
**ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ**

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ Τ.Ε.



**ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΕ
ΤΡΙΔΙΑΣΤΑΤΗ ΕΚΤΥΠΩΣΗ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ
ΚΙΒΩΤΙΟΥ 5+1 ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΤΣΙΤΣΙΚΑ ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ

2018/13

Επιβλέπων: Αναπληρωτής καθηγητής Γεώργιος Παραδεισιάδης

ΣΙΝΔΟΣ, 2018

Αφιέρωση

Η παρούσα πτυχιακή εργασία είναι αφιερωμένη στους γονείς μου.

Πίνακας Περιεχομένων

Κατάλογος σχημάτων 1

Πρόλογος 4

Περίληψη/Abstract 5

Ευχαριστίες/Acknowledgements 6

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ 7

1.1 Γεωμετρική μοντελοποίηση και η υπάρχουσα κατάσταση της γραφικής εκπόνησης της κατασκευαστικής μελέτης. 7

1.2 Οπτική σκέψη 9

1.3 Παραστατική Γεωμετρία. 10

1.4 Οπτικοποίηση (γραφικά υπολογιστών)/Visualization (computer graphics) 10

1.5 Φυσική μοντελοποίηση (Physical model) 11

1.6 Οπτικό-Φωτορεαλιστική απεικόνιση (Rendering). 11

2 ΚΙΒΩΤΙΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ 12

2.1 Συμπλέκτης. 12

2.2 Κιβώτιο ταχυτήτων 12

2.3 Σχέσεις μετάδοσης 13

2.4 Τύποι συστημάτων μετάδοσης κίνησης σε οχήματα 15

2.5 Διαφορικό 16

3 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΤΡΙΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ 17

3.1 Εισαγωγή στην μέθοδο της τριδιάστατης εκτύπωσης. 17

3.2 Διαδικασία κατασκευής αντικειμένων με προσθετική κατεργασία 18

3.3 Μέθοδοι προσθετικής κατεργασίας.	22
3.4 Μέθοδος εναπόθεσης τηκόμενου υλικού (FDM)	24
3.5 Επιλογή υλικού	25
3.6 Ποσοστό και πρότυπο πλήρωσης.	27
3.7 Πάχος τοιχωμάτων.	29
3.8 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της προσθετικής κατεργασίας έναντι της αφαιρετικής κατεργασίας	30
3.9 Ελαττώματα αντικειμένων με τη μέθοδο της εναπόθεσης τηγμένου υλικού (FDM).	33
3.9.1 Ασυνέχειες	33
3.9.2 Παραμόρφωση τοιχώματος βάσης	34
3.9.3 Κύρτωση	35
3.9.4 Ελλιπής αποκόλληση νήματος στα διάκενα	35
3.9.5 Γραμμώσεις/Γρατσουνιές	37
4 ΚΙΒΩΤΙΟ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ	39
4.1 Περιγραφή του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης και των κύριων εξαρτημάτων του.	39
4.2 Κέλυφος και καπάκια	40
4.3 Άξονες και άτρακτοι.	44
4.4 Οδοντωτοί τροχοί	45
4.5 Έδρανα κύλισης	46
4.6 Συγχρονιστές (blocker ring synchromesh unit).	50
4.7 Δίχαλα.	53
4.8 Επιλογέας ταχυτήτων.	54
4.9 Δακτύλιοι - αποστατήρες.	55

5 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	57
5.1 Προγραμματισμός της κατασκευής.	57
5.2 Αποσυναρμολόγηση και διαστασιολόγηση του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης	57
5.3 Αφαιρετική διαδικασία.	58
5.4 Σχεδίαση και συναρμολόγηση στο εικονικό περιβάλλον	59
5.5 Ανάθεση σε εργαστήριο	59
5.6 Ποιοτικός έλεγχος κατά την παραλαβή, διορθώσεις και τελική συναρμολόγηση.	60
5.7 Χαρακτηριστικά μεγέθη οδοντωτών τροχών.	60
5.8 Κατασκευή του κελύφους.	72
5.9 Κατασκευή των ράβδων επιλογής	74
5.10 Στήριξη των ράβδων επιλογής	75
5.11 Κατασκευή της έδρασης του μοχλού επιλογής στις ράβδους επιλογής.	76
5.12 Προβλήματα που παρουσιάστηκαν κατά την εκπόνηση της εργασίας	77
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	83
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΥΝΤΑΞΗ ΑΝΑΦΟΡΩΝ	84

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχ.1.1.1	Παράδειγμα εξέλιξης σχεδιασμού	8
Σχ.1.2.1	Το μοντέλο του McKim "οπτική σκέψη"	9
Σχ.2.1.1	Συμπλέκτης	12
Σχ.2.2.1	Φωτογραφία μηχανικού κιβωτίου μετάδοσης κίνησης	13
Σχ.2.3.1	Διάγραμμα κλιμάκωσης σχέσεων μετάδοσης συγκριτικά με την υπερβολή της δύναμης πρόωσης	14
Σχ.2.5.1	Διαφορικό	16
Σχ.3.1.1	Συγκόλληση στρωμάτων υλικού τα οποία αντιστοιχούν στην εικονική διατομή από το μοντέλο του προγράμματος σχεδίασης (CAD).	17
Σχ.3.2.1	Σχηματική απεικόνιση διαδικασίας παραγωγής ενός αντικειμένου με χρήση προσθετικής καταργασίας	19
Σχ.3.2.2	Μοντέλο οδοντωτού τροχού σε αναπαράσταση στερεολιθογραφίας (STL).	20
Σχ.3.2.3	α) Υποστηρικτική δομή σε κέλυφος εδράνου κύλισης, β) Αστοχία κατασκευής λόγω βάρους σε μοντέλο με έλλειψη υποστηρικτικής δομής	21
Σχ.3.2.4	α) Πολυεδρικό αρχείο STL, β) Ιεραρχική στοιβάδα διατομών με υποστηρικτική δομή, γ) Ιεραρχική στοιβάδα διατομών χωρίς υποστηρικτική δομή	21
Σχ.3.4.1	Σχηματική απεικόνιση της λειτουργίας ενός τυπικού εκτυπωτή ανοικτού τύπου εναπόθεσης τηγμένου υλικού	24
Σχ.3.4.2	Εκτυπωτής κλειστού τύπου εναπόθεσης τηγμένου υλικού	25
Σχ.3.6.1	Παραδείγματα ποσοστών πλήρωσης μοντέλου	27
Σχ.3.6.2	Παραδείγματα ποσοστών και προτύπων πλήρωσης	28
Σχ.3.7.1	Σχηματική απεικόνιση διαφορετικών παχών των τοιχωμάτων	29
Σχ.3.9.1	Επιφανειακές ασυνέχειες στο επάνω μέρος του αντικειμένου (Pillowing)	33
Σχ.3.9.2	Το φαινόμενο γνωστό ως πόδι του ελέφαντα (elephant's foot) που περιγράφει την παραμόρφωση στην βάση του αντικειμένου	34
Σχ.3.9.3	Κύρτωση στην βάση του αντικειμένου (wrapping)	35
Σχ.3.9.4.1	Το φαινόμενο Stringing. Πρόκειται για ελλειπή αποκόλληση του νήματος πλαστικού κατά την δημιουργία διάκενων.	35
Σχ.3.9.4.2	Εξάλειψη του φαινομένου αποκόλλησης νήματος με μετατόπιση της θερμοκρασίας του ακροφυσίου εξώθησης	36
Σχ.3.9.5	Γραμμώσεις στην άνω επιφάνεια του αντικειμένου	37
Σχ.4.1.1	Απεικόνιση κιβωτίου μετάδοσης κίνησης και στοιχεία εξαρτήματος.	39

- Σχ.4.1.2** Θέση του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης σε σχέση με το πλαίσιο του οχήματος σε οπισθοκίνητο όχημα. 40
- Σχ.4.2.1** Α) Κέλυφος κιβωτίου, Β) Προέκταση κελύφους κιβωτίου και έδρασης επιλογέα ταχυτήτων, Γ) Περίβλημα σφονδύλου και συμπλέκτη (καμπάνα), Δ) Καπάκι κελύφους και στήριξης ντιζών επιλογέα ταχυτήτων. Ε) Καπάκι στεγανοποίησης κατά την διέλευση της ατράκτου εισόδου στο κιβώτιο 40
- Σχ.4.2.2** Απεικόνιση της θέσης έδρασης του οδοντωτού τροχού μέτρησης στροφών41
- Σχ.4.2.3** Αριστερά ανεπτυγμένη όψη των επιμέρους εξαρτημάτων του μηχανισμού επιλογής σχέσης μετάδοσης, δεξιά πλήρως συναρμολογημένη απεικόνιση 42
- Σχ.4.2.3** Αριστερά ο οδηγός που εδράζεται στη ράβδο που φέρει το δίχαλο για την επιλογή της όπισθεν και 1^{ης} σχέσης μετάδοσης. Δεξιά ο μηχανισμός των συγκρατητών, πλήρως συναρμολογημένος 43
- Σχ.4.3.1** Άξονες και άτρακτοι του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης αριστερά και οι αντίστοιχοι εκτυπωμένοι δεξιά. Α) ενδιάμεση άτρακτος. Β) άτρακτος εξόδου. Γ) άξονας έδρασης οδοντωτού τροχού. Δ) άτρακτος εισόδου 44
- Σχ.4.4.1** Απεικόνιση των οδοντωτών τροχών του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης. 45
- Σχ.4.4.2** Α) Χαρακτηριστικά «τρελού» οδοντωτού τροχού ενός κιβωτίου μετάδοσης κίνησης 45
- Σχ.4.5.1** Απεικόνιση των κατηγοριών των εδράνων κύλισης του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης 46
- Σχ.4.5.2** Ανεπτυγμένη όψη ένσφαιρου εδράνου κύλισης 47
- Σχ.4.5.3** Ανεπτυγμένη όψη κωνικού εδράνου κύλισης 48
- Σχ.4.5.4** Ανεπτυγμένη όψη βελονοειδούς εδράνου κύλισης 48
- Σχ.4.5.5** Ανεπτυγμένη όψη κυλινδρικού εδράνου κύλισης 49
- Σχ.4.6.1** Ανεπτυγμένη όψη του συστήματος συγχρονισμού ενός κιβωτίου μετάδοσης κίνησης 50
- Σχ.4.6.2** Ισομετρική όψη των: Α) Κορμός συγχρονιστή, Β) Κόμπλερ 51
- Σχ.4.6.3** Ισομετρική όψη του δακτυλίου συγχρονισμού και τομή της σύμπλεξης του με τον οδοντωτό τροχό 52
- Σχ.4.6.4** Α) Σύστημα συγχρονισμού με το κόμπλερ σε άεργη θέση (νεκρά), Β) Προ-συγχρονισμός (κόμπλερ-δακτυλίου) και Γ) Συγχρονισμός (κόμπλερ-οδοντωτού τροχού) 53

- Σχ.4.7.1** Απεικόνιση των δίχαλων του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης 53
- Σχ.4.8.1** Απεικόνιση επιλογέα ταχυτήτων και εξαρτημάτων του. Επάνω αριστερά πλήρως συναρμολογημένο μοντέλο κιβωτίου μετάδοσης κίνησης και δεξιά απομόνωση του συστήματος επιλογής ταχυτήτων. Κάτω ανεπτυγμένη όψη των εξαρτημάτων του συστήματος επιλογής ταχυτήτων. 54
- Σχ.4.9.1** Απεικόνιση των δακτυλίων και αποστατήρων του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης 55
- Σχ.5.7.1** Σχηματική απεικόνιση της μεθόδου για την δημιουργία της οδόντωσης που χρησιμοποιήθηκε 62
- Σχ.5.7.2** Παράσταση του πρώτου ζεύγους σύμπλεξης του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης 64
- Σχ.5.7.3** Παράσταση του δεύτερου ζεύγους σύμπλεξης του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης 65
- Σχ.5.7.4** Παράσταση του τρίτου ζεύγους σύμπλεξης του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης 67
- Σχ.5.7.5** Παράσταση του τέταρτου ζεύγους σύμπλεξης του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης 68
- Σχ.5.7.6** Παράσταση του πέμπτου ζεύγους σύμπλεξης του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης 70
- Σχ.5.7.7** Παράσταση της έκτης ομάδας σύμπλεξης του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης 71
- Σχ.5.8.1** Αριστερά το αρχικό κέλυφος του κιβωτίου, στη μέση η πρώτη επιλογή υλικού κατασκευής του κελύφους ανοικτού τύπου (plexiglass) και δεξιά το τελικό κέλυφος ανοικτού τύπου κατασκευασμένο από ινοσανίδα 73
- Σχ.5.8.2** Το αυτόματο μηχάνημα κοπής ξύλου (CNC) που χρησιμοποιήθηκε για την διαμόρφωση των τεμαχίων του κελύφους 74
- Σχ.5.9.1** Δεξιά οι ράβδοι επιλογής όπως σχεδιάστηκαν και συναρμολογήθηκαν στο πρόγραμμα. Αριστερά επάνω η αρχική ράβδος επιλογής από αλουμίνιο. Παρατηρούνται απότομες στενώσεις στις γωνίες της. Αριστερά κάτω η ράβδος επιλογής κατασκευασμένη από χαλκοσωλήνα, γωνίες χαλκοσωλήνα και συγκολλημένη με ορείχαλκο και βόρακα στη μέση της 75
- Σχ.5.10.1** Κατεργασία του κελύφους του κιβωτίου για τη δημιουργία των αυλακών 76
- Σχ.5.11.1** Αριστερά οι ράβδοι επιλογής με τα σημεία στήριξης στο πλήρως συναρμολογημένο μοντέλο, δεξιά τα μεμονωμένα σημεία στήριξης 76
- Σχ.5.12.1** Τμηματική απεικόνιση των ατράκτων και αξόνων πριν την εκτύπωση 81
- Σχ.5.12.2** Αλλαγή πρότυπου επιλογής για κατασκευαστικούς λόγους 82

Πρόλογος

Η πτυχιακή εργασία ξεκίνησε τον Ιούνιο του 2016 και ολοκληρώθηκε, σε ότι αφορά την υλοποίηση του μοντέλου, τον Σεπτέμβριο του 2018. Το πρώτο έτος αφιερώθηκε εξ ολοκλήρου στον σχεδιασμό και την διαστασιολόγηση των επιμέρους εξαρτημάτων του κιβωτίου, και ακολούθησαν δέκα μήνες κατασκευής, δοκιμής και ελέγχου των κομματιών.

Περίληψη

Η παρούσα εργασία έχει σκοπό την σχεδίαση και κατασκευή τριδιάστατου διδακτικού βοηθήματος το οποίο θα παρουσιάζει την λειτουργία ενός μηχανικού κιβωτίου μόνιμης εμπλοκής σταθερών αξόνων, πέντε συν μίας σχέσεων με συγχρονιστές. Γίνεται περιγραφή του σχεδιασμού του μοντέλου το οποίο αποτελείται από ένα σύνολο επιμέρους διαδραστικών μοντέλων, από τη σύλληψη της ιδέας μέχρι και την υλοποίησή του, με την βοήθεια της μεθόδου τριδιάστατης εκτύπωσης.

Abstract

The present thesis aims at designing and constructing a three-dimensional teaching aid, which will present the operation of a manual transmission with constant gear mesh and shaft distance, of five plus one gears with blocker ring synchronism units. A description of the design of the model is made, which consists of a set of individual interactive models, from the conception of the idea to its implementation with the help of the three-dimensional printing method.

Ευχαριστίες

Αυτό το ταξίδι δεν θα ήταν εφικτό χωρίς την υποστήριξη της οικογένειάς μου, των καθηγητών και των φίλων μου. Ευχαριστώ την οικογένειά μου που με ενθάρρυνε σε όλες μου τις επιδιώξεις και με ώθησε να ακολουθήσω τα όνειρά μου. Είμαι ιδιαίτερα ευγνώμων στους γονείς μου, που με στήριξαν συναισθηματικά και οικονομικά. Πάντα ήξερα ότι πιστεύανε σε μένα και θέλανε το καλύτερο. Τους ευχαριστώ που με διδάξανε ότι ο σκοπός στη ζωή είναι να μαθαίνω, να είμαι ευτυχισμένος να γνωρίζω και να κατανοώ τον εαυτό μου. Μόνο τότε θα μπορούσα να γνωρίσω και να κατανοήσω τους άλλους. Πρέπει να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές του τμήματος μηχανολογίας οχημάτων με τους οποίους συνεργάστηκα τα τελευταία τέσσερα χρόνια για να μου δείξουν τι σημαίνει να είμαι αφοσιωμένος στον στόχο μου. Ο καθένας με τον δικό του μοναδικό τρόπο. Όλοι διαθέσανε τον πολύτιμο χρόνο τους, την ενέργεια και την εμπειρία τους για να με εμπλουτίσουν με γνώσεις. Θα ήθελα ακόμη να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Γεώργιο Παραδεισιάδη, για την σταθερή υποστήριξη και καθοδήγησή του σε όλο το ταξίδι μου. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τους συνεργάτες μου Δαβίδ Κόλα και Jörg Torhoff για την πολύτιμη βοήθεια τους.

Acknowledgements

This trip would not have been possible without the support of my family, my teachers and my friends. I thank my family for encouraging me in all of my aspirations and for pushing me to follow my dreams. I am very grateful to my parents, who supported me emotionally and financially. I always knew they believed in me and they wanted the best for me. I thank them for teaching me that my purpose in life is to learn, to be happy and to know and understand myself. Only then could I get to know and understand others. I have to thank all the professors of the Vehicle Engineering Department with whom I have worked over the last four years for showing me what it means to be committed to your goal, each one in his own unique way. All offered their time, energy and experience to enrich me with knowledge. I would also like to thank my supervisor Professor Georgios Paradeisiadis for his unwavering support and guidance throughout my journey. I would also like to thank my colleagues David Kola and Jörg Torhoff for their valuable help.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

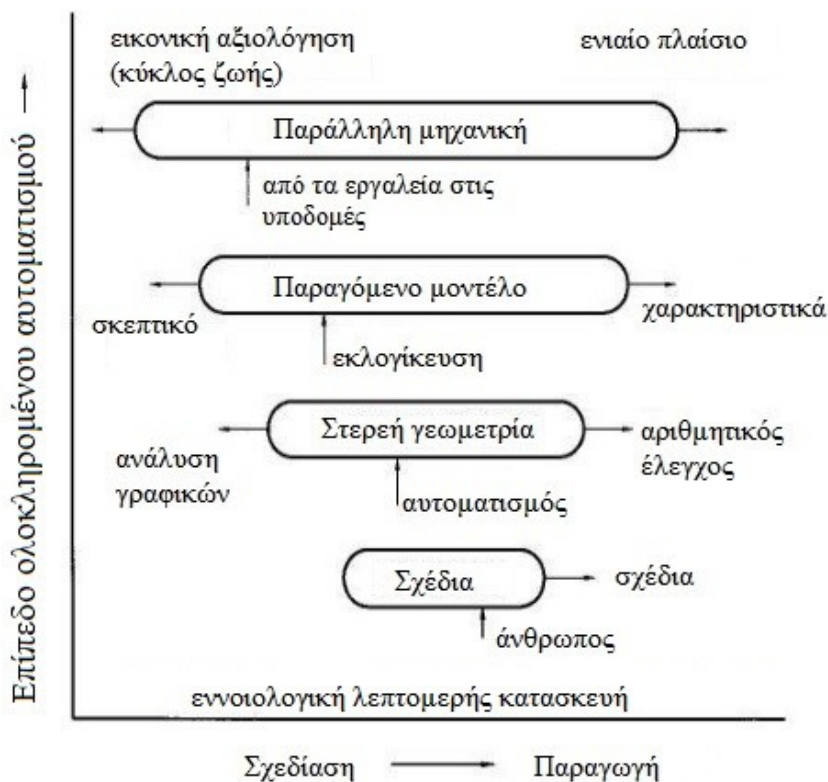
Οι μηχανικοί πάντα είχαν την ανάγκη για τεχνικές που να δημιουργούν και να κοινοποιούν τις σχεδιαστικές ιδέες τους. Η ιστορία του πολιτισμού αποκαλύπτει πολλές μορφές παράστασης και σχεδίασης, από τους χάρτες χαραγμένους σε πέτρα ως τα φυσικά μοντέλα που κατασκευάστηκαν σε κλίμακα. Τα τελευταία διακόσια 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 σχεδίων εξελίχτηκε από τις θεμελιώδεις αρχές του τετράγωνου και τριγώνου στην υλοποίηση σχεδίων στο σχεδιαστήριο. Πιο πρόσφατα εισήχθη η διδιάστατη σχεδίαση με χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών και η κατάρτιση συστημάτων (Computer-Aided Design and Drafting, CADD). Οι τελευταίες εξελίξεις στον εξοπλισμό των συστημάτων Γραφικών σε Υπολογιστές, η τεχνολογία λογισμικού και ειδικά η τριδιάστατη (3-D) μοντελοποίηση στερεών με ανάπτυξη μιας κοινής γεωμετρικής βάσης δεδομένων, έχουν φέρει στο προσκήνιο σημαντικές αλλαγές στη μεθοδολογία για τους μηχανικούς 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 του 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.

1.1 Γεωμετρική μοντελοποίηση και η υπάρχουσα κατάσταση της γραφικής εκπόνησης της κατασκευαστικής μελέτης.

Για να μελετηθούν οι τρέχουσες τάσεις στη γεωμετρική μοντελοποίηση και στη γραφική εκπόνηση της κατασκευαστικής μελέτης, είναι χρήσιμο να εξεταστεί ο τρόπος σχεδίασης στο παρελθόν, στο παρόν και στο κοντινό μέλλον. Το Σχ.1.1.1 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.

εξελισσόμενο πρότυπο σχεδιασμού



Σχ.1.1.1 Παράδειγμα εξέλιξης σχεδιασμού.

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

τις 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 και η διανομή των προϊόντων συμπεριλαμβάνονται στα πρώτα στάδια της διαδικασίας σχεδιασμού. Το βασικό στοιχείο της παράλληλης μηχανικής είναι η δημιουργία μιας ολοκληρωμένης βάσης δεδομένων που θα εκπροσωπεί τον σχεδιασμό ενός εικονικού προϊόντος και θα 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.

1.2 Οπτική σκέψη

Κατά την αρχική φάση σχεδιασμού, ο μηχανολόγος καθορίζει το πρόβλημα και εξερευνά νέες ιδέες για την επίλυση του προβλήματος του σχεδίου. Τα σκίτσα ελεύθερης σχεδίασης χρησιμοποιούνται συχνά κατά τη διάρκεια της διερευνητικής φάσης ως μία πρώιμη έκφραση ιδεών. Το μοντέλο του McKim "οπτική σκέψη" [13] είναι ιδιαίτερα κατάλληλο σε αυτή τη φάση (Σχ.1.2.1). Αυτά τα σχέδια μπορούν να γίνουν σε οποιοδήποτε μέσο είναι διαθέσιμο. Από τη στιγμή που γίνεται οπτικοποίηση ενός τριδιάστατου κόσμου, ένα σκίτσο πρέπει να επικεντρωθεί πρωτίστως στις εικονογραφήσεις.



Σχ1.2.1 Το μοντέλο του McKim "οπτική σκέψη".

1.3 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, με τέτοιο τρόπο 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. Οπτικοποίηση (γραφικά υπολογιστών) / Visualization (computer graphics)

Η οπτικοποίηση είναι οποιαδήποτε τεχνική για τη δημιουργία εικόνων, διαγραμμάτων ή κινουμένων σχεδίων που μεταφέρουν πληροφορίες. Η οπτικοποίηση μέσω οπτικών εικόνων υπήρξε ένας αποτελεσματικός τρόπος να παριστάνουν τόσο αφηρημένες όσο 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 της ανεπτυγμένης όψης για 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. Χαρακτηριστική εφαρμογή της οπτικοποίησης αποτελεί ο τομέας των γραφικών των ηλεκτρονικών υπολογιστών. Η εφεύρεση των γραφικών του υπολογιστή μπορεί να είναι η πιο σημαντική εξέλιξη στην απεικόνιση μετά την εφεύρεση της κεντρικής προοπτικής κατά την περίοδο της Αναγέννησης.

1.5 Φυσική Μοντελοποίηση (Physical model)

Ένα φυσικό μοντέλο (πιο συχνά αναφέρεται απλά ως μοντέλο, ωστόσο διακρίνεται από ένα εννοιολογικό μοντέλο) είναι ένα μικρότερο ή μεγαλύτερο φυσικό αντίγραφο ενός αντικειμένου. 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 παράσταση υπό κλίμακα του άλλου. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η κλίμακα είναι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό. 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.

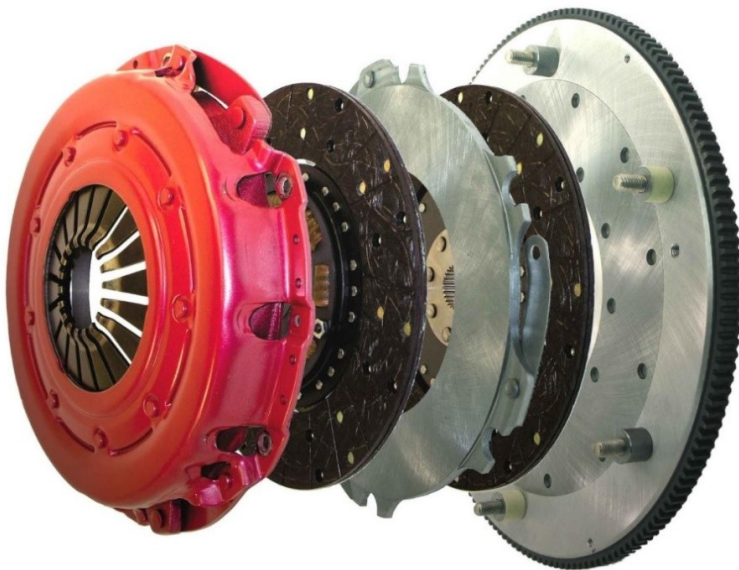
1.6 Οπτικό - Φωτορεαλιστική απεικόνιση (Rendering)

Η οπτικό-φωτορεαλιστική απεικόνιση (3D rendering) είναι η διεργασία των τριδιάστατων γραφικών υπολογιστή, που μετατρέπουν αυτόματα τριδιάστατα μοντέλα σε διδιάστατο γράφημα πλέγματος εικόνων με φωτορεαλιστικά εφέ. Η φωτορεαλιστική απεικόνιση είναι ένα από τα σημαντικότερα επιμέρους θέματα των τριδιάστατων γραφικών απεικονίσεων και στην πράξη είναι πάντα συνδεδεμένη με τα υπόλοιπα επιμέρους βήματα της σχεδίασης. Στη γραφική απεικόνιση είναι το τελευταίο σημαντικό βήμα, δίνοντας την τελική εμφάνιση στα μοντέλα ή την κινούμενη εικόνα. Με την αυξανόμενη πολυπλοκότητα της ηλεκτρονικής γραφιστικής από το 1970, έχει γίνει πιο ευδιάκριτο και αυτόνομο θέμα. Η φωτορεαλιστική απεικόνιση είναι η διαδικασία δημιουργίας μιας εικόνας από ένα μοντέλο (ή μοντέλα σε ότι συλλογικά θα μπορούσε να ονομαστεί ένα αρχείο σκηνογραφίας), μέσω των προγραμμάτων ηλεκτρονικών υπολογιστών. Ένα αρχείο περιέχει αντικείμενα σκηνογραφίας 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 του εικονικού φόντου. Τα δεδομένα που περιλαμβάνονται στο αρχείο σκηνογραφίας, διαβιβάζονται ύστερα σε ένα πρόγραμμα ανάλυσης για τη μεταποίηση και την παραγωγή σε ψηφιακή εικόνα ή αρχείο εικόνας με πλέγμα γραφικών.

2 ΚΙΒΩΤΙΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

2.1 Συμπλέκτης

Ο συμπλέκτης (Σχ.2.1.1) είναι ο πρώτος μηχανισμός του συστήματος μετάδοσης κίνησης και βρίσκεται αμέσως μετά τον κινητήρα, δηλαδή μεσολαβεί μεταξύ σφονδύλου και κιβωτίου ταχυτήτων. Σκοπός του είναι να συνδέει και να αποσυνδέει τον στροφαλοφόρο άξονα (μέσω του σφονδύλου) με τον πρωτεύοντα άξονα του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης, καθώς και να μεταφέρει τη ροπή υπό ολίσθηση κατά την εκκίνηση και την αλλαγή ταχύτητας. Ο συμπλέκτης του οχήματος χρησιμεύει στη μετάδοση της ροπής στρέψης του κινητήρα στο σύστημα μετάδοσης της κίνησης και για την προσωρινή αποσύνδεση του κινητήρα και ομαλή εκκίνηση.



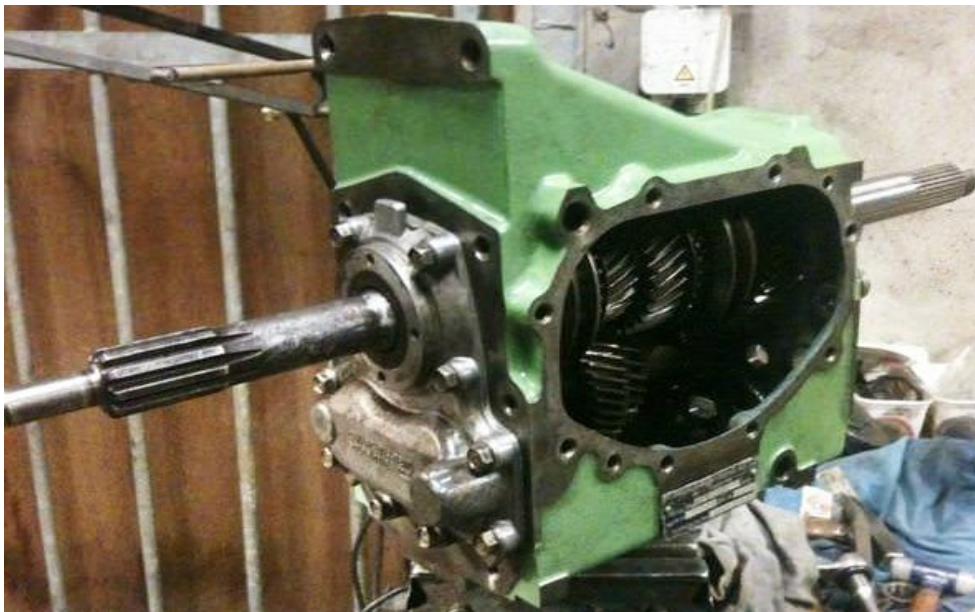
Σχ.2.1.1 Συμπλέκτης.

2.2 Κιβώτιο ταχυτήτων

Ένα όχημα, ανάλογα με το φορτίο και την ταχύτητα με την οποία θέλουμε κάθε φορά να κινείται, χρειάζεται στους τροχούς διαφορετικούς συνδυασμούς ροπής και στροφών.

Με τον όρο φορτίο νοείται η αντίσταση που παρουσιάζεται στην κίνηση του οχήματος από διάφορους παράγοντες όπως το βάρος, το ωφέλιμο φορτίο, η κλίση του δρόμου, η αντίσταση από τον αέρα, οι τριβές ανάμεσα στο οδόστρωμα και τους τροχούς κλπ. Όταν το όχημα ξεκινάει χρειάζεται στους τροχούς χαμηλό αριθμό στροφών και μεγάλη ροπή στρέψης για την υπερνίκηση της αδράνειας της ακίνητης μάζας. Ο κινητήρας όμως στις λίγες στροφές έχει

χαμηλή ροπή η οποία, αν φθάσει στους τροχούς ως έχει, δεν είναι αρκετή για να ξεκινήσει το αυτοκίνητο. Αν όμως λειτουργήσει σε υψηλές στροφές, για να παράγει μεγάλη ροπή, τότε η κίνηση με αυτές τις στροφές δεν μπορεί να μεταδοθεί προς τους τροχούς που αδρανούν και έτσι ο κινητήρας θα σβήσει. Έτσι γίνεται αντιληπτό ότι ανάμεσα στον κινητήρα του οχήματος και τους τροχούς πρέπει να παρεμβληθεί ένα σύστημα οδοντωτών τροχών, ώστε να είναι δυνατή η προσαρμογή της ροπής στρέψης στις ανάγκες κίνησης, μέσω αυξομειώσεων στις στροφές του κινητήρα. Αυτό το σύμπλεγμα οδοντωτών τροχών το οποίο περιέχεται μέσα σε ένα μεταλλικό κιβώτιο και επιτρέπει στον οδηγό του αυτοκινήτου την αλλαγή της σχέσης μετάδοσης της κίνησης από τον κινητήρα στους τροχούς, ονομάζεται κιβώτιο μετάδοσης κίνησης (Σχ.2.1.1).



Σχ.2.2.1 Φωτογραφία μηχανικού κιβωτίου μετάδοσης κίνησης.

2.3 Σχέσεις μετάδοσης

Ονομάζονται οι λόγοι υποπολλαπλασιασμού ή πολλαπλασιασμού του κιβωτίου ταχυτήτων. Σκοπός της ύπαρξής τους είναι να προσαρμόζουν τη ροπή και τις στροφές του κινητήρα στις ανάγκες της κίνησης. Η σχέση πολλαπλασιασμού της 1^{ης} ταχύτητας επιλέγεται με βάση την επιθυμητή δυνατότητα αναρρίχησης σε ανηφορικό δρόμο, ενώ αυτή της τελευταίας, με βάση την επιθυμητή τελική ταχύτητα αλλά και τον περιορισμό της κατανάλωσης κατά την κίνηση σε ανοικτό δρόμο. Οι ενδιάμεσες σχέσεις επιλέγονται έτσι ώστε να επιτυγχάνεται μία

καμπύλη ελκτικής δύναμης όσο το δυνατόν πιο κοντά στην επιθυμητή (Σχ.2.2.1). Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι σχέσεις μετάδοσης είναι πέντε και σε ορισμένες περιπτώσεις έξι στα χειροκίνητα κιβώτια των ιδιωτικής χρήσεως επιβατικών οχημάτων, και τέσσερις ή πέντε στα αυτόματα. Έχουν άμεση σχέση με τις ταχύτητες του κιβωτίου και διαμορφώνουν την κλιμάκωσή του. Για παράδειγμα όταν μιλάμε για μία σχέση μετάδοσης 3,5:1 για την 1^η σχέση τότε εννοούμε πως ο άξονας μετάδοσης περιστρέφεται 3,5 φορές πιο αργά από τον στροφαλοφόρο άξονα. Μία σχέση μετάδοσης 0,9:1 αναφέρεται σε κατάσταση overdrive και σημαίνει πως ο άξονας μετάδοσης περιστρέφεται 11% πιο γρήγορα από τον στροφαλοφόρο άξονα. Οι σχέσεις και η κλιμάκωση των σχέσεων ενός κιβωτίου προσαρμόζουν τη ροπή και τις στροφές του κινητήρα στις ανάγκες της κίνησης ανάλογα με την ισχύ και τον χαρακτήρα του αυτοκινήτου.



Σχ.2.3.1 Διάγραμμα κλιμάκωσης σχέσεων μετάδοσης συγκριτικά με την υπερβολή της δύναμης πρόωσης.

Από το κιβώτιο μετάδοσης κίνησης απαιτούμε:

1. Ο αριθμός ταχυτήτων και η σχέση μετάδοσης i πρέπει να εξασφαλίζουν τις ελκτικές, επιταχυντικές και οικονομικές απαιτήσεις του οχήματος στις δεδομένες συνθήκες.
2. Η αλλαγή των ταχυτήτων πρέπει να πραγματοποιείται χωρίς μεγάλη μυϊκή δύναμη.
3. Να έχει ουδέτερη ταχύτητα για αποσύνδεση μακράς διάρκειας του κινητήρα από το σύστημα μετάδοσης της κίνησης στις στάσεις και όταν το όχημα κινείται με αδράνεια.
4. Να μπορούμε να αντιστρέψουμε την κίνηση για να κινηθεί το όχημα προς τα πίσω.
5. Να επιτρέπει τοποθέτηση δυναμολήπτη για τη μετάδοση κίνησης σε διάφορους βοηθητικούς μηχανισμούς.

2.4 Τύποι συστημάτων μετάδοσης κίνησης σε οχήματα

Με ολισθαίνοντες οδοντωτούς τροχούς

Τα κιβώτια αυτά δεν χρησιμοποιούνται σήμερα, γιατί είχαν θορυβώδη λειτουργία και παρουσίαζαν μεγάλη δυσκολία στην αλλαγή των ταχυτήτων. Η αλλαγή των ταχυτήτων γινόταν με τη μετακίνηση των οδοντωτών τροχών.

Με μόνιμη εμπλοκή οδοντωτών τροχών

Τα κιβώτια αυτά έχουν οδοντωτούς τροχούς με κεκλιμένη οδόντωση, μόνιμα εμπλεγμένους μεταξύ τους. Η αλλαγή ταχυτήτων γίνεται με την πλευρική σύμπλεξη βοηθητικών οδοντωτών τροχών. Δεν έχουν θορυβώδη λειτουργία, αλλά υπάρχει δυσκολία στην αλλαγή των ταχυτήτων κι έτσι δεν χρησιμοποιούνται σήμερα.

Με μόνιμη εμπλοκή οδοντωτών τροχών και σύστημα συγχρονισμού

Είναι κιβώτια ταχυτήτων όμοια με τα προηγούμενα, με τη διαφορά ότι για την πλευρική σύμπλεξη των οδοντωτών τροχών χρησιμοποιείται σύστημα συγχρονισμού της ταχύτητας περιστροφής των, για πιο ομαλή σύμπλεξη κι αποσύμπλεξη. Δεν έχουν θορυβώδη λειτουργία κι η αλλαγή των ταχυτήτων γίνεται εύκολα.

Αυτόματα

Στα αυτόματα κιβώτια ταχυτήτων υπάρχουν κάποιες θέσεις επιλογής, όπως όπισθεν, νεκρά, κανονική πορεία κλπ. Στη θέση της κανονικής πορείας το όχημα μπορεί να αντιμετωπίσει όλες τις συνθήκες κατά την πορεία του μέσω ενός μηχανισμού αυτόματης αλλαγής ταχύτητας.

Ημιαυτόματα

Είναι ένας συνδυασμός αυτόματου και απλού κιβώτιου ταχυτήτων. Στα ημιαυτόματα κιβώτια υπάρχει ένα σύστημα επιλογής των ταχυτήτων, δεν υπάρχει όμως ποδόπληκτρο (πεντάλ) για το συμπλέκτη.

Συνεχώς μεταβαλλόμενης σχέσεως μετάδοσης με ιμάντα (CVT)

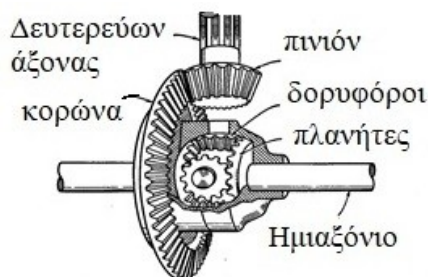
Η μετάδοση της κίνησης από τον πρωτεύοντα στο δευτερεύοντα άξονα γίνεται με ιμάντα. Υπάρχουν δύο τροχαλίες που μπορούν να μεταβάλλουν τη διάμετρό τους. Όταν μεγαλώνει η διάμετρος της μιας τροχαλίας, μικραίνει η διάμετρος της άλλης κι αντίστροφα. Με τον τρόπο αυτό έχουμε συνεχώς μεταβαλλόμενη σχέση μετάδοσης, οικονομία καυσίμου και καλύτερη συμπεριφορά του αυτοκινήτου.

Σειριακά

Στα σειριακά κιβώτια, οι ταχύτητες επιλέγονται η μία μετά την άλλη με τη μετακίνηση του επιλογέα πάνω για ανέβασμα (+) και κάτω (-) για κατέβασμα ταχύτητας κάθε φορά που χρειάζεται να γίνει αλλαγή.

2.5 Διαφορικό

Το διαφορικό (Σχ.2.5.1) είναι ένας μηχανισμός που σκοπό έχει να επιτρέπει στους δύο κινητήριους τροχούς στα προσθιοκίνητα ή οπισθοκίνητα οχήματα, ή στους δύο άξονες μετάδοσης στα τετρακίνητα, να περιστρέφονται με διαφορετικές γωνιακές ταχύτητες και προκειμένου για διαφορικά περιορισμένου διαφορισμού, να κατανέμει την ροπή στρέψης ανάλογα με τον συντελεστή πρόσφυσης στους κινητήριους τροχούς, είτε μεγεθύνοντας είτε ελαχιστοποιώντας την. Κατά την στροφή ενός οχήματος, οι τροχοί που βρίσκονται στην εξωτερική πλευρά της καμπύλης, διανύουν μεγαλύτερη απόσταση από τους τροχούς που βρίσκονται στην εσωτερική πλευρά. Επομένως, οι εξωτερικοί τροχοί θα πρέπει να στρέφονται ταχύτερα από τους εσωτερικούς, ώστε να μπορούν να ακολουθούν την γεωμετρική μορφή της καμπύλης. Στην περίπτωση που οι εσωτερικοί και εξωτερικοί τροχοί στρέφονταν από τον κινητήρα με την ίδια ταχύτητα, τότε το όχημα δε θα μπορούσε να διαγράψει καμπύλη τροχιά χωρίς σημαντικές τριβές στα ελαστικά του.



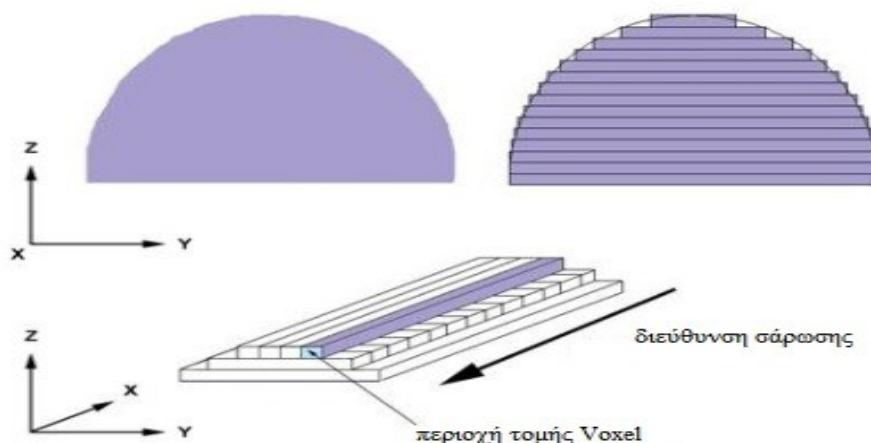
Σχ.2.5.1 Διαφορικό.

3 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΤΡΙΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ

3.1 Εισαγωγή στην μέθοδο της τριδιάστατης εκτύπωσης

Οι κατεργασίες κοπής, και πιο γενικά αφαίρεσης υλικού, υπήρξαν οι πρώτες στις οποίες κατέστη δυνατός ο ψηφιακός προγραμματισμός και έλεγχος των μηχανών (CNC–Computer Numerical Control). Η εξέλιξη της τεχνολογίας CNC σε συνδυασμό με την εξέλιξη των συστημάτων σχεδίασης CAD και των δυνατοτήτων των Η/Υ, οδήγησε σταδιακά στη σύνδεση των δύο αυτών τεχνολογιών και την ανάπτυξη εφαρμογών λογισμικού CAD/CAM. Τα συγκεκριμένα τεχνολογικά επιτεύγματα είναι αυτά που αποτέλεσαν και τη βάση για την εμφάνιση και την ανάπτυξη μιας νέας οικογένειας κατασκευαστικών τεχνολογιών, της Προσθετικής Κατασκευής (Additive Manufacturing).

Η τριδιάστατη εκτύπωση (3D printing) είναι μία μέθοδος προσθετικής κατασκευής στην οποία κατασκευάζονται αντικείμενα μέσω της διαδοχικής πρόσθεσης επάλληλων στρώσεων υλικού (Σχ.3.1.1). Στην τριδιάστατη εκτύπωση μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφοροι τύποι υλικού, κυρίως κεραμικά και πολυμερή. Σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες και εξοπλισμό προσθετικής κατασκευής, οι τριδιάστατοι εκτυπωτές είναι συνήθως ταχύτεροι, φθηνότεροι και ευκολότεροι στη χρήση.



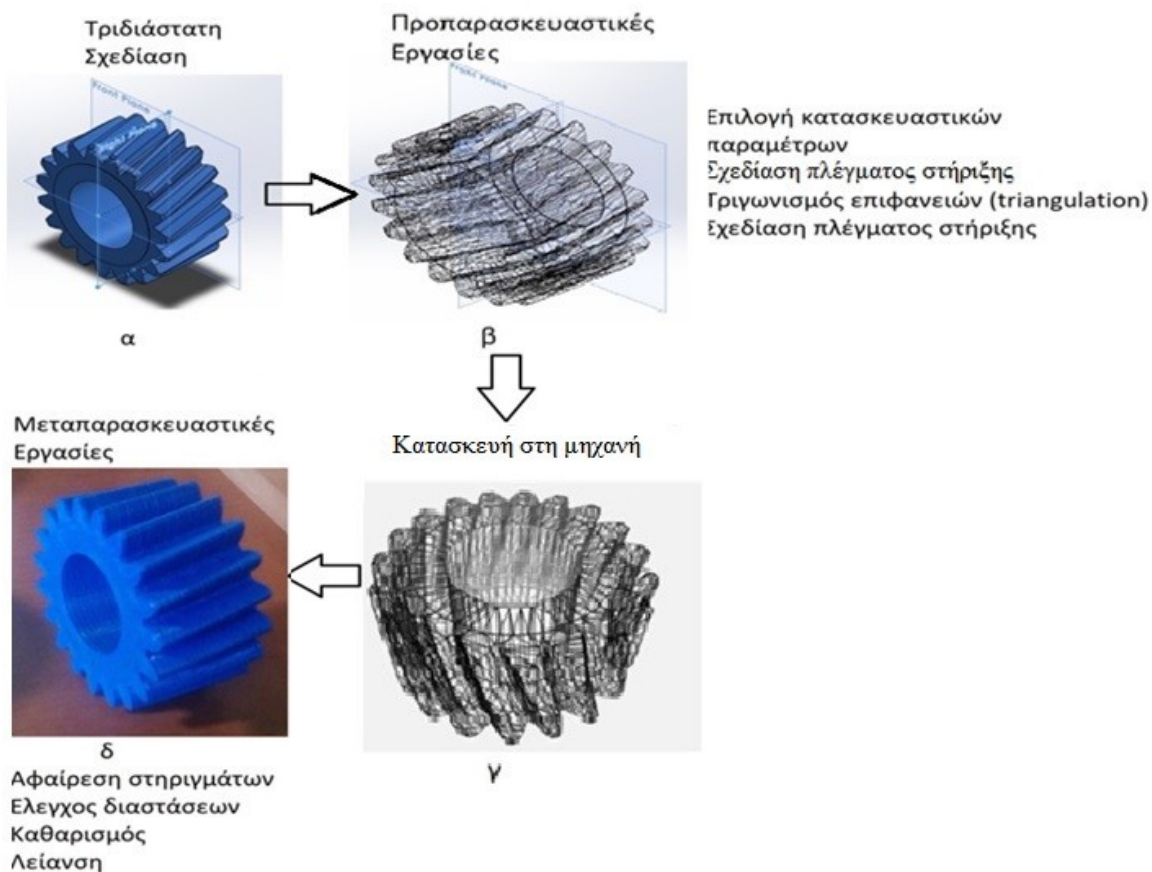
Σχ.3.1.1 Συγκόλληση στρωμάτων υλικού τα οποία αντιστοιχούν στην εικονική διατομή από το μοντέλο του προγράμματος σχεδίασης (CAD).

Οι τριδιάστατοι εκτυπωτές χρησιμοποιούνται κυρίως για την κατασκευή φυσικών μοντέλων και πρωτότυπων από σχεδιαστές, μηχανικούς και ομάδες ανάπτυξης νέων προϊόντων, έχουν

δε τη δυνατότητα να εκτυπώνουν μέρη και εξαρτήματα από διάφορα υλικά, με διαφορετικές μηχανικές και φυσικές ιδιότητες και συχνά σε μία ενιαία διαδικασία κατασκευής.

3.2 Διαδικασία κατασκευής κομματιών με προσθετική κατεργασία

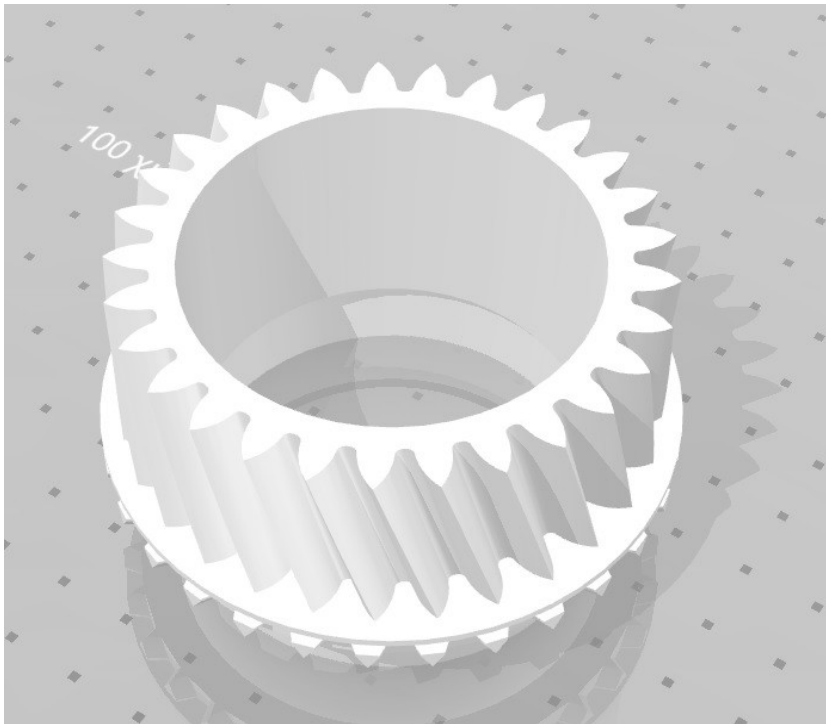
Η διαδικασία κατασκευής ενός αντικειμένου με τεχνολογίες προσθετικής κατεργασίας μπορεί να διαχωριστεί σε τέσσερα βασικά στάδια (Σχ. 3.2.1). Το πρώτο στάδιο (Σχ.3.2.1.α) αποτελεί η σχεδίαση του τριδιάστατου ψηφιακού μοντέλου του αντικειμένου μέσω ενός συστήματος μηχανολογικής ή βιομηχανικής σχεδίασης. (στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Solidworks 2016 της εταιρίας Dassault Systems). Η τριδιάστατη σχεδίαση είναι μία σχετικά συνηθισμένη πλέον εργασία για ένα πλήθος εφαρμογών που εκτείνονται από την απλή απεικόνιση μιας ιδέας μέχρι τον λειτουργικό, μηχανικό και υδροδυναμικό έλεγχο εξαρτημάτων και προϊόντων.



Σχ.3.2.1 Σχηματική απεικόνιση διαδικασίας παραγωγής ενός αντικειμένου με χρήση προσθετικής κατεργασίας.

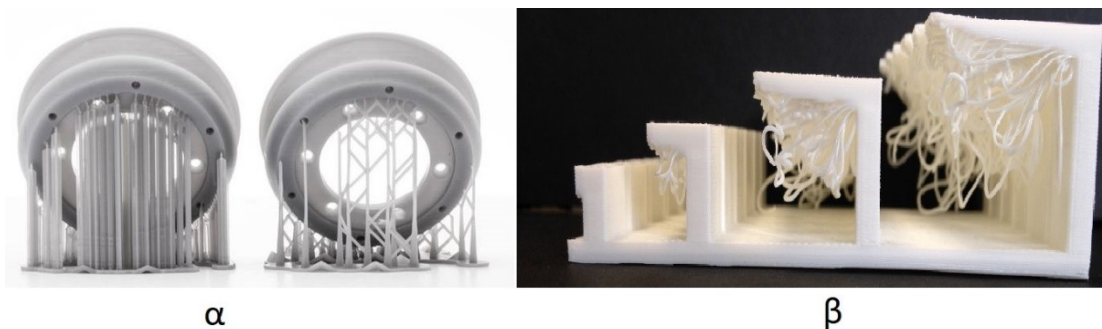
Στην περίπτωση των τεχνολογιών προσθετικής κατασκευής, υπάρχει η απαίτηση το τριδιάστατο (3D) μοντέλο να είναι στερεό (solid model). Στερεό θεωρείται το τριδιάστατο μοντέλο του οποίου ο όγκος καθορίζεται απόλυτα και σαφώς (unambiguously) από τις περιβάλλουσες επιφάνειες, είναι δηλαδή εντελώς «κλειστό», έτσι ώστε να είναι σαφές ποιο τμήμα του χώρου είναι εντός του μοντέλου και ποιο εκτός. Σε ένα στερεό μοντέλο είναι επίσης σαφώς καθορισμένη η τοπολογία των επιφανειών. Ποιες δηλαδή επιφάνειες συνδέονται μεταξύ τους και μέσω ποιων ακμών, ενώ δεν επιτρέπονται ελεύθερες ακμές (ακμές που ανήκουν σε μία μόνο επιφάνεια).

Στο δεύτερο στάδιο εκτελούνται προπαρασκευαστικές εργασίες με βάση το τριδιάστατο (3D) μοντέλο και ο προγραμματισμός κατασκευής στη μηχανή προσθετικής κατασκευής. Για την αναπαράσταση του 3D μοντέλου και την μεταφορά των γεωμετρικών δεδομένων χρησιμοποιείται το πρότυπο στερεολιθογραφίας STL (προέρχεται από το STereoLithography). Πρόκειται ουσιαστικά για πολυεδρικό πρότυπο (facet format) στο οποίο οι επιφάνειες του τριδιάστατου μοντέλου προσεγγίζονται μέσω τριγώνων, κατά την απλούστερη δηλαδή πολυεδρική προσέγγιση/ψηφιδωτή αναπαράσταση (tessellated modeling), καθώς πρόκειται για ένα απλό μοντέλο επιφανειών. Το μοντέλο στερεολιθογραφίας (STL) δεν περιέχει επιπλέον πληροφορίες που αφορούν στο χρώμα των επιφανειών, το υλικό, τις κατασκευαστικές ανοχές κ.λ.π. (Σχ.3.2.2).



Σχ.3.2.2 Μοντέλο οδοντωτού τροχού σε αναπαράσταση στερεολιθογραφίας (STL).

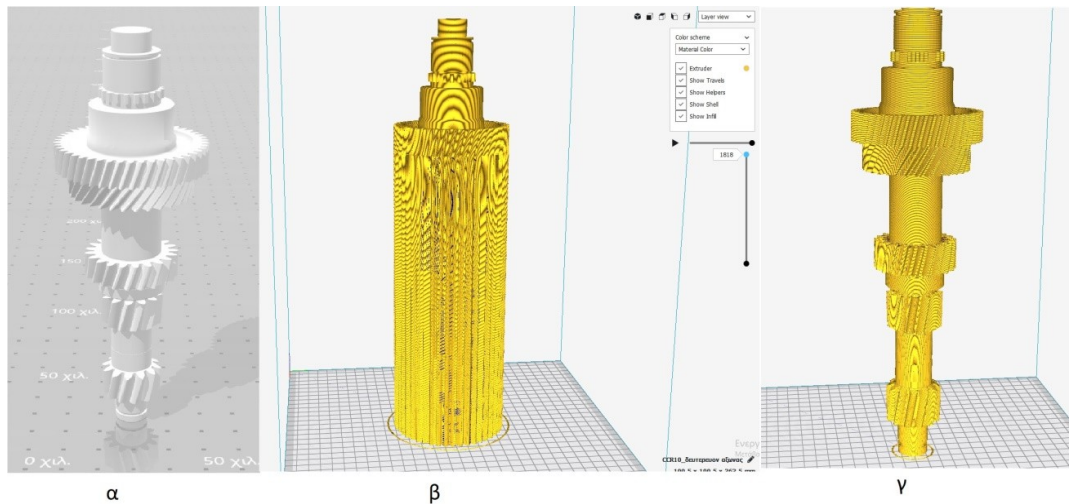
Με βάση το αρχείο στερεολιθογραφίας (STL) του μοντέλου του αντικειμένου εκτελούνται οι προπαρασκευαστικές εργασίες με πρώτη την επιλογή προσανατολισμού και παραμέτρων κατασκευής. Ως προσανατολισμό κατασκευής (build orientation) ορίζουμε την θέση του αντικειμένου σε σχέση με το σύστημα συντεταγμένων της μηχανής και ειδικά τον άξονα κατασκευής Z, ο οποίος ορίζει την κατεύθυνση κατά την οποία προστίθενται τα διαδοχικά στρώματα. Στη συνέχεια, και ανάλογα με το είδος της τεχνολογίας προσθετικής κατασκευής, υπολογίζονται αυτόματα τα σημεία που χρειάζονται στήριξη και δημιουργείται η αντίστοιχη υποστηρικτική δομή (Σχ.3.2.3α). Η υποστηρικτική δομή (support structure) είναι απαραίτητη σε αρκετές τεχνολογίες προσθετικής κατασκευής, έτσι ώστε να διασφαλισθεί ότι η κατασκευή θα παραμείνει σταθερή και στέρεα κατά την διάρκεια της κατεργασίας και ότι τμήματα του αντικειμένου που εξέχουν σύμφωνα με τον επιλεγθέντα προσανατολισμό δε θα καμφθούν λόγω βάρους ή θα παρασυρθούν από τα κινούμενα μέρη της μηχανής (Σχ.3.2.3β). Η υποστηρικτική δομή αποτρέπει επίσης την άμεση επαφή του προς κατασκευή αντικειμένου με την πλατφόρμα της μηχανής, την οριζόντια πλάκα πάνω στην οποία χτίζεται σταδιακά η κατασκευή, επιτρέποντας έτσι την απομάκρυνση του αντικειμένου στο τέλος της κατασκευής με ευκολία και χωρίς τον κίνδυνο να τραυματιστούν οι επιφάνειές του.



Σχ. 3.2.3 α) Υποστηρικτική δομή σε κέλυφος εδράνου κύλισης, β) Αστοχία κατασκευής λόγω βάρους σε μοντέλο με έλλειψη υποστηρικτικής δομής.

Μετά την επιλογή του κατασκευαστικού προσανατολισμού καθώς και τη δημιουργία τυχόν στηριγμάτων (supports) ακολουθεί η διαδικασία του τεμαχισμού (slicing) όπου το αντικείμενο και η αντίστοιχη υποστηρικτική δομή τέμνονται από διαδοχικά επίπεδα, τα οποία είναι παράλληλα σε αυτό της πλατφόρμας (επίπεδο XY). Σημαντική σε αυτή τη φάση είναι η επιλογή του πάχους στρώματος (layer thickness) το οποίο ορίζει την απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών οριζόντιων επιπέδων. Η απόσταση αυτή περιγράφεται συχνά και με τον όρο βήμα τεμαχισμού (slicing step) και επηρεάζει σημαντικά την ακρίβεια του τελικού αντικείμενου.

Αποτέλεσμα της διαδικασίας τεμαχισμού είναι το αρχείο διατομών (sliced file), ένα ιεραρχημένο από κάτω προς το πάνω σύνολο διδιάστατων τομών, που περιγράφουν γεωμετρικά τα στρώματα τα οποία πρέπει να κατασκευασθούν από τη μηχανή για να κατασκευαστεί το αντικείμενο (Σχ.3.2.4β,γ).



Σχ.3.2.4 α) Πολυεδρικό αρχείο STL, β) Ιεραρχική στοιβάδα διατομών με υποστηρικτική δομή, γ) Ιεραρχική στοιβάδα διατομών χωρίς υποστηρικτική δομή.

Για τη διενέργεια των προπαρασκευαστικών εργασιών χρησιμοποιήθηκε το δωρεάν λογισμικό της εταιρίας ultimaker, ονομαζόμενο ultimaker cura.

Στην τρίτη φάση της διαδικασίας, τα αρχεία τομών των αντικειμένων εισάγονται στη μηχανή προσθετικής κατασκευής και με τη ρύθμιση κάποιων δευτερευουσών παραμέτρων (π.χ. της ταχύτητας κίνησης του ακοφυσίου εναπόθεσης υλικού) ξεκινά η κατασκευή του αντικειμένου. Μετά την ολοκλήρωση της κατασκευαστικής φάσης το αντικείμενο απομακρύνεται είτε με την βοήθεια ειδικών εργαλείων είτε με το χέρι, ώστε να καθαρισθεί από το τυχόν υπάρχοντα στηρίγματα ή και υπολείμματα πρώτης ύλης. Επίσης, ανάλογα με την φύση της χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας προσθετικής κατασκευής, ίσως απαιτηθούν επιπλέον μετα-παρασκευαστικές εργασίες όπως η τοποθέτηση του κομματιού εντός κατάλληλου θαλάμου «ωρίμανσης», όπου εκτίθεται σε κατάλληλες συνθήκες προκειμένου να αποκτήσει αντοχή τέτοια που θα επιτρέπει την εκτέλεση των τελικών εργασιών τελειοποίησής του, όπως την λείανση και το βάνισμο των επιφανειών του.

3.3 Μέθοδοι προσθετικής κατεργασίας

Σε αυτή την παράγραφο θα αναφερθούν εν συντομία οι υπάρχουσες μέθοδοι προσθετικής κατεργασίας, καθώς επίσης και η μέθοδος η οποία χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση του μοντέλου. Όλες οι τεχνολογίες προσθετικής κατασκευής μοιράζονται αρκετά κοινά γενικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα. Ωστόσο, η ανάπτυξη αλλά και η χρησιμοποίησή τους σε διάφορες εφαρμογές βασίζεται στις επιμέρους δυνατότητες που προσφέρει η εκάστοτε τεχνολογία, όπως αυτές διαμορφώνονται από τα υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, την πολυπλοκότητα της γεωμετρίας των αντικειμένων, τη χρησιμοποιούμενη φυσική διαδικασία, καθώς και την απόδοσή της (ταχύτητα κατασκευής, μηχανική αντοχή κλπ.).

Στις πιο γνωστές τεχνολογίες προσθετικής κατασκευής συγκαταλέγονται:

- **Η στερεολιθογραφία (Stereolithography - SL)**

Η Στερεολιθογραφία (SLA ή SL, επίσης γνωστή ως οπτική κατασκευή, φωτοστερεοποίηση ή εκτύπωση ρητίνης) είναι μια μορφή τριδιάστατης εκτύπωσης που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία μοντέλων, πρωτοτύπων, μοτίβων και παραγώγων με επάλληλες στρώσεις χρησιμοποιώντας φωτοπολυμερισμό, μια διαδικασία με την οποία το φως προκαλεί τη σύνδεση αλυσίδων μορίων, σχηματίζοντας πολυμερή. Τα πολυμερή συνθέτουν το σώμα ενός τρισδιάστατου στερεού. Η στερεολιθογραφία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία αντικειμένων όπως πρωτότυπα για τα προϊόντα που αναπτύσσονται, ιατρικά μοντέλα κ.τ.λ. Η μέθοδος αυτή είναι γρήγορη και μπορεί να κατασκευάσει οποιοδήποτε αντικείμενο. Μειονέκτημα της αποτελεί το κόστος.

- **Η κατασκευή με εναπόθεση τηγμένου υλικού (Fused Deposition Modelling - FDM)**

Η μέθοδος εναπόθεσης τηγμένου υλικού είναι μια διαδικασία προσθετικής κατασκευής που πραγματοποιείται με τη μέθοδο της εξώθησης υλικού. Το αντικείμενο κατασκευάζεται με εναπόθεση επάλληλων στρωμάτων τηγμένου υλικού σε μία προκαθορισμένη διαδρομή.

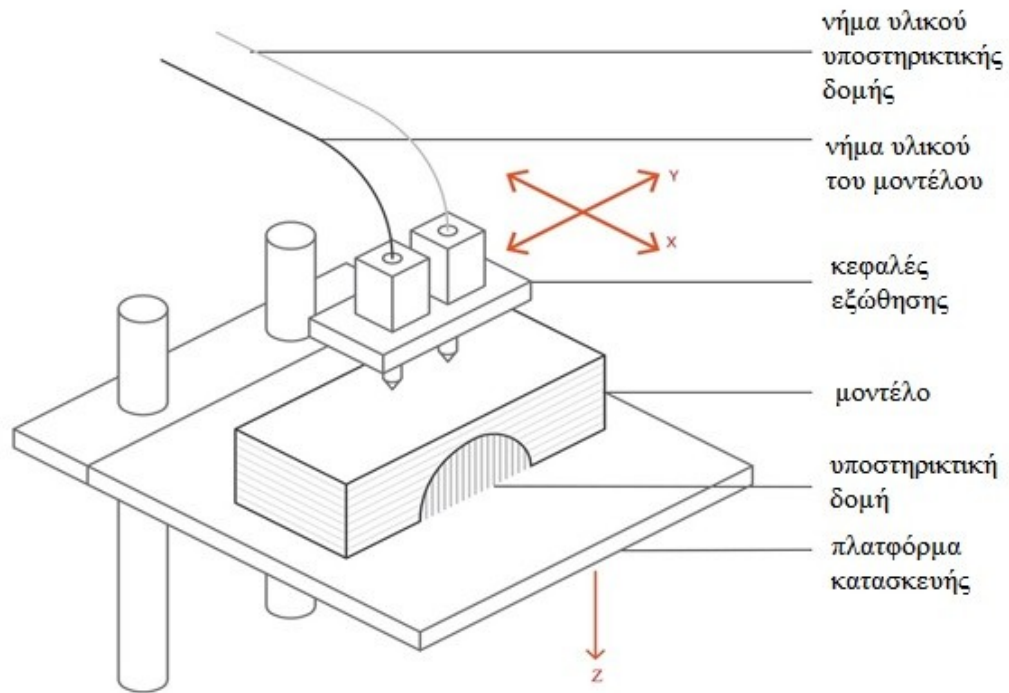
- **Η επιλεκτική συσσωμάτωση με λέιζερ (Selective Laser Sintering - SLS)**

Η επιλεκτική συσσωμάτωση με λέιζερ είναι μία διαδικασία προσθετικής κατασκευής που συντήκει κόνεις σε πλατφόρμα. Το λέιζερ συσσωματώνει τα σωματίδια κόνειας πολυμερούς συντήκοντάς τα στρωματικά, με αποτέλεσμα την δημιουργία του αντικειμένου. Ως υλικά κατασκευής χρησιμοποιούνται κόνεις από θερμοπλαστικά πολυμερή.

- **Η συγκόλληση κόκκων με ψεκασμό (Powder Bed Inkjet Printing – Binder Jetting)**
Κατά την συγκόλληση κόκκων με ψεκασμό εναποτίθεται επιλεκτικά συνδετικό υλικό επί της κλίνης κόνεως, συνδέοντάς τες για την δημιουργία του μοντέλου. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται συνήθως σε αυτή τη μέθοδο είναι μέταλλα, άμμος και κεραμικά σε κοκκώδη μορφή.
- **Η κατασκευή με πολλαπλό ψεκασμό (Multi - jet Modeling - MJM)**
Η κατασκευή με πολλαπλό ψεκασμό ή εκτόξευση υλικού (Material Jetting) λειτουργεί παρόμοια με τους συμβατικούς διδιάστατους εκτυπωτές. Κατά την εκτόξευση υλικού μια κεφαλή εκτύπωσης διανέμει σταγονίδια φωτοευαίσθητου υλικού που στερεοποιείται υπό υπεριώδες φως δημιουργώντας στρωματικά το μοντέλο.
- **Η συγκόλληση επάλληλων φύλλων (Laminated Object Manufacturing - LOM)**
Η συγκόλληση επάλληλων φύλλων είναι μια μέθοδος γρήγορης κατασκευής πρωτότυπων. Σε αυτή τα φύλλα χαρτιού, πλαστικού ή μετάλλου συγκολλώνται διαδοχικά και κόβονται με λέιζερ για να δημιουργήσουν το μοντέλο. Τα αντικείμενα που εκτυπώνονται με αυτήν την τεχνική μπορούν να τροποποιηθούν επιπρόσθετα με μηχανική κατεργασία ή διάτρηση.

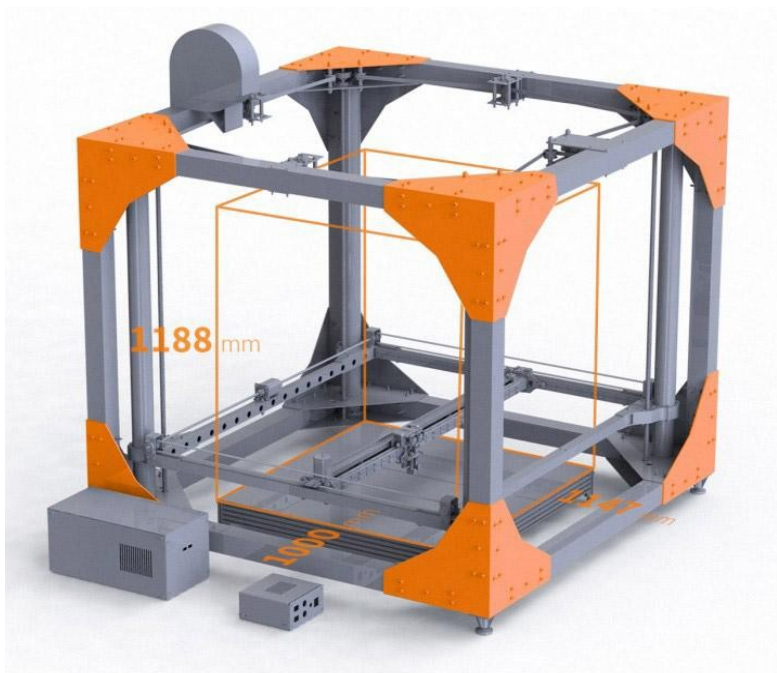
3.4 Μέθοδος εναπόθεσης τηκόμενου υλικού (FDM)

Η τεχνολογία της κατασκευής μοντέλων με εναπόθεση τηγμένου υλικού (Fused Deposition Modeling - FDM) αναπτύχθηκε εμπορικά από την εταιρία Stratasys το 1990. Μέσω της συγκεκριμένης τεχνολογίας μπορούν να παραχθούν αντικείμενα που έχουν ως πρώτη ύλη θερμοπλαστικά πολυμερή, γνωστά για την ανθεκτικότητά τους. Έτσι, η μέθοδος αυτή συχνά επιλέγεται όταν η μηχανική αντοχή καθίσταται κρίσιμη για το κατασκευαζόμενο αντικείμενο. Όπως και οι υπόλοιπες μέθοδοι, η μέθοδος FDM λειτουργεί σύμφωνα με την αρχή της διαδοχικής στρωματικής κατασκευής. Κάθε στρώση παράγεται μέσω της εξώθησης θερμοπλαστικού υλικού σε υγρή κατάσταση. Το υλικό τροφοδοτείται σε μορφή νήματος (filament) σε μια θερμαινόμενη κεφαλή, από όπου και εξωθείται σε θερμοκρασία λίγο μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία τήξης του. Η κεφαλή βρίσκεται τοποθετημένη σε κατάλληλη διάταξη, η οποία της επιτρέπει να κινείται σε δύο άξονες (X και Y), έτσι ώστε να είναι δυνατή η ελεγχόμενη εναπόθεση του υλικού πάνω στην πλατφόρμα κατασκευής (Σχ.3.4.1).



Σχ.3.4.1 Σχηματική απεικόνιση της λειτουργίας ενός τυπικού εκτυπωτή ανοικτού τύπου εναπόθεσης τηγμένου υλικού.

Για την μοντελοποίηση μεγάλων εξαρτημάτων, οι εκτυπωτές ανοικτού τύπου μπορούν να οδηγήσουν σε μεγάλες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας σε όλη την πλατφόρμα κατασκευής, καθώς διαφορετικές περιοχές του τμήματος ψύχονται με διαφορετικούς ρυθμούς, η εσωτερική τάση προκαλεί την κίνηση του υλικού του μοντέλου που οδηγεί σε στρέβλωση ή συρρίκνωση. Λύσεις όπως οι σχεδίες εκτύπωσης, οι θερμαινόμενες πλατφόρμες και η χρήση εκτυπωτών κλειστού τύπου (Σχ.3.4.2) μπορούν να βοηθήσουν - εξαλείψουν το φαινόμενο αυτό.



Σχ.3.4.2 Εκτυπωτής κλειστού τύπου εναπόθεσης τηγμένου υλικού.

Στους εκτυπωτές κλειστού τύπου η διάταξη λειτουργεί εγκιβωτισμένη σε θερμαινόμενο θάλαμο, του οποίου η θερμοκρασία είναι τέτοια ώστε να εξασφαλίζεται η ομαλή εναπόθεση του υλικού στα υπάρχοντα στρώματα και να μειώνονται φαινόμενα παραμόρφωσης λόγω απότομης ανομοιόμορφης ψύξης του πολυμερούς. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται επίσης μείωση της απαιτούμενης θερμικής ενέργειας που διοχετεύεται στην κεφαλή, προκειμένου να τηχθεί η πρώτη ύλη, και καθίσταται πιο αποδοτική και καλύτερα ελεγχόμενη η διαδικασία.

3.5 Επιλογή Υλικού

Υπάρχουν πολλά υλικά με διαφορετικές ιδιότητες που μπορούν να επιλεγούν. Στη μέθοδο προσθετικής κατασκευής FDM το υλικό που χρησιμοποιήθηκε στην συγκεκριμένη κατασκευή είναι το

- **PLA** (πολυγαλακτικό οξύ ή πολυλακτίδιο)

Είναι ένας βιοδιασπάσιμος και βιοδραστικός θερμοπλαστικός αλειφατικός πολυεστέρας που προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές, όπως το άμυλο καλαμποκιού, οι ρίζες ταπιόκα σε φλούδες, ή το ζαχαροκάλαμο. Το 2010, το PLA είχε το δεύτερο υψηλότερο όγκο κατανάλωσης όλων των βιοπλαστικών παγκοσμίως.

Το PLA προσφέρει μεγαλύτερη λεπτομέρεια (Πιν.3.5.1) στις κατασκευές, χαμηλή στρέβλωση και συρρίκνωση σε μεγάλες κατασκευές και μεγαλύτερη συνοχή μεταξύ των στρωμάτων του. Μερικά αρνητικά είναι η μικρότερη αντοχή (Πίν.3.5.2) σε σύγκριση με τα υπόλοιπα υλικά τα οποία αποτελούνται από παράγωγα του πετρελαίου.

Διαστατική Ανοχή	± 0.5% (κατώτερο όριο: ± 0.5 mm) - επιτραπέζιο ± 0.15% (κατώτερο όριο: ± 0.2 mm) - βιομηχανικό
Συρρίκνωση / στρέβλωση	Τα θερμοπλαστικά που απαιτούν υψηλότερη θερμοκρασία εκτύπωσης κινδυνεύουν περισσότερο. Η συρρίκνωση εμφανίζεται συνήθως στο εύρος 0,2 - 1% ανάλογα με το υλικό.
Απαιτήσεις Υποστηρικτικής δομής	Βασικές για την επίτευξη ενός ακριβούς μοντέλου. Απαιτείται για προεξοχές μεγαλύτερες των 45 μοιρών.

Πίν.3.5.1 Ιδιότητες πολυλακτιδίου.

Χημικός τύπος	(C3H4O2) η
Θερμοκρασία τήξης	157-170 ° C
Τυπική θερμοκρασία έγχυσης	178-240 ° C
Θερμοκρασία εκτροπής θερμότητας	49 - 52 ° C στα 0,46 MPa (66 psi)
Αντοχή εφελκυσμού	61 - 66 Mpa (8840 - 9500 psi)
Αντοχή κάμψης	48 - 110 Mpa (6.950 - 16.000 psi)
Ρυθμός συρρίκνωσης	0,37 - 0,41%
Πυκνότητα	1.24 g/cm ³

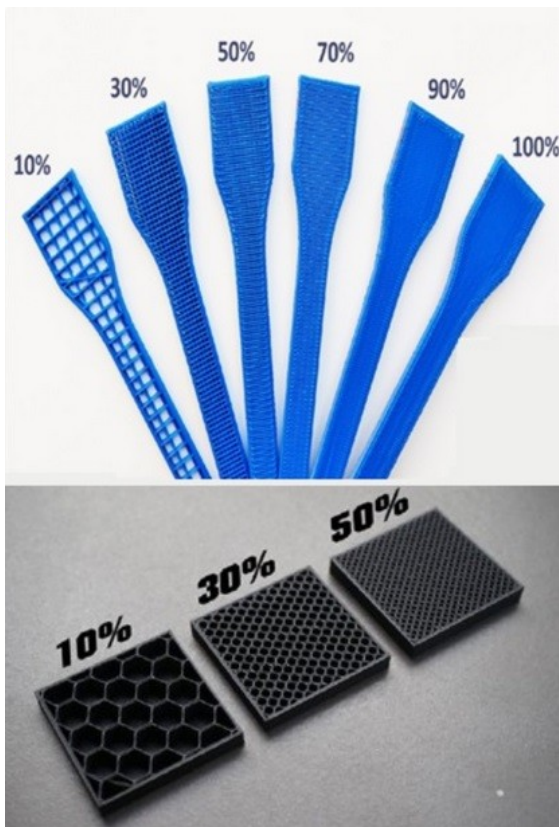
Πίν.3.5.2 Θερμοκρασιακές ιδιότητες και ιδιότητες αντοχής του πολυλακτιδίου.

3.6 Ποσοστό και πρότυπο πλήρωσης

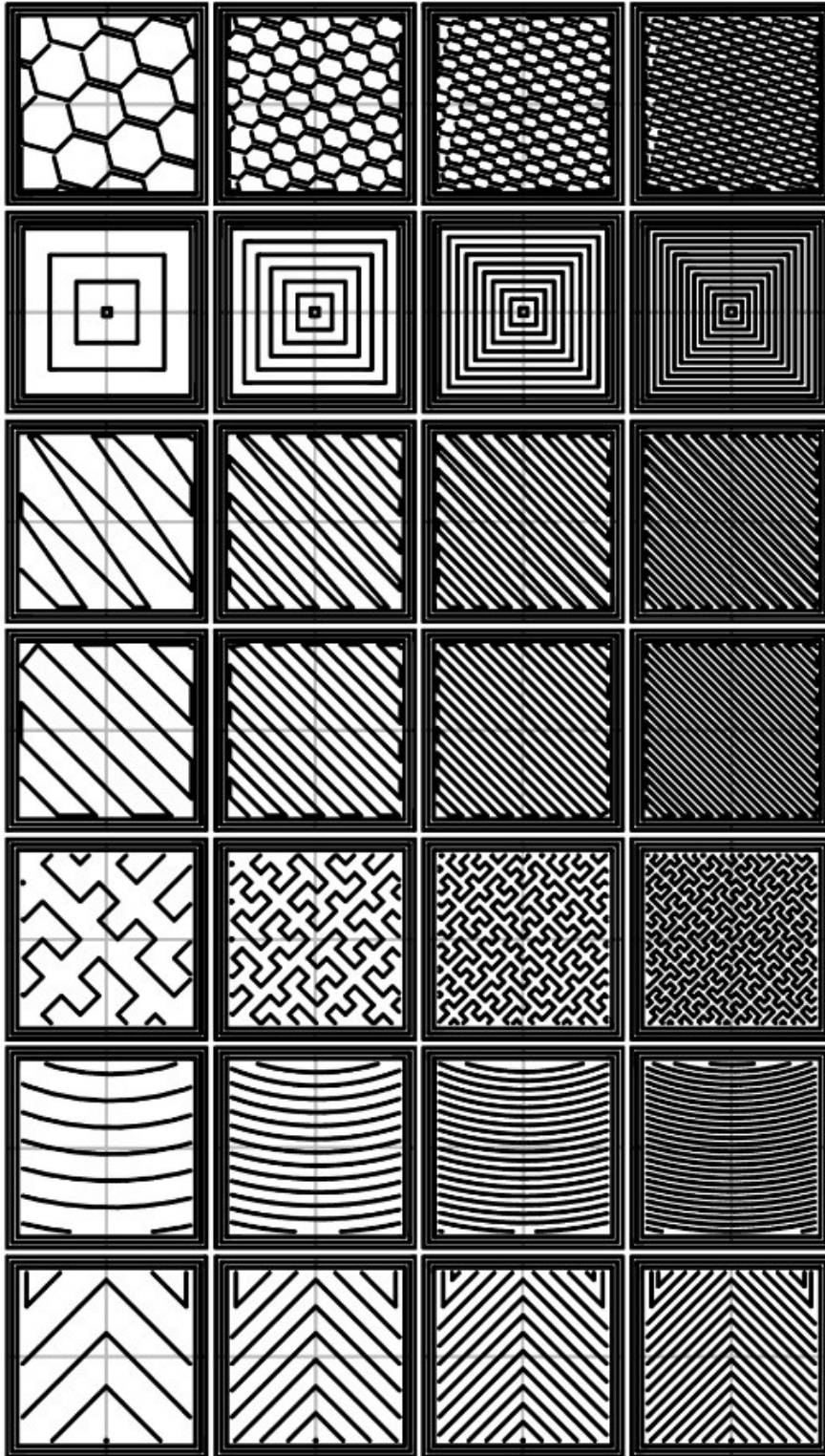
Το ποσοστό πλήρωσης (infill) είναι το ποσοστό της εσωτερικής δομής που γεμίζεται με υλικό. Ένα ποσοστό πλήρωσης 100% θα δώσει ένα συμπαγές εσωτερικό και το 0% θα δώσει ένα κενό εσωτερικό με εξωτερικό κέλυφος (Σχ.3.6.1). Αυτή η παράμετρος δεν επηρεάζει την περίμετρο ή τα τοιχώματα παρά μόνο τον εσωτερικό χώρο. Στο πλήθος μεταξύ αυτών των δύο ακραίων τιμών, ο χώρος είναι γεμάτος με μία εσωτερική δομή, που παράγεται από το λογισμικό τεμαχισμού (slicing), το πρότυπο του οποίου μπορεί να μεταβληθεί.

Στο Σχ.3.6.2 φαίνονται τα διαφορετικά σχέδια πλήρωσης με ποικίλο ποσοστό πλήρωσης. Από αριστερά προς τα δεξιά: 20%, 40%, 60%, 80%. και από πάνω προς τα κάτω: κηρήθρα, ομόκεντρα τετραπλευρα, σκιαγράμμιση, ευθύγραμμη σκιαγράμμιση, καμπύλη Hilbert, χορδές Archimedean και οκταγραμμική σπείρα αντίστοιχα.

Στο μοντέλο της παρουσίασης έχουν χρησιμοποιηθεί ως ποσοστά πλήρωσης τιμές που ξεκινούν από 25% και σε μερικά κομμάτια φτάνουν και το 100%, ανάλογα με την χρήση τους και το μέτρο των δυνάμεων που τα καταπονούν.



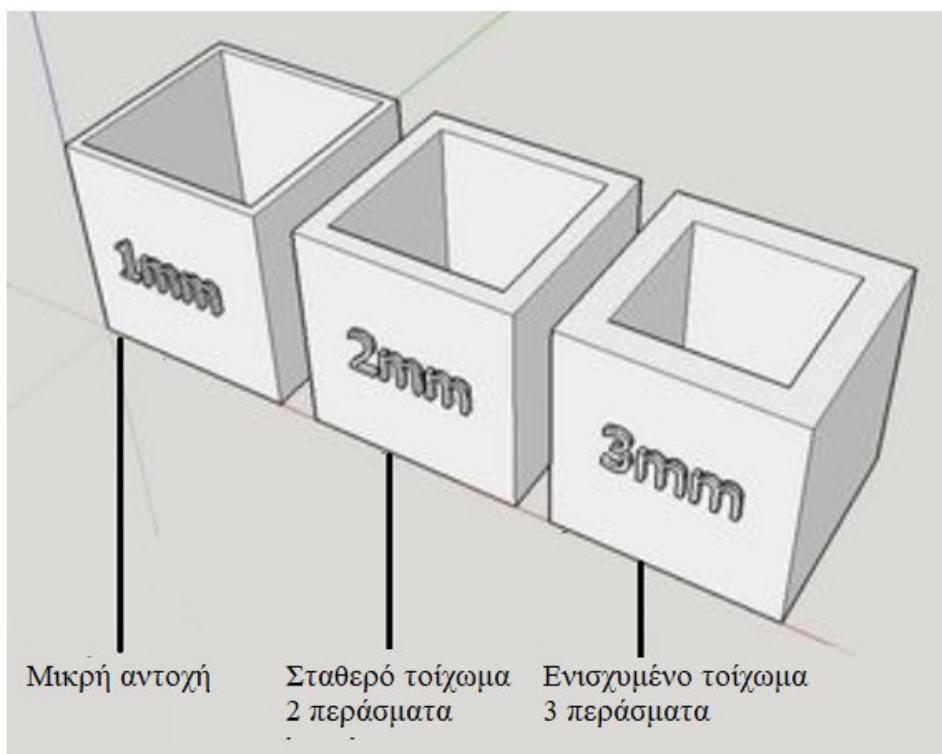
Σχ.3.6.1 Παραδείγματα ποσοστών πλήρωσης μοντέλου.



Σχ.3.6.2 Παραδείγματα ποσοστών και προτύπων πλήρωσης.

3.7 Πάχος Τοιχωμάτων

Το πάχος του τοιχώματος ορίζει τον αριθμό των περασμάτων που εκτελούνται για τη δημιουργία της περιφέρειας του κάθε στρώματος. Σχετίζεται με το ακροφύσιο και θα πρέπει να είναι πολλαπλάσιο της διαμέτρου του για να επιτευχθούν τα βέλτιστα αποτελέσματα. Για παράδειγμα, εάν χρησιμοποιείται ακροφύσιο 0,4mm, τότε το πάχος του τοιχώματος πρέπει να είναι 0,4mm (ένα πέρασμα, δεν συνιστάται), 0,8mm (δύο περάσματα) και ούτω καθεξής. Το αποτέλεσμα της αλλαγής του πάχους των τοιχωμάτων είναι ότι η ποσότητα του κενού χώρου στο εσωτερικό της δομής θα αλλάξει και επομένως η ποσότητα του σχεδίου πλήρωσης που μπορεί να δημιουργηθεί θα είναι διαφορετική. Το πάχος του τοιχώματος θα έχει μια μικρή επίδραση στην εμφάνιση του τυπωμένου τμήματος εάν τα τοιχώματα είναι πολύ λεπτά, καθώς μπορεί να εμφανιστούν οπές. Συνιστάται μία περίμετρος τουλάχιστον δύο φορές την διάμετρο του ακροφυσίου όπως φαίνεται και στο Σχ.3.7.1.



Σχ.3.7.1 Σχηματική απεικόνιση διαφορετικών παχών των τοιχωμάτων.

3.8 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της προσθετικής έναντι της αφαιρετικής κατεργασίας

Πλεονεκτήματα

Ως προς το αντικείμενο

- **Πολυπλοκότητα:** Δεν υπάρχουν περιορισμοί στην πολυπλοκότητα του προς κατεργασία αντικειμένου. Στην πραγματικότητα κοστίζει λιγότερο η εκτύπωση ενός πολύπλοκου αντικειμένου σε αντίθεση με έναν απλό κύβο του ίδιου μεγέθους. Όσο πιο σύνθετο, τόσο ταχύτερα και φθηνότερα μπορεί να γίνει μέσω της προσθετικής κατεργασίας.
- **Πολυποικιλότητα:** Εάν χρειάζεται να αλλαχθεί κάποια διάσταση ή μέρος του αντικειμένου, η αλλαγή αυτή μπορεί απλά να γίνει στο αρχικό αρχείο του προγράμματος σχεδίασης (CAD) και το νέο προϊόν μπορεί να εκτυπωθεί αμέσως.
- **Δεν απαιτείται συναρμολόγηση:** Κινούμενα εξαρτήματα όπως οι μεντεσέδες και οι αλυσίδες ποδηλάτων μπορούν να εκτυπωθούν σε μέταλλο απευθείας στο προϊόν, γεγονός που μπορεί να μειώσει σημαντικά τον αριθμό των εξαρτημάτων.
- **Λίγοι περιορισμοί:** Οποιαδήποτε ιδέα μπορεί να συλληφθεί και να σχεδιαστεί σε λογισμικό σχεδίασης (CAD), μπορεί και να δημιουργηθεί με την μέθοδο προσθετικής κατεργασίας.
- **Λιγότερα απόβλητα:** Χρησιμοποιείται μόνο το υλικό που απαιτείται. Σπάνια θα συναντήσουμε σπατάλη του κύριου υλικού.
- **Αμέτρητες αποχρώσεις των υλικών:** Οι μηχανικοί μπορούν να προγραμματίσουν αντικείμενα ή ακόμη και μέρη των αντικειμένων για να έχουν συγκεκριμένα χρώματα στα λογισμικά αρχεία σχεδίασης και οι εκτυπωτές μπορούν να χρησιμοποιήσουν αναλώσιμα υλικά οποιουδήποτε χρώματος για να τα τυπώσουν.
- **Κατασκευές με μεγαλύτερη απόδοση:** Όσον αφορά τους τριδιάστατους βιομηχανικούς εκτυπωτές μετάλλου, είναι ικανοί να δημιουργήσουν ένα αντικείμενο με βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες, καθώς το μέταλλο υποβάλλεται σε διαφορετική προ-

παρασκευαστική επεξεργασία, αλλάζοντας έτσι τη δομή των κόκκων και κρυστάλλων του.

Ως προς τον χρόνο

- **Μικρός χρόνος παράδοσης:** Οι μηχανικοί μπορούν να δημιουργήσουν ένα πρωτότυπο με έναν τριδιάστατο εκτυπωτή αμέσως μετά την ολοκλήρωση του αρχείου στερεολιθογραφίας (STL) του εξαρτήματος. Μόλις εκτυπωθεί το αντικείμενο, μπορούν στη συνέχεια να αρχίσουν να δοκιμάζουν τις ιδιότητές του, αντί να περιμένουν εβδομάδες ή και μήνες για την κατασκευή του προτύπου με μεθόδους αφαιρετικής κατεργασίας.
- **Μικρός χρόνος κατασκευής:** Σε κατασκευές μεγάλης κλίμακας ο χρόνος εκτύπωσης μειώνεται δραματικά σε σχέση με τις μεθόδους αφαιρετικής κατεργασίας.

Ως προς τον χειρισμό

- **Δεν απαιτείται μεγάλη ειδικευση:** Για απλές εφαρμογές αντικειμένων με μή καθορισμένες ανοχές και διαστασιολογημένες παραμέτρους ακόμη και παιδιά μπορούν να χρησιμοποιήσουν την τριδιάστατη εκτύπωση.

Ως προς το κόστος

- **Μικρό κόστος αγοράς εξοπλισμού για οικιακή χρήση:** Η τιμή για την αγορά ενός καινούργιου, αξιόπιστου οικιακού τριδιάστατου εκτυπωτή κυμαίνεται από εκατόν πενήντα (150) ευρώ έως και δεκάδες χιλιάδες ευρώ. Αυτό καθιστά τον εξοπλισμό της αφαιρετικής κατεργασίας ιδιαίτερα ελκυστικό στο ευρύ κοινό.
- **Μικρή έως και μηδενική χρήση βοηθητικών εργαλείων:** Δεν χρειάζονται εξειδικευμένα εργαλεία για την κατεργασία αντικειμένων που προήλθαν από τριδιάστατη εκτύπωση. Σε περιπτώσεις ελέγχου όμως, συνίσταται η χρήση συμβατικού παχύμετρου.

Μειονεκτήματα

Ως προς το αντικείμενο

- **Περιορισμένη γκάμα υλικών:** Το μεγαλύτερο ποσοστό των τριδιάστατων εκτυπωτών βασίζεται στη χρήση πλαστικών για την δημιουργία αντικειμένων. Οι υπόλοιποι αποτελούν τους βιομηχανικούς τριδιάστατους εκτυπωτές μετάλλου, τσιμέντου και πηλού.
- **Κακή διαστατική ακρίβεια:** Η προσθετική κατεργασία και πιο συγκεκριμένα η μέθοδος εναπόθεσης τηκόμενου υλικού (FDM) υστερεί σε διαστατική ακρίβεια των προς κατεργασία αντικειμένων, έναντι της αφαιρετικής διαδικασίας ή και άλλων ακριβότερων μεθόδων προσθετικής κατεργασίας.
- **Απαιτείται μετα-παρασκευαστική επεξεργασία:** Το φινίρισμα των επιφανειών καθώς και η διαστατική ακρίβεια είναι φτωχότερες σε σύγκριση με άλλες μεθόδους κατεργασίας.

Ως προς το χρόνο

- **Αργός ρυθμός δόμησης:** Πολλοί εκτυπωτές εναποθέτουν υλικό με ταχύτητα από 16 έως 82 cm³/h. Ανάλογα με το μέγεθός του προς κατεργασία αντικειμένου, άλλες μέθοδοι κατεργασίας μπορεί να είναι σημαντικά ταχύτερες.
- **Διακεκομμένη διαδικασία παραγωγής:** Οι εκτυπωτές δεν έχουν τη δυνατότητα να δημιουργήσουν περισσότερα από ένα αντικείμενα τη φορά (single-tasking). Το γεγονός αυτό οδηγεί σε μειωμένο επίπεδο μαζικής παραγωγής χωρίς περιθώρια για αναλογική εξοικονόμηση κόστους. Υπάρχουν βέβαια και βιομηχανικοί εκτυπωτές οι οποίοι μπορούν να δημιουργήσουν περισσότερα από ένα αντικείμενα ταυτόχρονα στην πλατφόρμα τους (multi-tasking). Η διαδικασία όμως αυτή οδηγεί σε μεγαλύτερους νεκρούς χρόνους.

Ως προς τον χειρισμό

- **Μεγάλη ειδίκευση για τον σχεδιασμό και την παραμετροποίηση της κατεργασίας:** Το μειονέκτημα αυτό έρχεται σε αντίθεση με το αντίστοιχο πλεονέκτημα χειρισμού ενός τριδιάστατου εκτυπωτή, δικαιολογημένα όμως, καθώς η ειδίκευση για τον σχεδιασμό και την παραμετροποίηση αντικειμένων διαφέρει ανάλογα με την χρήση του αντικειμένου. Έτσι ενώ για την δημιουργία παραδείγματος χάρη ενός πλαστικού παιχνιδιού ο χειριστής δεν χρειάζεται να έχει κάποιες ιδιαίτερες ικανότητες και να εμπίπτει σε κάποιο συγκεκριμένο ηλικιακό φάσμα, για την δημιουργία ενός κινούμενου μηχανολογικού

αντικειμένου με σαφείς διαστάσεις και ανοχές η δυσκολία σχεδίασης και παραμετροποίησης αυξάνει με ρυθμούς γεωμετρικής προόδου.

- **Επικίνδυνες αναθυμιάσεις:** Οι τριδιάστατοι εκτυπωτές που χρησιμοποιούνται σε κλειστούς χώρους μπορούν να δημιουργήσουν δυνητικά τοξικές εκπομπές καρκινογόνων σωματιδίων. Οι επιτραπέζιοι τριδιάστατοι εκτυπωτές μπορούν να εκπέμπουν μεγάλους αριθμούς εξαιρετικά λεπτών σωματιδίων και ορισμένες επικίνδυνες πτητικές οργανικές ενώσεις κατά την εκτύπωση. Για το λόγο αυτό η κατεργασία θα πρέπει να διενεργείται σε ανοιχτό ή καλά αεριζόμενο χώρο.
- **Έλεγχος ακρίβειας:** Η διαδικασία ελέγχου των διαστάσεων κατά την προσθετική κατεργασία ανήκει στην κατηγορία της μεταπαρασκευαστικής επεξεργασίας. Οι έλεγχοι δεν μπορούν να πραγματοποιηθούν κατά τη διάρκεια της κατεργασίας διότι εάν διακοπεί η λειτουργία της μηχανής, χάνεται αυτομάτως οποιαδήποτε πρόοδος έχει γίνει για την δημιουργία του μοντέλου.

Ως προς το κόστος

- **Υψηλό κατασκευαστικό κόστος:** Μερικές φορές τα προς κατεργασία αντικείμενα μπορούν να γίνουν ταχύτερα χρησιμοποιώντας άλλες μεθόδους, οπότε ο επιπλέον χρόνος μπορεί να οδηγήσει σε υψηλότερο κόστος.
- **Απώλειες θέσεων εργασίας στην μαζική παραγωγή:** Η τεχνολογία της τριδιάστατης εκτύπωσης μπορεί να δημιουργεί προϊόντα και πρωτότυπα σε λίγες ώρες. Εξαλείφει πολλά στάδια που χρησιμοποιούνται στην αφαιρετική κατασκευή και ως εκ τούτου δεν απαιτεί μεγάλο κόστος εργασίας. Η υιοθέτηση της τριδιάστατης εκτύπωσης μπορεί να μειώσει τις θέσεις εργασίας. Για τις χώρες που βασίζονται σε μεγάλο αριθμό θέσεων χαμηλής ειδίκευσης, η μείωση των θέσεων εργασίας θα μπορούσε να επηρεάσει δραματικά την οικονομία τους.

3.9 Ελαττώματα αντικειμένων με τη μέθοδο της εναπόθεσης τηγμένου υλικού (FDM)

Ελαττώματα συναντάμε τόσο στις επιφάνειες των αντικειμένων, όσο και στην εσωτερική δομή τους. Ακολουθούν παραδείγματα.

3.9.1 Ασυνέχειες

Εμφανίζονται σαν εξογκώματα στην επάνω επιφάνεια ενός αντικειμένου και μπορούν να είναι ανοικτά ή κλειστά (Σχ.3.9.1). Αιτία εμφάνισης είναι η υπολειτουργία των ανεμιστήρων ψύξης όταν ο εκτυπωτής τυπώνει το υψηλότερο στρώμα του αντικειμένου ή η χρήση πολύ λεπτών διαδοχικών στρωμάτων υλικού. Κατά το φαινόμενο αυτό, τα λεπτόκοκκα νήματα του πλαστικού τείνουν να κυρτωθούν και να κολλήσουν επάνω από την επιφάνεια της εκτύπωσης, καθιστώντας έτσι δυσκολότερο στα επόμενα στρώματα να καλύψουν σωστά το διάκενο. Με καλή ψύξη τα νήματα αναπτύσσονται σταδιακά στα κενά, μέχρι να τα κλείσουν πλήρως. Εκτός από την καλή ψύξη, πρέπει επίσης να εκτυπωθεί μια ενισχυμένη επιφάνεια στο επάνω μέρος του αντικειμένου, αποτελούμενη από πολλές αλληπάλληλες στρώσεις υλικού. Συνιστάται η τοποθέτηση έξι (6) στρωμάτων υλικού για ένα ενδεικτικό ύψος στρώματος 0.1 mm. Γενικά, χρειάζονται περισσότερα κορυφαία στρώματα. Όσο πιο λεπτό είναι το ύψος του στρώματος, τόσο περισσότερα χρειάζονται. Με πολύ λεπτά στρώματα, τα λεπτόκοκκα νήματα του πλαστικού, είναι πιθανότερο να σπάσουν πριν γεφυρωθούν πλήρως πάνω από τα κενά.

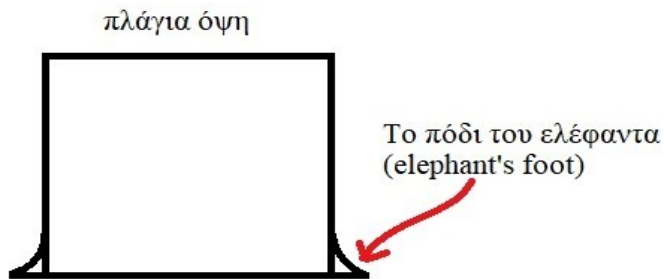


Σχ.3.9.1 Επιφανειακές ασυνέχειες στο επάνω μέρος του αντικειμένου (Pillowing).

3.9.2 Παραμόρφωση τοιχώματος βάσης

Το φαινόμενο αυτό μπορεί να προκληθεί από το βάρος του μοντέλου, το οποίο πιέζει το αρχικό στρώμα πριν μεταβεί σε στερεή μορφή (Σχ.3.9.2). Αιτία εμφάνισης είναι η ελλιπής ψύξη και η χρήση εκτυπωτή με θερμαινόμενη πλατφόρμα. Για την εξάλειψη του φαινομένου θα πρέπει να ανυψωθεί ελάχιστα το ακροφύσιο εναπόθεσης από τον χειριστή, ή εναλλακτικά

να λοξοτομηθεί η περιοχή της βάσης από τον σχεδιαστή με γωνία λοξότμησης σαράντα πέντε (45) μορών.



Σχ.3.9.2 Το φαινόμενο γνωστό ως πόδι του ελέφαντα (elephant's foot) που περιγράφει την παραμόρφωση στην βάση του αντικειμένου.

3.9.3 Κύρτωση

Η κύρτωση συμβαίνει όταν το πλαστικό ψύχεται και συστέλλεται. Καθώς το αντικείμενο ψύχεται και συρρικνώνεται ελαφρώς, συγκεντρώνονται τάσεις στις ακμές του. Τελικά οι τάσεις αυτές γίνονται τόσο μεγάλες ώστε το αντικείμενο κάμπτεται και αποκολλάται από την πλατφόρμα εκτύπωσης (Σχ.3.9.3). Ο καλύτερος τρόπος για να αποφευχθεί το φαινόμενο αυτό είναι με χρήση θερμαινόμενης πλατφόρμας εκτύπωσης.

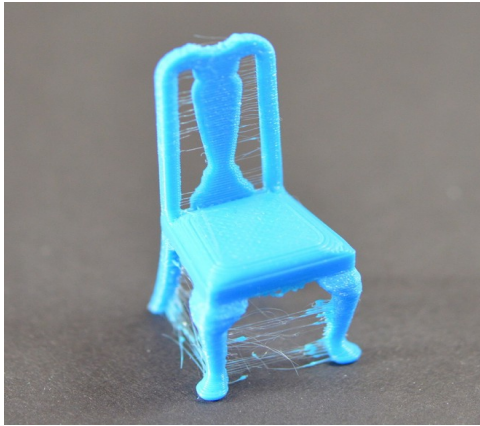


Σχ.3.9.3 Κύρτωση στην βάση του αντικειμένου (wrapping).

3.9.4 Ελλειπής αποκόλληση νήματος στα διάκενα

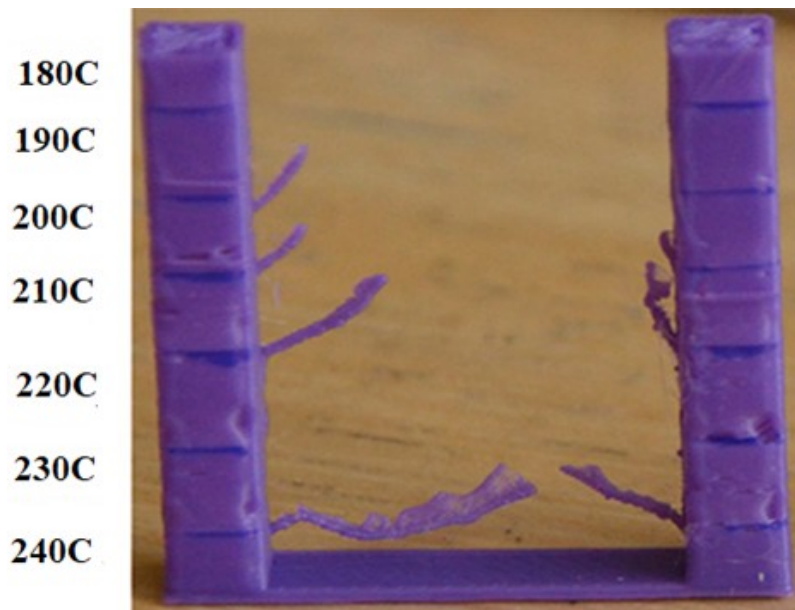
Το φαινόμενο αυτό οφείλεται σε λάθος του ανθρώπινου παράγοντα κατά την εκκίνηση της κατεργασίας. Ανήκει στη προπαρασκευαστική επεξεργασία και παραμετροποίηση της μηχανής. Κατα την προπαρασκευαστική παραμετροποίηση προσφέρονται στον χειριστή

συγκεκριμένες ρυθμίσεις για την δημιουργία του εκάστοτε μοντέλου. Οι ρυθμίσεις αυτές διαφέρουν ανάλογα με την γεωμετρία του μοντέλου. Σε μοντέλα με μεγάλο ύψος και ύπαρξη διάκενων (Σχ.3.9.4.1) υπάρχει η επιλογή της ανάκλισης νήματος (retraction). Όταν ενεργοποιείται αυτή η ρύθμιση, ο εκτυπωτής ανακαλεί μικρή ποσότητα νήματος πίσω στο ακροφύσιο, αποτρέποντας έτσι την δημιουργία αποκολλώμενων από το αντικείμενο νημάτων, κατά την κίνηση του ακροφυσίου σε περιοχές που δεν θέλουμε να έχουμε ενόποθεση υλικού.



Σχ.3.9.4.1 Το φαινόμενο Stringing. Πρόκειται για ελλιπή αποκόλληση του νήματος πλαστικού κατά την δημιουργία διάκενων.

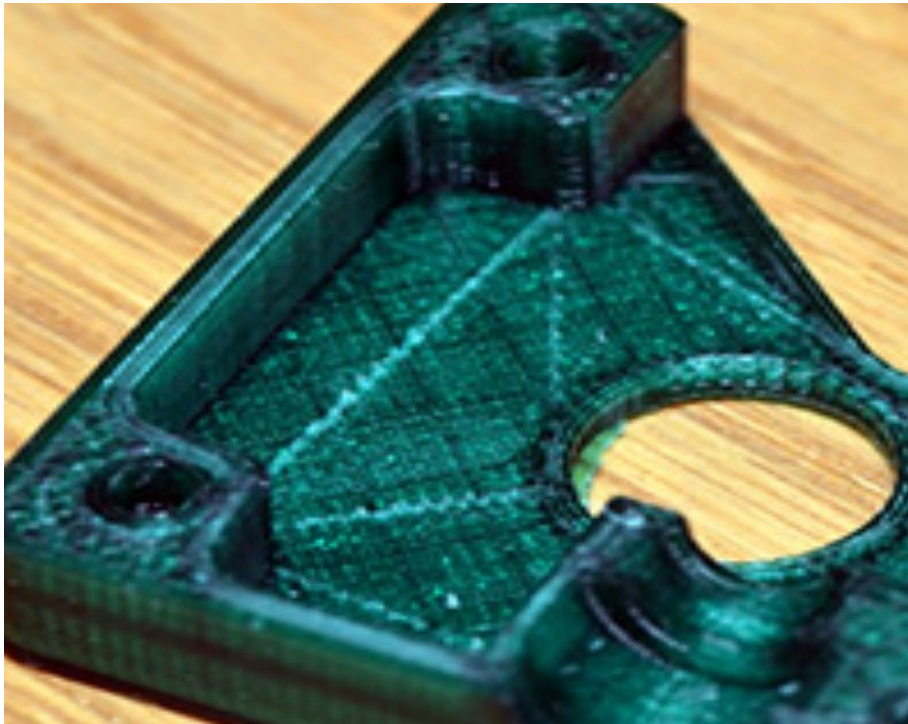
Το Σχ.3.9.4.2 δείχνει με σαφήνεια πως η μείωση της θερμοκρασίας έχει θετική επίδραση στην μείωση του φαινομένου αυτού. Όταν ο χειριστής μειώνει την θερμοκρασία στο ακροφύσιο εξώθησης, θα πρέπει επίσης να μειώνει και την ταχύτητα κίνησης του ακροφυσίου. Οι θερμοκρασίες που εμφανίζονται στο Σχ.3.9.4.1 είναι ενδεικτικές για πολυλακτίδιο (PLA) και προέκυψαν από πειραματισμούς. Για χρήση διαφορετικών υλικών οι θερμοκρασίες αυτές διαφέρουν και συνιστάται ο πειραματισμός και η προσφυγή στο εγχειρίδιο χρήσης του εκάστοτε κατασκευαστή της μηχανής.



Σχ.3.9.4.2 Εξάλειψη του φαινομένου αποκόλλησης νήματος με μείωση της θερμοκρασίας του ακροφύσιου εξώθησης.

3.9.5 Γραμμώσεις/Γρατσουνιές

Καθώς η κεφαλή εκτύπωσης ολοκληρώνει μια κίνηση στο κορυφαίο στρώμα του μοντέλου, το ακροφύσιο εναπόθεσης μπορεί, ερχόμενο σε επαφή με το τηγμένο υλικό, να δημιουργήσει άσχημες γραμμώσεις στην επιφάνεια του (Σχ.3.9.5). Το φαινόμενο αυτό προκαλείται επίσης και από μη επιθυμητή εναπόθεση τηγμένου υλικού στην κορυφαία επιφάνεια του μοντέλου, κατά την κίνηση της κεφαλής εκτύπωσης. Σε αυτή τη περίπτωση θα πρέπει ο χειριστής να ενεργοποιήσει κατά την περίοδο της παραμετροποίησης της κατεργασίας μία ρύθμιση, η οποία επιτρέπει στο ακροφύσιο να ανυψώνεται ελαφρώς πριν και κατά τη διάρκεια της κίνησής του. Στο λογισμικό παραμετροποίησης που χρησιμοποιήθηκε (ultimaker cura) η ρύθμιση αυτή ονομάζεται αναπήδηση κατά τον άξονα z (z-hop). Κατά την ενεργοποίηση της λειτουργίας αυτής, αυξήθηκε η ταχύτητα κίνησης του ακροφυσίου από την προεπιλεγμένη της τάξης των 150 mm/s στα 250 mm/s, για την μείωση τυχόν διαρροής του τηγμένου υλικού κατά την κίνηση του ακροφυσίου και επίσης μείωση των νεκρών χρόνων της μηχανής. Με τις προαναφερόμενες ενέργειες, επιτεύχθηκε η εξάλειψη του φαινομένου των γραμμώσεων σε όλα τα αντικείμενα που κατασκευάστηκαν.



Σχ.3.9.5 Γραμμώσεις στην άνω επιφάνεια του αντικειμένου.

Κατά τη δημιουργία των αντικειμένων για την υλοποίηση του μοντέλου του συστήματος μετάδοσης κίνησης προέκυψαν και αντιμετωπίστηκαν επιτυχώς τα εξής ελαττώματα:

- Παραμόρφωση στη βάση του αντικειμένου (elephant's foot)
- Ελλειπής αποκόλληση νήματος στα διάκενα
- Συρρίκνωση του τηγμένου υλικού
- Αστοχία της υποστηρικτικής δομής
- Γραμμώσεις

4 ΚΙΒΩΤΙΟ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ

4.1 Περιγραφή του κιβωτίου ταχυτήτων και των κύριων εξαρτημάτων του

Το κιβώτιο ταχυτήτων που χρησιμοποιήθηκε ως αντικείμενο αντίστροφης μηχανικής (reverse engineering), κατασκευάστηκε από την εταιρία Mercedes-Benz και φέρει τον κωδικό εξαρτήματος 711.113 (Σχ.4.1.1). Πρόκειται για μηχανικό κιβώτιο μετάδοσης κίνησης σταθερών αξόνων, 5+1 διακριτών σχέσεων μετάδοσης. Χρησιμοποιήθηκε στο επαγγελματικό όχημα Mercedes-Benz 308 D του 1989 σε συνδυασμό με πετρελαιοκινητήρα συνολικού όγκου εμβολισμού 2500cc.



Σχ.4.1.1 Απεικόνιση κιβωτίου μετάδοσης κίνησης και στοιχεία εξαρτήματος.

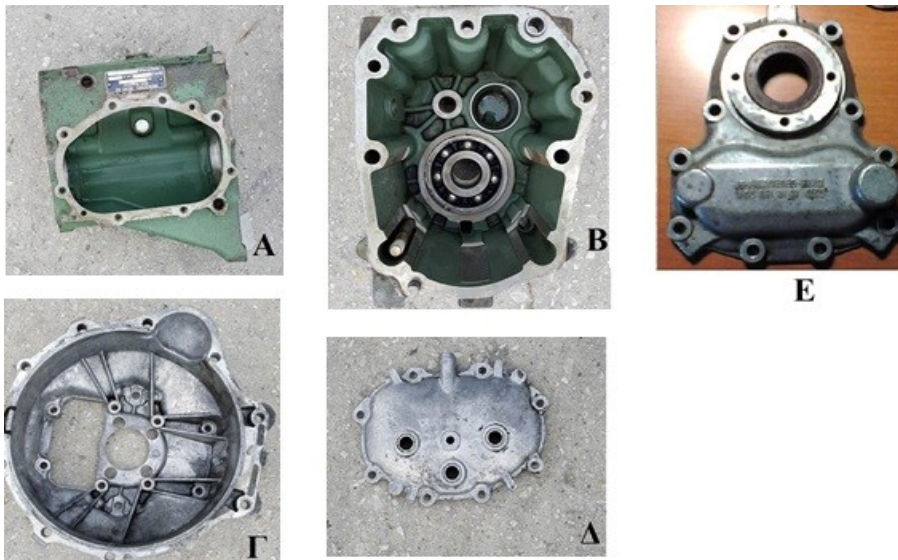
Το κιβώτιο μετάδοσης κίνησης τοποθετείται εγκάρσια ή κατά μήκος ανάλογα με τους κινητήριους τροχούς του οχήματος. Έτσι ενώ στα προσθιοκίνητα οχήματα τοποθετείται εγκάρσια του πλαισίου του οχήματος, στα πισωκίνητα οχήματα η τοποθέτηση είναι διαμήκως του πλαισίου (Σχ.4.1.2).



Σχ.4.1.2 Θέση του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης σε σχέση με το πλαίσιο του οχήματος σε οπισθοκίνητο όχημα.

Το συγκεκριμένο κιβώτιο μετάδοσης, ανήκει στην κατηγορία των μηχανικών κιβωτίων μετάδοσης κίνησης με συγχρονιστές. Τα εξαρτήματα που το απαρτίζουν θα αναλυθούν στη συνέχεια.

4.2 Κέλυφος και καπάκια



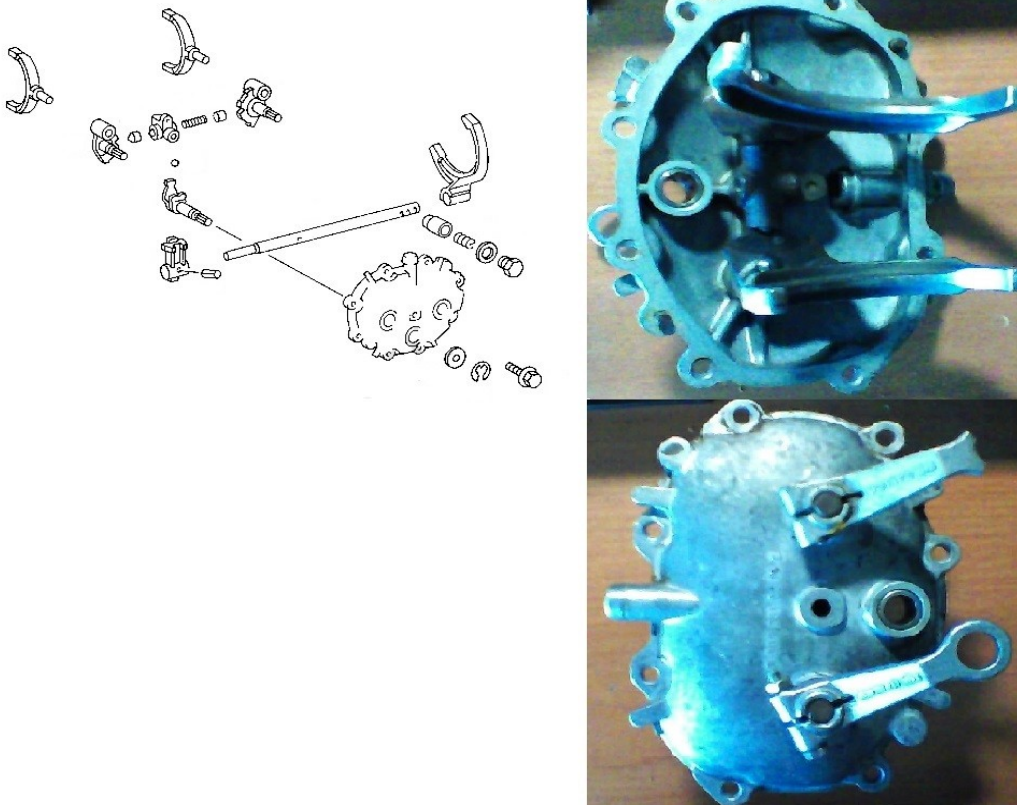
Σχ.4.2.1 Α) Κέλυφος κιβωτίου, Β) Προέκταση κελύφους κιβωτίου και έδρασης επιλογή ταχυτήτων, Γ) Περίβλημα σφονδύλου και συμπλέκτη (καμπάνα), Δ) Καπάκι κελύφους και στήριξης ράβδων επιλογή ταχυτήτων. Ε) Καπάκι στεγανοποίησης κατά την διέλευση της ατράκτου εισόδου στο κιβώτιο.

Το κέλυφος (Σχ.4.2.1) εμπεριέχει όλα τα στοιχεία του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης, συμπεριλαμβανομένου του λιπαντικού στοιχείου του κιβωτίου. Είναι κατασκευασμένο από κράμα χάλυβα και άλλων μετάλλων και στα πιο σύγχρονα οχήματα από κράματα αλουμινίου. Οι κατασκευαστές κιβωτίων μετάδοσης κίνησης χρωματίζουν το κέλυφος τόσο στο εξωτερικό όσο και στο εσωτερικό, για να προσφέρουν προστασία κατά της διάβρωσης. Επιπλέον, τα εναπομείναντα σωματίδια άμμου από τη διαδικασία χύτευσης του κελύφους δεσμεύονται από την εσωτερική επίστρωση χρώματος του κελύφους, με αποτέλεσμα να αποφεύγονται πιθανές ζημιές στους οδόντες των τροχών και στα έδρανα κύλισης του κιβωτίου. Επίσης, η βαφή αυτή παρέχει προστασία από χτυπήματα από εργαλεία και άλλα αντικείμενα που μπορεί να επηρεάσουν την επιφάνεια του κελύφους, από την άμεση αστοχία του υλικού του κελύφους, ενώ παράλληλα προσφέρει ισχυρή προσκόλληση στην επιφάνεια και ανώτερη αντοχή σε χημικές ουσίες και στη διείδυση υγρών. Το συγκεκριμένο κέλυφος είναι χρωματισμένο με βαφή δύο συστατικών (εποξειδική βαφή) ναυτικού τύπου (Marine grade epoxy paint). Το κύριο κέλυφος του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης (Σχ.4.2.1Α) φέρει δύο πώματα, τοποθετημένα στο χαμηλότερο και υψηλότερο σημείο του κελύφους, τα οποία χρησιμοποιούνται αντίστοιχα για την απόπλυση και την πλήρωση του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης. Στο Σχ.4.2.1Β απεικονίζεται η προέκταση του κυρίως κελύφους. Χρησιμοποιείται για την έδραση του επιλογέα ταχυτήτων (πυργολεβιέ), ενώ φέρει επίσης εσοχή στην οποία τοποθετείται οδοντωτός τροχός (Σχ.4.2.2) για την μέτρηση στροφών και «ενημέρωση» της μονάδας ελέγχου του οχήματος και κατ'επέκταση του οδηγού.



Σχ.4.2.2 Απεικόνιση της θέσης έδρασης του οδοντωτού τροχού μέτρησης στροφών.

Στο Σχ.4.2.1Δ φαίνεται το καπάκι που φέρει τις εσοχές για την έδραση των συγκρατητών και των δίχαλων του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης. Στο Σχ.4.2.3 απεικονίζεται σχηματικά σε ανεπτυγμένη όψη αριστερά και πλήρως συναρμολογημένο δεξιά, το συγκεκριμένο υποσύνολο του κιβωτίου.

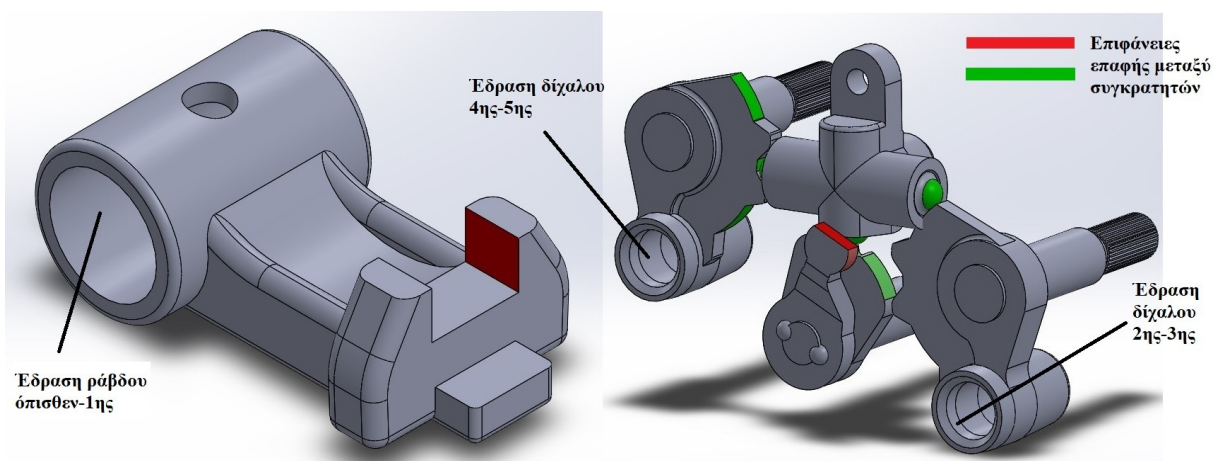


Σχ.4.2.3 Αριστερά ανεπτυγμένη όψη των επιμέρους εξαρτημάτων του μηχανισμού επιλογής σχέσης μετάδοσης, δεξιά πλήρως συναρμολογημένη απεικόνιση.

Ο μηχανισμός επιλογής, ο οποίος εδράζεται στο καπάκι του κελύφους του κιβωτίου αποτελείται από επτά κύριες ομάδες εξαρτημάτων:

- Το καπάκι του κύριου κελύφους του κιβωτίου.
- Τα δίχαλα ή φουρκέτες, τα οποία θα αναλυθούν στη συνέχεια.
- Τη ράβδο έδρασης του δίχαλου για την επιλογή της όπισθεν.
- Τους συγκρατητές (detents).
- Τα έδρανα κύλισης.
- Τον οδηγό (Mitnehmer), ο οποίος κινεί την ράβδο που φέρει το δίχαλο της όπισθεν.
- Τους μοχλούς (levers) που εδράζονται πάνω στους συγκρατητές.

Στο κιβώτιο μετάδοσης κίνησης που χρησιμοποιήθηκε, υπάρχουν τέσσερις συγκρατητές (Σχ.4.2.4). Ο κεντρικός συγκρατητής είναι κατασκευασμένος από χάλυβα μέσω χύτευσης. Έχει σταυροειδή γεωμετρία και φέρει τρεις διαμπερείς οπές, από τις οποίες εξέρχονται σφαιρικά και σφαιροειδή σώματα με την βοήθεια ελατηρίου. Δύο από τους συγκρατητές του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης έχουν συγκεκριμένη και πολύπλοκη γεωμετρία. Αποτελούνται από τρία επιμέρους εξαρτήματα, την πλάκα η οποία φέρει εσοχές για την έδραση των σφαιροειδών στοιχείων του κεντρικού συγκρατητή, τον άξονα, ο οποίος είναι συγκολλημένος με την πλάκα (πονταρισμένος) και φέρει πολύσφηνο για την έδραση των μοχλών στην εξωτερική πλευρά του καπακιού, και την διαμπερή οπή για την έδραση της υπόφυσης του δίχαλου (Σχ.4.2.3). Οι δύο αυτοί παρόμοιοι συγκρατητές δημιουργούν τρεις θέσεις έκαστος για τα σφαιροειδή στοιχεία του κεντρικού συγκρατητή, ήτοι τρεις θέσεις για τα δίχαλα (μετάδοση-νεκρά-μετάδοση).



Σχ.4.2.3 Αριστερά ο οδηγός που εδράζεται στη ράβδο που φέρει το δίχαλο για την επιλογή της όπισθεν και 1^{ης} σχέσης μετάδοσης. Δεξιά ο μηχανισμός των συγκρατητών, πλήρως συναρμολογημένος.

4.3 Άξονες και άτρακτοι

Οι αξόνες του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης αποτελούν τα κυριότερα και μεγαλύτερα εξαρτήματά του. Είναι τα στοιχεία που δύνανται να εκτελούν περιστροφική κίνηση, στηριζόμενα σε δύο ή περισσότερες θέσεις επί κατάλληλων εδράνων. Είναι κατασκευασμένοι από βαμμένο χάλυβα υψηλής αντοχής και επάνω τους τοποθετούνται τα έδρανα κύλισης των οδοντωτών τροχών, οι οδοντωτοί τροχοί και οι συγχρονιστές. Όπως φαίνεται και στο Σχ.4.2.1, το συγκεκριμένο κιβώτιο μετάδοσης κίνησης φέρει έναν μη περιστεφόμενο άξονα και τρεις ατράκτους.



Σχ.4.3.1 Άξονες και άτρακτοι του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης αριστερά και οι αντίστοιχοι εκτυπωμένοι δεξιά. Α) ενδιάμεση άτρακτος. Β) άτρακτος εξόδου. Γ) άξονας έδρασης οδοντωτού τροχού. Δ) άτρακτος εισόδου.

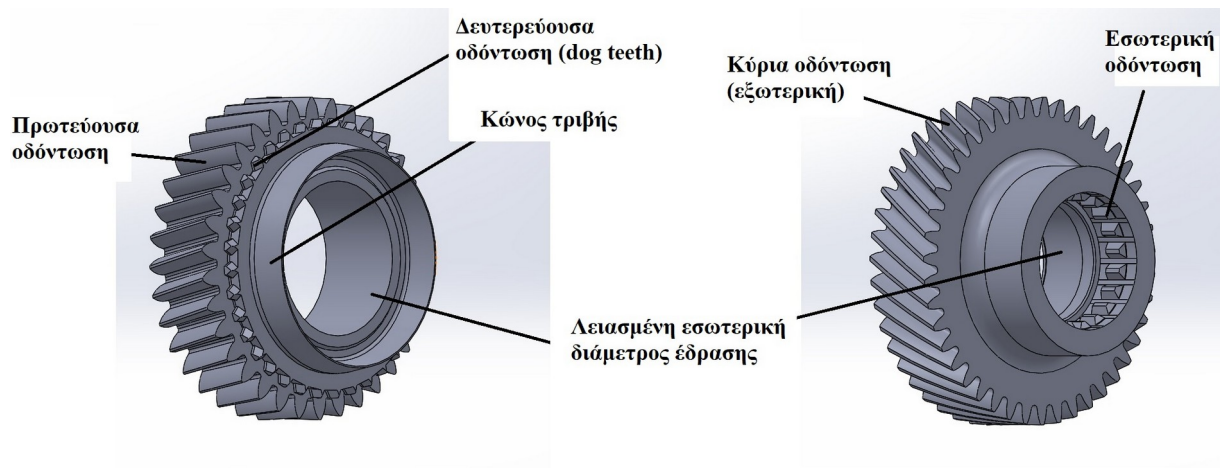
Η άτρακτος εισόδου (input shaft) ή πρωτεύουσα άτρακτος (Σχ.4.2.1Δ), είναι αυτή η οποία παίρνει κίνηση από τον συμπλέκτη του οχημάτος και την διανέμει στην ενδιάμεση άτρακτο (countershaft) (Σχ.4.2.1Α) μέσω του οδοντωτού τροχού που φέρει, ο οποίος βρίσκεται σε μόνιμη εμπλοκή με την ενδιάμεση άτρακτο. Έπειτα η κίνηση μεταφέρεται στην άτρακτο εξόδου (Σχ.4.2.1Β) ή δευτερεύουσα άτρακτο (output shaft), η οποία είναι ομοαξονική της ατράκτου εισόδου και μεταφέρει με την σειρά της την κίνηση στο διαφορικό και τους τροχούς. Ο μη περιστρεφόμενος άξονας του Σχ.4.2.1Γ είναι ο άξονας ο οποίος φέρει το έδρανο κύλισης και τον ενδιάμεσο οδοντωτό τροχό του συμπλέγματος της όπισθεν, το οποίο αποτελείται από τρεις οδοντωτούς τροχούς.

4.4 Οδοντωτοί τροχοί

Οι οδοντωτοί τροχοί (Σχ.4.4.1) χρησιμοποιούνται για την μετάδοση της κίνησης από άξονα σε άξονα. Η μετάδοση αυτή πραγματοποιείται μέσω των οδόντων του ενός τροχού που εισέρχονται στα αντίστοιχα διάκενα του άλλου. Μεταφέρουν άμεσα μεγάλο φάσμα ισχύος και στροφών μεταξύ αξόνων οποιασδήποτε χωροταξικής θέσης.



Σχ.4.4.1 Απεικόνιση των οδοντωτών τροχών του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης.



Σχ.4.4.2 Α) Χαρακτηριστικά «τρελού» οδοντωτού τροχού ενός κιβωτίου μετάδοσης κίνησης. Β) Χαρακτηριστικά ενός σταθερού οδοντωτού τροχού.

Οι οδοντωτοί τροχοί ενός κιβωτίου μετάδοσης κίνησης χωρίζονται στις εξής δύο κατηγορίες:

- Σταθεροί οδοντωτοί τροχοί

- «Τρελοί» οδοντωτοί τροχοί
- Άεργοι οδοντωτοί τροχοί

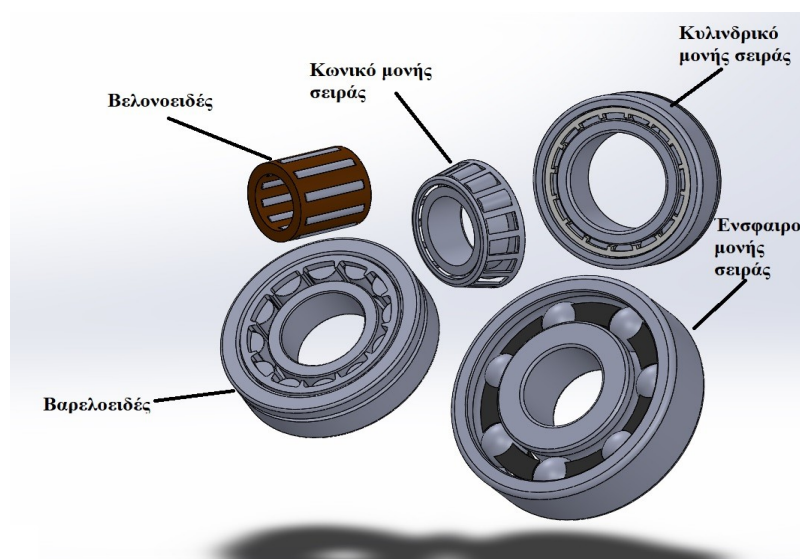
Οι σταθεροί οδοντωτοί τροχοί είναι αυτοί που εδράζονται (είναι ουσιαστικά πακτωμένοι) επάνω στην ενδιάμεση άτρακτο και την άτρακτο εισόδου. Εκτελούν περιστροφική κίνηση μαζί με την άτρακτο και μεταφέρουν ροπή.

«Τρελοί» ονομάζονται οι οδοντωτοί τροχοί του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης, οι οποίοι εδράζονται επάνω σε έδρανα κύλισης και κατ'επέκταση στην άτρακτο εξόδου. Έχουν τη δυνατότητα να περιστρέφονται ανεξάρτητα της ατράκτου, στην οποία βρίσκονται (εξ ού και η ονομασία «τρελοί» οδοντωτοί τροχοί). Υπό συνθήκες οι οποίες θα αναλυθούν παρακάτω, αυτή η κατηγορία οδοντωτών τροχών δύναται να περιστρέφονται μαζί με την άτρακτο με σκοπό την μεταφορά ροπής.

Στους άεργους οδοντωτούς τροχούς ανήκει ο ενδιάμεσος οδοντωτός τροχός του συμπλέγματος της όπισθεν, καθώς υφίσταται μόνο για λόγους αντιστροφής της φοράς περιστροφής της ατράκτου εξόδου.

4.5 Έδρανα κύλισης

Τα έδρανα κύλισης (ρουλεμάν) φορτίζονται κατά τη λειτουργία τους με στατικά ή δυναμικά φορτία. Ένα έδρανο κύλισης που φέρει φορτίο ενώ δεν περιστρέφεται, περιστρέφεται αργά ή



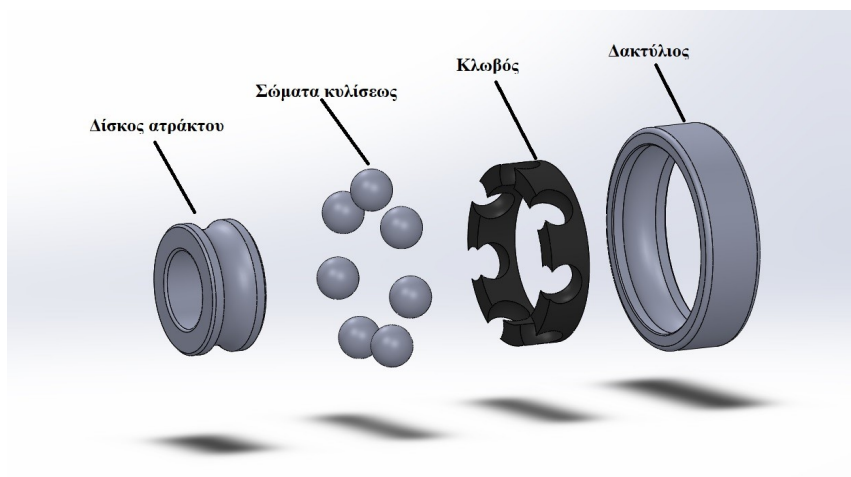
Σχ.4.5.1 Απεικόνιση των κατηγοριών των εδράνων κύλισης του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης.

ταλαντεύεται, θεωρούμε ότι φορτίζεται στατικά. Αντίθετα δυναμική θεωρείται η φόρτιση όταν το έδρανο περιστρέφεται. Στο Σχ.4.5.1 περιλαμβάνονται όλες οι κατηγορίες των εδράνων κύλισης του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης που χρησιμοποιήθηκε. Αναλυτικότερα:

1. Ένσφαιρα έδρανα κύλισης (Single row deep groove ball bearing)

Αποτελούνται απο τέσσερα κύρια μέρη (Σχ4.5.2):

- Τα σώματα κυλίσεως (κύλιστρα), τα οποία σε αυτή την περίπτωση είναι σφαίρες. Κατασκευάζονται από κράμα χάλυβα υψηλών απαιτήσεων (χρωμιούχο ή χρωμονικελιούχο). Λειαίνονται επιφανειακά και υπόκεινται σε επιφανειακή θερμική κατεργασία ώστε να αποκτήσουν επιφανειακή σκληρότητα.
- Τον κλωβό των σωμάτων κυλίσεως, ο οποίος είναι συνήθως κατασκευασμένος από χαλβδοελάσματα ή πολυαμίδιο με ενίσχυση υαλονημάτων. Ο κλωβός χωρίζει τα στοιχεία κυλίσεως σε τακτά διαστήματα, κρατώντας τα σε σταθερή απόσταση μεταξύ τους, χωρίς να εμποδίζει την περιστροφή τους.
- Τον δακτύλιο (εάν είναι ακτινικό) ή τον δίσκο κιβωτίου (εάν είναι αξονικό). Είναι κατασκευασμένος από σκληρυμένο χάλυβα ή ανοξειδωτο χάλυβα και
- Τον εσωτερικό δακτύλιο ή δίσκο ατράκτου.

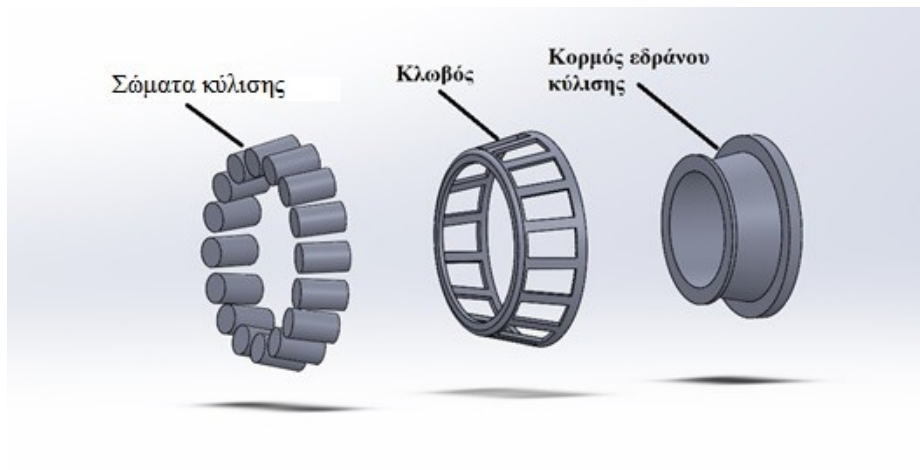


Σχ.4.5.2 Ανεπτυγμένη όψη ένσφαιρου εδράνου κύλισης.

Το συγκεκριμένο κιβώτιο μετάδοσης κίνησης χρησιμοποιεί ένα ένσφαιρο έδρανο κύλισης, μονής σειράς, ακτινικό, βαθέος αύλακα.

2. Κωνικά έδρανα κύλισης (Tapered Roller Bearing).

Οι επιφάνειες των δακτυλίων και των στοιχείων που κυλίνονται έχουν κωνική μορφή (Σχ.4.5.3). Οι κωνικοί κύλινδροι οδηγούνται από το μέρος της μεγαλύτερης διαμέτρου και από προεξοχή στον εσωτερικό δακτύλιο. Οι κωνικοί τριβείς μεταφέρουν συνδυασμένα ακτινικά και αξονικά φορτία και επιτρέπουν ρύθμιση ακρίβειας του διάκενου, τόσο ακτινικά όσο και αξονικά. Αποτελούνται από κυλινδρικά σώματα κυλίσεως, κλωβό με διάκενα κατασκευασμένο από χαλυβδοέλασμα και τον κορμό του εδράνου ο οποίος έχει κωνικό σχήμα. Το κιβώτιο μετάδοσης κίνησης, φέρει δύο κωνικά έδρανα κύλισης τα οποία εδράζονται επάνω στον άξονα του ενδιάμεσου οδοντωτού τροχού του συμπλέγματος της όπισθεν και στην αντίστροφη άτρακτο.

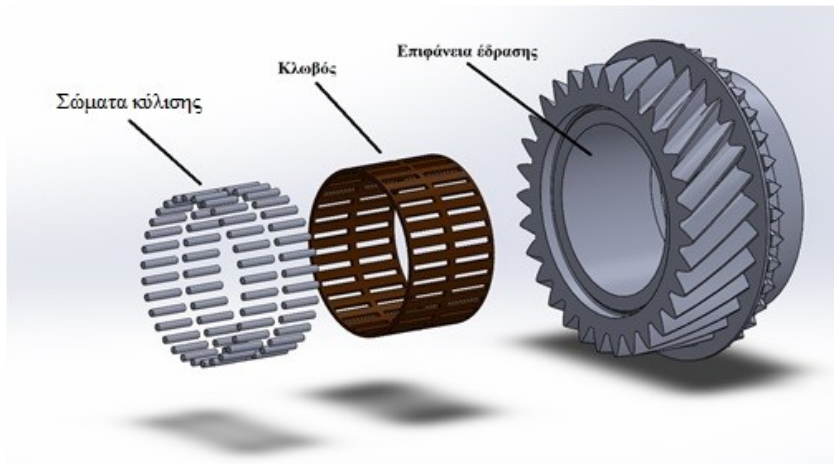


Σχ.4.5.3 Ανεπτυγμένη όψη κωνικού εδράνου κύλισης.

3. Βελονοειδή έδρανα κύλισης (Needle Roller Bearing)

Αυτό το είδος εδράνων κύλισης (Σχ.4.5.4) επιλέγεται κυρίως σε κατασκευές όπου απαιτούνται μειωμένες ακτινικές διαστάσεις και μέγιστη ακαμψία και ικανότητα φορτίου. Ο βελονωτός κλωβός αποτελείται από έναν μονοκόμματο κλωβό και βελόνες και μπορεί να σχεδιαστεί να είναι πολύ συμπαγής (κόμπακτ), ελαφρύς και με μέγιστη ικανότητα φορτίου. Η άτρακτος και η εσωτερική διάμετρος του οδοντωτού τροχού επενεργούν ως επιφάνειες κύλισης και η κατεργασία τους πρέπει να γίνεται σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά σκληρότητας, γεωμετρίας και ανθεκτικότητας. Οι βελόνες καθοδηγούνται με μεγάλη ακρίβεια, συνεπώς ο βελονοειδής κλωβός μπορεί να απορροφά πολύ μεγαλύτερες ταχύτητες περιστροφής σε σχέση με τις απλές βελόνες επαφής. Ο κλωβός είναι κατασκευασμένος από

πολυαμίδιο με ενίσχυση υαλονημάτων ή από συγκολλημένο πρεσαριστό χάλυβα. Το κιβώτιο μετάδοσης κίνησης χρησιμοποιεί συνολικά επτά βελονοειδή έδρανα κύλισης για την έδραση των οδοντωτών τροχών στις ατράκτους, από τα οποία τα πέντε είναι διπλής σειράς και τα δύο μονής σειράς αντίστοιχα.

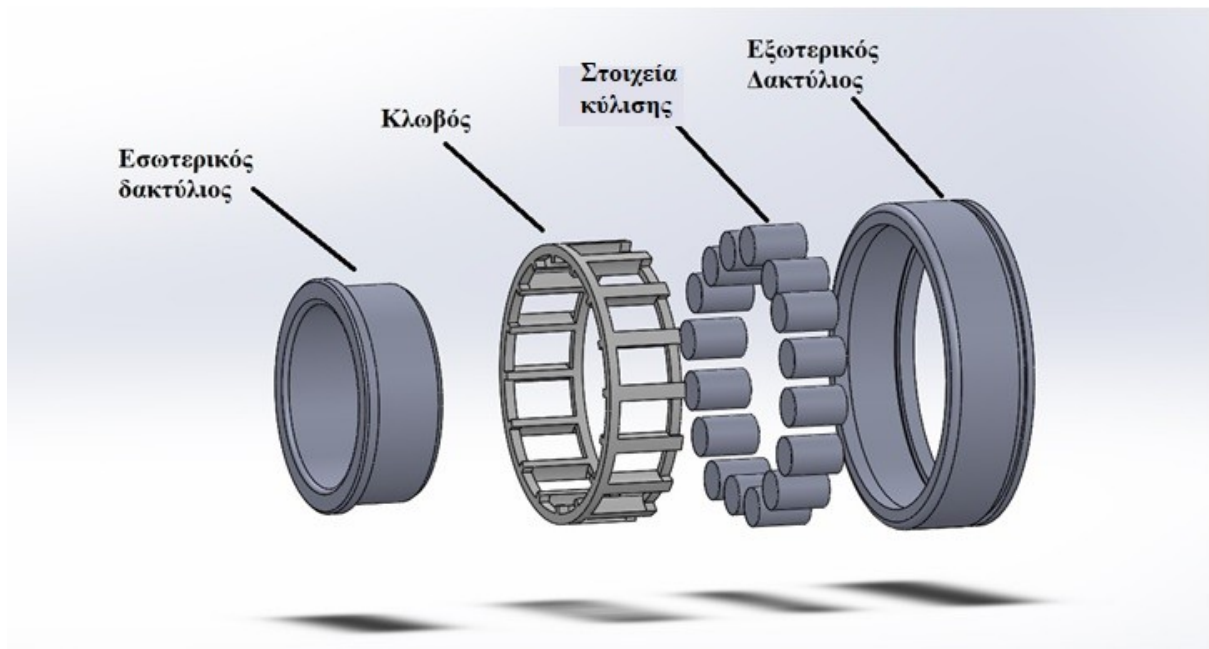


Σχ.4.5.4 Ανεπτυγμένη όψη βελονοειδούς εδράνου κύλισης.

4. Κυλινδρικά έδρανα κύλισης (Spherical Roller Bearing)

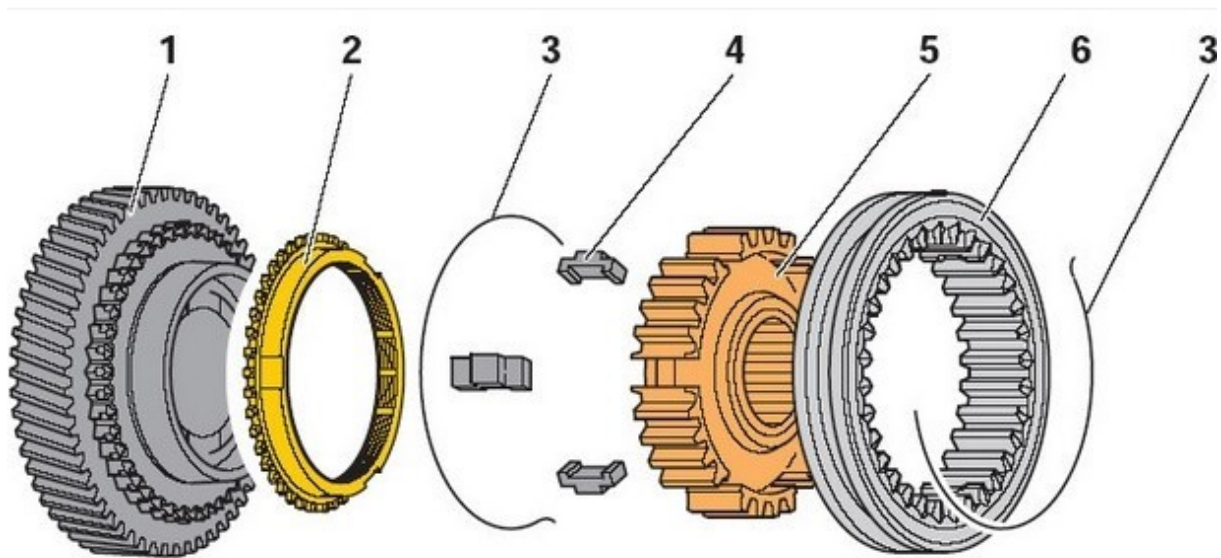
Τα κυλινδρικά έδρανα κύλισης (Σχ.4.5.5) είναι εξαιρετικά άκαμπτα και μπορούν να απορροφήσουν υψηλές ακτινικές δυνάμεις. Εάν φέρουν κλωβό μπορούν να δεχτούν υψηλότερες ταχύτητες σε σχέση με κυλινδρικά έδρανα χωρίς κλωβό. Διαθέτουν διαχωριζόμενους δακτυλίους που καθιστούν την αποσυναρμολόγηση απλή ακόμη και όταν απαιτούνται μικρά διάκενα. Μπορεί να φέρουν μονή σειρά κυλίνδρων ή και πολλαπλή. Το συγκεκριμένο κιβώτιο μετάδοσης κίνησης χρησιμοποιεί τρία κυλινδρικά έδρανα κύλισης με μονή σειρά κυλίνδρων. Τα στοιχεία κύλισης είναι κατασκευασμένα από σκληρυμένο χάλυβα. Τέλος τα έδρανα αυτά δύναται να φέρουν αυλάκωση στον εξωτερικό δακτύλιο, για την τοποθέτηση ασφαλειών, προκειμένου να εξασφαλισθεί η στήριξή τους.

Για την αποσυναρμολόγηση των εδράνων κύλισης του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης χρησιμοποιήθηκαν μηχανικά (εξολκείς) και υδραυλικά μέσα (πρέσες), ενώ σε δυσκολότερες περιπτώσεις αποσυναρμολόγησης χρησιμοποιήθηκε θέρμανση με τη βοήθεια θερμαντήρων (φλόγιστρο προπανίου), για την αποφυγή πρόκλησης βλάβης στα έδρανα κύλισης.



Σχ.4.5.5 Ανεπτυγμένη όψη κυλίνδρικού εδράνου κύλισης.

4.6 Συγχρονιστές (blocker ring synchronmesh unit)



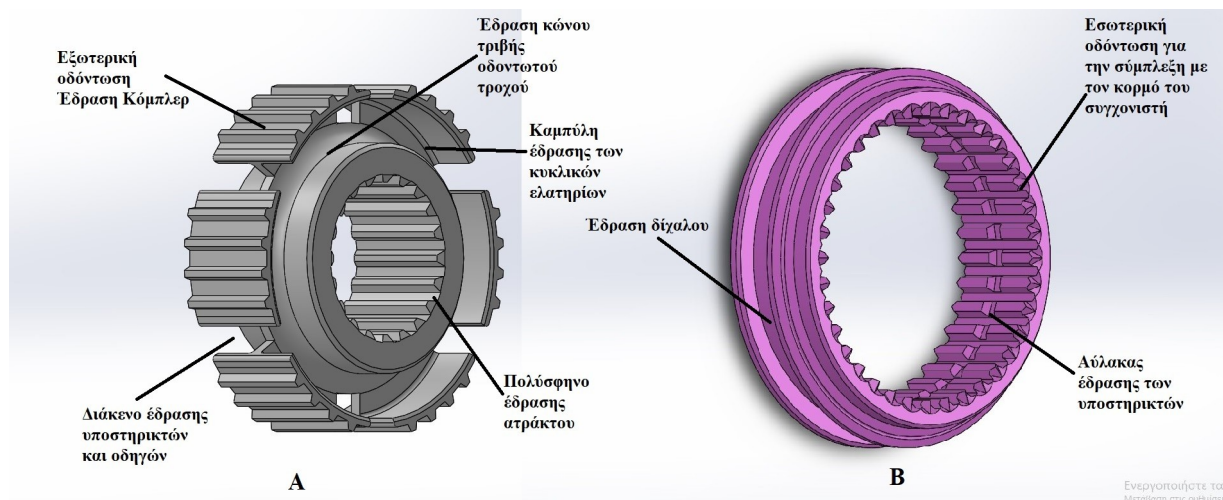
Σχ.4.6.1 Ανεπτυγμένη όψη του συστήματος συγχρονισμού ενός κιβωτίου μετάδοσης κίνησης.

Το σύμπλεγμα του συγχρονιστή αποτελείται από:

1. Οδοντωτό τροχό με ενσωματωμένο κώνο τριβής (συγχρονιστής μονού κώνου)

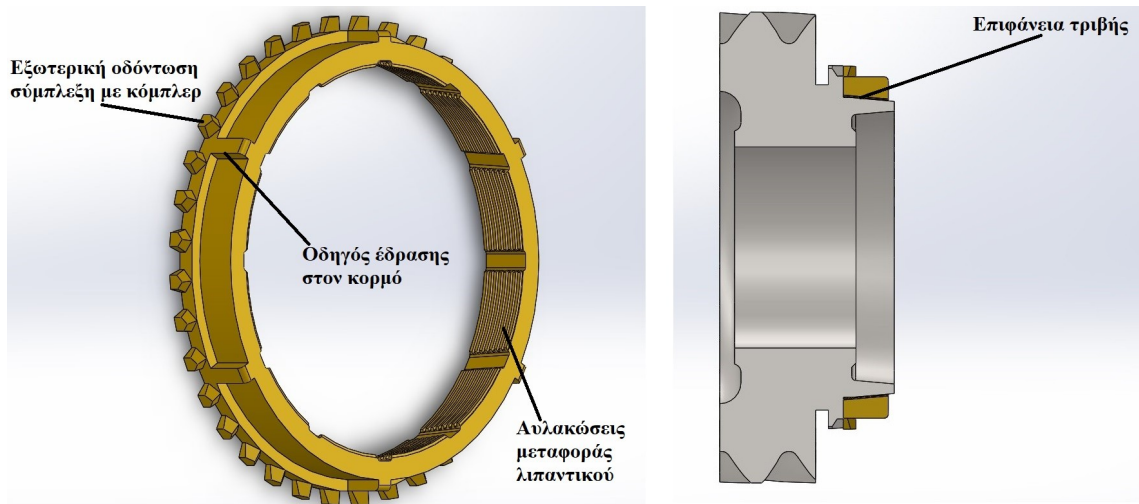
2. Δακτύλιο συγχρονισμού (blocker ring)
3. Κυκλικό ελατήριο (ring spring)
4. Υποστηρικτές (struts)
5. Κορμός του συγχρονιστή (synchronizer hub) και
6. Κόμπλερ (shift sleeve).

Ο κορμός του συγχρονιστή (Σχ.4.6.2A) εδράζεται με τη βοήθεια πολύσφηνου πάνω στη δευτερεύουσα άτρακτο. Ως προς τη γεωμετρία του, φέρει έξι διάκενα στα οποία εδράζονται οι υποστηρικτές και οι οδηγοί των δακτυλίων συγχρονισμού. Οι υποστηρικτές τοποθετούνται στον κορμό του συγχρονιστή ανά 120 μοίρες και ωθούνται προς το κόμπλερ με τη βοήθεια των δύο κυκλικών ελατηρίων. Το κόμπλερ (Σχ.4.6.2B) φέρει στην εσωτερική του διάμετρο οδόντωση και διάκενο για την έδραση των τριών υποστηρικτών.



Σχ.4.6.2 Ισομετρική όψη των: **A)** Κορμός συγχρονιστή, **B)** Κόμπλερ.

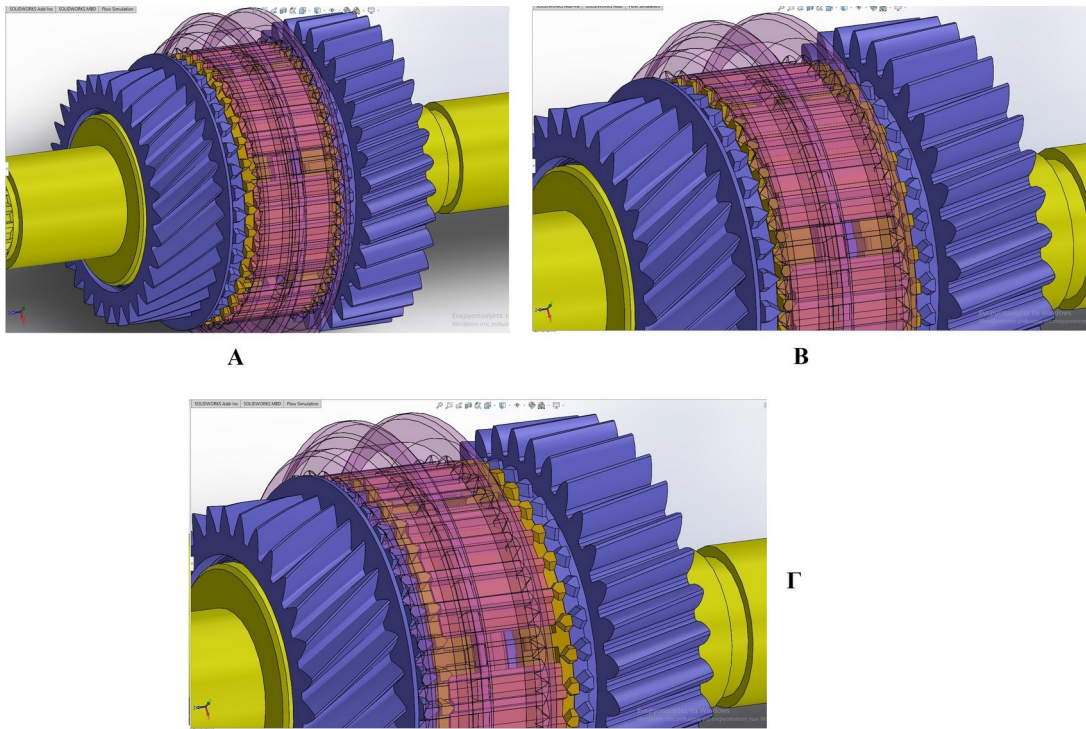
Οι δακτύλιοι του συγχρονιστή (Σχ.4.6.3) είναι κατασκευασμένοι από ένα ειδικό κράμα ορείχαλκου και φέρουν αυλακώσεις στην εσωτερική τους διάμετρο για την καθοδήγηση του λιπαντικού στοιχείου. Διαθέτουν επίσης εξωτερική οδόντωση για την σύμπλεξη τους με το κόμπλερ, ενώ η κωνική επιφάνειά τους εφάπτεται με αυτή του κώνου τριβής του οδοντωτού τροχού. Στην εξωτερική τους διάμετρο φέρουν επίσης οδηγούς που εδράζονται στα αντίστοιχα διάκενα του κορμού του συγχρονιστή.



Σχ.4.6.3 Ισομετρική όψη του δακτυλίου συγχρονισμού και τομή της σύμπλεξης του με τον οδοντωτό τροχό.

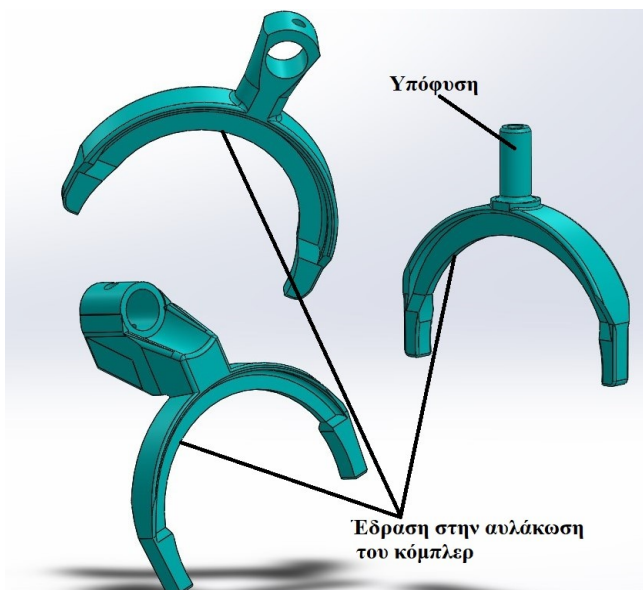
Κατά την επιλογή της σχέσης μετάδοσης ξεκινάει η διαδικασία του συγχρονισμού (Σχ.4.6.4). Ο κορμός του συγχρονιστή και το κόμπλερ περιστρέφονται μαζί με την άτρακτο εξόδου. Ο δακτύλιος συγχρονισμού περιστρέφεται επίσης μαζί με την άτρακτο καθώς οι οδηγοί του εδράζονται στα διάκενα του κορμού. Οι οδοντωτοί τροχοί δεν επηρεάζονται από την περιστροφή αυτή, καθώς δεν υπάρχει επαφή με το σύστημα συγχρονισμού, περιστρέφονται όμως καθώς είναι εμπλεγμένοι με τους οδοντωτούς τροχούς της ενδιάμεσης ατράκτου. Το κόμπλερ προσεγγίζοντας αξονικά τον οδοντωτό τροχό, αναγκάζει τον δακτύλιο συγχρονισμού να έρθει σε επαφή με τον κώνο του οδοντωτού τροχού. Έτσι δημιουργείται τριβή στην κωνική επιφάνεια, με αποτέλεσμα η γωνιακή ταχύτητα του οδοντωτού τροχού να προσεγγίζει αυτή του συγχρονιστή. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται προ-συγχρονισμός (pre-synchronization) και ανήκει στο σύνολο των επιμέρους διαδικασιών που πρέπει να ολοκληρωθούν, έτσι ώστε να είναι εφικτός ο συγχρονισμός. Με περαιτέρω μετατόπιση του κόμπλερ η εσωτερική οδόντωση του ωθεί τους υποστηρικτές προς τα κάτω, με αποτέλεσμα να μην ασκούν πλέον πίεση στον δακτύλιο συγχρονισμού. Έτσι η εσωτερική οδόντωση του κόμπλερ εμπλέκεται με την εξωτερική οδόντωση του δακτυλίου συγχρονισμού, με αποτέλεσμα την περαιτέρω ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής του οδοντωτού τροχού. Όταν το κόμπλερ και ο δακτύλιος συγχρονισμού έχουν την ίδια ταχύτητα περιστροφής, μπορούν να ευθυγραμμιστούν και να εμπλακούν οι οδοντώσεις τους και να συνεχίσει το κόμπλερ να κινείται αξονικά. Τέλος επιτυγχάνεται ο συγχρονισμός με την εμπλοκή της

οδόντωσης του κόμπλερ με αυτή του οδοντωτού τροχού, με αποτέλεσμα ο οδοντωτός τροχός να μεταφέρει ροπή.



Σχ.4.6.4 Α) Σύστημα συγχρονισμού με το κόμπλερ σε άεργη θέση (νεκρά), Β) Προ-συγχρονισμός (κόμπλερ-δακτυλίου) και Γ) Συγχρονισμός (κόμπλερ-οδοντωτού τροχού).

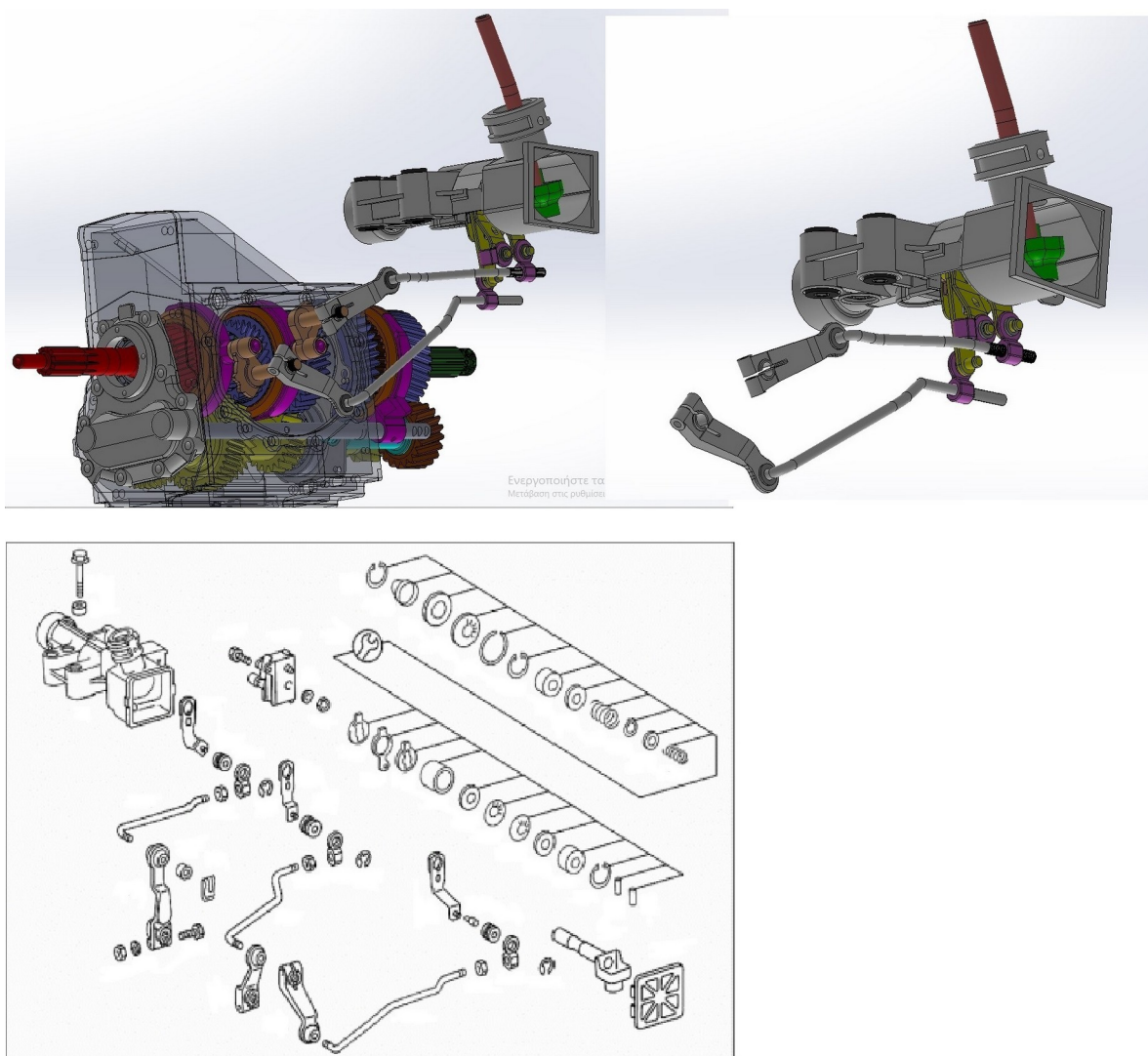
4.7 Δίχαλα



Σχ.4.7.1 Απεικόνιση των δίχαλων του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης.

Τα δίσκους είναι κατασκευασμένα από κράμα χάλυβα και εδράζονται πάνω στην εξωτερική αυλάκωση του κόμπλερ. Όπως φαίνεται και στο Σχ.4.7.1, οι απολήξεις των δίσκων έχουν μεγαλύτερο πάχος για την αποφυγή αστοχίας τους κατά την δημιουργία της ροπής τριβής (friction torque) στο κόμπλερ. Για το λόγο αυτό ο χάλυβας βάφεται σε εκείνα τα συγκεκριμένα σημεία. Κάθε δίσκος φέρει και τη δική του υπόφυση, η οποία μπορεί να είναι ράβδος για την έδραση του δίσκου στον συγκρατητή ή διαμπερής οπή για την έδραση ράβδου η οποία κινείται από συγκρατητή.

4.8 Επιλογέας ταχυτήτων



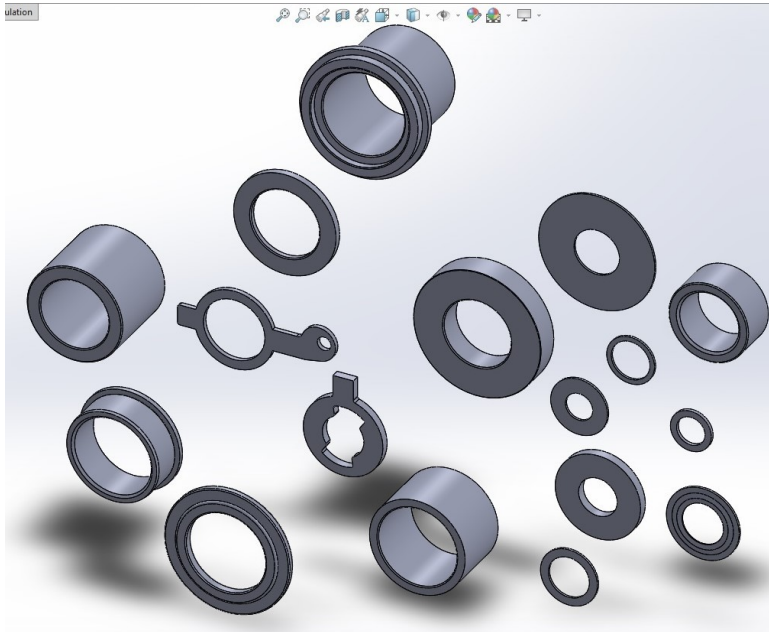
Σχ.4.8.1 Απεικόνιση επιλογέα ταχυτήτων και εξαρτημάτων του. Επάνω αριστερά πλήρως συναρμολογημένο μοντέλο κιβωτίου μετάδοσης κίνησης και δεξιά μόνον το σύστημα επιλογής ταχυτήτων. Κάτω ανεπτυγμένη όψη των εξαρτημάτων του συστήματος επιλογής ταχυτήτων.

Ο επιλογέας σχέσης μετάδοσης (πυργολεβιές) είναι το σύστημα που δίνει στον οδηγό την δυνατότητα αλλαγής σχέσεως μετάδοσης του κιβωτίου. Αποτελείται από:

- Το κέλυφος του επιλογέα.
- Τον μοχλό, του οποίου η προέκταση φτάνει στον οδηγό.
- Τους βραχίονες επιλογής.
- Τις ράβδους επιλογής.
- Τη ράβδο με τον θάλαμο υποδοχής του μοχλού.
- Τις τσιμούχες στήριξης του μοχλού και
- Τους αποστάτες.

Είναι ένα περίπλοκο σύστημα, αποτελούμενο από μια σειρά ελατηρίων, δακτυλίων και ασφαλειών τοποθετημένη στη ράβδο που φέρει το θάλαμο υποδοχής του μοχλού ταχυτήτων (Σχ.4.8.1, ράβδος χρωματισμένη πράσινη). Σκοπός τους είναι η στήριξη των ράβδων επιλογής και η μείωση των βαθμών ελευθερίας των βραχιόνων επιλογής. Κατά την επιλογή μιας σχέσης μετάδοσης από τον οδηγό, κινητοποιείται μηχανικά ο βραχίονας επιλογής που αντιστοιχεί στην επιθυμητή σχέση μετάδοσης, ακινητοποιώντας ταυτοχρόνως (μείωση των βαθμών ελευθερίας) τους υπόλοιπους βραχίονες επιλογής.

4.9 Δακτύλιοι-Αποστάτες



Σχ.4.9.1 Απεικόνιση των δακτυλίων και των αποστατών του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης.

Οι δακτύλιοι και οι αποστάτες του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης τοποθετούνται τόσο στις ατράκτους του κιβωτίου, όσο και στις ράβδους του επιλογέα σχέσεως μετάδοσης. Επάνω στους δακτύλιους που τοποθετούνται στις ατράκτους του κιβωτίου εδράζονται συνήθως βελονοειδή έδρανα κύλισης και κατ'επέκταση οδοντωτοί τροχοί. Υπάρχει όμως και μία κατηγορία δακτυλίων, οι αποστάτες, οι οποίοι εδράζονται σε άτρακτο του κιβωτίου και αποτρέπουν την επαφή των οδοντωτών τροχών με το κέλυφος του κιβωτίου. Οι δακτύλιοι και οι αποστάτες του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης είναι κατασκευασμένοι από χάλυβα ή κράματά του και οι επιφάνειές τους είναι εξαιρετικά λείες (φινιρισμένες).

5 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

5.1 Προγραμματισμός της κατασκευής

Για την υλοποίηση της κατασκευής του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης ακολουθήθηκαν τα εξής βήματα:

- Αποσυναρμολόγηση του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης.
- Μέτρηση όλων των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των επιμέρους εξαρτημάτων του.
- Αφαιρετική διαδικασία.
- Σχεδίαση στο εικονικό περιβάλλον του προγράμματος.
- Συναρμολόγηση και λειτουργία του κιβωτίου στο εικονικό περιβάλλον του προγράμματος.
- Ανάθεση σε εργαστήριο με τριδιάστατους εκτυπωτές της κατασκευής των εξαρτημάτων που σχεδιάστηκαν.

- Έλεγχος κατά την παραλαβή των εξαρτημάτων.
- Δοκιμή, διόρθωση ή επανασχεδιασμός και
- Συναρμολόγηση

5.2 Αποσυναρμολόγηση και διαστασιολόγηση του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης

Το πρώτο βήμα για την κατασκευή του μοντέλου του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης ήταν η αποσυναρμολόγηση του, χωρίς την καταστροφή των βασικών εξαρτημάτων που αναφέρθηκαν σε προηγούμενα κεφάλαια. Ακολούθησε η μέτρηση των εξαρτημάτων του. Για την μέτρηση του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης και τη σχεδίαση στο εικονικό περιβάλλον του προγράμματος Solidworks, χρησιμοποιήθηκαν:

- Ψηφιακά και αναλογικά παχύμετρα μήκους 0-200 χιλιοστών.
- Ψηφιακό γωνιόμετρο (στέλα) καθώς και χάρακες και μοιρογνωμόνια.
- Συμβατικός διδιάστατος σαρωτής.

Η φάση της αποσυναρμολόγησης διήρκησε πάνω από μία εβδομάδα και μετρήθηκαν όλα τα λειτουργικά εξαρτήματα του κιβωτίου, εκτός από τα κελύφη.

5.3 Αφαιρετική διαδικασία

Κατά την φάση της αφαιρετικής διαδικασίας αποφασίστηκε έπειτα από κριτική σκέψη η παράλειψη συγκεκριμένων εξαρτημάτων του κιβωτίου, χωρίς να επηρεαστεί η λειτουργικότητα του. Παρακάτω αναφέρονται τα εξαρτήματα και οι λόγοι που παραλήφθηκαν από την κατασκευή.

Ελατήρια: Όλα τα ελατήρια του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης παραλήφθηκαν από την κατασκευή καθώς δεν υπάρχει το κατάλληλο υλικό για την κατασκευή τους, (παρά μόνο σε βιομηχανικούς τριδιάστατους εκτυπωτές μετάλλου) γεγονός το οποίο καθιστά αδύνατη τη λειτουργία τους ως ελατήρια χωρίς να προκληθεί η αστοχία τους.

Σύστημα επιλογής σχέσεων μετάδοσης: Οι συγκρατητές, οι ράβδοι επιλογής, το καπάκι στήριξης των ράβδων του επιλογέα καθώς και όλα τα εξαρτήματα που απαρτίζουν το σύστημα αυτό παραλήφθηκαν για κατασκευαστικούς λόγους, καθώς το σύστημα επιλογής σχέσεων μετάδοσης απλοποιήθηκε και αλλάχθηκε ριζικά.

Υποστηρικτές του συγχρονιστή: Οι υποστηρικτές του συγχρονιστή παραλήφθηκαν επίσης για κατασκευαστικούς λόγους, καθώς εδράζονται πάνω στο κυκλικό ελατήριο του συγχρονιστή. Από τη στιγμή που δεν χρησιμοποιήθηκαν ελατήρια στο μοντέλο του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης, δεν ήταν δυνατή η έδραση των υποστηρικτών.

Κελύφη: Τα κελύφη δεν πέρασαν από τη φάση της σχεδίασης λόγω περίπλοκης γεωμετρίας και ύπαρξης μη μετρήσιμων καμπυλοτήτων με τα μέσα που διατέθηκαν. Επίσης κατά τη διάρκεια της αφαιρετικής διαδικασίας αποφασίστηκε πως θα ήταν άσκοπη η κατασκευή των, καθώς ο κύριος λόγος ύπαρξής των είναι η παροχή σημείων έδρασης στο πλαίσιο του οχήματος και η συγκράτηση του λιπαντικού του κιβωτίου. Κατά την κατασκευή του τριδιάστατου μοντέλου του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης δεν ήταν απαραίτητη η χρήση λιπαντικού, άρα και κατ' επέκταση η κατασκευή κελύφους.

Έδρανα κύλισης: Όπως προαναφέρθηκε και στο τρίτο κεφάλαιο οι τριδιάστατοι εκτυπωτές τηγμένου υλικού μπορούν να παράγουν αντικείμενα με μια συγκεκριμένη ποιότητα επιφάνειας (φινίρισμα), η οποία είναι κατά πολύ πιο τραχιά από αυτή των εδράνων κύλισης και των στοιχείων τους. Καταλαβαίνουμε λοιπόν, ότι εάν επιχειρούνταν να κατασκευαστούν έδρανα κύλισης από τριδιάστατους εκτυπωτές, πέραν των προβλημάτων συναρμολόγησης, οι τριβές λόγω της κακής επιφανειακής ποιότητας θα δημιουργούσαν επιπλέον αντίσταση στην περιστροφή των αξόνων και αυξημένες θερμοκρασίες. Τα έδρανα κύλισης που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο προέρχονται από το κιβώτιο ταχυτήτων.

Δακτύλιοι - Αποστατήρες: Χρησιμοποιήθηκαν αυτούσιοι από το κιβώτιο ταχυτήτων. Ο κυριότερος λόγος για τον οποίο δεν κατασκευάστηκαν, εκτός από την ποιότητα της επιφάνειας στην οποία εδράζονται τα βελονοειδή έδρανα κύλισης, είναι οι ανοχές της συναρμογής τους με τους άξονες του κιβωτίου ταχυτήτων.

Μοχλός του επιλογέα σχέσεων μετάδοσης: Το εξάρτημα αυτό χρησιμοποιήθηκε επίσης από το κιβώτιο ταχυτήτων, λόγω ελλιπούς αντοχής του υλικού. Πρόκειται για μία σχετικά λεπτή

ράβδο, με αποτέλεσμα ανεξαρτήτως του ποσοστού και προτύπου πλήρωσης να αστοχεί σε κάθε δοκιμή.

5.4 Σχεδίαση και συναρμολόγηση στο εικονικό περιβάλλον

Η φάση της σχεδίασης και συναρμολόγησης του κιβωτίου ταχυτήτων διήρκησε περισσότερο από ένα χρόνο. Αντιμετωπίστηκαν μεγάλες δυσκολίες τόσο στον σχεδιασμό όσο και στη συναρμολόγηση του κιβωτίου με κυριότερη την έλλειψη υπολογιστικής ισχύος για την αποπεράτωση της συναρμολόγησης και την προσομοίωση της λειτουργίας του. Μεγάλο πρόβλημα αποτέλεσαν επίσης και οι ανοχές των διαστάσεων, με αποτέλεσμα την μη ικανοποιητική συναρμογή των εξαρτημάτων.

5.5 Ανάθεση σε εργαστήριο

Η ανάθεση σε εργαστήριο έγινε με τη βοήθεια της ηλεκτρονικής πλατφόρμας www.3dhubs.com. Σύμφωνα με το επιθυμητό βασικό υλικό κατασκευής των εξαρτημάτων του κιβωτίου επιλέχθηκαν δύο εξωτερικοί συνεργάτες για την αποπεράτωση της κατεργασίας. Τα δύο αυτά εργαστήρια εδρεύουν και δραστηριοποιούνται σε Ελλάδα και Γερμανία. Αποστέλλοντας τα σχεδιασμένα εξαρτήματα σε μορφή στερεολιθογραφίας (STL) και τις παραμέτρους της κατεργασίας (ποσοστό και πρότυπο πλήρωσης, υλικό, χρώμα, προσανατολισμό, ύψος στρώματος, ταχύτητα εκτύπωσης, χρήση ή μη υποστηρικτικής δομής και ενίσχυση τοιχωμάτων), ξεκινούσε η δημιουργία του εκάστοτε μοντέλου. Κατά την αποπεράτωση της κατεργασίας του μοντέλου, οι εξωτερικοί συνεργάτες παρέδιναν τα μοντέλα σε μεταφορικές εταιρίες με προορισμό την έδρα μου.

5.6 Ποιοτικός έλεγχος κατά την παραλαβή, διορθώσεις και τελική συναρμολόγηση

Κατά την παραλαβή των εξαρτημάτων ελέγχονταν η ποιότητα των επιφανειών, οι διαστάσεις σύμφωνα με αυτές του στερεολιθογραφικού (STL) αρχείου που στάλθηκε, η συναρμογή μεταξύ των εξαρτημάτων και οι αντοχή των. Λόγω της χρησιμοποίησης διαφορετικών τριδιάστατων εκτυπωτών για την κατασκευή των εξαρτημάτων, κατέστη αναπόφευκτη η δημιουργία προβλημάτων κυρίως στις διαστάσεις και την συναρμογή των εξαρτημάτων. Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενα κεφάλαια, η κάθε μηχανή έχει, σύμφωνα με τον κατασκευαστή, διαφορετικές διαστατικές ανοχές. Για το λόγο αυτό προέκυπτε μη επιθυμητή

συναρμογή μεταξύ δύο εξαρτημάτων, τα οποία κατασκευάστηκαν σε δύο διαφορετικές μηχανές. Για την αντιμετώπιση των προβλημάτων διαστατικής ακρίβειας και συναρμογής, έγιναν μετα-παρασκευαστικές ενέργειες, όπως τρίψιμο με σμυριδόχαρτο, σμυριδόπετρα και αφαίρεση υλικού με τόρνο. Εάν δεν ήταν εφικτή η λύση των προβλημάτων αυτών μέσω μετα-παρασκευαστικών ενεργειών, τότε επανασχεδιάζονταν σύμφωνα με τις ανοχές του κάθε μηχανήματος και κατασκευάζονταν εξ αρχής. Τέλος, μετά την αντιμετώπιση των προβλημάτων και την επιτυχή αποπεράτωση των εξαρτημάτων του μοντέλου, ακολούθησε η πλήρης συναρμολόγησή του.

5.7 Χαρακτηριστικά μεγέθη οδοντωτών τροχών

Για την σχεδίαση και τη σωστή λειτουργία των οδοντωτών τροχών θα πρέπει να ληφθεί υπ' όψη μία σειρά από παραμέτρους, όπως το μέτρο οδόντωσης (modul), η διάμετρος κύκλου πόδα και κεφαλής, ο αριθμός οδόντων, η αρχική διάμετρος του οδοντωτού τροχού και η απόσταση αξόνων. Πολλά από αυτά τα μεγέθη δεν βρέθηκαν στην ανοικτή βιβλιογραφία, οπότε υπολογίστηκαν εξ' αρχής σύμφωνα με τον αριθμό οδόντων του εκάστοτε ζεύγους οδοντωτών τροχών και την απόσταση αξόνων τους. Επίσης για τον σχεδιασμό της οδόντωσης χρησιμοποιήθηκαν τόξα κύκλου αντί της εξειλιγμένης καμπύλης. Παρακάτω παρατίθενται τα σχέδια, μεγέθη, χρόνοι αποπεράτωσης καθώς και οι τύποι υπολογισμού για την διαμόρφωση των οδοντωτών τροχών και της οδόντωσης των.

Προσδιορισμός των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των οδοντώσεων

Για τον προσδιορισμό των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των οδοντώσεων χρειάζονται ορισμένα μετρήσιμα δεδομένα του οδοντωτού τροχού που θέλουμε να σχεδιάσουμε (αριθμός οδόντων, διάμετρος κύκλου κεφαλής, διάμετρος κύκλου πόδα και απόσταση αξόνων). Η διάμετρος κύκλου πόδα, σε αντίθεση με αυτή του κύκλου κεφαλής, υπολογίστηκε έμμεσα με βαθύμετρο για ένα από τα δύο ημικύκλια του οδοντωτού τροχού και αφού διπλασιάστηκε αφαιρέθηκε από τη διάμετρο του κύκλου κεφαλής.

$$D_f = D_a - 2 * (h + c) \quad \text{Εξ.5.7.1}$$

Όπου D_f : η διάμετρος κύκλου πόδα.

D_a : η διάμετρος κύκλου κεφαλής και

$h + c$: το άθροισμα της ακτινικής απόστασης μεταξύ των δύο κύκλων και της χάρης κεφαλής.

Στη συνέχεια μετρήθηκε η απόσταση αξόνων των οδοντωτών τροχών για να υπολογιστεί το modul:

$$\alpha_d = \frac{m_n * (z_1 + z_2)}{2 * \cos \beta} \quad \text{Εξ.5.7.2}$$

Όπου: α_d : απόσταση αξόνων των οδοντωτών τροχών,

m_n : κάθετο modul,

$z_1 + z_2$: το άθροισμα των αριθμών των οδόντων και

β : η γωνία κλίσης της οδόντωσης.

Γνωρίζοντας το modul, ήταν εφικτός ο υπολογισμός της διαμέτρου του αρχικού κύκλου:

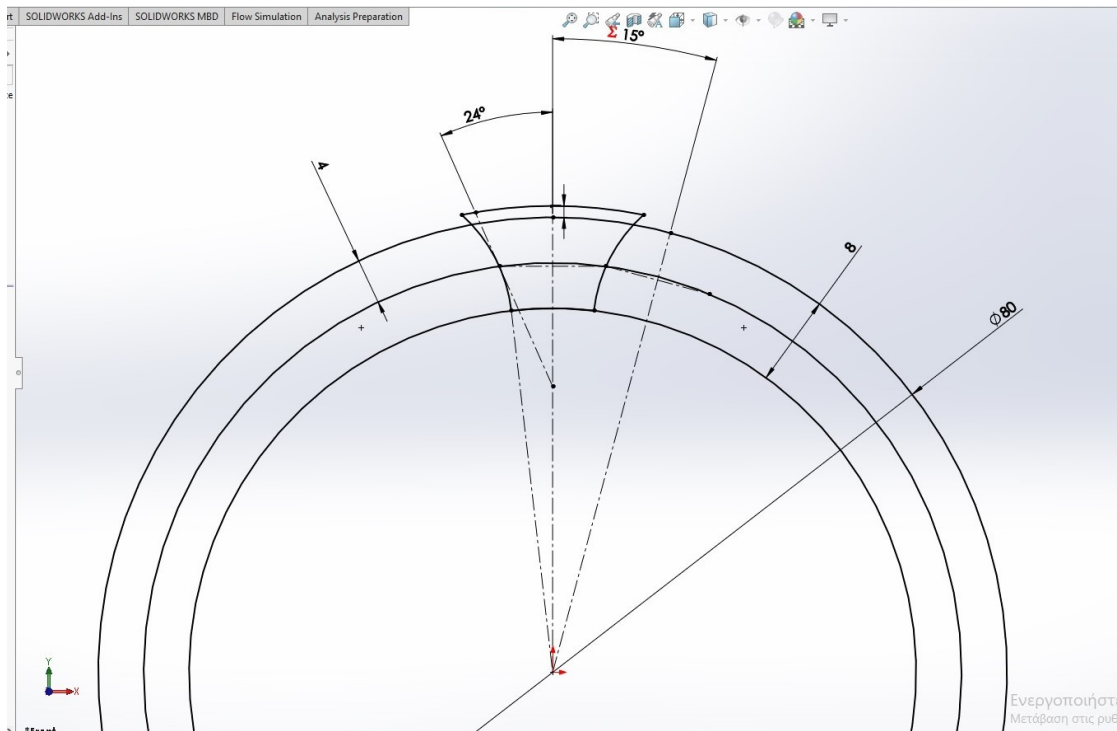
$$D = m * z \quad \text{Εξ.5.7.3}$$

Όπου D : διάμετρος αρχικού κύκλου,

m : modul και

z : αριθμός οδόντων.

Έχοντας πλέον τις τρεις βασικές διαμέτρους των οδοντωτών τροχών ξεκίνησε η φάση της σχεδίασης της οδόντωσης. Οι υπόλοιπες παράμετροι για την δημιουργία της οδόντωσης υπολογίστηκαν προσεγγιστικά ή εκλέχθηκαν μετά από υπολογισμούς.



Σχ.5.7.1 Σχηματική απεικόνιση της μεθόδου για την δημιουργία της οδόντωσης που χρησιμοποιήθηκε.

Στο Σχ.5.7.1 φαίνεται ένα παράδειγμα με τυχαία μεγέθη, για την παραμετροποίηση της οδόντωσης που χρησιμοποιήθηκε. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ονομάζεται εικονική αφαιρετική διαδικασία και είναι αντίστοιχη με αυτή που ακολουθείται κατά τη δημιουργία οδοντωτών τροχών στα μηχανουργεία (έχοντας δηλαδή ένα κυλινδρικό αντικείμενο σχεδιάζουμε ουσιαστικά τα διάκενα και όχι τους οδόντες). Αρχικά σχεδιάστηκαν οι τρεις ομόκεντροι βασικοί κύκλοι του οδοντωτού τροχού με σημείο αναφοράς τη διάμετρο του κύκλου κεφαλής (η οποία ήταν το μονάδικο μετρήσιμο μέγεθος του οδοντωτού τροχού). Έπειτα τέθηκε η ακτινική απόσταση του αρχικού κύκλου από τον κύκλο κεφαλής ίση με το μέτρο οδόντωσης (modul), και η ακτινική απόσταση του κύκλου κεφαλής από τον κύκλο πόδα σύμφωνα με την ένδειξη του βαθύμετρου. Μετά την πλήρη σχεδίαση των τριών βασικών κύκλων ακολούθησε η καμπύλη της οδόντωσης, που όπως αναφέρθηκε πρόκειται για τόξο κύκλου. Δημιουργήθηκε ένα τόξο ενός μεγαλύτερου σε διάμετρο ομόκεντρου κύκλου συγκριτικά με τον κύκλο κεφαλής, για λόγους ευκολίας κατά την κοπή. Χαράχθηκε αξονική κάθετη γραμμή από το κέντρο των κύκλων η οποία συμπίπτει με το υψηλότερο σημείο του κυκλικού τόξου στον άξονα y. Έπειτα δημιουργήθηκαν δύο συμμετρικά ως προς την αξονική κάθετη γραμμή τόξα κύκλων, τα οποία συμπίπτουν στον κύκλο πόδα και στο τόξο του μεγαλύτερου ομόκεντρου κύκλου αντίστοιχα. Τραβήχθηκε ακτινική διακεκομμένη

γραμμή από το κέντρο των κύκλων μέχρι το σημείο ένωσης του τόξου με τον κύκλο πόδα και απαιτήθηκε, με χρήση συνθήκης (tangent), το τόξο να είναι εφαπτομενικό στην γραμμή αυτή. Στη συνέχεια δημιουργήθηκε οριζόντια αξονική γραμμή (Horizontal Construction Line), με συνθήκη (intersection) τα άκρα της να συμπίπτουν στο σημείο που τέμνουν τα τόξα τον αρχικό κύκλο. Φέροντας μια αξονική γραμμή από την κάθετη αξονική που δημιουργήθηκε αρχικά και θέτοντας την εφαπτομενική με το τόξο, κατασκευάζεται η γωνία πίεσης (pressure angle) της οδόντωσης, η οποία στο συγκεκριμένο παράδειγμα ορίστηκε είκοσι τεσσάρων μοιρών (24°). Έπειτα χαράχθηκε μία ακτινική διακεκομμένη γραμμή από το κέντρο των κύκλων, η οποία εφάπτεται στην περιφέρεια του κύκλου κεφαλής και υποδηλώνει το σημείο ύπαρξης της μέσης του οδοντωτού τροχού που έπεται του διάκενου. Η γωνία κλίσης σε σχέση με την αρχική κάθετη γραμμή υπολογίζεται σύμφωνα με την Εξ.5.7.4. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα είναι της τάξης των δέκα πέντε μοιρών (15°). Τέλος μία αξονική γραμμή τοποθετείται ανάμεσα στον αρχικό κύκλο και τον κύκλο πόδα, τα δύο σημεία της οποίας συμπίπτουν στην περιφέρεια του αρχικού κύκλου. Με χρήση συνθήκης απαιτήθηκε να είναι κάθετη (perpendicular) στην ακτινική διακεκομμένη γραμμή που τέμνει, αλλά και ισομήκης (equal) στην αντίστοιχη οριζόντια αξονική γραμμή του διάκενου. Έτσι διαστασιολογήθηκε πλήρως το διάκενο του οδοντωτού τροχού, ξεκίνησε η διαδικασία κοπής και διαμορφώθηκε η οδόντωση.

$$\alpha = 180 \div Z$$

Εξ.5.7.4

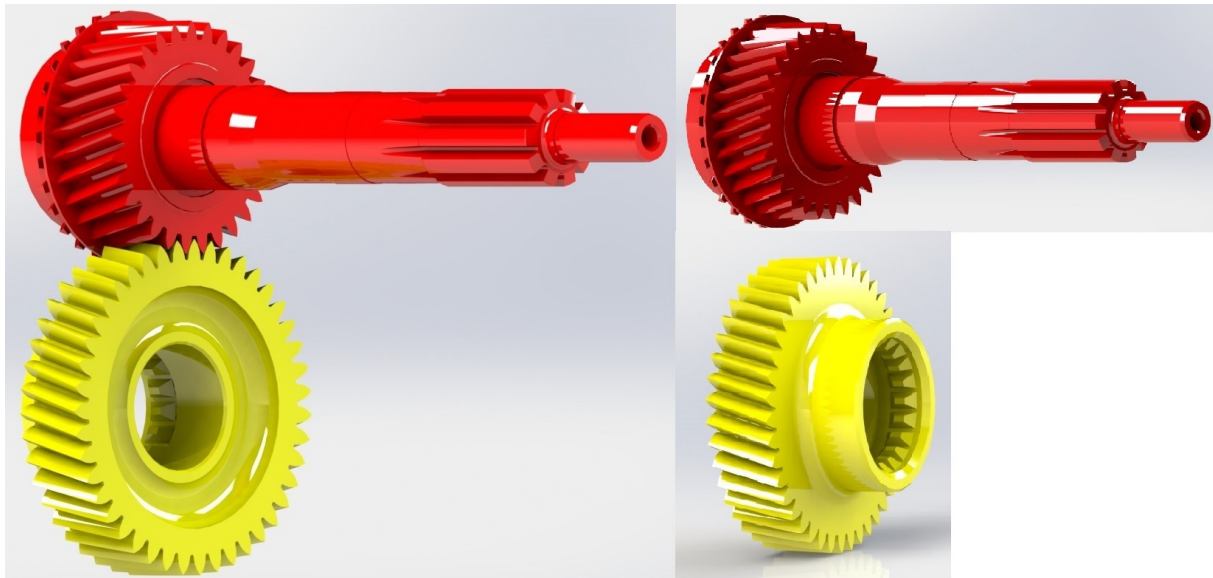
Όπου α : γωνιακή απόσταση εκφρασμένη σε μοίρες,

180 : αριθμός μοιρών του ημικύκλιου (για την δημιουργία δύο συμμετρικών διάκενων
θα χρησιμοποιούνται το σύνολο των μοιρών του κύκλου)

Z : αριθμός οδόντων του τροχού.

1° ζεύγος σύμπλεξης

Το πρώτο ζεύγος οδοντωτών τροχών αποτελείται από τον οδοντωτό τροχό της ατράκτου εισόδου και τον αντίστοιχο της ενδιάμεσης ατράκτου (Σχ.5.7.2).



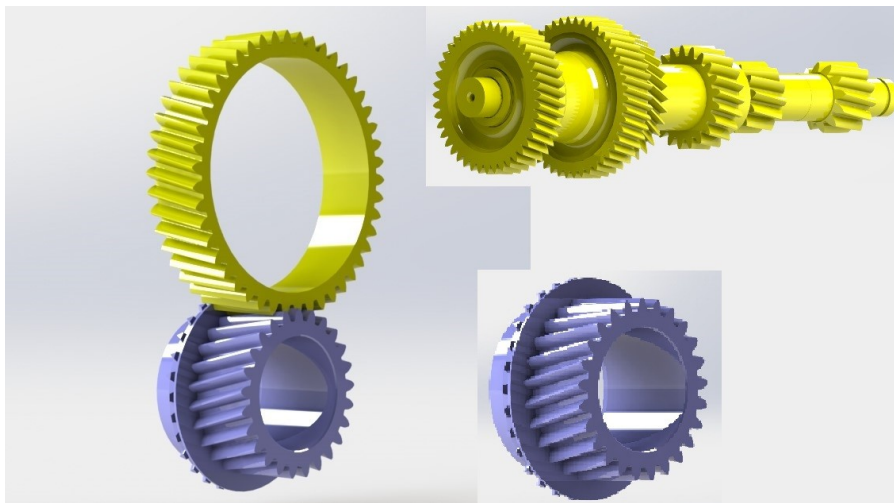
Σχ.5.7.2 Παράσταση του πρώτου ζεύγους σύμπλεξης του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης.

Τεχνικά χαρακτηριστικά οδοντωτών τροχών	Άτρακτος Εισόδου	Πρώτος οδοντωτός τροχός ενδιάμεσης ατράκτου
Γωνία πίεσης (°)	25	30
Γωνία κέντρου διάκενου – κέντρου επόμενου οδόντα (°)	6,21	4,19
Modul (mm)	2	2
Ύψος οδόντα (mm)	5,7	5,7
Διάμετρος κύκλου κεφαλής (mm)	67	95
Διάμετρος αρχικού κύκλου (mm)	61,35	89,35
Διάμετρος κύκλου πόδα (mm)	55,6	83,6
Γωνία κλίσης (°)	17	17
Αριθμός οδόντων	29	43
Χρόνος εκτύπωσης (hr)	10,38	3,46
Απόσταση αξόνων (mm)	75,35	
Μηχανή εκτύπωσης	Prusa Steel V4.0	Creality CR-10
Ύψος στρώματος (μm)	250 micron	200 micron
Ταχύτητα εκτύπωσης (mm/s)	60	15
Ποσοστό και πρότυπο πλήρωσης	25% Πλέγμα	70% Τριγωνικό
Σχέση μετάδοσης	1,482:1	

Πιν.5.7.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά του πρώτου ζεύγους σύμπλεξης του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης.

2° ζεύγος σύμπλεξης

Το δεύτερο ζεύγος σύμπλεξης αποτελείται από τον οδοντωτό τροχό της πέμπτης σχέσεως μετάδοσης και τον αντίστοιχο της ενδιάμεσης ατράκτου (Σχ.5.7.3).



Σχ.5.7.3 Παράσταση του δεύτερου ζεύγους σύμπλεξης του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης.

Τεχνικά χαρακτηριστικά οδοντωτών τροχών	Οδοντωτός τροχός 5 ^{ης} σχέσεως μετάδοσης	Δεύτερος οδοντωτός τροχός ενδιάμεσης ατράκτου
Γωνία πίεσης (°)	27	27
Γωνία κέντρου διάκενου – κέντρου επόμενου οδόντα (°)	7,20	3,91
Modul (mm)	2,05	2,05
Τεχνικά χαρακτηριστικά οδοντωτών τροχών	Οδοντωτός τροχός 5 ^{ης} σχέσεως μετάδοσης	Δεύτερος οδοντωτός τροχός ενδιάμεσης ατράκτου
Ύψος οδόντα (mm)	4,5	4,6
Διάμετρος κύκλου κεφαλής (mm)	59,5	100,5
Διάμετρος αρχικού κύκλου (mm)	55,1	95,6
Διάμετρος κύκλου πόδα (mm)	50,5	91,3
Γωνία κλίσης (°)	15	15
Αριθμός οδόντων	25	46
Χρόνος εκτύπωσης (hr)	2,21	5,12
Απόσταση αξόνων (mm)	75,35	
Μηχανή εκτύπωσης	Creality CR-10	
Ύψος στρώματος (μm)	200	
Ταχύτητα εκτύπωσης (mm/s)	60	50

Ποσοστό και πρότυπο πλήρωσης	75% Τριγωνικό	30% Τριγωνικό
Σχέση μετάδοσης	0,805:1	

Πιν.5.7.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά του δεύτερου ζεύγους σύμπλεξης του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης.

3^ο ζεύγος σύμπλεξης

Το τρίτο ζεύγος σύμπλεξης αποτελείται από τον οδοντωτό τροχό της τρίτης σχέσεως μετάδοσης και τον αντίστοιχο της ενδιάμεσης ατράκτου (Σχ.5.7.4).



Σχ.5.7.4 Παράσταση του τρίτου ζεύγους σύμπλεξης του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης.

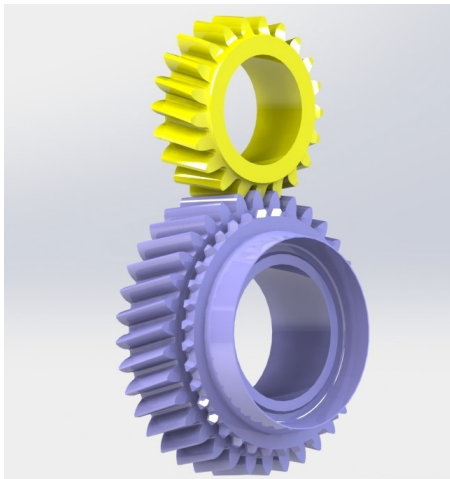
Τεχνικά χαρακτηριστικά οδοντωτών τροχών	Οδοντωτός τροχός 3^{ης} σχέσεως μετάδοσης	Τρίτος οδοντωτός τροχός ενδιάμεσης ατράκτου
Γωνία πίεσης (°)	21	22,5
Γωνία κέντρου διάκενου – κέντρου επόμενου οδόντα (°)	2,9	3,05
Modul (mm)	1.986	1.986
Ύψος οδόντα (mm)	5,1	5,5
Διάμετρος κύκλου κεφαλής	79	83

(mm)		
Διάμετρος αρχικού κύκλου	73,35	77,35
(mm)		
Διάμετρος κύκλου πόδα (mm)	68,8	72
Γωνία κλίσης (°)	33,86	33,86
Αριθμός οδόντων	31	32
Χρόνος εκτύπωσης (hr)	4.51	5.12
Απόσταση αξόνων (mm)	75,35	
Τεχνικά χαρακτηριστικά οδοντωτών τροχών	Οδοντωτός τροχός 3 ^{ης} σχέσεως μετάδοσης	Τρίτος οδοντωτός τροχός ενδιάμεσης ατράκτου
Μηχανή εκτύπωσης	Prusa i3	Creality CR-10
Ύψος στρώματος (μm)	250	200
Ταχύτητα εκτύπωσης (mm/s)	50	50
Ποσοστό και πρότυπο πλήρωσης	25% Πλέγμα	30% Τριγωνικό
Σχέση μετάδοσης	1,436:1	

Πιν.5.7.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά του τρίτου ζεύγους σύμπλεξης του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης.

4^ο ζεύγος σύμπλεξης

Το τέταρτο ζεύγος σύμπλεξης αποτελείται από τον οδοντωτό τροχό της δεύτερης σχέσεως μετάδοσης και τον αντίστοιχο της ενδιάμεσης ατράκτου (Σχ.5.7.5).



Σχ.5.7.5 Παράσταση του τέταρτου ζεύγους σύμπλεξης του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης.

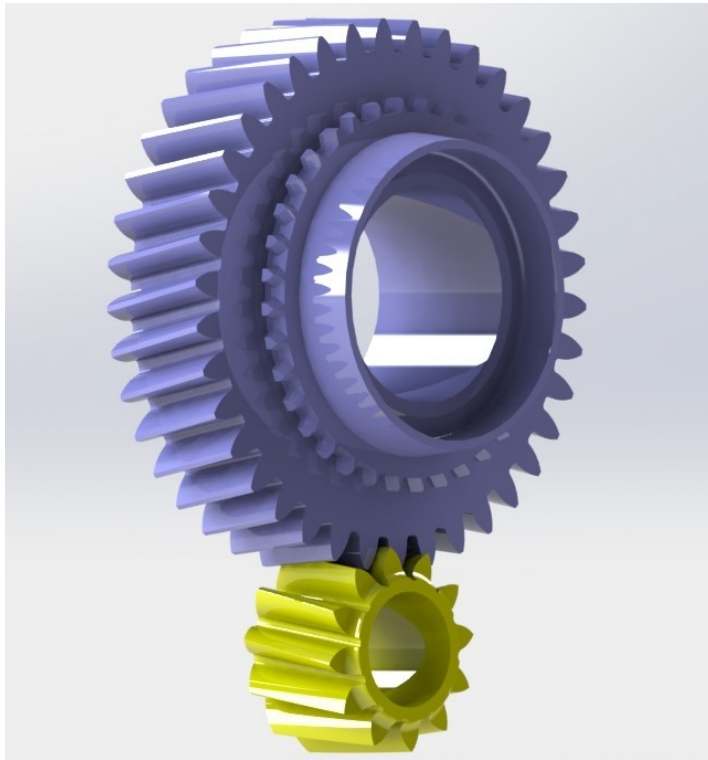
Τεχνικά χαρακτηριστικά οδοντωτών τροχών	Οδοντωτός τροχός 2 ^{ης} σχέσεως μετάδοσης	Τέταρτος οδοντωτός τροχός ενδιάμεσης ατράκτου
Γωνία πίεσης (°)	25	25
Γωνία κέντρου διάκενου –	5,29	8,57

κέντρου επόμενου οδόντα (°)		
Modul (mm)	2,576	2,576
Τεχνικά χαρακτηριστικά οδοντωτών τροχών	Οδοντωτός τροχός 2^{ης} σχέσεως μετάδοσης	Τέταρτος οδοντωτός τροχός ενδιάμεσης ατράκτου
Ύψος οδόντα (mm)	6,5	6,5
Διάμετρος κύκλου κεφαλής (mm)	96,5	64,5
Διάμετρος αρχικού κύκλου (mm)	89.4	57.3
Διάμετρος κύκλου πόδα (mm)	83,5	51,5
Γωνία κλίσης (°)	15	15
Αριθμός οδόντων	34	21
Χρόνος εκτύπωσης (hr)	6,05	12,4
Απόσταση αξόνων (mm)	75,35	
Μηχανή εκτύπωσης	Creality Ender 2	Creality CR-10
Ύψος στρώματος (μm)	200	250
Ταχύτητα εκτύπωσης (mm/ s)	50	80
Ποσοστό και πρότυπο πλήρωσης	25% Πλέγμα	100% Τριγωνικό
Σχέση μετάδοσης	2,401	

Πιν.5.7.4 Τεχνικά χαρακτηριστικά του τέταρτου ζεύγους σύμπλεξης του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης.

5^ο ζεύγος σύμπλεξης

Το πέμπτο ζεύγος σύμπλεξης αποτελείται από τον οδοντωτό τροχό της πρώτης σχέσεως μετάδοσης και τον αντίστοιχο της ενδιάμεσης ατράκτου (Σχ.5.7.6).



Σχ.5.7.6 Παράσταση του πέμπτου ζεύγους σύμπλεξης του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης.

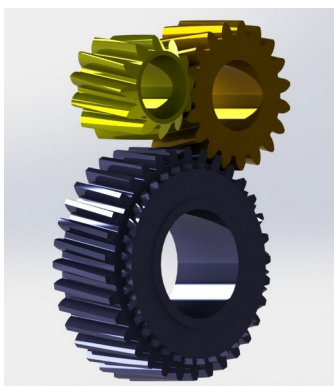
Τεχνικά χαρακτηριστικά οδοντωτών τροχών	Οδοντωτός τροχός 1^{ης} σχέσεως μετάδοσης	Πέμπτος οδοντωτός τροχός ενδιάμεσης ατράκτου
Γωνία πίεσης (°)	22	35
Γωνία κέντρου διάκενου – κέντρου επόμενου οδόντα (°)	4,74	15
Modul (mm)	2.948	2.948
Ύψος οδόντα (mm)	7,3	7,3
Διάμετρος κύκλου κεφαλής (mm)	117,4	44,5
Διάμετρος αρχικού κύκλου (mm)	112,51	38,15
Διάμετρος κύκλου πόδα (mm)	104,4	29,9
Γωνία κλίσης (°)	12	12
Αριθμός οδόντων	38	12
Χρόνος εκτύπωσης (hr)	7,28	8,42
Απόσταση αξόνων (mm)	75,35	
Τεχνικά χαρακτηριστικά οδοντωτών τροχών	Οδοντωτός τροχός 1^{ης} σχέσεως μετάδοσης	Πέμπτος οδοντωτός τροχός ενδιάμεσης ατράκτου
Μηχανή εκτύπωσης	Prusa i3	Crealty CR-10
Ύψος στρώματος (μm)	250	200
Ταχύτητα εκτύπωσης (mm/s)	80	120

Ποσοστό και πρότυπο πλήρωσης	25% Πλέγμα	80% Τριγωνικό
Σχέση μετάδοσης	4,695:1	

Πιν.5.7.5 Τεχνικά χαρακτηριστικά του πέμπτου ζεύγους σύμπλεξης του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης.

6^η Ομάδα σύμπλεξης

Η έκτη ομάδα σύμπλεξης αποτελείται από τον οδοντωτό τροχό της όπισθεν, τον ενδιάμεσο οδοντωτό τροχό (idler) που παρεμβάλλεται μεταξύ όπισθεν και τον αντίστοιχο της ενδιάμεσης ατράκτου (Σχ.5.7.7).



Σχ.5.7.7 Παράσταση της έκτης ομάδας σύμπλεξης του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης.

Τεχνικά χαρακτηριστικά οδοντωτών τροχών	Οδοντωτός τροχός της όπισθεν	Ενδιάμεσος οδοντωτός τροχός	Έκτος οδοντωτός τροχός ενδιάμεσης ατράκτου
Γωνία πίεσης (°)	20	32,5	37
Γωνία κέντρου διάκενου – κέντρου επόμενου οδόντα(°)	5,45	9,47	15
Τεχνικά χαρακτηριστικά οδοντωτών τροχών	Οδοντωτός τροχός της όπισθεν	Ενδιάμεσος οδοντωτός τροχός	Έκτος οδοντωτός τροχός ενδιάμεσης ατράκτου
Modul (mm)	2,444	2,444	2,444
Ύψος οδόντα (mm)	5,5	6,3	6,05
Διάμετρος κύκλου κεφαλής (mm)	98,3	63,2	44,1
Διάμετρος αρχικού κύκλου	93,41	58,31	39,21

(mm)			
Διάμετρος κύκλου πόδα	87,30	50,6	32
(mm)			
Γωνία κλίσης (°)	12	12	12
Αριθμός οδόντων	33	19	12
Χρόνος εκτύπωσης (hr)	7,1	2,4	7,8
Απόσταση αξόνων (mm)	Όπισθεν-ενδιάμεσος: 77 Ενδιάμεσος-αντίστροφο: 49 Όπισθεν αντίστροφος: 75,35		
Μηχανή	Prusa i3	Prusa i3	Creality CR-10
Ύψος στρώματος (μm)	250	250	200
Ταχύτητα εκτύπωσης (mm/s)	50	60	60
Ποσοστό και πρότυπο πλήρωσης	25% Πλέγμα	25% Πλέγμα	80% Τριγωνικό
Σχέση μετάδοσης	4,077:1		

Πιν.5.7.6 Τεχνικά χαρακτηριστικά της ομάδας σύμπλεξης της όπισθεν.

Οι σχέσεις μετάδοσης του κιβωτίου ταχυτήτων υπολογίστηκαν για κάθε ζεύγος οδοντωτών τροχών συμπεριλαμβανομένου και του ζεύγους μόνιμης σύμπλεξης ως εξής

$$(Z_2 * Z_2') / (Z_1 * Z_1') \quad \text{Εξ.5.7.5}$$

Όπου Z_2 : Αριθμός οδόντων κινούμενου τροχού στο ζεύγος της μόνιμης σύμπλεξης

Z_2' : Αριθμός οδόντων κινούμενου τροχού στην άτρακτο εξόδου

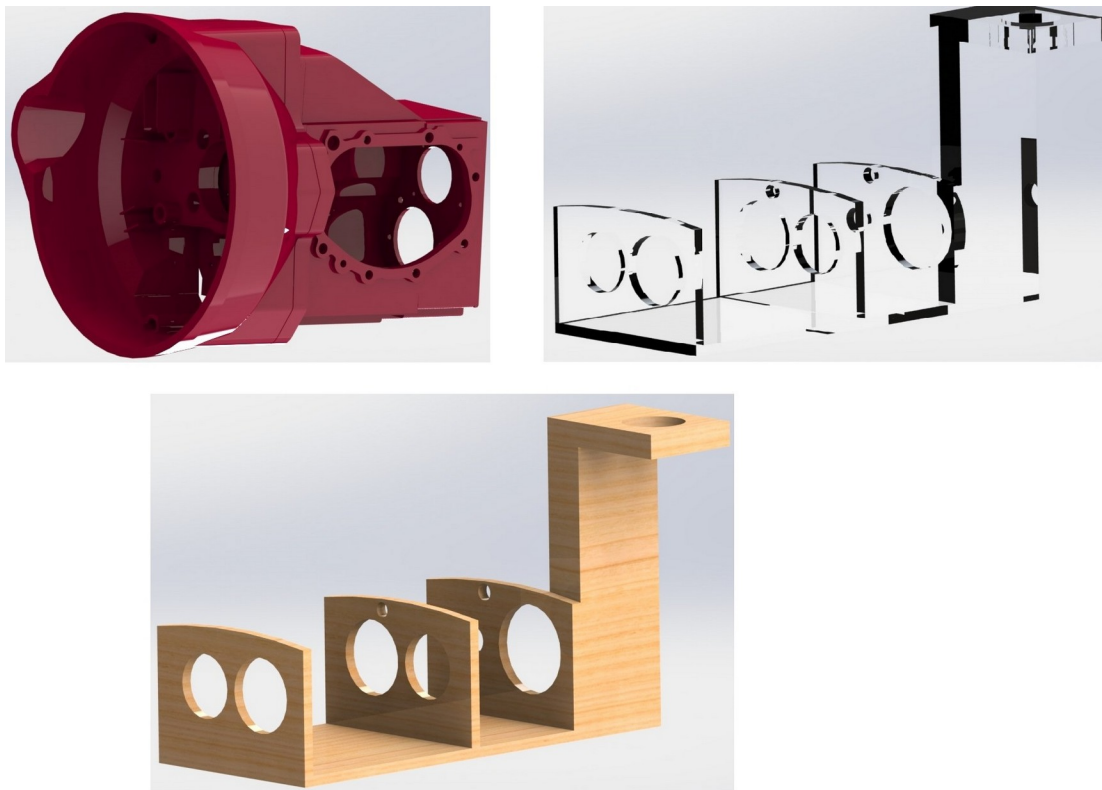
Z_1 : Αριθμός οδόντων κινητήριου τροχού στο ζεύγος της μόνιμης σύμπλεξης και

Z_1' : Αριθμός οδόντων κινητήριου τροχού της ενδιάμεσης ατράκτου.

5.8 Κατασκευή του κελύφους

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενα κεφάλαια, η σχεδίαση ορισμένων κομματιών του κελύφους ήταν ανέφικτη λόγω της έλλειψης εξοπλισμού ικανού να μετρήσει τις καμπυλότητες των κομματιών. Έτσι, το κέλυφος σχεδιάστηκε από την αρχή ως ανοικτού τύπου κέλυφος (Σχ.5.8.1), καθώς δεν εμπεριέχει λιπαντικό, αλλά επίσης και για ευκολία παρατήρησης των εσωτερικών εξαρτημάτων του κατά την παρουσίαση. Ως υλικό

κατασκευής επιλέχθηκε αρχικά το πολυκαρμπονικό φύλλο (plexiglass), το οποίο όμως απορρίφθηκε τελικά διότι δεν ήταν δυνατή η κατεργασία του.



Σχ.5.8.1 Αριστερά το αρχικό κέλυφος του κιβωτίου, δεξιά η πρώτη επιλογή υλικού κατασκευής του κελύφους ανοικτού τύπου (plexiglass) και κάτω το τελικό κέλυφος ανοικτού τύπου κατασκευασμένο από ινοσανίδες.

Το κέλυφος κατασκευάστηκε τελικά από ινοσανίδες (Medium Density Fiberboard, MDF) πάχους 10,5, 16, 23 και 45 χιλιοστών (Πιν.5.8.1).

Τεμάχια του κελύφους	Διαστάσεις (mm)
Βάση	355x200x16
Ενδιάμεσα διαχωριστικά τοιχώματα	200x137.5x10.5
Κάθετο τμήμα του βραχίονα στήριξης του επιλογέα	300x100x45
Οριζόντιο τμήμα του βραχίονα στήριξης του επιλογέα	142x100x23

Πιν.5.8.1 Διαστάσεις τεμαχίων του κελύφους του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης.

Η κατεργασία των τεμαχίων αυτών έγινε σε αυτόματο μηχάνημα κοπής ξύλου (CNC) πέντε αξόνων (Σχ.5.8.2).

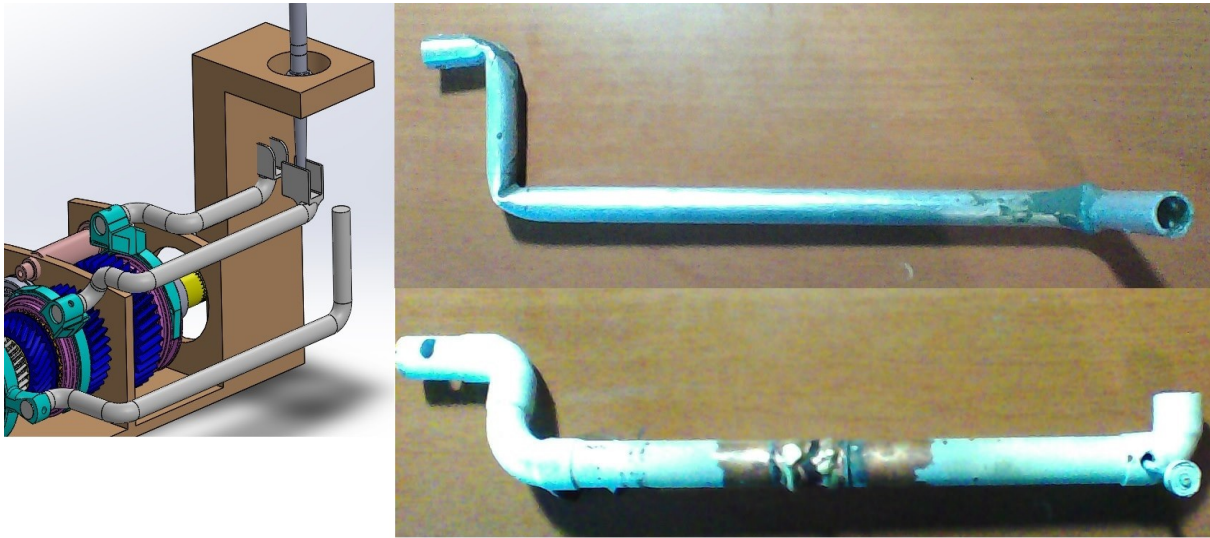


Σχ.5.8.2 Το αυτόματο μηχάνημα κοπής ξύλου (CNC) που χρησιμοποιήθηκε για την διαμόρφωση των τεμαχίων του κελύφους.

5.9 Κατασκευή των ράβδων επιλογής

Οι ράβδοι επιλογής σχέσεως μετάδοσης σχεδιάστηκαν επιτυχώς, όμως δεν δημιουργήθηκαν με την μέθοδο της προσθετικής κατεργασίας για λόγους αντοχής του υλικού. Με τη χρήση της προσθετικής κατεργασίας είναι ανέφικτη η δημιουργία μηχανικών κυλίνδρων, δηλαδή αντικειμένων με πολύ μεγάλο μήκος συγκριτικά με την διάμετρό τους. Στο μοντέλο που κατασκευάστηκε, για τις ράβδους επιλογής αρχικά χρησιμοποιήθηκε ως υλικό κατασκευής το αλουμίνιο, λόγω του μικρού του βάρους (Σχ.5.9.1). Για την δημιουργία των ράβδων επιλογής από αλουμίνιο χρησιμοποιήθηκε κουρμαδόρος. Η ράβδος γεμίστηκε με ψιλή άμμο και στις άκρες τις τοποθετήθηκαν πάματα. Έπειτα θερμάνθηκε με φλόγιστρο προπανίου για να αποφευχθεί η αστοχία της και τοποθετήθηκε στον κουρμαδόρο για περαιτέρω κατεργασία. Δυστυχώς τα τελικά τεμάχια δεν πέρασαν απο τον ποιοτικό έλεγχο καθώς το αλουμίνιο τσαλάκωσε στις εσωτερικές πλευρές των γωνιών του. Οι ράβδοι επιλογής κατασκευάστηκαν τελικά απο χαλκοσωλήνα. Για να δημιουργηθούν οι κατάλληλες καμπύλες χρησιμοποιήθηκαν

γωνίες οι οποίες συγκολλήθηκαν εν θερμώ με χρήση καλαί-φλογίστρου, ή σε πιο δύσκολες εφαρμογές με χρήση ορείχαλκου-βόρακα και οξυγόνου.



Σχ.5.9.1 Δεξιά οι ράβδοι επιλογής όπως σχεδιάστηκαν και συναρμολογήθηκαν στο πρόγραμμα. Αριστερά επάνω η αρχική ράβδος επιλογής απο αλουμίνιο. Παρατηρούνται απότομες στενώσεις στις γωνίες της. Αριστερά κάτω η ράβδος επιλογής κατασκευασμένη απο χαλκοσωλήνα και γωνίες χαλκοσωλήνα, και συγκολλημένη με ορείχαλκο και βόρακα στη μέση της.

5.10 Στήριξη των ράβδων επιλογής

Όπως φαίνεται και στο Σχ.5.9.1 (αριστερά), οι ράβδοι επιλογής στηρίζονται στο ένα άκρο τους στα δίχλα του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης, ενώ το άλλο άκρο τους είναι ελεύθερο χωρίς να εδράζεται στο κιβώτιο. Ένα μεγάλο πρόβλημα που αντιμετωπίστηκε ήταν η στήριξη του ελεύθερου άκρου των ράβδων επιλογής στην κατασκευή. Για να επιτευχθεί η στήριξη ανοίχτηκαν τρεις οριζόντιοι αύλακες στον κάθετο βραχίονα στήριξης του επιλογέα (Σχ.5.10.1).

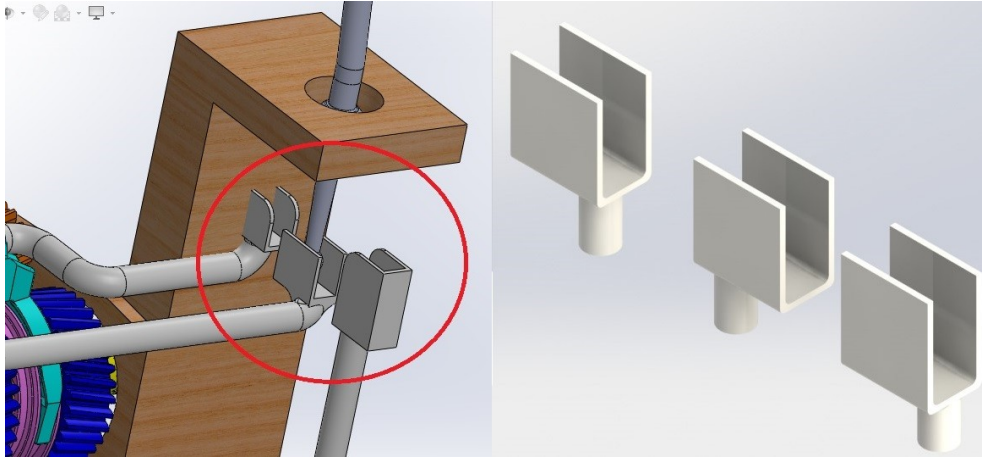


Σχ.5.10.1 Κατεργασία του κελύφους του κιβωτίου για τη δημιουργία των αυλάκων.

Στα αυλάκια που δημιουργήθηκαν τοποθετήθηκαν ελάσματα από λαμαρίνα και επάνω τους εδράστηκαν έδρανα κύλισης. Ανοίχτηκαν διαμπερείς οπές στις ράβδους επιλογής και τοποθετήθηκαν άξονες, οι οποίοι συνδέθηκαν με τα έδρανα κύλισης των αυλάκων. Έτσι, περιορίστηκε το ελεύθερο άκρο των ράβδων επιλογής δίνοντας τους ένα βαθμό ελευθερίας κίνησης, την κίνηση στον άξονα x .

5.11 Κατασκευή της έδρασης του μοχλού επιλογής στις ράβδους επιλογής

Τα σημεία έδρασης του μοχλού επιλογής σχέσεων μετάδοσης στις ράβδους επιλογής θυμίζουν γεωμετρικά διατομή τύπου UPN (Σχ.5.11.1).



Σχ.5.11.1 Αριστερά οι ράβδοι επιλογής με τα σημεία στήριξης στο πλήρως συναρμολογημένο μοντέλο, δεξιά τα μεμονωμένα σημεία στήριξης.

Τα σημεία στήριξης μαζί με τον μοχλό επιλογής εκτελούν τρεις κινήσεις έκαστο, εμπρός, πίσω και ενδιάμεση (νεκρά). Το υλικό κατασκευής που επιλέχθηκε αρχικά ήταν ο χαλκός, όμως μετά την συγκόλλησή τους στις ράβδους επιλογής με οξυγόνο, ορείχαλκο και βόρακα, μειώθηκε η αντοχή του μετάλλου λόγω της θερμικής αυτής κατεργασίας. Ως εκ τούτου, με κάθε κίνηση του μοχλού επιλογής στις τρεις θέσεις του κάθε σημείου στήριξης προέκυπτε παραμόρφωση της διατομής UPN. Άμεσο επακόλουθο ήταν η σχεδίαση των τριών σημείων στήριξης για την δημιουργία τους με τη μέθοδο της προσθετικής κατασκευής με βασικό υλικό το πολυλακτίδιο. Σχεδιάστηκαν και εκτυπώθηκαν με ποσοστό πλήρωσης 100% για αυξημένη αντοχή και συγκολλήθηκαν εν ψυχρώ με κόλλα δύο συστατικών στις ράβδους επιλογής.

5.12 Προβλήματα που παρουσιάστηκαν κατά την εκπόνηση της εργασίας

Κατά την εκπόνηση της εργασίας παρουσιάστηκαν και αντιμετωπίστηκαν αρκετές δυσκολίες σε όλες τις φάσεις της, όπως:

- **Έλλειψη εξαρτημάτων του αρχικού κιβωτίου μετάδοσης κίνησης**

Το συγκεκριμένο κιβώτιο μετάδοσης κίνησης δεν έφερε των μηχανισμό επιλογής των σχέσεων μετάδοσης (πυργολεβιέ, ράβδους επιλογής κτλ). Το αρχικό κιβώτιο αντικαταστήθηκε στην πορεία με την αγορά ενός καινούργιου κιβωτίου μετάδοσης κίνησης,

- **Δυσκολία αποπεράτωσης/συναρμολόγησης των εξαρτημάτων λόγω ανοχών**

Κατά την διαδικασία δημιουργίας μοντελων τα οποία αλληλεπιδρούν μεταξύ τους (κόμπλερ, κορμός συγχρονιστή και δευτερεύουσα οδόντωση οδοντωτών τροχών), δεν ήταν δυνατή η πρόβλεψη των ανοχών των διαστάσεων της κάθε μηχανής, με αποτέλεσμα την είσοδο σε έναν χρονοβόρο κύκλο επαναλαμβανόμενων προσπαθειών συναρμογής των εξαρτημάτων (trial and error).

- **Αναμονή αποστολής εξαρτημάτων από τον προμηθευτή**

Η αναμονή της αποστολής εξαρτημάτων από τους εξωτερικούς συνεργάτες έπαιξε μεγάλο ρόλο στο χρονοδιάγραμμα της εργασίας. Η μεγαλύτερη διάρκεια αναμονής προέκυπτε απο τον εξωτερικό συνεργάτη Joerg Torhoff, του οποίου το εργαστήριο εδρεύει στη Γερμανία.

- **Δυσκολία αποσυναρμολόγησης του κιβωτίου ταχυτήτων**

Κατά την αποσυναρμολόγηση του κιβωτίου χρειάστηκαν ειδικά εργαλεία τόσο χειρός όσο και υδραυλικά και αέρος. Σε συνεργασία με επίσημη αντιπροσωπία της Mercedes κατέστη δυνατή η αποσυναρμολόγηση του κιβωτίου. Χρησιμοποιήθηκαν εξολκείς, υδραυλικές πρέσες και φλόγιστρα προπανίου για την αποσυναρμολόγηση οδοντωτών τροχών και εδράνων κύλισης. Επίσης με τη χρήση ειδικών μυτοσίμπιδων απομακρύνθηκαν όλες οι ασφάλειες του κιβωτίου.

- **Δυσκολία σχεδίασης λόγω έλλειψης εξοπλισμού**

Δεν υπήρχε η δυνατότητα χρήσης μικρόμετρου ή τριδιάστατου σαρωτή για την δημιουργία μοντέλων του κιβωτίου ταχυτήτων στο εικονικό περιβάλλον. Έτσι χρησιμοποιήθηκαν

ανορθόδοξες μέθοδοι όπως η σάρωση σε διδιάστατο σαρωτή της οδόντωσης των οδοντωτών τροχών και η χύτευση αντιγραφής για την δημιουργία καλουπιών με ρητίνη δύο συστατικών, οι οποίες αποδείχθηκαν άκαρπες. Για τους λόγους αυτούς προέκυψε η ανάγκη του προσδιορισμού των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των οδοντώσεων και η εκ νέου κατασκευή των οδοντωτών τροχών.

- **Έλλειψη πληροφοριών αρχικού μοντέλου**

Παρά την συνεργασία με μηχανουργεία, δεν βρέθηκαν βασικές παράμετροι των οδοντωτών τροχών του κιβωτίου ταχυτήτων, όπως το μέτρο οδόντωσης (modul), η διάμετρος του αρχικού κύκλου και η γωνία εξελεγμένης. Τα στοιχεία αυτά δεν βρέθηκαν επίσης στην ανοικτή βιβλιογραφία και μετά από επικοινωνία με το εργοστάσιο της Mercedes-Benz στη Στουτγκάρδη αρνήθηκαν να τα δημοσιοποιήσουν. Έτσι η οδόντωση και το module των οδοντωτών τροχών προσδιορίστηκαν εξ αρχής έπειτα από έρευνα.

- **Δυσκολία σχεδίασης λόγω γεωμετρίας**

Σε ορισμένα εξαρτήματα του κιβωτίου ταχυτήτων δεν ήταν δυνατή η σχεδιάσή των, λόγω μη μετρήσιμων καμπυλοτήτων. Έτσι τα εξαρτήματα αυτά παραλήφθηκαν ή σχεδιάστηκαν προσεγγιστικά, χωρίς όμως να επηρεάζουν τη σωστή λειτουργία του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης. Συγκεκριμένα παραλήφθηκαν κομμάτια του εξωτερικού κελύφους και τσιμούχες, τα οποία ήταν περιττά στη συναρμολόγηση του τριδιάστατου μοντέλου, καθώς δεν χρησιμοποιεί λιπαντικό κατά τη λειτουργία του.

- **Αστοχία εξαρτημάτων**

Η αστοχία ορισμένων εξαρτημάτων κατά την αποσυναρμολόγηση του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης ήταν αναπόφευκτη. Το γεγονός αυτό οδήγησε σε πολυήμερη αναμονή για την παραλαβή των νέων εξαρτημάτων για τη σχεδίαση τους.

- **Ελλιπής αντοχή των παραγόμενων τριδιάστατων εξαρτημάτων**

Η αντοχή των παραγόμενων εξαρτημάτων του κιβωτίου ταχυτήτων εξαρτάται από τις ιδιότητες του βασικού υλικού κατασκευής, το ποσοστό και πρότυπο πλήρωσης και τη

γεωμετρία του εξαρτήματος. Έτσι η αντοχή των εξαρτημάτων θυσιάστηκε στο βωμό του κόστους κατασκευής.

- **Καταστροφή εξαρτημάτων για χάρη της σχεδίασης (Καταστροφική σχεδίαση/ Destructive reverse engineering)**

Κατά την φάση της σχεδίασης πολλά εξαρτήματα έφεραν εσωτερικές κοιλότητες, των οποίων οι διαστάσεις ήταν αδύνατον να μετρηθούν χωρίς αυτά να καταστραφούν. Με τον όρο καταστροφική σχεδίαση νοείται η δημιουργία τομής του προς σχεδίαση αντικειμένου σε περιπτώσεις που η σχεδίαση δεν είναι εφικτή λόγω έλλειψης διαστάσεων.

- **Εύρεση εξειδικευμένων υλικών ή αντικειμένων**

Μετά την αποσυναρμολόγηση του κιβωτίου ταχυτήτων, αποκλείστηκαν από τη φάση της σχεδίασης ορισμένα αντικείμενα (κέλυφος, καπάκια), λόγω δύσκολης γεωμετρίας και έλλειψης διαστάσεων. Έτσι για την δημιουργία τους αγοράστηκε ρητίνη καλούπωσης και καταλύτης σκλήρυνσης. Το κέλυφος θα βυθιζόταν σε δοχείο που εμπεριείχε την ρητίνη και έτσι θα δημιουργούνταν ένα ακριβές καλούπι του κελύφους. Έπειτα θα χυτευόταν στο καλούπι ρητίνης με γύψο καλλιτεχνίας, με αποτέλεσμα την δημιουργία του κελύφους. Η διαδικασία αυτή όμως ήταν ασύμφορη καθώς η ρητίνη παράγει καλούπια χιλιάδων χρήσεων με μεγάλο κύκλο ζωής και το κόστος αγοράς της είναι υψηλό.

- **Μεγάλη δαπάνη χρόνου για τον έλεγχο και την διόρθωση εξαρτημάτων του μοντέλου**

Κατά την διάρκεια της δημιουργίας των εξαρτημάτων προέκυψαν σφάλματα εκτύπωσης όσων αφορά τις διαστάσεις, τις ανοχές και την συναρμογή. Τα σφάλματα αυτά αποδίδονται τόσο σε σχεδιαστικές παραμέτρους, όσο και σε παραμέτρους ρύθμισης της μηχανής. Χρειάστηκε λοιπόν ο επανασχεδιασμός αρκετών μοντέλων, και η επιλογή ανοχών των διαστάσεών τους, σύμφωνα με τις υποστηριζόμενες ανοχές της κάθε μηχανής.

- **Επανασχεδιασμός και απλούστευση του συστήματος επιλογής ταχυτήτων**

Ο επανασχεδιασμός του συστήματος επιλογής ταχυτήτων κρίθηκε απαραίτητος, καθώς δεν υπήρχε η δυνατότητα κατασκευής του με τη μέθοδο της προσθετικής κατεργασίας.

Επανασχεδιάστηκαν τα εξής αντικείμενα:

- Ράβδοι επιλογής ταχυτήτων
- Μοχλός επιλογής ταχυτήτων
- Συγκρατητές επιλογής ταχυτήτων
- Δίχαλα
- Συγχρονιστές

- **Αστοχία του αλουμινίου ως υλικού για την κατασκευή των ράβδων επιλογής**

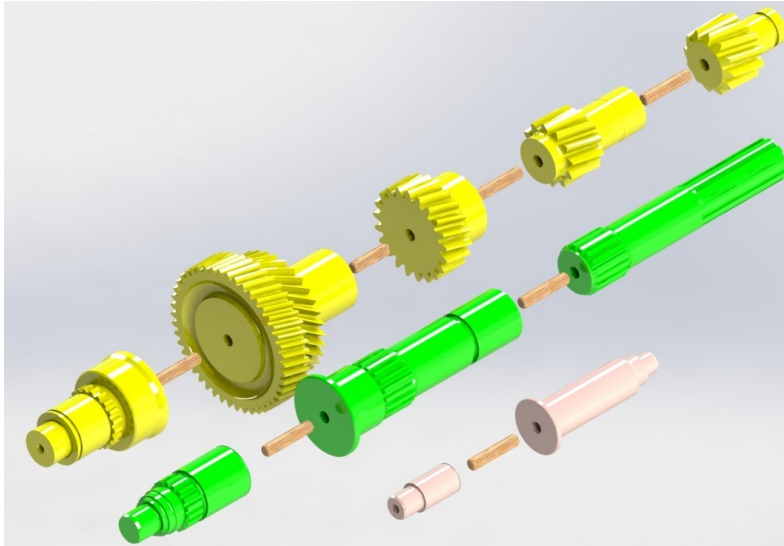
Πολλά προβλήματα προέκυψαν κατά την κατασκευή των ράβδων επιλογής, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, με κύριο αυτό της αστοχίας του βασικού υλικού κατασκευής.

- **Αποκλεισμός χυτών αντικειμένων με ελατήρια ή σφαιροειδή σώματα από την υλοποίηση, για λόγους ακριβείας, λειτουργίας και συναρμολόγησης**

Όπως προαναφέρθηκε, δεν ήταν δυνατή η δημιουργία ελατηρίων και εδράνων κύλισης του κιβωτίου ταχυτήτων, καθώς θα χρειαζόταν υψηλή ακρίβεια, ποιότητα επιφάνειας (κάτι που δεν προσφέρουν οι συμβατικοί τριδιάστατοι εκτυπωτές) και ειδικά εργαλεία συναρμολόγησης.

- **Αδυναμία προσθετικής κατασκευής των αξόνων και ατράκτων ως αυτοτελών μοντέλων**

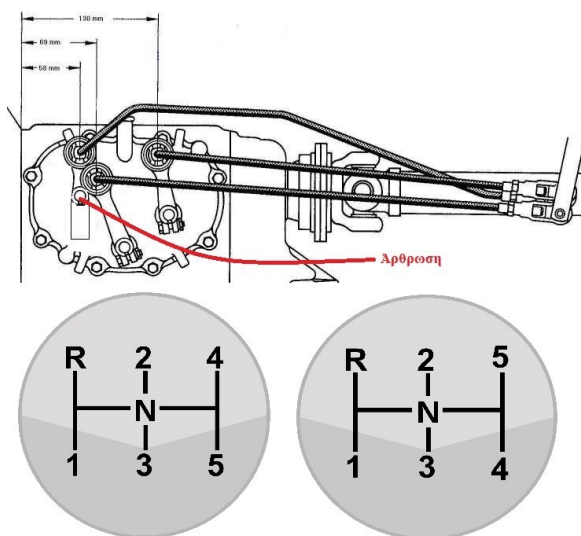
Η κατασκευή των αξόνων και ατράκτων του κιβωτίου ταχυτήτων, ήταν αδύνατον να επιτευχθεί λόγω του μεγάλου μεγέθους τους. Το κλειστό φάσμα τριδιάστατων εκτυπωτών στη χώρα μας κατέστησε αναγκαία την ανάθεση σε έναν δεύτερο εξωτερικό συνεργάτη με διεθνές πελατολόγιο. Οι ενέργειες αυτές αποδείχθηκαν άκαρπες, καθώς δεν ήταν δυνατή η εκτύπωση των συγκεκριμένων μοντέλων με τη χρήση συμβατικού εκτυπωτή. Τα μοντέλα κόπηκαν σε επιμέρους τμήματα και εκτυπώθηκαν ξεχωριστά (Σχ.5.12.1). Ενώθηκαν με τη χρήση καβίλιων και εποξικής κόλλας δύο συστατικών.



Σχ.5.12.1 Τμηματική απεικόνιση των ατράκτων και αξόνων πριν την εκτύπωση.

- Αλλαγή του πρότυπου επιλογής, λόγω απόκλισης της άρθρωσης για την 4^η και 5^η σχέση μετάδοσης

Κατά την επιλογή της 4^{ης} ή 5^{ης} σχέσεως μετάδοσης χρησιμοποιούνταν σύστημα βραχιόνων του οποίου η άρθρωση βρισκόταν στο κέντρο, σε αντίθεση με τους υπόλοιπους βραχίονες του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης. Έτσι η σειρά επιλογής στον λεβιέ του οδηγού άλλαξε, ώστε να ανταποκρίνεται στα ισχύοντα δεδομένα (Σχ.5.12.2).



Σχ.5.12.2 Αλλαγή πρότυπου επιλογής για κατασκευαστικούς λόγους.

- **Ονοματολογία των επιμέρους εξαρτημάτων του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης**

Σοβαρό πρόβλημα αποτέλεσε και η ονοματολογία των επιμέρους εξαρτημάτων του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης, καθώς η αρχική τους ονοματολογία προέρχονταν από τα γερμανικά. Έπειτα μεταφράστηκαν κατά λέξη στην αγγλική γλώσσα και έπειτα στην ελληνική, με αποτέλεσμα κάποιες φορές να παραποιηθούν. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε η κατά λέξη μετάφραση των εξαρτημάτων του κιβωτίου σε συνδυασμό με την μηχανολογική και γεωμετρική περιγραφή των, κατά την σύνταξη της εργασίας.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το διδακτικό βοήθημα που κατασκευάστηκε προσφέρει:

- Εις βάθος κατανόηση της λειτουργίας ενός μηχανικού κιβωτίου ταχυτήτων λόγω της έκθεσης των εσωτερικών του εξαρτημάτων.
- Παράσταση της μετάδοσης της ροπής.
- Παράσταση της διαδικασίας συγχρονισμού.
- Παράσταση του τρόπου λειτουργίας ενός απλοποιημένου μηχανισμού επιλογής ταχυτήτων.
- Κατανόηση των δυνατοτήτων της προσθετικής κατασκευής.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ
ΣΥΝΤΑΞΗ ΑΝΑΦΟΡΩΝ

- [1] Ben Redwood, Brian Garret, Filemon Schöffner, and Tony Fadell, *The 3D Printing Handbook: Technologies design and applications*.
- [2] N. A. Abdel-Halim, D. C. Barton, D. A. Crolla and A. M. Selim, *Performance of multicone synchronizers for manual transmissions*, Journal of automobile engineering, doi: 10.1243/0954407001527213,, pp. 55-65, Jan 1, 2000.
- [3] A. Abel, U. Schreiber and J. Schindler, *Engine and Gearbox Modeling and Simulation for Improving the Shifting Behavior of Powertrains with Manual or Automated Transmission*, SAE Technical Paper, doi: 10.4271/2006-01-1641, 2006.
- [4] Z. Gong, W. Zhang, G. Chen and W. Wang, *Analyses and Evaluation on Synchronizer of Manual Transmission*, in IEEE Pacific-Asia Workshop on Computational Intelligence and Industrial Application, doi: 10.1109/PACIIA.2008.121, 842 - 845, Wuhan, China, , 19-20 Dec. 2008.
- [5] A. Gustavsson, *Development and Analysis of Synchronization Process Control Algorithms in a Dual Clutch Transmission*, Masters thesis, LiTH-ISY-EX-09/4191--SE, Department of Electrical Engineering Linköping University, SE-581 83 Linköping, Sweden.
- [6] H. Hoshino, *Analysis on Synchronization Mechanism of Transmission*, SAE Technical Paper, doi: 10.4271/1999-01-0734, Detroit, Michigan, March 1-4, 1999.
- [7] D. K. C. Kent, *Gear Shift Quality Improvement In Manual Transmissions Using Dynamic Modelling*, SAE Technical Paper 2000-05-0126, Seoul, Korea, June 12-15, 2000.
- [8] J. Kim, D. Sung, C. Seok and H. Kim, *Development of Shift Feeling Simulator for a Manual Transmission*, SAE Technical Paper, doi:10.4271/2002-01-2202, p. 8, 2002.

- [9] Y. C. Liu and C. H. Tseng, *Simulation and analysis of synchronisation and engagement on manual transmission gearbox*, International Journal of Vehicle Design, doi: 10.1504/IJVD.2007.012304, vol. 43, p. 21, 2007.
- [10] L. Lovas, D. Play, J. Marialigeti, and J. F. Rigal, *Mechanical behaviour simulation for synchromesh mechanism improvements*, Journal of Automobile Engineering, vol. 220, doi: 10.1243/09544070D21604, pp. 919-945, 2006.
- [11] B. Paffoni, R. Progri, R. Gras and J. Blouët, *The hydrodynamic phase of gearbox synchromesh operation: The influence of radial and circumferential grooves*, Part J: Journal of Engineering Tribology 1997 211: 107, doi: 10.1243/1350650971542354, vol. 211(J2), pp. 107-116, 1997.
- [12] S. T. Razzacki and J. E. Hottenstein, *Synchronizer Design and Development for Dual Clutch Transmission*, SAE Technical Paper, doi:10.4271/2007-01-0114, p. 10, 2007.
- [13] Robert H. McKim *Experiences in visual thinking, second edition*, March 12th 1980 by Brooks/Cole, pp. 42-208.
- [14] Brent Stucker, David W. Rosen and Ian Gibson *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping and Direct Digital Manufacturing, second edition*.
- [15] Alec Stokes, *Manual Gearbox Design* ELSEVIER SCIENCE & TECHNOLOGY, Oxford UK, 1992, pp. 11-200.
- [16] Carl F. Zorowski Raleigh, *Design of Mechanical Power Transmissions*, North Carolina, 2016, pp 23-102.
- [17] Harald Naunheimer, Bernd Bertsche, Joachim Ryborz and Wolfgang Novak *Automotive Transmissions: Fundamentals, Selection, Design and Application*, Springer-Verlag Berlin and Heidelberg GmbH & Co. K; 2nd ed. 2011 edition, pp. 58-717.

[18] Ιωάννης Κ. Στεργίου, Κωνσταντίνος Ι. Στεργίου *ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΗΧΑΝΩΝ ΙΙ ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΚΙΝΗΣΗΣ* Σύγχρονη Εκδοτική, 2002, σελ.15-131.

[19] Brehme Dieter *Εφαρμογές Μετροτεχνίας* Ευρωπαϊκές Τεχνολογικές Εκδόσεις, 1997, σελ.20-56.

Ηλεκτρονικές πηγές

[20] Xingyong Song (2011, June). *DESIGN, MODELING, AND CONTROL OF AUTOMOTIVE POWER TRANSMISSION SYSTEMS*. University of Minnesota [Online], pp. 3-258. Available:

<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.897.6944&rep=rep1&type=pdf>

[21] ANA PASTOR BEDMAR (Sweden 2013). *Synchronization processes and synchronizer mechanisms in manual transmissions Modelling and simulation of synchronization processes Master's Thesis in the International Master Programme in Applied Mechanics*. Chalmers University of Technology, [Online], pp. 1-70. Available:

<http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/179594/179594.pdf>

[22] Muhammad Irfan (Sweden 2017). *Modelling and optimization of gear shifting mechanism*. Chalmers University of Technology, [Online], pp. 1-28. Available:

<http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/245949/245949.pdf>

[23] Ma Mingchuan (2014) *Automobile Transmission Design*. Saimaa University of Applied Sciences Faculty of Lappeenranta, [Online], pp. 1-39. Available:

<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/75701/Automobile%20Transmission%20Design.pdf?sequence=1>

[24] Andrew Gilmour, Muhammad Fazril Abdul Latif, Martin Gutierrez Benito and Giovanni Ressurreição Piffer (March 2016). *3D Printing of Functional Parts and their Structural*

Integrity. University of Strathclyde Engineering, Department of mechanical and aerospace engineering, [Online], pp. 9-130. Available:

<http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/38443/6/TFGMartinGutierrezBenitoRUO.pdf>