



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

---

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

## **ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Μελέτη και σχεδιασμός κιβωτίου ταχυτήτων  
μηχανουργικού μηχανήματος**

**ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ**

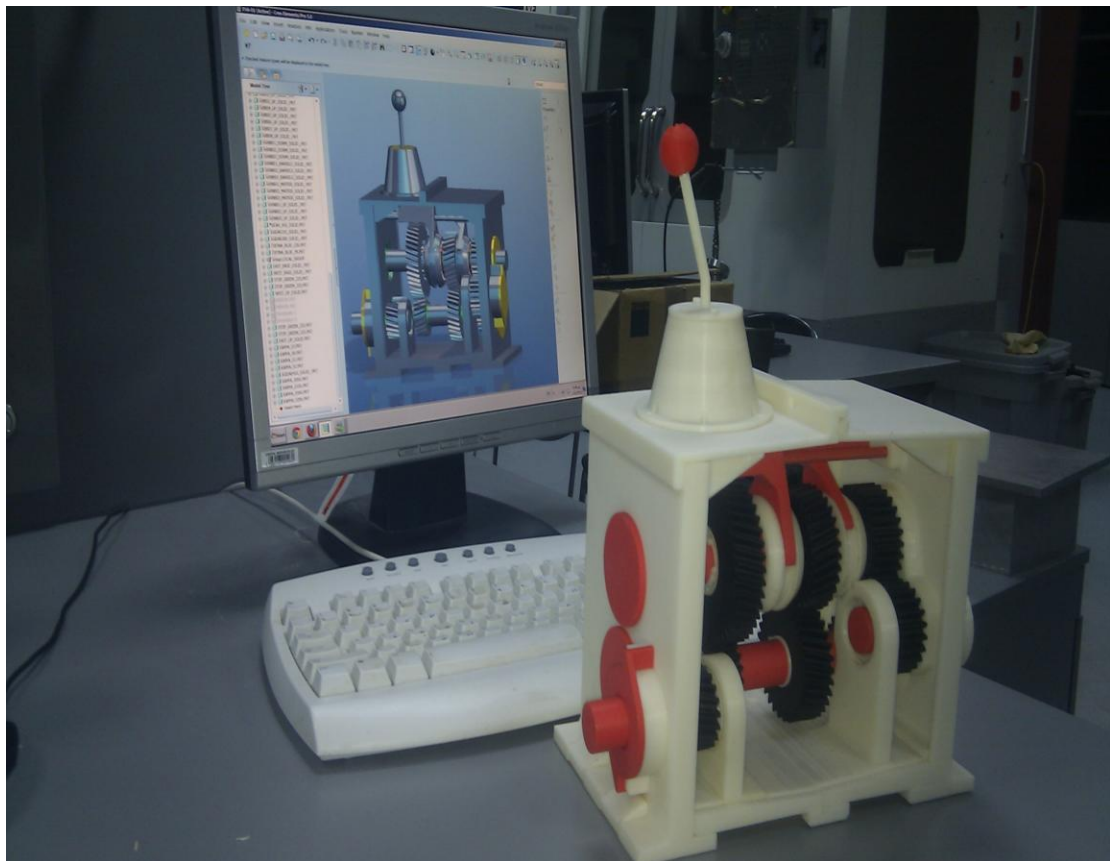
**A.M.: 4092**

**Επιβλέπων**

**Δρ. Βιδάκης Νεκτάριος**

**Δρ. Πετούσης Μάρκος**

**Ηράκλειο, 2013**



*@ Εργαστήριο ΕΜΤΤΥ*

*Τμήμα Μηχανολογίας*

*Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών • ΤΕΙ Κρήτης*

# Πρόλογος

Η πτυχιακή εργασία εκχωρήθηκε το Φεβρουάριο του 2010 και ολοκληρώθηκε, όσο αφορά το κατασκευαστικό της κομμάτι, το Νοέμβριο του 2011. Ένα μεγάλο διάστημα αφιερώθηκε στο σχεδιασμό του μοντέλου, ακολούθησαν περίπου επτά μήνες κατασκευαστικής υλοποίησης και εργαστηριακών δοκιμών.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω για τη συμβολή τους στην περάτωση της παρούσας πτυχιακής, τους γονείς μου και τους κοντινούς φίλους και συμφοιτητές μου Ρόζα Γκλίβα και Γιώργο Μιχάλη.

Παπαδόπουλος Αλέξανδρος.

# Περίληψη

Η πτυχιακή εργασία εξετάζει εν συντομία τη γραφική εκπόνηση της κατασκευαστικής μελέτης Γ.Ε.Κ.Μ. (Engineering Design Graphics), λαμβάνοντας υπ' όψιν τις έρευνες για προγράμματα γραφικής εκπόνησης μηχανολογικής μελέτης, που έγιναν στην Αμερική το 1994 από τους Ronald E. Barr και Davor Juricic του University of Texas και του τμήματος Mechanical Engineering ('From Drafting to Modern Design Representation: The Evolution of Engineering Design Graphics') και περιγράφει την εξέλιξη στα προγράμματα τρισδιάστατης απεικόνισης, όπως επίσης προγραμμάτων επίλυσης και διαφορετικής προσέγγισης πάνω στα ίδια προβλήματα μελέτης και σχεδιασμού. Γίνεται περιγραφή μιας ακολουθίας σχεδιασμού ενός μοντέλου, που αποτελείται από ένα σύνολο επιμέρους διαδραστικών μοντέλων, από τη σύλληψη της ιδέας για τη λύση του προβλήματος μέχρι την παραγωγή του πρωτότυπου μοντέλου τις κατασκευαστικής μελέτης με χρήση 3D printer.

Η πρώτη ενότητα της εργασίας εξετάζει εν συντομία την εξέλιξη της γραφικής εκπόνησης της κατασκευαστικής μελέτης και δίνονται ορισμοί που θεωρήθηκαν σημαντικοί για καλύτερη κατανόηση του κειμένου.

Στη δεύτερη ενότητα γίνεται μία εισαγωγική αναφορά του θέματος μελέτης και σχεδιασμού. Περιγραφή του αντικειμένου μελέτης. Κιβώτιο ταχυτήτων γενικά.

Στην τρίτη ενότητα παρουσιάζεται αναλυτικά περιγραφή θέματος μελέτης, ιδέας για την επίλυση του προβλήματος. Σχεδιασμός τρισδιάστατου μοντέλου και οφέλη από τη μετάβαση από 2D σε 3D σχεδιασμό.

Στην τέταρτη ενότητα τρισδιάστατη εκτύπωση, Διαδικασία, Προετοιμασία και προβλήματα που πρόεκυπταν κατά την εκτύπωση.

Στην πέμπτη ενότητα γίνεται περιγραφή εργαλείων που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη ενός σύγχρονου προγράμματος της κατασκευαστικής μελέτης.

Τέλος, στην έκτη ενότητα παρατίθενται σχόλια, συμπεράσματα και βιβλιογραφικές πηγές.

# Περιεχόμενα

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ .....	1	
Μελέτη και σχεδιασμός κιβωτίου ταχυτήτων μηχανουργικού μηχανήματος .....	1	
1	Περίληψη .....	8
1.1	Εισαγωγή.....	8
1.2	Από τις αρχαίες πήλινες πινακίδες έως τους Ηλεκτρονικούς πινάκες διατύπωσης. 8	
1.3	Γεωμετρική μοντελοποίηση και η υπάρχουσα κατάσταση της γραφικής εκπόνησης της κατασκευαστικής μελέτης.....	11
1.3.1	Παράδειγμα εξέλιξης σχεδίασης.....	11
1.3.2	Έρευνα Υπόβαθρου και Ανάπτυξης. ....	12
1.3.3	Η σύγχρονη διεργασία της γραφικής εκπόνησης της κατασκευαστικής μελέτης (Γ.Ε.Κ.Μ). ....	13
1.3.4	Ανάπτυξη ενός σύγχρονου προγράμματος κατασκευαστικής μελέτης. ....	14
1.3.5	Μελλοντικές τάσεις στο πρόγραμμα της κατασκευαστικής μελέτης .....	16
1.4	Ορισμοί.....	18
1.4.1	Μηχανολογικό Σχέδιο.....	18
1.4.2	Παραστατική γεωμετρία .....	20
1.4.3	Οπτικοποίηση (γραφικά υπολογιστών) / Visualization (computer graphics) ...	20
1.4.4	Φυσική Μοντελοποίηση (Physical model) .....	20
1.4.5	Οπτικό - Φωτορεαλιστική απεικόνιση (Rendering).....	21
1.4.6	Τρισδιάστατη εκτύπωση πρόσθετης παραγωγής .....	21
2	Εισαγωγή.....	22
2.1	Περιγραφή του αντικείμενου μελέτης. Κιβώτιο ταχυτήτων γενικά .....	23
2.2	Μη συγχρονισμένα Κιβώτια ταχυτήτων .....	24
2.3	Συγχρονισμένα μετάδοση.....	24
2.4	Εσωτερικά μέρη ενός συγχρονιζέ .....	26
2.4.1	Άξονες (Shafts).....	26
2.4.2	Dog clutch Συμπλέκτης .....	27
2.4.3	Συγχρονιζέ (Synchromesh).....	28
3	Ιδέα, επίλυση και σχεδιασμός.....	30

3.1	Ιδέα και πρώτος σχεδιασμός του προβλήματος .....	30
3.2	Οφέλη από τη μετάβαση από 2D σε 3D σχεδιασμό.....	32
3.2.1	Κύρια οφέλη από τη μετάβαση σε 3D σχεδιασμό. ....	32
3.3	Επιλογή σχεδιαστικού λογισμικού και έκδοσης λογισμικού .....	33
3.4	Σχεδιασμός τρισδιάστατου μοντέλου .....	34
3.4.1	Σχεδιασμός βασικών σχημάτων κιβωτίου .....	35
3.4.2	Αξιοσημείωτα σχέδια.....	36
3.5	Προβλήματα που πρόεκυψαν στο Mechanism του ProE 3.0 και οι λόγοι επιλογής νέας έκδοσης του λογισμικού pro engineer creo/elements 5.0.....	40
4	Περιγραφή προσέγγισης σχεδιασμού, πρόσθετων εφαρμογών και λογισμικών .	42
4.1	Top-down και bottom-up προσέγγιση.....	42
4.1.1	Σχεδιασμός σκελετού. ....	44
4.2	Σχεδιασμός μηχανισμού \ Mechanism Design.....	46
4.3	Explode view \ Ανεπτυγμένη όψη.....	47
4.4	Επέκταση Animation .....	49
4.5	Dropbox.....	50
4.6	Matlab – simulink - simMechanics.....	51
4.7	Keyshot .....	51
4.8	Excel.....	53
4.8.1	Περιγραφή Excel.....	53
5	Τεχνολογία των τρισδιάστατων εκτυπωτών .....	57
5.1	Ιστορία εκτύπωσης .....	57
5.2	Γενικές αρχές .....	57
5.3	Μέθοδος εκτύπωσης-Εναπόθεσης Λιωμένου πολυμερούς .....	59
5.4	Τρισδιάστατη εκτύπωση, Διαδικασία .....	59
5.5	Προετοιμασία, κόστος - προϋπολογισμός.....	62
5.6	Προβλήματα που προέκυψαν κατά την εκτύπωση .....	62
5.7	Ανοχή .....	66
5.8	Συναρμολόγηση .....	67
6	Συμπεράσματα .....	70

6.1	Βιβλιογραφικές πηγές .....	72
6.1.1	Βιβλία .....	72
6.1.2	Άρθρα .....	72
6.1.3	Ιστοσελίδες.....	72
6.1.4	Youtube Βίντεο που περιγράφουν την πτυχιακή.....	73

# 1 Περίληψη

Το παρόν κεφάλαιο εξετάζει εν συντομία την εξέλιξη της γραφικής εκπόνησης της κατασκευαστικής μελέτης (Γ.Ε.Κ.Μ.). Η Γ.Ε.Κ.Μ. ανταποκρίνεται στις πρόσφατες εξελίξεις στην αναπαράσταση του σχεδίου και της μετάβασης από το άμεσο παρελθόν που κυριαρχείται από μηχανολογικά σχέδια μέχρι την τρέχουσα εποχή που βασίζεται σε στερεή γεωμετρική μοντελοποίηση. Αυτή η έρευνα οδήγησε σε ένα μοντέλο που παρουσιάζεται στην παρούσα ενότητα.

## 1.1 Εισαγωγή

Οι μηχανολόγοι πάντα είχαν την ανάγκη για τεχνικές που να δημιουργούν και να κοινοποιούν τις σχεδιαστικές ιδέες τους. Η ιστορία του πολιτισμού αποκαλύπτει πολλές μορφές αντιπροσώπευσης του σχεδιασμού, από τους χάρτες χαραγμένους σε πέτρα ως τα φυσικά μοντέλα που κατασκευάστηκαν σε κλίμακα. Τα τελευταία 200 χρόνια στο σύνολο της παραγωγικής βιομηχανίας, η αναπαράσταση μηχανολογικού σχεδιασμού βασίστηκε κυρίως σε μηχανολογικά σχέδια. Αυτά τα μηχανολογικά σχέδια, τα οποία βασίζονται στη θεωρία της ορθογραφικής προβολής και της εκπόνησης προτύπων, αποτέλεσαν το επίκεντρο της γραφικής εκπόνησης της κατασκευαστικής μελέτης (Γ.Ε.Κ.Μ.). Κατά τη διάρκεια αυτής της εποχής, η αναπαράσταση των μηχανολογικών σχέδιων, εξελίχτηκε από τις θεμελιώδεις αρχές του τετράγωνου και τριγώνου στην υλοποίηση σχεδίων στο σχεδιαστήριο. Πιο πρόσφατα εισήχθη η δισδιάστατη σχεδίαση με χρήση Η/Υ και η κατάρτιση (CADD) συστημάτων.

Οι τελευταίες εξελίξεις στον εξοπλισμό των συστημάτων Γραφικών σε Υπολογιστές, η τεχνολογία λογισμικού και ειδικά η 3-D μοντελοποίηση στερεών με ανάπτυξη μιας κοινής γεωμετρικής βάσης δεδομένων, έχουν φέρει στο προσκήνιο σημαντικές αλλαγές στη μεθοδολογία για τους μηχανολόγους στην αναπαράσταση του σχεδιασμού. Αυτή η σύγχρονη μεθοδολογία σχεδιασμού βασίζεται στις αριθμητικές μεθόδους και στην υπολογιστική ισχύ για τη διαμόρφωση, καταγραφή, ανάλυση και σχεδιασμό λύσεων καθώς επίσης στα γραφικά υπολογιστή για την εισαγωγή δεδομένων και την οπτικοποίηση αποτελεσμάτων. Η παραγόμενη και εκλεπτυσμένη γεωμετρικά βάση δεδομένων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άμεση επικοινωνία, τεχνική ανάλυση, κατασκευή και παραγωγή. Επίσης, υπάρχει δυνατότητα, εάν είναι απαραίτητο ακόμη και να παραγάγει φάκελο τεκμηρίωσης του σχεδιασμού.

## 1.2 Από τις αρχαίες πήλινες πινακίδες έως τους Ηλεκτρονικούς Πινάκες διατύπωσης.

Κατά τις πρώτες ημέρες των ανθρώπινων δραστηριοτήτων ο σχεδιαστής, ο αξιολογητής και κατασκευαστής ήταν συχνά το ίδιο πρόσωπο και ο σχεδιασμός αντικειμένων ήταν απλός. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας οικοδόμησης, το αντικείμενο καθοδηγούσε τον



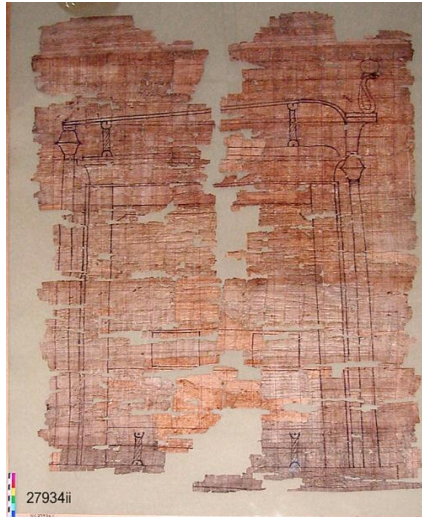
σχεδιαστή ως προς την τελική λύση της σχεδίασης του, ενώ καμία μεθοδολογία σχεδιασμού αναπαράστασης δεν ήταν απαραίτητη. Με την έλευση των μεγάλων πολιτισμών, προέκυψε η ανάγκη για τη δημιουργία πιο πολύπλοκων αντικειμένων, όπως των βασιλικών ναών και των στρατιωτικών οχυρώσεων. Αναπαράσταση σχεδίου άρχισε να εμφανίζεται ως κάτοψη χαραγμένη στην άμμο ή σε πήλινες πλάκες, με λεπτομέρειες για ανύψωση που προέρχονταν και αναγράφονταν απευθείας επί των πέτρινων ογκολίθων ή ξύλινων κομματιών, για να διαμορφωθούν και να ενσωματωθούν στη κατασκευή. Έτσι, η γραφική αναπαράσταση ξεκίνησε το μακροπρόθεσμο ρόλο της ως μια μεθοδολογία αντιπροσώπησης σχεδιασμού καταλαμβάνοντας μια κεντρική θέση μέχρι σήμερα.

Η πρώτη καταγραφή μηχανολογικού σχεδίου, είναι ένα σχέδιο ναού από το 2130 π.Χ. Το σχέδιο του ναού βρέθηκε χαραγμένο στην πλάκα που αποτελεί τμήμα ενός αγάλματος και περιλαμβάνει μια γραφίδα και μια οδοντωτή γραμμή που μοιάζει με μια κλίμακα (βλ. Σχήμα 1). Το άγαλμα, που βρέθηκε ακέφαλο, δείχνει τον Gudea, τον οικοδόμο και κυβερνήτη της πόλης-κράτους της Lagash στη Χαλδαία, σε μια χώρα αργότερα γνωστή ως Βαβυλωνία (ένα μέρος του σύγχρονου Ιράκ).



Σχήμα 1: Το άγαλμα του Gudea

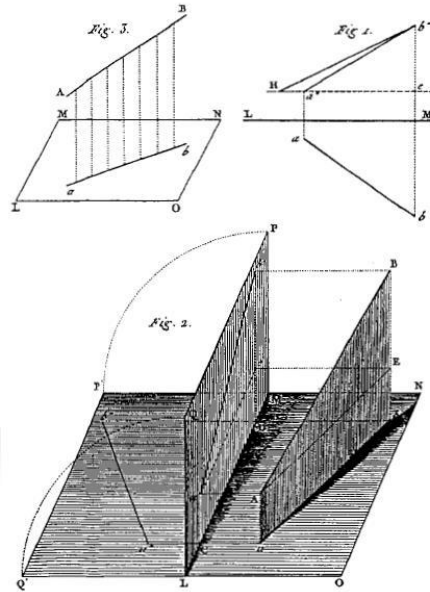
Από την εποχή της αρχαίας Αιγύπτου, (γύρω στο 1500 π.Χ.) έχουν βρεθεί απομεινάρια παπύρου στα οποία φαίνονται δύο όψεις ενός φορητού Αιγυπτιακού τεμένους. Φαίνεται ότι δεν χρησιμοποιήθηκαν ευθύγραμμα τμήματα, αλλά ότι το σχέδιο έχει στο υπόβαθρο ένα κόκκινο πλέγμα με ευθείες γραμμές που έγιναν πιέζοντας τον πάπυρο με ένα στενό κορδόνι βουτηγμένο σε κόκκινη χρωστική ουσία. Τα μαύρα περιγράμματα, που έγιναν στη συνέχεια, σχεδιάστηκαν σε σχέση με τις γραμμές πλέγματος (βλ. Σχήμα 2).



Σχήμα 2: Απομεινάρια παπύρου.

Η πρώτη γραπτή μαρτυρία για τη σύνταξη και τη χρήση αναπαράστασης σχεδίου δίνεται από τον Marcus Pollio Vitruvius, έναν Ρωμαίο οικοδόμο και μηχανικό της εποχής. Γράφει *"Ένας αρχιτέκτονας ... πρέπει να έχει γνώση του σχεδίου, έτσι ώστε να μπορεί εύκολα να κάνει σκίτσα, για να δείξει την εμφάνιση της μελέτης που προτείνει. Η γεωμετρία στον τομέα της αρχιτεκτονικής μας διδάσκει τη χρήση του κανόνα και του διαβήτη, με την οποία αποκτούμε την δυνατότητα ανάγνωσης σχεδίων για κτίρια σε ένα οικόπεδο και πως μπορεί να εφαρμοστεί σωστά το τετράγωνο, το επίπεδο και η κατακόρυφη πτώση .... Είναι αλήθεια ότι με αριθμητική υπολογίζεται το συνολικό κόστος των κτιρίων και μετρήσεις που χρειάζονται, αλλά δύσκολα ερωτήματα που αφορούν τη συμμετρία λύνονται με την βοήθεια γεωμετρικών θεωριών και μεθόδων. "*

Περίπου, ίδιες μέθοδοι χρησιμοποιήθηκαν και στις υπόλοιπες περιόδους μέχρι περίπου το 1500 μ.Χ. Στο σημείο αυτό, η πρώτη καταγραφή σχεδίου με πολλαπλές όψεις εμφανίστηκε στην Ιταλία την εποχή της Αναγέννησης. Ο Piero della Francesca, Ιταλός ζωγράφος, χρησιμοποίησε σχέδιο με τρεις όψεις, σε σχέδια που πραγματοποιήθηκαν με την μέθοδο ορθογωνίας προβολής. Παρ' όλα αυτά, ο "Υπολογισμός μετρήσεων" του Vitruvius συνέχισε να χρησιμοποιείται για επίλυση των χωροταξικών προβλημάτων που προέκυπταν κατά τον ορισμό στοιχείων ανύψωσης. Η ανάπτυξη της αναλυτικής γεωμετρίας κατά τη διάρκεια του 17ου αιώνα συνέβαλε στην επίλυση πιο σύνθετων προβλημάτων. Η επίπονη αναλυτική μέθοδος εξακολουθούσε να είναι η μόνη διαθέσιμη μέθοδος μέχρι που ο Gaspard Monge έδειξε ότι όλα τα χωρικά προβλήματα μπορούν να επιλυθούν γραφικά με τη χρήση δύο ή περισσότερων επίπεδων προβολής (βλ. εικόνα 3). Το 1795 Monge δημοσίευσε την γνωστή διατριβή *Géométrie Descriptive* που παρείχε επιστημονική θεμελίωση της γραφικής εκπόνησης της κατασκευαστικής μελέτης. Η γραφική έγινε η αποκλειστική αναπαράσταση για την μεθοδολογία σχεδιασμού και επικράτησε για περίπου διακόσια χρόνια σχεδόν αναλλοίωτη, αλλά άρχισε να αλλάζει λόγω των πρόσφατων εξελίξεων στην τεχνολογία των υπολογιστών.



Σχήμα 3: Μέθοδος του Gaspard Monge

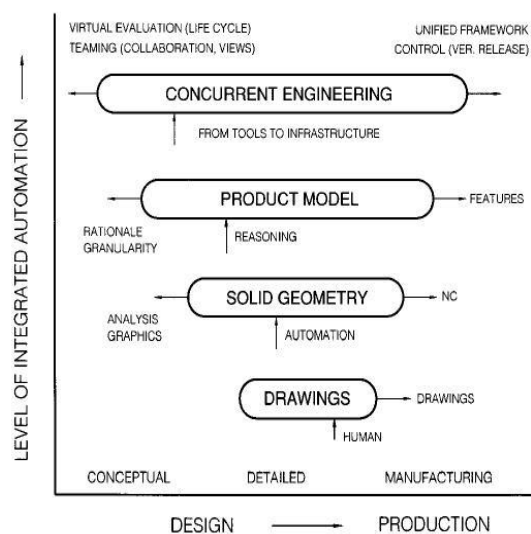
Η πρώτη εφαρμογή των ηλεκτρονικών υπολογιστών για το σχεδιασμό οδήγησε μόνο σε αλλαγή των εργαλείων όπου ο Σχεδιασμός και η Διατύπωση με τη Βοήθεια Υπολογιστών (CADD) αντικαθιστούσε ένα σχεδιαστήριο με έναν ηλεκτρονικό 2-D χώρο. Αν και ψηφιακά στο χαρακτήρα, τα συστήματα CADD κάνουν χρήση αναλυτικών μεθόδων και προσομοιώνουν την γραφική προσέγγιση που προβλέπεται από την παραστατική γεωμετρία του Monge. Το βασικό πλεονέκτημα ήταν η επιτάχυνση στην παραγωγή και στην αναθεώρηση των μηχανολογικών σχεδίων. Πιο πρόσφατα, η γεωμετρική μοντελοποίηση σε όλα τα επίπεδα συμπεριλαμβανομένων των στερεών, παραμετρικών και αυτών που διαθέτουν δυνατότητα προσανατολισμού μοντέλου γίνεται άμεσα σε 3-D χώρο. Αυτή η πρόοδος διευκολύνει την επίλυση των προβλημάτων της ανάπτυξης, μεταφοράς και μορφοποίησης σχεδιαστικών ιδεών ακόμα περισσότερο.

## 1.3 Γεωμετρική μοντελοποίηση και η υπάρχουσα κατάσταση της γραφικής εκπόνησης της κατασκευαστικής μελέτης

### 1.3.1 Παράδειγμα εξέλιξης σχεδίασης

Για να γίνει μελέτη στις τρέχουσες τάσεις στη γεωμετρική μοντελοποίηση και στη γραφική εκπόνηση της κατασκευαστικής μελέτης, είναι χρήσιμο να εξεταστεί ο τρόπος σχεδίασης του παρελθόντος, του παρόντος και κοινού μέλλοντος (βλ. εικόνα 4). Η εικόνα αυτή δείχνει τη σχέση μεταξύ διαφορετικών εποχών της αναπαράστασης και του σχεδιασμού στο επίπεδο της ολοκληρωμένης αυτοματοποίησης της διαδικασίας σχεδιασμού και παραγωγής. Στην περασμένη εποχή η αναπαράσταση του σχεδίου χαρακτηρίστηκε από την κυρίαρχη παρουσία των μηχανολογικών σχεδίων. Στην εν λόγω εποχή η αρχική σύλληψη, ανάλυση και κατασκευή ήταν ελάχιστα αυτοματοποιημένη μέσω ενός κοινού συνδέσμου αναπαράστασής της, επειδή χρειαζόταν ανθρώπινη παρέμβαση για την ερμηνεία των δεδομένων που αποτελούν το μηχανολογικό σχέδιο.

## EVOLVING DESIGN PARADIGM



Σχήμα 4: Παράδειγμα εξέλιξης σχεδιασμού Paradigm of Evolving Design

Η σημερινή εποχή της αναπαράστασης του σχεδίου χαρακτηρίζεται ως η περίοδος της στερεάς γεωμετρίας. Αποτελεί μια προσπάθεια να ενοποιηθεί την αρχική σύλληψη, ανάλυση και τα στάδια παραγωγής με την πλήρη και σαφή στερεή γεωμετρική περιγραφή. Το κοινό μέλλον προσπαθεί να επεκτείνει αυτό το στερεό μοντέλο σε ένα πρωτότυπο μοντέλο προϊόντος. Το μοντέλο προϊόντος αυτό θα περιέχει όχι μόνο τα γεωμετρικά δεδομένα, αλλά και όλα τα δεδομένα που απαιτούνται για την κατασκευή το προϊόντος, όπως το τελείωμα επιφάνειας, οι ανοχές και την διαδικασία σχεδιασμού.

Το τελικό ορατό παράδειγμα σχεδίου θα οδηγήσει σε συγκλίνουσα τεχνολογία. Στην συγκλίνουσα τεχνολογία, ο σχεδιαστής λαμβάνει υπ' όψιν του την πλήρη διάρκεια κύκλου ζωής του προϊόντος από το σημείο της έναρξης του σχεδιασμού. Ως εκ τούτου, η αρχική σύλληψη, ανάλυση, κατασκευή, μάρκετινγκ και η διανομή των προϊόντων, συμπεριλαμβάνονται στα πρώτα στάδια της διαδικασίας σχεδιασμού. Το βασικό στοιχείο της παράλληλης κατασκευής είναι η δημιουργία μιας ολοκληρωμένης βάσης δεδομένων που θα εκπροσωπεί σχεδιασμό ενός εικονικού προϊόντος και να παρέχει την ταχεία αξιολόγηση όλων των πτυχών του σχεδιασμού και της παραγωγής.

Είναι σαφές ότι ο μηχανολογικός σχεδιαστής στο άμεσο μέλλον θα δημιουργήσει ένα ενιαίο μοντέλο με βάση τον ηλεκτρονικό υπολογιστή που θα χρησιμοποιηθεί για όλες τις πτυχές του σχεδιασμού, της παραγωγής και της συντήρησης.

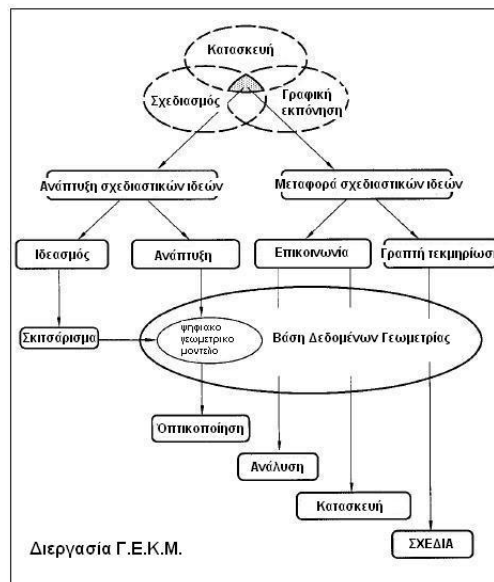
### 1.3.2 Έρευνα Υπόβαθρου και Ανάπτυξης.

Μια πρόσφατη έρευνα, η οποία συντονιζόταν από ένα αναλυτικό πρόγραμμα ανάπτυξης US NSF (Εθνικό Ίδρυμα Επιστήμης των Η.Π.Α.), είχε επικεντρωθεί στην εναρμόνιση της μετάβασης από την αναπαράσταση του σχεδιασμού που χαρακτηρίζεται ως μηχανολογικό σχέδιο με ένα πρότυπο σχεδίου που βασίζεται σε γεωμετρία μοντελοποίησης. Διεξήχθησαν μελέτες υπόβαθρου σχετικά με τις υπάρχουσες και μελλοντικές εφαρμογές των ηλεκτρονικών υπολογιστών για την αναπαράσταση του μηχανολογικού σχεδίου. Μια πρώιμη έρευνα τέθηκε σε εφαρμογή για να βοηθήσει στην ανάπτυξη και την τελειοποίηση ενός προγράμματος σπουδών για εφαρμογή νέων τρόπων γραφικής εκπόνησης της κατασκευαστικής μελέτης. Το πρόγραμμα περιλάμβανε Συμβουλευτική Επιτροπή, αποτελούμενη από διεθνώς αναγνωρισμένους εκπαιδευτές γραφικών που βοήθησαν στη διεξαγωγή μιας μεγάλης έρευνας σχετικά με το περιεχόμενο σύγχρονης γραφικής εκπόνησης

της κατασκευαστικής μελέτης και οι οποίοι συμμετείχαν σε συνεδριάσεις όπου συζητήθηκε η προτεινομένη διδακτέα ύλη. Έγιναν επισκέψεις σε αμερικανικές μηχανολογικές επιχειρήσεις οκτώ διαφορετικών πολιτειών για να διαπιστώσουν από πρώτο χέρι πώς εφαρμόζουν οι μηχανολόγοι σήμερα στην πράξη τη χρήση γραφικών μέσων ηλεκτρονικών υπολογιστών για σχεδιασμό και να συζητήσουν τις αντιλήψεις των βιομηχανιών για τις αλλαγές στο εγγύς μέλλον που θα οφείλονται στην προώθηση της 3-D τεχνολογία των υπολογιστών. Κατά τη διάρκεια της έρευνας, το Φθινόπωρο του 1988, είχαν μια ισχυρή ένδειξη ότι η σύγχρονη διαδικασία σχεδιασμού θα ξεκινάει πρώτον με ένα 3-D γεωμετρικό μοντέλο, μετά θα πραγματοποιεί πλήρη ανάλυση και δοκιμές του μοντέλου, συμπεριλαμβανομένης της προσομοίωσης της κατασκευής και στο τέλος θα παράγει ένα λεπτομερές σύνολο των 2-D σχεδίων παραγωγής.

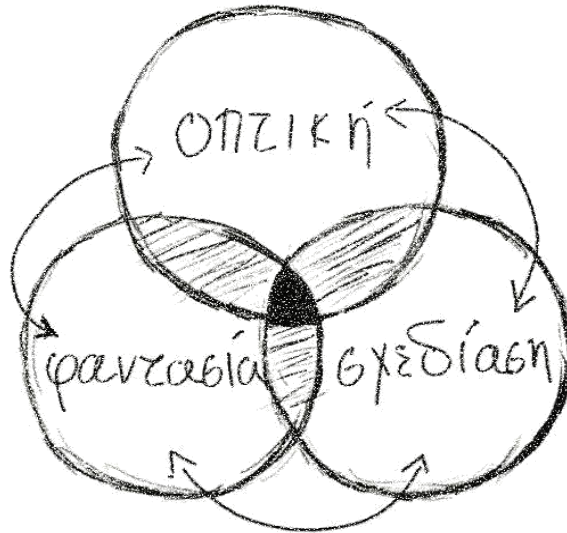
### 1.3.3 Η σύγχρονη διεργασία της γραφικής εκπόνησης της κατασκευαστικής μελέτης (Γ.Ε.Κ.Μ).

Διεργασία της γραφικής εκπόνησης της κατασκευαστικής μελέτης είναι η μηχανική λειτουργία που ασχολείται με την ανάπτυξη της αναπαράστασης του σχεδίου και με τη μεταφορά της αναπαράστασης σχεδίου δεδομένων μεταξύ των διαφόρων σταδίων κατά τη διαδικασία σχεδιασμού. Η παραδοσιακή γραφική εκπόνηση της κατασκευαστικής μελέτης στηρίχθηκε στα μηχανολογικά σχέδια για τη μεταφορά της αναπαράστασης σχεδίου. Στη σύγχρονη διαδικασία Γ.Ε.Κ.Μ., για τη μεταφορά της αναπαράστασης του σχεδίου μεταξύ των σταδίων της διαδικασίας χρησιμοποιούνται τα γεωμετρικά στοιχεία της βάσης δεδομένων του υπολογιστή. Όπως συμβαίνει και με τη διαδικασία σχεδιασμού, η διαδικασία Γ.Ε.Κ.Μ. δεν έχει κάποιο παγκόσμιο ορισμό. Ωστόσο, Ronald E. Barr και Davor Juricic προτείνουν ένα μοντέλο της διαδικασίας Γ.Ε.Κ.Μ. (βλέπε σχήμα 5) η οποία βρίσκει μεγάλη απήχηση, αποτελείται από όρους: Ιδεασμός, Ανάπτυξη, Επικοινωνία, και Τεκμηρίωση.



Σχήμα 5: Διεργασία Γ.Ε.Κ.Μ.

Κατά τη φάση ιδεασμού, ο μηχανολόγος καθορίζει το πρόβλημα και εξερευνά νέες ιδέες για την επίλυση του προβλήματος καθορισμένου σχεδίου. Τα σκίτσα ελεύθερης σχεδίασης χρησιμοποιούνται συχνά κατά τη διάρκεια της διερευνητικής φάσης για να "δείξει τις ιδέες που προέρχονται από το μυαλό κάποιου". Το μοντέλο του McKim "οπτική σκέψη" είναι ιδιαίτερα κατάλληλο σε αυτή τη φάση (βλ. σχήμα 6). Αυτά τα σχέδια μπορούν να γίνουν σε οποιοδήποτε μέσο είναι διαθέσιμο. Από τη στιγμή που γίνεται οπτικοποίηση ενός 3-D κόσμου, ένα σκίτσο πρέπει να επικεντρωθεί πρωτίστως στις εικονογραφήσεις.



Σχήμα 6: Το μοντέλο του McKim "οπτική σκέψη"

Η φάση ανάπτυξης ξεκινά με τη δημιουργία ενός γεωμετρικού μοντέλου, συχνά με προκαταρκτικό σχεδιασμό του μηχανικού σκαριφήματος. Λογισμικά προσφέρουν ταχεία απεικόνιση σε 3-D πρότυπα μοντέλα μέσω των δυνατοτήτων απόδοσης απεικόνισης (rendering) του συστήματος γραφικών του υπολογιστή. Κατά τη διάρκεια αυτής της αναπτυξιακής φάσης μοντελοποίησης θα ήταν ιδιαίτερα χρήσιμο να γνωρίζει κάποιος δυναμικά συστήματα, παραμετρικές τεχνικές και βασική γνώση μηχανικής επειδή οι αλλαγές στο σχεδιασμό καθοδηγούνται μέσω οπτικού ελέγχου και προτιμήσεις των πελατών και επαγγελματική εμπειρία κύκλου ζωής ενός προϊόντος.

Καθώς προχωράει και οριστικοποιείται η μελέτη, το γεωμετρικό μοντέλο και οι σχετικές βάσεις δεδομένων μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μέσο επικοινωνίας. Αυτή η σύνδεση επικοινωνίας μπορεί να είναι τόσο μοντέλο για τον άνθρωπο όσο και μοντέλο για την μηχανή. Η βάση δεδομένων με την πληροφορία για τη γεωμετρία μπορεί να μεταφερθεί σε λογισμικό εργαλείο ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων για τη δοκιμή τάσεων, της ροής και τις ιδιότητες μεταφοράς θερμότητας. Μπορεί να κατασκευαστεί μια γρήγορη "έντυπη μορφή πρωτοτύπου" η οποία μπορεί να γίνει ορατή και αισθητή με την ανθρώπινη όραση και αφή. Στη συνέχεια, μετά την κατασκευή φυσικού πρωτοτύπου, η επικοινωνία προϋποθέτει μια συνεχή, διαδραστική διαδικασία κατά την οποία γραφικές περιγραφές και γεωμετρικά μοντέλα επανεξετάζονται και να βελτιστοποιούνται σύμφωνα με τις αναλύσεις και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης.

Το τελικό στάδιο της διαδικασίας Γ.Ε.Κ.Μ. είναι η τεκμηρίωση που αποτελείται από μια σειρά από λεπτομερή χαρακτηριστικά και σχέδια που δημιουργήθηκαν από την σταθερή βάση δεδομένων του μοντέλου. Αυτό είναι ένα στάδιο λιγότερο ρευστό από την απλή επικοινωνία, αφού τεκμαίρεται ότι η τελική λύση έχει επιτευχθεί και τα τελικά σχέδια αποτελούν τελική λύση για τον σχεδιασμό.

### 1.3.4 Ανάπτυξη ενός σύγχρονου προγράμματος κατασκευαστικής μελέτης.

Η προηγούμενη διατύπωση της σύγχρονης διαδικασίας Γ.Ε.Κ.Μ. έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη, δοκιμή και τελειοποίηση πλάνου μιάς σύγχρονης γραφικής εκπόνησης, στην οποία η στερεά γεωμετρική μοντελοποίηση αποτελεί το κεντρικό θέμα. Ο Ronald E. Barr και ο Davor

Juricic παρατηρώντας τις τάσεις και τις μεθόδους επίλυσης της κατασκευαστικής μελέτης, συνοψίζουν το σύγχρονο πρόγραμμα κατασκευαστικής μελέτης σε ένα πλάνο. Αυτό το πλάνο μπορούν να το χρησιμοποιούν εταιρείες, εργαστήρια ακόμα και ιδρύματα και πανεπιστήμια. Αυτό γίνεται γιατί υπάρχει κοινή δομή στο πως παρουσιάζεται ένα πρόβλημα και ποιά βήματα ακολουθούν αξιοποιώντας τους διαθέσιμους πόρους. Η πτυχειακή εργασία που περιγράφεται και αυτή ακολουθεί τις γενικές αρχές αυτού του πλάνου. Το πλάνο κατανέμεται σε περίοδο διαλέξεων και παρουσίασης του προβλήματος, σε περίοδο με έμφαση στην δημιουργία ελευθέρων σκίτσων, σε περίοδο εργαστηρίου και μια περίοδος για εργαστήριο γραφικής εκπώνησης σε υπολογιστή. Μια γενική επισκόπηση του αναλυτικού προγράμματος καταδεικνύεται από το περίγραμμα που δίνεται στον *πίνακα 1*, όπου γίνεται μια εισαγωγή σε τέσσερα κύρια μέρη της διαδικασίας Γ.Ε.Κ.Μ. και προσδιορίζεται ένα τμήμα με τίτλο 'Τελικός σχεδιασμός του έργου'.

Κατά την εισαγωγική διάλεξη, γίνεται αξιολόγηση του ρόλου των μηχανολογικών σχεδίων που αφορούν τον σχεδιασμό, την κατασκευή και την παραγωγή. Τονίζεται η ανάγκη για εύκολα και ακριβή ελεύθερα σχέδια. Το πρώτο μέρος καλύπτει βασικά γεωμετρικά στοιχεία και έννοιες που θεωρούνται απαραίτητες προϋποθέσεις γραφικών για το υπόλοιπο της διαδρομής. Παρουσιάζονται θεμελιώδεις αρχές του CADD. Επίσης αναφέρονται οι αρχές της προβολικής γεωμετρίας και οπτικοποίησης.

Το δεύτερο μέρος καλύπτει την ανάπτυξη των ιδεών σχεδιασμού χρησιμοποιώντας σύγχρονες γεωμετρικές τεχνικές μοντελοποίησης και ελεύθερο εικαστικό σκίτσο. Καλύπτονται τα σημαντικότερα είδη εικονογραφημένων σκίτσων (αξονομετρικό, πλάγιο και προοπτικών). Παρουσιάζονται βασικά χαρακτηριστικά των στερεών συστημάτων μοντελοποίησης. Αναφέρονται τυπικά σχέδια στον υπολογιστή με σκοπό την στερεά μοντελοποίηση, που χρησιμοποιούν μοναδιαίες και λογικές πράξεις σε 3-D αρχέτυπα για να δημιουργηθούν μηχανικά μέρη. Επίσης διερευνώνται εναλλακτικοί τρόποι κατασκευής στερεών μοντέλων που χρησιμοποιούν περιστροφή, εξώθηση και διαθέτουν λειτουργίες (features).

Στο τρίτο μέρος γίνεται αναφορά στα γεωμετρικά μοντέλα πολλαπλών προβολών, την ανάλυση σχεδιασμού και τις εκτιμήσεις κατασκευής. Παρουσιάζεται παραγωγή πολλαπλών προβολών απευθείας από το στερεό γεωμετρικό μοντέλο. Παραδείγματα με χειρόγραφα σκίτσα των σχεδίων με πολλαπλές προβολές ενισχύουν αυτή την εμπειρία οπτικοποίησης. Λαμβάνοντας μερικές γεωμετρικές ιδιότητες και την μάζα του στερεού μοντέλου δημιουργείται ένα πλέγμα με πεπερασμένα στοιχεία. Προσδιορίζονται τα βήματα που απαιτούνται για τη σύνδεση και συναρμολόγηση γεωμετρικών μοντέλων με διαδικασίες αυτοματοποιημένης παραγωγής.

Το τέταρτο μέρος ασχολείται με την τεκμηρίωση του σχεδιασμού και των προτύπων. Τεχνικές μηχανολογικών σχεδίων σχετίζονται με της κύριες προβολές, βοηθητικές όψεις, τμήματα, συμβατικότητα και πρακτικές που καλύπτουν διαστασιολόγηση. Οι μέθοδοι οπτικοποίησης σε αυτές τις παραδοσιακές περιοχές ενισχύονται περαιτέρω από σκίτσα και παραδείγματα με χρήση υπολογιστών για 3-D μοντελοποίηση στερεών και 2-D CADD σχέδια που προέρχονται από το μοντέλο.

Το τελευταίο μέρος του προγράμματος είναι αφιερωμένο σε μικρό σχεδιασμό ενός προτύπου έργου. Το έργο συνίσταται στις διαδικασίες διενέργειας σκίτσων και σχεδίων για την σχεδίαση μιας μηχανικής συναρμολόγησης και στη συνέχεια την επίλυση του προβλήματος στο το εργαστήριο υπολογιστών για στερεά μοντέλα. Ένα σύνολο των τελικών σχεδίων παραγωγής της σχεδιαστικής λύσης, με βάση την αρχική δημιουργία συναρμολόγησης του στερεού μοντέλου, είναι φυσικά αποκορύφωμα μιας εμπειρίας εκπόνησης μηχανολογικής μελέτης.

Η εικόνα (πίνακας 1) που περιγράφεται εδώ είναι ένα γενικό περίγραμμα πορείας το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη κάθε ειδικού προγράμματος σπουδών που αφορούν γραφική εκπόνηση της κατασκευαστικής μελέτης ανάλογα με τις ανάγκες και των στόχων του συγκεκριμένου σχολείου. Το υλικό μπορεί να αναπτυχθεί σε διάφορα μαθήματα, ή ένα πλήρες πρόγραμμα σπουδών Γ.Ε.Κ.Μ. μπορεί να αναπτυχθεί με βάση την ίδια έννοια. Μπορούμε να αναμένουμε ότι θα έχουμε τόσες τοπικές εκδόσεις του προτεινόμενου προγράμματος σπουδών Γ.Ε.Κ.Μ. όσες είναι και οι διαφορετικές σχολές μηχανολόγίας.

<b>Introduction: Modern Engineering Design and Graphics</b> Role of Graphics in Engineering Design, Manufacturing, and Construction Freehand Line Sketching Techniques
<b>Part 1: Graphic Geometry: Elements and Concepts</b> Planar and Spatial Geometry Fundamental Construction Techniques in 2-D CADD Projective Geometry and Visualization Exercises
<b>Part 2: Geometric Modelling: Pictorials and Solid Models</b> Descriptive Modeling as a Design Tool Pictorial Sketching: Axonometric, Perspective, and Oblique 3-D CADD and Solid Modeling Techniques Boolean and Sweeping Operations in Solid Modeling
<b>Part 3: Model Applications: Multiview Drawings, Analysis, and Manufacturing</b> Generation of Multiview Drawings from Solid Model Model Analysis of Geometric and Mass Properties Model Mesh Generation for Finite Element Analysis Generation of Manufacturing Data Files from Solid Model
<b>Part 4: Design Documentation: Production Drawings and Conventions</b> Multiview and Auxiliary View Drawing Standards Sectioning and Conventional Practices Dimensioning Practices
<b>Project: Final Design Project</b> Planning Sketches Building of 3-D Solid Model Assembly Analysis of Solid Model Assembly Working Drawing Package

Πίνακας 1. Επίκαιρο περίγραμμα για τη σύγχρονη εκπόνησης της κατασκευαστικής μελέτης.

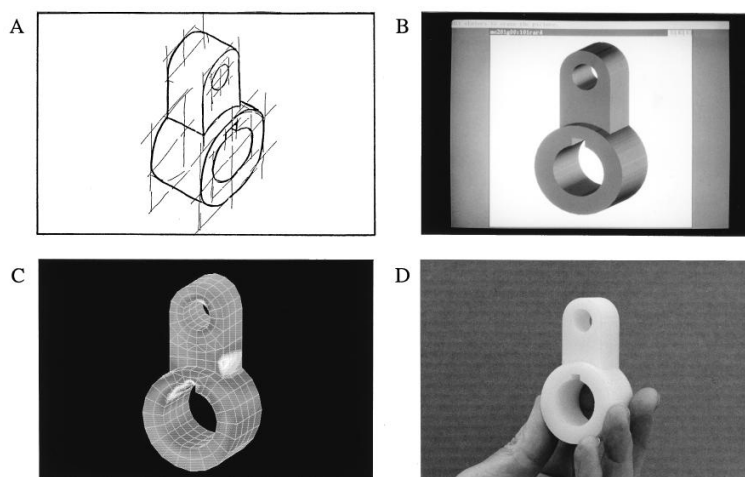
### 1.3.5 Μελλοντικές τάσεις στο πρόγραμμα της κατασκευαστικής μελέτης

Στο προηγούμενο κεφάλαιο έγινε προσπάθεια περιγράφης ενός μοντέλου, λαμβάνοντας υπ' όψιν τον ορισμό υλικού, τις ανοχές, την διαδικασία κατασκευής και άλλες απαιτήσεις του κύκλου ζωής, πέραν του τμήματος της γεωμετρίας. Σχετικά προβλήματα που απομένουν να επιλυθούν αφορούν τη χρήση των δεδομένων του μοντέλου του προϊόντος για την κατασκευή με όλες της προδιαγραφές του τμήματος που σχεδιάστηκε. Με την παρούσα κατάσταση της τεχνολογίας, η στερεά περιγραφή της γεωμετρίας σχετικά απλών εξαρτημάτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα για την κατεργασία ή την επιτραπέζια παραγωγή. Κέντρα κατεργασίας και ταχείας πρωτοτυποποίησης που καθοδηγούνται απευθείας από τα ηλεκτρονικά δεδομένα είναι διαθέσιμα και παράγουν ένα τελικό ή μέρος του φυσικού μοντέλου το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για έλεγχο ή χύτευση ακριβείας (βλέπε σχήμα 7). Για πολλές επιχειρήσεις η χρήση της ταχείας πρωτοτυποποίησης έχει γίνει πρόσφατα ένα σημαντικό στάδιο της διεργασίας τους, φέρνοντας ένα νέο προϊόν στον πελάτη νωρίτερα ή τουλάχιστον όχι αργότερα από ότι κάνει ο ανταγωνιστής τους.

Με την παρούσα κατάσταση της τεχνολογίας καθώς και τις ανάγκες της βιομηχανίας, οι Ronald E. Barr και Davon Jucic προβλέπουν το επόμενο βήμα στην ανάπτυξη προγραμμάτων σπουδών Γ.Ε.Κ.Μ. θα πρέπει να περιλαμβάνει όλες τις λεπτομέρειες της εφαρμογής του μοντέλου για την ανάλυση και την κατασκευή αλλά σε ένα στοιχειώδες επίπεδο. Στο τρέχον πρόγραμμα σπουδών αυτά τα θέματα συνήθως μόνο αναφέρονται ως



εφαρμογές για πιθανό υπόδειγμα, αν και κάποιες προσπάθειες να συμπεριληφθούν περισσότερες λεπτομέρειες μπορούν να αναφερθούν. Θα είναι μια πρόκληση για τους μηχανικούς εκπαιδευτικούς με ενδιαφέρον για το σχεδιασμό και την εκπροσώπηση του σχεδιασμού να συγκεντρώσουν ενσωματωμένο λογισμικό και το υλικό που απαιτούνται για τα νέα εργαστήρια καθώς και την ανάπτυξη διδακτικού υλικού κατάλληλο για πρωτοετείς και άλλων χαμηλότερου εξαμήνου φοιτητές. Ένα σύστημα CAD/CAM προσαρμοσμένο προς το πρόγραμμα σπουδών Γ.Ε.Κ.Μ., όμως θα ήταν πιο αντιπροσωπευτικό της σύγχρονης μηχανικής και πολύ πιο ελκυστικό για πρωτοετείς και άλλων χαμηλότερου εξαμήνου φοιτητές, έτσι μπορούν να δοθούν κίνητρα στους πρωτοετείς φοιτητές μηχανολογίας να επιμείνουν στις σπουδές τους κατά τη διάρκεια των πρωτοετών στα οποία θεωρείται να λείπει η επιβράβευση και συναρπαστικές εμπειρίες. Εικόνα 8 απεικονίζει μια τυπική εκπαιδευτική εμπειρία για το μαθητή με τέτοιο τρόπο ώστε, CAD/CAM, προσαρμοσμένο προς το μάθημα Γ.Ε.Κ.Μ.



Σχήμα 7:Μια τυπική εκπαιδευτική εμπειρία για την γραφική εκπόνηση της κατασκευαστικής μελέτης για έναν φοιτητής στο εγγύς μέλλον-θα ξεκινήσει με ένα εικονογραφικό σκίτσο της ιδέας σχεδιασμού (Α). Η έννοια σχεδιασμού θα πρέπει να αναπτυχθεί πλήρως και οπτικά εξερευνηθεί μέσα από ένα στέρεο rendering (Β). Στερεά αναπτυγμένο μοντέλο θα κοινοποιηθεί σε ένα πακέτο λογισμικού ανάλυσης για τον έλεγχο και την αξιολόγηση του σχεδιασμού (C), και γρήγορο στερεό έντυπο πρωτότυπου σχεδίου θα πρέπει να προέρχονται απευθείας από την βάση δεδομένων του στερεού μοντέλου (D).

Είναι αδύνατον να περιγράψει κάποιος το μακρινό μέλλον στην αναπαράσταση του σχεδιασμού ή και προτύπου που ονομάζεται γραφική εκπόνηση της κατασκευαστικής μελέτης. Ωστόσο, σήμερα με την έρευνα στον τομέα της στερεοσκοπικής και holographic computer graphics καθώς και η πρόοδος στην ενσωμάτωση των CAD και CAM συστημάτων, δείχνουν ότι ο σχεδιαστής του μέλλοντος θα λειτουργήσει στον κυβερνοχώρο, ένα κόσμο της εικονικής πραγματικότητας όπου ακτίνες λέιζερ ζωγραφίζουν την κοσμική προβολή άμεσα επάνω στον αμφιβληστροειδή χιτώνα του σχεδιαστή. Στον κυβερνοχώρο, οι σχεδιαστές θα αναπτύξουν τις σχεδιαστικές ιδέες τους, με την μοντελοποίηση ενός εικονικού μέρους με εικονικά εργαλεία (βλ. σχήμα 7). Θα αναλύσουν τη λειτουργία και επάρκεια του μοντέλου κατά τη διάρκεια της διαδικασίας σχεδιασμού. Θα συμβουλευτούν την Τεχνητή Νοημοσύνη του συστήματος και θα επισυνάψουν στο μοντέλο μέρος των δεδομένων και διαφορετικών ιδιοτήτων που είναι απαραίτητες για την κατασκευή. Τα δεδομένα που περιγράφουν τον τελικό μοντέλο θα μεταφορτωθούν άμεσα στην εγκατάσταση παραγωγής που θα παράγουν το μοντέλο. Σε αυτό το μακρινό μελλοντικό σύστημα για το σχεδιασμό και την κατασκευή κανένα σχέδιο, σκίτσο ή και προβολή μοντέλου στην οθόνη του υπολογιστή θα χρησιμοποιείται για εκπροσώπηση του σχεδιασμού.



Σχήμα 8: Εικονικά εργαλεία του μέλλοντος.

Η σχέση μεταξύ της διαδικασίας Γ.Ε.Κ.Μ. και της σύγχρονης πρακτικής εφαρμογής της κατασκευαστικής μελέτης έχει γίνει πιο στενή τα τελευταία χρόνια. Αυτό οφείλεται στην εμφάνιση μιας ανώτερης μεθόδολογίας για την αναπαράσταση του σχεδιασμού, συγκεκριμένα τη γεωμετρική στερεά μοντελοποίηση, η οποία είναι η βάση για την τρέχουσα κατάσταση της εξέλιξης του σχεδιασμού παραδείγματος. Η νέα μεθόδολογία υποδεικνύει ότι ο μηχανολογικός σχεδιαστής στο εγγύς μέλλον θα δημιουργήσει ένα ενιαίο μοντέλο για την εκπροσώπηση του σχεδιασμού που θα καλύπτει όλες τις πλευρές του σχεδιασμού, ανάλυσης, της παραγωγής και της συντήρησης. Ronald E. Barr και Davor Juricic παρατηρούν πως στα περισσότερα ιδρύματα, γραφική εκπόνηση της κατασκευαστικής μελέτης είναι η πρώτη σειρά μαθημάτων σε μια ολοκληρωμένη τετραετή ακολουθία σχεδιασμού. Ενώ προβλέπουν ότι ένα σύγχρονο πρόγραμμα της κατασκευαστικής μελέτης θα πρέπει να εισαγάγει τους φοιτητές στην οικοδόμηση των στερεών μοντέλων και θα πρέπει να δείχνουν σαφώς την εφαρμογή αυτών των στερεών μοντέλων για την μηχανική ανάλυση και την πορεία της παραγωγής και κατασκευής. Με συνέπεια για τα ιδρύματα το επόμενο βήμα θα είναι ανάπτυξη και επέκταση των εργαστηρίων που να περιλαμβάνουν πρακτική εμπειρία που να εφαρμόζεται πάνω στο μοντέλο για την ανάλυση και την κατασκευή. Με τον τρόπο αυτόν, αυτή η αρχή Γ.Ε.Κ.Μ. φυσικά μπορεί να χρησιμεύσει ως σημαντικό σημείο εκκίνησης για μια σύγχρονη, ολοκληρωμένη εκπαιδευτική εμπειρία στην Computer-Aided Design και Βιομηχανία (CAD / CAM).

## 1.4 Ορισμοί

### 1.4.1 Μηχανολογικό Σχέδιο

Το Μηχανολογικό Σχέδιο είναι μια γραφική γλώσσα που χρησιμοποιείται από τους μηχανικούς και άλλο τεχνικό προσωπικό που σχετίζονται με το επάγγελμα του μηχανικού.

Ο Μηχανολογικός Σχεδιασμός (η δραστηριότητα) παράγει μηχανολογικά σχέδια (τα έγγραφα), που είναι κάτι παραπάνω από σχέδιο εικόνων, είναι επίσης μια γλώσσα - μια γραφική γλώσσα η οποία μεταφέρει τις ιδέες και τις πληροφορίες από το ένα μυαλό στο άλλο. Κυρίως διαβιβάζει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες από τον μηχανικό που σχεδίασε ένα μέρος στους εργαζόμενους που θα το κάνουν. Ο σκοπός της μηχανικής σχεδίασης είναι να μεταφέρει παραστατικά και με σαφήνεια τις ιδέες και τις πληροφορίες που είναι αναγκαίες για την κατασκευή ή την ανάλυση των μηχανών, των δομών, ή συστημάτων.

Η βάση για μεγαλύτερο μέρος των μηχανολογικών σχεδίων είναι ορθογραφική αναπαράσταση (προβολή). Τα αντικείμενα που απεικονίζονται από μπροστινό, πάνω, πλάι, βοηθητική, ή λοξή όψη, ή συνδυασμούς αυτών. Η πολυπλοκότητα ενός αντικειμένου

καθορίζει τον αριθμό των απόψεων που εμφανίζονται. Κατά περιστάσεις χρησιμοποιείται και εικονογραφική όψη.

Τα Μηχανολογικά σχέδια περιλαμβάνουν συχνά χαρακτηριστικά όπως διάφορα είδη γραμμών, διαστάσεις, γράμματα - σημειώσεις, όψη τομής και σύμβολα. Μπορεί η μορφή να σχεδιαστεί προσεκτικά και να ελέγχεται, ή μπορεί να είναι σκίτσα ελευθέρου σχεδίου. Συνήθως ένα σκίτσο προηγείται του μηχανολογικού σχεδίου.

Πολλά αντικείμενα έχουν περίπλοκες λεπτομέρειες στο εσωτερικό τους, οι οποίες προκύπτουν με σαφήνεια με τη βοήθεια της πρόοψης, κάτοψης ή πλαϊνής όψης, ή τομών. Οι προβολές τμήματος επιτρέπουν στους μηχανικούς να δείξουν την εσωτερική λεπτομέρεια σε αυτές τις περιπτώσεις. Χαρακτηριστικά των προβολών τμήματος είναι σύμβολο τομής με επίπεδο συμμετρίας, τα οποία δείχνουν πού βρίσκονται φανταστικά επίπεδα κοπής για την παραγωγή των τμημάτων καθώς και 'section-lining' τμήμα-επένδυση (μερικές φορές ονομάζεται 'cross-hatching' πολλαπλής επώασης), το οποίο εμφανίζεται στις προβολές τμήματος για τις περιπτώσεις κοπής στο επίπεδο συμμετρίας.

Εκτός από την περιγραφή του σχήματος των αντικειμένων, πολλά σχέδια πρέπει να δείχνουν τις διαστάσεις, έτσι ώστε οι εργαζόμενοι να μπορούν να χτίσουν τη δομή ή να κατασκευάζουν εξαρτήματα που θα ταιριάζουν μεταξύ τους. Αυτό επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση των απαιτούμενων τιμών (μετρήσεις) σύμφωνα με τις διαστάσεις της γραμμής (συνήθως έξω από το περίγραμμα του αντικείμενου) και παρέχοντας πρόσθετες πληροφορίες με τη μορφή σημειώσεων οι οποίες αναφέρονται στο εν λόγω αντικείμενο.

Τα σχέδια διάταξης 'Layout drawings' χρησιμοποιούνται σε διάφορους τομείς παραγωγής και για διάφορους σκοπούς. Το ένα είναι το σχέδιο διάταξης μονάδας 'plant layout drawing', στο οποίο φαίνεται το περίγραμμα του κτιρίου, τομείς χώρου εργασίας, διάδρομοι καθώς και μεμονωμένα στοιχεία του εξοπλισμού και όλα σε κλίμακα. Ένας άλλος τύπος της διάταξης είναι προκαταρκτική συναρμολόγηση συνόλου 'assembly', 'drawing' σχεδιασμός είναι η διάταξη του σχεδιασμού η οποία καθορίζει τη θέση και την εκκαθάριση των εξαρτημάτων ενός συναρμολογημένου συνόλου.

Μια σειρά από σχέδια εργασίας συνήθως περιλαμβάνει αναλυτικά σχέδια όλων των τμημάτων και σχέδιο συναρμολόγησης 'assembly drawings' ολόκληρης της μονάδας. Σχέδια συναρμολόγησης διαφέρουν κάπως σε χαρακτήρα ανάλογα με τη χρήση τους ως σύνολα σχεδιασμού ή σχεδιαγράμματα '**working drawing assemblies**' (λειτουργικά σχέδια συναρμολογήσεων), '**general assemblies**' (γενικές συναρμολογήσεις συνόλου), '**installation assemblies**' (συναρμολογήσεις εγκατάστασης) και '**check assemblies**' (συναρμολογήσεις ελέγχου).

Η σχηματική αναπαράσταση ή τα διαγραμματικά σχέδια κάνουν χρήση των τυποποιημένων συμβόλων που δείχνουν την κατεύθυνση της ροής. Σε σωληνώσεις και ηλεκτρικά σχηματικά διαγράμματα χρησιμοποιούνται τέτοια σύμβολα. Τα εξαρτήματα ή σκεύη δεν φέρουν επισημάνσεις ή περισσότερες σχηματικές αναπαραστάσεις διότι οι αναγνώστες συνήθως γνωρίζουν τι αντιπροσωπεύουν τα σύμβολα.

Τα διαρθρωτικά σχέδια περιλαμβάνουν το σχεδιασμό και σχέδια εργασίας για τεχνικά έργα, όπως γέφυρες, φράγματα, δεξαμενές και τους αυτοκινητόδρομους. Τέτοια σχέδια αποτελούν τη βάση των νομικών συμβάσεων. Τα διαρθρωτικά σχέδια ενσαρκώνουν τις ίδιες αρχές που κάνουν τα άλλα μηχανολογικά σχέδια αλλά η χρήση της ορολογίας και διαστασιολόγησης είναι διαφορετική απ' αυτή που αναφέρεται στα προηγούμενα παραδείγματα.

### 1.4.2 Παραστατική γεωμετρία

Η Παραστατική Γεωμετρία αποτελεί κλάδο των εφαρμοσμένων μαθηματικών που σκοπό έχει τη γραφική επίλυση (με κανόνα και διαβήτη) προβλημάτων που ανάγονται σε στερεά σχήματα. Ακολουθεί την εξής μέθοδο: αντικαθιστά τα στερεά σχήματα με τις προβολές τους σε δύο ή τρία επίπεδα, καλούμενα προβολικά, εις τρόπον ώστε, αναγόμενα στο χώρο, να χρησιμοποιούνται επί των γνωστών γραφικών μεθόδων. Από καθαρή μαθηματική άποψη η παραστατική γεωμετρία δεν παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Αντίθετα όμως είναι πάρα πολύ χρήσιμη αφού αποτελεί τη βάση όλων των τεχνικών σχεδιάσεων ιδιαίτερα στην αρχιτεκτονική, μηχανολογία, ναυπηγική και αεροναυπηγική.

### 1.4.3 Οπτικοποίηση (γραφικά υπολογιστών) / Visualization (computer graphics)

Οπτικοποίηση είναι οποιαδήποτε τεχνική για τη δημιουργία εικόνων, διαγραμμάτων ή κινούμενα σχέδια να μεταφέρουν ένα μήνυμα. Η οπτικοποίηση μέσω οπτικών εικόνων υπήρξε ένας αποτελεσματικός τρόπος να μεταφέρουν τόσο αφηρημένες και συγκεκριμένες ιδέες από την αρχή της ανθρωπότητας. Παραδείγματα από την ιστορία περιλαμβάνουν ζωγραφική των σπηλαίων, αιγυπτιακά ιερογλυφικά, ελληνική γεωμετρία και επαναστατικές μεθόδους του Leonardo da Vinci για την τεχνική σχεδίασης για τους μηχανικούς και επιστημονικούς σκοπούς.

Η οπτικοποίηση σήμερα έχει διαρκώς διευρυνόμενο πεδίο εφαρμογών στους τομείς της επιστήμης, της εκπαίδευσης, της μηχανικής (π.χ., απεικόνιση του προϊόντος), των διαδραστικών πολυμέσων, της ιατρικής κλπ. Χαρακτηριστικό της εφαρμογής της οπτικοποίησης είναι στον τομέα των γραφικών των ηλεκτρονικών υπολογιστών. Η εφεύρεση των γραφικών του υπολογιστή μπορεί να είναι η πιο σημαντική εξέλιξη στην απεικόνιση από την εφεύρεση της κεντρικής προοπτικής κατά την περίοδο της Αναγέννησης. Η ανάπτυξη των κινούμενων σχεδίων βοήθησε επίσης την απεικόνιση των προτέρων.

### 1.4.4 Φυσική Μοντελοποίηση (Physical model)

Ένα φυσικό μοντέλο (πιο συχνά αναφέρεται απλά ως μοντέλο, ωστόσο, υπό την έννοια ότι διακρίνεται από ένα εννοιολογικό μοντέλο) είναι μικρότερο ή μεγαλύτερο φυσικό αντίγραφο ενός αντικείμενου. Το αντικείμενο που διαμορφώθηκε μπορεί να είναι μικρό (για παράδειγμα, ένα άτομο) ή μεγάλο (για παράδειγμα, το Ηλιακό Σύστημα).

Η γεωμετρία του μοντέλου και το αντικείμενο που αντιπροσωπεύει συχνά είναι παρόμοια με την έννοια ότι το ένα είναι ένα αποκλιμάκωση του άλλου. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η κλίμακα είναι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό. Ωστόσο, σε πολλές περιπτώσεις η ομοιότητα είναι μόνο κατά προσέγγιση ή ακόμα και συνειδητά διαστρεβλώνεται. Μερικές φορές η στρέβλωση είναι συστηματική, π.χ. στην μοντελοποίηση τοπογραφίας της ευρύτερης περιοχής με μια κλίμακα οριζόντια και μία μεγαλύτερη κλίμακα κάθετα (σε αντίθεση με ένα μοντέλο μικρότερης ορεινής περιοχής, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιεί και την ίδια κλίμακα οριζόντια και κάθετα δείχνοντάς τις πραγματικές κλίσεις).

Φυσικά μοντέλα επιτρέπουν την απεικόνιση, την εξέταση του μοντέλου, πληροφορίες για το θέμα που αντιπροσωπεύει το μοντέλο. Ένα μοντέλο μπορεί να είναι ένα φυσικό αντικείμενο, όπως ένα αρχιτεκτονικό μοντέλο ενός κτιρίου. Χρήσεις του αρχιτεκτονικού μοντέλου περιλαμβάνουν την οπτική αναπαράσταση των εσωτερικών σχέσεων εντός της δομής ή των εξωτερικών σχέσεων της δομής με το περιβάλλον. Άλλες χρήσεις των μοντέλων υπό την έννοια αυτή είναι ως παιχνίδια.

Ένα φυσικό μοντέλο για κάτι μεγάλο είναι συνήθως μικρότερο και κάτι πολύ μικρό είναι μεγαλύτερο. Ένα φυσικό μοντέλο για κάτι που μπορεί να κινηθεί, όπως ένα αυτοκίνητο ή

μηχανή, μπορεί να είναι εντελώς στατικό, ή να έχει μέρη που μπορούν να κινηθούν με το χέρι, ή να τροφοδοτούνται. Ένα φυσικό μοντέλο μπορεί να δείξει εσωτερικά μέρη που δεν είναι ορατά συνήθως. Ο σκοπός ενός φυσικού μοντέλου σε μικρότερη κλίμακα μπορεί να είναι για να υπάρχει μια καλύτερη εικόνα, για τους σκοπούς της δοκιμής, ως χόμπι ή παιχνίδι. Ο σκοπός ενός φυσικού μοντέλου σε μεγαλύτερη κλίμακα προσφέρει διακριτή δομή των πραγμάτων που είναι συνήθως πολύ μικρά για να διευκρινισθούν ή να μη φαίνονται καθόλου, για παράδειγμα ένα μοντέλο ενός εντόμου ή ενός μορίου.

Ένα μοντέλο 3D είναι μια εναλλακτική λύση για μια 2D αναπαράσταση, όπως ένα σχέδιο ή μια φωτογραφία, ή στην περίπτωση μιας υδρόγειου σφαίρας, ένα ατόφιο 3D, μιας εναλλακτικής λύσης για έναν επίπεδο παγκόσμιο χάρτη.

#### **1.4.5 Οπτικό - Φωτορεαλιστική απεικόνιση (Rendering)**

Το 3D rendering είναι η διεργασία 3D γραφικών υπολογιστή, αυτόματα μετατρέποντας μοντέλα 3D σε δισδιάστατο γράφημα πλέγματος εικόνων με 3D φωτορεαλιστικά εφέ ενός υπολογιστή.

Το Rendering είναι ένα από τα σημαντικότερα επιμέρους θέματα των 3D γραφικών απεικονίσεων και στην πράξη πάντα συνδεδεμένο με τα υπόλοιπα. Στη γραφική απεικόνιση, είναι το τελευταίο σημαντικό βήμα, δίνοντας την τελική εμφάνιση στα μοντέλα και την κινούμενη εικόνα. Με την αυξανόμενη πολυπλοκότητα της ηλεκτρονικής γραφιστικής από το 1970, έχει γίνει πιο ευδιάκριτο και αυτόνομο θέμα.

Το Rendering είναι η διαδικασία δημιουργίας μιας εικόνας από ένα μοντέλο (ή μοντέλα σε ό, τι συλλογικά θα μπορούσε να ονομαστεί ένα αρχείο σκηνοκώ), μέσω των προγραμμάτων ηλεκτρονικών υπολογιστών. Ένα αρχείο περιέχει αντικείμενα σκηνοκώ σε μια αυστηρά καθορισμένη δομή γλώσσας ή δεδομένων, η οποία θα περιέχει την γεωμετρία, την οπτική, την υφή, το φωτισμό, τη σκίαση και πληροφορίες ως περιγραφή της εικονικής σκηνοκώ. Τα δεδομένα που περιλαμβάνονται στο αρχείο σκηνοκώ διαβιβάζονται ύστερα σε ένα πρόγραμμα ανάλυσης για τη μεταποίηση και την παραγωγή σε ψηφιακή εικόνα ή αρχείο εικόνας με πλέγμα γραφικών.

#### **1.4.6 Τρισδιάστατη εκτύπωση πρόσθετης παραγωγής**

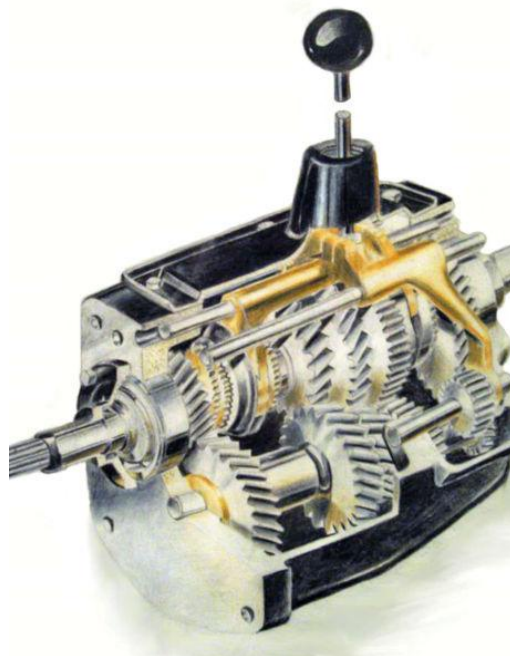
Η τρισδιάστατη εκτύπωση υποενότητα της πρόσθετης παραγωγής, Additive Manufacturing (AM), επίσης γνωστή και ως 3D εκτύπωση ορίζεται από ASTM No. F2792 - 12a ως «διαδικασία προσχώρησης υλικών που κάνουν αντικείμενα από το 3D μοντέλο δεδομένων, συνήθως στρώμα μετά από στρώμα, σε αντίθεση με αφαιρετικές μεθόδους παραγωγής, όπως η παραδοσιακή μεταλλοτεχνία. Συνώνυμα περιλαμβάνουν κατασκευή πρόσθετης ύλης, διαδικασίες πρόσθεσης, τεχνικές πρόσθετης ύλης, την κατασκευή στρωμάτων πρόσθετης ύλης, στρώμα κατασκευής και ελεύθερης μορφής κατασκευής».

Ο όρος που περιγράφει τεχνολογίες πρόσθετης παραγωγής μπορεί να χρησιμοποιηθεί οπουδήποτε κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του προϊόντος από την προ-παραγωγή (δηλαδή, την ταχεία προτυποποίηση) μέχρι την πλήρη παραγωγή (επίσης γνωστή ως Rapid Manufacturing), ακόμη και για εφαρμογές εργαλείων ή μετά την προσαρμογή της παραγωγής.

## 2 Εισαγωγή

Λαμβάνοντας υπόψη τις έρευνες που περιγράφονται στο πρώτο κεφάλαιο για προγράμματα γραφικής εκπόνησης μηχανολογικής μελέτης, την εξέλιξη στα προγράμματα τρισδιάστατης απεικόνισης, όπως επίσης προγραμμάτων επίλυσης και διαφορετικής προσέγγισης πάνω στα ίδια προβλήματα μελέτης και σχεδιασμού, γίνεται περιγραφή μιας ακολουθίας σχεδιασμού ενός μοντέλου, που αποτελείται από ένα σύνολο επιμέρους διαδραστικών μοντέλων, από τη σύλληψη της ιδέας για τη λύση του προβλήματος μέχρι την παραγωγή του πρωτότυπου μοντέλου της κατασκευαστικής μελέτης με χρήση 3D printer.

Η περιγραφή του θέματος που δόθηκε στο μάθημα Κατασκευαστική Σύνθεση είναι: “Σχεδιασμός μηχανικού κιβωτίου ταχυτήτων, Τρεις σχέσεις μετάδοσης, δύο και μία όπισθεν, για χωματουργικό μηχάνημα”. Αρχικά ο σχεδιασμός έπρεπε να γίνει στο 2D AutoCAD περιβάλλον.



Σχήμα 9: Κιβώτιο ταχυτήτων

## 2.1 Περιγραφή του αντικειμένου μελέτης. Κιβώτιο ταχυτήτων γενικά

Η συσκευή αποτελείται από ένα σύστημα μεταφοράς κινητικής ενέργειας, η οποία παρέχει ελεγχόμενη εφαρμογή της δύναμης. Το κιβώτιο ταχυτήτων καθορίζεται ως σύνολο των μερών, συμπεριλαμβανομένων των γραναζιών που είναι υπεύθυνα για την αλλαγή των ταχυτήτων και τον κινητήριο άξονα με τον οποίο η ισχύς μεταδίδεται από τον κινητήρα σε ένα άξονα. Συχνά στο κιβώτιο ταχυτήτων αναφέρεται απλώς ως ένας μεταδότης που χρησιμοποιεί γρανάζια και οδηγούς που εξασφαλίζει μετατροπή της ταχύτητας και της ροπής από μια περιστρεφόμενη πηγή ενέργειας σε μια άλλη συσκευή.

Η πιο συνηθισμένη χρήση είναι στα μηχανοκίνητα οχήματα, όπου το κιβώτιο ταχυτήτων προσαρμόζει την έξοδο του κινητήρα εσωτερικής καύσης, στους κινητήριους τροχούς. Οι μηχανές πρέπει να λειτουργούν σε μια σχετικά υψηλή ταχύτητα περιστροφής, η οποία είναι ακατάλληλη για την εκκίνηση, διακοπή και την πιο αργή κίνηση. Η μετάδοση μειώνει την υψηλότερη ταχύτητα του κινητήρα με την πιο αργή ταχύτητα των τροχών, με την αύξηση της ροπής κατά τη διαδικασία. Κιβώτια ταχυτήτων επίσης χρησιμοποιούνται για ποδόπληκτρα των ποδηλάτων, σταθερές μηχανές και οπουδήποτε αλλού, όπου πρέπει να προσαρμοστεί η ταχύτητα περιστροφής και η ροπή.

Συχνά, τα κιβώτια ταχυτήτων, έχουν πολλαπλές σχέσεις μετάδοσης (ή απλά «γρανάζια»), με τη δυνατότητα για εναλλαγή μεταξύ τους, ανάλογα με τη διαμόρφωση της επιθυμητής ταχύτητας. Αυτή η αλλαγή μπορεί να γίνει με το χέρι (από το χειριστή), ή αυτόματα. Επίσης, μπορεί να παρέχεται έλεγχος κατεύθυνσης προς τα εμπρός και την όπισθεν. Εναίσιες-σχέσης Κιβώτια ταχυτήτων επίσης υπάρχουν, τα οποία απλώς αλλάζουν την ταχύτητα και την ροπή (και μερικές φορές κατεύθυνση) του κινητήρα.

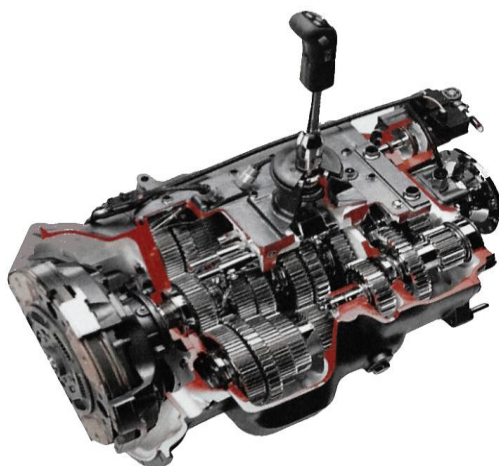
Σε μηχανοκίνητα οχήματα, η μετάδοση γενικά είναι μέσο σύνδεσης με το στροφαλοφόρο άξονα του κινητήρα. Η έξοδος του κιβώτιου ταχυτήτων μεταδίδεται μέσω ημιάξονα σε μία ή περισσότερες διαφορικές, οι οποίες με τη σειρά του, οδηγούν τους τροχούς. Ενώ ένα διαφορικό μπορεί επίσης να προβλέψει μείωση της ταχύτητας, ο πρωταρχικός σκοπός τους είναι να επιτραπεί στους τροχούς σε κάθε άκρο του άξονα να περιστρέφονται με διαφορετικές ταχύτητες (απαραίτητο για να αποφευχθεί η ολίσθηση τροχού σε στροφές) καθώς αλλάζει η κατεύθυνση της περιστροφής.

Ένα χειροκίνητο κιβώτιο ταχυτήτων, είναι επίσης γνωστό και ως μηχανικό κιβώτιο ταχυτήτων ή κανονικό κιβώτιο ταχυτήτων. Χρησιμοποιεί γενικά χειροκίνητο συμπλέκτη, συνήθως χρησιμοποιείται από πεντάλ (αυτοκίνητο) ή μοχλό (μοτοσικλετών), για τη ρύθμιση της μεταφοράς της ροπής από τον κινητήρα εσωτερικής καύσης για τη μετάδοση και λεβιέ ταχυτήτων, που είτε λειτουργούν με τα πόδια (όπως στην μια μοτοσικλέτα) ή με το χέρι (όπως σε ένα αυτοκίνητο).

Τα χειροκίνητα κιβώτια ταχυτήτων διαθέτουν συχνά χειροκίνητο συμπλέκτη και ένα κινητό λεβιέ ταχυτήτων. Τα περισσότερα κιβώτια αυτοκινήτων επιτρέπουν στον οδηγό να επιλέγει την οποιαδήποτε επόμενη σχέση μετάδοσης (γρανάζι) ανά πάσα στιγμή, αλλά μερικά, όπως εκείνα που συνήθως τοποθετούνται σε μοτοσικλέτες και ορισμένα είδη αγωνιστικών αυτοκινήτων, επιτρέπουν στον οδηγό μόνο να επιλέξει την αμέσως επόμενη υψηλότερη ή επόμενη χαμηλότερη ταχύτητα. Αυτό το είδος της μετάδοσης μερικές φορές ονομάζεται διαδοχική χειροκίνητη μετάδοση. Οι διαδοχικές μεταδόσεις χρησιμοποιούνται συνήθως σε αγώνες αυτοκινήτων για την ικανότητά τους να κάνουν γρήγορα αλλαγές.

## 2.2 Μη συγχρονισμένα Κιβώτια ταχυτήτων

Η παλαιότερη μορφή ενός μηχανικού κιβωτίου θεωρείται ότι έχει εφευρεθεί από τον Louis-René Panhard και Emile Levassor στα τέλη του 19ου αιώνα. Αυτό το είδος της μετάδοσης προσφέρει πολλαπλές σχέσεις του κιβωτίου ταχυτήτων και στις περισσότερες περιπτώσεις, την αντίστροφη (όπισθεν). Τα γρανάζια αυτά συνήθως έρχονται σε επαφή με την ολίσθηση πάνω στους άξονες. Κατά την αλλαγή θέσης γραναζιών, απαιτείται προσεκτικός χρονισμός και χειρισμός του γκαζιού κατά την αλλαγή ταχύτητας, έτσι ώστε τα γρανάζια να μπορούν να περιστρέφονται περίπου με την ίδια ταχύτητα όταν έρχονται σε επαφή. Αλλιώς, τα δόντια αρνούνται να εμπλακούν. Αυτά τα κιβώτια ονομάζονται συρόμενα κιβώτια μπλοκαρίσματος και μερικές φορές κουτιά σύγκρουσης, λόγω της δυσκολίας στην αλλαγή ταχυτήτων και το δυνατό ήχο τριβής που συχνά ακολουθεί. Νεώτερα κιβώτια για τα αυτοκίνητα έχουν όλα τα γρανάζια μπλοκαρισμένα ανά πάσα στιγμή και αναφέρονται ως κιβώτια με σταθερή εμπλοκή, η "συγχρονισμένη εμπλοκή" και είναι μια περαιτέρω βελτίωση του κιβωτίου ταχυτήτων με σταθερή εμπλοκή.



Σχήμα 10: Συγχρονισμένο Κιβώτιο ταχυτήτων

## 2.3 Συγχρονισμένη μετάδοση

Τα περισσότερα σύγχρονα χειροκίνητα κιβώτια οχημάτων είναι εξοπλισμένα με ένα συγχρονισμένο κιβώτιο ταχυτήτων. Τα γρανάζια μετάδοσης είναι πάντα σε εμπλοκή και στρεφόμενα, αλλά τα γρανάζια σε ένα άξονα μπορούν να περιστρέφονται ελεύθερα ή να κλειδώνονται στον άξονα. Ο μηχανισμός ασφάλισης ενός γραναζιού αποτελείται από ένα κολάρο (ή dog collar) τοποθετείται πάνω στον άξονα που είναι σε θέση να γλιστρήσει προς τα πλάγια, έτσι ώστε τα δόντια (ή dogs teeth) στην εσωτερική επιφάνεια να γεφυρώνουν δύο κυκλικά δάκτυλα με δόντια στην εξωτερική περιφέρειά τους: το ένα συνδέεται με το γρανάζι και ένα με τον άξονα. Όταν οι δακτύλιοι γεφυρώνονται από το κολάρο, το συγκεκριμένο γρανάζι περιστροφικά κλειδώνεται στον άξονα και καθορίζει την ταχύτητα εξόδου της μετάδοσης. Ο μοχλός ταχυτήτων χειρίζεται τα στεφάνια με ένα σύνολο συνδέσμων, με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε ένα κολάρο μπορεί να επιτραπεί να κλειδώσει μόνο ένα εργαλείο κάθε φορά. Όταν "αλλάζουν σχέσεις", το κολάρο κλειδώνεται από μια σχέση έχει απεμπλακεί πριν κάποια άλλα έρθουν σε επαφή. Ένα κολάρο χρησιμεύει συχνά για σχέσεις δύο ταχυτήτων. Συρόμενο προς μία κατεύθυνση επιλέγει μία ταχύτητα μετάδοσης, στην άλλη κατεύθυνση επιλέγει άλλο.





Σχήμα 11: Πάνω και πλάγια όψη ενός τυπικού μηχανικό κιβώτιο, σε αυτή την περίπτωση ένα Ford Toploader, που χρησιμοποιείται σε αυτοκίνητα με εξωτερικούς shifters.

Σε ένα κιβώτιο ταχυτήτων συγχρονιζέ, για να ταιριάζει σωστά η ταχύτητα της μετάδοσης με εκείνη του άξονα, όπως όταν το κιβώτιο ταχυτήτων βρίσκεται στο νεκρό, το κολάρο χρησιμοποιεί αρχικά μια δύναμη πάνω σε ένα κωνικό συμπλέκτη από ορείχαλκο που έχει τοποθετηθεί στα γρανάζια, που φέρνει τα γρανάζια στη θέση να ταιριάζουν πριν το κολάρο κλειδωθεί στη θέση του. Το κολάρο εμποδίζεται από τη γεφύρωση του κλειδώματος των δαχτυλιδιών, όταν τα γρανάζια δεν ταιριάζουν με δακτυλίους συγχρονισμού (ονομάζονται επίσης και δαχτυλίδια blocker). Ο δακτύλιος συγχρονισμού περιστρέφεται ελαφρώς λόγω της τριβής ροπής από τον συμπλεκόμενο κώνο. Σε αυτή τη θέση, ο συμπλέκτης dog clutch εμποδίζεται να έρθει σε επαφή. Ο δακτύλιος συμπλέκτης από ορείχαλκο προκαλεί σταδιακά τα αντικείμενα να περιστραφούν με την ίδια ταχύτητα. Όταν γυρνάμε με την ίδια ταχύτητα, δεν υπάρχει περισσότερη ροπή από το συμπλέκτη κώνου και ο συμπλέκτης dog clutch έχει τη δυνατότητα για εμπλοκή. Σε ένα σύγχρονο κιβώτιο ταχυτήτων, η κίνηση σε όλα αυτά τα συστατικά είναι τόσο ομαλή και γρήγορη, που γίνεται δύσκολα αντιληπτό με γυμνό μάτι.

Το σύγχρονο σύστημα αναπτύχθηκε από την Porsche και εισήχθη στο 1952 Porsche 356. Κώνο συγχρονιστές αποκαλούνταν τύπου Porsche για πολλά χρόνια μετά από αυτό. Στις αρχές της δεκαετίας του 1950, μόνο η δεύτερη – τρίτη αλλαγή ήταν η συγχρονιζέ στα περισσότερα αυτοκίνητα, που απαιτεί μόνο ένα σύστημα συγχρονισμού και μια απλή σύνδεση. Αυτοματοποίηση των συμπλεκτών σε αυτοκίνητα έδειχνε ότι, αν ο οδηγός χρειάζεται να μετατοπιστεί από τη δεύτερη στην πρώτη, ήταν καλύτερο να έρθει σε μια πλήρη στάση ακινησίας, στη συνέχεια, επιστροφή σε πρώτη και μετά εκκίνηση και πάλι. Με συνεχή εξειδίκευση των μηχανικών ανάπτυξης, έγιναν πλήρως συγχρονιζέ μεταδόσεις με τρεις ταχύτητες, στη συνέχεια, με τέσσερα, πέντε και μετά, από τη δεκαετία του 1980 όλες οι ταχύτητες ήταν συγχρονιζέ. Πολλά σύγχρονα αυτοκίνητα με χειροκίνητο κιβώτιο, κυρίως σπορ αυτοκίνητα, προσφέρουν πλέον έξι ταχύτητες. Το 2012 Porsche 911 προσφέρει επτά-τάχυτο μηχανικό κιβώτιο, με την έβδομη ταχύτητα που προορίζεται για την επίτευξη της τελικής ταχύτητας που επιτυγχάνεται με την έκτη.

Η όπισθεν συνήθως δεν είναι συγχρονισμένη καθώς υπάρχει μόνο μία ταχύτητα πίσω στα κανονικά κιβώτια ταχυτήτων των αυτοκινήτων. Αλλαγή ταχυτήτων σε όπισθεν εν κίνηση δεν απαιτείται, συγκεκριμένα είναι άκρως ανεπιθύμητη, ιδιαίτερα σε υψηλή ταχύτητα προς τα εμπρός. Επιπλέον, η συνήθης μέθοδος της ανίστροφης παροχής ισχύος, γίνεται με ένα γρανάζι που θα διολισθήσει σε κατάλληλη θέση, για να γεφυρώσει αυτό που διαφορετικά θα ήταν δύο αταίριαστα γρανάζια. Ανάμεσα στα αυτοκίνητα που έχουν συγχρονιζέ σε όπισθεν το 1995 -2000 είναι το Ford Contour και το Mercury Mystique, το '00-'05 Chevrolet Cavalier, το Mercedes 190 2,3 - 16, τα εξοπλισμένα με V6 κινητήρα Alfa Romeo GTV / Spider (916)†, ορισμένα Chrysler, Jeep, και GM προϊόντα που χρησιμοποιούν της New Venture NV3500

NV3550 κινητήριες μονάδες. Τα Ευρωπαϊκά Ford Sierra, Granada/Scorpio είναι εξοπλισμένα με το κιβώτιο ταχυτήτων MT75, Αυτό ήταν το πρώτο κιβώτιο 5+1 ταχυτήτων παραγωγής της Ford να έχει συγχρονιζέ σε όπισθεν (όπισθεν μπορεί να επιλεγθεί, ενώ βρίσκεται σε μικρή κίνηση προς τα εμπρός), το Volvo 850 και σχεδόν όλα της Lamborghini και BMW.

## 2.4 Εσωτερικά μέρη ενός συγχρονιζέ

### 2.4.1 Άξονες (Shafts)

Όπως σε άλλα κιβώτια ταχυτήτων, ένα χειροκίνητο κιβώτιο ταχυτήτων έχει πολλούς άξονες με διάφορα γρανάζια και άλλα στοιχεία που συνδέονται με αυτά.

Ένα πισωκίνητο κιβώτιο έχει τρεις άξονες: έναν άξονα εισαγωγής, ένα αντικραδασμικό και έναν άξονα παραγωγής. Ο αντικραδασμικός μερικές φορές ονομάζεται άξονας μηχανισμού. Οι άξονες εισόδου και εξόδου κοιτάνε προς την ίδια κατεύθυνση, ενώ στην πραγματικότητα μπορεί να συνδυαστούν σε ένα ενιαίο άξονα εντός του κιβωτίου. Αυτός ο ενιαίος άξονας ονομάζεται κύριος άξονας ( mainshaft). Τα άκρα εισόδου και εξόδου αυτού του συνδυασμένου άξονα περιστρέφονται ανεξάρτητα, με διαφορετικές ταχύτητες, κάτι που είναι δυνατό επειδή ένα κομμάτι ολισθαίνει σε ένα κούφιο διάτρημα του άλλου μέρους του κομματιού, όπου συγκρατείται από ένα ρουλεμάν. Μερικές φορές ο όρος mainshaft αναφέρεται μόνο στον άξονα εισόδου ή στον άξονα εξόδου, αντί για ολόκληρη τη συναρμολόγηση.



Σχήμα 12: Shafts/Άξονες

Σε πολλά κιβώτια τα στοιχεία εισόδου και εξόδου του mainshaft μπορούν να κλειδωθούν μαζί, για να δημιουργήσουν μια σχέση μετάδοσης 1:1, προκαλώντας τη ροή του ισχύος να παρακάμψει τον αντικραδασμικό άξονα. Ο mainshaft συμπεριφέρεται σαν ένας ενιαίος, συμπαγής άξονας: κατάσταση αυτή αναφέρεται ως άμεσο σύστημα μετάδοσης κίνησης.

Ακόμη και σε κιβώτια που δε διαθέτουν άμεσο σύστημα μετάδοσης κίνησης, το να βρίσκεται η είσοδος και η έξοδος στην ίδια γραμμή, είναι ένα πλεονέκτημα, γιατί μειώνεται η ποσότητα της στρέψης που μπορούν να φέρουν τα κιβώτια.

Στο πλαίσιο ενός πιθανού σχεδίου, ο άξονας εισόδου του κιβωτίου ταχυτήτων έχει μόνο ένα οδοντωτό τροχό γραναζιών, ο οποίος κινεί τον αντικραδασμικό άξονα. Κατά μήκος του αντικραδασμικού άξονα τοποθετούνται γρανάζια διαφόρων μεγεθών, τα οποία περιστρέφονται, όταν ο άξονας εισόδου περιστρέφεται. Αυτά τα εργαλεία αντιστοιχούν στις

ταχύτητες προς τα εμπρός και πίσω. Κάθε μία από τις μπροστινές ταχύτητες στο αντικραδασμικό είναι μόνιμα σε επαφή με αντίστοιχη ταχύτητα στον άξονα εξόδου. Ωστόσο, αυτά τα γρανάζια λαμβάνοντας υπόψη την άκαμπτη σύνδεση τους στον άξονα εξόδου, περιστρέφονται ανεξάρτητα από αυτόν, το οποίο έχει καταστεί δυνατό λόγω των ρουλεμάν στις πλήμνες τους. Η όπισθεν συνήθως γίνεται με διαφορετικό τρόπο.

Τα περισσότερα μπροστινά κινητά κιβώτια για εγκάρσια τοποθέτηση του κινητήρα σχεδιάζονται διαφορετικά. Σε ένα παράδειγμα, η τελική μετάδοση και το διαφορικό είναι μονοκόμματο κομμάτι. Σε ένα άλλο παράδειγμα, κιβώτια έχουν συνήθως μόνο δύο άξονες, εισόδου και αντικραδασμικό, μερικές φορές ονομάζονται εισόδου και εξόδου. Ο άξονας εισόδου διατρέχει όλο το μήκος του κιβωτίου ταχυτήτων και δεν υπάρχει ξεχωριστό γρανάζι εισόδου. Στο τέλος του δεύτερου (μετρητή / εξόδου) άξονα υπάρχει οδοντωτός τροχός γραναζιών που ζευγαρώνει με το γρανάζι που βρίσκεται στο διαφορικό.

Μπροστινά και πίσω κινητά κιβώτια ταχυτήτων λειτουργούν με παρόμοιο τρόπο. Όταν η μετάδοση τίθεται στο νεκρό σημείο και ο κινητήρας αποσυμπλέκεται, ο άξονας εισόδου, ο δίσκος του συμπλέκτη και αντικραδασμικός δίσκος μπορούν να συνεχίσουν να περιστρέφονται με τη δική τους αδράνεια. Σε αυτή την κατάσταση, ο κινητήρας, ο άξονας εισόδου και συμπλέκτης και ο άξονας εξόδου περιστρέφονται ανεξάρτητα.

#### 2.4.2 Dog clutch Συμπλέκτης

Μεταξύ των πολλών διαφορετικών τύπων συμπλεκτών, ένας Dog clutch συμπλέκτης παρέχει αντιολισθητική σύζευξη των δύο περιστρεφόμενων μελών. Δεν είναι καθόλου κατάλληλο για εσκεμμένη ολίσθηση, σε αντίθεση με συμπλέκτη τριβής μηχανικού κιβωτίου των αυτοκινήτων που λειτουργεί με το πόδι.



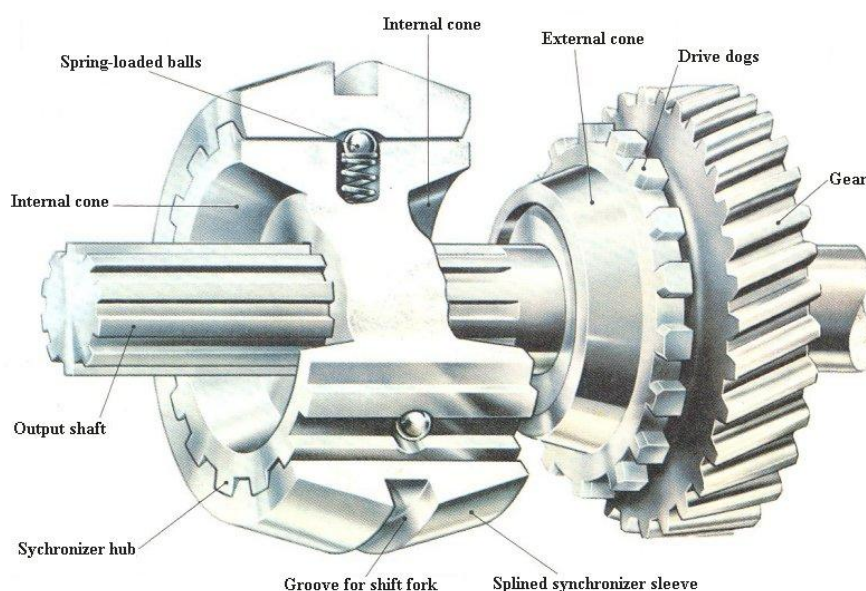
Σχήμα 13: Dog clutch. Με δόντια που μοιάζουν με γρανάζια ("Dogs", δεξιά πλευρά εικόνας), εμπλοκή και απεμπλοκή μεταξύ τους (αριστερή πλευρά εικόνας).

Ο επιλογέας ταχυτήτων δεν συμμετέχει ή αποπλέκει τα πραγματικά δόντια γραναζιών τα οποία είναι μόνιμα σε επαφή. Αντίθετα, η ενέργεια της επιλογής ταχυτήτων είναι για να κλειδώσει ένα από τα γρανάζια που γυρίζει ελεύθερα στον άξονα, ο οποίος τρέχει διά μέσου της πλήμνης. Ο άξονας περιστρέφεται στη συνέχεια μαζί με το εργαλείο αυτό. Η ταχύτητα του άξονα εξόδου σε σχέση με το αντικραδασμικό άξονα καθορίζεται από την αναλογία των δύο ταχυτήτων: ο ένας είναι μόνιμα στερεωμένος στον αντικραδασμικό άξονα και ο

προσανατολισμός του εν λόγω γραναζιού είναι κλειδωμένος στον άξονα εξόδου σε αυτήν την περίπτωση.

Το κλείδωμα του άξονα εξόδου με γρανάζια επιτυγχάνεται μέσω ενός επιλογέα συμπλέκτη dog clutch. Ο συμπλέκτης είναι ένας συρόμενος επιλογέας μηχανισμού που είναι αυλακωτός στον άξονα εξόδου, πράγμα που σημαίνει ότι η πλήμνη έχει δόντια που ταιριάζουν σε σχισμές (αυλάκια) του άξονα, αναγκάζοντας τον άξονα να περιστρέφεται μαζί του. Ωστόσο, οι καμπύλες επιτρέπουν στον επιλογέα να προχωρήσει μπροστά και πίσω πάνω στον άξονα, κίνηση που προκαλείται, όταν ωθείται από έναν επιλογέα πιρούνι που συνδέεται με το μοχλό ταχυτήτων. Το πιρούνι δεν περιστρέφεται, έτσι ώστε να συνδέεται με ένα κολάρο ρουλεμάν στον επιλογέα. Ο επιλογέας είναι συνήθως συμμετρικός γλιστράει ανάμεσα σε δύο γρανάζια και έχει συγχρονισμένη σύμπλεξη των δοντιών σε κάθε πλευρά, προκειμένου να κλειδώσει το αντίστοιχο γρανάζι στον άξονα.

### 2.4.3 Συγχρονιζέ (Synchromesh)



Σχήμα 14: Synchromesh / Συγχρονιζέ

Εάν τα δόντια, τα αποκαλούμενα δόντια του σκύλου (dog teeth), έρθουν σε επαφή με τα γρανάζια, αλλά με τα δύο μέρη να περιστρέφονται με διαφορετικές ταχύτητες, τα δόντια δε θα καταφέρουν να έρθουν σε επαφή και ένας δυνατός ήχος λείανσης ακούγεται καθώς τρίβονται μεταξύ τους τα γρανάζια. Για το λόγο αυτό, ένας σύγχρονος συμπλέκτης (dog clutch) σε ένα αυτοκίνητο έχει ένα μηχανισμό συγχρονισμού ή συγχρονιζέ, ο οποίος αποτελείται από έναν κωνικό συμπλέκτη και ένα δακτυλίδι για κλείδωμα. Πριν από την σύμπλεξη των δοντιών, ο συμπλέκτης κώνου δραστηριοποιείται πρώτος και φέρνει τον δρομέα γραναζιών στην ίδια ταχύτητα χρησιμοποιώντας την τριβή. Επιπλέον, πριν γίνει ο συγχρονισμός, τα δόντια αποτρέπονται από την επαφή, διότι η περαιτέρω κίνηση του δρομέα εμποδίζεται από το δακτύλιο αποκλεισμού (ή baulk). Όταν ο συγχρονισμός γίνει, η τριβή πάνω στο δακτύλιο “blocker” απαλλάσσεται και στρίβει ελαφρώς, φέρνοντας σε ευθυγράμμιση ορισμένες αυλακώσεις και εγκοπές που επιτρέπουν την περαιτέρω μετάβαση του δρομέα, το οποίο φέρνει τα δόντια σε επαφή. Ο ακριβής σχεδιασμός του συγχρονιζέ διαφέρει από κατασκευαστή σε κατασκευαστή.



Σχήμα 15: Δαχτυλίδι συγχρονισμού

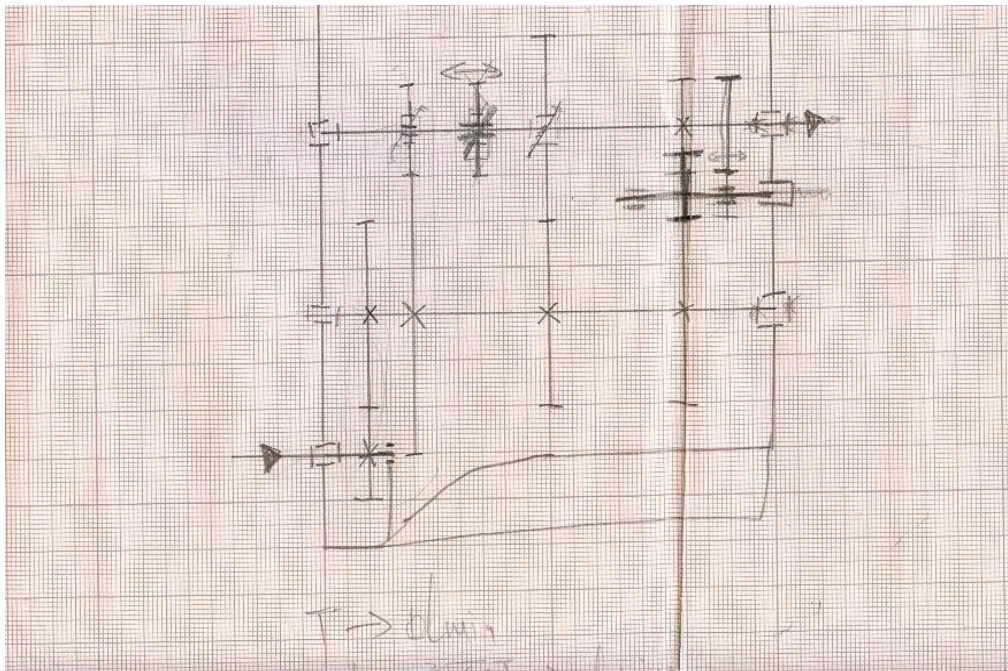
Το συγχρονιζέ έχει να ξεπεράσει τη δυναμική του άξονα εισόδου και του δίσκου του συμπλέκτη όταν αλλάζει στροφές του άξονα, για να ταιριάξει με τη νέα σχέση μετάδοσης. Μπορεί να γίνει κατάχρησή του από την έκθεση στην ορμή και τη δύναμη του κινητήρα, το οποίο συμβαίνει όταν γίνονται προσπάθειες για την επιλογή ταχύτητας χωρίς πλήρη αποδέσμευση του συμπλέκτη. Αυτό προκαλεί επιπλέον φθορά των δακτυλίων και περιβλημάτων, μειώνοντας τη διάρκεια ζωής τους. Όταν ένας οδηγός πειραματίζεται και προσπαθεί να "ανταποκριθεί στις στροφές" στο συγχρονισμένο κιβώτιο ταχυτήτων, αναγκάζει τα γρανάζια να έρθουν σε επαφή χωρίς τη χρήση του συμπλέκτη, ο Synchronizer θα συγχρονιστεί με οποιαδήποτε διαφορά στα RPM. Η επιτυχία στην εμπλοκή των γραναζιών χωρίς ιδιαίτερη αντίσταση, μπορεί να φέρει στον οδηγό τη σκέψη ότι η ταχύτητα περιστροφής του άξονα και του μηχανισμού μετάδοσης είναι ακριβώς ίδια. Παρ'όλα αυτά, η μείωση της διαφοράς ταχύτητας, μπορεί να προσεγγίσει τη γενική αλλαγή μεταξύ του άξονα και μηχανισμού μεταφοράς και να μείωση τη φθορά του συγχρονιζέ.

### 3 Ιδέα, επίλυση και σχεδιασμός

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται περιγραφή της μελέτης, "Σχεδιασμός Μηχανικού κιβωτίου ταχυτήτων, τρεις σχέσεις μετάδοσης, δύο και μία όπισθεν, για χωματουργικό μηχάνημα". Πρώτα γίνεται περιγραφή του γενικού προβλήματος, της αρχικής ιδέας που έχει σκοπό την επίλυση του προβλήματος και γίνεται περιγραφή επιλογών που ακολουθήσαν για την επίλυση και το σχεδιασμό.

#### 3.1 Ιδέα και πρώτος σχεδιασμός του προβλήματος

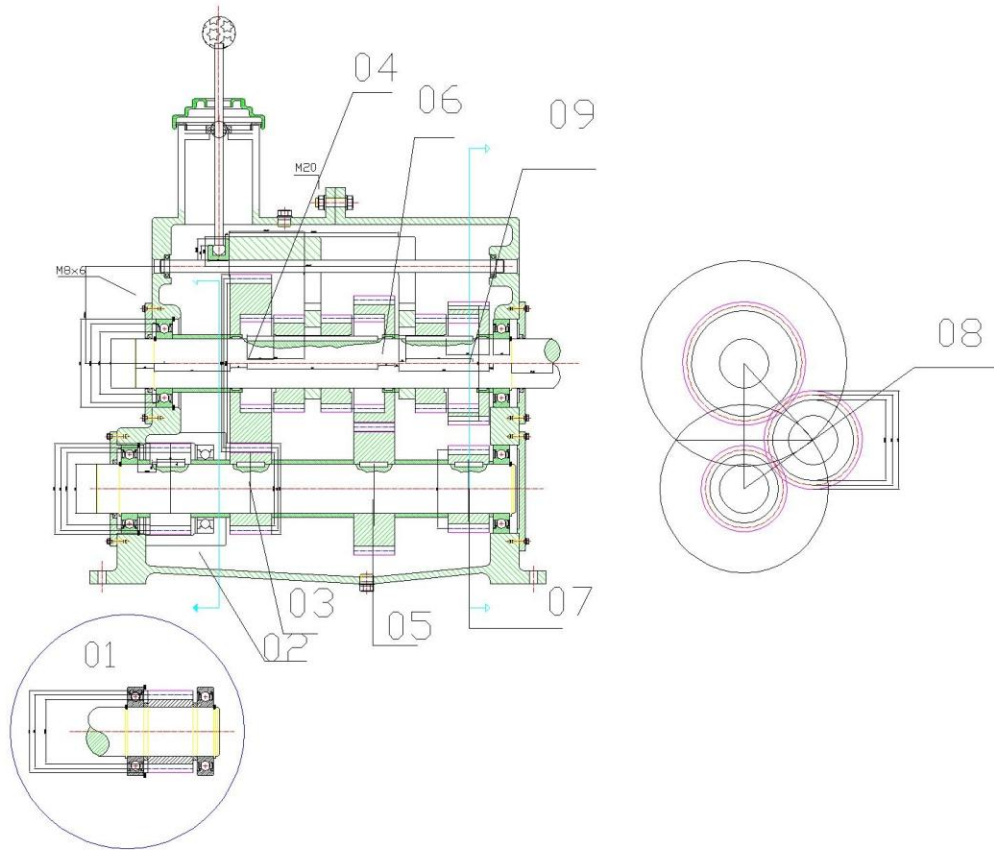
Η ιδέα για την επίλυση του προβλήματος πρώτα εκφράστηκε με ένα πρόχειρο σκίτσο (βλ. σκίτσο 01). Η οπτική σκέψη είναι απαραίτητη ακόμα και σε αυτό το πρόωρο στάδιο σχεδιασμού. Ακολούθησε υπολογισμός σχέσεων μετάδοσης και βασικών τυποποιημένων εξαρτημάτων. Στη συνέχεια έγινε σχεδιασμός στο λογισμικό AutoCAD στην έκδοση 2009.



Σχήμα 16: Πρώτο σκίτσο

Το AutoCAD είναι ένα λογισμικό computer-aided design (CAD) και σχεδιασμού σε 2D ή 3D περιβάλλον. Η Autodesk αναφέρει ότι το λογισμικό AutoCAD χρησιμοποιείται πλέον σε ένα ευρύ φάσμα βιομηχανιών, που απασχολεί μεταξύ άλλων επαγγελματιών, αρχιτέκτονες, διαχειριστές έργων και μηχανικούς. Το 1994 υπήρξαν 750 κέντρα εκπαίδευσης. Χρειάζεται

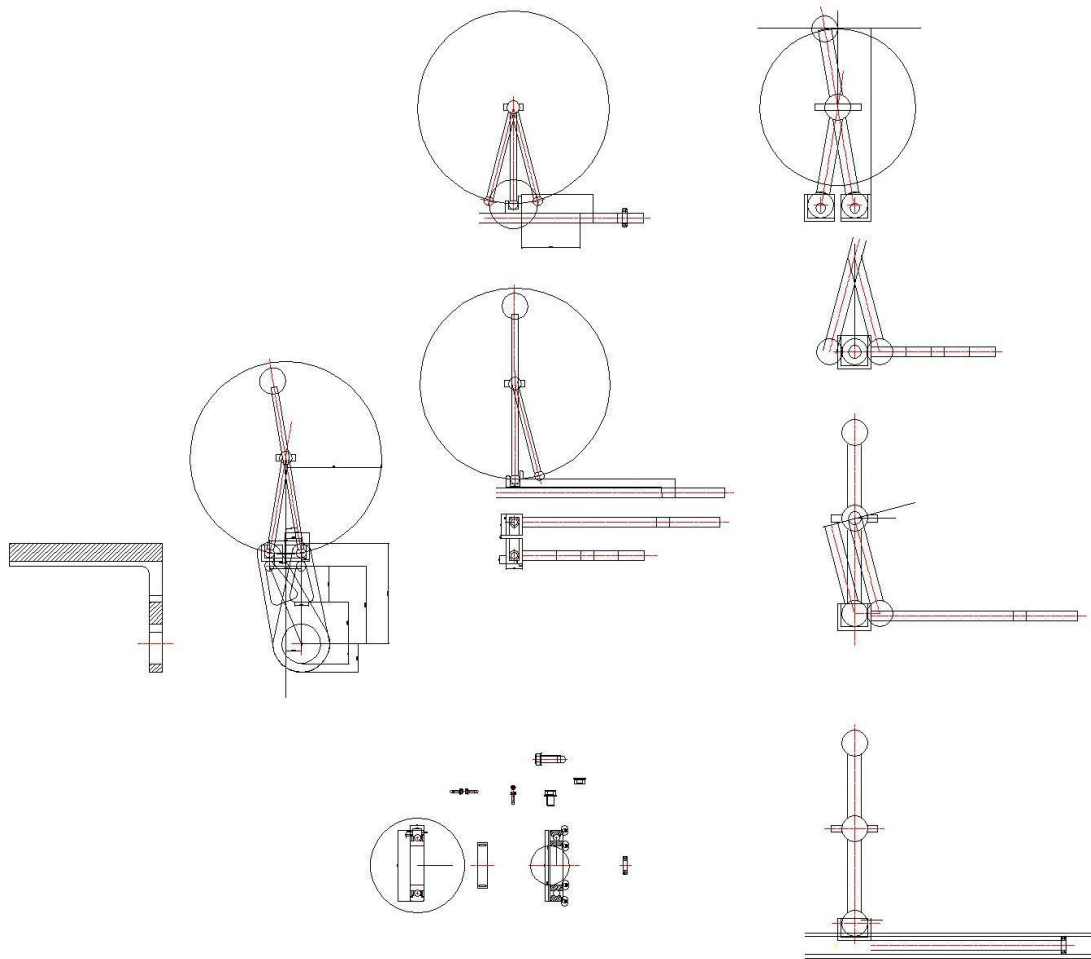
πολύ μεγάλη εμπειρία, για να σχεδιαστεί ένα περίπλοκο μοντέλο. Ακόμα και η κατανόηση της προβολής ενός αντικείμενου απαιτεί μια ορισμένη γνώση κανόνων προβολής ενός αντικείμενου που είναι συνήθως σε τομή για την κατανόηση της γεωμετρικής άποψης του αντικείμενου και συχνά χρειάζονται και άλλες όψεις για ολική προβολή και διαστασιολόγηση του αντικείμενου.



Σχήμα 17: Σχέδιο 01 στο AutoCAD 2009.

Η γενική λύση που επιλέχτηκε για τη μετάδοση κίνησης περιγράφεται στο Σχήμα 16. Ο άξονας εισόδου (βλ. Σχήμα 17) είναι σε συνεχόμενη εμπλοκή με τον κύριο άξονα μέσω των γραναζιών 01 και 02. Το ζευγάρι 05 και 06 καθορίζει την πρώτη ταχύτητα και το 03 και 04 τη δεύτερη. Όπισθεν επιτυγχάνεται με τα γρανάζια 07, 08 και 09. Όλα τα γρανάζια βρίσκονται σε συνεχόμενη εμπλοκή μεταξύ τους. Τα 04, 06 και 09 εμπλέκονται με τον άξονα εξόδου, μέσω συμπλέκτη. Η κίνηση του συμπλέκτη γίνεται μέσω του μοχλού (βλ. σχημα18).

Το 2D περιβάλλον περιορίζει την γρήγορη και άμεση διατύπωση της σκέψης, με αποτέλεσμα αυτή η οπτική έκφραση σκέψης να οδηγεί σε ασάφειες και σφάλματα κατά την προσπάθεια υλοποίησης του μοντέλου. Ακόμα και ο άμεσος έλεγχος συναρμολόγησης φαντάζει αδύνατος.



Σχήμα 18: Σχέδιο 02 στο AutoCAD 2009.

## 3.2 Οφέλη από τη μετάβαση από 2D σε 3D σχεδιασμό

Η στερεά μοντελοποίηση συντομεύει τους κύκλους σχεδιασμού, εκσυγχρονίζει τις διαδικασίες παραγωγής και επιταχύνει την εισαγωγή των προϊόντων με τη βελτίωση της ροής των πληροφοριών του σχεδιασμού του προϊόντος και της επικοινωνίας σε έναν οργανισμό καθώς και μεταξύ των προμηθευτών και των πελατών της. Για την επιχείρησή αυτό σημαίνει ταχύτερος χρόνος διάθεσης στην αγορά και η υψηλότερη ποιότητα των προϊόντων μεταφράζεται σε αύξηση των εσόδων, ενώ η μείωση του κόστους σχεδιασμού παρέχει μεγαλύτερα περιθώρια κέρδους.

### 3.2.1 Κύρια οφέλη από τη μετάβαση σε 3D σχεδιασμό.

- Ταχύτερος σχεδιασμός του προϊόντος (περίπου 45% πιο γρήγορα κατά μέσο όρο).
- Απεικονίζει πιο πολλά πιθανά σενάρια κατά τη διάρκεια της διαδικασίας σχεδιασμού.
- Δυνατότητα να δημιουργηθεί Οπτικό - Φωτορεαλιστική απεικόνιση και animation για την υποβολή προτάσεων σχεδιασμού ή σχόλια.
- Πιο αποτελεσματική αξιολόγηση εσωτερικού σχεδίου.



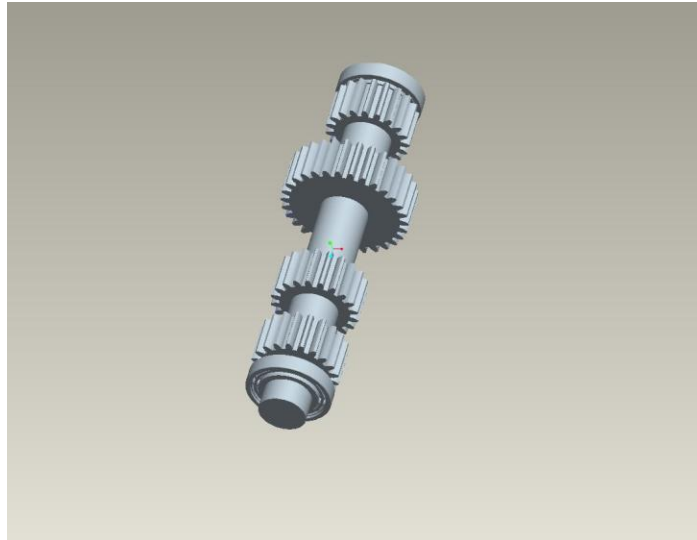
- Δημιουργία εικονικών πρωτοτύπων επιτρέπει σε μη-CAD ειδικούς ανθρώπους να συμμετέχουν στη διαδικασία.
- Εύκολη ενσωμάτωση αλλαγών στο τελικό σχέδιο.
- Δυνατότητα δοκιμής και επικύρωσης σχεδίων, για να μειωθεί το κόστος από τα προβλήματα ποιότητας και σφαλμάτων.
- Μειώνει την ανάγκη και το κόστος των φυσικών πρωτοτύπων.
- Αυτόματη κατάσταση τεμαχίων (BoM).
- Διαχείριση δεδομένων για την οργάνωση και διαχείριση των δεδομένων σχεδιασμού.
- Βοηθά την τυποποίηση σε λεπτομέρειες και τη σύνταξη των πρακτικών.
- Αυτοματοποίηση της διαδικασίας σχεδιασμού και αύξηση στην ταχύτητα και ακρίβεια της παραγωγής και της ανταπόκρισης.

### 3.3 Επιλογή σχεδιαστικού λογισμικού και έκδοσης λογισμικού

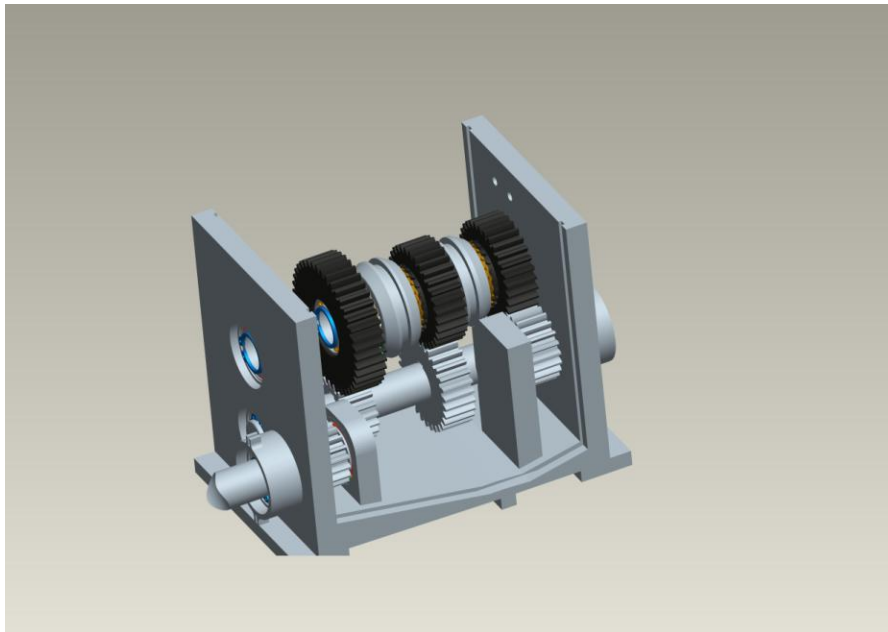
Στην αγορά των CAD λογισμικών υπάρχουν προϊόντα που δημιουργούν γραμμές, τόξα και κύκλους. Συνδυασμός αυτών των στοιχείων με τις διαστάσεις και τις σημειώσεις, δημιουργούν σχέδια για δομικό, αρχιτεκτονικό, ή μηχανικό σχεδιασμό. Επειδή τα παραδοσιακά εργαλεία CAD βασίζονται σε γεωμετρικά αντικείμενα, μια αλλαγή στο σχεδιασμό απαιτεί την αλλαγή σε όλα τα απαραίτητα συστατικά για να κάνει το σχέδιο σωστό.

Τα πιο πρόσφατα CAD/CAM/CAE λογισμικά χρησιμοποιούν ένα σχεδιαστικό χαρακτηριστικό που ονομάζεται *parametric*, μια μέθοδος που συνδέει τις μεταβλητές διαστάσεις και τη γεωμετρία με τέτοιο τρόπο ώστε, όταν γίνει μια τροποποίηση τιμών, γίνονται τροποποιήσεις και στο μοντέλο. Μια παράμετρος είναι μια μεταβλητή με την οποία σχετίζονται άλλες μεταβλητές και αυτές οι άλλες μεταβλητές μπορούν να επιτευχθούν μέσω των παραμετρικών εξισώσεων. Με τον τρόπο αυτό, τροποποιήσεις του σχεδιασμού και της δημιουργίας μιας οικογένειας των τμημάτων μπορεί να γίνει σε εξαιρετικά σύντομο χρονικό διάστημα σε σύγκριση με την επανασχεδίαση που απαιτούνται από τα παραδοσιακά CAD, παραλείποντας ακολουθίες ορισμένων πράξεων, οι οποίες είναι μονότονες και επαναλαμβανόμενες. Κατά τα τελευταία δέκα χρόνια, η επιτυχία της PTC ώθησε σημαντικούς παράγοντες CAD για να προσφέρει παρόμοιες λειτουργίες.

Για πρώτη προσπάθεια σχεδιασμού προτιμήθηκε το λογισμικό Pro engineer wildfire της εταιρίας PTC και έκδοση 3.0. Στο Proe 3.0 έγινε σχεδιασμός βασικών αντικείμενων όπως ρουλεμάν και γραναζιών. Επίσης, έγινε προσπάθεια απεικόνισης της πρώτης άποψης του συναρμολογημένου συνόλου του μοντέλου. Η συνεχή αλλαγή και τροποποίηση κάθε μοντέλου οδήγησε στην ανάγκη για παραμετρικά σχέδια. Αυτό κατά συνέπεια οδήγησε σε ανασχεδιασμό από την αρχή κάθε αντικείμενου με εκμετάλλευση των πολλαπλών εργαλείων και δυνατοτήτων του λογισμικού proe.



Σχήμα 19: Σχέδιο στο proe 3.0(άξονας με ρουλεμάν και γρανάζια)



Σχήμα 20: Μισοτελειωμένο κιβώτιο ταχυτήτων σχεδιασμένο στο proe 3.0.

### 3.4 Σχεδιασμός τρισδιάστατου μοντέλου

Σχεδιασμός ενός 3D μοντέλου αποτελείται γενικά από δισδιάστατο σχέδιο και κάποια εργαλεία που δίνουν βάθος σε αυτό. Για να σχεδιαστούν πιο περιπλοκές και σύνθετες γεωμετρίες, τα προγράμματα τρισδιάστατης σχεδίασης δίνουν εργαλεία, για να προσεγγιστεί η επίλυση με διάφορους τρόπους, αυτά μπορεί να είναι εργαλεία σχεδίασης τροχιάς μέσω σημείων και παραμετρικών εξισώσεων η επεξεργασίας επιφάνειας.

### 3.4.1 Σχεδιασμός βασικών σχημάτων κιβωτίου

Σχεδιασμός τρισδιάστατου παραμετρικού γεωμετρικού μοντέλου γραναζιού

Η παραμετρική τροποποίηση μπορεί να επιτευχθεί με ένα υπολογιστικό φύλλο, script, είτε με μη αυτόματο τρόπο, αλλάζοντας τιμές διαστάσεων στο ψηφιακό μοντέλο.

Η παραμετροποίηση του γραναζιού ήταν μια πρόκληση, γιατί απαιτεί πολλαπλές παραμέτρους και σχέσεις. Εκτός από την παραμετρική λογική σχεδιασμού, η διαδικασία κατασκευής ενός τέτοιου γραναζιού περιέχει πολλά στάδια και παραμέτρους που δύσκολα θα μπορούσαν να αναφερθούν, να αναλυθούν και να περιγραφούν αναλυτικά. Για αυτό θα γίνει περιγραφή εν συντομία της κατασκευής παραμετρικής σχεδίασης ζεύγους ελικοειδούς γραναζιών.

Η επιλογή σχεδίασης που επιλέχθηκε είναι: Σχεδιασμός κυλίνδρου και αφαίρεση υλικού για να σχηματιστεί το ένα δόντι και μετά με το πρότυπο του δοντιού να γίνει κοπή και τον υπόλοιπων δοντιών. Οι εξισώσεις που χρησιμοποιήθηκαν καταγράφονται στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 02).

Με προεπιλεγμένο κέντρο συντεταγμένων γίνεται ορισμός κάθε στοιχείου για απλοποίηση των παραμέτρων. Οι παράμετροι και ορισμοί μπορούν να οριστούν μέσα στο δισδιάστατο στοιχείο η στο βασικό σχέδιο και να χρησιμοποιηθούν αργότερο σε οποιοδήποτε χαρακτηριστικό του σχεδίου. Παράμετροι χρειάζονται, για να μπορεί να οριστεί κάποια σχέση, εξίσωση η συνάρτηση.

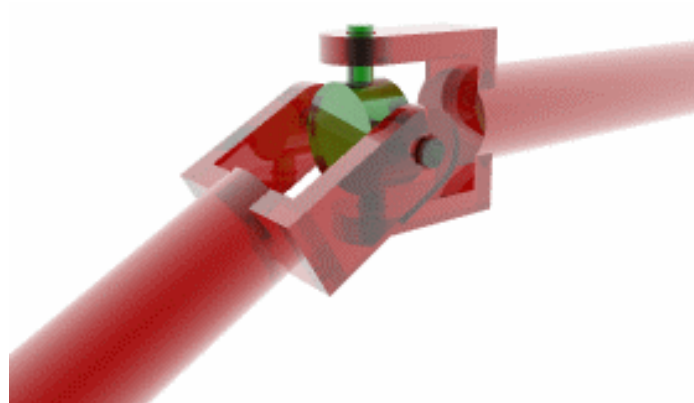
Με σχεδίαση του κώνου ορίζεται η ακτίνα του ως παράμετρος. Στη συνέχεια γίνεται καταχώριση όλων των παραμέτρων που χρειάζονται, για να γίνει παραμετρική διαστασιολόγηση του γραναζιού και σχεδιασμός με χρήση του εργαλείου helical sweep. Οι παράμετροι για εξελιγμένη καμπύλη του δοντιού εκφραστήκαν με την αρχιτεκτονική του ProE. Η εξελιγμένη καμπύλη γραναζιού γράφτηκε με το εργαλείο του proe για κατασκευή καμπυλών με παράμετρο αναφοράς τις εξισώσεις και το κυλινδρικό σύστημα συντεταγμένων. Για έκφραση μιάς καμπύλης με το κυλινδρικό σύστημα χρειάζεται ακτίνα ( $r$ ), γωνία ( $\theta$ ) και μετατόπιση στον άξονα ( $z$ ) που στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι μηδέν. Ουσιαστικά με την γωνία  $\theta$  γίνεται ρύθμιση θέσης στο κυλινδρικό σύστημα συντεταγμένων από την αρχή μέχρι το τέλος της γραμμής της καμπύλης, η αρχιτεκτονική του proe τη βλέπει ως τιμή  $t$  που έχει εμβέλεια από 0 έως 1 (η αρχιτεκτονική του proe άλλαξε από το proe 5 και μετά). Η αφαίρεση υλικού έγινε με δημιουργία κλειστής επιφάνειας που ορίστηκε από την καμπύλη του δοντιού και δυο τόξα που πρόεκυψαν από τους παραμετρικούς κύκλους, όπου ο εξωτερικός είναι ίσος με τη διάμετρο του αρχικού κώνου και εσωτερικός κύκλος είναι ο βασικός κύκλος του γραναζιού. Ο αριθμός των δοντιών μπορεί να οριστεί ως παράμετρος και να χρησιμοποιηθεί για την κοπή – δημιουργία των υπόλοιπων δοντιών. Για τη δημιουργία της ελικοειδούς τροχιάς των δοντιών έγινε χρήση της εξίσωσης trajpar που έχει το proe. Ουσιαστικά η trajpar εξίσωση ελέγχει τη γωνία τροχιάς της εξελιγμένης, ως παράμετρο από το σχέδιο εισάγεται μόνο η αρχική γωνία. Υπόλοιποι παράμετροι με τις οποίες γίνεται η ρύθμιση της τροχιάς είναι η τελική θέση – μεταβλητή γωνία της εξελιγμένης και πόσες περιστροφές θέλει κάποιος να κάνει η εξελιγμένη. Για τη δημιουργία του δευτέρου γραναζιού μπορεί να χρησιμοποιηθεί το ίδιο πρότυπο με την αλλαγή μόνο της κλίσης της ελικοειδούς εξελιγμένης που αλλάζει σύμφωνα με τη διάσταση της ακτίνας του βασικού γραναζιού.

symbol / σύμβολο	name / Όνομα	equation / εξίσωση
<b>m</b>	module	
<b>D</b>	Pitch diameter	
<b>Z</b>	number of teeth	$Z = D / M$
<b>phi</b>	pressure angle	= 14.5 or 20 degrees
<b>ha</b>	Addendum	$ha = m$
<b>hf</b>	Dedendum	$hf = 1.16 * m$ or $hf = 1.2 * m$
<b>Ro</b>	Radius of addendum circle	$Ro = ( D / 2 ) + ha$
<b>Rd</b>	Radius of dedendum circle	$Rd = ( D / 2 ) - hf$
<b>Ri</b>	Radius of base circle	$Ri = ( D / 2 ) * \cos ( PHI )$
<b>γ \ g_c</b>	Variable mapping "X" along interval from Ro to Rd	$g_c = \sqrt{( D ^ 2 ) / 4 - Ri ^ 2}$
<b>θ0 \ theta_0</b>	Centering the space would require the involute coordinate (R,θ) to pass through the pitch radius at an angle equal to $2\pi/4Z$ radians or $360/4Z$ degrees.	$theta_0 = (360 / (4 * Z)) - ((g_c / Ri) * (180 / pi)) + \text{atan}(g_c / Ri)$
<b>B</b>	helical angle for gear 1	
<b>B2</b>	helical angle for gear 2	$B2 = B * D1 / D2$

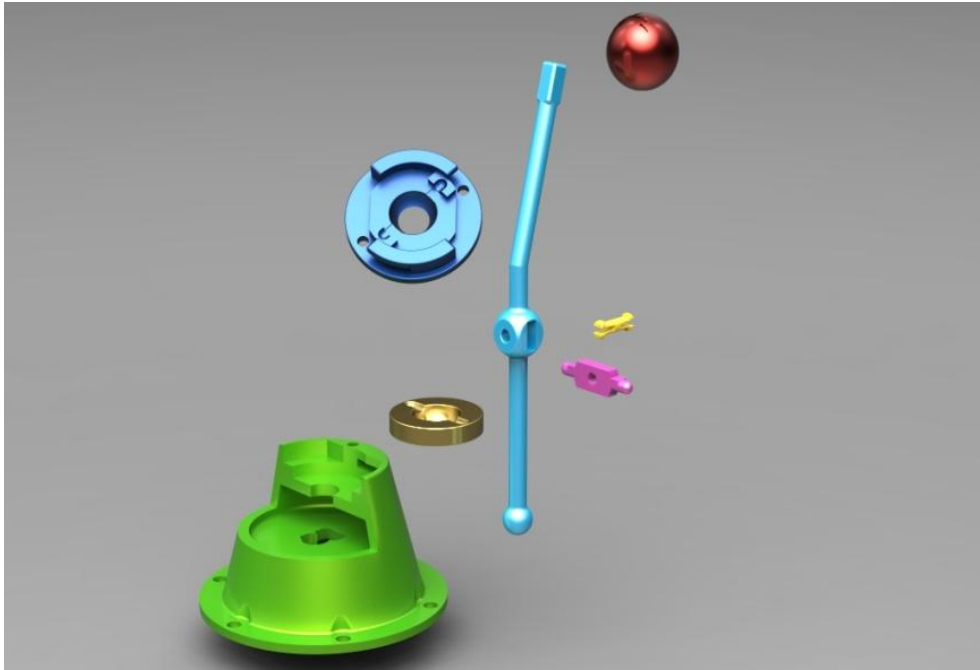
Πίνακας 02. Οι εξισώσεις που χρησιμοποιήθηκαν για σχεδιασμό τρισδιάστατου παραμετρικού γεωμετρικού μοντέλου γραναζιού

### 3.4.2 Αξιοσημείωτα σχέδια

Η συνδεσμολογία μοχλού εμπνεύστηκε από ένα κοινό σύνδεσμο άρθρωσης (universal connection joint).

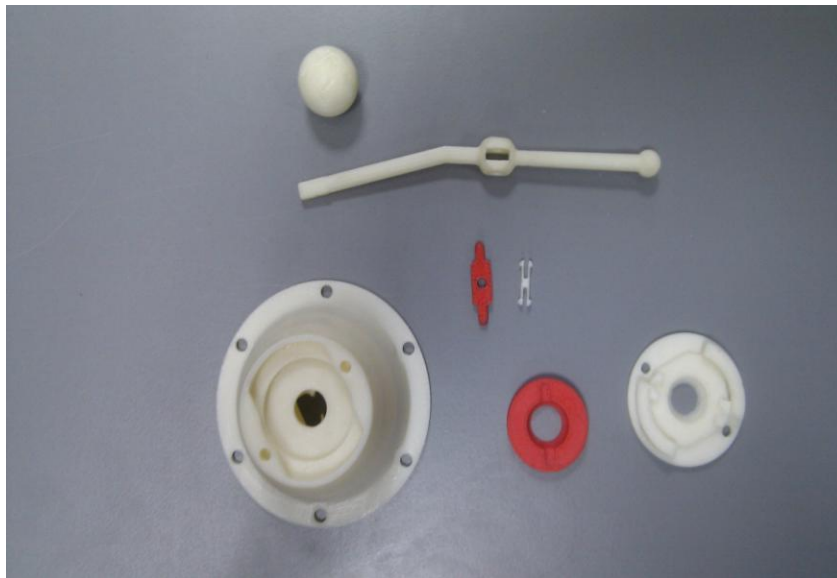


Σχήμα 21: Universal joint



Σχήμα 22: Αναπτυγμένη όψη με rendering στο keyshot

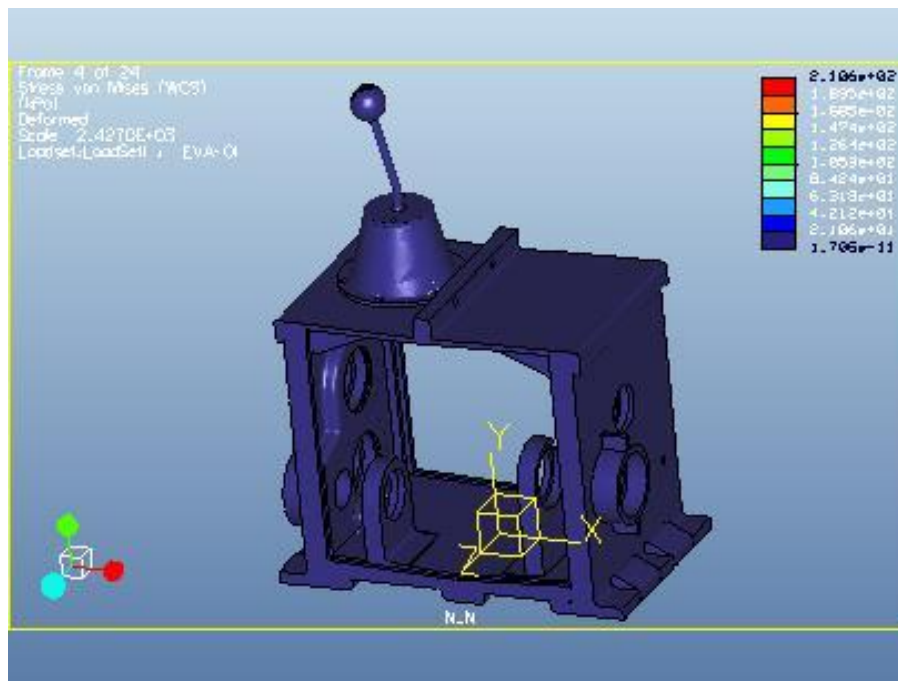
Στο σχήμα 22 το ροζ κομμάτι έχει δόντια που εφάπτονται στα ειδικά τοιχώματα που βρίσκονται στο μπλε καπάκι, για να επιτρέπει κίνηση στο μοχλό (γαλάζιο κομμάτι) μόνο στις επιθυμητές γωνίες. Επίσης, η κίνηση του μοχλού περιορίζεται από διαδρομή φτιαγμένη στη βάση (πράσινο κομμάτι). Η βάση εκτός από τη διαδρομή του μοχλού έχει και μια τρύπα, για να μπορεί να περάσει το κάτω μέρος του μοχλού.



Σχήμα 23: Τυπωμένα κομμάτια μοχλού.

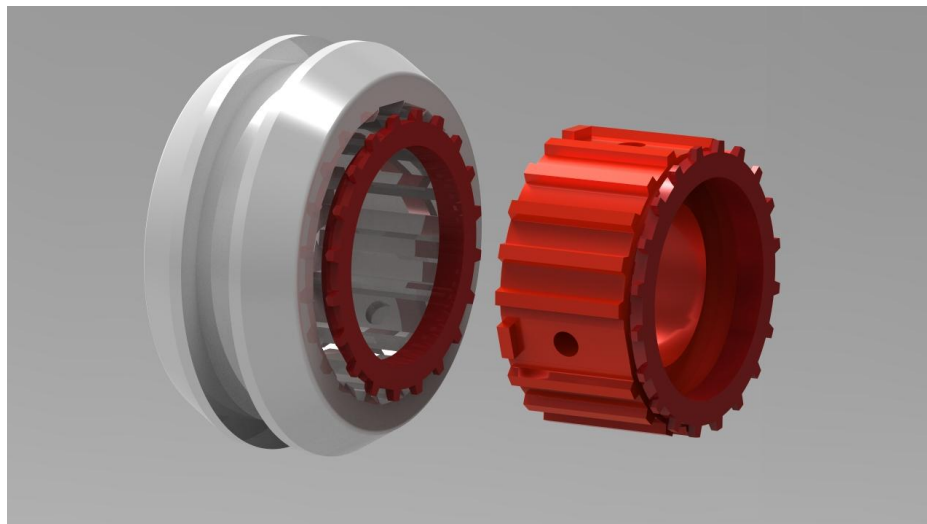
Για την κατασκευή του κελύφους έγινε βασική ανάλυση αντοχής στο *mechanica*, εφαρμογή στο *pro engineer* για στατικές και θερμικές αναλύσεις. Για να μπορεί να γίνει ανάλυση, έγινε προσομοίωση του υλικού ABS+. Το φύλλο δεδομένων του υλικού επιλέχτηκε από το ιστοσελίδα <http://www.matweb.com/>. Αυτή ανάλυση έγινε, για να δείξει πως το κέλυφος μπορεί να αντέξει κάθετη, κατακόρυφη δύναμη ίση με 60 [N].

Μπορεί να γίνει αποθήκευση της ανάλυσης σε HTML μορφή. Η HTML μορφή είναι ένας εύκολος και άμεσος τρόπος ανάγνωσης αναφοράς αποτελεσμάτων και Video animation.



Σχήμα 24: HTML Results Report for 60N: Window1.

Το τελικό σχέδιο του συγχρονιζέ φτιάχτηκε με τη λογική που ακολουθήθηκε στη θεωρία και τα σχέδια που αναφέρθηκαν και αναλύθηκαν στο 2.4.3 κεφάλαιο.



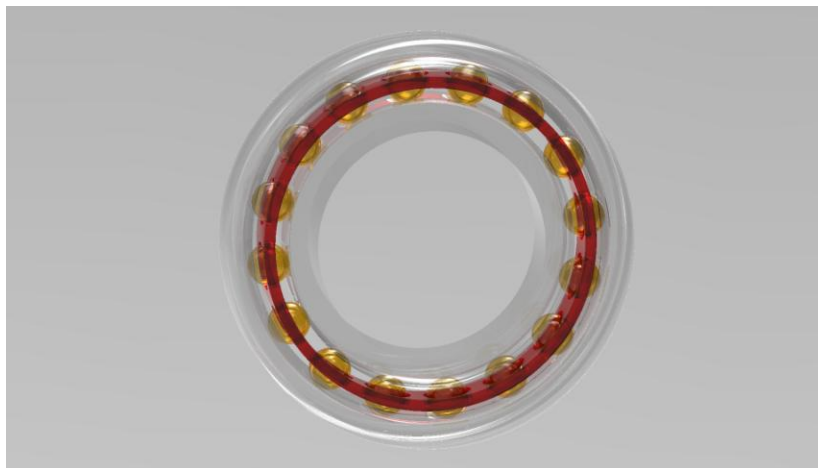
Σχήμα 25: Συγχρονιζέ

Οι άξονες έχουν εσοχές για να περιορίσουν την περιστροφική κίνηση των γραναζιών και περιμετρικές εσοχές για ασφάλειες που απαγορεύουν την κίνηση των γραναζιών και ρουλεμάν κατά το μήκος του άξονα.



Σχήμα 26: Άξονας

Πρώτες διαστάσεις για τα ρουλεμάν πάρθηκαν από τον κατάλογο της εταιρίας SKF αλλά τροποποιήθηκαν κατά πολύ μετά από ανάδραση που έδωσε το τυπωμένο σε 3D εκτυπωτή μοντέλο.

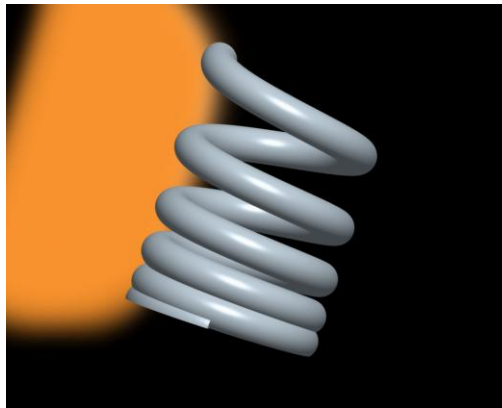


Σχήμα 27: Ρουλεμάν



Σχήμα 28: Σφαιρικό κυλινδρικά ρουλεμάν.

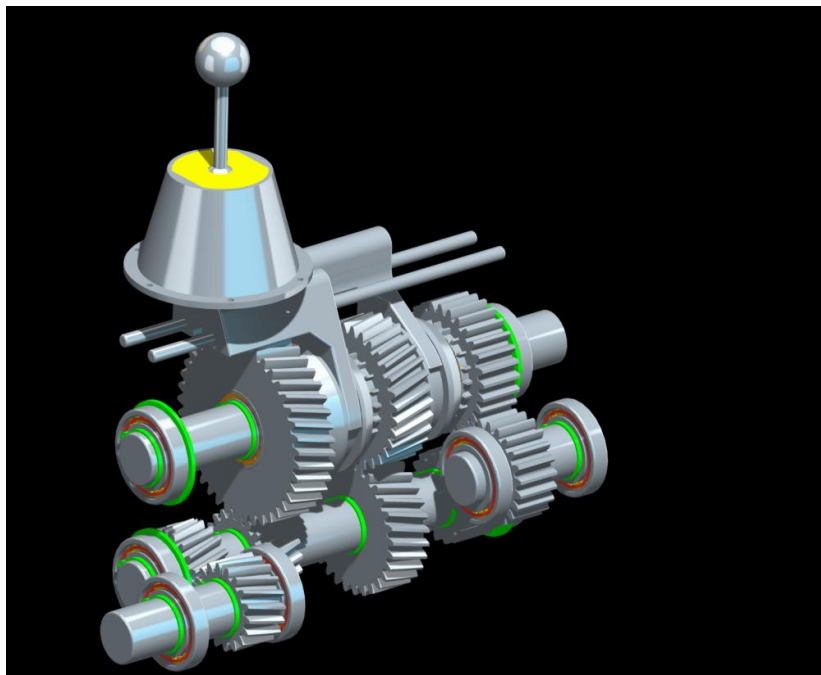
Το ελατήριο που βρίσκεται στο εσωτερικό του συγχρονιζέ σχεδιαστικέ μαζεμένο στη βάση, για να την κάνει πιο στερεή.



Σχήμα 29: Ελατήριο.

### 3.5 Προβλήματα που πρόεκυψαν στο Mechanism του ProE 3.0 και οι λόγοι επιλογής νέας έκδοσης του λογισμικού pro engineer creo/elements 5.0

Ο σχεδιασμός πρωτοτύπου συνόλου μοντέλων με βαθμούς ελευθερίας και αλληλεπίδρασης απαιτεί συνεχείς ελέγχους λειτουργικότητας και συμβατότητας των μοντέλων συνόλου. Ένα από τα πολύ χρήσιμα εργαλεία στο pro engineer wildfire 3.0 για ελέγχους θέσεις, κινηματικής, δυναμικής και στατικής ανάλυσης είναι πρόσθετη εφαρμογή mechanism. Το mechanism έχει τη δυνατότητα να προσθέτει και να ορίζει πράγματα όπως cam and followers, motors, servos και εργαλείο προσομοίωσης επαφής και κίνησης 2 γραναζιών. Μετά από τον ορισμό του συστήματος στο εικονικό περιβάλλον, μπορεί να γίνει προσομοίωση. Οι πληροφορίες των αναλύσεων μπορούν να δώσουν χρήσιμες πληροφορίες και τιμές των αντικειμένων υπό μελέτη και τροποποίηση.

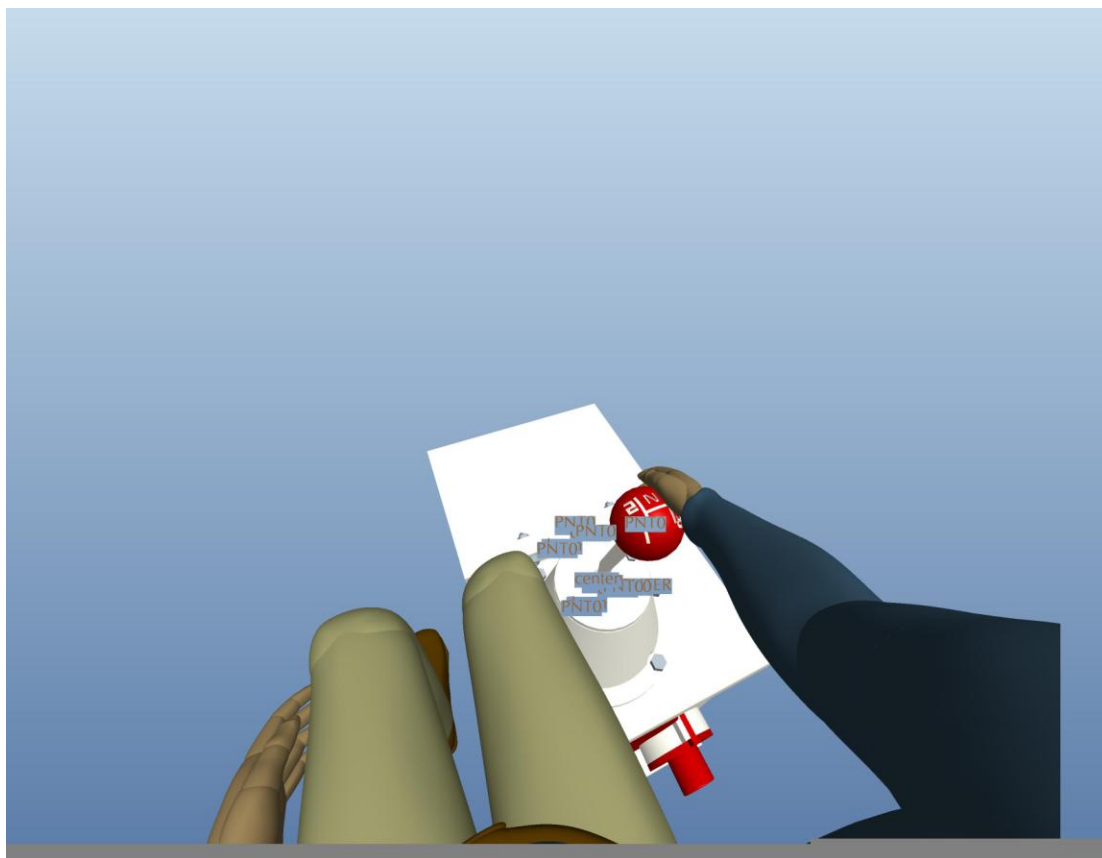


Σχήμα 30: Σχέδιο στο ProE 3 με μηχανισμό έτυμο για ανάλυση στο mechanism.



Όταν γίνεται σχεδιασμός ενός μεγάλου συνόλου μοντέλων, δημιουργείται ένα κρίσιμο ερώτημα, το πόσο γρήγορα και άμεσα μπορεί να γίνει αλλαγή και να τροποποιηθούν κάποια δεδομένα μετά από ανάδραση με πληροφορίες που προέρχονται από μια ανάλυση ή από συνδυασμένη άποψη του συνόλου. Το pro engineer 5.0 προσφέρει μερικά παραπάνω ευέλικτα εργαλεία στην εφαρμογή mechanism από την παλιά έκδοση το λογισμικού, τα οποία εξοικονομούν χρόνο. Ο χρόνος σε αυτές τις περιπτώσεις υπολογίζεται από τον αριθμό mouse clicks και από την απόσταση που έχει διανύσει το mouse. Ένα άλλο βασικό κριτήριο είναι τα σφάλματα που παρουσιάζονται κατά την ανάλυση και ο χρόνος επεξεργασίας της ανάλυσης. Βεβαία σε αυτήν την περίπτωση μεγάλος παράγοντας είναι η επεξεργαστική ισχύς και μνήμη του ηλεκτρονικού υπολογιστή στον οποίο γίνεται η ανάλυση. Συγκεκριμένα τρέχοντας την ίδια ανάλυση σε διαφορετικά λογισμικά στον ίδιο Η/Υ το εργαλείο cam and follower παρουσίαζε αποκλίσεις στα αποτελέσματα, έχοντας λιγότερα σφάλματα ή καθόλου στην περίπτωση του pro engineer 5.0. Επίσης, για έλεγχο επαφής και σύγκρουσης δυο σωμάτων με μη γραμμική επιφάνεια, χρειάζεται να γίνει επανέλεγχος με χρήση εργαλείου 3D contact που μπορεί να μην προσφέρει τις πολλές δυνατότητες και παραμέτρους που έχει το cam and follower αλλά προσφέρει ομαλότερη, ελαφρότερη και ευκολότερη ανάλυση, όταν πρόκειται για επαφή έστω μιας καμπυλωτής επιφάνειας με μια άλλη καμπυλωτή ή μη επιφάνεια.

Ανεπανόρθωτα σφαλμάτα (fatal errors) κατά την ανάλυση θέσης και κίνησης του συγχρονιζέ αντιμετώπιστικαν με σχεδιασμό και τροποποίηση εξ ολοκλήρου απο την αρχή του σχεδιασμού μερικές φορές, έως οι αναλύσεις να οδηγήσουν σε αποτελέσματα που θα μπορούσαν να προσδιορίσου την λειτουργικότητα ή μη των ανκειμένων του συνόλου-



Σχήμα 31: Τελικό μοντέλο κιβώπιου ταχυτήτων στο ProE 5.0 μέσα από τα ματιά του Manikin "Bob".

## **4 Περιγραφή προσέγγισης σχεδιασμού, πρόσθετων εφαρμογών και λογισμικών**

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται περιγραφή της προσέγγισης σχεδιασμού τρισδιάστατου συγκροτήματος μοντέλων. Ενός συνόλου από μοντέλα που πρέπει να μελετηθεί ξεχωριστά και ως σύνολο έχοντας την παροχή ανάδρασης καθ' όλη τη διάρκεια του σχεδιασμού. Επίσης γίνεται περιγραφή πρόσθετων εφαρμογών και λογισμικών που χρησιμοποιήθηκαν για σχεδιασμό, περιγραφή και απεικόνιση του μοντέλου.

### **4.1 Top-down και bottom-up προσέγγιση**

Με την αναβάθμιση του λογισμικού επήλθε μεγάλη αλλαγή στα εργαλεία σχεδιασμού με top down design προσέγγιση.

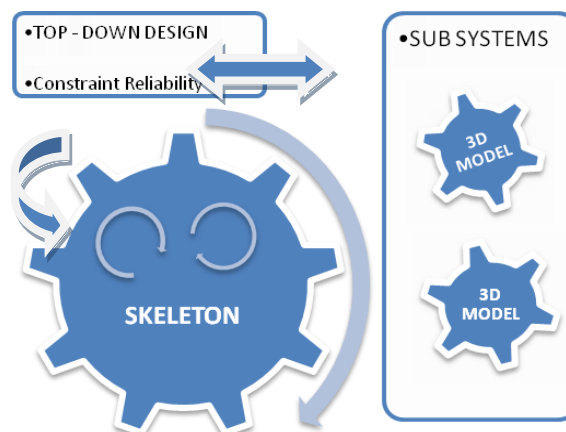
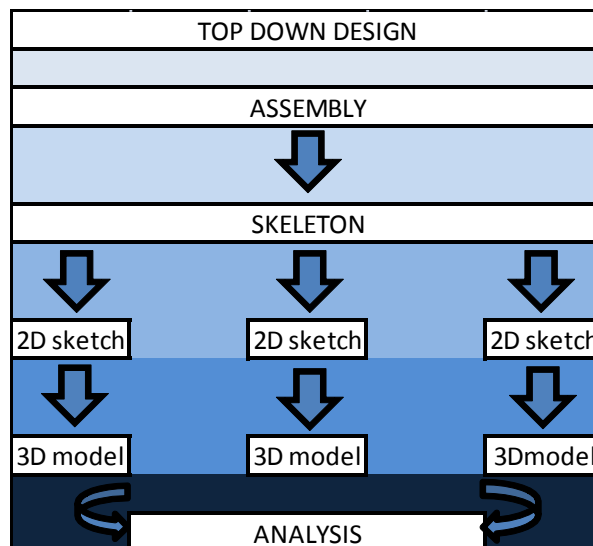
Οι στρατηγικές επεξεργασίας των πληροφοριών Top-down και Bottom-up εφαρμόζονται σε πολλά πεδία, μεταξύ των οποίων είναι τα λογισμικά (software), τα πεδία διαχείρισης και οργάνωσης όπως και τα πεδία επιστημονικών θεωριών. Στην πράξη, μπορούν να θεωρηθούν ως το ύφος της σκέψης και της διδασκαλίας. Σε πολλές περιπτώσεις Top-down ανάλυση χρησιμοποιείται ως συνώνυμο της ανάλυσης ή διάσπασης και bottom-up της σύνθεσης.

Top-down προσέγγιση (γνωστή και ως σταδιακή σχεδίαση) είναι ουσιαστικά η διάσπαση ενός συστήματος για να κατανοηθεί καλύτερα η σύνθεση των υποσυστημάτων του. Σε μια top-down προσέγγιση μια επισκόπηση του συστήματος είναι διατυπωμένη, αλλά δεν καθορίζει λεπτομερώς οποιοδήποτε πρώτο επίπεδο υποσυστημάτων. Κάθε υποσύστημα στη συνέχεια αναλύεται με ακόμη μεγαλύτερη λεπτομέρεια, μερικές φορές σε πολλά επιπλέον επίπεδα υποσυστήματος, μέχρι ολόκληρη η προδιαγραφή να μειώνεται στα βασικά της στοιχεία. Στη Top-down προσέγγιση το μοντέλο συχνά καθορίζεται με βοήθεια από "μαύρα κουτιά", που είναι πιο εύκολο να διαχειριστούν. Στην επιστήμη και την τεχνολογία, ένα "μαύρο κουτί" είναι μια συσκευή, σύστημα ή αντικείμενο το οποίο μπορεί να θεωρηθεί από την άποψη των χαρακτηριστικών εισόδου, εξόδου και της μεταφοράς χωρίς καμία γνώση της εσωτερικής λειτουργίας της. Η εφαρμογή του είναι "opaque" (black). Σχεδόν οτιδήποτε μπορεί να αναφέρεται ως ένα μαύρο κουτί: ένας τρανζίστορ, ένας αλγόριθμος ή ένας ανθρώπινος εγκέφαλος. Ωστόσο, τα μαύρα κουτιά μπορούν να αποτύχουν να διευκρινίσουν στοιχειώδεις μηχανισμούς ή να είναι αρκετά λεπτομερή, ώστε να αποτυπώσουν ρεαλιστικά το μοντέλο.

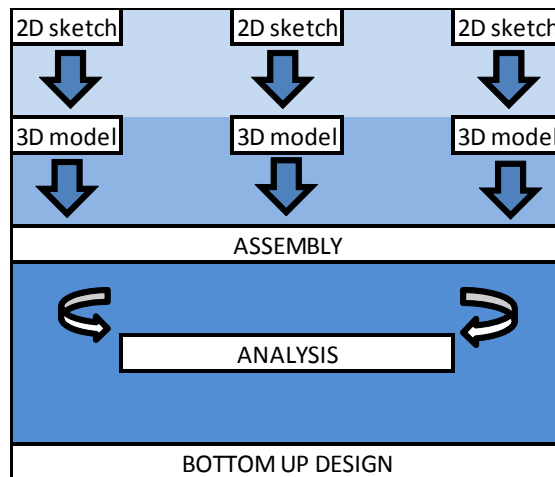
Μια bottom-up προσέγγιση είναι η ένωση των κομματιών των συστημάτων σε πιο μεγαλειώδη συστήματα, καθιστώντας έτσι τα αρχικά συστήματα υποσυστήματα του αναδυόμενου συστήματος. Οι πληροφορίες εισέρχονται από τα μάτια και στη συνέχεια μετατρέπονται σε εικόνα από τον εγκέφαλο που μπορεί να ερμηνευθεί και να αναγνωρίζεται ως μια αντίληψη (έξοδος). Σε μια bottom-up προσέγγιση τα επιμέρους στοιχεία βάσης του

συστήματος αρχικά διευκρινίζονται με μεγάλη λεπτομέρεια. Τα στοιχεία αυτά στη συνέχεια συνδέονται μεταξύ τους, για να σχηματίσουν μεγαλύτερα υποσυστήματα, τα οποία στη συνέχεια με τη σειρά τους συνδέονται μεταξύ τους, μερικές φορές σε πολλά επίπεδα, μέχρι να συσταθεί ένα πλήρες υψηλού επιπέδου σύστημα. Η στρατηγική αυτή παρομοιάζεται συχνά με ένα «σπόρο» μοντέλο, σύμφωνα με την οποία στην αρχή είναι ένας μικρός σπόρος αλλά τελικά μεγαλώνει σε πολυπλοκότητα και την πληρότητα. Ωστόσο, "οι οργανικές στρατηγικές» ενδέχεται να οδηγήσουν σε μια σύγχυση των στοιχείων και των υποσυστημάτων, που αναπτύχθηκαν σε απομόνωση και υπόκεινται σε τοπική βελτιστοποίηση σε αντίθεση με την επίτευξη μιας σφαιρικής εικόνας.

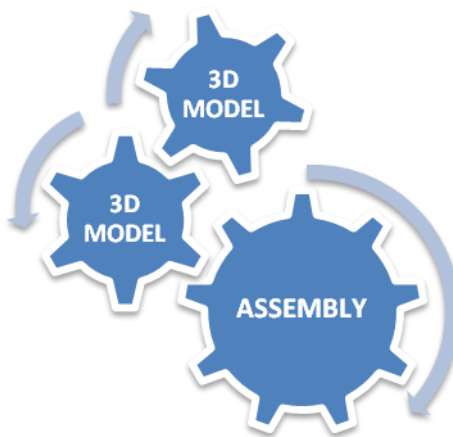
Λύνοντας μερικώς το πρόβλημα άμεσης απεικόνισης της ιδέας σε ψηφιακή μορφή υπήρχε ακόμα μεγάλη ανάγκη αλλαγών στο μοντέλο και επιμέρους κομμάτια του. Η αλλαγή στη σκέψη και στον τρόπο σχεδιασμού του συστήματος, από bottom-up σε top-down έφερε τεραστία πλεονεκτήματα και γρηγορότερη τροποποίηση κάθε αντικειμένου του υποσυνόλου. Ο χρόνος για τον ορισμό κάθε αντικειμένου στο χώρο έγινε αμελητέος, γιατί ουσιαστικά έγινε μια φορά στην αρχή της δημιουργίας του συστήματος του πρωτοτύπου μοντέλου. Χωρίζοντας το πρόβλημα σε υπό προβλήματα δόθηκε η δυνατότητα άμεσης προσέγγισης στα μείζονα προβλήματα χωρίς να χαλάνε συνδέσεις, περιορισμοί, χαρακτηριστικά, λειτουργίες και δυνατότητες που είναι απαραίτητα για την προβολή ολόκληρου του συνόλου του μοντέλου.



Σχήμα 32: Cloud παράδειγμα top-down και top-down προσέγγισης για την πορεία σχεδιασμού ενός περίπλοκου συστήματος.



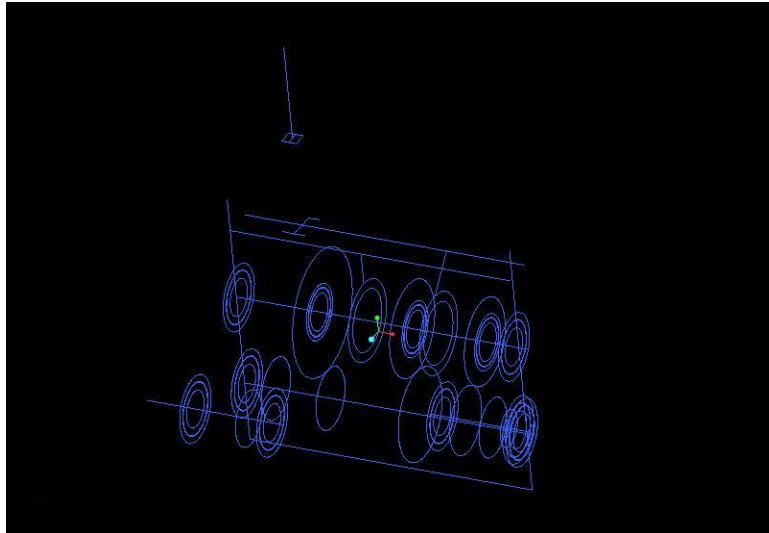
- BOTTOM - UP DESIGN
- Constraint Reliability



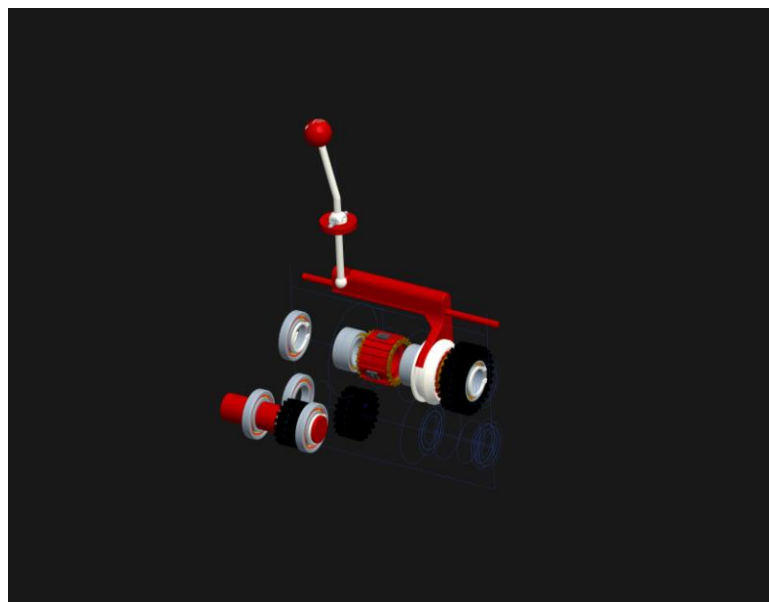
Σχήμα 33: Cloud παράδειγμα για Bottom – Up και bottom-up προσέγγισης για την ποριά σχεδιασμού ενός συστήματος.

#### 4.1.1 Σχεδιασμός σκελετού.

Το εργαλείο για σχεδιασμό χρησιμοποιώντας την top-down προσέγγιση στο ProE ονομάζεται Skeleton. Η κατασκευή του σκελετού στο ProE γίνεται μέσα σε ένα assembly (σύνολο άδειο ή με μοντέλα μέσα). Με την εισαγωγή του σκελετού γίνεται επιλογή για υποκατηγορία αν θα είναι απλός η αν θα έχει τη δυνατότητα κίνησης. Μετά την επιλογή του skeleton – standard γίνεται δημιουργία ενός subassembly (υποσύνολου). Η ενεργοποίηση του skeleton δίνει τη δυνατότητα εισόδου στο περιβάλλον του υποσύνολου, στο οποίο υπάρχει δυνατότητα να δημιουργηθεί απαραίτητος αριθμός αντικειμένων που χρειάζονται για τη δημιουργία του σκελετού. Μπορεί να γίνει εισαγωγή έτοιμων μοντέλων για να αντιπροσωπεύσουν τον σκελετό αλλά δεν υπάρχει δυνατότητα τροποποίησης τους. Για να μη γίνεται μπέρδεμα με τα μοντέλα μελέτης αυτά τα μοντέλα του σκελετού έχουν μπλε χρώμα. Μετά την δημιουργία κενού-άδειου αντικειμένου μπορεί να γίνει ενεργοποίηση του και να γίνει σχεδίαση στο περιβάλλον του αντικειμένου, για να δημιουργηθεί και να περιγραφεί το μοντέλο μελέτης. Συνήθως αυτό γίνεται με απλές γραμμές και το κάθε μοντέλο αποτελείται από ελάχιστα δισδιάστατα σχέδια.



Σχήμα 34: Σκελετός



Σχήμα 35: Σκελετός με αντικείμενα ορισμένα ως προς τον σκελετό και ανεξάρτητα μεταξύ τους

Με την ολοκλήρωση τις σχεδίασης του αντικειμένου γίνεται ορισμός του στο περιβάλλον του σκελετού. Καλό είναι να γίνει δημιουργία συστήματος συντεταγμένων στον σκελετό για κάθε μοντέλο και να γίνει ταύτιση του με το σύστημα συντεταγμένων των αντικειμένων. Αυτό είναι απαραίτητο γιατί χρειάζεται πολύ μεγάλη εμπειρία για διαχείριση κάθε αντικειμένου, γιατί κάθε αντικείμενο περιέχει εκτός από το σύστημα συντεταγμένων, το σχέδιο του αλλά και επίπεδα που κάνουν την ταξινόμηση, προβολή και κατασκευή πολύ δύσκολη. Το proe 5.0 έχει τη δυνατότητα επιλογής ορισμένων βαθμών ελευθερίας κατά τον ορισμό των αντικειμένων στο σκελετό αρκεί να τηρούνται και να υπάρχουν όλες οι απαραίτητες συνθήκες από την πλευρά των αντικειμένων. Ως παράδειγμα το proe 5.0 μπορεί να αναγνωρίσει έναν σύνδεσμο pin αρκεί να υπάρχει ένας άξονας στο αντικείμενο και να φτιάξει τον αντίστοιχο άξονα στο περιβάλλον του σκελετού. Εφόσον οριστούν όλα τα αντικείμενα του σκελετού μπορεί να γίνει δημιουργία του μοντέλου που θα βαφτιστεί με το αντικείμενο του σκελετού. Η ταύτιση γίνεται μόνο με τα συστήματα συντεταγμένων μεταξύ του μοντέλου και του αντικειμένου σκελετού. Το μοντέλο μπορεί να είναι έτοιμο και σχεδιασμένο από πριν ή να είναι άδειο και να σχεδιαστεί από την αρχή. Επειδή ο ορισμός στον χώρο

εξαρτάται μόνο από σύστημα συντεταγμένων του αντίστοιχου συστήματος συντεταγμένων χρειάζεται προσοχή στον σχεδιασμό του σκελετού και του μοντέλου.

Με αυτόν τον τρόπο το κάθε μοντέλο είναι αποδεδειγμένο από περιορισμούς που θέτει η αλυσίδα κατασκευής γνωστή και ως parent & child. Μπορεί να γίνει μελέτη και επεξεργασία κάθε μοντέλου ξεχωριστά, χωρίς να επηρεάζεται όλο το σύνολο της κατασκευής. Ιδιαίτερα χρήσιμο γιατί έγινε σχεδιασμός του συνόλου πολλές φορές κατά τη μελέτη μηχανισμού κίνησης και την μελέτη ανοχών σε πολλά εξαρτήματα. Κατά την μελέτη βελτιστοποίησης η γεωμετρία πολλών εξαρτημάτων επηρέασε άμεσα τη γεωμετρία και ορισμό στον χώρο των γειτονικών εξαρτημάτων. Αλλαγές στη γεωμετρία πολλές φορές μπορούν να αξιολογηθούν μόνο μετά την ανασυγρότηση όλου η μέρους του συστήματος, κάτι που θα απαιτούσε πολύ χρόνο αν ο σχεδιασμός ακολουθούσε την bottom up προσεγγίση.

## 4.2 Σχεδιασμός μηχανισμού \ Mechanism Design

Σχεδιασμός μηχανισμού (mechanism design) είναι ένα εργαλείο λογισμικού που βοηθάει τους μηχανικούς στην ανάλυση και το σχεδιασμό μηχανισμών. Ο σχεδιασμός μηχανισμού αποτελεί ένα υποσύστημα του Pro / ENGINEER που αναπτύχθηκε από την Parametric Technology Corporation. Αυτό το λογισμικό βοηθάει τους χρήστες στη δημιουργία εικονικών μηχανισμών. Οι μηχανισμοί αυτοί έχουν σκοπό να απαντήσουν σε γενικές ερωτήσεις που αφορούν το σχεδιασμό του προϊόντος, όπως αυτές που περιγράφονται στη συνέχεια.

- Θα συγκρούονται τα εξαρτήματα του μηχανισμού κατά την λειτουργία;
- Θα κινούνται τα εξαρτήματα του μηχανισμού που σχεδιάστηκαν, σύμφωνα με τις επιθυμητές προδιαγραφές;
- Πόση ροπή ή δύναμη χρειάζεται για να δουλέψει ο μηχανισμός;
- Πόσο γρήγορα θα κινηθούν τα εξαρτήματα?
- Ποια είναι η δύναμη αντιδράσεως ή ροπή που παράγεται σε μία σύνδεση (που ονομάζεται επίσης άρθρωση ή περιορισμός) μεταξύ των στοιχείων (ή των σωμάτων) κατά την κίνηση;

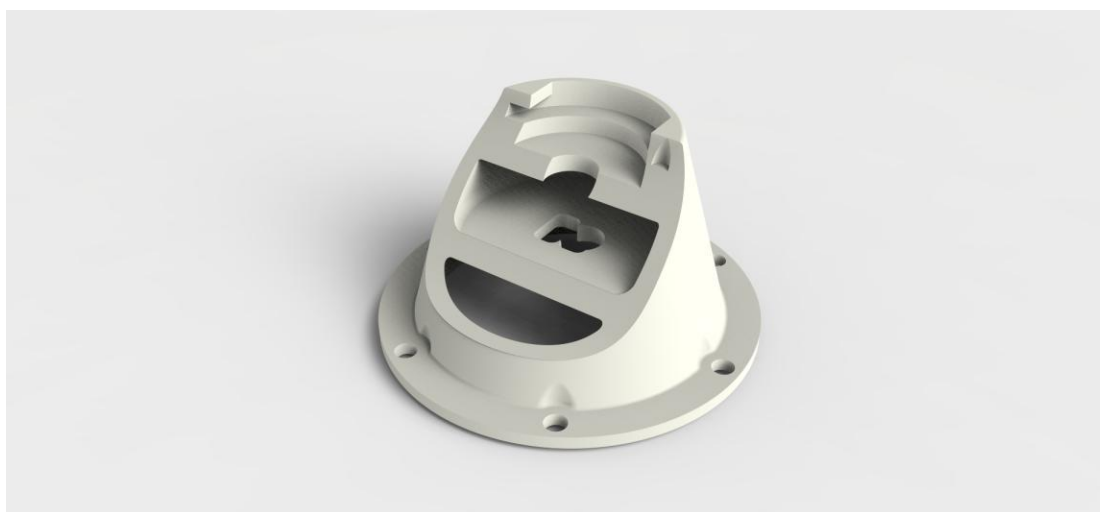
Η μοντελοποίηση και ανάλυση στο σχεδιασμό μηχανισμού θα βοηθήσει στην απάντηση σε αυτές τις κοινές ερωτήσεις με ακρίβεια και ρεαλισμό, εφόσον το μοντέλο κίνησης είναι σωστά ορισμένο. Οι δυνατότητες που είναι διαθέσιμες στο σχεδιασμό μηχανισμού επίσης βοηθάνε στην εύρεση καλύτερων εναλλακτικών λύσεων σχεδιασμού. Η εναλλακτική λύση του σχεδιασμού είναι εξαρτημένη από το ίδιο το πρόβλημα. Είναι απαραίτητο για το σχεδιαστή να ορίσει το πρόβλημα σωστά πριν από την αναζήτηση καλύτερης εναλλακτικής λύσης σχεδιασμού.

Για την εξερεύνηση καλύτερων εναλλακτικών λύσεων σχεδιασμού, τα εξαρτήματα και η συναρμολόγηση πρέπει να παραμετροποιηθούν επαρκώς, για να εκπροσωπούν τις προθέσεις του σχεδιασμού. Στο επίπεδο εξαρτημάτων, παραμετροποίηση σχεδιασμού προϋποθέτει τη δημιουργία στερεών χαρακτηριστικών και σωστό συσχετισμό διαστάσεων. Στο επίπεδο συναρμολόγησης, η παραμετροποίηση του σχεδίου περιλαμβάνει τον καθορισμό περιορισμών συναρμολόγησης και διαστάσεων που ορίζουν βαθμούς ελευθερίας των αντικειμένων στον εικονικό χώρο. Όταν ένα στερεό μοντέλο είναι πλήρως παραμετροποιημένο, η μεταβολή μίας διάστασης μπορεί να διαδοθεί σε όλα τα συνδεδεμένα τμήματα αυτόματα. Μέρη που επηρεάζονται πρέπει να ανασυσταθούν επιτυχώς και την ίδια στιγμή θα πρέπει να διατηρηθεί σωστή θέση και προσανατολισμός στο ένα με το άλλο χωρίς

να παραβιάζεται καμία συναρμολόγηση, περιορισμός, διαπέραση ή Collusion ή και υπερβολικά κενά μεταξύ τους.

Ένας μηχανισμός είναι μια μηχανική συσκευή που μεταφέρει κίνηση και / ή την ισχύ από μια πηγή σε μια έξοδο. Αυτό μπορεί να είναι ένα απλοποιημένο μοντέλο ενός μηχανικού συστήματος. Ένας σύνδεσμος αποτελείται από φορείς (ή σώματα, bodies), τα οποία συνδέονται με τις συνδέσεις (ή αρθρώσεις, Links), όπως ένας συνδετικός πείρος (pin), για να σχηματίσουν ανοικτό ή κλειστό βρόχο. Τέτοιες κινηματικές αλυσίδες, με τουλάχιστον ένα σύνδεσμο να έχει καθοριστεί, είναι μηχανισμοί. Κινηματική είναι η μελέτη της κίνησης χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι δυνάμεις που προκαλούν την κίνηση. Ένας κινηματικός μηχανισμός θα πρέπει να οδηγείται από ένα σερβοκινητήρα (ή οδηγό) έτσι ώστε η θέση, η ταχύτητα και η επιτάχυνση του κάθε συνδέσμου του μηχανισμού να μπορεί να αναλυθεί σε κάθε δεδομένη στιγμή. Τυπικά, μια κινηματική ανάλυση πρέπει να πραγματοποιηθεί πριν από τη μελέτη της δυναμικής συμπεριφοράς του μηχανισμού, για να μπορεί να προσομοιωθεί σωστά. Στο μοντέλο μελέτης ο κινηματικός μηχανισμός περιλαμβάνει έναν μοχλό που με ενδιάμεσο φορέα βρισκόμενο πάνω σε οδηγό μεταδίδει κίνηση στον συγχρόνιζε αποτελούμενο από ένα σύνολο σωμάτων και με σκοπό την εμπλοκή του με γρανάζι. Το αποτέλεσμα της εμπλοκής αυτής είναι η μετάδοση της περιστροφικής κίνησης από τον άξονα εισόδου στον άξονα εξόδου. Άξονες και γρανάζια μπορούν να αφαιρεθούν από τη μελέτη, επειδή είναι κύριοι της τροχιάς τους και δεν επηρεάζουν άμεσα την κινηματική ανάλυση αλλά η θέση των γραναζιών θέτει όρια στην διαδρομή του συγχρόνιζε.

Η κινηματική ανάλυση λοιπόν, επιβεβαίωσε τη λειτουργικότητα του συνόλου των σωμάτων που περιλαμβάνουν τον κινηματικό μηχανισμό. Έγινε διαπίστωση της τροχιάς κινούμενων κομματιών που οδήγησε στην αντίστοιχη προσαρμογή γεωμετρίας εμπλεκόμενων κομματιών.

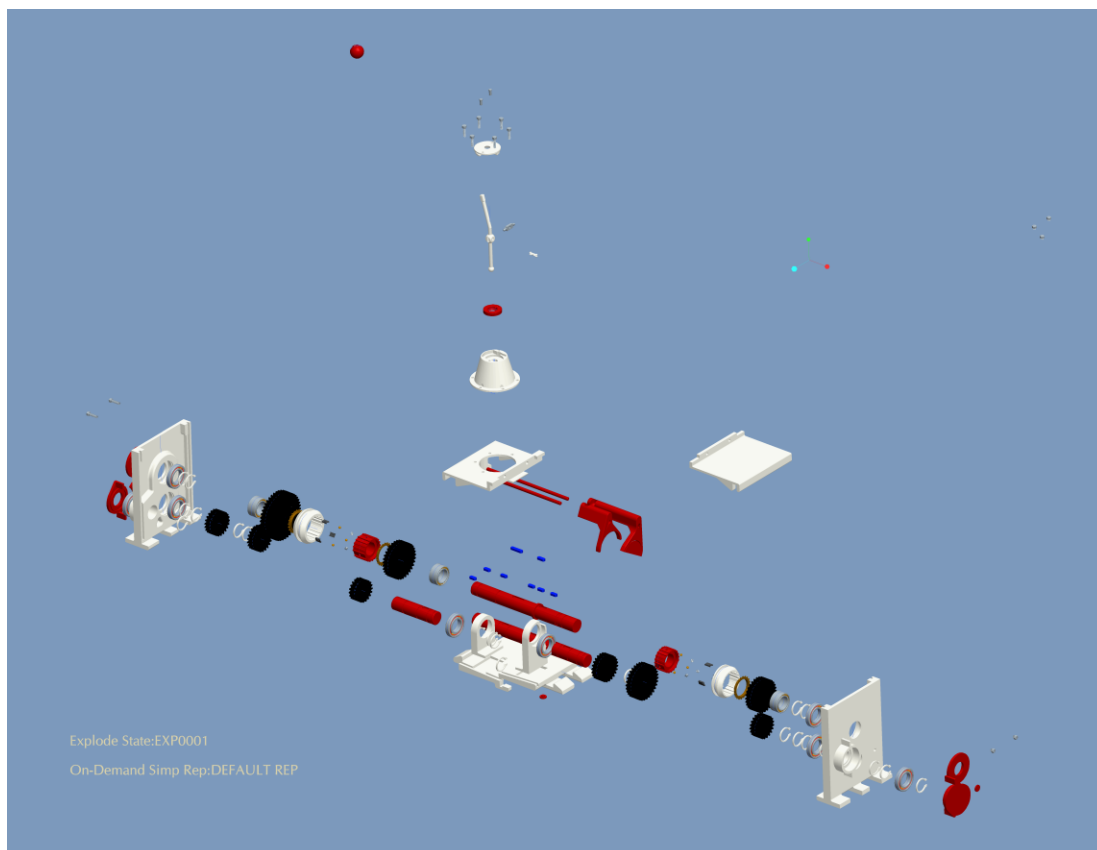


Σχήμα 36: Βελτιστοποιημένη γεωμετρία αντικιμένου μετά την κινηματική ανάλυση

### 4.3 Explode view \ Ανεπτυγμένη όψη

Πριν από την υλοποίηση του τελευταίου σταδίου κατασκευής και εκτύπωσης πρωτότυπου μοντέλου με χρήση τρισδιάστατου εκτυπωτή, πρέπει να γίνει ένας έλεγχος συναρμολόγησης. Με τη χρήση της ανεπτυγμένης όψης μπορεί να γίνει αντιληπτό αν είναι εφικτό για ολόκληρο το σύνολο να συναρμολογηθεί και με ποιά σειρά τα αντικείμενα συναρμολογούνται. Αυτό το στάδιο είναι απαραίτητο, όταν πρόκειται για σύνθετα και πολυμερή μοντέλα. Κατά την πορεία του σχεδιασμού, εκτός από τη λειτουργικότητα της κατασκευής, είναι δύσκολο να γίνει αντιληπτή και η συνύπαρξη κάθε αντικιμένου του

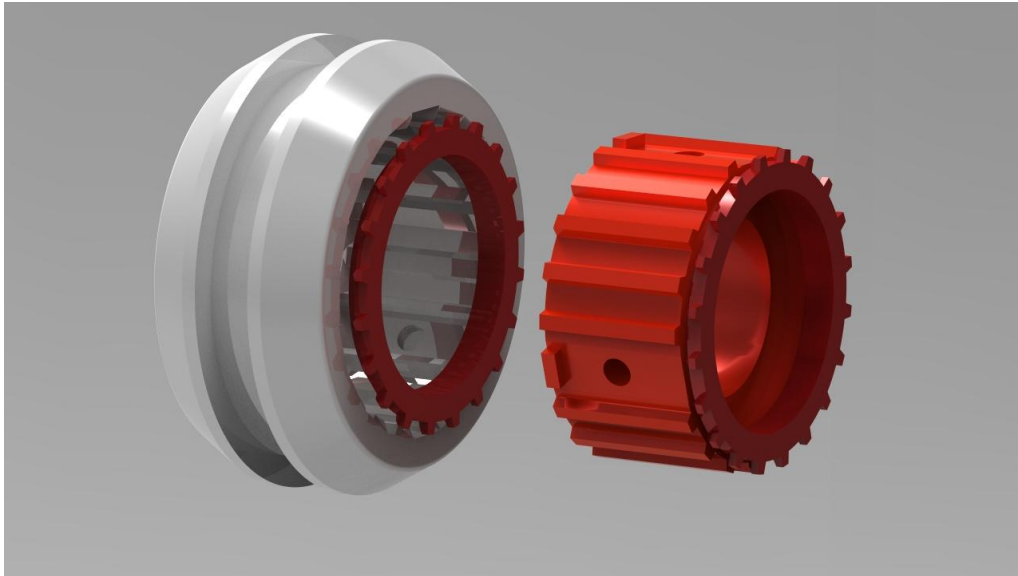
υποσυνόλου. Ο λόγος που η γεωμετρία ενός αντικειμένου μπορεί να προκαλέσει πρόβλημα κατά τη συναρμολόγηση είναι, γιατί η σχεδίαση του γίνεται με αυτό να είναι τοποθετημένο στην τελική του θέση στο χώρο. Ουσιαστικά πρώτα γίνεται μελέτη και σχεδίαση της γεωμετρίας ενός αντικειμένου, όταν αυτό είναι στην τελική του θέση δηλαδή συναρμολογημένο. Όταν ικανοποιούνται συνθήκες συναρμολογημένου συνόλου είναι εφικτό να γίνουν τυχόν αλλαγές στην γεωμετρία αντικειμένου λαμβάνοντας υπόψη την σειρά αλυσίδας συναρμολόγησης και την διαδρομή που ακολουθεί για να φτάσει στην τελική θέση του.



Σχήμα37: Explode view \Ανεπτυγμένη όψη

Το εργαλείο για διαμόρφωση της ανεπτυγμένης όψης στο creo/elements έχει πολλές παραμέτρους και δυνατότητες. Μετά από την τοποθέτηση των αντικειμένων στην αρχική και τελική τους θέση (συναρμολογημένο, θέση εργασίας) μπορεί να γίνει αποθήκευση της ανεπτυγμένης όψης και να γίνει χρήση της όψης αυτής σε οποιαδήποτε στιγμή της κατασκευαστικής μελέτης για αναθεώρηση και επιβεβαίωση της γεωμετρίας. Επίσης η χρήση αυτής της αποθηκευμένης όψης μπορεί να γίνει στην πρόσθετη εφαρμογή animation η οποία δίνει τη δυνατότητα δημιουργίας βίντεο στο περιβάλλον που παρέχει το λειτουργικό. Η χρήση της αποθηκευμένης ανεπτυγμένης όψης μπορεί να γίνει και μέσω του **keyshot** λογισμικού το οποίο μπορεί να συνδεθεί με το proe μέσω επέκτασης.





Σχήμα 35: Keyshot rendering 01.



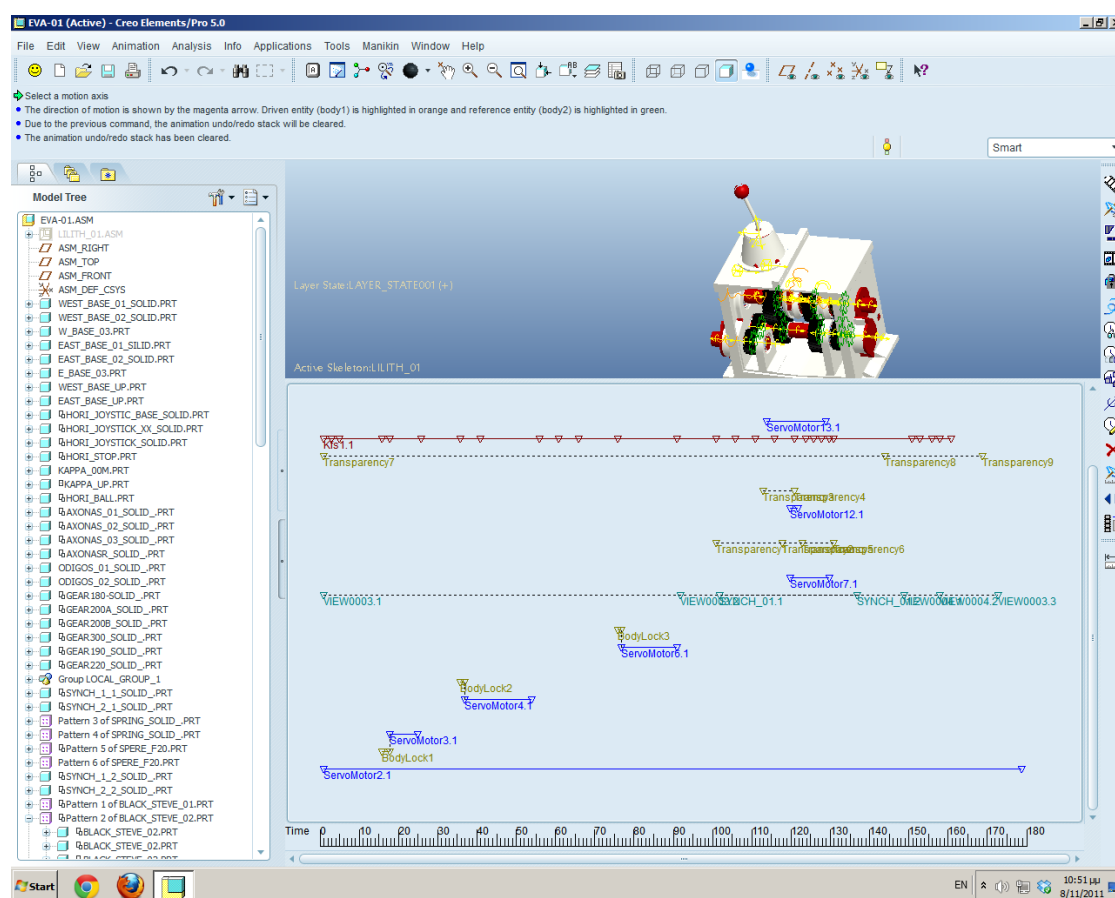
Σχήμα 36: Keyshot rendering 02.

#### 4.4 Επέκταση Animation

Το ProE προσφέρει μια πολύ χρήσιμη επέκταση Animation. ProE Animation χρησιμοποιείται για να απεικονίσει την κίνηση του μηχανισμού ή μιας μηχανικής συναρμολόγησης εν λειτουργία. Το ProE Animation έχει τη δυνατότητα : (1) να συντονίζει τις συνιστώσες της ακολουθίας κινήσεων και (2) την αναπαραγωγή της κινούμενης εικόνας.

Το ProE animation παρέχει στους μηχανικούς ένα απλό αλλά και ισχυρό εργαλείο για τη παροχή σύνθετων πληροφοριών σχετικά με ένα προϊόν ή μια διαδικασία, μέσω της οπτικοποίησης της ακολουθίας κίνησης του προϊόντος ή της διαδικασίας. Ένα animation διευκολύνει κατά πολύ την επικοινωνία του σχεδιαστή με ομάδες τόσο διαφορετικές όπως πελάτες, προμηθευτές για πώληση και έμπορους. Ακολουθίες της κίνησης προσφέρουν εξαιρετικά στην επικοινωνία, με σχόλια για το σχέδιο ή τον τρόπο σχεδιασμού ή ως μέθοδος για την εξ αποστάσεως επικοινωνία και μεταφορά των πληροφοριών.

Η λειτουργία Animation έχει διαφορετικές από τις συνήθεις λειτουργίες κίνησης κινηματικής του ProE. Ο σχεδιασμός στην επέκταση Animation του ProE είναι κυρίως για να δείξει την έννοια κίνησης του μηχανισμού. Η κίνηση μπορεί να προσδιοριστεί σύροντας τα κινούμενα εξαρτήματα, ή με την αναγωγή διάφορων θέσεων του μηχανισμού. Μπορεί να μην τηρηθεί το σύνολο των περιορισμών που καθορίζονται κατά τον σχεδιασμό. Κάποιος μπορεί να πραγματοποιήσει Animation πριν να έχει ολοκληρωθεί η αναλυτική συναρμολόγηση. Εκτός από την αναγωγή θέσεων αντικείμενων στον χώρο μπορεί να γίνει και επιλογή της κίνησης κάμερας προβολής του αντικείμενου μελέτης, επιλέγοντας όψεις και όπως έχει αναφερθεί στην προηγούμενη ενότητα μπορεί να γίνει επιλογή αποθηκευμένης αναπτυσμένης όψης. Η αναπαραγωγή της αναπτυσμένης όψης δεν είναι πεπερασμένη. Η αναπαραγωγή της αναπτυσμένης όψης είναι προβολή ανάπτυξης κοματιών μέχρι να καταλήξουν στην τελική θέση που είχαν οριστεί στην αναπτυσμένη όψη. Για πιά ομαλή αναπαράσταση αναπτυσμένης όψης, σχεδιάστικαν ενδιάμεσες καταστάσεις του αναπτύγματος, ώστε να είναι εφικτή η παρέμβαση και η ρύθμιση της ροής αναπαραγωγής της κινούμενης εικόνας.



Σχήμα 37: Animation ακολουθίες

## 4.5 Dropbox

Κατά την μελέτη του 3D μοντέλου πολλοί εμπλεκόμενοι δεν έχουν δυνατότητα πρόσβασης στο πρόγραμμα μηχανολογικού τρισδιάστατου σχεδιασμού και πολύ πιθανόν να μη γνωρίζουν να το χρησιμοποιούν. Για αυτούς τους λόγους έγινε προσαρμογή δεδομένων για καλύτερη εκπόνηση μηχανολογικής μελέτης. Όλη η μελέτη με όλα τα αρχεία είναι διαθέσιμα online στο διαδίκτυο οποιαδήποτε στιγμή μέσω της ελεύθερης χωρίς χρέωση εφαρμογής Dropbox. Έγινε εκμετάλλευση των δυνατοτήτων του proe να αλληλεπιδρά με το

excel. Μπορεί να γίνει μεταφορά ουσιαστικά οποιαδήποτε τιμές από το proe στο excel ή να γίνει διαστασιολόγηση του σχεδίου μέσω excel.

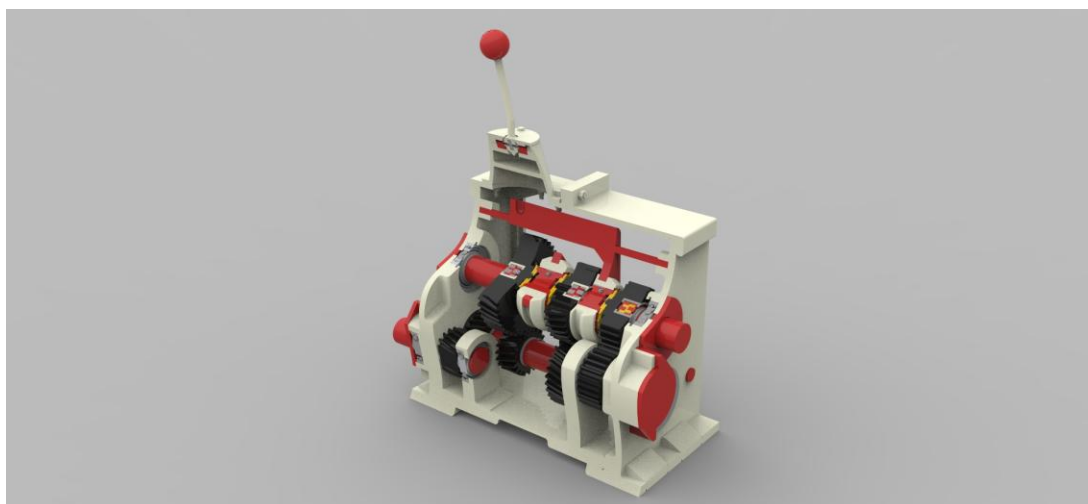
## 4.6 Matlab – simulink - simMechanics

Μια άλλη ισχυρή δυνατότητα του ProE είναι να μπορεί να εξάγει ένα σύνολο από μοντέλα σε μια μορφή ειδική για simulink/SimMechanics του Matlab. Η επέκταση αυτή μετατρέπει όλα τα αντικείμενα του συνόλου σε μορφή STL και δημιουργεί ένα XML αρχείο το οποίο περιέχει στοιχεία σχετικής θέσης και ελευθερίας κίνησης κάθε αντικείμενου όπως επίσης στοιχεία μάζας και απόχρωσης σε περίπτωση χρήσης βασικών χρωμάτων. Η προσομοίωση και ανάλυση στο περιβάλλον του Matlab δίνει πρόσβαση στη μελέτη του αντικείμενου σε ανθρώπους που είναι έξω από τον κλάδο της μηχανολογίας ή του μηχανολογικού σχεδιασμού.

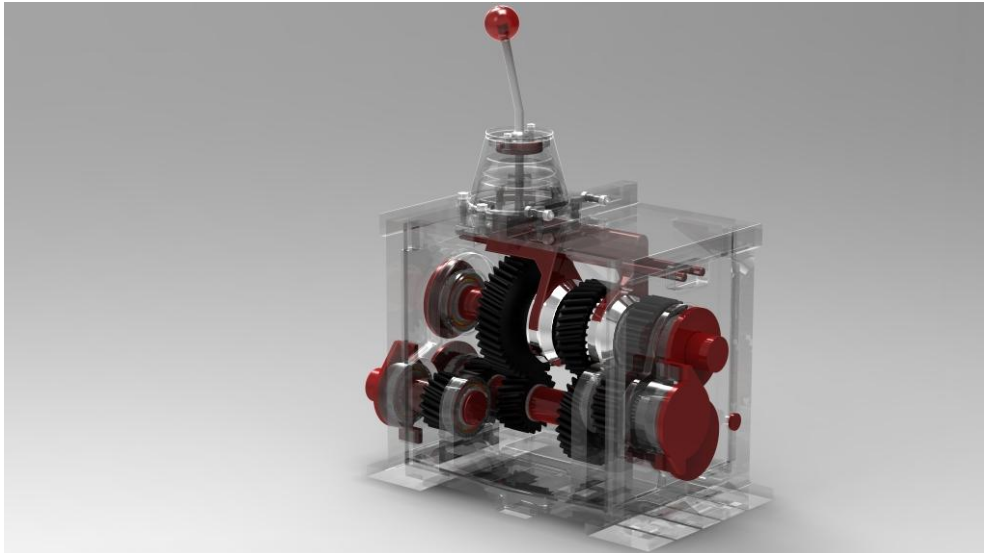
Η Matlab Function Blocks απεικόνιση είναι ένα άλλο παράδειγμα εκπόνησης, προσέγγισης και απεικόνισης μιας κατασκευαστικής μελέτης. Το Matlab έχει την δυνατότητα εισαγωγής εξαγόμενων από το ProE XML αρχείων. Μετά τη μεταφορά, το Matlab αναγνωρίζει πολλές συνδεσμολογίες αρκεί να είναι δηλωμένες με ιεραρχία προτύπου δέντρου και να μην ορίζεται από πολλά διαφορετικά σώματα το ίδιο μοντέλο στον χώρο. Η αλλαγή των blocks που ορίζεται την σχέση σύνδεσης ανάμεσα στα σώματα μπορεί εύκολα να οριστεί, να τροποποιηθεί ή να αλλαχτεί με άλλο block σύνδεσμο.

## 4.7 Keyshot

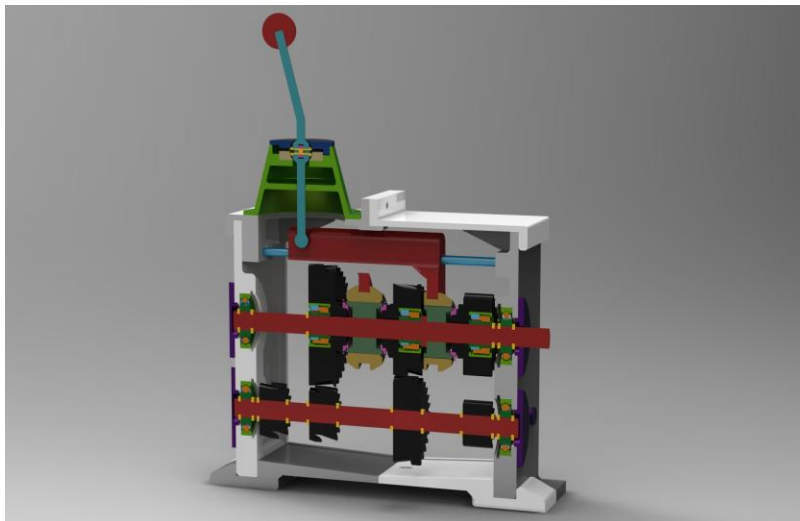
Το KeyShot είναι ένα λογισμικό για 3D rendering και animation για τις γεωμετρίες που δημιουργούνται σε 3D modeling και άλλα CAD (computer-aided design) λογισμικά. Έχει αναπτυχθεί από την Luxion, μια ιδιωτική εταιρεία με έδρα το Irvine, στην Καλιφόρνια και τη Δανία. Είναι η πρώτη που βασίζεται 100% σε CPU, με ray tracing και παγκόσμιο πρόγραμμα φωτισμού σε πραγματικό χρόνο για 3D rendering και animation που χρησιμοποιεί φυσικώς σωστή μηχανή απόδοσης που πιστοποιείται από την CIE (Διεθνής Επιτροπή Φωτισμού) και λειτουργεί σε Microsoft Windows όσο και σε Macintosh υπολογιστές.



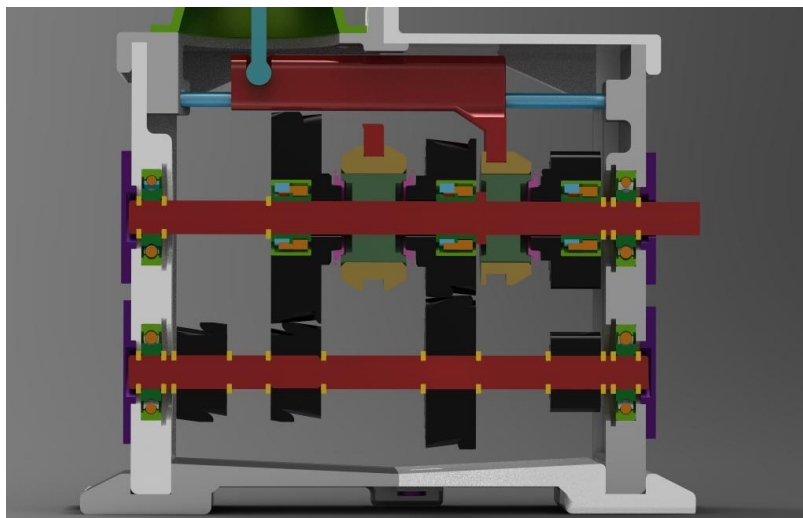
Σχήμα 41: Keyshot rendering 01



Σχήμα 38: Gearbox rendering 01



Σχήμα 39: Gearbox rendering 02



Σχήμα 40: Gearbox rendering 03

## 4.8 Excel

Το πρότυπο που φτιάχτηκε με χρήση ταχείας πρωτοτυποποίησης φέρνει πολλές πληροφορίες και πλέον το προϊόν μπορεί να μελετηθεί από πολλές διαφορετικές οπτικές γωνίες και απόψεις. Ο κάθε τεχνικός που εμπλέκεται με την τελειοποίηση του προϊόντος και το περιβάλλον γύρω από αυτό μέχρι την παραγωγή του, έχει ως σημείο αναφοράς αυτό το 3D τυπωμένο μοντέλο. Η ανατροφοδότηση πολλών στοιχείων οδηγούν ξανά στην αλλαγή του σχεδίου. Για την οργάνωση των πολλαπλών στοιχείων ενός συνόλου μοντέλων, έγινε επιλογή και χρήση του λογισμικού excel, ένα λογισμικό πολύ διαδεδομένο, εύχρηστο και με πολλές δυνατότητες.

Το excel δεν πρέπει να περιέχει ελληνικούς χαρακτήρες και όλα τα δεδομένα που θα συνδεθούν με τιμές ή χαρακτήρες που βρίσκονται στο proe πρέπει να γράφονται στην πρώτη σελίδα του excel. Ουσιαστικά γίνεται σύνδεση κελιών του excel με τιμές του proe, αλλά επειδή δεν είναι ζωντανή σύνδεση, μετά την αλλαγή τιμής στο excel πρέπει να γίνει αποθήκευση του φίλου εργασίας και να γίνει ανανέωση στο σχέδιο (για σύνολο πολλαπλών μοντέλων μπορεί να χρειαστεί να γίνει ανανέωση μερικές φορές). Είναι αδύνατον στο πλαίσιο μιας πτυχιακής να γίνει ένωση όλων των παραμέτρων όλου του συνόλου των κομματιών. Για την επίδειξη της αλληλεπίδρασης τέθηκαν κάποιοι περιορισμοί, όπως σταθερές διαστάσεις κελύφους και αξόνων. Ουσιαστικά ο χρήστης του excel έχει τις δυνατότητες να παίζει με τις σχέσεις μετάδοσης αλλάζοντας τα γρανάζια ανίσοιχων ταχυτήτων.

### 4.8.1 Περιγραφή Excel

Το βασικό excel (excel\_gearbox\_00.xls) είναι αποθηκευμένο στο δημόσιο τμήμα του Dropbox με τον υπερσύνδεσμο μπορεί να γίνει άνοιγμα και χρήση του excel από οποιοδήποτε υπολογιστή με πρόσβαση στο διαδίκτυο. Στην πρώτη σελίδα γίνεται βασική περιγραφή όλων των κομματιών της κατασκευής. Έχει γίνει υπερσύνδεση σε κάθε αντικείμενο μελέτης. Τα αντικείμενα με υπερσύνδεση αναγράφονται με μπλε χρώμα και είναι υπογραμμισμένα. Ο υπερσύνδεσμος κάθε αντικείμενου οδηγεί σε σελίδα μέσα στο excel που περιέχει πληροφορίες για το αντικείμενο η οδηγούν σε ένα άλλο excel για να βρίσκονται όλες οι πληροφορίες στην πρώτη σελίδα.

	<a href="#">eva-01.asm</a>	<a href="#">lilith_01.asm</a>		
	<a href="#">gearbox assembly characteristics</a>	<a href="#">gearbox skeleton assembly characteristics</a>	quantity of designed parts	quantity of printed parts
0	gearbox parts alphabetically	gearbox skeleton assembly		
1	<a href="#">aaa_empty_aaa.prt</a>			
2	<a href="#">axonas_01_solid.prt</a>	body_skel_axonas_1.prt	1	1
3	<a href="#">axonas_02_solid.prt</a>	body_skel_axonas_2.prt	1	1
4	<a href="#">axonas_03_solid.prt</a>	body_skel_axonas_3.prt	1	1
5	<a href="#">axonasr_solid.prt</a>	body_skel_axonas_r.prt	1	1
6	<a href="#">bb01_ball_solid.prt</a>	bb01_1_skel.prt	1	
7	bb01_base_solid.prt	bb01_2_skel.prt	1	1
8	bb01_matrix_solid.prt	bb01_3_skel.prt	1	
9	bb01_up_solid.prt	bb01_4_skel.prt	1	
10	bb02_ball_solid.prt	bb02_1_skel.prt	1	
11	bb02_base_solid.prt	bb02_2_skel.prt	1	1
12	bb02_mattrix_solid.prt	bb02_3_skel.prt	1	
13	bb02_up_solid.prt	bb02_4_skel.prt	1	
14	bb03_ball_solid.prt	bb03_1_skel.prt	1	1
15	bb03_base_solid.prt	bb03_2_skel.prt	1	

16	bb03_matrix_solid.prt	bb03_3_skel.prt	1	
17	bb03_up_solid.prt	bb03_4_skel.prt	1	
18	bb04_ball_solid.prt	bb04_1_skel.prt	1	
19	bb04_base_solid.prt	bb04_2_skel.prt	1	1
20	bb04_matrix_solid.prt	bb04_3_skel.prt	1	
21	bb04_up_solid.prt	bb04_4_skel.prt	1	
22	bb05_ball_solid.prt	bb05_1_skel.prt	1	
23	bb05_base_solid.prt	bb05_2_skel.prt	1	1
24	bb05_matrix_solid.prt	bb05_3_skel.prt	1	
25	bb05_up_solid.prt	bb05_4_skel.prt	1	
26	bb06_ball_solid.prt	bb06_1_skel.prt	1	
27	bb06_base_solid.prt	bb06_2_skel.prt	1	1
28	bb06_matrix_solid.prt	bb06_3_skel.prt	1	
29	bb06_up_solid.prt	bb06_4_skel.prt	1	
30	bb07_ball_solid.prt	bb07_1_skel.prt	1	
31	bb07_base_solid.prt	bb07_2_skel.prt	1	1
32	bb07_matrix_solid.prt	bb07_3_skel.prt	1	
33	bb07_up_solid.prt	bb07_4_skel.prt	1	
34	bb08_ball_solid.prt	bb08_1_skel.prt	1	
35	bb08_base_solid.prt	bb08_2_skel.prt	1	1
36	bb08_matrix_solid.prt	bb08_3_skel.prt	1	
37	bb08_up_solid.prt	bb08_4_skel.prt	1	
38	<a href="#">black steve 01.prt</a>		1	3
39	<a href="#">black steve 02.prt</a>		1	3
40	<a href="#">e base 03.prt</a>		1	1
41	<a href="#">east base 01 silid</a>	body_skel_0002.prt	1	1
42	<a href="#">east base 02 solid</a>	body_skel_0004.prt	1	1
43	<a href="#">east base up.prt</a>		1	1
44	<a href="#">gamma 01 solid.prt</a>	body_skel_gamma1.prt	1	1
45	<a href="#">gamma 02-solid.prt</a>	body_skel_gamma_02.prt	1	1
46	<a href="#">gear180-solid.prt</a>	body_skel_gear-180.prt	1	1
47	<a href="#">gear190 solid.prt</a>	body_skel_gear-190.prt	1	1
48	<a href="#">gear200a solid.prt</a>	body_skel_gear-200a.prt	1	1
49	<a href="#">gear200b solid.prt</a>	body_skel_gear-200b.prt	1	1
50	<a href="#">gear220 solid.prt</a>	body_skel_gear-220.prt	1	1
51	<a href="#">gear280 solid.prt</a>	body_skel_gear-280.prt	1	1
52	<a href="#">gear300 solid.prt</a>	body_skel_gear-300.prt	1	1
53	<a href="#">gear310 solid.prt</a>	body_skel_gear-310.prt	1	1
54	<a href="#">gear410 solid.prt</a>	body_skel_gear-410.prt	1	1
55	<a href="#">gold ring.prt</a>		1	3
56	<a href="#">hex 06.prt</a>		1	8
57	<a href="#">hori ball.prt</a>		1	1
58	<a href="#">hori joystic base solid.prt</a>	body_skel_hori_base.prt	1	1
59	<a href="#">hori joystic solid.prt</a>	body_skel_hori00.prt	1	1
60	<a href="#">hori joystic xx solid.prt</a>	body_skel_hori_xx.prt	1	1
61	<a href="#">hori stop</a>		1	1
62	<a href="#">kappa 00m.prt</a>		1	1
63	<a href="#">kappa up.prt</a>		1	1
64	<a href="#">kappa 00xx.prt</a>		1	1
65	<a href="#">kappa 01xx.prt</a>		1	1
66	<a href="#">kappa 02xx.prt</a>		1	1

67	<a href="#">kappa 05xx.prt</a>		1	1
68	<a href="#">kappa 02.prt</a>		1	1
69	<a href="#">kappa 03.prt</a>		1	1
70	<a href="#">mirror.prt</a>		2	0
71	<a href="#">odigos 01 solid .prt</a>	body_skel_odigos_1.prt	1	1
72	<a href="#">odigos 02 solid .prt</a>	body_skel_odigos_2.prt	1	1
73	<a href="#">rnb01 barrels solid .prt</a>	rnb01_1_skel_.prt	1	
74	<a href="#">rnb01_down_solid_.prt</a>	rnb01_2_skel_.prt	1	1
75	<a href="#">rnb01_matrix_solid_.prt</a>	rnb01_3_skel_.prt	1	
76	<a href="#">rnb01_up_solid_.prt</a>	rnb01_4_skel_.prt	1	
77	<a href="#">rnb02 barrels solid .prt</a>	rnb02_1_skel_.prt	1	
78	<a href="#">rnb02_down_solid_.prt</a>	rnb02_2_skel_.prt	1	1
79	<a href="#">rnb02_matrix_solid_.prt</a>	rnb02_3_skel_.prt	1	
80	<a href="#">rnb02_up_solid_.prt</a>	rnb02_4_skel_.prt	1	
81	<a href="#">rnb03 barrels solid .prt</a>	rnb03_1_skel_.prt	1	
82	<a href="#">rnb03_down_solid_.prt</a>	rnb03_2_skel_.prt	1	1
83	<a href="#">rnb03_matrix_solid_.prt</a>	rnb03_3_skel_.prt	1	
84	<a href="#">rnb03_up_solid_.prt</a>	rnb03_4_skel_.prt	1	
85	<a href="#">screw 05.prt</a>		1	2
86	<a href="#">screw 06.prt</a>		1	6
87	<a href="#">screw allen.prt</a>		1	2
88	<a href="#">sfina blue 32.prt</a>		1	6
89	<a href="#">sfina blue 78.prt</a>		1	1
90	<a href="#">sfina blue 126.prt</a>		1	1
91	<a href="#">spere f20.prt</a>		1	6
92	<a href="#">spring solid .prt</a>		1	6
93	<a href="#">stop green 110.prt</a>		1	26
94	<a href="#">stop green 225.prt</a>		1	4
95	<a href="#">synch 1 1 solid .prt</a>	body_skel_syn_down_	1	1
96	<a href="#">synch 1 2 solid .prt</a>	body_skel_syn_up_	1	1
97	<a href="#">synch 2 1 solid .prt</a>	body_skel_synsyn_d_	1	1
98	<a href="#">synch 2 2 solid .prt</a>	body_skel_synsyn_up_	1	1
99	<a href="#">tappa oil.prt</a>		1	2
100	<a href="#">west base 01 solid.prt</a>	body_skel_0001.prt	1	1
101	<a href="#">west base 02 solid.prt</a>	body_skel_0003.prt	1	1
102	<a href="#">w base 03.prt</a>		1	1
103	<a href="#">west base up.prt</a>		1	1
	total sum	72	101	132

Πίνακας 03: Excel σελίδα 1

#### Χρήση υπερσύνδεσμου παράδειγμα 1.

Αν πατηθεί ο υπερσύνδεσμος [axonas\\_01\\_solid .part](#) γίνεται μεταφορά στη σελίδα του axonas\_01\_solid\_.part.

axonas_01_solid_.prt					
Link					
<a href="#">CREO</a>					
<a href="#">Image</a>	<a href="#">dim/lim</a>				
*note	generation by colour	1	2	3	4
child of					
parent of					
	dimention			Limitation	
	default	D	mm	min	max
1	120	70	mm	50	120
2	110	locked [01]			

Πίνακας 04: Excel: axonas\_01\_solid\_.prt

Για αναγνώριση του κομματιού, υπάρχουν υπερσυνδέσμοι για το μοντέλο το ίδιο και για την εικόνα του κομματιού.

#### Χρήση υπερσυνδέσμου παράδειγμα 2.

Αν πατηθεί ο υπερσύνδεσμος [gear180-solid\\_.prt](#) γίνεται μεταφορά στην σελίδα του gear180-solid\_.prt.

σχεση μεταδοσης		buffer		ib d2/d1	Limitation control
		gear 1	gear 2		
limitation	min	90	160	3,222222222	
	max	220	290	0,727272727	
default		180	200	1,111111111	TRUE
				#DIV/0!	FALSE

επιλογη modul		limitation condition			example
m	d	$z = d / m$	$z = \{N\}$	decimal	
10	180	18	TRUE	0	example 1
7	180	25,71428571	FALSE	0,714285714	example 2
		#DIV/0!		#DIV/0!	

Πίνακας 05: Excel: gear180-solid\_.prt

Η σελίδα του gear180-solid\_.prt. περιέχει υπερσύνδεσμο για το ίδιο το κομμάτι και για την εικόνα του. Μετά ακολουθεί υπερσύνδεσμος για το δεύτερο εμπλεκόμενο γρανάζι. Στη συνέχεια ακολουθούν πίνακες για τον προσδιορισμό της σχέσης μετάδοσης και για τη σωστή επιλογή module. Στα κόκκινα πεδία γίνεται καταχώριση των στοιχείων από το χρήστη. Υπάρχει εξίσωση που ελέγχει και βγάζει κείμενο TRUE or FALSE αν η συνθήκη ισχύει η όχι. Κάτω από τους πίνακες γίνεται καταχώριση αποτελεσμάτων που στη συνέχεια θα μεταφερθούν στο τρισδιάστατο σχέδιο.



## 5 Τεχνολογία των τρισδιάστατων εκτυπωτών

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην τεχνολογία των τρισδιάστατων εκτυπωτών, στην ιστορία εκτύπωσης και στις γενικές αρχές. Γίνεται περιγραφή της διαδικασίας εκτύπωσης από την προετοιμασία μέχρι τη συναρμολόγηση και αναφορά των προβλημάτων που προέκυψαν κατά την εκτύπωση.

### 5.1 Ιστορία εκτύπωσης

Ταξινομημένα σε χρονολογική σειρά τεχνολογίες εκτύπωσης που χρησιμοποιήθηκαν από τον άνθρωπο για περιγραφή και κατασκευή αντικειμένων. Woodblock printing (200), Movable type (1040), Printing press (1454), Etching (ca. 1500), Mezzotint (1642), Aquatint(1768), Lithography (1796), Chromolithography (1837), Rotary press (1843), Offset printing (1875), Hectograph (19th century), Hot metal typesetting (1886), Mimeograph (1890), Screen printing (1907), Spirit duplicator (1923), Dye-sublimation (1957), Phototypesetting (1960s), Dot matrix printer (1964), Laser printing (1969), Thermal printing (ca. 1972), Inkjet printing (1976), Stereolithography (1986), Digital press (1993), 3D printing (ca. 2003).

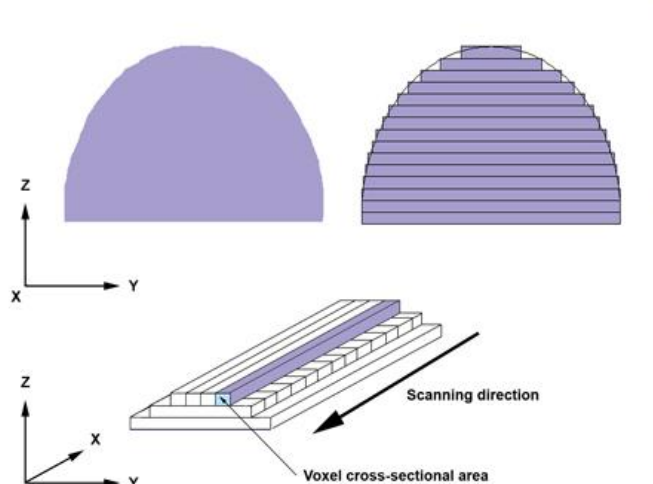
Η πρόσθετης παραγωγής εκτύπωση, γνωστή και ως 3D εκτύπωση, είναι μια διαδικασία κατασκευής τρισδιάστατων στερεών αντικειμένων από ένα ψηφιακό τρισδιάστατο μοντέλο. 3D εκτύπωση επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας διαδικασίες πρόσθεσης ύλης, όπου ένα αντικείμενο δημιουργείται από τη εναπόθεση διαδοχικών στρωμάτων του υλικού. Η 3D εκτύπωση θεωρείται διαφορετική από τις παραδοσιακές τεχνικές κατεργασίας (αφαιρετικές διεργασίες), οι οποίες συνήθως βασίζονται στην αφαίρεση του υλικού από διάτρηση, κοπή κλπ.

Η 3D εκτύπωση γίνεται συνήθως χρησιμοποιώντας έναν εκτυπωτή υλικών και από το 2003 υπήρξε μεγάλη αύξηση στις πωλήσεις των μηχανών αυτών. Επιπλέον, το κόστος των εκτυπωτών 3D έχει μειωθεί. Η τεχνολογία αυτή βρίσκει επίσης χρήση στον τομέα των κοσμημάτων, υποδημάτων, βιομηχανικού σχεδιασμού, αρχιτεκτονικής, μηχανικής και κατασκευών, της αυτοκινητοβιομηχανίας, της αεροδιαστημικής, της οδοντιατρικής και της ιατρικής, της εκπαίδευσης, των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών, έργα πολιτικού μηχανικού και πολλών άλλων.

### 5.2 Γενικές αρχές

Η χρήση της πρόσθετης παραγωγής παίρνει εικονικά σχέδια από το Computer Aided Design (CAD) ή λογισμικό προσομοίωσης animation, τα μετατρέπει σε λεπτές, εικονικές, οριζόντιες διατομές και στη συνέχεια δημιουργεί διαδοχικές στρώσεις μέχρι το μοντέλο να είναι πλήρες. Είναι μια διαδικασία όπου το WYSIWYG (What You See Is What You Get) εικονικό μοντέλο και το φυσικό μοντέλο είναι σχεδόν ταυτόσημα.

Η μηχανή διαβάζει δεδομένα από ένα σχέδιο CAD και καθορίζει τις διαδοχικές στρώσεις υγρού, σκόνης, ή φύλλου υλικού και με αυτόν τον τρόπο ενισχύει το μοντέλο από μια σειρά διατομών. Αυτά τα στρώματα, τα οποία αντιστοιχούν στην εικονική διατομή από το μοντέλο CAD, ενώνονται ή συγχωνεύονται αυτόματα για να δημιουργήσουν το τελικό σχήμα. Το κύριο πλεονέκτημα για την κατασκευή πρόσθετης ύλης είναι η ικανότητά της να δημιουργήσει σχεδόν οποιοδήποτε σχήμα ή γεωμετρικό χαρακτηριστικό.



Σχήμα 41: Τεμαχισμός 3D μοντέλου

Η πρότυπη διεπαφή δεδομένων μεταξύ λογισμικού CAD και των μηχανημάτων είναι η μορφή αρχείου STL. Ένα αρχείο STL προσεγγίζει το σχήμα ενός μέρους ή συνόλου της συναρμολόγησης με τριγωνικές πλευρές (τριγωνοποίηση αντικειμένου). Μικρότερες πτυχές παράγουν υψηλότερη ποιότητα επιφάνειας. VRML (ή WRL) είναι τα αρχεία που χρησιμοποιούνται συχνά ως είσοδοι στις 3D τεχνολογίες εκτύπωσης που είναι σε θέση να τυπώσουν έγχρωμα.

Η κατασκευή ενός μοντέλου με σύγχρονες μεθόδους μπορεί να διαρκέσει από μερικές ώρες έως και αρκετές ημέρες, ανάλογα με τη μέθοδο που χρησιμοποιείται και το μέγεθος και την πολυπλοκότητα του μοντέλου. Συστήματα πρόσθεσης ύλης μπορούν να παράγουν μοντέλα συνήθως μέσα σε λίγες ώρες αν και ο χρόνος μπορεί να διαφέρει σημαντικά ανάλογα με τον τύπο του μηχανήματος που χρησιμοποιείται, το μέγεθος και τον αριθμό των μοντέλων που παράγονται ταυτόχρονα.

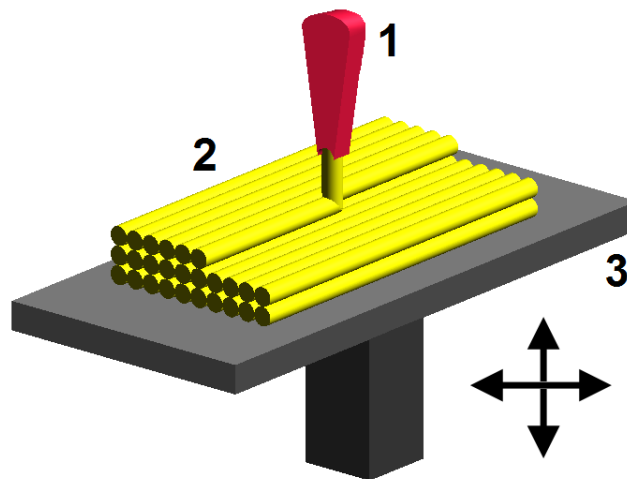
Μερικές τεχνικές κατασκευής πρόσθεσης ύλης χρησιμοποιούν δύο υλικά κατά τη διάρκεια της κατασκευής εξαρτημάτων. Η πρώτη ύλη είναι το υλικό μέρος και το δεύτερο είναι η υλική υποστήριξη (για την υποστήριξη χαρακτηριστικών που προεξέχουν κατά τη διάρκεια της κατασκευής). Το υλικό υποστήριξης αργότερα αφαιρείται με τη θερμότητα ή διαλύεται με ένα διαλύτη ή νερό, ή με το χέρι.

Παραδοσιακά η χύτευση με έγχυση μπορεί να είναι λιγότερο ακριβή για την παραγωγή προϊόντων πολυμερούς σε μεγάλες ποσότητες. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις όπου η κατασκευή με χρήση του τρισδιάστατου εκτυπωτή μπορεί να είναι ταχύτερη και λιγότερο δαπανηρή, ειδικά για την παραγωγή σχετικά μικρών ποσοτήτων ανταλλακτικών. Οι 3D εκτυπωτές δίνουν στους σχεδιαστές και ομάδες ανάπτυξης πρωτοτύπων ιδιών τη δυνατότητα να παράγουν ανταλλακτικά και πρωτότυπα μοντέλα, χρησιμοποιώντας έναν εκτυπωτή με επιτραπέζιο μέγεθος.

### 5.3 Μέθοδος εκτύπωσης-Εναπόθεσης Λιωμένου πολυμερούς

Μοντελοποίηση Εναπόθεσης Λιωμένου πολυμερούς (FDM) είναι μια τεχνολογία που αναπτύχθηκε από την Stratasys στα τέλη της δεκαετίας του 1980, κυκλοφόρησε στο εμπόριο το 1990 και χρησιμοποιείται στην παραδοσιακή ταχεία πρωτοτυποποίησης.

Η FDM λειτουργεί χρησιμοποιώντας ένα πλαστικό νήμα ή ενά σύρμα από μέταλλο το οποίο ξετυλίγεται από ένα πηνίο προμηθεύοντας το υλικό σε ακροφύσιο εξώθησης. Στο ακροφύσιο γίνεται ενεργοποίηση και απενεργοποίηση της ροής. Το ακροφύσιο θερμαίνεται για να λιώσει το υλικό και μπορεί να μετακινηθεί σε οριζόντιες και κάθετες κατευθύνσεις από μηχανισμό με ψηφιακό έλεγχο, που ελέγχονται άμεσα από τον υπολογιστή παραγωγής (CAM) και το αντίστοιχο πακέτο λογισμικού. Το μοντέλο ή μέρος του παράγεται από την διέλαση μικρών ποσότητες θερμοπλαστικού υλικού για να σχηματίσουν στρώματα, καθώς το υλικό σκληραίνει αμέσως μετά την εξώθηση από το ακροφύσιο. Βηματικοί κινητήρες ή κινητήρες σέρβο συνήθως χρησιμοποιούνται για να μετακινήσουν την κεφαλή διέλασης.



Σχήμα 42: Fused εναπόθεση μοντελοποίησης: 1 - ακροφύσιο εξαγωγής τετηγμένου πλαστικού, 2 - αποτεθέν υλικό (μοντελοποιημένο μέρος), 3 - ελεγχόμενο κινητό τραπέζι για διαμόρφωση τεμαχισμού 3D μοντέλου.

Το τετηγμένο πολυμερές που χρησιμοποιείται συχνά είναι ακρυλονιτρίλιο βουταδιενίου στυρολίου (ABS), πολυανθρακικό (PC), πολυγαλακτικό οξύ (PLA), PC / ABS, Polyphenylsulfone (PPSU), Ultem 9085 κλπ.

### 5.4 Τρισδιάστατη εκτύπωση, Διαδικασία



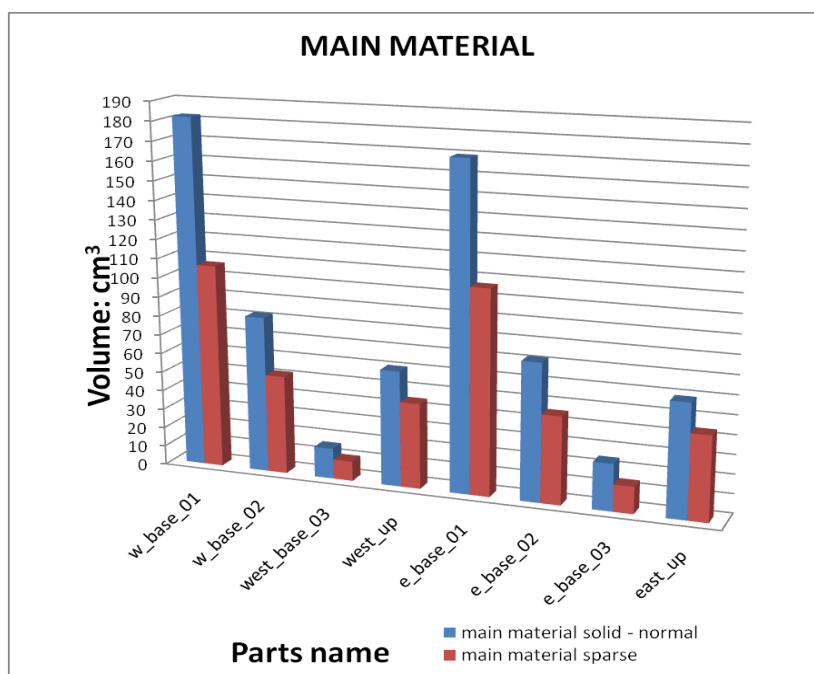
Σχήμα 43: Elite Dimension (αριστερά), BST 768 Dimension (δεξιά)

Το εργαστήριο έχει στη διάθεση του 2 τρισδιάστατους εκτυπωτές της εταιρίας Stratasys. Ο πρώτος εκτυπωτής είναι σειράς Dimension μοντέλο elite. Το υλικό που χρησιμοποιεί είναι ABS+. Ο Dimension elite έχει τη δυνατότητα διαμόρφωσης του πάχους εκτύπωσης με επιλογή κλίμακας. Μεγαλύτερης ακρίβειας είναι 0.1778[mm] και η δεύτερη κλίμακα για γρηγορότερη εκτύπωση αλλά με μικρότερη ακρίβεια είναι 0.254[mm]. Ο δεύτερος εκτυπωτής είναι σειράς Dimension είναι το μοντέλο bst 768 με υλικό ABS και δουλεύει με κλίμακες πάχους εκτύπωσης 0.254[mm] και 0.332[mm]. Το μειονέκτημα του bst 768 σε σχέση με τον elite είναι στο υλικό υποστήριξης. Το ABS support του bst 768 δεν μπορεί να αφαιρεθεί με βραστό ή διαλύτη, οπότε πρέπει να γίνεται έλεγχος της γεωμετρίας για να χρησιμοποιηθεί κατάλληλος εκτυπωτής.

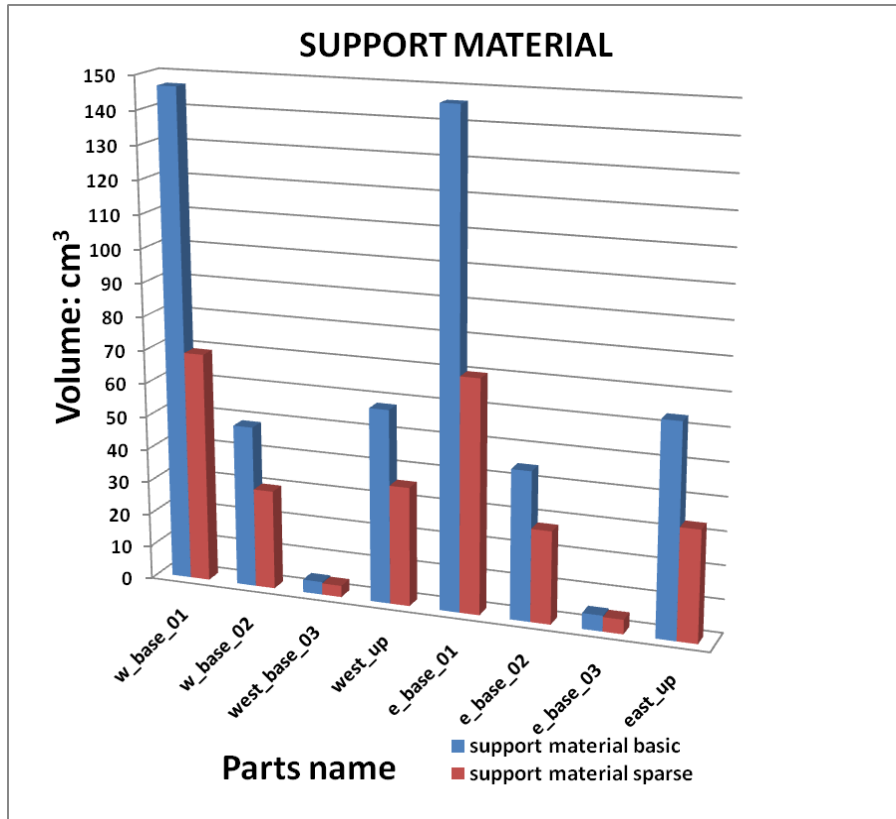
Κριτήρια για επιλογή του εκτυπωτή είναι η γεωμετρία του κομματιού, τα χαρακτηριστικά καμπυλότητας, η τραχύτητα επιθυμητής επιφάνειας, πόσο εύκολα μπορεί να αφαιρεθεί το υλικό υποστήριξης, η στατική κόπωση που δέχεται και η ελαστική παραμόρφωση. Επίσης το λογισμικό της Stratasys που μετατρέπει την STL μορφή του αντικειμένου σε κώδικα της μηχανής έχει τη δυνατότητα ρύθμισης της πυκνότητας του στερεού μοντέλου. Οι επιλογές είναι δύο, solid και sparse.

Το solid (στερεό) κτίζει το μοντέλο με πυκνά στρώματα καταλαμβάνοντας πάνω από το 90% του υλικού. Το λογισμικό έχει αφήσει ανοχή ανάμεσα στις στρώσεις γιατί το υλικό είναι ακόμα ρευστό κατά την χύτευση και δέχεται πίεση από την πάνω στρώση. Για αυτό η διαδρομή κάθε επίπεδου στρώσης ξεκίνα πρώτα από την περίμετρο της γεωμετρίας και μετά γεμίζει στο εσωτερικό της. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το υλικό να απλώνεται εσωτερικά και επιτρέπει τη δημιουργία επιθυμητής γεωμετρίας. Επιλογή sparse αυξομειώνει το χάσμα, ανάμεσα στα περάσματα του υλικού, ανάλογα με την γεωμετρία.

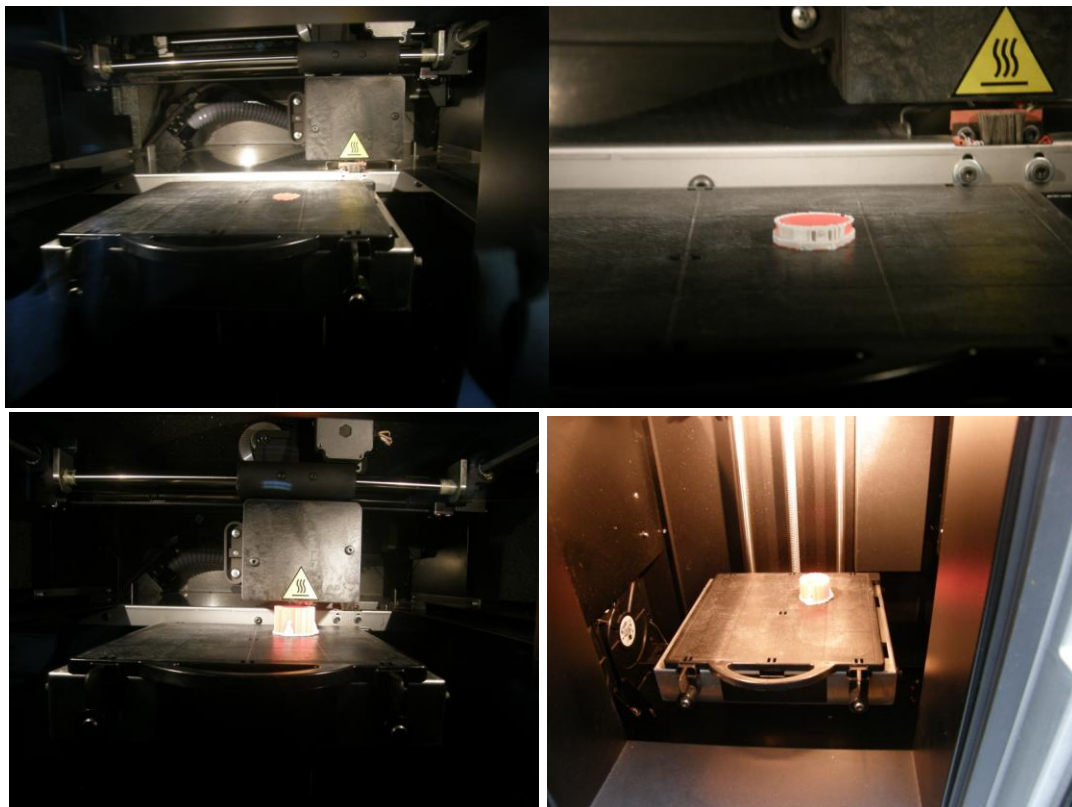
Η επιλογή sparse έχει σκοπό να κρατηθεί την εξωτερική γεωμετρία αναλλοίωτη αλλά και να καταναλώσει όσο δυνατόν λιγότερο υλικό για το εσωτερικό. Έχει γίνει ενδεικτική καταχώριση τιμών του βασικού υλικού και του υλικού ενίσχυσης για έξι κομμάτια διαφορετικής γεωμετρίας και όγκου με ίδιες παραμέτρους έκτος από το εσωτερικό χτίσιμο για να γίνει σύγκριση. Αυτό έδειξε ότι μπορεί να εξοικονομηθεί ακόμα και 42% του βασικού υλικού και 53% του υλικού υποστήριξης.



Σχήμα 44: Διάγραμμα χρήσης βασικού υλικού



Σχήμα 45: Διάγραμμα χρήσης υλικού υποστήριξης



Σχήμα 46: Τύπωση κομματιού

## 5.5 Προετοιμασία, κόστος - προϋπολογισμός

Έχοντας φτάσει το σχεδιαστικό κομμάτι στο τέλος, έπρεπε να γίνει προσαρμογή του σχεδίου σύμφωνα με τον προϋπολογισμό αλλά έχοντας υπόψη και τη λειτουργικότητα και δυνατότητα εκτύπωσης αντιστοιχών κομματιών. Το κομμάτι για αναφορά κλίμακας ήταν το ρουλεμάν και συγκεκριμένα το ελάχιστο μέγεθος της μπίλιας του ρουλεμάν. Για να τηρηθεί ο προϋπολογισμός έγινε καταγραφή χαρακτηριστικών στοιχείων τρισδιάστατης εκτύπωσης του μοντέλου.

Τα χαρακτηριστικά στοιχεία τρισδιάστατης εκτύπωσης του μοντέλου εκτός από τα προφανές δεδομένα δεν μπορούν να δώσουν άμεσα επιπλέον πληροφορίες, αλλά αυτά τα χαρακτηριστικά μπορούν να γίνουν βάση στη μελέτη που έχει σκοπό τη σύγκριση μεθόδων και εργαλείων για κατασκευή πρωτότυπου μοντέλου. Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 06) αναφέρονται τα ολικά άθροισμα των χαρακτηριστικών της τρισδιάστατης εκτύπωσης.

Quantity	model material	total m. material	support material	total s. material	time	total time	m.material/cm <sup>3</sup> /\$	s.material/cm <sup>3</sup> /\$	\$
Ποσότητα	υλικο μοντελου	συν. υλικο μοντελου	υλικό υποστήριξης	συν. υλικό υποστήριξης	χρονος	συνολικο ρ χρονος	κοστος	κοστος υποστήριξης	συνολικο κοστος
	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	hh:mm	hh:mm	cm <sup>3</sup> *\$/cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup> *\$/cm <sup>3</sup>	euro
134	1569,66	1749,73	447,93	507,64	163:22	253:24	680,9804772	194,329718	979,3362

Πίνακας 06: Χαρακτηριστικά στοιχεία τρισδιάστατης εκτύπωσης του μοντέλου

Από τα βασικά γεωμετρικά σχήματα η σφαίρα είναι η μεγαλύτερη πρόκληση για έναν εκτυπωτή. Είχαν γίνει δοκιμές για να προσδιοριστεί η μικρότερη διάμετρος σφαίρας μέσα σε ένα ρουλεμάν που μπορεί να τυπώσει ο εκτυπωτής. Μικρότερη κλίμακα δεν έφερε επιθυμητά αποτελέσματα έχοντας κάποιες σφαίρες με ελλιπή γεωμετρία που συνεπώς οδηγούσε σε μη λειτουργικό σύνολο του ρουλεμάν.

Η κλίμακα που επιλέχτηκε τελικά είναι 0.182 του αρχικού σχεδίου με αποτέλεσμα να δημιουργήσει ένα εντυπωσιακό "λειτουργικό" ρουλεμάν που μετά από την αφαίρεση του υλικού υποστήριξης γυρνάει το εξωτερικό και το εσωτερικό δαχτυλίδι με τις σφαίρες να περιστρέφονται και να παραμένουν στη θέση που τους καθορίζει το βοηθητικό μεσαίο λεπτό δαχτυλίδι. Για καλύτερη ολίσθηση έχει γίνει χρήση ειδικού σπρέι Υγρής Σιλικόνης που είναι ιδανικό για πλαστικές και μέταλλο-πλαστικές επαφές. Αυτού του είδους σπρέι δεν είναι μόνη λύση γιατί το υγρό εξατμίζεται αλλά σίγουρα φέρνει διακριτές αλλαγές στην τριβή και μετά την εξάτμιση του.

Εκτός από τον όγκο του υλικού και το ρεύμα στο κόστος περιλαμβάνονται και τα αναλώσιμα υλικά που χρησιμοποιούνται κατά τη διαδικασία τρισδιάστατης εκτύπωσης. Τα αναλώσιμα υλικά είναι οι βάσεις στις οποίες γίνεται η εκτύπωση με το κόστος κούτας με έξι τεμάχια να είναι 25\$. Για αφαίρεση του υλικού υποστήριξης (Soluble Support Technology) χρησιμοποιήθηκε χημική σκόνη με βάση το υδροξείδιο του νατρίου, κόστος κούτας με 9 δοχεία σκόνης είναι 200\$. Για την εκτύπωση χρειάστηκαν περίπου 15 βάσεις και 2 δοχεία με χημική σκόνη.

## 5.6 Προβλήματα που προέκυψαν κατά την εκτύπωση

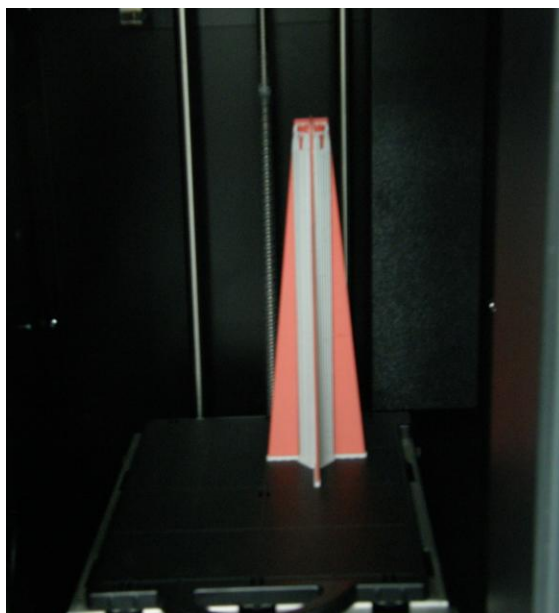
Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω η επιθυμητή γεωμετρία είναι ένα από τα βασικά κριτήρια όταν γίνεται τοποθέτηση και προσανατολισμός του μοντέλου στο εικονικό περιβάλλον λογισμικού που θα βγάλει τη διαδρομή που θα επακολουθήσει η κεφαλή του εκτυπωτή. Όμως αυτός ο προσανατολισμός μπορεί να μην είναι ιδανικός από την άποψη του όγκου υλικού υποστήριξης που θα καταναλωθεί. Επίσης μπορεί να δημιουργηθεί θέμα αστάθειας του κτισμένου μέρους του μοντέλου. Ένα καλό παράδειγμα που η επιθυμητή

γεωμετρία ήταν πρόβλημα στον προσανατολισμό του κομματιού είναι ο άξονας. Επιθυμητή γεωμετρία είναι ο κύκλος αλλά το πρόβλημα είναι το μήκος του άξονα που είναι κάθετος στην επιθυμητή γεωμετρία (βλ. Σχήμα 47).

Το πρόβλημα αστάθειας αντιμετωπίστηκε με πρόσθεση νεύρων στο αρχικό σχέδιο του μοντέλου. Τα νεύρα ενίσχυσαν τον άξονα σε 4 πλευρές και παράλληλα μεγάλωσαν και την επιφάνεια της βάσης κάνοντας την πολύ πιο σταθερή (βλ. Σχήμα 48). Η χρήση των νεύρων δεν απαιτεί μεγάλο όγκο στην βάση, εμπειρικά 1,00 [mm] είναι υπεραρκετό σε όλες της περιπτώσεις. Τα νεύρα που είναι παράλληλα με το μήκος του κτισμένου κομματιού διαφέρουν στην γεωμετρία και στο πάχος ανάλογα με το ύψος και τον όγκο του κομματιού.



Σχήμα 49: Άξονες



Σχήμα 50: Πρόσθήκη νεύρων για αντιμετώπιση προβλήματος αστάθειας

Προβλήματα που μπορούν να προκύπτουν κατά την τύπωση είναι κυρίως η διακοπή παροχής του υλικού από την κεφαλή και ξεκόλλημα του μοντέλου από τη βάση στην οποία

κτίζεται. Αυτά τα προβλήματα μπορούν να οφείλονται στη σκόνη που υπάρχει στο θάλαμο κατασκευής και στην μη τήρηση προδιαγραφών αναλώσιμων υλικών. Προδιαγραφές της Stratasys για την συγκεκριμένη σειρά μηχανημάτων και κασετών που περιέχουν τα υλικά αναφέρει ότι η βάση είναι μιας χρήσεως και αλλοίωση της επιφάνειας επηρεάζει την σταθερότητα του μοντέλου κατά το χτίσιμο. Τα υλικά ABS & ABS+ για να έχουν άριστη απόδοση πρέπει να καταναλωθούν μέσα σε ένα χρόνο μετά την κατασκευή τους, με την αφαίρεση προστατευτικής σακούλας έχουν 3 μήνες πριν αρχίσουν να χάνουν τις ιδιότητες τους και το υλικό πρέπει να καταναλωθεί μέσα σε ένα μήνα στην περίπτωση επαφής με το οξυγόνο. Πρακτικά μετά την ημερομηνία λήξης το υλικό χάνει την ιδιότητα να λιώνει ολοκληρωτικά στους βαθμούς λειτουργίας της μηχανής δημιουργώντας έτσι κόκκους που επηρεάζουν την ροή του ρευστού πλαστικού και την ομαλή τοποθέτηση του. Τα αναλώσιμα υλικά είναι τυλιγμένα σε ρολό και βρίσκονται σε ανθεκτική θήκη ωστόσο υπάρχει πιθανότητα να σπάσει το νήμα αναλώσιμου υλικού, κόβοντας έτσι την παροχή προς την κεφαλή του εκτυπωτή. Η λύση για το πρόβλημα είναι χειροκίνητη αποκατάσταση της ροής που επιτυγχάνεται με άνοιγμα της κεφαλής και τοποθέτησης του νήματος, έτσι ώστε τα γρανάζια υπεύθυνα για την παροχή να μπορούν να τραβήξουν το πλαστικό ξανά. Είναι επιθυμητό να γίνει καλός καθαρισμός των γραναζιών επειδή το τμήμα που βρίσκονται τα γρανάζια ανεβάζει υψηλή θερμοκρασία, όπου και ο παραμικρός κόκκος μπορεί να ξαναπροκαλέσει το ίδιο πρόβλημα.





## 5.7 Ανοχή

Η Ανοχή δεν είναι σταθερός αριθμός που θα μπορούσε να υπολογιστεί από ελάχιστο πάχος στρώσης πλαστικού αλλά εξαρτάται από προσανατολισμό, θέση, μέγεθος και φθορά, όπως επίσης και η χρήση της επιφάνειας. Για παράδειγμα στην εξωτερική επιφάνεια του ρουλεμάν με διάμετρο 40 mm χρησιμοποιήθηκε ανοχή 0.4 με 0.6 mm. Για την περίπτωση επαφής του εσωτερικού δακτύλου του ρουλεμάν που έρχεται σε επαφή με τον άξονα, δεν υπολογίστηκε ανοχή αλλά έγινε χρήση ψιλού γυαλόχαρτου και στις δύο εμπλεκόμενες επιφανείς και συνολικά αφαιρέθηκε κάτι λιγότερο από 0.2 mm.

Οι ασφάλειες που συγκρατούν τα ρουλεμάν και τα γράναζια φτιάχτηκαν από ABS+ υλικό και έδειξαν επιθυμητή ελαστικότητα και αντοχή παρότι έχουν μικρό πάχος. Το ABS παρουσίαστηκε να είναι λιγότερο ελαστικό και λιγότερο ανθεκτικό στις ίδιες γεωμετρίες.



Σχήμα 51: Ρουλεμάν και ασφάλειες.

Για την ασφάλιση του συγχρονιζέ στην ουδέτερη θέση χρησιμοποιήθηκε ένα ελατήριο-ασφάλεια που φτιάχτηκε από ABS+ και αποδείχτηκε λειτουργικό γιατί η διαδρομή αποσυμπίεσης του ελατηρίου για την μεταφορά της σφαίρας που ασφαλίζει το συγχρονιζέ είναι πολύ μικρή και το βάρος της σφαίρας δεν επηρεάζει το ελατήριο. Για μεγαλύτερες διαδρομές θα ήταν προτιμότερο να γίνει αλλαγή στη διατομή του ελατηρίου και όχι πολύ μεγάλη αύξηση στο άνοιγμα του σπειρώματος γιατί ο τρόπος χτισίματος του ελατηρίου απαγορεύει μεγαλύτερη κλήση. Βίδες και παξιμάδια δεν ακολουθούν τα διεθνή πρότυπα ISO για αυτό έγινε και τύπωση γερμανικού και Allen κλειδιού.



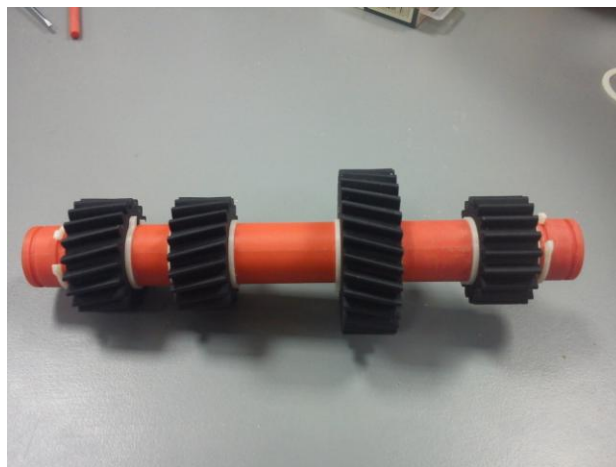
Σχήμα 52: Ελατήριο για ασφάλιση του συγχρονιζέ στην ουδέτερη θέση (κάτω δεξιά)

## 5.8 Συναρμολόγηση

Η συναρμολόγηση έγινε σε δυο μέρες και είναι ένα σημαντικό στάδιο μελέτης της κατασκευής υλικών και απόδοσης μηχανής. Έγινε έλεγχος, μέτρηση και εξέταση κάθε επιφάνειας. Χρειάστηκε να γίνει χρήση ψιλού γυαλόχαρτου για επεξεργασία της επιφάνειας. Γενικά αφαιρέθηκε ελάχιστη επιφάνεια σε ελάχιστα κομμάτια ύψους περίπου 0.1[mm]. Ως διαδικασία η συναρμολόγηση ήταν χρονοβόρα και απαιτούσε προσοχή και υπομονή γιατί το μεγαλύτερο μέρος της κατασκευής είχε σφηνωτή συνδεσμολογία με ελάχιστη έως μηδαμινή ανοχή. Η σειρά συναρμολόγησης είναι προκαθορισμένη και δεν προσφέρει πολλές παραλλαγές.



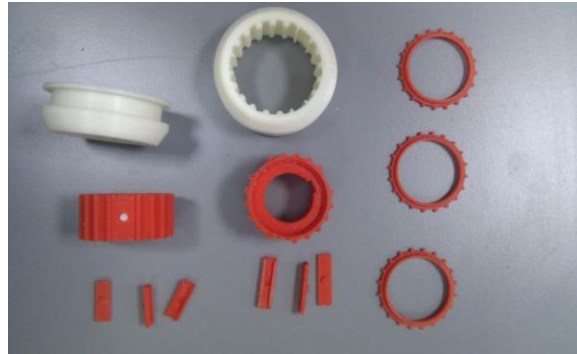
Σχήμα 53: Πανοραμική όψη κατασκευής πριν την συναρμολόγηση.



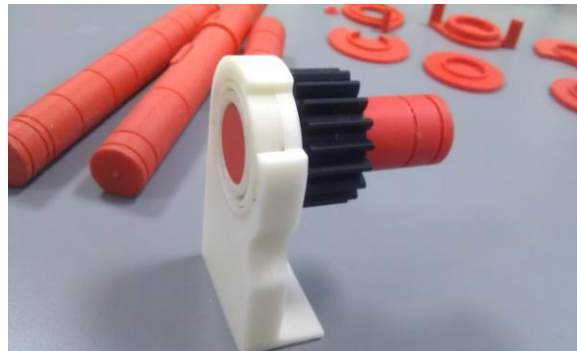
Σχήμα 54: Άξονας με ασφάλειες και γρανάζια.



Σχήμα 55: Γρανάζια με Σφαιρικό κυλινδρικά ρουλεμάν.



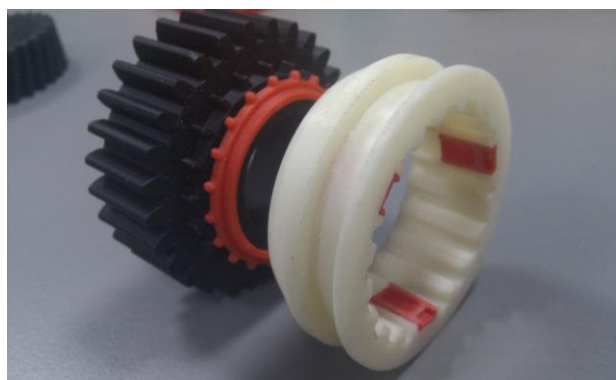
Σχήμα 56: Αντικείμενα Συγχρονιζέ.



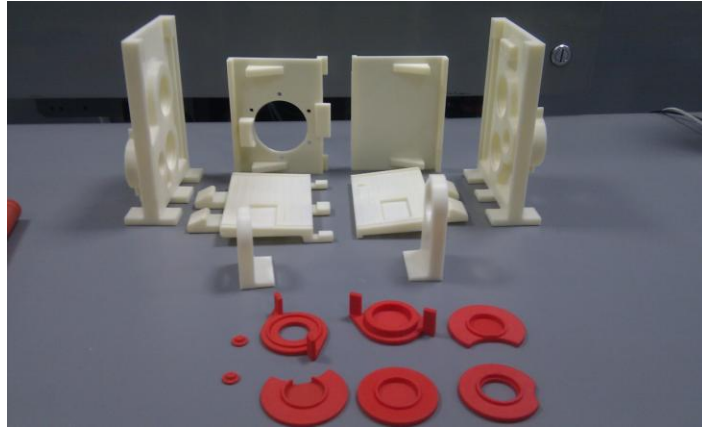
Σχήμα 57: Ρουλεμάν με άξονα μέσα στην υποδοχή του.



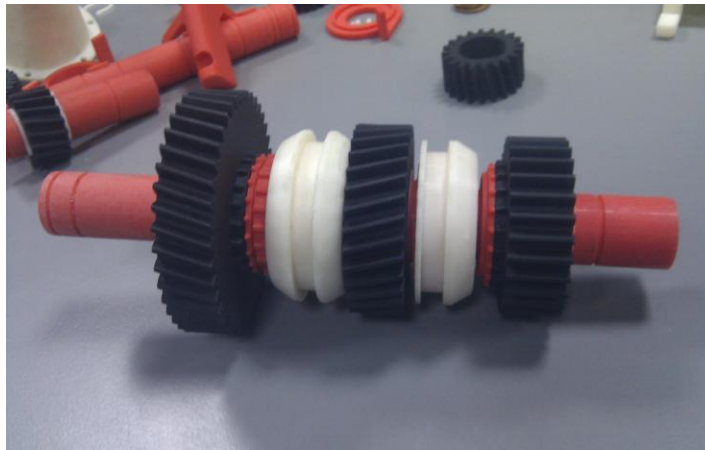
Σχήμα 58: Συγχρονιζέ με Γρανάζια



Σχήμα 59: Συγχρονιζέ



Σχήμα 60: Κέλυφος



Σχήμα 61: Άξονας με γρανάζια και συγχρονιζέ.



Σχήμα 62: Συναρμολογημένος μοχλός

## 6 Συμπεράσματα

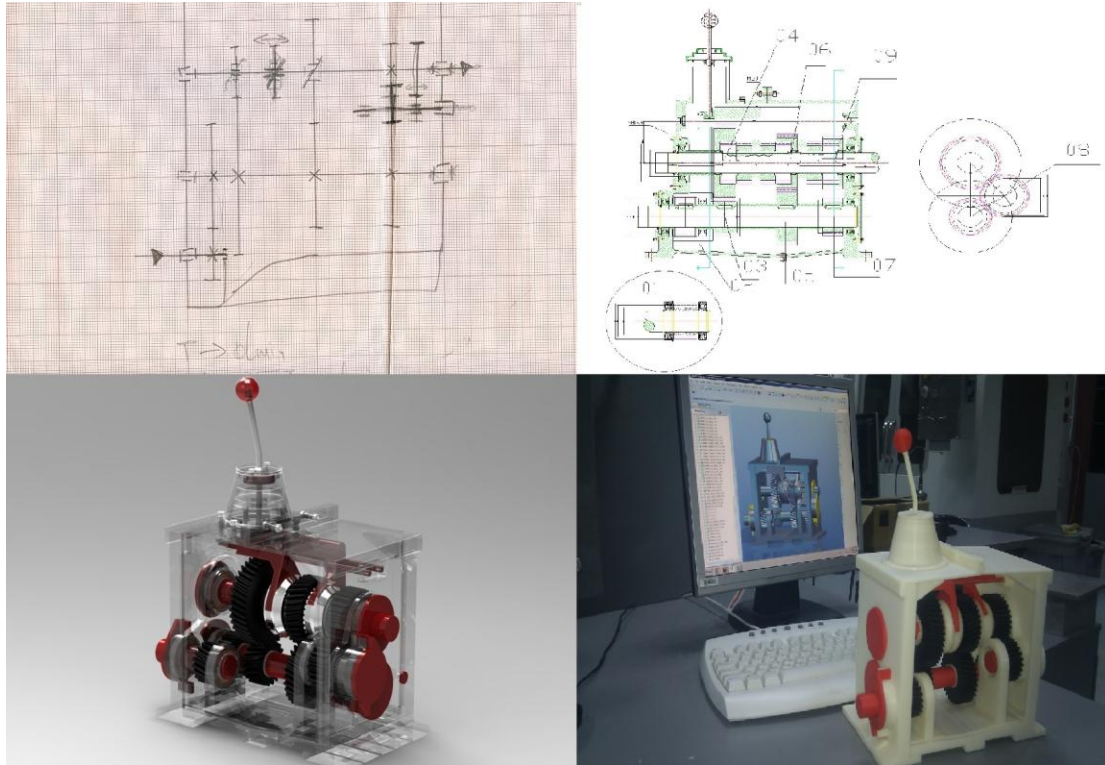
Τα αντικείμενα μελέτης και κατασκευής γίνονται πιο περίπλοκα και σύνθετα. Για την κατασκευή και μελέτη τους μπαίνουν παράγοντες ώστε το νέο προϊόν να είναι οικονομικό, οικολογικό, οπτικά ελκυστικό και λειτουργικό. Συνεπώς το προϊόν, το μοντέλο προς μελέτη και σχεδίαση, περιλαμβάνει στον κύκλο ζωής του άτομα με πολλές διαφορετικές ιδιοκτήτες. Τα άτομα αυτά τροφοδοτούν το ένα το άλλο για να καταλήξουν στην τελική μορφή του μοντέλου. Υπάρχει ανάγκη εύκολης και άμεσης έκφρασης όπως και συνεννόησης όταν πρόκειται για σύνθετα σύνολα μοντέλων. Το λογισμικό της PTC ProE / creo elements είναι πολύ ισχυρό παραμετρικό εργαλείο σχεδίασης. Το ProE προσφέρει πολύ καλά εργαλεία για top down προσέγγιση σχεδίασης σύνθετων συνόλων μοντέλων. Επίσης έχει πολλές επεκτάσεις που δίνουν δυνατότητα μελέτης, ανάλυσης του αντικειμένου και μετατροπής του σχεδίου σε μορφές προσιτές σε διάφορες ομάδες μελετητών. Η τεχνολογία της 3D εκτύπωσης είναι ένας σταθμός στην εξέλιξη της σχεδίασης και της παραγωγής πρωτοτύπων. Προσφέρει πολλές πληροφορίες με οπτική άποψη του αντικειμένου. Το πρωτότυπο είναι φτιαγμένο από αρκετά σκληρό και ελαστικό πλαστικό, το οποίο μπορεί να είναι και τελικό προϊόν ή με λίγη επεξεργασία επιφανείας μπορεί να γίνει υπόδειγμα για καλούπι. Η διαδικασία αυτή προσέγγισης τελικού προϊόντος με 3D εκτύπωση μειώνει δραματικά το κόστος και το χρόνο κατασκευής.

PTC είναι μια εταιρία που αναπτύσσει, εμπορεύεται και υποστηρίζει λογισμικά για την ανάπτυξη προϊόντων. Τα κύρια προϊόντα της είναι για κατηγορίες CAD/CAM, μηχανολογικών υπολογισμών, και διαχείρισης του κύκλου ζωής των προϊόντων. Η PTC έχει πέντε οικογένειες βασικών προϊόντων: Creo (που περιλαμβάνει τα προϊόντα παλαιότερα γνωστά ως Pro / ENGINEER, CoCreate και ProductView), Windchill, Arbortext, Mathcad, και Integrity.

Το Creo είναι ένα σχεδιαστικό λογισμικό που υποστηρίζει το σχεδιασμό του προϊόντος και έχει αναπτυχθεί από PTC. Το λογισμικό αποτελείται από εφαρμογές, παρέχοντας κάθε μια ξεχωριστή σειρά από δυνατότητες στην ανάπτυξη του προϊόντος. Το Creo λειτουργεί σε περιβάλλον Microsoft Windows και παρέχει εφαρμογές για το σχεδιασμό 2D, 3D CAD με παραμετρικό χαρακτηριστικό μοντελοποίησης στερεών, 3D direct modeling, CAM, Finite Element Analysis and Simulation, Schematic design, Technical Illustrations, viewing and visualization. Το πακέτο εφαρμογών Creo αντικαθιστά τα προϊόντα της PTC παλαιότερα γνωστά ως Pro / ENGINEER, CoCreate, και ProductView.

Η Luxion κυκλοφόρησε την έκδοση του KeyShot 3.2 τον Μάιο του 2010. Είναι πιο ελαφρύ με μεγαλύτερες βιβλιοθήκες. Το Matlab 2012 περιλαμβάνει function blocks νέας γενιάς που ενισχύουν το simulink τομέα. Ένα άλλο εργαλείο που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για ανάλυση είναι το λογισμικό comsol multiphysics που έχει τη δυνατότητα live link interaction με Creo / ProE και Matlab.

Η τεχνολογία των 3D εκτυπωτών έχει εξελιχθεί αρκετά, από μοντέλα στην αγορά για οικιακή χρήση ή μια μικρή επιχείρηση μέχρι μηχανήματα με ακρίβεια που φτάνει τα 10 [μm]. Μπορούν να τυπωθούν πολύχρωμα αντικείμενα ή να αποτελούνται από διαφορά υλικά.



Σχήμα 63: Τέσσερις τρόποι εκπόνησης μοντέλου κατασκευαστικής μελέτης.

## 6.1 Βιβλιογραφικές πηγές

### 6.1.1 Βιβλία

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΗΧΑΝΩΝ Ι – ΣΤΕΡΓΙΟΥ – ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΕΚΔΟΤΙΚΗ - 2003

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΗΧΑΝΩΝ ΙΙ – ΣΤΕΡΓΙΟΥ- ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΕΚΔΟΤΙΚΗ – 2002

ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΟΥ – ΕΜΜ.ΜΠΟΥΖΑΚΗ – ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΓΙΑΧΟΥΔΗ – 1985

### 6.1.2 Άρθρα

Wikipedia article “Transmission (mechanics)”

Wikipedia article “Visualization (computer graphics)”

Wikipedia article “Computer-aided design”

Wikipedia article “Mechanical engineering”

The British museum article:

[http://www.britishmuseum.org/explore/highlights/article\\_index/g/gudea,\\_king\\_of\\_lagash.aspx](http://www.britishmuseum.org/explore/highlights/article_index/g/gudea,_king_of_lagash.aspx)

The evolution and the future of mechanical design article:

<http://asmejmd.org/editorial/the-evolution-and-the-future-of-mechanical-design/>

From Drafting to Modern Design Representation: The Evolution of Engineering Design Graphics:

<http://www.jee.org/1994/july/124.pdf>

### 6.1.3 Ιστοσελίδες

<http://allmesopotamia.tumblr.com/post/9172530984/headless-statue-of-gudea-king-of-lagash-gudea>

HTML report:

[https://dl.dropbox.com/u/8421007/creo/HTML\\_Results\\_Report\\_60N/HTML\\_Results\\_Report\\_60N.html](https://dl.dropbox.com/u/8421007/creo/HTML_Results_Report_60N/HTML_Results_Report_60N.html)

<https://www.ptc.com/>

<https://www.dropbox.com/>

<http://www.keyshot.com/>

<http://www.mathworks.com/products/simmechanics/>

<http://www.mathworks.com/help/toolbox/physmod/mech/>

<http://www.matweb.com/>



#### 6.1.4 Youtube Βίντεο που περιγράφουν την πτυχιακή

<http://www.youtube.com/user/onetwoJANGO/videos>

Export xml files from Pro Engineer models for SimMechanics

<http://www.youtube.com/watch?v=wOOaVMV3r-o&feature=plcp>

Helical gear tutorial (parts 1 - 4)

<http://www.youtube.com/watch?v=MunzLXzmGBk&feature=plcp>

How to import data from excel to proe

<http://www.youtube.com/watch?v=-cRxoSNz03I&feature=plcp>

pro/e wildfire 3.0 gear mechanism animation

<http://www.youtube.com/watch?v=IY5hCW XvUqA&feature=plcp>

Pro/Engineer Gearbox Animation:

<http://www.youtube.com/watch?v=wUeCKuoicpl&feature=plcp>

3D Printed Synchro Gearbox

<http://www.youtube.com/watch?v=LBqP1MkSxMU&feature=plcp>