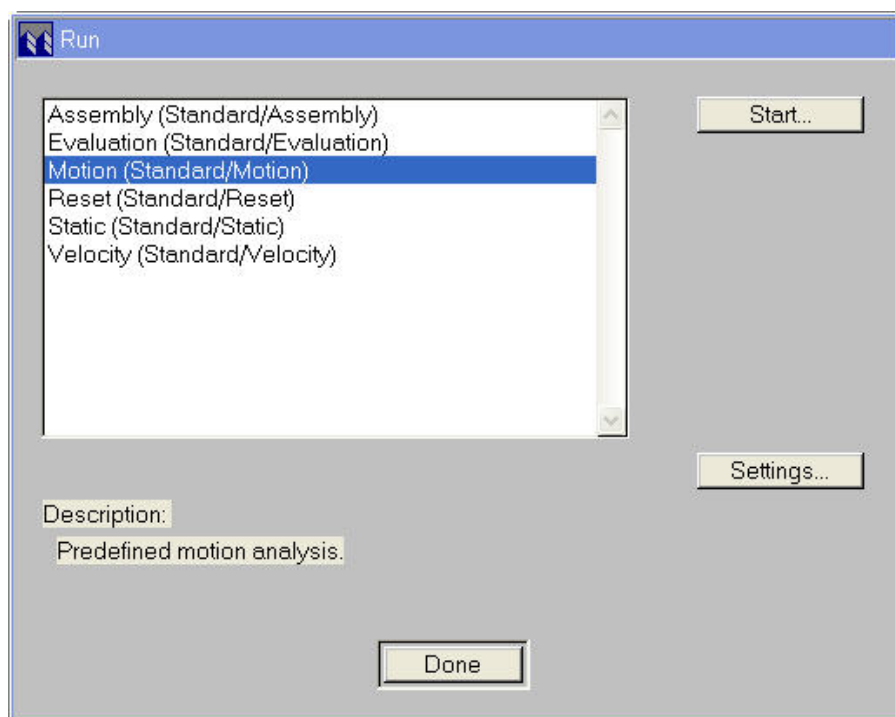
Από το MEC MOTION μενού επιλέξτε **Analyses**. Στο παράθυρο της ανάλυσης που εμφανίζεται (Εικόνα 2.10) επιλέξτε **Motion** και πατήστε [**Edit**]. Στο παράθυρο της κινηματικής ανάλυσης που εμφανίζεται δώστε τις τιμές που φαίνονται στην Εικόνα 2.11. Πατήστε [**OK**] και [**Close**]. Από το MEC MOTION μενού επιλέξτε **Run**. Στο παράθυρο λειτουργίας που εμφανίζεται (Εικόνα 2.12) επιλέξτε **Motion (Standard/Motion)** και πατήστε [**Start**]. Η Μηχανή Κίνησης θα δημιουργήσει 200 frames του κινούμενου μηχανισμού.



Εικόνα 2.10



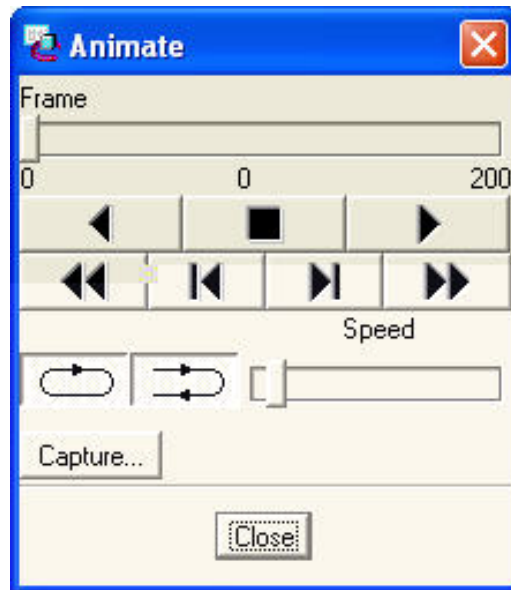
Εικόνα 2.11



Εικόνα 2.12

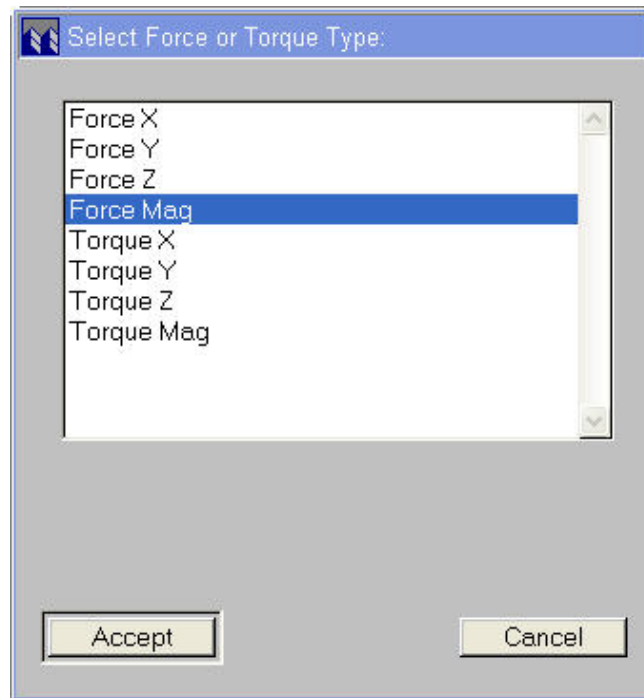
Επιθεώρηση των αποτελεσμάτων

Από το MEC MOTION μενού επιλέξτε **Results, Animate** και **Start**. Χρησιμοποιήστε τα κουμπιά ελέγχου του video για να προβληθεί το animation (Εικόνα 2.13).

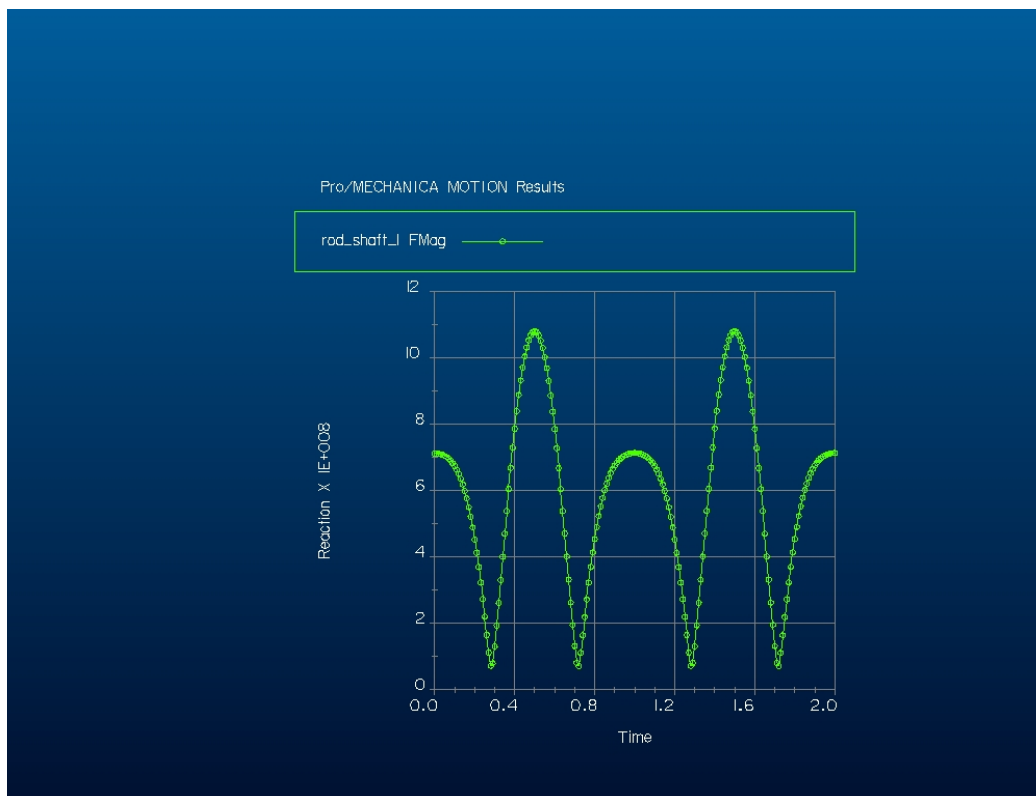


Εικόνα 2.13

Από το MOT RESULTS μενού επιλέξτε **Graph** και **Connection**. Πατήστε [OK] στο προειδοποιητικό κουτί διαλόγου και από το παράθυρο του Pro/ENGINEER επιλέξτε την άρθρωση με το όνομα **rod_shaft_1**. Από το παράθυρο που εμφανίζεται (Εικόνα 2.14) επιλέξτε **Force Mag**, πατήστε [Accept] και **Done Sel** για να εμφανιστεί η γραφική παράσταση της συνισταμένης δύναμης που ασκείται στη συγκεκριμένη άρθρωση από το μηχανισμό σε συνάρτηση με το χρόνο (Εικόνα 2.15).



Εικόνα 2.14



Εικόνα 2.15

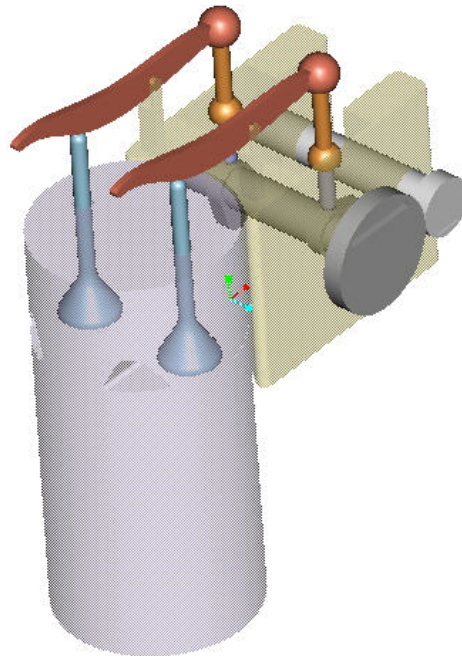
Εφαρμογή 2 (“Camshaft-Valves”)

Δημιουργία του Motion Model

Είναι το στάδιο αμέσως μετά την προετοιμασία του Μοντέλου Συναρμολόγησης (Assembly Model), από τα μέρη που σχεδιάστηκαν στο Pro/ENGINEER. Με τη χρήση του MODEL μενού γίνεται ο καθορισμός όλων των βασικών στοιχείων και χαρακτηριστικών ενός μηχανισμού που μπορεί να αναλυθεί από το Pro/MECHANICA.

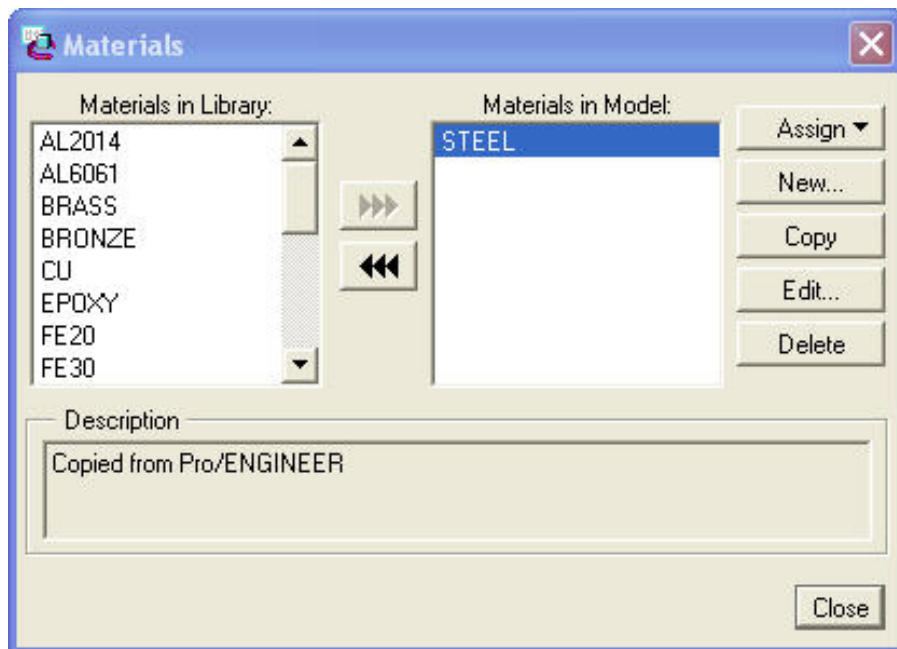
Σε αυτό το στάδιο καθορίζονται τα υλικά, τα σώματα, οι συνδέσεις, και ένας οδηγός.

1. Έχετε ανοίξει το παράθυρο του Pro/ENGINEER και από File → Open επιλέγετε το **m_vc_prim.asm.1**. Το Μοντέλο Συναρμολόγησης (Assembly Model) εμφανίζεται στο παράθυρο του Pro/ENGINEER (Εικόνα 2.16). Από την καρτέλα Applications επιλέξτε Mechanics και πατήστε [yes] για να δεχτείτε να εργαστείτε στο ίδιο σύστημα μονάδων. Είναι πλέον διαθέσιμο το MECHANICA μενού. Επιλέξτε **Motion** για να εισέλθετε στην Motion λειτουργία του Pro/MECHANICA. Από το MOTION μενού επιλέξτε **Model** για να δημιουργήσετε το Motion Model.



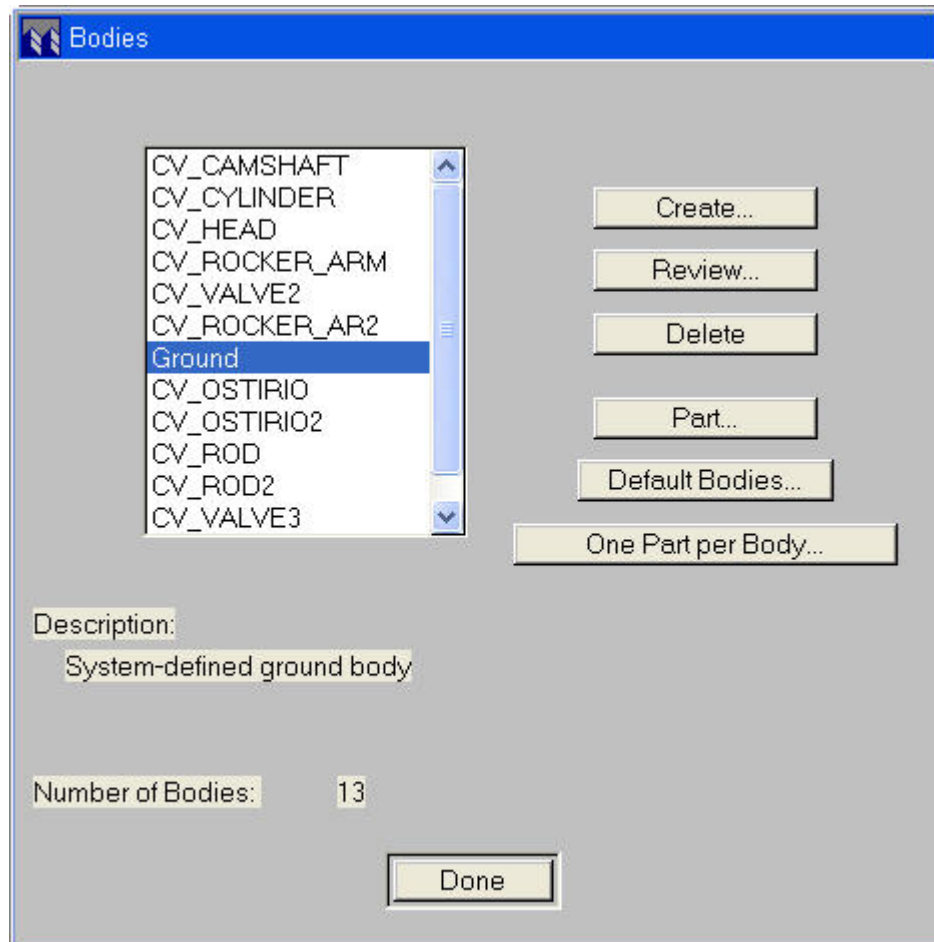
Εικόνα 2.16

2. Σε αυτό το σημείο θα γίνει ο καθορισμός των υλικών από τα οποία επιθυμούμε να είναι τα μέρη της συναρμολόγησης. Από το MOTN MODEL μενού επιλέξτε **Property** και στη συνέχεια **Material**. Από το παράθυρο των υλικών που εμφανίζεται (Εικόνα 2.17) επιλέξτε **Steel** και πατήστε το κουμπί **[Add]**. Επιλέξτε **Assign → Part** και από το GET SELECT → Pick και επιλέξτε το **cv_basstation**. Το μέρος cv_basstation έχει πλέον τις ιδιότητες του χάλυβα. Κατά τον ίδιο τρόπο προσδίδετε και στα υπόλοιπα μέρη της συναρμολόγησης τις ιδιότητες του χάλυβα. Μόλις τελειώστε με τις ιδιότητες των υλικών πατήστε **[Close]** για να κλείσει το παράθυρο των υλικών και από το PROPERTY μενού επιλέξτε **Done/Return**.



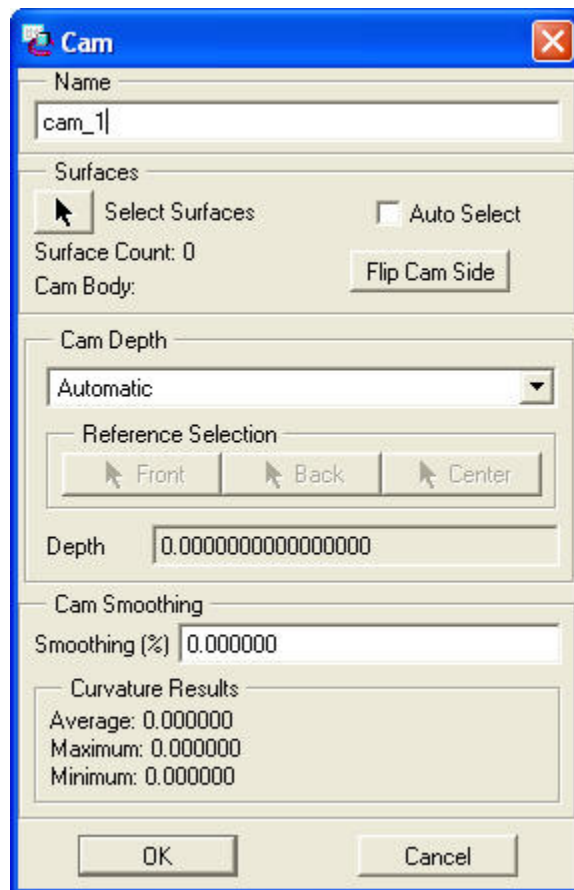
Εικόνα 2.17

3. Σε αυτό το σημείο θα γίνει ο καθορισμός των σωμάτων από τα οποία θα αποτελείται ο μηχανισμός. Από το MOTN MODEL μενού επιλέξτε **Bodies**. Από το παράθυρο των σωμάτων που εμφανίζεται (Εικόνα 2.18) επιλέξτε το **cv_basstation** και πατήστε [**Delete**]. Στη συνέχεια επιλέξτε **Ground**, πατήστε [**Part**], επιλέξτε το **cv_basstation** από το παράθυρο του Pro/ENGINEER, πατήστε [**Accept**] και [**Done**]. Έχουνε πλέον δημιουργηθεί 13 σώματα και το cv_basstation έχει θεωρηθεί γειωμένο.

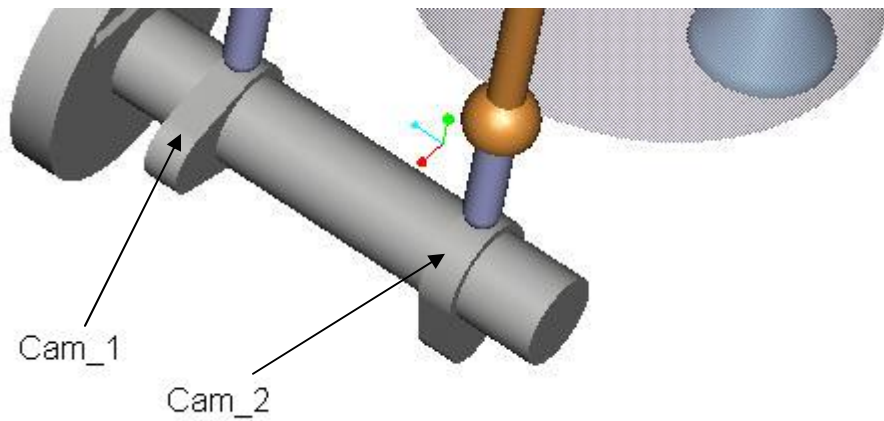


Εικόνα 2.18

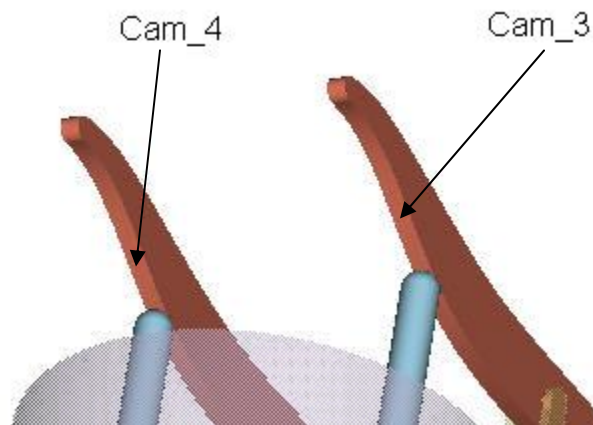
4. Σε αυτό το σημείο θα γίνει η δημιουργία των εκκέντρων στις επιφάνειες που επιθυμούμε. Από το MOTN MODEL μενού επιλέξτε **Cams** και **Create**. Στο παράθυρο δημιουργίας εκκέντρων που εμφανίζεται (Εικόνα 2.19) πατήστε τον κέρσορα για να επιλέξετε την επιφάνεια που φαίνεται στην Εικόνα 2.20. Δώστε όνομα {**Cam_1**}, δεχτείτε τις υπόλοιπες επιλογές ως έχουν και πατήστε {**OK**}. Κατά τον ίδιο τρόπο δημιουργείστε άλλα τρία έκκεντρα επιλέγοντας τις επιφάνειες που φαίνονται στις Εικόνες 2.20 και 2.21.



Εικόνα 2.19

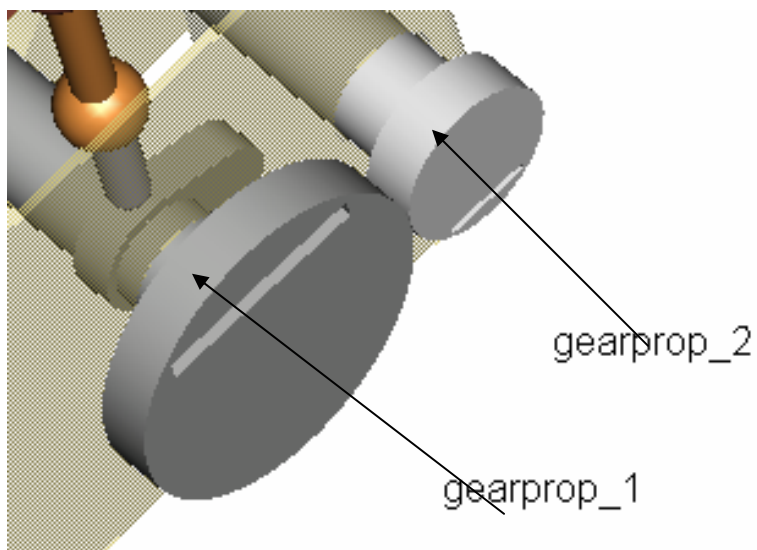


Εικόνα 2.20

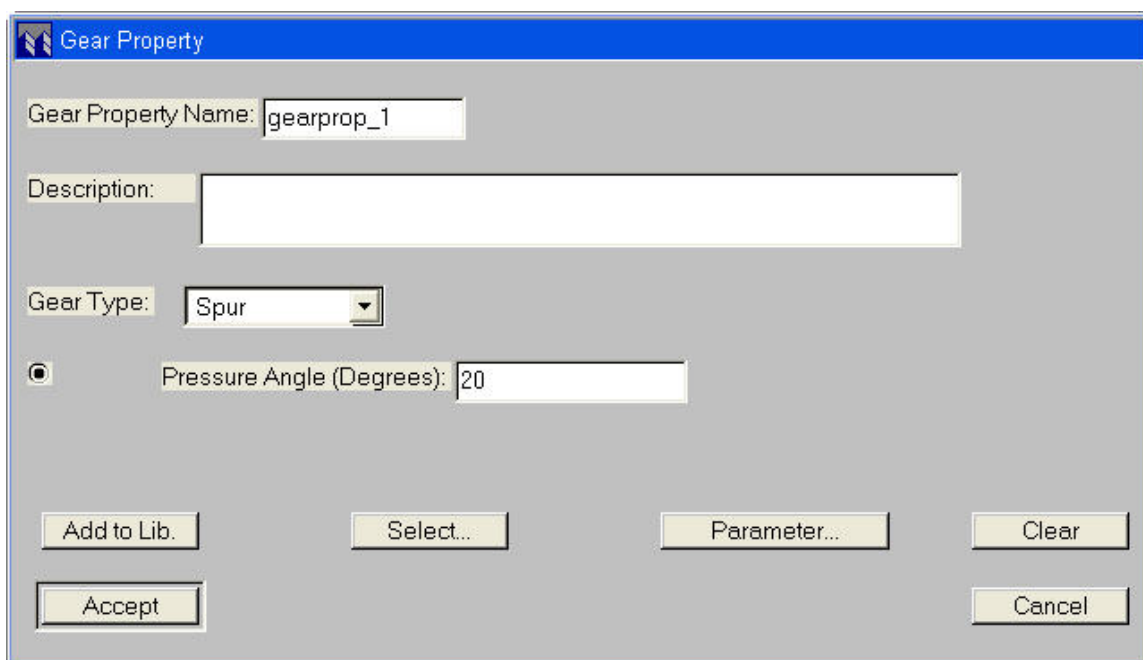


Εικόνα 2.21

4. Σε αυτό το σημείο θα καθοριστούν οι ιδιότητες των οδοντωτών τροχών επιλέγοντας τις επιφάνειες που επιθυμούμε να έχουν τις ιδιότητες αυτές. Από το MOTN MODEL μενού επιλέξτε **Property, Gear** και **Assign**. Από το παράθυρο του Pro/ENGINEER επιλέξτε την κυλινδρική επιφάνεια που φαίνεται στην Εικόνα 2.22. Στο παράθυρο ιδιοτήτων οδοντωτών τροχών που εμφανίζεται (Εικόνα 2.23) δώστε όνομα {gearprop_1}, επιλέξτε ως τύπο οδοντωτού τροχού **Spur** και εισάγετε την τιμή {20} για τη γωνία πίεσης (Pressure Angle). Με όμοιο τρόπο δώστε τις ίδιες ιδιότητες οδοντωτού τροχού και στην άλλη κυλινδρική επιφάνεια που φαίνεται στην Εικόνα 2.22 και δώστε όνομα {gearprop_2}.



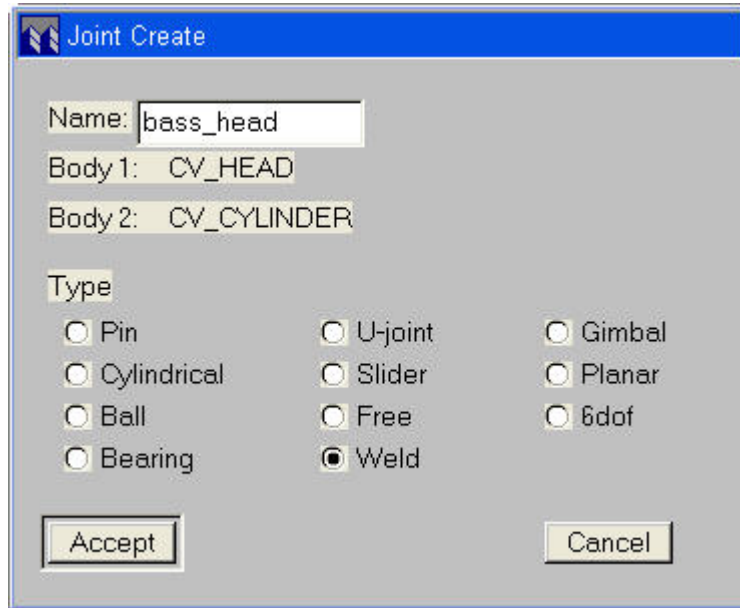
Εικόνα 2.22



Εικόνα 2.23

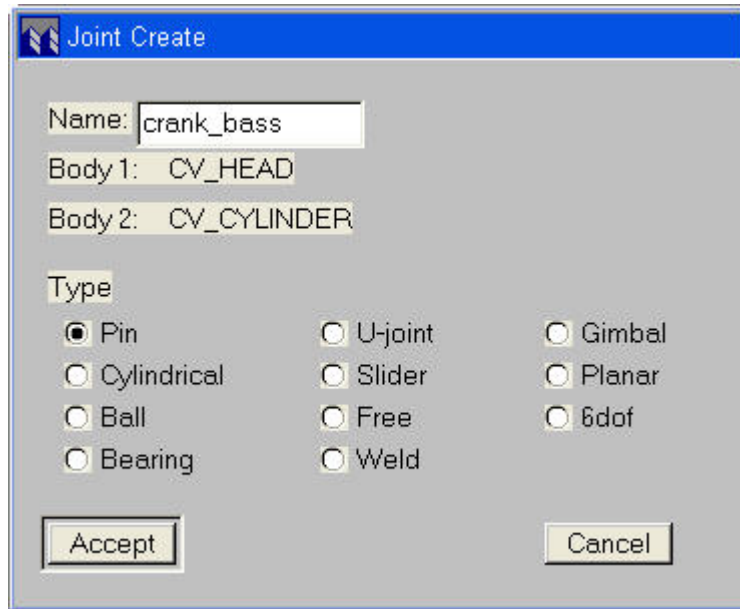
5. Σε αυτό το σημείο θα δημιουργηθούν οι συνδέσεις των σωμάτων. Πρέπει να τονιστεί η σημασία των σημείων αναφοράς που έχουνε τοποθετηθεί στα μέρη της συναρμολόγησης, καθώς με βάση τα σημεία αυτά θα τοποθετηθούν οι συνδέσεις των σωμάτων. Από το MOTN MODEL μενού επιλέξτε **Connections** και στη συνέχεια **Joints** και **Create**. Με **Query Sel** επιλέξτε το PNT6 του cv_basstation και το PNT3

του cv_head. Στο παράθυρο των αρθρώσεων που εμφανίζεται (Εικόνα 2.24) δώστε όνομα {**bass_head**}, επιλέξτε ως τύπο άρθρωσης **Weld** και πατήστε [**Accept**].



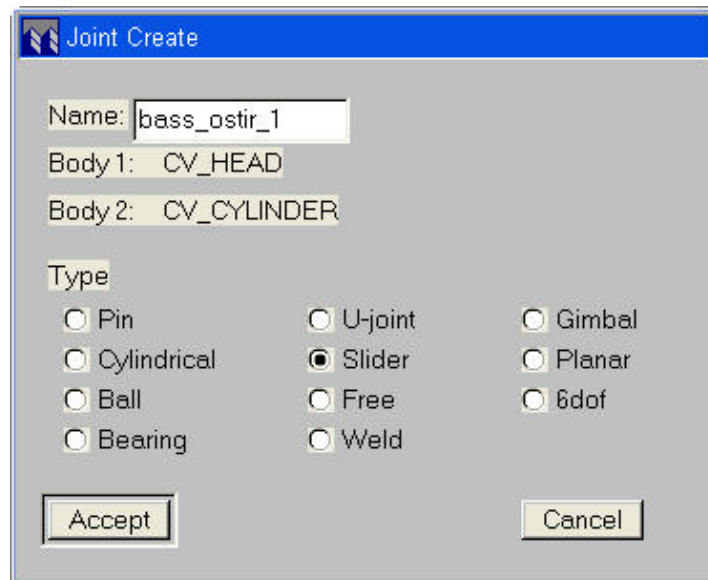
Εικόνα 2.24

Στη συνέχεια επιλέξτε το PNT1 του cv_cylinder και το PNT2 του cv_head. Στο νέο παράθυρο των αρθρώσεων που εμφανίζεται δώστε όνομα {**cyl_head**}, επιλέξτε ως τύπο άρθρωσης **Weld** και πατήστε [**Accept**]. Η βάση, η κεφαλή και ο κύλινδρος του μηχανισμού είναι πλέον συγκολλημένοι μεταξύ τους. Επιλέξτε το PNT0 του cv_crankshaft και το PNT9 του cv_basstation και στο παράθυρο των αρθρώσεων που εμφανίζεται (Εικόνα 2.25) δώστε όνομα {**crank_bass**}, επιλέξτε ως τύπο άρθρωσης **Pin** και πατήστε [**Accept**]. Ο στροφαλοφόρος άξονας είναι πλέον συνδεδεμένος με τη βάση του μηχανισμού με περιστροφική άρθρωση.



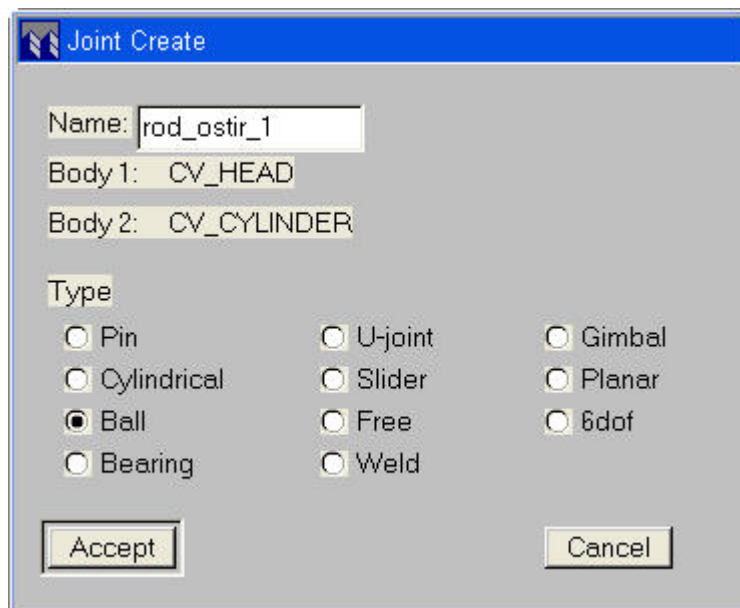
Εικόνα 2.25

Επιλέξτε το PNT1 του cv_camshaft και το PNT2 του cv_basstation και στο παράθυρο των αρθρώσεων που εμφανίζεται δώστε όνομα {bass_com}, επιλέξτε ως τύπο άρθρωσης **Pin** και πατήστε [Accept]. Ο εκκεντροφόρος άξονας είναι πλέον συνδεδεμένος με τη βάση του μηχανισμού με περιστροφική άρθρωση. Επιλέξτε το PNT1 του cv_basstation και το PNT3 του cv_ostirio και στο παράθυρο των αρθρώσεων που εμφανίζεται (Εικόνα 2.26) δώστε όνομα {bass_ostir_1} επιλέξτε ως τύπο άρθρωσης **Slider** και πατήστε [Accept]. Επαναλάβετε όμοια και για το δεύτερο ωστήριο επιλέγοντας το PNT0 του cv_basstation και δώστε όνομα {bass_ostir_2}. Τα ωστήρια είναι πλέον συνδεδεμένα με τη βάση του μηχανισμού με πρισματικές αρθρώσεις.



Εικόνα 2.26

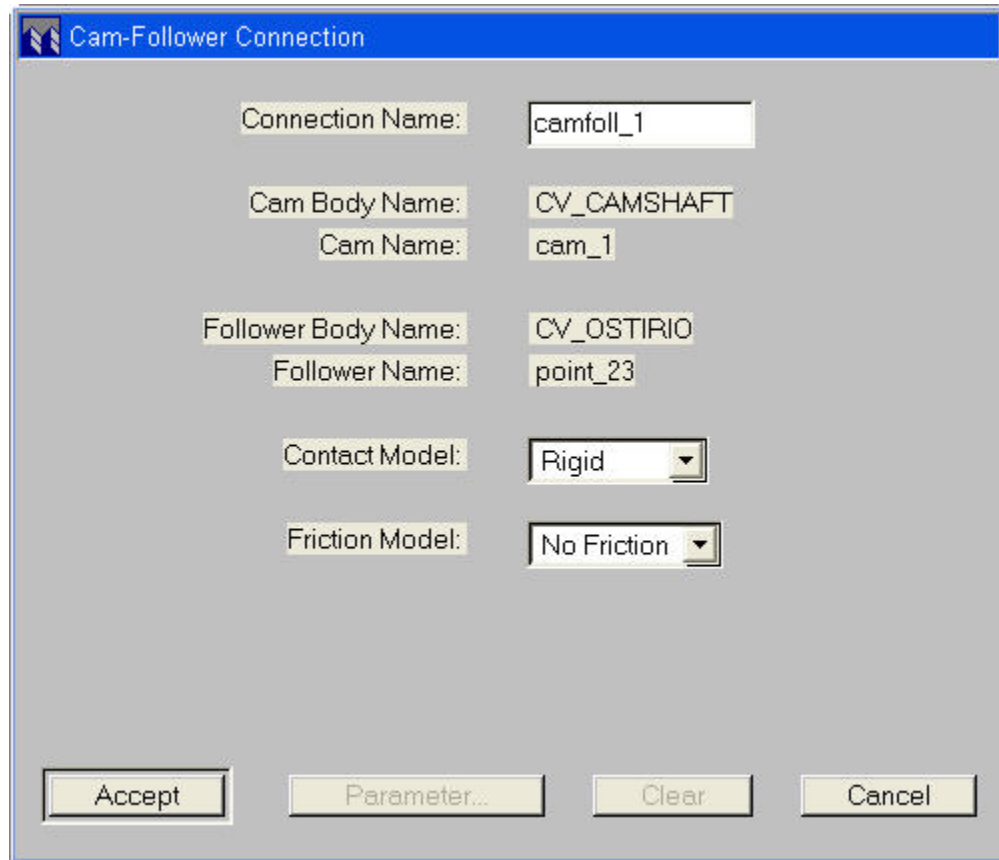
Επιλέξτε το PNT0 του cv_rod και το PNT2 του cv_ostirio. Στο παράθυρο των αρθρώσεων που εμφανίζεται (Εικόνα 2.27) δώστε όνομα {**rod_ostir_1**}, επιλέξτε ως τύπο άρθρωσης **Ball** και πατήστε [**Accept**]. Επαναλάβετε όμοια και για το δεύτερο ζεύγος διωστήρα-ωστηρίου και δώστε όνομα {**rod_ostir_2**}. Τα ωστήρια είναι πλέον συνδεδεμένα με τους διωστήρες με σφαιρικές αρθρώσεις.



Εικόνα 2.27

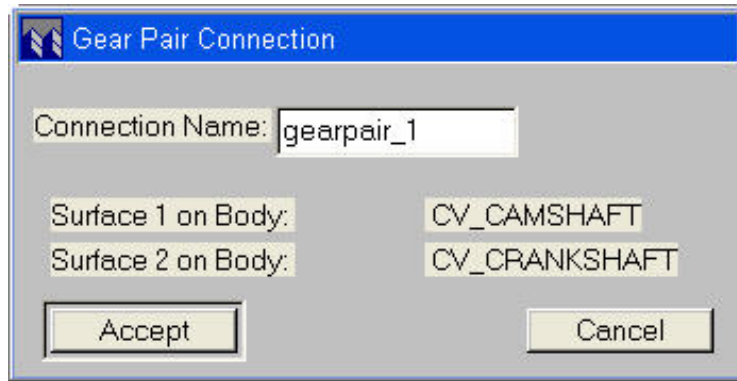
Επιλέξτε το PNT0 του cv_rocker_arm και το PNT1 του cv_rod. Στο παράθυρο των αρθρώσεων που εμφανίζεται δώστε όνομα {**rocker_rod_1**}, επιλέξτε ως τύπο άρθρωσης **Ball** και πατήστε [**Accept**]. Επαναλάβετε όμοια και για το δεύτερο ζεύγος διωστήρα-ζύγωθρου και δώστε όνομα {**rocker_rod_2**}. Οι διωστήρες είναι πλέον συνδεδεμένοι με τα ζύγωθρα με σφαιρικές αρθρώσεις. Επιλέξτε το PNT4 του cv_basstation και το PNT1 του cv_rocker_arm. Στο παράθυρο των αρθρώσεων που εμφανίζεται δώστε όνομα {**bass_rocker_1**}, επιλέξτε ως τύπο άρθρωσης **Pin** και πατήστε [**Accept**]. Επαναλάβετε όμοια και για το δεύτερο ζύγωθρο επιλέγοντας το PNT5 του cv_basstation και δώστε όνομα {**bass_rocker_2**}. Τα ζύγωθρα είναι πλέον συνδεδεμένα με τη βάση του μηχανισμού με περιστροφικές αρθρώσεις. Επιλέξτε το PNT1 του cv_valve και το PNT1 του cv_head. Στο παράθυρο των αρθρώσεων που εμφανίζεται δώστε όνομα {**valve_head_1**}, επιλέξτε ως τύπο άρθρωσης **Slider** και πατήστε [**Accept**]. Επαναλάβετε όμοια και για τη δεύτερη βαλβίδα επιλέγοντας το PNT0 του cv_head και δώστε όνομα {**valve_head_2**}. Οι βαλβίδες είναι πλέον συνδεδεμένες με την κεφαλή του μηχανισμού με πρισματικές αρθρώσεις. Πρέπει να τονιστεί η σημασία της διεύθυνσης του κάθε άξονα άρθρωσης και ο ρόλος που παίζει στην κίνηση των σωμάτων που συνδέονται με την άρθρωση αυτή. Μπορείτε να χρησιμοποιείτε το μενού τροποποίησης άρθρωσης (EDIT JOINT μενού) για να καθορίζετε την κατάλληλη διεύθυνση του κάθε άξονα άρθρωσης.

Στη συνέχεια θα δημιουργηθούν οι συνδέσεις ακολουθητών εκκέντρου. Από το MOT CONNECTION μενού επιλέξτε **Cam-Follower** και **Create**. Από το παράθυρο του Pro/ENGINEER επιλέξτε το έκκεντρο **Cam_1** που δημιουργήθηκε σε προηγούμενο βήμα και το PNT0 του cv_ostir. Στο παράθυρο των ακολουθητών εκκέντρου που εμφανίζεται (Εικόνα 2.28) δώστε όνομα {**camfoll_1**}, δεχτείτε τις υπόλοιπες επιλογές ως έχουν και πατήστε [**Accept**]. Επαναλάβετε όμοια και για τους υπόλοιπους τρεις ακολουθητές εκκέντρου επιλέγοντας τα έκκεντρα **Cam_2**, **Cam_3** και **Cam_4** που δημιουργήθηκαν σε προηγούμενο βήμα, το PNT0 του δεύτερου ωστηρίου, δύο φορές το PNT2 των δύο βαλβίδων και δώστε τα ονόματα {**camfoll_2**}, {**camfoll_3**} και {**camfoll_4**}, αντίστοιχα.



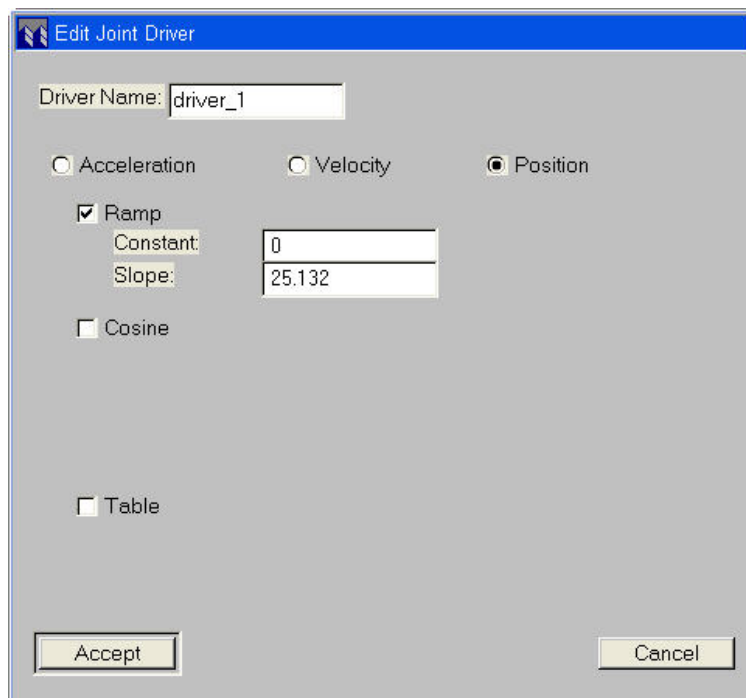
Εικόνα 2.28

Στη συνέχεια θα δημιουργηθεί το ζεύγος οδοντωτών τροχών. Οι απλοποιημένες επιφάνειες στις οποίες προσδίδονται ιδιότητες οδοντωτών τροχών θεωρούνται ως επιφάνειες επαφής. Έτσι, για να δημιουργηθεί ένα ζεύγος οδοντωτών τροχών, οφείλουν στο μοντέλο συναρμολόγησης οι επιφάνειες αυτές να εφάπτονται. Από το MOT CONNECTION μενού επιλέξτε **Gear Pair** και **Create**. Από το παράθυρο του Pro/ENGINEER επιλέξτε τους οδοντωτούς τροχούς **gearprop_1** και **gearprop_2** που δημιουργήσαμε σε προηγούμενο βήμα. Στο παράθυρο του ζεύγους οδοντωτών τροχών που εμφανίζεται (Εικόνα 2.29) δώστε όνομα **{gearpair_1}** και πατήστε [**Accept**].



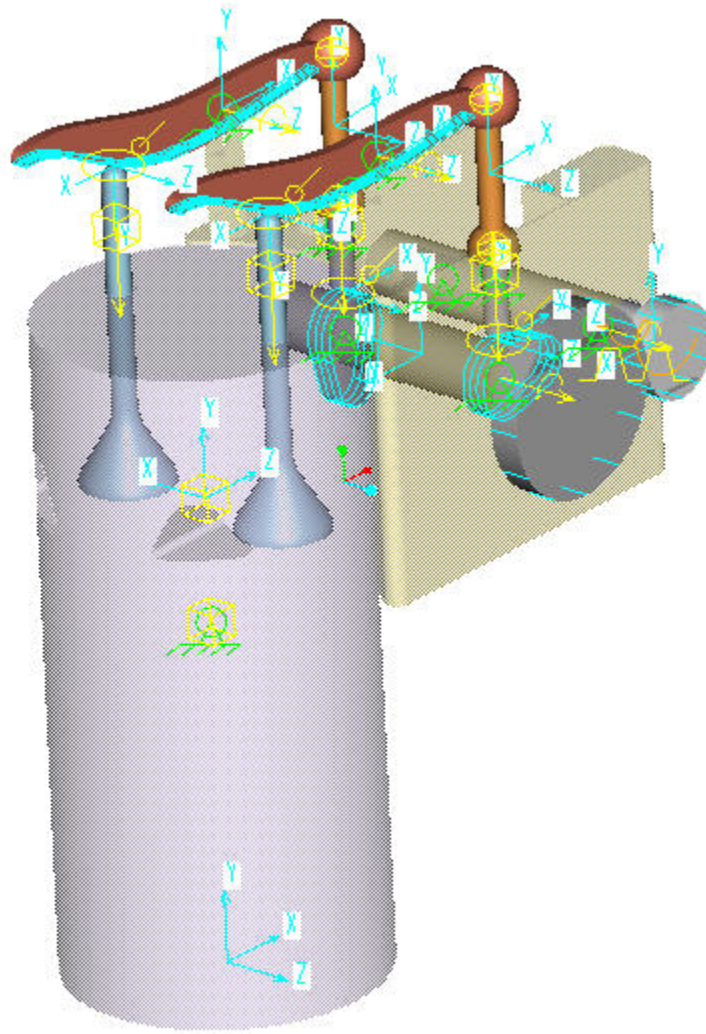
Εικόνα 2.29

6. Σε αυτό το σημείο θα γίνει ο καθορισμός ενός οδηγού ο οποίος θα δώσει κίνηση στο μηχανισμό. Από το MOTN MODEL μενού επιλέξτε **Drivers** και **Create**. Από το GET SELECT μενού επιλέξτε με **Query Sel** την άρθρωση **crank_bass**. Στο παράθυρο οδηγού που εμφανίζεται (Εικόνα 2.30) δώστε όνομα {**driver**}, επιλέξτε **Position**, **Ramp** και δώστε τις τιμές {**0**} για **Constant** και {**25.132**} για **Slope** για να καθορίσετε τη γωνιακή συνάρτηση $\theta=8\pi$. Ο στροφαλοφόρος άξονας θα εκτελεί περιστροφή 1440° (τέσσερις πλήρεις περιστροφές) κάθε ένα δευτερόλεπτο. Πατήστε [**Accept**].



Εικόνα 2.30

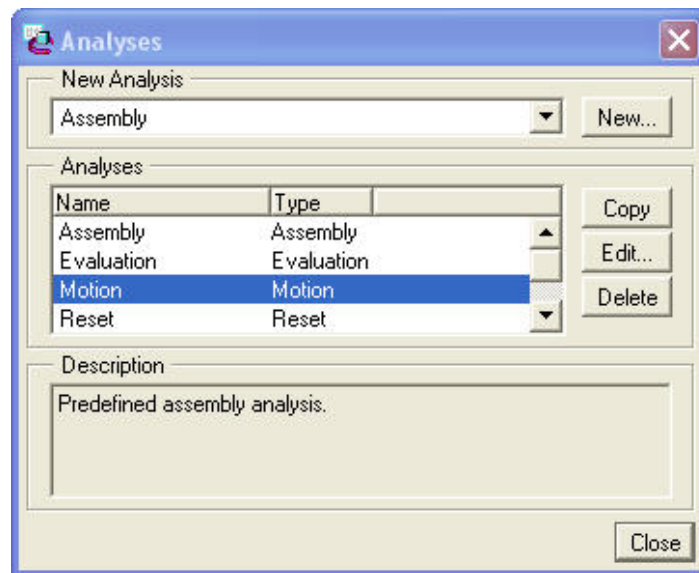
8. Η μοντελοποίηση του μηχανισμού έχει πλέον ολοκληρωθεί. Το Motion Model εμφανίζεται στο παράθυρο του Pro/ENGINEER όπως στην Εικόνα 2.31.



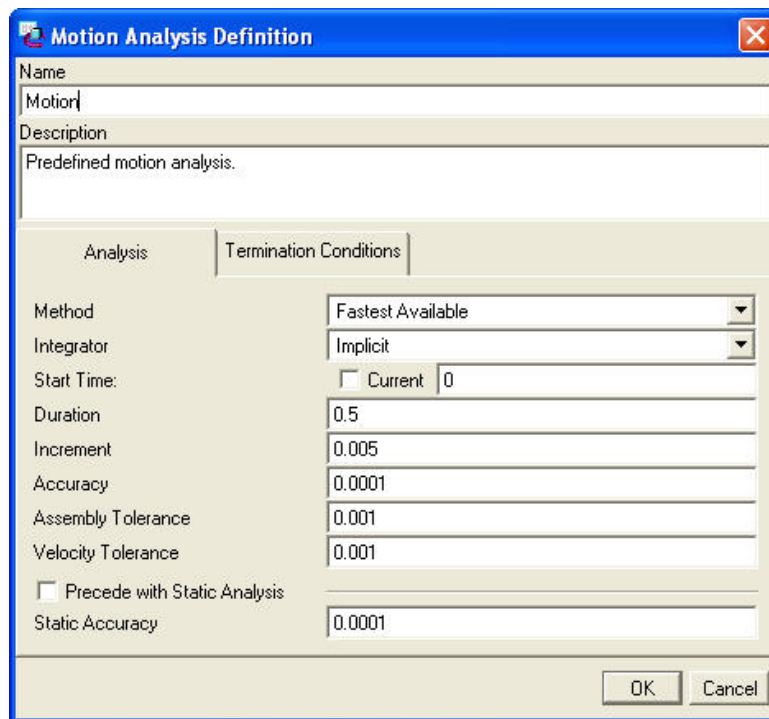
Εικόνα 2.31

Κινηματική ανάλυση του μοντέλου

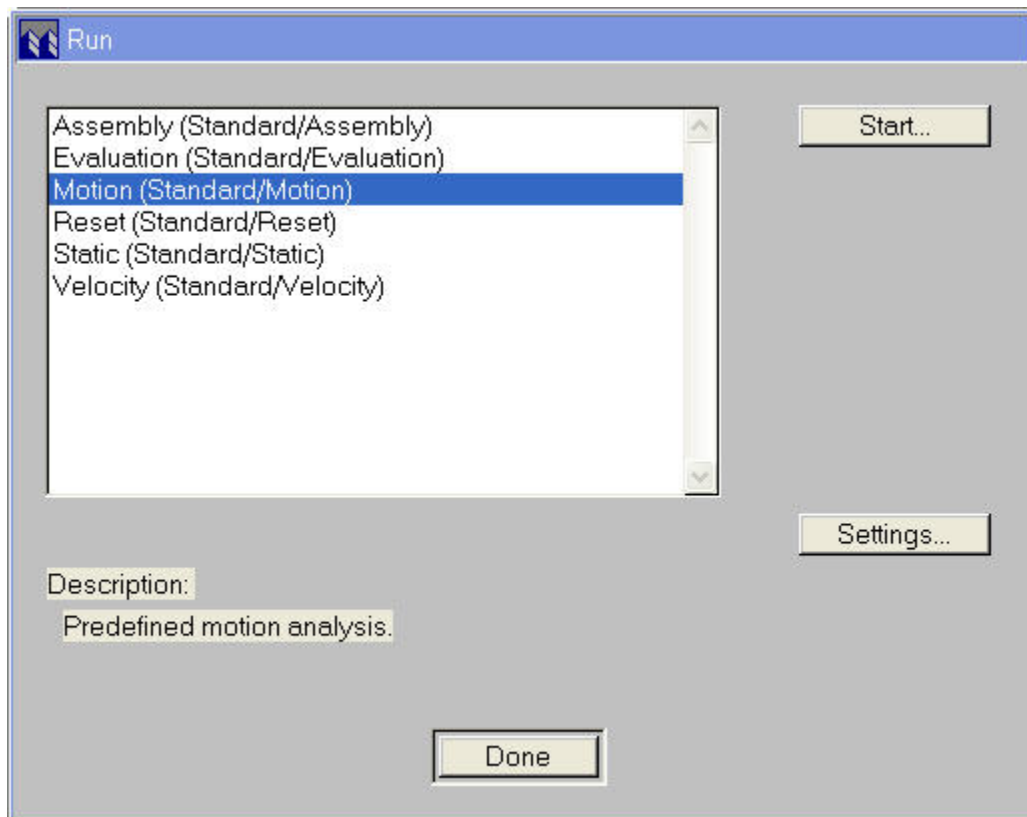
Από το MEC MOTION μενού επιλέξτε **Analyses**. Στο παράθυρο της ανάλυσης που εμφανίζεται (Εικόνα 2.32) επιλέξτε **Motion** και πατήστε [**Edit**]. Στο παράθυρο της κινηματικής ανάλυσης που εμφανίζεται δώστε τις τιμές που φαίνονται στην Εικόνα 2.33. Πατήστε [**OK**] και [**Close**]. Από το MEC MOTION μενού επιλέξτε **Run**. Στο παράθυρο λειτουργίας που εμφανίζεται (Εικόνα 2.34) επιλέξτε **Motion (Standard/Motion)** και πατήστε [**Start**]. Η Μηχανή Κίνησης θα δημιουργήσει 100 frames του κινούμενου μηχανισμού.



Εικόνα 2.32



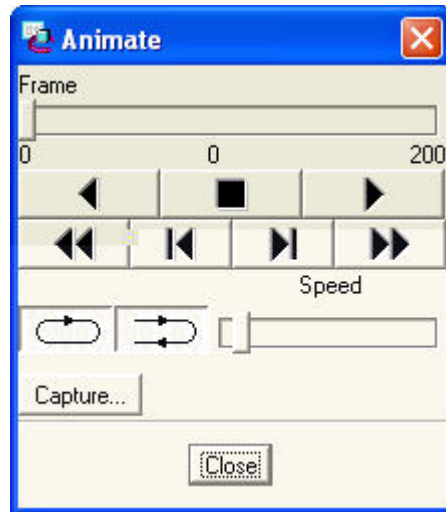
Εικόνα 2.33



Εικόνα 2.34

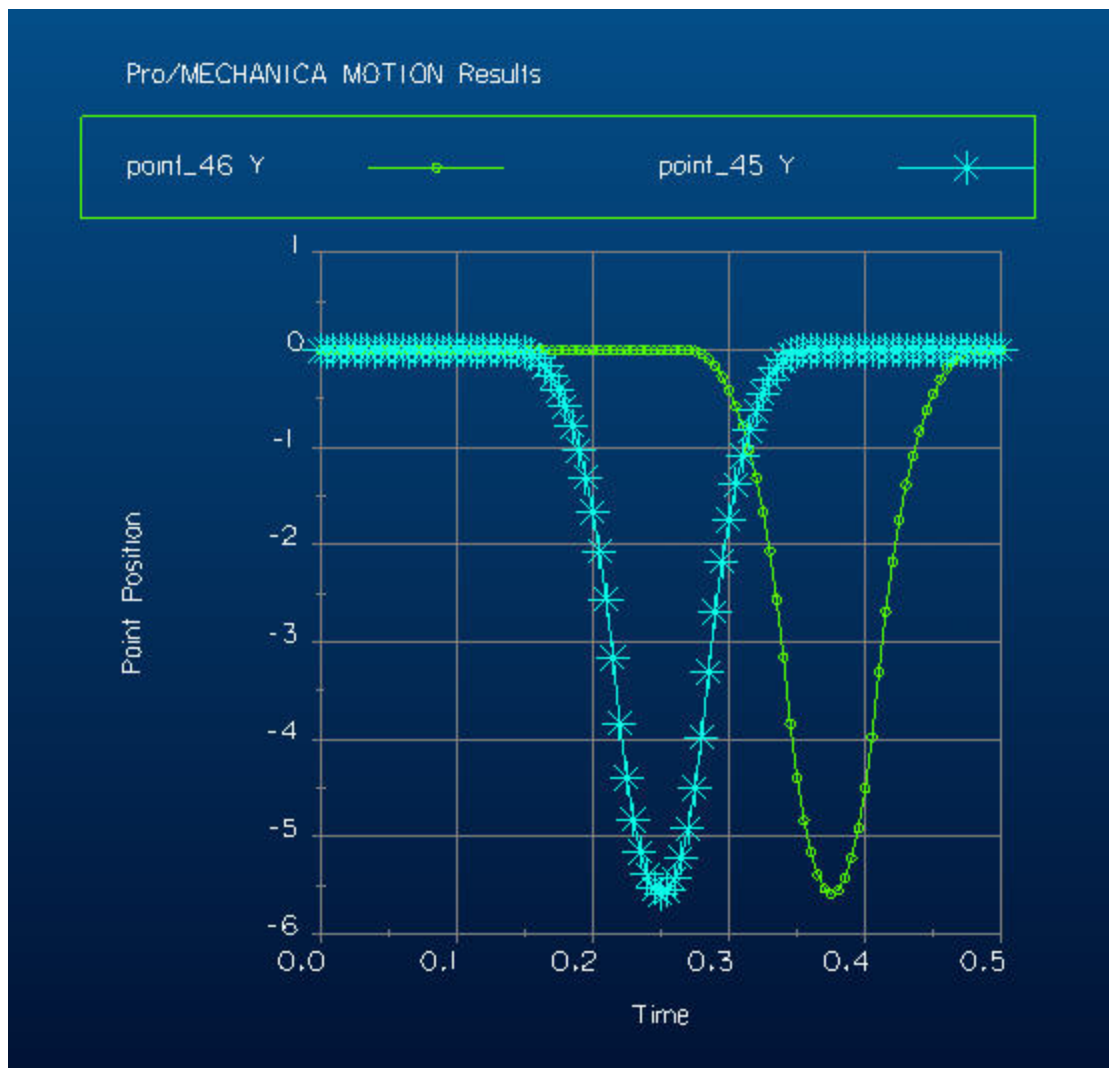
Επιθεώρηση των αποτελεσμάτων

Από το MEC MOTION μενού επιλέξτε **Results, Animate** και **Start**. Χρησιμοποιήστε τα κουμπιά ελέγχου του video για να προβληθεί το animation (Εικόνα 2.35).



Εικόνα 2.35

Από το MOT RESULTS μενού επιλέξτε **Graph** και **Pt Position**. Από το παράθυρο του Pro/ENGINEER επιλέξτε το PNT3 του cv_valve και στο παράθυρο που εμφανίζεται επιλέξτε την Υ συνιστώσα της μετατόπισης της βαλβίδας. Επαναλάβετε το ίδιο και για το PNT3 και της δεύτερης βαλβίδας. Από το GET SELECT μενού πατήστε **Done Sel** για να εμφανιστεί το γράφημα που θα περιέχει τις δύο καμπύλες της κατακόρυφης μετατόπισης των δύο βαλβίδων σε συνάρτηση με το χρόνο (Εικόνα 2.36).

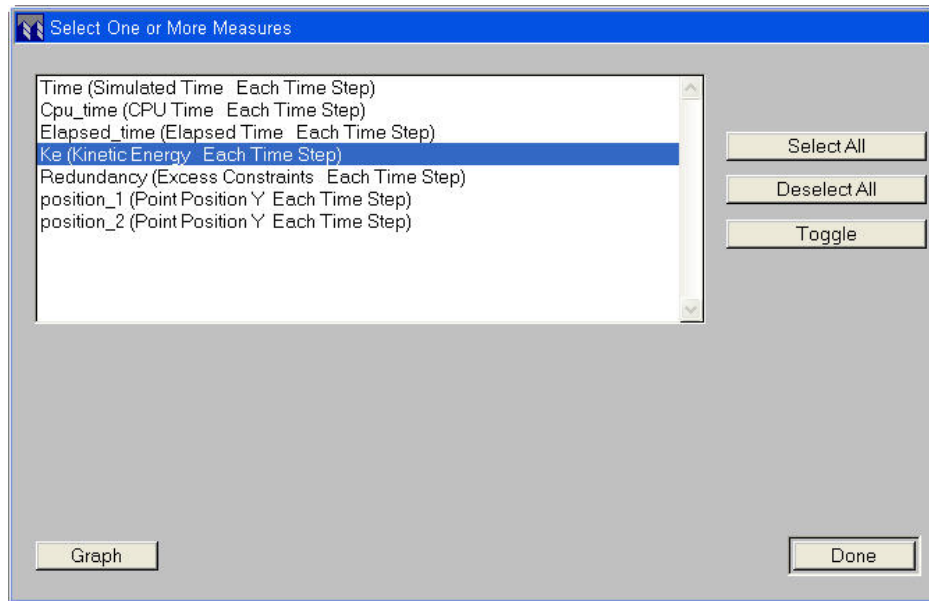


Εικόνα 2.36

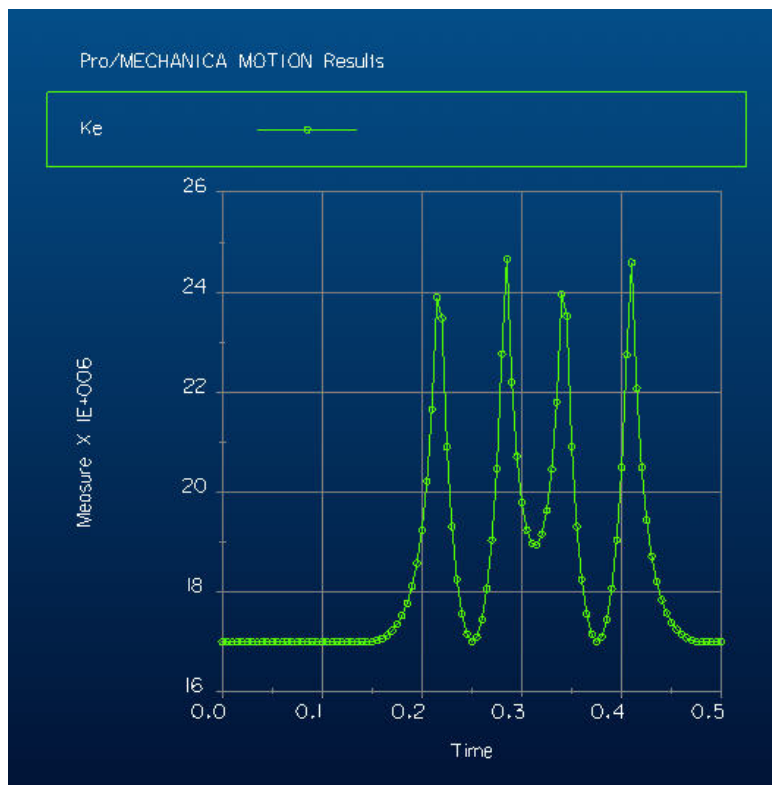
Στην τιμή 0 η κάθε βαλβίδα κλείνει την οπή της κεφαλής του μηχανισμού, ενώ στην ελάχιστη τιμή της, ίση με -5.58505 mm, την ανοίγει. Σε αυτό το διάγραμμα μπορεί κανείς να ελέγξει το χρονισμό των βαλβίδων. Σε 0.5 sec ο εκκεντροφόρος άξονας εκτελεί μια πλήρη περιστροφή. Από το παραπάνω γράφημα φαίνεται η χρονική διαφορά των δύο βαλβίδων τη στιγμή που ανοίγουν πλήρως τις οπές της κεφαλής και είναι ίση με 0.125 sec, δηλαδή το $\frac{1}{4}$ του χρόνου της πλήρους περιστροφής του εκκεντροφόρου άξονα (τετράχρονοι κινητήρες εσωτερικής καύσης) [Ι. Νικολός, Λ. Κλιάνης, Ι. Σιδέρης, Μηχανές Εσωτερικής Καύσεως, 2002].

Από το MOT RESULTS μενού επιλέξτε **Graph** και **Measure**. Στο παράθυρο που εμφανίζεται (Εικόνα 2.37) επιλέξτε **Ke (Kinetic Energy Each Time Step)**

και πατήστε [**Graph**] για να εμφανιστεί η γραφική παράσταση της συνολικής κινητικής ενέργειας στο μηχανισμό σε συνάρτηση με το χρόνο (Εικόνα 2.38).



Εικόνα 2.37



Εικόνα 2.38

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ - ΠΡΟΕΚΤΑΣΕΙΣ

Το Pro/MECHANICA Motion σε συνεργασία με το Pro/ENGINEER είναι ένα ολοκληρωμένο πακέτο λογισμικού για τη σχεδίαση και την προσομοίωση κινηματικών μηχανισμών. Παρέχει τα κατάλληλα εργαλεία στο χρήστη για να προσομοιώσει με εξαιρετική ακρίβεια οποιοδήποτε μοντέλο που επιθυμεί να αναλύσει κινηματικά. Η ουσία της μοντελοποίησης είναι ο καθορισμός των συνδέσεων μεταξύ των σωμάτων ενός μηχανισμού και η επιλογή των κατάλληλων αρθρώσεων. Η εργασία γίνεται εξαιρετικά εύκολη μέσα από το φιλικότερο περιβάλλον του Pro/ENGINEER σε σχέση με το δύσχρηστο περιβάλλον της “ανεξέρτητης” λειτουργίας του Pro/MECHANICA. Χρειάζεται ωστόσο να ανεφερθεί ο αρκετός χρόνος που απαιτείται για την εκμάθηση ενός λογισμικού με τέτοιες δυνατότητες. Για έναν έμπειρο όμως χρήστη και εφόσον υπάρχουν οι προδιαγραφές του μοντέλου, η μοντελοποίηση μπορεί να διαρκέσει λίγες ώρες, από τη σχεδίαση, την προσομοίωση και την ανάλυση μέχρι την επιθεώρηση των αποτελεσμάτων.

Επίσης, το Pro/MECHANICA διαθέτει άλλες δύο λειτουργίες, τη Structure και τη Thermal.

Με τη Structure λειτουργία μπορεί να εφαρμοστεί δομική ανάλυση σε μέρη και συναρμολογήσεις. Οι αναλύσεις είναι δυνατό να αφορούν τη στατική, τον τρόπο δόμησης, το σκεύρωμα των υλικών, την επαφή των επιφανειών, τις τάσεις και τις δονήσεις σε μια κατασκευή. Είναι επίσης δυνατό να μελετηθεί η ευαισθησία του μοντέλου σε πλαστικές παραμορφώσεις καθώς και οι μεταβολές των ιδιοτήτων του.

Με τη Thermal λειτουργία μπορεί να εφαρμοστεί θερμική ανάλυση σε μέρη και συναρμολογήσεις. Οι αναλύσεις είναι δυνατό να αφορούν τη μετάδοση θερμότητας σε μέρη του μοντέλου με σκοπό τη βελτιστοποίηση του θερμικού σχεδιασμού της κατασκευής.

ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

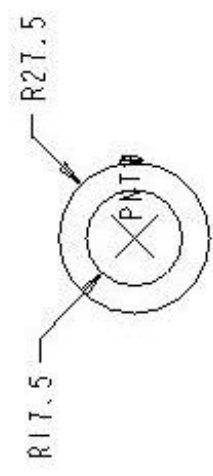
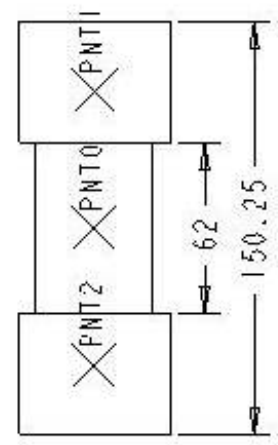
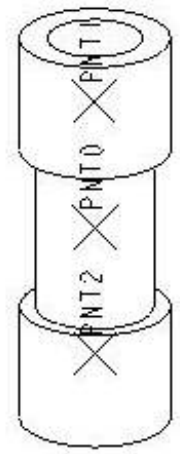
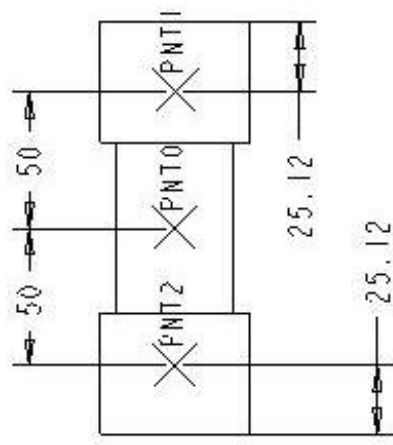
- [1] Julian Happian-Smith, *“An Introduction To Modern Vehicle Design”*, Butterworth Heinemann 2002
- [2] Edward L. Prater, *“Basic Machines And How They Work”*, NAVEDTRA 1994
- [3] Parametric Technology Corporation, *“Pro/MECHANICA Releases”*, PTC 1997
- [4] Dr. D Xue, *“A Tutorial Of Pro/MECHANICA Motion”*, Paper

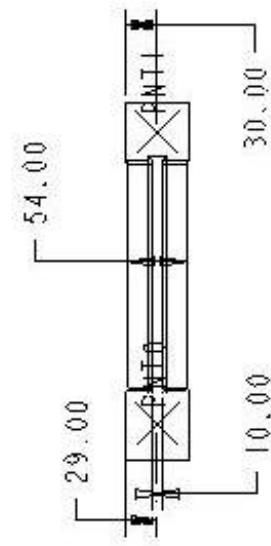
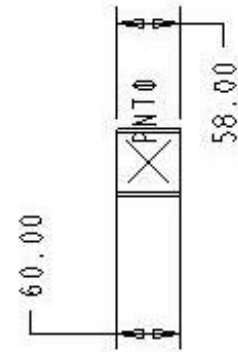
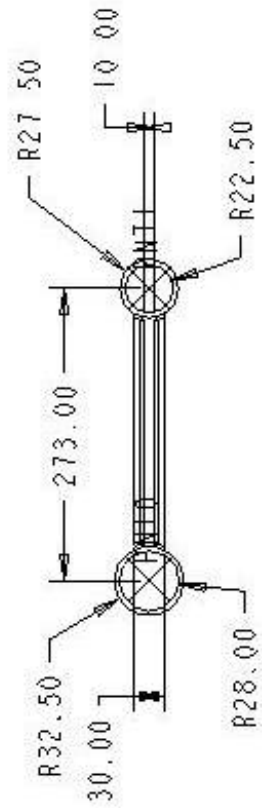
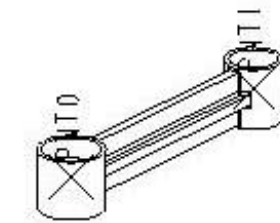
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

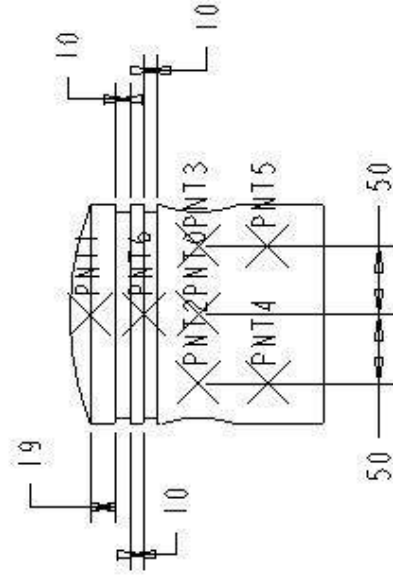
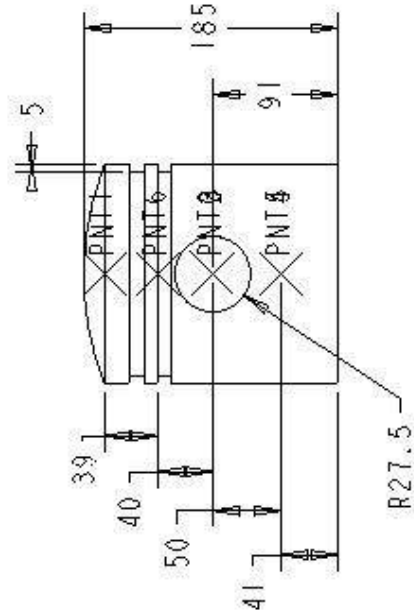
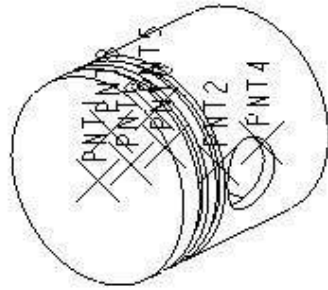
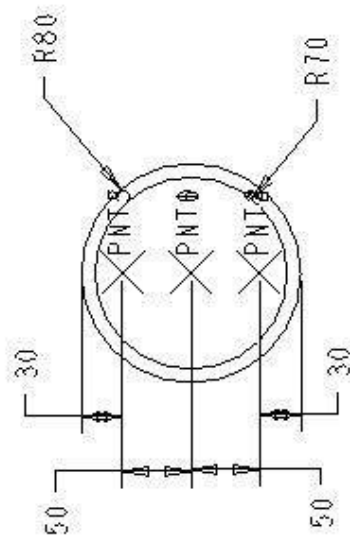
- [1] Λάζαρος Χ. Κλιάνης, Ιωάννης Κ. Νικολός, Ιωάννης Α. Σιδέρης, *“Μηχανές Εσωτερικής Καύσης, Τόμοι Α & Β”*, Ίδρυμα Ευγενίδου 2002
- [2] Νικόλαος Μπιλάλης, *“Μελέτη & Σχεδίαση Με Χρήση Η/Υ”*, Πολυτεχνείο Κρήτης 2002
- [3] Νικόλαος Μπιλάλης, *“Μελέτη Και Ανάπτυξη Προϊόντων”*, Πολυτεχνείο Κρήτης 2003

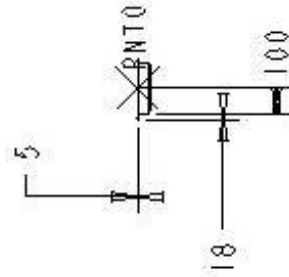
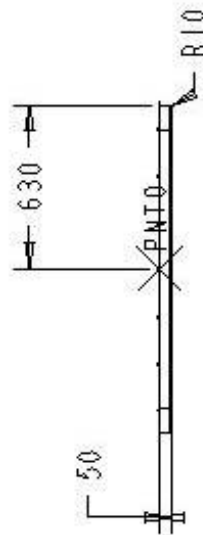
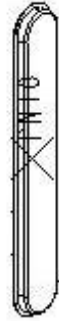
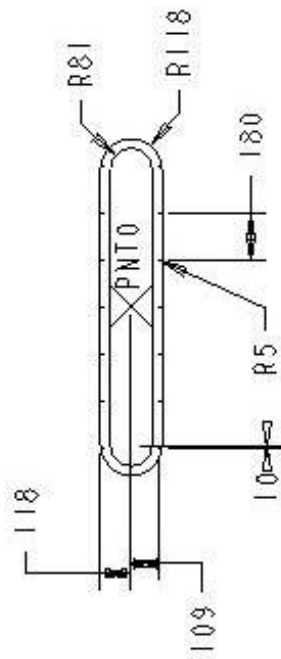
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ – ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ

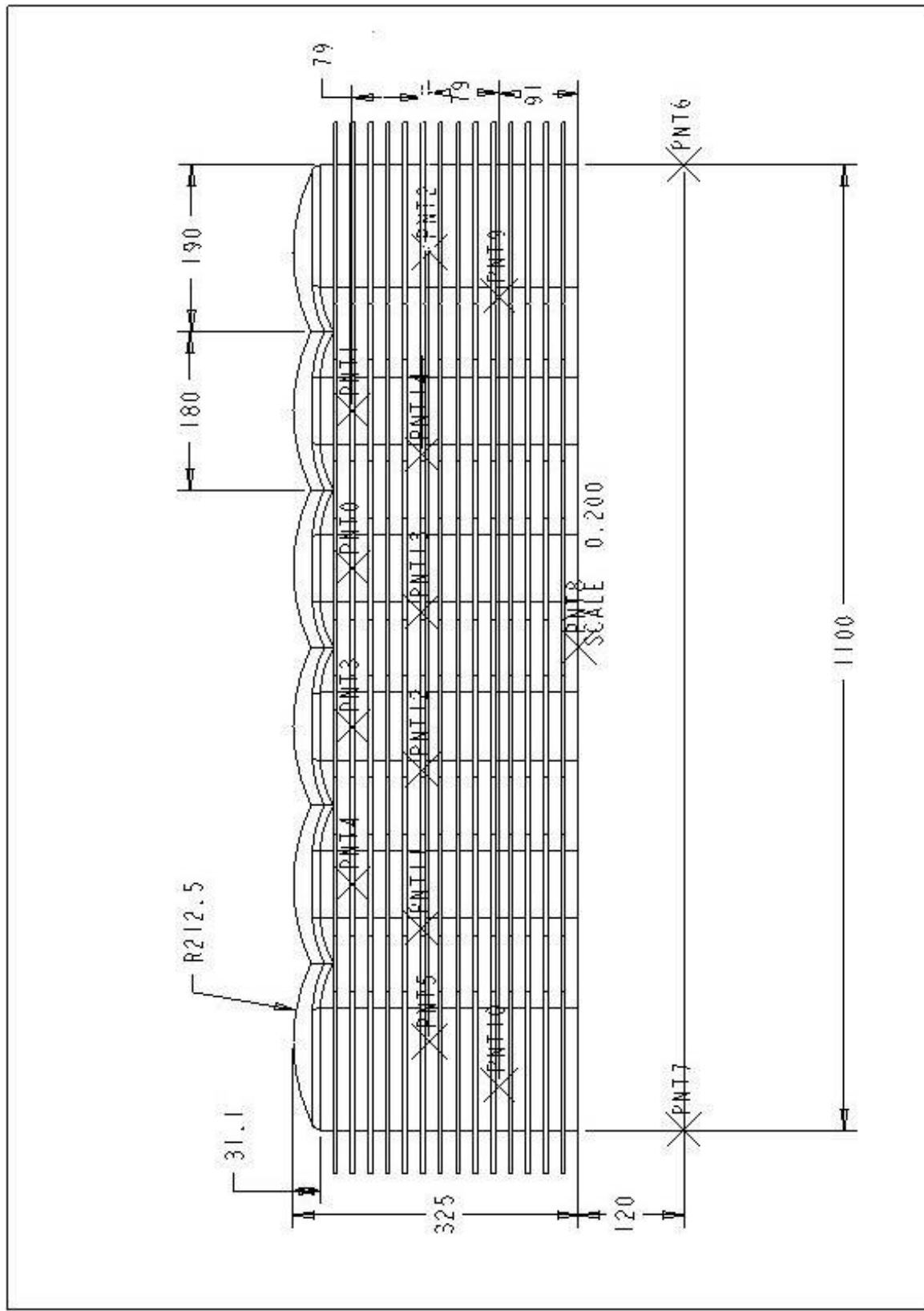
Μηχανισμός 1 ("6 Cylinder In-Line")

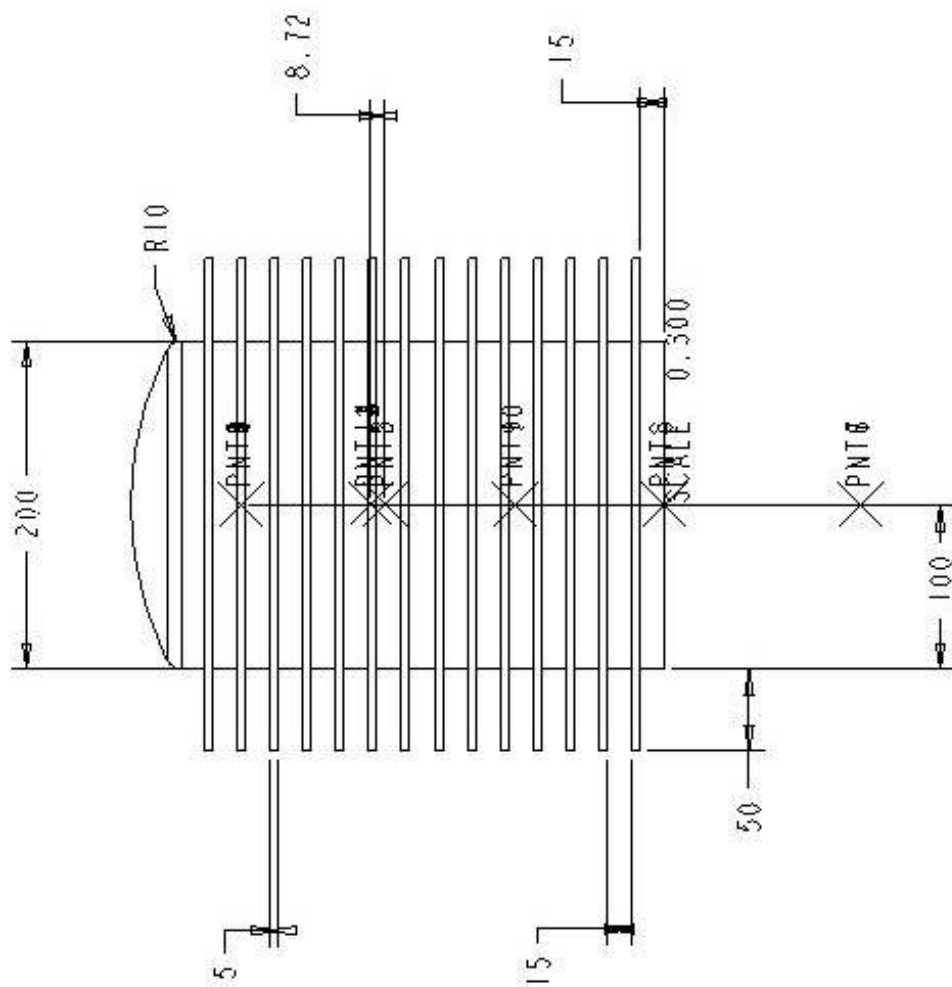


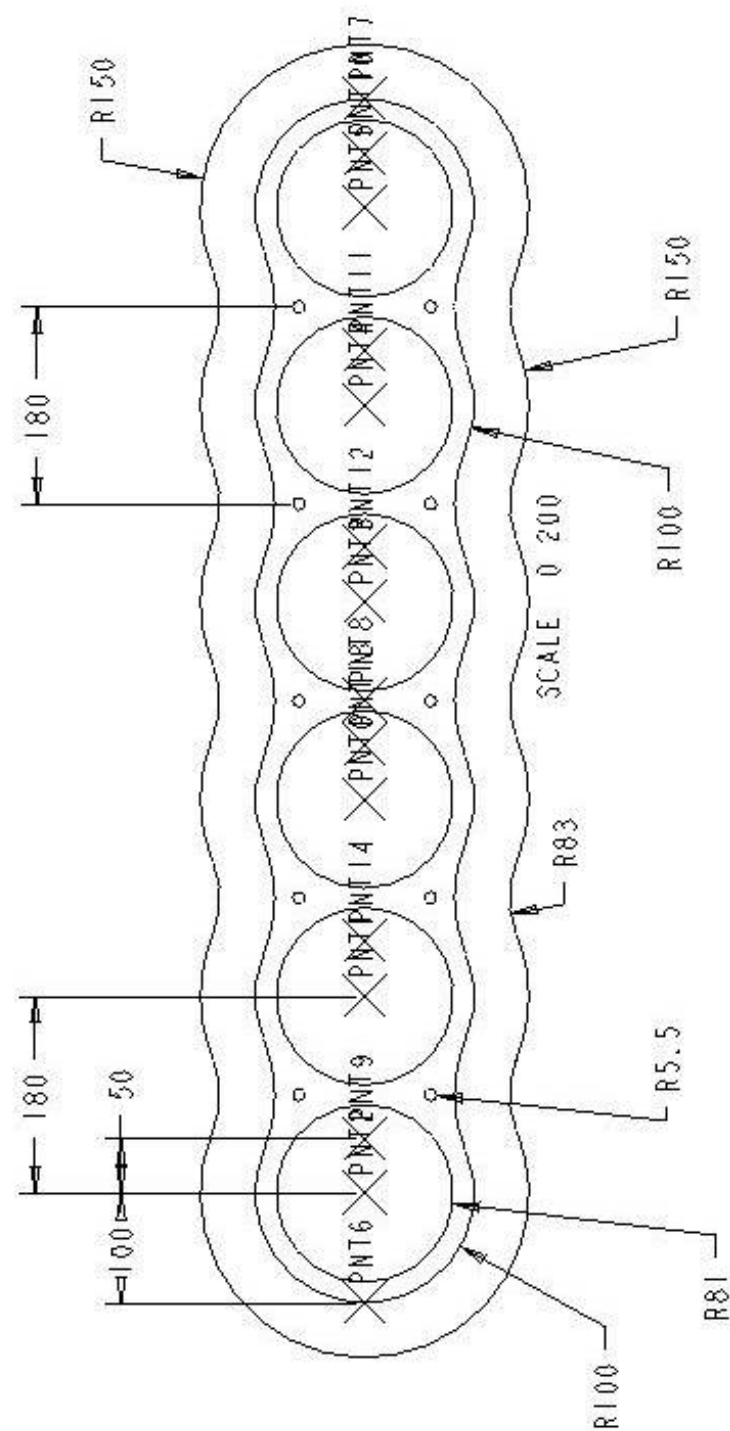


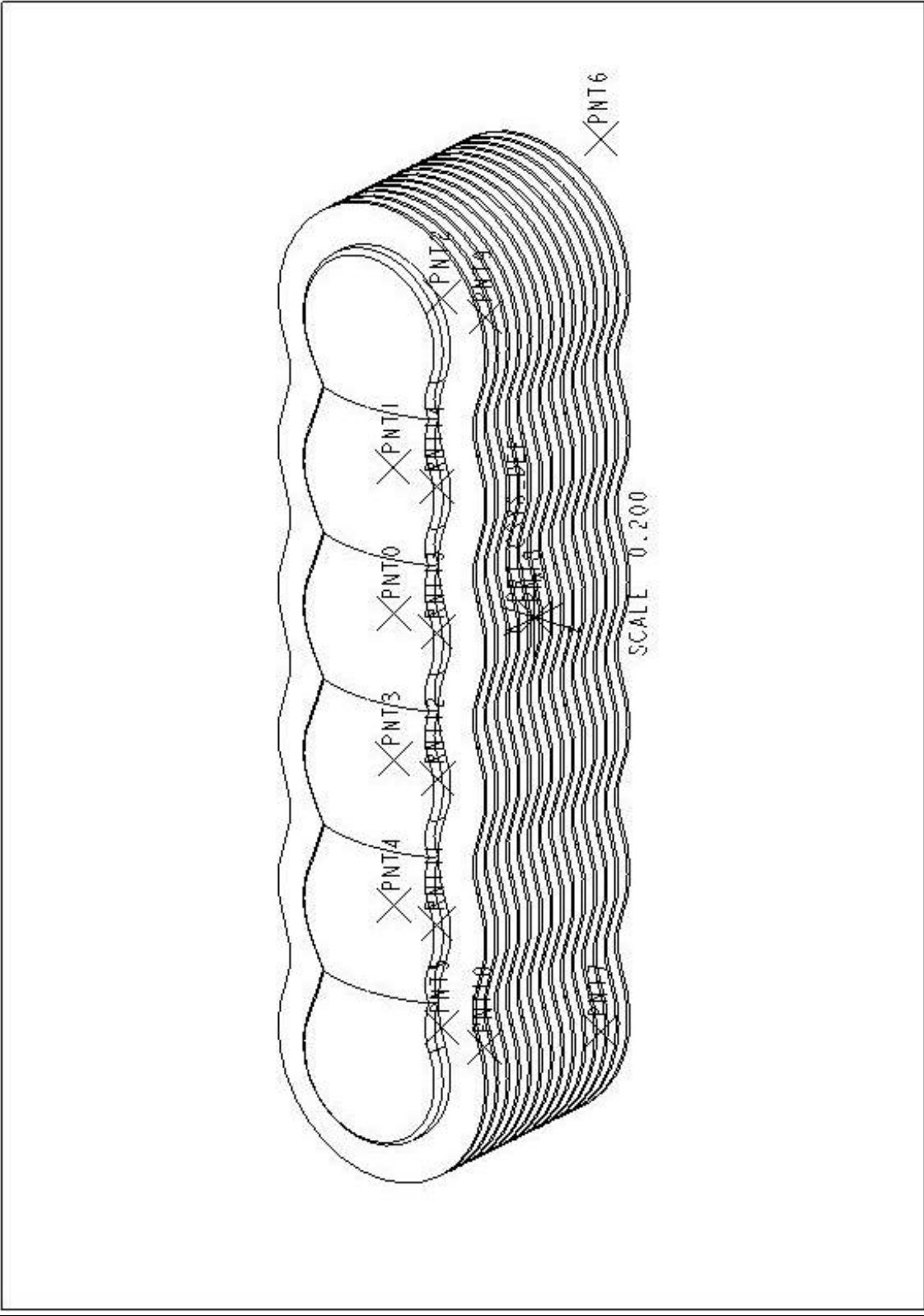


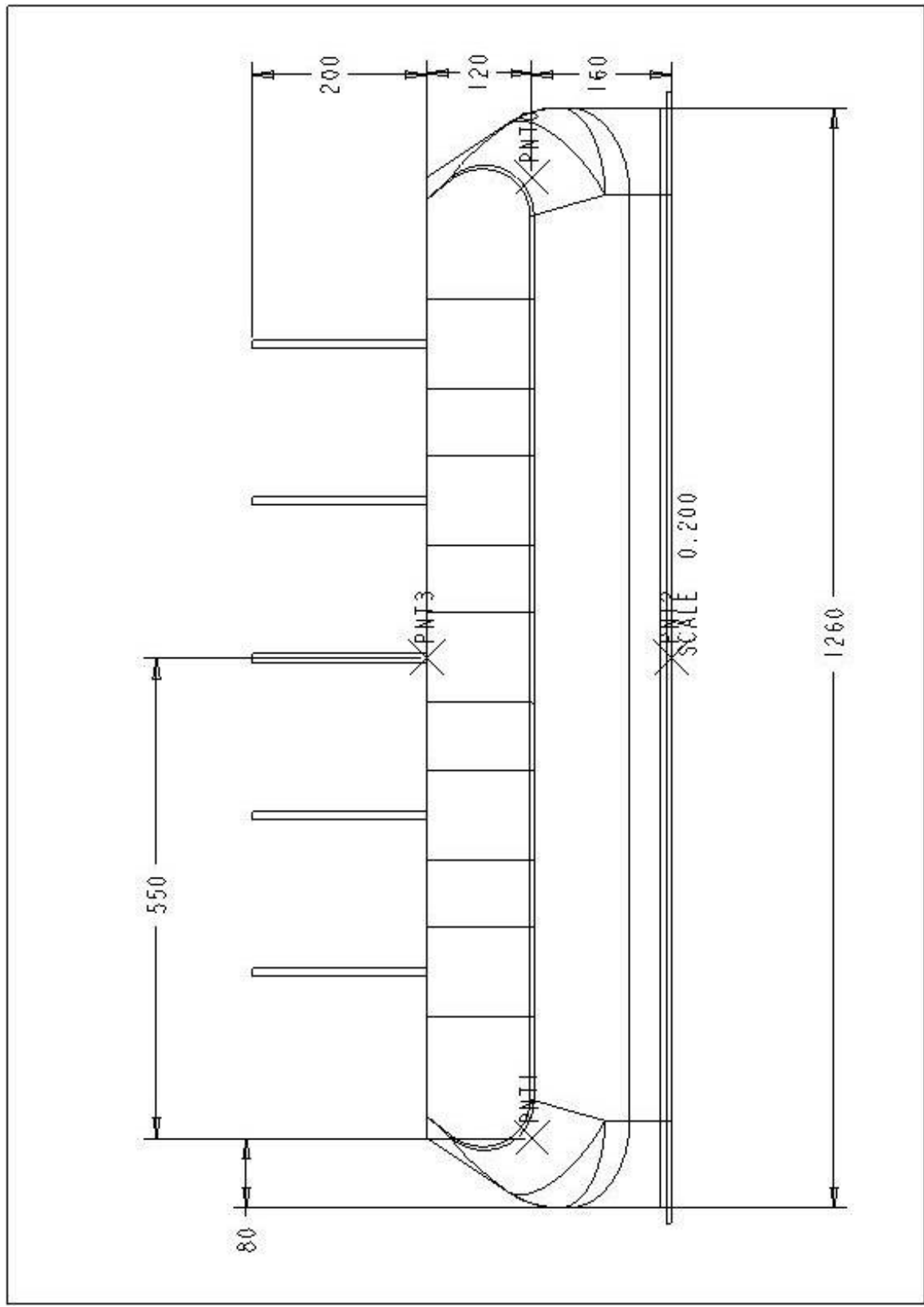


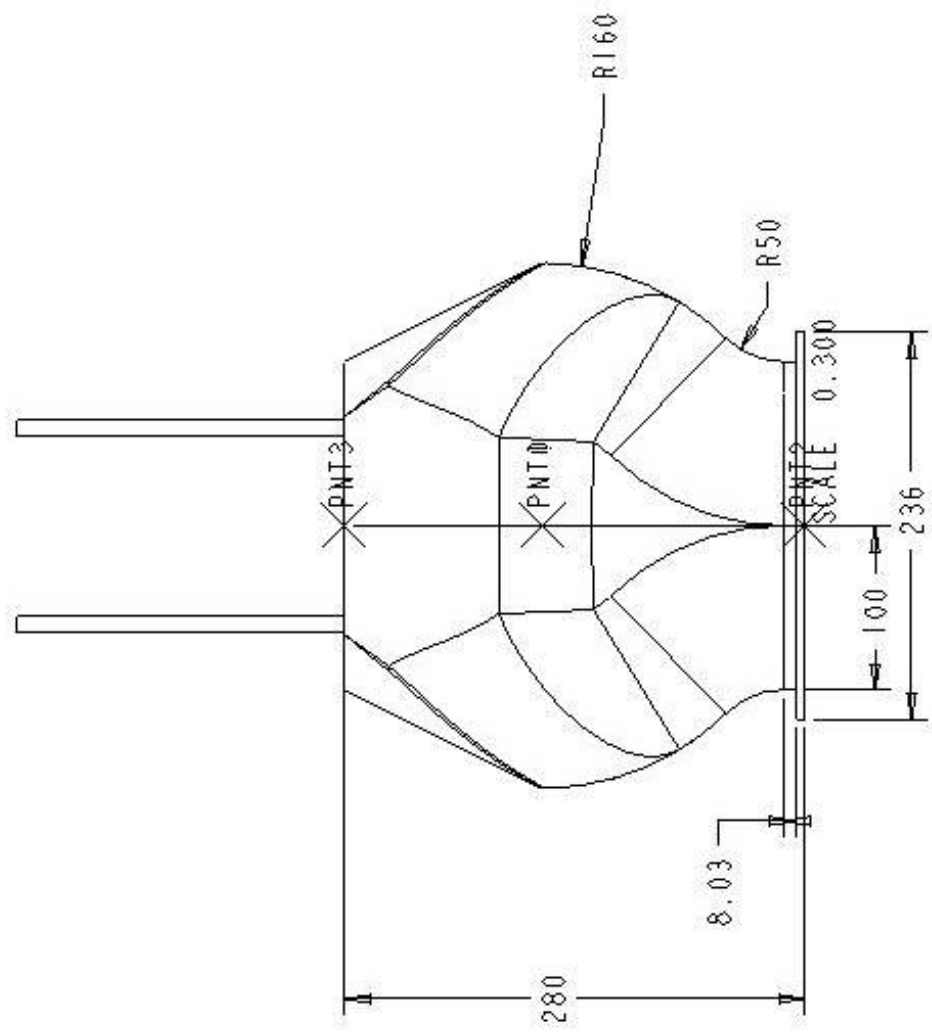


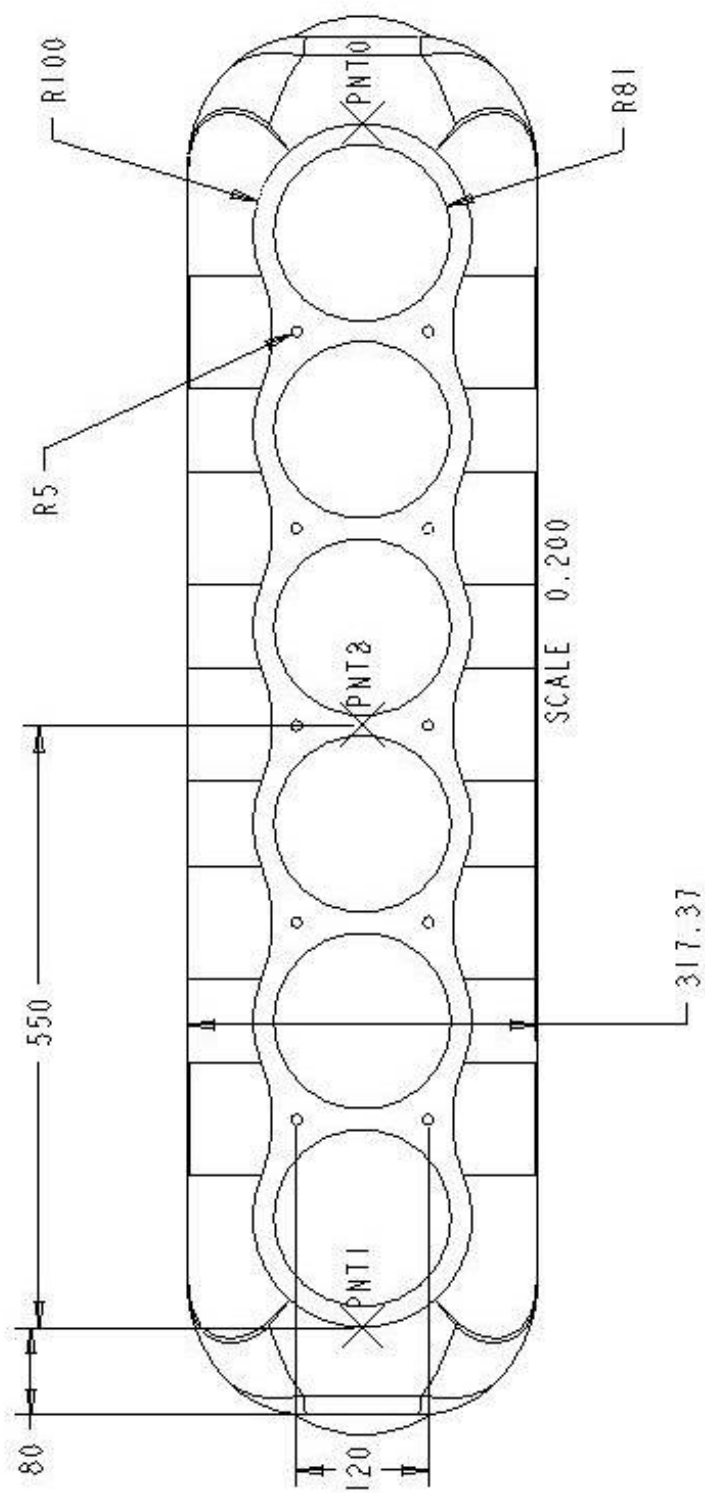


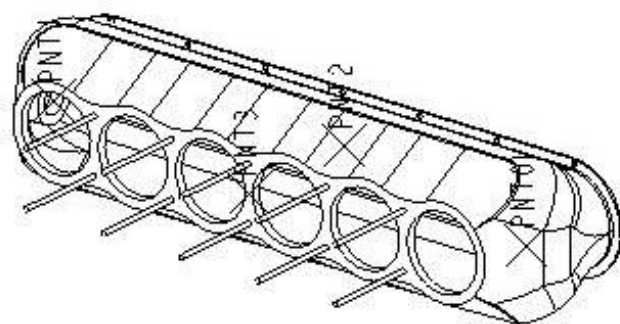




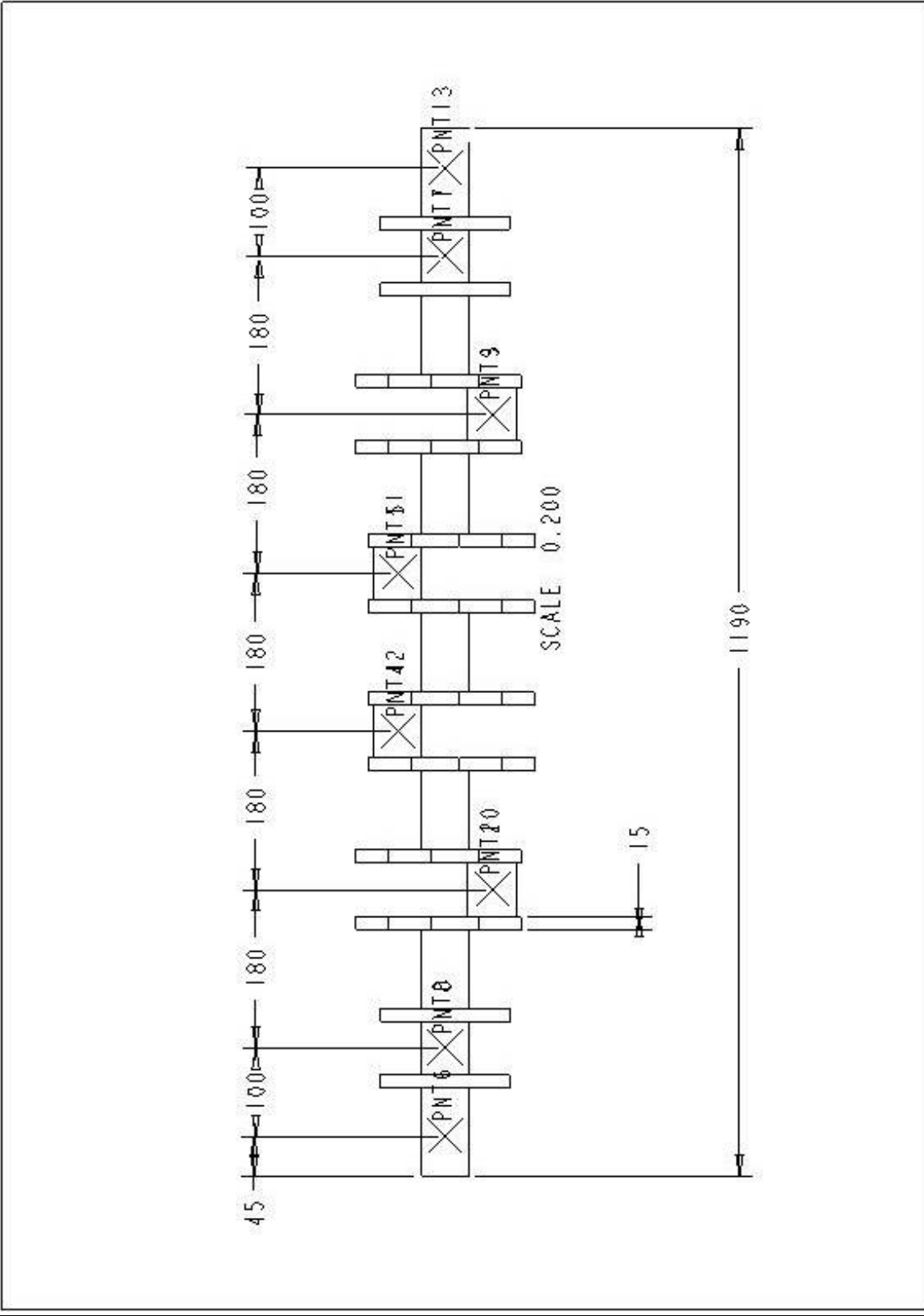


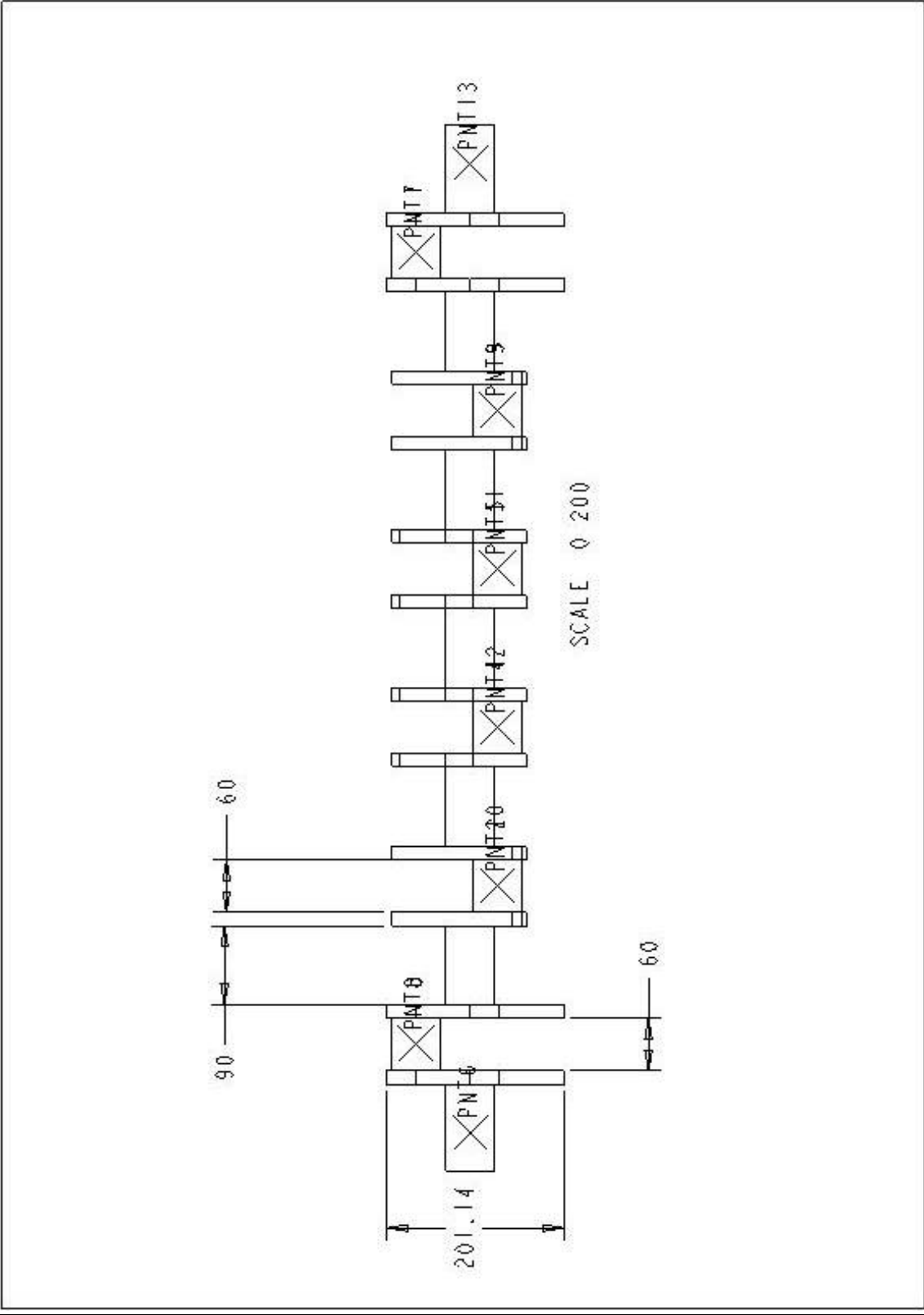


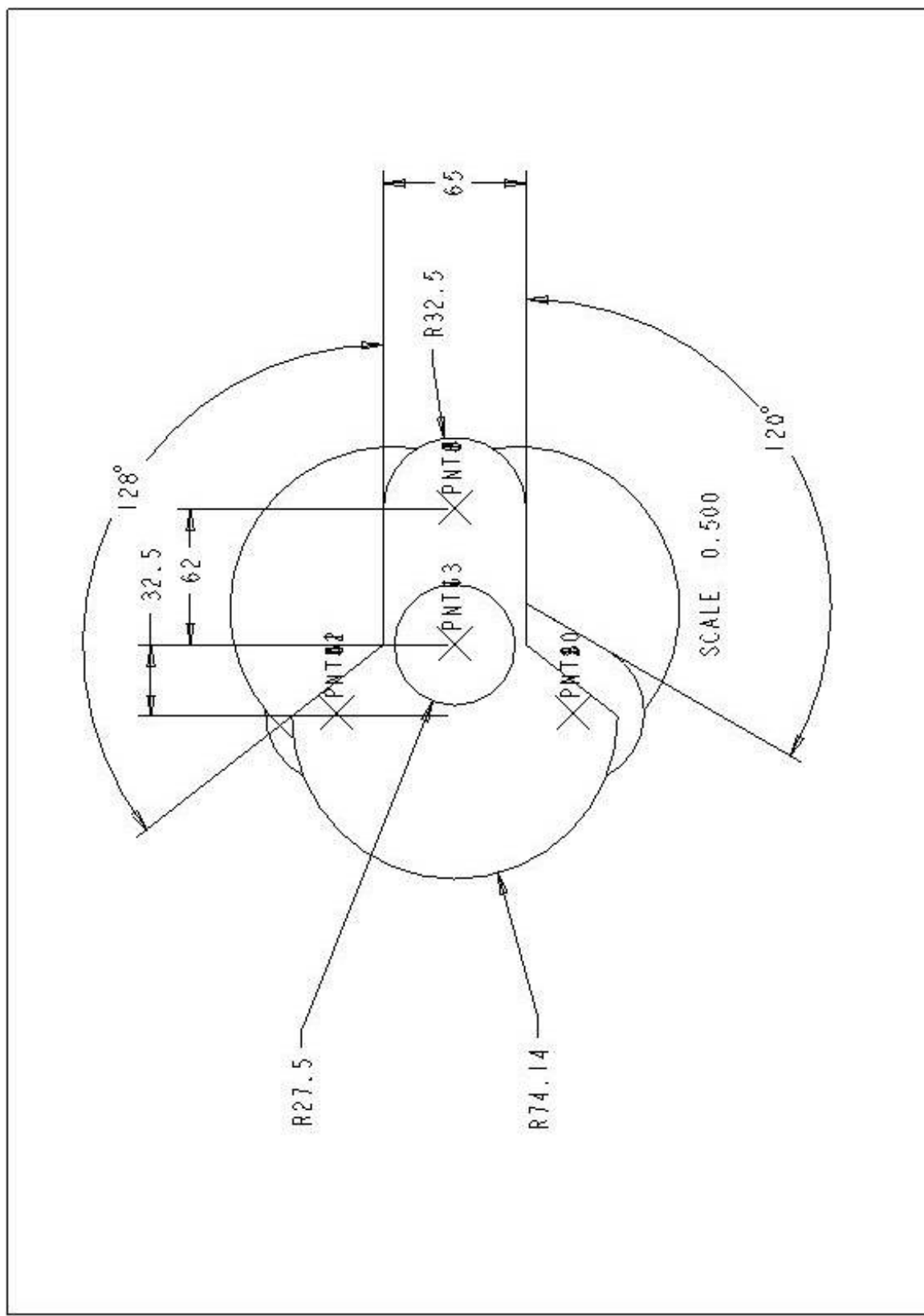


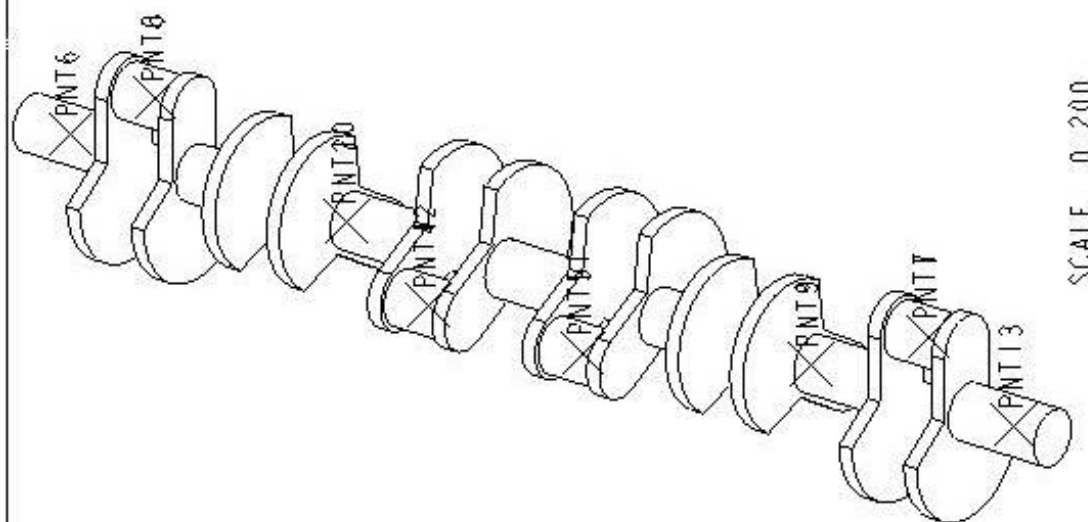


SCALE 0.100



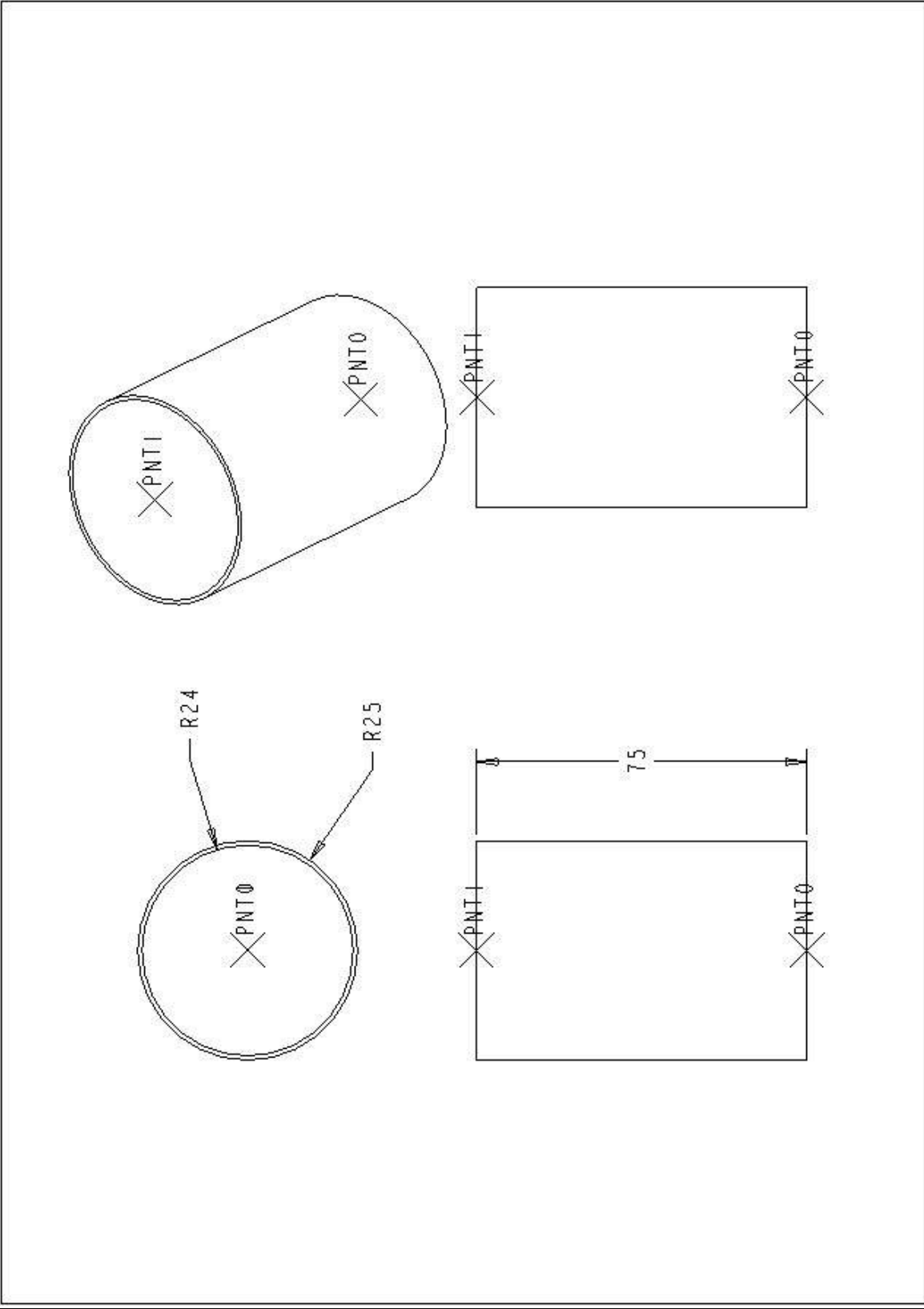


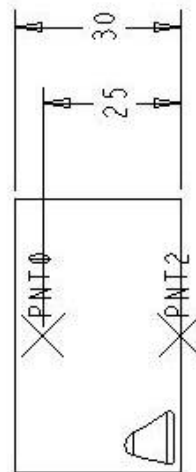
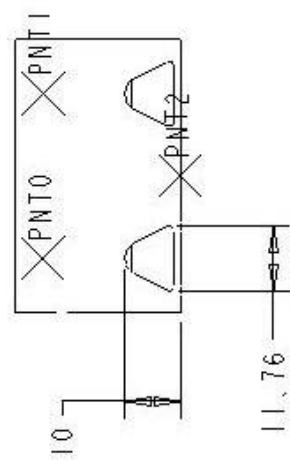
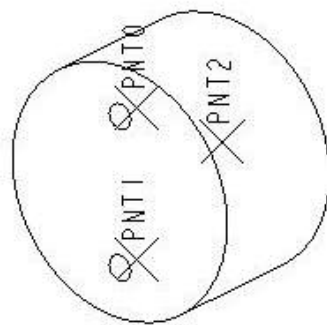
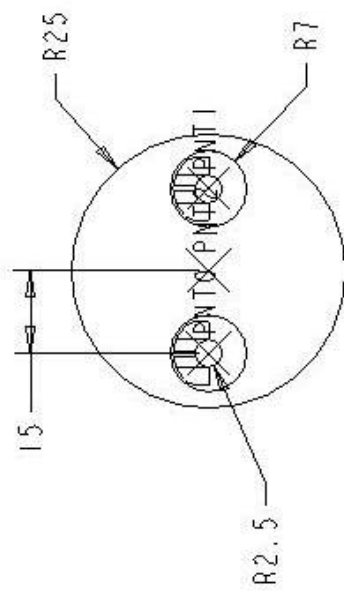


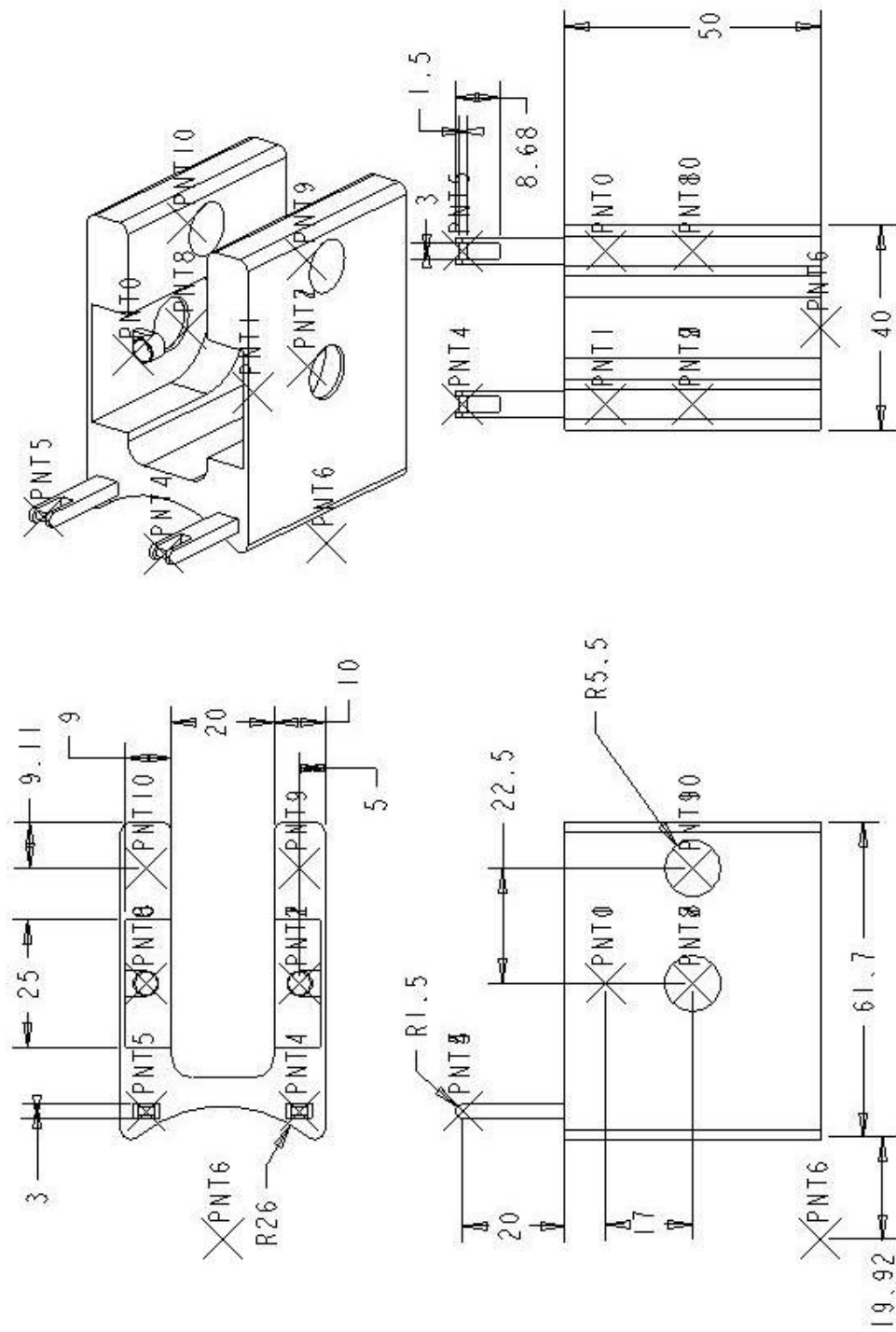


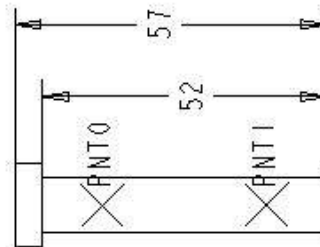
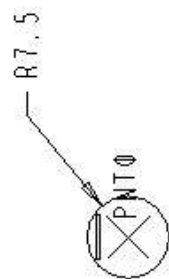
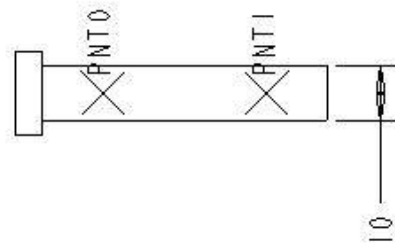
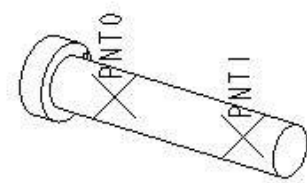
SCALE 0.200

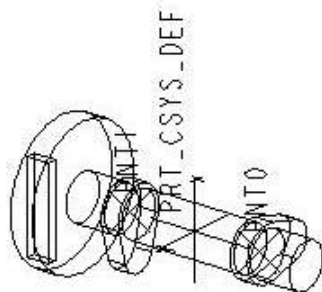
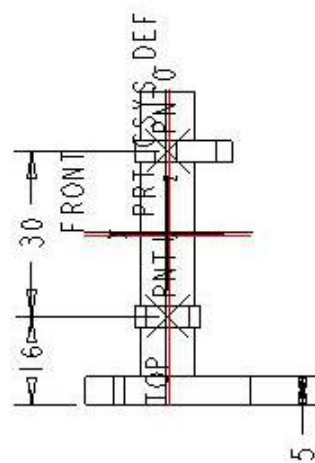
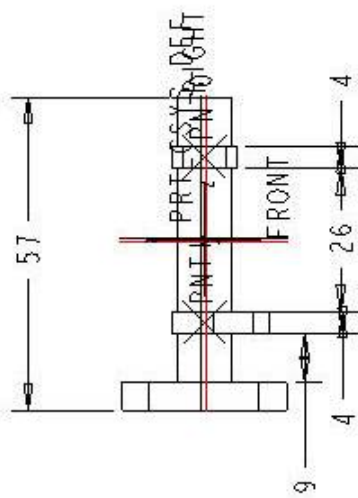
Μηχανισμός 2 (“Camshaft-Valves”)











SCALE 1.000

