



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ

**Σχεδιασμός πρωτότυπης πολυλειτουργικής μηχανής ελέγχου
οδοντωτών τροχών με τη μέθοδο μονής και διπλής κατατομής**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

Δημητρίου Κρυφού

Επιβλέπων: Βασίλειος Σπιτάς
Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2021

Ευχαριστίες

Στο τέλος των προπτυχιακών μου σπουδών αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω όλους τους Καθηγητές και τους συμφοιτητές μου που ήταν δίπλα μου καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου και συνέβαλλαν στην εξέλιξη μου σε έναν εν δυνάμει μηχανικό.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Βασίλειο Σπιτά για την υποστήριξη την οποία έλαβα από τον ίδιο καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας, καθώς ήταν πρόθυμος να επιλύσει οποιαδήποτε απορία παντός τύπου η οποία προέκυπτε. Ο τρόπος με τον οποίο εργάζεται και ο ζήλος τον οποίο διαθέτει για το αντικείμενό του είναι κάτι πραγματικά πρωτοφανές δίνοντας μου το έναυσμα να προχωρήσω στα επόμενα στάδια της σταδιοδρομίας μου. Τέλος θα ήθελα να αναφερθώ στην βοήθεια όχι μόνο σε επίπεδο εργασίας αλλά και σε επίπεδο γενικών γνώσεων τις οποίες μου προσέφερε απλόχερα από την πρώτη μέρα που του δήλωσα το ενδιαφέρον μου για εκπόνηση διπλωματικής στο Εργαστήριο Στοιχείων Μηχανών. Εύχομαι να τον βοηθάει πάντα ο Θεός να συνεχίζει με την ίδια όρεξη το έργο το οποίο επιτελεί.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Χρίστο Καλλίγερο με τον οποίο συνεργαζόμουν κατά κόρον όλο αυτόν τον καιρό εκπόνησης της εργασίας. Δίνοντας μου απλόχερα τις γνώσεις του και παραθέτοντας πάντα την άποψη του για όλα τα ζητήματα, στάθηκε αρωγός στην περάτωση αυτής της εργασίας. Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω και τον Χρήστο Παπαλέξη για την παροχή γνώσεων στα σημεία της εργασίας όπου άπτονταν του γνωστικού του επιπέδου και της εμπειρίας του.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαιτέρως τους γονείς μου, τα αδέρφια μου, την μέλλουσα σύζυγό μου, τους νονούς μου, τον πνευματικό μου πατέρα και τους φίλους μου, οι οποίοι καθημερινά με στήριζαν και με βοηθούσαν σε κάθε μου βήμα, δίνοντας μου απλόχερα χαρά, ευτυχία και αμέριστη αγάπη. Εύχομαι ο Θεός να τους έχει πάντα όλους καλά με υγεία, δύναμη και ευτυχία παραχωρώντας τους απλόχερα όλα όσα εκείνοι μου προσέφεραν.

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η σχεδίαση και ανάλυση μίας πρωτότυπης διάταξης λειτουργικού ελέγχου ποιότητας κατασκευής μετωπικών και ελικοειδών οδοντωτών τροχών που να συνδυάζει τις μεθόδους μονής και διπλής κατατομής. Για το σκοπό αυτό αρχικά αναλύονται οι αρχές λειτουργίας των δύο μεθόδων για να προσδιοριστούν οι τεχνικές προδιαγραφές της διάταξης. Με βάση τις προδιαγραφές αυτές ξεκινάει η διαδικασία του εννοιολογικού σχεδιασμού της διάταξης, ο οποίος αφορά τόσο την γενική αρχιτεκτονική της μηχανής, όσο και την υλοποίηση των επιμέρους υποσυστημάτων της για την επίτευξη των ζητούμενων πειραματικών δοκιμών. Οι δύο σχεδιαστικές λύσεις που προκρίθηκαν μετά την αξιολόγηση των διαφόρων εναλλακτικών εξετάζονται λεπτομερέστερα μέσω ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων, προκειμένου να προσδιοριστεί το φάσμα των ιδιοσυχνοτήτων τους, ο έλεγχος του οποίου αποτελεί μία από τις βασικότερες προδιαγραφές της μηχανής που σχεδιάζεται. Με βάση τα αποτελέσματα της ανάλυσης ολοκληρώθηκε ο λεπτομερής σχεδιασμός του σασί για επίτευξη ιδιοσυχνοτήτων άνω των 2 kHz, καθώς και ο λεπτομερής σχεδιασμός και υπολογισμών όλων των επιμέρους υποσυστημάτων και συνιστωσών της μηχανής. Τελικά, καταστρώθηκε πλήρης φάκελος κατασκευαστικών σχεδίων με βάση τα οποία είναι δυνατή η κατασκευή και συναρμολόγηση της μηχανής.

Abstract

The purpose of this thesis is the analysis and design of an original measuring machine for functional testing of spur and helical gears that combines the single and double flank roll testing methods. For this purpose, the working principle of these methods are, firstly, analyzed to determine the technical specifications of the machine. The process of conceptual design of the device begins, which concerns both the general architecture of the machine, as well as the implementation of its individual subsystems for the materialization of the required experimental tests. The two design solutions that were selected after the evaluation of the various alternatives are examined in more detail through finite elements analysis, in order to determine the spectrum of their eigenfrequencies, the control of which is one of the most basic specifications of the machine. Based on the results of the analysis, the detailed design of the chassis for achieving eigenfrequencies above 2 kHz was completed, as well as the detailed design and calculations of all the individual subsystems and components of the machine. Finally, a complete file of technical drawings was made, based on which it is possible to build and assemble the machine.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	3
Περίληψη.....	5
Abstract	7
1. Εισαγωγή	10
2. Λειτουργικός Έλεγχος Οδοντωτών Τροχών	12
2.1. Μέθοδος Μονής Κατατομής	13
2.2. Μέθοδος Διπλής Κατατομής.....	14
2.3. Νέες μέθοδοι λειτουργικού ελέγχου οδοντωτών τροχών	16
3. Εννοιολογικός Σχεδιασμός Διάταξης.....	18
3.1. Τεχνικές προδιαγραφές	18
3.2. Αρχικός Σχεδιασμός	19
3.3. Δεύτερη εκδοχή διάταξης.....	24
3.4. Τρίτη εκδοχή διάταξης.....	28
3.5. Μετρητικά Όργανα	31
4. Λεπτομερής σχεδιασμός.....	34
4.1. Ανάλυση Πεπερασμένων Στοιχείων	34
4.2. Τελικός Σχεδιασμός	55
4.2.1. Γενική Διάταξη	55
4.2.2. Φορείο.....	57
4.2.3. Διάταξη προέντασης εξεταζόμενου τροχού	60
4.2.4. Γραμμικοί οδηγοί.....	61
4.2.5. Σασί	62
4.2.6. Μετρητικά όργανα.....	65
5. Συμπεράσματα	66
6. Βιβλιογραφία	68
Παράρτημα.....	70

1. Εισαγωγή

Μηχανισμοί που περιέχουν οδοντωτούς τροχούς υπάρχουν εδώ και αρκετές χιλιάδες χρόνια. Παρά την ανάπτυξή τους από τη Βιομηχανική Επανάσταση και έπειτα, μόλις την πρώτη δεκαετία του 20ού αιώνα, με την απαίτηση για υψηλότερες ταχύτητες μετάδοσης και την εμφάνιση της μηχανής κοπής οδοντωτών τροχών κατέστη δυνατή η βελτίωση της ποιότητας των επιφανειών των οδόντων σε ικανοποιητικό βαθμό. Όπως και με τις άλλες διαδικασίες παραγωγής, αυτή η βελτίωση της ακρίβειας συνδέθηκε με την εξέλιξη των συστημάτων ελέγχου και παρακολούθησης. Από τη δεκαετία του 1920 και μετά, με την εφεύρεση μιας μηχανής επιθεώρησης τέτοιου είδους τροχών, που βασίζεται στη μέθοδο εξέτασης του προφίλ εξειλιγμένης του δοντιού σε σχέση με τον βασικό κύκλο, η επιθεώρηση ποιότητας των τροχών άρχισε να είναι πιο αξιόπιστη, χάρη στην απλότητα της διαδικασίας. Αυτό μπορεί να θεωρηθεί ως το σημείο εκκίνησης της τρέχουσας μετρολογίας οδοντωτών τροχών. Από τότε έχουν αναπτυχθεί διάφορα είδη εξοπλισμού, προσαρμοσμένα σε νέα σχέδια και στις ανάγκες των μεταδόσεων υψηλής ταχύτητας [18], [19].

Ο έλεγχος των οδοντωτών τροχών είναι ένα ευρύ και περίπλοκο ζήτημα, λόγω της μεγάλης ποικιλίας τύπων, μεγεθών, διαμορφώσεων και διαφορετικών παραμέτρων [20]. Υπάρχει για αυτόν τον λόγο ένας σχεδόν άπειρος αριθμός τεχνικών χειροκίνητης και αυτόματης μέτρησης, οι οποίες κυμαίνονται από διαδικασίες εργαστηρίου-πάγκου έως πολύπλοκες, αναλυτικές αξιολογήσεις που πραγματοποιούνται σε μετρολογικά εργαστήρια. Μερικές επαληθεύσεις πρέπει επίσης να πραγματοποιούνται καθ' όλη τη διαδικασία παραγωγής προκειμένου να διασφαλιστεί η απαιτούμενη ακρίβεια. Οι επιθεωρήσεις μπορούν να βοηθήσουν στον εντοπισμό όχι μόνο της ποιότητας των οδοντωτών τροχών, αλλά και της ορθότητας της μηχανικής κατεργασίας τους και της κατάστασης των εργαλείων κοπής που χρησιμοποιούνται [21]. Όταν πρόκειται για την εκτέλεση αυτής της εργασίας, οι δοκιμές κύλισης οδοντωτών τροχών είναι ένας καλός εναλλακτικός τρόπος διεξαγωγής μιας γρήγορης αλλά διεξοδικής επιθεώρησης, επιτρέποντας να επαληθευθούν και οι συνθήκες παραγωγής ενός συνόλου εργαλείων μετάδοσης κίνησης και να γίνει πρόβλεψη για τη μελλοντική τους συμπεριφορά.

Η αξία του λειτουργικού ελέγχου των οδοντωτών τροχών καταδεικνύεται και μέσα από την έρευνα που επιτελείται στο Εργαστήριο Στοιχείων Μηχανών και Δυναμικής σε αυτό το επιστημονικό πεδίο. Μέσα από πρωτότυπες υπολογιστικές μεθόδους που έχουν αναπτυχθεί είναι δυνατόν πλέον να προσδιορίζονται και γεωμετρικές αποκλίσεις των οδόντων, καθώς επίσης και να μην υπάρχει ανάγκη χρήσης ακριβού εξοπλισμού, όπως οι πρότυπο τροχοί. Για να καταστεί αυτό δυνατό, όμως, χρειάζεται η ανάπτυξη μιας μηχανής λειτουργικού ελέγχου οδοντωτών τροχών που να μπορεί να επιτελέσει μετρήσεις με διάφορες μεθόδους λειτουργικού ελέγχου, όπως οι μέθοδοι της μονής κατατομής, της διπλής κατατομής, καθώς και της απλής κατατομής υπό φορτίο.

Ο σχεδιασμός μιας μηχανής σαν αυτή που περιγράφηκε παραπάνω παρουσιάζεται στο σώμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Στο Κεφάλαιο 2 περιγράφονται αναλυτικά οι μέθοδοι λειτουργικού ελέγχου που θα πρέπει να επιτελεί η μηχανή και βάσει των οποίων θα προκύψουν οι τεχνικές προδιαγραφές που θα πρέπει να ικανοποιεί. Οι προδιαγραφές αυτές δίνονται στο Κεφάλαιο 3 μαζί με την παρουσίαση όλων των εναλλακτικών λύσεων που προτάθηκαν και αξιολογήθηκαν στα πλαίσια του εννοιολογικού σχεδιασμού (conceptual design). Οι δύο βασικές εναλλακτικές σχεδιαστικές λύσεις που επιλέχθηκαν μελετήθηκαν ενδελεχέστερα μέσω ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων που παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 4. Στο ίδιο Κεφάλαιο φαίνεται και ο λεπτομερής σχεδιασμός της τελικής διάταξης, ενώ η εργασία ολοκληρώνεται με

τη σύνοψη και κάποια συμπεράσματα που προέκυψαν από την πορεία του σχεδιασμού στο Κεφάλαιο 5.

2. Λειτουργικός Έλεγχος Οδοντωτών Τροχών

Η μετρολογία, όπως εφαρμόζεται στους οδοντωτούς τροχούς μπορεί να χωριστεί σε δύο κατηγορίες, που διαφοροποιούνται ανάλογα με τον τύπο των πληροφοριών που παρέχει ο καθένας. Από τη μία, ο αναλυτικός τρόπος μέτρησης επιχειρεί, αφενός, να προσδιορίσει τη γεωμετρία των τροχών μέσω μιας μηχανής μέτρησης συντεταγμένων και αφετέρου να επαληθεύσει εάν συμμορφώνονται με τα γεωμετρικά δεδομένα του αρχικού σχεδιασμού. Οι λειτουργικοί έλεγχοι, από την άλλη πλευρά, εστιάζουν στην εγγύηση ότι ένας οδοντωτός τροχός θα λειτουργεί σωστά, ανεξάρτητα από τα περιθώρια ανοχής του, καθώς αυτά μπορεί μερικές φορές να συσσωρεύονται ή να αντισταθμίζονται από το συζευγμένο γρανάζι του. Οι πρώτες επομένως τείνουν γενικά να είναι πιο ποσοτικές, ενώ οι τελευταίες να είναι πιο ποιοτικές [1], [2].

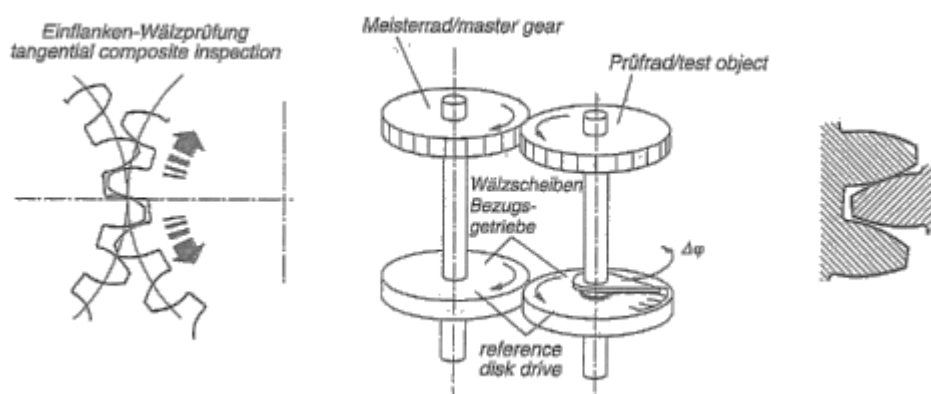
Οι λειτουργικές δοκιμές δεν αποσκοπούν στη λήψη μετρήσεων για τον προσδιορισμό της γεωμετρίας ενός οδοντωτού τροχού. Οι ειδικές διαδικασίες μέτρησης που τις συνοδεύουν επιτρέπουν τη λήψη παραμέτρων σχετικά με τις συνθήκες λειτουργίας. Η μέτρηση δε βασίζεται σε αυτήν την περίπτωση στη συνεχή ανίχνευση, αλλά γενικά συνίσταται στη σύγκριση του περιστρεφόμενου εξεταζόμενου οδοντωτού τροχού με έναν πρότυπο οδοντωτό τροχό καλύτερης διαστασιολογικής ακρίβειας καθώς συνεργάζονται. Εάν υποθεθεί ότι υπάρχει πλήρης απουσία ελαττωμάτων στον πρότυπο τροχό, όλες οι αποκλίσεις που εντοπίζονται μπορούν επομένως να αποδοθούν στον εξεταζόμενο τροχό. Εάν συγκρίνονται ορισμένες παράμετροι των δύο τροχών ενώ περιστρέφονται, είναι δυνατόν να εντοπιστεί η κλάση ακρίβειας μόνο του ενός τροχού ή του ζεύγους, ενώ παράλληλα λαμβάνονται γεωμετρικές πληροφορίες βάσει των αποτελεσμάτων. Επομένως, αυτός ήταν παραδοσιακά ένας από τους πιο συνηθισμένους τρόπους προσδιορισμού της κλάσης ακρίβειας ενός οδοντωτού τροχού, είτε στο πραγματικό μηχάνημα στη μονάδα παραγωγής (με τη μορφή ανατροφοδότησης που λήφθηκε κατά την παραγωγή) είτε κατά τη διάρκεια της τελικής επιθεώρησης σε εργαστήριο μετρολογίας.

Αυτές οι δοκιμές είναι γνωστές ως δοκιμές κύλισης (rolling tests), βάσει του τρόπου διεξαγωγής τους, και αναφέρονται επίσης ως «σύνθετες», δεδομένου ότι τα αποτελέσματα δεν είναι αναλυτικές, ομοιόμορφες, γεωμετρικές μετρήσεις, αλλά μάλλον - το αντίθετο - το άθροισμα των διαφόρων παραγόντων που δρουν ταυτόχρονα. Στην πραγματικότητα, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν δοκιμές αυτού του τύπου για τη συνεργασία δύο οδοντωτών τροχών, προσδιορίζοντας έτσι τη βέλτιστη απόδοση κύλισής τους, ακόμη και εκείνη της πλήρους βαθμίδας μείωσης, με μετρήσεις που σχετίζονται με την ποιότητα να αναφέρεται στο κιβώτιο ταχυτήτων στο σύνολό του και όχι σε κάθε ξεχωριστό οδοντωτό τροχό. Τα οφέλη των δοκιμών κύλισης είναι ξεκάθαρα, καθώς ο κύριος στόχος τους δεν είναι να προσδιορίσουν τη γεωμετρία ενός τροχού, αλλά να επαληθεύσουν την απόδοσή του κατά τη λειτουργία. Ωστόσο, το έργο της ανάλυσης των σφαλμάτων που καταγράφονται και η απόδοσή του στις επιμέρους γεωμετρικές αποκλίσεις που τα προκαλούν είναι πολύπλοκο και σε πολλές περιπτώσεις αδύνατο.

Υπάρχουν δύο τύποι δοκιμών κύλισης, που αναφέρονται αντίστοιχα ως δοκιμές μονής και διπλής κατατομής. Προφανώς είναι πολύ παρόμοιες όσον αφορά τη διαμόρφωση και τα αποτελέσματα, αλλά περιλαμβάνουν διαφορετικές τεχνικές μέτρησης και συνεπώς διαφορετικές ερμηνείες των δεδομένων που λαμβάνονται. Και οι δύο δοκιμές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση κυλινδρικών, κωνικών τροχών και worm gears.

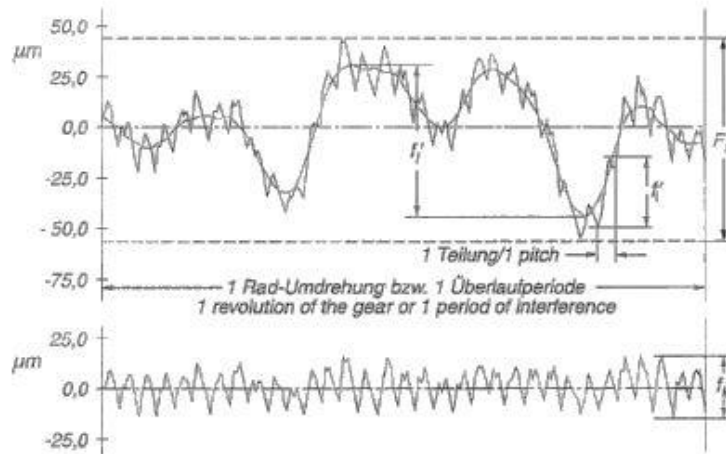
2.1. Μέθοδος Μονής Κατατομής

Στην επιθεώρηση με τη μέθοδο μονής κατατομής, δύο οδοντωτοί τροχοί περιστρέφονται στην καθορισμένη αξονική τους απόσταση, στις ονομαστικές συνθήκες συνεργασίας (Σχήμα 2.1) Ένας από τους τροχούς είναι συνδεδεμένος με κινητήρα και οδηγεί τον άλλο. Ο άξονας του κινούμενου τροχού έχει κάποιο μικρό φορτίο, προκειμένου να διασφαλιστεί ότι οι κατατομές βρίσκονται σε μόνιμη επαφή μεταξύ τους. Αυτό αποτρέπει τους τροχούς να διαχωρίζονται υπό την επίδραση της αδράνειας, η οποία θα παραποιήσει τα αποτελέσματα. Αυτές οι δοκιμές πρέπει επίσης να διεξαχθούν σε χαμηλή ταχύτητα, έτσι ώστε να μην επηρεάζουν, λόγω δονήσεων ή παραμόρφωσης, τις δυναμικές πτυχές του αποτελέσματος. Η περιστροφική διακύμανση που μετράται μεταξύ των δύο τροχών είναι αυτή που αποτελεί την εφαπτομενική σύνθετη απόκλιση, γνωστή ως «σφάλμα μετάδοσης».



Σχήμα 2.1. Η μέθοδος μονής κατατομής [3]

Η δοκιμή μονής κατατομής που διεξάγεται σε συνεργασία με έναν πρότυπο οδοντωτό τροχό τελειώνει μόλις ο εξεταζόμενος τροχός ολοκληρώσει μία πλήρη περιστροφή. Όταν η δοκιμή πραγματοποιείται χωρίς πρότυπο τροχό, η διαδικασία πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη προκειμένου να γίνει βέβαιο ότι συνεργάζονται σε όλους τους πιθανούς συνδυασμούς συνεργασίας οδόντων [4]. Τα αποτελέσματα που λαμβάνονται συνήθως εκφράζονται ως ένα ημιτονοειδές γράφημα στο οποίο η τετμημένη ορίζεται από τη γωνία περιστροφής και η τεταγμένη από τις αποκλίσεις της αξονικής απόστασης σε σχέση με τη θεωρητική αξονική απόσταση των δύο οδοντωτών τροχών (Σχήμα 2.2). Σε περιπτώσεις όπως αυτές, το σφάλμα μετάδοσης μπορεί να υποδεικνύεται απευθείας ως γωνία. Τα αποτελέσματα των δοκιμών αξιολογούνται σύμφωνα με το πρότυπο ISO 1328-1: 2013 [5] ή DIN 21772: 2012 [15].



Σχήμα 2.2: Αξιολόγηση Δοκιμής Μονής Κατατομής [4]

Οι παράμετροι της δοκιμής κύλισης μονής κατατομής, οι οποίες αξιολογούνται με βάση τις ερμηνείες των μετρήσεων για τον προσδιορισμό των σφαλμάτων μετάδοσης του γραναζιού, είναι οι εξής: η εφαπτομενική σύνθετη απόκλιση (F_i'), που είναι η διαφορά μεταξύ της μέγιστης και της ελάχιστης γωνιακής απόκλισης στην πορεία μιας περιστροφής ή ολόκληρης της περιόδου και η εφαπτομενική απόκλιση οδόντος-οδόντος (f_i'), η οποία είναι η μεγαλύτερη διαφορά που προκύπτει για τις γωνιακές αποκλίσεις εντός της γωνίας περιστροφής που αντιστοιχεί στη διάρκεια μιας περιστροφής.

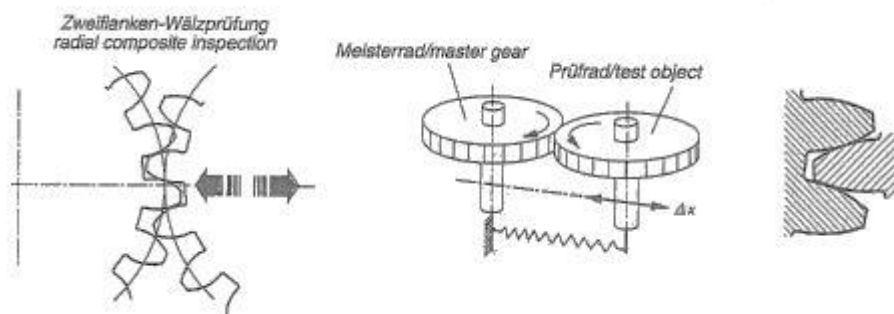
Η ανάλυση του σήματος στις συνιστώσες μεγαλύτερης και μικρότερης συχνότητας χρησιμοποιώντας τον μετασχηματισμό Fourier, δημιουργεί δύο περαιτέρω συνιστώσες: το χαμηλόσυχο της εφαπτομενικής σύνθετης απόκλισης (f_l'), που είναι η διαφορά μεταξύ της μέγιστης και της ελάχιστης τιμής της συνιστώσας του F_i' και της υψηλής συχνότητας συνιστώσας της εφαπτομενικής σύνθετης απόκλισης (f_k'), που είναι η διαφορά μεταξύ της μέγιστης και της ελάχιστης τιμής της υψηλής συχνότητας συνιστώσας των αποτελεσμάτων της δοκιμής κύλισης μονής κατατομής. Οι τιμές f_l' και f_k' συχνά θεωρούνται πανομοιότυπες στην πράξη, καθώς δεν υπάρχει σχεδόν καμία διαφορά μεταξύ τους. Η αντίστοιχη κλάση ακρίβειας εκχωρείται συχνότερα σύμφωνα με τα πρότυπα ISO 1328-1 [5] και DIN 3963 [6] για κυλινδρικούς οδοντωτούς τροχούς, DIN 3965-3 [7] για κωνικούς οδοντωτούς τροχούς και DIN 3974-1 [8] για ατέρμονες κοιλίες.

Η μελέτη, κατανοώντας και ερμηνεύοντας αυτές τις παραμέτρους και τα γραφήματα μας επιτρέπει να λάβουμε πληροφορίες σχετικά με παραλλαγές που επηρεάζουν το προφίλ, το βήμα, το συσσωρευμένο βήμα και το runout ενός γραναζιού [9] - [13]. Επίσης, καθιστά δυνατή μια πρακτική αξιολόγηση της συμπεριφοράς, επιτρέποντας τροποποιήσεις που έχουν σχεδιαστεί για τη βελτίωση της απόδοσης σε μελλοντικές συνθήκες εργασίας.

2.2. Μέθοδος Διπλής Κατατομής

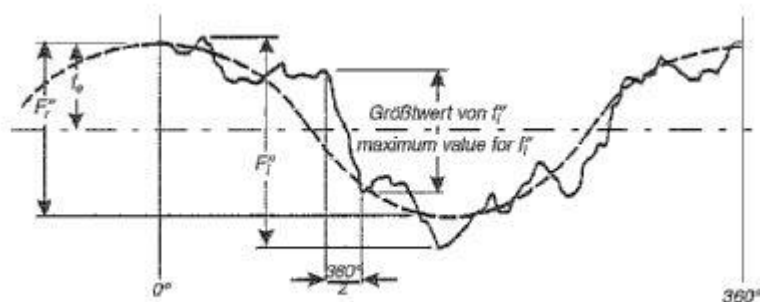
Στη δοκιμή κύλισης διπλής κατατομής, ή αλλιώς σύνθετη ακτινική επιθεώρηση, οι οδοντωτοί τροχοί αναγκάζονται να περιστραφούν σε σφικτή συνεργασία. Επιτρέπεται μια μεταβλητή αξονική απόσταση για το σκοπό αυτό. Η εφαρμογή δύναμης προς την κατεύθυνση της ελάχιστης απόστασης διασφαλίζει ότι οι εργαζόμενες και μη εργαζόμενες κατατομές των συνεργαζόμενων τροχών θα είναι σε επαφή καθ' όλη τη διάρκεια της δοκιμής (Σχήμα 2.3).

Ταυτόχρονα, η δύναμη του ελαστικού συστήματος δεν πρέπει να υπερβαίνει ένα συγκεκριμένο μέγεθος. Αυτό αποτρέπει πιθανές παραμορφώσεις στα δόντια, γεγονός που θα επηρέαζε τα αποτελέσματα [4,14]. Η μέγιστη ταχύτητα που χρησιμοποιείται στη δοκιμή πρέπει επίσης να είναι περιορισμένη προκειμένου να αποφευχθούν δυναμικά φαινόμενα. Η δοκιμή περιλαμβάνει τη μέτρηση των ταλαντώσεων που αντιστοιχούν στην αξονική απόσταση, που αποτελεί την ακτινική σύνθετη απόκλιση.



Σχήμα 2.3: Μέθοδος Διπλής Κατατομής [4]

Όπως και με τη δοκιμή μονής κατατομής, όταν ο εξεταζόμενος οδοντωτός τροχός έχει ολοκληρώσει μια ολόκληρη περιστροφή (σε δοκιμές που περιλαμβάνουν πρότυπο οδοντωτό τροχό) ή έχει ολοκληρωθεί μια πλήρης περίοδος (ζεύγη οδοντωτών τροχών παραγωγής), οι μετρήσεις που λαμβάνονται παρουσιάζονται με τη μορφή ημιτονοειδούς γραφήματος. Σε αυτήν την περίπτωση, η τετμημένη ορίζεται από τη γωνία περιστροφής και η τεταγμένη από τη διακύμανση στην αξονική απόσταση των δύο γρναζιών (Σχήμα 2.4). Τα αποτελέσματα των δοκιμών αξιολογούνται σύμφωνα με το πρότυπο ISO 1328-2: 1997 [16] ή DIN 21772: 2012 [15].



Σχήμα 2.4: Αξιολόγηση Δοκιμής Διπλής Κατατομής [4]

Όσον αφορά την αξονική απόσταση χωρίς backlash (a''), που αντιπροσωπεύει την μετατόπιση του οδοντωτού τροχού που εξετάζεται, η δοκιμή διπλής κατατομής περιλαμβάνει τον ορισμό δύο παραμέτρων: την ακτινική σύνθετη απόκλιση (F_i''), η οποία είναι η διαφορά μεταξύ της μέγιστης και της ελάχιστης αξονικής απόστασης σε μία περιστροφή του εξεταζόμενου τροχού και της ακτινικής σύνθετης απόκλισης μεταξύ οδόντων (f_i''), η οποία είναι η μεγαλύτερη διαφορά της αξονικής απόστασης που εμφανίζεται σε μια γωνία περιστροφής που αντιστοιχεί στη συνεργασία ενός ζεύγους οδόντων.

Το runout της δοκιμής διπλής κατατομής (F_r'') είναι το στοιχείο μακρού κύματος στο διάγραμμα ελέγχου διακυμάνσεων (Σχήμα 2.4). Λαμβάνεται με τη διαφορά μεταξύ της μέγιστης και της ελάχιστης τιμής του στοιχείου μεγάλου κύματος του F_i'' . Αντιθέτως, αν και

ορισμένοι κατασκευαστές συσκευών υπολογίζουν f_k' ως συνιστώσα βραχέων κυμάτων της ακτινικής σύνθετης απόκλισης, αυτή η παράμετρος δεν ορίζεται στα πρότυπα. Σε αντίθεση με τη δοκιμή μονής κατατομής, ο καθορισμός της κλάσης ακρίβειας ουσιαστικά περιορίζεται στα πρότυπα που καλύπτουν κυλινδρικούς οδοντωτούς τροχούς, δηλαδή ISO 1328-1 [5], ISO 1328-2 [16] και DIN 3963 [6], με μοναδική εξαίρεση το ANSI / AGMA 2009-B01 [17], το οποίο ισχύει αποκλειστικά για κωνικούς οδοντωτούς τροχούς.

Η δοκιμή διπλής κατατομής προσφέρει επαρκείς πληροφορίες σχετικά με την επίδραση των μεμονωμένων αποκλίσεων κάθε δοντιού και μας επιτρέπει να αξιολογήσουμε την απόδοση της συνεργασίας, ενώ ανιχνεύει γρήγορα προβλήματα παραγωγής, όπως κακή ρύθμιση ή εσφαλμένη τοποθέτηση στις μηχανές κοπής. Ταυτόχρονα, και χάρη σε αυτόν τον παράγοντα, είναι δυνατόν να εντοπιστούν σφάλματα που επηρεάζουν το πάχος των δοντιών, την εκκεντρότητα της λειτουργίας κοπής και εσφαλμένες γωνίες πίεσης βάσει περιοδικών τάσεων στα αποτελέσματα, προκειμένου να συσχετιστούν έμμεσα οι επιτρεπόμενες αποκλίσεις με τις ανοχές προσαρμογής της αξονικής απόστασης [1], [2], [10].

Τα αποτελέσματα δοκιμών μονής και διπλής κατατομής δεν μπορούν να συγκριθούν μεταξύ τους, καθώς βασίζονται σε διαφορετικές αρχές. Αν και η δοκιμή μονής κατατομής παρέχει πολύ περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τις λειτουργικές ιδιότητες, η δοκιμή διπλής κατατομής χρησιμοποιείται ευρύτερα για οικονομικούς λόγους αφού το περιεχόμενό της είναι επαρκές για το σκοπό του [4], [9], [10].

2.3. Νέες μέθοδοι λειτουργικού ελέγχου οδοντωτών τροχών

Σύμφωνα με όσα ειπώθηκαν παραπάνω, τα δύο βασικά μειονεκτήματα των λειτουργικών μεθόδων ελέγχου της ποιότητας ενός οδοντωτού τροχού είναι η μεγάλη δυσκολία (στην περίπτωση της μεθόδου μονής κατατομής) ή η αδυναμία (στην περίπτωση της μεθόδου διπλής κατατομής) του προσδιορισμού των στοιχειωδών γεωμετρικών αποκλίσεων που παράγουν τα σφάλματα που καταγράφονται κατά τις δοκιμές κύλισης και η ανάγκη ύπαρξης πρότυπων τροχών υψηλής ακρίβειας για κάθε module τροχών που εξετάζεται, γεγονός που αυξάνει πολύ το κόστος των μεθόδων αυτών. Τα δύο αυτά μειονεκτήματα αναγκάζουν πολλές φορές ερευνητές και παραγωγούς οδοντωτών τροχών να απευθύνονται σε αναλυτικούς τρόπους μέτρησης των τροχών, που είναι γενικά πολύ πιο κοστοβόρα και από άποψη εξοπλισμού και από άποψη χρόνου.

Τα τελευταία χρόνια, στο Εργαστήριο Στοιχείων Μηχανών έχουν αναπτυχθεί πρωτότυπες μεθοδολογίες που επιχειρούν να λύσουν ως ένα βαθμό και τα δύο παραπάνω προβλήματα. Πιο συγκεκριμένα, έχει αναπτυχθεί μία νέα υπολογιστική μέθοδος με την οποία, εφόσον προστεθεί ένα μετρητικό σύστημα που να καταγράφει την περιστροφή του κινούμενου τροχού, μπορεί να υπολογίσει τις γεωμετρικές αποκλίσεις του εξεταζόμενου τροχού χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της διπλής κατατομής. Επίσης έχει αναπτυχθεί μια υπολογιστική μέθοδος, όπου μπορεί να υπολογιστεί η κλάση ακρίβειας του εξεταζόμενου τροχού με μια τροποποιημένη επιθεώρηση μονής κατατομής που γίνεται σε υψηλότερα φορτία και επομένως σε μεγαλύτερες ταχύτητες. Αυτή η μέθοδος απλής κατατομής υπό φορτίο είναι γενικά ανεπιθύμητη καθώς διεγείρει δυναμικά φαινόμενα κατά των έλεγχου των τροχών, με τη νέα όπως μέθοδο αυτά φιλτράρονται και δεδομένα για την κλάση ακρίβειας μπορούν να λειφθούν σε ταχύτητες περιστροφής έως και 2 τάξεις μεγέθους μεγαλύτερες.

Επιπλέον, μια τρίτη υπολογιστική μέθοδος αναπτύσσεται την περίοδο αυτή που αφορά τη δυνατότητα υπολογισμού της κλάσης ακρίβειας οδοντωτών τροχών με μεθόδους λειτουργικού

ελέγχου, χωρίς τη χρήση, όμως, πρότυπου τροχού. Για να μπορέσει να γίνει αυτό θα πρέπει να συνδυάζονται τα αποτελέσματα μετρήσεων από της μεθόδους τόσο της μονής, όσο και τις διπλής κατατομής.

Η μηχανή, λοιπόν, που σχεδιάζεται στην παρούσα διπλωματική έχει ως στόχο να επιτελούνται από την ίδια μηχανή οι τρεις παραπάνω δοκιμές κύλισης, δηλαδή η δοκιμή διπλής κατατομής, η δοκιμή μονής κατατομής και η δοκιμή μονής κατατομής υπό φορτίο. Παρόμοια μηχανή που να επιτελεί και τις τρεις αυτές δοκιμές δεν υπάρχει διαθέσιμη στην αγορά και για αυτό ο προσδιορισμός των τεχνικών προδιαγραφών και ο αναλυτικός υπολογισμός της μηχανής για την ικανοποίησή της αποκτά πολύ μεγάλη σημασία.

3. Εννοιολογικός Σχεδιασμός Διάταξης

3.1. Τεχνικές προδιαγραφές

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, σκοπός της παρούσας εργασίας είναι ο σχεδιασμός μιας μηχανής λειτουργικού ελέγχου οδοντωτών τροχών που θα επιτρέπει την επιτέλεση τριών διαφορετικών μεθόδων λειτουργικού ελέγχου, τη δοκιμή διπλής κατατομής, τη δοκιμή μονής κατατομής και τη δοκιμή μονής κατατομής υπό φορτίο. Τα είδη των οδοντωτών τροχών τα οποία θα πρέπει να μπορούν να ελεγχθούν σε αυτήν είναι μετωπικοί και ελικοειδής οδοντωτοί τροχοί.

Διατάξεις τέτοιου τύπου διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες: τις επιτραπέζιες και επιδαπέδιες μηχανές. Κάθε μία από αυτές χαρακτηρίζονται από πληθώρα εφαρμογών. Οι μεν επιτραπέζιες, λόγω του μεγέθους τους, δίνουν τη δυνατότητα στον χρήστη τους να κάνει εύκολα δυνατή τη χρήση τους σε κάθε είδους εφαρμογή χαμηλών ταχυτήτων και μεγεθών στα πλαίσια όπου τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της διάταξης το επιτρέπουν. Εν αντιθέσει, μηχανές επιδαπέδιες χαρακτηρίζονται συνήθως για την ποικιλία των τροχών τους οποίους εξυπηρετούν, τόσο από άποψη μεγέθους, όσο και από άποψη μορφής, καθώς μπορούν να φιλοξενήσουν διάφορα είδη οδοντωτών τροχών (μετωπικοί, κωνικοί, ατέρμονες κλπ.). Στη συγκεκριμένη εργασία, λόγω της εργαστηριακής εφαρμογής, γεγονός το οποίο υποδεικνύει τον έλεγχο τροχών μικρών σχετικά διαμέτρων αλλά και για λόγους αύξησης των ιδιοσυχνοτήτων προέκυψε ότι η διάταξη προς σχεδίαση θα είναι επιτραπέζια, όπως αναλύεται στο Κεφάλαιο 4.

Τα τρία είδη δοκιμής οδοντωτών τροχών που θα επιτελεί η εξεταζόμενη μηχανή απαιτούν τη συναρμογή του εξεταζόμενου τροχού με έναν πρότυπο ή με κάποιον αντίστοιχο ήδη ελεγμένο. Συνεπώς, κύρια απαίτηση είναι η ύπαρξη δύο αξόνων παράλληλων μεταξύ τους στους οποίους θα τοποθετούνται οι δύο τροχοί. Προκειμένου να υπάρχει συνεργασία μεταξύ των δύο τροχών απαιτείται περιστροφική κίνηση η οποία προσφέρεται συνήθως από έναν ηλεκτρικού κινητήρα και μεταφέρεται στον έναν από τους δύο άξονες της διάταξης. Λόγω της περιστροφικής κίνησης τοποθετούνται κατάλληλα έδρανα κύλισης ή ολίσθησης. Επομένως, οι άξονες εδράζονται είτε επάνω στο κύριο σώμα της μηχανής είτε επάνω σε γεωμετρικές οι οποίες ονομάζονται φορεία, ικανές να μετακινούνται.

Καθώς οι διάμετροι των τροχών ποικίλουν πρέπει και η απόσταση μεταξύ των αξόνων να αυξάνεται ή να ελαττώνεται αντίστοιχα με τις προδιαγραφές των τροχών. Κατ' αντιστοιχία και το ύψος των τροχών διαφέρει από τροχό σε τροχό με αποτέλεσμα να γίνεται χρήση μηχανισμού αυξομείωσης του ύψους του ενός ή και των δύο αξόνων, κάτι το οποίο εξαρτάται από την κάθε διάταξη.

Αναλύοντας τα είδη δοκιμών τα οποία επιλέχθηκαν, διαπιστώθηκαν κάποιες βασικές προϋποθέσεις οι οποίες πρέπει να πληρούνται. Για τις δοκιμές μονής κατατομής και μονής κατατομής υπό φορτίο οι δύο άξονες πρέπει να βρίσκονται σε σταθερή απόσταση μεταξύ τους χωρίς αυτή να μεταβάλλεται καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της δοκιμής. Προκειμένου τα αποτελέσματα να πλησιάζουν τα πραγματικά και να υπόκειται ο εξεταζόμενος τροχός σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας, ασκείται στον άξονά του φορτίο. Τέλος, κατά τη διάρκεια της διαδικασίας λαμβάνονται μετρήσεις, οι οποίες αφορούν τις γωνιακές ταχύτητες και ροπές των δύο αξόνων και συνεπώς των ίδιων των τροχών.

Όσον αφορά τη δοκιμή διπλής κατατομής μετράται η μεταβολή της αξονικής απόστασης των δύο τροχών καθώς περιστρέφονται. Στη συγκεκριμένη περίπτωση η διάταξη γίνεται ως εξής: αφού τοποθετηθούν οι άξονες σε απόσταση μεταξύ τους έτσι ώστε να επιτυγχάνεται σφιχτή

συνεργασία, δίδεται κίνηση στον εξεταζόμενο τροχό. Προκειμένου να εξασφαλιστεί αυτή η σφιχτή συνεργασία των δύο τροχών κάθε στιγμή, γίνεται χρήση προτεταμένου ελατηρίου που ωθεί το φορείο του πρότυπου, το οποίο είναι ελεύθερο να κυλίνεται στην ακτινική διεύθυνση, και κατ' επέκταση τους τροχούς σε συνεχή επαφή.

Είναι σύνηθες σε διατάξεις οι οποίες διενεργούν δοκιμές μονής κατατομής να έχουν τους δύο παράλληλους άξονες στο οριζόντιο επίπεδο. Σε αντίθεση, όμως, με τις αντίστοιχες διπλής κατατομής διατάξεις οι οποίες δεν είναι εφικτό να λειτουργήσουν με ανάλογο τρόπο καθώς η επίδραση της βαρύτητας επηρεάζει σημαντικά την υλοποίηση της διαδικασίας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η διάταξη να έχει τους άξονες τοποθετημένους κατακόρυφα.

Επομένως, σύμφωνα με τα παραπάνω συγκεντρώνεται ο παρακάτω Πίνακας 3.1 με τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά της προς σχεδιασμό και μελέτη διάταξης.

Χαρακτηριστικά Διάταξης	
Ελάχιστη Απόσταση Αξόνων	80 mm
Μέγιστη Απόσταση Αξόνων	380 mm
Μέγιστες Απαιτούμενες Στροφές	2000 RPM
Μέγιστο Απαιτούμενο Φορτίο	15 Nm
Ιδιοσυχνότητα Διάταξης	>1500 kHz
Χαρακτηριστικά Τοποθετούμενων Οδοντωτών Τροχών	
Module	1-3 mm

Πίνακας 3.1: Απαιτούμενα Χαρακτηριστικά της Διάταξης

Σύμφωνα με τις απαιτήσεις των τριών επιλεγμένων δοκιμών απαιτούνται αντίστοιχες μετρητικές διατάξεις, οι οποίες θα αποδίδουν με ακρίβεια τα απαιτούμενα μεγέθη τα οποία αποδίδονται στον Πίνακα 3.2.

Αξονικής Απόστασης	
Τύπος	Laser
Εύρος	50-200
Ακρίβεια	$\pm 0.3-2 \mu\text{m}$
Μεταβολής Αξονικής Απόστασης	
Τύπος	Encoder
Εύρος	100-1000 mm
Ακρίβεια	$\pm 5 \mu\text{m}$
Περιστροφικής Ταχύτητας	
Τύπος	Encoder
Εύρος	<3000 RPM
Ακρίβεια	$\pm 5\% \text{ R.O.}$
Αξονικής Ροπής	
Εύρος	<20 Nm
Ακρίβεια	$\pm 0.5\%$

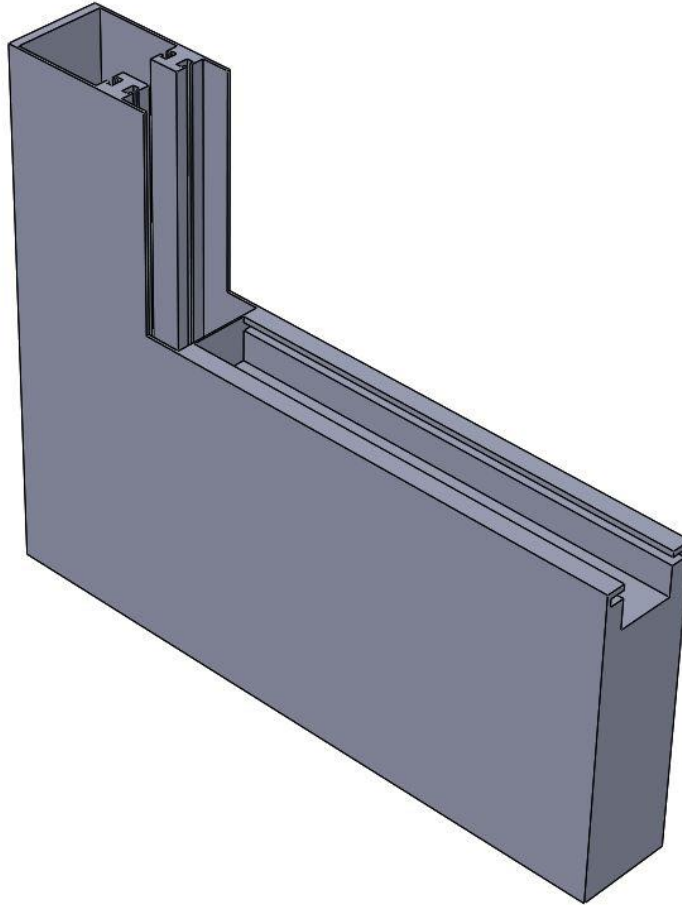
Πίνακας 3.2: Απαιτούμενα Χαρακτηριστικά Μετρητικών Διατάξεων

3.2. Αρχικός Σχεδιασμός

Η διάταξη που εξετάζεται χωρίστηκε σε τρία επιμέρους μέρη, τα οποία είναι:

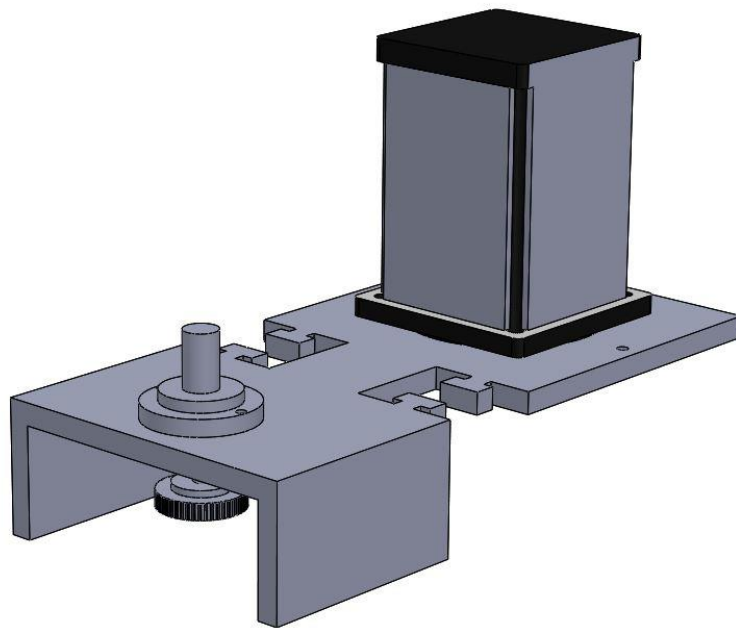
1. Κύριο Σώμα Διάταξης
2. Σταθερό Φορείο ή Φορείο Εξεταζόμενου Τροχού
3. Κυρίως Φορείο ή Φορείο Τροχού Πρότυπων Διαστάσεων

Στη συνέχεια θα αναπτυχθεί η πορεία σχεδιασμού καθενός από τα μέρη της διάταξης. Το κύριο σώμα της μηχανής, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.1, διαθέτει υποδοχές ούτως ώστε να οδηγείται το κινούμενο φορείο στην αξονική του διεύθυνση προκειμένου να επιτευχθεί η επιθυμητή απόσταση των αξόνων. Στην συνέχεια διαθέτει έναν πρόβολο στον οποίο κινείται στην κατακόρυφη διεύθυνση το σταθερό φορείο.



Σχήμα 3.1: Κύριο Σώμα Διάταξης

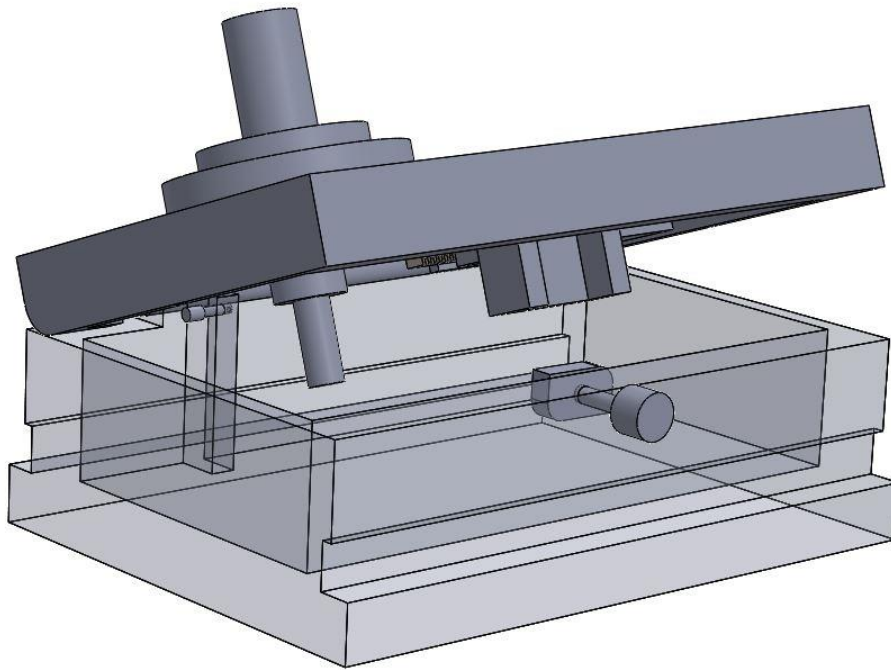
Στον πρώτο σχεδιασμό το κινούμενο φορείο, το οποίο απεικονίζεται στο Σχήμα 3.2, αποτελούνταν από δύο μέρη τα οποία συνδέονταν μεταξύ και αποτελούσαν τη βάση έδρασης και στήριξης του εξεταζόμενου τροχού. Στο ένα μέρος της βάσης στηρίζεται ο ηλεκτροκινητήρας ενώ στη δεύτερη εδράζεται ο άξονας του εξεταζόμενου τροχού. Η μετάδοση της κίνησης από τον ηλεκτροκινητήρα στον άξονα γίνεται με την χρήση οδοντωτού ιμάντα. Επομένως στους άξονες του ηλεκτρικού κινητήρα και του άξονα του τροχού τοποθετούνται οδοντωτές τροχαλίες με σχέσεις μετάδοσης 1:2 προκειμένου να επιτευχθούν όσο το δυνατόν μεγαλύτερες ταχύτητες περιστροφής.



Σχήμα 3.2: Σταθερό Φορείο ή Φορείο Εξεταζόμενου Τροχού

Η οδήγηση του φορείου στο σώμα γίνεται μέσω ειδικών κοιλοτήτων τύπου χελιδονοουράς, κάτι το οποίο σύντομα απορρίφθηκε καθώς τόσο η κατασκευή τους όσο και η χρήση τους ήταν αρκετά δύσκολη, ενώ υπάρχουν διαθέσιμες καταλληλότερες λύσεις. Επίσης, η κατακόρυφη μετακίνηση του φορείου γίνεται με την βοήθεια δύο κοχλιών σφαιρικού σπειρώματος, λόγω της απουσίας backlash, οι οποίοι στρέφονται με τη βοήθεια βηματικών ηλεκτρικών κινητήρων. Αυτό επιτυγχάνεται καθώς οι κοχλίες βρίσκονται σε συναρμογή με περικόχλια αντίστοιχου τύπου προσδεμένα στο φορείο. Τέλος, οι βηματικοί κινητήρες βρίσκονται τοποθετημένοι στη βάση του κύριου σώματος της διάταξης. Προκειμένου να επιτευχθεί όσο το δυνατόν μικρότερο ύψος της διάταξης, ο ηλεκτρικός κινητήρας συνεχούς ρεύματος τοποθετείται με το κύριο σώμα του να βρίσκεται με κατεύθυνση προς την άνω εξωτερική πλευρά της διάταξης.

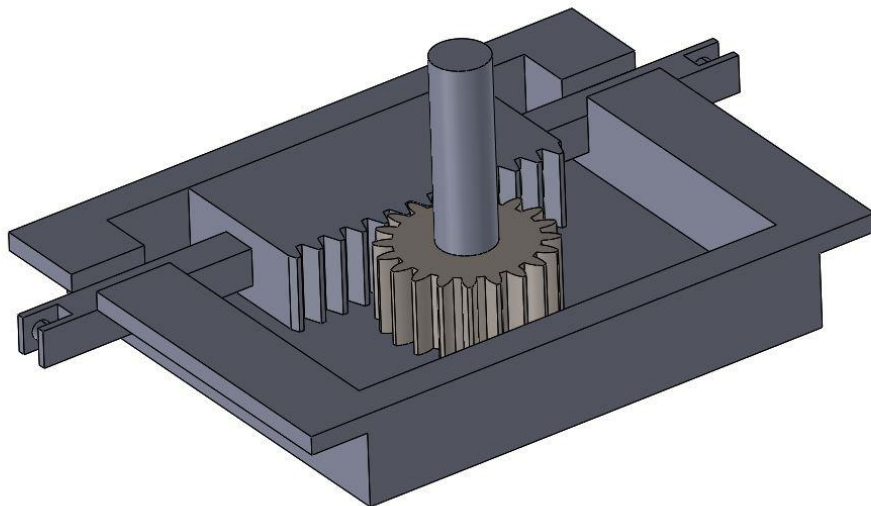
Ένα βασικό κομμάτι του σχεδιασμού της διάταξης είναι ο σχεδιασμός του κυρίως φορείου, το οποίο φαίνεται στο Σχήμα 3.3. Αποτελεί το πιο σύνθετο κομμάτι όλης της διάταξης. Καίριο χαρακτηριστικό του είναι ότι προκειμένου να μπορεί να εφαρμοστεί η δοκιμή διπλής κατατομής, είναι ο άξονας και συνεπώς το φορείο να έχει ελευθερία κίνησης ως προς την ακτινική διεύθυνση. Για αυτό το λόγο διαχωρίζεται το φορείο σε δύο μέρη κατά το διαμήκη άξονά του. Δηλαδή στο επάνω και στο κάτω φορείο. Το φορείο αυτό μπορεί να ανοίξει σαν ένα κουτί. Πιο συγκεκριμένα στη μία από τις μακριές πλευρές του έχει ένα πείρο που επιτρέπει στο πάνω μέρος του φορείου να ανοίγει μέχρι 45° προκειμένου να γίνεται οποιαδήποτε επέμβαση στα επιμέρους μέρη του φορείου τα οποία αναλύονται παρακάτω.



Σχήμα 3.3: Κυρίως Φορείο ή Φορείο Τροχού Πρότυπων Διαστάσεων

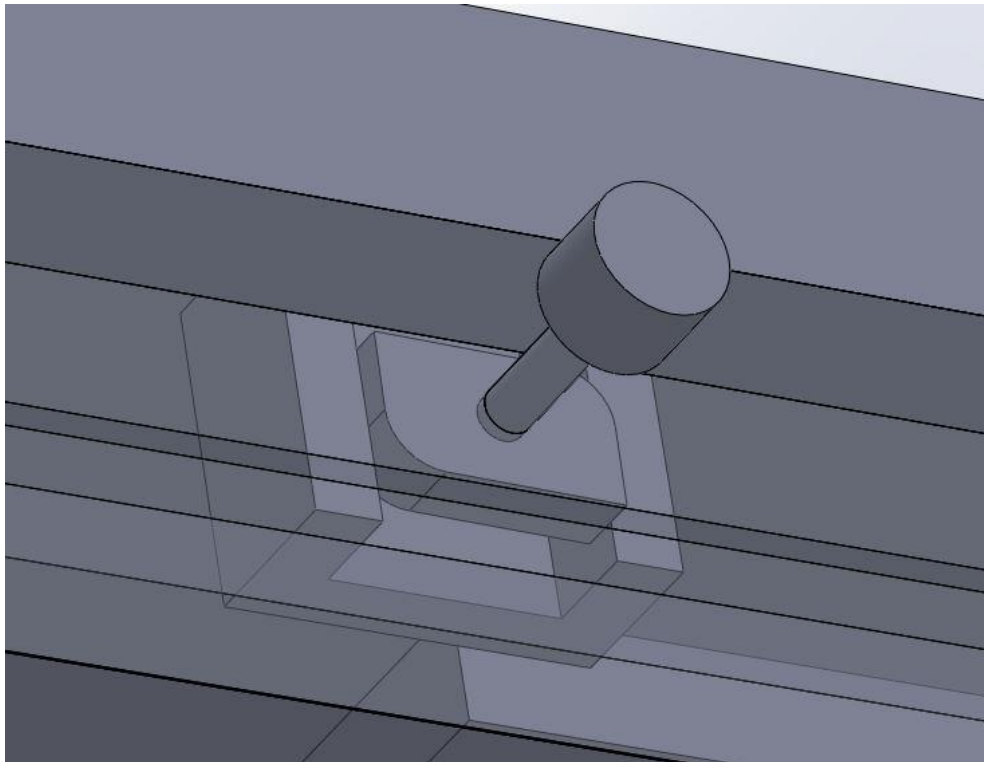
Έτσι το κάτω μέρος είναι εκείνο το οποίο στηρίζει και μετακινεί το επάνω καθ' όλο το μήκος της μηχανής. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση οδηγών οι οποίοι υπάρχουν στο κύριο σώμα της μηχανής. Κατ' αντίστοιχο τρόπο με εκείνο του σταθερού φορείου, το κύριο φορείο μετακινείται με τη χρήση κοιλία σφαιρικού σπειρώματος ο οποίος στρέφεται με τη βοήθεια χειρολαβής στην ελεύθερη άκρη της μηχανής.

Προκειμένου να επιτυγχάνεται η δοκιμή διπλής κατατομής χρησιμοποιείται θλιπτικό ελατήριο το οποίο στο ένα άκρο του είναι σταθερό, δεμένο στο κάτω μέρος του φορείου ενώ το άλλο του άκρο είναι συνδεδεμένο με έναν οδοντωτό κανόνα. Εξωτερικά του επάνω μέρους του φορείου υπάρχει κατάλληλη λαβή άμεσα συνδεδεμένη με οδοντωτό τροχό που βρίσκεται σε συνεργασία με τον κανόνα. Με αυτό τον τρόπο ρυθμίζεται η προένταση του ελατηρίου. Η προένταση η οποία πρέπει να εφαρμόζεται στο ελατήριο είναι συνυφασμένη με το module του τροχού που θα τοποθετηθεί επάνω στο φορείο. Στο Σχήμα 3.4 φαίνεται ο μηχανισμός των επαναφοράς του φορείου.



Σχήμα 3.4: Μηχανισμός Επαναφοράς Άνω Μέρους του Φορείου

Για τις δοκιμές μονής κατατομής και μονής κατατομής υπό φορτίο, τα δύο φορεία πρέπει να είναι σταθερά μεταξύ τους και να μην επιτρέπεται κάποια κίνηση προκειμένου να μην χάνεται η επαφή μεταξύ των δύο τροχών. Για να εξασφαλιστεί η πρώτη είδους σταθεροποίηση, δηλαδή να μην υπάρχει κίνηση του πάνω φορείου σε σχέση με το κάτω, χρησιμοποιείται μηχανισμός ασφάλισης του πάνω φορείου. Αυτός ο μηχανισμός του Σχήματος 3.5 αποτελείται από ένα ορθογώνιο παραλληλόγραμμο του οποίου οι δύο από τις τέσσερις γωνίες σχηματίζουν τόξα 90° . Αυτό το παραλληλόγραμμο βρίσκεται στο κάτω φορείο και συνδέεται με λαβή στο εξωτερικό του φορείου, προκειμένου ο χειριστής να μπορεί να κάνει χρήση αυτής. Εν συνεχεία στο άνω μέρος του φορείου υπάρχει αντίστοιχη κοιλότητα στην οποία όταν το άνω μέρος κλείσει, το ειδικά διαμορφωμένο παραλληλόγραμμο φωλιάζει εντός αυτής. Προκειμένου να εξασφαλιστεί η σταθεροποίηση του άνω μέρους αρκεί ο χειριστής να στρέψει τη λαβή κατά 90° και έτσι ο μηχανισμός βρίσκεται στα όρια της κοιλότητας και δεν επιτρέπει την εγκάρσια κίνηση του πάνω μισού του κύριου φορείου.



Σχήμα 3.5: Μηχανισμός Σταθεροποίησης Άνω Μέρους Φορείου

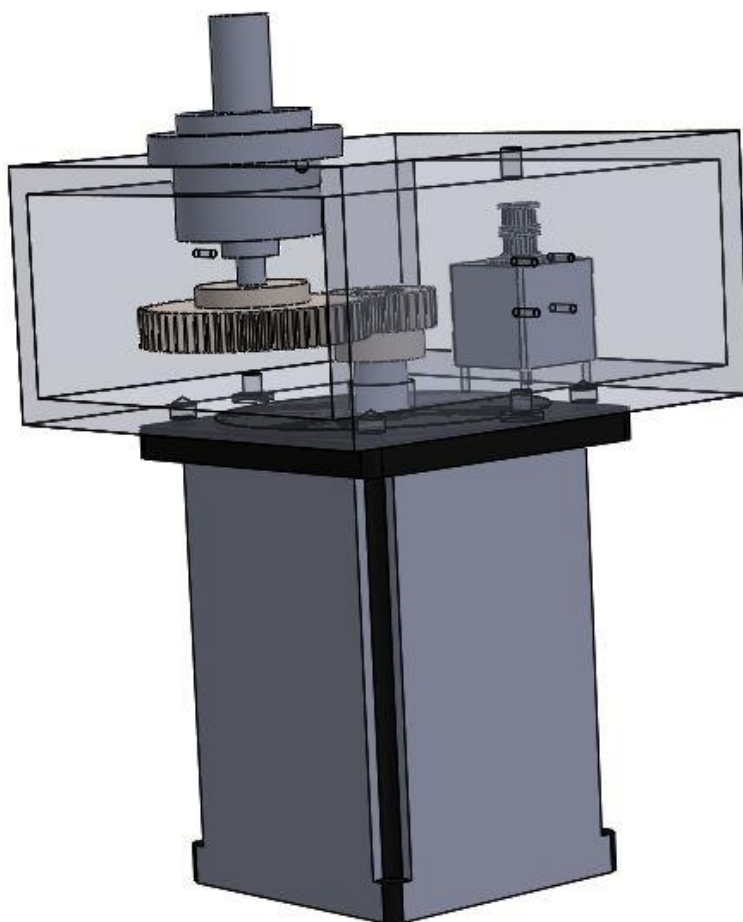
Εξίσου σημαντικό για την υλοποίηση των ειδών δοκιμών μονής κατατομής είναι η επιβολή φορτίου στον άξονα του προτύπου τροχού.

Αρχικά, έγινε προσπάθεια τοποθέτησης μηχανισμού στον άξονα του πρότυπου τροχού, ο οποίος λόγω περιστροφής θα ανυψώνει ένα βάρος. Κάτι τέτοιο είναι αδύνατο λόγω του μικρού ύψους που έχει τεθεί ως κύριο χαρακτηριστικό σχεδιασμού της διάταξης.

Στη συνέχεια, επόμενη εναλλακτική ήταν η χρήση κάποιου είδους μηχανικής πέδης. Ενώ η χρήση και η εφαρμογή της είναι πιο εύκολη, θεωρήθηκε κάτι όχι τόσο αξιόπιστο για την εν λόγω διάταξη. Επίσης, σημαντικός παράγοντας ήταν ότι λόγω τριβών θα έπρεπε να υπάρχει συνεχής συντήρησή της και αντικατάσταση των μερών που φθείρονται είτε είναι ο άξονας του τροχού είτε το ίδιο το σύστημα της πέδης.

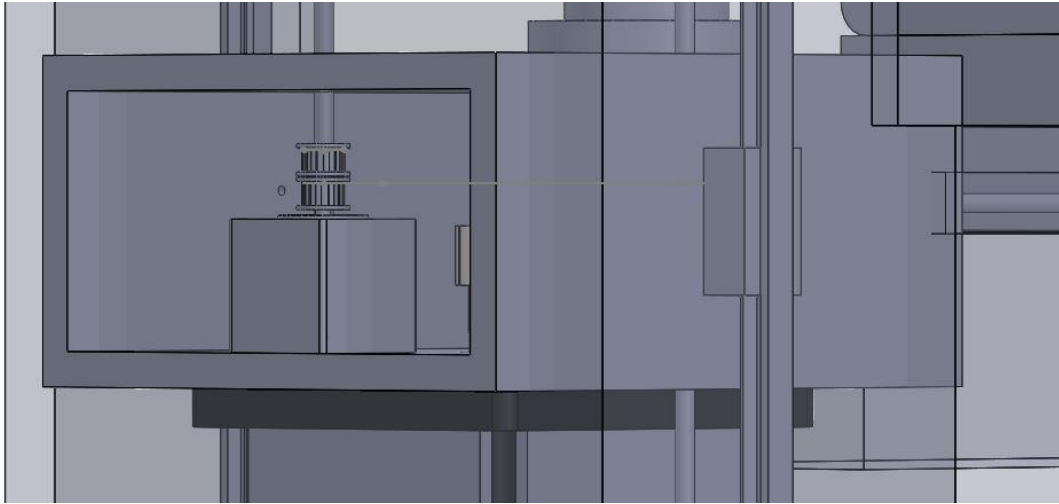
3.3. Δεύτερη εκδοχή διάταξης

Στη δεύτερη αυτή εκδοχή εφαρμόζονται σημαντικές αλλαγές οι οποίες κάνουν τη διάταξη πιο αξιόπιστη φέρνοντάς την πιο κοντά στις προδιαγραφές οι οποίες έχουν τεθεί στην αρχή της εργασίας. Όσον αφορά το Σταθερό Φορείο πλέον παίρνει τη μορφή ορθογωνίου παραλληλεπίπεδου, με μία κοιλότητα στο εσωτερικό του, κάτι το οποίο γίνεται φανερό στο Σχήμα 3.6. Πλέον ηλεκτροκινητήρας και άξονας εξεταζόμενου τροχού βρίσκονται σε συνεργασία μέσω οδοντωτών τροχών με σχέση μετάδοσης 1:2. Αυτό συνέβη λόγω του ότι μεταξύ του άξονα του ηλεκτροκινητήρα και του άξονα του τροχού θα πρέπει να υπάρχουν όσο το δυνατόν λιγότερα δυνατά στοιχεία και όσο το δυνατόν πιο αξιόπιστα. Με αυτόν τον τρόπο ο άξονας του τροχού τοποθετείται στο άνω μέρος του φορείου ενώ ο κινητήρας στο κάτω μέρος του.



Σχήμα 3.6: Σταθερό Φορείο ή Φορείο Εξεταζόμενου Τροχού (v.2)

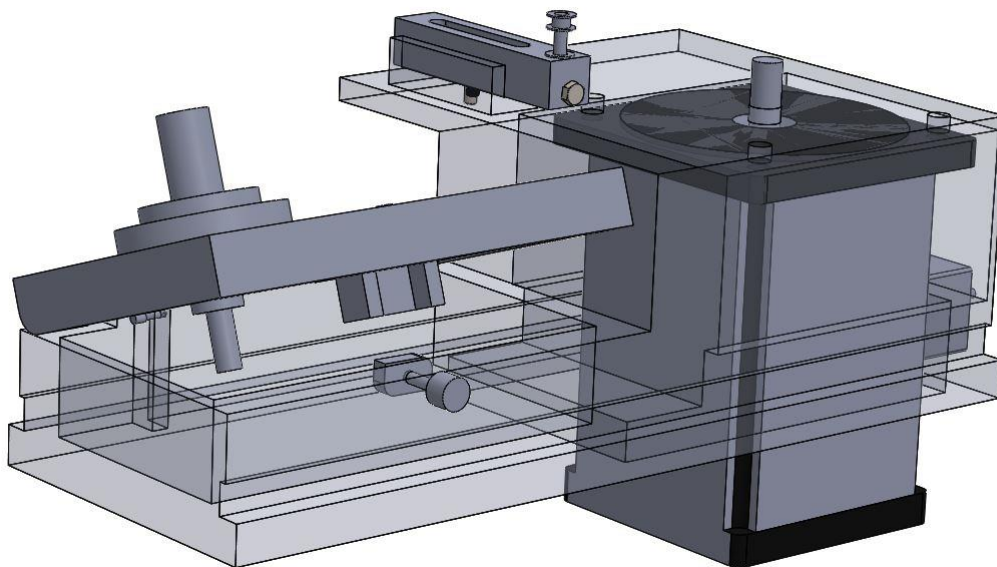
Η οδήγηση του φορείου γίνεται πλέον με γραμμικούς οδηγούς και γραμμικά έδρανα, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.7. Το φορείο συνδέεται στα έδρανα με κοιλίες. Για την κίνηση του φορείου στον κατακόρυφο άξονα εξακολουθεί να γίνεται χρήση κοιλία σφαιρικού σπειρώματος. Η μόνη διαφορά ως προς αυτό το μέρος είναι ότι πλέον γίνεται χρήση ενός ηλεκτρικού βηματικού κινητήρα. Στον βηματικό κινητήρα τοποθετούνται δύο τροχαλίες, μία για τον κάθε κοιλία. Αντίστοιχα στον κάθε κοιλία τοποθετούνται τροχαλίες οι οποίες στην οπή τους διαθέτουν σφαιρικό σπείρωμα.



Σχήμα 3.7: Λεπτομερειακό Σχήμα ως προς τους Γραμμικούς Οδηγούς και Ρουλεμάν. Βηματικός Κινητήρας Κατακόρυφης Κίνησης Φορείου.

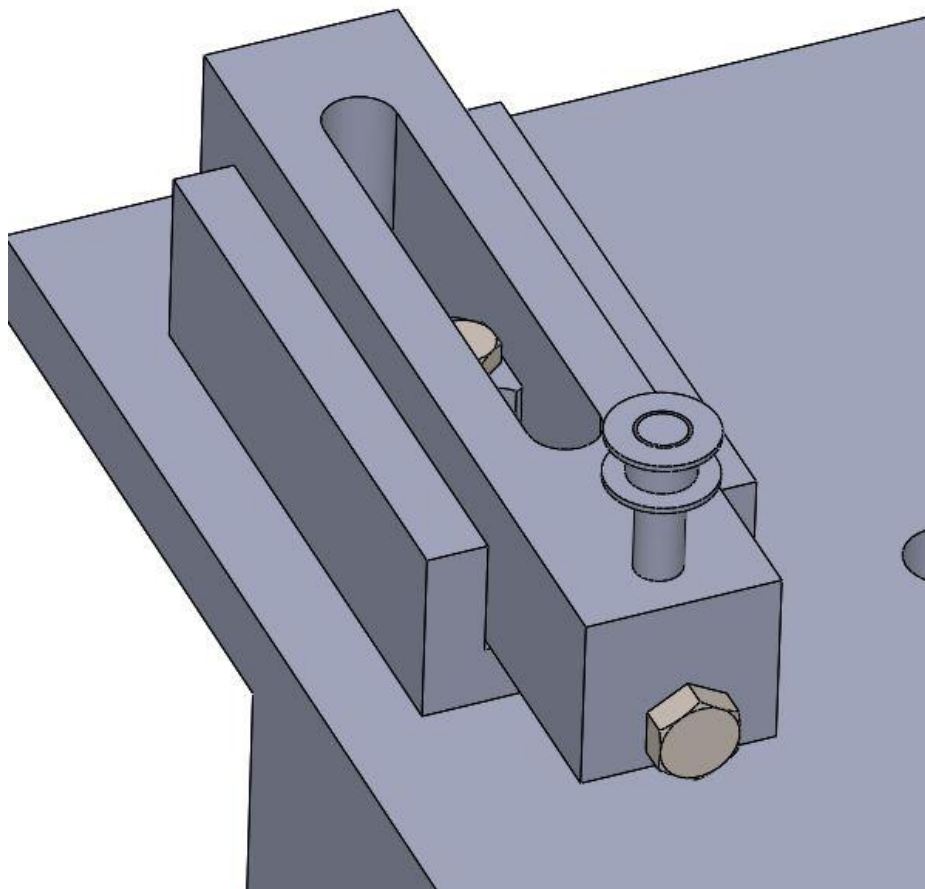
Προκειμένου να υπάρξει κάποια πιο αξιόπιστη λύση για το ζήτημα επιβολής του φορτίου στον άξονα του πρότυπου τροχού επιλέχθηκε η χρήση του ίδιου ηλεκτροκινητήρα με εκείνον που δίνει την κίνηση στο σύστημα. Η μετάδοση της κίνησης από τον άξονα στον κινητήρα γίνεται μέσω μαντοκίνησης.

Λόγω της τελευταίας προσθήκης στο κύριο φορτίο προστίθεται ένας όγκος στον οποίο φιλοξενείται ο ηλεκτροκινητήρας και έτσι το κινητό φορείο παίρνει τη μορφή του Σχήματος 3.8. Ο συγκεκριμένος όγκος χρησιμοποιείται προκειμένου η τροχαλία του άξονα του πρότυπου και η τροχαλία του άξονα του κινητήρα να βρίσκονται στο ίδιο ύψος. Επίσης, σημαντικός ρόλος του όγκου αυτού είναι η εξασφάλιση ότι δεν θα υπάρξουν βλάβες κατά τη διάρκεια των δοκιμών στον ηλεκτροκινητήρα.

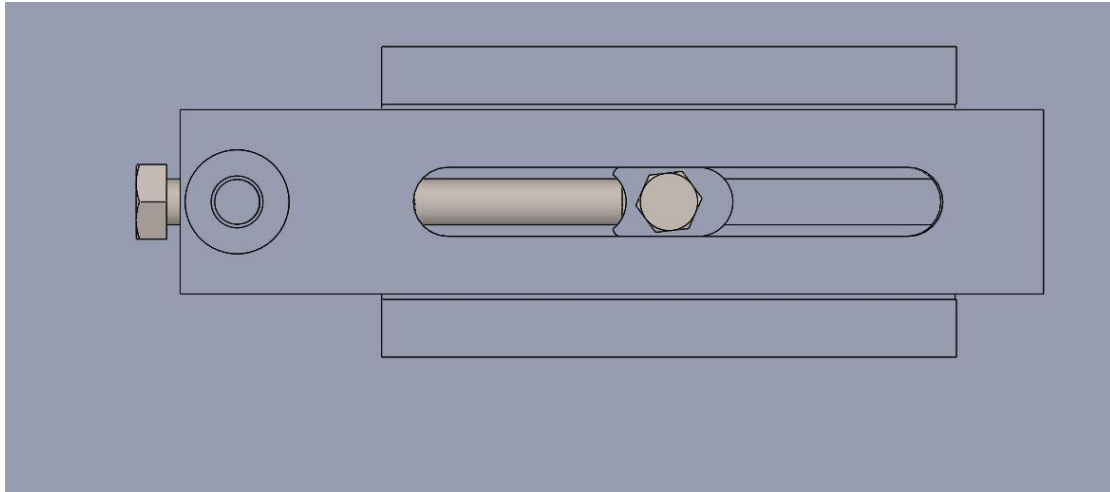


Σχήμα 3.8: Κυρίως Φορείο ή Φορείο Τροχού Πρότυπων Διαστάσεων (v.2)

Προκειμένου να επιτευχθεί η συνεχής επαφή του ιμάντα με τις δύο τροχαλίες, του πρότυπου τροχού και του άξονα του φορτίου, τοποθετείται διάταξη τεντωτήρα (Σχήμα 3.9, 3.10). Η διάταξη αυτή στηρίζεται επάνω στον όγκο προφύλαξης του κινητήρα-φορτίου. Αποτελείται από το κύριο μέρος της, το οποίο έχει τη μορφή ορθογωνίου, και στο εσωτερικό της υπάρχει κοιλότητα. Στη συγκεκριμένη κοιλότητα υπάρχει χωνευτό εξάρτημα ελλειπτικού σχήματος με μία οπή στο κέντρο του και η μία πλευρά του, από αυτές που δεν είναι σε επαφή με τα τοιχώματα του κύριου μέρους, διαθέτει υποδοχή κεφαλής κοχλίας. Το κύριο μέρος του τεντωτήρα διαθέτει άξονα με τροχαλία που εδράζεται σε αυτόν με κατάλληλο ρουλεμάν. Από την πλευρά όπου είναι ο ιμάντας στο σώμα του τεντωτήρα υπάρχει οπή με σπείρωμα και σε αυτήν περνάει κοχλίας. Ο κοχλίας αυτός είναι εκείνος ο οποίος ρυθμίζει το πόσο προεντείνεται ο ιμάντας. Στην οπή του χωνευτού εξαρτήματος υπάρχει κοχλίας ο οποίος πιέζει το εν λόγω εξάρτημα και κατά συνέπεια το κύριο σώμα του τεντωτήρα και με αυτόν τον τρόπο σταθεροποιείται η θέση του τεντωτήρα.

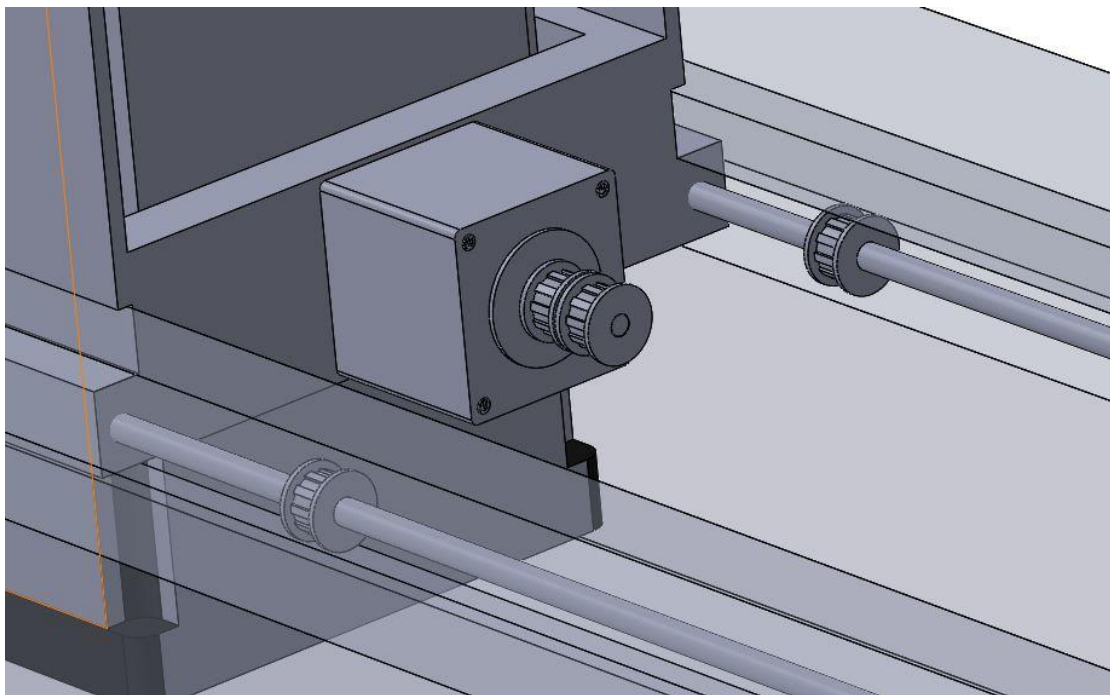


Σχήμα 3.9: Διάταξη Τεντωτήρα (Ισομετρική Προβολή)



Σχήμα 3.10: Διάταξη Τεντωτήρα (Κάτοψη)

Τέλος, στο κύριο φορείο αντικαθίσταται η χειρολαβή κίνησης του φορείου με αντίστοιχο ηλεκτρικό βηματικό κινητήρα με αυτούς του σταθερού φορείου, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.11. Αυτός ο κινητήρας τοποθετείται στον όγκο προστασίας του ηλεκτροκινητήρα συνεχούς ρεύματος και κατ' αντιστοιχία με εκείνον του φορείου του εξεταζόμενου τροχού έχει δύο τροχαλίες οι οποίες μεταδίδουν την περιστροφική τους κίνηση μέσω μάντα σε αντίστοιχες τροχαλίες που βρίσκονται στους δύο κοχλίες στη βάση του φορείου.

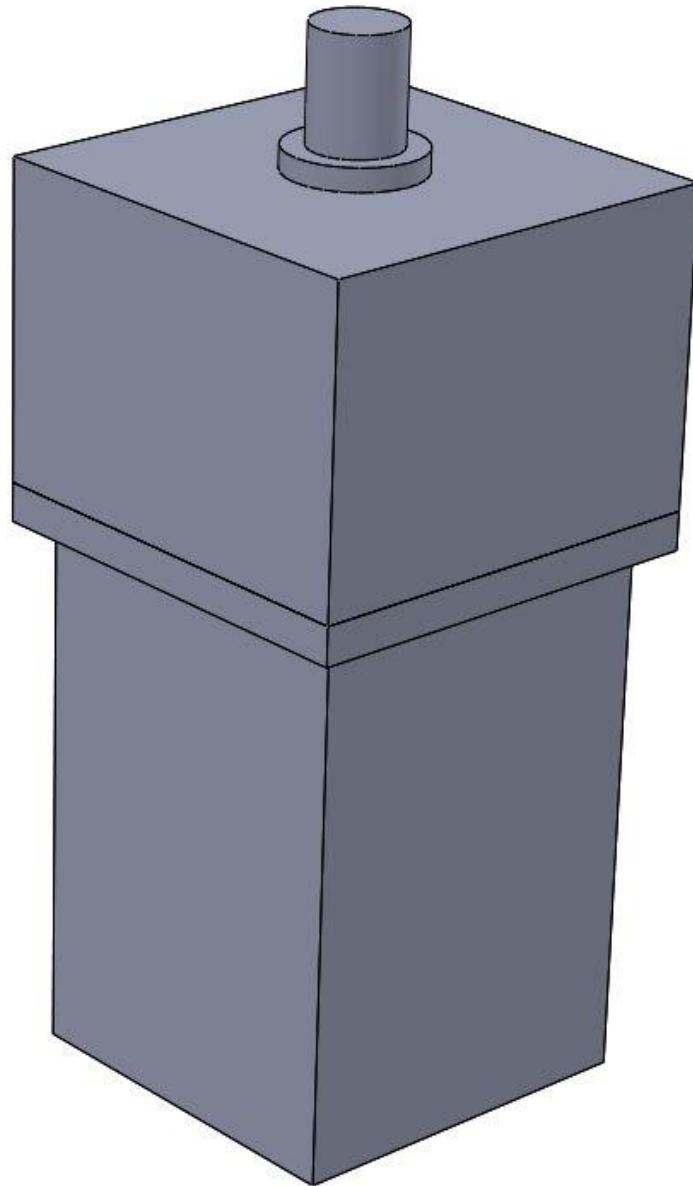


Σχήμα 3.11: Διάταξη Βηματικού Κινητήρα Κίνησης Φορείου Τροχού Προτύπων Διαστάσεων

3.4. Τρίτη εκδοχή διάταξης

Ένα σημαντικό μειονέκτημα το οποίο μπορεί να επιφέρει αξιοσημείωτες παρεμβολές στις παραγόμενες μετρήσεις είναι η παρεμβολή διαφόρων στοιχείων μετάδοσης κίνησης ανάμεσα στους άξονες, τα οποία προσδίδουν ελαστικότητα στο σύστημα. Έτσι, αναπτύχθηκε ένας εκ

νέου σχεδιασμός στον οποίο, η μεν κίνηση από τον ηλεκτροκινητήρα στον άξονα του εξεταζόμενου τροχού και η κίνηση από τον άξονα του προτύπων διαστάσεων τροχού στον ηλεκτροκινητήρα-φορτίο γίνονται με απευθείας σύνδεση με τη χρήση στιβαρού συνδέσμου (coupler), όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.12.

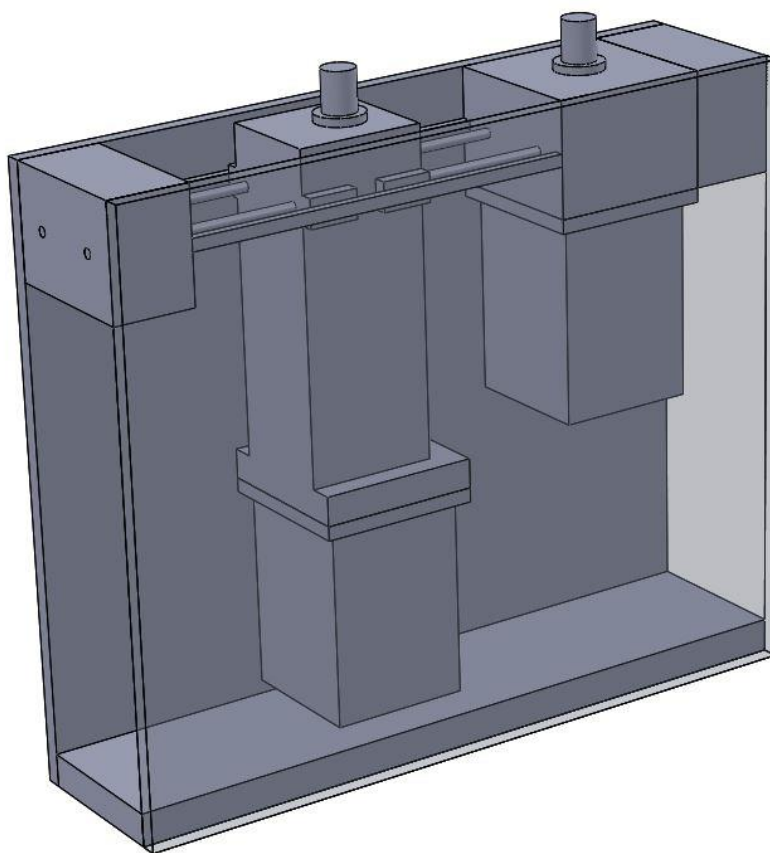


Σχήμα 3.12: Δείγμα Φορείου με Προσδεμένο Κινητήρα Απευθείας Σύνδεσης με τον Άξονα του Τροχού

Συνεπώς πλέον διαμορφώνονται φορεία τα οποία έχουν στο πάνω μέρος τους τον άξονα επί του οποίου εδράζεται ο εκάστοτε τροχός. Η έδραση των αξόνων στο φορείο γίνεται με τη βοήθεια δύο tapered ρουλεμάν, προκειμένου να επιτευχθεί η επιθυμητή στιβαρότητα, ενώ στο κάτω μέρος τους βρίσκεται προσδεμένος με κοιλίες ο ηλεκτρικός κινητήρας. Προκειμένου να επιτευχθεί η ελάχιστη δυνατή απόσταση μεταξύ των δύο φορείων ο κινητήρας - φορτίο είναι τοποθετημένος με τέτοιο τρόπο ώστε όταν έρχονται τα δύο φορεία στην ελάχιστη δυνατή

μεταξύ τους απόσταση, ένα μέρος του να βρίσκεται κάτω από τον αντίστοιχο που δίνει κίνηση στο σύστημα.

Προκειμένου να επιτευχθεί η επιθυμητή στιβαρότητα του συστήματος χωρίς να ξεπερνά τα όρια των ιδιοσυχνοτήτων που έχουν τεθεί στον Πίνακα 3.1, η διάταξη των δύο φορείων η οποία φαίνεται στο Σχήμα 3.13, καλύπτεται δεξιά και αριστερά από πλάκες ευθυγράμμισης οι οποίες έχουν υποστεί κατάλληλη επεξεργασία λείανσης προκειμένου σε συνδυασμό με το ότι τα φορεία είναι τάκοι αντίστοιχης κατεργασίας επιτυγχάνονται οι επιθυμητές ανοχές. Τέλος, στις δύο πλευρές εμπρός και πίσω της μηχανής τοποθετούνται αντίστοιχης επεξεργασίας τάκοι οι οποίοι προσδιορίζουν τα όρια της διάταξης και επάνω σε αυτούς καταλήγουν οι κοχλίες κίνησης του κυρίως φορείου. Λειτουργικά, οι τάκοι - stop βοηθούν και στην διαδικασία απομάκρυνσης του κινητήρα - φορτίου όταν αυτό απαιτείται για την δοκιμή διπλής κατατομής.



Σχήμα 3.13: Ολοκληρωμένη Διάταξη υπό τη Μορφή Όγκων

Πιο συγκεκριμένα το φορείο στο οποίο εδράζεται ο εξεταζόμενος τροχός πλέον είναι σταθερό και πακτωμένο στις πλάκες που περικλείουν τη διάταξη. Η ρύθμιση του ύψους του τοποθετούμενου οδοντωτού τροχού γίνεται με κατάλληλα spacers τα οποία τοποθετούνται κάτω από τον τροχό που εξετάζεται. Επίσης, προκειμένου να υπάρχει σφιχτή συναρμογή ανάμεσα στους τροχούς και τους άξονες τοποθετούνται κατάλληλες διατάξεις τύπου τσοκ, οι οποίες σχηματίζουν ένα κολάρο γύρω από τον άξονα το οποίο σφίγγει όταν γίνει τοποθέτηση του οδοντωτού τροχού σε αυτό.

Όσον αφορά το κυρίως φορείο της διάταξης, η οδήγησή του επιτυγχάνεται με τη χρήση γραμμικών οδηγών αντίστοιχων ρουλεμάν τα οποία είναι προσδεμένα επάνω στο φορείο, ενώ η μετακίνησή του στην ακτινική διεύθυνση πραγματοποιείται με κοχλίες σφαιρικού

σπειρώματος και αντίστοιχα περικόχλια τα οποία βρίσκονται επάνω στο φορείο. Η στρέψη τους επιτυγχάνεται με τη χρήση βηματικού ηλεκτρικού κινητήρα όπως έχεις προαναφερθεί και στις προηγούμενες εκδοχές τους σχεδιασμού.

3.5. Μετρητικά Όργανα

Εξίσου σημαντικό και αναπόσπαστο κομμάτι της διάταξης είναι οι μετρητικές διατάξεις. Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 3.2 των προδιαγραφών, έχουν επιλεχθεί συγκεκριμένου τύπου, εύρους και ακρίβειας μετρητικά όργανα. Αυτό συνέβη καθώς η εγκυρότητα και η ορθότητα των μετρήσεων είναι οι παράμετροι που δίνουν και το πιο αντιπροσωπευτικό αποτέλεσμα, επομένως εξασφαλίζουν και την αξιοπιστία της διάταξης.

Πιο συγκεκριμένα, για την μέτρηση των στροφών έγινε επιλογή στροφόμετρου τύπου encoder καθώς η ακρίβεια του σε μετρήσεις είναι αρκετά μεγαλύτερη από αντίστοιχου τύπου laser. Πιο συγκεκριμένα επιλέχθηκε αρχικά περιστροφικός encoder με τύπο Heidenhain ERN1000, όπου τα κύρια χαρακτηριστικά του φαίνονται στον Πίνακα 3.3.



Σχήμα 3.14: Μετρητικό Όργανο Στροφών Τύπου Encoder Heidenhain ERN1000

Μέγεθος	Τιμή
Μέγιστη Ταχύτητα Περιστροφής Άξονα (RPM)	12000
Ακρίβεια	±5%

Πίνακας 3.3: Χαρακτηριστικά Στροφόμετρου Τύπου Encoder Heidenhain ERN1000

Όσον αφορά τη μέτρηση της μετατόπισης, απαιτείται ακρίβεια της αρχικής απόστασης μεταξύ των αξόνων των τροχών. Για το λόγο αυτό επιλέχθηκε μετρητική διάταξη τύπου laser, λόγω του ότι είναι κάτι αρκετά μικρό και ακριβές για τη χρήση αυτή. Επιλέχθηκε laser τύπου Baumer OM70-L0250, του οποίου τα χαρακτηριστικά φαίνονται στον παρακάτω Πίνακα 3.4.



Σχήμα 3.15: Μετρητικό Όργανο Απόστασης Τύπου Laser Baumer OM70-L0250

Μέγεθος	Τιμή
Εύρος Μέτρησης (mm)	50-250
Ακρίβεια (μm)	0.3-2

Πίνακας 3.4: Χαρακτηριστικά Μετρητικού Οργάνου Απόστασης Τύπου Laser Baumer OM70-L0250

Ενώ, όσον αφορά την μέτρηση της μεταβολής της θέσης του άνω φορείου σε σχέση με το κάτω επιλέχθηκε μία διάταξη γραμμικού τύπου encoder με τύπο Heidenhain LC 415, το οποίο στηρίζεται στο πλαίσιο της μηχανής και το κινητό μέρος του στο πάνω μέρος του φορείου, του οποίου τα χαρακτηριστικά φαίνονται στον Πίνακα 3.5

Μέγεθος	Τιμή
Εύρος Μέτρησης (mm)	<70
Ακρίβεια (μm)	± 3

Πίνακας 3.5: Χαρακτηριστικά Μετρητικού Οργάνου Απόστασης Τύπου Encoder Heidenhain LC 415

Τέλος, προκειμένου να λαμβάνονται μετρήσεις και για τα φορτία και τις ροπές που ασκούνται στα φορεία και στους άξονες των τροχών αντίστοιχα, τοποθετούνται loadcells στο κάτω μέρος του φορείου και ένα ροπόμετρο το οποίο μετράει τις φορτίσεις του εκάστοτε άξονα. Πιο συγκεκριμένα τα loadcells τοποθετούνταν ανάμεσα στο κάτω φορείο και το κύριο σώμα της μηχανής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να προσδίδει ελαστικότητα στο σύστημα, κάτι το οποίο δεν είναι επιθυμητό και για αυτό το λόγο αφαιρέθηκαν. Ενώ για την μέτρηση της ροπής στους δύο άξονες τοποθετείται μετρητική διάταξη με τύπο FUTEK TRS705 το οποίο πέραν της δυνατότητας μέτρησης της ροπής διαθέτει και rotary encoder, με αποτέλεσμα να καταργείται εκείνος ο οποίος παρουσιάστηκε προηγουμένως. Πιο συγκεκριμένα τα χαρακτηριστικά της εν λόγω συσκευής φαίνονται στον Πίνακα 3.6.



Σχήμα 3.16: Μετρητικό Όργανο Ροπής με Προσαρμοσμένο Encoder τύπου FUTEK TRS705

Μέγεθος	Τιμή
Εύρος Ροπής (Nm)	<50
Μέγιστη Ταχύτητα Περιστροφής Άξονα (RPM)	<7000
Ακρίβεια	±0.2%

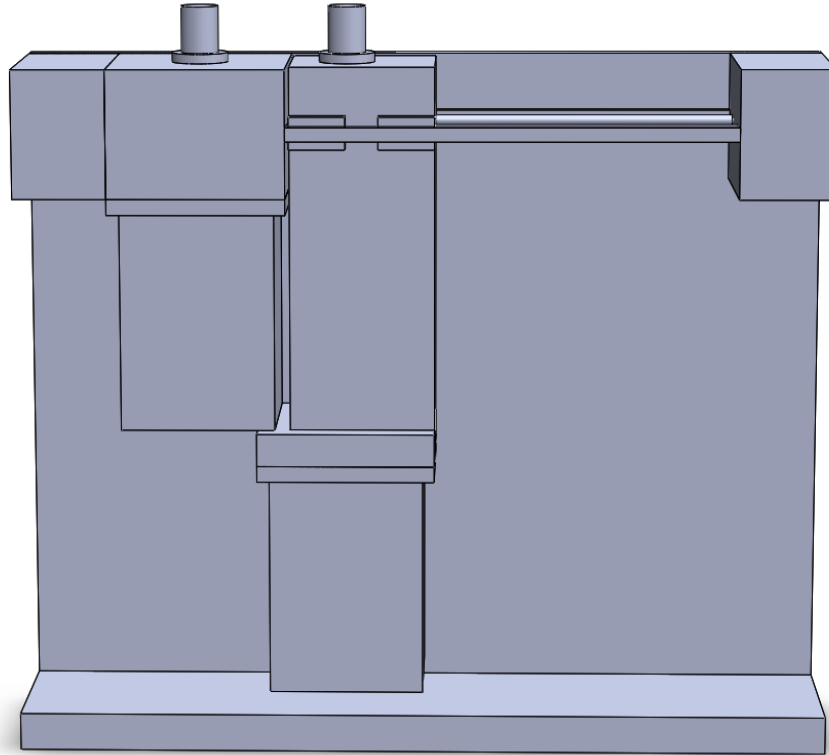
Πίνακας 3.6: Χαρακτηριστικά Μετρητικού Οργάνου με Προσαρμοσμένο Encoder Τύπου FUTEK TRS705

4. Λεπτομερής σχεδιασμός

4.1. Ανάλυση Πεπερασμένων Στοιχείων

Στο προηγούμενο κεφάλαιο έγινε μια αναλυτική ανασκόπηση του εννοιολογικού σχεδιασμού (conceptual design) για τη μηχανή ελέγχου οδοντωτών τροχών που εξετάζεται. Στο στάδιο αυτό εξετάστηκαν μια σειρά εναλλακτικών λύσεων για τα διάφορα υποσυστήματα της μηχανής καθώς και του κυρίου σώματος αυτής, οι οποίες αξιολογήθηκαν με κριτήριο την τήρηση των τεχνικών προδιαγραφών που είχαν τεθεί από την αρχή του σχεδιασμού. Από τον εννοιολογικό σχεδιασμό προέκυψαν δύο βασικές σχεδιαστικές εναλλακτικές λύσεις που συνοδεύονται η κάθε μία από μια σειρά πλεονεκτημάτων αλλά και από κάποια μειονεκτήματα. Γι' αυτό το λόγο, στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστεί η ανάλυση που έγινε στα πλαίσια πλέον, του λεπτομερούς σχεδιασμού για τον προσδιορισμό της καλύτερης λύσης με την βοήθεια της χρήσης υπολογιστικών μεθόδων πεπερασμένων στοιχείων.

Από τη διαδικασία του εννοιολογικού σχεδιασμού προέκυψαν δύο εναλλακτικές σχεδιαστικές λύσεις που διαφέρουν κυρίως στον τρόπο τοποθέτησης των κινητήρων. Στην πρώτη περίπτωση οι κινητήρες που χρησιμοποιούνται για την παροχή της ισχύος στην είσοδο και την εφαρμογή του φορτίου στην έξοδο τοποθετούνται κατακόρυφα, έτσι ώστε οι άξονές τους να είναι στην ίδια διεύθυνση με τους άξονες στους οποίους εδράζονται οι οδοντωτοί τροχοί. Ο βασικός λόγος που έγινε αυτή η επιλογή, όπως αναλύθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, ήταν να αποφευχθεί οποιαδήποτε παρεμβολή περισσότερο ή λιγότερο ελαστικών στοιχείων μεταξύ των εξεταζόμενων οδοντωτών τροχών και των κινητήρων για ελαχιστοποίηση των σφαλμάτων και της αβεβαιότητας στη μετάδοση της κίνησης και στη μέτρηση των κινηματικών και δυναμικών χαρακτηριστικών του τροχού που εξετάζεται. Ωστόσο, λόγω του μεγέθους των ίδιων των κινητήρων η επίτευξη της ελάχιστης απαιτούμενης αξονικής απόστασης μεταξύ των οδοντωτών τροχών απαίτησε μία ιδιαίτερη τοποθέτηση των κινητήρων η οποία φαίνεται στο Σχήμα 4.1. Η χωροταξία αυτή μπορεί να έχει αρνητική επίδραση στις ιδιοσυχνότητες της μηχανής, οι οποίες μπορεί να προκύπτουν μειωμένες λόγω του αυξημένου ύψους της μηχανής. Για το λόγο αυτό απαιτείται πιο λεπτομερής ανάλυση η οποία παρατίθεται παρακάτω.



Σχήμα 4.1. Διάταξη κινητήρων για επίτευξη ελάχιστης απόστασης αξόνων

Η δεύτερη εναλλακτική για το σχεδιασμό της μηχανής αφορούσε την τοποθέτηση των κινητήρων οριζόντια, έτσι ώστε οι άξονές τους να είναι κάθετοι με εκείνους των οδοντωτών τροχών. Η μετάδοση της κίνησης θα γίνεται μέσω μιας βαθμίδας κωνικών τροχών. Με τον τρόπο αυτό δεν υπάρχει πρακτικά πλέον περιορισμός στην αξονική απόσταση των οδοντωτών τροχών και η μηχανή μειώνεται σε ύψος, γεγονός που θα αυξήσει τις ιδιοσυχνότητές της. Το βασικό μειονέκτημά της είναι, σαφώς, η παρεμβολή των κωνικών τροχών στη διαδρομή της ισχύος, γεγονός που μπορεί δυνητικά να αυξήσει την αβεβαιότητα των μετρήσεων, μιας και οι δυναμική απόκριση των κωνικών τροχών μπορεί να παρεισφύρει στα δεδομένα που συλλέγονται για τη μελέτη των μετωπικών οδοντωτών τροχών που εξετάζονται.

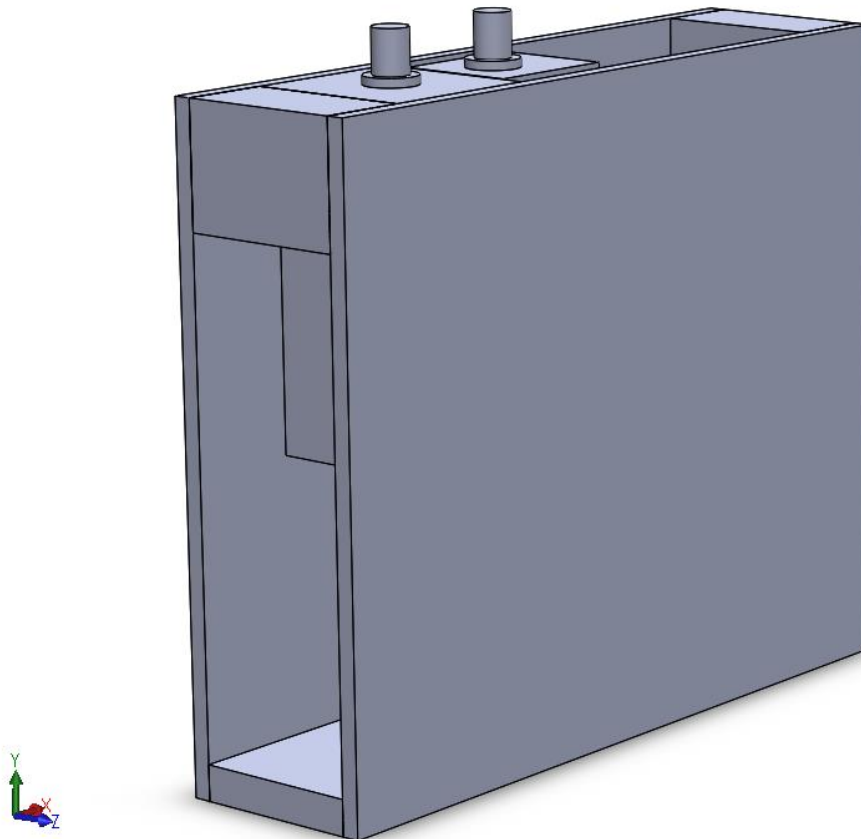
Συμπερασματικά, το μειονέκτημα της πρώτης λύσης είναι ο περιορισμός που υπάρχει στην ελάχιστη απόσταση αξόνων, ακόμα και με τη χωροταξία που φαίνεται στο Σχήμα 4.1, ενώ το βασικό μειονέκτημα της δεύτερης λύσης είναι η παρεμβολή επιπλέον στοιχείων μετάδοσης στη διαδρομή της ισχύος. Με δεδομένο ότι η βασική λειτουργία της μηχανής είναι η μελέτη της κινηματικής και δυναμικής συμπεριφοράς των οδοντωτών τροχών που εξετάζονται στις διάφορες εφαρμογές του Εργαστηρίου Στοιχείων Μηχανών και ότι η ελάχιστη απόσταση αξόνων που επιτυγχάνεται με την πρώτη λύση είναι αρκετή για την εξέταση του 80% περίπου των τροχών που διαθέτει το Εργαστήριο, προκρίνεται εκείνη ως προτιμότερη λύση υπό την συνθήκη, όμως, οι ιδιοσυχνότητες της μηχανής με αυτό τον σχεδιασμό να είναι αρκούντως μακριά από αυτές των οδοντωτών τροχών που εξετάζονται σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές που έχουν οριστεί σε προηγούμενο Κεφάλαιο. Επομένως, είναι απαραίτητη η μελέτη των ιδιοσυχνοτήτων της μηχανής με τον πρώτο σχεδιασμό μέσω ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων.

Για την ανάλυση της μηχανής σε κάποιο περιβάλλον πεπερασμένων στοιχείων αναπτύσσεται ένα μοντέλο βασικών όγκων, όπου περιλαμβάνει όλα τα λειτουργικά τμήματα της μηχανής με τα πραγματικά χαρακτηριστικά μάζας και δυσκαμψίας. Ταυτόχρονα, ξεκινά ο λεπτομερής σχεδιασμός του σασί της μηχανής, ο οποίος θα εξελίσσεται με βάση τα αποτελέσματα που

προκύπτουν από τις αναλύσεις ιδιοσυχνοτήτων. Ο υπολογισμός τους γίνεται στο υπολογιστικό πακέτο ANSYS Workbench.

Στο Σχήμα 4.2 φαίνεται ο αρχικός σχεδιασμός του σασί της μηχανής ελέγχου οδοντωτών τροχών που σχεδιάζεται. Οι δύο πλάκες που χρησιμοποιούνται για την ευθυγράμμιση των εδράσεων των αξόνων επεκτείνονται μέχρι να καλύψουν το ύψος των δύο κινητήρων. Στο κάτω μέρος τους ενώνονται με μία πλάκα η οποία και θα αποτελεί τη βάση της μηχανής και το σημείο σύνδεσής της με το έδαφος. Ο σχεδιασμός αυτός εξυπηρετεί την βασική στήριξη των κύριων τμημάτων της μηχανής μεταξύ τους και με το έδαφος και εισάγεται σε αυτή τη μορφή για ιδιοσυχνοτική ανάλυση για να αποκαλυφθούν τα βασικά σημεία όπου χρειάζεται υποστήριξη. Στον Πίνακα 4.1 δίνονται τα επιπλέον γεωμετρικά στοιχεία που εισάγονται εδώ για πρώτη φορά για την υλοποίηση του σασί.

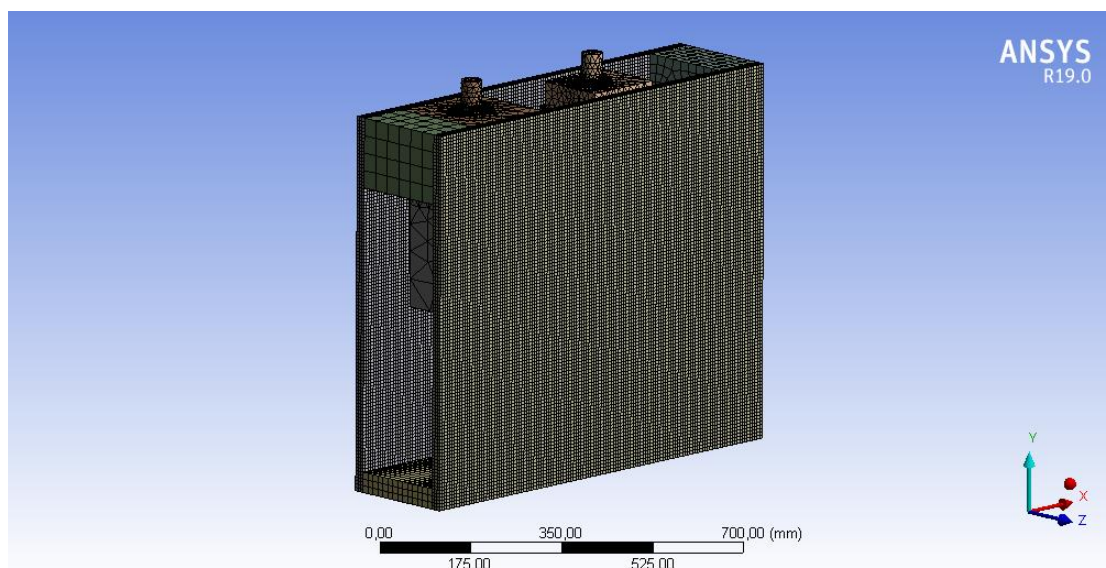
Στο Σχήμα 4.3 παρουσιάζεται το μοντέλο που αναπτύχθηκε σε περιβάλλον ANSYS Workbench για την ιδιοσυχνοτική (modal) ανάλυση. Τα αποτελέσματα από την επίλυσή του φαίνονται στο Σχήμα 4.4. Όπως γίνεται φανερό από το Σχήμα 4, οι ιδιοσυχνότητες της μηχανής στον εξεταζόμενο σχεδιασμό είναι πολύ χαμηλές δεδομένων των απαιτήσεων των τεχνικών προδιαγραφών, καθώς ξεκινούν από την τάξη των 50 Hz. Όπως φαίνεται από τις ιδιομορφές που παρουσιάζονται στα Σχήματα 4.5-4.7, οι κύριες αδυναμίες του σχεδιασμού έχουν να κάνουν με την στιβαρότητα του σασί περί τον άξονα x και με την έλλειψη επαρκούς στήριξης του κινητήρα που λειτουργεί ως φορτίο.



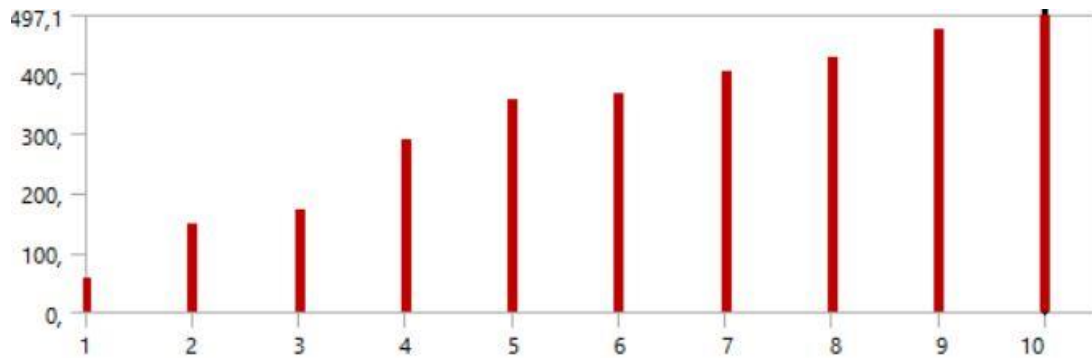
Σχήμα 4.2. Αρχικός σχεδιασμός σασί μηχανής για κατακόρυφους κινητήρες

Εξάρτημα	Διάσταση	Τιμή (mm)
Γενικές διαστάσεις	x	850
	y	740
	z	230
Πλάκα ευθυγράμμισης	x	850
	y	740
	z	20
Πλάκα βάσης	x	870
	y	40
	z	190
Τάκος στην πλευρά του σταθερού φορείου	x	100
	y	140
	z	190
Τάκος στην πλευρά του κινούμενου φορείου	x	100
	y	140
	z	190

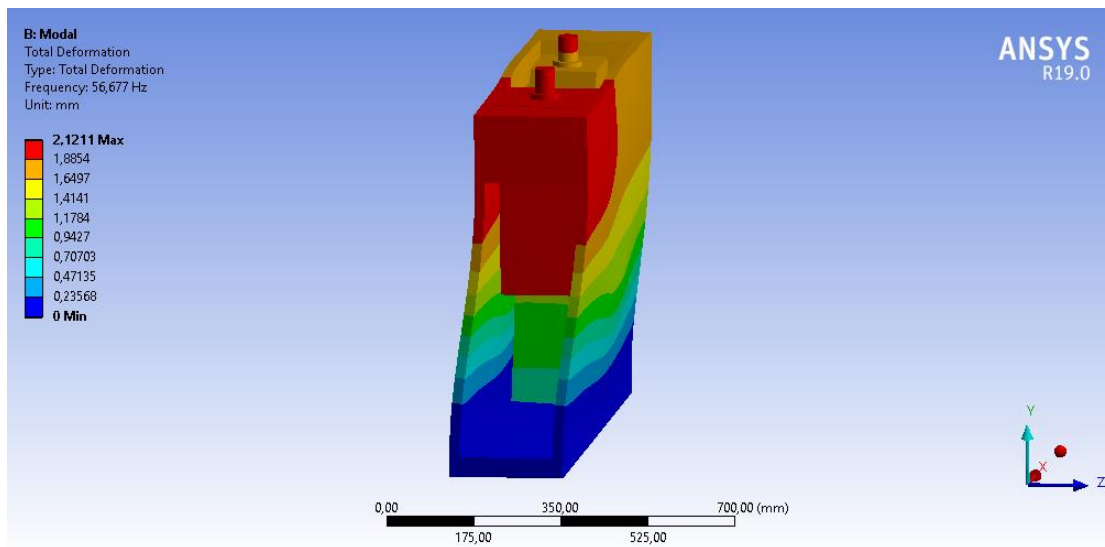
Πίνακας 4.1. Γεωμετρικά στοιχεία αρχικού σχεδιασμού σασί μηχανής για κατακόρυφους κινητήρες



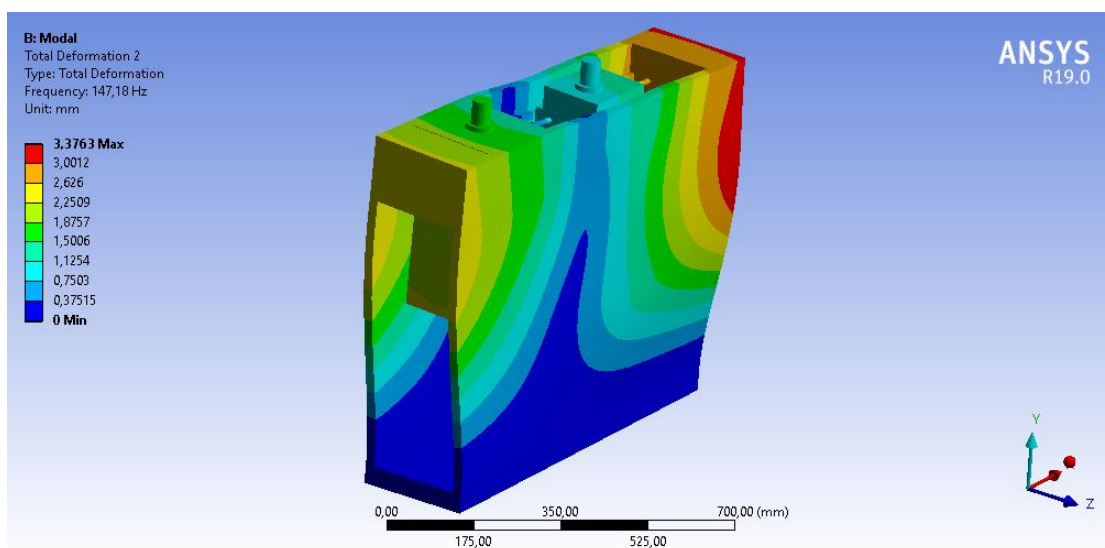
Σχήμα 4.3. Μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων για την ιδιοανυσματική ανάλυση του αρχικού σχεδιασμού



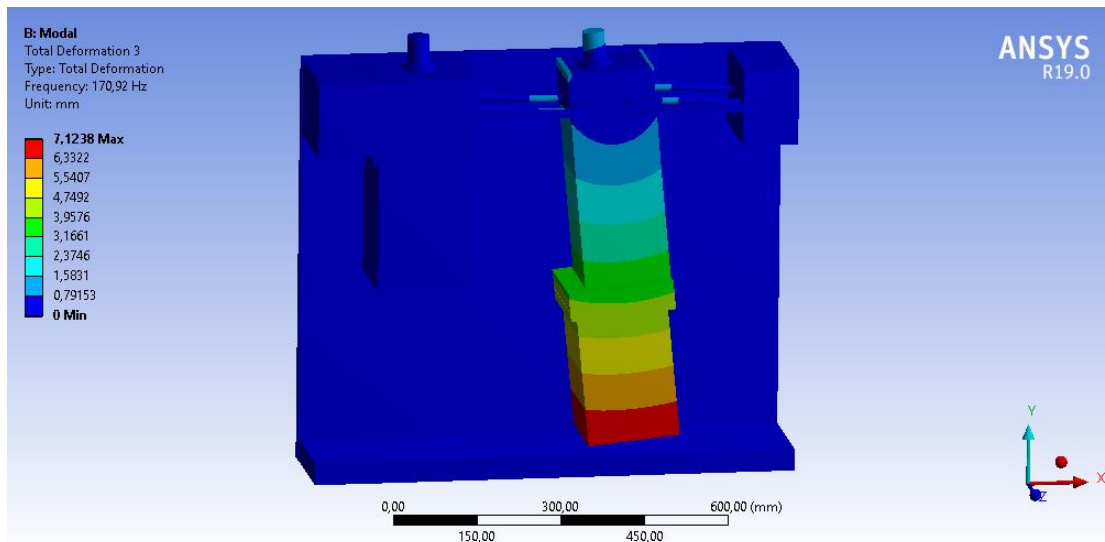
Σχήμα 4.4. Ιδιοσυχνότητες μηχανής αρχικού σχεδιασμού για κατακόρυφους κινητήρες. Στον κατακόρυφο άξονα παρουσιάζονται οι τιμές των ιδιοσυχνοτήτων, ενώ στον οριζόντιο ο άξων αριθμός τους.



Σχήμα 4.5. Πρώτη ιδιομορφή του αρχικού σχεδιασμού του σασί της μηχανής για κατακόρυφους κινητήρες με ιδιοσυχνότητα στα 55 Hz.



Σχήμα 4.6. Δεύτερη ιδιομορφή του αρχικού σχεδιασμού του σασί της μηχανής για κατακόρυφους κινητήρες με ιδιοσυχνότητα στα 145 Hz.



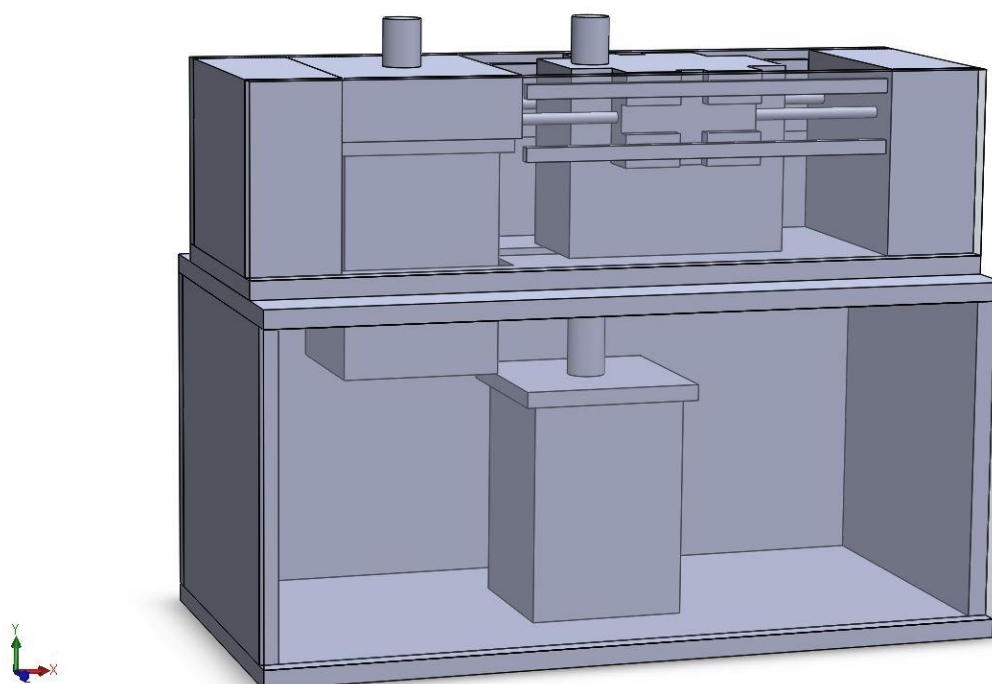
Σχήμα 4.7. Τρίτη ιδιομορφή του αρχικού σχεδιασμού του σασί της μηχανής για κατακόρυφους κινητήρες με ιδιοσυχνότητα στα 170 Hz.

Προκειμένου η μηχανή να αποκτήσει αρκετά υψηλότερες ιδιοσυχνότητες και να ικανοποιούνται και οι τεχνικές προδιαγραφές, ο σχεδιασμός του σασί πρέπει να αλλάξει αρκετά. Ο νέος σχεδιασμός του σασί παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.8 και τα καινούρια γεωμετρικά στοιχεία δίνονται στον Πίνακα 4.2. Η μηχανή πλέον διακρίνεται σε δύο διακριτά μέρη τα οποία χωρίζονται από δύο πλάκες. Στο πάνω μέρος των πλακών αυτών είναι ο χώρος του σταθερού και του κινητού φορείου, ενώ το κάτω μέρος εξυπηρετεί τη στέγαση των κινητήρων. Οι πλάκες έχουν ανοίγματα σε κάποια σημεία για να μην εμποδίζεται ο κινητήρας που δίνει την ισχύ και η προέκταση του άξονα του κινούμενου οδοντωτού τροχού που συνδέεται με τον κινητήρα - φορτίο. Ο κινητήρας - φορτίο τώρα πλέον εδράζεται στην πλάκα της βάσης της κατασκευής για να μην παρατηρείται η ιδιομορφή του Σχήματος 4.7. Το σασί υλοποιείται με πλάκες που περικλείουν τα τμήματα της μηχανής και δημιουργούν ένα κλειστό πλαίσιο για την αύξηση των ιδιοσυχνοτήτων της μηχανής.

Ο βελτιωμένος αυτός σχεδιασμός του σασί εισάγεται και πάλι για ανάλυση με τη βοήθεια πεπερασμένων στοιχείων. Τα αποτελέσματα εμφανίζονται στα Σχήματα 4.9 - 4.11. Όπως γίνεται φανερό, οι ιδιοσυχνότητες έχουν αυξηθεί αρκετά, σχεδόν μία τάξη μεγέθους. Ακόμα, όμως, τα επίπεδά τους δεν κρίνονται ικανοποιητικά για τα δεδομένα της εξεταζόμενης εφαρμογής. Το κύριο πρόβλημα του εξεταζόμενου σχεδιασμού είναι το σχετικά μεγάλο ύψος που πρέπει να έχει για την τοποθέτηση των κινητήρων στην κατακόρυφη διεύθυνση. Όπως αναλύθηκε και παραπάνω, οι κινητήρες τοποθετήθηκαν με αυτό τον τρόπο για την επίτευξη μιας ελάχιστης απόστασης αξόνων που ήταν απαραίτητη για την διεξαγωγή των πειραματικών μετρήσεων στους οδοντωτούς τροχούς που διαθέτει το Εργαστήριο Στοιχείων Μηχανών. Όπως αποδεικνύεται όμως από την ανάλυση των πεπερασμένων στοιχείων, ακόμα και με την προσθήκη επιπλέον υποστηρικτικών πλακών και τη χρήση πλακών μεγαλύτερου πάχους και επομένως μεγαλύτερης στιβαρότητας, οι ιδιοσυχνότητες δεν μπορούν να ανέβουν μία τάξη και πλέον παραπάνω, όπως προβλέπεται από τις τεχνικές προδιαγραφές. Γι' αυτό το λόγο, στο σημείο αυτό γίνεται μια επανεκτίμηση του σχεδιασμού και επανεξέταση των προδιαγραφών, όπως περιγράφεται παρακάτω.

Μιας και η εναλλακτική τοποθέτηση των κινητήρων σε οριζόντια διεύθυνση έχει το βασικό πρόβλημα της εισαγωγής στη διαδρομή της ισχύος στοιχείων με αντίστοιχη δυναμική

συμπεριφορά με αυτή των εξεταζόμενων οδοντωτών τροχών, αρχικά γίνεται μια προσπάθεια επανεξέτασης των χαρακτηριστικών των κινητήρων με γνώμονα τη μείωση του όγκου της και την επίτευξη της ελάχιστης απαιτούμενης αξονικής απόστασης χωρίς τη χωροταξία που παρουσιάζεται στο Σχήμα 1, αλλά με τους κινητήρες να τοποθετούνται ο ένας δίπλα στον άλλον. Παρότι, όμως, εξετάστηκαν και κινητήρες με χαμηλότερα χαρακτηριστικά ροπής και ταχύτητας από αυτά των προδιαγραφών (ροπή 5-10 Nm και στροφές ~ 1000 rpm) σε καμία περίπτωση δεν μπορούσε να επιτευχθεί η απαιτούμενη ελάχιστη απόσταση αξόνων. Επομένως, εφόσον και με τον σχεδιασμό με τους κατακόρυφους κινητήρες θα προκαλούνται δυνητικά ανεπιθύμητες δυναμικές αποκρίσεις που θα αλλοιώνουν τις μετρήσεις της μηχανής, ο σχεδιασμός αυτός απορρίπτεται και εξετάζεται η δεύτερη σχεδιαστική λύση που αφορά την τοποθέτηση των κινητήρων οριζόντια.

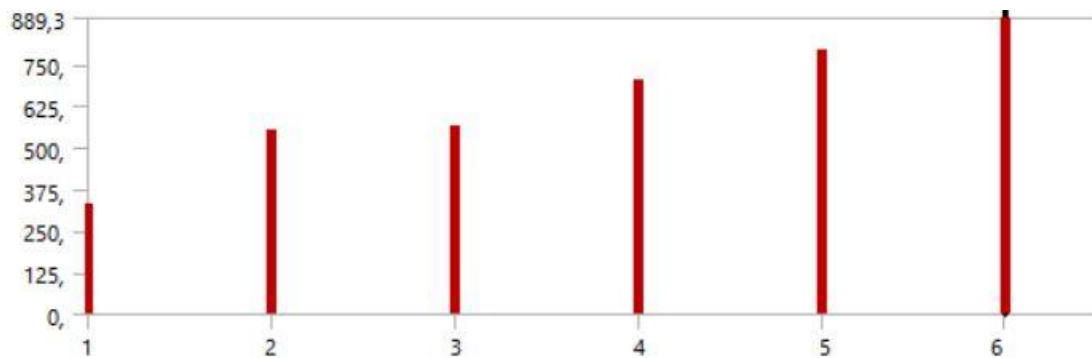


Σχήμα 4.8. Βελτιωμένος σχεδιασμός σασί μηχανής για κατακόρυφους κινητήρες

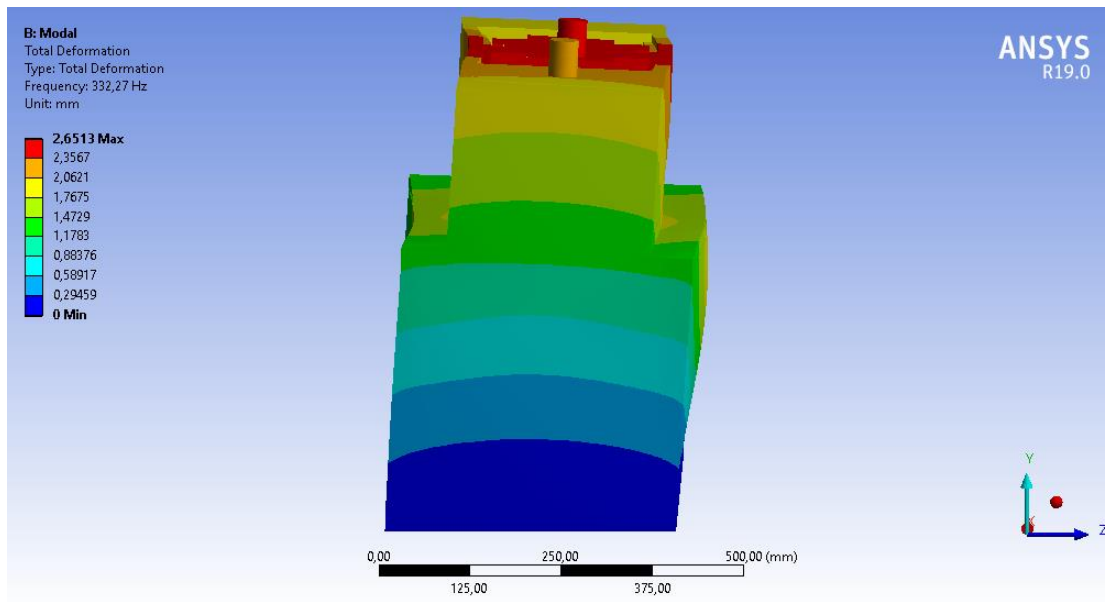
Εξάρτημα	Διάσταση	Τιμή (mm)
Γενικές διαστάσεις	x	800
	y	606
	z	400
Πλάκα ευθυγράμμισης	x	800
	y	200
	z	20
Ενδιάμεση πλάκα (πάνω)	x	800
	y	20
	z	280
Ενδιάμεση πλάκα (κάτω)	x	20
	y	140

	z	400
Τάκος στην πλευρά του σταθερού φορείου	x	100
	y	200
	z	240
Τάκος στην πλευρά του κινούμενου φορείου	x	100
	y	200
	z	240
Πλάκα βάσης (κάτω)	x	800
	y	20
	z	400
Πλάκα βάσης (μπροστά)	x	800
	y	346
	z	20
Πλάκα βάσης (πλάι)	x	20
	y	346
	z	400

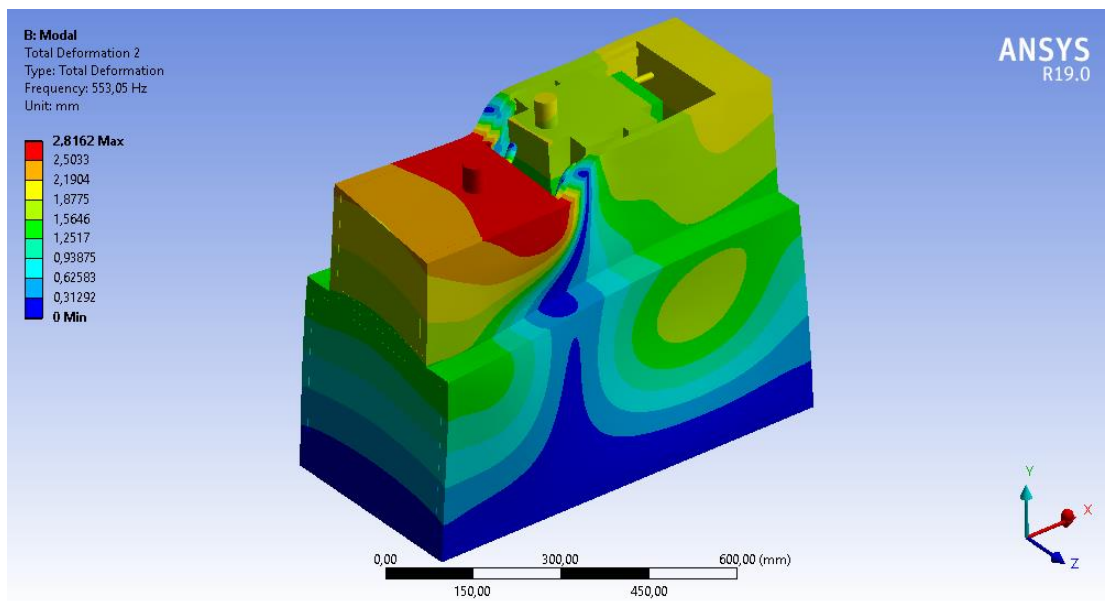
Πίνακας 4.2. Γεωμετρικά στοιχεία βελτιωμένου σχεδιασμού σασί μηχανής για κατακόρυφους κινητήρες



Σχήμα 4.9. Ιδιοσυχνότητες μηχανής βελτιωμένου σχεδιασμού για κατακόρυφους κινητήρες. Στον κατακόρυφο άξονα παρουσιάζονται οι τιμές των ιδιοσυχνοτήτων, ενώ στον οριζόντιο ο άξονας αριθμός τους.



Σχήμα 4.10. Πρώτη ιδιομορφή του βελτιωμένου σχεδιασμού του σασί της μηχανής για κατακόρυφους κινητήρες με ιδιοσυχνότητα στα 330 Hz.



Σχήμα 4.11. Δεύτερη ιδιομορφή του βελτιωμένου σχεδιασμού του σασί της μηχανής για κατακόρυφους κινητήρες με ιδιοσυχνότητα στα 550 Hz.

Προτού παρουσιαστεί η πορεία που ακολουθήθηκε για τον σχεδιασμό του σασί της μηχανής με τους κινητήρες στην οριζόντια διεύθυνση, θα γίνει αναφορά στον τρόπο αντιμετώπισης του προβλήματος που προκύπτει από την προσθήκη στη διαδρομή της ισχύος ενός επιπλέον συστήματος οδοντωτών τροχών. Το πρόβλημα αυτό αφορά τη δυναμική απόκριση αυτής της μετάδοσης που καλείται να μεταφέρει την κίνηση από τον άξονα του κινητήρα στον άξονα του κινητήριου οδοντωτού τροχού, η οποία μπορεί να διεγείρεται στο ίδιο φάσμα συχνοτήτων με τους εξεταζόμενους οδοντωτούς τροχούς, αλλοιώνοντας τις μετρήσεις που αφορούν τη δυναμική απόκριση των τελευταίων. Για το λόγο αυτό, οι οδοντωτοί τροχοί για την αλλαγή τις

κατεύθυνσης της κίνησης επιλέγονται έτσι ώστε να έχουν σημαντικά χαμηλότερες ιδιοσυχνότητες από εκείνες των εξεταζόμενων οδοντωτών τροχών. Θα πρέπει δηλαδή να συνδυάζουν χαμηλότερη στιβαρότητα και μεγαλύτερη αδράνεια - μάζα. Μια βαθμίδα οδοντωτών τροχών τεμνόμενων αξόνων που ικανοποιεί τα παραπάνω είναι ένας συμβατικός μετωπικός τροχός που συνεργάζεται με ένα crown gear, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.12. Κατά τη συνεργασία των δύο αυτών τροχών η επαφή των κατατομών γίνεται σημειακά και όχι σε μια γενέτειρα, όπως συμβαίνει στην περίπτωση των ευθείων και ελικοειδών τροχών που θα εξετάζονται από την μηχανή. Το γεγονός αυτό καθιστά τη μετάδοση τάξης μεγέθους πιο ενδοτική. Επίσης, επιλέγεται ένας μικρός σχετικά αριθμός οδόντων, για τη μείωση του λόγου επικάλυψης και την περαιτέρω μείωση της δυσκαμψίας και ένα σχετικά μεγάλο module, για την αύξηση των γεωμετρικών διαστάσεων και επομένως της αδράνειάς τους. Τα χαρακτηριστικά της μετάδοσης δίνονται στον Πίνακα 4.3. Η παραπάνω επιλογή της μετάδοσης τεμνόμενων αξόνων μειώνει σημαντικά τον κίνδυνο αλλοίωσης των δυναμικών μετρήσεων που επιτελούνται από τη μηχανή.



Σχήμα 4.12. Μετάδοση τεμνόμενων αξόνων με spur gear – crown gear

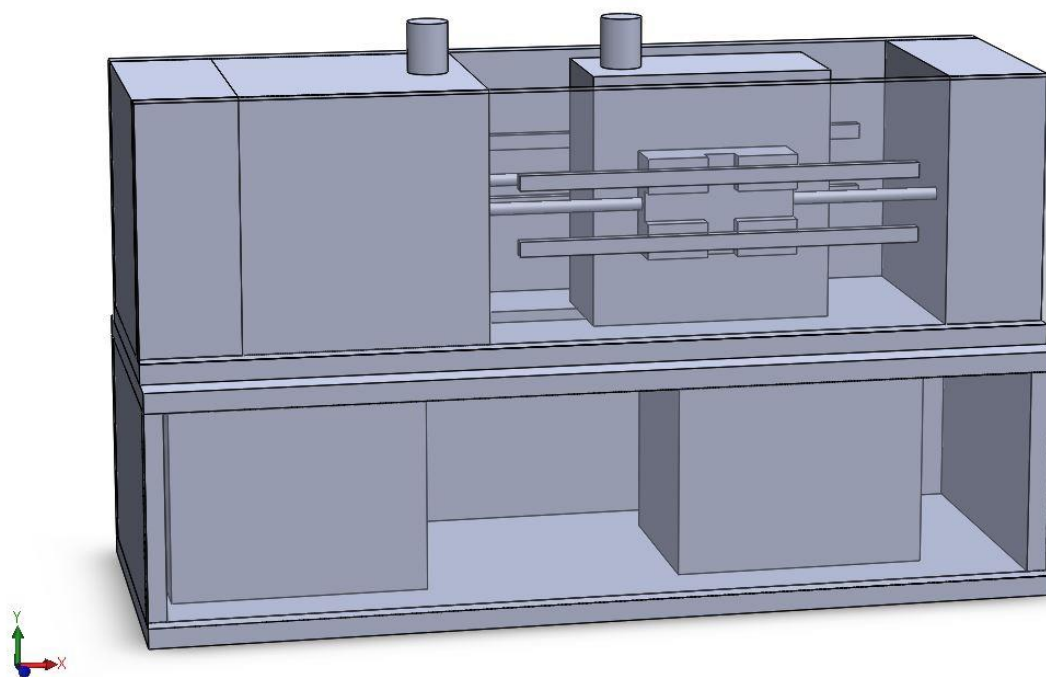
Μέγεθος	Τιμή
Module (mm)	3,5
Αριθμός Οδόντων	17
Γωνία πίεσης (μοίρες)	20
Πάχος (mm)	30

Πίνακας 4.3. Χαρακτηριστικά οδοντωτών τροχών για μεταφορά ισχύος μεταξύ κινητήρων και αξόνων οδοντωτών τροχών.

Έχοντας αντιμετωπίσει των πρόβλημα της μετάδοσης κίνησης, παρουσιάζεται η πορεία που ακολουθήθηκε για το σχεδιασμό του σασί της μηχανής με τους κινητήρες τοποθετημένους οριζόντια. Ως εκκίνηση της διαδικασίας σχεδιασμού επιλέγεται μία αρχιτεκτονική που παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.13. Τα γεωμετρικά στοιχεία του σχεδιασμού δίνονται στον Πίνακα 4.4. Στην πραγματικότητα πρόκειται για το ίδιο σασί που χρησιμοποιήθηκε στην προηγούμενη περίπτωση και παρουσιάστηκε στο Σχήμα 4.8, με την αντίστοιχη μείωση του ύψους των πλακών στην περιοχή των κινητήρων. Σημειώνεται πως στο Σχήμα 4.13 και στην ανάλυση ιδιοσυχνοτήτων δε μοντελοποιείται η σύνδεση των κινητήρων με τους άξονες των οδοντωτών τροχών καθώς η μοντελοποίησή της θα αυξήσει κατακόρυφα το υπολογιστικό κόστος της

ανάλυσης, τη στιγμή που η βασική της αποστολή είναι ο προσδιορισμός των ιδιοσυχνοτήτων και των ιδιομορφών του σασί.

Στα Σχήματα 4.14-4.16 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων. Από αυτά τα αποτελέσματα μπορούν να εξαχθούν άμεσα τα ακόλουθα συμπεράσματα: ενώ οι ιδιοσυχνότητες των μεγαλύτερων ιδιομορφών αυξήθηκαν σημαντικά, οι μικρότερες αυξήθηκαν ελάχιστα. Ωστόσο, το τελευταίο αποτέλεσμα, ήταν αναμενόμενο καθώς η αρχιτεκτονική του σασί παρέμεινε πρακτικά η ίδια, ενώ το μήκος μειώθηκε περίπου 80mm. Το πλεονέκτημα όμως που προσφέρει κυρίως ο νέος σχεδιασμός με του κινητήρες οριζόντια, είναι ότι υπάρχει πολύ περιθώριο περαιτέρω μείωσης του ύψους και γενικότερα αύξησης της στιβαρότητας της μηχανής.

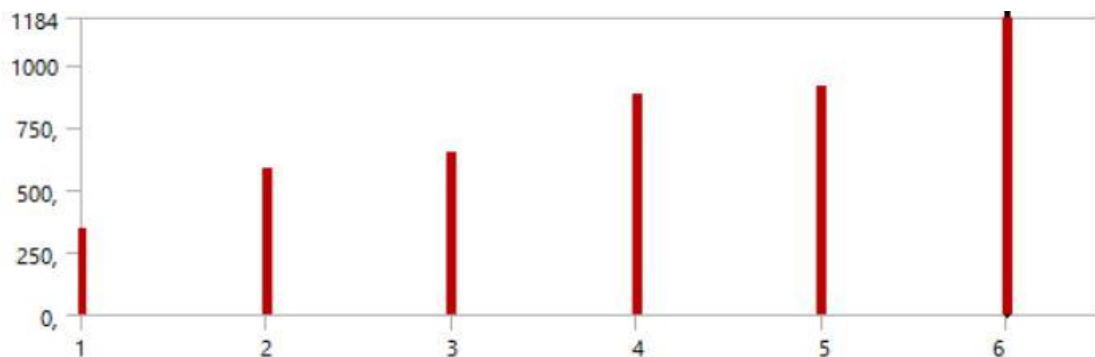


Σχήμα 4.13. Αρχικός σχεδιασμός σασί μηχανής για οριζόντιους κινητήρες

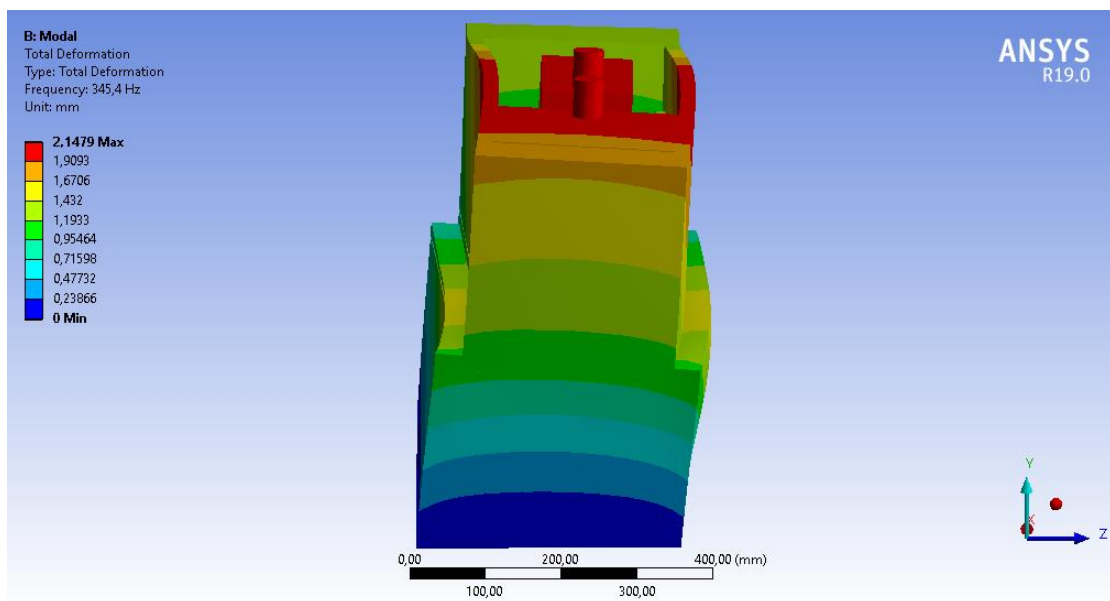
Εξάρτημα	Διάσταση	Τιμή (mm)
Γενικές διαστάσεις	x	800
	y	520
	z	400
Πλάκα ευθυγράμμισης	x	800
	y	200
	z	20
Ενδιάμεση πλάκα (πάνω)	x	800
	y	20
	z	280
Ενδιάμεση πλάκα (κάτω)	x	20
	y	140
	z	400
Τάκος στην πλευρά του σταθερού φορείου	x	100
	y	200

	z	240
Τάκος στην πλευρά του κινούμενου φορείου	x	100
	y	200
	z	240
Πλάκα βάσης (κάτω)	x	800
	y	20
	z	400
Πλάκα βάσης (μπροστά)	x	800
	y	210
	z	20
Πλάκα βάσης (πλάι)	x	20
	y	210
	z	400

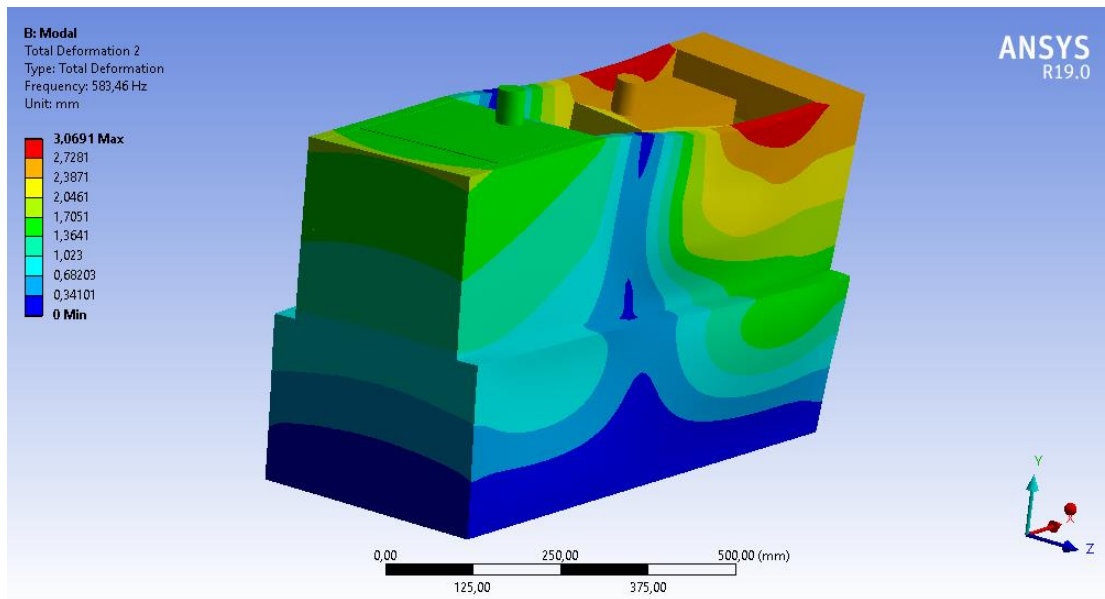
Πίνακας 4.4. Γεωμετρικά στοιχεία αρχικού σχεδιασμού σασί μηχανής για οριζόντιους κινητήρες



Σχήμα 4.14. Ιδιοσυχνότητες μηχανής αρχικού σχεδιασμού για οριζόντιους κινητήρες. Στον κατακόρυφο άξονα παρουσιάζονται οι τιμές των ιδιοσυχνοτήτων, ενώ στον οριζόντιο ο άξων αριθμός τους.



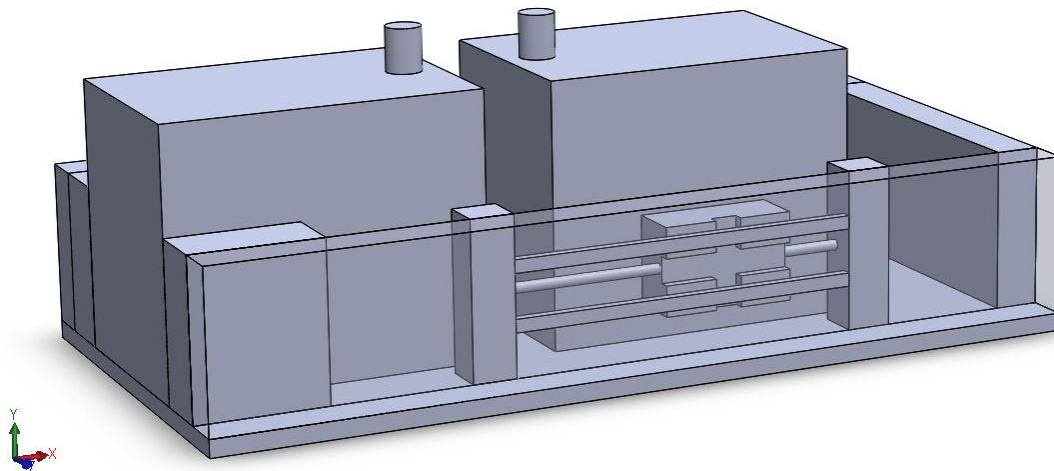
Σχήμα 4.15. Πρώτη ιδιομορφή του αρχικού σχεδιασμού του σασί της μηχανής για οριζόντιους κινητήρες με ιδιοσυχνότητα στα 345 Hz.



Σχήμα 4.16. Δεύτερη ιδιομορφή του αρχικού σχεδιασμού του σασί της μηχανής για οριζόντιους κινητήρες με ιδιοσυχνότητα στα 580 Hz.

Με γνώμονα τα παραπάνω, αναπτύχθηκε μια δεύτερη έκδοση του σχεδιασμού με τους κινητήρες σε οριζόντια διεύθυνση, που σε επίπεδο βασικών όγκων φαίνεται στο Σχήμα 4.17. Τα γεωμετρικά στοιχεία δίνονται στον Πίνακα 5. Στον νέο αυτό σχεδιασμό η μηχανή δε χωρίζεται σε δύο μέρη, αλλά ο κάθε κινητήρας περιέχεται μέσα σε κάθε φορείο. Το φορείο πλέον είναι ένας τάκος με πολλές εσωτερικές διαμορφώσεις για την έδραση των αξόνων των οδοντωτών τροχών, την έδραση των κινητήρων και της σύνδεσής τους. Η κίνηση του κινούμενου φορείου επιτυγχάνεται όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις με ball screw και η οδήγησή του με γραμμικά ρουλεμάν. Τα γραμμικά ρουλεμάν εδράζονται πάνω στις πλάκες ευθυγράμμισης, οι οποίες ενώνονται μεταξύ τους με πλάκες και τάκους στα δύο άκρα της μηχανής. Ο σχεδιασμός αυτός του σασί είναι ακόμα σε αρχικό στάδιο και θα βελτιώνεται βασιζόμενος στα αποτελέσματα των ιδιοανυσματικών αναλύσεων. Ήδη όμως με αυτό τον σχεδιασμό το ύψος της μηχανής έχει μειωθεί κατά 200mm.

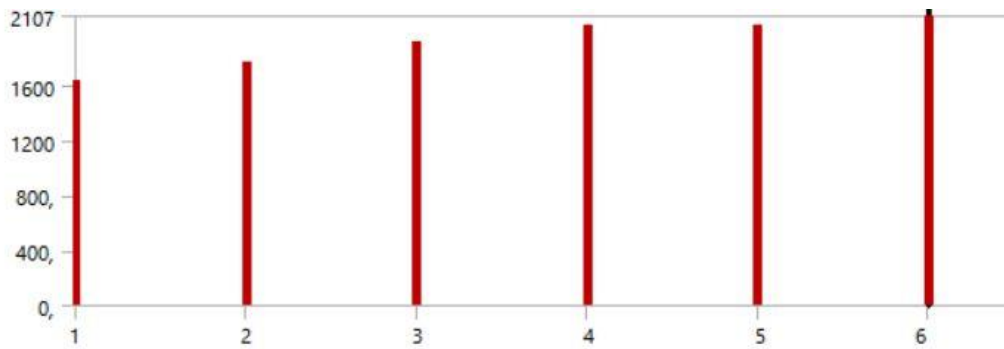
Στα Σχήματα 4.18-4.20 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων. Από το Σχήμα 4.18 γίνεται αμέσως εμφανές ότι οι ιδιοσυχνότητες έχουν αυξηθεί κατακόρυφα και συγκεκριμένα η ιδιοσυχνότητα της πρώτης ιδιομορφής έχει αυξηθεί περίπου 5 φορές. Επίσης, από τα Σχήματα 4.19 και 4.20 φαίνεται ότι οι ιδιοσυχνότητες μπορούν να αυξηθούν κι άλλο με αύξηση του πάχους των τοιχωμάτων, μιας και στο μικρό σχετικά πάχος τους φαίνεται να οφείλονται οι πρώτες ιδιομορφές.



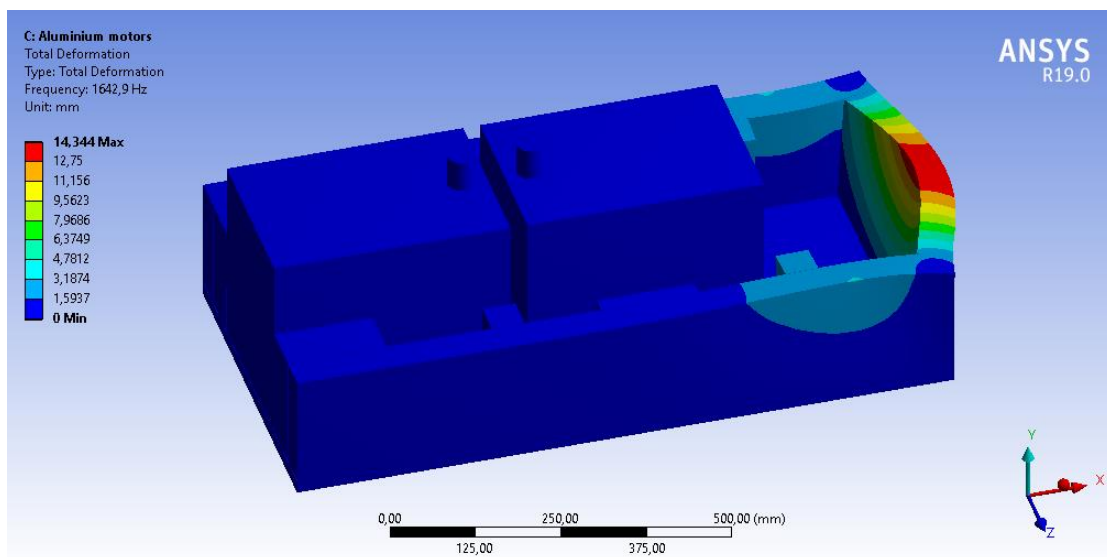
Σχήμα 4.17. Δεύτερη έκδοση σχεδιασμού σασί μηχανής για οριζόντιους κινητήρες

Εξάρτημα	Διάσταση	Τιμή (mm)
Γενικές διαστάσεις	x	1000
	y	320
	z	500
Πλάκα ευθυγράμμισης	x	1000
	y	180
	z	50
Τάκος στην πλευρά του σταθερού φορείου (x2)	x	150
	y	180
	z	74
Τάκος στην πλευρά του κινούμενου φορείου	x	50
	y	180
	z	400
Τάκος σταθερού φορείου	x	360
	y	300
	z	252
Τάκος κινητού φορείου	x	360
	y	300
	z	252
Πλάκα βάσης	x	1000
	y	20
	z	500

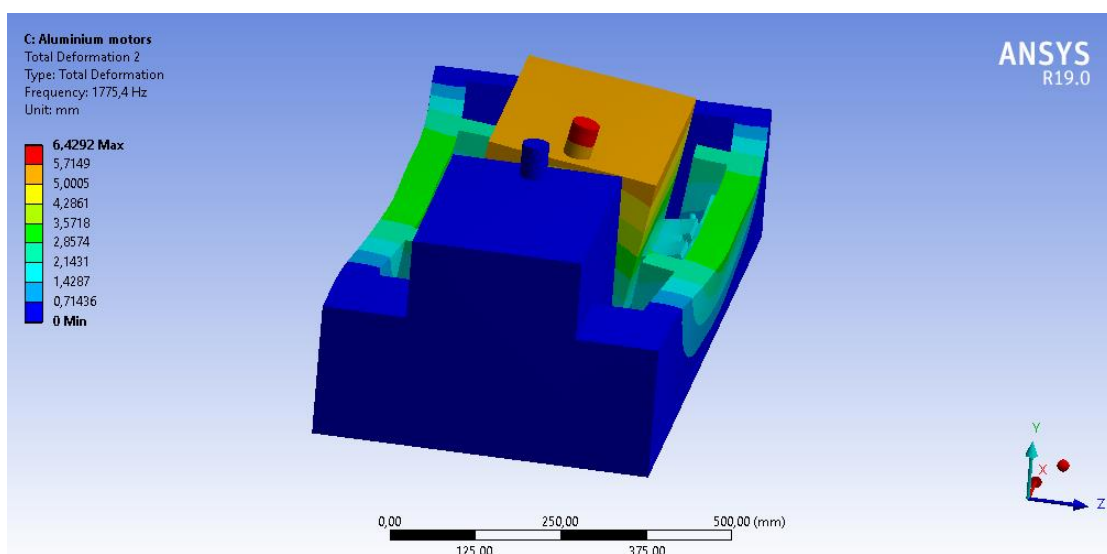
Πίνακας 4.5. Γεωμετρικά στοιχεία δεύτερης έκδοσης σχεδιασμού σασί μηχανής για οριζόντιους κινητήρες



Σχήμα 4.18. Ιδιοσυχνότητες μηχανής δεύτερης έκδοσης σχεδιασμού για οριζόντιους κινητήρες. Στον κατακόρυφο άξονα παρουσιάζονται οι τιμές των ιδιοσυχνοτήτων, ενώ στον οριζόντιο ο άξων αριθμός τους.



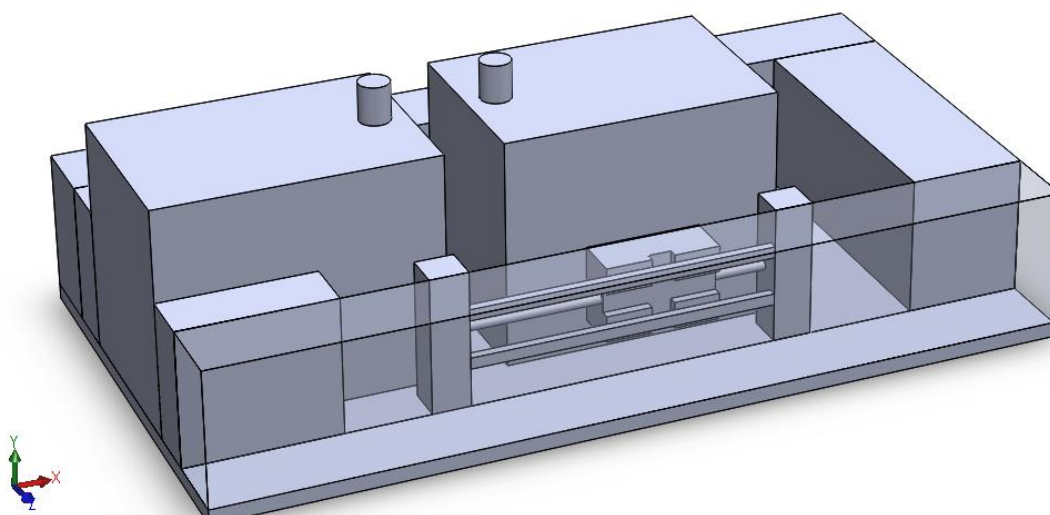
Σχήμα 4.19. Πρώτη ιδιομορφή της δεύτερης έκδοσης σχεδιασμού του σασί της μηχανής για οριζόντιους κινητήρες με ιδιοσυχνότητα στα 1650 Hz.



Σχήμα 4.20. Δεύτερη ιδιομορφή της δεύτερης έκδοσης σχεδιασμού του σασί της μηχανής για οριζόντιους κινητήρες με ιδιοσυχνότητα στα 1770 Hz.

Δεδομένων των αποτελεσμάτων της ανάλυσης, η βασική αλλαγή που γίνεται στην τρίτη έκδοση του σχεδιασμού είναι η αύξηση των τοιχωμάτων των πλακών ευθυγράμμισης από τα 50mm στα 100mm και το πάχος του τάκου στο άκρο της μηχανής από την πλευρά του κινούμενου φορείου από τα 50mm στα 150mm. Η νέα απεικόνιση του μηχανισμού παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.21 και τα γεωμετρικά της στοιχεία δίνονται στον Πίνακα 4.6.

Στα Σχήματα 4.22-4.25 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων. Τα αποτελέσματα δείχνουν σαφή αύξηση των ιδιοσυχνοτήτων, οι μικρότερες τιμές των οποίων πλησιάζουν το ζητούμενο των 2kHz. Όπως φαίνεται από τις ιδιομορφές που παρουσιάζονται στα Σχήματα 4.23-4.25, τα στοιχεία της κατασκευής από τα οποία προέρχονται οι πρώτες ιδιοσυχνότητες της μηχανής είναι τα φορεία. Τα φορεία στον παρόντα σχεδιασμό λειτουργούν κατά κάποιον τρόπο σαν πρόβολοι, με αποτέλεσμα να γίνονται, μετά την αύξηση και του πάχους των πλακών, τα ενδοτικότερα σημεία της μηχανής.

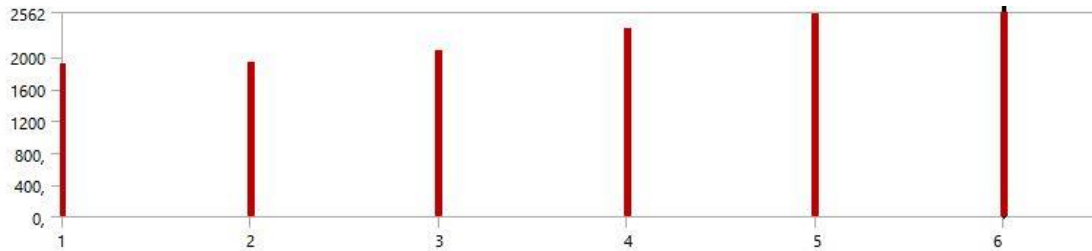


Σχήμα 4.21. Τρίτη έκδοση σχεδιασμού σασί μηχανής για οριζόντιους κινητήρες

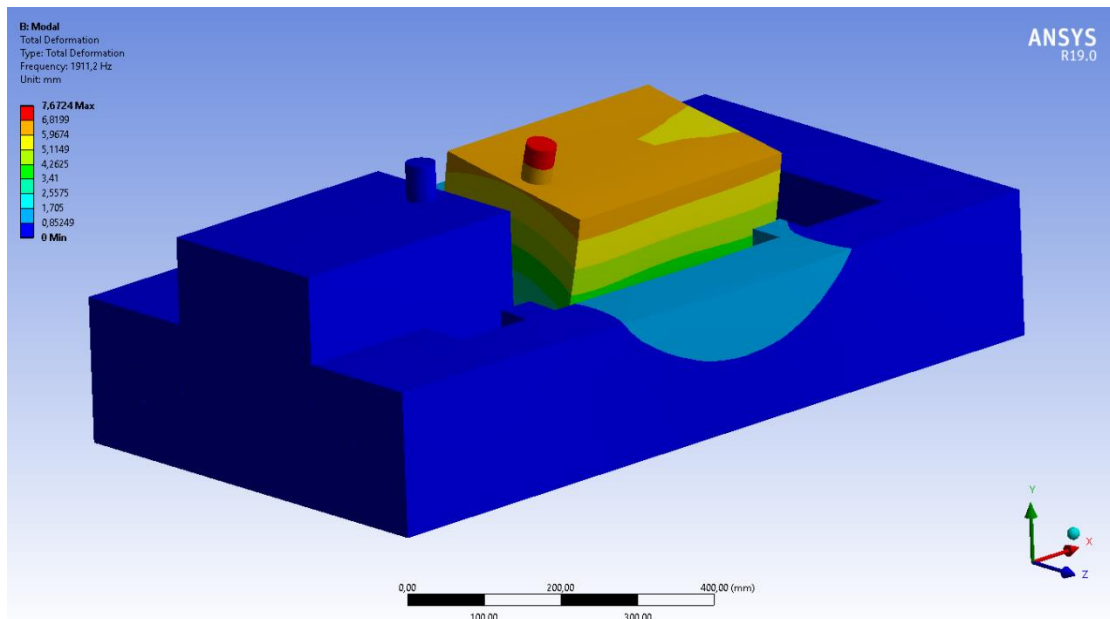
Εξάρτημα	Διάσταση	Τιμή (mm)
Γενικές διαστάσεις	x	1100
	y	320
	z	600
Πλάκα ευθυγράμμισης	x	1100
	y	180
	z	100
Τάκος στην πλευρά του σταθερού φορείου (x2)	x	150
	y	200
	z	74
Τάκος στην πλευρά του κινούμενου φορείου	x	150
	y	180
	z	400
Τάκος σταθερού φορείου	x	360
	y	300
	z	252

Τάκος κινητού φορείου	x	360
	y	300
	z	252
Πλάκα βάσης	x	1100
	y	20
	z	600

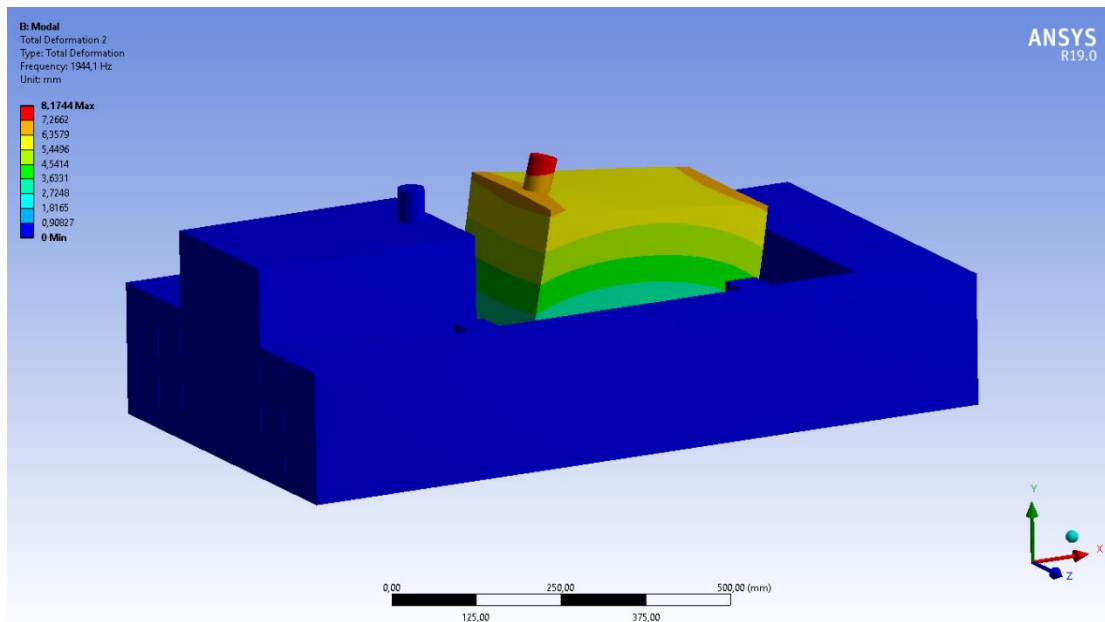
Πίνακας 4.6. Γεωμετρικά στοιχεία τρίτης έκδοσης σχεδιασμού σασί μηχανής για οριζόντιους κινητήρες



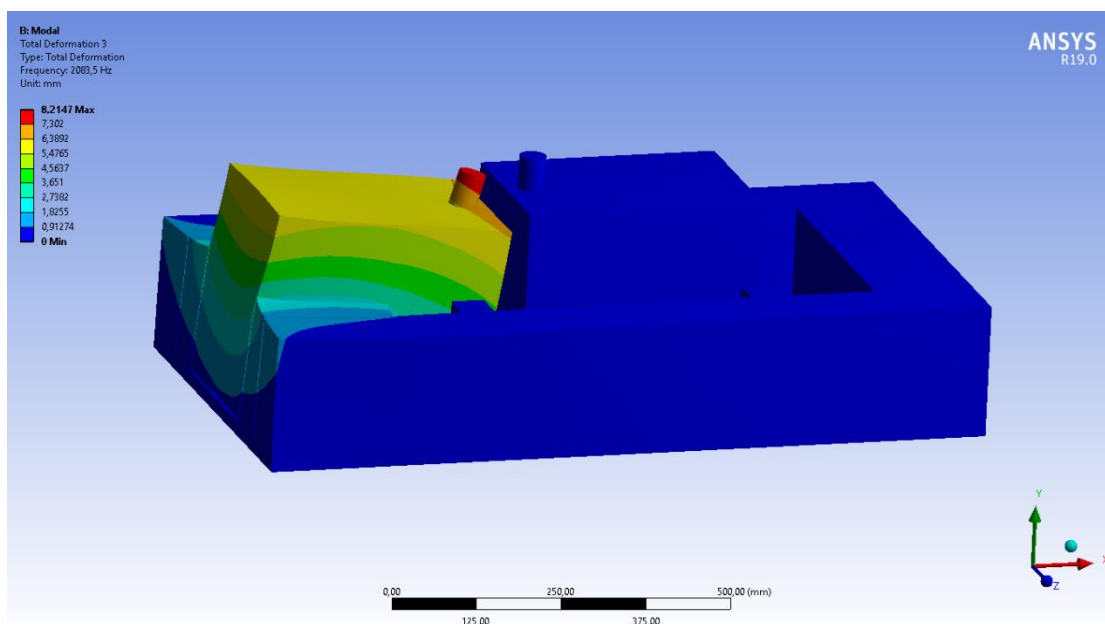
Σχήμα 4.22. Ιδιοσυχνότητες μηχανής τρίτης έκδοσης σχεδιασμού για οριζόντιους κινητήρες. Στον κατακόρυφο άξονα παρουσιάζονται οι τιμές των ιδιοσυχνοτήτων, ενώ στον οριζόντιο ο άξων αριθμός τους.



Σχήμα 4.23. Πρώτη ιδιομορφή της τρίτης έκδοσης σχεδιασμού του σασί της μηχανής για οριζόντιους κινητήρες με ιδιοσυχνότητα στα 1910 Hz.



Σχήμα 4.24. Δεύτερη ιδιομορφή της τρίτης έκδοσης σχεδιασμού του σασί της μηχανής για οριζόντιους κινητήρες με ιδιοσυχνότητα στα 1940 Hz.

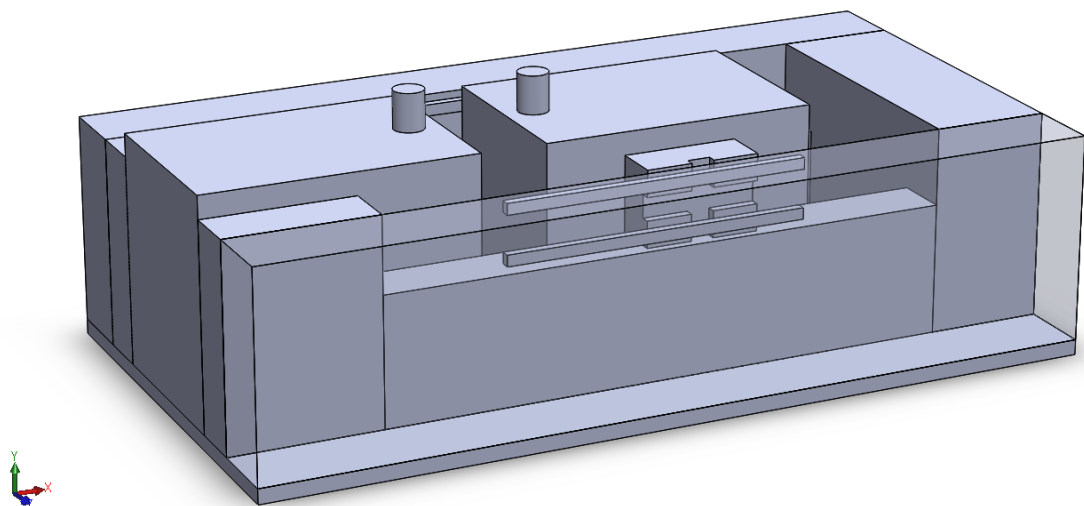


Σχήμα 4.25. Τρίτη ιδιομορφή της τρίτης έκδοσης σχεδιασμού του σασί της μηχανής για οριζόντιους κινητήρες με ιδιοσυχνότητα στα 2080 Hz.

Για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που αναδείχθηκαν από την ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων, η τέταρτη και τελευταία έκδοση του σχεδιασμού αποσκοπεί στην καλύτερη υποστήριξη των φορέων, για την ελαχιστοποίηση των ελεύθερων τμημάτων τους. Ο νέος αυτός σχεδιασμός παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.26 και τα γεωμετρικά του στοιχεία δίνονται στον Πίνακα 4.7. Για την καλύτερη υποστήριξη των φορέων οι τάκοι στα άκρα του σταθερού αυξήθηκαν κατά την έννοια του ύψους, μαζί με τις πλάκες ευθυγράμμισης και τον τάκο στην απέναντι άκρη της μηχανής. Τα γραμμικά ρουλεμάν μετακινήθηκαν προς τα πάνω και στον

κενό χώρο μεταξύ εκείνων και της βάσης τοποθετήθηκε άλλη μία πλάκα ευθυγράμμισης μικρότερου ύψους για την περαιτέρω αύξηση της στιβαρότητας.

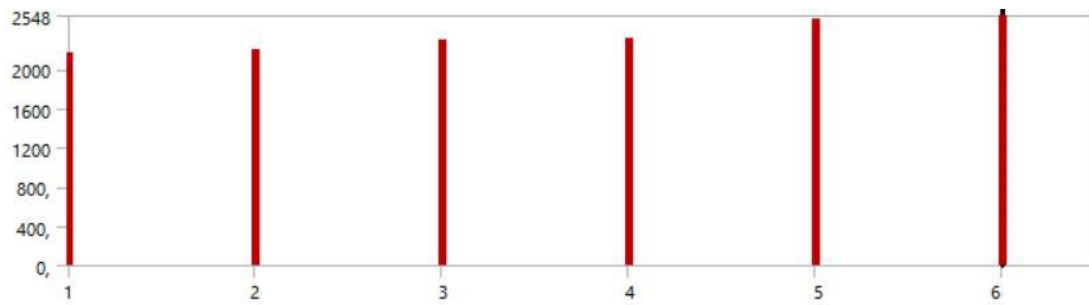
Τα αποτελέσματα της ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων για την τελευταία έκδοση του σχεδιασμού παρουσιάζονται στα Σχήματα 4.27 - 4.29. Όπως γίνεται φανερό, όλες οι ιδιοσυχνότητες της μηχανής ξεπερνούν πλέον τα 2kHz. Επομένως, αυτή η εκδοχή του σχεδιασμού επιλέγεται ως τελική και ο λεπτομερής σχεδιασμός τώρα θα επικεντρωθεί σε θέματα χωροταξίας και συναρμολόγησης, που θα παρουσιαστούν στο επόμενο κεφάλαιο.



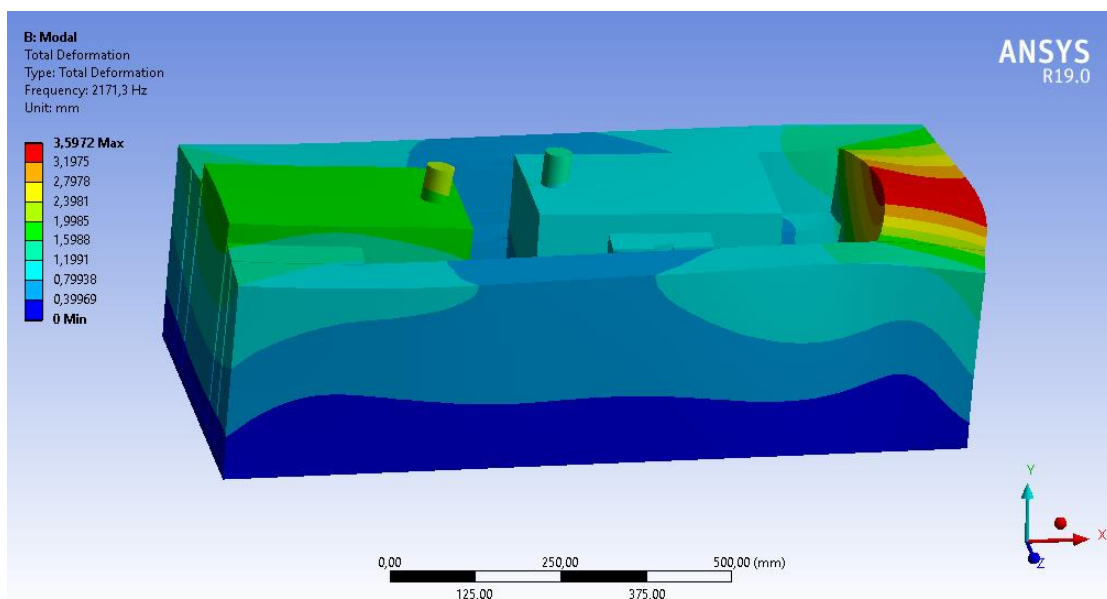
Σχήμα 4.26. Τέταρτη έκδοση σχεδιασμού σασί μηχανής για οριζόντιους κινητήρες

Εξάρτημα	Διάσταση	Τιμή (mm)
Γενικές διαστάσεις	x	1100
	y	320
	z	600
Πλάκα ευθυγράμμισης (μικρή)	x	750
	y	170
	z	74
Πλάκα ευθυγράμμισης (μεγάλη)	x	1100
	y	270
	z	100
Τάκος στην πλευρά του σταθερού φορείου (x2)	x	150
	y	200
	z	74
Τάκος στην πλευρά του κινούμενου φορείου	x	150
	y	180
	z	400
Τάκος σταθερού φορείου	x	360
	y	300
	z	252
Τάκος κινητού φορείου	x	360
	y	300
	z	252
Πλάκα βάσης	x	1100
	y	20
	z	600

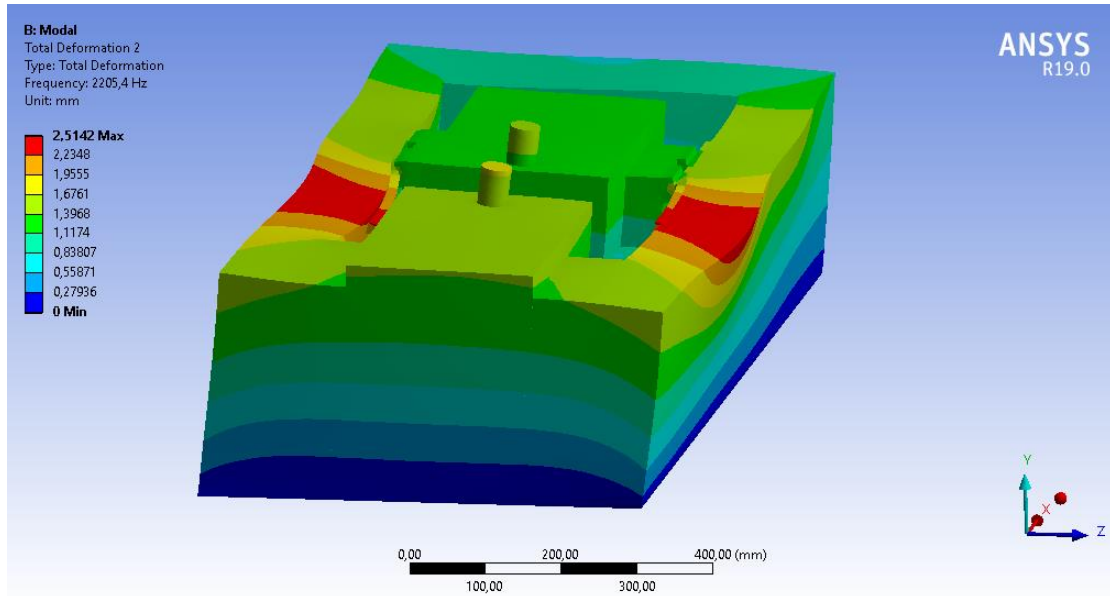
Πίνακας 4.7. Γεωμετρικά στοιχεία τέταρτης έκδοσης σχεδιασμού σασί μηχανής για οριζόντιους κινητήρες



Σχήμα 4.27. Ιδιοσυχνότητες μηχανής τέταρτης έκδοσης σχεδιασμού για οριζόντιους κινητήρες. Στον κατακόρυφο άξονα παρουσιάζονται οι τιμές των ιδιοσυχνοτήτων, ενώ στον οριζόντιο ο άξων αριθμός τους.



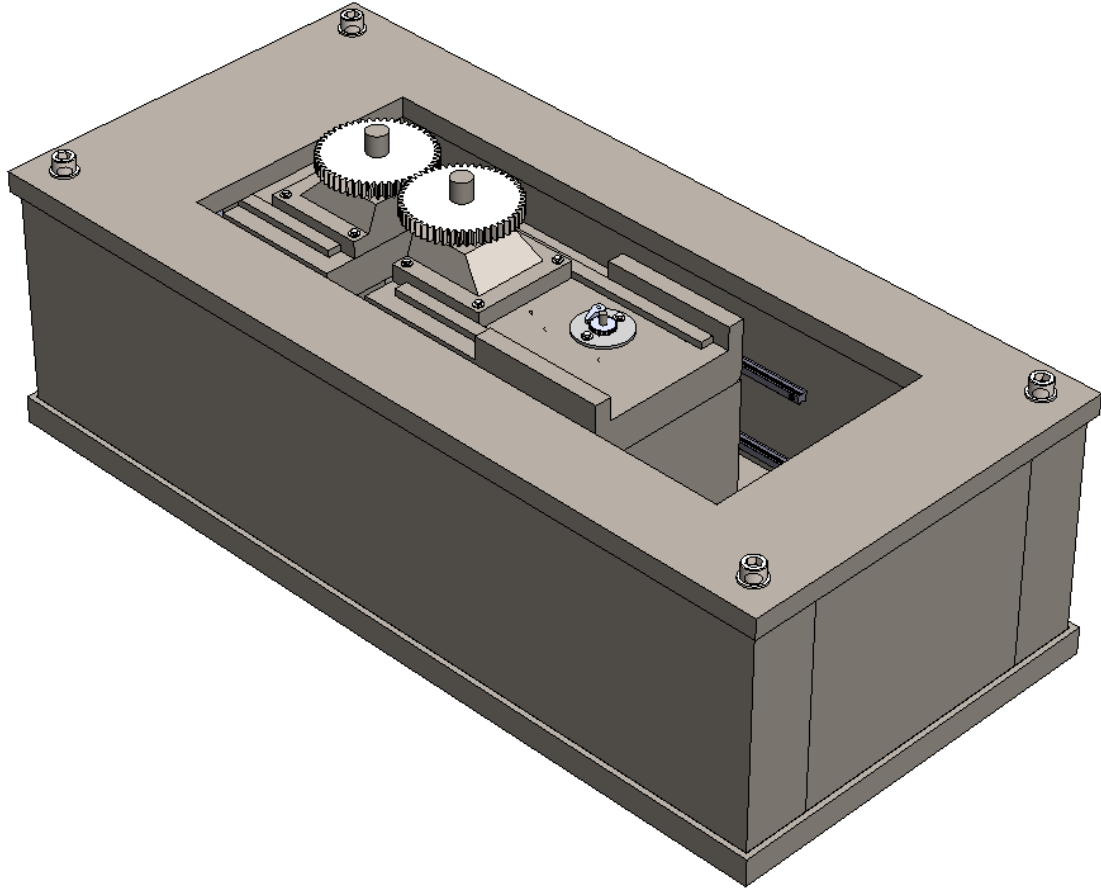
Σχήμα 4.28. Πρώτη ιδιομορφή της τέταρτης έκδοσης σχεδιασμού του σασί της μηχανής για οριζόντιους κινητήρες με ιδιοσυχνότητα στα 2170 Hz.



Σχήμα 4.29. Δεύτερη ιδιομορφή της τέταρτης έκδοσης σχεδιασμού του σασί της μηχανής για οριζόντιους κινητήρες με ιδιοσυχνότητα στα 2200 Hz.

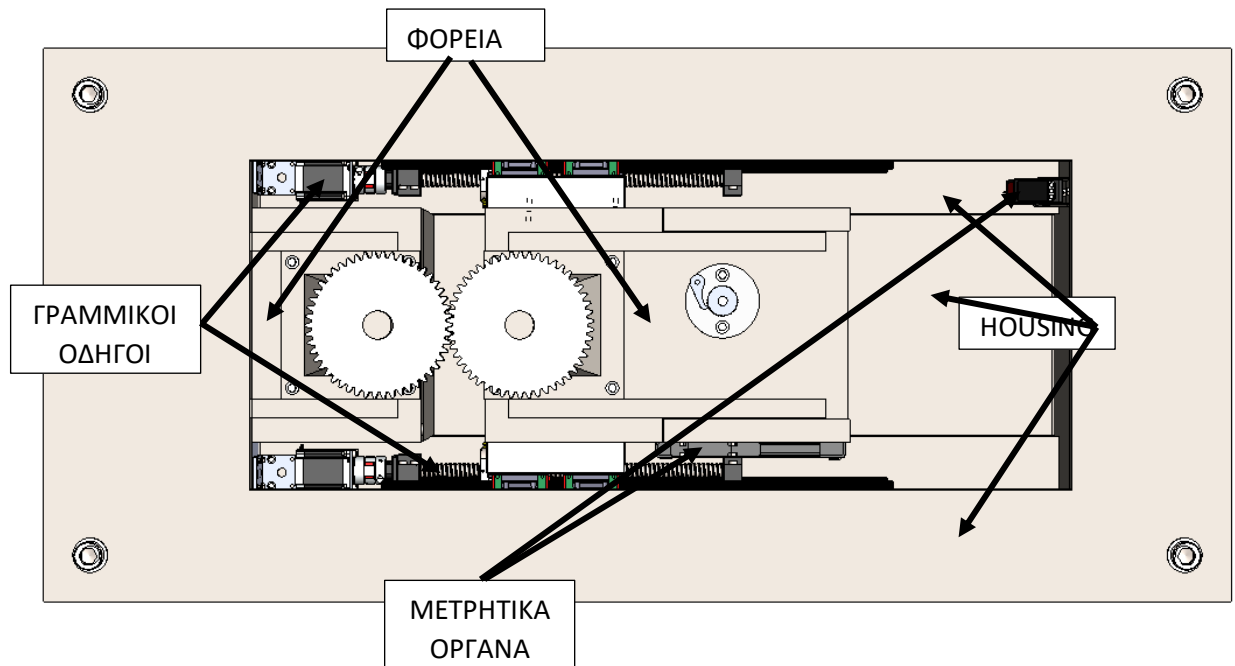
4.2. Τελικός Σχεδιασμός

4.2.1. Γενική Διάταξη

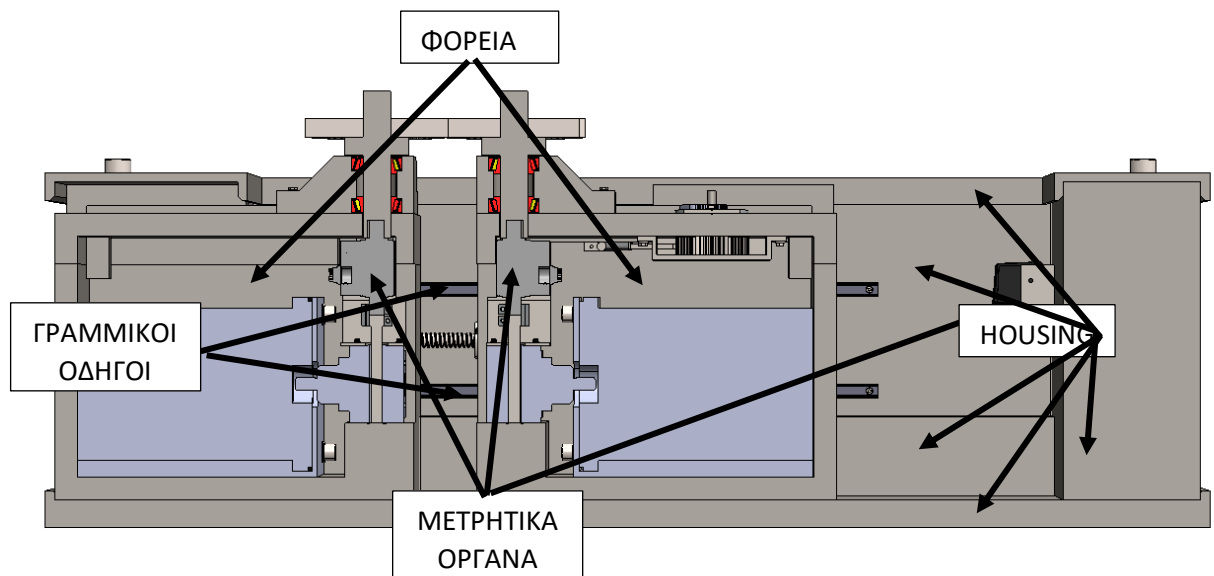


Σχήμα 4.30: Γενική Διάταξη

Στην Σχήμα 4.30 φαίνεται το τρισδιάστατο γεωμετρικό μοντέλο της διάταξης. Αυτή αποτελείται από δύο φορεία, ένα σταθερό και ένα με τη δυνατότητα γραμμικής μετατόπισης εδρασμένο εκατέρωθεν επί δύο γραμμικών οδηγών. Το σύμπλεγμα αυτό των φορείων και των γραμμικών οδηγών καθώς και των απαραίτητων μετρητικών διατάξεων εδράζονται σε ένα σύμπλεγμα μεταλλικών μπλοκ πολύ υψηλής στιβαρότητας με κοχλιοσυνδέσεις. Στα Σχήματα 4.31 και 4.32 παρακάτω βλέπουμε σε κάτοψη και σε τομή αντίστοιχα τη διάταξη με τις προαναφερθείσες μονάδες (φορεία, γραμμικοί οδηγοί, Housing, μετρητικά όργανα) που την απαρτίζουν.



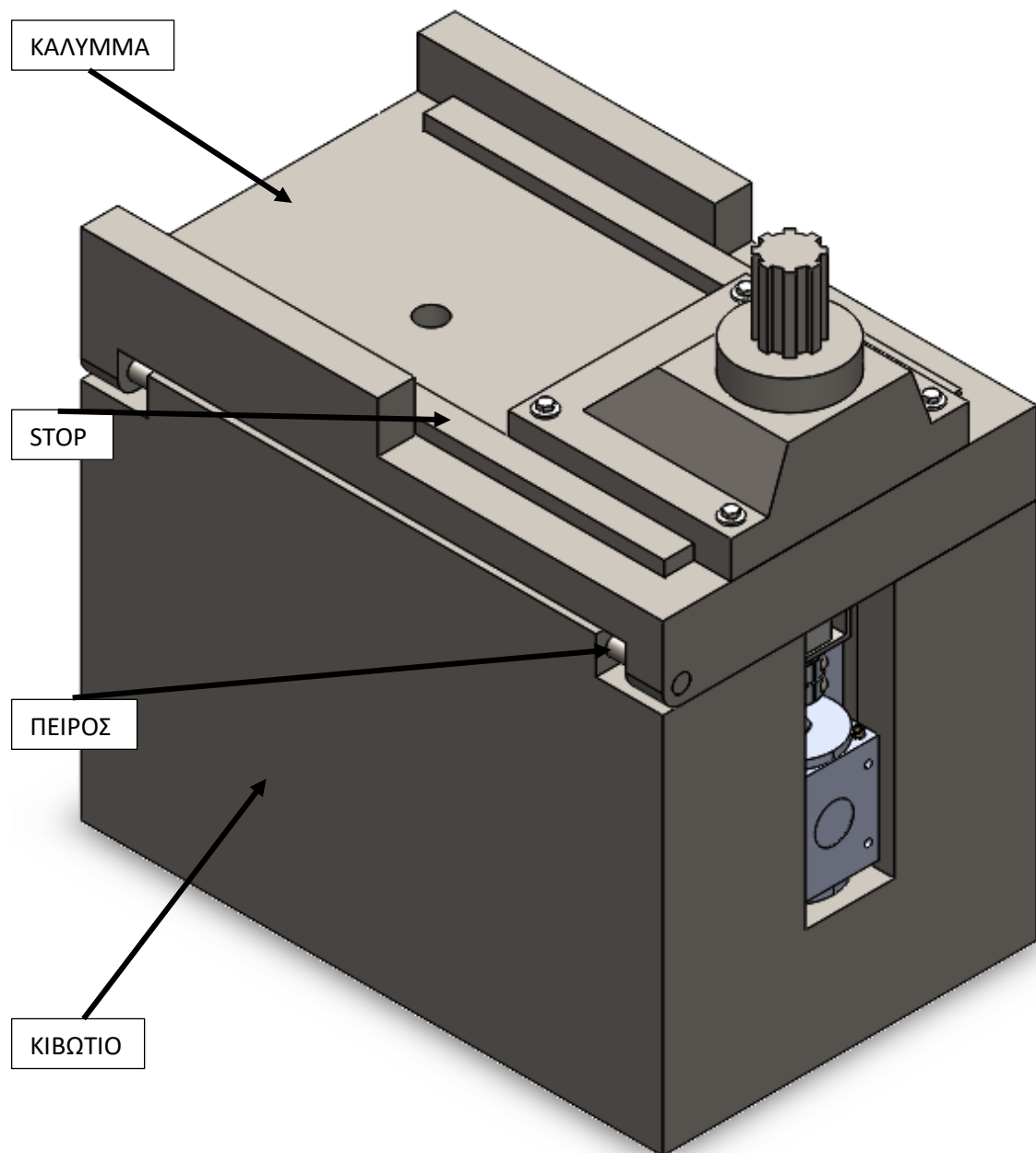
Σχήμα 4.31: Κάτοψη Διάταξης



Σχήμα 4.32: Διάταξη σε Τομή

Όπως φαίνεται και από τις τρεις πρώτες εικόνες η διάταξη περιλαμβάνει δύο όμοια φορεία πάνω στα οποία εδράζονται οι δύο οδοντωτοί τροχοί. Το φορείο που εδράζεται ο πρότυπος τροχός είναι ακλόνητα εδρασμένο στο σώμα της μηχανής, με τρόπο που θα εξηγηθεί στη συνέχεια, ενώ το φορείο του εξεταζόμενου τροχού οδηγείται γραμμικά για την επίτευξη της επιθυμητής απόστασης αξόνων στο πείραμα. Η ελάχιστη απόσταση αξόνων που επιτυγχάνει η μηχανή είναι 80mm ενώ η μέγιστη 380mm. Επιπλέον στο οδηγούμενο φορείο εμπεριέχεται και ένας μηχανισμός προέντασης που επιβάλλει τη λειτουργία των τροχών σε πλήρη σύμπλεξη. Και αυτός ο μηχανισμός παρουσιάζεται σε επόμενο κεφάλαιο. Τέλος, στη συνέχεια παρουσιάζεται λεπτομερώς και η διάταξη της γραμμικής οδήγησης.

4.2.2. Φορείο

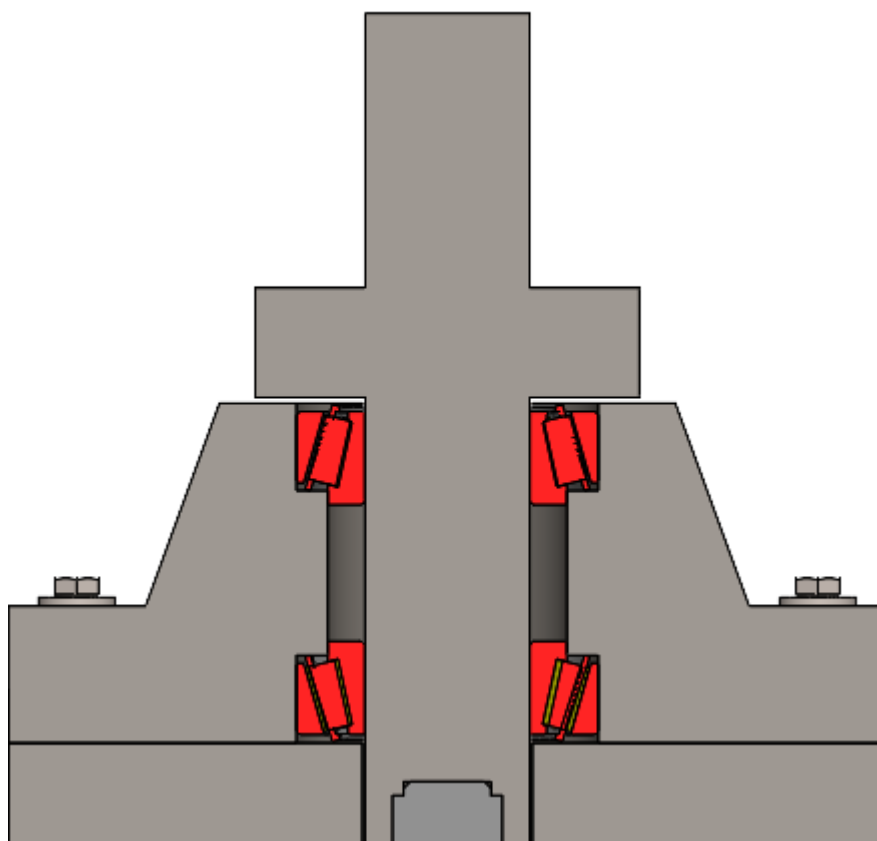


Σχήμα 4.33: Φορείο

Τα φορεία αποτελούν τα κύρια μέρη της μηχανής γύρω από τα οποία σχεδιάστηκε όλη η διάταξη. Αποτελούνται από δύο κύρια μέρη, το κιβώτιο και το κάλυμμα τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με έναν πείρο που επιτρέπει μία αξονική σχετική κίνηση εύρους 25mm, με την ολίσθηση του καλύμματος πάνω στο κιβώτιο, για τις ανάγκες της μεθόδου double flank. Σε περίπτωση που διενεργείται άλλο πείραμα στην διάταξη τότε η σχετική κίνηση μεταξύ των δύο κύριων μερών του φορείου απαγορεύεται. Επομένως, υπάρχει μία λυόμενη σύνδεση που το εξασφαλίζει. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.33 με την τοποθέτηση από πάνω δύο τεμαχίων, που ονομάζονται stop, τα οποία έχουν μήκος όσο και η εσωτερική διάσταση του φορείου

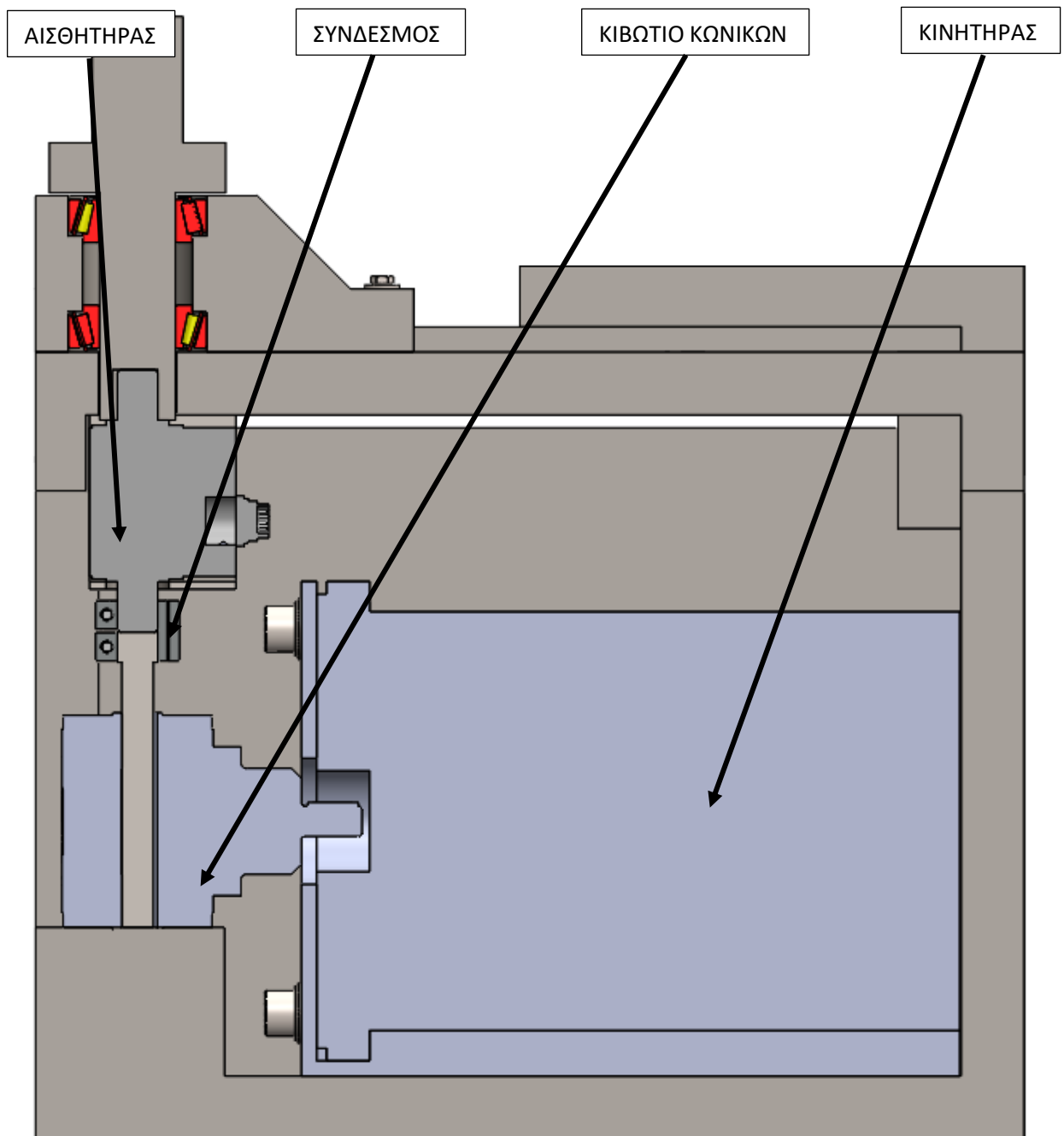
περιορίζουν τον βαθμό ελευθερίας κίνησης στην αξονική διεύθυνση. Μάλιστα, στα κατασκευαστικά σχέδια δίνεται συγκεκριμένη ανοχή για την τοποθέτηση αυτού του τεμαχίου. Τα τεμάχια αυτά είναι μονίμως τοποθετημένα στο φορείο του πρότυπου τροχού όπου δεν απαιτείται η γραμμική μετατόπιση του.

Στο κάλυμμα κάθε φορείου αναρτάται με τέσσερις κοχλίες M5x35 η φέρουσα μονάδα του εξεταζόμενου τροχού, η οποία περιλαμβάνει τον άξονα του τροχού με διάμετρο 30mm εδρασμένο στο σώμα με tapered ρουλεμάν: SKF 32006_X όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.34



Σχήμα 4.34: Εδρασμένη φέρουσα Μονάδα Εξεταζόμενου Τροχού Πάνω στο Φορείο

Κάθε φορείο περιέχει τον dc κινητήρα που δίνει κίνηση και επιβάλλει στους εξεταζόμενους οδοντωτούς τροχούς φορτίο, μία βαθμίδα κωνικών τροχών 1:1 για την αλλαγή της διεύθυνσης κίνησης, έναν σύνδεσμο μεγάλης ακαμψίας που συνδέει και αποσυνδέει τον εξεταζόμενο τροχό όταν δεν επιθυμείται σε αυτόν φορτίο αλλά και έναν αισθητήρα ροπής και θέσεως του άξονα του τροχού οποίος προσδένεται απευθείας πάνω στον άξονα του τροχού για τους εξής λόγους: πρώτον, για να εξασφαλίζεται η ακρίβεια των μετρήσεών του, δεύτερον για να αξιοποιείται ως rotary encoder στις περιπτώσεις πειραμάτων όπου ο κινητήρας είναι αποσυμπλεγμένος και επομένως δεν μας ενδιαφέρει η μέτρηση της ροπής και τρίτον ώστε να βρίσκεται κοντά στην επιφάνεια του καλύμματος για να μπορεί το δεύτερο να ανοίξει.



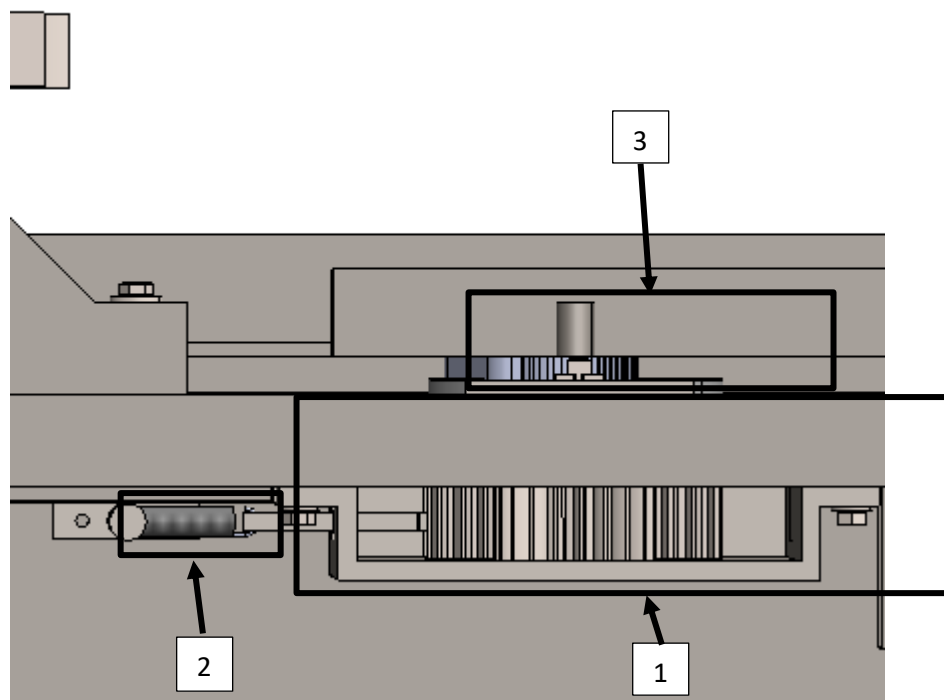
Σχήμα 4.45: Συναρμολόγημα Φορείου σε Τομή

Ο κινητήρας που επιλέχθηκε για την εφαρμογή είναι ο Volcano Electric VOL-BL550C72 και παρέχει στροφές μέχρι 2000rpm και ροπή έως 15Nm καλύπτοντας το επιθυμητό εύρος λειτουργίας.

Να σημειωθεί ότι στο πάνω μέρος των φορείων υπάρχει ειδικό άνοιγμα από όπου διέρχονται τα καλώδια του κινητήρα και του αισθητήρα.

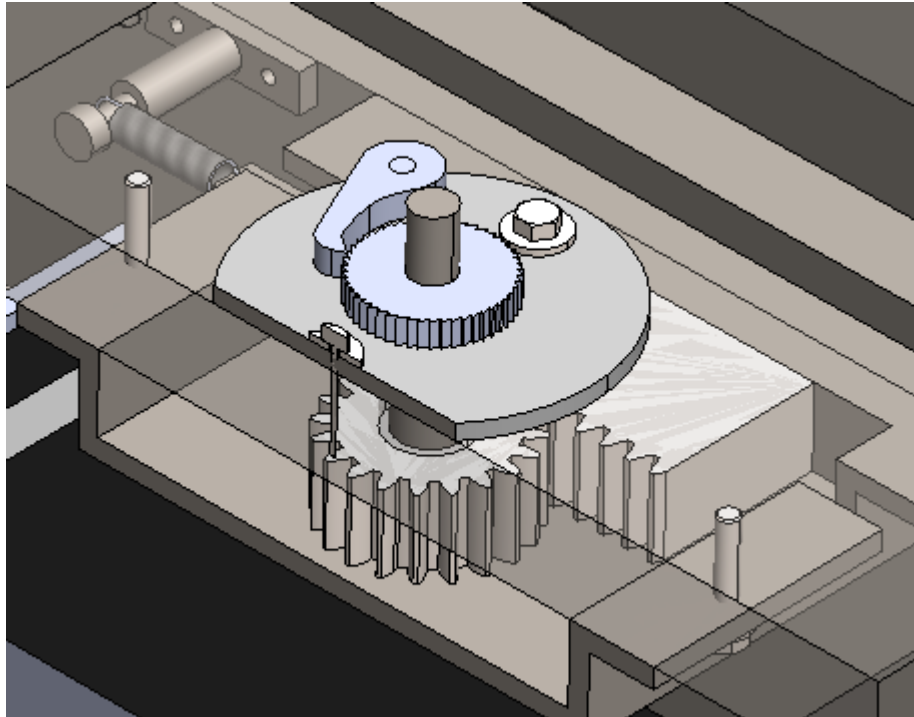
4.2.3. Διάταξη προέντασης εξεταζόμενου τροχού

Ιδιαίτερος για την περίπτωση της εξέτασης τροχών με τη μέθοδο της διπλής παρειάς όπου δεν υπάρχει σταθερή απόσταση αξόνων μεταξύ των τροχών αλλά αντ' αυτής επιβάλλεται απόλυτη σύμπλεξη στους τροχούς, χρειάζεται ένας κατάλληλος μηχανισμός που θα την εξασφαλίζει μέσω μίας μικρής προέντασης. Ο μηχανισμός αυτός αποτελείται από τρία διαφορετικά υποσυστήματα διατεταγμένα στο φορείο όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.46



Σχήμα 4.46: Διάταξη Προέντασης Εξεταζόμενου Τροχού

Ο μηχανισμός λειτουργίας της διάταξης είναι ιδιαίτερος απλός και οφείλεται σε ένα ελατήριο έκτασης χαμηλής ελαστικότητας του οποίου η μία άκρη είναι τοποθετημένη στο σταθερό τμήμα 2 της διάταξης, ενώ η άλλη άκρη μέσω μιας κατάλληλα διαμορφωμένης στρατζαριστής λάμας που έχει συγκολληθεί με έναν κανόνα ενώνεται με αυτόν. Η ρύθμιση της αξονικής θέσης του κανόνα, και επομένως της προέντασης, επιτυγχάνεται με τη στροφή ενός μικρού οδοντωτού τροχού που συνεργάζεται με αυτόν από τον χρήστη, ο οποίος αρκεί να περιστρέψει έναν άξονα που εξέχει από το κάλυμμα του φορείου και είναι συνδεδεμένος με τον οδοντωτό τροχό. Τέλος, η διατήρηση της προστιθέμενης από τον χρήστη προέντασης στο σύστημα απαιτεί και την προσθήκη μιας κασάνιας, η οποία απαρτίζει το τμήμα 3 της διάταξης και τοποθετείται επάνω από το φορείο. Για την καλύτερη κατανόηση της διάταξης προέντασης παρατίθεται το Σχήμα 4.47 όπου εκτός της τομής το κάλυμμα του φορείου είναι διάφανο.



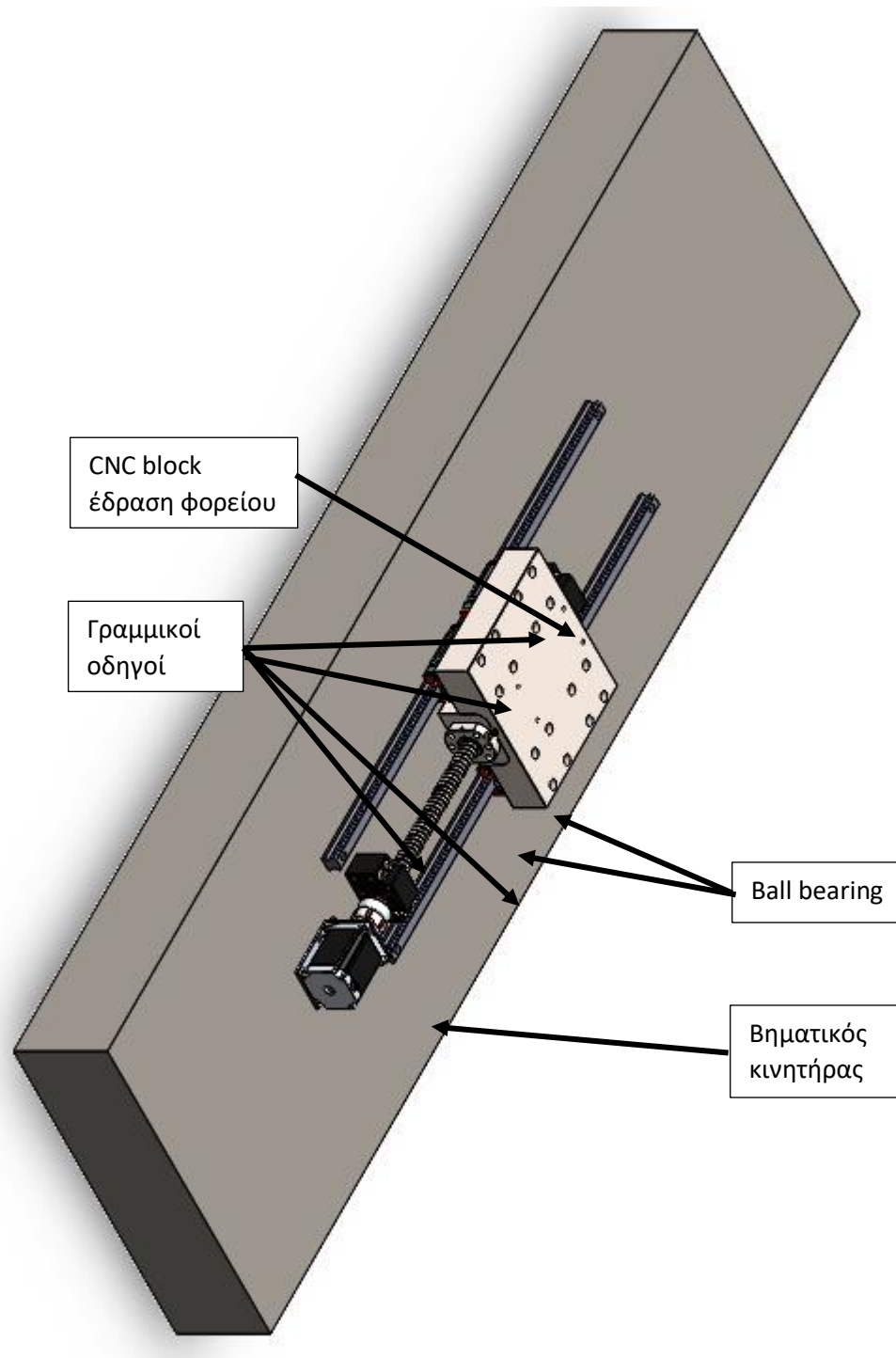
Σχήμα 4.47: Προοπτική Εικόνα Διάταξης Προέντασης

4.2.4. Γραμμικοί οδηγοί

Προκειμένου να επιτυγχάνονται διαφορετικές αποστάσεις αξόνων επιβάλλεται η θέση του ενός εκ των δύο φορείων να είναι μεταβλητή. Η μετακίνηση αυτή πρέπει να γίνεται με αυστηρά ελεγχόμενο τρόπο ώστε να μην εισάγονται στο σύστημα μεγάλα σφάλματα και στοιχεία μικρής ελαστικότητας. Η οδήγηση, λοιπόν, του φορείου ήταν θέμα μεγάλης σημασίας για τη διάταξη και γι' αυτό επιλέχθηκαν εξαρτήματα υψηλών προδιαγραφών.

Πιο συγκεκριμένα ο καθορισμός της θέσης του φορείου επιτυγχάνεται με ball screw, τα οποία δεν έχουν backlash. Επιλέχθηκε το SFU 1605-400 με περικόχλιο το SFU 1605-3 και έδρανα τα BK12 και BF12. Η περιστροφή του επιτυγχάνεται με τον βηματικό κινητήρα NEMA23 57BYGH627 ο άξονας του οποίου προσδένεται στο SFU 1605-400 με τον σύνδεσμο Coupler D30L35-6.35-10.0.

Οι γραμμικοί οδηγοί που επιλέχθηκαν αποτελούνται από τους τάκους: HGW15CAE2R400EZ0CII+DD/E2/RC και τις ράγες HGR15R400EP+RC λόγω της υψηλής στιβαρότητάς τους. Ενώ για την καλύτερη οδήγηση του φορείου τοποθετούνται δύο οδηγοί σε κάθε μεριά του φορείου. Έτσι, το συναρμολόγημα της οδήγησης που υπάρχει σε κάθε πλευρά του φορείου διαμορφώνεται όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.48



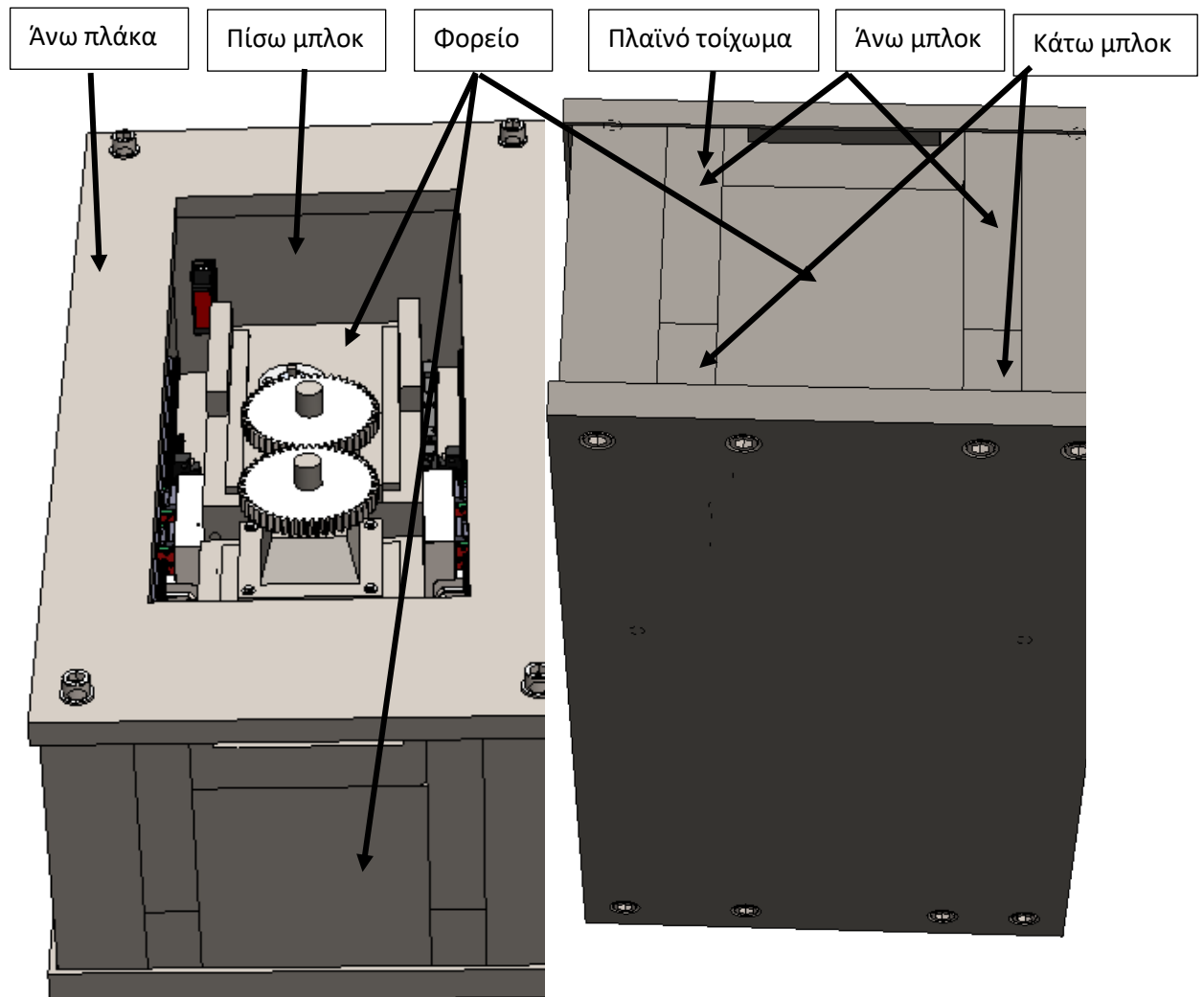
Σχήμα 4.48: Διάταξη Γραμμικής Οδήγησης

Δεδομένου ότι υπάρχουν δύο ίδιες διατάξεις οδήγησης εκατέρωθεν του φορείου ο συγχρονισμός των βηματικών κινητήρων είναι απαραίτητος και πραγματοποιείται ηλεκτρονικά με τις κατάλληλες εντολές.

4.2.5. Σασί

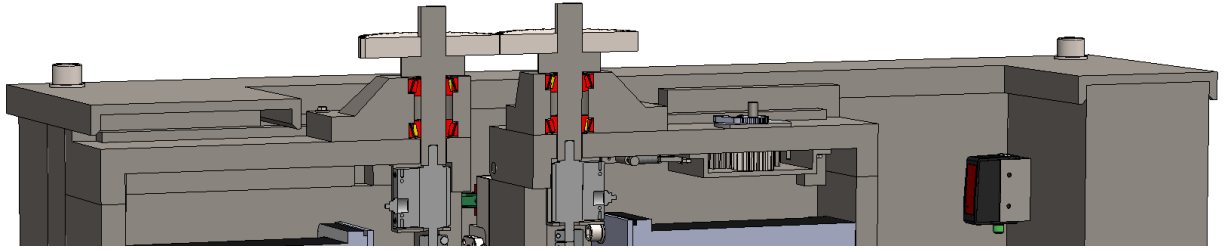
Το σασί της μηχανής αποτελείται από κομμάτια μεταλλικών τάκων τοποθετημένων ώστε να επιτυγχάνεται η επιθυμητή στιβαρότητα. Για το σκοπό αυτό όλα τα επιμέρους τεμάχια του σασί, τα οποία είναι οι άνω και κάτω πλάκες και τα πλαϊνά τοιχώματα, είναι τοποθετημένα

ώστε να δημιουργούν ένα κλειστό πλαίσιο και να μην υπάρχει κάποιος πρόβολος ή κενά μεταξύ τους, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.49



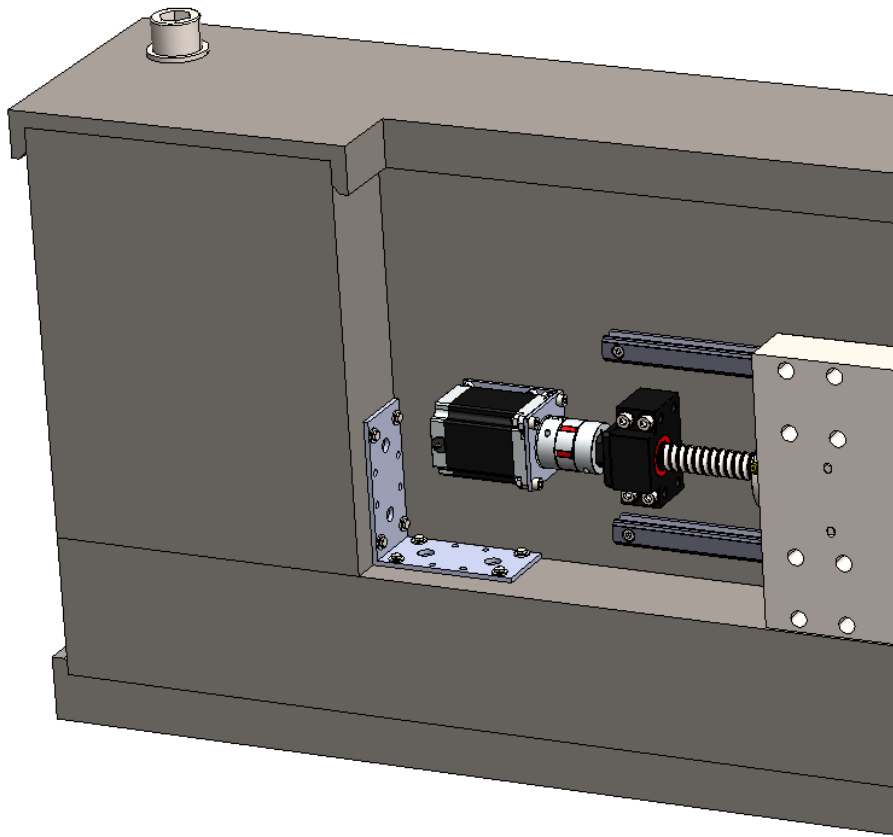
Σχήμα 4.49: Πλάγιες Προοπτικές της Διάταξης

Στην εικόνα φαίνεται ότι τα πλαϊνά τοιχώματα, πάνω στα οποία εδράζονται οι οδηγοί, είναι συνδεδεμένα με ροδέλες και κοχλίες M20 με τις άνω και κάτω πλάκες δημιουργώντας έτσι τον σκελετό της μηχανής. Επίσης, τα κενά κατά την έννοια του πλάτους κλείνουν αξιοποιώντας τα πλάτη των φορείων και τοποθετώντας μεταλλικά μπλοκ στα κενά που δημιουργούνται εξαιτίας του πλάτους των οδηγήσεων. Συγκεκριμένα, μεταξύ των εξωτερικών πλαϊνών επιφανειών των φορείων και των πλαϊνών τοιχωμάτων τοποθετούνται κάτω δύο κοντά και μακριά μεταλλικά μπλοκ (κάτω μπλοκ) που διατρέχουν κατά μήκος όλη τη διάταξη κάτω από τις οδηγίες επιτυγχάνοντας την επαφή των φορείων με τα πλαϊνά τοιχώματα δημιουργώντας κλειστά πλαίσια κοντά στην βάση. Το κινούμενο φορείο που εδράζεται στους οδηγούς εξασφαλίζει και πιο ψηλά την επαφή του με τα πλαϊνά τοιχώματα. Το ίδιο επιτυγχάνεται και για το σταθερό φορείο με την προσθήκη δύο ακόμη μεταλλικών μπλοκ (άνω μπλοκ) πάνω από τα δύο πρώτα με μήκος τέτοιο που να μην εμποδίζει την λειτουργία των οδηγήσεων. Στην πίσω άκρη της μηχανής τοποθετείται ένα ακόμα μπλοκ (πίσω μπλοκ) κατάλληλου πλάτους για τον ίδιο λόγο.



Σχήμα 4.50: Τομή στο Άνω Μέρος της Διάταξης

Πολύ σημαντικό είναι το γεγονός ότι η κάτω πλάκα διαθέτει το εξωτερικό περίγραμμα του συμπλέγματος όλων των μεταλλικών μπλοκ, ενώ η άνω πλάκα και το εξωτερικό και το εσωτερικό περίγραμμα, με αποτέλεσμα να παραλαμβάνονται τα εφελκυστικά φορτία ώστε τα τεμάχια να μην τείνουν να αποχωριστούν το ένα το άλλο. Στο Σχήμα 4.50 φαίνεται σε τομή διάταξη φανερώνοντας τον τρόπο που συναρμολογεί η άνω πλάκα με όλα τα κάθετα μεταλλικά μπλοκ αλλά και με το σταθερό φορείο χάρη στις κατάλληλου μήκους και ύψους προεξοχές που διαθέτουν τα καλύμματα των φορείων. Τέλος, με κοχλιοσυνδέσεις ενώνονται τα κάτω μπλοκ, πίσω μπλοκ και σταθερό φορείο με την κάτω πλάκα ώστε και το κάτω μέρος τους να εξασφαλίζεται ακλόνητο, ενώ η κάτω επιφάνεια των άνω μπλοκ εξασφαλίζεται ακλόνητη με χρήση γωνίας 90x90x40 και κοχλιών M3 για την σύνδεσή της με το κάτω μπλοκ όπως υποδεικνύει η εικόνα 12.



Σχήμα 4.51: Κοχλιωτή Σύνδεση Άνω και Κάτω Μπλοκ

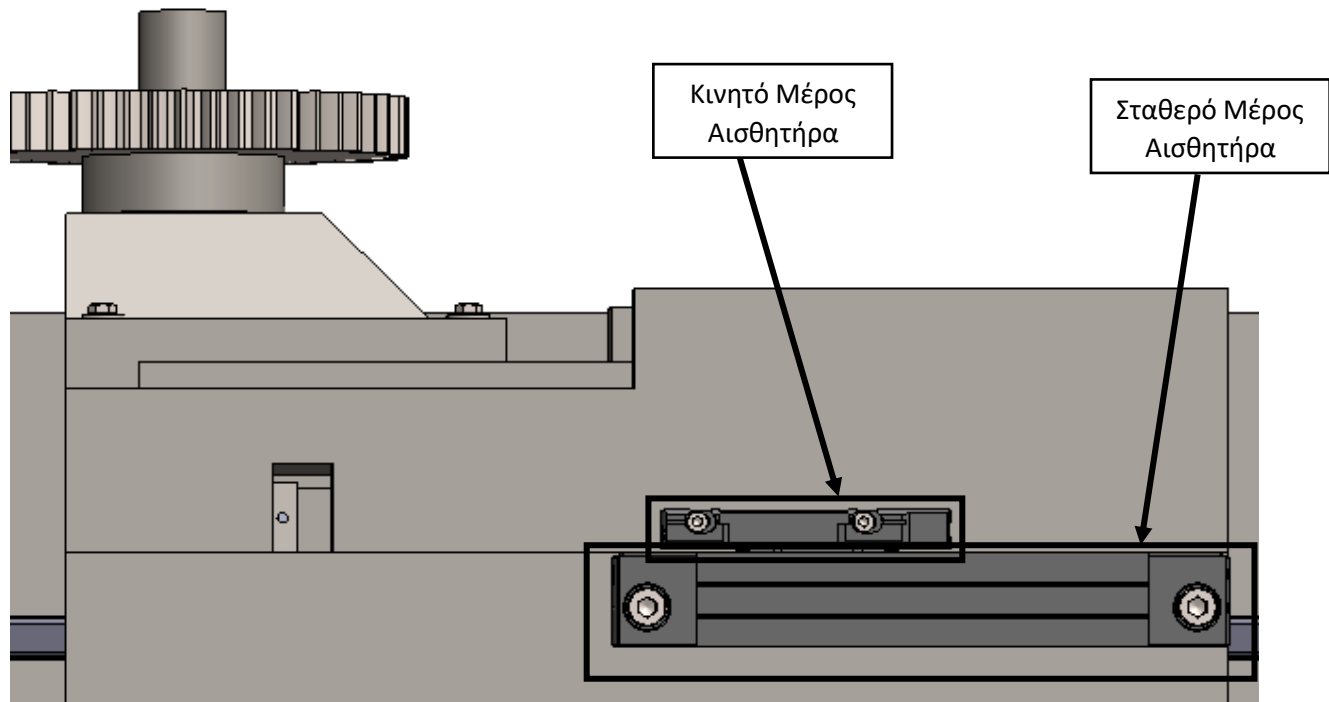
4.2.6. Μετρητικά όργανα

Τα μετρητικά όργανα τα οποία έχουν παρουσιαστεί στο μέρος του Ενωσιολογικού Σχεδιασμού της Διάταξης, πρέπει να τοποθετηθούν κατάλληλα στη διάταξη προκειμένου να λαμβάνονται κατάλληλα οι μετρήσεις.

Ο αισθητήρας μεταβολής της θέσης προσδένεται στο κιβώτιο του φορείου ενώ το κινητό του μέρος στο κάλυμμα του φορείου, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.52.

Στο Σχήμα 4.53 φαίνεται το laser μέτρησης της αρχικής αξονικής απόστασης των τροχών, το οποίο τοποθετείται επάνω σε βάση στερεωμένη με κοχλίες στο πίσω μέρος του housing της μηχανής, με σκοπό να λαμβάνει μέτρηση από την έδραση του φορείου.

Τέλος, όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο ανάλυσης της διάταξης του φορείου, ο αισθητήρας ροπής και θέσεως του άξονα τοποθετείται ανάμεσα στον άξονα του εκάστοτε τροχού και στον σύνδεσμο. (Σχήμα 4.45)



Σχήμα 4.52: Αισθητήρας Μεταβολής Θέσης Καλύμματος



Σχήμα 4.53: Αισθητήρας Laser Αξονικής Απόστασης Τροχών

5. Συμπεράσματα

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτέλεσε ο σχεδιασμός, η μελέτη και η κατασκευή διάταξης επιθεώρησης ποιότητας κατασκευής οδοντωτών τροχών για τις ανάγκες του Εργαστηρίου Στοιχείων Μηχανών, με τις μεθόδους μονής και διπλής κατατομής όπως επίσης και με τη μέθοδο μονής κατατομής υπό φορτίο. Στα πλαίσια αυτής της εργασίας δοκιμάστηκαν διάφοροι και εναλλακτικοί σχεδιασμοί με τρεις από αυτούς να είναι οι επικρατέστεροι. Τέλος, διενεργώντας κατάλληλες αναλύσεις παρουσιάστηκε ένα ολοκληρωμένο τελικό υπολογιστικό μοντέλο και με αυτόν τον τρόπο σχεδιάστηκε και η διάταξη στην τελική της μορφή.

Για τον σχεδιασμό αυτής της διάταξης τέθηκαν οι απαιτήσεις από τα επιλεχθέντα είδη δοκιμών τα οποία διενεργεί και έτσι προέκυψαν οι βασικές αρχές για τον σχεδιασμό της. Ο πρώτος σχεδιασμός παρουσιάστηκε με επιφάνειες οι οποίες ήταν αρκετά μεγάλες και αρκετά πολύπλοκες τόσο στον τρόπο κατασκευής τους όσο και στον τρόπο λειτουργίας τους. Επίσης, κάτι το οποίο έπρεπε να αντιμετωπισθεί στον αρχικό σχεδιασμό είναι η χρήση όσο το δυνατόν λιγότερων ελαστικών στοιχείων για την μετάδοση της κίνησης από τον ηλεκτροκινητήρα στον άξονα του εξεταζόμενου τροχού. Λόγω της ανάγκης για προσομοίωση των πραγματικών συνθηκών λειτουργίας οδοντωτών τροχών απαιτήθηκε η προσθήκη φορτίου στον άξονα του πρότυπου τροχού. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα, τελικά την εγκατάσταση ενός ηλεκτροκινητήρα ίδιου με τον κινητήριο ο οποίος θα ασκεί φορτίο στον άξονα. Έτσι προέκυψε ένας σχεδιασμός με τα περισσότερα μέρη του να είναι τυποποιημένα στην αγορά προκειμένου να εξασφαλιστεί η αξιοπιστία και η στιβαρότητα της κατασκευής.

Καθώς η μετάδοση κίνησης στο σύστημα είναι πολύ σημαντική για τη διάταξη προτάθηκε εκ νέου σχεδιασμός έχοντας δύο φορεία-τάκους οι οποίοι φιλοξενούν τα έδρανα του εκάστοτε άξονα και έναν σύνδεσμο μεταξύ του άξονα του τροχού και του άξονα του ηλεκτροκινητήρα. Δημιουργώντας αντίστοιχα μοντέλα πεπερασμένων στοιχείων στο υπολογιστικό πακέτο ANSYS Workbench, γρήγορα παρατηρήθηκε ότι ο νέος σχεδιασμός απαιτούσε τη χρήση τροχών τεμνόμενων αξόνων για τη μετάδοση κίνησης και τους ηλεκτρικούς κινητήρες πλέον να βρίσκονται στην οριζόντια διεύθυνση. Με αυτόν τον τρόπο αφού τα αποτελέσματα της τελικής αυτής διάταξης ήταν ικανοποιητικά και κάλυπταν τις ανάγκες που είχαν τεθεί στην αρχή της εργασίας από πλευράς ιδιοσυχνοτήτων, η διάταξη πήρε την τελική της μορφή. Η τελική αυτή μορφή καλύπτει άριστα τις ανάγκες που τέθηκαν στην αρχή της εργασίας δίνοντας ένα πολύ μεγάλο εύρος εφαρμογών χωρίς να επηρεάζονται τα αποτελέσματα της δοκιμής

Συμπερασματικά, η εργασία αυτή παρουσιάζει την πορεία σχεδιασμού και ανάλυσης μίας διάταξης επιθεώρησης ποιότητας οδοντωτών τροχών. Ορίζοντας τις απαιτήσεις των τριών αυτών επιλεγμένων δοκιμών ήταν αρκετά πολύπλοκη η εύρεση κατάλληλου σχεδιασμού για τη συγκεκριμένη διάταξη. Και αυτό συνέβη καθώς οι συνθήκες στις οποίες διενεργείται η κάθε δοκιμή διαφέρει σημαντικά, είτε ως προς κινητά και ακίνητα μέρη είτε ως προς τις μεταδόσεις κίνησης και εναλλαγές της διάταξης. Στην πορεία όμως της σχεδίασης δόθηκε αρκετή έμφαση στη στιβαρότητα και την αξιοπιστία της διάταξης, κάτι το οποίο μέσα από τις αναλύσεις που έγιναν έδειξε να δίνει το μέγιστο δυνατό αποτέλεσμα. Σε μελλοντική επανεξέταση του θέματος είναι σίγουρο ότι μπορεί να εξετασθεί και η προσθήκη άλλων αντίστοιχων δοκιμών ή και άλλων ειδών τροχού. Επομένως, με τον τρόπο αυτό θα μπορούσε να διαμορφωθεί μία διάταξη η οποία θα έχει ποικιλία δοκιμών για μεγάλο εύρος ειδών οδοντωτών τροχών.

6. Βιβλιογραφία

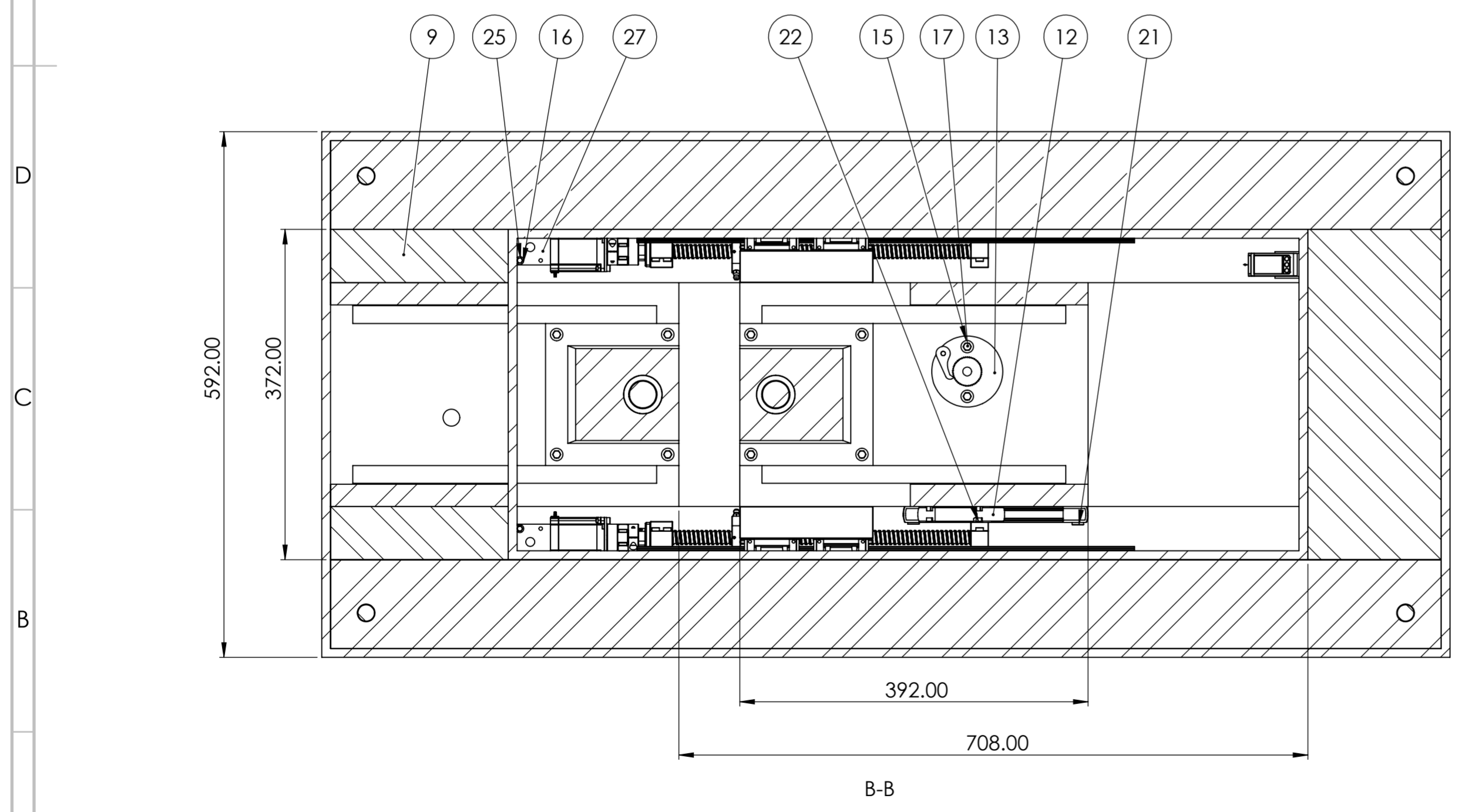
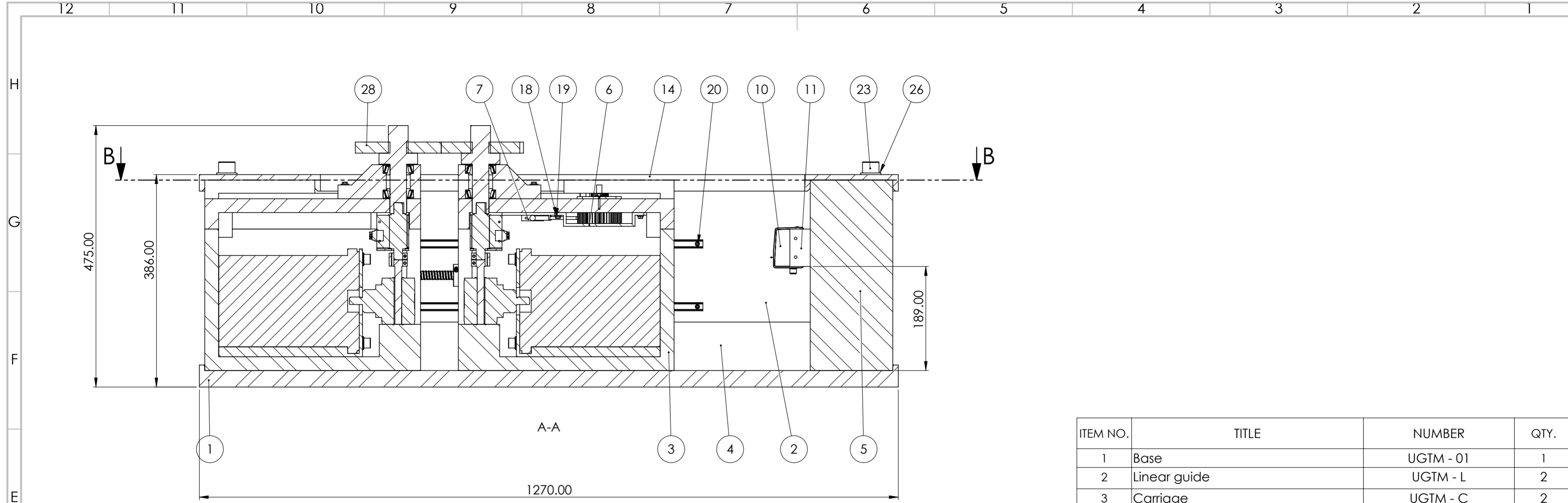
- [1] E. Lawson, “The Basics of Gear Metrology and Terminology Part I,” *Gear Technol.*, vol. 15, no. 5, pp. 41–50, 1998.
- [2] E. Lawson, “The Basics of Gear Metrology and Terminology Part II,” *Gear Technol.*, vol. 15, no. 6, pp. 67–71, 1998.
- [3] Pueo M, Santolaria J, Acero R, Gracia A. A review of tangential composite and radial composite gear inspection. *Precis. Eng.* 2017;50:522–37.
- [4] “VDI/VDE 2608 Tangential composite and radial composite inspection of cylindrical gears, bevel gears, worm and worm wheels.” 2001.
- [5] “ISO 1328-1:2013 Cylindrical gears - ISO system of accuracy - Part 1: Definitions and allowable values of deviations relevant to corresponding flanks of gear teeth.” 2013.
- [6] “DIN 3963:1978 Tolerances for cylindrical gear teeth - Tolerances for working deviations.” 1978.
- [7] “DIN 3965-3:1986 Tolerancing of bevel gears; tolerances for tangential composite errors.” 1986.
- [8] “DIN 3974-1:1995 Accuracy of worms and worm gears - Part 1: General bases.” 1995. 23
- [9] R. G. Munro, “Effect of Geometrical Errors on the Transmission of Motion between Gears,” *Proc. Inst. Mech. Eng.*, vol. 184, pp. 79–84, 1969.
- [10] R. E. Smith, “What Single Flank Measurement Can Do For You,” AGMA, Washington, DC, Tech. Paper, 84 FTM 2, Oct. 1984.
- [11] R. E. Smith, “Identification of gear noise with single flank composite measurement,” AGMA, San Francisco, CA, Tech. Paper, 85 FTM 13, Oct. 1985.
- [12] R. E. Smith, “The Relationship of Measured Gear Noise to Measured Gear Transmission Errors,” AGMA, Rochester, NY, Tech. Paper, 87 FTM 6, Oct. 1987.
- [13] R. E. Smith, “Solving Gear Noise Prob With Single Flank Inspection,” *Power Transmission Design*, pp. 63–67, 1990.
- [14] “AGMA 915-2-A05 Inspection Practices - Part 2: Cylindrical Gears - Radial Measurements.” 2005.
- [15] “DIN 21772:2012 Gears - Cylindrical involute gears and gear pairs - Definition of deviations.” 2012.
- [16] “ISO 1328-2:1997 Cylindrical gears - ISO system of accuracy - Part 2: Definitions and allowable values of deviations relevant to radial composite deviations and runout information.” 1997.
- [17] “ANSI/AGMA 2009-B1:2001 Bevel gear classification, Tolerances and measuring methods.” 2001.
- [18] R. Och, “History of gear measuring machines and traceability 1900-2006,” *Gear Prod. News*, no. October, pp. 20–25, 2006.

[19] Z. Y. Shi, Y. T. Fei, and H. K. Xie, "100 years of gear measurement technology-review & prospect," *Eng. Sci.*, vol. 5, no. 9, pp. 13–17, 2003.

[20] L. Gazzaniga, *El Libro de los Engranajes: Tratado Práctico para el Cálculo, Trazado, Ejecución y Control de los Engranajes*. Barcelona, 1961.

[21] D. Gimpert, "An Elementary Guide to Gear Inspection," *Gears Solut.*, no. June, pp. 32–38, 2005.

Παράρτημα



ITEM NO.	TITLE	NUMBER	QTY.
1	Base	UGTM - 01	1
2	Linear guide	UGTM - L	2
3	Carriage	UGTM - C	2
4	Lower block	UGTM - 03	2
5	End block	UGTM - 05	1
6	Tensioner 1	UGTM - T1	1
7	Tensioner 2	UGTM - T2	1
9	Upper block	UGTM - 04	2
10	OM70_L0250_HH0130_VI	Laser	1
11	Laser base	UGTM - 06	1
12	689670-01i_1	Linear encoder	1
13	Tensioner 3	UGTM - T3	1
14	Contour plate	UGTM - 02	1
15	ISO 10669-5.4-N		2
16	ISO 10669-3.55-N		16
17	ISO 4015 - M5 x 25 x 16-N		2
18	ISO 10673-5.5-S		10
19	ISO 4016 - M5 x 25 x 16-WN		4
20	ISO 4762 M4 x 25 - 25N		8
21	ISO 4762 M8 x 20 - 20N		2
22	ISO 4762 M4 x 20 - 20N		2
23	ISO 4762 M20 x 50 - 50N		12
24	ISO 4014 - M5 x 25 x 16-N		8
25	ISO 4014 - M3 x 20 x 12-N		16
26	Washer ISO 7089 - 20		12
27	Angle connector 90x90x40		2
28	ISO - Spur gear 3M 50T 20PA 20FW --- S50A75H50L30.0N	Tested gears	2

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH: TOLERANCES: ISO 2768-m-k
 LINEAR: ANGULAR:

FINISH: DEBURR AND BREAK SHARP EDGES

DO NOT SCALE DRAWING REVISION 1

Quantity: 1

NAME: DATE: 23/3/2021

DRAWN: Dimitrios Kryfos

CHKD:

TITLE: Universal gear testing machine design

UNIVERSAL gear testing machine design

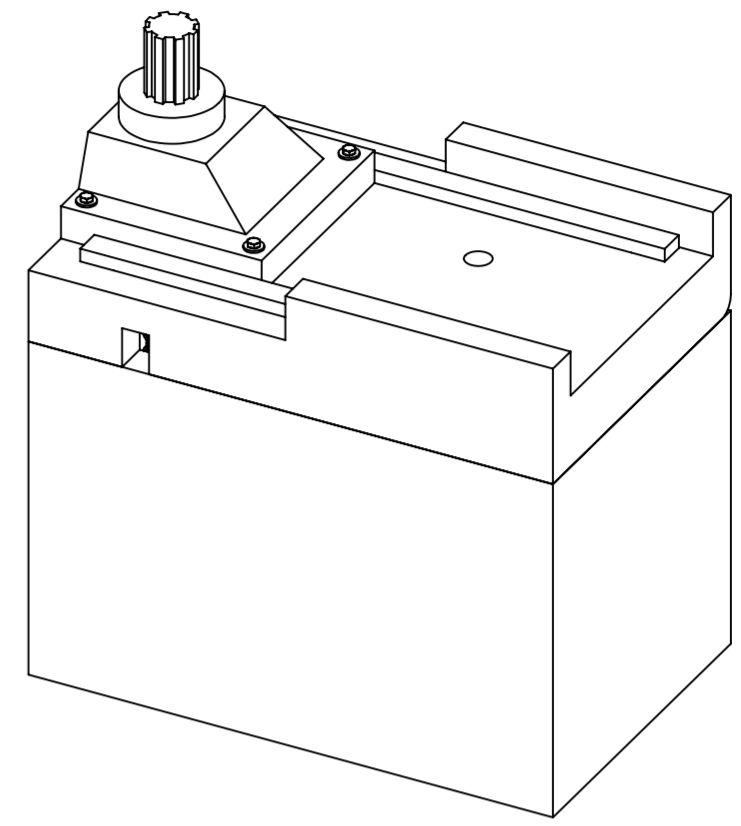
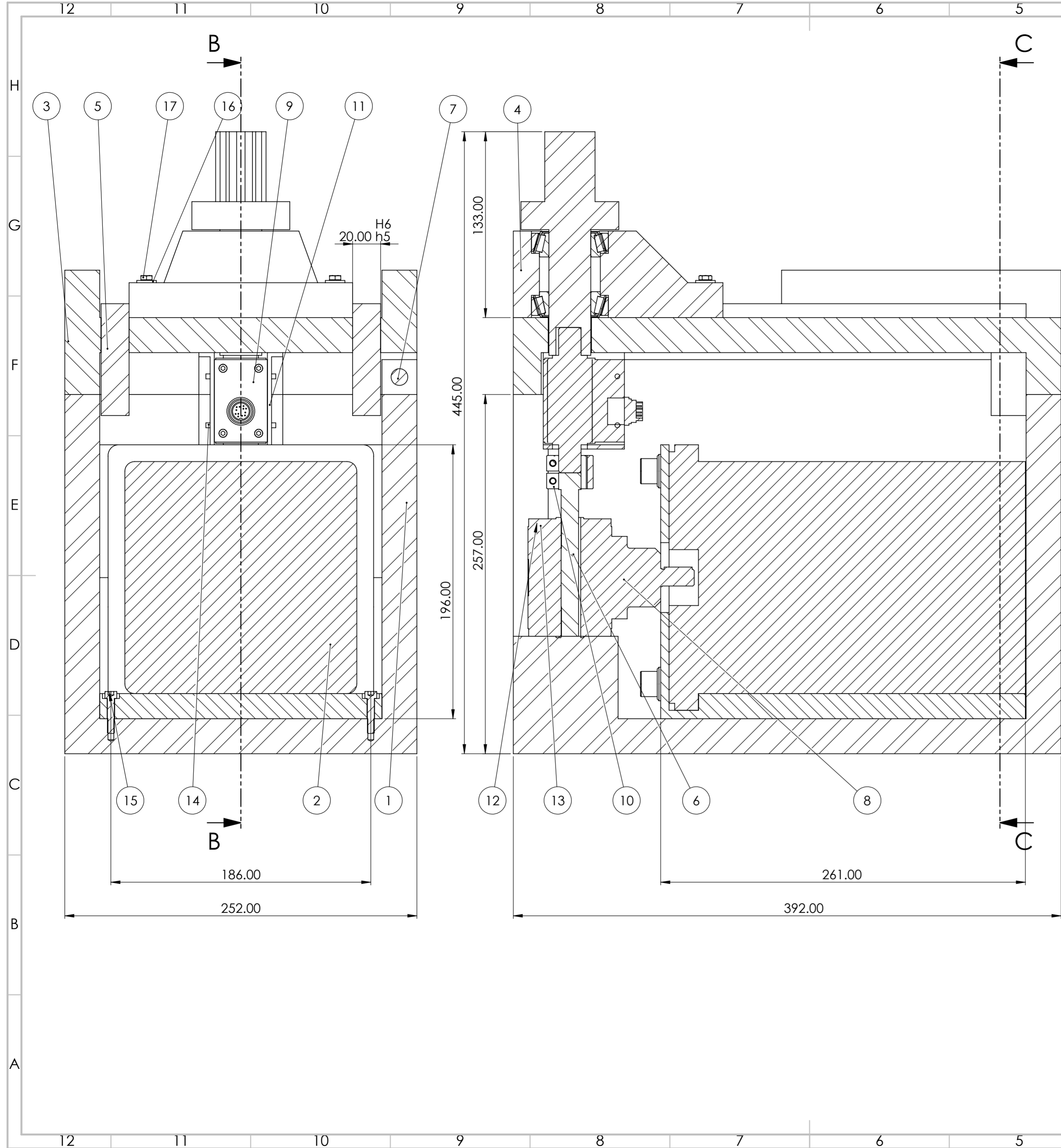
DWG NO. UGMT

SCALE: 1:10 SHEET 1 OF 1

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
 SCHOOL OF MECHANICAL ENGINEERING
 SECTOR OF MECHANICAL DESIGN AND AUTOMATIC CONTROL
 MACHINE DESIGN LABORATORY

MATERIAL: WEIGHT:

A2



ITEM NO.	TITLE	NUMBER	QTY.
1	Box carriage	UGTM-C-01	1
2	Motor unit	Brushless DC Motor Volcano Electric VOL-BL550C72	1
3	Cover carriage	UGTM-C-02	1
4	Bearing unit	UGTM-B	1
5	Stop	UGTM-C-03	2
6	Axle extension	UGTM-C-04	1
7	Pin guide	UGTM-C-05	1
8	Bevel gearbox	hw_000-1.1	1
9	Rotary torque tensor with encoder	FUTEK fsh02056	1
10	Rigid coupler	Ruland_wclk-10-ss-c	1
11	Torque sensor mounting	UGTM-C-06	1
12	M3 x 100		4
13	B18.22M - Plain washer, 3 mm, narrow		4
14	Pin Gage Gauge	uxcell Industry 3.5mm Diameter 50mm	2
15	ISO 4762 M5 x 25 - 25N		4
16	ISO 10669-5.4-N		4
17	ISO 4014 - M5 x 35 x 16-N		4

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: ISO 2768-m-k
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:
 DEBURR AND BREAK SHARP EDGES

DO NOT SCALE DRAWING
 REVISION 1

Quantity: 2

NAME: Dimitrios Kryfos
 DATE: 23/3/2021

TITLE: Universal gear testing machine design

CHKD:

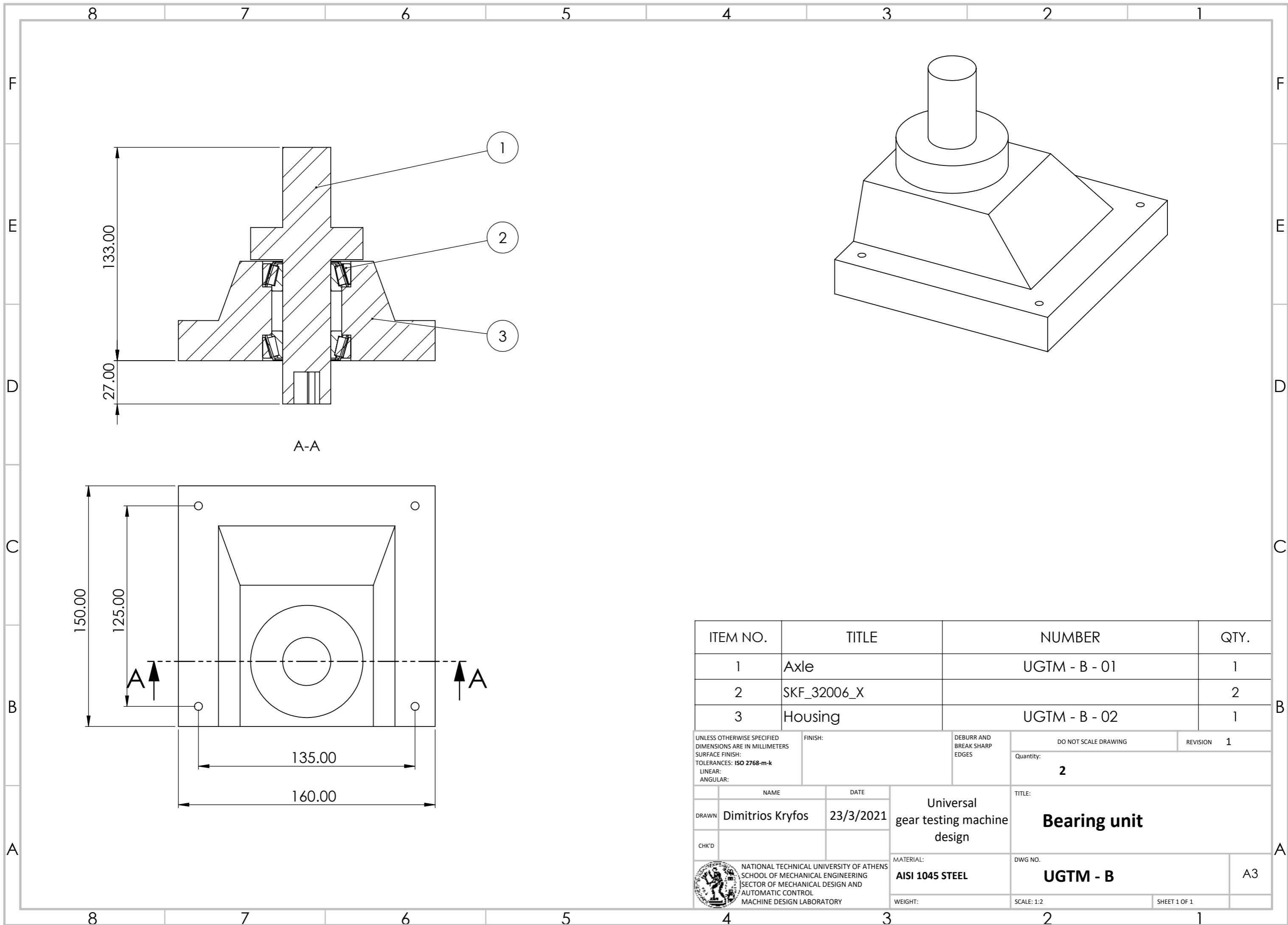
NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
 SCHOOL OF MECHANICAL ENGINEERING
 SECTOR OF MECHANICAL DESIGN AND AUTOMATIC CONTROL
 MACHINE DESIGN LABORATORY

MATERIAL:
 WEIGHT:

TITLE: Carriage

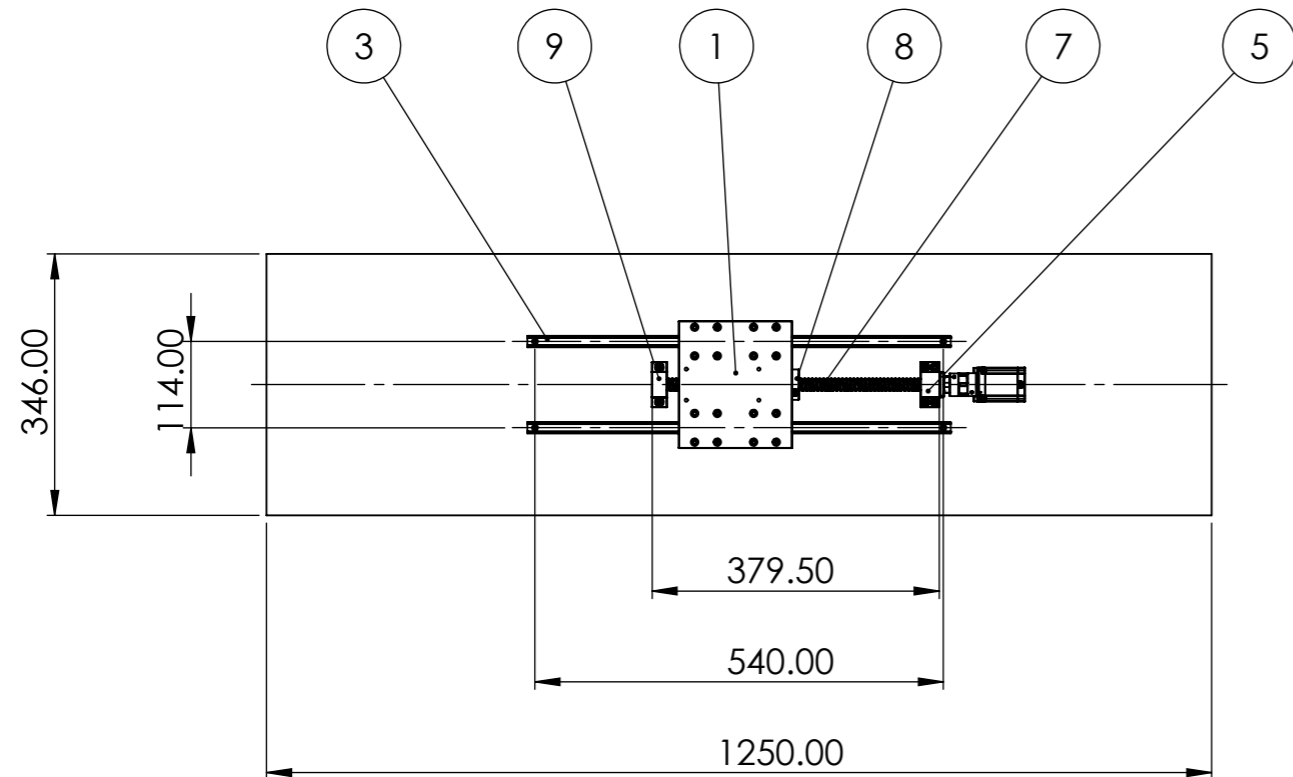
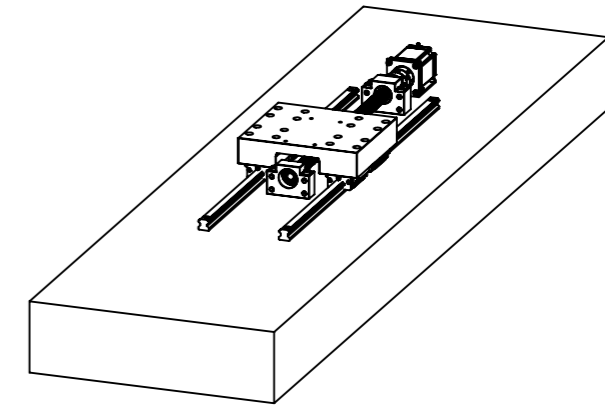
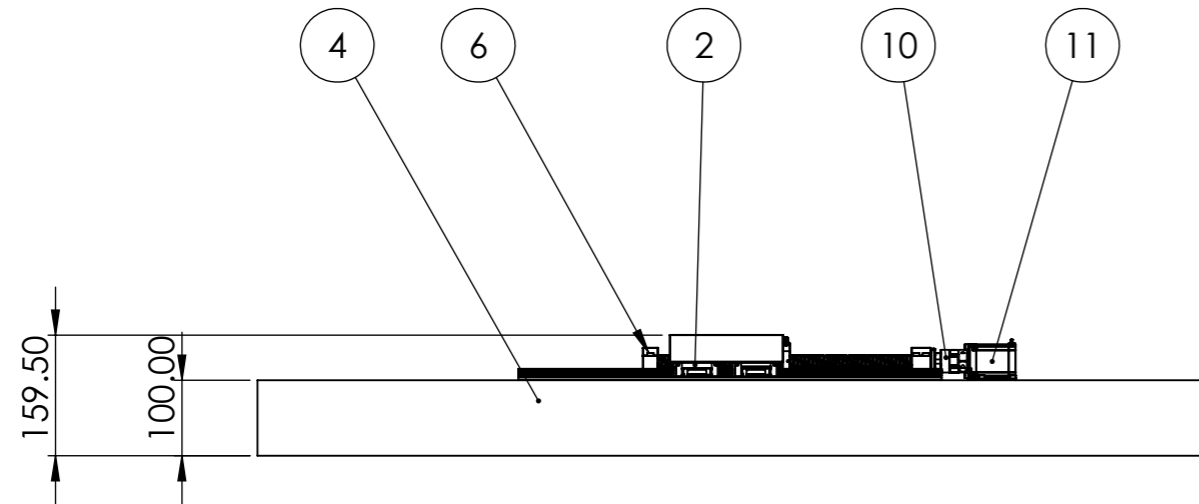
DWG NO. UGTM - C

SCALE: 1:2
 SHEET 1 OF 1




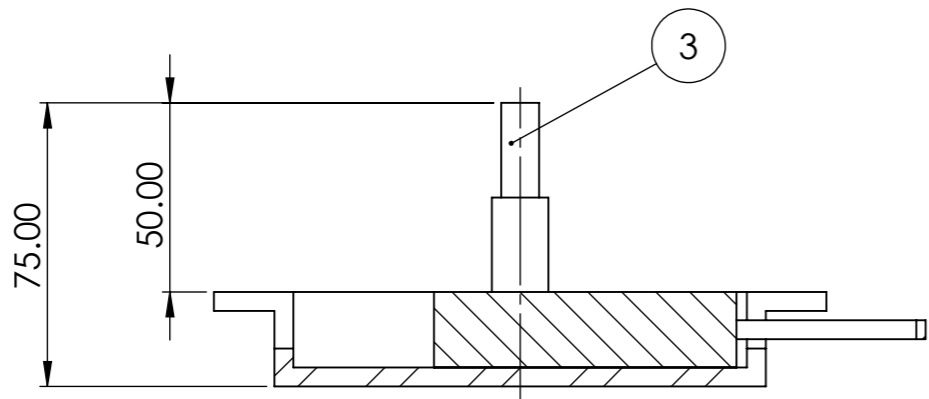
ITEM NO.	TITLE	NUMBER	QTY.
1	Axle	UGTM - B - 01	1
2	SKF_32006_X		2
3	Housing	UGTM - B - 02	1

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: ISO 2768-m-k LINEAR: ANGULAR:		FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION 1
			Quantity: 2		
NAME DRAWN Dimitrios Kryfos		DATE 23/3/2021	TITLE: Bearing unit		
MATERIAL: AISI 1045 STEEL		DWG NO. UGTM - B		A3	
NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS SCHOOL OF MECHANICAL ENGINEERING SECTOR OF MECHANICAL DESIGN AND AUTOMATIC CONTROL MACHINE DESIGN LABORATORY			WEIGHT:	SCALE: 1:2	SHEET 1 OF 1

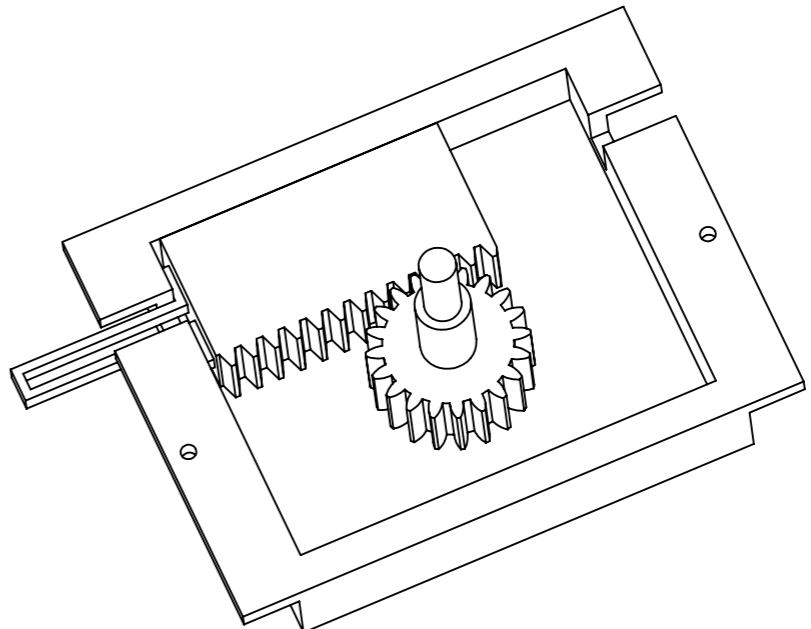
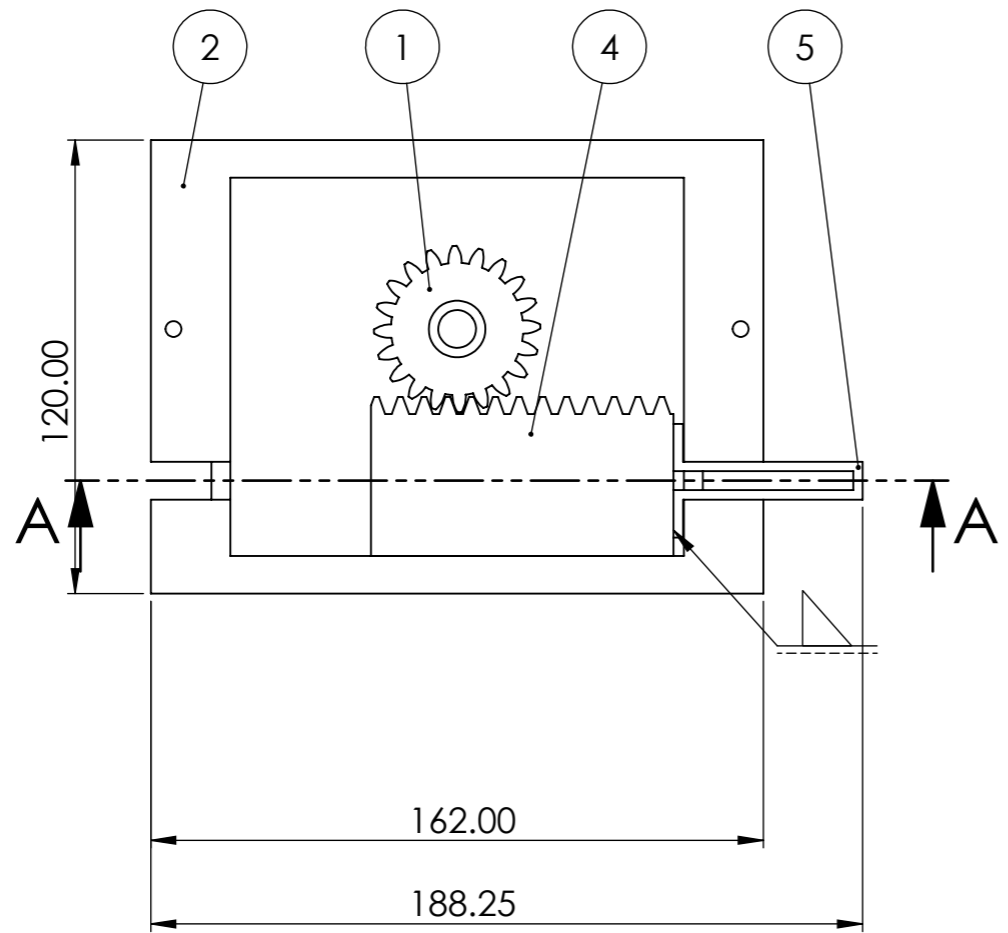


ITEM NO.	TITLE	NUMBER	QTY.
1	X-axis bearing block	UGTM - L -02	1
2	HGW15CAE2R400EZ0CII+DD/E2/RC	Block	4
3	HGR15R400EP+RC	Railguide	2
4	Mounting	UGTM - L -01	1
5	BK12	Ball bearing	1
6	ISO 4762 M5 x 50 - 22N		10
7	1605-400	Ball screw	1
8	SFU1605-3	Ball screw nut	1
9	BF12	Ball bearing	1
10	Coupler D30L35-6.35-10.0		1
11	NEMA23 57BYGH627	Stepper motor unit	1

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: ISO 2768-m-k LINEAR: ANGULAR:		FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION 1
DRAWN Dimitrios Kryfos		DATE 23/3/2021	Quantity: 2		TITLE: Linear guide
CHK'D		Universal gear testing machine design		DWG NO. UGTM - L	A3
 NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS SCHOOL OF MECHANICAL ENGINEERING SECTOR OF MECHANICAL DESIGN AND AUTOMATIC CONTROL MACHINE DESIGN LABORATORY		MATERIAL: AISI 1045 STEEL	WEIGHT:	SCALE: 1:10	SHEET 1 OF 1



A-A



ITEM NO.	TITLE	NUMBER	QTY.
1	ISO - Spur gear 2M 20T 20PA 20FW ---S20A75H50L15.0N		1
2	Tensioner 1 housing	UGTM - T1 - 01	1
3	Tensioner 1 axle	UGTM - T1 - 02	1
4	ISO - Rack-spur - rectangular 2M 20PA 20FW 40PH 80L---SAll		1
5	Tensioner 1 laminate	UGTM - T1 - 03	1

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: ISO 2768-m-k LINEAR: ANGULAR:		FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION 1
			Quantity: 1		
NAME	DATE	Universal gear testing machine design		TITLE: Tensioner 1	
DRAWN Dimitrios Kryfos	23/3/2021				
CHK'D		MATERIAL:	DWG NO. UGTM - T1	A3	
NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS SCHOOL OF MECHANICAL ENGINEERING SECTOR OF MECHANICAL DESIGN AND AUTOMATIC CONTROL MACHINE DESIGN LABORATORY		WEIGHT:	SCALE: 1:2	SHEET 1 OF 1	

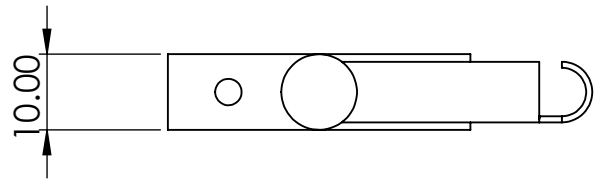
4 3 2 1

F

F

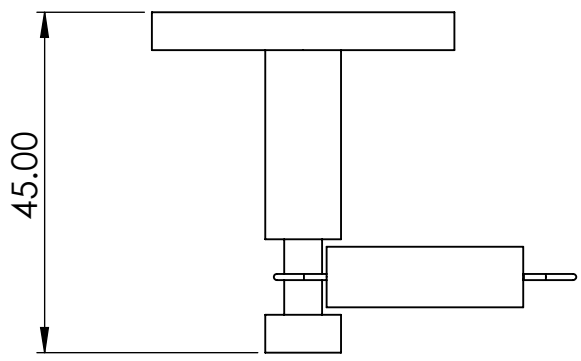
E

E



D

D



C

C

B


B

ITEM NO.	TITLE	NUMBER	QTY.
1	Tensioner 2 bar	UGTM - T2 - 01	1
2	Default	Tension spring D8 x d2	1

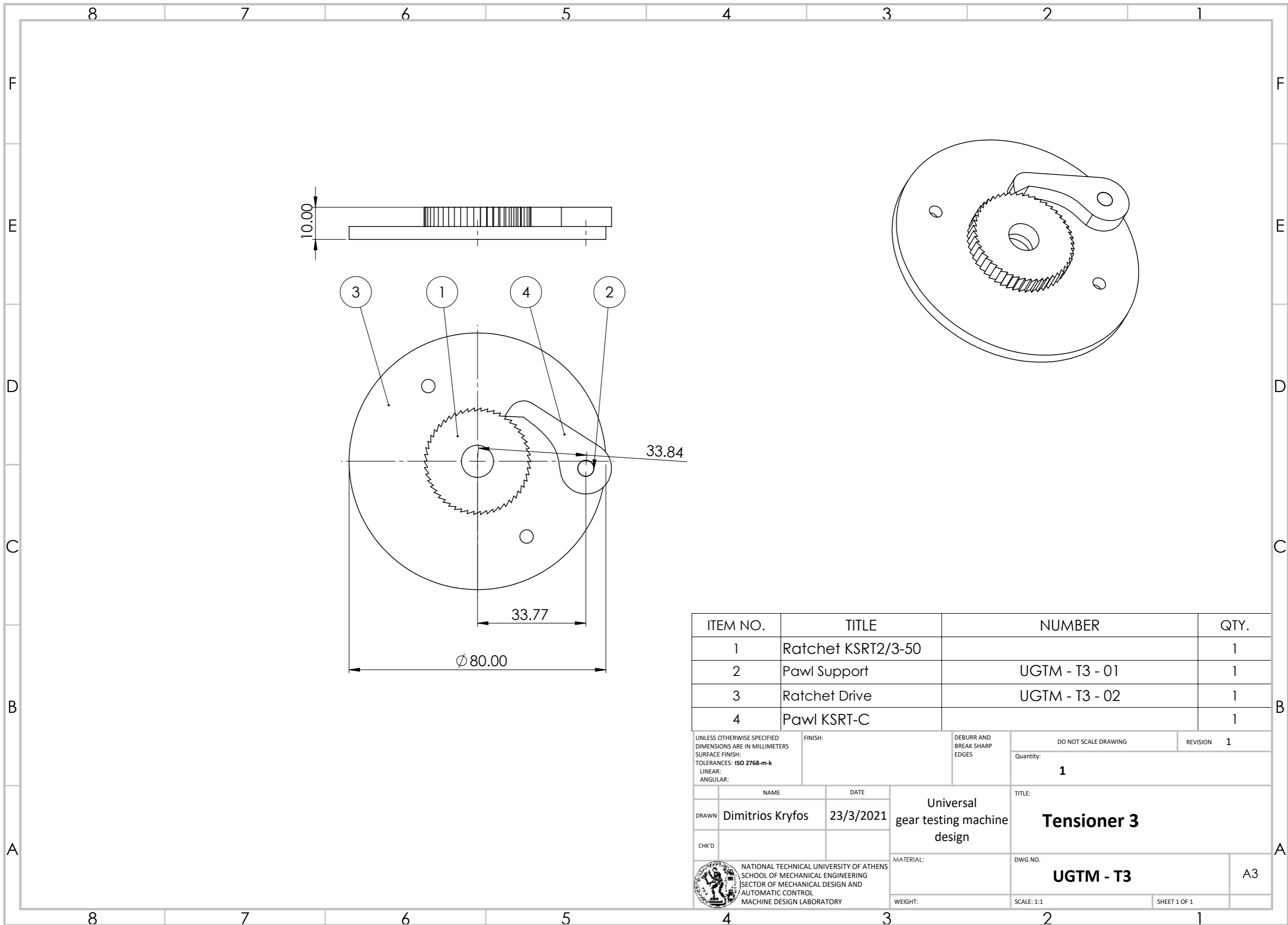
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: ISO 2768-m-k LINEAR: ANGULAR:	FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION 1
	Quantity: 1			

A


A

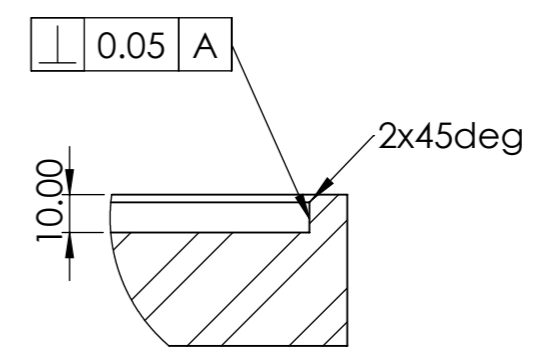
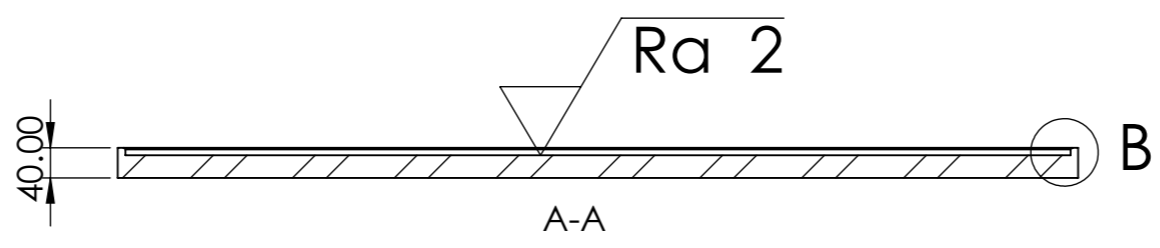
NAME	DATE	Universal gear testing machine design	TITLE:	
DRAWN Dimitrios Kryfos	23/3/2021		Tensioner 2	
CHK'D		MATERIAL:	DWG NO.	
 NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS SCHOOL OF MECHANICAL ENGINEERING SECTOR OF MECHANICAL DESIGN AND AUTOMATIC CONTROL MACHINE DESIGN LABORATORY		1023 Carbon SS	UGTM - T2	A4
		WEIGHT:	SCALE: 1:1	SHEET 1 OF 1

4 3 2 1

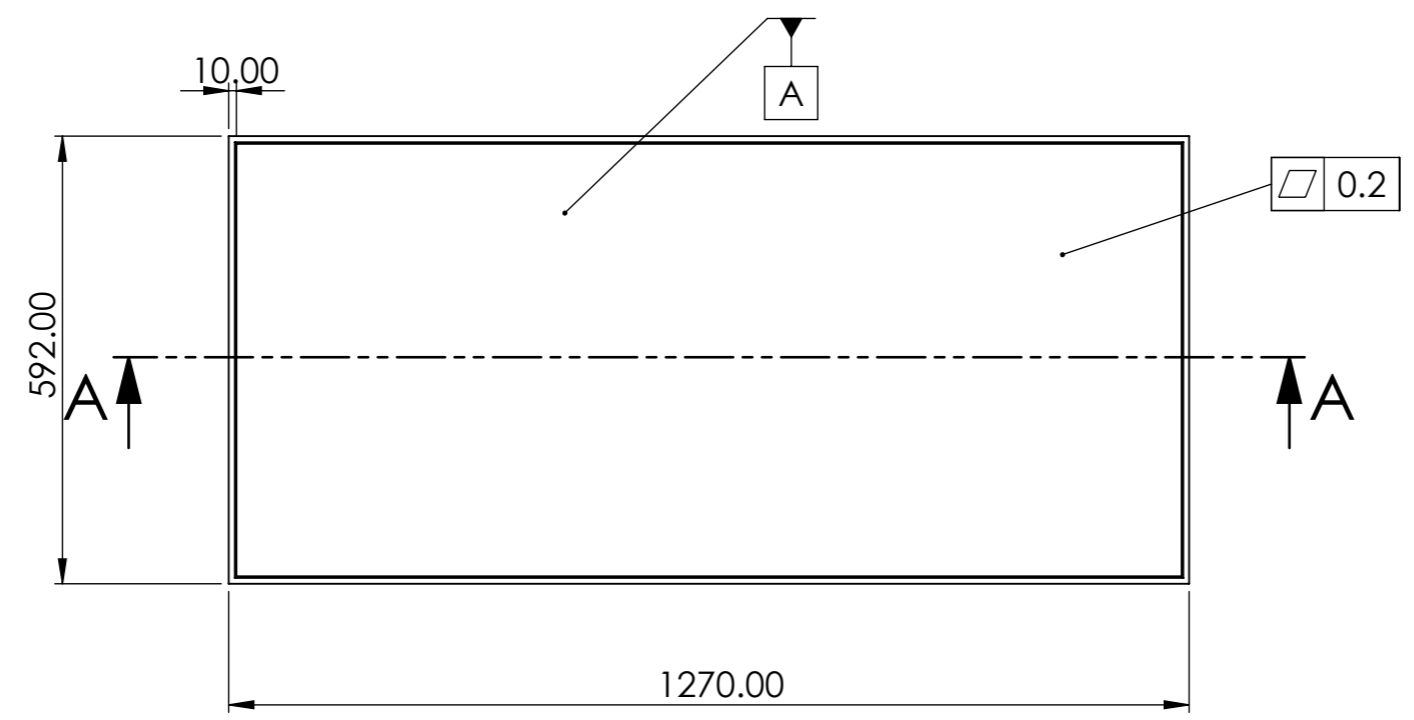


ITEM NO.	TITLE	NUMBER	QTY.
1	Ratchet KSRT2/3-50		1
2	Pawl Support	UGTM - T3 - 01	1
3	Ratchet Drive	UGTM - T3 - 02	1
4	Pawl KSRT-C		1

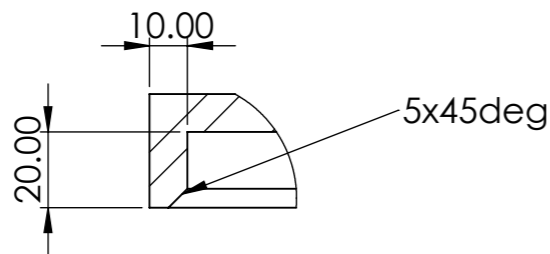
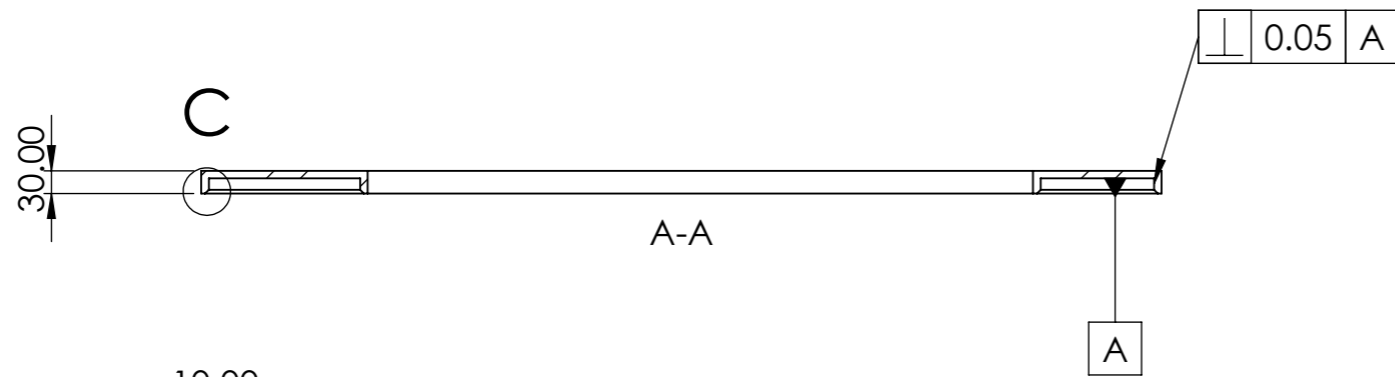
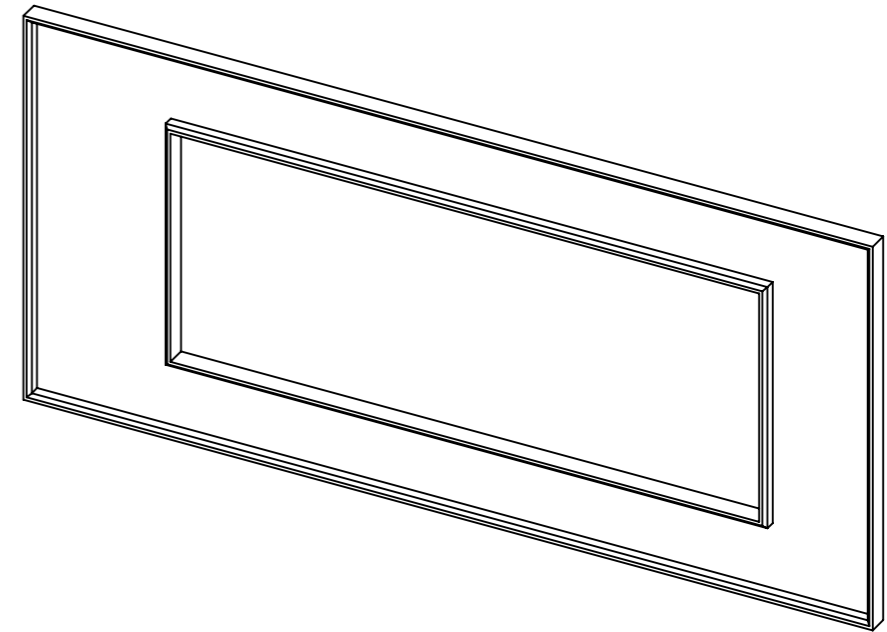
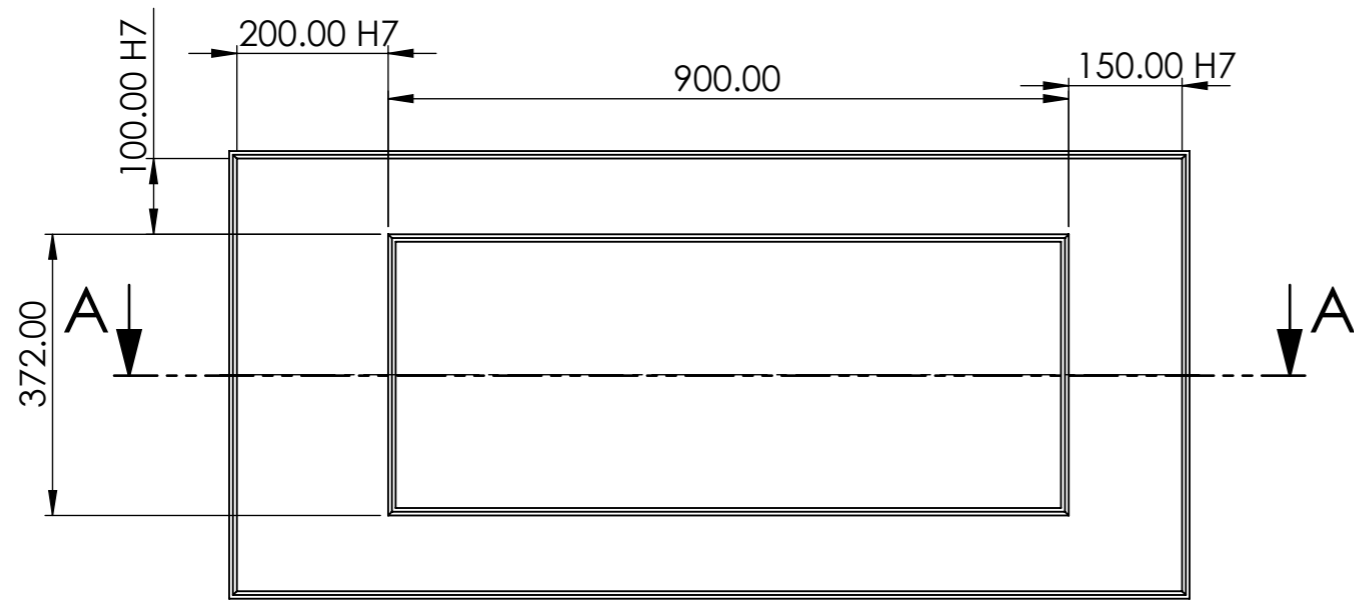
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: ISO 2768-m-k LINEAR: ANGULAR:		FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION 1
				Quantity: 1	
NAME	DATE	Universal gear testing machine design		TITLE: Tensioner 3	
DRAWN Dimitrios Kryfos	23/3/2021				
CHK'D		MATERIAL:	DWG NO. UGTM - T3	A3	
 NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS SCHOOL OF MECHANICAL ENGINEERING SECTOR OF MECHANICAL DESIGN AND AUTOMATIC CONTROL MACHINE DESIGN LABORATORY		WEIGHT:	SCALE: 1:1	SHEET 1 OF 1	



DETAIL B
SCALE 1 : 2



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: ISO 2768-m-k LINEAR: ANGULAR:		FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION 1
			Quantity: 1		
NAME		DATE		TITLE:	
DRAWN	Dimitrios Kryfos	23/3/2021		Base	
UNIVERSAL gear testing machine design		MATERIAL: AISI 1045 STEEL		DWG NO. UGTM-01	
NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS SCHOOL OF MECHANICAL ENGINEERING SECTOR OF MECHANICAL DESIGN AND AUTOMATIC CONTROL MACHINE DESIGN LABORATORY		WEIGHT: 179 kg		SCALE: 1:10	
A3		SHEET 1 OF 1			



DETAIL C

SCALE 1 : 2

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: ISO 2768-m-k LINEAR: ANGULAR:		FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION 1
DRAWN Dimitrios Kryfos			DATE 23/3/2021	Quantity: 1	TITLE: Contour plate
CHK'D			Universal gear testing machine design MATERIAL: AISI 1045 STEEL WEIGHT: 43.8 kg	DWG NO. UGTM - 02	
NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS SCHOOL OF MECHANICAL ENGINEERING SECTOR OF MECHANICAL DESIGN AND AUTOMATIC CONTROL MACHINE DESIGN LABORATORY				SCALE: 1:10 SHEET 1 OF 1	
					A3

4 3 2 1

F

F

E

E

D

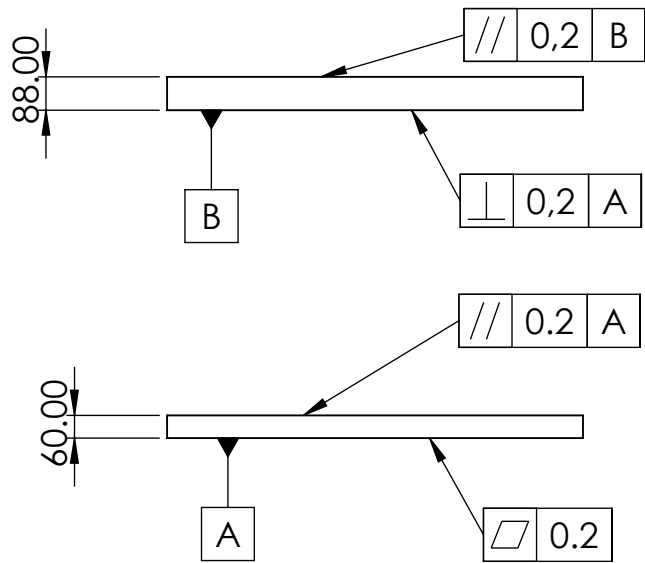
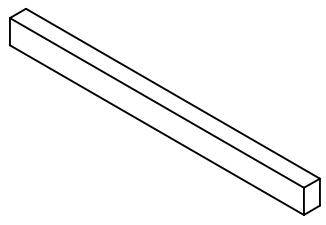
D

C

C

B

B



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES: **ISO 2768-m-k**
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

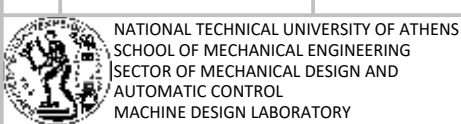
DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING
REVISION **1**
Quantity:
2

	NAME	DATE
DRAWN	Dimitrios Kryfos	23/3/2021
CHK'D		

Universal
gear testing machine
design

TITLE:
Lower block



MATERIAL:
AISI 1045 STEEL
WEIGHT: 45 kg

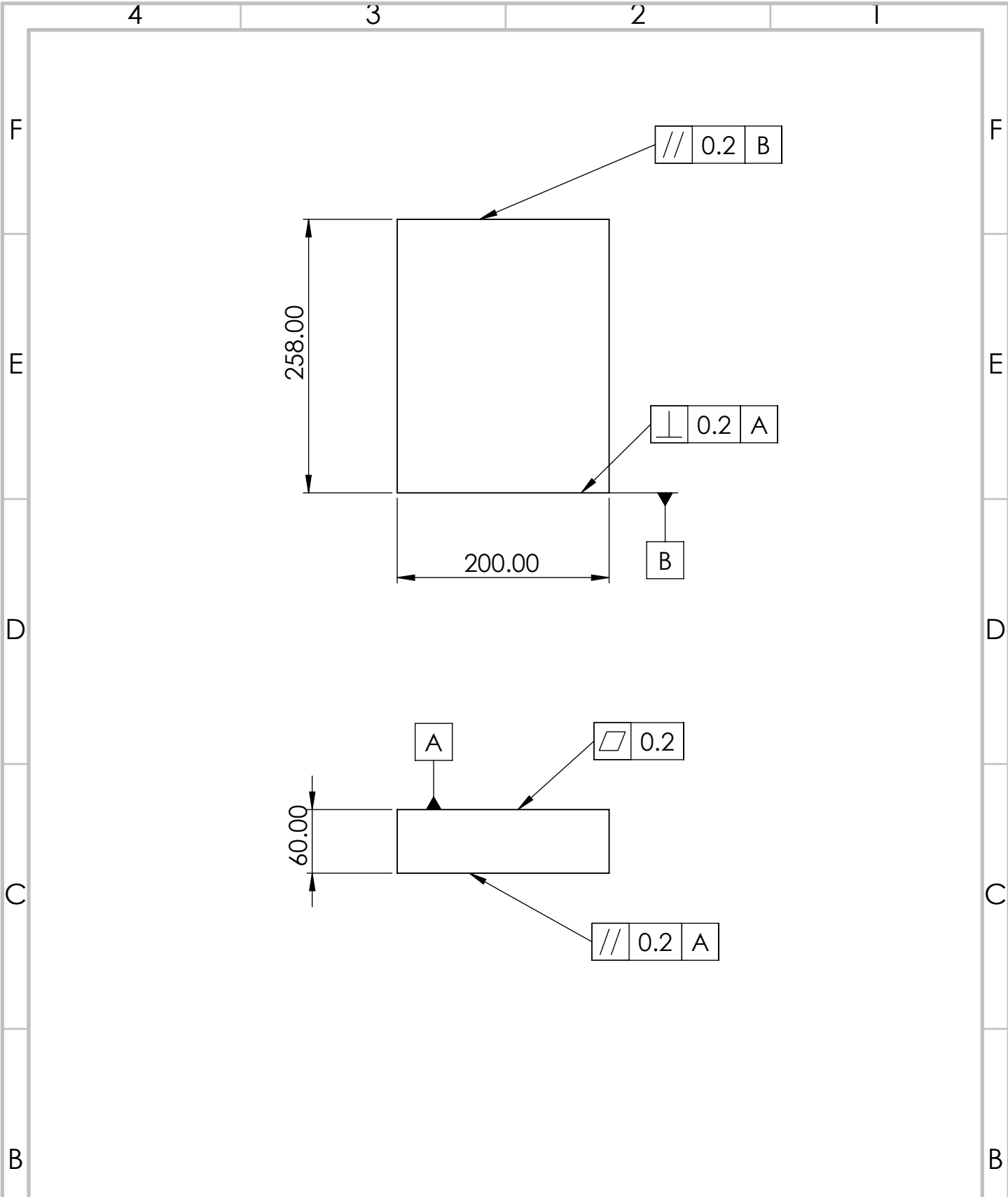
DWG NO.
UGMT-03
SCALE: 1:20

A4
SHEET 1 OF 1

4 3 2 1

A

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES: ISO 2768-m-k
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES


DO NOT SCALE DRAWING
Quantity:
2

REVISION **1**

	NAME	DATE
DRAWN	Dimitrios Kryfos	23/3/2021
CHK'D		

Universal
gear testing machine
design

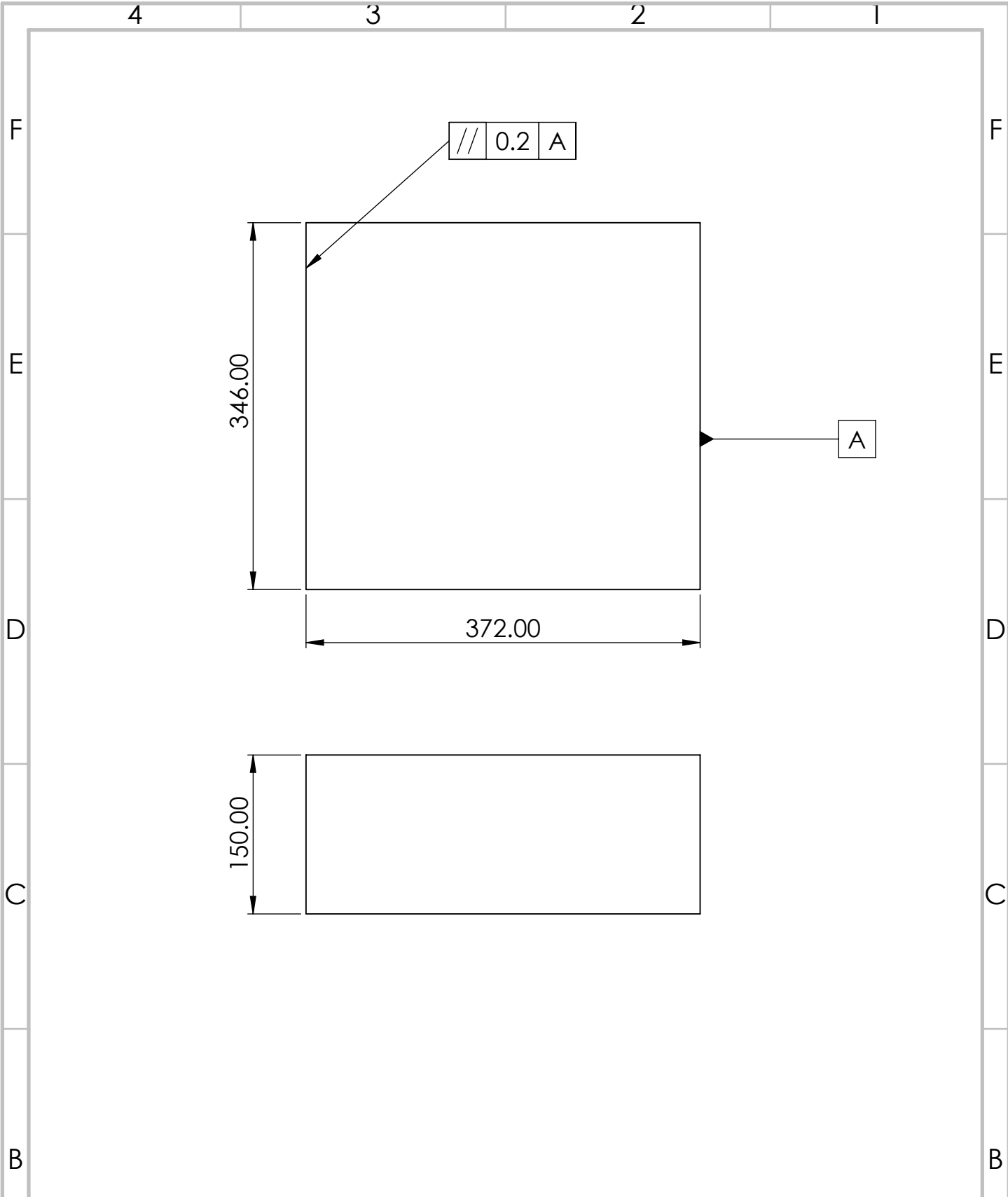
TITLE:
Upper block

 NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF MECHANICAL ENGINEERING
SECTOR OF MECHANICAL DESIGN AND
AUTOMATIC CONTROL
MACHINE DESIGN LABORATORY

MATERIAL:
AISI 1045 STEEL
WEIGHT: 24 kg

DWG NO.
UGTM - 04
SCALE: 1:5

A4
SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: **ISO 2768-m-k**
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

 DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES


DO NOT SCALE DRAWING
 Quantity: **1**

REVISION **1**

	NAME	DATE
DRAWN	Dimitrios Kryfos	23/3/2021
CHK'D		

Universal
 gear testing machine
 design

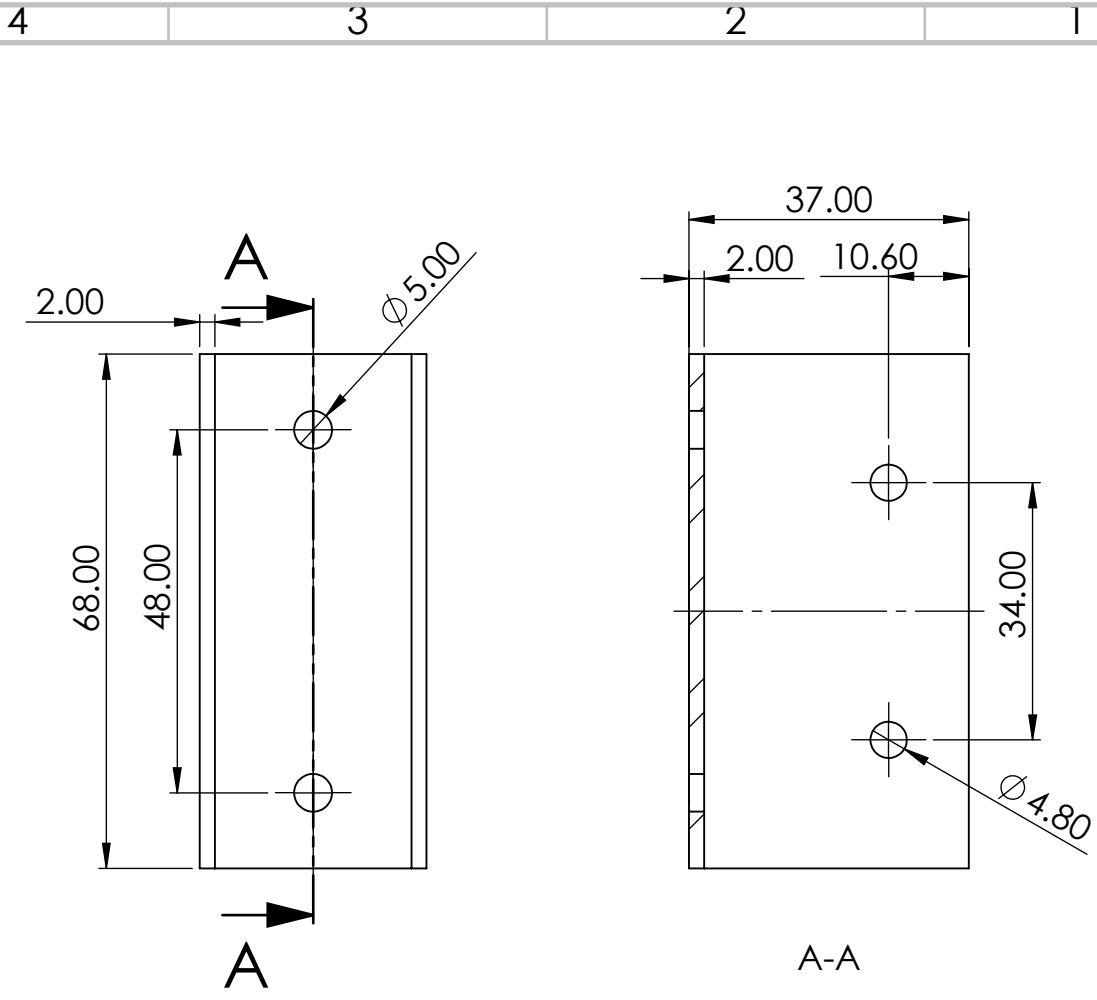
TITLE:
End block

 NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
 SCHOOL OF MECHANICAL ENGINEERING
 SECTOR OF MECHANICAL DESIGN AND
 AUTOMATIC CONTROL
 MACHINE DESIGN LABORATORY

MATERIAL:
AISI 1045 STEEL
 WEIGHT: 151 kg

DWG NO.
UGTM - 05
 SCALE: 1:5

A4
 SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES: ISO 2768-m-k
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION 1

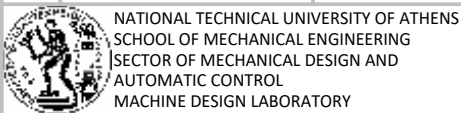
Quantity:

1

	NAME	DATE
DRAWN	Dimitrios Kryfos	23/3/2021
CHK'D		

Universal
gear testing machine
design

TITLE:
Laser base



MATERIAL:
1023 Carbon SS

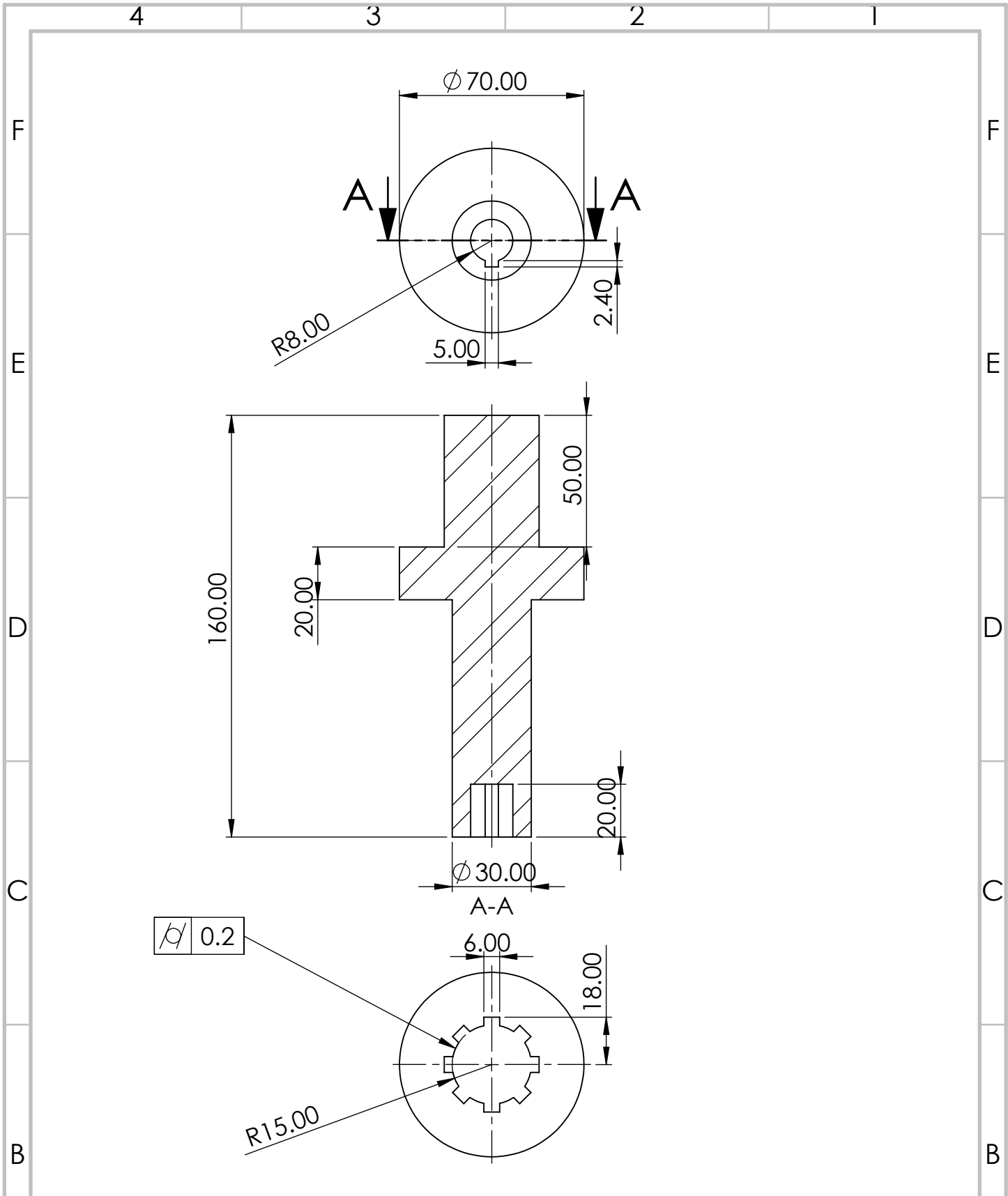
WEIGHT: 105 g

DWG NO.
UGTM - 06

A4

SCALE: 1:1

SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES: ISO 2768-m-k
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING
REVISION 1
Quantity: 2

NAME	DATE
DRAWN Dimitrios Kryfos	23/3/2021
CHK'D	

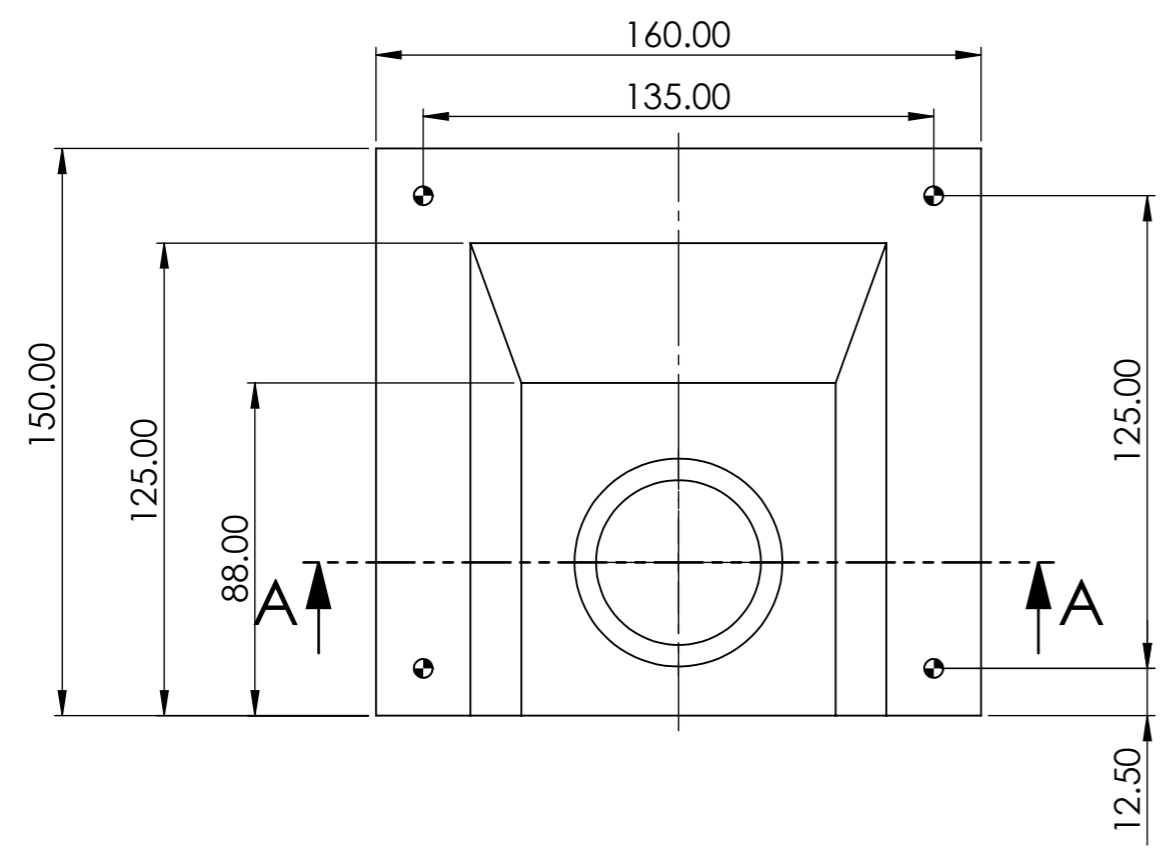
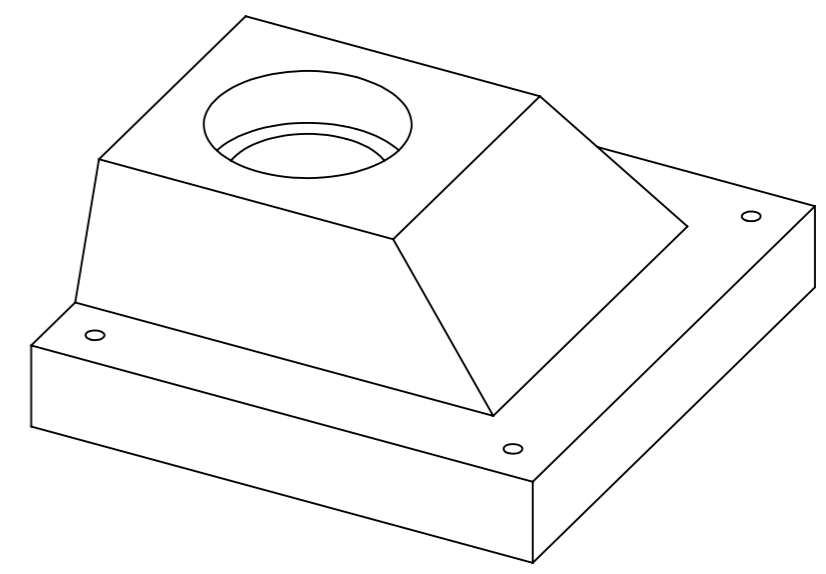
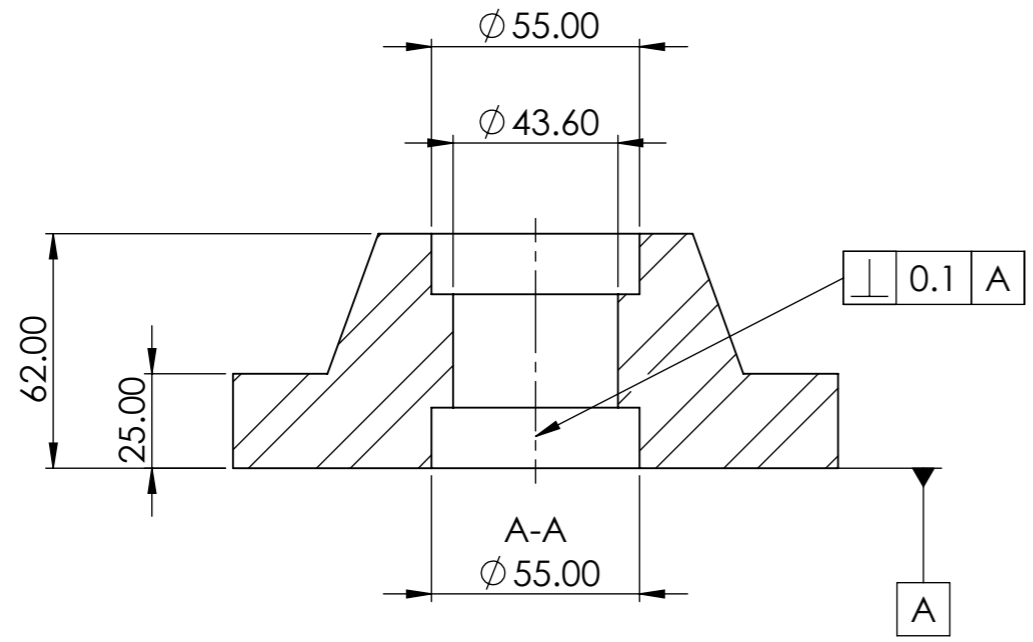
Universal gear testing machine design


TITLE: Axle

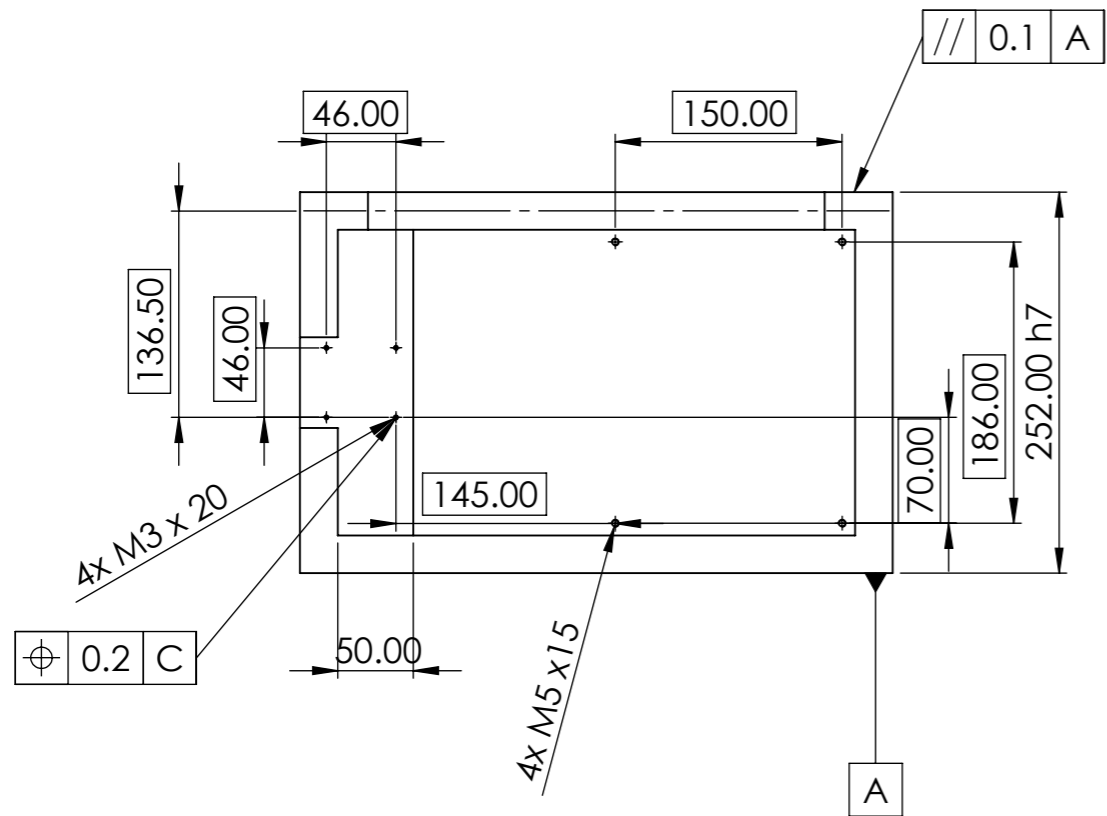
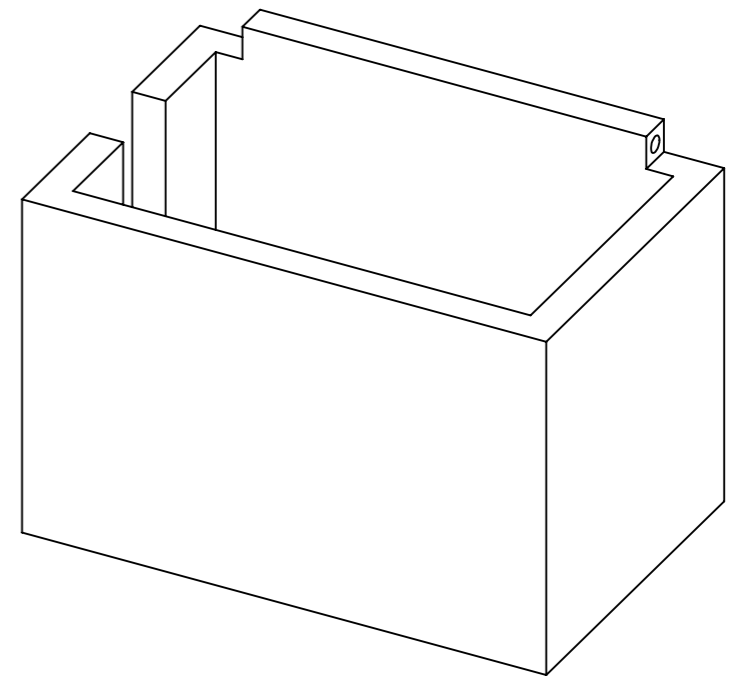
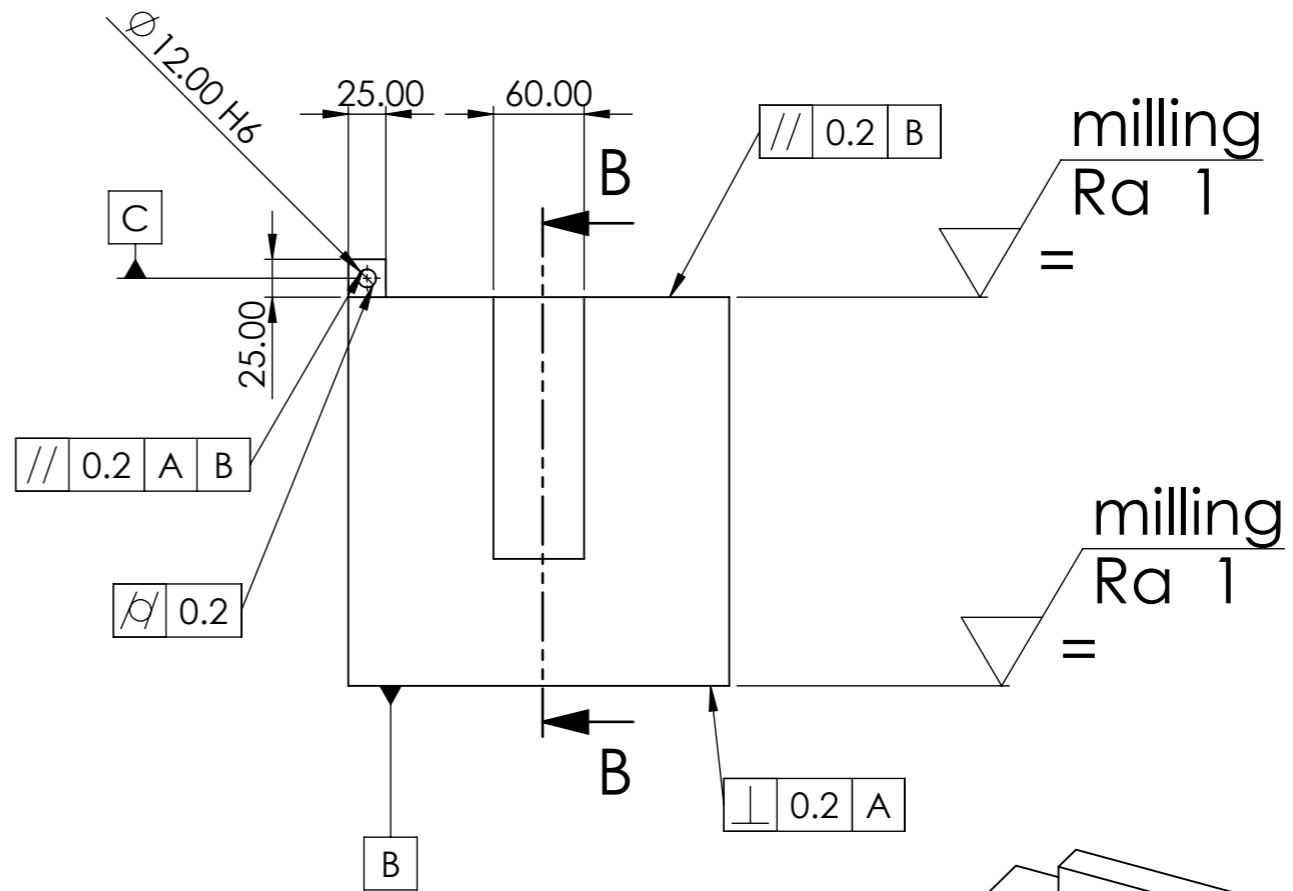
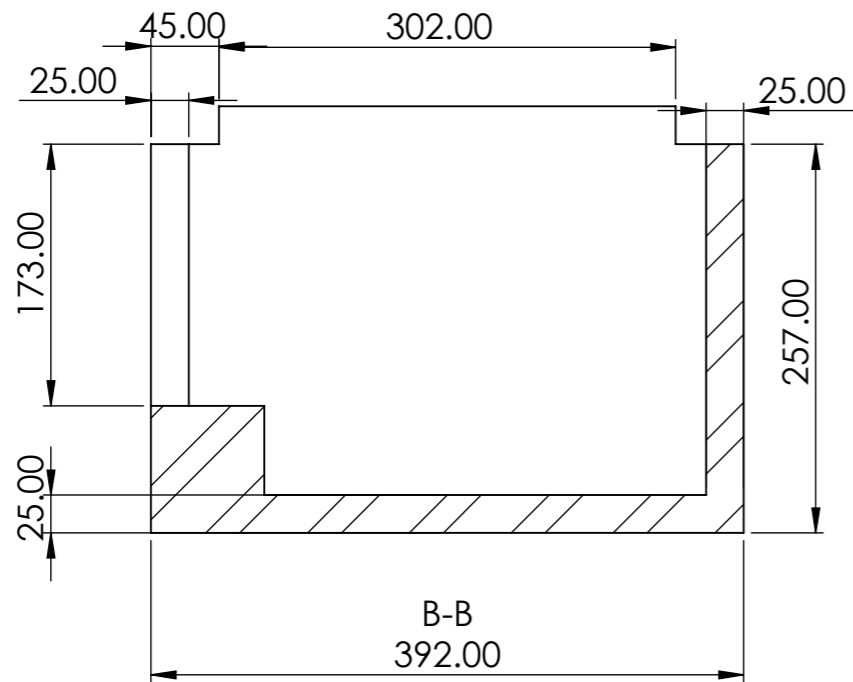
NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF MECHANICAL ENGINEERING
SECTOR OF MECHANICAL DESIGN AND
AUTOMATIC CONTROL
MACHINE DESIGN LABORATORY

MATERIAL: AISI 1045 STEEL
WEIGHT: 1.35 kg

DWG NO. UGTM - B - 01
SCALE: 1:2
SHEET 1 OF 1
A4



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION 1
SURFACE FINISH: TOLERANCES: ISO 2768-m-k				Quantity: 2	
LINEAR:				TITLE: Housing	
ANGULAR:				DWG NO. UGTM - B - 02	A3
DRAWN	NAME Dimitrios Kryfos	DATE 23/3/2021	Universal gear testing machine design		
CHK'D			MATERIAL: AISI 1045 STEEL	WEIGHT: 6.7 kg	SCALE: 1:2
 NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS SCHOOL OF MECHANICAL ENGINEERING SECTOR OF MECHANICAL DESIGN AND AUTOMATIC CONTROL MACHINE DESIGN LABORATORY			SHEET 1 OF 1		



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION 1	
SURFACE FINISH: TOLERANCES: ISO 2768-m-k						Quantity: 2			
LINEAR: ANGULAR:						TITLE: Box carriage			
DRAWN Dimitrios Kryfos		DATE 23/3/2021		Universal gear testing machine design		DWG NO. UGTM-C-01		A3	
CHK'D				MATERIAL: AISI 1045 STEEL		WEIGHT: 77.3 kg		SCALE: 1:5	
NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS SCHOOL OF MECHANICAL ENGINEERING SECTOR OF MECHANICAL DESIGN AND AUTOMATIC CONTROL MACHINE DESIGN LABORATORY						SHEET 1 OF 1			

4 3 2 1

F

F

E

E

D

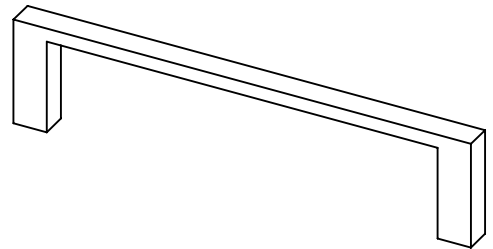
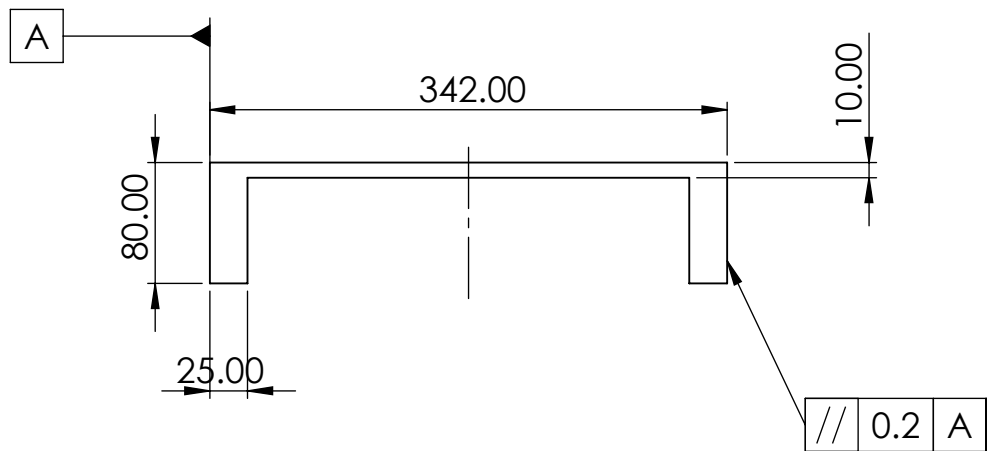
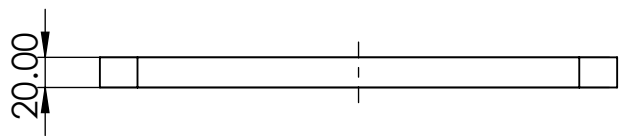
D

C

C

B

B



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES: ISO 2768-m-k
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

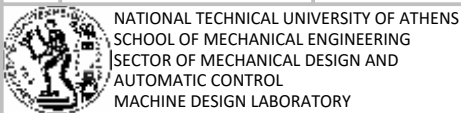
DO NOT SCALE DRAWING
Quantity:
4

REVISION **1**

	NAME	DATE
DRAWN	Dimitrios Kryfos	23/3/2021
CHK'D		

Universal
gear testing machine
design

TITLE:
Stop



MATERIAL:
AISI 1045 STEEL
WEIGHT: 10.8 kg

DWG NO.
UGTM - C - 03
SCALE: 1:5

A4
SHEET 1 OF 1

4 3 2 1

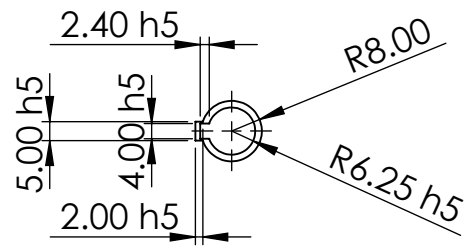
A

A

4 3 2 1

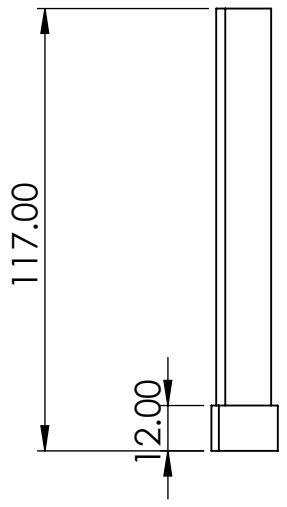
F

F



E

E

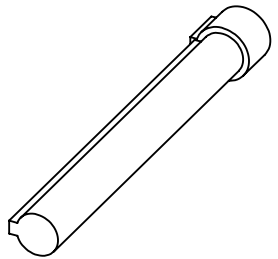


D

D

C

C



B

B

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES: ISO 2768-m-k
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING
REVISION 1
Quantity:
2

	NAME	DATE
DRAWN	Dimitrios Kryfos	23/3/2021
CHK'D		

Universal
gear testing machine
design

TITLE:
Axle extension

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF MECHANICAL ENGINEERING
SECTOR OF MECHANICAL DESIGN AND
AUTOMATIC CONTROL
MACHINE DESIGN LABORATORY

MATERIAL:
AISI 1045 STEEL
WEIGHT: 128 g

DWG NO.
UGTM - C - 04
SCALE: 1:2

A4
SHEET 1 OF 1

4 3 2 1

A

A

4 3 2 1

F

F

E

E

D

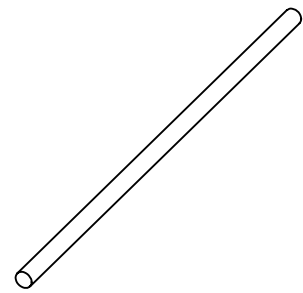
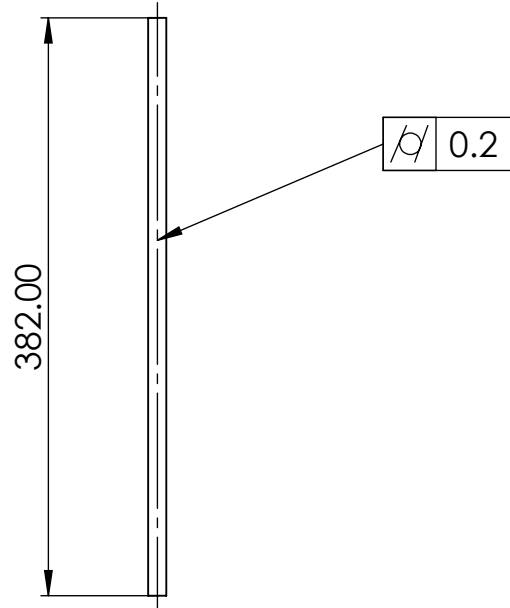
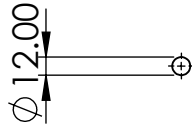
D

C

C

B

B



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES: **ISO 2768-m-k**
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

Quantity: **2**

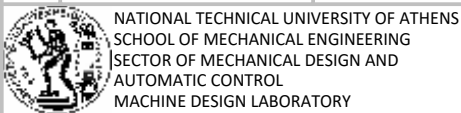
REVISION **1**

	NAME	DATE
DRAWN	Dimitrios Kryfos	23/3/2021
CHK'D		

Universal
gear testing machine
design

TITLE:

Pin guide



MATERIAL:
AISI 1045 STEEL

WEIGHT: 339 g

DWG NO.
UGTM - C - 05

SCALE: 1:5

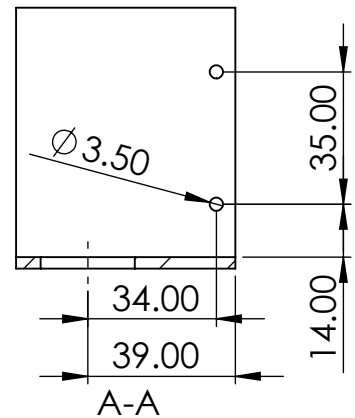
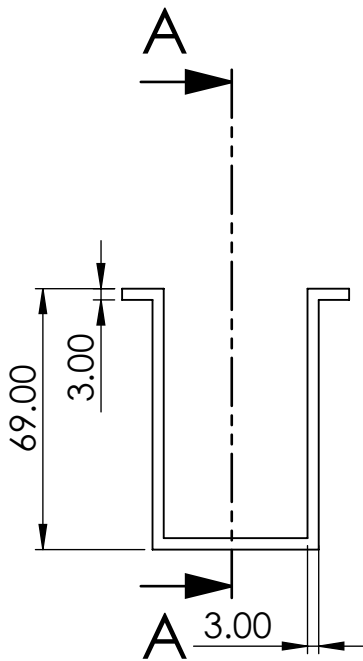
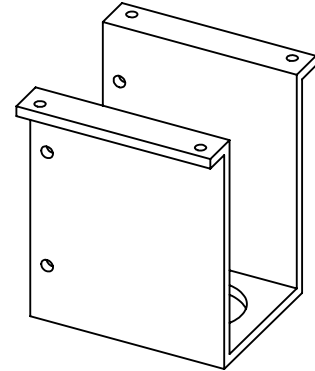
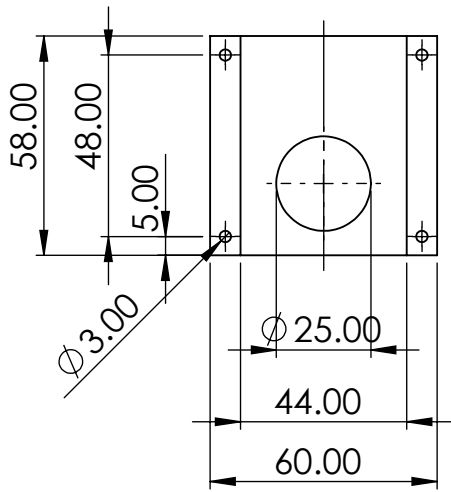
A4

SHEET 1 OF 1

4 3 2 1

A

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES: ISO 2768-m-k
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION 1

Quantity:

2

	NAME	DATE
DRAWN	Dimitrios Kryfos	23/3/2021
CHK'D		

Universal
gear testing machine
design

TITLE:

Rotary sensor mounting



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF MECHANICAL ENGINEERING
SECTOR OF MECHANICAL DESIGN AND
AUTOMATIC CONTROL
MACHINE DESIGN LABORATORY

MATERIAL:

St - 37

DWG NO.

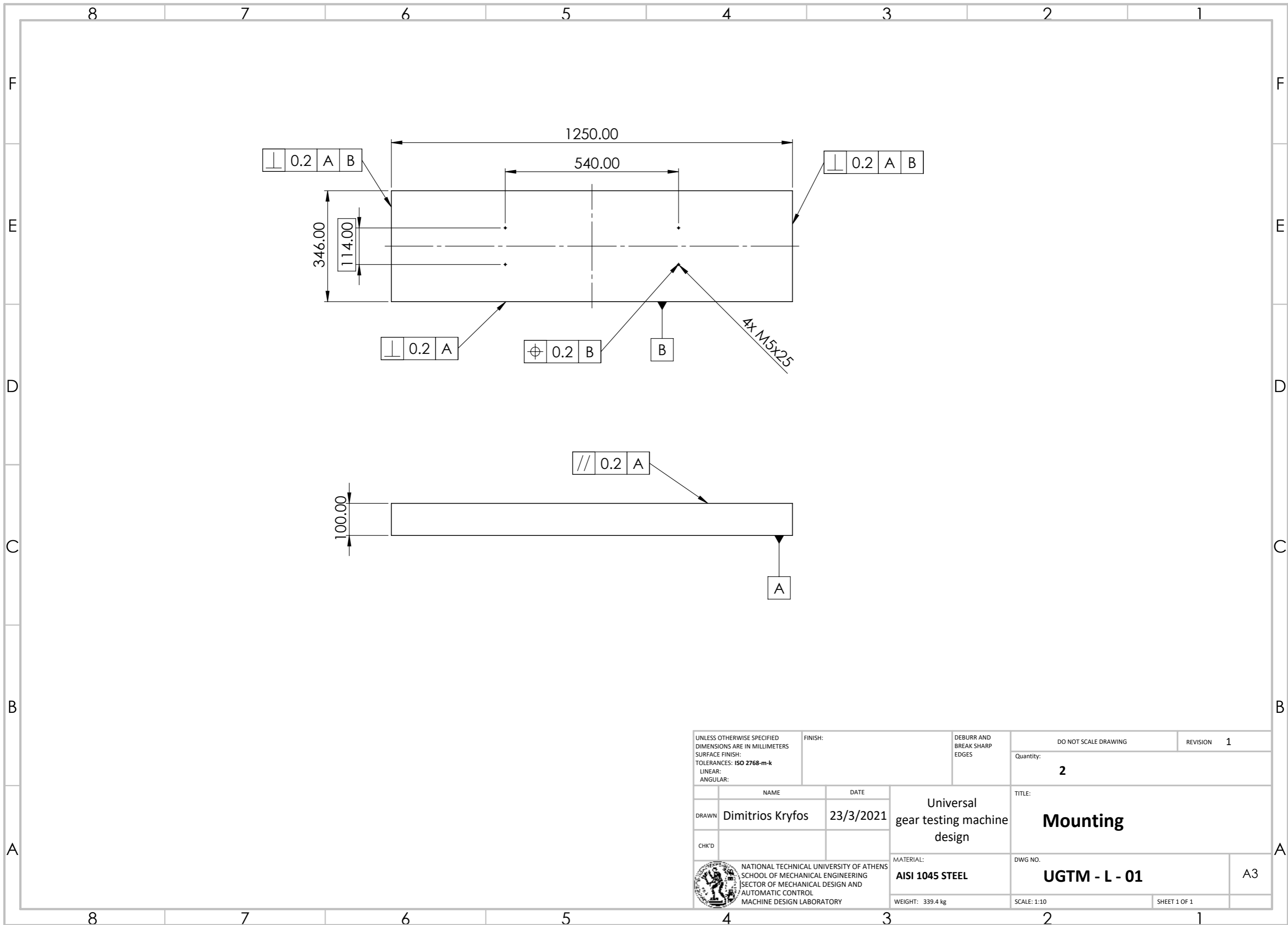
UGTM - C - 06


A4

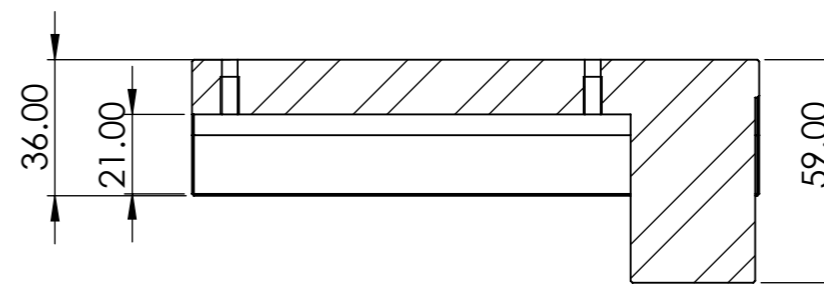
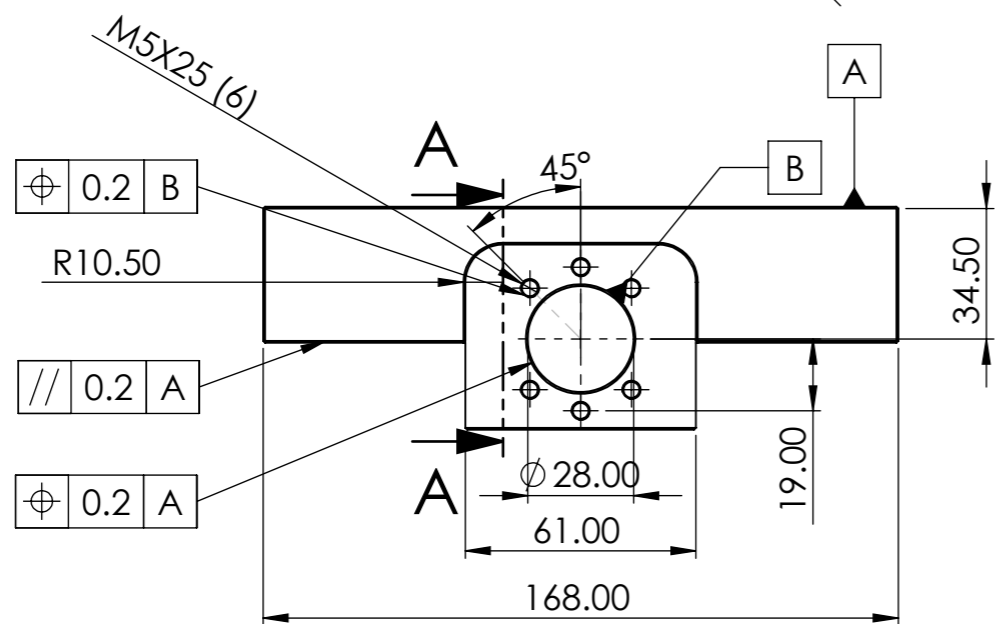
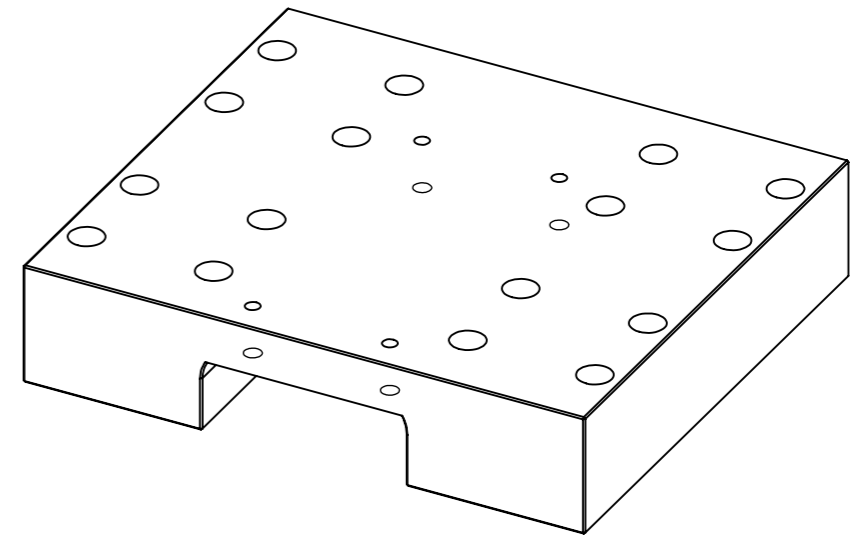
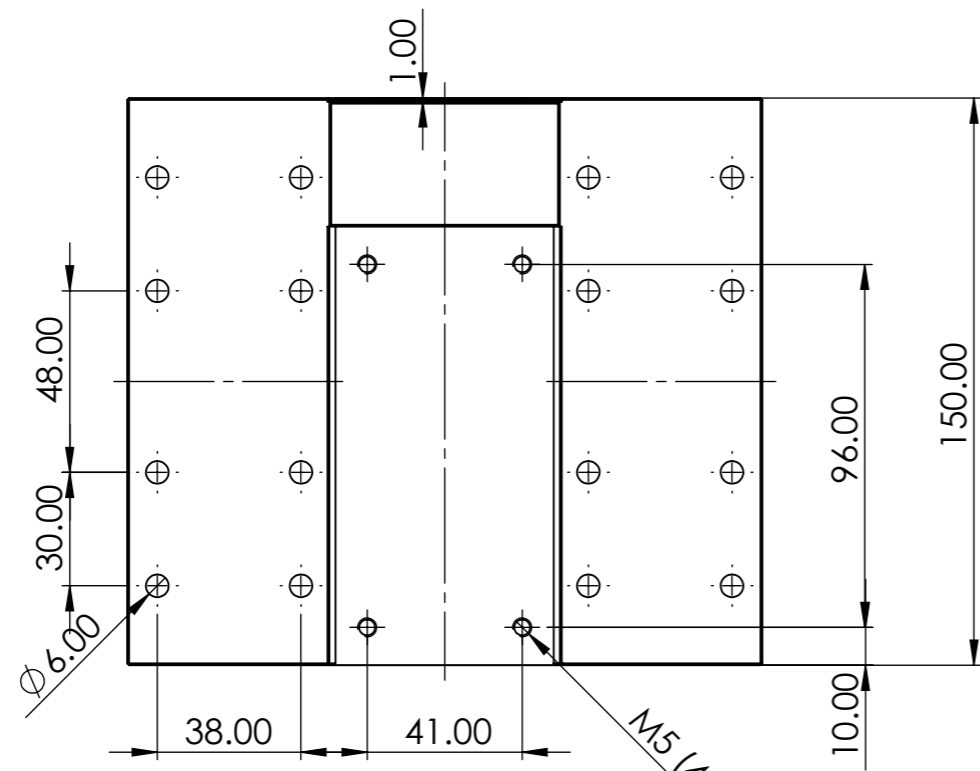
WEIGHT: 441 g

SCALE: 1:2


SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: ISO 2768-m-k LINEAR: ANGULAR:		FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION 1
				Quantity: 2	
DRAWN Dimitrios Kryfos		DATE 23/3/2021	Universal gear testing machine design		TITLE: Mounting
CHK'D			MATERIAL: AISI 1045 STEEL		DWG NO. UGTM - L - 01
 NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS SCHOOL OF MECHANICAL ENGINEERING SECTOR OF MECHANICAL DESIGN AND AUTOMATIC CONTROL MACHINE DESIGN LABORATORY		WEIGHT: 339.4 kg		SCALE: 1:10	A3 SHEET 1 OF 1



A-A

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: ISO 2768-m-k LINEAR: ANGULAR:		FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION 1
				Quantity: 2	
DRAWN Dimitrios Kryfos		DATE 23/3/2021	TITLE: X-axis bearing block		
CHK'D		Universal gear testing machine design		DWG NO. UGTM - L - 02	A3
 NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS SCHOOL OF MECHANICAL ENGINEERING SECTOR OF MECHANICAL DESIGN AND AUTOMATIC CONTROL MACHINE DESIGN LABORATORY		MATERIAL: AISI 1045 STEEL	WEIGHT: 5.8 kg	SCALE: 1:2	SHEET 1 OF 1

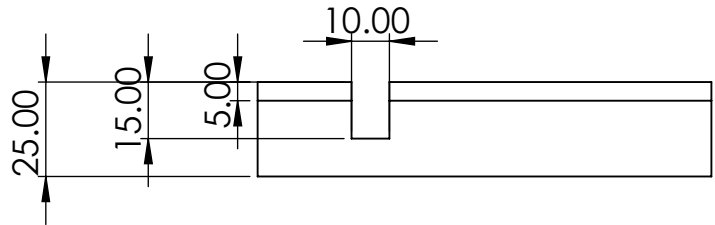
4 3 2 1

F

F

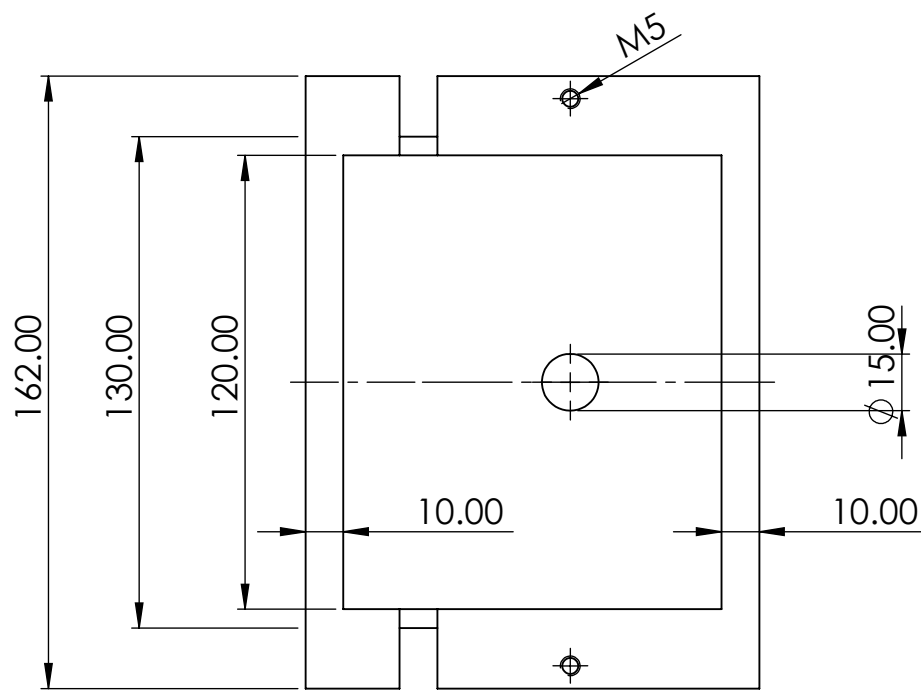
E

E



D

D



C

C

B

B

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES: ISO 2768-m-k
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING
REVISION 1
Quantity:
1

REVISION 1

	NAME	DATE
DRAWN	Dimitrios Kryfos	23/3/2021
CHK'D		

Universal
gear testing machine
design

TITLE:
Tensioner 1 housing



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF MECHANICAL ENGINEERING
SECTOR OF MECHANICAL DESIGN AND
AUTOMATIC CONTROL
MACHINE DESIGN LABORATORY

MATERIAL:
St - 37
WEIGHT: 1.29 kg

DWG NO.
UGTM - T1 - 01
SCALE: 1:2

A4
SHEET 1 OF 1

4 3 2 1

A

A

4 3 2 1

F

F

E

E

D

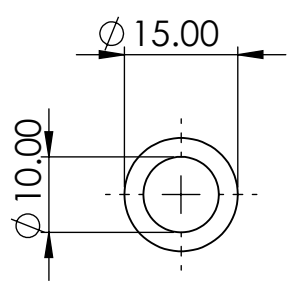
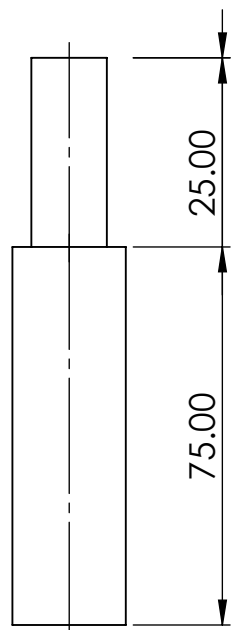
D

C

C

B

B



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES: **ISO 2768-m-k**
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING
REVISION **1**
Quantity:
1

	NAME	DATE
DRAWN	Dimitrios Kryfos	23/3/2021
CHK'D		

Universal
gear testing machine
design

TITLE:
Tensioner 1 axle



MATERIAL:
AISI 1045 STEEL
WEIGHT: 84 g

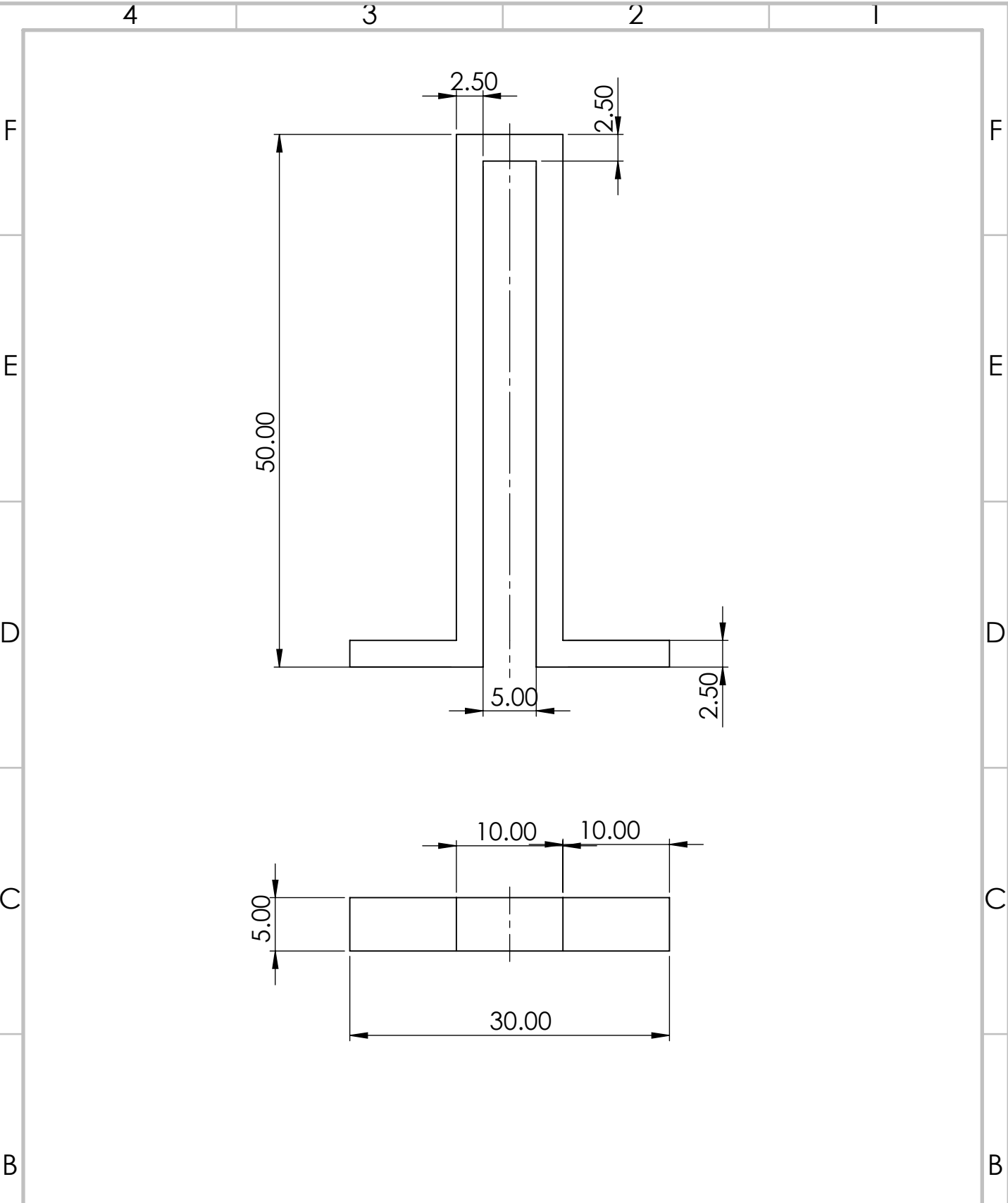
DWG NO.
UGTM - T1 - 02
SCALE: 1:1

A4
SHEET 1 OF 1

4 3 2 1

A

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES: **ISO 2768-m-k**
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:


DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING
REVISION **1**
Quantity:
1

	NAME	DATE
DRAWN	Dimitrios Kryfos	23/3/2021
CHK'D		

Universal
gear testing machine
design

TITLE:
Tensioner 1 laminate



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF MECHANICAL ENGINEERING
SECTOR OF MECHANICAL DESIGN AND
AUTOMATIC CONTROL
MACHINE DESIGN LABORATORY

MATERIAL:
St - 37 - 2
WEIGHT: 12 g

DWG NO.
UGTM - T1 - 03
A4
SCALE: 2:1
SHEET 1 OF 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

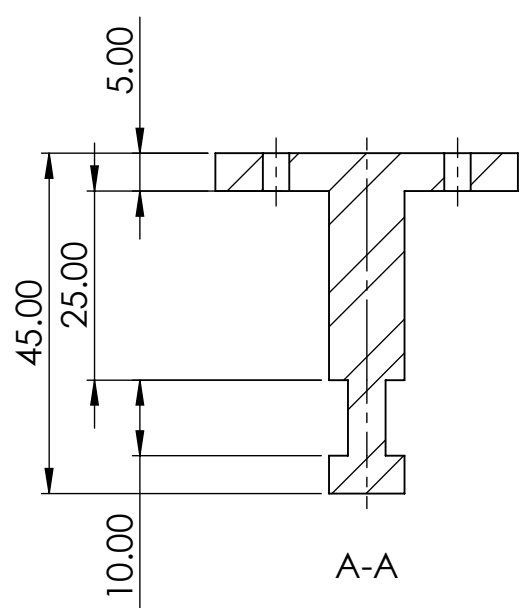
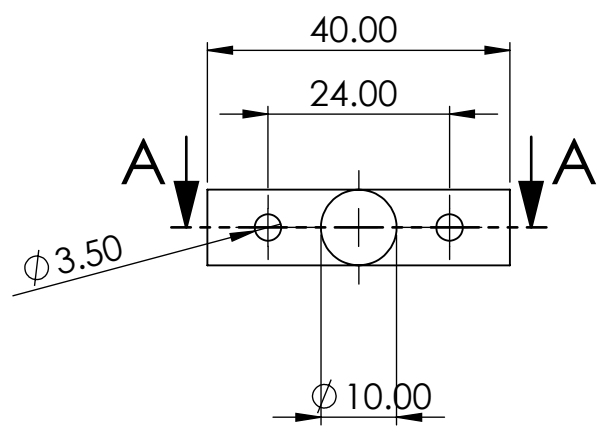
D

C

C

B

B



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES: ISO 2768-m-k
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

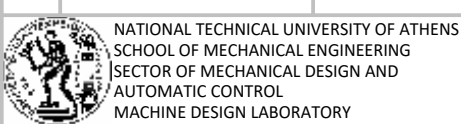
DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING
REVISION 1
Quantity:
1

	NAME	DATE
DRAWN	Dimitrios Kryfos	23/3/2021
CHK'D		

Universal
gear testing machine
design

TITLE:
Tensioner 2 bar



MATERIAL:
St - 37
WEIGHT: 35 g

DWG NO.
UGTM - T2 - 01
SCALE: 1:1

A4
SHEET 1 OF 1

4 3 2 1

A

A

4 3 2 1

F

F

E

E

D

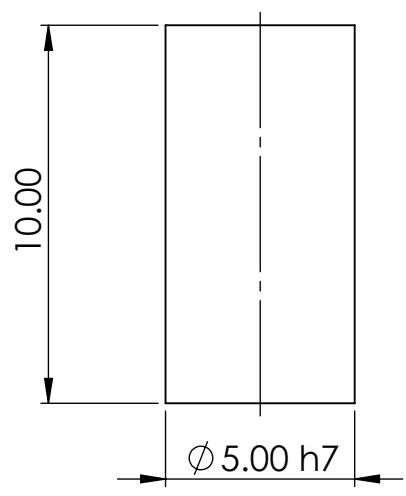
D

C

C

B

B



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: **ISO 2768-m-k**
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

Quantity:
1

REVISION **1**

	NAME	DATE
DRAWN	Dimitrios Kryfos	23/3/2021
CHK'D		

Universal
 gear testing machine
 design

TITLE:
Pawl support



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
 SCHOOL OF MECHANICAL ENGINEERING
 SECTOR OF MECHANICAL DESIGN AND
 AUTOMATIC CONTROL
 MACHINE DESIGN LABORATORY

MATERIAL:
St - 37

WEIGHT: 2 g

DWG NO.
UGTM - T3 - 01

SCALE: 5:1

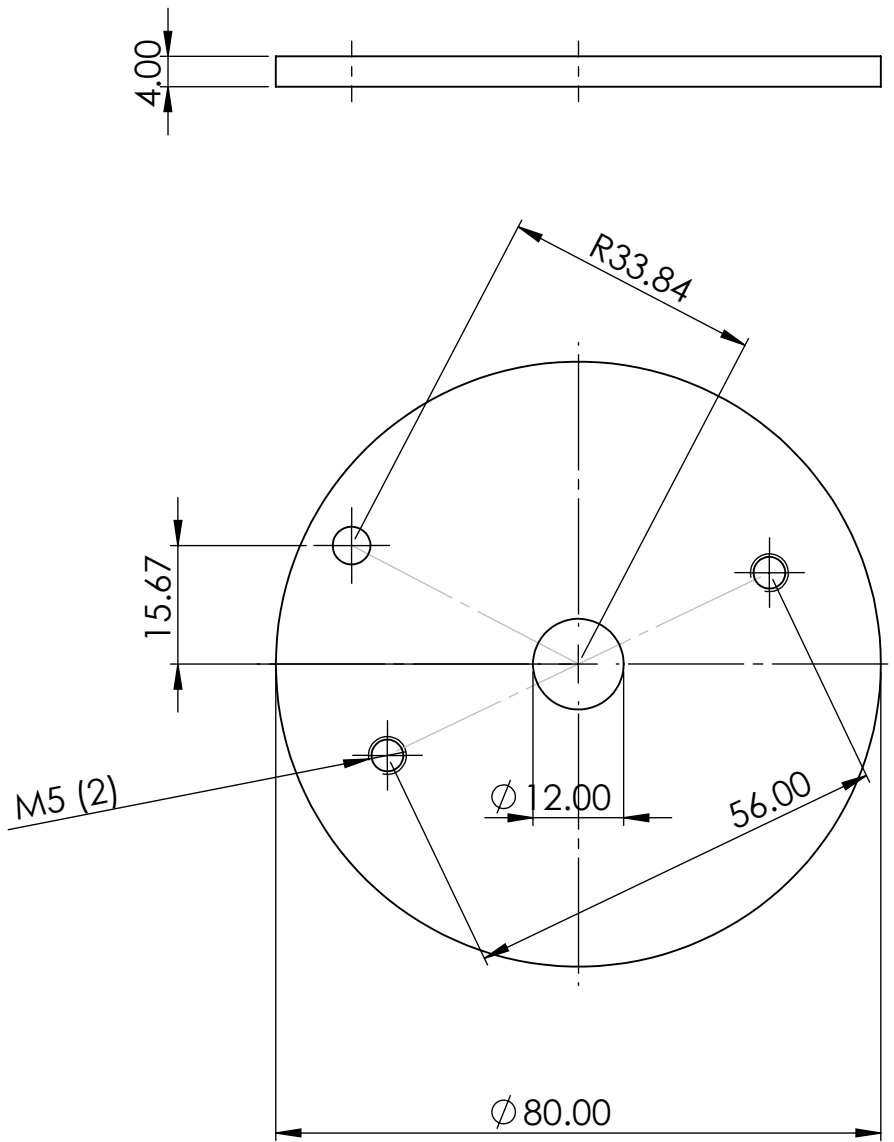
A4

SHEET 1 OF 1

4 3 2 1

A

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES: ISO 2768-m-k
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

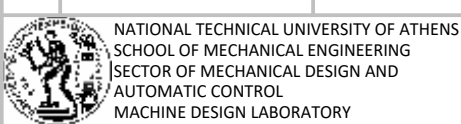
DO NOT SCALE DRAWING
Quantity:
1

REVISION **1**

	NAME	DATE
DRAWN	Dimitrios Kryfos	23/3/2021
CHK'D		

Universal
gear testing machine
design

TITLE:
Ratchet base



MATERIAL:
St - 37
WEIGHT: 153 g

DWG NO.
UGTM - T3 -02
SCALE: 1:1

A4
SHEET 1 OF 1