

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Βελτίωση Χαρακτηριστικών Λειτουργίας Μηχανισμού
Με Χρήση

Παραμετρικού CAD/CAM/CAE Λογισμικού

Σπουδαστής : Βασιλείου Αναστάσιος

Επιβλέπων Καθηγητής : Πετούσης Μάρκος

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Εισαγωγή

1.	Σκοπός της εργασίας	4
2.	Δομή της εργασίας.....	4
3.	Περίληψη της εργασίας.....	5

Κεφάλαιο 1

Ενότητα 1.1	Εισαγωγή στα συστήματα CAD/CAM/CAE	9
Ενότητα 1.2	Ορισμός των συστημάτων CAD/CAM/CAE.....	12
Ενότητα 1.3	Η έννοια της Γεωμετρικής Μοντελοποίησης.....	14
Ενότητα 1.1	Η Στερεά Μοντελοποίηση.....	15
Ενότητα 1.4.1	Η Παραμετρική Μοντελοποίηση.....	17
Ενότητα 1.5	Μοντελοποίηση μηχανισμών.....	18
Ενότητα 1.6	Βελτιστοποίηση σχεδίασης (Design Optimization).....	20

Κεφάλαιο 2

Ενότητα 2.1	Το σχεδιαστικό λογισμικό Pro Engineer και τα βασικά του χαρακτηρισικά.....	23
Ενότητα 2.2	Το περιβάλλον εργασίας του Pro Engineer.....	26



Ενότητα 2.3	Το εργαλείο βελτιστοποίησης Behavioral Modeling	28
Ενότητα 2.3.1	Οι συνιστώσες λειτουργίας του Behavioral Modeling και πρακτικά παραδείγματα.....	29
Ενότητα 2.3.1.1	Datum Analysis Features.....	30
Ενότητα 2.3.1.2	Design Studies.....	44

Κεφάλαιο 3

Ενότητα 3.1	Ο Μηχανισμός της Γενεύης.....	57
Ενότητα 3.2	Βελτιστοποίηση του Μηχανισμού Γενεύης.....	59

Κεφάλαιο 4

Ενότητα 4.1	Συμπεράσματα και βιβλιογραφία.....	75
-------------	------------------------------------	----



ΕΙΣΑΓΩΓΗ

i) Σκοπός της εργασίας

Ο κύριος σκοπός της εργασίας είναι να παρουσιάσει το εξειδικευμένο εργαλείο μηχανικής ανάλυσης και βελτίωσης χαρακτηριστικών λειτουργίας, *Behavior Modeling*, του σχεδιαστικού λογισμικού *Pro Engineer* που ανήκει στην κατηγορία συστημάτων **CAD/CAM/CAE**, μέσω της ανάπτυξης παραδειγμάτων χρήσης των επιμέρους εργαλείου του λογισμικού.

Ακόμη θα παρουσιαστούν και τα οφέλη που επιφέρει η χρήση τέτοιων συστημάτων στο σύγχρονο μηχανικό, στη βιομηχανία, καθώς και για το καταναλωτικό κοινό που απαιτεί λειτουργικά και ασφαλή προϊόντα με χαμηλό κόστος αλλά και για την διατήρηση του ανταγωνισμού.

Ακόμη, επειδή συνήθως αρκετοί μηχανικοί συνδέουν τη μηχανική ανάλυση με την ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων (*FEM analysis*), θα πρέπει να γίνει εξ αρχής κατανοητό ότι :

Η μηχανική ανάλυση είναι η διαδικασία εκείνη που έχει ως στόχο τον σχεδιασμό μερών – εξαρτημάτων και την συναρμογή τους ώστε να ικανοποιούνται οι λειτουργικές τους απαιτήσεις, ενώ η ανάλυση με χρήση πεπερασμένων στοιχείων αφορά την μελέτη – διερεύνηση που επιβεβαιώνει τις απαιτήσεις για την δομική ακεραιότητα ενός μέρους - εξαρτήματος.

ii) Δομή της εργασίας

Η εργασία είναι έτσι δομημένη ώστε να υπάρχει μια ιεραρχική συνοχή από το γενικό στο ειδικό. Αρχικά, παρουσιάζεται το θεωρητικό μέρος (γενικό) που περιλαμβάνει ορισμούς και έννοιες όπως για παράδειγμα τι είναι τα συστήματα CAD/CAM/CAE, αλλά και τα υποσυστήματα που τα περιβάλλουν, τον ορισμό της παραμετρικής μοντελοποίησης, τι λογισμικό χρησιμοποιήθηκε και ολοκληρώνεται με την παρουσίαση και την χρήση (ειδικό μέρος) του εξειδικευμένου εργαλείου επίτευξης σχεδιαστικών στόχων, όπου διεξάγονται μελέτες σκοπιμότητας και βελτιστοποίησης.



ii) Περίληψη της εργασίας

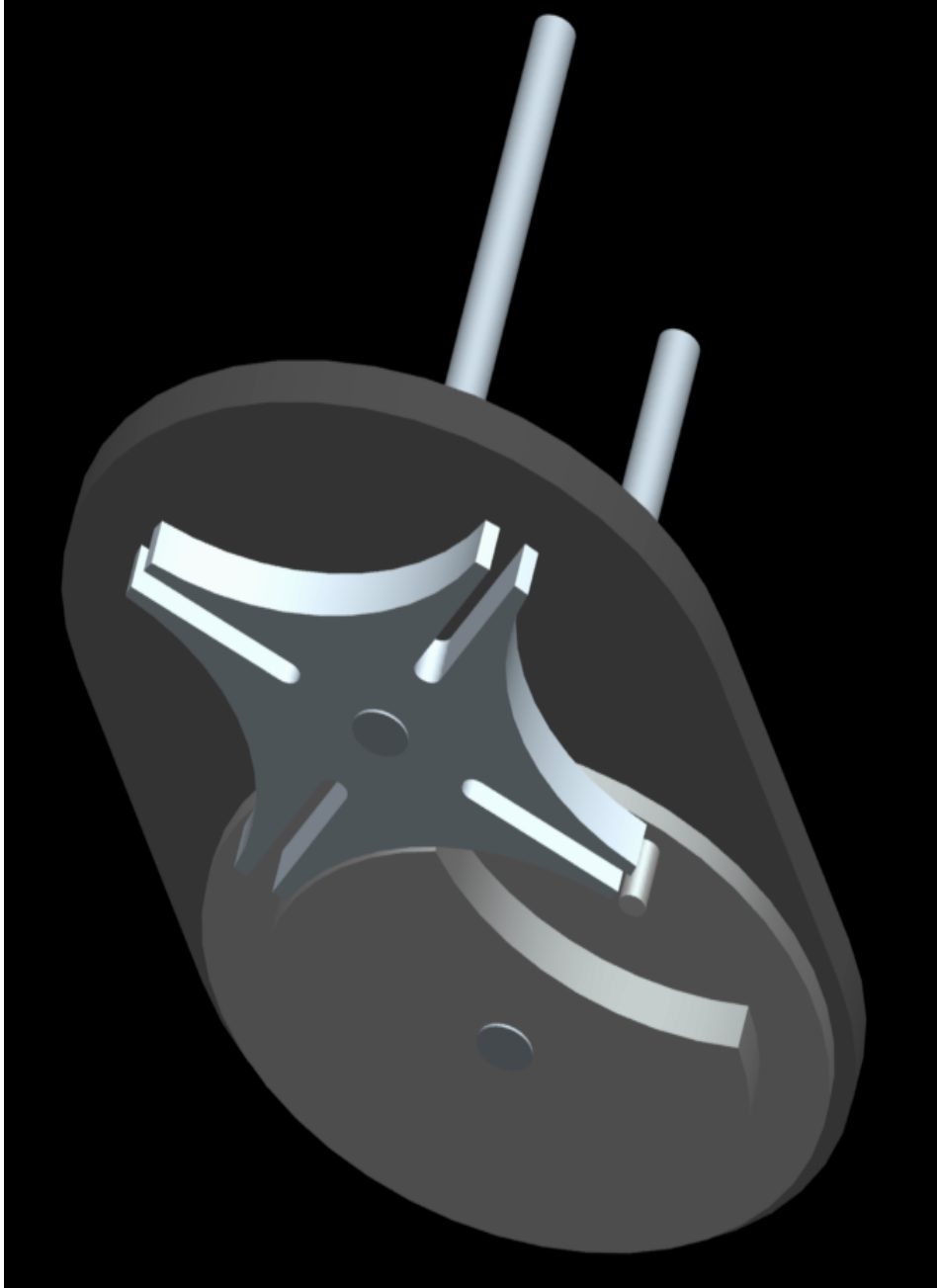
Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγική περιγραφή για το τι είναι τα συστήματα CAD/CAM/CAE και ποιος ο ρόλος τους στην διαδικασία παραγωγής ενός προϊόντος. Ακόμη γίνεται αναφορά σε έννοιες για την κατανόηση της εργασίας, όπως η *Γεωμετρική και Στερεά Μοντελοποίηση*, η *Μοντελοποίηση Μηχανισμών* και η *Βελτιστοποίηση*, όπως και κάποιες βασικές μαθηματικές έννοιες από τις οποίες διέπονται.

Εν συνεχεία, στο δεύτερο κεφάλαιο, παρουσιάζεται το λογισμικό ***Pro Engineer***, το περιβάλλον του και τα εργαλεία από τα οποία αποτελείται. Ένα από τα εργαλεία που αποτελείται, είναι και το εργαλείο βελτιστοποίησης ***Behavioral Modeling*** στο οποίο θα γίνει εκτενής αναφορά, ώστε να παρουσιαστούν όλα τα επιμέρους εργαλεία, μαζί με παραδείγματα εφαρμογών.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται η πρακτική εφαρμογή όλων των παραπάνω στο μηχανισμό της Γενεύης, με ταυτόχρονη παρουσίαση δισδιάστατων και τρισδιάστατων σχεδίων του μηχανισμού.

Ο μηχανισμός σχεδιάστηκε με προσεγγιστικές τιμές ώστε κατά τη φάση της βελτιστοποίησης να επιτευχθούν οι πλέον κατάλληλες, που διέπονται από τις ανάγκες και τους περιορισμούς του σχεδιαστή.





**Θα ήθελα να ευχαριστήσω
τον καθηγητή μου Δρ .Μάρκο Πετούση,
αλλά και τους γονείς μου
για την μεγάλη τους υπομονή**



“ Κάθε τέχνη και κάθε μέθοδος, όπως και κάθε εφαρμογή και προτίμηση, φαίνεται ότι αποσκοπεί σε κάποιο αγαθό, γι’ αυτό σωστά έχει υποστηριχθεί ότι το αγαθό είναι εκείνο στο οποίο αποσκοπούν όλα τα πράγματα ... όσες τώρα απ’ αυτού του είδους τις τεχνικές υπάγονται σε μια κύρια τέχνη – όπως ακριβώς στην τέχνη της ιππικής υπάγεται η χαλινοποιητική κατά τον ίδιο τρόπο και άλλες υπάγονται στη σφαίρα των άλλων. Σε όλες βέβαια, αυτές τις τέχνες, οι σκοποί των κύριων τεχνών είναι προτιμότεροι από εκείνους των υποδεέστερων διότι χάρις εκείνων επιδιώκονται και οι τελευταίοι αυτοί ”

Αριστοτέλους – Ηθικά Νικομάχεια, Βιβλίο Α

Ο Αριστοτέλης εξηγεί ότι κάθε ανθρώπινη δραστηριότητα έχει κάποιο σκοπό και ότι τα διάφορα είδη δραστηριοτήτων – οι διάφορες επιστήμες ή τέχνες ή συστηματικές δραστηριότητες – πρέπει να αξιολογούνται ανάλογα με την αξία και την πληρότητα των σκοπών στους οποίους στοχεύουν.

Στη σύγχρονη και απαιτητική εποχή θα ήταν δύσκολο να σχετιστεί οποιοδήποτε πρόβλημα είτε τεχνικής είτε θεωρητικής φύσης, με μία “τιμή” ή έναν αντικειμενικό στόχο. Γενικά, πολλαπλοί αντικειμενικοί στόχοι ή παράμετροι πρέπει να “συναντηθούν” ή να βελτιστοποιηθούν πριν οποιαδήποτε λύση θεωρηθεί επαρκής και τελική.

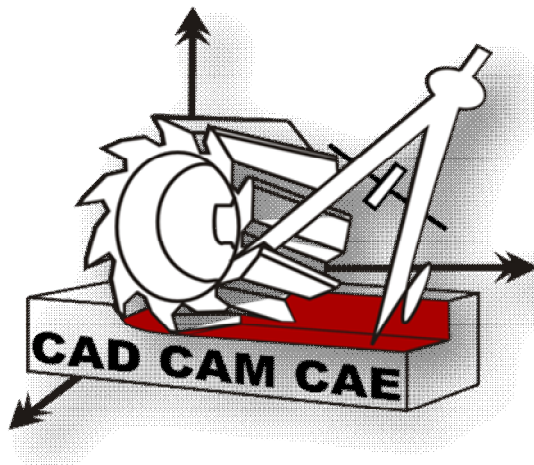


ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 Εισαγωγή στα συστήματα CAD/CAM/CAE

Μετά τις αλλαγές στην ισχύ των υπολογιστών και τη μεγάλη διαθεσιμότητα εργαλείων λογισμικού σχεδίασης και παραγωγής, οι τεχνικοί και οι μηχανικοί χρησιμοποιούν πλέον τα συστήματα **CAD/CAM/CAE** στις καθημερινές τους εργασίες και όχι απλώς για λόγους επίδειξης. Ο διεθνής ανταγωνισμός, η μειωμένη διαθεσιμότητα ειδικευμένων εργαζομένων και οι αυξανόμενες απαιτήσεις για υψηλή ποιότητα επιβάλλουν και στους κατασκευαστές την χρήση συστημάτων **CAD/CAM/CAE** για να αυτοματοποιήσουν τις διαδικασίες σχεδιασμού και παραγωγής.

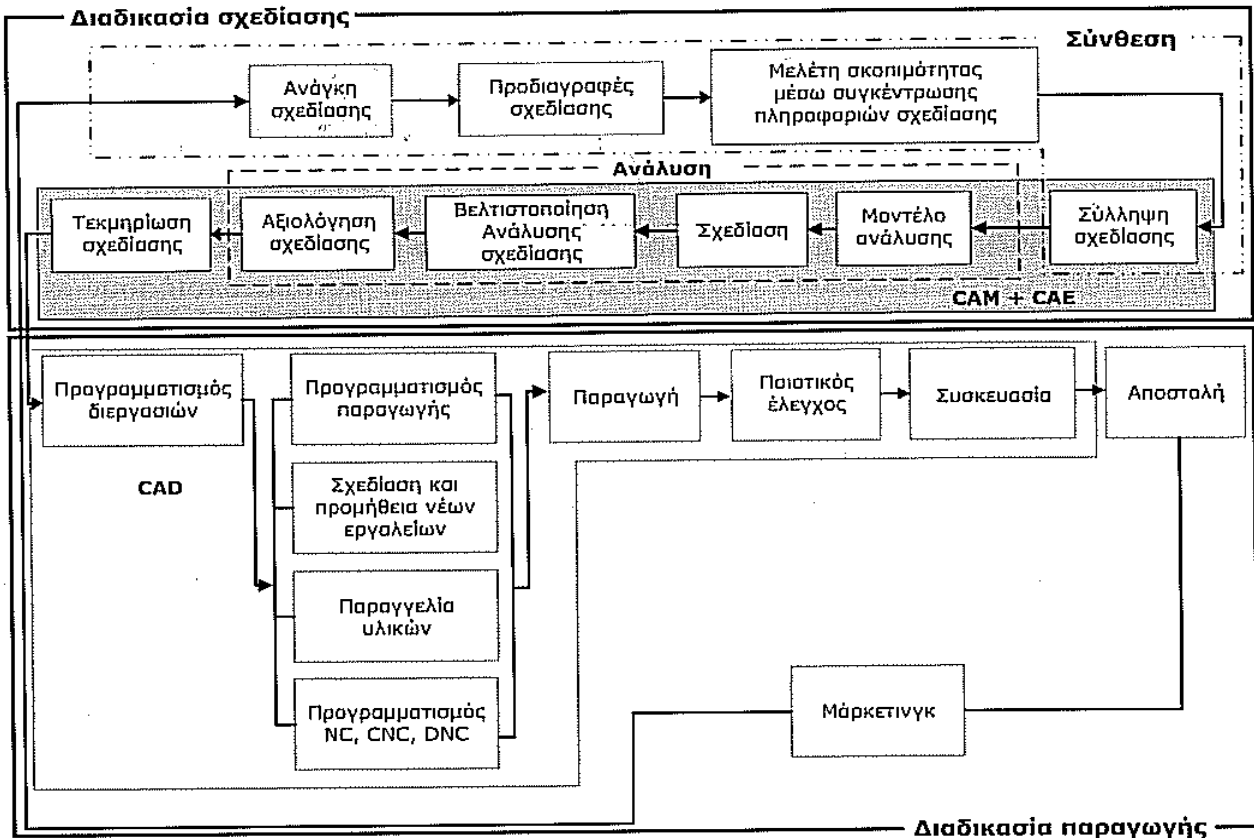
Οι σύγχρονες βιομηχανίες δεν θα μπορούσαν να επιβιώσουν μέσα στις συνθήκες του διεθνούς ανταγωνισμού, παρά μόνον εισάγοντας στην αγορά νέα προϊόντα καλύτερης ποιότητας, χαμηλότερου κόστους και με μικρότερο χρόνο παράδοσης. Σύμφωνα με τις απαιτήσεις προσπάθησαν να χρησιμοποιήσουν την τεράστια χωρητικότητα μνήμης, τη μεγάλη ταχύτητα επεξεργασίας και τις φιλικές προς το χρήστη δυνατότητες γραφικών των υπολογιστών για να αυτοματοποιήσουν και να συνδυάσουν τις κατά τα άλλα, κοπιαστικές και ξεχωριστές εργασίες μελέτης και παραγωγής, μειώνοντας έτσι τον χρόνο και το κόστος τις ανάπτυξης και της παραγωγής των προϊόντων.



Η **σχεδίαση με την βοήθεια υπολογιστή** (Computer Aided Design – **CAD**), η **βιομηχανική παραγωγή με την βοήθεια υπολογιστή** (Computer Aided Manufacturing – **CAM**) και η **τεχνική μελέτη με την βοήθεια υπολογιστή** (Computer Aided Engineering – **CAE**), είναι οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για τον σκοπό αυτόν κατά τον κύκλο του προϊόντος.

Για να γίνει αντιληπτός ο ρόλος αυτών των τεχνολογιών, πρέπει να εξεταστούν οι διάφορες δραστηριότητες που πρέπει να ολοκληρωθούν κατά την σχεδίαση και την παραγωγή ενός προϊόντος. Αυτές οι δραστηριότητες είναι ο γνωστός “κύκλος προϊόντος” και φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα ροής (Εικόνα 1):





Εικόνα 1 - Κύκλος Προϊόντος

Ο κύκλος προϊόντος απαρτίζεται από δύο κύριες κατηγορίες :

- α) την διαδικασία σχεδίασης και
- β) την διαδικασία βιομηχανικής παραγωγής

Η διαδικασία σχεδίασης ξεκινά από τις απαιτήσεις του πελάτη οι οποίες καταγράφονται από το τμήμα marketing και καταλήγει σε μία πλήρης περιγραφή του προϊόντος.

Η διαδικασία παραγωγής ξεκινάει από τις προδιαγραφές σχεδίασης και καταλήγει στο πραγματικό προϊόν.

Στην κατηγορία της διαδικασίας σχεδίασης οι δραστηριότητες που περιλαμβάνονται χωρίζονται σε δύο υποκατηγορίες : την **σύνθεση** και την **ανάλυση**. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα ροής οι πρώτες δραστηριότητες της σχεδίασης αποτελούν τμήμα της σύνθεσης το αποτέλεσμα της οποίας είναι ένα σχέδιο που δείχνει πως έχει αντιληφθεί το προϊόν ο σχεδιαστής. Σε αυτή την φάση του κύκλου αναλαμβάνονται οι βασικές οικονομικές δεσμεύσεις για την υλοποίηση του προϊόντος και προσδιορίζεται η λειτουργικότητά του.

Όταν ολοκληρωθεί η σύλληψη της σχεδίασης ξεκινά η υποκατηγορία με την ανάλυση και την βελτιστοποίηση. Η συγκεκριμένες διαδικασίες θα αναπτυχθούν εκτενέστερα στα επόμενα κεφάλαια (θεωρητικά αλλά και πρακτικά) διότι αποτελούν τις βάσεις του πονήματος.

Τυπικές αναλύσεις είναι η ανάλυση τάσεων για τον έλεγχο αντοχής της σχεδίασης (βλέπε **F.E.M Analysis**), ο έλεγχος της διεπιφάνειας για να εντοπιστούν οι συγκρούσεις μεταξύ των εξαρτημάτων καθώς αυτά κινούνται μέσα στη κατασκευή, η κινηματική ανάλυση για να ελεγχθεί κατά πόσο ένας μηχανισμός που θα χρησιμοποιηθεί θα παρέχει τις απαιτούμενες δυνατότητες κίνησης κ.α.

Με την ολοκλήρωση μιας σχεδίασης και τη βελτιστοποίηση ξεκινά η φάση αξιολόγησης και για τον σκοπό αυτό θα πρέπει να κατασκευαστούν πρωτότυπα. Η νέα τεχνολογία κατασκευής πρωτοτύπων **rapid prototyping** που γίνεται αρκετά δημοφιλής, επιτρέπει την κατασκευή τους με την απόθεση στρώσεων υλικού από την βάση προς την κορυφή. Έτσι είναι δυνατή η κατασκευή πρωτοτύπων απευθείας από το σχέδιο. Αν η αξιολόγηση της σχεδίασης για το πρωτότυπο δείξει ότι το σχέδιο δεν είναι ικανοποιητικό τότε η διαδικασία επαναλαμβάνεται με νέο σχέδιο.

Όταν το αποτέλεσμα της αξιολόγησης σχεδίασης είναι ικανοποιητικό προετοιμάζεται η τεκμηρίωση της σχεδίασης. Αυτή περιλαμβάνει την ετοιμασία σχεδίων, αναφορών και υπολογισμών κόστους υλικών.

Η διαδικασία παραγωγής ξεκινά με τον προγραμματισμό διεργασιών (process planning).

Ο προγραμματισμός διεργασιών είναι μια δραστηριότητα κατά την οποία καθορίζονται οι διεργασίες και οι κατάλληλες παράμετροι των διεργασιών που θα χρησιμοποιηθούν κι επιλέγονται οι μηχανές που θα πραγματοποιήσουν τις διεργασίες όπως π.χ. η μετατροπή μιας ακατέργαστης ράβδου στην τελική της μορφή που καθορίζεται από το σχέδιο.

Μετά την ολοκλήρωση του προγραμματισμού των διεργασιών παράγεται το τελικό προϊόν και ελέγχεται αν πληροί τις απαιτήσεις ποιότητας.

Ο ηλεκτρονικός υπολογιστής μπορεί να συμβάλει στην φάση σύλληψης του σχεδίου (μέσω λογισμικών – σχεδιαστικών πακέτων) παράγοντάς τα με φυσικό και αποδοτικό τρόπο.

Για τη εργασία αυτή μπορεί να αποδειχθεί χρήσιμη η δυνατότητα παραμετρικής μοντελοποίησης της παραγωγής σχεδίων ή της γεωμετρικής μοντελοποίησης που αποτελούν τυπικά πακέτα λογισμικού CAD. Ένα σύστημα γεωμετρικής μοντελοποίησης μπορεί να θεωρηθεί ως ένα τρισδιάστατο ισοδύναμο ενός συστήματος το οποίο μπορεί και χειρίζεται ένα σχήμα, αντί για μια δυσδιάστατη εικόνα.

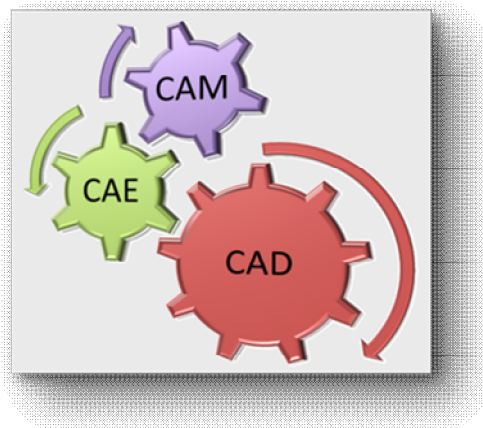
Η υποδιαδικασία ανάλυσης, της διαδικασίας σχεδίασης, είναι η περιοχή όπου η επεξεργαστική ικανότητα των υπολογιστών δείχνει την αξία της. Υπάρχουν πολλά διαθέσιμα λογισμικά στην αγορά π.χ. για ανάλυση τάσεων, τα οποία ταξινομούνται στην κατηγορία CAE. Ένα πρόβλημα με την χρήση τους είναι η παροχή ενός μοντέλου ανάλυσης. Δεν θα ήταν καθόλου πρόβλημα αν το αναλυτικό μοντέλο προέκυπτε απευθείας από την σύλληψη του σχεδίου, όμως προκύπτει μέσω απαλοιφής περιττών λεπτομερειών από το σχέδιο ή αφαίρεσης των διαστάσεων του. Επομένως είναι δύσκολο να αυτοματοποιηθεί η διαδικασία αφαίρεσης διότι εξαρτάται και από την ακρίβεια λύσης που θα είναι επιθυμητή για κάθε ξεχωριστή περίπτωση.



Η υποδιαδικασία της ανάλυσης μπορεί να ενσωματωθεί στον βρόχο βελτιστοποίησης ώστε να δοθεί η βέλτιστη σχεδίαση. Έχουν αναπτυχθεί διάφοροι αλγόριθμοι για την εύρεση της βέλτιστης λύσης και είναι διαθέσιμες πολλές διαδικασίες βελτιστοποίησης στο εμπόριο, οι οποίες μπορούν να θεωρηθούν ως ένα συστατικό των λογισμικών συστημάτων CAD.

1.2 Ορισμός των συστημάτων CAD/CAM/CAE

Η σχεδίαση με την βοήθεια υπολογιστή (Computer Aided Design - CAD) είναι η τεχνολογία που αφορά την χρήση συστημάτων υπολογιστών για την υποβοήθηση της δημιουργίας, της μετατροπής, και της βελτιστοποίησης της σχεδίασης. Επομένως οποιοδήποτε πρόγραμμα υπολογιστή το οποίο ενσωματώνει γραφικά και ένα πρόγραμμα εφαρμογής που διευκολύνει τις τεχνικές λειτουργίες στη διαδικασία σχεδίασης ταξινομείται ως λογισμικό CAD.

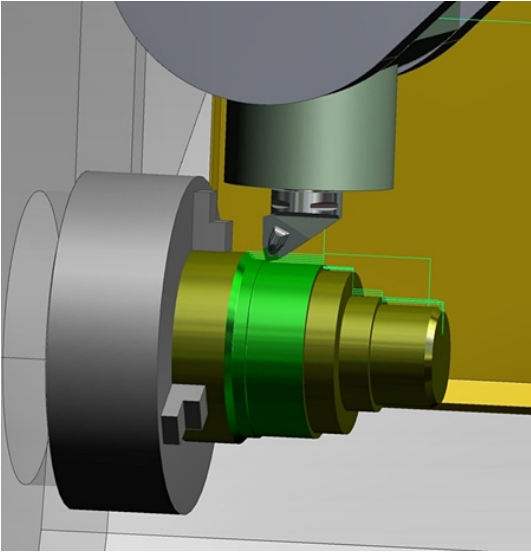


Ο βασικότερος ρόλος ενός συστήματος CAD είναι ο ορισμός της γεωμετρίας ενός σχεδίου – μηχανικού εξαρτήματος, ηλεκτρονικού κυκλώματος, διάταξης κτηρίου – επειδή η γεωμετρία του σχεδίου είναι ουσιώδης για όλες τις μετέπειτα δραστηριότητες και εφαρμογές στον κύκλο του προϊόντος.

Στα τυπικά εργαλεία CAD που είναι διαθέσιμα σήμερα συμπεριλαμβάνονται μεταξύ άλλων, εργαλεία ανάλυσης ανοχών, υπολογισμών ιδιοτήτων μάζας, ανάλυση κίνησης ενός μηχανισμού, οπτικής παρουσίασης αποτελεσμάτων και πολλά άλλα.

Επιπροσθέτως η γεωμετρία που παράγουν τα συστήματα αυτά μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βάση για την εκτέλεση άλλων λειτουργιών CAM και CAE.

Αυτό είναι ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα του CAD επειδή μπορεί να επιφέρει μεγάλη οικονομία χρόνου και να μειώσει τα σφάλματα που προκαλούνται από την ανάγκη επαναπροσδιορισμού της γεωμετρίας από την αρχή κάθε φορά που χρειάζεται.



Η τεχνολογία CAM (Computer Aided Manufacturing) αφορά στην χρήση συστημάτων υπολογιστών για τον προγραμματισμό, την διαχείριση και τον έλεγχο των λειτουργιών της παραγωγής μέσω διασύνδεσης του υπολογιστή – άμεσης ή έμμεσης – με τους πόρους παραγωγής του εργοστασίου. Ένας από τους πιο ώριμους τομείς είναι ο αριθμητικός έλεγχος NC - (Numerical Control) ο οποίος είναι η τεχνική χρήσης εντολών προγράμματος για τον έλεγχο μιας εργαλειομηχανής η οποία τροχίζει, κόβει, φρεζάρει, τρυπάει ή γενικώς μετατρέπει ακατέργαστα υλικά σε ένα ολοκληρωμένο εξάρτημα (Εικόνα 2).

Εικόνα 2 - Προσομοίωση Κατεργασίας

Μια άλλη σημαντική λειτουργία του CAM είναι ο προγραμματισμός ρομπότ, τα οποία μπορεί να λειτουργούν σε μια διάταξη κυψελών (work cell) επιλέγοντας και τοποθετώντας στις κατάλληλες θέσεις εργαλεία και κομμάτια προς κατεργασία για μηχανές NC.

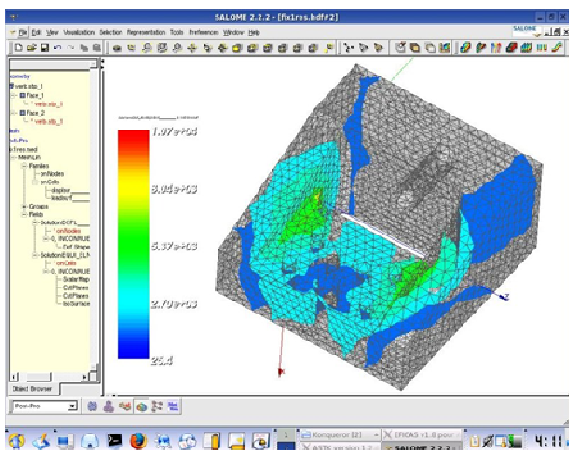
Ακόμη τα ρομπότ μπορούν να εκτελούν μεμονωμένες εργασίες όπως η συγκόλληση, η συναρμολόγηση, η μεταφορά εξοπλισμού στο χώρο του εργοστασίου.

Άλλος ένας τομέας που δραστηριοποιούνται τα συστήματα CAM είναι ο προγραμματισμός των διεργασιών (process plan) όπου μπορεί να προσδιοριστεί η αναλυτική ακολουθία των βημάτων της παραγωγής που απαιτούνται για την συναρμολόγηση ενός εξαρτήματος από την αρχή μέχρι το τέλος καθώς αυτό μετακινείται από σταθμούς εργασίας στο χώρο του εργοστασίου.

Η τεχνολογία CAE (Computer Aided Engineering) – *τεχνική μελέτη με τη βοήθεια υπολογιστή* - αφορά την χρήση υπολογιστικών συστημάτων για την ανάλυση της γεωμετρίας του CAD, δίνοντας στο σχεδιαστή τη δυνατότητα να προσομοιώσει και να μελετήσει την συμπεριφορά του προϊόντος με στόχο την τελειοποίηση και την βελτιστοποίηση του σχεδίου. Τα εργαλεία CAE είναι διαθέσιμα σε μια μεγάλη ποικιλία τύπων ανάλυσης. Για παράδειγμα, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε προγράμματα κινηματικής για προσδιορισμό της κίνησης μιας τροχιάς, τις ταχύτητες συνδέσμων μηχανισμών, δυναμικής ανάλυσης μετατοπίσεων, για προσδιορισμό φορτίων σε πολύπλοκους μηχανισμούς.

Μια σημαντική και διαδεδομένη μέθοδος ανάλυσης είναι αυτή των πεπερασμένων στοιχείων (FEM – Finite Element Method) που χρησιμοποιείται για τη ανάλυση τάσεων, μεταφοράς θερμότητας, παραμορφώσεων, ροής ρευστών και άλλων προβλημάτων των οποίων η λύση με άλλες μεθόδους δεν θα ήταν πρακτική. Στην ανάλυση αυτή, η κατασκευή αναπαρίσταται ένα αναλυτικό μοντέλο που αποτελείται από αλληλοσυνδεδεμένα στοιχεία τα οποία διαιρούν το πρόβλημα σε τεμάχια που μπορεί να χειριστεί ο υπολογιστής. Μετά την ανάλυση κάθε στοιχείου, ο υπολογιστής συγκεντρώνει τα αποτελέσματα και τα εμφανίζει με οπτικό τρόπο.





Εικόνα 3 - Οπτική Απεικόνιση Αποτελεσμάτων Ανάλυσης

Οι περιοχές υψηλής τάσης απεικονίζονται με χρώμα κόκκινο π.χ και οι περιοχές χαμηλής τάσης με μπλε (Εικόνα 3). Υπάρχουν επίσης πολλά διαθέσιμα εργαλεία λογισμικού για την βελτιστοποίηση της σχεδίασης. Αν και τα εργαλεία αυτά μπορούν να θεωρηθούν εργαλεία CAE, συνήθως δεν ταξινομούνται στην κατηγορία αυτή αλλά σε δική τους. Στην παρούσα εργασία που χρησιμοποιείται το λογισμικό Pro Engineering, θα παρουσιαστεί αναλυτικώς το εργαλείο Behavior Modeler το οποίο είναι ταξινομημένο στην κατηγορία CAE.

Τα αποτελέσματα των μεθόδων ανάλυσης απεικονίζονται με γραφικές παραστάσεις ή και ακόμη με τον ίδιο ακριβώς τρόπο όπως περιγράφηκαν τα παραπάνω, με μόνη διαφορά που την θέση των τάσεων θα πάρουν η καμπυλότητα, η επιφάνεια, ο όγκος και άλλα γεωμετρικά χαρακτηριστικά.

Το καλό με την ανάλυση και την βελτιστοποίηση της σχεδίασης είναι ότι επιτρέπει στον μηχανικό να διαπιστώσει πως θα συμπεριφερθεί το προϊόν και του δίνει την δυνατότητα να εντοπίζει τυχόν λάθη πριν αφιερώσει τον κόπο και τον χρόνο να κατασκευάσει και να δοκιμάσει πραγματικά πρότυπα. Λόγω του ότι το κόστος των τεχνικών μελετών ανεβαίνει κατακόρυφα στα τελευταία στάδια της ανάπτυξης και της παραγωγής των προϊόντων, η σε πρώιμο στάδιο βελτιστοποίηση και τελειοποίηση που παρέχει η ανάλυση CAE αποδίδει επειδή μειώνει σε μεγάλο βαθμό τον χρόνο και το κόστος ανάπτυξης των προϊόντων.

1.3 Η Έννοια Της Γεωμετρικής Μοντελοποίησης (Geometric Modeling)

Η γεωμετρική μοντελοποίηση είναι ένα παρακλάδι των εφαρμοσμένων μαθηματικών και της υπολογιστικής γεωμετρίας που μελετά μεθόδους και αλγόριθμους για την μαθηματική περιγραφή των σχημάτων. Τα σχήματα που μελετά η γεωμετρική μοντελοποίηση είναι δισδιάστατα ή τρισδιάστατα. Στα συστήματα CAD είναι κυρίως στις τρεις διαστάσεις, έτσι λοιπόν παράγονται τρισδιάστατα ηλεκτρονικά μοντέλα στην θέση των φυσικών.

Ένα τυπικό λογισμικό CAD μπορεί να χωριστεί σε δύο ομάδες, εκ των οποίων η μία περιέχει το σύστημα παραγωγής σχεδίων που δίδει στο σχεδιαστή να υλοποιήσει την ιδέα σε ένα σχήμα δύο διαστάσεων και η άλλη ομάδα, είναι το σύστημα γεωμετρικής μοντελοποίησης όπου ο σχεδιαστής μπορεί να χειριστεί σχήματα στις τρεις διαστάσεις.



Για να γίνει καλύτερα αντιληπτό το πώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα σύστημα γεωμετρικής μοντελοποίησης, παρατίθεται ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα δανειζόμενο από το βιβλίο του Ιάπωνα συγγραφέα Lee (βλέπε βιβλιογραφία).

“ Ας φανταστούμε ένα παιδί που παίζει με πλαστελίνη προσπαθώντας να φτιάξει ένα σχήμα. Το παιδί προχωρεί προς το τελικό σχήμα παραμορφώνοντας και μερικές φορές, αφαιρώντας ή προσθέτοντας κομμάτια πλαστελίνης.

Η διαδικασία αυτή μπορεί να θεωρηθεί ως διαδικασία σχεδίασης, επειδή περιλαμβάνει προθήκη λεπτομερειών σε ένα σχήμα, καθώς εξελίσσεται η ιδέα σχεδίασης που έχει στο μυαλό του. Στην πραγματικότητα, το παιδί αφοσιώνεται τελείως στο σχεδιασμό χωρίς να έχει καθόλου γνώσεις τεχνικού σχεδίου και ούτε καν μολύβι και χαρτί. Αν τώρα θέλει να δώσει σε άλλους το τελικό προϊόν, φερ’ ειπείν για κατασκευή πρωτοτύπου ή μαζική παραγωγή, μπορεί απλά να τους δώσει το τελικό μοντέλο (προϊόν) από το οποίο μπορούν να εξαχθούν όλες οι απαραίτητες πληροφορίες”.

Η ανάπτυξη γεωμετρικών μοντέλων έλυσε τα προβλήματα που προκαλεί η χρήση φυσικών μοντέλων στη διαδικασία σχεδίασης, επειδή παρέχουν στο χρήστη παρόμοιο περιβάλλον με αυτό της δημιουργίας και χειρισμού του πραγματικού – φυσικού μοντέλου.

Έτσι, δίδεται στο χρήστη η δυνατότητα να αφαιρεί, να προσθέτει και να παραμορφώνει το ηλεκτρονικό μοντέλο όπως έκανε το παιδί στον «φυσικό κόσμο» με την πλαστελίνη.

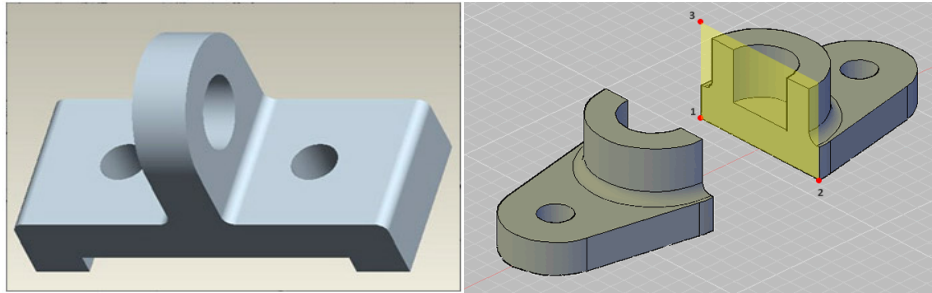
Τα συστήματα γεωμετρικής μοντελοποίησης αποτελούνται από τα συστήματα

- α) μοντελοποίησης δικτυώματος - ακμών** (wireframe modeling),
- β) μοντελοποίησης επιφάνειας** (surface modeling)
- γ) μη πολλαπλής μοντελοποίησης** (nonmanifold modeling) και
- δ) στερεάς μοντελοποίησης** (solid modeling).

1.4 Η Στερεά Μοντελοποίηση (Solid Modeling)

Η λέξη “στερεά” μας δίδει από μόνη της, την έννοια για το τι είναι αυτό το σύστημα . Πρόκειται για την μαθηματική περιγραφή της ψηφιακής αναπαράστασης ενός φυσικού αντικειμένου το οποίο έχει κλειστό όγκο. Οι λειτουργίες δημιουργίας στερεού μοντέλου είναι διαφορετικές από αυτές που εφαρμόζονται στα μοντέλα ακμών ή στα μοντέλα επιφανειών. Επειδή σε ένα στερεό μοντέλο έχουμε την ταξινόμηση του χώρου - σε αντίθεση με τα μοντέλα επιφανειών που αναγνωρίζουν το φλοιό του αντικειμένου – μπορεί να καταταχθεί ένα σημείο του χώρου ως εσωτερικό, εξωτερικό ή επάνω στο στερεό.



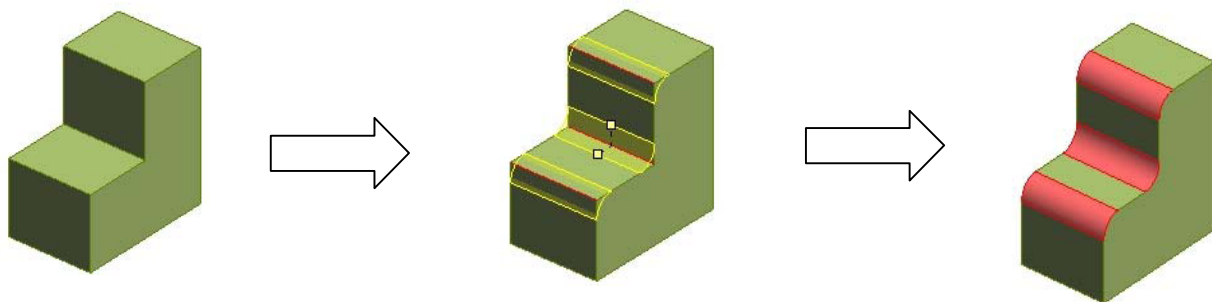


Εικόνα 4 - Στερεά Μοντέλα

Ακόμη, τα στερεά μοντέλα παρέχουν πλήρη, έγκυρη και αναμφίβολη αναπαράσταση των αντικειμένων (Εικόνα 4), που επιτυγχάνεται με την καταχώρηση τόσο των γεωμετρικών στοιχείων όσο και των πληροφοριών τοπολογίας. Τα στοιχεία τοπολογίας είναι κορυφές, ακμές, βρόγχοι, έδρες, κελύφη και στερεά, που αποτελούν ένα αντικείμενο. Στην βάση δεδομένων τοπολογίας καταχωρούνται οι πληροφορίες που αφορούν τις σχέσεις (σύνδεση και γειτνίαση) μεταξύ αυτών των στοιχείων.

Η ακριβής οπτική πιστότητα ή (όπως την ονομάζουν οι σχεδιαστές) φωτορεαλισμός, η δυνατότητα να δώσει έναν κλειστό όγκο, η χρήση και η εξοικείωση με το σύστημα είναι πιο εύκολη, είναι κάποια τα από προτερήματα της στερεάς μοντελοποίησης έναντι των υπολοίπων συστημάτων. Αυτό οφείλεται στο ότι μπορεί να εξαχθούν πληροφορίες για τον άμεσο υπολογισμό των ογκομετρικών ιδιοτήτων ενός αντικειμένου από την μαθηματική περιγραφή του - ή και ακόμη, την καλύτερη κατανόηση του αντικειμένου από αισθητικής απόψεως. Η μάζα, ο όγκος, το κέντρο βάρους - νευραλγικής σημασίας δεδομένα για την μηχανική ανάλυση και την ανάλυση της συμπεριφοράς - είναι κάποιες απ' τις ογκομετρικές ιδιότητες.

Όσο αναφορά τον σχεδιασμό, η διαδικασίες προσθήκης λεπτομερειών σε ένα σχήμα γίνονται με απλό τρόπο, ώστε ο χρήστης να μπορεί να το χειριστεί όπως θα έκανε στο φυσικό μοντέλο. Οι λειτουργίες μοντελοποίησης, όπως οι λογικές πράξεις (Boolean) - προσθήκη ή αφαίρεση υλικού - η ανύψωση (lifting), η μοντελοποίηση ορίων (boundary), η στρογγύλευση (rounding) (Εικόνα 5) είναι ουσιαστικά συναρτήσεις οι οποίες χρησιμοποιούνται για την δημιουργία ενός απλού σχήματος και την τροποποίησή του.

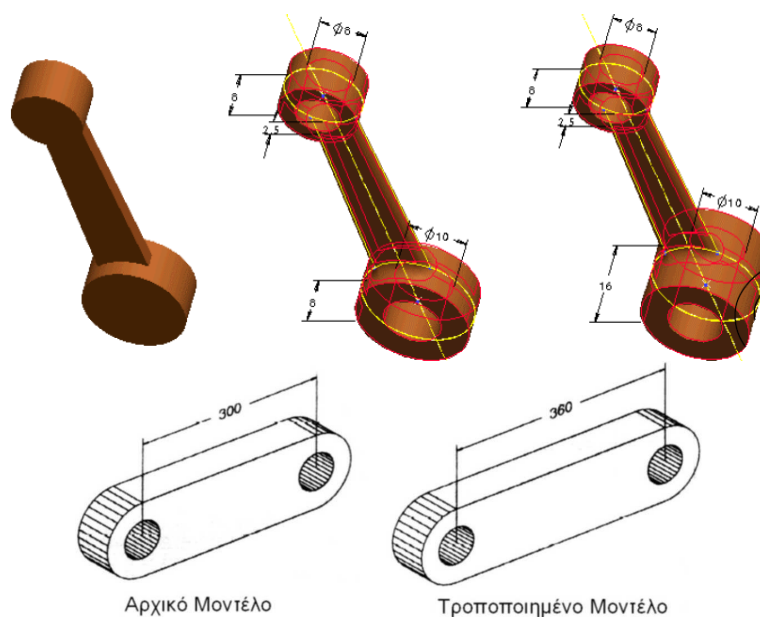


Εικόνα 5 - Rounding

Τα περισσότερα εργαλεία στερεάς μοντελοποίησης, υποστηρίζουν “γεωμετρικούς περιορισμούς” (geometric constraints). Οι γεωμετρικοί περιορισμοί αφορούν τις σχέσεις μεταξύ στοιχείων του σχήματος όπως, η καθετότητα μεταξύ δύο γραμμών, η συνθήκη εφαπτομένης μεταξύ γειτονικών τόξων και ευθυγράμμων τμημάτων κ.α, ώστε να οριστεί για παράδειγμα μία κλειστή περιοχή χωρίς να χρειαστεί ο χρήστης να καθορίσει άμεσα το σχήμα. Η αλλαγή λοιπόν των γεωμετρικών περιορισμών και τις τιμές των διαστάσεων θα “δώσει” μία διαφορετική κλειστή περιοχή και κατ’ επέκταση ένα διαφορετικό στερεό. Επειδή αλλάζουν οι παράμετροι και παράγονται διαφορετικά στερεά, η προσέγγιση αυτή ονομάζεται *παραμετρική μοντελοποίηση* (parametric modeling).

1.4.1 Παραμετρική Μοντελοποίηση (Parametric Modeling)

Η παραμετρική μοντελοποίηση εμφανίστηκε το 1987 από την εταιρεία Parametric Technology και από τότε όλοι οι προμηθευτές προσπαθούν να παρουσιάσουν ένα αντίστοιχο προϊόν. Τον Ιανουάριο 1994 υπήρχαν επτά αντίστοιχα συστήματα και η τάση είναι να αυξάνονται συνέχεια. Η σημερινή τάση στα συστήματα μηχανολογικής σχεδίασης είναι τα παραμετρικά μοντέλα με τη χρήση μορφολογικών χαρακτηριστικών ή μορφολογικών γνωρισμάτων (*features*).



Εικόνα 6 - Χαρακτηριστικά Παραδείγματα Παραμετρικής Σχεδίασης

Η μοντελοποίηση με **βάση τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα** (feature - based modeling) αποτελεί μία σημαντική ομάδα συναρτήσεων, που επιτρέπει στον χρήστη να δημιουργεί στερεά μοντέλα με την χρήση γνωστών μονάδων σχημάτων όπως π.χ ο κύκλος, η ευθεία γραμμή, το τετράγωνο, η καμπύλη κ.α.

Το στερεό που θα δημιουργηθεί θα περιέχει πληροφορίες σχετικές με τα σχήματα αλλά και τις σχετικές τους οντότητες όπως είναι οι ακμές, οι έδρες και οι κορυφές.

Ο χρήστης θα μπορεί να χρησιμοποιεί εντολές όπως “δημιούργησε μία οπή σε αυτή τη θέση και με αυτή τη διατομή”. Οι μονάδες σχημάτων είναι τα **features**. Έτσι λοιπόν, ένα στερεό μπορεί να αποτελείται από ένα ή περισσότερα features.

Η παραμετρική μοντελοποίηση δίνει μεγάλες δυνατότητες στον χρήστη του προγράμματος, ο οποίος μπορεί να σχεδιάζει ελεύθερος, γνωρίζοντας ότι μπορεί ανά πάσα στιγμή να κάνει ριζικές αλλαγές. Ακόμη ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει πολλές εναλλακτικές σχεδιάσεις χωρίς να απασχολείται με τις λεπτομέρειες των στοιχείων του σχήματος και να επικεντρωθεί στις λειτουργικές απόψεις της σχεδίασης.

Επειδή η παραμετρική μοντελοποίηση είναι βασισμένη σε features και πλήρη επικοινωνία μεταξύ τους, επιτρέπει στις αλλαγές που γίνονται σε οποιοδήποτε στάδιο της ανάπτυξης του προϊόντος να μεταδίδονται σε όλο το σχέδιο.

Αυτού του τύπου η σχεδίαση, χρησιμοποιείται από τις περισσότερες βιομηχανίες, και ένας από τους βασικούς λόγους είναι ότι παρέχει ακριβείς αναπαραστάσεις της γεωμετρίας και ιδιότητες μάζας. Παρέχει πλήρη προσδιορισμό του προϊόντος, δίνοντας ολοκληρωμένα και ακριβή αποτελέσματα για το προϊόν, για παράδειγμα, στην κατεργασία, στην ανάλυση όπως και στις απαιτήσεις των υλικών και της μηχανικής.

1.5 Μοντελοποίηση Μηχανισμών

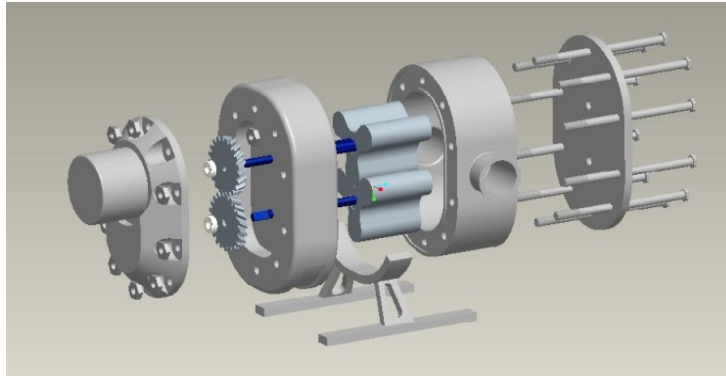
Στις αρχές της δεκαετίας του 1990 η αυξανόμενη ανάγκη για συνεργατικές τεχνικές μελέτες στη βιομηχανία ήταν η κύρια ώθηση για την ανάπτυξη δυνατοτήτων σχεδίασης μηχανισμών (**assembly design**). Οι δυνατότητες αυτές παρακολουθούν με ακρίβεια τα εξαρτήματα και τις μεταξύ τους σχέσεις ώστε οι χρήστες να μπορούν να δημιουργούν γεωμετρικές εξαρτημάτων που να συνεργάζονται αρμονικά μεταξύ τους.

Τα συστήματα μοντελοποίησης μηχανισμών παρέχουν μια λογική δομή για την ομαδοποίηση και την οργάνωση εξαρτημάτων σε μηχανισμούς. Η δομή αυτή δίνει στο χρήστη την δυνατότητα να προσδιορίζει τα μεμονωμένα εξαρτήματα, να παρακολουθεί τα σχετικά με ένα εξάρτημα δεδομένα και να διατηρεί τις σχέσεις μεταξύ τους.

Οι συνθήκες συναρμογής προσδιορίζουν τον τρόπο σύνδεσης του εξαρτήματος με τα υπόλοιπα εξαρτήματα π.χ, δύο κυλινδρικές έδρες που είναι ομοαξονικές, δύο επίπεδες έδρες που εφάπτονται κ.α (Εικόνα 7).



Ακόμη, τα συστήματα μοντελοποίησης μηχανισμών δίνουν την δυνατότητα στο χρήστη να δημιουργήσει παραμετρικούς περιορισμούς μεταξύ των εξαρτημάτων, απελευθερώνοντάς τον από την ανάγκη καταχωρήσει πάλι γεωμετρικά δεδομένα στις θέσεις διασύνδεσης.



Εικόνα 7 - Αναπαράσταση Μηχανισμού

Οι σχέσεις περιορισμών μεταξύ εξαρτημάτων είναι χρήσιμες ειδικά όταν ο μηχανισμός εξαρτάται από πολλές κρίσιμες διαστάσεις, έτσι ο σχεδιαστής θα χρειαστεί να αλλάξει μόνο τις κρίσιμες διαστάσεις διότι το σύστημα θα φροντίσει να αλλαχτούν και οι υπόλοιπες (σχετικές διαστάσεις). Αυτή η μεγάλη δυνατότητα μπορεί επίσης να διαδώσει μια πλήρη αλλαγή όπως για παράδειγμα αν αλλάξει η διάμετρος ενός άξονα, να ενημερωθεί και το μέγεθος της οπής στην οποία συνδέεται. Με αυτές τις ισχυρές δυνατότητες γίνεται οικονομία χρόνου επειδή ο σχεδιαστής δεν θα χρειάζεται να τροποποιεί ολόκληρο το μηχανισμό.

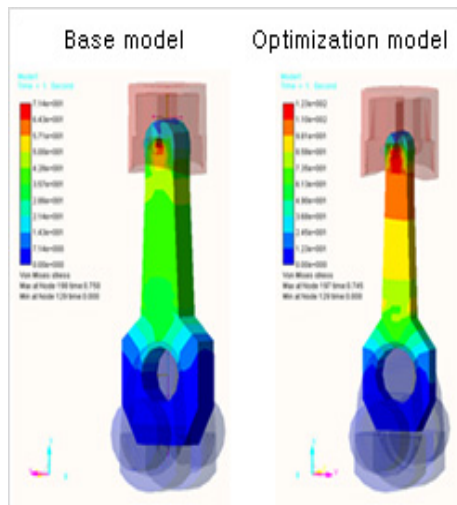
Το Pro Engineer στην βασική του έκδοση, μας παρέχει την δυνατότητα μοντελοποίησης μηχανισμού με την μορφή της υπομονάδας **Assembly**, η οποία παράγει ένα διαφορετικό αρχείο (.asm) από αυτό του σχεδιασμού (.prt) στο οποίο γίνονται οι απαραίτητες συναρμολογήσεις.

Τα περισσότερα συστήματα γεωμετρικής μοντελοποίησης δεν έχουν πρόβλημα να χειριστούν ένα μηχανισμό με εκατοντάδες εξαρτήματα. Όμως, η επεξεργασία μεγάλων μηχανισμών με χιλιάδες εξαρτήματα είναι πιο δύσκολη και η απόδοση του συστήματος εξαρτάται από τον αριθμό των λειτουργιών των υπομηχανισμών και των εξαρτημάτων.

Το πλήθος των εξαρτημάτων που περιέχει ένας μηχανισμός και οι πολύπλοκες δυνατότητες των εξαρτημάτων “γονατίζουν” πολλά συστήματα, μειώνοντας σε μεγάλο βαθμό την απόδοσή τους και δυσκολεύοντας την εύρεση και την επεξεργασία πληροφοριών και δεδομένων που μπορεί να εξάγει.

Αυτός ήταν ένας σημαντικός λόγος που στην συγκεκριμένη εργασία έγινε η επιλογή ενός απλού μηχανισμού προς μοντελοποίηση και βελτιστοποίηση, που αποτελείται από λίγα εξαρτήματα - και κατ' επέκταση κινούμενα μέρη - ώστε να γίνει πιο εύκολα διαχειρίσιμος και να διευκολυνθεί και η ανάδειξη του εργαλείου βελτιστοποίησης Behavior Modeler, που είναι και η ουσία της εργασίας αυτής.

1.6 Βελτιστοποίηση Σχεδίασης (Design Optimization)



Εικόνα 8 – Βελτιστοποίηση Σχεδίασης

Η βελτιστοποίηση σχεδίασης είναι το αντικείμενο αυτό που χρησιμοποιεί τεχνικές βελτιστοποίησης ώστε να επιτύχει σχεδιαστικούς στόχους. Ο όρος της διαδικασίας βελτιστοποίησης με την γενική της έννοια (στην ορολογία **πάντα** των σχεδιαστών) μπορεί να ερμηνευθεί ως ολόκληρη η διαδικασία σχεδίασης, από την οποία παράγονται διάφορα εναλλακτικά σχέδια από τα οποία επιλέγεται ένα συγκεκριμένο. Συνήθως όμως η βελτιστοποίηση δεν χρησιμοποιείται για την επιλογή μίας από πολλές εναλλακτικές προτάσεις π.χ ενός εξαρτήματος, αντί αυτού χρησιμοποιείται για την επιλογή του βέλτιστου π.χ μεγέθους του εξαρτήματος.

Δίνεται έτσι να νοηθεί ότι η βελτιστοποίηση αποτελεί τμήμα της διαδικασίας σχεδίασης και όχι το σύνολο.

Στην διαδικασία βελτιστοποίησης θα πρέπει να παραμετροποιηθεί μία σχεδίαση ώστε να παρθούν οι εναλλακτικές της, αλλάζοντας τις τιμές των παραμέτρων αναζητώντας τις βέλτιστες. Αν για παράδειγμα χρειαστεί να σχεδιαστεί ένα κυλινδρικό δοχείο πίεσης, οι παράμετροι θα μπορούσαν να ήταν η διάμετρος, το ύψος του, και του υλικό που είναι κατασκευασμένο.

Τα πιθανά εναλλακτικά σχέδια που θα παράγονταν θα είχαν διαφορετικές τιμές παραμέτρων για κάθε σχεδίαση. Ανάλογα όμως τις ανάγκες του χρήστη, κάποιες παράμετροι μπορεί να μην διαθέτουν κανένα “βαθμό ελευθερίας” εξαιτίας ενός περιορισμού, π.χ συγκεκριμένο ύψος για λόγους χωροταξίας, οπότε θα πρέπει προσαρμοστεί η σχεδίαση “παίζοντας” με τις υπόλοιπες παραμέτρους ώστε να επιτευχθεί καλύτερη “απόδοση” ή να βελτιστοποιηθεί για βέλτιστη απόδοση.

Ένα “μέτρο απόδοσης” θα μπορούσε να ήταν η μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση προς το βάρος. Έτσι λοιπόν, θα μπορούσε να ελιχθεί η σχεδίαση με τα υπόλοιπα δεδομένα (ύψος, υλικό κατασκευής, διάμετρος) που θα παίζουν το ρόλο των *μεταβλητών βελτιστοποίησης* κατά την διαδικασία σχεδιασμού. Η μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση προς το βάρος λοιπόν, θα είναι συνάρτηση των παραμέτρων σχεδίασης.

Η μαθηματική περιγραφή θα ήταν η εξής : Θέτουμε τις μεταβλητές βελτιστοποίησης με \mathbf{X} το οποίο είναι ένα (δοκιμαστικό) διάνυσμα με n διαστάσεις, που διαθέτει n μεταβλητές βελτιστοποίησης ως συνιστώσες του, και την συνάρτηση με $F(\mathbf{X})$ που θα ελαχιστοποιείται ή θα μεγιστοποιείται.

Επειδή το πρόβλημα της βελτιστοποίησης ομολογουμένως δεν είναι τόσο απλό λόγο του ότι δεν μπορούν να αναπαρασταθούν με μία μόνο συνάρτηση, θα πρέπει να αναθεωρηθεί η προηγούμενη σχέση με μια πιο σύνθετη. Για παράδειγμα, αντί να ελαχιστοποιηθεί ταυτόχρονα η επιτρεπόμενη πίεση ανά μονάδα βάρους και ο εσωτερικός όγκος του δοχείου, μπορεί απλά να μεγιστοποιηθεί ο προηγούμενος λόγος με μόνη διαφορά να τεθεί ο περιορισμός ότι ο όγκος δεν θα υπερβαίνει μία δεδομένη τιμή. Σε αυτή την περίπτωση οι περιορισμοί θα πρέπει να συμπεριληφθούν στη μαθηματική βελτιστοποίηση.

Μία σχεδίαση που ικανοποιεί όλες τις παραπάνω απαιτήσεις λέγεται εφικτή σχεδίαση (*feasible*) και στην παρούσα εργασία θα παρουσιαστεί εφαρμογή της υπό την μορφή της *feasibility study (μελέτη σκοπιμότητας)* που παρέχει το Pro Engineer μέσω του εργαλείου βελτιστοποίησης που θα εξεταστεί.

Λαμβάνοντας υπόψη όλους αυτούς τους περιορισμούς η απλή μαθηματική απόδοση της βελτιστοποίησης διατυπώνεται ως εξής :

$$X^* \in R^n \quad \text{ώστε} \quad F(X^*) = \min F(X) \quad (1)$$

με την προϋπόθεση

$$X_l \leq X^* \leq X_u \quad (2)$$

$$G_i(X^*) \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

και

$$H_j(X^*) = 0 \quad j = 1, 2, \dots, q \quad (4)$$

όπου m πλήθος των περιορισμών μη ισότητας και q το πλήθος των περιορισμών ισότητας. Το σύμβολο μη ισότητας μπορεί να αντιστραφεί, αν αντιστραφούν τα G_i . Το R^n συμβολίζει το χώρο σχεδίασης που δημιουργείται από την μεταβολή κάθε μίας από τις n μεταβλητές βελτιστοποίησης. Οι τοπικοί περιορισμοί στις μεταβλητές βελτιστοποίησης φαίνονται στην εξίσωση (2) όπου τα X_l και X_u είναι το άνω και το κάτω όριο των μεταβλητών αντίστοιχα.



Στις σχέσεις (3) & (4) είναι οι λειτουργικοί περιορισμοί που προκύπτουν για λόγους απόδοσης ή μια ρητή λειτουργική αίτηση. Το πρόβλημα της βελτιστοποίησης για την μεγιστοποίηση μιας αντικειμενικής συνάρτησης μπορεί εύκολα να μετατραπεί στο πρόβλημα ελαχιστοποίησης, με αντιστροφή της αρχικής αντικειμενικής συνάρτησης.

“Η διαδικασία της βελτιστοποίησης μπορεί να συγκριθεί με την ανάβαση σε ένα βουνό μέσα σε πυκνή ομίχλη. Ο ορειβάτης μπορεί να προσδιορίσει το τοπικό υψόμετρο με ένα υψομετρικό όργανο και να κοιτάξει γύρω του ώστε να προσδιορίσει τις κατευθύνσεις ανάβασης και κατάβασης από το βουνό, αλλά δεν μπορεί να προσδιορίσει τις τοπικές κορυφές και χαράδρες που δυσκολεύουν κάθε διαδρομή”. Επίσης, ο ορειβάτης πρέπει να προσέξει για να μην πέσει σε κανένα χαντάκι, πράγμα που είναι ισοδύναμο με την καταστρατήγηση των περιορισμών στις εξισώσεις (2) & (4).

Τα περισσότερα προβλήματα βελτιστοποίησης σχεδίασης, διαθέτουν συνοδευτικούς περιορισμούς οι οποίοι ανήκουν σε τρεις κατηγορίες. Ο πρώτος τύπος παρέχει όρια στις μεταβλητές σχεδίασης μέσα στα συγκεκριμένα όρια κατά την αναζήτηση. Ο δεύτερος τύπος ανήκει στους περιορισμούς ισότητας, όπου κάθε περιορισμός μειώνει κατά ένα τις διαστάσεις του χώρου σχεδίασης. Η αλγεβρική απαλοιφή μιας μεταβλητής σχεδίασης από κάθε περιορισμό ισότητας είναι ο καλύτερος τρόπος να χειριστούμε τους περιορισμούς ισότητας.

Όταν υπάρχουν πολλοί περιορισμοί ισότητας, μπορεί να γίνει δύσχρηστη. Ο τρίτος τύπος αποτελείται από περιορισμούς μη ισότητας. Όταν υφίστανται τέτοιοι περιορισμοί θα πρέπει να τροποποιηθεί η αντικειμενική συνάρτηση ώστε να περιλαμβάνει την επίδραση αυτών των περιορισμών. Αυτό επιτυγχάνεται με την προσθήκη μιας συνάρτησης ποινής, ώστε να προστίθεται μια μεγάλη τιμή όταν παραβιάζονται οι περιορισμοί. Δηλαδή, προστίθεται στην αντικειμενική συνάρτηση ένας άπειρα μεγάλος αριθμός διαφορετικά η συνάρτηση παραμένει όπως είναι. Η συνάρτηση ποινής ορίζεται ως εξής :

$$P(X) = \begin{cases} 0 & \text{για } X \in R_f^n \\ +\infty & \text{για } X \notin R_f^n \end{cases}$$

όπου R_f^n είναι ένα υποσύνολο του R^n το οποίο αντιστοιχεί στην εφικτή σχεδίαση που ικανοποιεί τους περιορισμούς.

Το αντικείμενο της βελτιστοποίησης από πλευράς της μαθηματικής της υπόστασης είναι τεράστιο, γι αυτό λοιπόν έγινε προσπάθεια να εκτεθούν κάποια βασικά (fundamentals) ώστε να γίνει κατανοητό στον αναγνώστη πως “δουλεύουν” τα μαθηματικά αυτής της τεχνικής.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

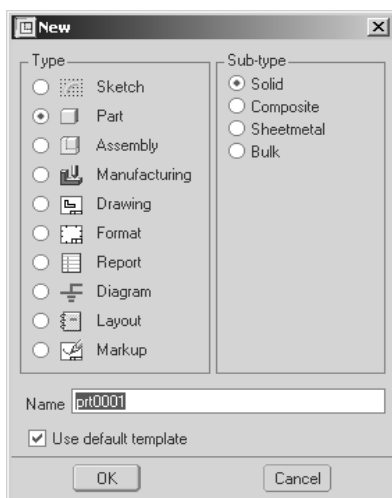
2.1 Το λογισμικό Pro Engineer και τα βασικά του χαρακτηριστικά



Το σχεδιαστικό λογισμικό **Pro Engineer** (πλέον **Creo Elements**) αναπτύχθηκε στα 1987 από την εταιρία Parametric Technology (**P.T.C**) και είναι ένα από τα πλέον δημοφιλέστερα και ταχέως αναπτυσσόμενα λογισμικά στερεάς μοντελοποίησης. Η εταιρία έχει πάνω από 100.000 εργαζομένους σε όλο τον κόσμο αλλά και πολλούς χρήστες που το εμπιστεύονται για την σταθερότητά του και την δυναμική του στον τομέα της μοντελοποίησης.

Το Pro Engineer χρησιμοποιείται από ένα μεγάλο εύρος βιομηχανιών, από πολλά πανεπιστήμια ακόμη και από την ιατρική επιστήμη. Για να μπορέσει να ανταποκριθεί η εταιρία σε όλο αυτό το φάσμα των επιστημών, των βιομηχανιών και των αναγκών που δημιουργούνται από αυτές, έχει δημιουργήσει μαζί με το κυρίως λογισμικό και πρόσθετα “πακέτα” (bundled software), αυτοτελής λογισμικές μονάδες δηλαδή τις οποίες ονομάζει **extensions** ώστε ο αγοραστής να μπορεί να προμηθευτεί τα συγκεκριμένα **extensions** που τον ενδιαφέρουν. Στη συγκεκριμένη εργασία για παράδειγμα θα δούμε το **Behavioral Modeler Extension** που όπως έχει ειπωθεί, είναι εργαλείο βελτιστοποίησης της γεωμετρίας της σχεδίασης και περιέχεται στην βασική έκδοση **Pro Engineer Wildfire 3**.

Για να γίνει η διαδικασία της σχεδίασης απλή και όσο το δυνατόν γρήγορη, το λογισμικό αυτό έχει διαιρέσει τα βήματα του σχεδιασμού σε διάφορα κομμάτια – ενότητες. Αυτό σημαίνει ότι κάθε βήμα κατά τον σχεδιασμό ολοκληρώνεται σε διαφορετική ενότητα. Για παράδειγμα η διαδικασία σχεδιασμού αποτελείται σε γενικά από τα ακόλουθα βήματα :



- Σχεδίαση (Sketching) των βασικών οντοτήτων του σκαριφήματος.
- Μετατροπή του σκαριφήματος σε **features** και αντικείμενα (**parts**) .
- Συναρμολόγηση (Assembly) των διαφόρων **parts** .
- Παραγωγή – Κατασκευή (**Manufacturing**) του τελικού προϊόντος.

Όλα τα προηγούμενα βήματα είναι χωρισμένα σε διαφορετικές θέσεις λειτουργίας – modes (Εικόνα 9) του Pro Engineer που είναι τα εξής :

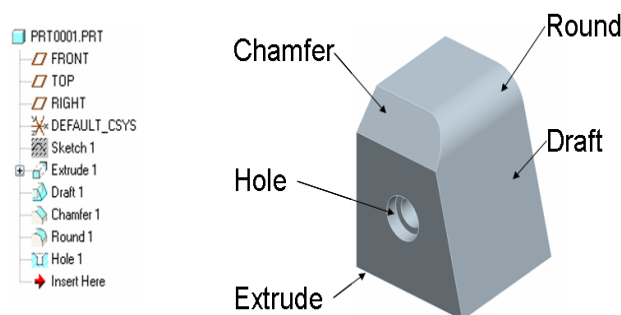
Εικόνα 9 - Δημιουργία αρχείου στο ανάλογο mode



- Μέρος σχεδίασης σε δύο διαστάσεις - Sketch mode
- Σχεδίαση αντικειμένου (από δύο σε τρεις διαστάσεις) – Part mode
- Μέρος συναρμολόγησης – Assembly mode
- Μέρος κατασκευής – Manufacturing mode.

Το **Part mode** είναι το πρωτεύων περιβάλλον, “κέντρο” δημιουργίας και παραγωγής στερεών μοντέλων που δουλεύουν οι περισσότεροι χρήστες, και αυτό γιατί εκεί δημιουργούνται τα στερεά μοντέλα. Σε αυτό το mode θα εκτελεστεί και ο σχεδιασμός της εφαρμογής που θα ακολουθήσει στο επόμενο κεφάλαιο.

Το Pro Engineer είναι ένα εργαλείο στερεάς και επιφανειακής μοντελοποίησης που βασίζεται σε μορφολογικά χαρακτηριστικά - features όπως έχει προαναφερθεί. Το feature ορίζεται ως το μικρότερο τεμάχιο σχεδίασης (building block). Όταν σχεδιάζεται ένα εξάρτημα – κομμάτι στερεού (**Part**) αποτελείται από πολλά ή λιγότερα features “χτισμένα” το ένα πάνω στο άλλο.

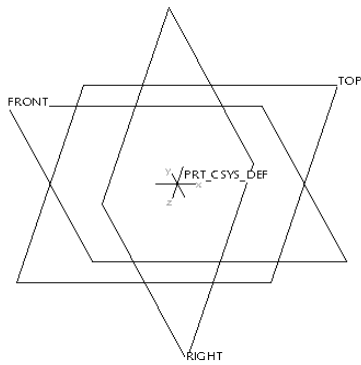


Εικόνα 10 - Part αποτελούμενο από features

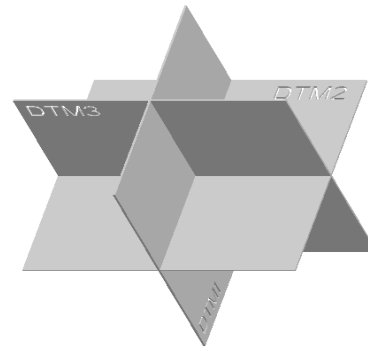
Λόγο της παραμετρικής φύσης του Pro/E τα features από τα οποία αποτελείται ένα part είναι συσχετισμένα μεταξύ τους και κάθε αλλαγή που μπορεί να κάνει ο χρήστης στις διαστάσεις ή σε κάποιο γνώρισμα των features, αυτόματα αυτή η αλλαγή μεταδίδεται σε όλο το μοντέλο.

Αριστερά της Εικόνας 10, φαίνεται η ιεραρχία που ακολουθείται κατά την διαδικασία του σχεδιασμού ενός Part. Πάνω αριστερά φαίνεται η ονομασία (*PRT0001*) που του έχει δοθεί από πριν στην Εικόνα 9.

Ακριβώς από κάτω είναι τα λεγόμενα προεπιλεγμένα από το σύστημα **Datum Planes**, (FRONT, TOP, RIGHT), τα επίπεδα αναφοράς της σχεδίασης δηλαδή, τα οποία ουσιαστικά είναι το πρώτο feature που θα εισαχθεί στο σχεδιασμό. Δεν έχουν διαστάσεις ούτε όγκο. Χρησιμοποιούνται για την δημιουργία των κυρίως features ώστε να γίνει ο βασικός σχεδιασμός του σκαριφήματος σε δύο διαστάσεις (**Sketcher**) και έπειτα με προεκβολή να μετατραπεί σε τρισδιάστατο μοντέλο. Έτσι, με την χρήση των Datum Planes γίνεται πιο εύκολος ο προσανατολισμός του μοντέλου διότι οτιδήποτε σχεδιάζεται έχει αναφορά σε κάποιο από τα επίπεδα.

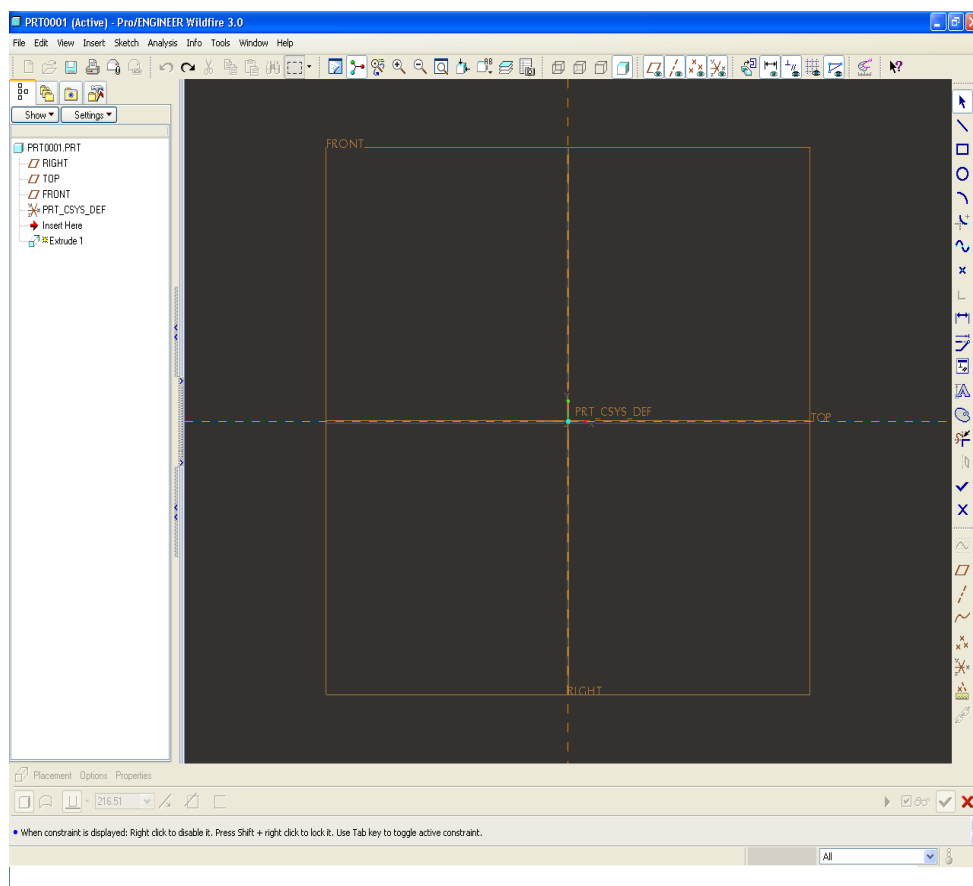


Datum Planes



Το Pro/E δίδει την δυνατότητα δημιουργίας **Datum Planes** και από τον χρήστη εκτός των υφιστάμενων προεπιλεγμένων, πράγμα που κάνει το σχεδιασμό ακόμα πιο δυναμικό.

Έπειτα είναι το προεπιλεγμένο σύστημα συντεταγμένων, και ακολουθούν τα κυρίως features που θα αποτελέσουν το μοντέλο. Αυτή η ιεραρχία είναι το **Model Tree**, στο οποίο αποθηκεύονται και παρουσιάζονται όλα τα features που δημιουργούνται με χρονική ιεραρχία. Μπορεί να επιλεγεί οποιοδήποτε feature με ένα κλικ και να γίνουν τροποποιήσεις που παρέχονται από το Pro/E. Όταν δημιουργείται ένα νέο αντικείμενο, το Model Tree εμφανίζεται μαζί με την περιοχή σχεδίασης (Εικόνα 11).



Εικόνα 11 - Περιοχή Σχεδίασης (Sketcher)



Επιπροσθέτως, τα features αναπτύσσουν μια σχέση μεταξύ τους, την **parent - child relationship**. Ο ορισμός αυτός βασίζεται σε διαστατές και γεωμετρικές “υποδείξεις” από ένα προγενέστερο feature (γονικό), σε κάποιο άλλο μεταγενέστερο (τέκνο). Όταν ένα γονικό (parent) feature τροποποιείται, τα τέκνα του (children), αναδημιουργούνται αυτόματα για να αντικατοπτρίσουν τις αλλαγές στη γεωμετρία του γονικού feature. Συνεπώς είναι απαραίτητο να γίνει αναφορά των διαστάσεων και της γεωμετρίας ενός feature ώστε οι σχεδιαστικές τροποποιήσεις να μεταδοθούν σωστά σε όλο το μοντέλο. Έτσι το parent – child relationship καθίσταται μία από τις πιο δυναμικές διαστάσεις του Pro/E.

2.2 Το περιβάλλον εργασίας του Pro Engineer

Το περιβάλλον εργασίας αποτελείται από τα εξής συστατικά στοιχεία :

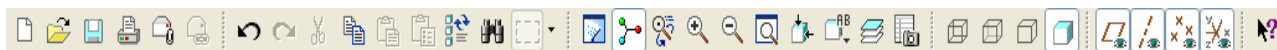
- Την αρχική περιοχή σχεδίασης στις δύο διαστάσεις – Sketcher (Εικόνα 11)
- Το Model Tree (Εικόνες 10 & 11 αριστερά)
- Το κυρίως Μενού Εντολών - Pull Down Menu (Εικόνα 12)
- Την μπάρα εργαλείων (Main Toolbar)
- Την μπάρα διαλόγου (Dashboard)
- Την μπάρα των Features (Feature Toolbar)

Το κυρίως μενού εντολών αποτελείται από συνήθεις επιλογές ενός μενού όπως είναι τα :

File Edit View Insert Analysis Info Applications Tools Window Help

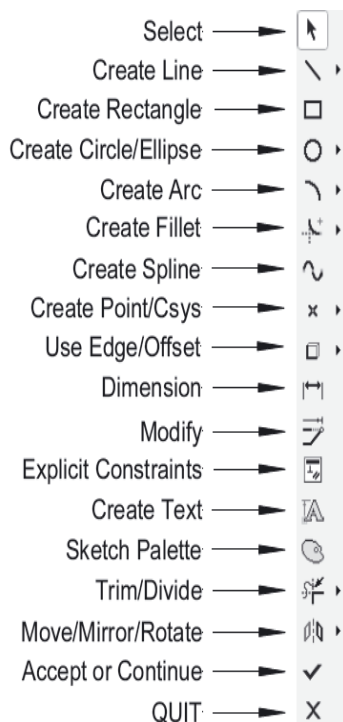
Εικόνα 12 - Pull Down Menu

- i) **File**, όπου εκτελούνται εντολές για χειρισμό αρχείων, εκτύπωση, αποθήκευση κ.α,
- ii) **Edit**, στο οποίο περιέχονται εντολές δράσης όπως επεξεργασίες και τροποποιήσεις,
- iii) **View**, για έλεγχο και διαχείριση της απεικόνισης των Μοντέλων και των οπτικών αποδόσεων τους, όπως ο προσανατολισμός και οι διάφορες όψεις,
- iv) **Insert**, όπου περιέχονται οι βασικές εντολές των Features (Extrude, Revolve κ.α),
- v) **Sketch**, που βρίσκονται γνωστά σχήματα σχεδίασης όπως ο κύκλος, και η ευθεία γραμμή,
- vi) **Analysis**, το οποίο μας παρέχει εργαλεία ανάλυσης, πρόσβαση σε ιδιότητες μοντέλων, καμπυλών, επιφανειών, κ.α και θα αναλυθεί εν συνεχεία διότι αποτελεί σημαντικό κομμάτι του εργαλείου βελτιστοποίησης που θα εξεταστεί.
- vii) **Info**, περιέχονται εντολές για πληροφορίες των υφισταμένων Features και Μοντέλων,
- viii) **Applications**, βρίσκονται εντολές εφαρμογών άλλων ενοτήτων – extensions του Pro Engineer που δεν περιέχονται στην βασική έκδοσή του.
- xi) **Tools**, διάφορα άλλα εργαλεία όπως το Relations, για την εφαρμογή σχέσεων μεταξύ σχεδιαστικών οντοτήτων,
- x) και τέλος το **Window** και **Help** , για διαχείριση των παραθύρων και αναζήτηση βοήθειας αντίστοιχα.

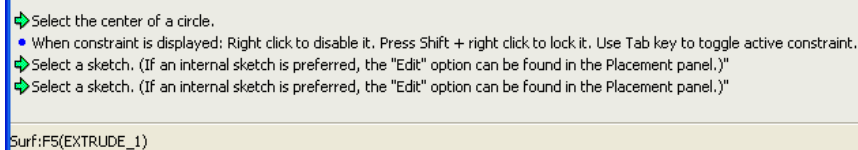


Εικόνα 13 - Main Toolbar





Στην μπάρα εργαλείων (Εικόνα 13) περιέχονται πλήκτρα συντομεύσεων κάποιων επιλογών που παρουσιάστηκαν προηγουμένως όπως το File, Edit και View.



Εικόνα 14 - Dashboard

Στην μπάρα διαλόγου γίνεται η επικοινωνία μεταξύ χρήστη και λογισμικού κατά την διαδικασία σχεδιασμού (Εικόνα 14).

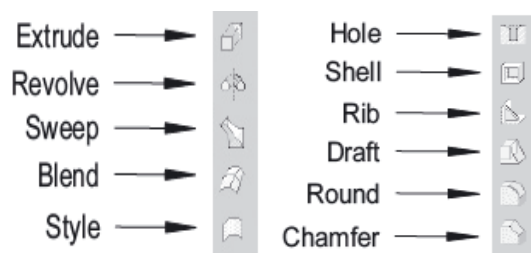
Στην Εικόνα 15 φαίνεται η μπάρα εργαλείων του Sketcher τα **sketches** που είναι οι συντομεύσεις της επιλογής Sketch στο Pull Down Menu. Περιέχονται εντολές δημιουργίας γνωστών σχημάτων, σημείων και άλλων γνωστών εντολών, που υπάρχουν και σε άλλα σχεδιαστικά πακέτα όπως η διαστασιολόγηση, και τα Cut, Trim, Modify και Mirror.

Εικόνα 15 - Sketcher Toolbar

Στον Sketcher γίνονται τα πρωταρχικά βήματα δημιουργίας ενός στερεού. Εκεί ορίζεται το σχήμα και το μέγεθος μίας ή περισσότερων διατομών, του υπό σχεδιασμού αντικειμένου. Γίνεται αρχικά ο ορισμός του Datum (work) Plane όπως το FRONT, και πάνω στο οποίο κατασκευάζεται το δισδιάστατο σχήμα.

Μπορεί να δοθεί όγκος στα σχήματα και να δημιουργηθούν στερεά χρησιμοποιώντας μετασχηματισμούς όπως αυτοί που φαίνονται στην εικόνα 2.2.5. Κατά την διαδικασία σχεδιασμού εφαρμόζονται γεωμετρικοί περιορισμοί (constraints) όπως για παράδειγμα είναι η καθετότητα, παραλληλία, ομοκεντρικότητα, που χρησιμοποιούνται ώστε να αποφευχθούν ανεπιθύμητες αλλαγές σε ένα Feature όταν γίνονται αλλαγές σε διαστάσεις.

Στην Feature Toolbar της Εικόνας 16, βρίσκονται οι μετασχηματισμοί που θα μετατρέψουν ένα «προφίλ» σε στερεό με αποτέλεσμα την δημιουργία ενός Feature. Στο Extrude για παράδειγμα, σχεδιάζεται το προφίλ και έπειτα προεκτείνεται στο χώρο. Στο Sweep ορίζεται μία σύνθετη καμπύλη, η οποία κινούμενη κατά ένα καθορισμένο τρόπο, σαρώνει στον τρισδιάστατο χώρο μία περιοχή. Αυτή η περιοχή, ο όγκος που σαρώνεται δηλαδή, είναι το στερεό και θα μπορούσε κάλλιστα να χρησιμοποιηθεί για κατασκευή ενός ελατηρίου.



Εικόνα 16 - Feature Toolbar



Στο Revolve η δημιουργία στερεού είναι παρόμοια με αυτήν του Sweep, μόνο που η κινούμενη κατά ένα καθορισμένο τρόπο καμπύλη, περιστρέφεται γύρω από ένα άξονα συμμετρίας, κι έτσι επιτυγχάνεται ο σχηματισμός κυλινδρικών στερεών.

Άνοιγμα οπών, στρογγυλεύσεις γωνιών, δημιουργία κελύφους, λοξοτομήσεις κ.α, συνθέτουν το πολυποίκιλο αυτό περιβάλλον δημιουργίας Features και κατ' επέκταση στερεών, δίνοντας έτσι στον χρήστη δυναμικά εργαλεία σχεδιασμού αντικειμένων.

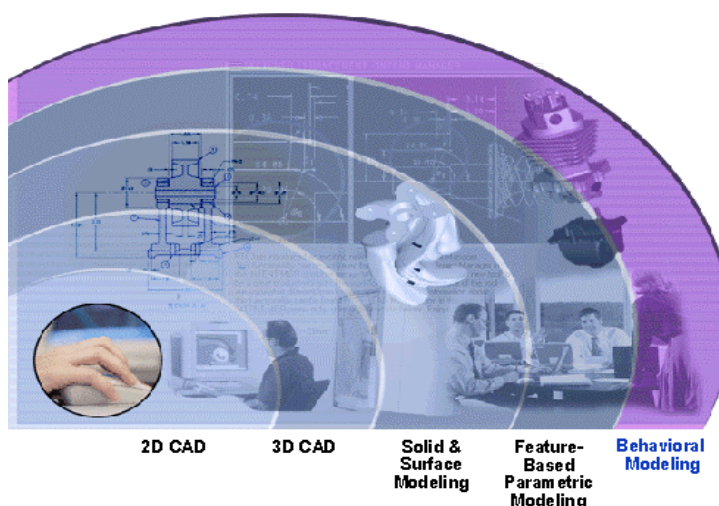
2.3 Το εργαλείο βελτιστοποίησης Behavioral Modeling.

Το Behavioral Modeling Extension (**BMX**) είναι ένα εργαλείο βελτιστοποίησης και ανήκει στην σύγχρονη γενιά της τεχνολογίας αυτοματοποιημένου μηχανολογικού σχεδίου. Εμφανίστηκε πρώτη φορά πριν περίπου δέκα χρόνια στην έκδοση *Pro Engineer 2000i*, και έχει γίνει πλέον αναπόσπαστο κομμάτι κάθε νέας έκδοσης του Pro Engineer.

Όταν η διαδικασία ανάπτυξης προϊόντων εκσυγχρονίστηκε και πέρασε από το χαρτί σε ηλεκτρονικής φύσεως μοντέλα χρησιμοποιούσε τις τρεις πρώτες γενεές της τεχνολογίας CAD, που ήταν :

- α) ο σχεδιασμός σε δύο διαστάσεις,
- β) η τρισδιάστατη μοντελοποίηση και
- γ) η στερεά μοντελοποίηση.

Έπειτα, προστέθηκε η παραμετρική στερεά μοντελοποίηση βασιζόμενη σε μορφολογικά χαρακτηριστικά – features, που ανήκει στην τέταρτη γενεά όπου βελτίωσε την αποδοτικότητα του σχεδιασμού κι επέκτεινε τα πλεονεκτήματα του ηλεκτρονικού σχεδίου.



Εικόνα 17 - Οι πέντε γενεές της τεχνολογίας CAD

Εντούτοις, στην σύγχρονη εποχή ο ανταγωνισμός μεταξύ των εταιριών έχει μεγιστοποιηθεί και οι ανάγκες του ανθρώπου πιο ευμετάβλητες, δημιουργήθηκε η ανάγκη ενός διαφορετικού τύπου αυτοματοποιημένου μηχανολογικού σχεδίου, το οποίο θα μπορεί να προσαρμόζει ένα προϊόν σύμφωνα με τις απαιτήσεις του καταναλωτή και κατ' επέκταση του σχεδιαστή. Εδώ έρχεται η πέμπτη γενεά που είναι αυτή του Behavioral Modeling, η οποία οδηγείται από αυτές τις ανάγκες και προωθεί την δημιουργία καλά σχεδιασμένων προϊόντων με συνδυασμό των απαιτήσεων και της επιθυμητής λειτουργικής συμπεριφοράς.

Οι δυνατότητες του BMX είναι διαθέσιμες επίσης και σε άλλα εργαλεία του Pro/E και λειτουργούν συνδυαστικά, ώστε ο χρήστης να μπορεί να λύσει περισσότερα προβλήματα εφαρμοσμένης μηχανικής. Ένα παράδειγμα είναι ο συνδυασμός με το εργαλείο Pro Mechanical, το οποίο πλην των άλλων δυνατοτήτων που παρέχει, όπως λύσεις σε θέματα θερμότητας, δομικής κατασκευής, κίνησης, δονήσεων κ.α, επικεντρώνεται και στην ιδέα της σύλληψης και μοντελοποίησης της συμπεριφοράς ενός προϊόντος, πράγμα που κάνει αναγκαία την χρήση του σε συνδυασμό με το BMX.

Το BMX είναι ένα από τα πιο σημαντικά εργαλεία του Pro Engineer και ένα από τα πιο δυσνόητα. Αποτελείται από πολλά υπό-εργαλεία και το εύρος των εφαρμογών που μπορεί να χρησιμοποιηθεί, τεράστιο. Πράγμα που κάνει δύσκολο τον ορισμό του μέσα σε μερικές γραμμές. Με μια γρήγορη όμως και πολύ συμπυκνωμένη επεξήγηση, μπορεί να ειπωθεί ότι αποτελείται από δύο βασικές συνιστώσες, τις : **Datum Analysis Features**, και **Design Studies**.

Η πρώτη συνιστώσα αναφέρεται σε υπολογισμούς, κάποια (**Datum**) **features** που είναι αδιάστατα και χωρίς όγκο, με τα οποία γίνεται μέτρηση και ανάλυση γεωμετρικών ιδιοτήτων (όπως η καμπυλότητα, η επιφάνεια, η απόσταση μεταξύ σημείων, κ.α), αποθηκεύονται μέσα στο Μοντέλο και αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι του. Εν συνεχεία, σε αυτούς τους υπολογισμούς, έχουν δημιουργηθεί παράμετροι οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μεταγενέστερες σχέσεις, αλλά και πρόσθετες παραμέτρους όπως π.χ ένα σημείο αναφοράς (**Datum Point**) στο κέντρο βάρους ενός άξονα. Έπειτα έρχονται οι σχεδιαστικές μελέτες – **Design Studies (Feasibility, Optimization)**, με τις οποίες ο χρήστης καθορίζει τους σχεδιαστικούς περιορισμούς, τις σχεδιαστικές μεταβλητές (μέσω ενός δεδομένου εύρους τιμών), και τέλος επιδιώκει μία λύση για να επιτευχθεί ο σχεδιαστικός στόχος (**Design Goal**).

2.3.1 Οι συνιστώσες λειτουργίας του Behavioral Modeling

Το Behavioral Modeling αποτελείται αναλυτικά από τις εξής συνιστώσες :

- **Analysis Features**
 - **Excel Analysis**
 - **Motion Analysis**
 - **User - Defined Analysis**
- Κατηγορία 1 - Datum Analysis Features**



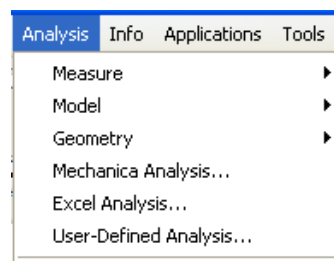
- *Feasibility Studies*
- *Sensitivity Analysis*
- *Optimization Studies*
- *Multi -Objective Studies*

Κατηγορία 2 - Design Studies

2.3.1.1 Datum Analysis Features

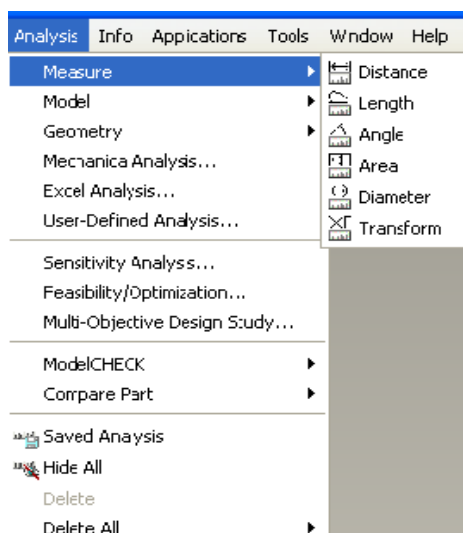
Το *Analysis Features* αποτελείται από αρκετά features που χρησιμοποιούνται για να αναλύουν και να παρέχουν σχεδιαστικές πληροφορίες για ένα μοντέλο. Ακόμη, μέσω των *Analysis Features* δημιουργούνται τα θεμέλια για την επιλογή των κατάλληλων τιμών των σχεδιαστικών μεταβλητών (1ο βήμα), ώστε αυτές να συναντήσουν τους σχεδιαστικούς στόχους με την χρήση των *Design Studies* (2ο βήμα). Αυτού του είδους τα features δημιουργούνται χρησιμοποιώντας την εντολή **Analysis**, από το **Μενού Εντολών** (Εικόνες από 18 έως 21) στην οποία περιέχονται οι εξής τύποι Ανάλυσης :

- **Measure**
- **Model**
- **Geometry**
- **Relations**
- **Excel Analysis**
- **User - Defined Analysis**
- **Mechanica Analysis**



Εικόνα 18 - Μενού Analysis

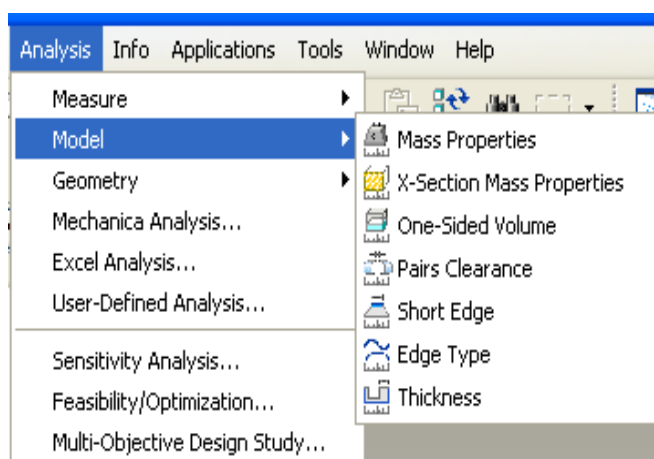
Ένα τέτοιο feature, αποτελείται από το όνομα, τον τύπο (measure, model κ.α), έναν ορισμό ο οποίος αποτελείται από την Ανάλυση ή τη μέτρηση που θα διεξαχθεί, και τα αποτελέσματά της Ανάλυσης που θα συμπεριληφθούν στο feature ως παράμετροι.



Εικόνα 19 - Εντολές τύπου Measure

Ο τύπος Ανάλυσης **Measure** περιέχει με την σειρά του ένα σύνολο εντολών όπου επιτρέπουν να παίρνονται μετρήσεις από το μοντέλο και οι τιμές που προκύπτουν καταχωρούνται ως παράμετροι ή και στοιχεία αναφοράς (datum) όπως σημεία (points) και συστήματα συντεταγμένων. Οι εντολές που αποτελούν το **Measure**, φαίνονται αναλυτικά μέσα από την Εικόνα 19 του προγράμματος, και μπορούν να δημιουργήσουν παραμέτρους όπως η απόσταση μεταξύ οντοτήτων, η γωνία, η διάμετρος, η επιφάνεια.

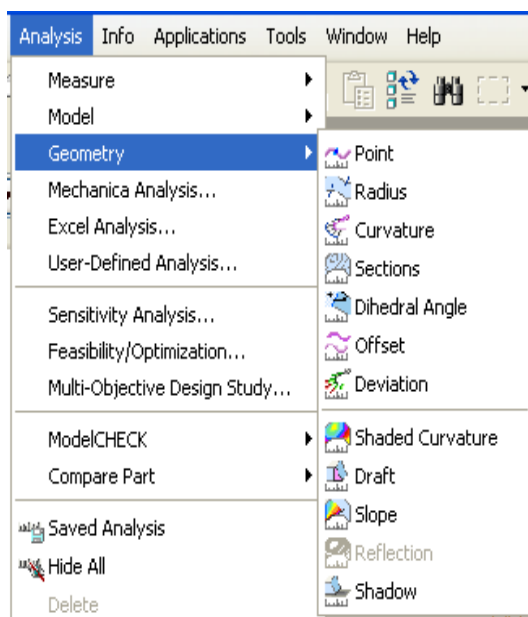
Ο τύπος Ανάλυσης **Model** περιέχει ένα σύνολο εντολών (Εικόνα 20) που δημιουργούν παραμέτρους και datums όμοιες με αυτές του Measure. Οι παράμετροι που δημιουργούνται μπορεί να είναι ο όγκος ενός μοντέλου, η μάζα, το πάχος, η ροπή αδράνειας, η ανοχή μεταξύ δύο επιλεγμένων στοιχείων.



Εικόνα 20 - Εντολές τύπου Model

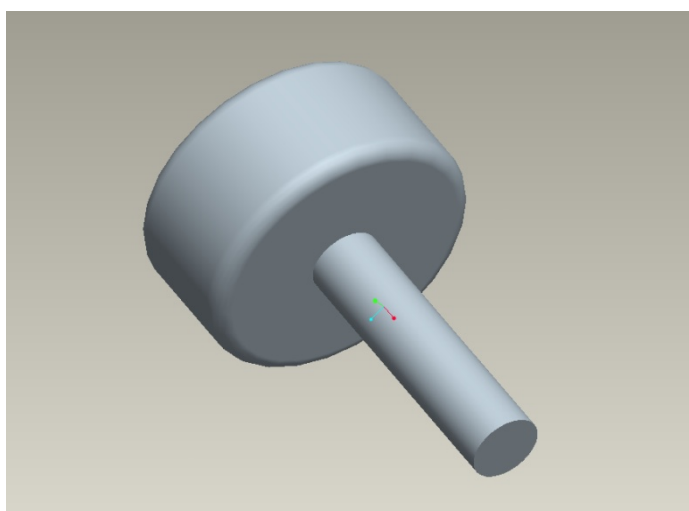
Στη συνέχεια είναι ο τύπος Ανάλυσης **Geometry**, περιέχει τις εντολές της Εικόνας 21 και παράγει παραμέτρους όπως μέγιστη – ελάχιστη καμπυλότητα και ακτίνα καμπύλης ή ακμής, απόκλιση καμπύλης ή ακμής από κάποια οντότητα αναφοράς, ακραίες τιμές κλίσης καμπύλης, μέτρηση διέδρης γωνίας από μία ακμή αλλά και σύλληψη των ακραίων τιμών της από μία ακμή ή ένα σημείο.





Εικόνα 21 - Εντολές τύπου Geometry

Ακολουθεί ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα δημιουργίας ενός Analysis Feature όπου θα ευρεθεί ο όγκος και η μάζα του εμβόλου της Εικόνας 22, το σημείο που βρίσκεται το κέντρο βάρους και η επιφάνεια που το περικλείει.

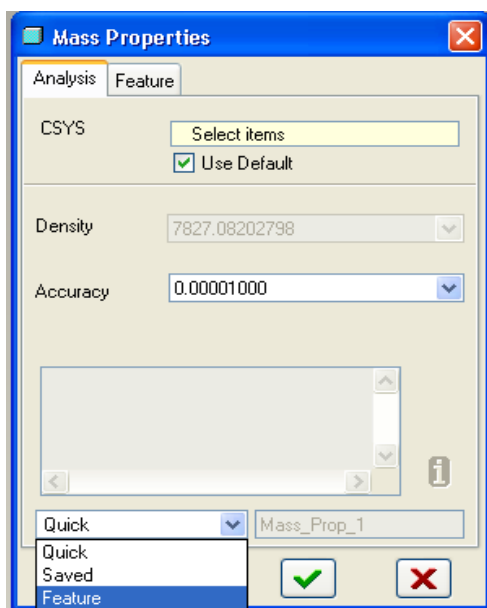


Εικόνα 22 - Έμβολο

Μετά την ολοκλήρωση της φάσης του σχεδιασμού, επιλέγονται από το Κύριο Μενού οι εντολές **Analysis** ➔ **Model** ➔ **Mass Properties** κι εμφανίζεται το κουτί διαλόγου δημιουργίας του συγκεκριμένου Feature (Εικόνες 23 α-β-γ) που αποτελείται από δύο tabs το *Analysis* και το *Feature* (πάνω αριστερά εικόνας «α»).

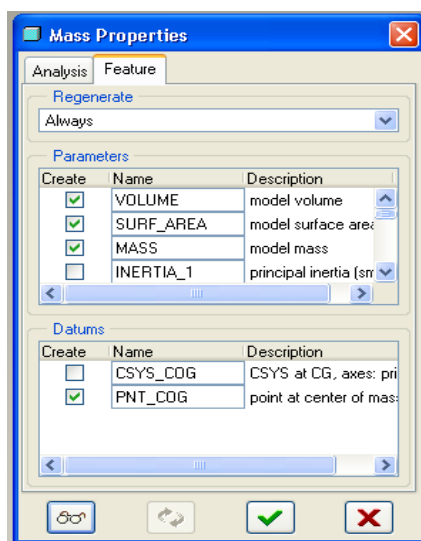
Στο *Analysis* ο χρήστης επιλέγει το κατάλληλο σύστημα συντεταγμένων για την ανάλυση και εισάγει την τιμή της πυκνότητας του υλικού κατασκευής. Στη συνέχεια μπορεί να δώσει όνομα (κάτω δεξιά) και να επιλέξει μία από τις τρεις επιλογές (κάτω αριστερά) :

- α) **Quick** – που απλά εμφανίζει τα αποτελέσματα της Ανάλυσης,
- β) **Saved** – γίνεται ο υπολογισμός, αποθηκεύεται η Ανάλυση ώστε αν θελήσει ο χρήστης να επαναυπολογίσει, δεν θα χρειαστεί να επιλέξει ξανά τα δεδομένα του υπολογισμού και
- γ) **Feature** – δημιουργείται ένα Analysis Feature που θα περιέχει παραμέτρους και Datums.



Εικόνα 23 α - Κουτί Διαλόγου



Επιλέγοντας το tab *Feature* της Εικόνας 23 β (πάνω αριστερά) εμφανίζεται το δεύτερο μέρος του κουτιού διαλόγου όπου ο χρήστης επιλέγει την ή τις παραμέτρους - datums που θέλει να υπολογιστούν.

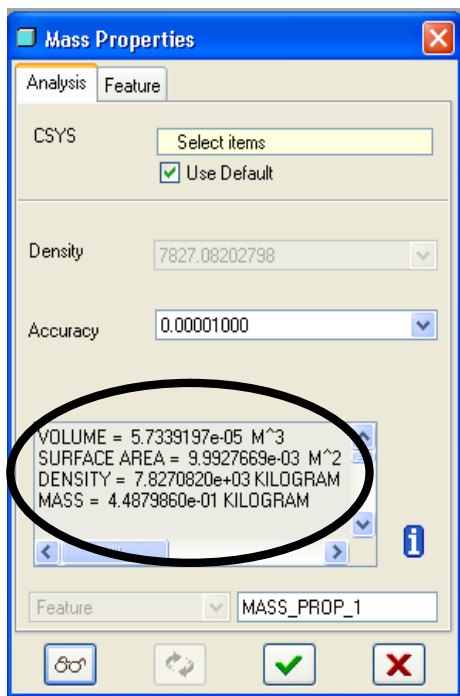


Εικόνα 23 β - Κουτί Διαλόγου

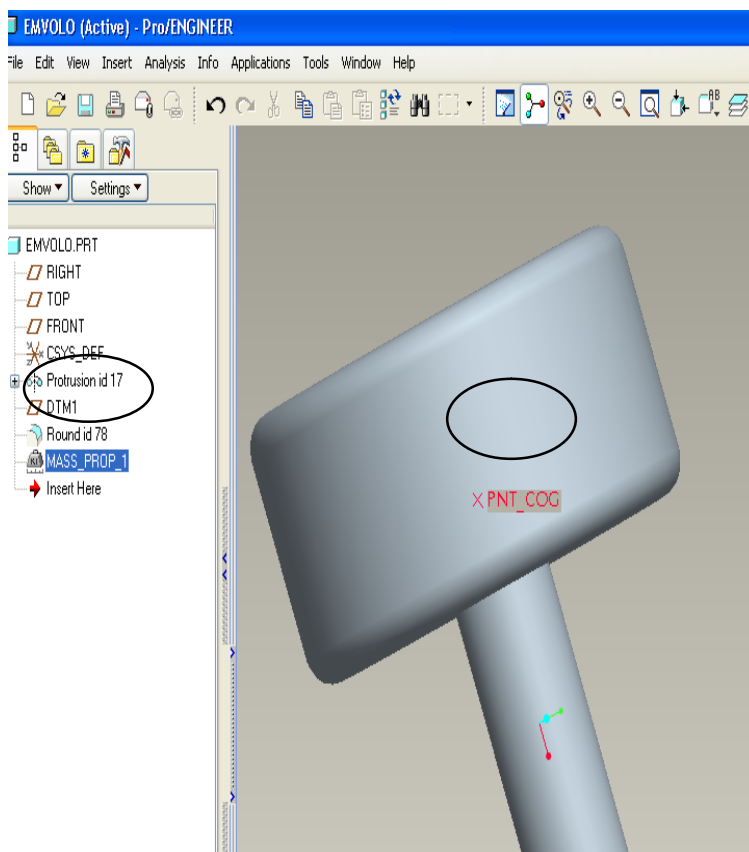


Στο παράδειγμα τώρα, έχοντας ενεργοποιήσει το προεπιλεγμένο σύστημα συντεταγμένων (Default CSYS), κι έχοντας ορίσει υλικό κατασκευής (από την βιβλιοθήκη υλικών του Pro/E) χάλυβα πυκνότητας $7827,08 \frac{Kg}{m^3}$ στο πρώτο μέρος του κουτιού διαλόγου), συνεχίζουμε με το δεύτερο μέρος όπου επιλέγονται οι παράμετροι (Parameters) που θα υπολογιστούν, Όγκος, Μάζα, Επιφάνεια και σημείο κέντρου μάζας που έχει την μορφή Datum Point (Datums).

Πατώντας το πλήκτρο  εμφανίζονται τα αποτελέσματα των παραμέτρων που υπολογίστηκαν (Εικόνα 23 γ) και με το πλήκτρο  δημιουργείται και αποθηκεύεται στο μοντέλο. Το κέντρο βάρους του εμβόλου απεικονίζεται στην Εικόνα 24 ως PNT_COG. Το Analysis Feature που δημιουργήθηκε (Mass_Prop_1) βρίσκεται πλέον στο Model Tree και απ' όπου ο χρήστης μπορεί να το επεξεργαστεί αν χρειαστεί.



Εικόνα 23γ – Τιμές Παραμέτρων



Εικόνα 24 – Model Tree & Απεικόνιση Κέντρου Βάρους

Relations Analysis

Τα αποτελέσματα του Analysis Features δεν χρησιμοποιούνται μόνο και μόνο για να συλλαμβάνει διαστάσεις και να δημιουργεί παραμέτρους ή Datums. Ο χρήστης μπορεί να γράψει και σχέσεις χρησιμοποιώντας το **Relations Analysis**. Ενώ το Analysis Features επιτρέπει στο χρήστη να πάρει μόνο μία μέτρηση ή μία ανάλυση ανά Feature, το Relations επιτρέπει πολλαπλά Analysis Features και παραμέτρους - που προκύπτουν - να συνδυαστούν σε ένα feature για αξιολόγηση ή υπολογισμούς.

Γενικά μία **Relation Analysis** παίρνει την βασική ακόλουθη μορφή :

X = measurement_name:FID_feature_name

όπου το “**X**” είναι

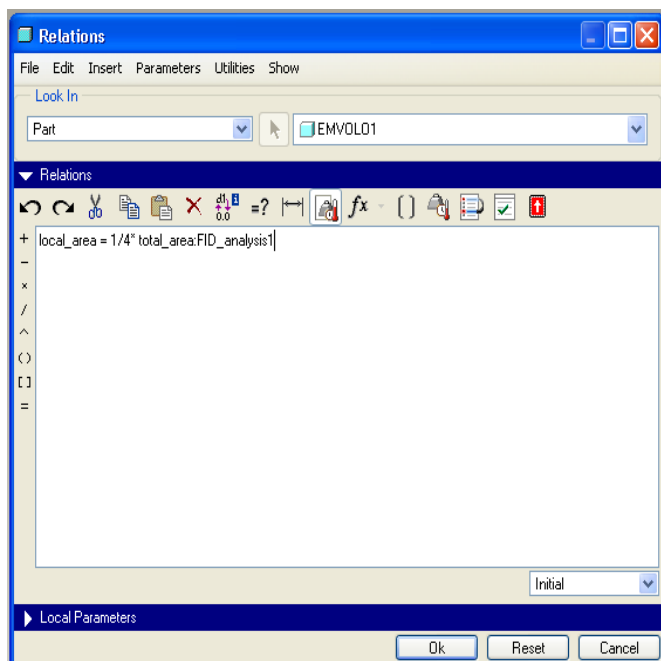
το “**measurement_name**” είναι το όνομα της παραμέτρου μέτρησης

το “**:FID_**” είναι μια συντομογραφία του συστήματος, από την έκφραση “feature identification” – ταυτοποίηση του feature - και πρέπει να εμπεριέχεται από απαίτηση του συστήματος

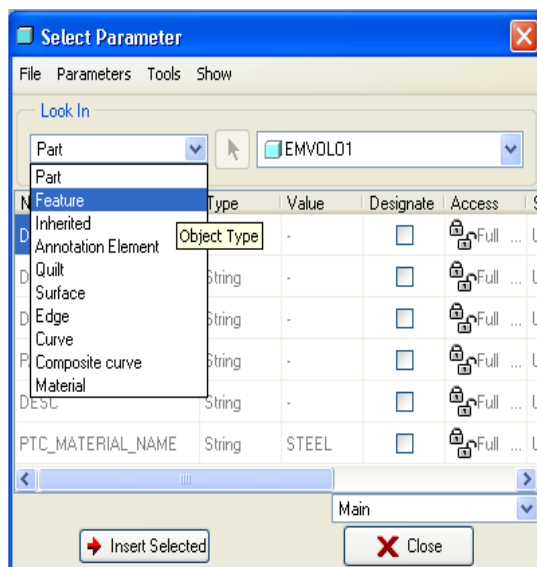
και το “**feature_name**” είναι το όνομα της ίδιας της Ανάλυσης.

Ας υποθεθεί όπως και στο προηγούμενο παράδειγμα με τα έμβολο, ότι υπάρχει ένα Analysis Feature που μετράει την ολική επιφάνεια του μοντέλου και δημιουργεί μια παράμετρο με το όνομα “**total_area**” και ένα άλλο που μετράει ένα μέρος της επιφάνειας του μοντέλου και δημιουργεί παράμετρο με το όνομα “**local_area**”. Εάν ο χρήστης θελήσει να θέσει μία σχεδιαστική σχέση (*design relation*) που να ορίζει ότι η επιφάνεια του **local_area** είναι το εν τέταρτο της επιφάνειας του **total_area** τότε θα πρέπει να γράψει την ακόλουθη σχέση :

$$\mathbf{local_area = 1/4 * total_area:FID_analysis1}$$



Εικόνα 25 – Εισαγωγή Σχέσης



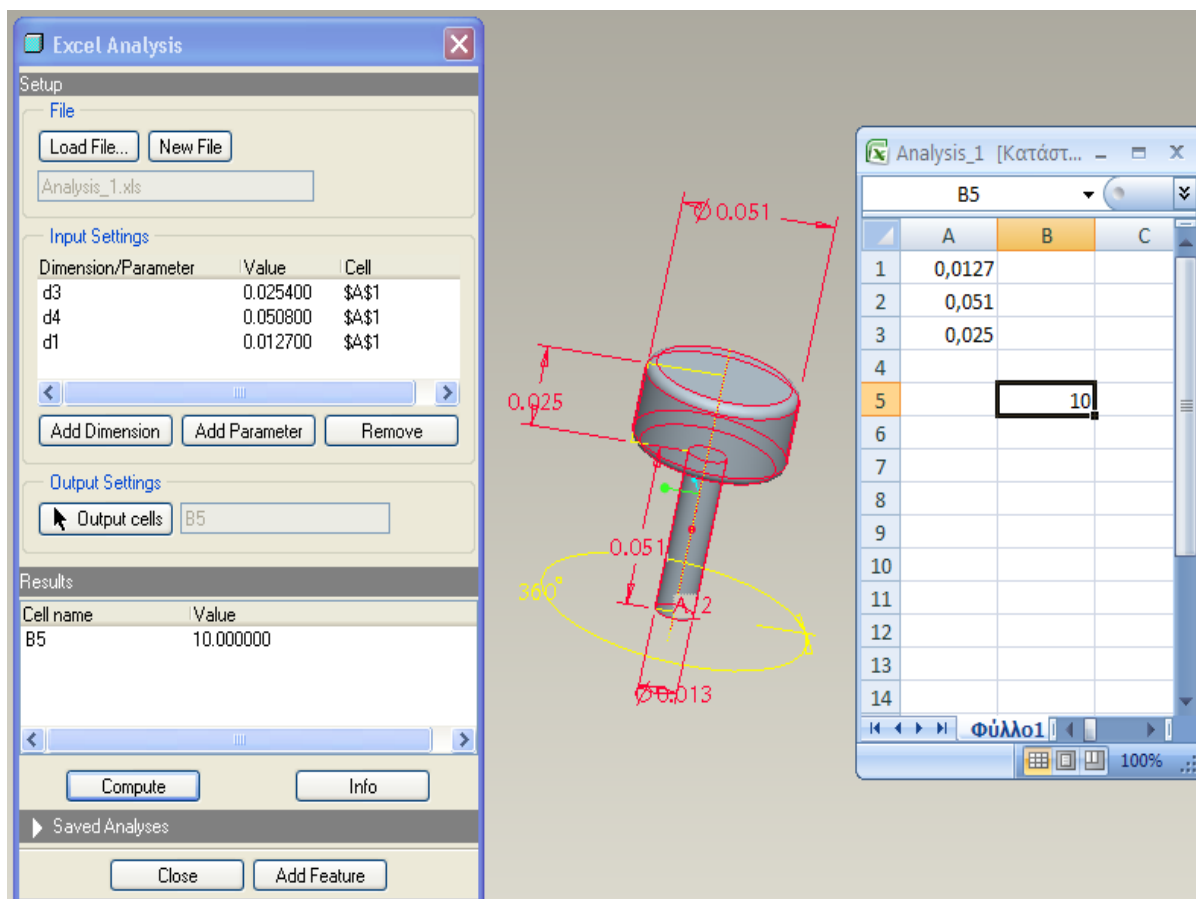
Εικόνα 26 – Επιλογή Παραμέτρων



Excel Analysis

Ένας άλλος τύπος Ανάλυσης είναι το **Excel Analysis**, που επιτρέπει την χρήση του **Microsoft Excel** για να εκτελέσει μία Ανάλυση και να επιστρέψει μία τιμή στο Μοντέλο.

Η χρήση του γίνεται αναγκαία κυρίως όταν τα άλλα Analysis Features δεν μπορούν να εφαρμοστούν στο πρόβλημα και όταν ο χρήστης δεν είναι εξοικειωμένος στην χρήση του **Relations** για την λύση του προβλήματος.



Εικόνα 27 - Δημιουργία μίας Excel Analysis

Για τη δημιουργία ένα τέτοιου Feature αρχικά γίνεται εισαγωγή ενός νέου ή υφιστάμενου αρχείου Excel, εισάγονται διαστάσεις ή παράμετροι από το παράθυρο διαλόγου (αριστερά εικόνας) και εμφανίζονται οι τιμές τους στο αρχείο Excel. Ο χρήστης γράφει την σχέση για τον υπολογισμό που θέλει στο Excel κι επιλέγει ένα κελί εξόδου της τιμής (εικονίδιο **Output Cells**). Η γραφή της σχέσεις γίνεται με το συνηθισμένο τρόπο γραφής σε Excel. Τα αποτελέσματα αποθηκεύονται στο κελί εξόδου και πατώντας το πλήκτρο υπολογισμού **Compute** μεταφέρονται στην Ανάλυση του Pro Engineer στο *Results* του κουτιού διαλόγου. Αυτό το αποτέλεσμα εξόδου, μπορεί να εκχωρηθεί ως μία νέα παράμετρος στο Μοντέλο, και αυτού του είδους η Ανάλυση να συμπεριληφθεί στο Μοντέλο ως μόνιμο Feature όπως και με τα υπόλοιπα Analysis Features.



Motion Analysis

Το **Motion Analysis** – Ανάλυση Κίνησης - είναι το εργαλείο που επιτρέπει στο χρήστη να εκτελέσει μία ανάλυση σε ένα συναρμολογημένο αντικείμενο ή μηχανισμό. Παράγει παραμέτρους που σχετίζονται με την κίνηση, και δημιουργεί γραφήματα όπου τυπώνεται το πώς ποικίλουν οι τιμές των παραμέτρων ενόσω ο μηχανισμός είναι σε κίνηση.

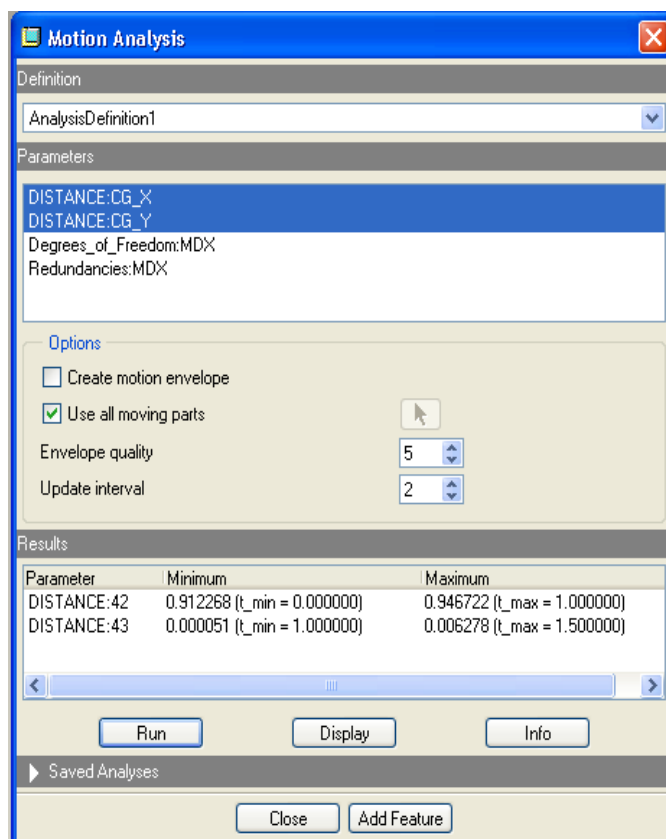
Για να εκτελεστεί μία Motion Analysis, θα πρέπει να είναι εγκατεστημένα στο Pro Engineer τα Extensions, **Mechanism Design & Mechanism Dynamics**.

Κατά την εκτέλεση μιας Ανάλυσης Κίνησης ο χρήστης καθορίζει τα εξής :

- Ένα υπάρχοντα μηχανισμό που θα αναλυθεί.
- Παραμέτρους που θα μελετηθούν μιας Analysis Feature, κατά την διάρκεια της *Ανάλυσης Κίνησης*.
- Τα μέρη της συναρμολόγησης που εμπεριέχονται στην Ανάλυση και
- Τον αριθμό των βημάτων που θα χρησιμοποιηθούν στην Ανάλυση.

Ακόμη, σε μια *Ανάλυση Κίνησης* το σύστημα δημιουργεί μια “motion envelope” – περίβλημα κίνησης – ώστε να προσδιοριστεί το πόσο προεκτείνονται τα κινούμενα μέρη του μηχανισμού κατά την διάρκεια της μελέτης.

Για την δημιουργία μιας Ανάλυσης Κίνησης, επιλέγονται από το Κύριο Μενού οι εντολές **Analysis** → **Motion Analysis** κι εμφανίζεται το κουτί διαλόγου της Εικόνας 28.



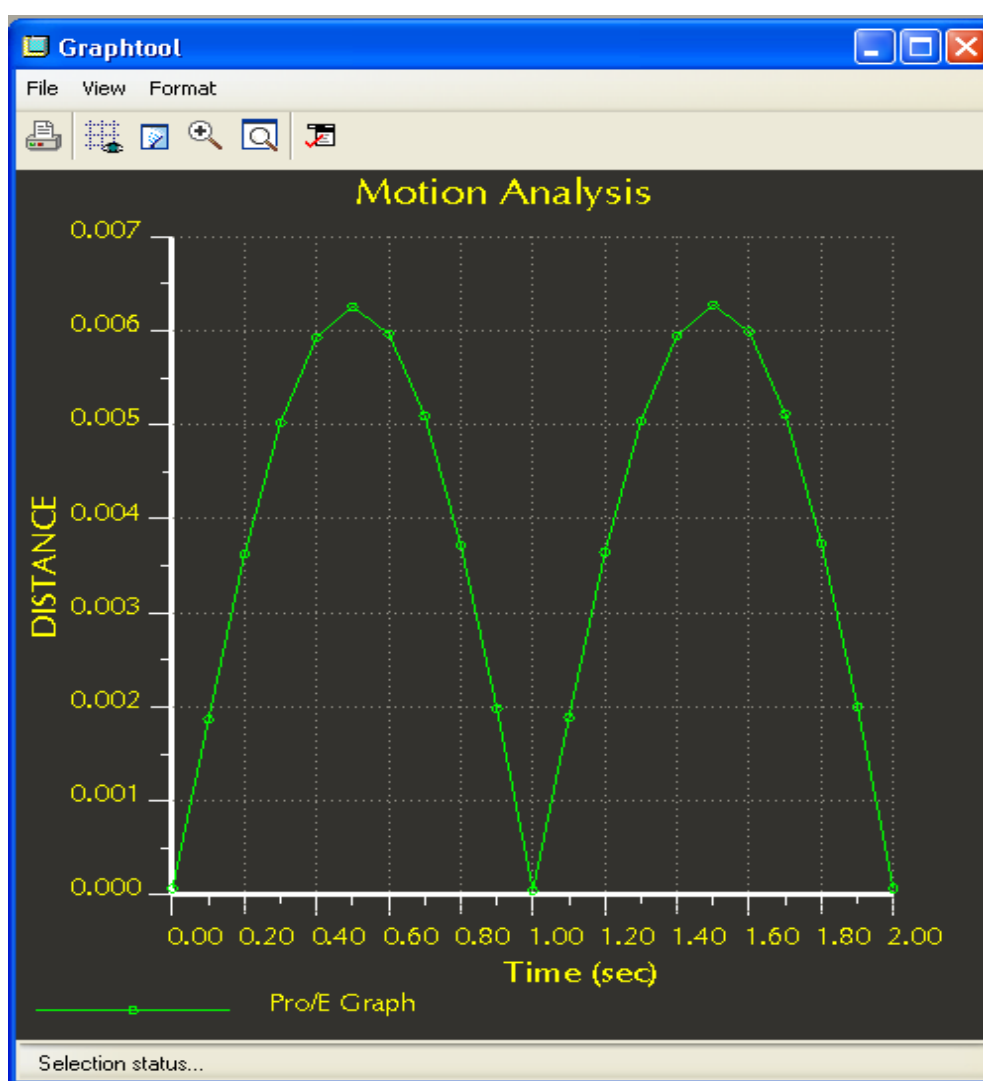
Εικόνα 28 – Κουτί Διαλόγου Motion Analysis



Στο *Parameters* περιέχονται οι προς εξέταση παράμετροι, στο *Options* ο χρήστης μπορεί να επιλέξει την δημιουργία μιας **Motion Envelope** για όλα ή κάποια από τα κινούμενα μέρη και να τεθεί ο αριθμός των βημάτων της Ανάλυσης. Στην συγκεκριμένη περίπτωση επιλέγηκαν δύο Analysis Features τύπου Distance που παράγουν παραμέτρους απόστασης από ένα σημείο σε ένα άλλο κατά την διάρκεια της κίνησης.

Πατώντας το πλήκτρο *Run* το σύστημα ξεκινά τους υπολογισμούς σύμφωνα με τις υποδείξεις που έθεσε προηγουμένως ο χρήστης και στο *Results* εμφανίζονται τα αποτελέσματα της Ανάλυσης Κίνησης.

Ταυτόχρονα εμφανίζεται και το γράφημα της Ανάλυσης (Εικόνα 29) όπου φαίνεται η αυξομείωση της παραμέτρου απόστασης στη μονάδα του χρόνου.



Εικόνα 29 – Γράφημα Ανάλυσης Κίνησης

User -Defined Analysis

Η **User Defined Analysis (UDA)** – Ανάλυση οριζόμενη από τον χρήστη - είναι μία συνήθης Ανάλυση ή μέτρηση που δημιουργείται, πέραν των πρότυπων που έχουν προαναφερθεί και βρίσκονται στο Μενού **Analysis**. Η χρήση του έγκειται στην δημιουργία προσαρμοσμένων μετρήσεων για διερεύνηση των χαρακτηριστικών του μοντέλου ώστε ο χρήστης να βρει μια λύση μοντελοποίησης που ικανοποιεί τους περιορισμούς που έχει θέσει (user –defined constraints).

Για να γίνει η επιθυμητή μέτρηση σε μια **UDA** πρέπει πρώτα ο χρήστης να δημιουργήσει ένα γκρουπ χαρακτηριστικών που αναφέρεται ως **Construction Group**. Αυτό για να οριστεί πρέπει να δημιουργηθεί ένα τοπικό γκρουπ – **local group** – που αποτελείται από Features όπου το πρώτο ιεραρχικά πρέπει να είναι ένα **Field Point Feature** και το τελευταίο ένα από τα γνωστά **Analysis Features**.


Το Field Point είναι ένα ειδικό **Datum Point** - σημείο αναφοράς, που τοποθετείται στην περιοχή όπου ο χρήστης θέλει να κάνει την μέτρηση ή την Ανάλυση με μοναδικό σκοπό τον συνδυασμό του με την **UDA**. Αυτό ορίζει μια περιοχή από την οποία έχει επιλεγεί μια καμπύλη, κορυφή, ακμή ή μια επιφάνεια και επειδή δεν περιορίζεται από διαστάσεις μπορεί να διατρέξει όλη την περιοχή της καμπύλης ή της επιφάνειας που κείται.

Για παράδειγμα, αν δημιουργηθεί ένα Field Point στην κορυφή μιας καμπύλης αναφοράς (datum curve), τότε όλη η καμπύλη αναφοράς γίνεται η περιοχή – τομέας που θα γίνει η Ανάλυση.

Αφού οριστεί μια **UDA** μπορεί να αποθηκευτεί και να επαναχρησιμοποιηθεί αν το θελήσει ο χρήστης σε κάποια άλλη εφαρμογή. Τα αποτελέσματα και οι παράμετροι που εξάγει είναι όμοια με αυτά μιας συνήθης Ανάλυσης με πρόσθετη όμως την οπτική απεικόνιση των τιμών με χρώμα. Εμφανίζονται δηλαδή τα διάφορα αποτελέσματα στην περιοχή ή το σημείο που εξετάστηκε, με διαφορετικό χρώμα για κάθε τιμή.

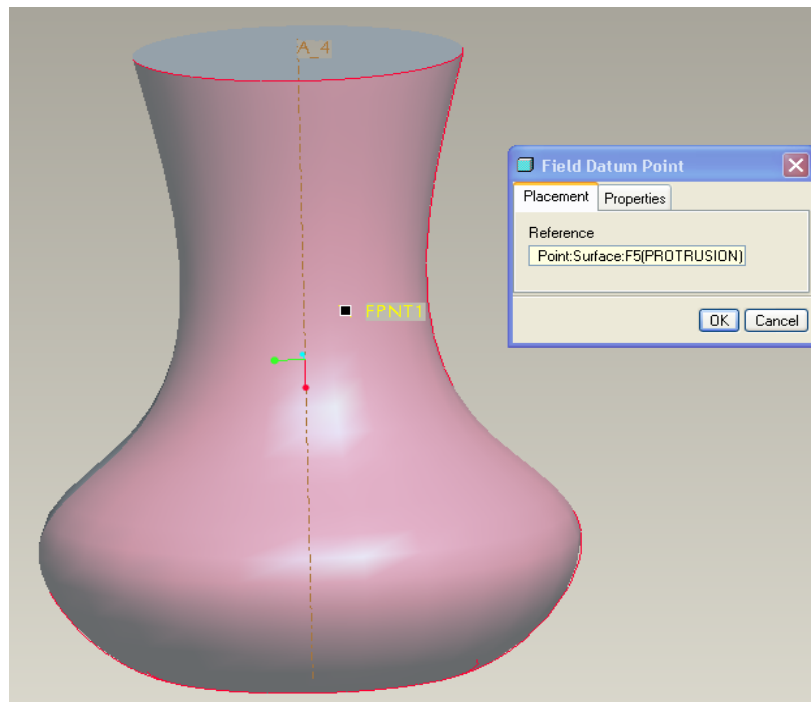
Στο παράδειγμα που ακολουθεί, γίνεται μια απλή εφαρμογή Ανάλυσης οριζόμενης από την χρήστη (**UDA**), όπου εξετάζεται η αλλαγή της ακτίνας ενός βάζου

Αρχικά πρέπει να δημιουργηθεί ένα **Field Point** και να τοποθετηθεί στην επιφάνεια του βάζου όπως φαίνεται στην Εικόνα 30. Από την μπάρα εργαλείων του Μενού σχεδίασης (Sketcher

Toolbar) επιλέγεται το εικονίδιο  που είναι η εντολή του Field Point και το σύστημα προτρέπει μέσω του κατάλληλου παράθυρου διαλόγου να επιλεγεί το σημείο τοποθέτησης (Εικόνα 30), το οποίο θα είναι η εξωτερική επιφάνεια του βάζου. Το **FPNT0** είναι η ονομασία του Field Point που θα φαίνεται και στο Model Tree.

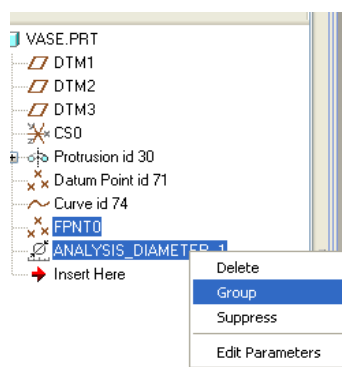
Έπειτα θα πρέπει να δημιουργηθεί ένα Analysis Feature τύπου **Diameter** το οποίο θα μετρά την απόσταση μεταξύ του κεντρικού άξονα και της εξωτερικής επιφάνειας όπου κείται και διατρέχει το Field Point.

Από το Κύριο Μενού επιλέγονται οι εντολές **Analysis** → **Measure** → **Diameter** κι εμφανίζεται το κουτί διαλόγου απ' όπου ο χρήστης επιλέγει την επιφάνεια και το Field Point ως αναφορές για την δημιουργία της παραμέτρου που θα μετρά την διάμετρο, και θα έχει την προεπιλεγμένη ονομασία **ANALYSIS_DIAMETER_1**.



Εικόνα 30 – Τοποθέτηση Του Field Point

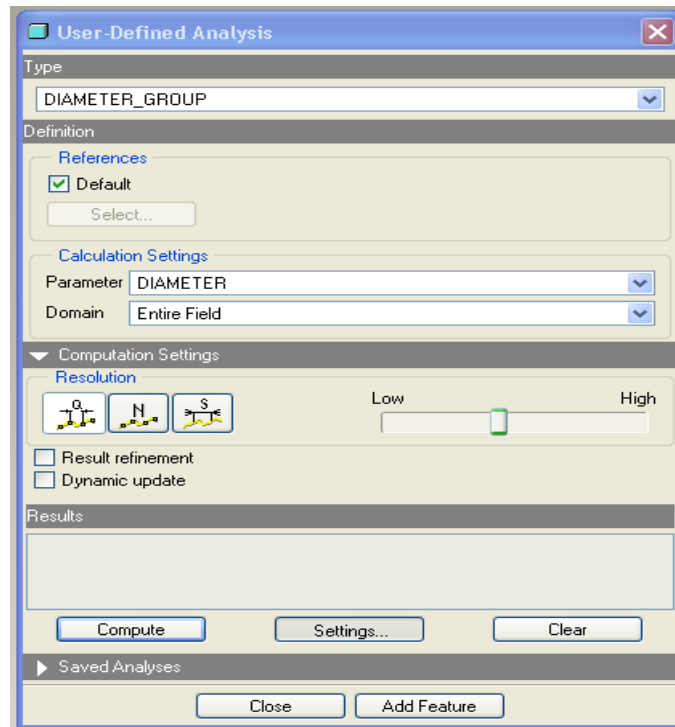
Μετά τη ολοκλήρωση του χαρακτηριστικού μέτρησης, έρχεται η σειρά της δημιουργίας του **Local Group** όπου θα ομαδοποιηθούν τα **FPNT_1** και **ANALYSIS_DIAMETER_1**. Από το Model Tree επιλέγονται και τα δύο (Εικόνα 31) και με δεξί κλικ → **Group** ολοκληρώνεται η ομαδοποίηση με την ονομασία **Diameter_Group**.



Εικόνα 31 – Δημιουργία Local Group

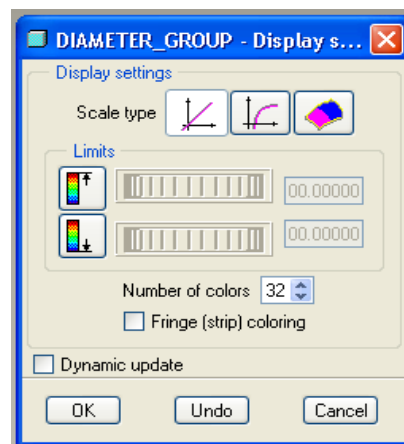


Αφού έχουν ολοκληρωθεί τα προηγούμενα βασικά βήματα, ο χρήστης θα είναι έτοιμος να προχωρήσει στο κυρίως μέρος δημιουργίας της **UDA**. Από το Κύριο Μενού επιλέγονται οι εντολές **Analysis** ➔ **User - Defined Analysis** κι εμφανίζεται το αντίστοιχο παράθυρο διαλόγου της Εικόνας 32.



Εικόνα 32 – Παράθυρο Διαλόγου UDA

Αποτελείται από το **Type** όπου επιλέγεται το **Local Group**, το **Definition**, όπου γίνεται η επιλογή των αναφορών κι εδώ έχει προεπιλεγεί από το σύστημα, το **Calculation Settings** για επιλογή της παραμέτρου μέτρησης και την περιοχή ή το σημείο που θα διεξαχθεί αυτή, αλλά και την επιλογή της ευκρίνειας των αποτελεσμάτων. Ακόμη είναι το **Results** στο οποίο γίνονται οι υπολογισμοί, εμφανίζονται τα αποτελέσματα και με την εντολή (Display) **Settings**, επιλέγεται ο τύπος της γραφικής απεικόνισης των αποτελεσμάτων και τα όρια των τιμών – Εικόνα 33.

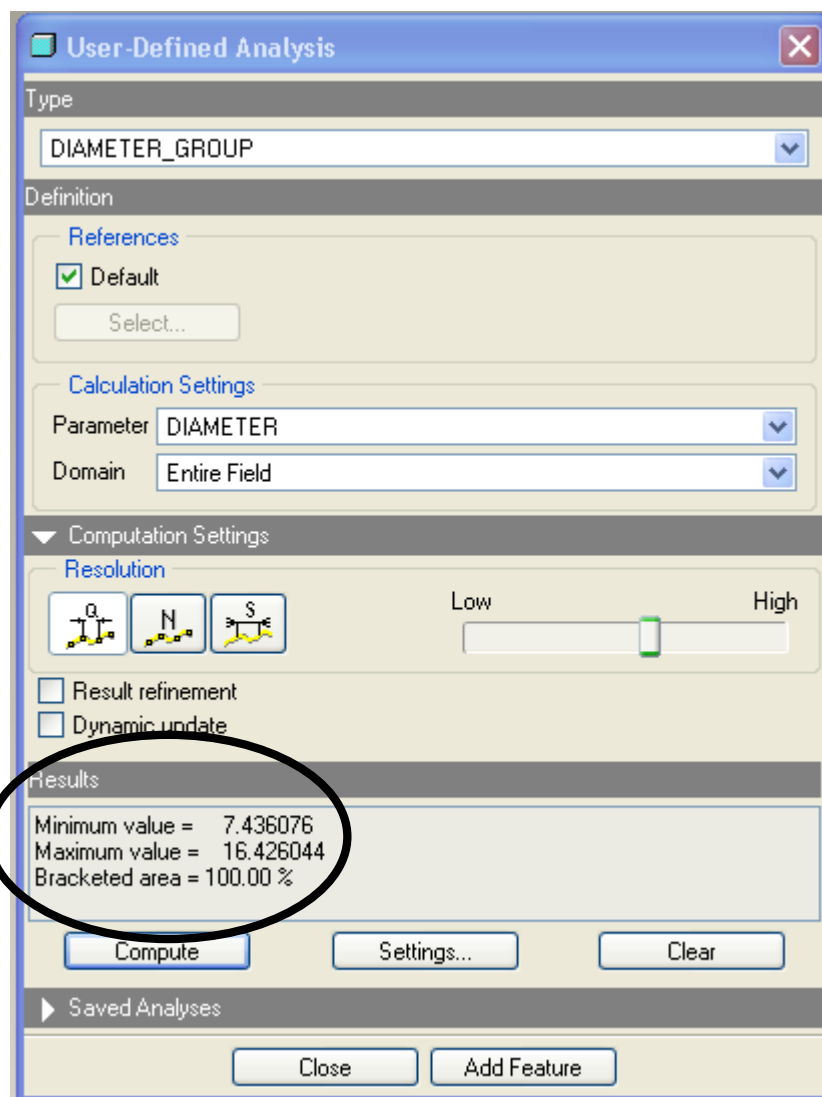


Εικόνα 33 – Επιλογές Απεικόνισης



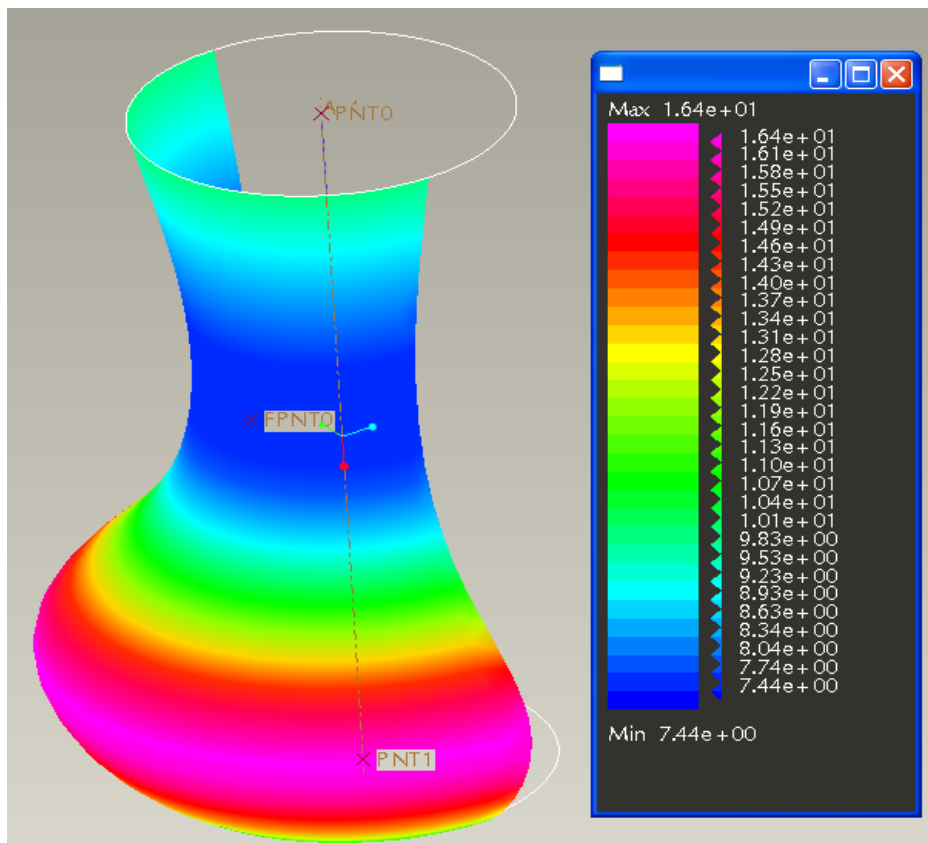
Στο κεντρικό παράθυρο διαλόγου υπάρχει και το **Saved Analyses** στο οποίο αποθηκεύεται η Ανάλυση αλλά και να “φορτωθεί” μια άλλη υπάρχουσα.

Αφού γίνουν όλες οι παραπάνω επιλογές και πατώντας το πλήκτρο Compute, εξάγονται τα αποτελέσματα της Ανάλυσης στο **Results** (Εικόνα 34) με την μέγιστή και την ελάχιστη τιμή που παίρνει η μέτρηση.



Εικόνα 34 – Εξαγωγή Min/Max Τιμών Της UDA

Οι ενδιάμεσες τιμές αλλά και η γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων φαίνονται στην Εικόνα 35.



Εικόνα 35 – Γραφική Απεικόνιση Όλων Των Τιμών Της UDA

2.3.1.2 Design Studies

Το Behavioral Modeling επιτρέπει στο χρήστη να προσδιορίσει την συμπεριφορά των σχεδίων μέσω του **Design Studies** – Μελέτες Σχεδίου, που είναι και το κύριο μέρος στο οποίο γίνεται η βελτιστοποίηση της σχεδίασης. Τα *Analysis Features* που περιγράφηκαν προηγουμένως, έχουν βοηθητικό και συνάμα σημαντικό ρόλο διότι είναι τα εργαλεία μέτρησης, τα οποία θα εισαχθούν στο Design Studies όπου θα αναλυθούν και θα χρησιμοποιηθούν οι τιμές ώστε ο χρήστης να πετύχει τους σχεδιαστικούς του στόχους.

Όπως έχει προαναφερθεί στο Κεφ. 2.3 αποτελείται από τα :

i) **Sensitivity Analysis**

ii) **Feasibility/Optimization Studies**

iii) **Multi – Objective Design Study**

Τα παραπάνω εργαλεία παρέχουν “διορατικότητα” στο ποιες είναι επιπτώσεις των αλλαγών στο μοντέλο. Ο χρήστης μπορεί να δει τα αποτελέσματα απ’ ευθείας, μέσω του σχεδιαστικού περιβάλλοντος με γραφικές απεικονίσεις, σε πραγματικό χρόνο κατά τις ενημερώσεις του σχεδίου. Ακόμη, αυτά τα εργαλεία βοηθούν ώστε ο χρήστης να κατανοήσει την συμπεριφορά των σχεδίων και να επιλέξει την βέλτιστη λύση.

Sensitivity Analysis

Η **Sensitivity Analysis** – Μελέτη Ευαισθησίας επιτρέπει στο χρήστη να αναλύσει το πώς διάφορες μετρήσιμες οντότητες ή παράμετροι ποικίλουν, όταν μια διάσταση σ’ ένα μοντέλο ή μια ανεξάρτητη παράμετρος του έχει μεταβληθεί μέσα σ’ ένα καθορισμένο εύρος. Μπορεί δηλαδή ο χρήστης να δει την επίπτωση που επιφέρει η αλλαγή μιας διάστασης ή μιας παραμέτρου σε άλλες παραμέτρους προτού κάνει την αλλαγή στην πραγματικότητα. Για παράδειγμα μπορεί να μελετηθεί η αυξομείωση του όγκου ενός μοντέλου, οδηγούμενο από μια διάσταση που θα μπορούσε να ήταν το ύψος του. Επιπροσθέτως η Sensitivity Analysis παράγει ένα γράφημα εξάρτησης μεταξύ των διαστάσεων ή των παραμέτρων που προαναφέρθηκαν.



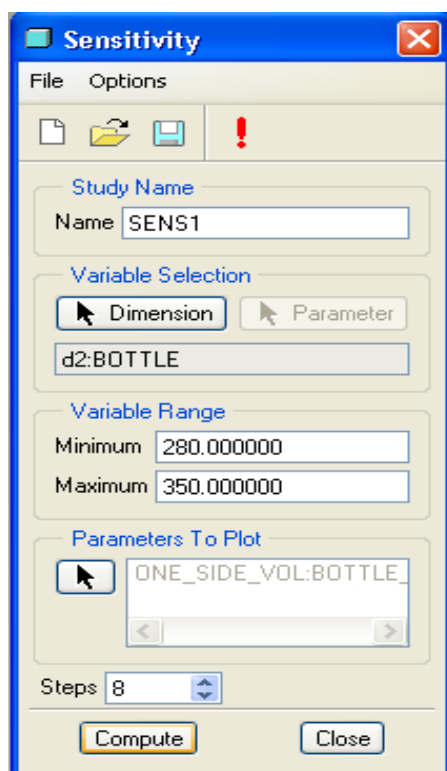
Όταν διεξάγεται μια *Sensitivity Analysis* θα πρέπει να προσδιοριστούν τα ακόλουθα :

- Διαστάσεις ή και παράμετροι που ποικίλλουν.
- Ένα εύρος για κάθε ποικίλλουσα διάσταση ή παράμετρο.
- Ο αριθμός των επαναλήψεων που θα χρησιμοποιηθούν στην Ανάλυση.
- Οι παράμετροι σε μια υπάρχουσα Analysis Feature, που στην οποία θα θελήσει ο χρήστης να μελετήσει το αντίκτυπο της διακύμανσης.

Σε μια *Sensitivity Analysis* το σύστημα εκτελεί τις ακόλουθες εργασίες :


- Μεταβάλλει τις διαστάσεις ή και τις παραμέτρους μέσω καθορισμένου εύρους.
- Ανανεώνει το μοντέλο σε κάθε μια επανάληψη.
- Δημιουργεί ένα γράφημα για κάθε παράμετρο που αναλύεται.

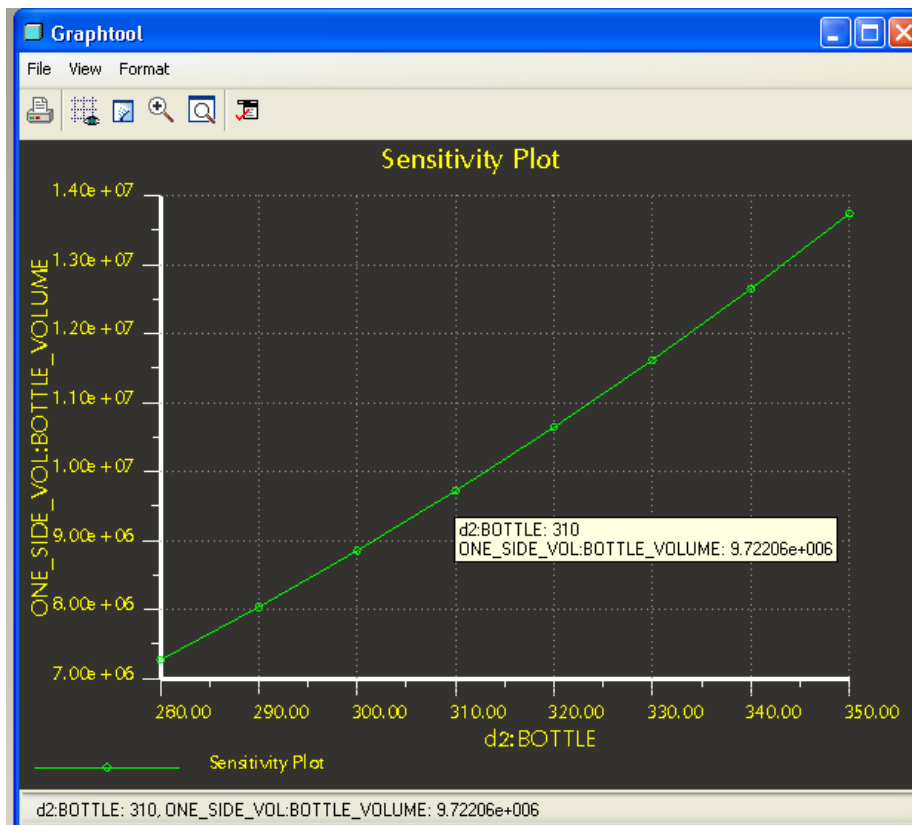
Για την δημιουργία μιας *Sensitivity Analysis* θα πρέπει πρώτα να δημιουργηθεί ένα *Analysis Feature* που θα περιέχει τις παραμέτρους που θα θελήσει να μελετήσει ο χρήστης. Στη συνέχεια από το Κύριο Μενού επιλέγονται οι εντολές **Analysis** ➔ **Sensitivity Analysis**. Εμφανίζεται το αντίστοιχο παράθυρο διαλόγου όπως φαίνεται στην Εικόνα 36.



Εικόνα 36 – Παράθυρο Διαλόγου Sensitivity Analysis

Τα στοιχεία που αναγράφονται στο παράθυρο διαλόγου είναι από ένα πραγματικό παράδειγμα στο οποίο μελετάται το πώς επηρεάζεται ο όγκος ενός δοχείου με την μεταβολή του ύψους του δοχείου. Το παράθυρο διαλόγου αποτελείται από το όνομα της μελέτης που εδώ αναγράφεται ως **SENS1**, την επιλογή της παραμέτρου ή της διάστασης που θα ποικίλλει (**Variable Selection**) κι έχει χρησιμοποιηθεί η διάσταση **d2** (ύψος δοχείου – άξονας **X** του γραφήματος). Έπειτα είναι το εύρος της τιμής του ύψους (**Variable Range**) που θα ποικίλλει (280mm – 350mm) και η παράμετρος όγκου - **ONE_SIDE_VOL** - που εξάγει το **Analysis Feature** που δημιουργήθηκε στην αρχή και οι τιμές του βρίσκονται στον άξονα **Y** του γραφήματος. Ακόμη υπάρχει κι επιλογή προσδιορισμού του πλήθους των βημάτων – υπολογισμών (**Steps** - σημεία x,y) για την δημιουργία του γραφήματος που στο συγκεκριμένο παράδειγμα είναι 8.

Πατώντας το πλήκτρο **Compute** ή το εικονίδιο  το σύστημα ξεκινά του υπολογισμούς σε οκτώ βήματα και εξάγει το γράφημα της Εικόνας 37 όπου ο χρήστης θα χρησιμοποιήσει για να μελετήσει τις επιπτώσεις που επιφέρει η μεταβολή του ύψους στον όγκο του δοχείου.



Εικόνα 37 – Γράφημα μια Ανάλυσης Sensitivity

Στο παράθυρο διαλόγου, υπάρχει ακόμη (εκτός των κλασικών εντολών για άνοιγμα και αποθήκευση αρχείου) και το **Options**, στο οποίο υπάρχει η επιλογή **Animate Model** ώστε ο χρήστης να μπορεί να βλέπει πως ενημερώνεται το μοντέλο σε κάθε βήμα της Ανάλυσης.

Feasibility / Optimization Studies -

Μελέτες Σκοπιμότητας & Βελτιστοποίησης

Η **Μελέτη Σκοπιμότητας – Feasibility Study** επιτρέπει στο σύστημα να υπολογίζει τιμές παραμέτρων και διαστάσεων που βασίζονται σε κανόνες που ορίζει ο χρήστης. Εάν το σύστημα βρει μια πραγματοποιήσιμη λύση τότε ειδοποιεί τον χρήστη ώστε να αλλάξει το μοντέλο στην κατάλληλη τιμή. Χάρης αυτή τη δυνατότητα, ο χρήστης κερδίζει πολύτιμο χρόνο διότι η επαναληπτική διαδικασία επίλυσης και εύρεσης της κατάλληλης τιμής είναι χρονοβόρα.

Για να γίνει αυτό πιο κατανοητό η Μελέτη Σκοπιμότητας λύνει το ακόλουθο πρόβλημα : βρίσκει τις τιμές ενός συνόλου διαστάσεων μέσω δεδομένου εύρους τιμών που ικανοποιούν ένα σύνολο συνθηκών σε υπολογισμένες παραμέτρους. Οι υπολογισμένες αυτές παράμετροι είναι παράμετροι που εξάγουν τα Analysis Features και οι συνθήκες μπορεί να είναι ίσες, μικρότερες ή μεγαλύτερες από προσδιορισμένες τιμές. Το σύστημα δηλαδή ψάχνει για μια λύση επιλεγμένων τιμών ώστε αυτές να συναντήσουν ένα σύνολο περιορισμών.

Για τη διεξαγωγή μιας *Μελέτης Σκοπιμότητας* πρέπει να προσδιοριστούν τα εξής :

- Διαστάσεις ή και παραμέτρους που θα ποικίλλουν
- Ένα εύρος για κάθε διάσταση ή παράμετρο που θα ποικίλλει
- Κανόνες παραμέτρων που θα ικανοποιηθούν από την μελέτη.

Οι εργασίες που εκτελεί το σύστημα κατά την *Μελέτη Σκοπιμότητας* είναι :

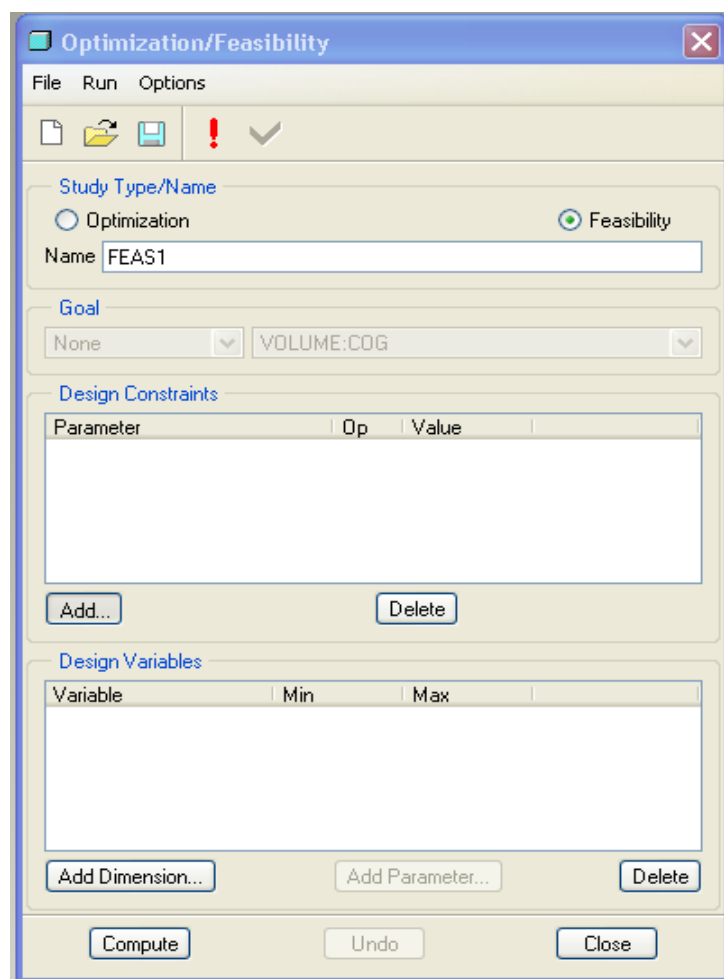
- Επιχειρεί να ικανοποιήσει τους κανόνες με την μεταβολή των διαστάσεων ή και των παραμέτρων
- Εάν βρεθεί μια κατάλληλη λύση μπορεί να αλλάξει σύμφωνα με τις νέες τιμές.

Παραδείγματος χάριν μια τέτοια μελέτη μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να υπολογίσει τις διαστάσεις μιας συσκευασίας όπου απαιτείται συγκεκριμένος όγκος.



Για την διεξαγωγή μια *Μελέτης Σκοπιμότητας* επιλέγονται από το Κύριο Μενού οι εντολές :

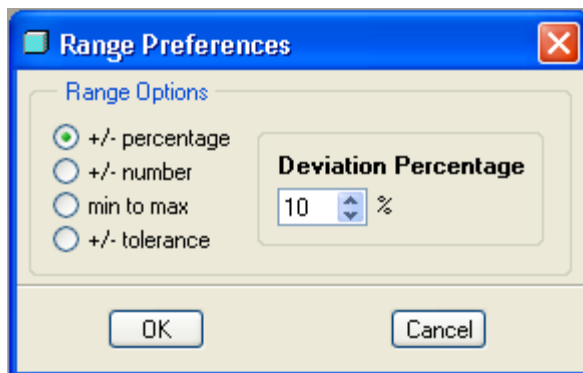
Analysis ➔ **Feasibility/Optimization Study** κι εμφανίζεται το παράθυρο διαλόγου που φαίνεται στην ακόλουθη Εικόνα 38.



Εικόνα 38 – Παράθυρο Διαλόγου Feasibility/Optimization Study

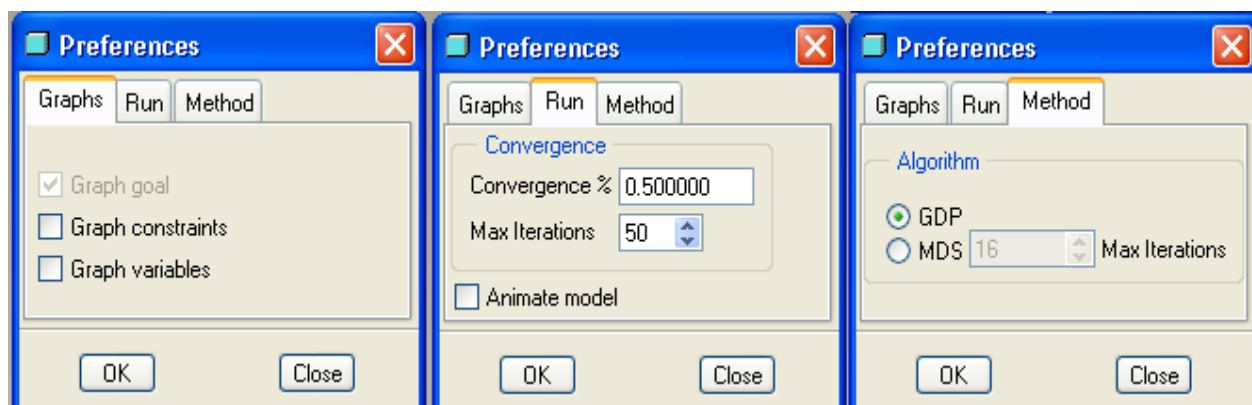
Το παράθυρο διαλόγου είναι κοινό είτε για την Μελέτη Σκοπιμότητας είτε για την Μελέτη Βελτιστοποίησης. Αποτελείται αρχικά, από την επιλογή του τύπου της μελέτης (**Study Type/Name**) που στο παράδειγμα που θα ακολουθήσει έχει επιλεγεί το **Feasibility**, την επιλογή του στόχου (**Goal**) που χρησιμοποιείται μόνο για την μελέτη Βελτιστοποίησης και είναι η παράμετρος που θα μεγιστοποιηθεί ή θα ελαχιστοποιηθεί. Επόμενη επιλογή είναι η προσθήκη σχεδιαστικών περιορισμών (**Design Constraints**) που μπορεί να είναι μια παράμετρος *Analysis Feature*, και τέλος η είναι η προσθήκη σχεδιαστικών μεταβλητών (**Design Variables**) οι οποίες είναι διαστάσεις του μοντέλου.

Ακόμη, το παράθυρο διαλόγου στην πάνω πλευρά φέρει και εντολές συντόμευσης όπως αποθήκευση και άνοιγμα αρχείων (**File**), υπολογισμό της μελέτης και αναίρεσή της (**Run**) κι επιλογές (**Options** → **Default Range**) του τύπου του εύρους των τιμών (Εικόνα 39) αλλά και διαφόρων προτιμήσεων (**Options** → **Preferences**) που αφορούν το γράφημα που θα παραχθεί, την σύγκλιση κ.α (Εικόνα 40).



Εικόνα 39 – Επιλογές Τύπου Εύρους

Οι επιλογές για το είδος του εύρους μπορεί να είναι καθαρός αριθμός, ποσόστωση, μέγιστη – ελάχιστη τιμή και ανοχή.



Εικόνα 40 – Preferences

Η εμφάνιση γραφημάτων των μεταβλητών αλλά και των περιορισμών που έχει θέσει ο χρήστης, η σύγκλιση και το πλήθος επαναλήψεων αλλά και η μέθοδος του αλγόριθμου που θα χρησιμοποιηθεί είναι τα στοιχεία που συνθέτουν το υπό-παράθυρο διαλόγου για τις διάφορες επιλογές.



Η **Μελέτη Βελτιστοποίησης - Optimization Study** λύνει το πρόβλημα σκοπιμότητας (Feasibility) με μια πρόσθετη συνθήκη ή στόχο (**Goal**). Ο στόχος αυτός είναι να ελαχιστοποιήσει ή να μεγιστοποιήσει κάποιες παραμέτρους από τα *Analysis Features* αν αυτό κριθεί αναγκαίο. Η Μελέτη Βελτιστοποίησης επιτρέπει ουσιαστικά στο σύστημα, να ελαχιστοποιήσει ή να μεγιστοποιήσει μια ορισμένη παράμετρο καθώς αυτή περιορίζεται από κανόνες που έχει θέσει ο χρήστης. Εάν το σύστημα κατά τους υπολογισμούς βρει εφικτή λύση τότε το μοντέλο βελτιστοποιείται σύμφωνα με τα νέα δεδομένα.

Όταν διεξάγεται μια *Μελέτη Βελτιστοποίησης* θα πρέπει να προσδιοριστούν τα ακόλουθα :

- Διαστάσεις ή και παραμέτρους που θα ποικίλλουν
- Ένα εύρος για κάθε διάσταση ή παράμετρο που θα ποικίλλει
- Κανόνες παραμέτρων που θα ικανοποιηθούν από την μελέτη.
- Ένα στόχο (**Goal**) μια παράμετρος δηλαδή που θα ελαχιστοποιηθεί ή θα μεγιστοποιηθεί.

Κατά την *Μελέτη Βελτιστοποίησης* διεξάγονται οι παρακάτω εργασίες :

- Επιχειρεί να ικανοποιήσει τους κανόνες των παραμέτρων, μεταβάλλοντας τις διαστάσεις ή και τις παραμέτρους καθώς αυτές συναντούν το στόχο ως έχει οριστεί.
- Αν βρεθεί μια κατάλληλη λύση , τότε το μοντέλο μπορεί να αλλάξει στις νέες τιμές.

Πολύ συνοπτικά, η Μελέτη Βελτιστοποίησης θα μπορούσε για παράδειγμα να ελαχιστοποιήσει το εμβαδόν της επιφάνειας μια δεξαμενής καθώς σχεδιαστικοί περιορισμοί όπως ο όγκος παραμένει σταθερός.

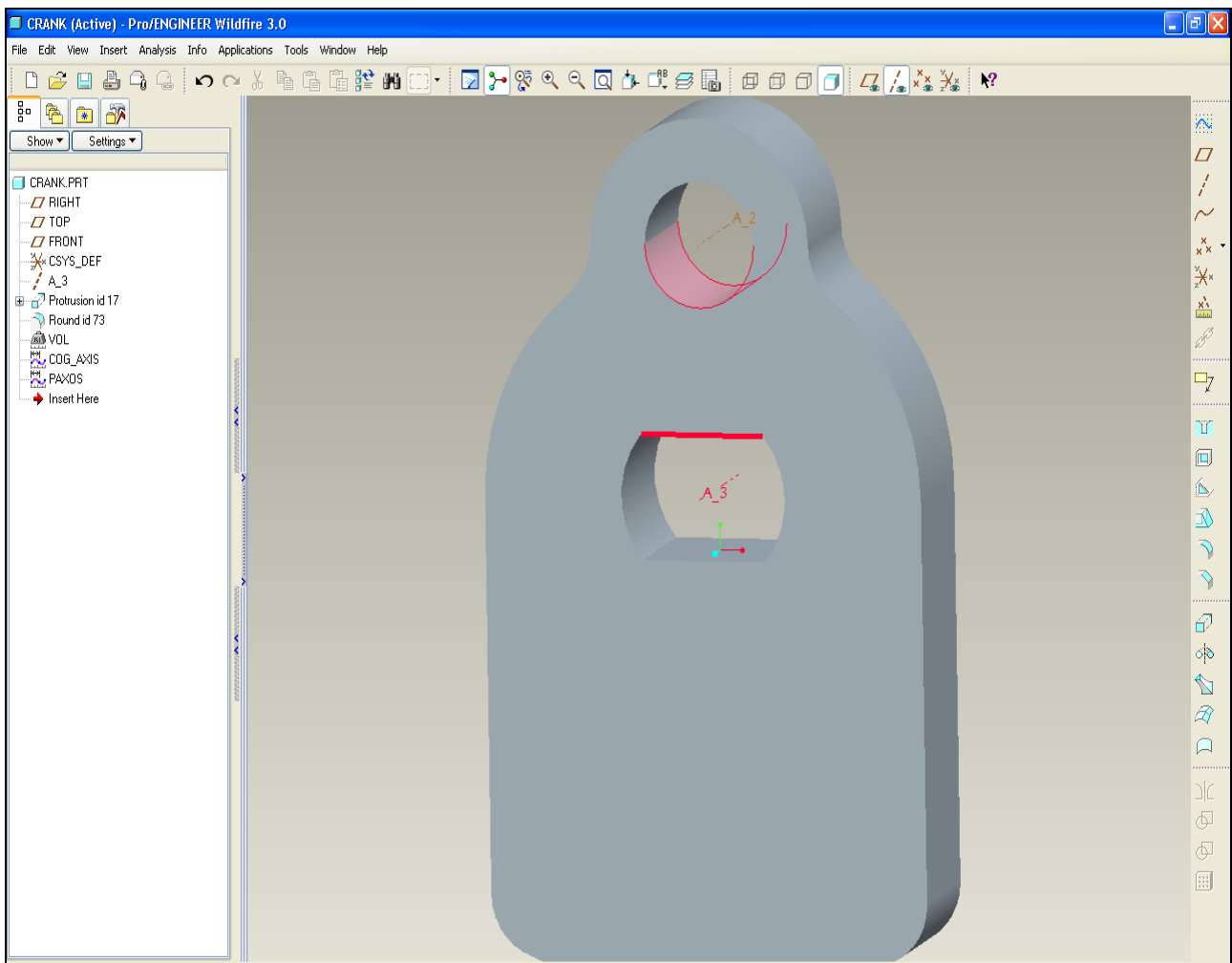
Για την έναρξη της μελέτης ακολουθούνται τα ίδια βήματα εντολών όπως και στην Μελέτη Σκοπιμότητας μιας και έχουν κοινή εντολή έναρξης και κοινό παράθυρο διαλόγου.

Στο παράδειγμα επίδειξης και κατανόησης των μελετών που ακολουθεί, γίνεται συνδυασμός των *Feasibility & Optimization* με πρώτη την Μελέτη Σκοπιμότητας και δεύτερη την Μελέτη Βελτιστοποίησης όπου και θα γίνει προσπάθεια επίτευξης του σχεδιαστικού στόχου, για την τελική φάση της μελέτης, που είναι η βελτιστοποίηση της γεωμετρίας του μοντέλου.

Το παράδειγμα, αφορά έναν στρόφαλο (Εικόνα 41) στον οποίο αρχικά δημιουργήθηκαν τρία *Analysis Features* (φαίνονται στο κάτω μέρος του Model Tree).



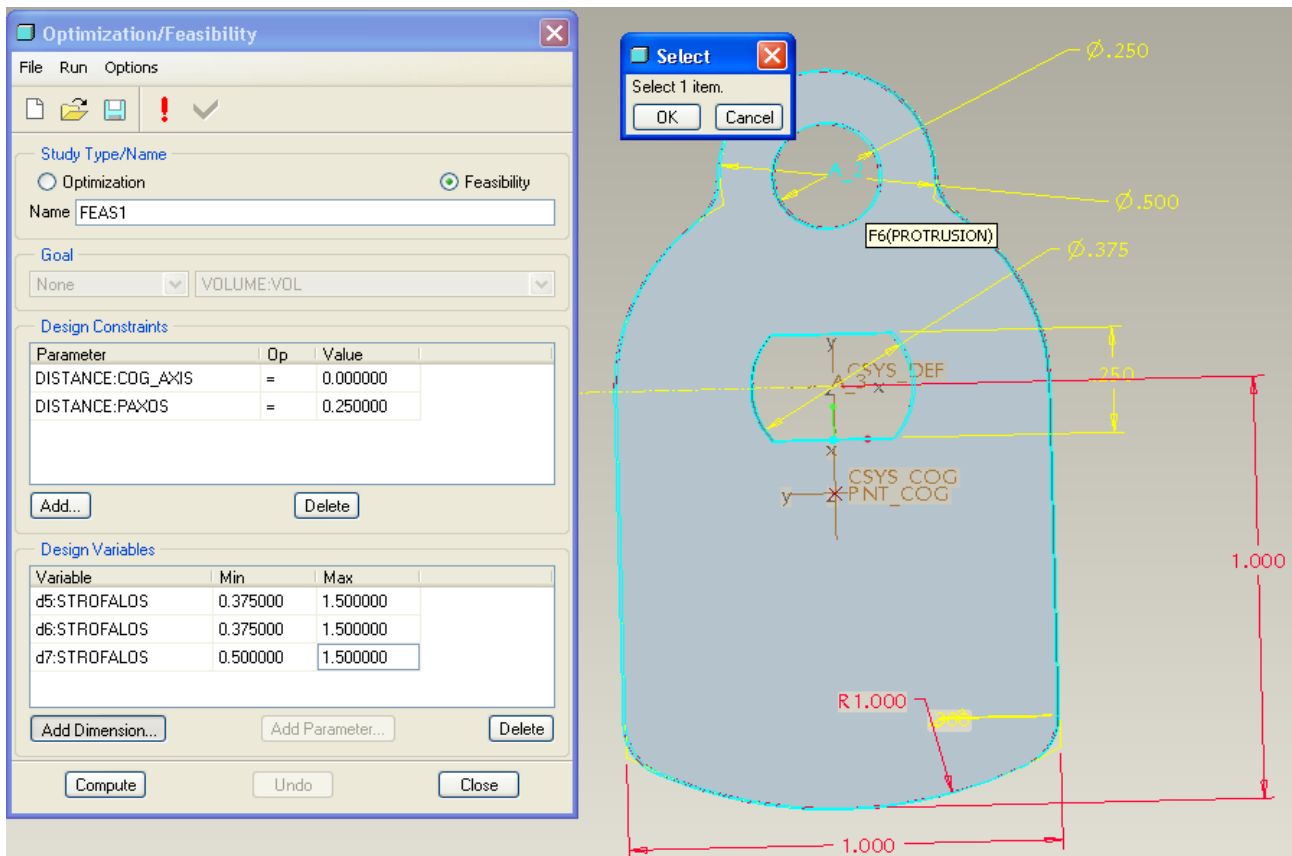
Το πρώτο που έχει την ονομασία **VOL** μετρά τον όγκο, το δεύτερο - **COG_AXIS** μετρά την απόσταση μεταξύ του σημείου που βρίσκεται το κέντρο βάρους και του άξονα **A_3** της οβάλ οπής και το τρίτο (**PAXOS**) μετρά την απόσταση από την εσωτερική επιφάνεια της στρογγυλής οπής και της πάνω ακμής της οβάλ οπής. Τα σημεία αναφοράς διακρίνονται με κόκκινο χρώμα.



Εικόνα 41 – Στρόφαλος

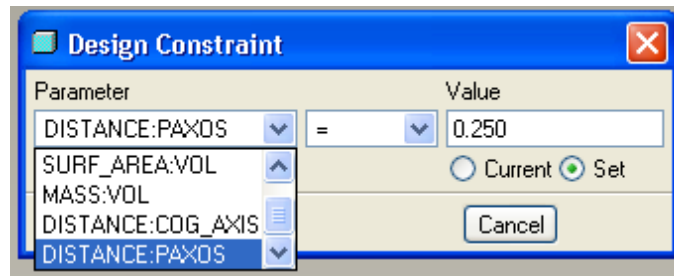
Με την ολοκλήρωση της δημιουργίας των Analysis Features, ξεκινά η Μελέτη Σκοπιμότητας όπου ο χρήστης θα καθορίσει τις σχεδιαστικές μεταβλητές - διαστάσεις και τους σχεδιαστικούς περιορισμούς. Στις Εικόνα 42 φαίνονται ελάχιστες και οι μέγιστες τιμές των σχεδιαστικών μεταβλητών (το εύρος δηλαδή που θα ποικίλλουν και διακρίνονται με κόκκινο χρώμα) και οι σχέσεις που θα διέπουν τους σχεδιαστικούς περιορισμούς.

Πληκτρολογώντας το **Add Dimensions** εμφανίζονται στο μοντέλο όλες οι διαστάσεις του (με κίτρινο χρώμα) και ο χρήστης προτρέπεται να επιλέξει τις επιθυμητές αλλά και τις τιμές με τις οποίες θα ποικίλλουν (Min/Max).



Εικόνα 42 – Επιλογή Σχεδιαστικών Μεταβλητών και Περιορισμών

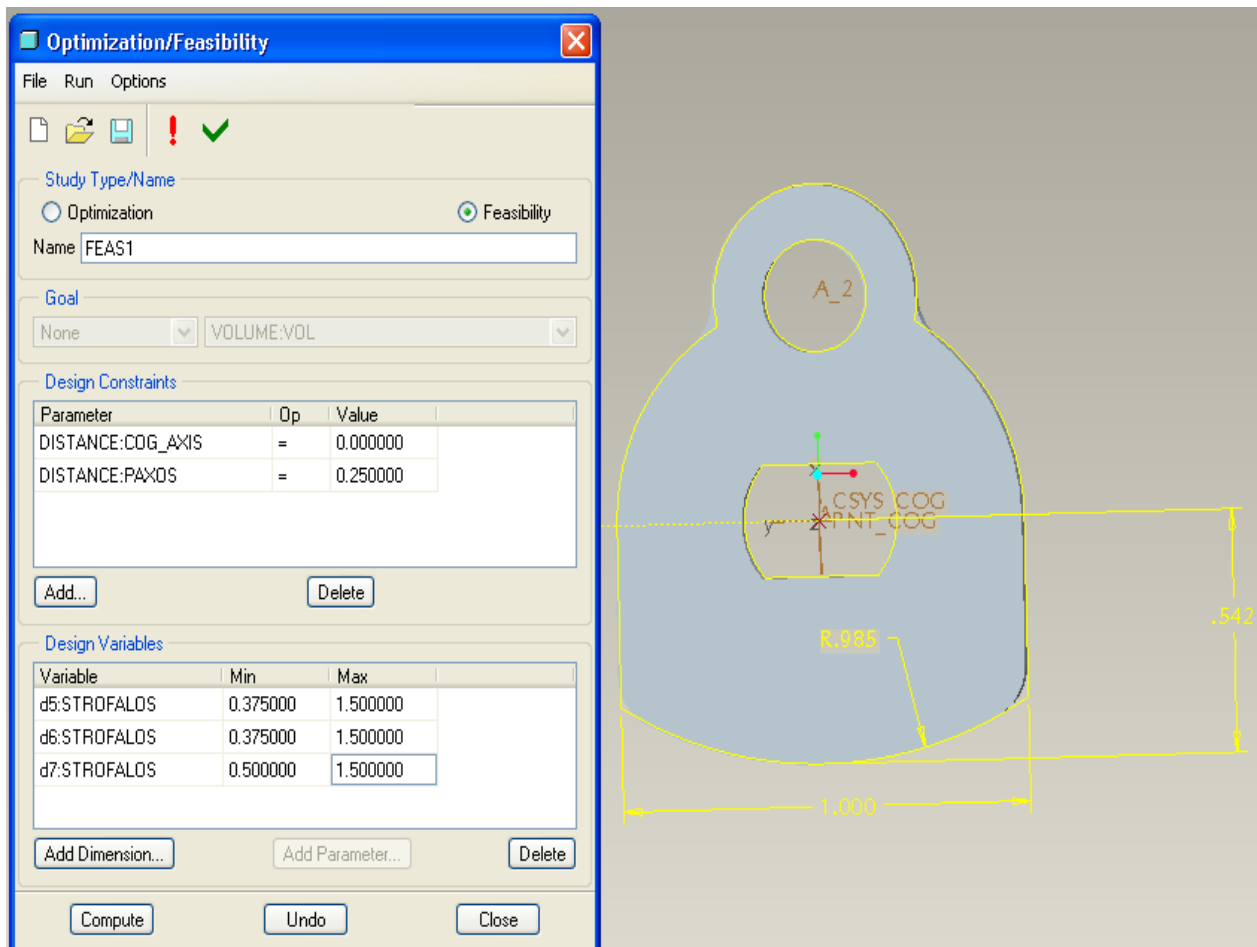
Πληκτρολογώντας την εντολή **Add** στο παράθυρο **Parameters** του **Design Constraints**, εμφανίζεται το παράθυρο επιλογής του σχεδιαστικού περιορισμού (Analysis Feature) και της τιμής που θα πάρει (Εικόνα 43).



Εικόνα 43 – Επιλογή Τιμής Σχεδιαστικού Περιορισμού

Πληκτρολογώντας την εντολή **Compute** σύστημα αρχίζει και ψάχνει για εφικτές λύσεις. Αν το επιτύχει το ανακοινώνει στην μπάρα διαλόγου μεταξύ χρήστη και προγράμματος με την φράση “ **A feasible solution has been found** “ και ταυτόχρονα αλλάζει την γεωμετρία του μοντέλου στα νέα δεδομένα (Εικόνα 44).

Έπειτα ο χρήστης μπορεί να κρατήσει την λύση ή με χρήση της εντολής **Undo** να επιστρέψει το μοντέλο στην αρχική του μορφή και να επαναπροσδιορίσει τις τιμές των παραμέτρων.

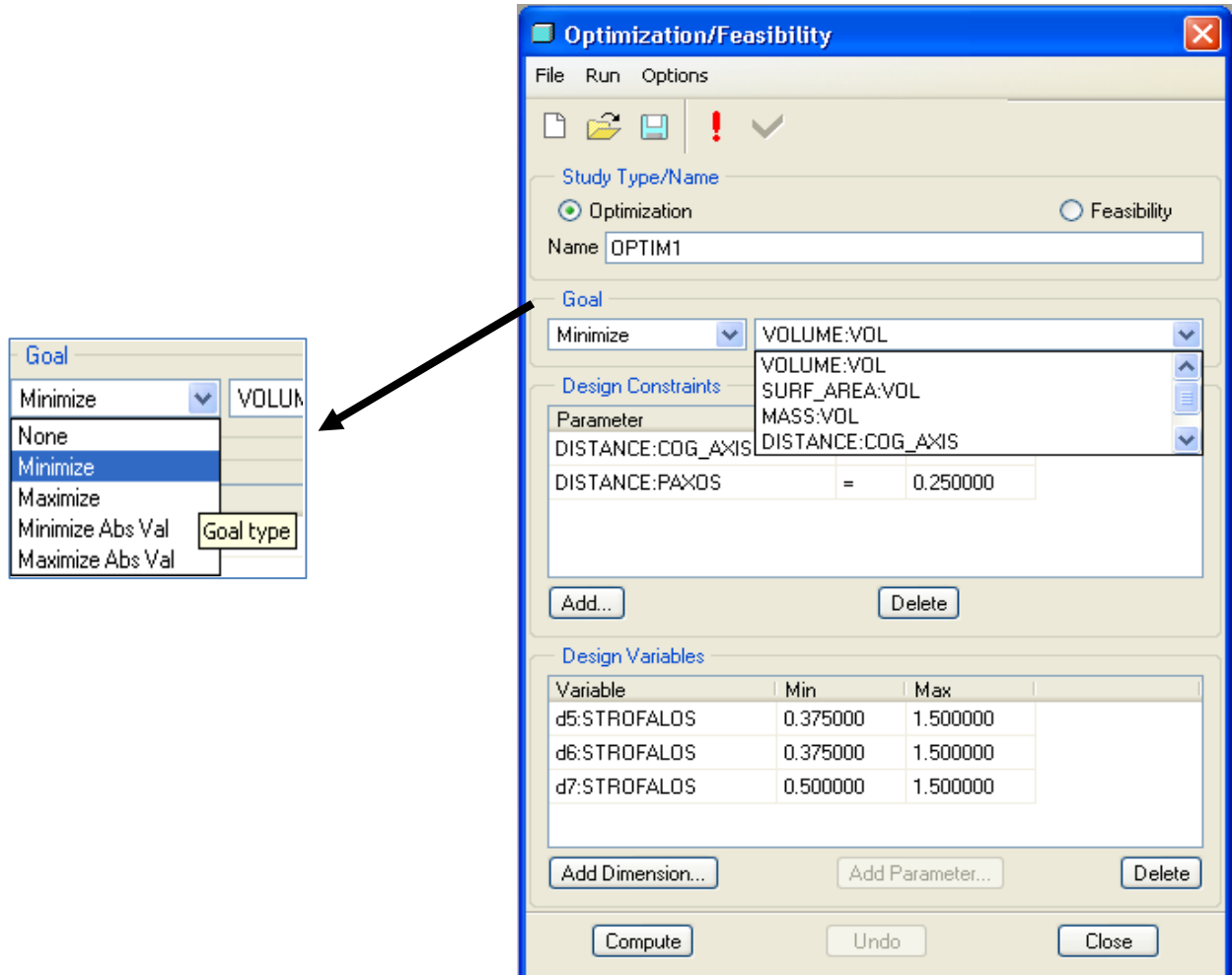


Εικόνα 44 – Ολοκλήρωση Υπολογισμών και Μετατροπή Στις Νέες Τιμές



Θεωρώντας ότι ο χρήστης κρατήσει τα συγκεκριμένα δεδομένα ως επιθυμητά, μπορεί να συνεχίσει για την τελική φάση που είναι η Μελέτη Βελτιστοποίησης.

Με τις ίδιες ακριβώς εντολές όπως και για την Μελέτη Σκοπιμότητας ανοίγει το παράθυρο διαλόγου της Εικόνας 45.



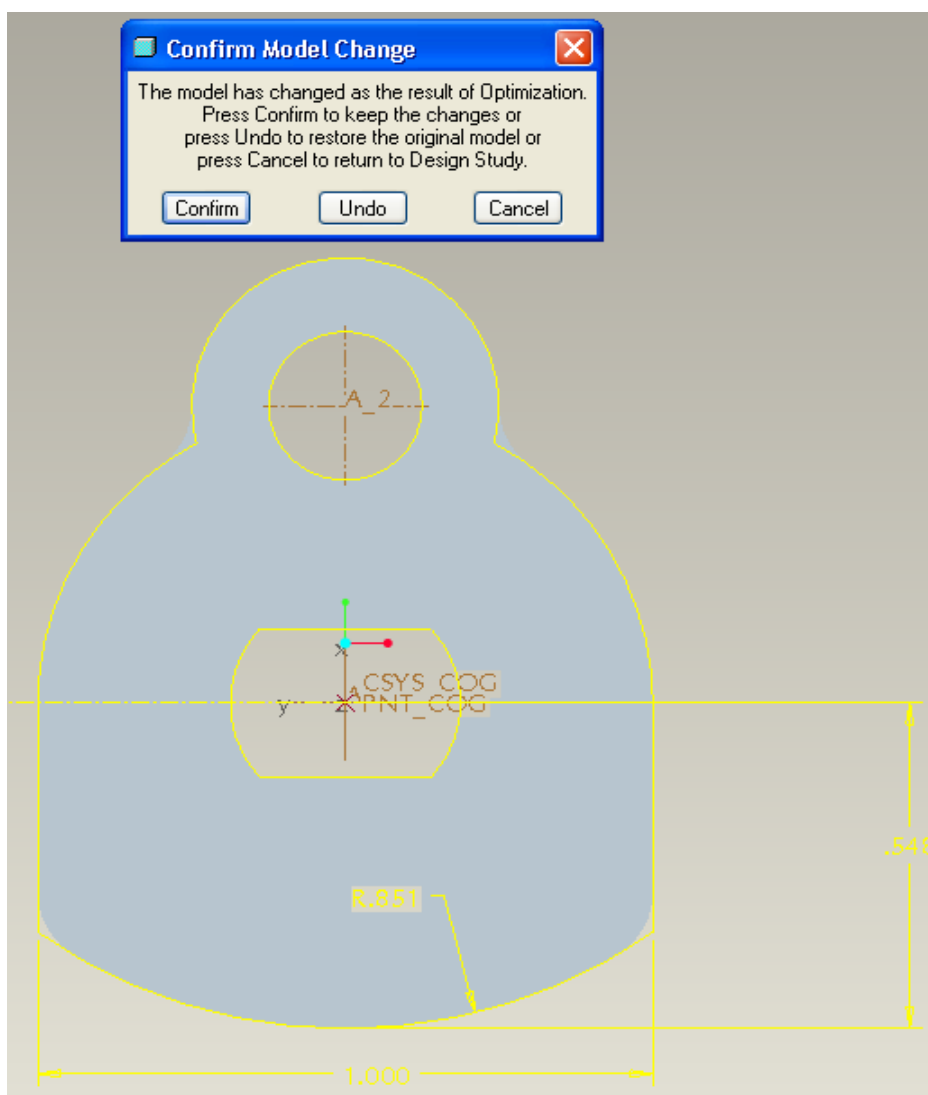
Εικόνα 45 – Επιλογή Σχεδιαστικού Στόχου

Επιλέγεται ο τύπος της μελέτης (Optimization), η ονομασία αλλά και ο σχεδιαστικός στόχος που για παράδειγμα θα μπορούσε να ήταν ελαχιστοποίηση του όγκου του στροφάλου – Minimize – Volume:VOL. Με χρήση της εντολής **Compute** το σύστημα αρχίζει και “ψάχνει” για την βέλτιστη λύση.

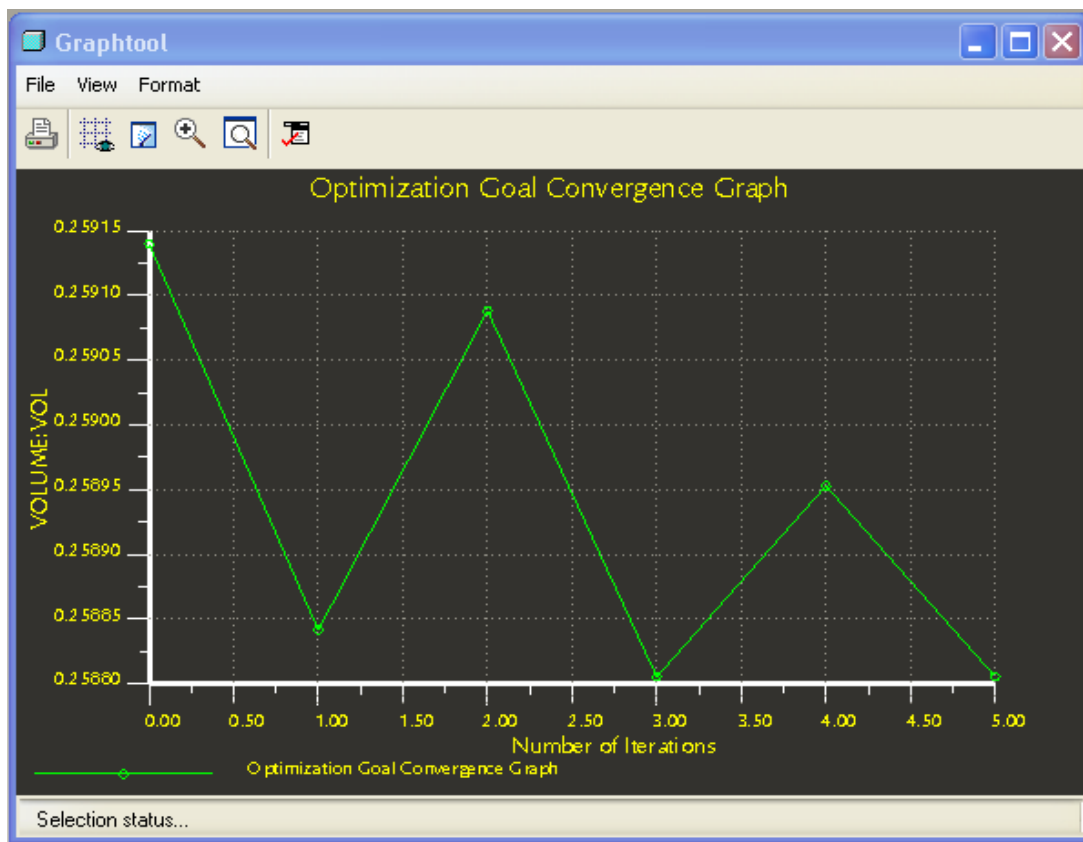
Αν η λύση βρεθεί, τότε το σύστημα ειδοποιεί τον χρήστη με την φράση “ **The part was successfully optimized** ”, εμφανίζει το μοντέλο στην νέα του μορφή και ζητά για την επιβεβαίωση των αλλαγών σε περίπτωση που το αποτέλεσμα είναι επιθυμητό (Εικόνα 46).

Εκτός από την εμφανή οπτική διαφορά στις διαστάσεις και κατ' επέκταση στον όγκο του μοντέλου, ο χρήστης μπορεί να επιβεβαιώσει την ελαχιστοποίηση του όγκου και αριθμητικά, από τις πληροφορίες που παρέχει το *Feature* με την ονομασία **VOL**, το οποίο θα έχει ενημερωθεί από το σύστημα.

Επιπροσθέτως, με χρήση της εντολής **Options** του παραθύρου διαλόγου το σύστημα εξάγει και τα επιθυμητά γραφήματα για περαιτέρω μελέτη. Στο γράφημα της Εικόνας 47 για παράδειγμα, φαίνεται η μεταβολή του όγκου για κάθε επαναληπτικό βήμα αναζήτησης λύσης.



Εικόνα 46 – Το Βελτιστοποιημένο Μοντέλο



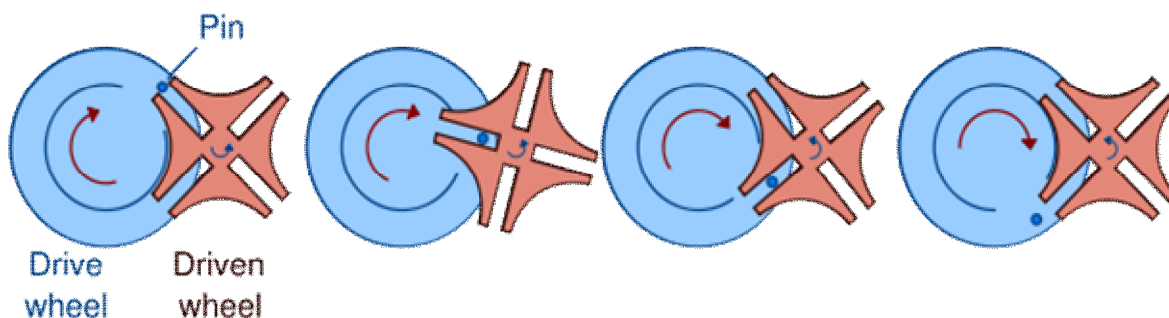
Εικόνα 47 – Γράφημα Μεταβολής Όγκου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 Ο Μηχανισμός της Γενεύης

Ο μηχανισμός της Γενεύης (Geneva Mechanism ή Maltese Cross) χρησιμοποιείται σε εφαρμογές όπου είναι αναγκαία η χρήση **διακοπτόμενης ή διαλείπουσας κίνησης** (intermittent motion).

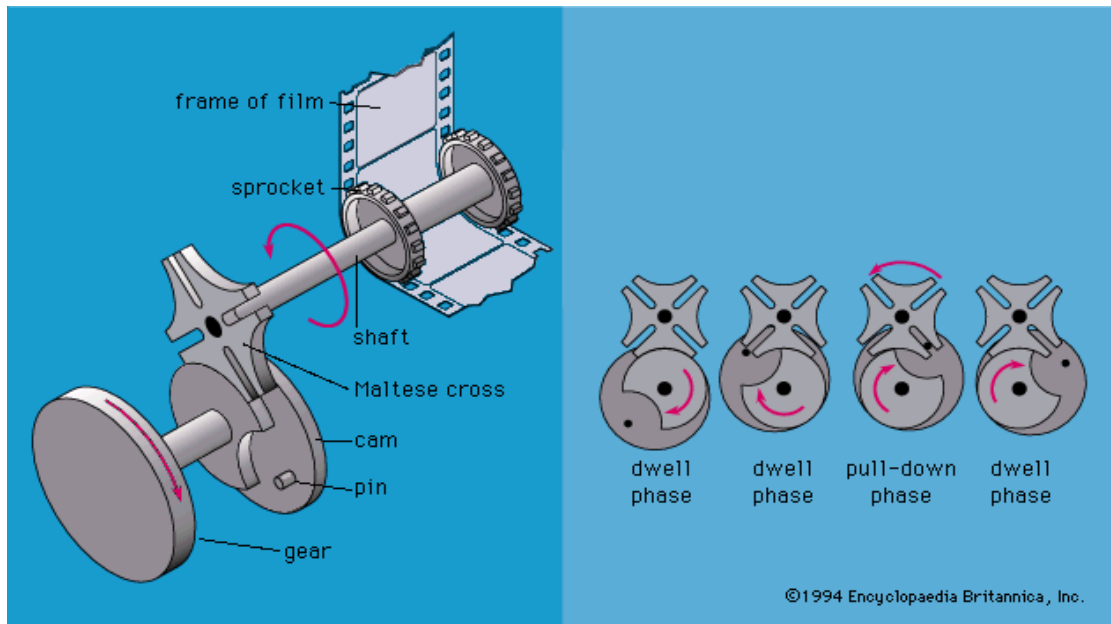
Αποτελείται από δύο τροχούς, τον κινητήριο (**Drive wheel**) και τον κινούμενο (**Driven wheel**). Ο κινητήριος τροχός καθώς περιστρέφεται συνεχώς, φέρει πείρο (**Pin**) ο οποίος εμπλέκεται στην αυλάκωση του κινούμενου τροχού. Έτσι τον περιστρέφει με αντίθετη φορά κατά ένα τέταρτο (σε συστήματα τεσσάρων αυλακώσεων) για κάθε μια περιστροφή του. Ο κινούμενος τροχός παραμένει σε κλειδωμένη θέση έως ότου εμπλακεί ξανά κατά την δεύτερη πλήρη περιστροφή του κινητήριου τροχού, δημιουργώντας έτσι την διακοπτόμενη κίνηση - Εικόνα 48.



Εικόνα 48 – Μηχανισμός Γενεύης

Η εφεύρεση του συγκεκριμένου μηχανισμού ανάγεται στα τέλη του 17^{ου} με αρχές του 18^{ου} αιώνα στη Γενεύη της Ελβετίας από ωρολογοποιούς όπου τότε η συγκεκριμένη τέχνη γνώριζε μεγάλη άνθηση. Η πρώτη λοιπόν εφαρμογή του μηχανισμού ήταν σε μηχανικά ρολόγια όπου προστάτευε το ελατήριο αν δεχόταν υπερβολική τάση κατά την διαδικασία του κουρδίσματος.

Μια άλλη εφαρμογή του μηχανισμού ήταν το 1888 που χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά σε μηχανές λήψεων και προβολής ταινιών. Επειδή το φιλμ πρέπει να σταματά για λίγο όσο το φως διαπερνά κάθε μεμονωμένο καρέ χρειάστηκε ένας μηχανισμός που να δημιουργεί την διακεκομμένη κίνηση του φιλμ (Εικόνα 49).



Εικόνα 49 – Λειτουργία Σε Μηχανή Προβολής Ταινιών

Η απλότητα του μηχανισμού τον κάνει να βρίσκει χρήση και σε άλλες εφαρμογές όπως σε συσκευές δειγματοληψίας, σε οδόμετρα, στον επιλογή εργαλείου για CNC μηχανές ακόμα και σε σύγχρονα πλυντήρια ποτηριών περιστροφικού τύπου κ.α.

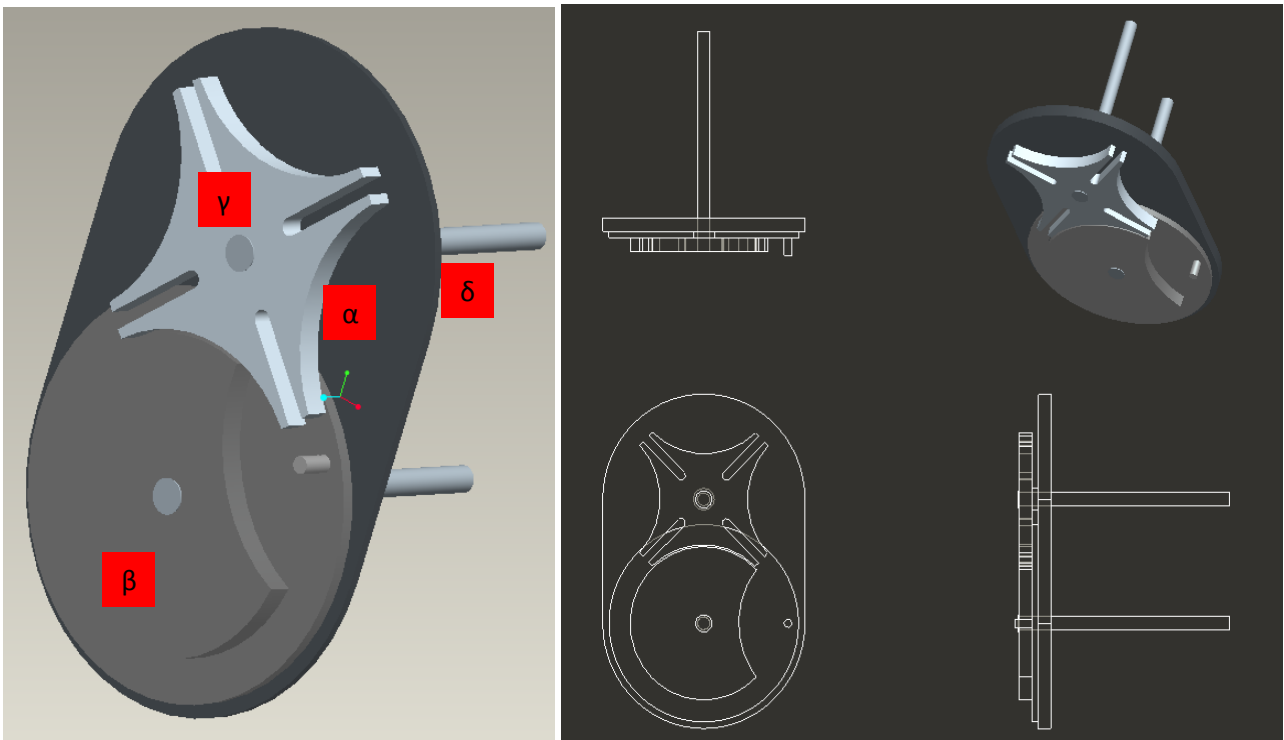
Ο συγκεκριμένος μηχανισμός πλεονεκτεί σε πολλά σημεία σε σχέση με άλλους μηχανισμούς διακοπτόμενης κίνησης όπως είναι ο μηχανισμός ανασταλτικής οδόντωσης (ratchet and pawl). Είναι απλός σαν κατασκευή και οικονομικός, αποτελείται από λίγα κινούμενα μέρη, χρησιμοποιείται σε πολλά μεγέθη ανάλογα τον σκοπό της εφαρμογής, είναι ανθεκτική κατασκευή και μπορεί να λειτουργεί για πολλά χρόνια σε καθημερινή βάση.

Μολαταύτα, έχει και μειονεκτήματα. Δεν είναι ευέλικτος μηχανισμός και μπορεί να δώσει από τρεις έως δεκαοκτώ (ανάλογα τον σχεδιασμό) διακοπτόμενες κινήσεις το πολύ με κάθε περιστροφή του κινητήριου τροχού. Επίσης, κατά το ξεκίνημα και το σταμάτημα της περιστρεφόμενης διακοπτόμενης κίνησης του κινούμενου τροχού, παρατηρείται απότομη επιτάχυνση και επιβράδυνση αντιστοίχως, πράγμα που δημιουργεί ανεπιθύμητους κραδασμούς (jerk).

3.2 Βελτιστοποίηση Μηχανισμού της Γενεύης

Ο σχεδιασμός του μηχανισμού θα εξελιχθεί με απλές εντολές δημιουργίας σχημάτων και με προσεγγιστικές τιμές διαστασιολόγησης των μερών του μηχανισμού, ώστε κατά την φάση της βελτιστοποίησης να επιτευχθούν οι κατάλληλες τιμές, σύμφωνα με τις ανάγκες που θα δημιουργηθούν από τον χρήστη.

Η διαδικασία του σχεδιασμού λόγω του ότι δεν αποτελεί το κύριο κομμάτι της συγκεκριμένης εργασίας κι εφαρμογής δεν θα παρουσιαστεί, εκτός από κάποια αναγκαία στοιχεία όπως τα μέρη που αποτελείται και οι αρχικές τους διαστάσεις του μηχανισμού, ώστε να γίνουν καλύτερα αντιληπτές στον αναγνώστη οι μεταβολές στην γεωμετρία κατά την φάση της βελτιστοποίησης. Ο μηχανισμός που έχει σχεδιαστεί φαίνεται την Εικόνα 50.

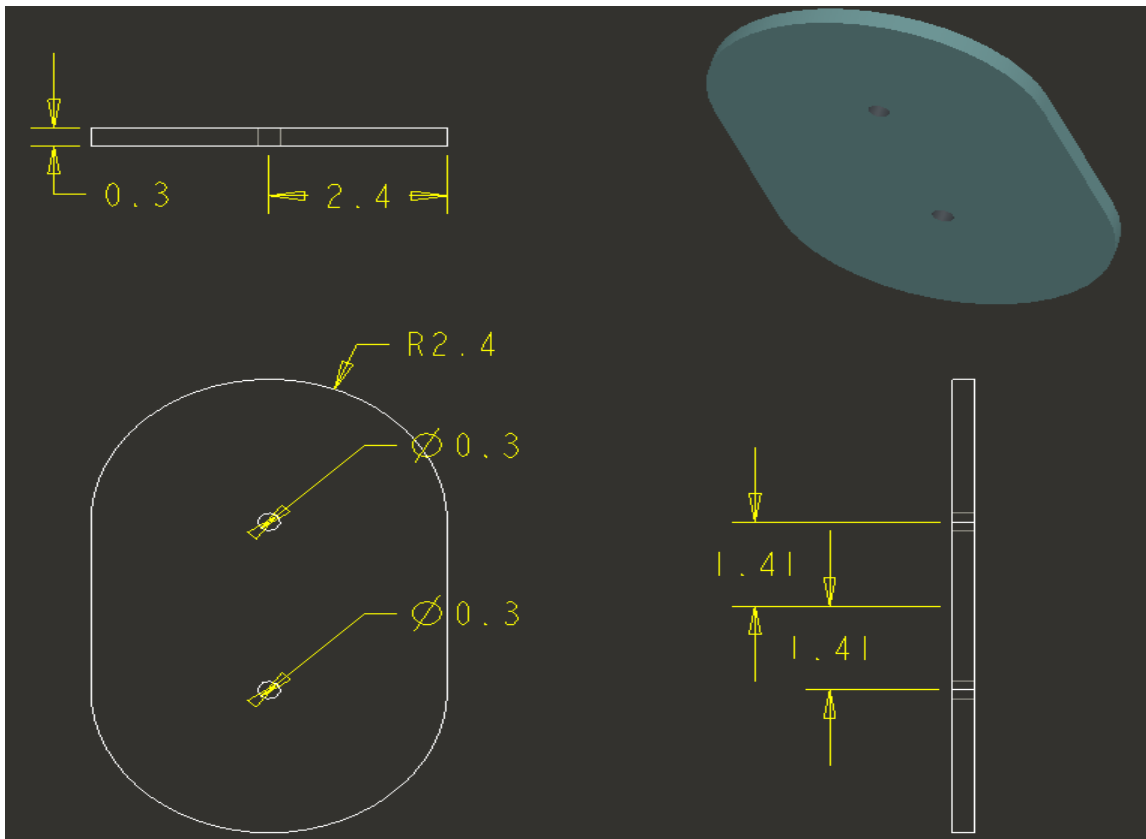


Εικόνα 50 – Ο μηχανισμός της Γενεύης σχεδιασμένος στο Pro Engineer

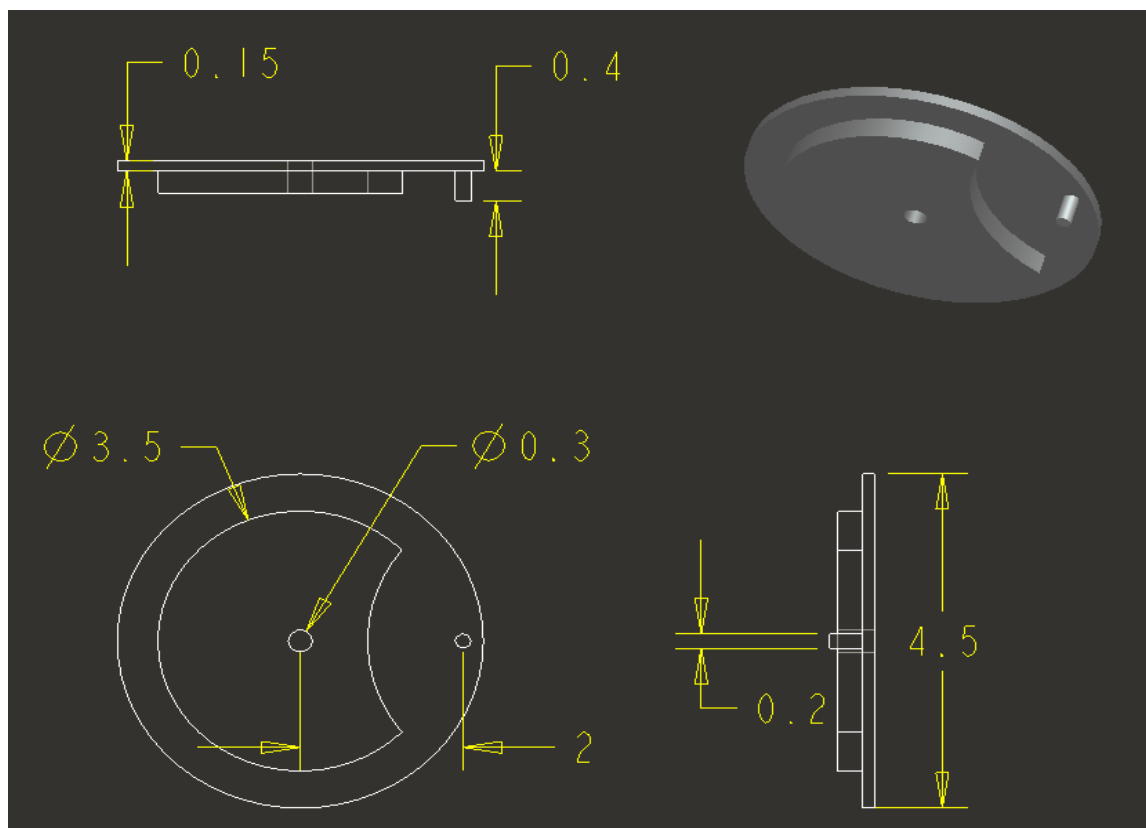
Αποτελείται από τέσσερα κυρίως μέρη (parts) :

α) Την βάση στήριξης - Εικόνα 51, β) τον κινητήριο τροχό - Εικόνα 52 - ο οποίος (υποτίθεται) παίρνει κίνηση από κάποιο κινητήρα, γ) την κινούμενο τροχό - Εικόνα 53 - που “δημιουργεί” την διακοπόμενη κίνηση και δ) δύο άξονες Εικόνα 54 - περιστροφικής και διακοπόμενης περιστροφικής αντίστοιχα. Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται οι αρχικές διαστάσεις των μερών του μηχανισμού σε εκατοστά του μέτρου :

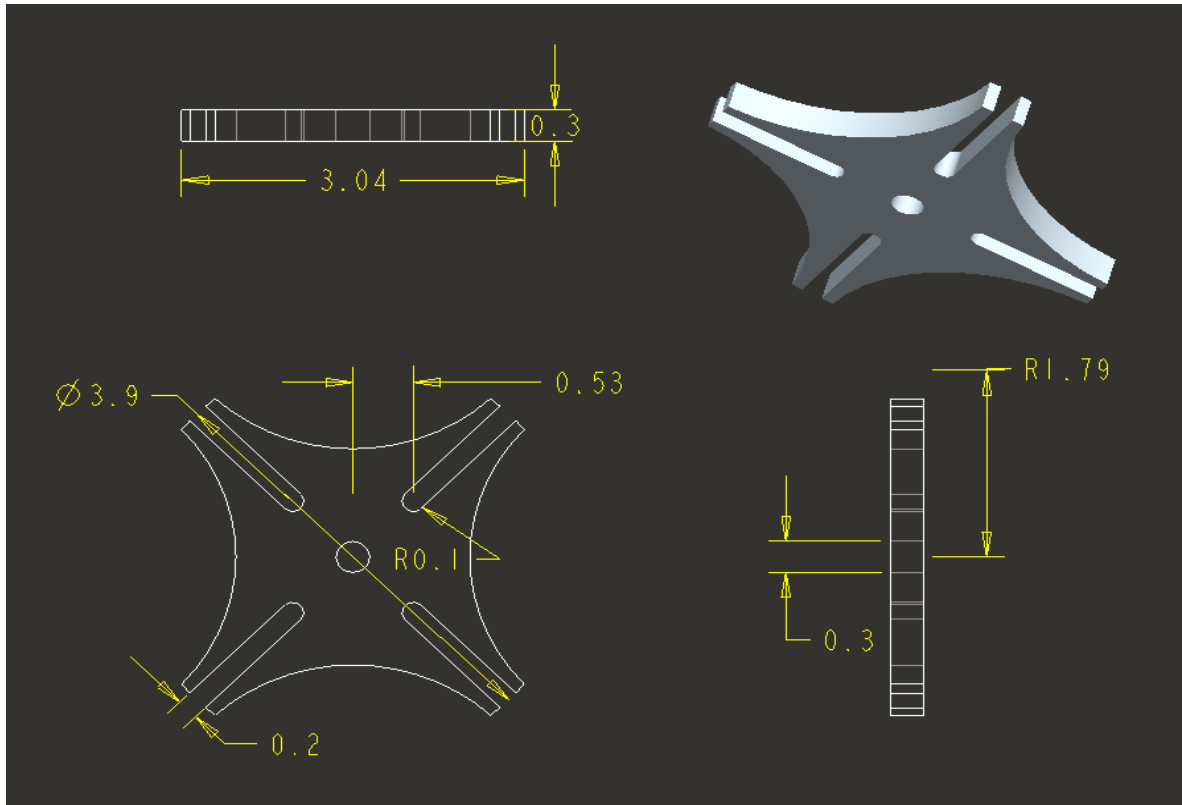




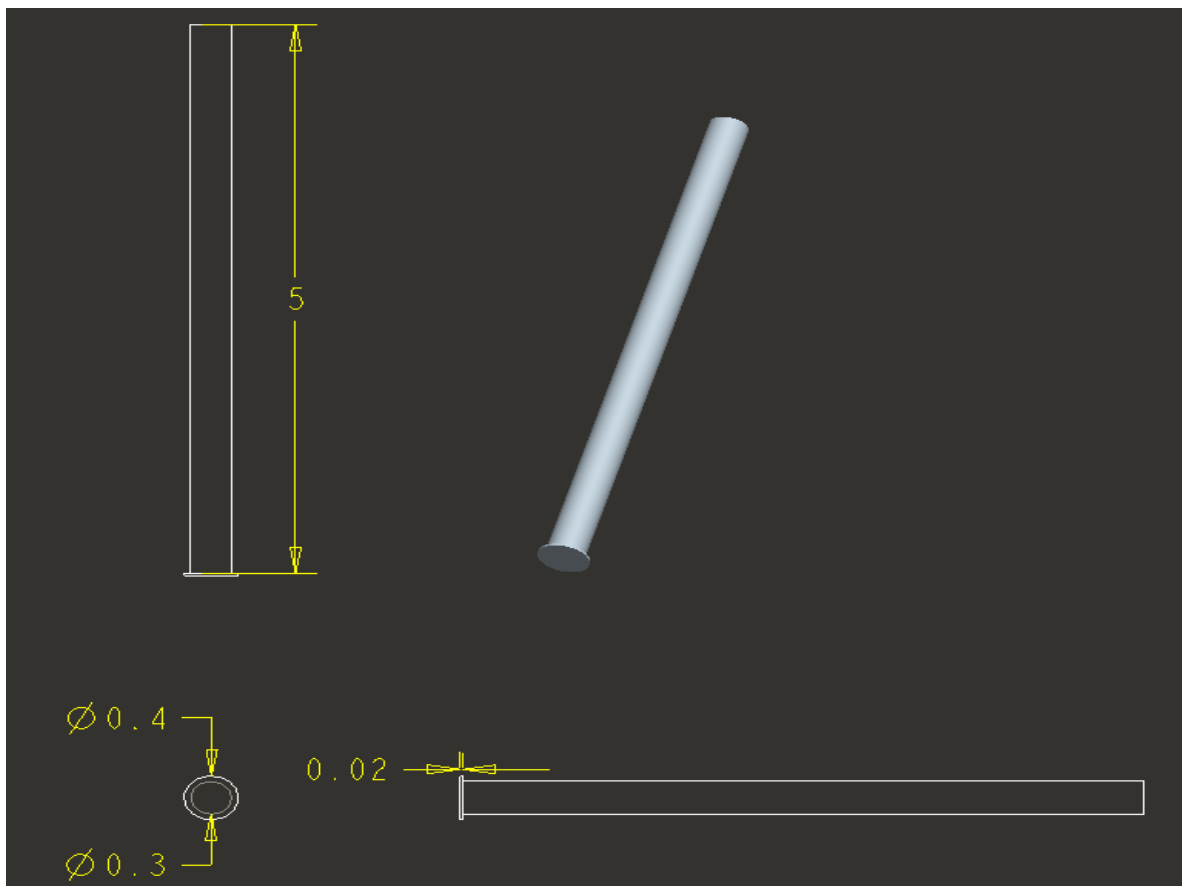
Εικόνα 51 – Διαστάσεις βάσης μηχανισμού



Εικόνα 52 – Διαστάσεις Κινητήριου Τροχού



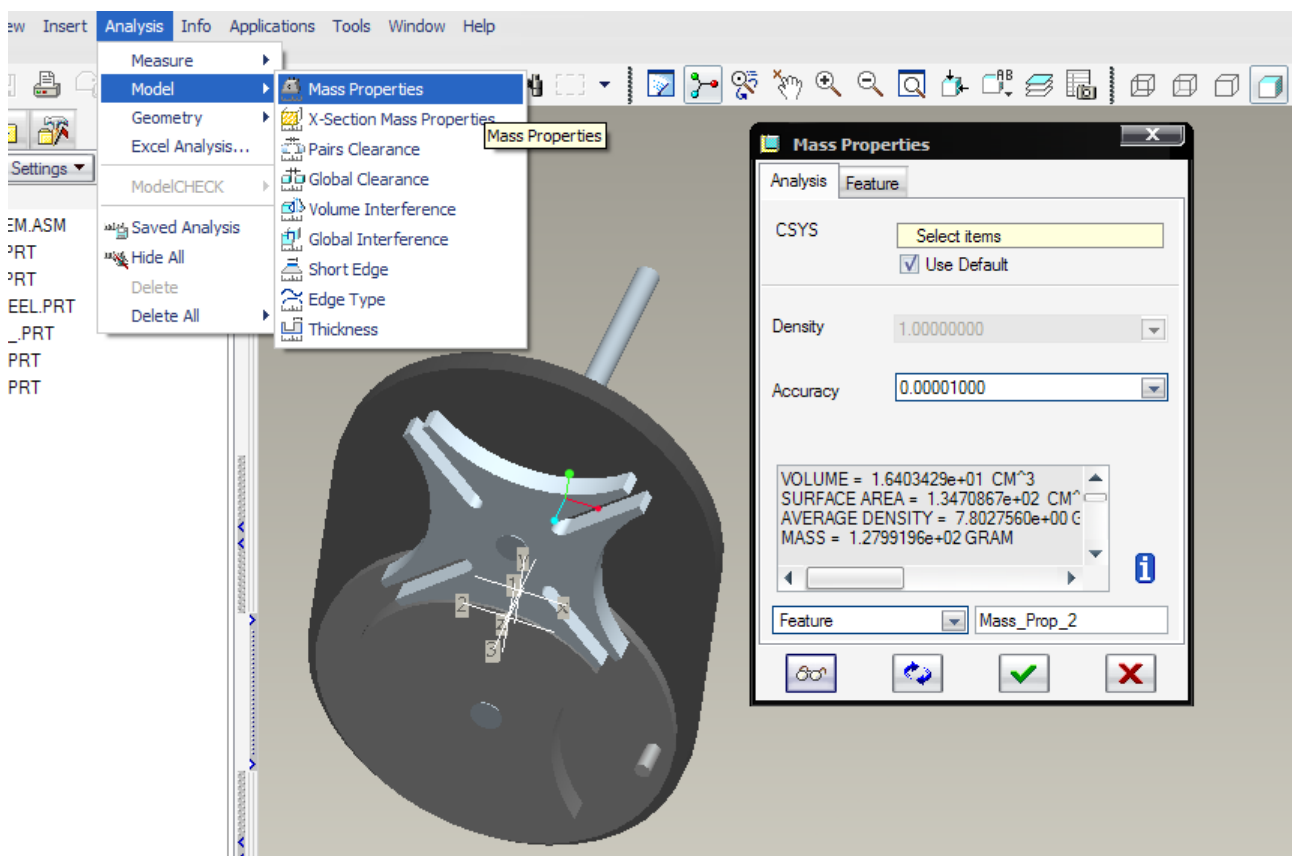
Εικόνα 53 – Διαστάσεις Κινούμενου Τροχού



Εικόνα 54 – Διαστάσεις Άξονα

Το Pro Engineer δίνει την δυνατότητα στο χρήστη να επιλέξει το υλικό κατασκευής από την “βιβλιοθήκη” υλικών που είναι ενσωματωμένη στο πρόγραμμα. Για λόγους ευκολίας των υπολογισμών που θα ακολουθήσουν, επιλέχθηκε κοινό υλικό κατασκευής για όλα τα εξαρτήματα του μηχανισμού. Το υλικό είναι χάλυβας πυκνότητας $7827,08 \text{ kgr/m}^3$ και λόγο Poisson $0,27$.

Χρησιμοποιώντας με τον ίδιο τρόπο όπως παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 2.3 την εντολή **Analysis** και τον τύπο ανάλυσης **Model** → **Mass Properties** από το **Μενού Εντολών**, εμφανίζεται το κουτί διαλόγου – αποτελεσμάτων, που αναγράφει την τιμή της μάζας του μηχανισμού όπως και άλλες χρήσιμες πληροφορίες όπως ο όγκος, η επιφάνεια που καταλαμβάνει κ.α (Εικόνα 55).



Εικόνα 55 – Εμφάνιση αποτελεσμάτων των ιδιοτήτων μάζας του μηχανισμού

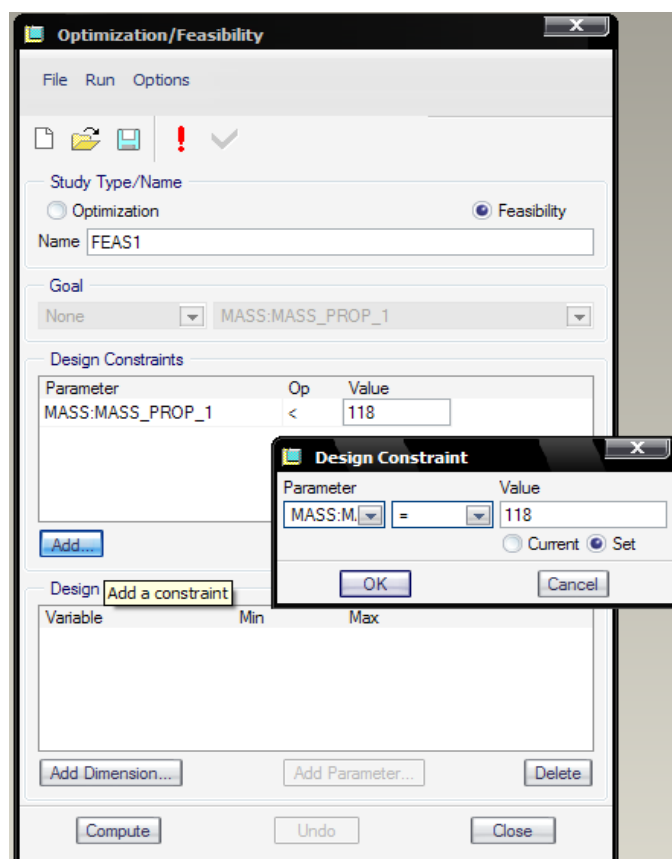
Η συνολική μάζα του μηχανισμού είναι **128 γραμμάρια**, η επιφάνεια που καταλαμβάνει είναι **134,7 cm²** και **όγκο 1,64 cm³**. Τα αποτελέσματα αποθηκεύονται ως *feature* με την ονομασία **Mass_Prop_1** που θα αποτελεί πλέον αναπόσπαστο κομμάτι του μοντέλου, ώστε να μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί παρακάτω στην περαιτέρω μελέτη του μηχανισμού.

Ας υποθεθεί τώρα, πως το συγκεκριμένο προϊόν είναι έτοιμο για μαζική παραγωγή και για λόγους ανταγωνισμού και της ανοδικής πορείας της τιμής του χάλυβα το οικονομοτεχνικό τμήμα της εταιρίας ζητήσει από την ομάδα σχεδιασμού να μειώσει την μάζα του υλικού τουλάχιστον κατά 8% (δηλ 118 gr/τεμάχιο).

Για την επίτευξη της παραπάνω εντολής θα πρέπει οι σχεδιαστές να μειώσουν κάποιες από τις διαστάσεις των επί μέρους εξαρτημάτων του μηχανισμού. Εντούτοις σε κάποιες διαστάσεις ενδέχεται να μην είναι δυνατή η μεταβολή των τιμών τους ή να υπάρχουν περιθώρια μόνο για μικρή μεταβολή. Έτσι έχει δημιουργηθεί ένα σύνθετο πρόβλημα στο οποίο θα πρέπει να ανταπεξέλθουν οι σχεδιαστές άμεσα (όπως απαιτεί ο σύγχρονος ανταγωνισμός).

Αφού δημιουργήθηκε προηγουμένως το *feature* **Mass_Prop_1** που μετρά την μάζα του μηχανισμού, το επόμενο βήμα θα είναι να επιλεγούν οι διαστάσεις των εξαρτημάτων, των οποίων οι τιμές θα ποικίλλουν. Σύμφωνα πάντα με τις ανάγκες και τους περιορισμούς που έχουν θέσει οι σχεδιαστές. Αυτό επιτυγχάνεται αρχικά με την έναρξη της μελέτης “σκοπιμότητας” (**feasibility study**) ώστε να φανεί αν θα υπάρξει εφικτή λύση. Επιλέγονται από το κύριο μενού οι εντολές : **Analysis** ➔ **Feasibility/Optimization Study**

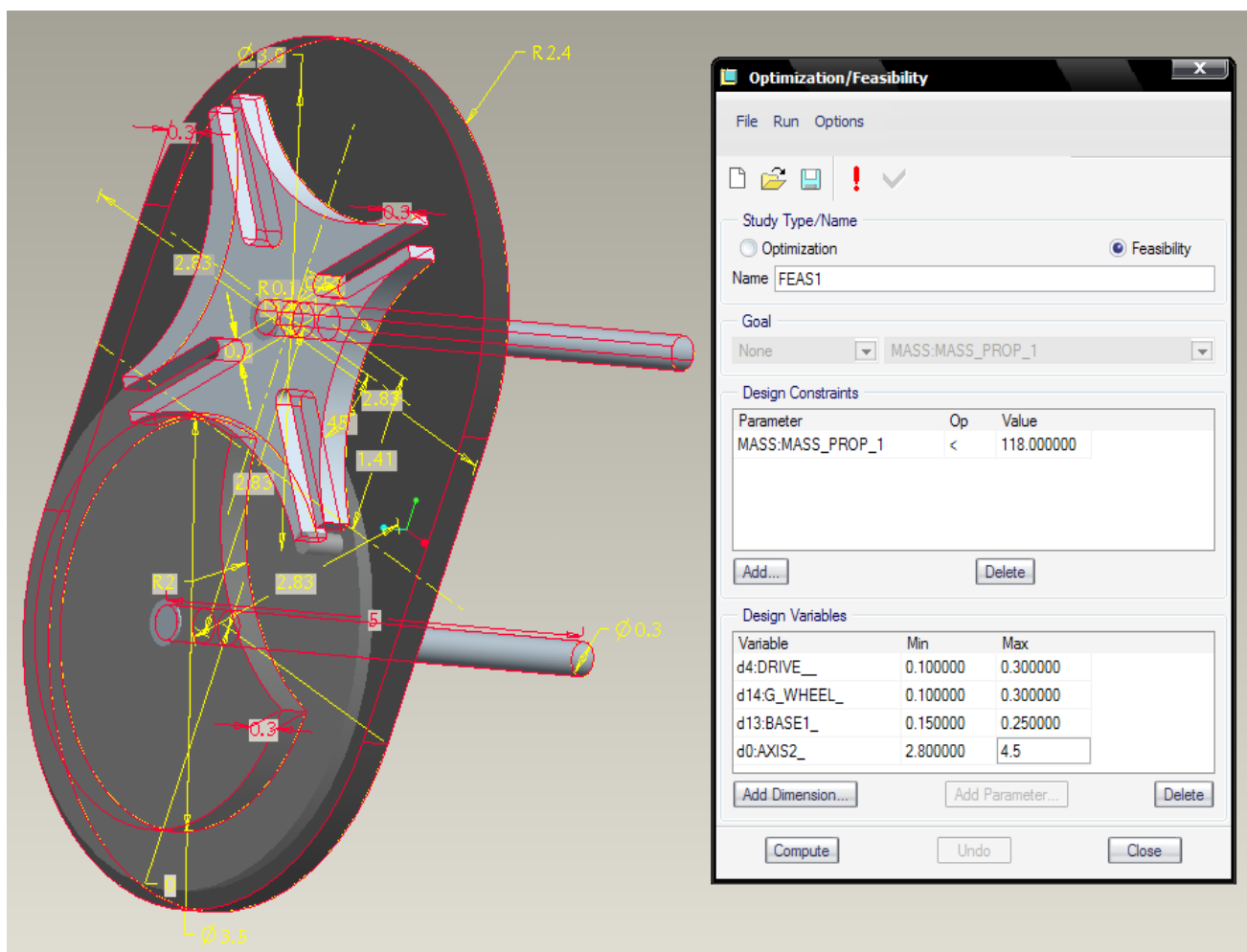
Το παράθυρο διαλόγου ανοίγει, και στο **Study Type/Name** γίνεται η επιλογή **Feasibility** για την δημιουργία της, με την ονομασία **FEAS1**. Στο **Design Constraints** το σύστημα ζητεί να επιλεγεί ο σχεδιαστικός περιορισμός που σε αυτή την περίπτωση είναι η παράμετρος μάζα που περιγράφεται από το *feature* **Mass_Prop_1**. Πατώντας το **Add** εμφανίζεται το παράθυρο επιλογής του περιορισμού. (Εικόνα 56).



Εικόνα 56 – Έναρξη μελέτης & επιλογή σχεδιαστικού περιορισμού

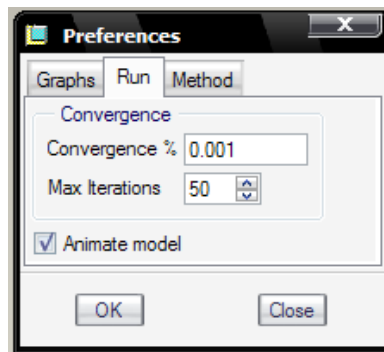
Στη επιλογή του περιορισμού θέτεται το σύμβολο “<” κι επιλέγοντας το **Set** εισάγεται η τιμή 118 (το 8% των 128gr) ώστε να περιγράφεται η εντολή για τουλάχιστον 8% μείωση. Έπεται η επιλογή των σχεδιαστικών μεταβλητών (**Design Variables**), οι διαστάσεις δηλαδή του μηχανισμού, των οποίων οι τιμές θα ποικίλλουν μέσα σ’ ένα συγκεκριμένο εύρος (Min/Max) που έχουν ορίσει οι σχεδιαστές.

Οι διαστάσεις που επιλέχθηκαν είναι το πάχος της βάσης, το πάχος των δύο τροχών αλλά και το μήκος των αξόνων όπως φαίνεται στην Εικόνα 57.



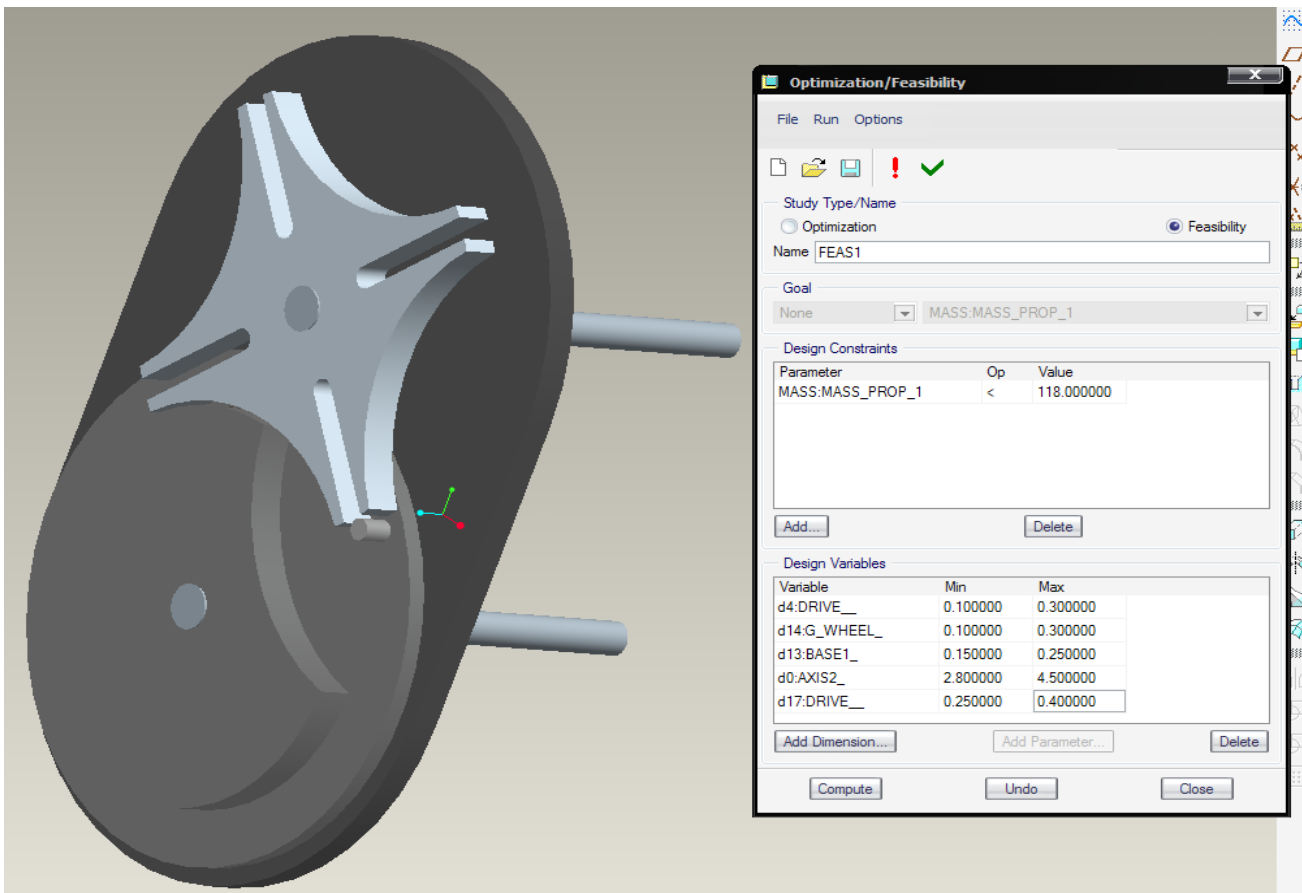
Εικόνα 57 – Επιλογή μεταβλητών διαστάσεων

Ακόμη από το Μενού εντολών της μελέτης, τα **Preferences** ➔ **Run** για την επιλογή του πλήθους των επαναλήψεων των υπολογισμών (**Max Iterations**) και το ποσοστό σύγκλισης για μεγαλύτερη ακρίβεια των τιμών. Επιπροσθέτως, επιλέγεται και το **Animate Model**, ώστε με την ολοκλήρωση των υπολογισμών να απεικονιστεί η ενημέρωση στο μοντέλο (Εικόνες 58 - 59).



Εικόνα 58 – Επιλογή ιδιοτήτων

Τέλος, επιλέγεται η εντολή **Compute** ώστε να ξεκινήσουν οι υπολογισμοί προσδοκώντας από το σύστημα να βρει εφικτή λύση. Με την ολοκλήρωση των υπολογισμών το σύστημα θα ενημερώσει αν υπάρχει ή όχι εφικτή λύση (Εικόνα).



Εικόνα 59 – Ολοκλήρωση μελέτης Σκοπιμότητας & ενημέρωση της γεωμετρίας του μοντέλου

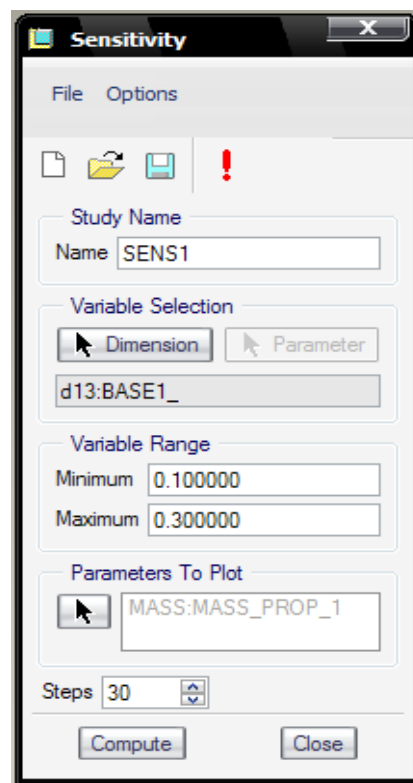
Στην συγκεκριμένη περίπτωση το αποτέλεσμα είναι θετικό. Η μελέτη μπορεί να αποθηκευτεί και ως *feature* και να είναι εμφανές στο *Model Tree*. Πατώντας δεξί κλικ και **Info** ➔ **Feature** δίδεται η πληροφορία ότι στο ενημερωμένο μοντέλο η μάζα είναι πλέον 114 γραμμάρια.

Αυτό συνέβη τόσο σύντομα, διότι δόθηκε στο σύστημα η δυνατότητα να ποικίλλει με το εύρος πέντε διαφορετικών διαστάσεων, με μικρή σχετικά, μεταβολή της μάζας.

Σε διαφορετική περίπτωση όπου δεν θα υπήρχε τέτοια ευελιξία, θα έπρεπε οι σχεδιαστές να προσπαθήσουν περισσότερο ώστε να επιτευχθεί κατάλληλο εύρος τιμών ή και να γίνει χρήση της μελέτης ευαισθησίας (Sensitivity Study).

Αν για παράδειγμα υπήρχε ο περιορισμός ότι η μόνη διάσταση που μπορεί να μεταβληθεί είναι το πάχος της βάσης του μηχανισμού (πράγμα που θα ήθελε μεγάλη προσπάθεια με χρήση μόνο του *Feasibility Study*), τότε η βοήθεια της μελέτης ευαισθησίας θα ήταν αναγκαία.

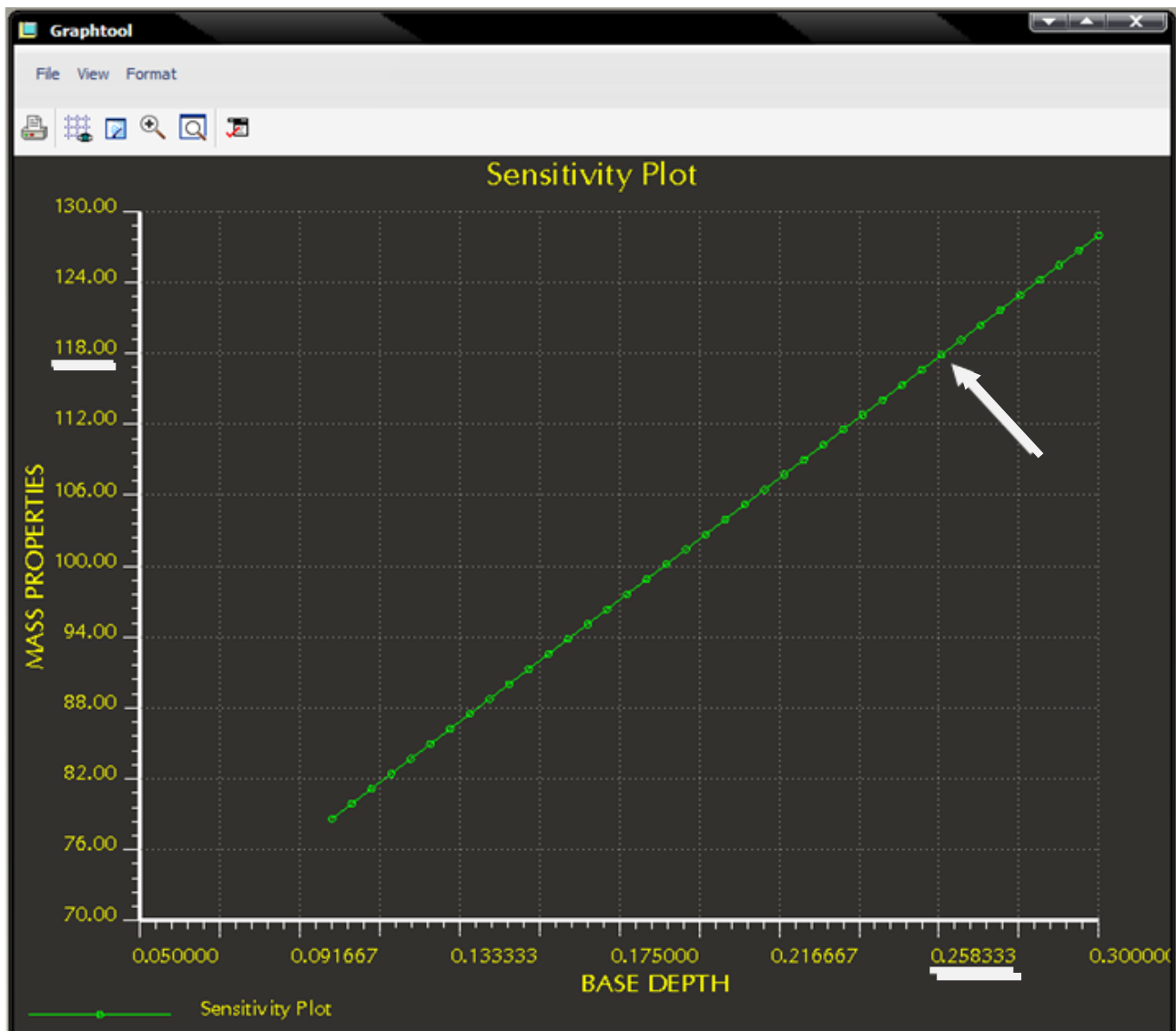
Απ το κεντρικό Μενού επιλέγονται οι εντολές : Analysis ➔ Sensitivity Analysis και στο παράθυρο διαλόγου που ανοίγει, επιλέγονται τα : όνομα μελέτης **FEAS_1**, στο **Variable Selection** το πάχος της βάσης, στο **Variable Range** το εύρος τιμών του πάχους, στο **Parameters To Plot** το *feature* που δίνει την μάζα και στο **Steps** το πλήθος των υπολογισμών - σημείων που θα σχηματίσουν τη καμπύλη (Εικόνα 60). Στο **Options**, παρόμοια με την προηγούμενη μελέτη, με επιπρόσθετη την επιλογή εξαγωγής γραφήματος (κάρτελα **Graphs**) και τέλος **Compute**.



Εικόνα 60 – Επιλογές στο παράθυρο διαλόγου του Sensitivity Study

Με την ολοκλήρωση των υπολογισμών παράγεται γράφημα στο οποίο φαίνεται το πώς επηρεάζεται η συνολική μάζα του μηχανισμού συναρτήσει της μεταβολής του πάχους της βάσης του (Εικόνα 61).





Εικόνα 61 – Εμφάνιση αποτελεσμάτων μελέτης Ευαισθησίας

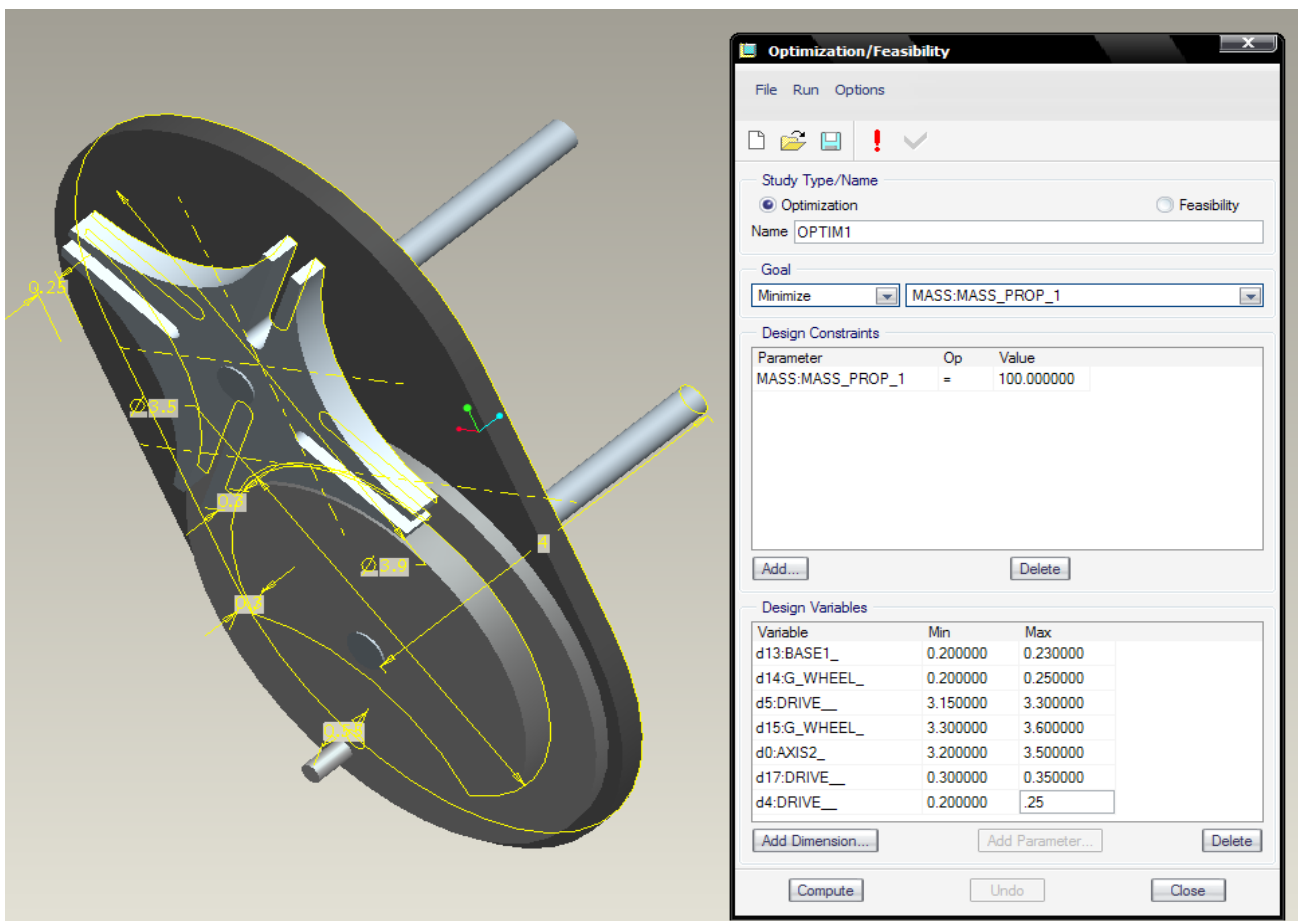
Όπως έχει σημειωθεί στο γράφημα, για την επιθυμητή μάζα, η τιμή του πάχους πρέπει να είναι μικρότερη ή ίση των 0,2583 εκατοστών. Κατά αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται άμεση λύση στο πρόβλημα. Επιπροσθέτως υπάρχει και οπτική δυνατότητα της ενημέρωσης του μοντέλου με μία από τις νέες διαστάσεις της βάσης (αυτόματα απ το σύστημα).

Κλείνοντας την αναφορά για την βοήθεια που θα μπορούσε να προσφέρει η *Sensitivity Study* σε μια ιδιάζουσα περίπτωση κι έχοντας βρει εφικτή λύση από την χρήση της *Feasibility Study*, η μελέτη συνεχίζεται για την επίτευξη του τελικού στόχου που είναι η βελτιστοποίηση του μηχανισμού με χρήση της *Optimization Study*.

Ξεκινώντας με τις εντολές του κεντρικού Μενού **Analysis** ➔ **Feasibility/Optimization Study**, ανοίγει το παράθυρο διαλόγου (που είναι το ίδιο με αυτό της *Feasibility*) επιλέγεται το **Optimization** και στο **Goal** - που είναι ο σχεδιαστικός στόχος - εισάγεται η εντολή **Minimize** για την ελαχιστοποίηση της μάζας. Στο πεδίο **Design Constraints** (αφού βρέθηκε από πριν εφικτή λύση) εισάγεται το feature που δίνει την παράμετρο της μάζας, το σύμβολο της ισότητας στο **Op** και στο πεδίο **Value** το **Current** (τρέχουσα τιμή).

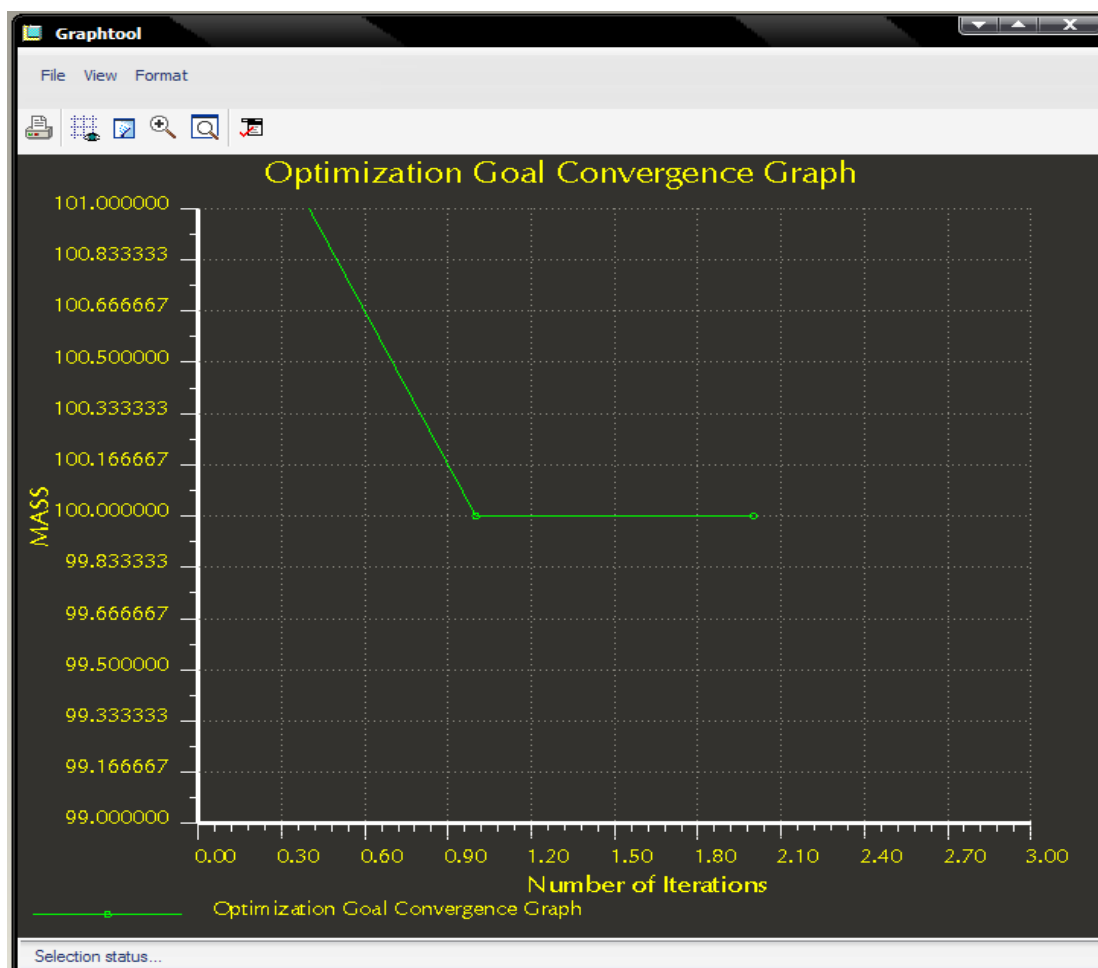
Αν υποθεθεί ότι όντως υπάρχει μια ευελιξία όσο αναφορά το πλήθος των διαστάσεων που μπορούν να αλλάξουν, τότε μπορεί να γίνει προσπάθεια περαιτέρω μείωση της μάζας από το 8% που αρχικά είχε ζητηθεί. Έτσι στο **Design Constraints** και στα πεδία του **Op** & **Value** εισάγονται το σύμβολο της ισότητας και το 110 αντίστοιχα.

Τέλος στο **Design Variables**, επιλέγονται και οι διαστάσεις που επιθυμεί ο χρήστης και στο **Options** στην καρτέλα **Graph** ζητείτε η εξαγωγή του αντίστοιχου γραφήματος και **Compute** (Εικόνες 62-63).



Εικόνα 62 – Επιλογή μεταβλητών και περιορισμών μελέτης Βελτιστοποίησης

Το σύστημα ειδοποίησε ότι βρέθηκε εφικτή λύση και ζητά επιβεβαίωση – **Confirm** – για ενημέρωση του μοντέλου στην νέα του βελτιστοποιημένη μορφή.



Εικόνα 63 – Γράφημα Βελτιστοποίησης

Το γράφημα δείχνει το πως μεταβάλλεται η μάζα του μηχανισμού κατά την διάρκεια των υπολογιστικών επαναλήψεων αλλά και την ευθεία που υποδηλώνει την σύγκλιση.

Έτσι επιτεύχθηκε, αλλά και ξεπεράστηκε ο αρχικός στόχος που ήταν η μείωση της μάζας κατά 8% ενώ τώρα ο βελτιστοποιημένος μηχανισμός ζυγίζει 110 γραμμάρια, δηλαδή 14% ελαφρύτερος περίπου.

Αν η εκτιμώμενη τιμή κόστους του συγκεκριμένου χάλυβα είναι **0,70 ευρώ ανά κιλό** και με την προϋπόθεση ότι κατασκευάζονται 10.000 κομμάτια το μήνα τότε το συνολικό κέρδος της εταιρίας θα ανέρχεται στα : $(896e \text{ αρχ. κόστους} - 770e \text{ τελικού κόστους}) = 125e/\text{μήνα}$. Το κέρδος δεν είναι πολύ μεγάλο για τις συγκεκριμένες διαστάσεις και υλικό. Αν όμως το υλικό κατασκευής ήταν η πλατίνα (**38.57 e/gr**) με χρήση του μηχανισμού σε ιατρικό μηχάνημα ή

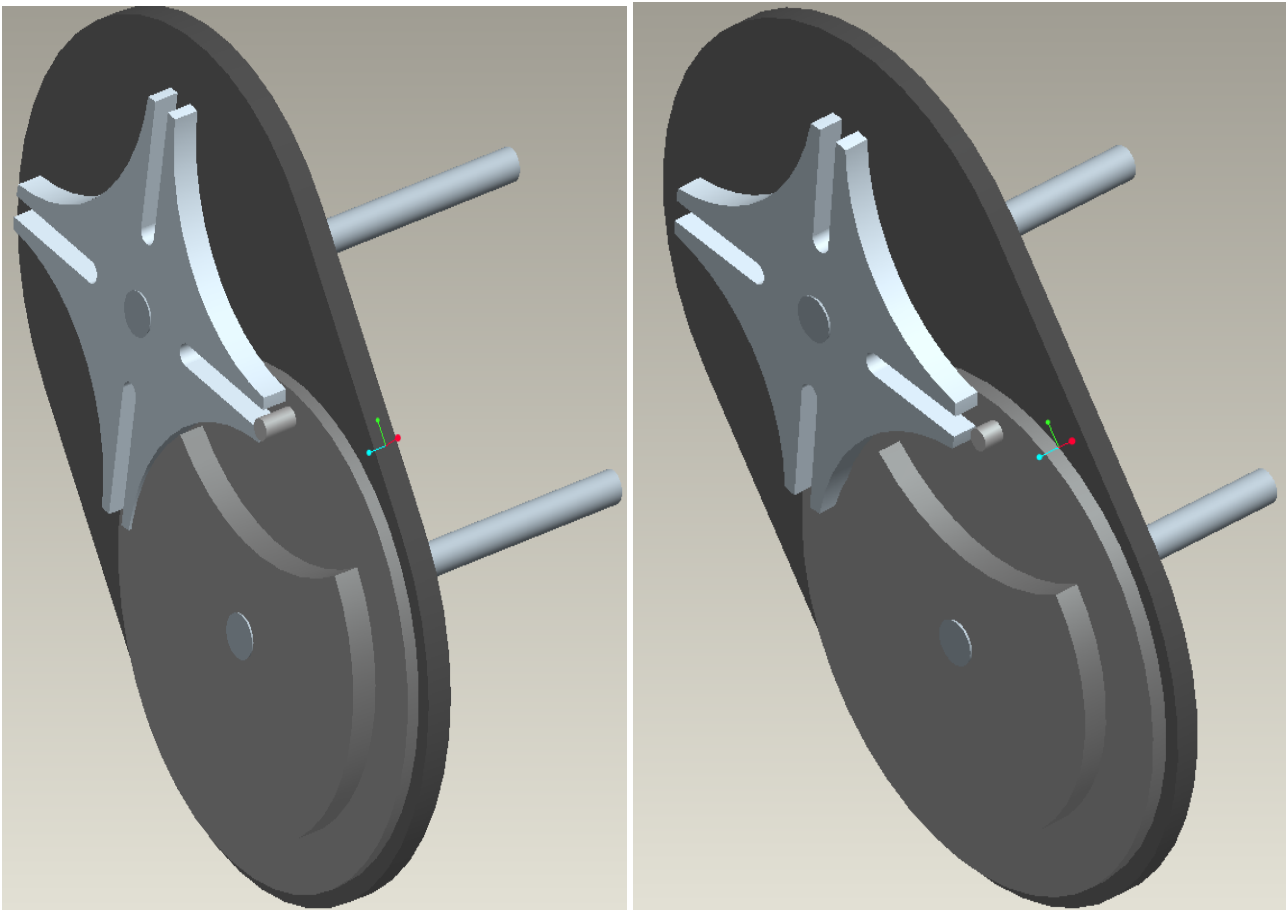


ακόμα αν το μέγεθος του μηχανισμού ήταν το δεκαπλάσιο και χρήση του π.χ σε μια CNC μηχανή τότε το κέρδος θα ήταν πολύ μεγάλο, που από μόνο του θα μπορούσε να πληρώσει μισθούς πολλών εργαζομένων.

Ακόμη, η ομάδα των σχεδιαστών απέφυγε να κάνει εκατοντάδες επαναλαμβανόμενους και ανιαρούς υπολογισμούς και προφανώς θα είχε ταχύτερο “ feedback ” (ανάδραση) με το οικονομικό τμήμα και συνεπώς λιγότερες συνολικά εργατώρες.

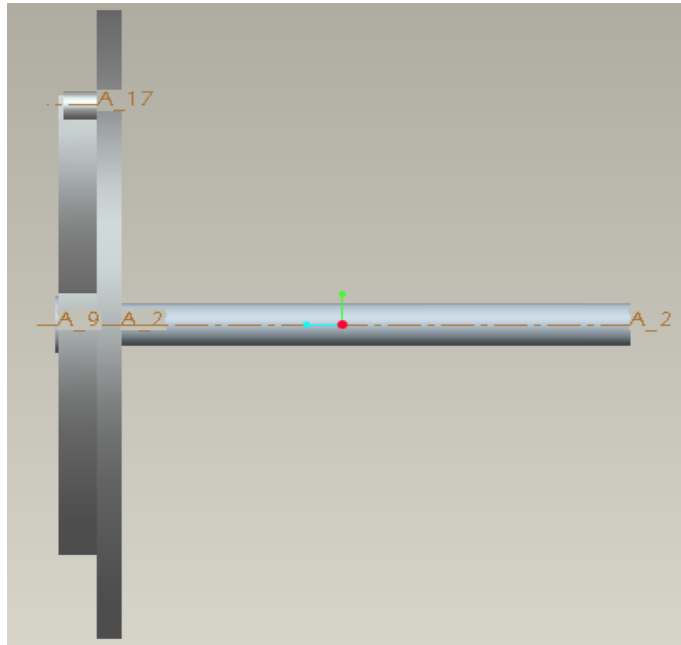
Όσο αναφορά την λειτουργικότητα του μηχανισμού, είναι πλέον ένας ελαφρύτερος μηχανισμός, με μικρότερη ροπή αδράνειας πράγμα που μειώνει τις απότομες επιταχύνσεις, που όπως αναφέρθηκε στην αρχή του κεφαλαίου είναι ένα από τα μειονεκτήματα του συγκεκριμένου τύπου μηχανισμό.

Στην εικόνα 64 φαίνεται πως ήταν ο μηχανισμός πριν την βελτιστοποίηση και πως μετά.



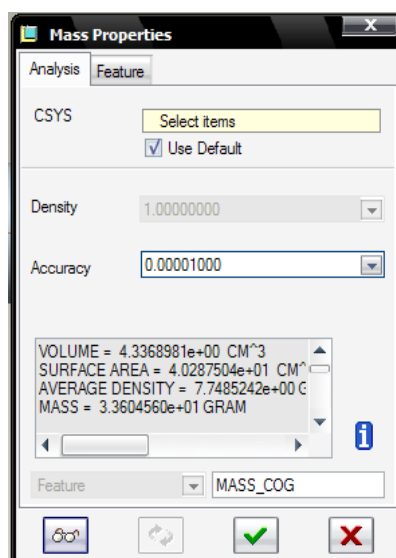
Εικόνα 64 – Ο μηχανισμός πριν την βελτιστοποίηση (αριστερά) και μετά (δεξιά)

Μία δεύτερη ιδέα βελτίωσης των χαρακτηριστικών του μηχανισμού, θα ήταν να ευθυγραμμιστεί το σύστημα κινητήριου άξονα – τροχού με το κέντρο μάζας για καλύτερη ευστάθεια με την προϋπόθεση όμως ότι το σύστημα αυτό δεν επηρεάζεται από πρόσθετα βάρη. Ο απλοποιημένος μηχανισμός φαίνεται στην Εικόνα 65.



Εικόνα 65 – Απλοποιημένος μηχανισμός κινητήριου τροχού - άξονα

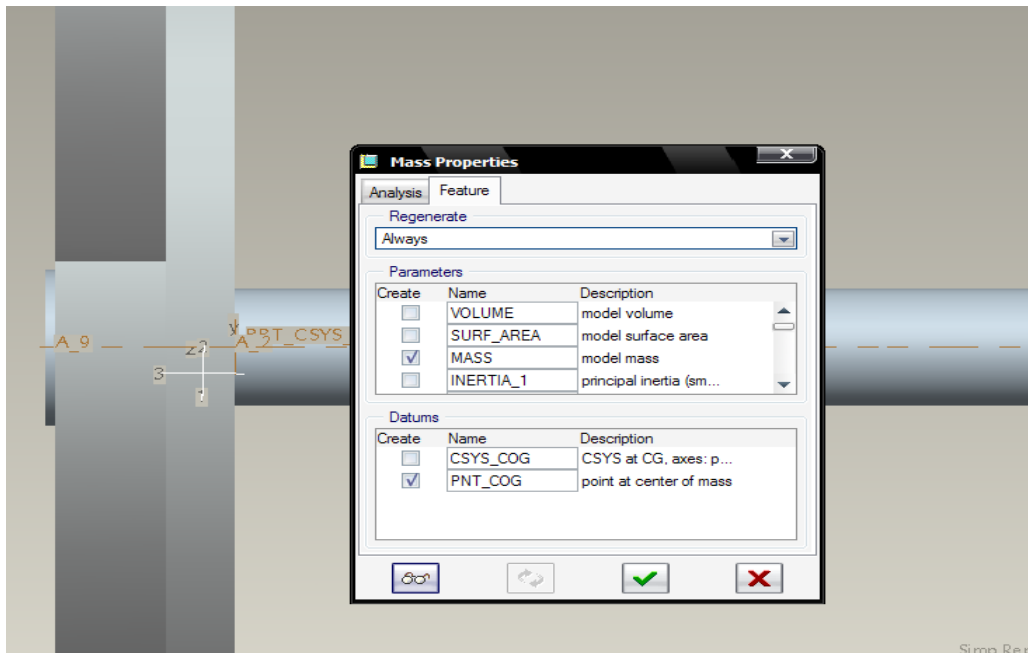
Αρχικά πρέπει να δημιουργηθεί ένα νέο *Analysis feature* τύπου **Model – Mass Properties** που θα δίνει ως παράμετρο την μάζα (Εικόνα 66.), αλλά κι ένα πρόσθετο σημαντικό στοιχείο, το σημείο στο οποίο βρίσκεται το κέντρο μάζας του νέου συστήματος. Στο νέο αυτό *Analysis feature* δίνεται το όνομα **Mass COG**.



Εικόνα 66 – Δημιουργία του feature **Mass COG**



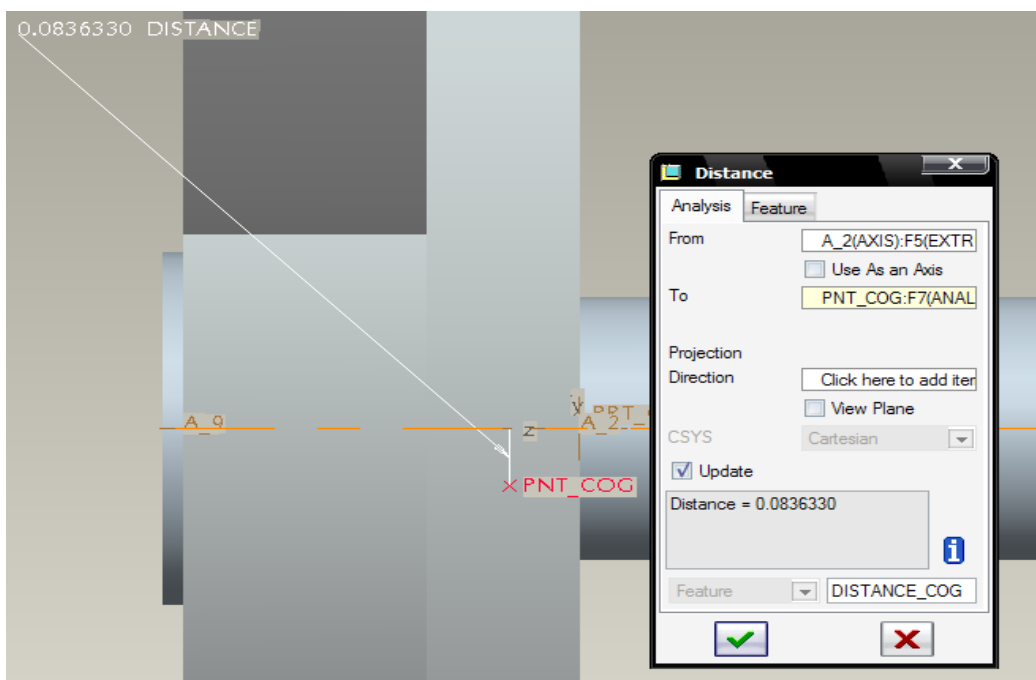
Όπως φαίνεται στην εικόνα 67 γίνεται η επιλογή της παραμέτρου **MASS** αλλά και του σημείου **PNT_COG** που υποδηλώνει το κέντρο μάζας.



Εικόνα 67 – Δημιουργία της παραμέτρου μάζας και κέντρου μάζας

Έπειτα, με τις εντολές του Μενού **Analysis** → **Measure** → **Distance** ακολουθεί η δημιουργία ενός πρόσθετου *feature* που θα μετρά την απόσταση μεταξύ του άξονα περιστροφής (**A2_AXIS**) και του σημείου του κέντρου μάζας (**PNT_COG**).

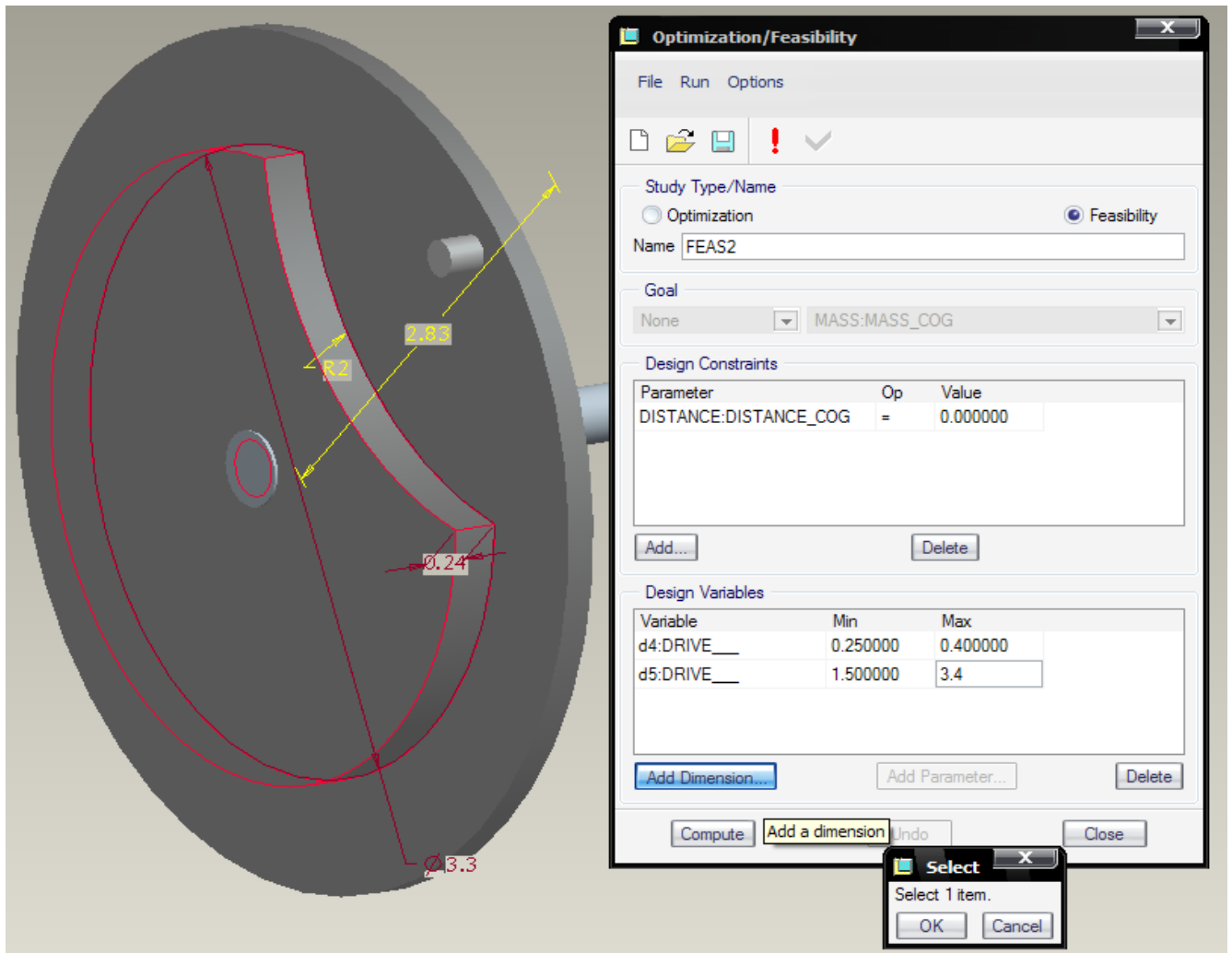
Στο παράθυρο διαλόγου που ανοίγει, στην καρτέλα **Analysis** επιλέγεται στο **From** ο άξονας περιστροφής και στο **To** το σημείο του κέντρου μάζας (Εικόνα 68).



Εικόνα 67 – Δημιουργία του feature μέτρησης αποστάσεων μεταξύ σημείων

Στην προηγούμενη εικόνα φαίνεται πως η απόσταση μεταξύ των οντοτήτων αυτών είναι 0.083 cm. Θα πρέπει λοιπόν να δημιουργηθεί τώρα μια μελέτη σκοπιμότητας, που θα θέτει ως σχεδιαστικό περιορισμό την απόσταση αυτή ίση με το μηδέν. Για να συμβεί αυτό θα πρέπει να αφαιρεθεί ή να προστεθεί υλικό από το σύστημα άξονα-τροχού. Αυτό επιτυγχάνεται «παίζοντας» με το εύρος των σχεδιαστικών μεταβλητών.

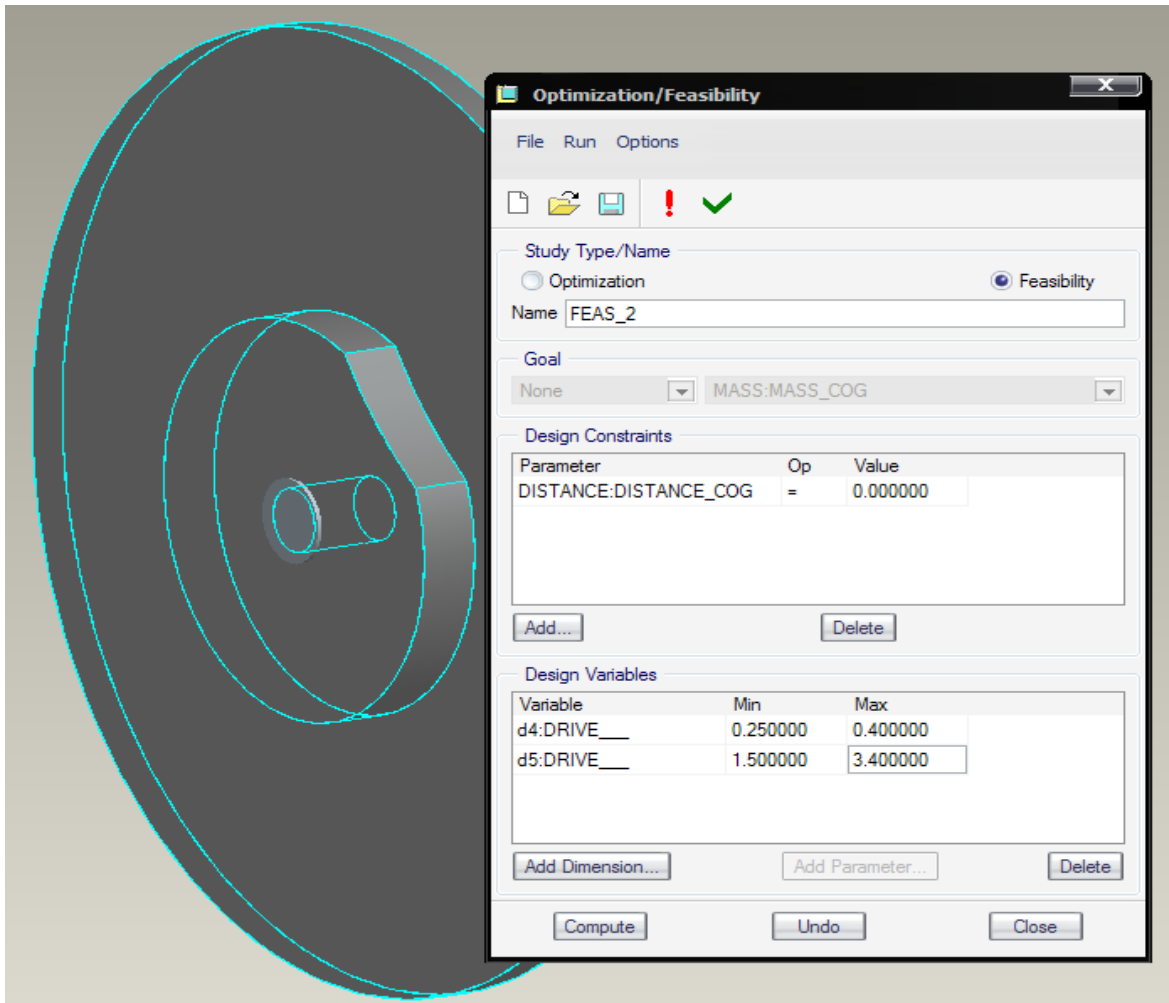
Για κατασκευαστικούς λόγους οι μόνες διαστάσεις που μπορούν να επιλεγούν είναι οι **d4** και **d5** του τροχού (εικόνα 68).



Εικόνα 68 – Δημιουργία μελέτης σκοπιμότητας κι επιλογή μεταβλητών

Στο πεδίο του σχεδιαστικού περιορισμού έχει εισαχθεί το *Analysis Feature* με την ονομασία *Distance_COG* που δημιουργήθηκε προηγουμένως για να μετρά την απόσταση. Του ζητείται η παράμετρος που δίνει να είναι ίση με το μηδέν ώστε να καθοριστεί πλήρως η μελέτη και *Compute* για να ολοκληρωθεί.

Με την ολοκλήρωση των υπολογισμών το σύστημα ειδοποιεί ότι βρέθηκε εφικτή λύση και ενημερώνει το μοντέλο όπως φαίνεται στην εικόνα 69.



Εικόνα 68 – Τελική μορφή του τροχού

Επειδή προηγήθηκε ελάττωση της μάζας στο σύνολο του μηχανισμού, αλλά και για κατασκευαστικούς λόγους κρίνεται μη αναγκαία η χρήση της μελέτης βελτιστοποίησης που σε άλλη διαφορετική περίπτωση θα μπορούσε να ελαττώσει περαιτέρω την μάζα του μηχανισμού ή και να την αυξήσει εάν κρινόταν αυτό αναγκαίο.

Με την νέα αυτή προσθήκη ο μηχανισμός φέρει βέλτιστη ευστάθεια, είναι επιπλέον ελαφρύτερος, πιο οικονομικός, αλλά και μικρότερος σε όγκο. Ακόμη η ευστάθεια θα δώσει και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής στο μηχανισμό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Συμπεράσματα

Η χρήση των συστημάτων CAD/CAM/CAE τείνει να γίνει ένα αναγκαίο εργαλείο στα χέρια του σύγχρονου μηχανικού διότι τα πλεονεκτήματα που παρέχουν υπερτερούν των μειονεκτημάτων όπως αναφέρθηκε σε πολλά σημεία του συγκεκριμένου πονήματος.

Ένα από τα σημαντικότερα πλεονέκτημα των συστημάτων αυτών σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους ανάπτυξης προϊόντων, είναι ότι δίδεται η δυνατότητα στο μηχανικό, να επικεντρωθεί και να αφιερώσει περισσότερο χρόνο στη λειτουργική άποψη του σχεδίου παρά στις λεπτομέρειες των σχημάτων του σχεδίου.

Λίγες από τις δυνατότητες των συστημάτων αυτών κατάφεραν να παρουσιαστούν μέσα από το εργαλείο βελτιστοποίησης του συγκεκριμένου λογισμικού, πράγμα δύσκολο στα πλαίσια πτυχιακής εργασίας, διότι τα πεδία εφαρμογών τους είναι ευρύτατα.

Για τον λόγο αυτό, ακόμα κι έμπειροι μηχανικοί θα μπορούσαν να δυσκολευτούν κατά την χρήση τέτοιων λογισμικών, γεγονός που ίσως και να δικαιολογεί τα πολλαπλά σεμινάρια που προσφέρουν οι εταιρίες παραγωγής τέτοιων λογισμικών.

Η εργασία επικεντρώθηκε στο να αναδείξει τον « τρόπο σκέψης » του Behavioral Modeling, μέσω απλών παραδειγμάτων, όχι μεγάλου βαθμού δυσκολίας κι αυτό διότι θα μπορούσε εύκολα να ξεφύγει από τον σκοπό της.

Η ελληνική βιβλιογραφία είναι ελλιπτική όσο αναφορά τα σύγχρονα λογισμικά συστήματα τέτοιου τύπου, πράγμα που καθιστά «αναγκαίο κακό» τη μελέτη ξένων συγγραμμάτων.

Τέλος, θα πρέπει να τονιστεί ότι για την ιδανική χρήση τέτοιων λογισμικών, πρώτη προϋπόθεση είναι το υπόβαθρο γνώσεων κι εμπειριών που θα πρέπει να έχει ο μηχανικός όσο αναφορά τη μηχανική ανάλυση και κατ' επέκταση την επιστήμη της μηχανολογίας.

Δεύτερη προϋπόθεση, θα πρέπει να είναι προχωρημένος χρήστης σε συγκεκριμένο λογισμικό διότι αυτήν την στιγμή κυκλοφορούν στη αγορά αρκετά κι εξίσου αποτελεσματικά λογισμικά. Μόνον τότε θα μπορέσει να πάρει το 100% των ικανοτήτων αυτών των συστημάτων.



Βιβλιογραφία

- 1) Sham Tickoo: Pro/Engineer Wildfire for Designers, εκδ. Cadcam Technologies
- 2) Behavioral Modeling Topic Collection, εκδ. Ptc University
- 3) Dan McKenney : Model Quality -The Key to CAD/CAM/CAE Interoperability
- 4) HANDBOOK OF MACHINING AND METALWORKING CALCULATIONS - Κεφ.11, εκδ.

McGraw-Hill

- 5) C.E. HASTY & J.F. POTTS : Analysis and Synthesis Procedures for Geneva Mechanism Design (1965)
- 6) David.S.Kelley: Pro Engineer -Wildfire Instructor 2.0, εκδ. McGraw-Hill
- 7) Jarek R. Rossignac & Aristides A. G. Requicha: Solid Modeling
- 8) Μαραβελάκης Μανόλης : Εισαγωγή και Ασκήσεις στο Pro/Engineer, ΤΕΙ Κρήτης
- 9) Consistent Innovation with Behavioral Modeling Extension, εκδ. Ptc University
- 10) Συστήματα Παραγωγής CAD-CAM-CAE: ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ

ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΕΛΕΓΧΟΥ εκδ. Πανεπιστήμιο Πειραιά

- 11) Αριστοτέλους Ηθικά Νικομάχεια, εκδ. Κάκτος
- 12) Mikell P.Groover & Emory W. Zimmers : Computer-aided design and manufacturing (1984)
- 13) Kunwoo Lee: Principles of CAD/CAM/CAE, εκδ. Pearson Education Inc
- 14) Ibrahim Zeid: CAD/CAM-theory and practice, εκδ. McGraw-Hill
- 15) Gerald E. Farin, Josef Hoschek : Handbook of computer aided geometric design



Ιστοσελίδες

1. <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/229059/Geneva-mechanism>
2. <http://en.wikipedia.org/wiki/Optimization>
3. http://en.wikipedia.org/wiki/Geneva_mechanism
4. http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%92%CE%B5%CE%BB%CF%84%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%BF%CF%80%CE%BF%CE%AF%CE%B7%CF%83%CE%B7_%CE%BC%CE%B5_%CF%80%CE%BF%CE%BB%CE%BB%CE%B1%CF%80%CE%BB%CE%AC_%CE%BA%CF%81%CE%B9%CF%84%CE%AE%CF%81%CE%B9%CE%B1
5. http://en.wikipedia.org/wiki/Movie_projector
6. <http://www.eng.cam.ac.uk/DesignOffice/cad/proewild3/>
7. <http://www.freepatentsonline.com/3871238.html>
8. <http://www.ptc.com/>
9. <http://www.mcadcentral.com/>
10. <http://kmoddl.library.cornell.edu>
11. <http://www.cadlab.tuc.gr/parametric/>
12. <http://www.seminarprojects.com/Thread-to-design-fabricate-a-six-slot-geneva-wheel-mechanism>

