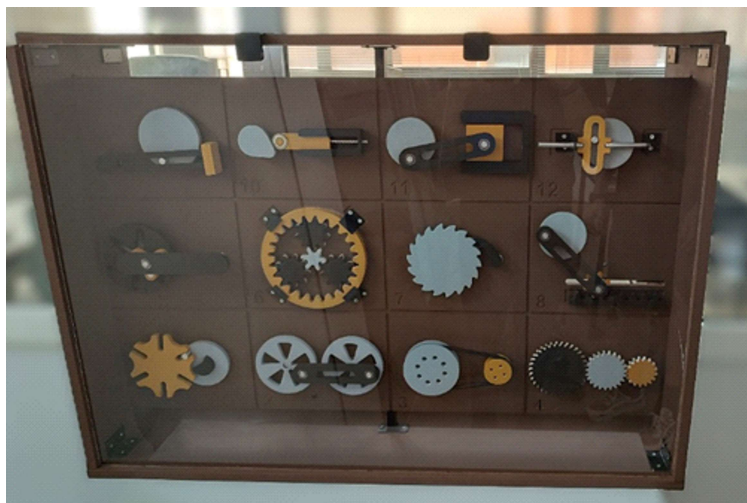




ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΟΠΗΣ & ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΗΧΑΝΙΣΜΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ



**ΚΟΚΟΣΑΛΗΣ
ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΑΡΙΣΤΟΜΕΝΗΣ ΑΝΤΩΝΙΑΔΗΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους όσους με στήριξαν κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Καταρχάς, ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Αριστομένη Αντωνιάδη, για την πολύτιμη καθοδήγηση, την υποστήριξη και τις ουσιαστικές παρατηρήσεις του σε όλη τη διάρκεια της διπλωματικής εργασίας. Ευχαριστώ επίσης τους συμφοιτητές μου και τα μέλη του εργαστήριου Μικροκοπής και Κατασκευαστικής Προσομοίωσης (m3) για τις δημιουργικές συζητήσεις και την υποστήριξή τους, ιδιαίτερα σε στιγμές δυσκολίας και αμφιβολίας.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες απευθύνω στην οικογένειά μου για τη συνεχή ψυχολογική τους υποστήριξη καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου, καθώς και στους φίλους μου και στην κοπέλα μου, Μαντώ, για την ενθάρρυνση, την υπομονή και την κατανόηση που έδειξαν σε κάθε στάδιο αυτής της πορείας.

Τέλος, μια ιδιαίτερη ευχαριστία οφείλω στον Δημήτρη Ψημμένο, έναν άνθρωπο που ξεκίνησε ως γνωστός, αλλά με τα χρόνια της σχολής έγινε για μένα οικογένεια. Μαζί περάσαμε χαρές, δυσκολίες, ξενύχτια και γέλια, και η στήριξή του σε όλη αυτή τη διαδρομή ήταν για μένα ανεκτίμητη. Η παρουσία του ήταν καθοριστική και τον ευχαριστώ από καρδιάς.

Περιεχόμενα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
2. ΣΤΑΘΜΗ ΓΝΩΣΕΩΝ	6
2.1 Γενικά	6
2.1.1 Ιστορική αναδρομή	6
2.1.2 Κινηματικό ζεύγος.....	7
2.1.3 Κινηματική αλυσίδα.....	10
2.1.4 Βαθμοί ελευθερίας (DOF)	10
2.2 Μηχανισμοί μετάδοσης κίνησης.....	11
2.2.1 Μηχανισμός της Γενεύης	11
2.2.2 Coupled wheels of locomotive mechanism	13
2.2.3 Μηχανισμός τροχαλίας με επίπεδο/κυλινδρικό ιμάντα.....	15
2.2.4 Μηχανισμός μετωπικών οδοντωτών τροχών με ευθεία οδόντωση	16
2.2.5 Μηχανισμός Multiple Gearing με Τριβείς και Ακτινικές εσοχές	19
2.2.6 Πλανητικός μηχανισμός	20
2.2.7 Μηχανισμός κασάνιας	21
2.2.8 Μηχανισμός γραναζιού και σταθερής οδοντωτής ράβδου	22
2.2.9 Μηχανισμός σφύρας.....	23
2.2.10 Cam & follower mechanism	23
2.2.11 Slider-crank mechanism	25
2.2.12 Μηχανισμός σκωτσέζικου ζυγού	26
3. ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΜΗΧΑΝΙΣΜΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ	27
3.1 Μηχανισμός Γενεύης	28
3.2 Coupled wheels of locomotive mechanism	31
3.3 Μηχανισμός τροχαλίας με επίπεδο/κυλινδρικό ιμάντα	33
3.4 Μηχανισμός τριών γραναζιών.....	36
3.5 Μηχανισμός Multiple Gearing με Τριβείς και Ακτινικές εσοχές	39
3.6 Πλανητικός μηχανισμός	42
3.7 Μηχανισμός κασάνιας	45
3.8 Μηχανισμός γραναζιού και σταθερής οδοντωτής ράβδου	47
3.9 Μηχανισμός σφύρας.....	51
3.10 Cam & follower mechanism with spring return	53
3.11 Slider mechanism.....	56
3.12 Μηχανισμός σκωτσέζικου ζυγού.....	59
3.13 Πίνακας τοποθέτησης μηχανισμών	62
4. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ, ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΜΗΧΑΝΙΣΜΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ.....	63
4.1 Κατεργασία κοπής εξαρτημάτων με CNC Router.....	64

4.2	Προστασία ξύλου MDF και βαφή	65
4.3	Κατασκευή αξόνων αλουμινίου	67
4.4	Συναρμολόγηση	69
4.4.1	Συναρμολόγηση μηχανισμών	69
4.4.2	Συναρμολόγηση σκελετού	71
4.5	Εγκατάσταση και λειτουργία κινητήρων συνεχούς ρεύματος (DC)	72
4.6	Ολοκλήρωση κατασκευαστικής διαδικασίας.....	75
5.	ΣΥΝΟΨΗ.....	76
6.	Βιβλιογραφία.....	77

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στον σχεδιασμό, την κατασκευή και τη συναρμολόγηση μηχανισμών μετάδοσης κίνησης. Οι μηχανισμοί μετάδοσης κίνησης λειτουργούν μεταφέροντας κίνηση μέσω μηχανικών εξαρτημάτων και η εφαρμογή τους αποτυπώνεται σε διάφορους τομείς της βιομηχανίας. Ο σχεδιασμός τους αποτελείται από μια σειρά κρίσιμων βημάτων που στόχο έχουν να εξασφαλίσουν την ομαλή λειτουργία, την αποτελεσματικότητα, την αποδοτικότητα και τη μακροχρόνια λειτουργία του μηχανισμού.

Ο σχεδιασμός των μηχανικών εξαρτημάτων πραγματοποιείται στο λογισμικό FUSION 360. Η κατασκευή περιλαμβάνει τη διαδικασία μετατροπής ενός θεωρητικού σχεδίου σε ένα λειτουργικό φυσικό αντικείμενο μέσω ενός μηχανήματος CNC ROUTER. Για την κατασκευή των εξαρτημάτων επιλέγεται ως υλικό το ξύλο (MDF), το οποίο πληροί τις μηχανικές ιδιότητες που απαιτούνται στις συνθήκες λειτουργίας. Η σύνδεση των εξαρτημάτων πραγματοποιείται κατά τη συναρμολόγηση του μηχανισμού με διάφορες μηχανικές μεθόδους σύνδεσης. Κάθε μηχανισμός λαμβάνει κίνηση από έναν κινητήρα συνεχούς ρεύματος (DC), ο οποίος είναι συνδεδεμένος με το κατάλληλο τροφοδοτικό.

Στην εργασία γίνονται αναφορές σε σημαντικούς μηχανισμούς και σκοπός της είναι η αναπαράσταση της λειτουργίας των μηχανισμών μετάδοσης κίνησης.

Η δομή της εργασίας αποτελείται από:

- Το 2^ο κεφάλαιο το οποίο περιλαμβάνει το θεωρητικό υπόβαθρο των μηχανισμών μετάδοσης κίνησης που αξιοποιήθηκαν (στάθμη των γνώσεων).
- Το 3^ο κεφάλαιο όπου αναφέρεται στον σχεδιασμό και την ανάλυση των μηχανισμών επίδειξης που σχεδιάστηκαν για την υλοποίηση της εργασίας.
- Το 4^ο κεφάλαιο παρουσιάζει όλα τα βήματα της διαδικασίας κατασκευής και συναρμολόγησης των μηχανισμών μετάδοσης κίνησης έως το τελικό αποτέλεσμα.
- Το 5^ο κεφάλαιο στο οποίο πραγματοποιείται η σύνοψη της εργασίας.

2. ΣΤΑΘΜΗ ΓΝΩΣΕΩΝ

Το θεωρητικό υπόβαθρο γνώσεων των μηχανισμών μετάδοσης κίνησης κρίνεται απαραίτητο για την επιτυχημένη υλοποίησή τους. Στόχος του κεφαλαίου είναι η ανάπτυξη των θεμελιωδών γνώσεων για τους επιμέρους μηχανισμούς που αξιοποιήθηκαν στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας.

2.1 Γενικά

Ένας μηχανισμός αποτελεί μια διάταξη στοιχείων, σχεδιασμένων να μετατρέπουν και να μεταδίδουν κίνηση σύμφωνα με ένα προκαθορισμένο πρότυπο ή μοτίβο λειτουργίας. Χαρακτηρίζεται συνήθως από την ικανότητά του να χειρίζεται σχετικά μικρές δυνάμεις και να μεταφέρει περιορισμένη ισχύ. Αντίθετα, μια μηχανή περιλαμβάνει έναν ή περισσότερους μηχανισμούς και έχει σχεδιαστεί ώστε να παράγει σημαντικές δυνάμεις και να μεταφέρει υψηλά επίπεδα ισχύος. Παραδείγματα μηχανισμών περιλαμβάνουν συσκευές όπως ξύστρες μολυβίων, κλείστρα φωτογραφικών μηχανών, αναλογικά ρολόγια, πτυσσόμενες καρέκλες, ρυθμιζόμενες λάμπες γραφείου και ομπρέλες. Από την άλλη πλευρά, μηχανές που περιλαμβάνουν παρόμοιες κινήσεις είναι, μεταξύ άλλων, τα μπλάντερ τροφίμων, οι πόρτες χρηματοκιβωτίων, τα κιβώτια ταχυτήτων αυτοκινήτων, οι εκσκαφείς, τα ρομπότ και τα μηχανικά παιχνίδια σε πάρκα ψυχαγωγίας.

Η διαχωριστική γραμμή μεταξύ μηχανισμού και μηχανής δεν είναι απόλυτη. Η διαφορά έγκειται στο μέγεθος των δυνάμεων και της ενέργειας που εμπλέκονται στη λειτουργία τους. Συσκευές που λειτουργούν με υψηλές δυνάμεις ή ενεργειακά επίπεδα θεωρούνται μηχανές, ενώ αυτές που περιορίζονται σε χαμηλότερα επίπεδα κατατάσσονται ως μηχανισμοί.

Μηχανισμός είναι: «Ένα σύστημα διασυνδεδεμένων στοιχείων το οποίο μεταφέρει κίνηση σύμφωνα με ένα καθορισμένο πρότυπο».

Μηχανή είναι: «Ένα σύστημα διασυνδεδεμένων στοιχείων το οποίο μεταφέρει κίνηση και ενέργεια σύμφωνα με ένα καθορισμένο πρότυπο».

Κινηματική ανάλυση: Ασχολείται με τη σχετική κίνηση μεταξύ των διαφόρων μερών των μηχανών.

Δυναμική ανάλυση: Μεταβάλλει τις δυνάμεις και τις επιδράσεις, ενώ ενεργεί με την κίνηση των επιμέρους τμημάτων.

Κινητική ανάλυση: Ασχολείται με τις δυνάμεις αδράνειας που προκύπτουν από το συνδυασμένο αποτέλεσμα της μάζας και της κίνησης των μερών της μηχανής.

Στατική ανάλυση: Ασχολείται με τις δυνάμεις και τα αποτελέσματά τους, ενώ τα μέρη του μηχανήματος είναι σε ηρεμία. Η μάζα των εξαρτημάτων θεωρείται αμελητέα.

2.1.1 Ιστορική αναδρομή

Από τα αρχαία χρόνια, ο άνθρωπος δημιούργησε μηχανές και μηχανισμούς για να διευκολύνει τη ζωή του. Οι πρώιμες αυτές εφευρέσεις των Αιγυπτίων συνέβαλαν σημαντικά στην κατασκευή των μεγάλων πυραμίδων και άλλων σημαντικών μνημείων. Αν και οι Αιγύπτιοι της παλαιάς βασιλείας δεν γνώριζαν τη χρήση του τροχού και της τροχαλίας πάνω σε άξονα, αξιοποίησαν εργαλεία όπως τον μοχλό, την κεκλιμένη επίπεδη

επιφάνεια (ή σφήνα), καθώς και κυλίνδρους από ξύλινους κορμούς. Η ακριβής προέλευση του τροχού και του άξονα παραμένει αβέβαιη, αλλά οι πρώτες καταγραφές της χρήσης τους εμφανίζονται στη Μεσοποταμία, περίπου μεταξύ των ετών 4000 και 3000 π.Χ.

Η μέτρηση του χρόνου αποτέλεσε αρχικά σημαντική πρόκληση στον σχεδιασμό μηχανισμών ρολογιών. Πολλοί πρώιμοι μηχανισμοί προορίζονταν για στρατιωτικές χρήσεις, όπως καταπέλτες και μηχανισμοί αναρρίχησης τειχών. Ο όρος «πολιτικός μηχανικός» εισήχθη για να διαχωρίσει τις πολιτικές από τις στρατιωτικές εφαρμογές. Η μηχανολογία εξελίχθηκε κυρίως κατά τη βιομηχανική επανάσταση, με ανάγκες για πιο περίπλοκους μηχανισμούς ελέγχου κίνησης.

Ο James Watt (1736-1819) ήταν πρωτοπόρος στη δημιουργία μηχανισμών ευθείας γραμμής για ατμοκινητήρες, πριν την εφεύρεση του πλανήρα. Αναγνώρισε τη σημασία του τετραμερούς συνδέσμου. Ο Oliver Evans (1755-1819) ανέπτυξε παρόμοιους μηχανισμούς στις ΗΠΑ.

Ο Euler (1707-1783), εισήγαγε την αναλυτική προσέγγιση της κίνησης στο έργο του *Mechanica sive Motus Scientia Analytice Exposita* (1736-1742), χωρίζοντας την επίπεδη κίνηση σε μετατόπιση ενός σημείου και περιστροφή του σώματος γύρω από αυτό το σημείο. Πρότεινε επίσης τον διαχωρισμό της δυναμικής σε «γεωμετρικό» και «μηχανικό» μέρος. Παρόμοιες ιδέες είχαν και οι d'Alembert και Kant. Από αυτόν τον διαχωρισμό προέκυψε η διάκριση κινηματικής και κινητικής.

Στις αρχές του 19^{ου} αιώνα, το Παρίσι ήταν κέντρο μηχανικής με διδασκαλία από σημαντικούς επιστήμονες όπως οι Lagrange και Fourier. Ο ιδρυτής Gaspard Monge ανέπτυξε την περιγραφική γεωμετρία, που κράτησε μυστική η γαλλική κυβέρνηση λόγω στρατιωτικής σημασίας. Μαζί με τον Hachette, ταξινόμησαν τους μηχανισμούς και κυκλοφόρησαν το πρώτο εγχειρίδιο μηχανισμών το 1811. Ο Andre Marie Ampere εισήγαγε τον όρο «*éinématique*» για τη μελέτη της κίνησης ανεξάρτητα από τις δυνάμεις που την προκαλούν, ιδέα που εξελίχθηκε στους όρους kinematics και kinematik.

Ο Robert Willis (1800-1875), καθηγητής στο Cambridge, συστηματοποίησε τον σχεδιασμό μηχανισμών με το βιβλίο του *Principles of Mechanism* (1841), καταγράφοντας πέντε τρόπους μετάδοσης κίνησης: κύλιση, ολίσθηση, συνδέσμους, ιμάντες και τροχαλίες. Ο Franz Reuleaux (1829-1905) θεωρείται πατέρας της κινηματικής. Το 1875 δημοσίευσε το *Theoretische Kinematik*, όπου εισήγαγε την έννοια του κινηματικού ζεύγους και όρισε έξι βασικά μηχανικά στοιχεία. Η αγγλική μετάφραση του έργου του από τον Alexander Kennedy το 1876 παραμένει σημαντική μέχρι σήμερα.

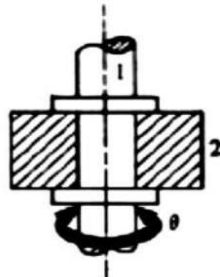
Πριν τον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο, η κινηματική αναπτυσσόταν κυρίως στην Ευρώπη, με περιορισμένη παρουσία στις ΗΠΑ μέχρι τη δεκαετία του 1940, όταν ο DeJonge τόνισε τη σημασία της. Μετά, Αμερικανοί και Ευρωπαίοι ερευνητές προχώρησαν σημαντικά. Τέλος, η εισαγωγή υπολογιστών επέτρεψε την επίλυση σύνθετων προβλημάτων.[1]

2.1.2 Κινηματικό ζεύγος

Όταν δύο εξαρτήματα μιας μηχανής έρχονται σε επαφή και συνεργάζονται, σχηματίζουν ένα ζεύγος. Αν η σχετική τους κίνηση είναι πλήρης ή αποτελεσματική σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση, τότε αυτό το ζεύγος ονομάζεται κινηματικό ζεύγος. Τα κινηματικά ζεύγη κατατάσσονται σύμφωνα με τη φύση της σχετικής κίνησης και σύμφωνα με τον τύπο επαφής μεταξύ των συνδέσμων.

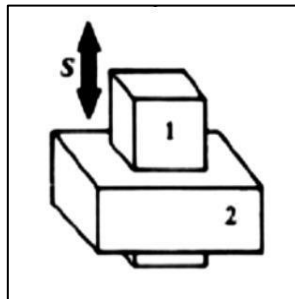
1) Σύμφωνα με τη φύση της σχετικής κίνησης

Περιστροφικό ζεύγος: Όταν δύο στοιχεία ενός ζεύγους είναι συνδεδεμένα με τέτοιο τρόπο ώστε το ένα να μπορεί να περιστρέφεται μόνο γύρω από έναν σταθερό άξονα του άλλου, τότε το ζεύγος αυτό ονομάζεται περιστροφικό ζεύγος. Το είδος αυτό του ζεύγους επιτρέπει μία μόνο βαθμίδα ελευθερίας κίνησης.



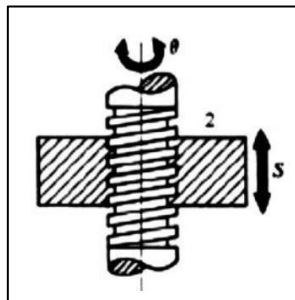
Σχήμα 2.1: Περιστροφικό ζεύγος [2]

Ολισθητικό ή πρισματικό ζεύγος: Όταν δύο στοιχεία ενός ζεύγους είναι συνδεδεμένα με τρόπο ώστε το ένα να μπορεί να ολισθαίνει μόνο σε ευθεία γραμμή σε σχέση με το άλλο, τότε το ζεύγος αυτό ονομάζεται πρισματικό ζεύγος. Το συγκεκριμένο ζεύγος διαθέτει μία μόνο βαθμίδα ελευθερίας.



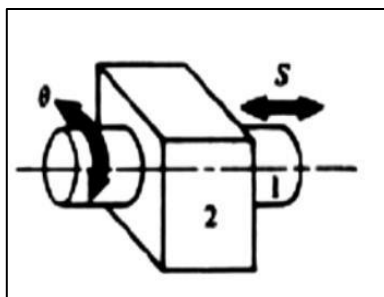
Σχήμα 2.2: Πρισματικό ζεύγος [2]

Βιδωτό ζεύγος: Όταν δύο στοιχεία ενός ζεύγους συνδέονται με τέτοιο τρόπο ώστε το ένα να μπορεί να περιστρέφεται γύρω από το άλλο μέσω σπειρωμάτων, τότε σχηματίζεται ένα βιδωτό ζεύγος. Παραδείγματα αποτελούν ο κοχλίας με παξιμάδι ή η κύρια βίδα ενός τόννου. Το ζεύγος αυτό διαθέτει μία μόνο βαθμίδα ελευθερίας.



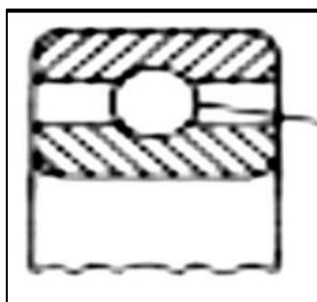
Σχήμα 2.3: Βιδωτό ζεύγος [2]

Κυλινδρικό ζεύγος: Όταν δύο μέρη ενός ζεύγους συνδέονται κατά τρόπο ώστε το ένα να μπορεί να περιστρέφεται και ταυτόχρονα να μετατοπίζεται γραμμικά κατά μήκος του άξονα περιστροφής του άλλου, τότε το ζεύγος αυτό ονομάζεται κυλινδρικό ζεύγος. Το είδος αυτό του ζεύγους διαθέτει δύο βαθμίδες ελευθερίας.



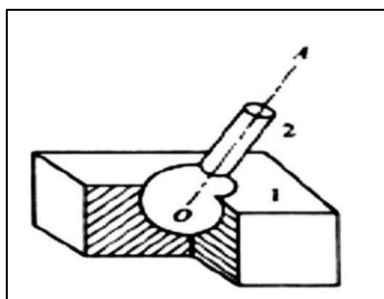
Σχήμα 2.4: Κυλινδρικό ζεύγος [2]

Ζεύγος κύλισης: Όταν δύο στοιχεία ενός ζεύγους συνδέονται έτσι ώστε το ένα να κυλιέται πάνω σε έναν σταθερό σύνδεσμο, τότε σχηματίζουν ένα κυλιόμενο ζεύγος. Τυπικά παραδείγματα αυτού του είδους είναι τα έδρανα κύλισης με σφαίρες ή κυλίνδρους.



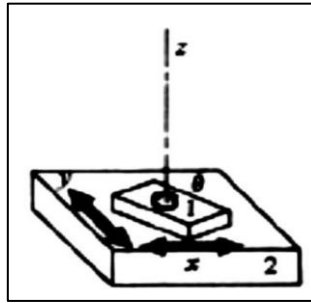
Σχήμα 2.5: Ζεύγος κύλισης [2]

Σφαιρικό Ζεύγος: Το ζεύγος αυτό σχηματίζεται όταν δύο μέρη ενώνονται έτσι ώστε το ένα, με σφαιρική μορφή, να μπορεί να περιστρέφεται ή να στρέφεται προς διάφορες κατευθύνσεις γύρω από το σταθερό στοιχείο. Τυπικά παραδείγματα περιλαμβάνουν την άρθρωση σφαίρας - υποδοχής, τους καθρέφτες αυτοκινήτων που ρυθμίζονται, καθώς και βάσεις στυλό με δυνατότητα περιστροφής.



Σχήμα 2.6: Σφαιρικό ζεύγος [2]

Επίπεδο Ζεύγος: Παρέχει τρεις βαθμούς ελευθερίας κίνησης. Οι δύο πρώτοι, οι x και y , αναπαριστούν τη μετακίνηση του ενός μέρους σε σχέση με το άλλο πάνω στο επίπεδο xy , ενώ ο τρίτος, η γωνία θ , εκφράζει την περιστροφή γύρω από τον άξονα z .



Σχήμα 2.7: Επίπεδο ζεύγος [2]

2) Σύμφωνα με τον τύπο επαφής μεταξύ των συνδέσμων

Κατώτερο ζεύγος: Όταν δύο μέρη ενός ζεύγους έρχονται σε επαφή με επιφάνεια ή περιοχή κατά την κίνησή τους και η μια επιφάνεια ολισθαίνει πάνω στην άλλη, τότε το ζεύγος αυτό χαρακτηρίζεται ως κατώτερο ζεύγος. Συνήθως, ζεύγη όπως τα πρισματικά, τα περιστροφικά, τα κυλινδρικά, τα σφαιρικά, τα επίπεδα και τα βιδωτά ζεύγη ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία κατώτερων ζευγών.

Υψηλότερο ζεύγος: Όταν δύο στοιχεία ενός ζεύγους βρίσκονται σε επαφή μέσω γραμμής ή σημείου κατά τη διάρκεια της σχετικής τους κίνησης και η κίνηση μεταξύ τους περιλαμβάνει τόσο περιστροφή όσο και ολίσθηση, τότε το ζεύγος αυτό χαρακτηρίζεται ως υψηλό ζεύγος. Παραδείγματα τέτοιων ζευγών είναι οι δίσκοι τριβής, οι οδοντωτοί τροχοί, οι κινήσεις με ιμάντα ή σχοινί, καθώς και τα έδρανα κύλισης με σφαίρες ή κυλίνδρους.

2.1.3 Κινηματική αλυσίδα

Μια κινηματική αλυσίδα αποτελείται από μία διάταξη συνδεδεμένων κρίκων, στην οποία είναι εφικτές συγκεκριμένες σχετικές κινήσεις μεταξύ των κρίκων, ενώ η κίνηση του καθενός σε σχέση με τους υπόλοιπους είναι σαφώς καθορισμένη. Μια κινηματική αλυσίδα αποτελείται από αλληλουχία συνδέσμων που ενώνονται μεταξύ τους μέσω κινηματικών ζευγών. Όταν κάθε σύνδεσμος της αλυσίδας είναι συνδεδεμένος με τουλάχιστον δύο άλλους, τότε η αλυσίδα χαρακτηρίζεται ως κλειστή. Αντίθετα, όταν τουλάχιστον ένας σύνδεσμος συνδέεται μόνο με έναν άλλο, τότε είναι ανοιχτή αλυσίδα. Ένας σύνδεσμος που συνδέεται μόνο με έναν άλλο ονομάζεται μονήρης σύνδεσμος. Όταν συνδέεται με δύο άλλους, χαρακτηρίζεται ως δυαδικός. Αντίστοιχα, αν ένας σύνδεσμος ενώνεται με τρεις άλλους, αποκαλείται τριαδικός και συνεχίζεται ανάλογα με τον αριθμό των συνδέσεων.

Τα κινούμενα μέρη μιας κινηματικής αλυσίδας μπορούν είτε να κινούνται όλα σε παράλληλα επίπεδα είτε να μην κινούνται σε παράλληλα επίπεδα. Επίπεδος μηχανισμός ονομάζεται ο μηχανισμός όπου όλα τα μέρη του κινούνται σε παράλληλα επίπεδα. Διαφορετικά, ονομάζεται χωρικός μηχανισμός.

2.1.4 Βαθμοί ελευθερίας (DOF)

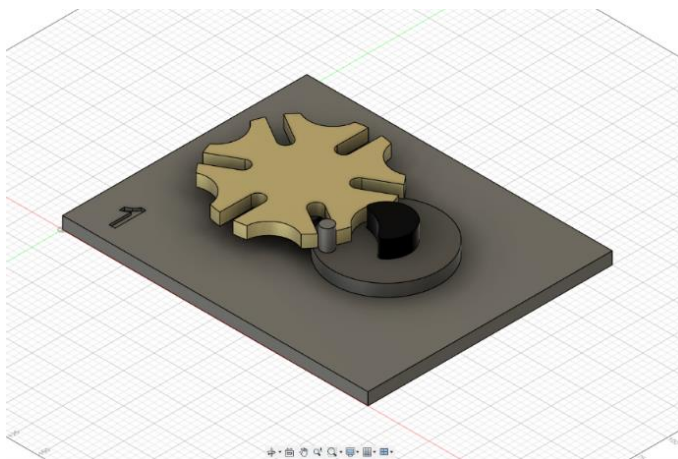
Οποιοδήποτε μηχανικό σύστημα χαρακτηρίζεται από τον αριθμό των βαθμών ελευθερίας (DOF) που διαθέτει, δηλαδή τον αριθμό των ανεξάρτητων παραμέτρων που απαιτούνται για τον μοναδικό ορισμό της θέσης του στο χώρο σε κάθε χρονική στιγμή. Οι DOF ορίζονται πάντα σε σχέση με ένα συγκεκριμένο σύστημα αναφοράς. [2]

2.2 Μηχανισμοί μετάδοσης κίνησης

Η παρούσα διπλωματική εργασία εστιάζει στην κινηματική ανάλυση των μηχανισμών μετάδοσης κίνησης. Μέσω της κινηματικής τους μελέτης, γίνεται κατανοητός ο τρόπος λειτουργίας τους, οι σχέσεις μεταξύ των ταχυτήτων και των μετατοπίσεων, καθώς και οι δυνατότητες βελτιστοποίησης της απόδοσής τους σε πρακτικά συστήματα. Οι μηχανισμοί αυτοί μετατρέπουν και μεταδίδουν κίνηση και δύναμη μεταξύ διαφορετικών τμημάτων, επιτυγχάνοντας ποικίλους τύπους κίνησης όπως περιστροφική, γραμμική ή παλινδρομική.

2.2.1 Μηχανισμός της Γενεύης

Ο μηχανισμός της Γενεύης, γνωστός και ως σταυρός της Μάλτας, αποτελεί έναν γραναζωτό μηχανισμό που μετατρέπει τη συνεχόμενη περιστροφική κίνηση σε περιοδική (διακεκομμένη) μέσω ενός τροχού κίνησης. Κατά την κίνηση, ο πείρος αυτός εισέρχεται σε μια από τις εγκοπές του τροχού της Γενεύης, μετακινώντας τον κατά ένα καθορισμένο βήμα. Ο τροχός κίνησης συνδυάζει συνήθως τον στροφαλοφόρο βραχίονα με έναν ανυψωμένο κυκλικό εξάρτημα ασφαλείας, ο οποίος διατηρεί τον τροχό της Γενεύης σταθερό μεταξύ των διαδοχικών κινήσεων, ελαχιστοποιώντας κραδασμούς και ανεπιθύμητες ταλαντώσεις κατά την περιστροφή.



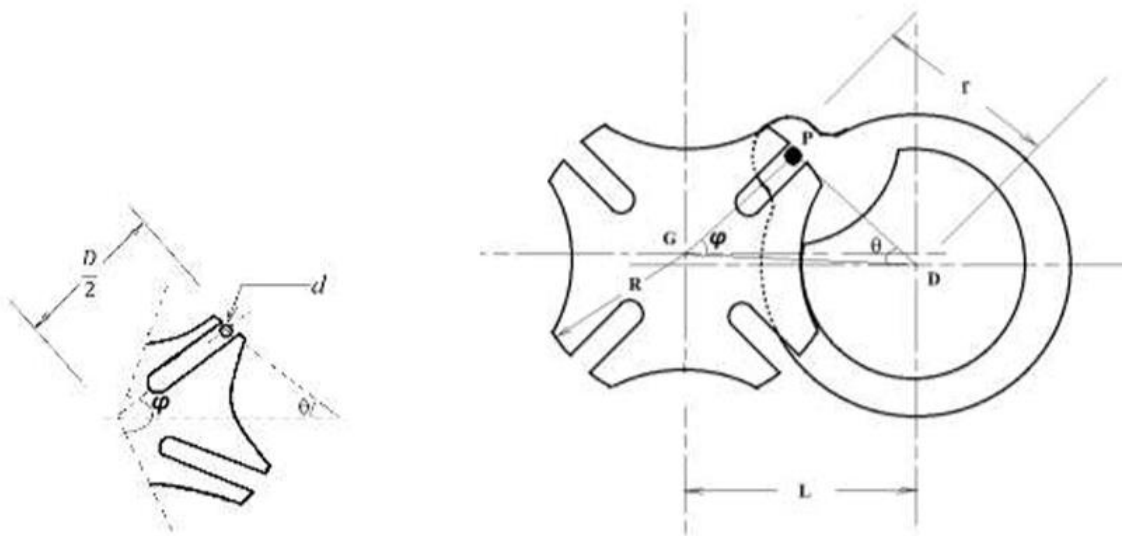
Σχήμα 2.8: Μηχανισμός της Γενεύης

Ο μηχανισμός της Γενεύης έχει αποκτήσει ευρεία αποδοχή για την επίτευξη διακεκομμένης κίνησης. Κύριος λόγος είναι η απλότητα που παρουσιάζει στον σχεδιασμό και την κατασκευή του, κάτι που τον καθιστά οικονομικά αποδοτική λύση για εφαρμογές ευθυγράμμισης. Για να λειτουργήσει σωστά και να παραχθεί διακοπτόμενη κίνηση, απαιτείται η ύπαρξη τουλάχιστον τριών εγκοπών στον τροχό. Πρόκειται για ένα είδος μηχανικής διάταξης διακοπτόμενης μετάδοσης, όπου ο τροχός κίνησης διαθέτει έναν πείρο που εισχωρεί σε μία από τις εγκοπές του τροχού εξόδου, προκαλώντας τη μετατόπισή του κατά ένα συγκεκριμένο βήμα. Σε σύγκριση με τους μηχανισμούς με έκκεντρο (cam), ο παραδοσιακός μηχανισμός της Γενεύης χαρακτηρίζεται από το γεγονός ότι κάθε φάση ακινησίας συνδέεται με συγκεκριμένο χρονικό διάστημα κίνησης και σταθερό νόμο μετατόπισης, ενώ στους cam μηχανισμούς υπάρχει μεγαλύτερη ευελιξία ως προς την επιλογή αυτών των παραμέτρων.

Οι χρήσεις του εκτείνονται από μηχανικά ρολόγια χειρός και όργανα χρονομέτρησης, μέχρι εξοπλισμό υψηλής ακρίβειας για μετρήσεις, συσκευές προβολής φιλμ, καθώς και εργαλειομηχανές. Επιπλέον, αξιοποιείται σε διατάξεις διακριτής κίνησης με δυνατότητα

διαχείρισης μεγάλων φορτίων, γεγονός που τον καθιστά κατάλληλο για ρομποτικούς βραχίονες, πρέσες, εκτυπωτικά μηχανήματα, συστήματα αυτόματης συσκευασίας, υφαντουργικές μηχανές και αυτοματοποιημένες γραμμές παραγωγής.

Ένας από τους βασικούς λόγους που ο μηχανισμός της Γενεύης χρησιμοποιείται ευρέως στη βιομηχανία είναι η κατασκευαστική του απλότητα και το χαμηλό κόστος που συνεπάγεται. Παρά το πλεονέκτημα αυτό, η χρήση του περιορίζεται κυρίως σε συστήματα χαμηλής ταχύτητας, εξαιτίας προβλημάτων όπως η έντονη πρόσκρουση και οι αιφνίδιες μετατοπίσεις κατά τις φάσεις σύζευξης και αποσύζευξης του πείρου κίνησης. Επιπλέον, φαινόμενα όπως οι κραδασμοί, οι κρουστικές καταπονήσεις και η μηχανική φθορά καθιστούν τον μηχανισμό λιγότερο αποδοτικό σε υψηλές ταχύτητες. Για την αντιμετώπιση αυτών των ζητημάτων, έχουν προταθεί βελτιωμένα προφίλ μετατόπισης που περιορίζουν τις απότομες αλλαγές ταχύτητας και επιτάχυνσης στις κρίσιμες φάσεις λειτουργίας. Επιπρόσθετα, ερευνητικές προσπάθειες έχουν επικεντρωθεί στον σχεδιασμό συγχρονισμένων τροχών Γενεύης, καθώς και στη γεωμετρική αναμόρφωση των εγκοπών τους, ώστε να μειωθούν οι καταπονήσεις και να βελτιωθεί η συνολική απόδοση του μηχανισμού. Οι βελτιώσεις που γίνονται στον σχεδιασμό του μηχανισμού της Γενεύης επιφέρουν αλλαγές στις κινηματικές του ιδιότητες, ωστόσο συχνά συνοδεύονται από αυξημένη πολυπλοκότητα στην κατασκευή. Ταυτόχρονα, η κύρια πρόκληση για τη χρήση του τροχού Γενεύης στη βιομηχανία είναι ο ανταγωνισμός από τους βηματικούς κινητήρες, οι οποίοι αποτελούν τον πιο σοβαρό ανταγωνιστή του.



Σχήμα 2.9: Γεωμετρία του μηχανισμού της Γενεύης [3]

Ο πείρος P εισέρχεται και εξέρχεται από τις εγκοπές του τροχού της Γενεύης με τέτοιο τρόπο ώστε να εμπλέκεται εφαιπτόμενά σε αυτές, έτσι ώστε η ευθεία που διέρχεται από το κέντρο της εγκοπής και η γραμμή που ενώνει τον πείρο με το κέντρο περιστροφής του στροφάλου να σχηματίζουν ορθή γωνία τη στιγμή της εισόδου ή εξόδου του πείρου από την εγκοπή.

Ο τροχός της Γενεύης περιλαμβάνει n εγκοπές και κινείται κατά γωνία ίση με 360° διαιρεμένο με n σε κάθε πλήρη περιστροφή του κινητήριου τροχού. Ορισμένες βασικές γεωμετρικές παράμετροι του συστήματος είναι: η διάμετρος του τροχού της Γενεύης (D), η διάμετρος του πείρου κίνησης (d) και η ακτίνα που εξασφαλίζει το κλείδωμα του τροχού (r). Είναι επίσης συνηθισμένο να εκφράζονται κάποιες τιμές, όπως η διάμετρος του πείρου

d και το πλάτος της εγκοπής t του τροχού της Γενεύης. Επίσης, το πάχος του τροχού της Γενεύης δεν θεωρείται ανεξάρτητη παράμετρος, αλλά λαμβάνεται ίσο με τη διάμετρο του πείρου. Η συγκεκριμένη υπόθεση γίνεται ώστε το φορτίο που ασκείται από τον πείρο να κατανέμεται ομοιόμορφα κατά μήκος του πάχους του τροχού. Αν η διάμετρος του πείρου ήταν μικρότερη σε σχέση με το πάχος του τροχού, τότε η φόρτιση θα συγκεντρώνεται κοντά στο σταθερό άκρο της δοκού και δεν θα κατανέμεται ομοιόμορφα στην επιφάνεια του τροχού, γεγονός που θα καθιστούσε την κινηματική ανάλυση μη ρεαλιστική. [3]

Στο παραπάνω σχήμα έχει δημιουργηθεί το τρίγωνο GPD . Από το τρίγωνο αυτό υπολογίζεται η γωνία θ και το μήκος PD . Ισχύει ότι:

$$(GP) * \sin(\varphi) = (PD) * \sin(\theta) \quad (2.1)$$

$$(GP) * \cos(\varphi) + (PD) * \cos(\theta) = L \quad (2.2)$$

Από τις ισότητες (1) και (2) προκύπτει:

$$\tan(\theta) = (GP) * \frac{\sin(\varphi)}{L - (GP) * \cos(\varphi)} \quad (2.3)$$

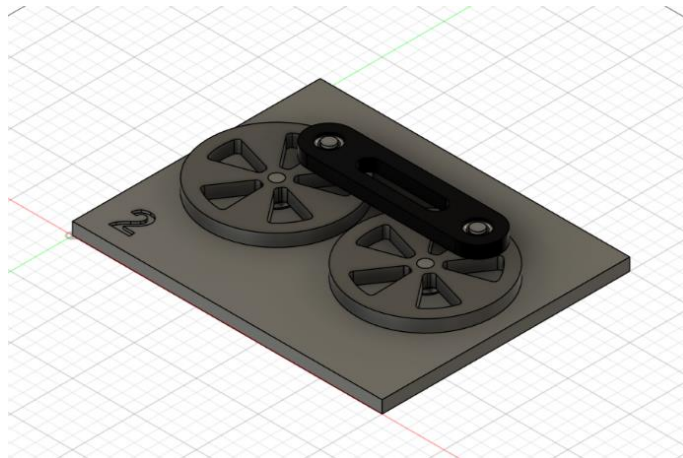
Με τη διαφορίση της εξίσωσης “(2.3)” υπολογίζεται η ταχύτητα και η επιτάχυνση του κινούμενου τροχού. [4]

$$\dot{\theta} = (PD) * \dot{\varphi} * \left(\frac{L * \cos(\varphi) - GP}{L^2 + (GP)^2 - 2 * L * (GP) * \cos(\varphi)} \right) \quad (2.4)$$

$$\ddot{\theta} = (GP) * \ddot{\varphi} * \frac{(L * \cos(\varphi) - GP)}{L^2 + (GP)^2 - 2 * L * (GP) * \cos(\varphi)} - L * (GP) * \dot{\theta}^2 * \sin(\theta) * \frac{L^2 - (GP)^2}{(L^2 + (GP)^2 - 2 * L * (GP) * \cos(\varphi))^2} \quad (2.5)$$

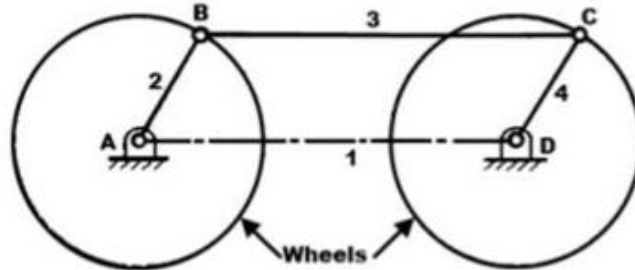
2.2.2 Coupled wheels of locomotive mechanism

Ο μηχανισμός σύζευξης τροχών σε ατμομηχανές, γνωστός και ως μηχανισμός διπλού στροφάλου, αποτελεί θεμελιώδες στοιχείο στη μετάδοση της περιστροφικής κίνησης μεταξύ των τροχών. Αυτός ο μηχανισμός εξασφαλίζει ότι οι τροχοί περιστρέφονται συγχρονισμένα, διατηρώντας σταθερή ταχύτητα και κατεύθυνση, γεγονός κρίσιμο για την ομαλή λειτουργία της ατμομηχανής.



Σχήμα 2.10: Coupled wheels of locomotive mechanism

Ο συγκεκριμένος μηχανισμός περιλαμβάνει δύο τροφάλους ίδιου μήκους οι οποίοι είναι προσαρμοσμένοι σε ένα σταθερό πλαίσιο. Η μετάδοση της κίνησης επιτυγχάνεται μέσω μιας ενδιάμεσης ράβδου σύζευξης που ενώνει τα άκρα των τροφάλων. Όταν ένας από τους τροφάλους τεθεί σε περιστροφή, η ράβδος μεταφέρει την κίνηση στον δεύτερο, προκαλώντας την ταυτόχρονη και ομόρροπη περιστροφή του. Ο τρόπος αυτός διάταξης εξασφαλίζει ομοιόμορφη μεταφορά της ροπής, μειώνοντας τις φορτίσεις και τους κραδασμούς στο σύστημα.



Σχήμα 2.11: Γεωμετρία Coupled wheels of locomotive mechanism [5]

Οι σύνδεσμοι του μηχανισμού είναι οι εξής:

- Ο (AD) όπου είναι η αποστάτη ανάμεσα στα κέντρα των τροχών.
- Ο (BC) όπου είναι το μήκος της ράβδου σύζευξης.
- Ο (AB) και ο (CD) όπου είναι το μήκος των τροφάλων.

Ισχύει ότι:

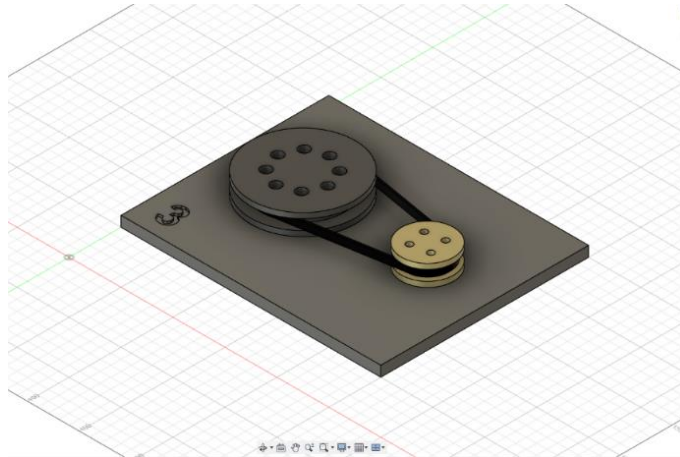
$$(AB) = (DC) \text{ \& } (AD) = (BC) \quad (2.6)$$

Ο μηχανισμός περιλαμβάνει ένα ακίνητο πλαίσιο (AD) με σημεία στήριξης στα άκρα του, στα οποία είναι προσαρμοσμένοι δύο ισομήκεις στρόφαλοι που μπορούν να περιστρέφονται ελεύθερα γύρω από τους άξονες στήριξης. Τα ελεύθερα άκρα των τροφάλων (B και C) ενώνονται μεταξύ τους με μία ράβδο σύζευξης, δημιουργώντας ένα σύνδεσμο που επιτρέπει τη μεταφορά της κίνησης. Στα σημεία σύνδεσης της ράβδου με τους τροφάλους (B και C), υπάρχουν περιστροφικές αρθρώσεις που επιτρέπουν την ομαλή λειτουργία του μηχανισμού. Κατά την περιστροφή των τροχών, η ράβδος σύζευξης πρέπει να κινείται ολόκληρη εντός των ορίων της διαμέτρου του τροχού. Καθώς ο στρόφαλος AB τίθεται σε περιστροφή γύρω από το σταθερό σημείο A, η κίνηση του μεταφέρεται στον αντίστοιχο τροχό μέσω της ράβδου σύνδεσης BC. Η σύνδεση αυτή προκαλεί την ταυτόχρονη περιστροφή του δεύτερου τροχού, στην ίδια φορά και με ισοδύναμη ταχύτητα, διότι και οι δύο στρόφαλοι έχουν ίδια ακτίνα περιστροφής.

Ο συγκεκριμένος μηχανισμός εφαρμόζεται για τη μετάδοση κίνησης από τον άξονα οδήγησης στον άξονα που δέχεται την κίνηση στις ατμομηχανές. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται ότι και οι δύο τροχοί στρέφονται συγχρονισμένα προς την ίδια κατεύθυνση σε όλη τη διάρκεια λειτουργίας. [5]

2.2.3 Μηχανισμός τροχαλίας με επίπεδο/κυλινδρικό ιμάντα

Ο μηχανισμός μετάδοσης κίνησης μέσω επίπεδου/κυλινδρικού ιμάντα και τροχαλιών αποτελεί μία ιδιαίτερα απλή και ευρέως χρησιμοποιούμενη λύση στη μηχανολογία και στη βιομηχανία. Εφαρμόζεται για τη μεταφορά περιστροφικής κίνησης και ροπής μεταξύ δύο ή περισσότερων αξόνων που βρίσκονται σε κάποια απόσταση μεταξύ τους. Η βασική του χρησιμότητα έγκειται στη σταθερή και αθόρυβη λειτουργία, καθώς και στην ικανότητά του να περιορίζει τις δονήσεις κατά τη μετάδοση της ισχύος.



Σχήμα 2.12: Μηχανισμός τροχαλιών με επίπεδους/κυλινδρικούς ιμάντες

Το σύστημα περιλαμβάνει κυρίως δύο τροχαλίες (την τροχαλία οδηγό και την κινουμένη τροχαλία) οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους με έναν επίπεδο ιμάντα. Ο ιμάντας περιβάλλει τις τροχαλίες, επιτρέποντας τη μηχανική σύνδεση μεταξύ τους. Η τροχαλία που συνδέεται με τον κινητήριο άξονα περιστρέφεται, μεταφέροντας έτσι την κίνηση στον άλλο άξονα μέσω του ιμάντα. Η μετάδοση της κίνησης βασίζεται στην τριβή που αναπτύσσεται μεταξύ του ιμάντα και των τροχαλιών.

Οι ιμάντες κατασκευάζονται από ποικιλία υλικών, όπως δέρμα, υφαντά υλικά, συνθετικές ίνες ή συνδυασμούς αυτών. Οι επίπεδοι και οι κυλινδρικοί ιμάντες προσφέρουν υψηλότερη απόδοση, περίπου 98%, σε σύγκριση με τους τραπεζοειδείς ιμάντες που κυμαίνονται μεταξύ 70% έως 96%. Επιπλέον, η λειτουργία τους είναι πιο ήσυχη, παράγοντας λιγότερο θόρυβο σε σχέση με τους τραπεζοειδείς ιμάντες και τις μεταδόσεις με γρανάζια. [6]

Σχέση γωνιακών ταχυτήτων:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} \quad (2.7)$$

όπου:

- i. n_1, n_2 : οι στροφές ανά λεπτό (rpm) τροχαλιών 1 και 2.
- ii. d_1, d_2 : οι διάμετροι των αντίστοιχων τροχαλιών.

Μήκος ιμάντα (ανοιχτή μετάδοση)

Η ανοικτή μετάδοση είναι ένας τύπος μετάδοσης κίνησης με ιμάντα, όπου οι δύο τροχαλίες (η οδηγός και η κινούμενη) τοποθετούνται έτσι ώστε να περιστρέφονται με την ίδια κατεύθυνση. Ο επίπεδος ή κυλινδρικός ιμάντας διέρχεται εξωτερικά από τις τροχαλίες

χωρίς να διασταυρώνεται, διατηρώντας την ίδια φορά περιστροφής. Το μήκος του ιμάντα υπολογίζεται από τον τύπο (2.8).

$$L = 2 * a + \pi * \left(\frac{d_2 + d_1}{2} \right) + \left(\frac{1}{a} \right) * \left(\frac{d_2 - d_1}{2} \right)^2 \quad (2.8)$$

- i. L: συνολικό μήκος ιμάντα
- ii. α: απόσταση μεταξύ των αξόνων

Ο ιμάντας επιλέγεται συχνά με μήκος λίγο μικρότερο από το υπολογισμένο διότι πρέπει να είναι τεντωμένος σωστά για να μεταφέρει αποτελεσματικά την κίνηση χωρίς να γλιστράει.

- Μετάδοση ισχύος:

$$P = (T_1 - T_2) * u \quad (2.9)$$

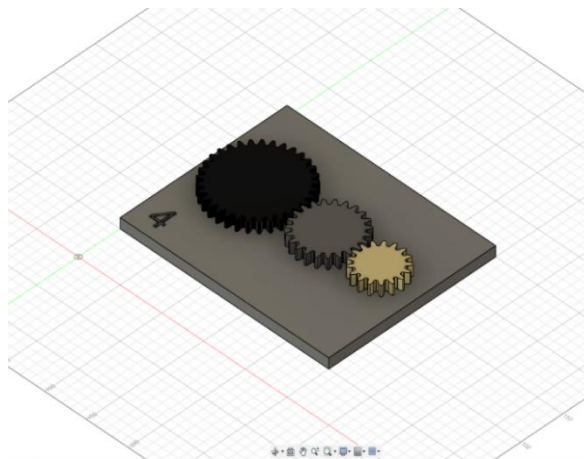
- i. P: Μετάδοση ισχύος.
- ii. T_1, T_2 : οι εντάσεις του ιμάντα στα δύο σκέλη της διαδρομής του.
- iii. u: ταχύτητα ιμάντα (m/s).

$$u = \frac{\pi * d_1 * n_1}{60} \quad (2.10)$$

Η διαφορά $T_1 - T_2$ είναι αυτή που επιτρέπει τη μετάδοση ροπής μέσω τριβής πάνω στους τροχούς. [7]

2.2.4 Μηχανισμός μετωπικών οδοντωτών τροχών με ευθεία οδόντωση

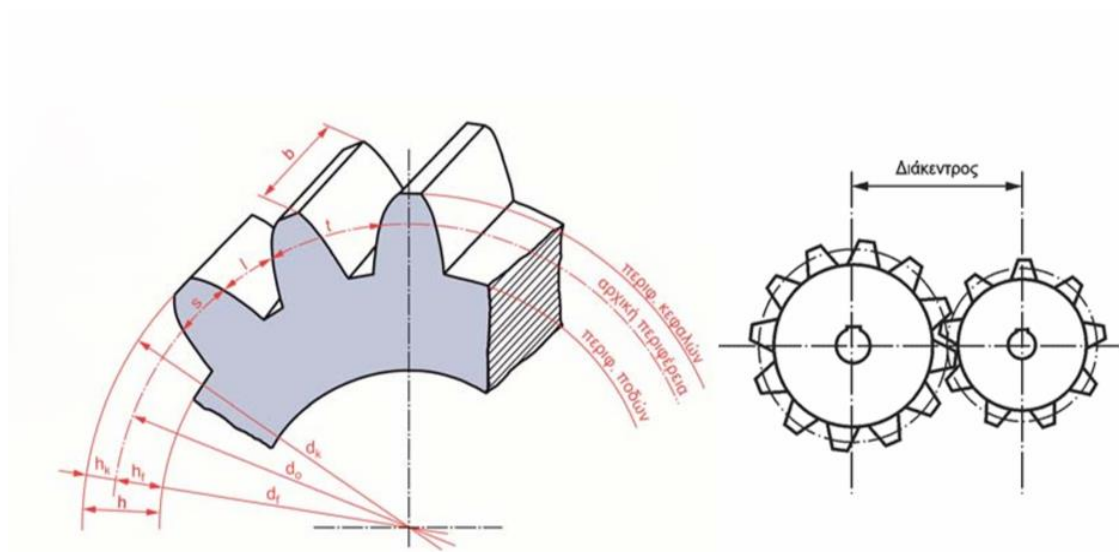
Οι μετωπικοί οδοντωτοί τροχοί είναι μηχανικά εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση κίνησης και ροπής μεταξύ δύο παράλληλων αξόνων. Αποτελούνται από δύο κύριους άξονες που φέρουν έναν δίσκο με δόντια στην περιφέρεια του, οι οποίοι εμπλέκονται μεταξύ τους με τα δόντια του άλλου τροχού.



Σχήμα 2.13: Μηχανισμός μετωπικών οδοντωτών τροχών με ευθεία οδόντωση



Σχήμα 2.14: Μετωπικός οδοντωτός τροχός με ευθεία οδόντωση [8]



Σχήμα 2.15: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά μετωπικού οδοντωτού τροχού με ευθεία οδόντωση [8]

Χαρακτηριστικά μετωπικού οδοντωτού τροχού με ευθεία οδόντωση:

- m : μέτρο οδόντωσης (module)
- N : αριθμός δοντιών
- d_k : διάμετρος κεφαλής
- d : αρχική διάμετρος (Pitch diameter)
- d_f : διάμετρος ποδιού
- h : ύψος δοντιού
- h_k : ύψος κεφαλής
- h_f : ύψος ποδός
- b : πάχος οδοντωτού τροχού
- t : διάκενο δοντιού
- s : πάχος δοντιού
- t : βήμα οδόντωσης
- φ : γωνία πίεσης

Το module, ο αριθμός δοντιών και η αρχική διάμετρος είναι αλληλένδετοι παράμετροι. Η εξίσωση που παρουσιάζει την σχέση ανάμεσα σε αυτά τα τρία χαρακτηριστικά είναι η εξής:

$$m = \frac{d}{N} \quad (2.11)$$

Η κινηματική των οδοντώσεων αναφέρεται στη μελέτη της σχετικής κίνησης μεταξύ δύο γραναζιών που βρίσκονται σε εμπλοκή, με σκοπό τη συνεχή και ομαλή μετάδοση της περιστροφικής κίνησης και ροπής. Το κύριο ζητούμενο στην κινηματική ανάλυση είναι ο σταθερός λόγος μετάδοσης κατά τη διάρκεια της επαφής των δοντιών. Για να είναι λειτουργικά δύο γρανάζια πρέπει να έχουν κοινό module.

$$m = m_1 = m_2 \quad (2.12)$$

Η σχέση μετάδοσης ανάμεσα σε δύο μετωπικούς οδοντωτούς τροχούς συμβολίζεται με i και ισούται με:

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{n_1}{n_2} \quad (2.13)$$

όπου: n_1 και n_2 είναι οι στροφές ανά λεπτό σε (rpm) του κάθε γραναζιού ενώ ως ω συμβολίζεται η γωνιακή ταχύτητα.

Η σχέση μετάδοσης πρέπει να είναι σταθερή. Αυτό προκύπτει όταν η γραμμή επαφής των δοντιών περνά πάντα από ένα σταθερό σημείο (σημείο επαφής αναμεσά στα d_1 και d_2). Έτσι ορίζεται ο βασικός κανόνας οδόντωσης.

Επομένως, η ορθή τοποθέτηση των αξόνων των οδοντωτών τροχών είναι συγκεκριμένη ανάμεσα σε δυο γρανάζια με διάμετρο d_1 και d_2 και είναι ίση με:

$$a = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad (2.14)$$

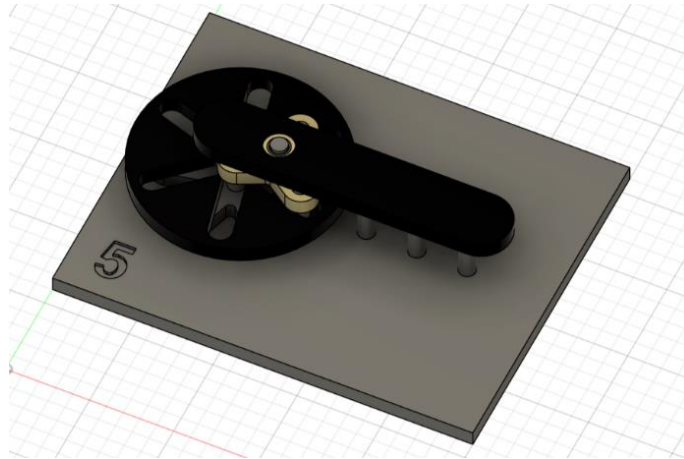
a : η απόσταση ανάμεσα στους άξονες των δύο γραναζιών [7]

Οι μετωπικοί οδοντωτοί τροχοί ευθείας οδόντωσης (spur gears) αποτελούν τον πλέον διαδεδομένο τύπο οδοντωτών τροχών, χρησιμοποιούμενο εκτενώς σε εφαρμογές μετάδοσης ισχύος και κίνησης. Η λειτουργία του μηχανισμού βασίζεται στην εμπλοκή των ευθύγραμμων δοντιών, εξασφαλίζοντας σταθερό λόγο μετάδοσης και υψηλή μηχανική απόδοση.

Οι μετωπικοί οδοντωτοί τροχοί ευθείας οδόντωσης προσφέρουν υψηλή μηχανική απόδοση που μπορεί να φτάσει έως και το 98%, διασφαλίζοντας σταθερό λόγο μετάδοσης και καθιστώντας τους ιδιαίτερα αποδοτικούς σε πλήθος εφαρμογών. Επιπλέον, χαρακτηρίζονται από την ευκολία στην κατασκευή και τη συντήρηση, γεγονός που τους καθιστά οικονομική και πρακτική επιλογή. Ωστόσο, παρουσιάζουν ορισμένους περιορισμούς, όπως αυξημένα επίπεδα θορύβου όταν λειτουργούν σε υψηλές στροφές, περιορισμένη ικανότητα απόσβεσης κραδασμών και ευαισθησία σε τυχόν αποκλίσεις από την ευθυγράμμιση των αξόνων, τα οποία πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στον σχεδιασμό του συστήματος. [6]

2.2.5 Μηχανισμός Multiple Gearing με Τριβείς και Ακτινικές εσοχές

Ο συγκεκριμένος μηχανισμός έχει στόχο τη μετάδοση περιστροφικής κίνησης ανάμεσα σε μη ευθυγραμμισμένους άξονες διαφορετικού επιπέδου. Η μετάδοση της κίνησης δεν γίνεται μέσω δοντιών, αλλά μέσω μικρών αξόνων (τριβέων) που είναι στερεωμένοι στο μικρό τριγωνικό εξάρτημα. Ο τροχός με τις ακτινικές εσοχές περιστρέφεται μεταδίδοντας κίνηση στους περιφερειακούς άξονες (τριβείς) του τριγωνικού εξαρτήματος οι οποίοι κινούνται μέσα σε ακτινικές εσοχές του μεγαλύτερου τροχού. Με αυτόν τον τρόπο πραγματοποιείται η περιστροφή του τριγωνικού εξαρτήματος. Ο τρόπος λειτουργίας του μηχανισμού οδηγεί σε αύξηση της ταχύτητας και μείωση της ροπής του κεντρικού άξονα του τριγωνικού εξαρτήματος ή το αντίστροφο.



Σχήμα 2.16: Μηχανισμός μετάδοσης περιστροφικής κίνησης μη ευθυγραμμισμένων αξόνων σε διαφορετικό επίπεδο

Η γεωμετρία του μηχανισμού είναι διαφορετική για κάθε συνδυασμό R_t και r . Το R_t είναι η ακτίνα τροχιάς των τριβέων (δηλαδή, η απόσταση από το κέντρο του τροχού με τις ακτινικές εσοχές ως τη θέση επαφής των τριβέων στις αυλακώσεις). Το r είναι η ακτίνα από το κέντρο του μικρού τριγωνικού τροχού μέχρι τον τριβέα (δηλαδή η τροχιά των τριβέων γύρω από τον μικρό τροχό). Η σχέση μετάδοσης του δίσκου με τις εσοχές ως προς το τριγωνικό εξάρτημα συμβολίζεται με i και είναι ίση με:

$$i = \frac{r}{R_t} \quad (2.15)$$

Η τοποθέτηση του κέντρου του τριγωνικού εξαρτήματος σε σχέση με τον τροχό με τις εσοχές είναι ίση με x και αποτυπώνεται στο τύπο (2.16).

$$x = R_t - r \quad (2.16)$$

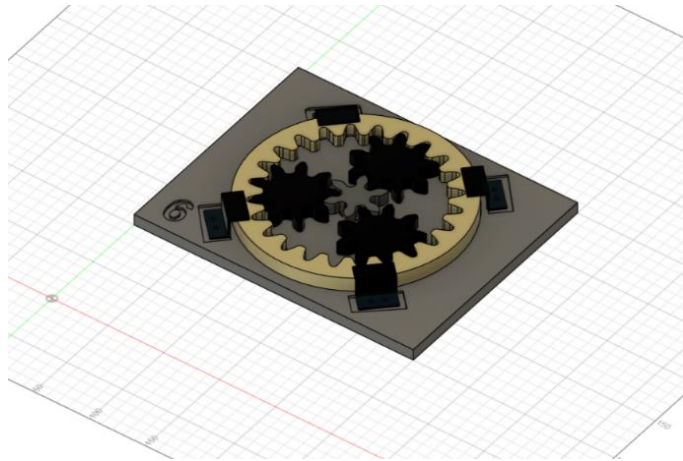
Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα των μηχανισμών μετάδοσης κίνησης με τριβείς και ακτινικές αυλακώσεις είναι η ομαλή και συνεχής λειτουργία τους, χωρίς απότομες μεταβολές ή κραδασμούς, όπως συμβαίνει συχνά με τα γρανάζια με δόντια. Η απουσία αυτών των δοντιών συμβάλλει επίσης σε σημαντικά χαμηλότερα επίπεδα θορύβου, καθιστώντας το σύστημα κατάλληλο για εφαρμογές όπου απαιτείται σχεδόν αθόρυβη λειτουργία. Επιπλέον, εφόσον γίνει σωστή επιλογή υλικών, το σύστημα εμφανίζει χαμηλή φθορά, αυξάνοντας έτσι τη διάρκεια ζωής του και μειώνοντας τις ανάγκες συντήρησης.

Λόγω αυτών των χαρακτηριστικών, τέτοιοι μηχανισμοί χρησιμοποιούνται ιδιαίτερα σε συστήματα ακριβείας, όπως τα μηχανικά ρολόγια ή οι ρομποτικοί βραχίονες, όπου η

ακρίβεια στην κίνηση είναι κρίσιμη. Είναι επίσης ιδανικοί για εφαρμογές που απαιτούν ομαλή μετάβαση ροπής ή συνεχή, σταθερή μετάδοση κίνησης χωρίς απώλειες και μηχανικούς κραδασμούς. Επιπρόσθετα, αξιοποιούνται ολόένα και περισσότερο σε σύγχρονες τεχνολογικές λύσεις, στις οποίες είναι επιθυμητή η ελαχιστοποίηση της μηχανικής καταπόνησης και φθοράς.

2.2.6 Πλανητικός μηχανισμός

Ο πλανητικός μηχανισμός αποτελεί έναν ιδιαίτερο τύπο συστήματος μετάδοσης ισχύος που περιλαμβάνει τρία βασικά στοιχεία: έναν κεντρικό γραναζωτό τροχό γνωστό ως "ήλιο", μια ομάδα μικρότερων γραναζιών που ονομάζονται "πλανήτες" και περιφέρονται γύρω από τον ήλιο, καθώς και μια εσωτερική στεφάνη με εσωτερικά δόντια που ονομάζεται "δακτύλιος" ή "στεφάνη". Μερικές φορές τα πλανητικά γρανάζια συγκρατούνται από έναν φορέα ή βραχίονα, ο οποίος τους επιτρέπει να περιστρέφονται ταυτόχρονα γύρω από τον άξονα του ηλίου και γύρω από τον δικό τους άξονα. Ο συνδυασμός των κινήσεων αυτών επιτρέπει στον πλανητικό μηχανισμό να επιτυγχάνει σύνθετες σχέσεις μετάδοσης, με εξαιρετικά αποδοτικό και συμπαγή τρόπο.



Σχήμα 2.17: Πλανητικός μηχανισμός

Ο πλανητικός μηχανισμός προσφέρει τη δυνατότητα πολλαπλών διαμορφώσεων λειτουργίας, καθώς η συμπεριφορά του εξαρτάται από το ποιο από τα κύρια μέρη παραμένει σταθερό και ποιο περιστρέφεται. Ο φορέας, που συγκρατεί τους πλανήτες, μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε ως το στοιχείο εισόδου είτε εξόδου, ή ακόμη και να παραμένει ακίνητος, ανάλογα με την απαιτούμενη λειτουργία. Αυτή η δυνατότητα εναλλαγής ρόλων μεταξύ των στοιχείων καθιστά τον μηχανισμό ιδιαίτερα ευέλικτο και του επιτρέπει να παρέχει διαφορετικούς λόγους μετάδοσης κίνησης, ανάλογα με τις συνθήκες εφαρμογής.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, ο πλανητικός μηχανισμός φέρει σταθερό (ακίνητο) φορέα, ενώ ο ήλιος, οι πλανήτες και η στεφάνη περιστρέφονται. Η είσοδος δίνεται στον ήλιο και η έξοδος λαμβάνεται από τη στεφάνη.

Ο πλανητικός μηχανισμός αποτελείται από τον οδοντωτό τροχό (ήλιο), τους τρεις οδοντωτούς τροχούς (πλανήτες) και τον τροχό εσωτερικής οδόντωσης (στεφάνη).

Για τη συμβατότητα του μηχανισμού η ακόλουθη γεωμετρική συνθήκη οφείλει να ικανοποιείται:

$$\text{ακτινα στεφανης} = \text{ακτινα ηλιου} + 2 * (\text{ακτινα πλανητη}) \quad (2.17)$$

Επιπλέον, όλοι οι οδοντωτοί τροχοί πρέπει να έχουν κοινό module για να είναι η σχέση τους λειτουργική. Τότε, η σχέση μετάδοσης του μηχανισμού είναι ίση με:

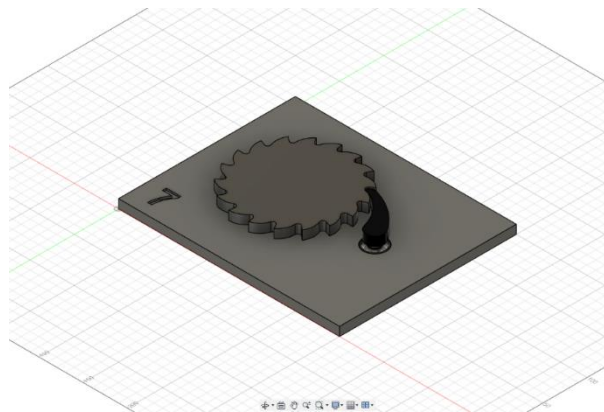
$$i_{1,3} = \frac{\omega_1}{\omega_3} = \frac{n_1}{n_3} = \frac{N_3}{N_1} = \frac{d_3}{d_1} \quad (2.18)$$

όπου:

- ω_1, ω_3 οι γωνιακές ταχύτητες του ήλιου και της στεφάνης αντίστοιχα
- n_1, n_3 οι στροφές ανά λεπτό του ήλιου και της στεφάνης αντίστοιχα
- N_1, N_3 ο αριθμός δοντιών του ήλιου και της στεφάνης αντίστοιχα
- d_1, d_3 η αρχική διάμετρος του ήλιου και της στεφάνης αντίστοιχα [7], [9]

2.2.7 Μηχανισμός κασάνιας

Ο μηχανισμός κασάνιας, γνωστός και ως ratchet mechanism, αποτελεί μια διάταξη που επιτρέπει την κίνηση μόνο προς μία προκαθορισμένη κατεύθυνση, αποτρέποντας την αντίστροφη περιστροφή. Χάρη στην απλή αλλά αποτελεσματική του κατασκευή, χρησιμοποιείται ευρέως σε εφαρμογές μηχανολογίας και βιομηχανίας, όπου απαιτείται μονόδρομη κίνηση με ασφάλεια και σταθερότητα.



Σχήμα 2.18: Μηχανισμός κασάνιας

Όταν ο τροχός περιστρέφεται προς τη σωστή κατεύθυνση, ο μοχλός γλιστράει πάνω στα δόντια, επιτρέποντας την κίνηση χωρίς εμπόδιο. Αντίθετα, αν προσπαθήσει να περιστραφεί προς την αντίθετη φορά, ο μοχλός εμπλέκεται με τα δόντια και εμποδίζει την κίνηση, λειτουργώντας ως στοπ.

Ο μηχανισμός κασάνιας αποτελείται κυρίως από δύο βασικά εξαρτήματα:

- έναν οδοντωτό δίσκο (γνωστό ως γρανάτζι κασάνιας),
- και έναν μοχλό συγκράτησης (ή "γλώσσα"), ο οποίος εφαρμόζει πάνω στον δίσκο.

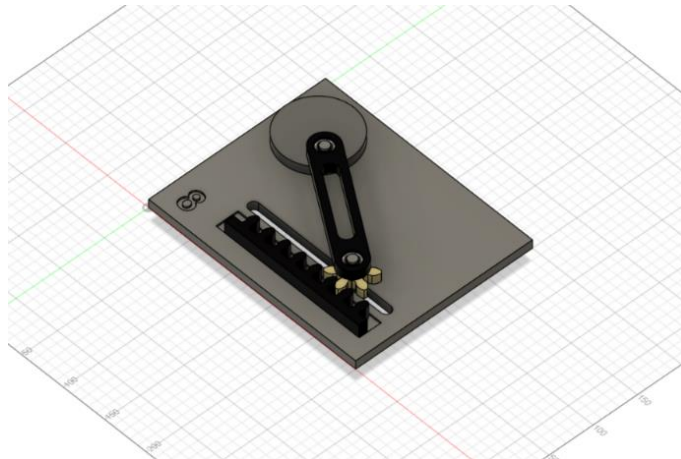
Η γεωμετρική διαμόρφωση του μηχανισμού κασάνιας αφορά το σχήμα, την τοποθέτηση και τις διαστάσεις των κύριων μερών του, δηλαδή των δοντιών του τροχού (κασάνιας) και της γλώσσας (pawl), με στόχο τη σωστή λειτουργία και την ασφαλή εμπλοκή μεταξύ τους. Τα δόντια του τροχού έχουν συνήθως μια κεκλιμένη ή καμπύλη μορφή, η οποία επιτρέπει στη γλώσσα να ολισθαίνει εύκολα προς τη μία κατεύθυνση, ενώ ταυτόχρονα να «κλειδώνει» αποτελεσματικά όταν προσπαθεί να κινηθεί προς την αντίθετη. Η γλώσσα τοποθετείται έτσι ώστε να εφάπτεται με κατάλληλη γωνία στα δόντια του τροχού, εξασφαλίζοντας την αναγκαία δύναμη εμπλοκής χωρίς να προκαλεί υπερβολική φθορά. Η

διαμόρφωση της γεωμετρίας τόσο των δοντιών όσο και της γλώσσας εξαρτάται από παράγοντες, όπως το φορτίο που δέχεται ο μηχανισμός, την ταχύτητα περιστροφής, τα υλικά κατασκευής και τη συγκεκριμένη χρήση του. Η προσεκτική σχεδίαση της γεωμετρίας είναι καθοριστική για την αξιοπιστία και τη διάρκεια ζωής του μηχανισμού καστάνιας.

Ο μηχανισμός καστάνιας χρησιμοποιείται σε διάφορες εφαρμογές, όπως στα κλειδιά καστάνιας που ανήκουν στα εργαλεία χειρός, σε μηχανισμούς χειροκίνητης ανύψωσης ή σύσφιξης, σε ρολόγια και άλλους μηχανισμούς χρονισμού, καθώς και σε συστήματα πέδησης ή ασφάλειας που βρίσκονται σε βαρούλκα και γερανούς. [10]

2.2.8 Μηχανισμός γραναζιού και σταθερής οδοντωτής ράβδου

Ο μηχανισμός γραναζιού και οδοντωτής ράβδου μετατρέπει την περιστροφική κίνηση σε ταυτόχρονη γραμμική και παλινδρομική περιστροφική κίνηση. Ο τροχός περιστρέφεται και κινεί τον σύνδεσμο που ενώνει τον τροχό με το γρανάτζι. Η κίνηση του συνδέσμου οδηγεί την κίνηση του γραναζιού το οποίο εμπλέκεται δόντια της οδοντωτής ράβδους. Η οδοντωτή ράβδος είναι ακίνητη. Επομένως, η κίνηση του άξονα γραναζιού είναι γραμμική και περιστροφική. Καθώς, ο τροχός περιστρέφεται, μεταβάλλει την απόσταση του γραναζιού από τον τροχό. Μόλις το γρανάτζι φτάσει σε μέγιστη απόσταση αρχίζει να μειώνει ξανά την απόσταση μεταξύ τους. Το ίδιο συμβαίνει όταν το γρανάτζι φτάσει σε ελάχιστη απόσταση από τον τροχό. Έτσι, η παραγομένη κίνηση του άξονα του γραναζιού είναι ταυτόχρονη γραμμική και παλινδρομική περιστροφική κίνηση.



Σχήμα 2.19: Μηχανισμός γραναζιού και οδοντωτής ράβδου

Το γρανάτζι και η οδοντωτή ράβδος πρέπει να έχουν κοινό module και κοινή γωνία πίεσης. Η κατάλληλη τοποθέτηση του γραναζιού και της οδοντωτής ράβδου ορίζεται από τον τύπο:

$$\alpha = \frac{d}{2} + h \quad (2.19)$$

όπου, α ορίζεται η διάκεντρος, απόσταση ανάμεσα στο γρανάτζι και την οδοντωτή ράβδο, d η αρχική διάμετρος του γραναζιού και h το ύψος της αρχικής γραμμής του οδοντωτού κανόνα.

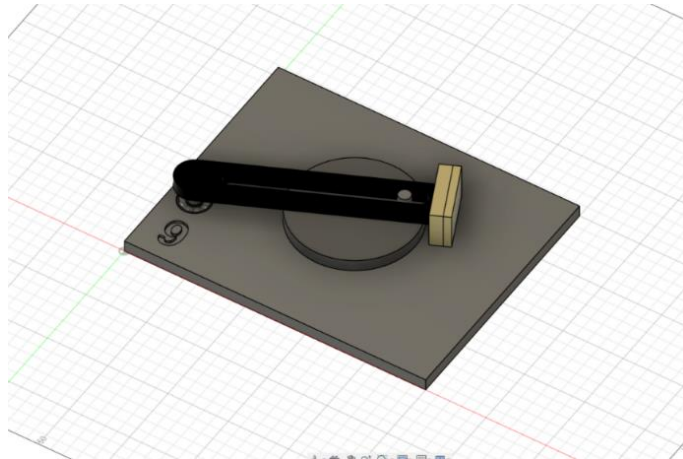
Τέλος, η πλήρης περιστροφή του γραναζιού με αρχική διάμετρο d απαιτεί συγκεκριμένο μήκος L του κανόνα. Το μήκος L είναι ίσο με:

$$L = \pi * d \quad (2.20)$$

Καθώς το γρανάζι διαγραφεί περιστροφή 360° , διανύει ταυτόχρονα μήκος L . [7]

2.2.9 Μηχανισμός σφύρας

Ο μηχανισμός σφύρας μετατρέπει την περιστροφική κίνηση σε παλινδρομική περιστροφική κίνηση. Ο μηχανισμός αποτελείται από τον περιστρεφόμενο δίσκο, το συνδετικό βραχίονα, τη σφύρα και τον άξονα που ελέγχει την κίνηση του βραχίονα. Καθώς ο δίσκος περιστρέφεται, ο άξονας που είναι τοποθετημένος επάνω του οδηγεί τον βραχίονα σε περιοδική ταλάντωση.



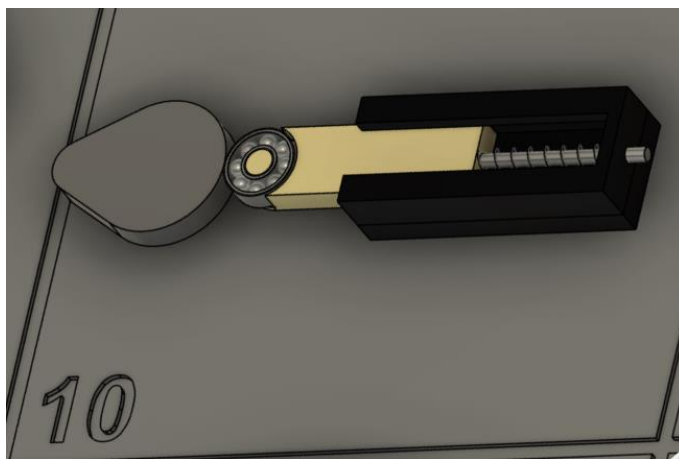
Σχήμα 2.20: Μηχανισμός σφύρας

Ο γωνία περιστροφής της σφύρας καθορίζεται από την απόσταση του κέντρου του τροχού και του άξονα περιστροφής του βραχίονα, αλλά και από την απόσταση του πείρου (Driving pin) από το κέντρο του τροχού.

2.2.10 Cam & follower mechanism

Ένας μηχανισμός εκκεντροφόρου (cam) και ακολουθητή (follower) είναι ένας τύπος μηχανικού συστήματος που μετατρέπει την περιστροφική κίνηση σε γραμμική κίνηση. Αποτελείται από έναν εκκεντροφόρο, ο οποίος είναι ένας περιστρεφόμενος δίσκος ή κύλινδρος με ακανόνιστο σχήμα και έναν ακολουθητή, που είναι ένα μοχλικό ή άλλο στοιχείο που κινείται κατά μήκος της επιφάνειας του εκκεντροφόρου.

Καθώς ο εκκεντροφόρος περιστρέφεται, ωθεί ή τραβά τον ακολουθητή, δημιουργώντας μια συγκεκριμένη μορφή κίνησης. Οι μηχανισμοί εκκεντροφόρου και ακολουθητή χρησιμοποιούνται ευρέως σε διάφορες εφαρμογές, όπως σε βαλβίδες κινητήρων, αντλίες, κλειδαριές πορτών, μηχανές σφράγισης και άλλες συσκευές.



Σχήμα 2.21: Cam & follower mechanism

Οι εκκεντροφόροι μπορεί να έχουν διάφορα σχήματα και προφίλ, ανάλογα με την επιθυμητή κίνηση που θέλουμε να μεταδώσουν στον ακολουθητή. Κάθε τύπος διαθέτει διαφορετικά χαρακτηριστικά και περιορισμούς και μπορεί να παράγει διάφορες μορφές κίνησης στον ακολουθητή, όπως ανύψωση, παύση, επιστροφή ή ταλάντωση. Επίσης, οι ακολουθητές παρουσιάζουν ποικιλία σε σχήματα και σχεδιασμούς, όπως ροδέλες, μοχλοί, ολισθητήρες ή αιχμηρές ακμές. Το είδος και το σχήμα του ακολουθητή επηρεάζουν την κατανομή των δυνάμεων επαφής και το μέγεθος της τριβής μεταξύ εκκεντροφόρου και ακολουθητή. Η επαφή του ακολουθητή με τον εκκεντροφόρο μπορεί να διατηρείται με διαφορετικούς τρόπους: είτε με τη δύναμη της βαρύτητας, είτε με τη χρήση ελατηρίων, είτε μέσω θετικού μηχανικού συστήματος. Οι ακολουθητές που λειτουργούν με βαρύτητα στηρίζονται στο βάρος τους για να παραμένουν σε επαφή με τον εκκεντροφόρο. Αυτοί που χρησιμοποιούν ελατήρια, εφαρμόζουν δύναμη ώστε να διατηρούν συνεχή επαφή. Επιπλέον, οι ακολουθητές με θετική μετάδοση κινήσεων χρησιμοποιούν μηχανικά στοιχεία, όπως συνδέσμους ή αυλακώσεις, για να εξασφαλίσουν ακριβή και σταθερή αλληλεπίδραση με τον εκκεντροφόρο. Το σχήμα του εκκεντροφόρου προσδιορίζεται μέσω των σημαντικών ακραίων θέσεων που λαμβάνει ο ακολουθητής. Η θέση του ακολουθητή ορίζεται ως η απόσταση μεταξύ του κεντρικού του σημείου και ενός προκαθορισμένου σημείου αναφοράς στον εκκεντροφόρο. Οι σημαντικές αυτές ακραίες θέσεις αντιστοιχούν στα σημεία, όπου η θέση του ακολουθητή φτάνει στις υψηλότερες ή χαμηλότερες τιμές της.

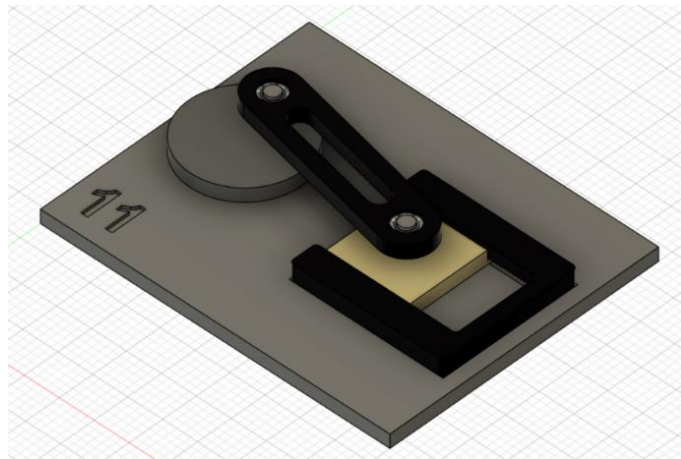
Ο βασικός κανόνας στον σχεδιασμό εκκεντροφόρων είναι ότι η κίνηση του ακολουθητή πρέπει να πραγματοποιείται με ομαλό και συνεχή τρόπο, χωρίς ξαφνικές μεταβολές στην ταχύτητα ή την επιτάχυνση. Αυτό είναι απαραίτητο γιατί τυχόν απότομες αλλαγές στην κίνηση μπορούν να προκαλέσουν κρούσεις, κραδασμούς, θόρυβο, φθορές και γενικά μείωση της αποδοτικότητας του μηχανισμού εκκεντροφόρου - ακολουθητή. Για να επιτευχθεί ομαλή λειτουργία, το σχήμα του εκκεντροφόρου πρέπει να σχεδιαστεί λαμβάνοντας υπόψη γεωμετρικούς περιορισμούς, όπως η καμπυλότητα της επιφάνειας, η γωνία πίεσης και οι δυνάμεις επαφής. Η δημιουργία του προφίλ του εκκεντροφόρου μπορεί να γίνει μέσω διαφόρων μεθόδων ανάλογα με τη φύση και τη δυσκολία της απαιτούμενης κίνησης του ακολουθητή.

Το προφίλ χωρίζεται σε τμήματα ανύψωσης, παραμονής και καθόδου, που αντιστοιχούν στα διαστήματα της περιστροφής όπου ο ακολουθητής κινείται προς τα πάνω, παραμένει σταθερός ή κατεβαίνει αντίστοιχα. Για παράδειγμα, ο εκκεντροφόρος μπορεί να έχει μια περιοχή ανύψωσης διάρκειας 20 μοιρών, μια περιοχή παραμονής 40 μοιρών και μια

περιοχή καθόδου 300 μοιρών. Για να διασφαλιστεί η ομαλή και αδιάλειπτη κίνηση του ακολουθητή, η συνάρτηση που περιγράφει την κίνηση ανύψωσης ή καθόδου πρέπει να είναι είτε πολυωνυμική, είτε αρμονική, είτε συνδυασμός αυτών. Οι πολυωνυμικές συναρτήσεις περιλαμβάνουν όρους με δυνάμεις της ανεξάρτητης μεταβλητής, όπως x^2 ή x^3 , ενώ οι αρμονικές συναρτήσεις βασίζονται σε τριγωνομετρικές μορφές, όπως το ημίτονο και το συνημίτονο. Ο συνδυασμός αυτών των συναρτήσεων επιτρέπει την επίτευξη ευρείας γκάμας κινηματικών χαρακτηριστικών, όπως διαφορετικών ταχυτήτων και επιταχύνσεων. [11]

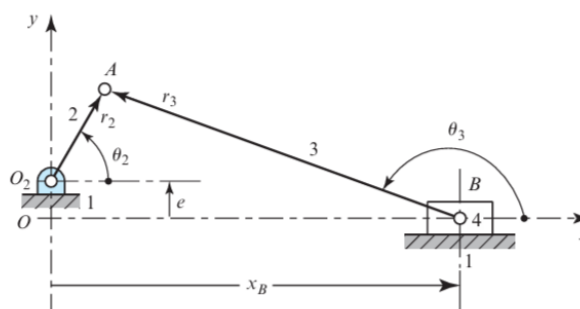
2.2.11 Slider-crank mechanism

Η κύρια λειτουργία του είναι η μετατροπή της περιστροφικής κίνησης σε παλινδρομική γραμμική κίνηση. Ο δίσκος στερεώνεται σε έναν άξονα και πραγματοποιεί περιστροφική κίνηση γύρω από αυτόν. Η κίνηση αυτή μεταφέρεται μέσω του συνδέσμου στο έμβολο, το οποίο εκτελεί παλινδρομική κίνηση κατά μήκος μιας ευθείας γραμμής. Η γραμμική αυτή κίνηση είναι απαραίτητη σε πολλές εφαρμογές, όπως στους κινητήρες εσωτερικής καύσης, όπου το πιστόνι κινείται παλινδρομικά μέσα στον κύλινδρο.



Σχήμα 2.22: Slider-crank mechanism

Η ομαλή λειτουργία του μηχανισμού εξαρτάται από τους γεωμετρικούς περιορισμούς του. Σε περίπτωση όπου η ακτίνα r_2 του τροχού είναι μεγαλύτερη ή ίση από το μήκος r_3 του συνδέσμου, ο μηχανισμός είναι μη λειτουργικός. Επίσης, ισχύει ο περιορισμός ότι κατά την περιστροφή του δίσκου, η ευθύγραμμη κίνηση που καλύπτει το έμβολο πρέπει να είναι πλήρης. Επομένως, η τοποθέτηση και οι διαστάσεις των εξαρτημάτων απαιτούν ακρίβεια.



Σχήμα 2.23: Γεωμετρία Slider-crank mechanism [12]

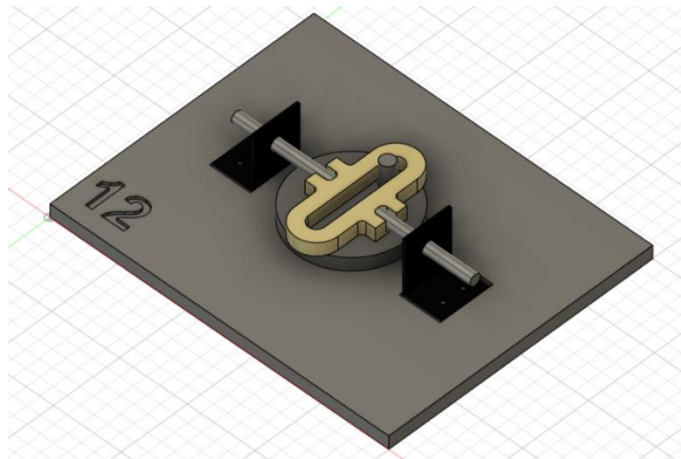
Η θέση του εμβόλου σε σχέση με το κέντρο του δίσκου (x_B) δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$Xb = r2 * \cos(\theta 2) + ((r3)^2 - (e + r2 * \sin(\theta 2))^2)^{\frac{1}{2}} \quad (2.21)$$

Στην περίπτωση όπου το κέντρο του δίσκου και το σημείο σύνδεσης του εμβόλου με τον σύνδεσμο είναι στο ίδιο ύψος το e ισούται με μηδέν. [12]

2.2.12 Μηχανισμός σκωτσέζικου ζυγού

Ο μηχανισμός Σκωτσέζικου ζυγού αποτελεί μία απλή αλλά αποτελεσματική διάταξη, η οποία χρησιμοποιείται για τη μετατροπή ευθύγραμμης κίνησης σε περιστροφική ή το αντίστροφο. Κατά τη λειτουργία του, η περιστροφή του δίσκου προκαλεί ταυτόχρονα τη στρέψη του άξονα που είναι τοποθετημένος επάνω του, με αποτέλεσμα η κίνηση να μεταδίδεται στον ζυγό, ο οποίος ολισθαίνει πάνω στον δίσκο. Με αυτό τον τρόπο, ο ζυγός μεταφέρει την κίνηση στους συρόμενους άξονες, οι οποίοι εκτελούν παλινδρομική ευθύγραμμη κίνηση.



Σχήμα 2.24: Μηχανισμός σκωτσέζικου ζυγού

Ο μηχανισμός Scotch yoke βρίσκει ευρεία εφαρμογή σε διάφορους τομείς και έχει αποτελέσει αντικείμενο πολλών ερευνητικών μελετών. Κυρίως χρησιμοποιείται σε ενεργοποιητές βαλβίδων που ελέγχουν τη ροή σε αγωγούς πετρελαίου και φυσικού αερίου υψηλής πίεσης, καθώς και σε κινητήρες εσωτερικής καύσης όπως ο κινητήρας Bourke, ο κινητήρας SyTech, καθώς και σε διάφορους αερόθερμους και ατμοκίνητους κινητήρες. Επιπλέον, εφαρμόζεται σε μηχανές δοκιμών για την αναπαράσταση κραδασμών με απλή αρμονική κίνηση. Ένα από τα πλεονεκτήματα του συγκεκριμένου μηχανισμού είναι ότι δεν προκαλεί πλευρικές δυνάμεις στον έμβολο. [13]

3. ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΜΗΧΑΝΙΣΜΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

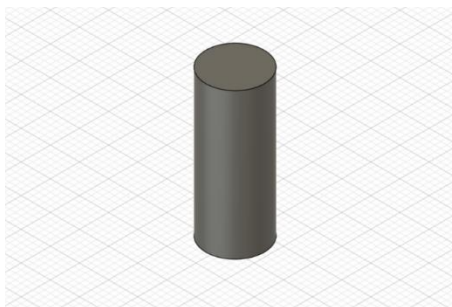
Ο πυρήνας σε οποιοδήποτε κατασκευαστικό έργο είναι ο σχεδιασμός. Στην παρούσα διπλωματική εργασία σχεδιάστηκαν 12 μηχανισμοί μετάδοσης κίνησης. Ο σωστός σχεδιασμός συντέλεσε καθοριστικό ρόλο στην ακρίβεια και στην ομαλή λειτουργία κάθε μηχανισμού. Η ανάπτυξη των γεωμετρικών μοντέλων πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό σχεδίασης FUSION 360 της Autodesk. Τα πλεονεκτήματα χρήσης του συγκεκριμένου λογισμικού ήταν:

- Η τροποποίηση των διαστάσεων χωρίς πλήρη ανασχεδιασμό (παραμετρικός σχεδιασμός).
- Η απεικόνιση τρισδιάστατων μοντέλων, η οποία διευκόλυνε τον σχεδιασμό και την σύνδεση των εξαρτημάτων μεταξύ τους (Assembly).
- Η δυνατότητα κίνησης εξαρτημάτων στο Assembly (animation), η οποία παρουσίαζε την συμπεριφορά των μηχανισμών πριν την κατασκευή.
- Η ευκολία χρήσης και η φιλική προς τον χρήστη διεπαφή.

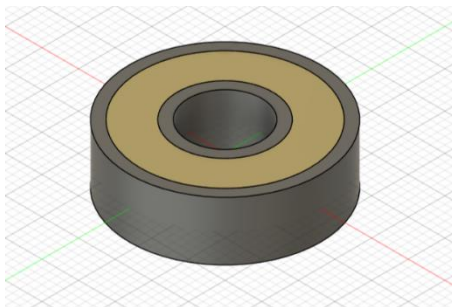
Στόχος του σχεδιαστικού σταδίου ήταν η κατασκευή πλήρως λειτουργικών τρισδιάστατων μοντέλων σε ψηφιακό περιβάλλον. Η ακρίβεια σχεδιασμού των επιμέρους εξαρτημάτων και των αξόνων οδήγησε στην ταυτόχρονη μείωση των σφαλμάτων και αύξηση λειτουργικότητας των μηχανισμών.

Τα σχεδιαστικά βήματα για όλους τους μηχανισμούς ήταν ίδια. Αρχικά, πραγματοποιήθηκε η ψηφιακή σχεδίαση των εξαρτημάτων. Στη συνέχεια, δημιουργήθηκε μια βάση για κάθε μηχανισμό, ενώ στο τέλος αναπτύχθηκε ένας πίνακας ο οποίος αποτελούσε όλες τις βάσεις των μηχανισμών μαζί, δημιουργώντας μια ενιαία βάση. Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο, γίνεται η αναπαράσταση των μηχανισμών και των εξαρτημάτων που σχεδιάστηκαν σε τρισδιάστατη μορφή.

Κοινά εξαρτήματα των μηχανισμών ήταν οι άξονες και τα έδρανα κύλισης. Κάθε μηχανισμός αποτελούνταν από συγκεκριμένο αριθμό αξόνων διαφορετικού μήκους και πάχους. Ωστόσο, όλοι οι άξονες και τα έδρανα κύλισης σχεδιάστηκαν στο λογισμικό Fusion 360 με στόχο την ακριβή διαστασιολόγηση τους. Σε κάθε μηχανισμό που σχεδιάστηκε, πραγματοποιείται αναφορά για το μήκος και το πάχος των αξόνων που αξιοποιήθηκαν. Το υλικό κατασκευής τους ήταν το αλουμίνιο.



Σχήμα 3.1: Τρισδιάστατη απεικόνιση άξονα



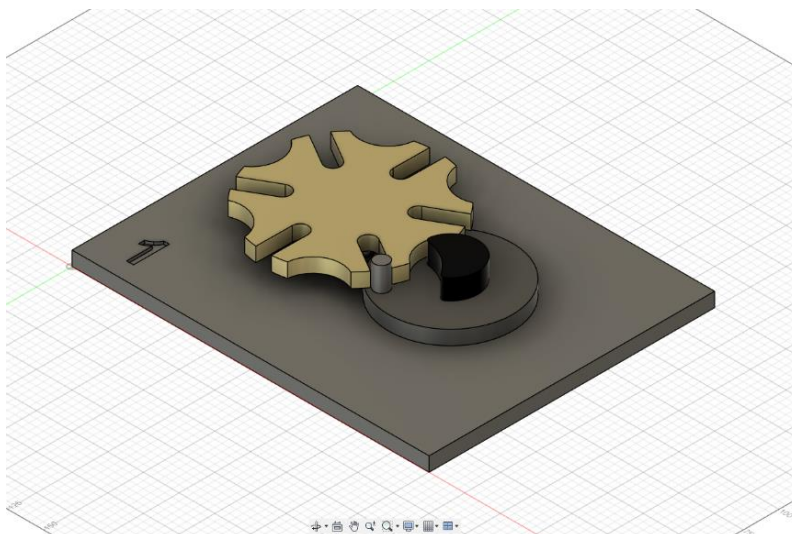
Σχήμα 3.2: Έδρανο κύλισης 6000z

Σε όλους τους μηχανισμούς που σχεδιάστηκαν, το έδρανο κύλισης που χρησιμοποιήθηκε ήταν το 6000z και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του είναι:

- Εσωτερική διάμετρος 10mm.
- Εξωτερική διάμετρος 26mm.
- Πάχος 8mm.

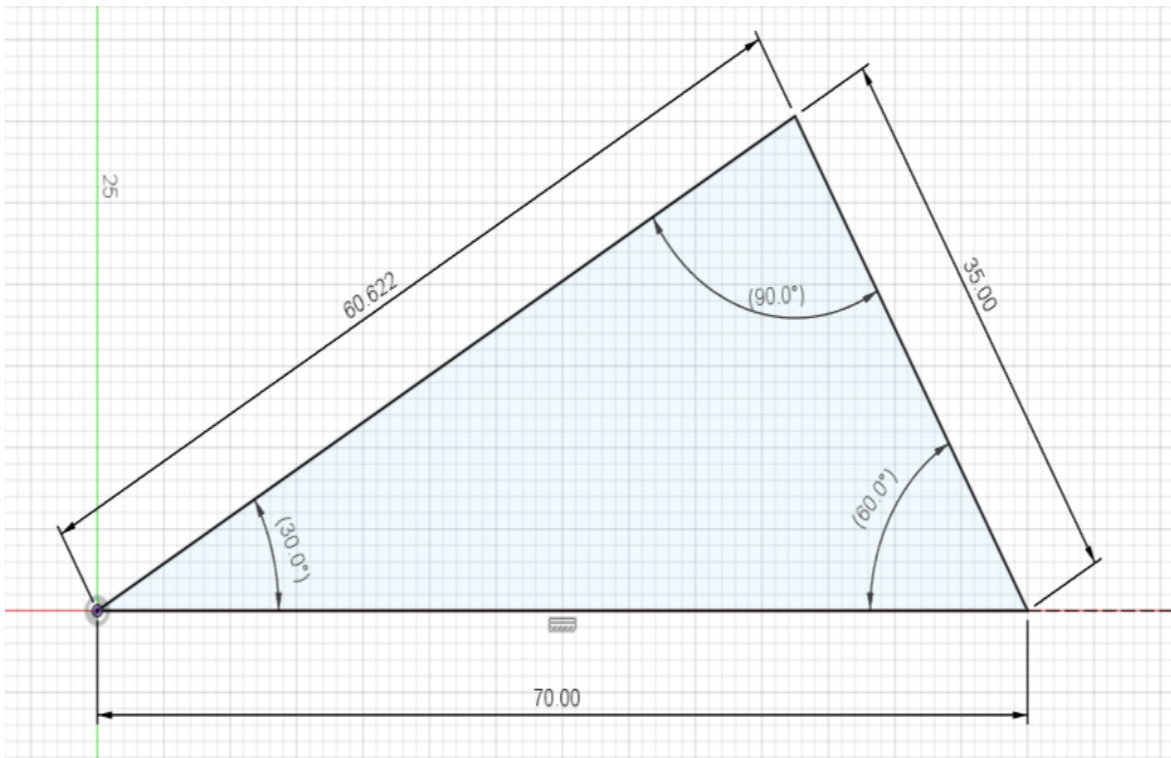
3.1 Μηχανισμός Γενεύης

Τα κύρια μέρη του μηχανισμού της Γενεύης είναι ο τροχός κίνησης, ο τροχός της Γενεύης, ο πείρος (Driving Pin), το εξάρτημα ασφάλισης, οι άξονες και η βάση.



Σχήμα 3.3: Τρισδιάστατη απεικόνιση του μηχανισμού της Γενεύης

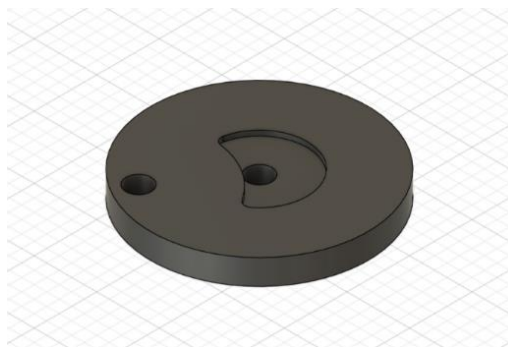
Τα μέρη του μηχανισμού σχεδιάστηκαν σύμφωνα με το γεωμετρικό τρίγωνο *GPD*.



Σχήμα 3.4: Γεωμετρικό τρίγωνο *GPD* μηχανισμού Γενεύης

Το (GP) είχε μήκος 60.622mm, το (PD) είχε μήκος 35mm και το L είχε μήκος 70mm. Το ϕ ήταν ίσο με 30° και το θ ίσο με 60° . Ο τροχός της Γενεύης διέθετε έξι εγκοπές ($n=6$). Αυτό σημαίνει ότι μία πλήρης περιστροφή 360° του τροχού οδήγησης, ο τροχός της Γενεύης περιστρέφεται κατά 60° . Η έναρξη της κίνησης πραγματοποιείται όταν ο πείρος έρθει σε επαφή με την εγκοπή. Καθώς ο τροχός εισόδου περιστρέφεται κατά γωνία $2\pi/3$ μέσα σε χρονικό διάστημα τ , που αντιστοιχεί στο ένα τρίτο της συνολικής κίνησης του μηχανισμού, ο τροχός της Γενεύης ολοκληρώνει επίσης μια περιστροφή $\pi/3$.

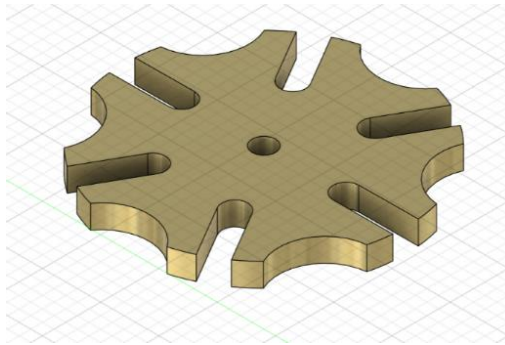
Τροχός κίνησης



Σχήμα 3.5: Τρισδιάστατη απεικόνιση δίσκου οδήγησης

Το πάχος του εξαρτήματος ήταν 10mm και η διάμετρος του ήταν 86,752mm. Διέθετε δύο οπές διαμέτρου 10mm. Η κεντρική οπή ήταν διαμπερής, ενώ η άλλη είχε βάθος 8mm (τυφλή). Στην κεντρική οπή τοποθετήθηκε ο άξονας περιστροφής του δίσκου και στην άλλη ο πείρος που έθετε σε περιστροφή τον σταυρό της Γενεύης. Επίσης, σχεδιάστηκε μια θήκη μέσα στην οποία εφάρμοζε ακριβώς το εξάρτημα ασφάλισης. Υλικό κατασκευής ήταν το MDF.

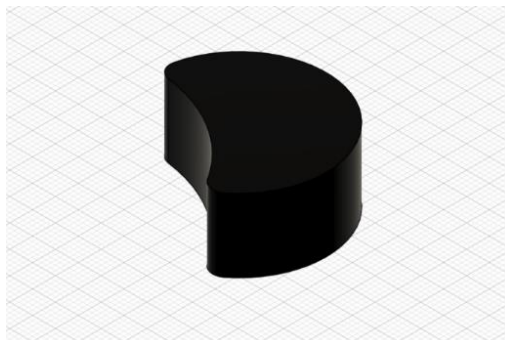
Τροχός της Γενεύης



Σχήμα 3.6: Τρισδιάστατη απεικόνιση του σταυρού της Γενεύης

Το πάχος του εξαρτήματος ήταν 10mm και η διάμετρος 121,244mm. Διέθετε μια κεντρική οπή διαμέτρου 10mm και βάθους 8mm. Σε αυτήν την οπή τοποθετήθηκε ο άξονας περιστροφής του τροχού της Γενεύης. Επιπλέον, σχεδιάστηκαν 6 εγκοπές (slots) με πλάτος εγκοπής $t=11\text{mm}$. Τέλος, δημιουργήθηκαν οι καμπύλες συγκράτησης με ακτίνα ίση με $r=20\text{mm}$ μέσα στις οποίες κινούνταν το εξάρτημα ασφάλισης. Υλικό κατασκευής ήταν το MDF.

Εξάρτημα ασφάλισης



Σχήμα 3.7: Τρισδιάστατη απεικόνιση εξαρτήματος ασφάλισης

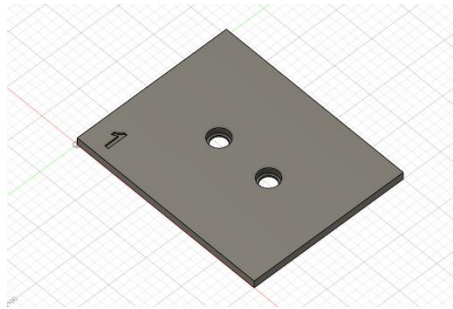
Το συγκεκριμένο εξάρτημα είχε πάχος 16mm και τοποθετήθηκε στη θήκη του οδηγητηρίου δίσκου. Ρόλος του είναι να μπλοκάρει τον σταυρό της Γενεύης για το χρονικό διάστημα όπου ο πείρος δεν βρίσκεται σε καμία υποδοχή. Η ακτίνα συγκράτησής του ήταν ίση με 19mm και το υλικό κατασκευής ήταν το MDF.

Άξονες

Σχεδιάστηκαν τρεις διαφορετικοί άξονες διαμέτρου 10mm με διαφορετικό σημείο τοποθέτησης.

- Ο πρώτος άξονας με μήκος 25mm (πείρος-Driving Pin) τοποθετήθηκε στην τυφλή οπή του οδηγητηρίου δίσκου.
- Ο δεύτερος άξονας με μήκος 35mm τοποθετήθηκε στην τυφλή οπή του σταυρού της Γενεύης.
- Ο τρίτος άξονας με μήκος 45,4mm. Το ένα άκρο του άξονα τοποθετήθηκε στην οπή του οδηγητηρίου δίσκου, ενώ το άλλο άκρο συνδέθηκε με το DC motor.

Βάση μηχανισμού

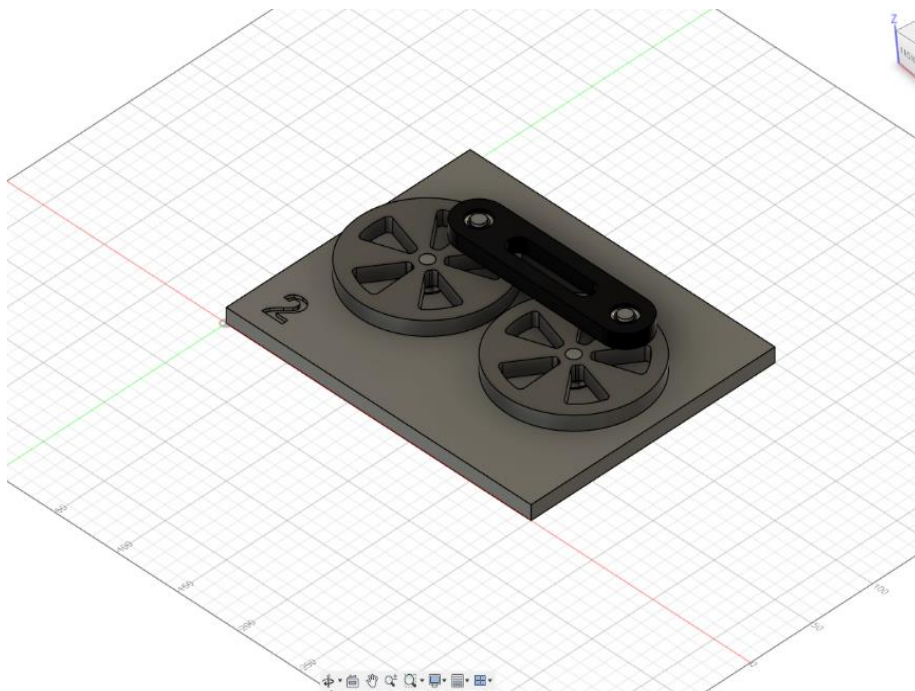


Σχήμα 3.8: Τρισδιάστατη απεικόνιση βάσης μηχανισμού Γενεύης

Το πάχος της βάσης ήταν 10mm. Στη βάση σχεδιάστηκαν δύο ομόκεντρες οπές δύο διαμέτρων. Το άνω τμήμα είχε διάμετρο 26mm και βάθος 8mm, ενώ το κάτω τμήμα είχε διάμετρο 18mm και βάθος 10mm. Η γεωμετρία αυτή εξυπηρετούσε στην υποδοχή τοποθέτησης εδράνων κύλισης με ανακούφιση. Η απόσταση των δύο οπών ήταν ίση με $L=70\text{mm}$. Υλικό κατασκευής ήταν το MDF.

3.2 Coupled wheels of locomotive mechanism

Ο μηχανισμός αποτελείται από τους δύο τροχούς, την ράβδο σύζευξης, τους άξονες και τη βάση. Η είσοδος είναι ο δεξιός τροχός και η έξοδος ο αριστερός τροχός.

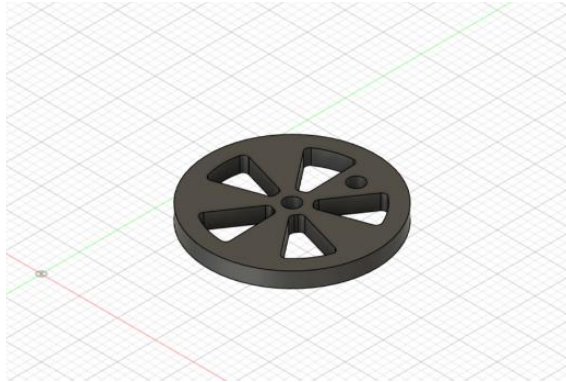


Σχήμα 3.9: Τρισδιάστατη απεικόνιση Coupled wheels of locomotive mechanism

Σύμφωνα με τη γεωμετρία του μηχανισμού ορίστηκαν οι παρακάτω ισότητες δόθηκαν τα παρακάτω δεδομένα:

- $(AB)=(CD)=35\text{mm}$
- $(AD)=(BC)=120\text{mm}$

Τροχός μηχανισμού



Σχήμα 3.10: Τρισδιάστατη απεικόνιση του τροχού

Ο τροχός είχε εξωτερική διάμετρο 110mm. Το πάχος του ήταν 10mm και διέθετε μια διαμπερή οπή στο κέντρο του με διάμετρο 10mm. Επίσης, σχεδιάστηκε άλλη μια οπή (τυφλή οπή) σε απόσταση $(AB)=(CD)=35\text{mm}$ από το κέντρο με διάμετρο 10mm και βάθος 8mm. Υλικό κατασκευής ήταν το MDF.

Σύνδεσμος τροχών



Σχήμα 3.11: Τρισδιάστατη απεικόνιση συνδέσμου

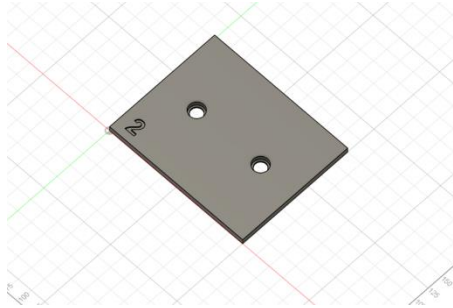
Ο σύνδεσμος σύζευξης είχε πάχος 10mm. Διέθετε δύο ομόκεντρες οπές δύο διαμέτρων. Το άνω τμήμα είχε διάμετρο 26mm και βάθος 8mm, ενώ το κάτω τμήμα είχε διάμετρο 18mm και βάθος 10mm. Η γεωμετρία αυτή εξυπηρετούσε στην υποδοχή τοποθέτησης εδράνων κύλισης με ανακούφιση. Η απόσταση των δύο οπών ήταν ίση με $(BC)=120\text{mm}$. Επίσης, το πλάτος του εξαρτήματος ήταν ίσο με 36mm και κατά την περιστροφή του η κίνησή του περιορίζεται εντός της διαμέτρου του τροχού. Υλικό κατασκευής ήταν το MDF.

Άξονες

Σχεδιάστηκαν τέσσερις διαφορετικοί άξονες διαμέτρου 10mm με διαφορετικό σημείο τοποθέτησης.

- Οι δύο άξονες με μήκος 22mm τοποθετήθηκαν στα σημεία B και C των τροχών.
- Ο άξονας με μήκος 23mm τοποθετήθηκε στην κεντρική οπή του τροχού.
- Τέλος, ο άξονας με μήκος 45,4mm, όπου το ένα άκρο του τοποθετήθηκε στην κεντρική οπή του τροχού, ενώ το άλλο άκρο συνδέθηκε με το DC Motor.

Βάση μηχανισμού

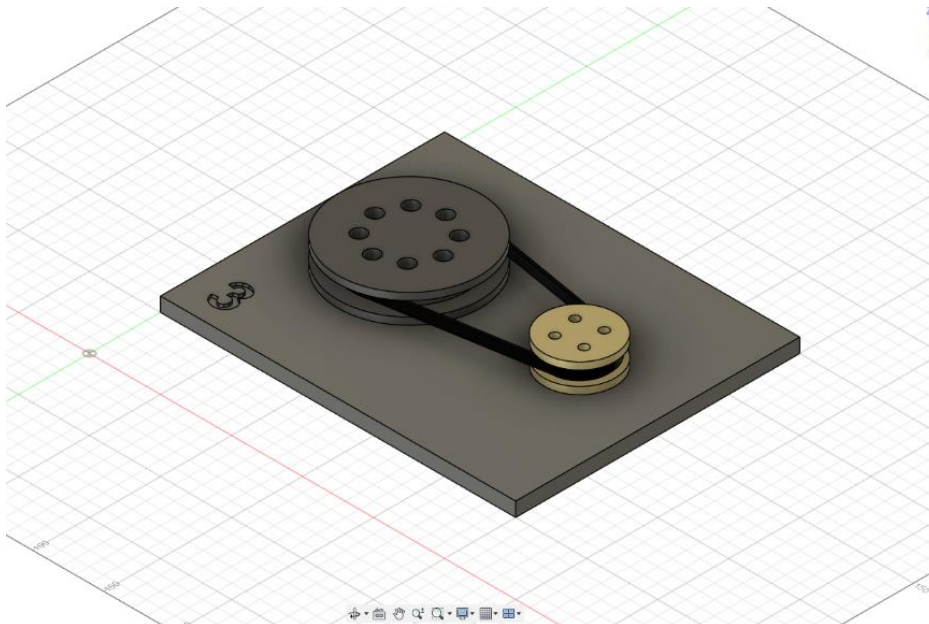


Σχήμα 3.12: Τρισδιάστατη απεικόνιση βάσης μηχανισμού

Το πάχος της βάσης ήταν 10mm. Στη βάση σχεδιάστηκαν δύο ομόκεντρες οπές δύο διαμέτρων. Το άνω τμήμα είχε διάμετρο 26mm και βάθος 8mm, ενώ το κάτω τμήμα είχε διάμετρο 18mm και βάθος 10mm. Η γεωμετρία αυτή εξυπηρετούσε στην υποδοχή τοποθέτησης εδράνων κύλισης με ανακούφιση. Η απόσταση των δύο οπών ήταν ίση με (AD)=120mm. Υλικό κατασκευής ήταν το MDF.

3.3 Μηχανισμός τροχαλίας με επίπεδο/κυλινδρικό ιμάντα

Τα κύρια μέρη αυτού του μηχανισμού είναι η μεγάλη τροχαλία (κινούμενη τροχαλία), η μικρή τροχαλία (τροχαλία οδηγός), ο ιμάντας, οι άξονες και η βάση.



Σχήμα 3.13: Τρισδιάστατη απεικόνιση του μηχανισμού 2 τροχαλιών

Ορίστηκε ότι: $a=120\text{mm}$, $d_1=80\text{mm}$ και $d_2=40\text{mm}$. Η σχέση μετάδοσης από την τροχαλία οδηγός στην κινούμενη τροχαλία ισούται με:

$$i = \frac{d_1}{d_2} = \frac{80}{40} = 2$$

Δηλαδή, η τροχαλία οδηγός κινείται δυο φορές πιο γρήγορα από την κινούμενη τροχαλία.

Μεγάλη τροχαλία (κινούμενη τροχαλία)



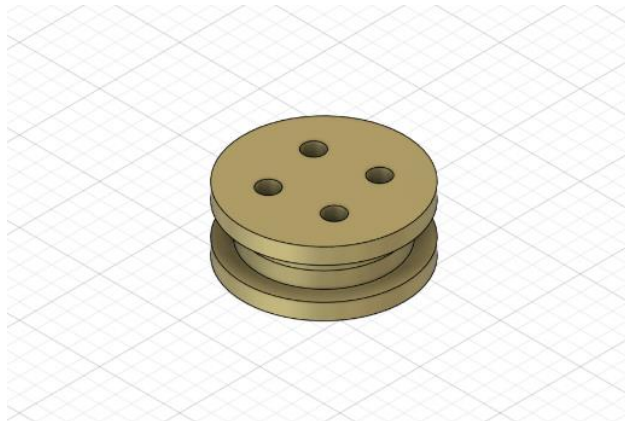
Σχήμα 3.14: Τρισδιάστατη απεικόνιση μεγάλης τροχαλίας

Τα χαρακτηριστικά της τροχαλίας αναφέρονται παρακάτω:

- Εξωτερική διάμετρος=100mm
- Διάμετρος αυλακιού d_1 (Pitch diameter)=80mm
- Εσωτερική διάμετρος (Bore diameter)=10mm με βάθος 15mm (τυφλή)
- Πλάτος αυλακιού=10mm
- Τύπος αυλακιού Flat

Όλες οι οπές (εκτός την κεντρική) ήταν διαμπερείς και ο ρόλος τους καθαρά αισθητικός. Το πάχος της τροχαλίας ήταν 20mm και το υλικό κατασκευής της, το MDF.

Μικρή τροχαλία (τροχαλία οδηγός)



Σχήμα 3.15: Τρισδιάστατη απεικόνιση μικρής τροχαλίας

Τα χαρακτηριστικά της τροχαλίας αναφέρονται παρακάτω:

- Εξωτερική διάμετρος=50mm
- Διάμετρος αυλακιού d_2 (Pitch diameter)=40mm
- Εσωτερική διάμετρος (Bore diameter)=10mm με βάθος 15mm (τυφλή)
- Πλάτος αυλακιού=10mm
- Τύπος αυλακιού Flat

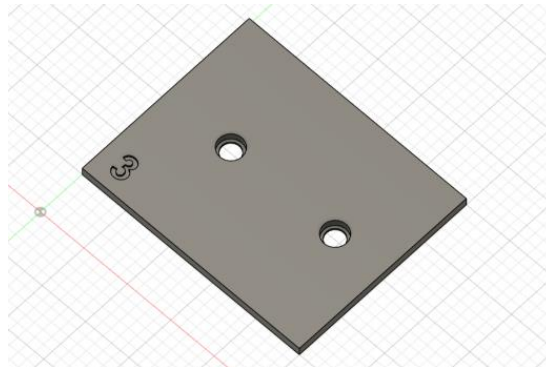
Όλες οι οπές (εκτός την κεντρική) ήταν διαμπερείς και ο ρόλος τους καθαρά αισθητικός. Το πάχος της τροχαλίας ήταν 20mm και το υλικό κατασκευής της το MDF.

Άξονες

Σχεδιάστηκαν δύο διαφορετικοί άξονες διαμέτρου 10mm με διαφορετικό σημείο τοποθέτησης.

- Ο πρώτος άξονας με μήκος 30mm τοποθετήθηκε στην τυφλή οπή της μικρής τροχαλίας
- Ο δεύτερος άξονας με μήκος 52,4mm. Το ένα άκρο του άξονα τοποθετήθηκε στην τυφλή οπή της μεγάλης τροχαλίας, ενώ το άλλο άκρο συνδέθηκε με το DC motor.

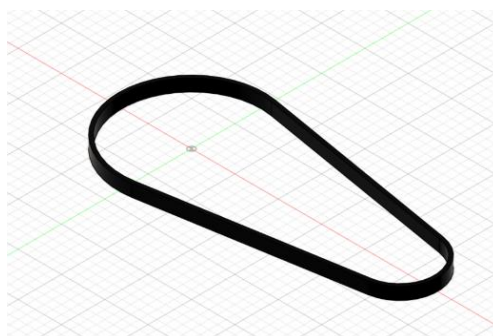
Βάση μηχανισμού



Σχήμα 3.16: Τρισδιάστατη απεικόνιση βάσης μηχανισμού

Το πάχος της βάσης ήταν 10mm. Στη βάση σχεδιάστηκαν δύο ομόκεντρες οπές δύο διαμέτρων. Το άνω τμήμα με διάμετρο 26mm και βάθος 8mm, ενώ το κάτω τμήμα είχε διάμετρο 18mm και βάθος 10mm. Η γεωμετρία αυτή εξυπηρετούσε στην υποδοχή τοποθέτησης εδράνου κύλισης με ανακούφιση. Η απόσταση των δύο οπών ήταν $a=120\text{mm}$ και το υλικό κατασκευής ήταν το MDF.

Επίπεδος Ιμάντας



Σχήμα 3.17: Τρισδιάστατη απεικόνιση ιμάντα

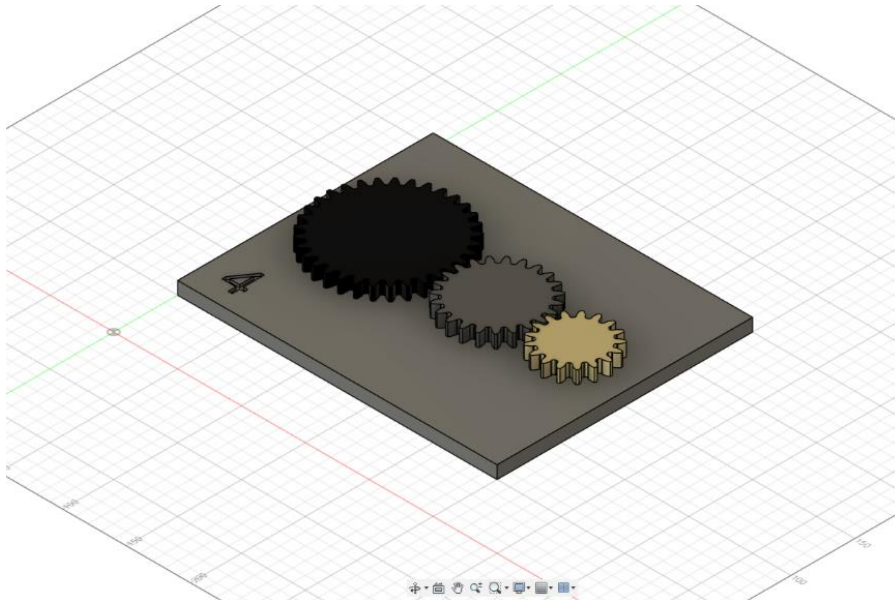
Το μήκος L του ιμάντα υπολογίστηκε από τον τύπο (2.8) για $a=120\text{mm}$, $d_1=80\text{mm}$ και $d_2=40\text{mm}$. Σύμφωνα με αυτές τις παραμέτρους:

$$L = 431,33\text{mm}$$

Κατά την κατασκευή επιλέχθηκε ελαστικός κυλινδρικός ιμάντας διαμέτρου 7mm με μήκος 406mm. Το μήκος του ήταν μικρότερο του L για να μεταφέρει αποτελεσματικά την κίνηση χωρίς να γλιστράει.

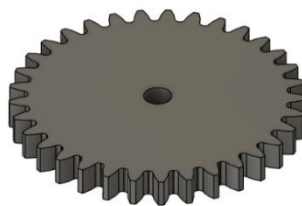
3.4 Μηχανισμός τριών γραναζιών

Ο συγκεκριμένος μηχανισμός αποτελείται από τρία γρανάζια, τους άξονες των γραναζιών και την βάση του μηχανισμού.



Σχήμα 3.18: Τρισδιάστατη απεικόνιση μηχανισμού τριών γραναζιών

Μεγάλο γρανάζι

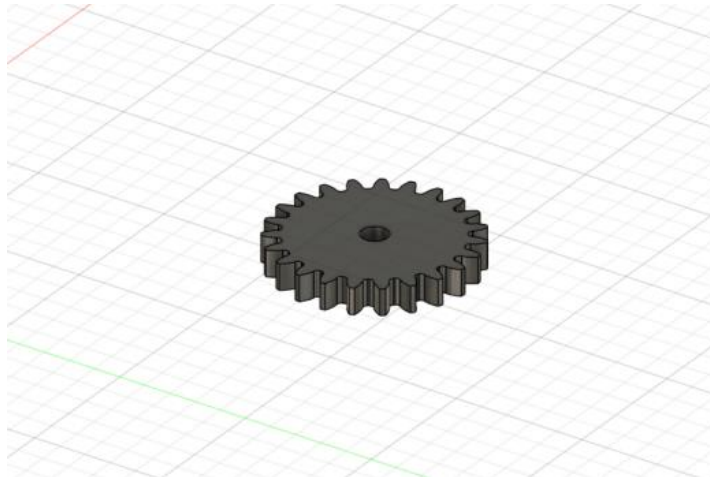


Σχήμα 3.19: Τρισδιάστατη απεικόνιση μεγάλου γραναζιού

Χαρακτηριστικά γραναζιού:

- Pitch diameter $d_1=99\text{mm}$
- Module: 3mm
- Αριθμός δοντιών $N_1=33$
- Γωνιά πίεσης: $\alpha=20^\circ$
- Πάχος γραναζιού=10mm
- Υλικό κατασκευής ήταν το MDF
- Εσωτερική διάμετρος (Bore diameter)=10mm με βάθος 8mm (τυφλή)

Μεσαίο γρανάζι (γρανάζι οδηγός)

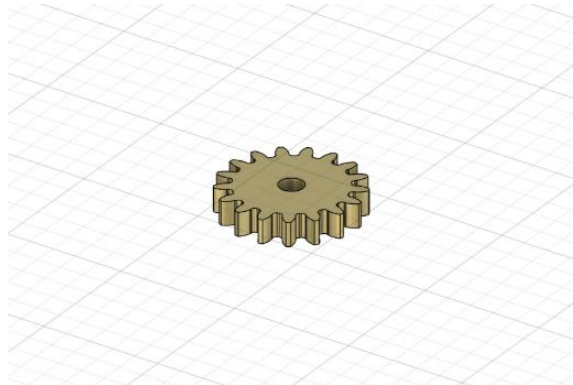


Σχήμα 3.20: Τρισδιάστατη απεικόνιση μεσαίου γραναζιού

Χαρακτηριστικά γραναζιού:

- Pitch diameter $d_2=69\text{mm}$
- Module: 3mm
- Αριθμός δοντιών $N_2=23$
- Γωνιά πίεσης: $\alpha=20^\circ$
- Πάχος γραναζιού: 10mm
- Υλικό κατασκευής ήταν το MDF
- Εσωτερική διάμετρος (Bore diameter)=10mm με βάθος 8mm (τυφλή)

Μικρό γρανάζι



Σχήμα 3.21: Τρισδιάστατη απεικόνιση μικρού γραναζιού

Χαρακτηριστικά γραναζιού:

- Pitch diameter $d_3= 51\text{mm}$
- Module: 3mm
- Αριθμός δοντιών $N_3=17$
- Γωνιά πίεσης: $\alpha=20^\circ$
- Πάχος γραναζιού: 10mm
- Υλικό κατασκευής ήταν το MDF
- Εσωτερική διάμετρος (Bore diameter) 10mm με βάθος 8mm (τυφλή)

Σχέση μετάδοσης

Ο άξονας του μεσαίου γραναζιού συνδέθηκε με το DC Motor. Επομένως, το μεσαίο γρανάζι μεταφέρει κίνηση στο μεγάλο και στο μικρό γρανάζι. Η σχέση μετάδοσης ανάμεσα στο μεσαίο και το μεγάλο γρανάζι υπολογίστηκε από τον τύπο (2.13):

$$i = \frac{N1}{N2} = \frac{33}{23} = 1,435$$

Η σχέση μετάδοσης ανάμεσα στο μεσαίο και το μικρό γρανάζι υπολογίστηκε από τον τύπο (2.13) και είναι ίση:

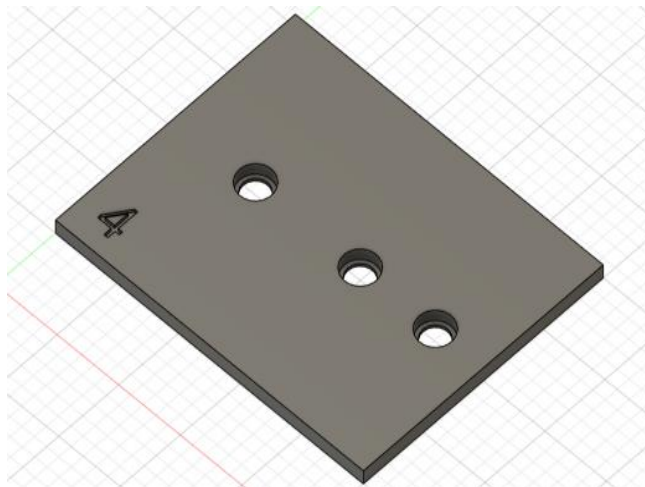
$$i = \frac{N3}{N2} = \frac{17}{23} = 0,739$$

Άξονες

Σχεδιάστηκαν τρεις άξονες διαμέτρου 10mm με διαφορετικό σημείο τοποθέτησης.

- Ο πρώτος και ο δεύτερος άξονας με μήκος 23mm τοποθετήθηκε στην τυφλή οπή του μεγάλου και του μικρού γραναζιού.
- Ο τρίτος άξονας είχε μήκος 45,4mm. Το ένα άκρο συνδέθηκε με την οπή του μεσαίου γραναζιού και η άλλη με το DC motor.

Βάση μηχανισμού



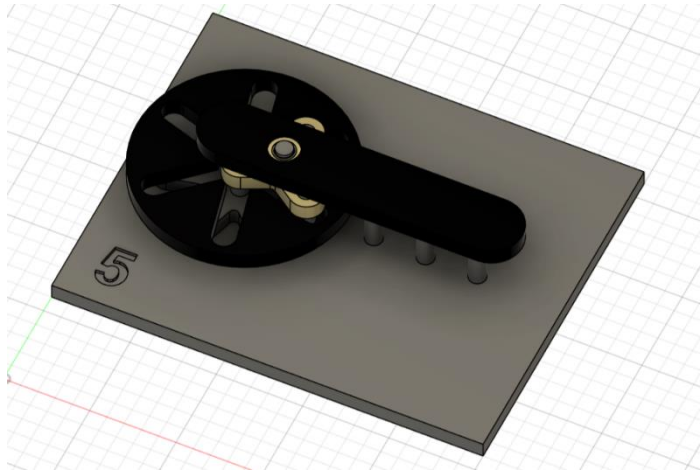
Σχήμα 3.22: Τρισδιάστατη απεικόνιση βάσης

Το πάχος της βάσης ήταν 10mm. Στη βάση σχεδιάστηκαν τρεις ομόκεντρες οπές δύο διαμέτρων. Το άνω τμήμα είχε διάμετρο 26mm και βάθος 8mm, ενώ το κάτω τμήμα είχε διάμετρο 18mm και βάθος 10mm. Η γεωμετρία αυτή εξυπηρετούσε στην υποδοχή τοποθέτησης εδράνων κύλισης με ανακούφιση. Η απόσταση της αριστερής με την μεσαία οπή ήταν ίση με α_1 , ενώ η απόστασης της μεσαίας με την δεξιά οπή ήταν ίση με α_2 . Από τον τυπο (2.14) υπολογίστηκαν τα α_1 και α_2 . Υλικό κατασκευής ήταν το MDF.

$$\alpha_1 = \frac{d1+d2}{2} = 84mm \quad \& \quad \alpha_2 = \frac{d2+d3}{2} = 60mm$$

3.5 Μηχανισμός Multiple Gearing με Τριβείς και Ακτινικές εσοχές

Ο μηχανισμός αποτελείται από τα εξής μέρη: τον περιστρεφόμενο δίσκο, τον τροχό με τις ακτινικές εσοχές, το τριγωνικό εξάρτημα, την στήριξη του τριγωνικού εξαρτήματος, τους άξονες και την βάση του μηχανισμού.



Σχήμα 3.23: Τρισδιάστατη απεικόνιση μηχανισμού Multiple Gearing με τριβείς και ακτινικές εσοχές

Σε αυτόν τον μηχανισμό ορίστηκε ότι $R_i = 50\text{mm}$ και $r = 25\text{mm}$. Η είσοδος είναι ο περιστρεφόμενος δίσκος και η έξοδος το τριγωνικό εξάρτημα. Επομένως, από τους τύπους (2.15) και (2.16) υπολογίστηκε η σχέση μετάδοσης i από τον τροχό με τις εσοχές στο τριγωνικό εξάρτημα, καθώς και η απόσταση x .

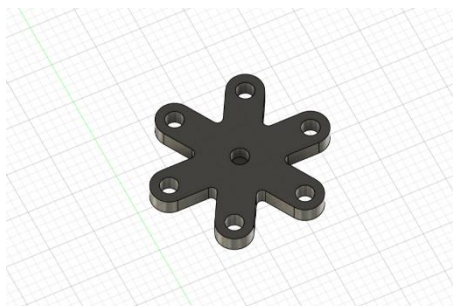
$$i = \frac{25}{50} = 0.5$$

Το τριγωνικό εξάρτημα περιστρέφεται δύο φορές πιο γρήγορα από τον τροχό με τις ακτινικές εσοχές.

$$x = 50 - 25 = 25\text{mm}$$

Οπότε, το κέντρο του τριγωνικού εξαρτήματος μετατοπίζεται κατά 25mm σε σχέση με το κέντρο του τροχού με τις ακτινικές εσοχές.

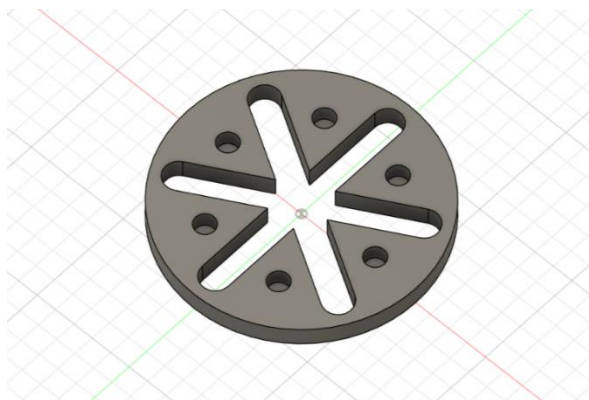
Περιστρεφόμενος δίσκος



Σχήμα 3.24: Τρισδιάστατη απεικόνιση περιστρεφόμενο δίσκου

Το πάχος του εξαρτήματος ήταν 10mm και η διάμετρος του κύκλου που το περιέβαλε ήταν ίση με 100mm. Διέθετε μια κεντρική οπή διαμέτρου 10mm και βάθους 8mm. Σε αυτήν την οπή τοποθετήθηκε ο άξονας περιστροφής που ήταν συνδεδεμένος με το DC motor. Επιπλέον, σχεδιάστηκαν 6 διαμπερείς οπές διαμέτρου 10mm, στις οποίες τοποθετήθηκαν άξονες. Υλικό κατασκευής ήταν το MDF.

Τροχός με ακτινικές εσοχές



Σχήμα 3.25: Τρισδιάστατη απεικόνιση τροχού με ακτινικές εσοχές

Το πάχος του εξαρτήματος ήταν 10mm και η διάμετρος κύκλου 124mm. Διέθετε 6 οπές διαμέτρου 10mm και βάθους 8mm. Μέσα σε αυτές τις οπές τοποθετήθηκαν οι ίδιοι άξονες με τους άξονες του περιστρεφόμενου δίσκου και με αυτόν τον τρόπο δημιουργήθηκε η σύνδεση του περιστρεφόμενου δίσκου με τον τροχό με τις εσοχές. Υλικό κατασκευής ήταν το MDF.

Τριγωνικό εξάρτημα



Σχήμα 3.26: Τρισδιάστατη απεικόνιση τριγωνικού εξαρτήματος.

Το πάχος του εξαρτήματος ήταν 10mm. Διέθετε τρεις διαμπερείς οπές διαμέτρου 10mm σε απόσταση $r=25\text{mm}$ από το κέντρο του, με διαφορά 120° ή μια οπή από την άλλη. Μέσα σε αυτές τις οπές τοποθετήθηκαν άξονες. Το εξάρτημα είχε στο κέντρο του οπή διαμέτρου 10mm και βάθους 8mm. Σε αυτήν την οπή συνδέθηκε ο άξονας που ένωνε το τριγωνικό εξάρτημα με τη στήριξή του. Υλικό κατασκευής ήταν το MDF.

Στήριξη τριγωνικού εξαρτήματος



Σχήμα 3.27: Τρισδιάστατη απεικόνιση στήριξης Axis

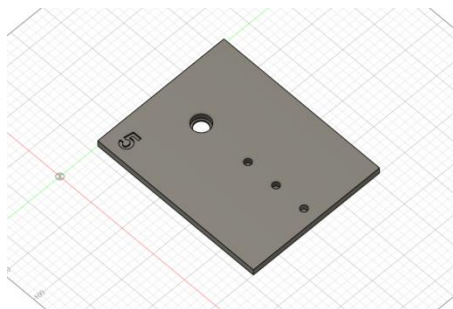
Το πάχος του εξαρτήματος ήταν 10mm. Στη στήριξη δημιουργήθηκε μια ομόκεντρη οπή δύο διαμέτρων. Το άνω τμήμα είχε διάμετρο 26mm και βάθος 8mm, ενώ το κάτω τμήμα είχε διάμετρο 18mm και βάθος 10mm. Η γεωμετρία αυτή εξυπηρετούσε στην υποδοχή τοποθέτησης εδράνου κύλισης με ανακούφιση. Επίσης, παρουσίαζε τρεις οπές διαμέτρου 10mm και βάθους 8mm, στις οποίες τοποθετήθηκαν άξονες. Υλικό κατασκευής ήταν το MDF.

Άξονες

Σχεδιάστηκαν δεκατέσσερις άξονες διαμέτρου 10mm με διαφορετικό σημείο τοποθέτησης.

- Ο πρώτος άξονας με μήκος 42,4mm συνδέθηκε με την τυφλή οπή του περιστρεφόμενου δίσκου και το άλλο άκρο του με το DC motor.
- Οι επόμενοι 6 άξονες είχαν μήκος 20mm. Το ένα άκρο τους τοποθετήθηκε στις διαμπερείς οπές του περιστρεφόμενου δίσκου και το άλλο στην τυφλή οπή του τροχού με τις εσοχές.
- Ένας άξονας με μήκος 20mm τοποθετήθηκε στην κεντρική τυφλή οπή του τριγωνικού εξαρτήματος, ενώ το άλλο άκρο του συνδέθηκε με τη στήριξη του τριγωνικού εξαρτήματος στο έδρανο κύλισης της οπής δύο διαμέτρων.
- Τρεις άξονες μήκους 23mm τοποθετήθηκαν στις τρεις διαμπερείς οπές του τριγωνικού εξαρτήματος.
- Τρεις άξονες μήκους 55mm σύνδεσαν τις τυφλές οπές της στήριξης με τις τυφλές οπές της βάσης.

Βάση μηχανισμού



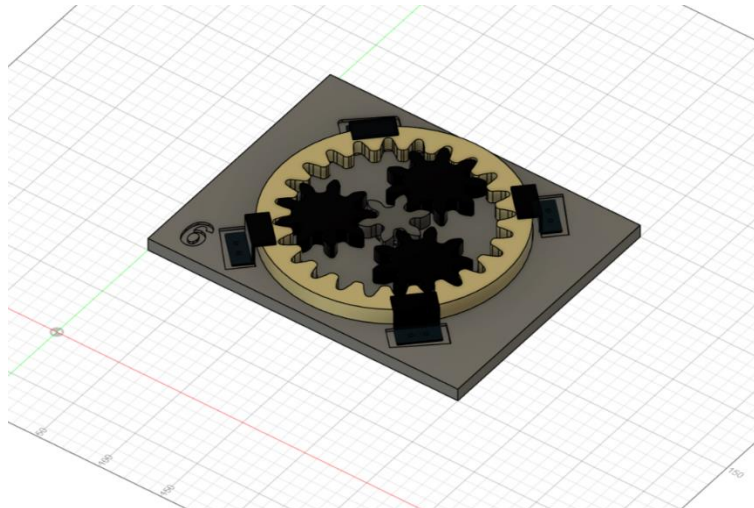
Σχήμα 3.28: Τρισδιάστατη απεικόνιση βάσης μηχανισμού

Το πάχος της βάσης ήταν 10mm. Στη βάση σχεδιάστηκε μια ομόκεντρη οπή δύο διαμέτρων. Το άνω τμήμα είχε διάμετρο 26mm και βάθος 8mm, ενώ το κάτω τμήμα είχε διάμετρο 18mm και βάθος 10mm. Η γεωμετρία αυτή εξυπηρετούσε στην υποδοχή τοποθέτησης εδράνου κύλισης με ανακούφιση. Επίσης, σχεδιάστηκαν τρεις τυφλές οπές διαμέτρου 10mm και βάθους 8mm. Η απόσταση της οπής δυο διαμέτρων από την πρώτη τυφλή οπή στα δεξιά της ήταν ίση με 75mm, ενώ οι τυφλές οπές είχαν απόσταση 30mm μεταξύ τους. Υλικό κατασκευής ήταν το MDF.

3.6 Πλανητικός μηχανισμός

Ο πλανητικός μηχανισμός αποτελείται από τα εξής μέρη:

- Το Sun gear
- Τα τρία planet gears
- Το Ring gear
- Τους άξονες
- Τις βάσεις συγκράτησης του Ring gear
- Τη βάση του μηχανισμού



Σχήμα 3.29: Τρισδιάστατη απεικόνιση πλανητικού μηχανισμού

Το συγκεκριμένο μοντέλο πλανητικού μηχανισμού φέρει σταθερό (ακίνητο) φορέα, ενώ ο ήλιος, οι πλανήτες και η στεφάνη (Ring gear) περιστρέφονται. Ορίστηκε διάμετρος ήλιου $d_1=36\text{mm}$, διάμετρος πλανήτη $d_2=54\text{mm}$ και διάμετρος στεφάνης $d_3=144\text{mm}$. Η είσοδος ήταν ο ήλιος και η έξοδος η στεφάνη. Η σχέση μετάδοσης του μηχανισμού δίνεται από τον τύπο (2.18) και είναι ίση με:

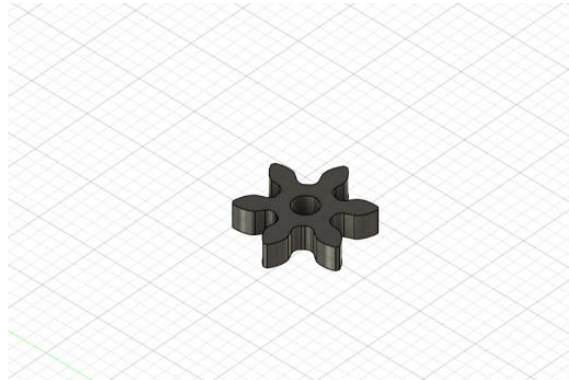
$$i = \frac{d_3}{d_1} = \frac{144}{36} = 4$$

Δηλαδή, ο ήλιος περιστρέφεται τέσσερις φορές πιο γρήγορα από την στεφάνη.

Τέλος, για τη συμβατότητα του μηχανισμού κατά τον σχεδιασμό, έπρεπε να ισχύει ο τύπος (2.17).

$$\frac{d_3}{2} = \frac{d_1}{2} + 2 * \frac{d_2}{2} = 18 + 2 * 27 = 72mm$$

Sun gear

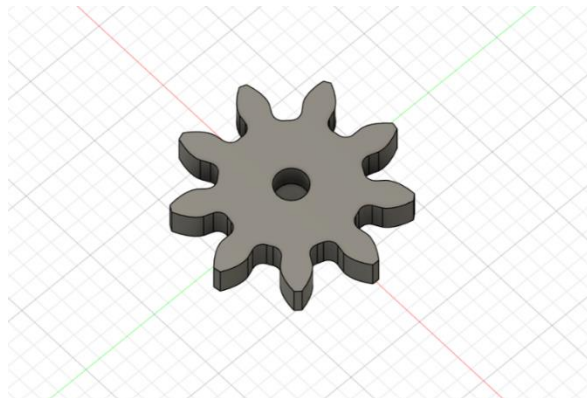


Σχήμα 3.30: Τρισδιάστατη απεικόνιση Sun gear

Χαρακτηριστικά γρναζιού:

- Pitch diameter $d_1 = 36mm$
- Module: 6mm
- Αριθμός δοντιών $N_1 = 6$
- γωνία πίεσης: $\alpha = 20^\circ$
- Πάχος γρναζιού: 10mm
- Υλικό κατασκευής ήταν το MDF
- Εσωτερική διάμετρος (Bore diameter) 10mm με βάθος 8mm (τυφλή)

Planet gear

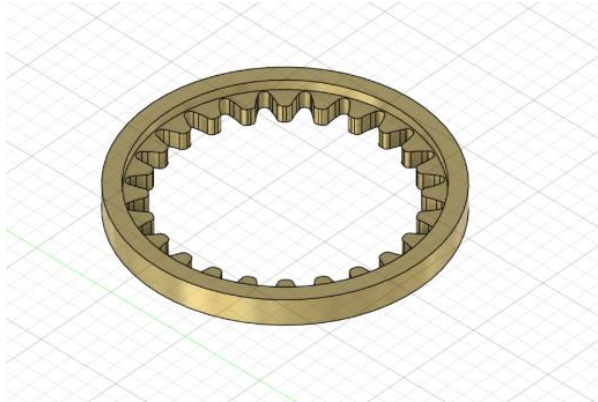


Σχήμα 3.31: Τρισδιάστατη απεικόνιση Planet gear

Χαρακτηριστικά γρναζιού:

- Pitch diameter $d_2 = 54mm$
- Module: 6mm
- Αριθμός δοντιών $N_2 = 9$
- γωνία πίεσης: $\alpha = 20^\circ$
- Πάχος γρναζιού: 10mm
- Υλικό κατασκευής ήταν το MDF
- Εσωτερική διάμετρος (Bore diameter) 10mm με βάθος 8mm (τυφλή)

Ring gear

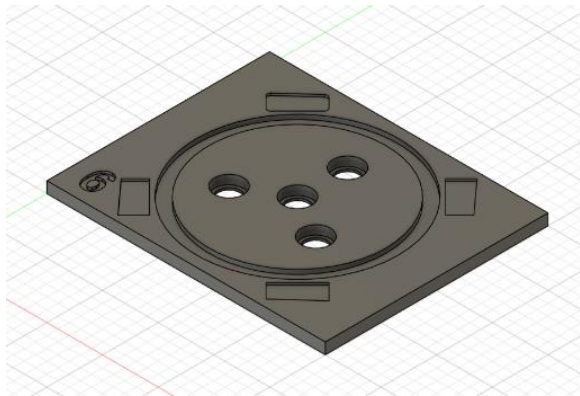


Σχήμα 3.32: Τρισδιάστατη απεικόνιση Ring gear

Χαρακτηριστικά γραναζιού:

- Pitch diameter $d_3 = 144\text{mm}$
- Module: 6mm
- Αριθμός δοντιών $N_3 = 24$
- γωνία πίεσης: $\alpha = 20^\circ$
- Πάχος εξαρτήματος: 16mm
- Υλικό κατασκευής ήταν το MDF
- Εξωτερική διάμετρος δακτυλίου 180mm και εσωτερική διάμετρος δακτυλίου 160mm

Βάση μηχανισμού



Σχήμα 3.33: Τρισδιάστατη απεικόνιση βάσης

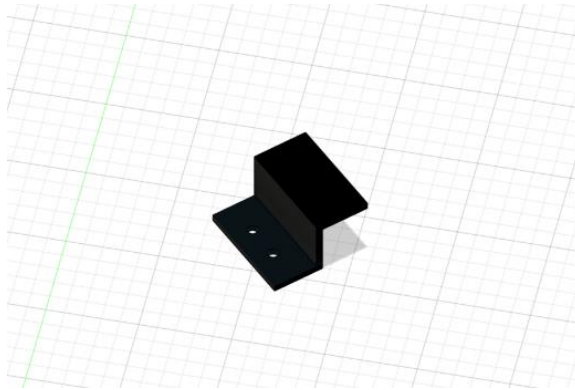
Το πάχος της βάσης ήταν 10mm. Στη βάση σχεδιάστηκαν τέσσερις ομόκεντρες οπές δύο διαμέτρων. Το άνω τμήμα είχε διάμετρο 26mm και βάθος 8mm, ενώ το κάτω τμήμα είχε διάμετρο 18mm και βάθος 10mm. Η γεωμετρία αυτή εξυπηρετούσε στην υποδοχή τοποθέτησης εδράνου κύλισης με ανακούφιση. Στην κεντρική οπή τοποθετήθηκε ο άξονας που ήταν συνδεδεμένος με το Sun gear. Οι άλλες τρεις οπές σχεδιάστηκαν σε απόσταση $(d_1 + d_2)/2 = 45\text{mm}$ από την κεντρική οπή με διαφορά 120° ή μια από την άλλη. Σε αυτές τις οπές συνδέθηκαν οι άξονες με τα Planet gears. Επίσης, στη βάση σχεδιάστηκε ένας δακτύλιος με εξωτερική διάμετρο 181mm και εσωτερική διάμετρο 159mm. Αυτός ο δακτυλικός είχε βάθος 4mm και ο ρόλος του ήταν η δημιουργία θήκης για το Ring gear. Τέλος, εξωτερικά του δακτυλίου, δημιουργήθηκαν 4 θήκες βάθους 2mm για τις βάσεις συγκράτησης του Ring gear. Υλικό κατασκευής ήταν το MDF.

Άξονες

Σχεδιάστηκαν τέσσερις άξονες διαμέτρου 10mm με διαφορετικό σημείο τοποθέτησης.

- Ο πρώτος άξονας με μήκος 42,4mm συνδέθηκε με την τυφλή οπή του Sun gear και το άλλο άκρο του με το DC motor.
- Οι επόμενοι 3 άξονες με μήκος 20mm συνδέθηκαν στα Planet gears.

Βάση συγκράτησης

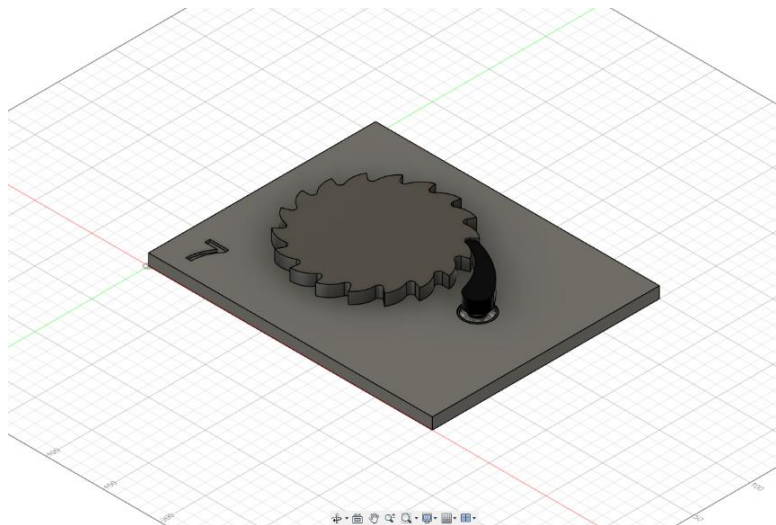


Σχήμα 3.34: Τρισδιάστατη απεικόνιση βάσης συγκράτησης

Το τελικό μοντέλο της κατασκευής είχε προκαθοριστεί ότι θα είναι όρθιο. Έτσι, κρίθηκε απαραίτητο να σχεδιαστεί και να κατασκευαστεί μια βάση συγκράτησης για το Ring gear. Η συγκεκριμένη βάση παρουσίαζε δύο διαμπερείς οπές διαμέτρου 4,5mm, από τις οποίες οι βάσεις συγκράτησης βιδωθήκαν επάνω στην βάση του μηχανισμού. Το υλικό κατασκευής ήταν λαμαρίνα πάχους 2mm με κατεργασία σε στράντζα.

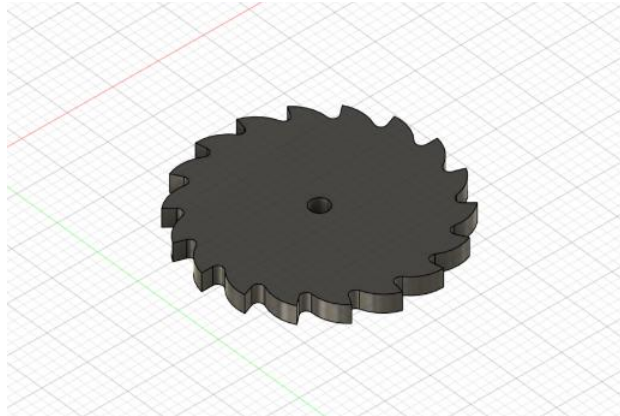
3.7 Μηχανισμός κασάνιας

Ο μηχανισμός κασάνιας αποτελείται από τον τροχό της κασάνιας, τον γάντζο συγκράτησης, τους άξονες και την βάση.



Σχήμα 3.35: Τρισδιάστατη απεικόνιση του μηχανισμού κασάνιας

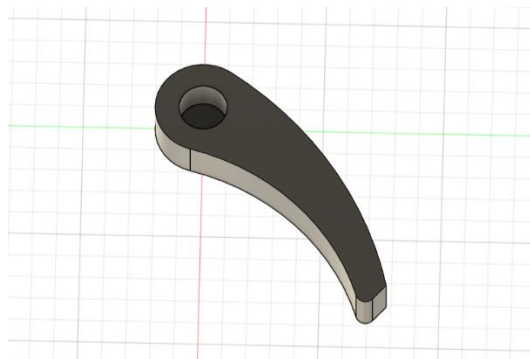
Τροχός κασάνιας



Σχήμα 3.36: Τρισδιάστατη απεικόνιση τροχού κασάνιας

Το πάχος του εξαρτήματος ήταν 10mm. Σχεδιάστηκε οπή στο κέντρο του τροχού με διάμετρο 10mm και βάθος 8mm (τυφλή). Τα 18 δόντια του τροχού είχαν καμπύλη μορφή, η οποία επέτρεπε στον γάντζο συγκράτησης να ολισθαίνει εύκολα προς τη μία κατεύθυνση, ενώ ταυτόχρονα να κλειδώνει αποτελεσματικά σε περίπτωση αντίθετης κίνησης. Υλικό κατασκευής ήταν το MDF.

Γάντζος συγκράτησης μηχανισμού



Σχήμα 3.37: Τρισδιάστατη απεικόνιση γάντζου συγκράτησης μηχανισμού

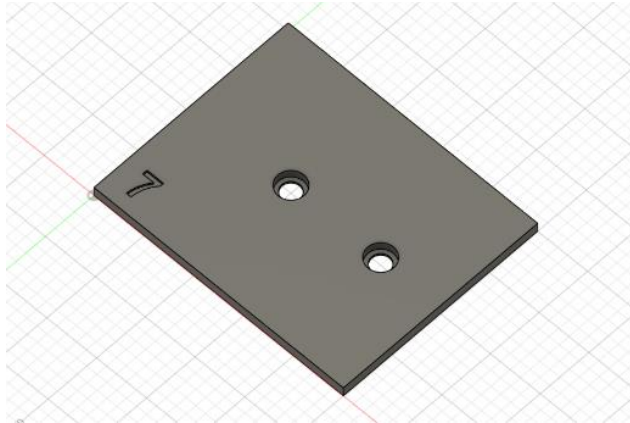
Το πάχος του εξαρτήματος ήταν 10mm. Σχεδιάστηκε οπή διαμέτρου 10mm και βάθους 8mm (τυφλή). Η καμπύλη μορφή του γάντζου ήταν ίδια με την καμπύλη μορφή των δοντιών. Καθώς ο τροχός της κασάνιας περιστρέφεται προς την κατάλληλη κατεύθυνση, ο γάντζος συγκράτησης γλιστράει πάνω στον τροχό της κασάνιας και ανασηκώνεται ελάχιστα, όμως η δύναμη του βάρους του, το επαναφέρει στη θέση του. Υλικό κατασκευής ήταν το MDF.

Άξονες

Σχεδιάστηκαν δύο άξονες διαμέτρου 10mm με διαφορετικό σημείο τοποθέτησης.

- Ο πρώτος άξονας με μήκος 23mm τοποθετήθηκε στην τυφλή οπή του γάντζου συγκράτησης.
- Ο δεύτερος άξονας με μήκος 45,4mm συνδέθηκε με την οπή του τροχού της κασάνιας και το άλλο άκρο του με το DC Motor.

Βάση μηχανισμού

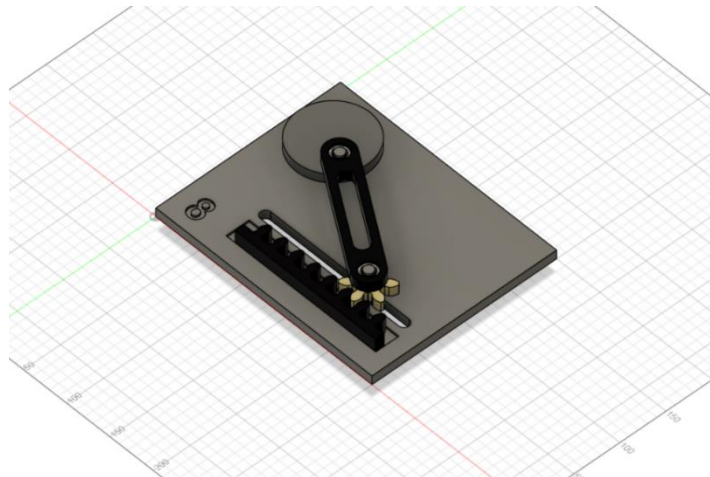


Σχήμα 3.38: Τρισδιάστατη απεικόνιση βάσης μηχανισμού

Το πάχος της βάσης ήταν 10mm. Στη βάση σχεδιάστηκαν δύο ομόκεντρες σπές δύο διαμέτρων. Το άνω τμήμα είχε διάμετρο 26mm και βάθος 8mm, ενώ το κάτω τμήμα είχε διάμετρο 18mm και βάθος 10mm. Η γεωμετρία αυτή εξυπηρετούσε στην υποδοχή τοποθέτησης εδράνου κύλισης με ανακούφιση. Η απόσταση των δύο οπών ήταν 90mm. Υλικό κατασκευής ήταν το MDF.

3.8 Μηχανισμός γραναζιού και σταθερής οδοντωτής ράβδου

Ο μηχανισμός γραναζιού και σταθερής οδοντωτής ράβδου αποτελείται από τον περιστρεφόμενο δίσκο, τον σύνδεσμο, το γρανάτζι, την οδοντωτή ράβδο, τους άξονες και την βάση. Η είσοδος είναι ο περιστρεφόμενος δίσκος και η έξοδος το γρανάτζι.



Σχήμα 3.39: Τρισδιάστατη απεικόνιση μηχανισμού γραναζιού και σταθερής οδοντωτής ράβδου

Στον μηχανισμό σχεδιάστηκαν το γρανάτζι με pitch diameter $d=36\text{mm}$ και η οδοντωτή ράβδος με ύψος αρχικής γραμμής $h=18\text{mm}$. Από τους τύπους (2.19) και (2.20) δόθηκε το a και το L .

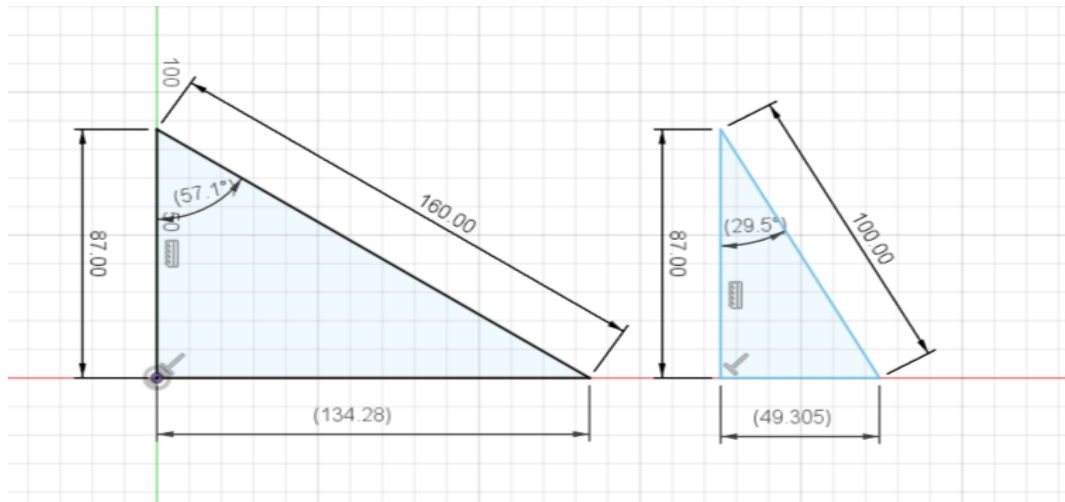
$$a = \frac{d}{2} + h = 36\text{mm}$$

όπου, α ορίζεται η διάκεντρος δηλαδή η απόσταση ανάμεσα στο γρανάζι και την οδοντωτή ράβδο.

$$L = \pi * d = 113,1mm$$

όπου, L ορίζεται το μήκος που διανύει το γρανάζι καθώς περιστρέφεται 360°.

Στη συνέχεια, σχεδιάστηκαν δύο τρίγωνα, τα οποία καθόρισαν την απόσταση που διανύει το γρανάζι.



Σχήμα 3.40: Τρίγωνα απεικόνισης μέγιστης και ελάχιστης απόστασης του γραναζιού από το κέντρο του περιστρεφόμενου δίσκου

Το κατακόρυφο ύψος του γραναζιού από τον περιστρεφόμενο δίσκο ορίζεται με το e και ήταν ίσο με 87mm. Η οριζόντια απόσταση του γραναζιού από τον περιστρεφόμενο δίσκο ορίζεται x_B . Δοθέντος των $r_2=30mm$ και $r_3=130mm$, το μέγιστο και το ελάχιστο x_B δίνεται για γωνίες $\theta_2=-90^\circ+57,1^\circ=-32,9^\circ$ και $\theta_2=90^\circ+29,5^\circ=119,5^\circ$ αντίστοιχα και για μήκη υποτείνουσας $r_2+r_3=160mm$ και $r_3-r_2=100mm$ αντίστοιχα. Από το πυθαγόρειο θεώρημα στα δύο τρίγωνα υπολογίστηκε το $x_{Bmax}=134,28mm$ και το $x_{Bmin}=49,305mm$. Επομένως, το γρανάζι διανύει απόσταση ίση με τη διαφορά του x_{Bmax} και του x_{Bmin} η οποία ισούται με 84,975mm.

Περιστρεφόμενος δίσκος



Σχήμα 3.41: Τρισδιάστατη απεικόνιση περιστρεφόμενου δίσκου

Το πάχος του εξαρτήματος ήταν 10mm και η διάμετρος του 80mm. Σχεδιάστηκαν δύο οπές διαμέτρου 10mm. Η κεντρική οπή ήταν τυφλή βάθους 8mm, ενώ η άλλη διαμπερής με απόσταση $r_2=30\text{mm}$ από την κεντρική οπή. Στην κεντρική οπή τοποθετήθηκε ο άξονας περιστροφής του δίσκου και στην άλλη ο πείρος που περιστρέφει το σύνδεσμο. Υλικό κατασκευής ήταν το MDF.

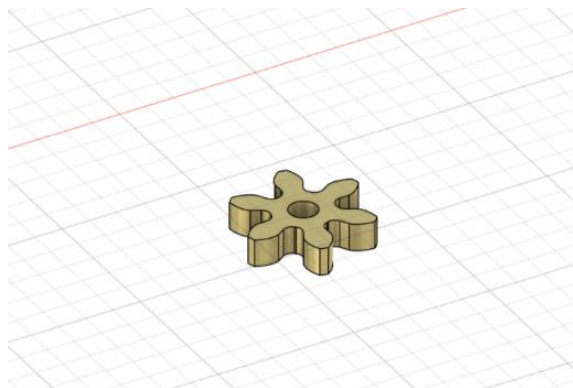
Σύνδεσμος σύζευξης



Σχήμα 3.42: Τρισδιάστατη απεικόνιση συνδέσμου σύζευξης

Ο σύνδεσμος σύζευξης με πάχος 10mm διέθετε δύο ομόκεντρες οπές δύο διαμέτρων. Το άνω τμήμα είχε διάμετρο 26mm και βάθος 8mm, ενώ το κάτω τμήμα διάμετρο 18mm και βάθος 10mm. Η γεωμετρία αυτή εξυπηρετούσε στην υποδοχή τοποθέτησης εδράνων κύλισης με ανακούφιση. Η απόσταση των δύο οπών ήταν ίση με $r_3=130\text{mm}$. Υλικό κατασκευής ήταν το MDF

Γρανάζι

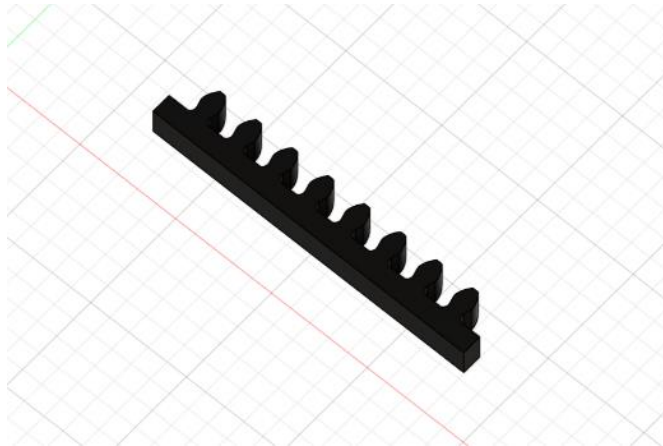


Σχήμα 3.43: Τρισδιάστατη απεικόνιση γραναζιού

Χαρακτηριστικά γραναζιού:

- Pitch diameter $d=36\text{mm}$
- Module: 3mm
- Αριθμός δοντιών $N=6$
- Γωνιά πίεσης: $\alpha=20^\circ$
- Πάχος γραναζιού $=10\text{mm}$
- Υλικό κατασκευής ήταν το MDF
- Εσωτερική διάμετρος (Bore diameter) $=10\text{mm}$

Οδοντωτός κανόνας



Σχήμα 3.44: Τρισδιάστατη απεικόνιση οδοντωτού κανόνα

Κύρια χαρακτηριστικά οδοντωτού κανόνα:

- Ύψος της αρχικής γραμμής του οδοντωτού κανόνα $h=18\text{mm}$
- Module: 3mm
- Αριθμός δοντιών $N=8$
- Γωνιά πίεσης: $\alpha=20^\circ$
- Πάχος οδοντωτού κανόνα $=16\text{mm}$
- Υλικό κατασκευής ήταν το MDF

Άξονες

Σχεδιάστηκαν τρεις άξονες διαμέτρου 10mm με διαφορετικό σημείο τοποθέτησης.

- Ο πρώτος άξονας με μήκος 45,4mm. Το ένα άκρο του συνδέθηκε με την τυφλή οπή του περιστρεφόμενου δίσκου και η άλλη με το DC motor.
- Ο δεύτερος άξονας με μήκος 25mm τοποθετήθηκε στη διαμπερή οπή του περιστρεφόμενου δίσκου και το άλλο του άκρο στο έδρανο κύλισης του συνδέσμου σύζευξης.
- Ο τρίτος άξονας με μήκος 55mm τοποθετήθηκε στο άλλο έδρανο κύλισης του συνδέσμου σύζευξης. Η τοποθέτηση του γραναζιού έγινε σε αυτόν τον άξονα.

Βάση μηχανισμού

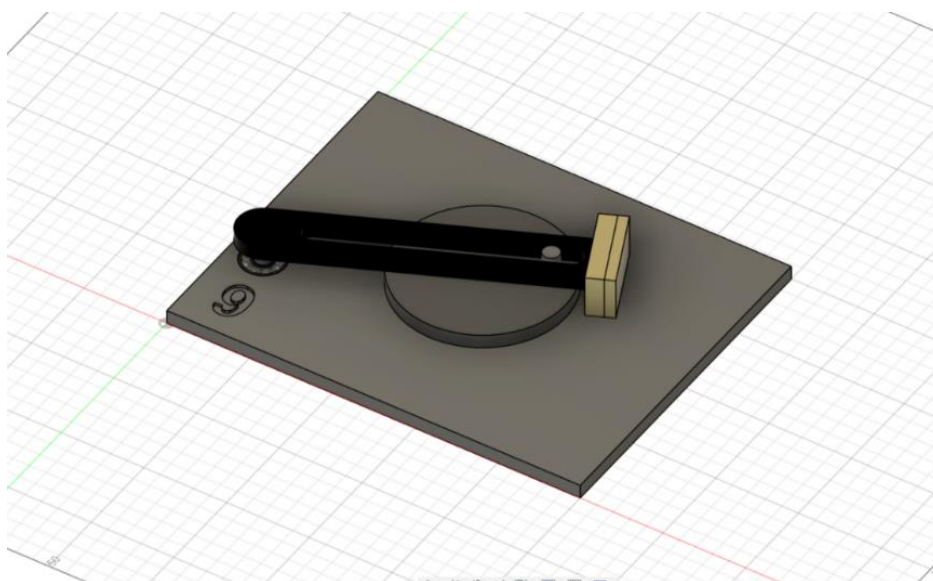


Σχήμα 3.45: Τρισδιάστατη απεικόνιση βάσης μηχανισμού

Το πάχος της βάσης ήταν 10mm. Στη βάση σχεδιάστηκε ομόκεντρη οπή δύο διαμέτρων. Το άνω τμήμα έχει διάμετρο 26 mm και βάθος 8 mm, ενώ το κάτω τμήμα έχει διάμετρο 18 mm και βάθος 10 mm. Η γεωμετρία αυτή εξυπηρετούσε στην υποδοχή τοποθέτησης εδράνου κύλισης με ανακούφιση. Επίσης, δημιουργήθηκε μια θήκη για την τοποθέτηση του οδοντωτού κανόνα και μια διαμπερής εσοχή κατά μήκος του οδοντωτού κανόνα σε απόσταση από αυτόν ίση με $a=36\text{mm}$ με διάμετρο 11mm μέσα στην οποία κινείται ευθύγραμμα ο άξονας του γραναζιού. Η απόσταση των δύο οπών είναι 90mm. Υλικό κατασκευής ήταν το MDF.

3.9 Μηχανισμός σφύρας

Ο μηχανισμός σφύρας αποτελείται από τον περιστρεφόμενο δίσκο, τον σύνδεσμο, τη σφύρα, τους άξονες και τη βάση. Η είσοδος είναι ο περιστρεφόμενος δίσκος και η έξοδος η κίνηση του συνδέσμου με την σφύρα.



Σχήμα 3.46: Τρισδιάστατη απεικόνιση μηχανισμού σφύρας

Περιστρεφόμενος δίσκος

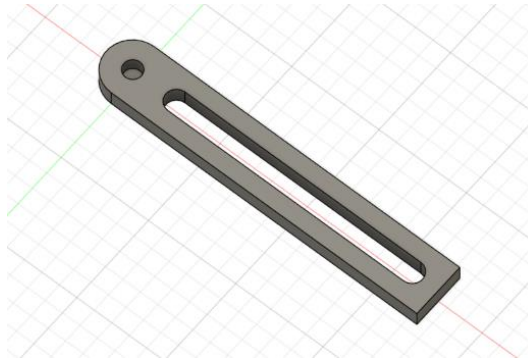


Σχήμα 3.47: Τρισδιάστατη απεικόνιση περιστρεφόμενου δίσκου

Το πάχος του εξαρτήματος ήταν 10mm και η διάμετρός του 100mm. Σχεδιάστηκαν δύο οπές διαμέτρου 10mm. Η κεντρική οπή ήταν τυφλή βάθους 8mm, ενώ η άλλη διαμπερής

με απόσταση 35mm από την κεντρική οπή. Στην κεντρική οπή τοποθετήθηκε ο άξονας περιστροφής του δίσκου και στην άλλη ο πείρος που περιστρέφει το σύνδεσμο. Υλικό κατασκευής ήταν το MDF.

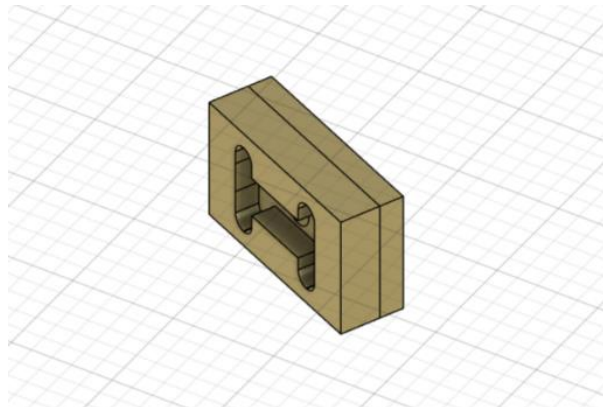
Σύνδεσμος



Σχήμα 3.48: Τρισδιάστατη απεικόνιση συνδέσμου

Το πάχος του εξαρτήματος ήταν 10mm. Στο ένα άκρο του σχεδιάστηκε μια οπή διαμέτρου 10mm και βάθους 8mm. Η απόσταση από το κέντρο της οπής έως το άλλο άκρο ήταν 170mm, ενώ το πλάτος του εξαρτήματος 30mm. Υλικό κατασκευής ήταν το MDF.

Σφύρα



Σχήμα 3.49: Τρισδιάστατη απεικόνιση σφύρας

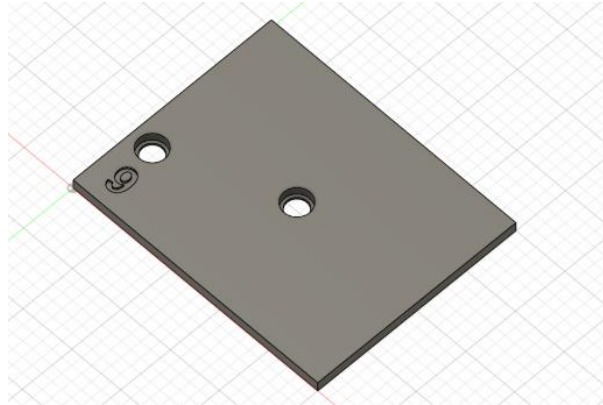
Το πάχος του εξαρτήματος ήταν 16mm. Στη μια πλευρά του εξαρτήματος σχεδιάστηκε μια θήκη τοποθέτησης του συνδέσμου. Υλικό κατασκευής ήταν το MDF.

Άξονες

Σχεδιάστηκαν τρεις άξονες διαμέτρου 10mm με διαφορετικό σημείο τοποθέτησης.

- Ο πρώτος άξονας με μήκος 45,4mm. Το ένα άκρο του συνδέθηκε με την τυφλή οπή του περιστρεφόμενου δίσκου και η άλλη με το DC motor.
- Ο δεύτερος άξονας με μήκος 35mm τοποθετήθηκε στην οπή του συνδέσμου και το άλλο του άκρο στο έδρανο κύλισης της βάσης.
- Ο τρίτος άξονας με μήκος 23mm τοποθετήθηκε στη διαμπερή οπή του περιστρεφόμενου δίσκου.

Βάση μηχανισμού

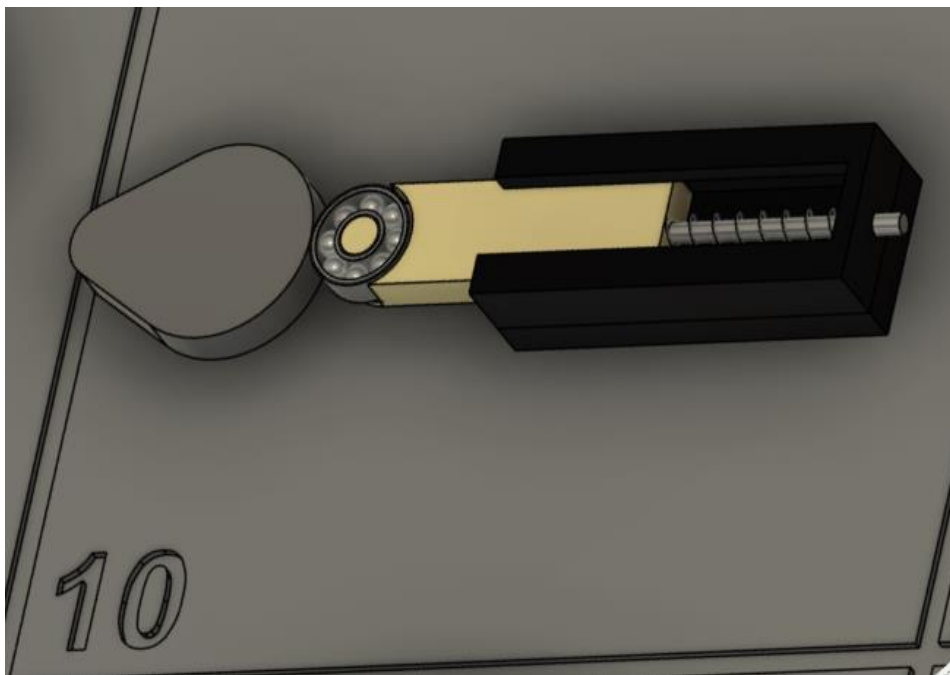


Σχήμα 3.50: Τρισδιάστατη απεικόνιση βάσης μηχανισμού

Το πάχος της βάσης ήταν 10mm. Στη βάση σχεδιάστηκαν δύο ομόκεντρες οπές δύο διαμέτρων. Το άνω τμήμα είχε διάμετρο 26mm και βάθος 8mm, ενώ το κάτω τμήμα διάμετρο 18mm και βάθος 10mm. Η γεωμετρία αυτή εξυπηρετούσε στην υποδοχή τοποθέτησης εδράνου κύλισης με ανακούφιση. Η απόσταση των δύο οπών επηρεάζει την γωνιά στρέψης του συνδέσμου. Υλικό κατασκευής ήταν το MDF.

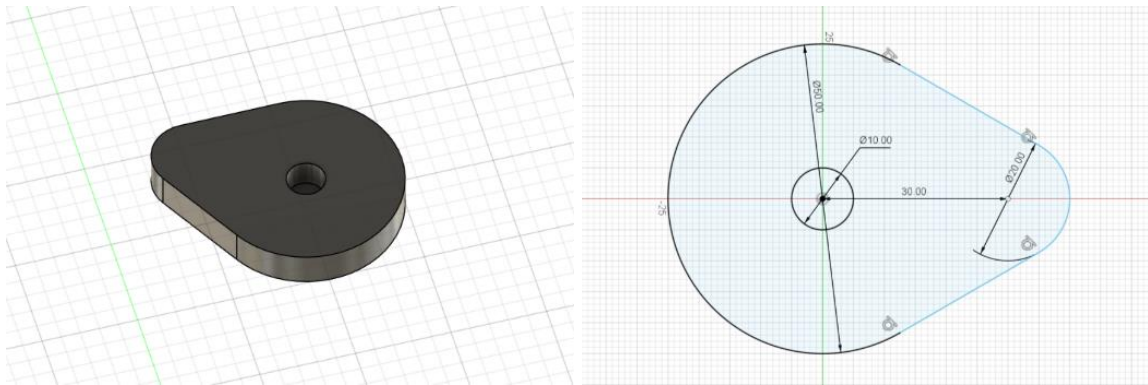
3.10 Cam & follower mechanism with spring return

Ο μηχανισμός Cam & follower mechanism with spring return αποτελείται από τον εκκεντροφόρο, το Follower, το ελατήριο, το πάνω μέρος της θήκης του follower, το κάτω μέρος θήκης, τους άξονες και τη βάση. Η είσοδος είναι ο εκκεντροφόρος και η έξοδος το Follower. Ο σχεδιασμός του εκκεντροφόρου δημιούργησε μια περιοχή ανύψωσης διάρκειας 60 μοιρών, μια περιοχή παραμονής 240 μοιρών και μια περιοχή καθόδου 60 μοιρών.



Σχήμα 3.51: Τρισδιάστατη απεικόνιση cam & follower mechanism with spring return

Εκκεντροφόρος

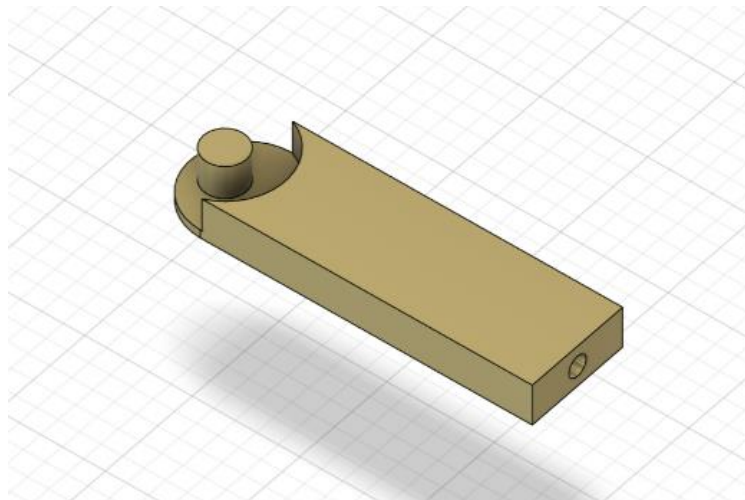


Σχήμα 3.52: Τρισδιάστατη απεικόνιση και σχεδιασμός εκκεντροφόρου

Το πάχος του εξαρτήματος ήταν 10mm. Σχεδιάστηκε οπή διαμέτρου 10mm με βάθος στο κέντρο του κύκλου με διάμετρο 50mm. Στην οπή τοποθετήθηκε ο άξονας περιστροφής του εκκεντροφόρου. Η γεωμετρία του εκκεντροφόρου καθορίζει τις οριακές θέσεις που φτάνει ο Follower. Από τον σχεδιασμό παρατηρείται πως η επαφή του εκκεντροφόρου με το Follower διαδραματίζεται σε τρεις περιοχές.

Στην περιοχή παραμονής, το Follower βρίσκεται στην θέση $x_{\min}=0\text{mm}$. Στην περιοχή ανύψωσης, το x αυξάνεται μέχρι να φτάσει τη μέγιστη τιμή $x_{\max}=15\text{mm}$. Στην περιοχή καθόδου, ξεκινώντας από την τιμή x_{\max} μειώνεται έως ότου φτάσει το $x_{\min}=0\text{mm}$. Υλικό κατασκευής ήταν το MDF.

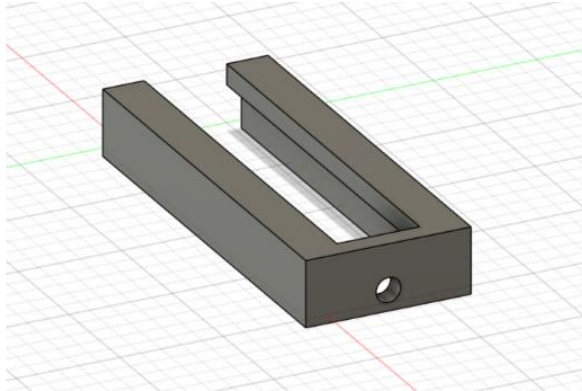
Follower



Σχήμα 3.53: Τρισδιάστατη απεικόνιση follower

Το πάχος και το μήκος του εξαρτήματος ήταν 10mm και 80mm αντίστοιχα. Σχεδιάστηκε μια θήκη με έναν ξύλινο άξονα διαμέτρου 10mm και ύψος 8mm, για την τοποθέτηση εδράνου κύλισης με ανακούφιση. Στο άλλο άκρο του εξαρτήματος δημιουργήθηκε οπή στην πλαϊνή επιφάνεια με διάμετρο 5mm και βάθος 20mm. Σε αυτήν την οπή τοποθετήθηκε κατάλληλος άξονας. Υλικό κατασκευής το MDF.

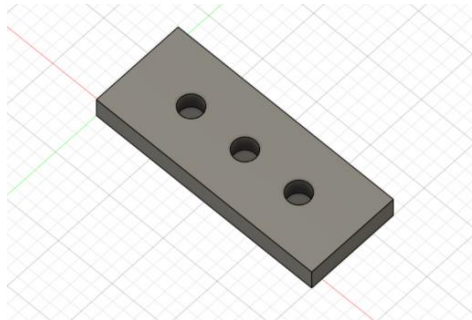
Πάνω μέρος θήκης του follower



Σχήμα 3.54: Τρισδιάστατη απεικόνιση για το πάνω μέρος θήκης του follower

Το πάχος του εξαρτήματος ήταν 16mm. Σχεδιάστηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να διευκολύνει την κίνηση του Follower και ταυτόχρονα να συμβάλλει στην ομαλή ευθύγραμμη κίνηση. Οι ανοχές στο πάχος και στο πλάτος ανάμεσα στο Follower και τη θήκη του ήταν 1mm. Στο εξάρτημα δημιουργήθηκε διαμπερή οπή στην πλαϊνή επιφάνειά του με διάμετρο 6mm. Υλικό κατασκευής ήταν το MDF.

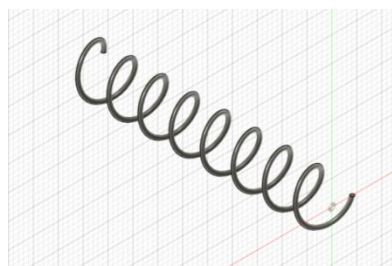
Κάτω μέρος θήκης



Σχήμα 3.55: Τρισδιάστατη απεικόνιση για το κάτω μέρος θήκης του follower

Το πάχος του εξαρτήματος ήταν 10mm. Κοινό πλάτος και μήκος με το πάνω μέρος της θήκης. Στην κάτω επιφάνεια σχεδιάστηκαν τρεις οπές διαμέτρου 10mm και βάθους 8mm, στις οποίες πραγματοποιήθηκε τοποθέτηση αξόνων για τη σύνδεση του κάτω μέρους της θήκης με τη βάση. Υλικό κατασκευής ήταν το MDF.

Ελατήριο πίεσης



Σχήμα 3.56: Τρισδιάστατη απεικόνιση ελατηρίου πίεσης

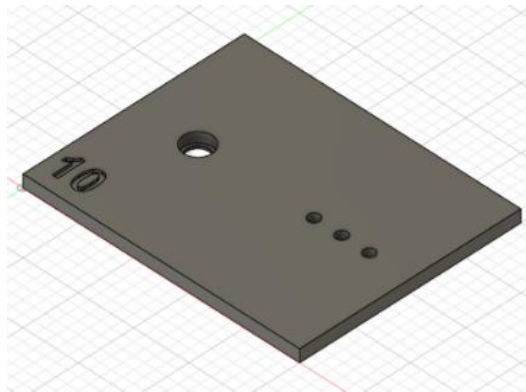
Ο ρόλος του ελατήριου είναι να εφαρμόζει δύναμη ώστε να διατηρεί συνεχή την επαφή ανάμεσα στον εκκεντροφόρο και το Follower. Το ελεύθερο μήκος του ελατηρίου σχεδιάστηκε έτσι ώστε να υπάρχει μόνιμη επαφή και ήταν ίσο με 55mm. Η διάμετρος του σύρματος ήταν ίση με 0.8mm και η εξωτερική διάμετρος 9mm. Το ελατήριο τοποθετήθηκε στον άξονα της πλαϊνής επιφάνειας του Follower. Υλικό ελατηρίου stainless Steel.

Άξονες

Σχεδιάστηκαν πέντε άξονες διαφορετικό σημείο τοποθέτησης.

- Ο πρώτος άξονας με μήκος 55,4mm και διάμετρο 10mm. Το ένα άκρο του συνδέθηκε με την τυφλή οπή του εκκεντροφόρου και η άλλη με το DC motor.
- Ο δεύτερος άξονας με μήκος 80mm και διάμετρο 8mm τοποθετήθηκε στην οπή της πλαϊνής επιφάνειας του Follower.
- Οι επόμενοι τρεις άξονες με μήκος 20mm και διάμετρο 10mm τοποθετήθηκαν στις τυφλές οπές στο κάτω μέρος της θήκης και συνέδεσαν τη θήκη με τη βάση.

Βάση μηχανισμού

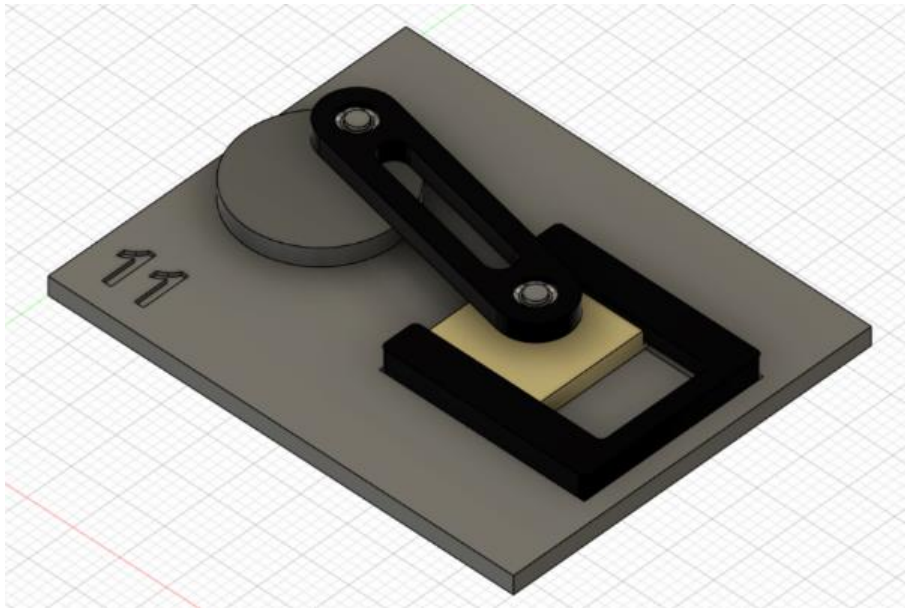


Σχήμα 3.57: Τρισδιάστατη απεικόνιση βάσης μηχανισμού

Το πάχος της βάσης ήταν 10mm. Στη βάση σχεδιάστηκε μια ομόκεντρη οπή δύο διαμέτρων. Το άνω τμήμα είχε διάμετρο 26mm και βάθος 8mm, ενώ το κάτω τμήμα είχε διάμετρο 18mm και βάθος 10mm. Η γεωμετρία αυτή εξυπηρετούσε στην υποδοχή τοποθέτησης εδράνου κύλισης με ανακούφιση. Επίσης, σχεδιάστηκαν τρεις τυφλές οπές διαμέτρου 10mm και βάθους 8mm. Η απόσταση της οπής δυο διαμέτρων από την πρώτη τυφλή οπή στα δεξιά της ήταν ίση με 105mm, ενώ οι τυφλές οπές είχαν απόσταση 25mm μεταξύ τους. Υλικό κατασκευής ήταν το MDF.

3.11 Slider mechanism

Ο μηχανισμός Slider mechanism αποτελείται από τον περιστρεφόμενο δίσκο, τον σύνδεσμο, το έμβολο, τη θήκη του εμβόλου, τους άξονες και τη βάση. Η είσοδος είναι ο περιστρεφόμενος δίσκος και η έξοδος το έμβολο.



Σχήμα 3.58: Τρισδιάστατη απεικόνιση slider mechanism

Το κατακόρυφο ύψος του εμβόλου από τον περιστρεφόμενο δίσκο ορίζεται με το e και είναι ίσο με μηδέν. Η οριζόντια απόσταση του εμβόλου από τον περιστρεφόμενο δίσκο ορίζεται x_B και δίνεται από τον τύπο (2.21). Δοθέντος $r_2=25\text{mm}$ και $r_3=122\text{mm}$, το μέγιστο και το ελάχιστο x_B δίνεται για γωνίες $\theta_2=0^\circ$ και $\theta_2=180^\circ$ αντίστοιχα. Από τον τύπο (2.21) υπολογίστηκε το $x_{B\max}=147\text{mm}$ και το $x_{B\min}=97\text{mm}$. Επομένως, το έμβολο διανύει απόσταση ίση με τη διαφορά $x_{B\max}$ και του $x_{B\min}$ η οποία ισούται με 50mm .

Περιστρεφόμενος δίσκος



Σχήμα 3.59: Τρισδιάστατη απεικόνιση περιστρεφόμενου δίσκου

Το πάχος του εξαρτήματος ήταν 10mm και η διάμετρός του 80mm . Σχεδιάστηκαν δύο οπές διαμέτρου 10mm . Η κεντρική οπή ήταν τυφλή βάθους 8mm , ενώ η άλλη διαμπερής με απόσταση $r_2=25\text{mm}$ από την κεντρική οπή. Στην κεντρική οπή τοποθετήθηκε ο άξονας περιστροφής του δίσκου και στην άλλη ο πείρος που περιστρέφει τον σύνδεσμο. Υλικό κατασκευής ήταν το MDF.

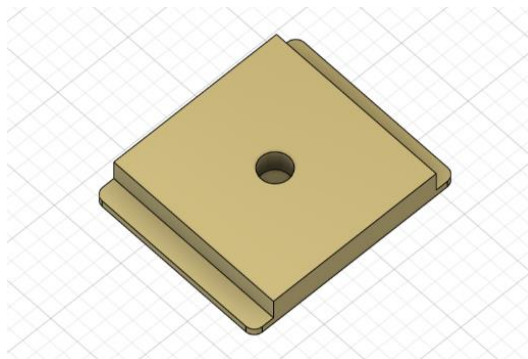
Σύνδεσμος



Σχήμα 3.60: Τρισδιάστατη απεικόνιση συνδέσμου

Ο σύνδεσμος σύζευξης με πάχος 10mm διέθετε δύο ομόκεντρες οπές δύο διαμέτρων. Το άνω τμήμα είχε διάμετρο 26mm και βάθος 8mm, ενώ το κάτω τμήμα έχει διάμετρο 18mm και βάθος 10mm. Η γεωμετρία αυτή εξυπηρετούσε στην υποδοχή τοποθέτησης εδράνων κύλισης με ανακούφιση. Η απόσταση των δύο οπών ήταν ίση με $r_3=122\text{mm}$. Υλικό κατασκευής ήταν το MDF.

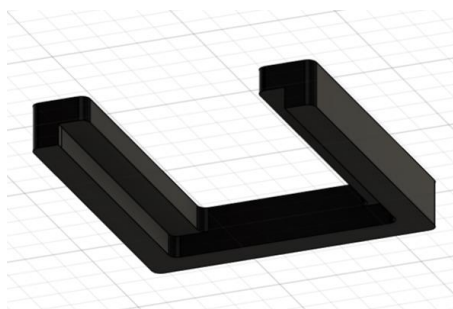
Έμβολο



Σχήμα 3.61: Τρισδιάστατη απεικόνιση εμβόλου

Το εξάρτημα είχε πάχος 10mm. Στο κέντρο δημιουργήθηκε μια τυφλή οπή διαμέτρου 10mm και βάθους 8mm. Περιμετρικά, σε δυο απέναντι πλευρές του εξαρτήματος σχεδιάστηκαν δύο αυλακώσεις βάθους 8mm που στόχο είχαν τη δημιουργία συγκράτησης του εμβόλου εντός της θήκης του. Υλικό κατασκευής το MDF.

Θήκη εμβόλου



Σχήμα 3.62: Τρισδιάστατη απεικόνιση θήκης εμβόλου

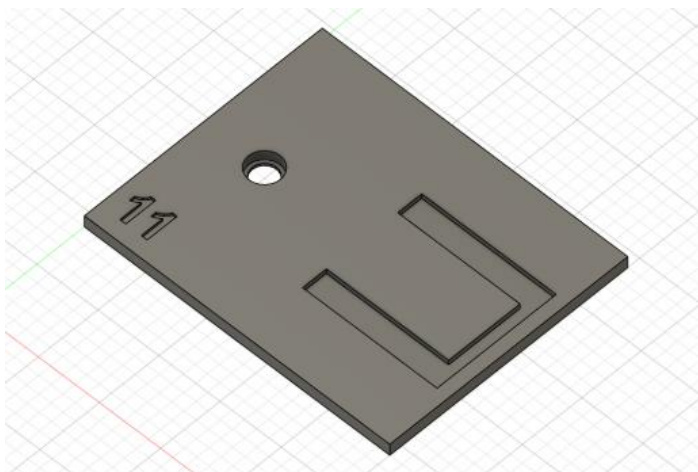
Το πάχος του εξαρτήματος ήταν 16mm. Σχεδιάστηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να διευκολύνει την κίνηση του εμβόλου, ενώ ταυτόχρονα να συμβάλλει στην ομαλή ευθύγραμμη κίνηση. Οι ανοχές στο πάχος και στο πλάτος ανάμεσα στο έμβολο και τη θήκη του ήταν 1mm. Υλικό κατασκευής ήταν το MDF.

Άξονες

Σχεδιάστηκαν τρεις άξονες διαμέτρου 10mm με διαφορετικό σημείο τοποθέτησης.

- Ο πρώτος άξονας με μήκος 47,4mm. Το ένα άκρο του συνδέθηκε με την τυφλή οπή του περιστρεφόμενου δίσκου και η άλλη με το DC motor.
- Ο δεύτερος άξονας με μήκος 23mm τοποθετήθηκε στη διαμπερή οπή του περιστρεφόμενου δίσκου και το άλλο άκρο του στο έδρανο κύλισης του συνδέσμου.
- Ο τρίτος άξονας με μήκος 28mm τοποθετήθηκε στην τυφλή οπή του εμβόλου και το άλλο άκρο στο έδρανο κύλισης του συνδέσμου.

Βάση μηχανισμού

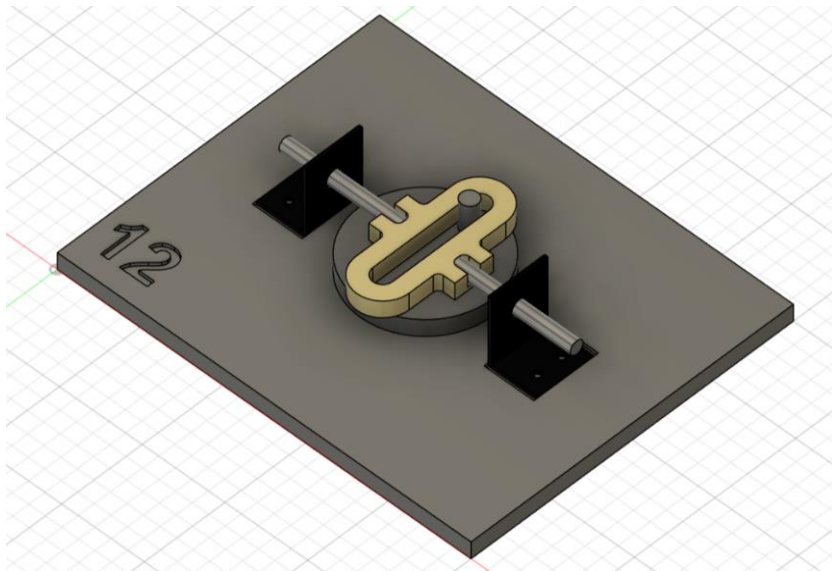


Σχήμα 3.63: Τρισδιάστατη απεικόνιση βάσης μηχανισμού

Το πάχος της βάσης ήταν 10mm. Στη βάση σχεδιάστηκε ομόκεντρη οπή δύο διαμέτρων. Το άνω τμήμα έχει διάμετρο 26mm και βάθος 8mm, ενώ το κάτω τμήμα έχει διάμετρο 18mm και βάθος 10mm. Η γεωμετρία αυτή εξυπηρετούσε στην υποδοχή τοποθέτησης εδράνου κύλισης με ανακούφιση. Επίσης, δημιουργήθηκε μια θήκη για την ακριβή τοποθέτηση της θήκης του εμβόλου με βάθος 2mm. Υλικό κατασκευής ήταν το MDF.

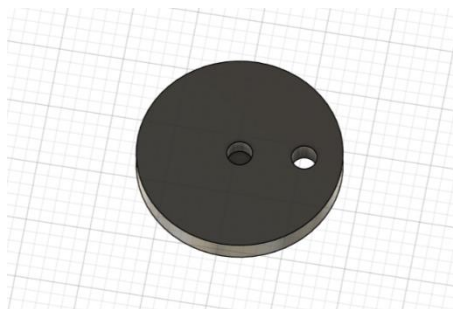
3.12 Μηχανισμός σκωτσέζικου ζυγού

Ο μηχανισμός σκωτσέζικου ζυγού αποτελείται από τον περιστρεφόμενο δίσκο, το έμβολο κίνησης ζυγού, τους άξονες, τις γωνίες στήριξης των συρόμενων αξόνων και τη βάση. Η είσοδος είναι ο περιστρεφόμενος δίσκος και η έξοδος είναι οι συρόμενοι άξονες.



Σχήμα 3.64: Τρισδιάστατη απεικόνιση μηχανισμού σκωτσέζικου ζυγού

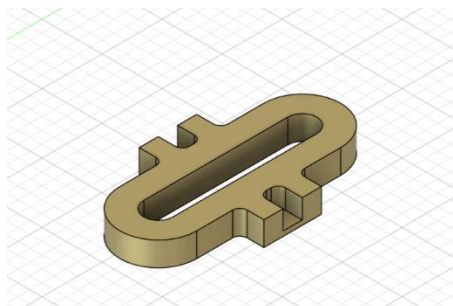
Περιστρεφόμενος δίσκος



Σχήμα 3.65: Τρισδιάστατη απεικόνιση περιστρεφόμενου δίσκου

Το πάχος του εξαρτήματος ήταν 10mm και η διάμετρος του 80mm. Σχεδιάστηκαν δύο οπές διαμέτρου 10mm. Η κεντρική οπή ήταν τυφλή βάθους 8mm, ενώ η άλλη διαμπερής με απόσταση 25mm από την κεντρική οπή. Στην κεντρική οπή τοποθετήθηκε ο άξονας περιστροφής του δίσκου και στην άλλη ο πείρος που περιστρέφει τον ζυγό. Υλικό κατασκευής ήταν το MDF.

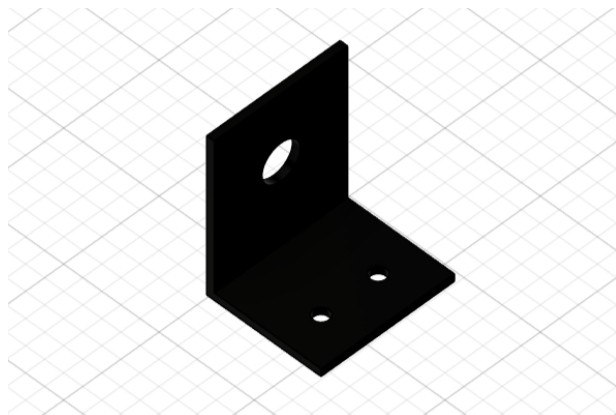
Έμβολο κίνησης ζυγού



Σχήμα 3.66: Τρισδιάστατη απεικόνιση εμβόλου κίνησης ζυγού

Το εξάρτημα είχε πάχος 10mm. Ο σχεδιασμός του ήταν κατάλληλος για την τοποθέτηση των δυο συρόμενων αξόνων στα άκρα του άλλα και η επαφή με τον άξονα που θα οδηγεί τον ζυγό να είναι λειτουργική. Υλικό κατασκευής το MDF.

Γωνιά στήριξης συρόμενων αξόνων



Σχήμα 3.67: Τρισδιάστατη απεικόνιση γωνιάς στήριξης συρόμενων αξόνων

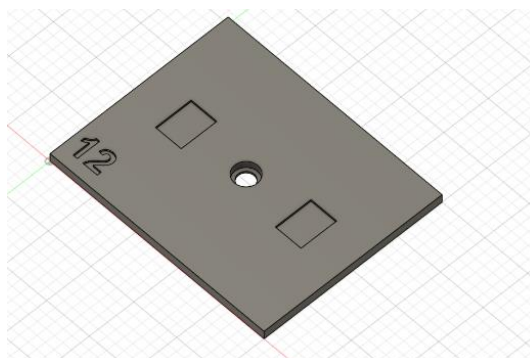
Η συγκεκριμένη γωνία παρουσίαζε δύο διαμπερείς οπές διαμέτρου 4,5mm στη βάση της, από τις οποίες οι γωνίες βιδώθηκαν επάνω στη βάση του μηχανισμού και μια διαμπερή οπή διαμέτρου 10mm στην άλλη επιφάνειά της. Το υλικό κατασκευής ήταν λαμαρίνα πάχους 2mm με κατεργασία σε στράντζα.

Άξονες

Σχεδιάστηκαν τέσσερις άξονες διαφορετικό σημείο τοποθέτησης.

- Ο πρώτος άξονας με μήκος 45,4mm και διάμετρο 10mm. Το ένα άκρο του συνδέθηκε με την τυφλή οπή του περιστρεφόμενου δίσκου και η άλλη με το DC motor.
- Ο δεύτερος άξονας με μήκος 25mm και διάμετρο 10mm τοποθετήθηκε στη διαμπερή οπή του περιστρεφόμενου δίσκου.
- Οι επόμενοι δυο συρόμενοι άξονες με μήκος 72mm και διάμετρο 8mm τοποθετήθηκαν στα άκρα του ζυγού κίνησής του και εντός των οπών με διαμέτρου 10mm των γωνιών στήριξης.

Βάση μηχανισμού

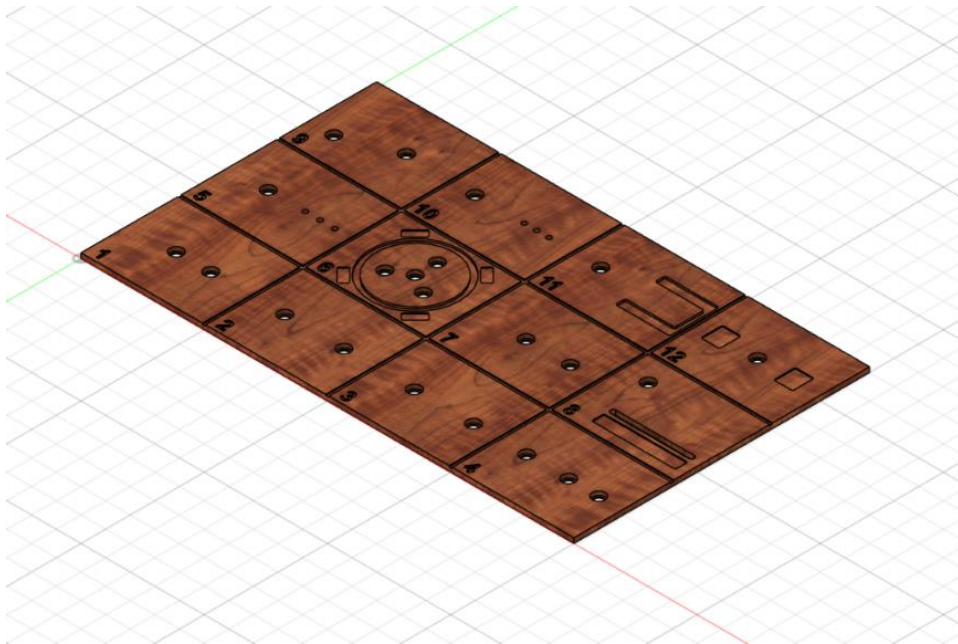


Σχήμα 3.68: Τρισδιάστατη απεικόνιση βάσης μηχανισμού

Το πάχος της βάσης ήταν 10mm. Στη βάση σχεδιάστηκε ομόκεντρη οπή δύο διαμέτρων. Το άνω τμήμα έχει διάμετρο 26mm και βάθος 8mm, ενώ το κάτω τμήμα έχει διάμετρο 18mm και βάθος 10mm. Η γεωμετρία αυτή εξυπηρετούσε στην υποδοχή τοποθέτησης εδράνου κύλισης με ανακούφιση. Επίσης, δημιουργήθηκαν δύο θήκες σε κατάλληλη απόσταση μεταξύ τους για την ακριβή τοποθέτηση των γωνιών στήριξης με βάθος 2mm. Υλικό κατασκευής ήταν το MDF.

3.13 Πίνακας τοποθέτησης μηχανισμών

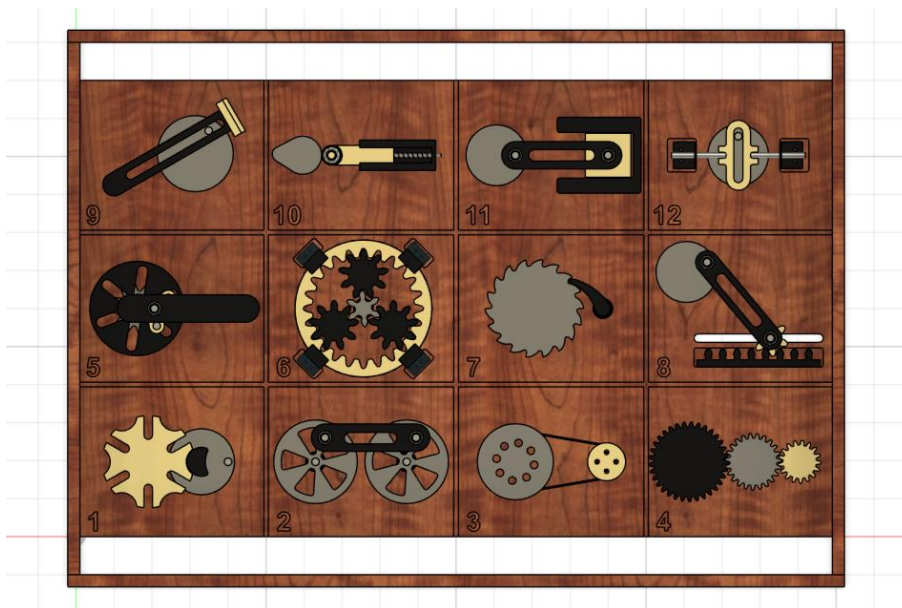
Με το πέρας του σχεδιασμού των μηχανισμών, σχεδιάστηκε ένας ενιαίος πίνακας ο οποίος ουσιαστικά ήταν ένας πίνακας που είχε ενώσει όλες τις βάσεις των μηχανισμών σε μια ενιαία βάση. Το πάχος του ήταν 10mm και έφερε αυλακώσεις βάθους 2mm που στόχο είχαν να ξεχωρίζουν τους μηχανισμούς. Επιπλέον, η βάση μηχανισμού ήταν αριθμημένη έτσι ώστε να διευκολυνθεί η διαδικασία τοποθέτησης των μηχανισμών.



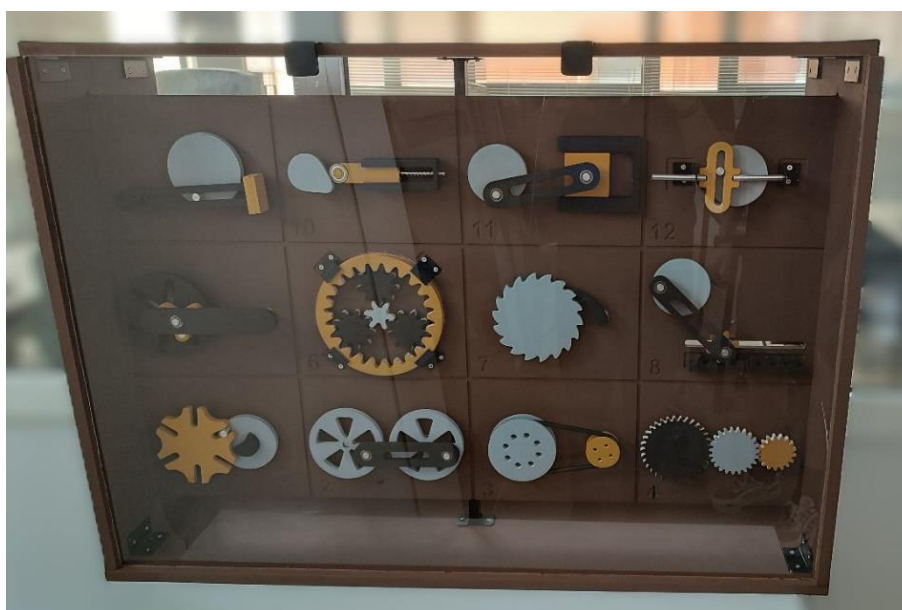
Σχήμα 3.69: Τρισδιάστατη απεικόνιση πίνακα τοποθέτησης μηχανισμών

4. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ, ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΜΗΧΑΝΙΣΜΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρουσιάζεται η ανάπτυξη ενός πίνακα, ο οποίος θα αναπαριστά όλους τους μηχανισμούς μετάδοσης κίνησης που αναφέρθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζει αναλυτικά τη διαδικασία μετατροπής του θεωρητικού σχεδίου (που δημιουργήθηκε στο FUSION 360) σε ένα σύνολο φυσικών και λειτουργικών μηχανισμών. Στη συνέχεια αποτυπώνονται δυο σχήματα που παρουσιάζουν το θεωρητικό σχέδιο, καθώς και το τελικό μοντέλο της κατασκευής.



Σχήμα 4.1: Θεωρητικό σχέδιο πίνακα με τους μηχανισμούς μετάδοσης κίνησης στο Fusion 360



Σχήμα 4.2: Τελικό μοντέλο κατασκευής μηχανισμών μετάδοσης κίνησης

4.1 Κατεργασία κοπής εξαρτημάτων με CNC Router

Το υλικό που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή των εξαρτημάτων είναι το ξύλο.

Ειδικότερα, χρησιμοποιήθηκε ξύλο MDF (Medium Density Fiberboard) πάχους 10mm και 16mm. Οι λόγοι επιλογής του συγκεκριμένου υλικού αναφέρονται παρακάτω:

- Το MDF είναι ένα υλικό το οποίο διαθέτει εύκολη επεξεργασία κατά τη διαδικασία κοπής και λείανσης των εξαρτημάτων.
- Οι διαστάσεις του δεν μεταβάλλονται σύμφωνα με τις αλλαγές της υγρασίας σε αντίθεση με το φυσικό ξύλο.
- Είναι οικονομικότερο σε σχέση με άλλα υλικά.
- Το MDF αποτελεί ένα ιδανικό υλικό για βαφή καθώς η απορροφητικότητα του δημιουργεί επαγγελματικό αποτέλεσμα.

Η διαδικασία κοπής έγινε με CNC ROUTER, ένα μηχάνημα υψηλής ακρίβειας κοπής. Τα 3D σχέδια που κατασκευάστηκαν στο FUSION 360 εξήχθησαν σε κατάλληλη μορφή για CAM, με στόχο τη δημιουργία διαδρόμων στα εργαλεία κοπής.

Τα εργαλεία κοπής που χρησιμοποιήθηκαν ήταν κονδύλια (end mills) διαμέτρου 6mm και 3mm. Η επιλογή του κοπτικού έγινε σύμφωνα με τη γεωμετρία του κάθε εξαρτήματος. Μερικά εξαρτήματα απαιτούσαν 1.5mm ακτίνα καμπύλης, η οποία χρειαζόταν εργαλείο κοπής με μέγιστη διάμετρο 3mm, ενώ τα υπόλοιπα εξαρτήματα απαιτούσαν μεγαλύτερες ακτίνες καμπύλης (3mm και άνω) όπου ένα κοπτικό εργαλείο με διάμετρο 6mm, ικανοποιούσε αυτές τις ανάγκες και ταυτόχρονα μείωνε τον χρόνο κατεργασίας κοπής.

Η παράμετροι κοπής για το CNC Router αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα:

Παράμετροι	Τιμές
Ταχύτητα περιστροφής	10.000 rpm
Πρόωση	2000-2500 mm/min
Βάθος κοπής (per pass)	4 mm

Πίνακας 4.1: Παράμετροι κοπής για CNC router

Κατά την κοπή υπήρχε πάντα ο κίνδυνος αποκόλλησης ή μετακίνησης του ξύλινου εξαρτήματος. Για αυτόν τον λόγο ήταν σημαντική η χρήση tabs (μικρές συνδέσεις ανάμεσα στο φύλλο MDF και στο εξάρτημα), που στόχο είχαν να συγκρατούν τα κομμάτια στη θέση τους και να εξασφαλίζουν μια ομαλή και αποτελεσματική κατεργασία.

Τα επόμενα βήματα για την εκτέλεση της διαδικασίας ήταν:

1. Τοποθέτηση του φύλλου MDF στο τραπέζι του CNC Router. Για να παραμείνει σταθερό το φύλλο επάνω στο τραπέζι χρησιμοποιήθηκαν ξυλόβιδες με στόχο τη δημιουργία σταθερότητας.
2. Χειροκίνητος μηδενισμός του άξονα Z.
3. Έναρξη της κατεργασίας από το λογισμικό ελέγχου.
4. Επαναληπτικές κοπές του κοπτικού εργαλείου βάθους 4mm.
5. Αφαίρεση των εξαρτημάτων και του φύλλου από το τραπέζι μετά την ολοκλήρωση της κατεργασίας.
6. Λείανση των εξαρτημάτων με πολύ λεπτό γυαλόχαρτο.

Η παραπάνω διαδικασία αντικατοπτρίζει τη διαδρομή από το θεωρητικό σχέδιο του Fusion 360 στο φυσικό αντικείμενο. Τα τελικά αποτελέσματα της κατεργασίας κοπής στο CNC Router αποτυπώνονται στα σχήματα που ακολουθούν.



Σχήμα 4.3: Ολοκλήρωση κατεργασίας εξαρτημάτων σε CNC Router



Σχήμα 4.4: Ολοκλήρωση κατεργασίας πίνακα τοποθέτησης μηχανισμών σε CNC Router

4.2 Προστασία ξύλου MDF και βαφή

Μετά την ολοκλήρωση της προηγούμενης κατεργασίας, ακολούθησε η αισθητική αναβάθμιση της κατασκευής και η προστασία του ξύλου από φθορές. Ένα από τα μειονεκτήματα του MDF είναι η ευαισθησία στην υγρασία. Η αισθητική αναβάθμιση πραγματοποιήθηκε με τη βαφή. Πριν το στάδιο της βαφής ήταν απαραίτητο το στάδιο της προεργασίας προκειμένου να αυξηθεί η αντοχή του ξύλου στην υγρασία.

Η διαδικασία της προεργασίας περιλάμβανε το τρίψιμο με γυαλόχαρτο και το αστάρωμα των επιφανειών. Στόχος του τριψίματος ήταν η δημιουργία λείας επιφάνειας στο ξύλο και η αφαίρεση γρεζιών και ατελειών από την κοπή με λεπτό γυαλόχαρτο. Για το αστάρωμα των επιφανειών χρησιμοποιήθηκε αστάρι νερού. Η εφαρμογή του έγινε με πινέλο και στόχος του ήταν η αύξηση της αντοχής στην υγρασία και η βελτίωση του αποτελέσματος της βαφής. Τέλος, τα εξαρτήματα τρίφτηκαν ξανά με λεπτό γυαλόχαρτο για τη λείανση των επιφανειών.



Σχήμα 4.5: Αστάρωμα επιφανειών στα εξαρτήματα



Σχήμα 4.6: Αστάρωμα επιφανειών πίνακα τοποθέτησης μηχανισμών

Το επόμενο στάδιο ήταν η βαφή των εξαρτημάτων και του πίνακα. Πραγματοποιήθηκε κατάλληλη επιλογή χρωμάτων ώστε να γίνει όσο το δυνατόν πιο εμφανής η λειτουργία των μηχανισμών μετάδοσης κίνησης. Τα χρώματα που επιλέχθηκαν ήταν χρώματα νερού και οι αποχρώσεις τους ήταν το μαύρο, το γκρι, η ώχρα και το καφέ. Με το γκρι συμβολίζονται όλα τα εξαρτήματα τα οποία είναι άμεσα συνδεδεμένα με το DC Motor. Με το καφέ είναι βαμμένος ο πίνακας τοποθέτησης των μηχανισμών και ο σκελετός της κατασκευής. Τα εξαρτήματα που έχουν χρώμα μαύρο και ώχρα και δεν εμφανίζουν κάποια εξειδίκευση, όπως τα γκρι, ενώ ο ρόλος του χρώματός τους είναι καθαρά

αισθητικός. Η βαφή ολοκληρώθηκε σε δύο στρώσεις με διαφορά τεσσάρων ωρών με στόχο τη βέλτιστη αποτύπωση των χρωμάτων.



Σχήμα 4.7: Τελικό βάψιμο των εξαρτημάτων

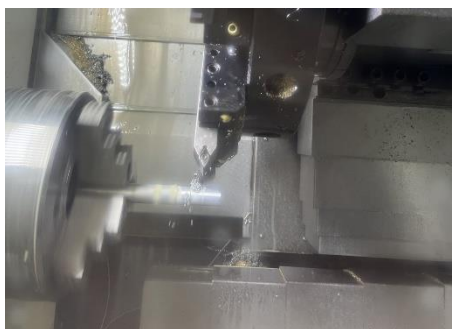


Σχήμα 4.8: Τελικό βάψιμο του πίνακα και του σκελετού της κατασκευής

Με το πέρας της παραπάνω διαδικασίας έγινε επιθεώρηση όλων των εξαρτημάτων για τυχόν ατέλειες. Όσα εξαρτήματα παρουσίαζαν ελαττώματα βάφτηκαν εκ νέου.

4.3 Κατασκευή αξόνων αλουμινίου

Η ανάγκη για υψηλή ακρίβεια στη λειτουργία των μηχανισμών, έκρινε απαραίτητη την επιλογή κατασκευής αξόνων αλουμινίου. Για αυτόν τον λόγο, πραγματοποιήθηκε αγορά άξονα αλουμινίου 3m και Φ 20mm. Ο παραπάνω άξονας υποβλήθηκε σε τόννευση. Η υλοποίηση της κατεργασίας τόννευσης πραγματοποιήθηκε στο κέντρο τόννευσης CTX 301 eco, που βρίσκεται στο εργαστήριο Μικροκοπής και Κατασκευαστικής Προσομοίωσης (m3) του Πολυτεχνείου Κρήτης. Η χρήση CNC τόννου παρέχει υψηλή ακρίβεια κατασκευής στο τελικό αποτέλεσμα και μείωση του χρόνου παραγωγής.



Σχήμα 4.9: Κατεργασία τόννευσης άξονα

Τα πλεονεκτήματα χρήσης άξονα αλουμινίου είναι:

- Το χαμηλό βάρος.
- Η εύκολη κατεργασία.
- Η καλή εμφάνιση με λείες επιφάνειες.
- Η αντοχή στη διάβρωση.

Πριν την κατεργασία τόννευσης, ο άξονας αλουμινίου κόπηκε σε 12 ισομήκη κομμάτια, όπου κάθε κομμάτι είχε μήκος 25cm. Αυτή η διαδικασία κοπής πραγματοποιήθηκε στη μηχανή BS-250GA Band Saw του εργαστηρίου Μικροκοπής και Κατασκευαστικής Προσομοίωσης (m3) και ο στόχος ήταν η μείωση του μήκους του άξονα, έτσι ώστε η τοποθέτησή του να είναι ευκολότερη μέσα στον τόρνο. Στη συνέχεια, τα 12 κομμάτια υπέστησαν κατεργασία στον τόρνο έως ότου γίνει η κατεργασία σε όλους τους άξονες που ήταν απαραίτητοι σύμφωνα με καθορισμένες προδιαγραφές. Οι απαιτούμενες προδιαγραφές αφορούσαν συγκεκριμένο πάχος και μήκος του άξονα. Συνολικά, 50 άξονες από αλουμίνιο υπέστησαν κατεργασία. Όλοι οι άξονες σχεδιάστηκαν με ακρίβεια στο λογισμικό Fusion 360 πριν την κατασκευή τους.

Διάμετρος (mm)	Μήκος (mm)	Ποσότητα (τεμάχια)
10	35	1
10	45,4	7
10	25	3
10	23	9
8	72	2
10	22	2
10	42,4	2
10	20	13
10	33	1
10	55	4
10	30	1
10	52,4	1
10	47,4	1
10	28	1
10	54,4	1
5	85	1
		Σύνολο: 50

Πίνακας 4.2: Χαρακτηριστικά αξόνων



Σχήμα 4.10: Άξονες

4.4 Συναρμολόγηση

Το επόμενο στάδιο της κατασκευαστικής διαδικασίας ήταν η συναρμολόγηση, η οποία αποτέλεσε ένα καθοριστικό στάδιο για την ομαλή λειτουργία των μηχανισμών μετάδοσης κίνησης.

4.4.1 Συναρμολόγηση μηχανισμών

Το πρώτο βήμα της συναρμολόγησης ήταν η τοποθέτηση και συγκόλληση των εδράνων κύλισης μέσα στις οπές του πίνακα με κατάλληλη κόλλα. Επίσης, το συγκεκριμένο έδρανο κύλισης χρησιμοποιήθηκε σε μερικά εξαρτήματα με στόχο την ικανότητα περιστροφής του εξαρτήματος γύρω από άξονα.



Σχήμα 4.11: Πίνακας τοποθέτησης μηχανισμών με έδρανα κύλισης



Σχήμα 4.12: Εξαρτήματα με έδρανα κύλισης

Το έδρανο κύλισης που επιλέχθηκε ήταν τύπου 6000z, που διαθέτει εξωτερική διάμετρο 26mm, διάμετρο οπής 10mm και έχει πάχος 8mm. Η χρήση εδράνων κύλισης διευκόλυνε την περιστροφή των αξόνων, μειώνοντας της τριβές που θα είχαν δημιουργηθεί στον άξονα σε περίπτωση επαφής με το ξύλο. Ταυτόχρονα, εξασφάλιζε σταθερότητα στον άξονα και συνέβαλε στην ομαλή λειτουργία του μηχανισμού.

Το επόμενο βήμα ήταν η τοποθέτηση των αξόνων σε κατάλληλο ύψος μέσα στα έδρανα κύλισης, στις οπές του πίνακα και σε ορισμένα εξαρτήματα σύμφωνα με το θεωρητικό σχέδιο που σχεδιάστηκε στο Fusion 360. Οι άξονες έπρεπε να ήταν κάθετοι ως προς το σημείο τοποθέτησής τους και στη συνέχεια να συγκολλούνται. Οι άξονες που είχαν άμεση επαφή με το DC Motor, εξαιρέθηκαν από τη συγκόλληση και ρυθμίστηκαν σε κατάλληλο ύψος σύμφωνα με το ύψος που βρισκόταν το DC Motor.

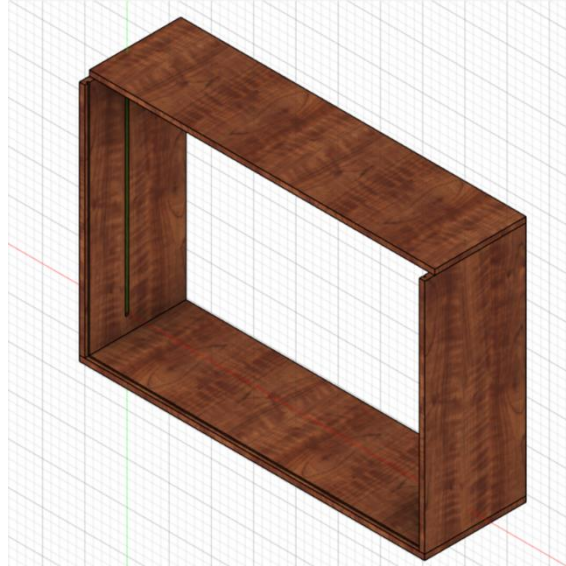
Ολοκληρώνοντας τα προηγούμενα βήματα, τα εξαρτήματα ήταν έτοιμα προς τοποθέτηση. Κάθε εξάρτημα απαιτούσε διαφορετικό ύψος τοποθέτησης, σύμφωνα με το θεωρητικό σχέδιο, ενώ παράλληλα η εφαρμογή του στους άξονες ήταν αναγκαίο να είναι κάθετη. Όταν πληρούνταν οι παραπάνω απαιτήσεις, τότε τα εξαρτήματα συγκολλούνταν στους άξονες. Σε αυτό το σημείο, παρουσιάζεται η σταδιακή τοποθέτηση των εξαρτημάτων επάνω στον πίνακα.



Σχήμα 4.13: Σταδιακή εξέλιξη τοποθέτησης μηχανισμών

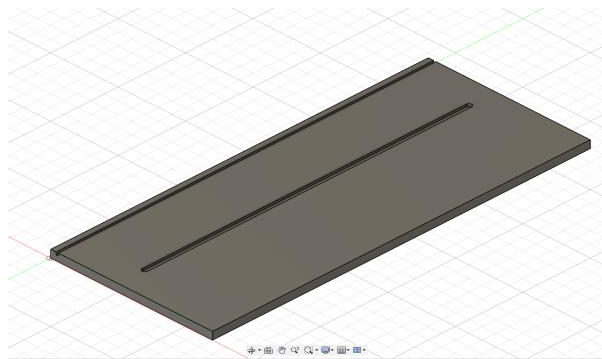
4.4.2 Συναρμολόγηση σκελετού

Ο ρόλος του μοντέλου κατασκευής ήταν η επίδειξη των μηχανισμών μετάδοσης κίνησης. Ως εκ τούτου, ήταν σημαντικό ο σκελετός της κατασκευής να είναι πλήρως σταθερός. Το ξύλο του σκελετού είχε πάχος 16mm. Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται ο σκελετός της κατασκευής που σχεδιάστηκε στο FUSION 360.

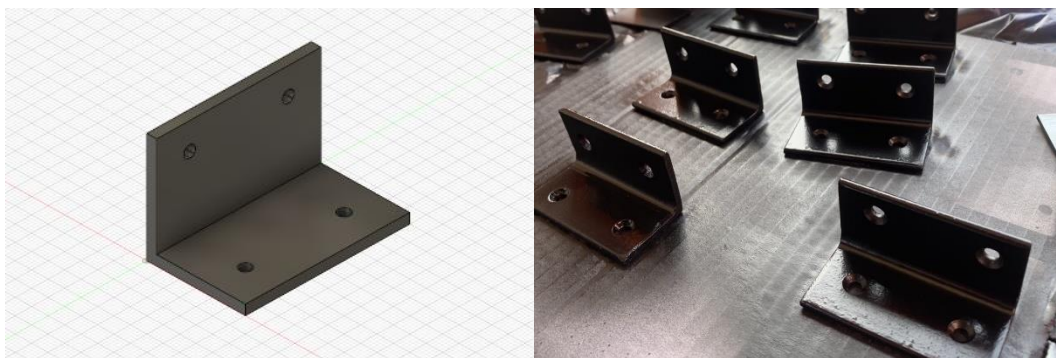


Σχήμα 4.14: Σχέδιο 3D σκελετού κατασκευής στο FUSION 360

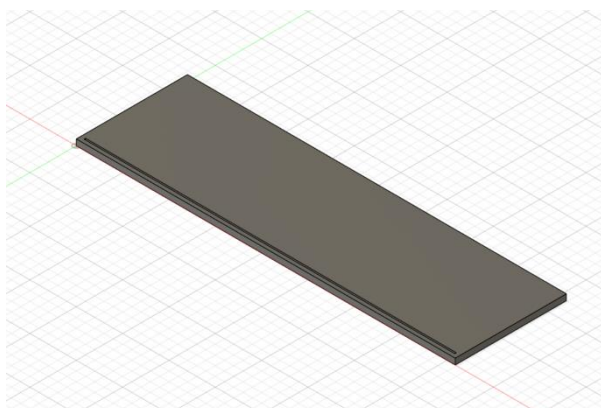
Η δεξιά και η αριστερή στήριξη διαθέτει μια εσοχή βάθους 5mm, μήκους 600mm και πλάτους 10mm. Δηλαδή, σχεδιάστηκε μια θήκη μέσα στην οποία εφάρμοζε ακριβώς ο πίνακας και στόχο είχε την ευθύγραμμη σύνδεσή του ως προς τον σκελετό. Επιπλέον, δημιουργήθηκε ένα αυλάκι πλάτους 4mm και βάθους 5mm στα τοιχώματα της δεξιάς, της αριστερής και της κάτω στήριξης. Σε αυτό το αυλάκι, τοποθετήθηκε ένα φύλλο ακρυλικό πλαστικό (PMMA) πάχους 2.5mm και διαστάσεις 705mm*1005mm, γνωστό ως πλεξιγκλάς. Ο ρόλος του πλεξιγκλάς ήταν να συνεισφέρει στην ηχομονωτική προστασία έναντι του θορύβου που παρήγαγαν οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος (DC), διασφαλίζοντας παράλληλα την προστασία των μηχανισμών. Τέλος, όλα τα επιμέρους στοιχεία της κατασκευής συνδέθηκαν μέσω κατάλληλων μεταλλικών γωνιών, οι οποίες τοποθετήθηκαν στα σημεία επαφής των δομικών μερών και στερεώθηκαν με βίδες.



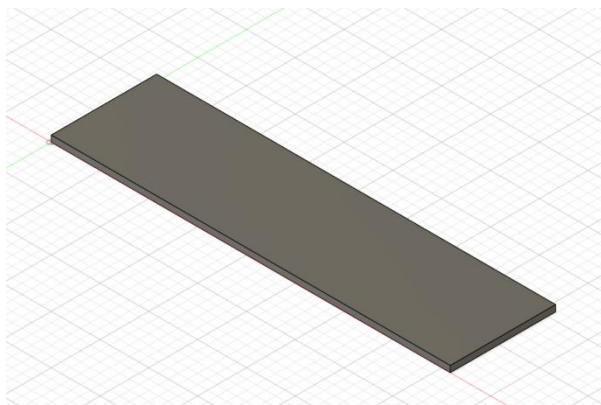
Σχήμα 4.15: Δεξιό, αριστερό μέρος σκελετού (Διαστάσεις: 700mm*300mm*16mm)



Σχήμα 4.16: Μεταλλική γωνία σύνδεσης



Σχήμα 4.17: Κάτω μέρος σκελετού (Διαστάσεις: 1022mm*300mm*16mm)



Σχήμα 4.18: Πάνω μέρος σκελετού (Διαστάσεις: 1022mm*270mm*16mm)

4.5 Εγκατάσταση και λειτουργία κινητήρων συνεχούς ρεύματος (DC)

Η χρήση κινητήρων συνεχούς ρεύματος κρίθηκε αναγκαία για την αναπαράσταση της λειτουργίας των μηχανισμών μετάδοσης κίνησης. Τοποθετήθηκαν 12 ίδια DC motor, ένα για κάθε μηχανισμό. Στο συγκεκριμένο υποκεφάλαιο, περιγράφεται η διαδικασία εγκατάστασης των κινητήρων συνεχούς ρεύματος στο μοντέλο κατασκευής.

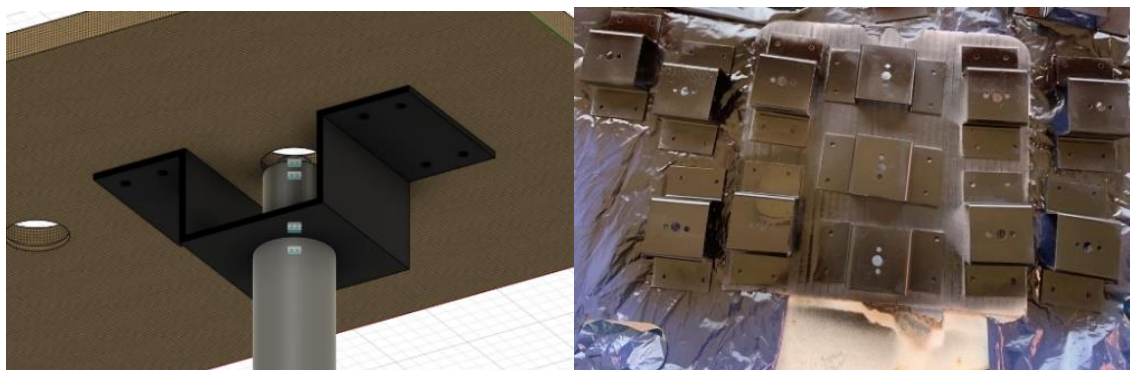
Το μοτέρ που επιλέχθηκε ήταν το 25GA-370-12V-16RPM. Για τη μετάδοση κίνησης στους συγκεκριμένους μηχανισμούς επίδειξης, απαιτούνται χαρακτηριστικά όπως η χαμηλή

ταχύτητα περιστροφής και η υψηλή ροπή εξόδου, που ικανοποιούνται για το παραπάνω μοτέρ.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΤΙΜΕΣ
Ονομαστική τάση	12V
Ταχύτητα εξόδου	16rpm
Διάμετρος μοτέρ	25mm
Διάμετρος άξονα	4mm
Τύπος μοτέρ	Brushed DC motor
Current (Stall)	1,2A
Υλικό γραναζιών	Μεταλλικά
Gearbox Ratio	377:1
Ροπή	24kg*cm

Πίνακας 4.3: Τεχνικά χαρακτηριστικά για το μοτέρ 25GA-370-12V-16RPM

Η σύνδεση του μοτέρ με τον πίνακα (ενιαία βάση μηχανισμών) και με τον άξονα κάθε επιμέρους μηχανισμού υλοποιήθηκε σε δυο διακριτά βήματα. Το πρώτο βήμα ήταν ο σχεδιασμός και η κατασκευή βάσης στήριξης για το μοτέρ, έτσι ώστε να ενσωματωθεί ορθά επάνω στον πίνακα. Με τη βοήθεια του λογισμικού FUSION 360 δημιουργήθηκε ένα ASSEMBLY για τη σύνδεση του μοτέρ με τον μηχανισμό. Από αυτό το Assembly εκτιμήθηκε η διαστασιολόγηση της βάσης. Η ένωση του μοτέρ με τη βάση έγινε με βίδες κατάλληλων διαστάσεων, ενώ με τον ίδιο τρόπο πραγματοποιήθηκε η ένωση της βάσης με τον πίνακα. Το δεύτερο βήμα ήταν η ένωση των 2 αξόνων (άξονα μηχανισμού με άξονα μοτέρ). Οι δυο άξονες ενώθηκαν με χρήση Shaft Coupler 4mm-10mm, με στόχο την ευθυγράμμιση και ασφαλή μετάδοση της κίνησης..



Σχήμα 4.19: Θεωρητικό σχέδιο Assembly και το τελικό αποτέλεσμα της βάσης



Σχήμα 4.20: Ολοκλήρωση της τοποθέτησης κινητήρων συνεχούς ρεύματος (DC)

Το επόμενο στάδιο της εγκατάστασης ήταν η κατάλληλη επιλογή τροφοδοτικού. Το τροφοδοτικό έπρεπε να είναι 12V (ίδιος αριθμός Volt με τις προδιαγραφές του κινητήρα). Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος μπορούν να συνδεθούν είτε σε σειρά είτε παράλληλα. Επιλέγεται η παράλληλη σύνδεση, διότι διασφαλίζει την ομοιόμορφη τάση λειτουργίας σε όλα τα μοτέρ, και αποτρέπει τη μείωση της απόδοσης όταν ένα από τα μοτέρ αυξάνει την κατανάλωση ρεύματος. Το ρεύμα (Current stall) ήταν 1.2A για κάθε μοτέρ, το οποίο συμβολίζει τη μέγιστη κατανάλωση του κινητήρα όταν είναι μπλοκαρισμένος. Αντίθετα, σε κανονική συνεχή λειτουργία το ρεύμα κατανάλωσης του μοτέρ είναι πολύ λιγότερο. Επομένως, το τροφοδοτικό που επιλέχθηκε έπρεπε να υποστηρίζει το κύκλωμα στο χειρότερο σενάριο. Το χειρότερο σενάριο είναι όταν όλα τα μοτέρ είναι μπλοκαρισμένα. Οπότε έχουμε:

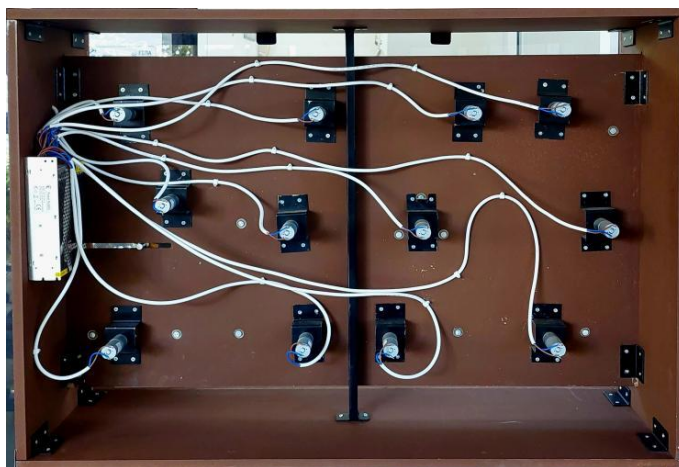
$$12(\text{μοτέρ}) * 1.2A(\text{Current Stall}) = 14,4A$$

Άρα, το κύκλωμα της κατασκευής απαιτούσε τροφοδοτικό, το οποίο να παρέχει από 14,4A και άνω. Για την ασφαλή λειτουργία του τροφοδοτικού και των μοτέρ επιλέχθηκε τροφοδοτικό με 20A και συγκεκριμένα επιλέχθηκε το τροφοδοτικό SN-HS-240-12.

Τελικό στάδιο της εγκατάστασης ήταν η καλωδιακή σύνδεση. Τα μοτέρ συνδέθηκαν με το τροφοδοτικό μέσω καλωδίου $2*0,75\text{mm}^2$ και συγκολλήθηκαν στους πόλους του μοτέρ με καλάι. Από την άλλη πλευρά, το τροφοδοτικό SN-HS-240-12 έπαιρνε ρεύμα από το δίκτυο ρεύματος 230V AC, δηλαδή από μια κοινή πρίζα τοίχου, μέσω ενός καλωδίου ρεύματος $3*0,75\text{mm}^2$. Στο ένα άκρο αυτού του καλωδίου ενσωματώθηκε μια πρίζα Schuko. Επίσης, τοποθετήθηκε ενδιάμεσος διακόπτης ON/OFF στο καλώδιο λίγο πριν το τροφοδοτικό. Το άλλο άκρο του καλωδίου ενώθηκε με το τροφοδοτικό με την παρακάτω αλληλουχία:

- L → Καφέ σύρμα (φάση).
- N → Μπλε σύρμα (ουδέτερος).
- \perp (ή GND) → Πράσινο/Κίτρινο (γείωση).

Η διάταξη σχεδιάστηκε έτσι ώστε να αποφεύγεται η επαφή των καλωδίων με τα κινούμενα μέρη των μηχανισμών και να εξασφαλίζεται η μέγιστη δυνατή καθαριότητα και τακτοποίησή του κυκλώματος.



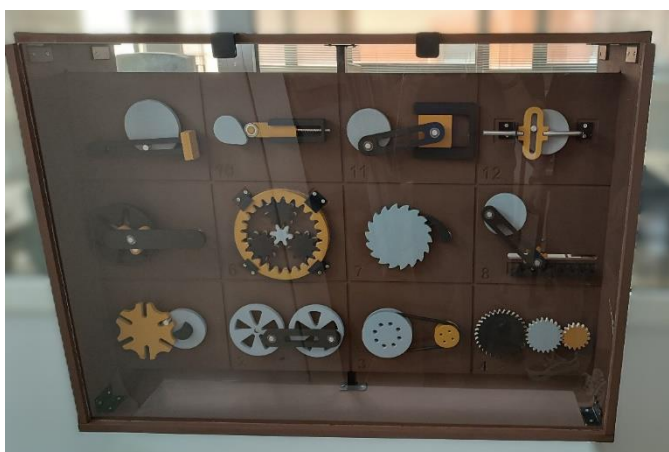
Σχήμα 4.21: Διάταξη ηλεκτρικού κυκλώματος



Σχήμα 4.22: Διακόπτης ON/OFF

4.6 Ολοκλήρωση κατασκευαστικής διαδικασίας

Μετά τις παραπάνω ενέργειες το μοντέλο ήταν πλέον έτοιμο για λειτουργία. Πραγματοποιήθηκαν δοκιμές για να εξεταστούν τυχόν αστοχίες και να επιλυθούν. Ολοκληρώνοντας όλες τις παραπάνω διαδικασίες, όλα τα εξαρτήματα και ο σκελετός βάφτηκαν ξανά. Σκοπός του τελικού βαψίματος ήταν η εξάλειψη των φθορών και ατελειών που είχαν προκληθεί από το στάδιο της συναρμολόγησης. Το τελικό αποτέλεσμα που προέκυψε αναπαριστά 12 λειτουργικούς μηχανισμούς μετάδοσης κίνησης.



Σχήμα 4.23: Τελικό μοντέλο κατασκευής μηχανισμών μετάδοσης κίνησης

5. ΣΥΝΟΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται τον σχεδιασμό, την κατασκευή και τη λειτουργική αξιολόγηση μηχανισμών μετάδοσης κίνησης με τη χρήση σύγχρονων τεχνικών ψηφιακής μοντελοποίησης και ψηφιακής κατασκευής. Στόχος ήταν η δημιουργία ενός πλήρως λειτουργικού συστήματος, αποτελούμενου από επιμέρους μηχανισμούς, οι οποίοι σχεδιάστηκαν στο λογισμικό Fusion 360, κατασκευάστηκαν σε CNC router με υλικό το ξύλο (MDF), και συναρμολογήθηκαν με την υποστήριξη κατάλληλων εξαρτημάτων.

Συνολικά, το έργο ανέδειξε την αξία της ψηφιακής μηχανολογίας και της παραμετρικής σχεδίασης στην παραγωγή ακριβών και λειτουργικών μηχανισμών με προσιτά υλικά και εξοπλισμό. Η χρήση συνδυαστικών τεχνικών παραδοσιακής μηχανουργικής και ψηφιακής κατασκευής απέδειξε ότι μπορεί να προσφέρει αποτελεσματικές λύσεις στην εκπαιδευτική και ερευνητική διαδικασία. Η επιτυχής λειτουργία των μηχανισμών τεκμηρίωσε την εγκυρότητα των σχεδιαστικών επιλογών και ανέδειξε τις δυνατότητες του CNC και του λογισμικού CAD/CAM στη μηχανολογική πράξη.

Η εμπειρία που αποκτήθηκε κατά τη διάρκεια της εργασίας ενίσχυσε τη βαθύτερη κατανόηση τόσο της θεωρίας των μηχανισμών όσο και της εφαρμογής της στον σύγχρονο τεχνικό σχεδιασμό και την κατασκευή.

6. Βιβλιογραφία

- [1] Robert L. Norton, “Desing of machinery”, An introduction to the synthesis and analysis of mechanisms and machines, Second edition, 1973.
- [2] Sachin Chaturvedi, “Introduction to theory of Machines”, 2015.
[\(PDF\) Introduction to Theory of Machines](#)
- [3] O. A. Dahunsi, O. P. Bodunde, A. Y. Oyerinde, “Kinematic Analysis and Design of a Geneva Stop Mechanism Teaching Aid for Intermittent Motion”, Article, 2017. [\(PDF\) Kinematic Analysis and Design of a Geneva Stop Mechanism Teaching Aid for Intermittent Motion](#)
- [4] M. Heidari, M. Zahiri, and H. Zohoor, “Optimization of Kinematic Characteristic of Geneva Mechanism by Genetic Algorithm”, Paper, 2008.
- [5] <https://lecture-notes.tiu.edu.iq/wp-content/uploads/2023/02/Ind.-mech-lec-P1-L2-Mechanisms.pdf>
- [6] Στεφανίδης Ανάργυρος, “ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΜΕΤΑΔΟΣΕΩΝ ΚΙΝΗΣΗΣ ΣΤΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΟ”, Διπλωματική εργασία, Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης, Ελλάς, 2024.
- [7] Χρήστος Α. Παπαδόπουλος, “ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΗΧΑΝΩΝ”, 3^η Έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα, 2017.
- [8] ΦΑΣΙΛΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ, “ ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΟΔΟΝΤΩΣΕΩΝ”, Διπλωματική εργασία, Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης, Ελλάς, 2019.
- [9] Juvinall, R. C., ” Fundamentals of Machine Component Design”, Book, 5th Edition, 2012.
- [10] Hariyali M. Patil, “STRESS ANALYSIS OF RATCHET PAWL DESIGN IN HOIST USING FINITE ELEMENT ANALYSIS”, Journal Article, 2015.
- [11] DAVID JENSEN, “INTRODUCTION TO MECHANICAL DESIGN AND MANUFACTURING”, BOOK, 2024.
- [12] John J. Uicker Jr, Gordon R. Pennock, Joseph E. Shigley, “Theory of Machines and Mechanisms”, BOOK, Fifth Edition, 2017. [https://ftp.idu.ac.id/wp-content/uploads/ebook/tdg/DESIGN%20SISTEM%20DAYA%20GERAK/Theory%20of%20Machines%20and%20Mechanisms%20\(%20PDFDrive%20\).pdf](https://ftp.idu.ac.id/wp-content/uploads/ebook/tdg/DESIGN%20SISTEM%20DAYA%20GERAK/Theory%20of%20Machines%20and%20Mechanisms%20(%20PDFDrive%20).pdf)
- [13] Vigen Arakelian, Jean-Paul Le Baron, Manuk Mkrtchyan, “Design of Scotch yoke mechanisms with improved driving dynamics”, Journal Article, 2016 https://www.researchgate.net/publication/284175995_Design_of_Scotch_yoke_mechanisms_with_improved_driving_dynamics#fullTextFileContent
- [14] Henry T. Brown, “507 MECHANICAL MOVEMENTS Mechanism and Devices”, Book, 2005. https://ia601304.us.archive.org/20/items/Mechanical_Movements_507/Mechanical_Movements_507.pdf