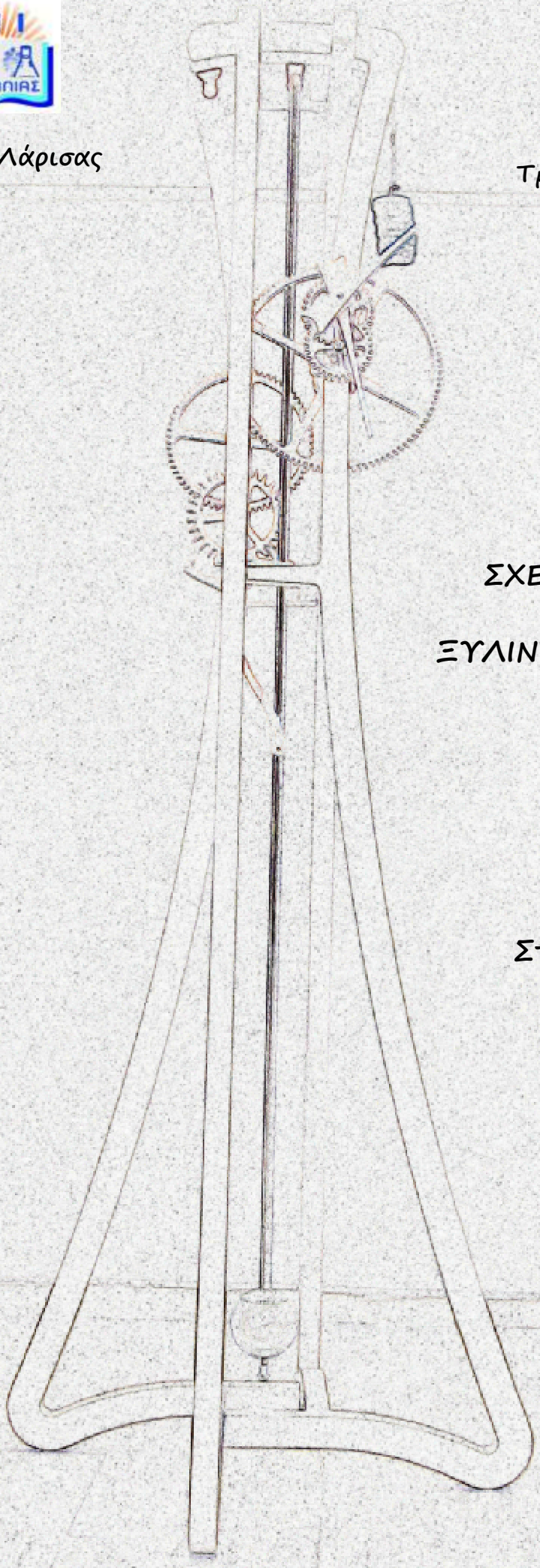
Τ.Ε.Ι. Λάρισας

Τμήμα Σχεδιασμού & Τεχνολογίας

Ξύλου & Επίπλου



Θέμα πτυχιακής:

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΞΥΛΙΝΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΡΟΛΟΓΙΟΥ

Σπουδαστής:

Στέφανος Βλάχος (ΑΜΕ 1510)

Επιβλέπων Καθηγητής:

Λαμπούδης Δημήτριος

Καθηγητής Εφαρμογών

Καρδίτσα Νοέμβριος 2014

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας θα ήθελα πρώτα και πάνω απ' όλους να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή, κ. **Δημήτρη Λαμπούδη** για την πολύτιμη και αδιάλειπτη βοήθεια που μου παρείχε, ακόμα και μετά από την αποχώρησή του από τα καθήκοντα του καθηγητή στο τμήμα. Η συνεργασία μαζί του είναι ένα ανεκτίμητο μάθημα, τόσο στο σχεδιαστικό όσο και στο κατασκευαστικό τομέα.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. **Αλέξη Γαλαγάλα** για τη βοήθεια που μου παρείχε όχι μόνο ως εκπαιδευτικός του τμήματος αλλά και μέσω της εταιρίας «Αφοί Ν.ΓΑΛΑΓΑΛΑ & ΣΙΑ Ο.Ε.»

Ακόμα τον κ. **Γεράσιμο Μπόθο**, που παρά τις αυξημένες υποχρεώσεις του, δεν αρνήθηκε ποτέ να βοηθήσει όποτε του ζητήθηκε.

Τέλος την οικογένεια και τη σύζυγό μου που με στήριξαν και ανέχτηκαν την επιμονή και εμμονή μου.

Περιεχόμενα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ 2

1. ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΡΟΛΟΓΙΩΝ 3

1.1. Η κινητήριος δύναμη 4

1.2. Το εκκρεμές 4

1.3. Ο μηχανισμός διαφυγής 6

1.4. Η ακολουθία γραναζιών 8

1.5. Σχέση λόγου γραναζιών και περιόδου εκκρεμούς 9

2. ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΩΝ ΡΟΛΟΓΙΩΝ ΜΕ ΕΚΚΡΕΜΕΣ 11

3. ΕΡΕΥΝΑ ΑΓΟΡΑΣ 16

4. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΡΟΛΟΓΙΟΥ 27

4.1. Μελέτη σκελετού 27

4.2. Σχεδιασμός σε συστήματα CAD 31

4.2.1. Σχεδίαση σκελετού 31

4.2.2. Σχεδίαση μηχανισμού 35

4.2.2.1. Μηχανισμός διαφυγής 36

4.2.2.2. Εκκρεμές 38

4.2.2.3. Ακολουθία γραναζιών 38

4.2.2.4. Σύστημα Κουρδίσματος - Βάρους 42

4.2.2.5. Συνολική εικόνα του μηχανισμού 44

5. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΥ 48

5.1. Δοκιμαστικές κατασκευές 48

5.2. Κατασκευή γραναζιών και εξαρτημάτων 50

5.3. Κατασκευή σκελετού 53

5.4. Συναρμολόγηση - προσαρμογές 55

5.5. Μεταλλικά και άλλα εξαρτήματα 60
6. ΦΙΝΙΡΙΣΜΑ 63
7. ΧΡΗΣΗ - ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ 65
7.1. Κούρδισμα 65
7.2. Ρύθμιση εκκρεμούς 65
7.3. Ρύθμιση ώρας 66
7.4. Ρύθμιση μηχανισμού διαφυγής 66
7.5. Μετακίνηση και επαναλειτουργία 67
7.6. Αποσυναρμολόγηση – Συναρμολόγηση 68
8. ΚΟΣΤΟΣ 69
9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 70
10. ΒΙΒΛΙΟΓΑΦΙΑ 71
11. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α’ (Φωτογραφίες τελικής κατασκευής)
12. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β’ (Σκίτσα)
13. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ’ (Τεχνικά σχέδια)

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Θα μπορούσα χωρίς υπερβολή να πω, ότι τα ξύλινα ρολόγια είναι η αφορμή που ξεκίνησα τις σπουδές μου στο Τμήμα Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου. Έχοντας από παλιότερα την επιθυμία να φτιάξω ένα εκκρεμές ρολόι με εμφανή μηχανισμό, εξέτασα κάποια στιγμή τις πιθανές λύσεις ως προς το υλικό. Το ξύλο ήταν το ευκολότερο για μένα να δουλέψω αλλά και ένα υλικό με εξαιρετικά αισθητικά αποτελέσματα. Κατά τη κατασκευή του πρώτου μου ρολογιού έκανα επαφές που με έφεραν κοντά στο Τμήμα και θεώρησα πολύ ενδιαφέρουσα τη προοπτική να φοιτήσω σε αυτό. Οι άνθρωποι που γνώρισα εκεί και οι γνώσεις που πήρα, αποδεικνύουν ότι ήταν κάτι πολύ παραπάνω από μια «ενδιαφέρουσα επιλογή»

Γι' αυτό το λόγο θεώρησα ότι ο σχεδιασμός και η υλοποίηση ενός ξύλινου μηχανικού ρολογιού είναι μια πολύ καλή επιλογή για την πτυχιακή μου εργασία, ώστε να κλείσει ένας εξαιρετικά ενδιαφέρον κύκλος. Ίσως κάποιος άλλος να ανοίγει.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα μηχανικά ρολόγια ήταν οι βασικές συσκευές μέτρησης του χρόνου για σχεδόν **6 αιώνες**, από την αρχή του 14^{ου} μέχρι τα τέλη του 19^{ου} αιώνα. Ειδικότερα τα ρολόγια με εκκρεμές χρησιμοποιήθηκαν από τα μέσα του 17^{ου} αιώνα, ακόμα και ως συσκευές μεγάλης ακρίβειας.

Το **μέταλλο** ήταν το κύριο υλικό του μηχανισμού ενώ το **ξύλο** χρησιμοποιούταν με διακοσμητικό κυρίως ρόλο ή σε κάποια συγκεκριμένα μέρη λόγω των ιδιοτήτων του. Υπήρχαν και ρολόγια με ξύλινο μηχανισμό αλλά όχι σε συσκευές ακριβείας.

Μετά την εμφάνιση των σύγχρονων ρολογιών **Quartz**, τα μηχανικά και ηλεκτρομηχανικά ρολόγια είχαν περισσότερο αισθητική αξία ως κλασσικά κομμάτια. Τα τελευταία χρόνια πολλοί ερασιτέχνες και επαγγελματίες του ξύλου, κυρίως σε χώρες της Αμερικής, ασχολούνται με την κατασκευή ρολογιών με **ξύλινο μηχανισμό**. Κάποιοι μάλιστα καλλιτέχνες έχουν πρωτοτυπήσει με το σχεδιασμό νέων ρολογιών βασισμένων στις ίδιες αρχές και έχοντας το ξύλο ως το κύριο υλικό.

Η μέτρηση του χρόνου, αν και μπορεί να επιτευχθεί με ικανοποιητική ακρίβεια, δεν είναι τόσο το ζητούμενο, όσο η αισθητική αξία των ρολογιών. Τα σύγχρονα σχέδια έχουν αλλάξει από τη κλασσική εικόνα των ρολογιών με εκκρεμές όπως την έχουν οι περισσότεροι από το «**ρολόι του Παππού**».

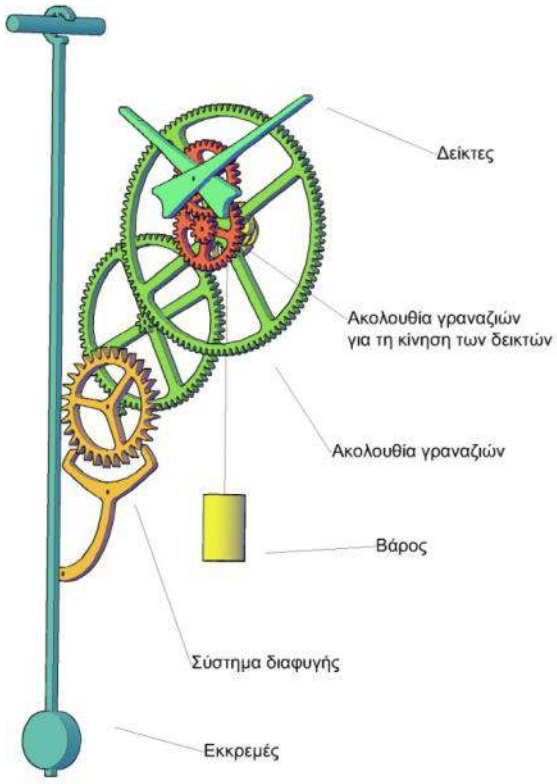
Όλα τα μηχανικά ρολόγια έχουν κάποια συγκεκριμένα συστήματα για να λειτουργήσουν άσχετα με τις παραλλαγές που υπάρχουν. Στα εξολοκλήρου ξύλινα ρολόγια που ο μηχανισμός είναι εμφανής, πρέπει ο ίδιος να είναι σχεδιαστικά προσεγμένος και ο σκελετός που θα τον φιλοξενήσει, αισθητικά άρτιος. Το ενδιαφέρον στον σχεδιασμό ενός τέτοιου ρολογιού είναι ότι όλα τα συστήματα αλληλοεπηρεάζονται. Οποιαδήποτε επιλογή ή αλλαγή στα συστήματα του μηχανισμού ή στο σχέδιο του σκελετού, μπορεί να σε οδηγήσει σε σαρωτικές αλλαγές των άλλων συστημάτων, των μεγεθών ή των γεωμετριών. Στο τέλος δεν είσαι καν σίγουρος ότι θα δουλέψει, μέχρι να φτιαχτεί το πρωτότυπο.

Είναι ένας σχεδιαστικός γρίφος με μεγάλο κατασκευαστικό ενδιαφέρον.

1. ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΗΧΑΝΙΚΏΝ ΡΟΛΟΓΙΏΝ

Όλα τα μηχανικά ρολόγια με εκκρεμές έχουν πέντε (5) βασικά μέρη:

- **Μια κινητήριο δύναμη.** Συνήθως είναι ένα βάρος σε μία χορδή ή αλυσίδα που γυρίζει ένα γρανάζι ή τροχαλία. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα μεγάλο έλασμα.
- **Το εκκρεμές (pendulum).** Ένα βάρος σε μια ράβδο.
- **Ένα μηχανισμό διαφυγής (escapement).** Σε συνεργασία με το εκκρεμές απελευθερώνει στιγμιαία τη δύναμη του βάρους, επιτρέποντας σε όλο σύστημα των γραναζιών να περιστρέφεται (μαζί και οι δείκτες) κατά μικρά βήματα και ταυτόχρονα δίνει μικρές ωθήσεις στο εκκρεμές διατηρώντας τη κίνησή του.
- **Μια ακολουθία γραναζιών (gear train).** Τα γρανάζια μεταφέρουν μειούμενη τη δύναμη του βάρους στο εκκρεμές ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί.
- **Το πίνακα ένδειξης ώρας.** Περιλαμβάνει τους δείκτες που κινούνται τμηματικά βάση των κινήσεων του εκκρεμούς. Για την κίνηση των δεικτών χρησιμοποιείται και μια δευτερεύουσα ακολουθία γραναζιών.



Εικόνα 1-1 Βασικά συστήματα μηχανικού εκκρεμούς ρολογιού

Υπάρχουν και δευτερεύοντες μηχανισμοί που μπορούν να ενσωματωθούν σε ένα μηχανικό ρολόι, όπως το σύστημα των ωριαίων χτύπων, η ένδειξη της φάσης της σελήνης κ.α.

1.1. Η κινητήριος δύναμη

Το βάρος ως κινητήριος δύναμη είναι η παλαιότερη μέθοδος και βάζει αρκετούς περιορισμούς στο μέγεθος και τη φορητότητα των ρολογιών. Το βάρος κρέμεται με ένα σχοινί ή αλυσίδα από μια τροχαλία, την οποία τραβά και περιστρέφει. Το κούρδισμα σημαίνει ουσιαστικά να ξανατυλιχθεί το σχοινί στην τροχαλία και να ανέβει το βάρος. Μπορεί να γίνει με κλειδί ή με δεύτερο σύστημα τροχαλίας.

Η χρήση ελατηρίου αργότερα επέτρεψε την κατασκευή μικρότερων και φορητών ρολογιών, αν και υπήρχε ένα θέμα με τη σταδιακή μείωση της δύναμής του όσο περνούσε η ώρα.

Αργότερα χρησιμοποιήθηκε ο ηλεκτρισμός και ο μαγνητισμός ως κινητήριος δύναμη, στα λεγόμενα **ηλεκτρομηχανικά** εκκρεμή.

Θα αναφερθούμε ξανά στο βάρος αφού εξετάσουμε και τα υπόλοιπα μέρη του ρολογιού (βλ. 1.5).

1.2. Το εκκρεμές

Το εκκρεμές είναι συνήθως ένα βάρος στο κάτω μέρος μιας ράβδου. Το εκκρεμές ταλαντώνεται με περίοδο ανάλογη της τετραγωνικής ρίζας του μήκους του. Όταν λέμε μήκος (**L**) εννοούμε την απόσταση του σημείου περιστροφής από το κέντρο βάρους του εκκρεμούς. Για μικρά εκκρεμή η περίοδος **T** του εκκρεμούς δίνεται από το τύπο:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$$

Όπου **L** είναι το μήκος σε μέτρα και **g** είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας σε μέτρα ανά τετραγωνικό δευτερόλεπτο (m/sec^2). Όλα τα εκκρεμή ρολόγια έχουν ένα τρόπο να ρυθμιστεί το μήκος τους και επομένως η περίοδος, ανεβοκατεβάζοντας το βάρος στο κάτω μέρος της ράβδου. Έτσι αν το ρολόι «πάει μπροστά» κατεβάζουμε το βάρος για να αυξήσουμε το μήκος και άρα τη περίοδο του εκκρεμούς. Άλλος τρόπος ρύθμισης της περιόδου είναι η προσθήκη ή η αφαίρεση μικρών βαριδιών ώστε να αλλάξει πάλι το κέντρο βάρους.

Εικόνα 1-2 Βάρος εκκρεμούς με ρύθμιση ύψους στο κάτω μέρος

Αν η γωνία ταλάντωσης του εκκρεμούς είναι μεγάλη μπορεί να επηρεαστεί η σταθερότητα της περιόδου του (συνέβαινε σε παλιά ρολόγια-βλ.Κεφ 2). Έτσι συνιστώνται μικρές γωνίες ταλάντωσης, από 2^o έως 6^o, όπου η περίοδος ταλάντωσης είναι σχεδόν ισόχρονη.

Η περίοδος του εκκρεμούς μπορεί να επηρεαστεί και από άλλους παράγοντες όπως η **θερμοκρασία**, η **ατμοσφαιρική πίεση** και το **υψόμετρο**.

Η θερμότητα επηρεάζει το εκκρεμές γιατί προκαλεί διαστολές και συστολές στη ράβδο με αποτέλεσμα να αλλάζει ελαφρώς το μήκος του. Στη προσπάθεια μείωσης του λάθους των ρολογιών έγιναν διάφορες βελτιώσεις με τη χρήση υδραργύρου στο βάρος του εκκρεμούς (**George Graham - 1721**), ή με το συνδυασμό υλικών στη ράβδο (**John Harrison - 1726**) ή με τη χρήση υλικών χαμηλής διαστολής, όπως το ξύλο.

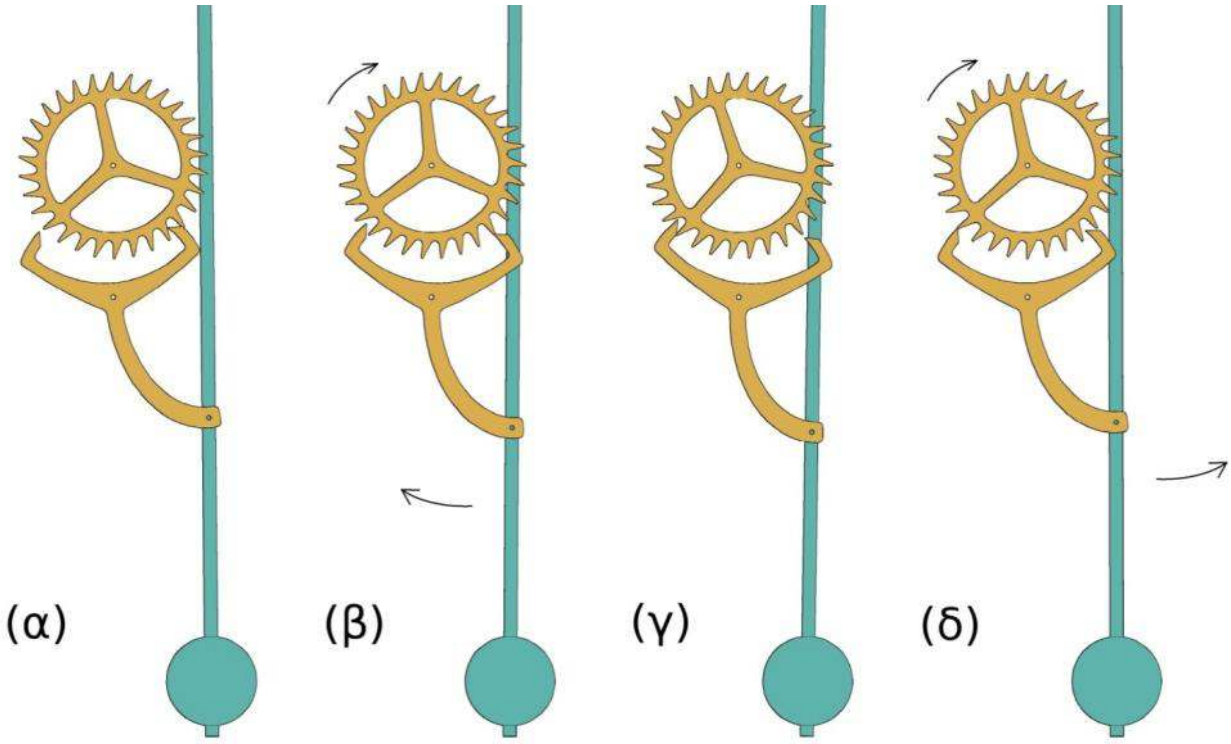
Η ατμοσφαιρική πίεση και η υγρασία μπορούν να επηρεάσουν όχι τόσο τη περίοδο όσο τη δύναμη που χρειάζεται το εκκρεμές για να διατηρήσει τη κίνησή του. Αυτό σημαίνει ότι μέρος της κινητήριας δύναμης πηγαίνει στις τριβές του εκκρεμούς με τον αέρα, ενώ θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στην αύξηση του χρόνου μεταξύ των κουρδισμάτων. Ακόμα και κατασκευές κλεισμένες σε θαλάμους χαμηλής πίεσης είχαν χρησιμοποιηθεί για να βελτιωθεί η απόδοση των ρολογιών. Για τη μείωση των τριβών στη κίνηση του εκκρεμούς συνηθίζεται τα βάρη στο εκκρεμές να είναι δισκοειδή με την λεπτή τους διατομή προς τη διεύθυνση κίνησής του.

Το υψόμετρο αλλάζει την τη βαρύτητα αρκετά ώστε να επηρεάσει την ακρίβεια του εκκρεμούς. Μια υψομετρική διαφορά 1200 m μπορεί να κάνει ένα ρολόι να χάσει 16 δευτερόλεπτα τη μέρα. Ακόμα και η μετακίνηση ενός ρολογιού στη κορυφή ενός ψηλού

κτιρίου μπορεί να προκαλέσει αισθητή διαφορά στην ακρίβειά του. Αυτές οι αλλαγές βέβαια απαιτούν επαναρύθμιση του βάρους του εκκρεμούς.

1.3. Ο μηχανισμός διαφυγής

Με την άσκηση της κινητήριας δύναμης, το σύστημα των γραναζιών θα μπορούσε να περιστρέφεται ανεξέλεγκτα, μέχρι το βάρος να κατέβει τελείως σε μερικά δευτερόλεπτα. Η ενέργεια όμως του ανυψωμένου βάρους πρέπει να διοχετευτεί στον μηχανισμό σταδιακά και ελεγχόμενα. Ο μηχανισμός που είναι υπεύθυνος να μπλοκάρει την ανεξέλεγκτη πτώση του βάρους, είναι ο **μηχανισμός διαφυγής**. Ο μηχανισμός αυτός επιτρέπει τη κίνηση των γραναζιών διακοπτόμενα, για πολύ μικρά χρονικά διαστήματα.



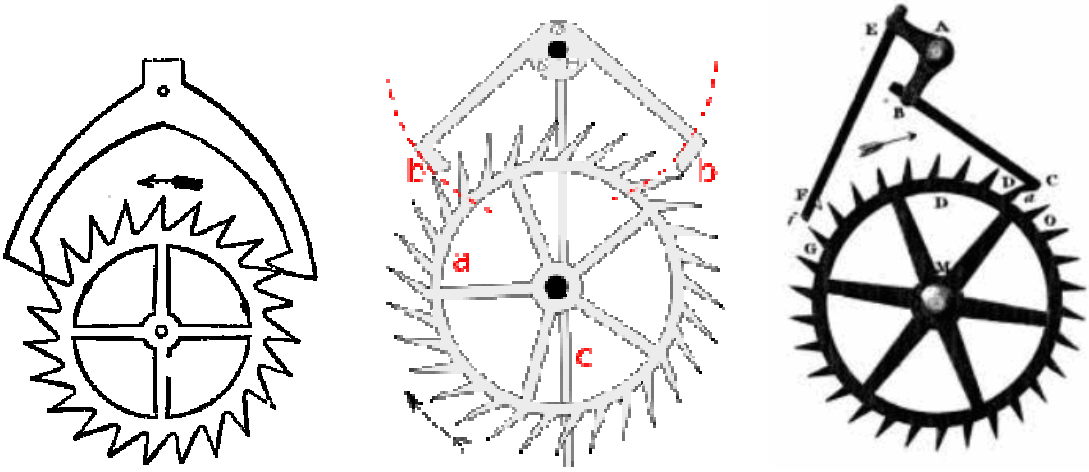
Εικόνα 1-3 Τα στάδια λειτουργίας του μηχανισμού διαφυγής

Επίσης είναι υπεύθυνος να συντηρεί τη ταλάντωση του εκκρεμούς δίνοντάς του μικρές ωθήσεις. Είναι το τμήμα εκείνο που κάνει τον **χαρακτηριστικό ήχο** των ρολογιών. Οι περισσότεροι μηχανισμοί διαφυγής έχουν δύο καταστάσεις, τη κατάσταση **κλειδώματος** (**locking state**) και τη κατάσταση ώθησης ή **οδήγησης** (**drive state**).

Στη κατάσταση κλειδώματος τίποτα δε κουνιέται και το εκκρεμές σταματά στιγμιαία στο ένα άκρο της ταλάντωσής του (**Εικ.1-3-α**). Στην επιστροφή του εκκρεμούς τα γρανάζια απελευθερώνονται για πολύ μικρό χρονικό διάστημα (**Εικ.1-3-β**), μέχρι ο μηχανισμός

διαφυγής να τα ξαναμπλοκάρει (**Εικ.1-3-γ**). Ο μηχανισμός διαφυγής μπαίνει τότε σε κατάσταση οδήγησης και λίγο πριν τη νέα απελευθέρωση των τροχών, δίνει στο εκκρεμές μια ελαφριά ώθηση (**Εικ.1-3-δ**). Τα γρανάζια περιστρέφονται για πολύ λίγο μέχρι ο μηχανισμός να μπει σε κατάσταση κλειδώματος και τα μπλοκάρει πάλι. Ο κύκλος αυτός επαναλαμβάνεται.

Η δουλειά του μηχανισμού διαφυγής όμως δεν είναι μόνο να συντηρεί τη κίνηση του εκκρεμούς. Στην ουσία αλληλεπιδρά με το εκκρεμές. Ο μηχανισμός **ωθεί** το εκκρεμές και το εκκρεμές **συντονίζει** με τη περίοδό του την κίνηση του μηχανισμού διαφυγής. Έτσι η κίνηση του μηχανισμού καθορίζει όλο το ρυθμό (χρονισμό) της κίνησης των γραναζιών, πόσο συχνά δηλαδή θα απελευθερώνονται και θα μπλοκάρονται τα γρανάζια.

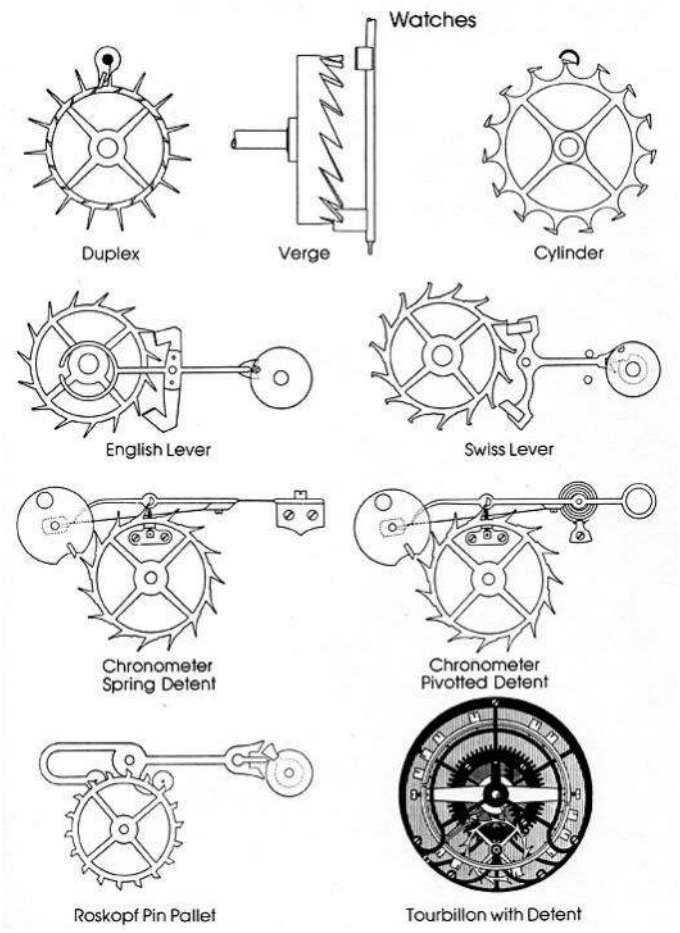


Εικόνα 1-4 Μηχανισμοί διαφυγής Anchor, Graham και Grasshopper (από αριστερά στα δεξιά)

Υπάρχουν πολλές παραλλαγές αυτού του μηχανισμού. Πολύ διαδεδομένοι ήταν ο μηχανισμός **ανάκρουσης** (**recoil** ή **anchor**) και ο μηχανισμός **Graham**, που χρησιμοποιήθηκε και στο ρολόι της εργασίας. Πολλοί από αυτούς μοιάζουν όμοιοι αλλά μικροδιαφορές στη γεωμετρία τους παίζουν σημαντικό ρόλο στην αύξηση της απόδοσης.

Μια αξιοσημείωτη περίπτωση είναι ο μηχανισμός της «**ακρίδας**» (**grasshopper escapement**). Ο μηχανισμός αυτός έχει χρησιμοποιηθεί σε ρολόγια ακριβείας και χρησιμοποιεί δικά του βάρη ή ελατήρια για να ρυθμίζεται η συχνότητά των κινήσεών του.

Σε φορητά ρολόγια ή ρολόγια χειρός χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικοί μηχανισμοί τόσο στη διαφυγή όσο και στο εκκρεμές (**Εικ. 1-5**).



Εικόνα 1-5 Διάφοροι μηχανισμοί διαφυγής σε ρολόγια και ρολόγια χειρός

1.4. Η ακολουθία γραναζιών

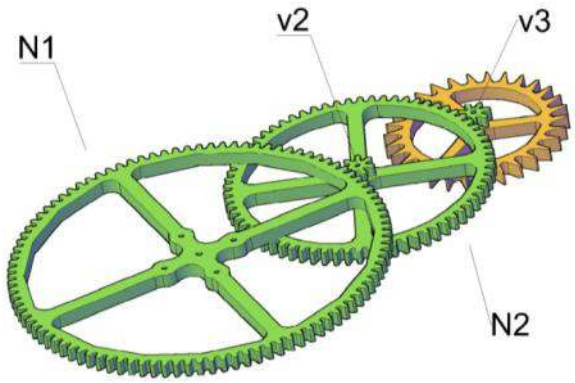
Τα γρανάζια σε ένα ρολόι είναι υπεύθυνα να μεταφέρουν δυνάμεις από το βάρος στο εκκρεμές. Όσο απομακρυνόμαστε από τον άξονα του βάρους τα γρανάζια έχουν όλο και μεγαλύτερες ταχύτητες περιστροφής αλλά όλα και μικρότερες ροπές στρέψης. Όταν η ακολουθία των γραναζιών καταλήγει στο εκκρεμές έχουν τόση δύναμη όση απαιτείται για να δοθεί στο εκκρεμές μια μικρή ώθηση ώστε να συνεχίσει την ταλάντωση.

Ο ρόλος τους όμως δεν είναι μόνο η μεταφορά της δύναμης του βάρους. Τα γρανάζια συνδέουν με τη κατάλληλη **σχέση** (**αναλογία**) μεταξύ του άξονα της **ώρας** και του άξονα του μηχανισμού **διαφυγής**. Δε πρέπει να ξεχνάμε ότι από όλους τους άξονες του ρολογιού σε έναν πρέπει να πετύχουμε χρόνο **περιστροφής 1 ώρα**. Αυτός ο άξονας είναι ο βασικός για την οδήγηση των δεικτών. Το εκκρεμές έχει μια περίοδο που μπορεί να κυμαίνεται από 1,1

έως 3,4 δευτερόλεπτα[1].Το σύστημα διαφυγής που συνεργάζεται με το εκκρεμές μπορεί, ανάλογα με τον αριθμό των δοντιών του και τη περίοδο του εκκρεμούς, να κάνει μια περιστροφή σε 30 έως 90 δευτερόλεπτα[2]. Η περιστροφή του τροχού διαφυγής πρέπει να μετατραπεί σε περιστροφή μιας ώρας. Η μείωση αυτή επιτυγχάνεται με την ακολουθία των γραναζιών.

1.5. Σχέση λόγου γραναζιών και περιόδου εκκρεμούς

Ο λόγος της ακολουθίας υπολογίζεται με βάση τον αριθμό των δοντιών των γραναζιών. Έτσι αν N1,ν2,N2 και ν3 είναι ο αριθμός των δοντιών των γραναζιών της **εικόνας 1-6**, τότε ο λόγος είναι **N1/ν2** για το ένα ζευγάρι που συμπλέκεται και **N2/ν3** για το άλλο ζευγάρι. Επειδή όμως τα ν2 και N2 είναι συνδεδεμένα μαζί και κινούνται με την ίδια γωνιακή ταχύτητα, ο συνολικός λόγος είναι το γινόμενο των επιμέρους, δηλαδή **(N1/ν2)*(N2/ν3)** ή αλλιώς **(N1*N2)/(ν2*ν3)**. Για ένα σύνολο υποθετικών τιμών **N1=80**, **ν2=10**, **N2=50** και **ν3=10**, ο λόγος θα ήταν **40**.



Εικόνα1-6. Ακολουθία γραναζιών με λόγο (N1*N2)/(ν1*ν2)

Ένας μηχανισμός διαφυγής όπως ο Graham «προχωρά» κατά ένα δόντι σε κάθε μια περίοδο του εκκρεμούς. Αν έχουμε ένα τροχό διαφυγής με **Δ** δόντια και ένα εκκρεμές περιόδου **Τ**, τότε θα χρειαστούν **Δ*Τ** δευτερόλεπτα για μία πλήρη περιστροφή του. Αυτή η περιστροφή πρέπει να μετατραπεί σε έναν άλλο άξονα, σε περιστροφή μιας ώρας (3600 δευτερόλεπτα). Ο

[1] Αυτός ο περιορισμός δεν είναι αυστηρός αλλά προκύπτει από το μέγεθος του εκκρεμούς. Ένα εκκρεμές πρέπει να έχει μήκος 30cm για να έχει περίοδο 1,1sec και 2,8m για να έχει 3,4sec. Ειδικές κατασκευές μπορεί να ξεφύγουν από αυτά τα όρια αλλά και πάλι δεν μπορεί να αποφευχθεί η χρήση γραναζιών.

[2] Αυτοί είναι πραγματικοί χρόνοι από υπαρκτά ρολόγια.

λόγος περιστροφής των αξόνων της ώρας και του τροχού διαφυγής είναι **3600/(Δ*Τ)**. Αν για παράδειγμα έχουμε τροχό διαφυγής 30 δοντιών και εκκρεμές περιόδου 2 sec, τότε ο λόγος περιστροφής του άξονα της ώρας και του άξονα διαφυγής θα ήταν **3600/(30*2)=60.** Σε αυτή τη περίπτωση μάλιστα ο τροχός διαφυγής κάνει περιστροφή ενός λεπτού. Θα μπορούσε δηλαδή να χρησιμοποιηθεί και ως άξονας δευτερολέπτων.

Όπως βλέπουμε ο λόγος αυτός είναι αντιστρόφως ανάλογος της περιόδου **Τ** και του μήκους του εκκρεμούς. Άρα αν χρησιμοποιήσουμε μεγάλο εκκρεμές θα χρειαστούμε γρανάζια με μικρότερο λόγο. Αν χρησιμοποιήσουμε μικρό εκκρεμές θα χρειαστούμε γρανάζια με μεγαλύτερο λόγο (χρησιμοποιείται σε μικρά επιτραπέζια ρολόγια).

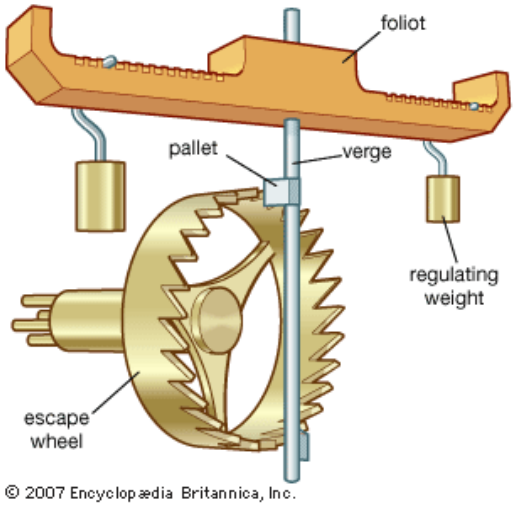
Όλα αυτά τα συστήματα συνδέονται και με τη κινητήριο δύναμη. Το βάρος του ρολογιού του δίνει όλη τη δύναμη που χρειάζεται. Η ενέργεια από την ελεγχόμενη πτώση του καταναλώνεται στις τριβές των γραναζιών και στη διατήρηση της κίνησης του εκκρεμούς. Το βάρος πρέπει να είναι τόσο ώστε ύστερα από τη μείωσή του από την ακολουθία γραναζιών, να φτάνει αρκετή ενέργεια στο μηχανισμό διαφυγής για να ωθήσει το εκκρεμές. Το εκκρεμές χρειάζεται διαφορετική ενέργεια ανάλογα με το μήκος του και τη θέση επαφής του με τον υπόλοιπο μηχανισμό..

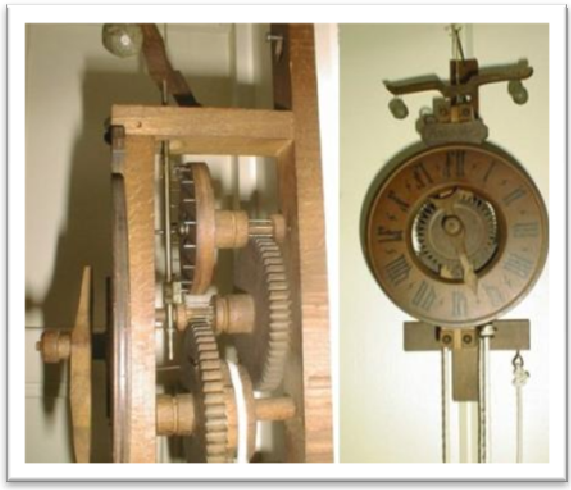
Από τον άξονα της ώρας με ένα υποσύστημα γραναζιών που μειώνει τις στροφές του στο 1/12 παίρνουμε έναν άξονα με χρόνο περιστροφής 12 ώρες για την ένδειξη των ωρών.

Από τη περιγραφή όλων των βασικών συστημάτων ενός εκκρεμούς ρολογιού προκύπτει ότι ο συνολικός σχεδιασμός του απαιτεί συνυπολογισμό όλων των μεγεθών. Μια αλλαγή σε ένα μηχανικό μέρος μπορεί να προκαλέσει τεράστιες αλλαγές στο σχεδιασμό του μηχανισμού και του σκελετού. Αντιστρόφως, οι διάφορες αισθητικές επιλογές μπορούν να θέσουν περιορισμούς και προδιαγραφές στο μηχανισμό.

2. ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΩΝ ΡΟΛΟΓΙΩΝ ΜΕ ΕΚΚΡΕΜΕΣ

Στην μεσαιωνική Ευρώπη η τεχνολογική ανάπτυξη ήταν ελάχιστη και στη μέτρηση του χρόνου χρησιμοποιούνταν ηλιακά ρολόγια, που αν και είχαν εξελιχθεί, βασιζόντουσαν στις αρχές που είχαν ορίσει οι Αιγύπτιοι. Ένα αγγλικό μοντέλο μάλιστα υποδείκνυε τις παλίρροιες και αντιστάθμιζε τις αλλαγές του ύψους του ήλιου με τις αλλαγές των εποχών.

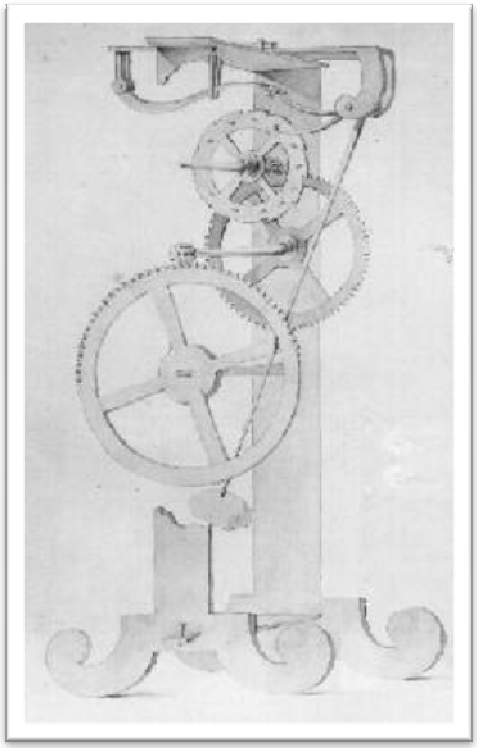




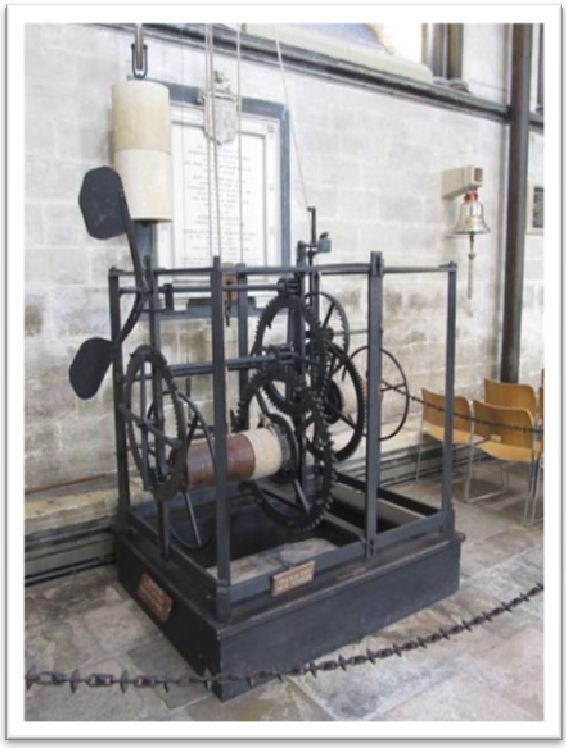
Εικόνα 2-1 (δεξιά) Αντίγραφο από ένα ρολόι του 17^{ου} αιώνα με ράβδο (foliot-and-verge)
Εικόνα 2-2 (αριστερά) Μηχανισμός διαφυγής με ράβδο (verge & foliot escapement)

Στις αρχές του 14^{ου} αιώνα πολλά μηχανικά ρολόγια άρχισαν να κάνουν την εμφάνισή τους στους πύργους μεγάλων ιταλικών πόλεων. Δεν υπάρχουν αναφορές ή αποδείξεις παλαιότερων ρολογιών που να είναι οδηγούμενα από βάρος και να χρονίζεται από μηχανισμό διαφυγής με ράβδο (**verge & foliot escapement**). Οι μηχανισμοί αυτού του τύπου επικράτησαν για 300 περίπου χρόνια σε διάφορες παραλλαγές. Όλοι είχαν το ίδιο πρόβλημα, αφού ή περίοδος της ταλάντωσης εξαρτιόταν από τη κινητήριο δύναμη και τις τριβές. Έτσι ήταν πολύ δύσκολο να ρυθμιστούν και είχαν σοβαρά προβλήματα ακρίβειας.

Μία άλλη σημαντική εξέλιξη ανάμεσα στο **1500** με **1510** από τον **Peter Henlein** , ένα Γερμανό κλειδαρά , ήταν η χρήση **ελατηρίου** ως κινητήρια δύναμη. Αυτό επέτρεψε την κατασκευή φορητών ρολογιών, αφού αφαιρέθηκε το βάρος, που έβαζε περιορισμούς στο μέγεθός και τη μετακίνηση των ρολογιών.



Εικόνα 2-3. Το πρώτο σχέδιο για ρολόι με εκκρεμές του Γαλιλαίου (1637).

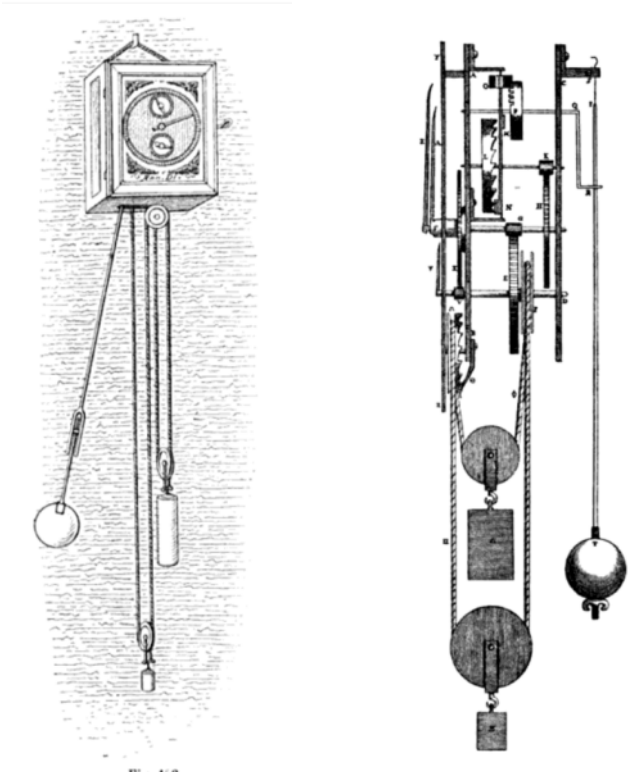


Εικόνα 2-4 Μηχανισμός μεσαιωνικού ρολογιού από τον καθεδρικό του Salisbury (1386)

Εικόνα 2-5. Ρολόι με έλασμα και εκκρεμές, σχεδιασμένο από τον Heygens το 1657 (Κατασκευή του Salomon Coster) και αντίγραφο του βιβλίου Horologium Oscillatoriu που εκδόθηκε το 1673

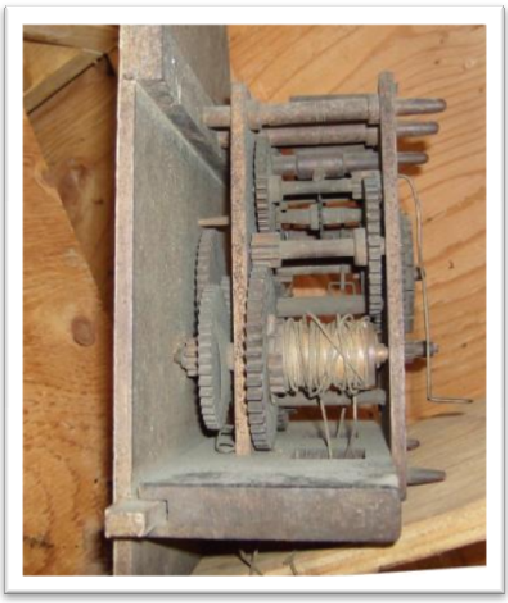
Ο Ολλανδός επιστήμονας **Christian Huygens** ήταν ο πρώτος που έφτιαξε ένα ρολόι με **εκκρεμές**, που χρονιζόταν με μια «**φυσική**» περίοδο ταλάντωσης, το **1656**. Επειδή ο **Γαλιλαίος** μελέτησε τις κινήσεις του εκκρεμούς από το **1582**, μερικές φορές η εφεύρεση του ρολογιού με εκκρεμές αποδίδεται σε αυτόν. Σχέδια του Γαλιλαίου υλοποιήθηκαν μετά το θάνατό του. Το ρολόι του **Huygens** «έχανε» 1 λεπτό τη μέρα, ακρίβεια που πρώτη φορά είχε

επιτευχθεί. Σε επόμενες βελτιώσεις του πέτυχε να μειώσει το λάθος σε λιγότερο από 10 δευτερόλεπτα τη μέρα.



Εικόνα 2-6 Σχέδια του πρώτου ρολογιού με εκκρεμές του Heygens

Γύρω στο **1675** ο **Huygens** αναπτύσσει το τροχό ισορροπίας (**balance wheel**) που ακόμα συναντάμε σε κάποια ρολόγια χειρός. Το **1671** στο Λονδίνο, ο **William Clement** άρχισε να κατασκευάζει ρολόγια χρησιμοποιώντας ένα νέο μηχανισμό διαφυγής, το μηχανισμό

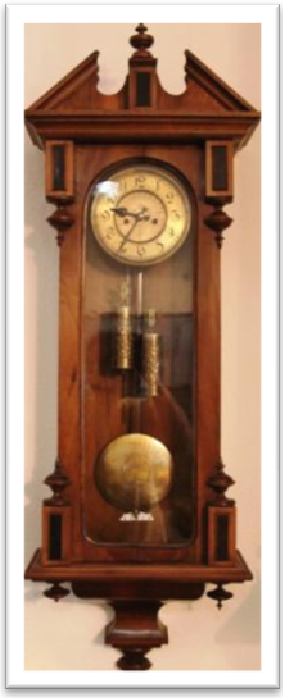


Εικόνα 2-7 Ξύλινος μηχανισμός από αντίκα «Ρολόι του Παππού»

ανάκρουσης (**Anchor** or **Recoil** Escapement). Ο νέος μηχανισμός διαφυγής ήταν σημαντική βελτίωση σε σχέση με τον παλιότερο μηχανισμό με ράβδο (**verge & foliot escapement**), γιατί μείωνε την αλληλεπίδραση με το εκκρεμές και επέτρεπε τη κατασκευή εκκρεμών μεγαλύτερου μήκους και μικρότερης γωνίας ταλάντωσης.

Τότε εμφανίστηκαν και τα «**ρολόγια του παππού**» ή «εκκρεμή δευτερολέπτου» ή «βασιλικά ρολόγια», που είχαν εκκρεμές μήκους περίπου ενός μέτρου και επιτυγχάνανε περίοδο 2 δευτερολέπτων σε μια πλήρη ταλάντωση (1 δευτερόλεπτο μεταξύ δυο χτύπων).

Το **1675** εφευρέθηκε ο μηχανισμός διαφυγής **deadbeat** ή **Graham** από τον **Richard Towneley**, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε και έγινε γνωστός από τον **Graham**, από τον οποίο πήρε το όνομά του. Σταδιακά αυτός ο μηχανισμός διαφυγής αντικατέστησε τον μηχανισμό **ανάκρουσης** λόγω της μεγαλύτερης ακρίβειας που πετύχαινε. Αυτός ο μηχανισμός είναι πολύ συνηθισμένος και σε σύγχρονα εκκρεμή και έχει χρησιμοποιηθεί και στο ρολόι αυτής της εργασίας.



Εικόνα 2-8 Ρολόι τοίχου τύπου Vienna regulator

Εικόνα 2-9. «Ρολόι του παππού»

Το **1721** ο **George Graham** βελτίωσε την ακρίβεια του ρολογιού με εκκρεμές στο 1 δευτερόλεπτο τη μέρα, αντισταθμίζοντας τις μεταβολές του μήκους του εκκρεμούς λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών. Ακολούθησαν τους επόμενους αιώνες και άλλες βελτιώσεις με τα λεγόμενα «ελεύθερα» εκκρεμή, το **1889** από τον **Siegmund Riefler** και το **1921** από τον **W. H. Shortt**, με σφάλμα λιγότερο από το **1/100** του δευτερολέπτου την ώρα. Τα πιο ακριβή

ρολόγια έμπαιναν σε κοινόχρηστους χώρους, όπως χώρους εργασίας και ονομαζόντουσαν «ρυθμιστές» (ή χρονιστές – regulators). Τα ρολόγια με τη μεγαλύτερη ακρίβεια χρησιμοποιούνταν σε αστεροσκοπεία και ονομαζόντουσαν «αστρονομικά ρολόγια».

Μετά το **1840** πολλά από τα ρολόγια ήταν πλέον ηλεκτρομηχανικά, αφού χρησιμοποιούσαν τον ηλεκτρισμό ως κινητήριο δύναμη σε συνδυασμό πάλι με ένα εκκρεμές.

Τα ρολόγια με εκκρεμές παραγκωνίστηκαν από το ρολόγια **Quartz** από το **1930**, αφού είχαν ακρίβεια που δεν ήταν δυνατό να επιτευχθεί με τα ρολόγια με μηχανισμούς διαφυγής.

3. ΕΡΕΥΝΑ ΑΓΟΡΑΣ

Τα ρολόγια με εκκρεμές κατασκευάζονται και διατίθενται ακόμα. Τα πιο πολλά ακολουθούν κλασσικό στυλ αλλά συναντάμε και σύγχρονες παραλλαγές τους. Τα υλικά είναι συνδυασμός μετάλλου και ξύλου, με το ξύλο να χρησιμοποιείται κυρίως για το «κουτί» του ρολογιού και όχι για το μηχανισμό.

Θα δούμε ενδεικτικά κάποια από τους πιο γνωστούς κατασκευαστές.

Μοντέλο	10800-N91161 CASTLETON
Κατασκευαστής	Hermle
Τύπος	Ρολόι του παππού
Διαστάσεις	92 1/4" x 28 3/4" x 15 1/4"
Χρόνος λειτουργίας	8 μέρες
Τιμή	$7.197
Ιστοσελίδα	http://keilsclockshop.com/product_info.php?cPath=112&products_id=1186

Μοντέλο	01153-i91161 AMHERST
Κατασκευαστής	Hermle
Τύπος	Ρολόι του παππού
Διαστάσεις	H 85" x W 24 1/2" x D 14"
Χρόνος λειτουργίας	8 μέρες
Τιμή	$4.377
Ιστοσελίδα	http://keilsclockshop.com/product_info.php?cPath=112&products_id=628

Μοντέλο	01220-740351 TRINITY
Κατασκευαστής	Hermle
Τύπος	Ρολόι του παππού
Διαστάσεις	Ύψος74”• Πλάτος 13” Βάθος 9”
Χρόνος λειτουργίας	8 μέρες
Τιμή	$8,937
Ιστοσελίδα	http://keilsclockshop.com/product_info.php?cPath=39&products_id=966

Μοντέλο	KIPLING 611-206
Κατασκευαστής	Howard Miller
Τύπος	Ρολόι του παππού
Διαστάσεις	Ύψος82”• Πλάτος 27” Βάθος16”
Χρόνος λειτουργίας	-
Τιμή	$4.532
Ιστοσελίδα	http://keilsclockshop.com/product_info.php?cPath=43&products_id=1218

Μοντέλο	CAMLON 611-228
Κατασκευαστής	Howard Miller
Τύπος	Ρολόι του παππού
Διαστάσεις	Ύψος76”• Πλάτος 16” Βάθος11”
Χρόνος λειτουργίας	-
Τιμή	$1.675
Ιστοσελίδα	http://keilsclockshop.com/product_info.php?cPath=37&products_id=1232

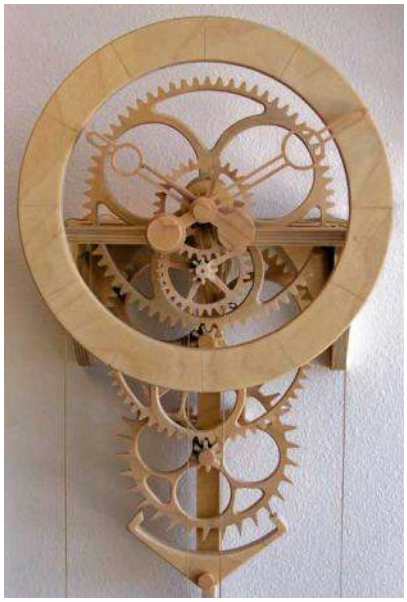
Μοντέλο	70974-000711 RAVENSBURG
Κατασκευαστής	Hermle
Τύπος	Τοίχου
Διαστάσεις	25” x 6” x 4”
Χρόνος λειτουργίας	-
Τιμή	$291
Ιστοσελίδα	http://keilsclockshop.com/product_info.php?cPath=95&products_id=1188

Μοντέλο	70962-740058 CROMWELL
Κατασκευαστής	Hermle
Τύπος	Τοίχου
Διαστάσεις	30” x 10” x 5,5”
Χρόνος λειτουργίας	-
Τιμή	$4.323
Ιστοσελίδα	http://keilsclockshop.com/product_info.php?cPath=95&products_id=973

Μοντέλο	Brettluhr Castle Clock
Κατασκευαστής	Sternreiter
Τύπος	Τοίχου
Διαστάσεις	27” x 9” x 4”
Χρόνος λειτουργίας	-
Τιμή	$350
Ιστοσελίδα	http://www.theclockdepot.com/Sternreiter-Brettluhr-WW80170013-Castle-Clock.html

Σήμερα κατασκευάζονται και πολλά εκκρεμή με βασικό υλικό το ξύλο. Συνήθως ο μηχανισμός είναι ορατός και η ακρίβειά τους δεν μπορεί να συγκριθεί με αυτή των ρολογιών που προηγήθηκαν. Έχουν περισσότερο αισθητική και καλλιτεχνική αξία. Βασίζονται ή σε παλιότερα ή σε νέα σχέδια, και συνήθως χρησιμοποιούν βάρος και όχι ηλεκτρισμό. Πωλούνται ολόκληρα, ή σαν σετ συναρμολόγησης ή μόνο τα σχέδιά τους για τη κατασκευή από ερασιτέχνες.

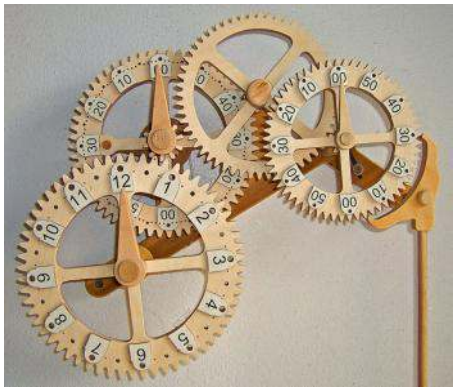
Πολλοί καλλιτέχνες έχουν χρησιμοποιήσει αντίστοιχους μηχανισμούς (σε ξύλο ή άλλα υλικά) για την υλοποίηση κινούμενων γλυπτών (kinetic art).



Μοντέλο	Simplicity
Κατασκευαστής	Clayton Boyer
Τύπος	Τοίχου
Διαστάσεις	-
Χρόνος λειτουργίας	-
Τιμή	$42 (Μόνο σχέδια)
Ιστοσελίδα	http://www.lisaboyer.com/Claytonsite/simplicitypage1.htm

Μοντέλο	Model T
Κατασκευαστής	Clayton Boyer
Τύπος	Τοίχου
Διαστάσεις	-
Χρόνος λειτουργίας	-
Τιμή	$42 (Μόνο σχέδια)
Ιστοσελίδα	http://www.lisaboyer.com/Claytonsite/modeltpage1.htm

Μοντέλο	Solaris
Κατασκευαστής	Clayton Boyer
Τύπος	Τοίχου
Διαστάσεις	-
Χρόνος λειτουργίας	-
Τιμή	$42 (Μόνο σχέδια)
Ιστοσελίδα	http://www.lisaboyer.com/Claytonsite/solarispage1.htm

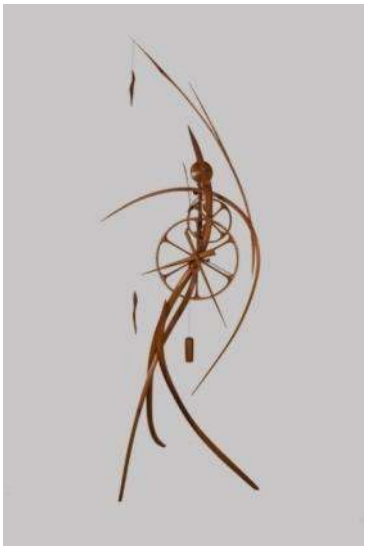


Μοντέλο	Genesis
Κατασκευαστής	Clayton Boyer
Τύπος	Τοίχου
Διαστάσεις	-
Χρόνος λειτουργίας	-
Τιμή	$40 (Μόνο σχέδια)
Ιστοσελίδα	http://www.lisaboyer.com/Claytonsite/Genesispage1.htm

Μοντέλο	Swoopy
Κατασκευαστής	Clayton Boyer
Τύπος	Τοίχου
Διαστάσεις	-
Χρόνος λειτουργίας	-
Τιμή	$47 (Μόνο σχέδια)
Ιστοσελίδα	http://www.lisaboyer.com/Claytonsite/swoopypage1.htm

Μοντέλο	Hawaiian Time
Κατασκευαστής	Clayton Boyer
Τύπος	Τοίχου
Διαστάσεις	-
Χρόνος λειτουργίας	-
Τιμή	$37 (Μόνο σχέδια)
Ιστοσελίδα	http://www.lisaboyer.com/Claytonsite/hawaiiantimepage1.htm

Μοντέλο	F8
Κατασκευαστής	Timeshapes
Τύπος	Δαπέδου
Διαστάσεις	Ύψος 9 πόδια
Υλικό	Καρυδιά
Τιμή	-
Ιστοσελίδα	http://www.timeshapes.com



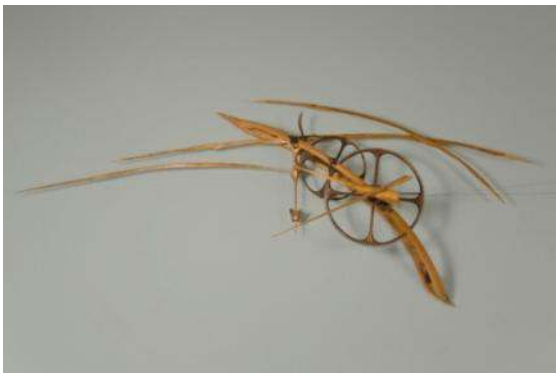
Μοντέλο	F7
Κατασκευαστής	Timeshapes
Τύπος	Δαπέδου
Διαστάσεις	Ύψος 12 πόδια
Υλικό	Κερασιά
Τιμή	-
Ιστοσελίδα	http://www.timeshapes.com

Μοντέλο	F6
Κατασκευαστής	Timeshapes
Τύπος	Δαπέδου
Διαστάσεις	Ύψος 7 πόδια – πλάτος 3
Υλικό	Καρυδιά
Τιμή	-
Ιστοσελίδα	http://www.timeshapes.com

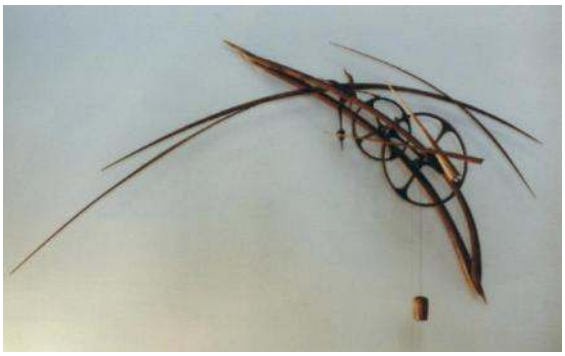
Μοντέλο	F2
Κατασκευαστής	Timeshapes
Τύπος	Δαπέδου
Διαστάσεις	Ύψος 20 πόδια
Υλικό	Καρυδιά
Τιμή	-
Ιστοσελίδα	http://www.timeshapes.com

Μοντέλο	W3
Κατασκευαστής	Timeshapes
Τύπος	Τοίχου
Διαστάσεις	Ύψος 4 πόδια-Πλάτος 30’’
Υλικό	Κερασιά
Τιμή	-
Ιστοσελίδα	http://www.timeshapes.com

Μοντέλο	W7
Κατασκευαστής	Timeshapes
Τύπος	Τοίχου
Διαστάσεις	Ύψος 6 πόδια-Πλάτος 3 πόδια
Υλικό	Καρυδιά
Τιμή	-
Ιστοσελίδα	http://www.timeshapes.com



Μοντέλο	W6
Κατασκευαστής	Timeshapes
Τύπος	Τοίχου
Διαστάσεις	Ύψος 4 πόδια-Πλάτος 9 πόδια
Υλικό	Καρυδιά - Κερασιά
Τιμή	-
Ιστοσελίδα	http://www.timeshapes.com



Μοντέλο	W9
Κατασκευαστής	Timeshapes
Τύπος	Τοίχου
Διαστάσεις	Ύψος 5 πόδια-Πλάτος 10 πόδια
Υλικό	Καρυδιά
Τιμή	-
Ιστοσελίδα	http://www.timeshapes.com

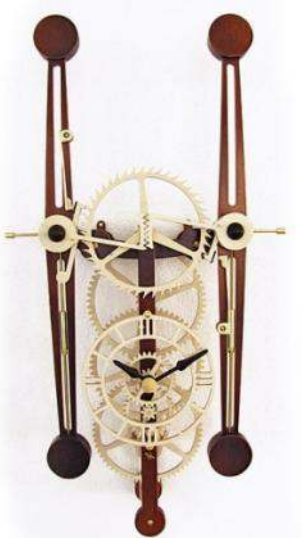
Μοντέλο	Decimous
Κατασκευαστής	WoodenTimes
Τύπος	Δαπέδου - Ηλεκτρικό
Διαστάσεις	Ύψος 136εκ.
Υλικό	-
Τιμή	Κιτ 160€ - (Σχέδια-35€)
Ιστοσελίδα	http://www.woodentimes.com/decimus.html

Μοντέλο	Nonus
Κατασκευαστής	WoodenTimes
Τύπος	Τοίχου
Διαστάσεις	
Χρόνος λειτουργίας	4-8 μέρες
Τιμή	Κιτ 180€ - (Σχέδια-40€)
Ιστοσελίδα	http://www.woodentimes.com/nonus.html

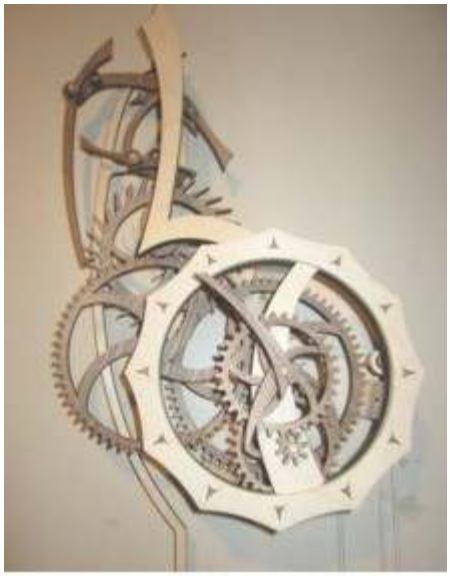
Μοντέλο	Tertius
Κατασκευαστής	WoodenTimes
Τύπος	Δαπέδου
Διαστάσεις	1,9 μέτρα
Χρόνος λειτουργίας	-
Τιμή	Μερικό κιτ 50€ - (Σχέδια-37€)
Ιστοσελίδα	http://www.woodentimes.com/tertius.html

Μοντέλο	Quartus
Κατασκευαστής	WoodenTimes
Τύπος	Τοίχου
Διαστάσεις	-
Χρόνος λειτουργίας	2.5 μέρες
Τιμή	Κιτ 165€
Ιστοσελίδα	http://www.woodentimes.com/quartus.html

Μοντέλο	Secundus
Κατασκευαστής	WoodenTimes
Τύπος	Τοίχου
Διαστάσεις	-
Χρόνος λειτουργίας	2 μέρες
Τιμή	Μερικό κιτ 50€ - (Σχέδια-35€)
Ιστοσελίδα	http://www.woodentimes.com/secundus.html



Μοντέλο	Sextus
Κατασκευαστής	WoodenTimes
Τύπος	Τοίχου
Διαστάσεις	-
Χρόνος λειτουργίας	-
Τιμή	Κιτ 175€ - (Σχέδια-40€)
Ιστοσελίδα	http://www.woodentimes.com/nonus.html



Μοντέλο	Quartus
Κατασκευαστής	Jeff Schierenbeck
Τύπος	Τοίχου
Διαστάσεις	Ύψος19", βάθος 5",πλάτος 12"
Χρόνος λειτουργίας	26 ώρες
Τιμή	Κιτ $175 – (Σχέδια $29)
Ιστοσελίδα	http://www.wooden-gear-clocks.com/tranquilityclock.htm

Μοντέλο	Serpentine
Κατασκευαστής	Jeff Schierenbeck
Τύπος	Τοίχου
Διαστάσεις	Ύψος 26", βάθος 6",πλάτος 12"
Χρόνος λειτουργίας	26 ώρες
Τιμή	Κιτ $169 – (Σχέδια $29)
Ιστοσελίδα	http://www.wooden-gear-clocks.com/serpentineclock.htm

Μοντέλο	Sextus
Κατασκευαστής	Jeff Schierenbeck
Τύπος	Τοίχου
Διαστάσεις	Διάμετρος 15", βάθος 5"
Χρόνος λειτουργίας	30
Τιμή	Κιτ $174 – (Σχέδια $29)
Ιστοσελίδα	http://www.wooden-gear-clocks.com/legacyclock.htm

4. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΡΟΛΟΓΙΟΥ

Η διαδικασία σχεδιασμού ξεκινάει με τη σχεδίαση του σκελετού. Πρώτα πρέπει να έχουν αποφασιστεί κάποια στοιχεία του μηχανισμού που θέλουμε. Στη συγκεκριμένη περίπτωση είχα αποφασίσει να χρησιμοποιήσω **βάρος** για κινητήριο δύναμη, **εκκρεμές** σχετικά μεγάλης **περιόδου (2,5 sec)** και μηχανισμό διαφυγής **Graham**.

Το βάρος είναι αυτό που βάζει ένα σοβαρό περιορισμό στα προσχέδια. Πρέπει να έχουμε τη δυνατότητα να το κρεμάσουμε από ένα σημείο ψηλά. Όσο πιο ψηλά τοποθετείται, τόσο πιο αραιά κουρδίσματα απαιτούνται. Σε ένα επιδαπέδιο ρολόι είναι λοιπόν καλό **ένα τουλάχιστον στοιχείο της κατασκευής να βρίσκεται ψηλά** για να κρατάει το κούρδισμα όσο το δυνατό περισσότερη ώρα.

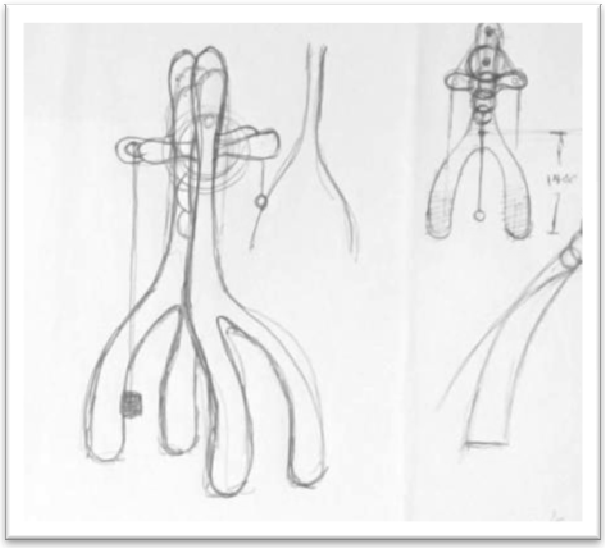
Η περίοδος του εκκρεμούς (άρα το μήκος του), ο μηχανισμός διαφυγής και τα γρανάζια, μπορούν λίγο πολύ να προσαρμοστούν στο σκελετό γι' αυτό στο αρχικό στάδιο δεν επηρέασαν τη μελέτη του σκελετού. Οι λεπτομέρειες προσδιορίζονται αργότερα στα συστήματα CAD.

4.1. Μελέτη σκελετού

Εξ'αρχής η πρόταση για τη πτυχιακή ήταν ένα επιδαπέδιο ρολόι. Η μορφή του πρώτου σχεδίου, καθώς και άλλων που ακολούθησαν, έγιναν έχοντας κατά νου και σύνολο εννοιών σχετικών με το **χρόνο**. Ο σκοπός ήταν να έχει το ρολόι κάποια **σημειολογία**. Μπορεί σε κάποια σχέδια ο συσχετισμός με τις έννοιες να είναι ορατός, αλλά με την εξέλιξη των σχεδίων «κρύφτηκαν». Δεν είναι διακριτές στη τελική κατασκευή και δε θα μπορούσαν άλλωστε, αφού πρόκειται για αφηρημένες έννοιες και όχι αντικείμενα. Μπορούμε να πούμε όμως ότι το ρολόι τις «κουβαλά», αφού είναι το προϊόν μιας σχεδιαστικής διαδικασίας που ξεκίνησε από αυτές.

Οι **έννοιες** που χρησιμοποιήθηκαν ως βάση και αποτυπώθηκαν στα σχέδια ήταν σχετικές με το **χρόνο**.

- **Παρελθόν–Παρόν–Μέλλον**.
- **Αιωνιότητα – Περατότητα.**
- **Οι τρείς Μοίρες** (Μυθολογία)
- **Σχετική αντίληψη του Χρόνου** (Μικρόκοσμος - Μακρόκοσμος)
- **Δύσκολα αντιληπτό μέγεθος από τον άνθρωπο.**

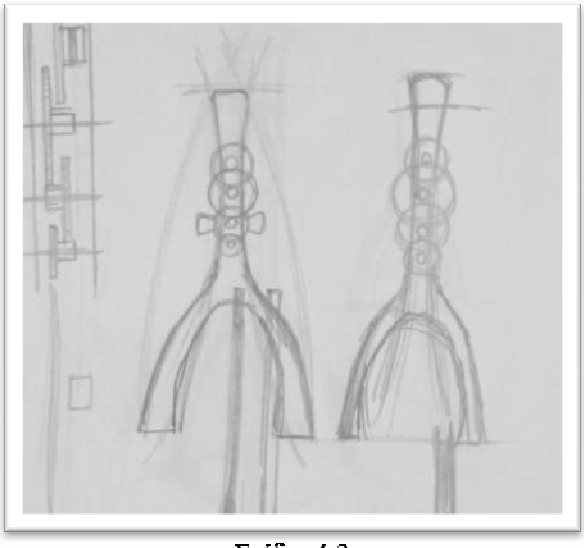


Σχέδιο 4.1. Το πρώτο σχέδιο από το οποίο ξεκίνησε η συζήτηση για τη πτυχιακή

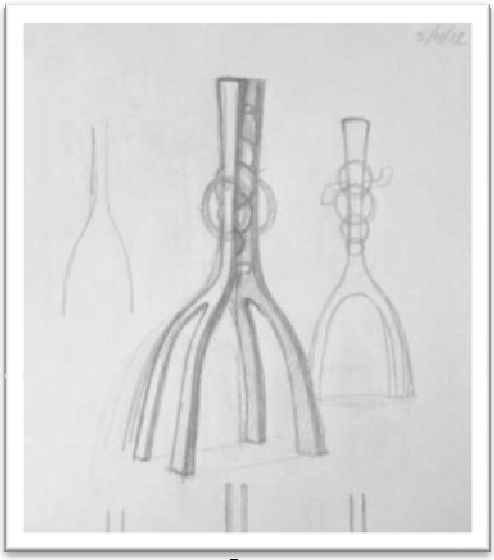
Το πρώτο σχέδιο ήταν ένα σχέδιο με δυο εμφανή ανθρωπόμορφα στηρίγματα (**Σχέδιο. 4.1**). Οι μορφές ήταν σα να ακουμπούν πλάτη με πλάτη, έχοντας ανάμεσα το μηχανισμό. Το κεφάλι χρησιμοποιούταν για τη στήριξη του εκκρεμούς και τα χέρια για το βάρος και τη λαβή για το κούρδισμα. Ακολούθησαν πολλές παραλλαγές των «**αντικριστών μορφών**» μέχρι το τελικό σχέδιο. Λίγα σχέδια ξέφυγαν από το βασικό αυτό μοντέλο, αλλά ταυτόχρονα ξέφευγαν και από τις σχετικές με το χρόνο εννοιες που ανέφερα νωρίτερα.

Για τα σχέδια που θέλαμε να υπονοείται η ανθρώπινη μορφή, αποφασίσαμε να χρησιμοποιήσουμε μορφές από Κυκλαδίτικα αγάλματα. Σε κάποια σχέδια είναι εμφανής η σχέση αλλα σε γενικές γραμμές το χαρακτηριστικό αυτό έφθινε όσο τα σχέδια προχωρούσαν.

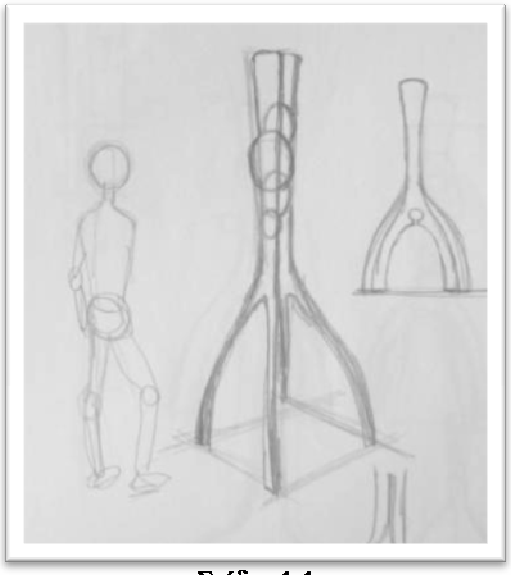
Ακολουθούν τα σχέδια από τις βασικές ιδέες που μελετήθηκαν. Αντίγραφα των σχδίων υπάρχουν στο **Παράρτημα Β**.



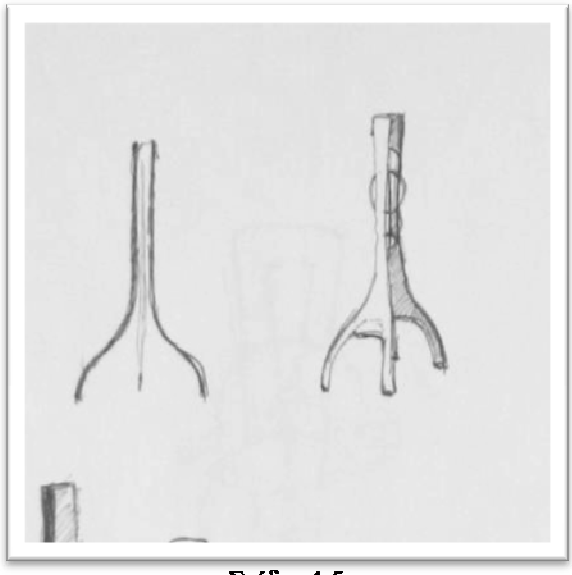
Σχέδιο 4-2



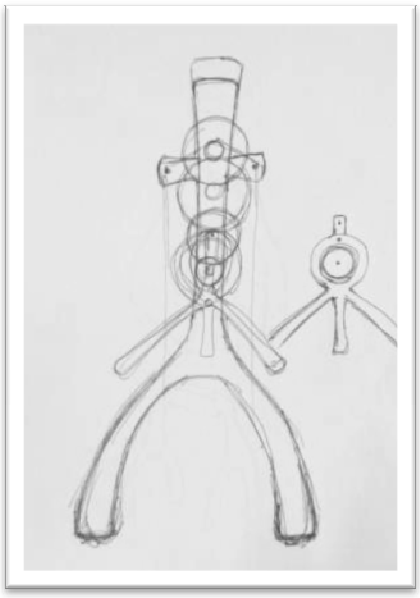
Σχέδιο 4-3



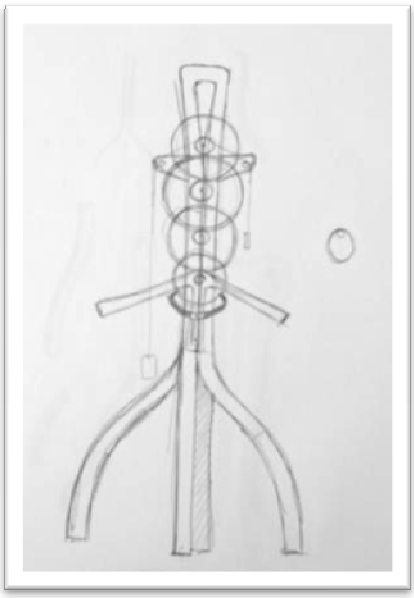
Σχέδιο 4-4



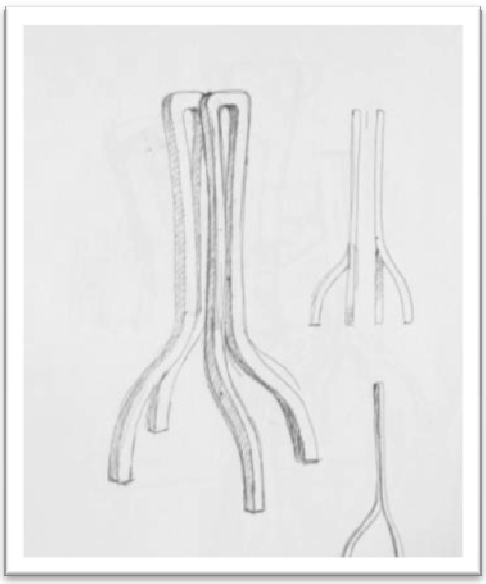
Σχέδιο 4-5



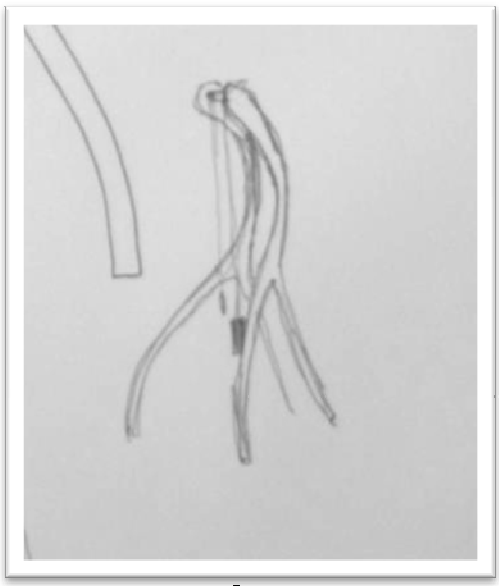
Σχέδιο 4-6



Σχέδιο 4-7

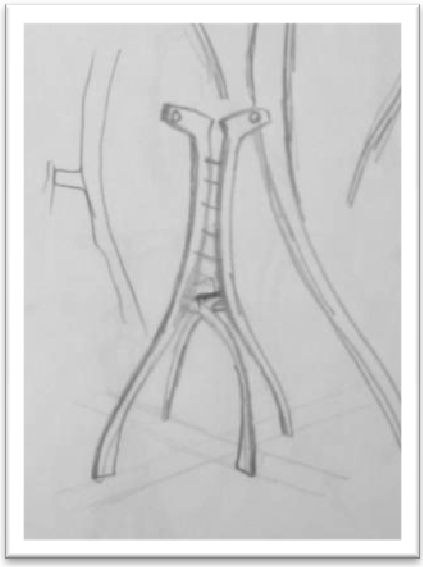


Σχέδιο 4-8



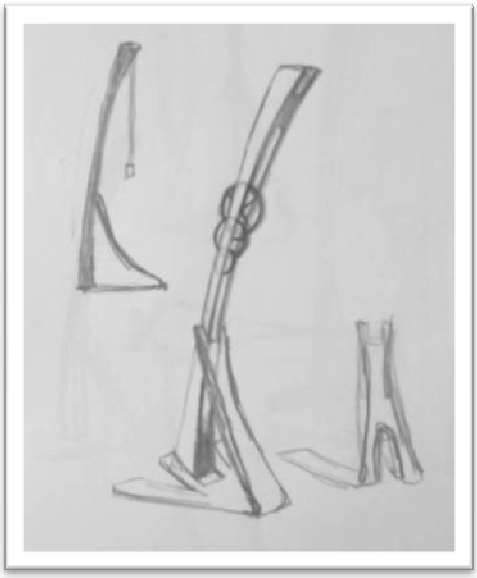
Σχέδιο 4-9

Σχέδιο 4-10



Σχέδιο 4-11

Σχέδιο 4-12



Σχέδιο 4-13

Σχέδιο 4-14

Σχέδιο 4-15

4.2. Σχεδιασμός σε συστήματα CAD

Δυο από τα παραπάνω σκίτσα έφτασαν να σχεδιαστούν στον υπολογιστή. Η διαδικασία της σχεδίασης στο υπολογιστή ολόκληρου του συστήματος είναι μια πολύ χρονοβόρα εργασία γιατί απαιτεί να προσδιοριστούν λεπτομέρειες που στο σκίτσο δεν είναι απαραίτητες. Οι παραλλαγές που προκύπτουν κατά τη σχεδίαση είναι πάρα πολλές και αφορούν τόσο στο μηχανισμό όσο και στο σκελετό.

Συνήθως σκελετός και μηχανισμός σχεδιάζονται παράλληλα, αλλά για λόγους ευκολίας θα αναφερθούμε σε αυτά χωριστά.

4.2.1. Σχεδίαση σκελετού

Στο πρώτο σκίτσο από αυτά που μελετήθηκαν με συστήματα CAD ήταν αυτό του **Σχεδίου 4-8**, σχεδιάστηκε πλήρως ο σκελετός και ο μηχανισμός. Τελικά απορρίφθηκε λόγω του υπερμεγέθους μηχανισμού και της αισθητικά «αδιάφορης» πλαϊνής όψης (**Εικ. 4.1, 4.2**). Εφόσον ένα ρολόι δαπέδου είναι συνήθως ορατό από πολλές πλευρές πρέπει όλες να παρουσιάζουν ένα αισθητικό ενδιαφέρον. Αυτό ελήφθη υπ' όψη στα επόμενα σχέδια.

Εικόνα 4-1, 4-2.- Όψεις του πρώτου σχεδίου που έγινε σε AutoCAD

Το **Σχέδιο 4-14** ήταν το δεύτερο που σχεδιάστηκε σε υπολογιστή ήταν πολύ κοντά στο τελικό σχέδιο (**Εικ. 4.3, 4.4**). Ο σκελετός μάλιστα κατασκευάστηκε πρόχειρα για να εκτιμήσουμε καλύτερα τη μορφολογία (βλ. παρ. 5.1). Το σχέδιο δεν απορρίφθηκε αλλά διαπιστώθηκε η ανάγκη παρεμβάσεων στη γεωμετρία του σκελετού.

Εικόνες 4-3 και 4-4. Όψεις του δευτέρου σχεδίου

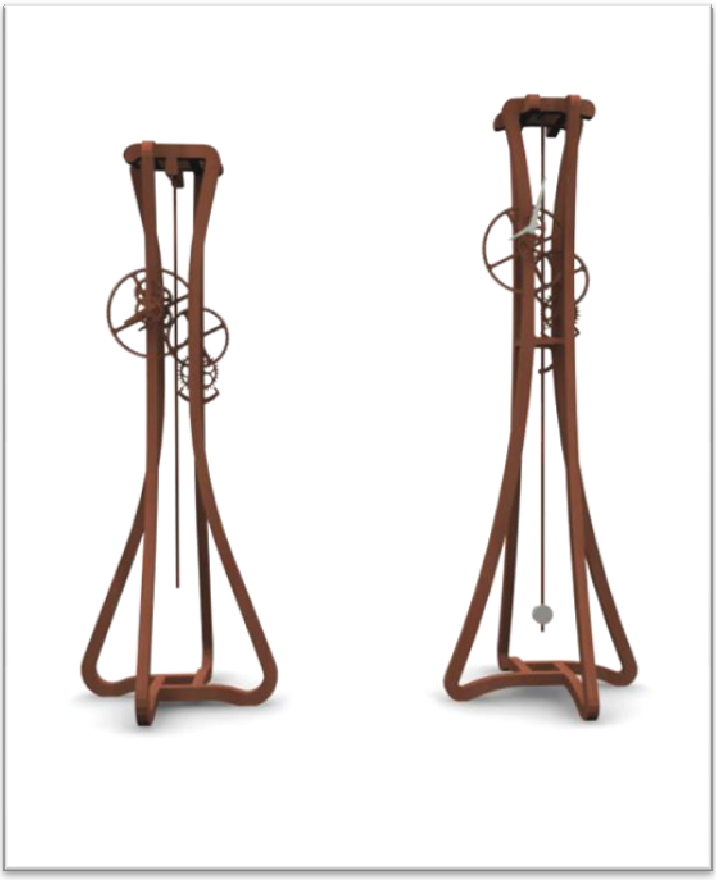
Έτσι προέκυψε το τελικό σχέδιο με τη τροποποίηση του σχεδίου της εικόνας **4.4**. Ο σκελετός έγινε πιο ψηλός και αλλάξανε ελάχιστα οι καμπυλότητες στα πόδια. Έφυγε το ευθύγραμμο τμήμα του σκελετού στο ύψος του μηχανισμού (εξωτερικά γιατί εσωτερικά ήταν απαραίτητο) με τη χρήση μιας ενιαίας καμπύλης από πάνω μέχρι κάτω. Επίσης προστέθηκε σε κάθε πόδι μια μικρή προέκταση στο μέσο περίπου του ύψους τους, για την ένωση των ποδιών μεταξύ τους. Με αυτό τον τρόπο ενισχύθηκε ο σκελετός ώστε να αποφεύγονται οι μετακινήσεις των ποδιών λόγω του μεγάλου ύψους. Τέτοιες μετακινήσεις μπορεί να επηρέαζαν τις θέσεις των αξόνων και τη λειτουργία του ρολογιού γενικότερα.

Στην **εικόνα 4.9** έγινε σύγκριση των δυο τελευταίων σχεδίων με τη χρήση φωτορεαλιστικής απεικόνισης σε **3dMAX**. Στις **εικόνες 4.5** έως **4.8** παρουσιάζονται φωτορεαλιστικές απεικονίσεις που έγιναν με σκοπό την εκτίμηση διαφόρων παραλλαγών πριν τη λήψη της τελικής απόφασης. Τα χρώματα διαφέρουν από τη τελική κατασκευή γιατί έγιναν σε πολύ πρώιμο στάδιο.

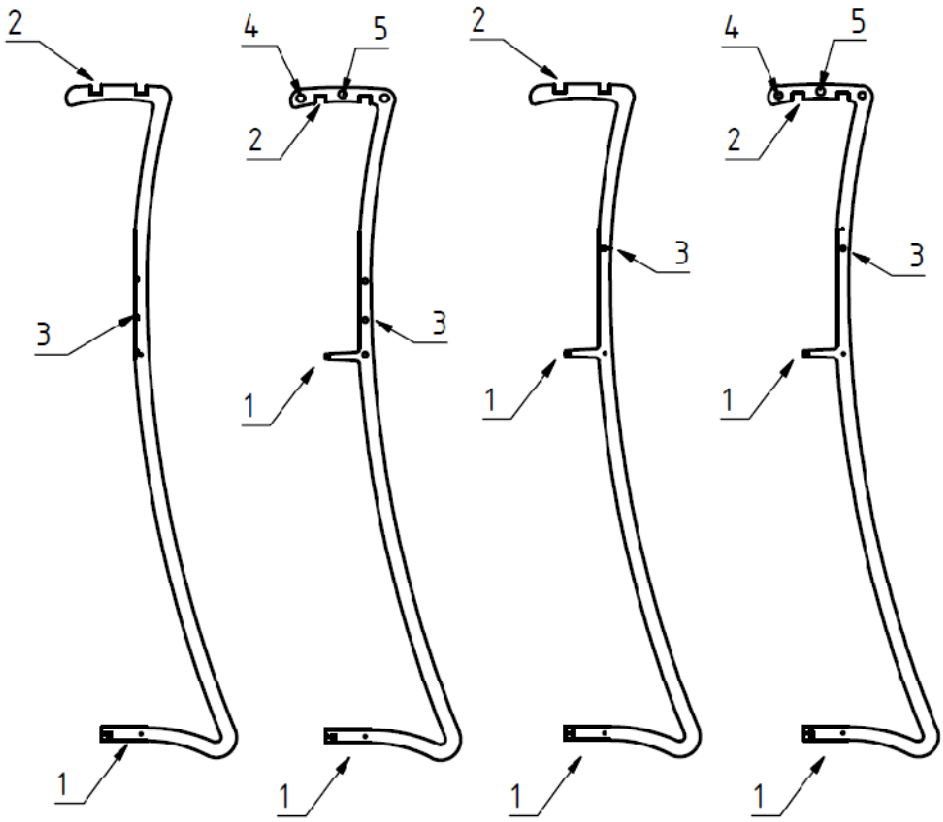
Ο σκελετός στη τελική του μορφή αποτελείται από 4 παρόμοια κομμάτια με μικροδιαφορές στις οπές της εσωτερικής πλευράς για τους άξονες και τις τροχαλίες. Στην **εικόνα 4.10** παρουσιάζονται τα 4 κομμάτια με μια σύντομη περιγραφή των χαρακτηριστικών τους.

Εικόνα. 4-5, 4-6. Ψηφιακές απεικόνιση για την εκτίμηση του σχεδίου και παραλλαγών

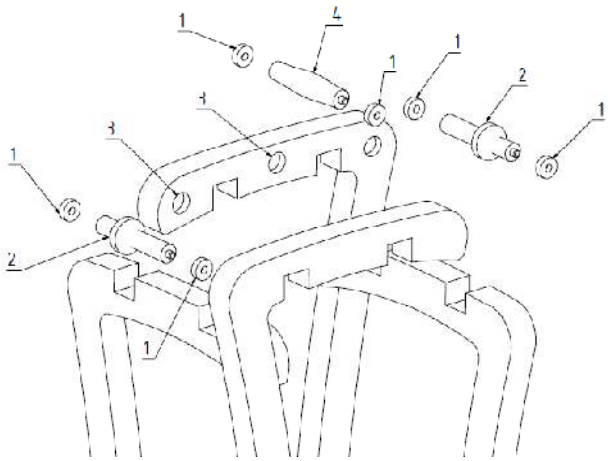
Εικόνα 4-7, 4-8. Ψηφιακές απεικόνιση για την εκτίμηση του σχεδίου και παραλλαγών



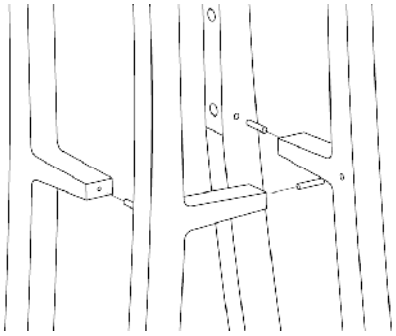
Εικόνα 4-9. Ψηφιακή απεικόνιση για τη σύγκριση των σκελετών

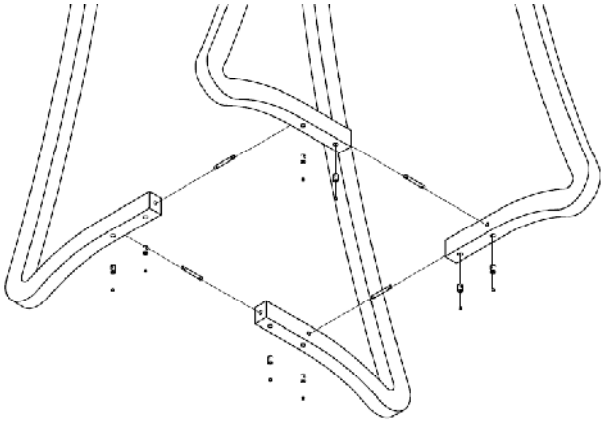


Εικόνα 4-10.Τεμάχια σκελετού. 1) οπές συναρμολόγησης. 2) Μισοχαρκτές εγκοπές. 3) Οπές αξόνων. 4) Οπές για ρουλεμάν τροχαλιών. 5) Οπές για ρουλεμάν εκκρεμούς



Εικόνα 4-11. Συναρμολόγηση επάνω μέρους.
1) Ρουλεμάν. 2) Τροχαλίες. 3) Οπές για ρουλεμάν 4) Άξονας για το εκκρεμές





Εικόνα 4-12. (αριστερά) Συναρμολόγηση στο μέσο με καβίλιες
Εικόνα 4-13. (δεξιά) Συναρμολόγηση κάτω μέρους με φυράμια.

Τα σχέδια στις εικόνες **4-11**,**4-12** και **4-13** μας δείχνουν πως ενώνονται τα πόδια στη κορυφή, στο μέσο και στο κάτω μέρος. Δεν υπάρχει κόλληση πουθενά και όλη η κατασκευή «κλειδώνει» με τα φυράμια στο κάτω μέρος. Τα σχέδια δείχνουν τη τελική μορφή των ποδιών. Προηγήθηκαν κάποια σχέδια με διαφορές στις οπές, με βάση τα οποία έγινε η κατασκευή των ποδιών. Στη πορεία έγιναν αλλαγές επάνω στα τεμάχια, όπως περιγράφεται στο κεφάλαιο της κατασκευής (βλ. παρ. 5.4).

4.2.2. Σχεδίαση μηχανισμού

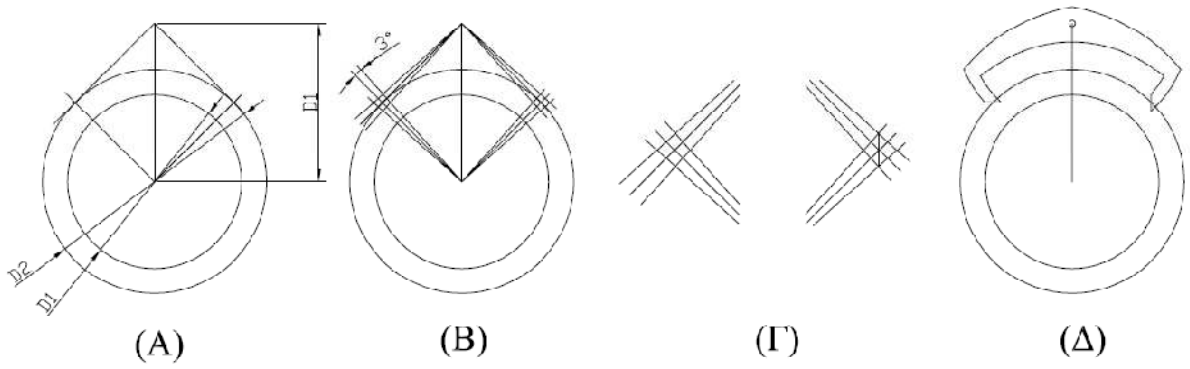
Όπως ανέφερα ο σκελετός και ο μηχανισμός σχεδιάζονται ταυτόχρονα. Στη πράξη για κάθε σκελετό και κάθε παραλλαγή του, έπρεπε να σχεδιαστεί και ένας μηχανισμός (όχι πλήρης) που θα ταιριάζουν αισθητικά. Ο σκελετός πρέπει επίσης να παρέχει τα κατάλληλα σημεία στήριξης του μηχανισμού. Σχεδιάστηκαν και δοκιμάστηκαν διάφοροι μηχανισμοί, με

διαφορετικές σχέσεις γραναζιών και μεγέθη, θα περιγράψουμε όμως μόνο τον τελικό μηχανισμό.

Ο τελικός μηχανισμός μάλιστα προσομοιώθηκε στο πρόγραμμα **Autodesk Inventor** για να εξακριβωθεί αν όντως μπορεί να δουλέψει και τι βάρος θα χρειαζόταν. Η προσομοίωση μιας τέτοιας μηχανής στο **Inventor** απαιτεί μεγάλη εμπειρία στο πρόγραμμα και γνώσεις μηχανολογίας. Επειδή οι γνώσεις μου σε αυτούς τους τομείς είναι περιορισμένες δεν βασίστηκα ιδιαίτερα στα αποτελέσματα. Ένα πολύ χρήσιμο συμπέρασμα όμως ήταν ότι ο μηχανισμός διαφυγής δεν θα δουλέψει σωστά βάση της θεωρητικής σχεδίασης και έτσι έγιναν τροποποιήσεις πριν κατασκευαστεί.

4.2.2.1. Μηχανισμός διαφυγής

Όπως αναφέρθηκε, ήταν σχεδόν σίγουρο ότι θα χρησιμοποιηθεί ο μηχανισμός διαφυγής **Graham**. Το μηχανισμό αυτό τον είχα χρησιμοποιήσει και σε άλλο ρολόι και είχα στη διάθεσή μου τη διαδικασία σχεδιασμού του (**Εικ 4-14**). Τα βασικά στάδια είναι:



Εικόνα 4-14. Διαδικασία σχεδίασης του εξαρτήματος κλειδώματος του μηχανισμού

(A) Σχεδιάζουμε 2 κύκλους με διαμέτρους D1 και D2. Ο κύκλος D2 είναι το εξωτερικό όριο των δοντιών του τροχού διαφυγής και ο D1 είναι η βάση τους. Σχεδιάζουμε μια γραμμή μήκους D1 από το κέντρο των κύκλων προς τα πάνω. Από το πάνω άκρο σχεδιάζουμε εφαπτόμενες γραμμές στον κύκλο D2 και από το κέντρο των κύκλων σχεδιάζουμε γραμμές κάθετες σε αυτές.

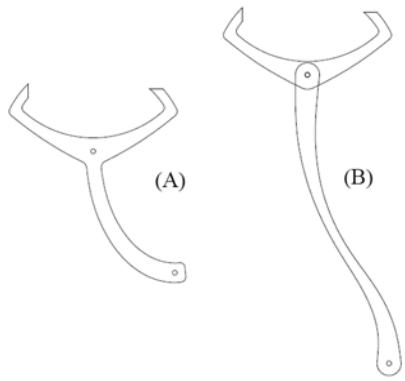
(B) Για κάθε μια από τις τέσσερις γραμμές σχεδιάζουμε αντίγραφά τους από περιστροφή 3^o εκατέρωθεν. Από τις νέες γραμμές προκύπτουν 2 μικρά τετράπλευρα.

(Γ) Στο ένα σχεδιάζουμε τη κάθετη διαγώνιο και στο άλλο την οριζόντια. Αυτές οι διαγώνιοι είναι και οι πλευρές που θα έρχονται σε επαφή με το τροχό διαφυγής. Η οριζόντια κλειδώνει και η κάθετη ωθείται από το τροχό.

(Δ) Συμπληρώνεται το επιθυμητό σχέδιο του εξαρτήματος. Τα κέντρα περιστροφής του τροχού και του εξαρτήματος κλειδώματος είναι τα άκρα της αρχικής γραμμής D1.

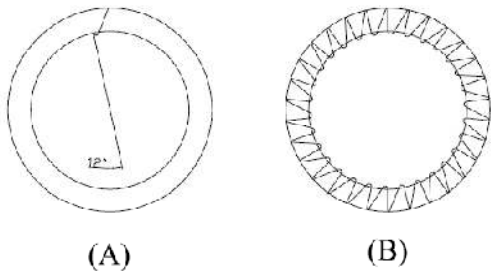
Αν ακολουθήσουμε κατά γράμμα τη θεωρητική σχεδίαση ο μηχανισμός δε μπορεί να δουλέψει σωστά και μπλοκάρει. Γι' αυτό το λόγο στη πράξη η μια από τις 2 επιφάνειες επαφής μετακινήθηκε κατά 2mm προς τα έξω.

Το εξάρτημα κλειδώματος που σχεδιάστηκε αρχικά είχε ενσωματωμένη μια προέκταση για την συνεργασία του με το εκκρεμές (**Εικ. 4-15 Α**). Αυτή η προέκταση τελικά έπρεπε να αφαιρεθεί για να αντικατασταθεί από μια μεγαλύτερη αποσπώμενη προέκταση (**Εικ. 4-15 Β**).



Εικόνα 4-15. Αρχική και τελική μορφή του εξαρτήματος κλειδώματος

Για τη σχεδίαση του τροχού διαφυγής αρκεί η σχεδίαση ενός δοντιού ανάμεσα από τους κύκλους D1 και D2 σε μια περιοχή 12^{o} (**Εικ. 4-16 Α**). Η μια πλευρά του δοντιού προεκτεινόμενη περνάει από το κέντρο. Στη συνέχεια το ένα δόντι αντιγράφεται, με περιστροφή γύρω από το κέντρο, 30 φορές (**Εικ. 4-16 Β**).

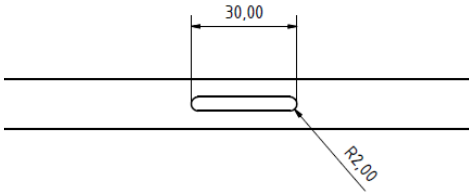


Εικόνα 4-16. Διαδικασία σχεδίασης του τροχού διαφυγής

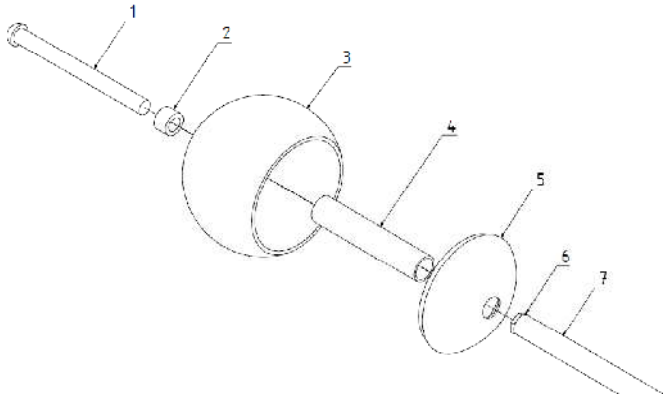
4.2.2.2. Εκκρεμές

Άμεση σχέση με το σύστημα διαφυγής έχει το εκκρεμές. Τα εκκρεμές που επιλέχθηκε τελικά ήταν ένα εκκρεμές συνολικού μήκους περίπου 185 εκ. με κέντρο βάρους στα 160 εκ. από το σημείο περιστροφής. Ο σκοπός ενός τόσο μεγάλου εκκρεμούς ήταν η επίτευξη περιόδου **2,5 sec**. Αποτελείται από μια ράβδο αλουμινίου με ένα μετακινούμενο βάρος στο κάτω άκρο. Η μετακίνηση του βάρους γίνεται με ένα παξιμάδι κάτω από το βάρος, που γυρίζει σε μια βίδα κολλημένη στη σωλήνα και επιτρέπει μικρορυθίσεις στη περίοδο του εκκρεμούς (**Εικ 4-18**).

Σε απόσταση περίπου 102mm από τη κορυφή του, το εκκρεμές έχει μια εγκοπή 30mm (**Εικ.4-17**). Με αυτή την εγκοπή συνδέεται το εκκρεμές με το βραχίονα του συστήματος διαφυγής που φαίνεται στην εικόνα **4-15(Β)**.



Εικόνα 4-17. . Εγκοπή στο κεντρικό σωλήνα για σύνδεση με το σύστημα διαφυγής



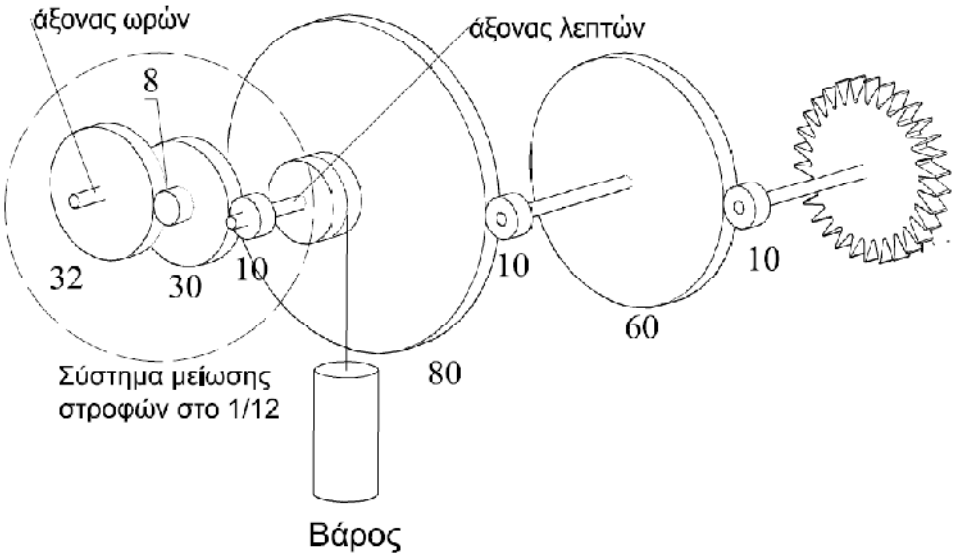
Εικόνα 4-18. Συναρμολόγηση βάρους στο κάτω μέρος του εκκρεμούς 1)Βίδα ρύθμισης 2)Παξιμάδι ρύθμισης 3)Σφαίρα βαρών 4) σωλήνας Φ18 5)Καπάκι 6)κολλημένο παξιμάδι 7)κεντρικός σωλήνας εκκρεμούς

4.2.2.3. Ακολουθία γραναζιών

Στο κεφάλαιο 1 αναφερθήκαμε στο τρόπο λειτουργίας του **Graham** και είπαμε ότι περιστρέφεται κατά ένα δόντι σε κάθε περίοδο του εκκρεμούς. Ο δικός μας τροχός έχει 30 δόντια που σημαίνει ότι κάνει μια πλήρη περιστροφή σε **30*T** sec, όπου **T** η περίοδος του εκκρεμούς. Με το εκκρεμές περιόδου **T=2,5sec** έχουμε ένα τροχό διαφυγής με χρόνο περιστροφής **30T = 75sec**. Για να συνδέσουμε αυτό το τροχό με τον άξονα του λεπτοδείκτη (περιστροφή σε μια ώρα) πρέπει να χρησιμοποιήσουμε μια ακολουθία γραναζιών με συνολικό λόγο **3600/75 = 48**.

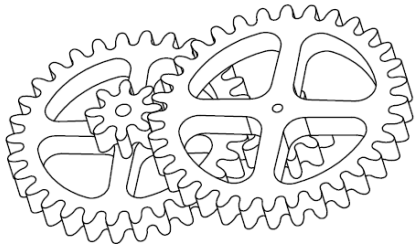
Αυτός ο λόγος είναι μικρός (οφείλεται στο μεγάλο εκκρεμές) και μπορεί εύκολα να επιτευχθεί με μια ακολουθία 4 γραναζιών σε 3 άξονες. Η ακολουθία αυτή θα μπορούσε να

είναι **80/10-60/10**. Σε αυτό το συμβολισμό, που θα χρησιμοποιηθεί και παρακάτω, η κάθετος (/) δηλώνει γρανάζια που συμπλέκονται και η παύλα (-) δηλώνει γρανάζια που βρίσκονται στον ίδιο άξονα και περιστρέφονται μαζί. Έτσι το 80/10-60/10 σημαίνει ότι ο ένας άξονας φέρει ένα γρανάζι 80 δοντιών, ο δεύτερος άξονας δυο γρανάζια 10 και 60 δοντιών που περιστρέφονται με την ίδια γωνιακή ταχύτητα και ο τρίτος άξονας ένα γρανάζι 10 δοντιών. Στον τρίτο άξονα εννοείται πως βρίσκεται και ο τροχός διαφυγής (**Εικ 4-19**)



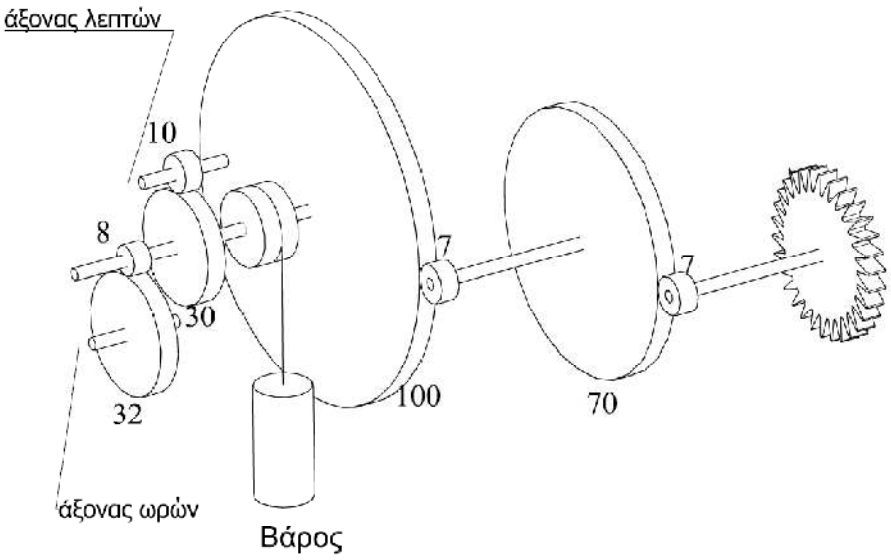
Εικόνα 4-19 Λόγος 48 από μια ακολουθία γραναζιών 80/10-60/10

Ένα δεύτερο υποσύστημα γραναζιών είναι υπεύθυνο να μετατρέψει τη περιστροφή μιας ώρας (δείκτης λεπτών) σε περιστροφή 12 ωρών (δείκτης ωρών). Τα γρανάζια αυτού του συστήματος είναι **32/8-30/10** δοντιών (**Εικ. 4-20**). Αυτή η ακολουθία γραναζιών είναι συνηθισμένη γιατί το άθροισμα των δοντιών των συμπλεκόμενων γραναζιών είναι ίδιο και ίσο με **40** (32+8 = 30+10 = 40). Αυτό σημαίνει πως και το άθροισμα των ακτίνων τους είναι ίδιο και άρα μπορούν να τοποθετηθούν σε δυο μόνο άξονες ().



Εικόνα 4-20. Ακολουθία 30/10-32/8 για τη μείωση των στροφών στο 1/12.

Συνήθως στον άξονα του λεπτοδείκτη είναι προσαρμοσμένο και το βάρος που κινεί το μηχανισμό. Το μεγάλο εκκρεμές μας δίνει τη δυνατότητα να κάνουμε μια τροποποίηση στην ακολουθία των γραναζιών. Αντί να βάλουμε το βάρος στον άξονα του λεπτοδείκτη, μπορούμε να το βάλουμε σε έναν άξονα ανάμεσα στον λεπτοδείκτη και τον δείκτη των ωρών. Αυτός ο άξονας κάνει μια περιστροφή σε τρεις ώρες και για να το πετύχουμε αυτό χρειαζόμαστε μια ακολουθία **100/7-70/7**, με την οποία πετυχαίνουμε λόγο κοντά στο **143**, περίπου **τριπλάσιο** από το 48. Ο μηχανισμός αυτός χρειάζεται εκκρεμές περιόδου **2,52sec** Οι μικροδιαφορές στην απαιτούμενη περίοδο καλύπτονται από τη ρύθμιση του εκκρεμούς.

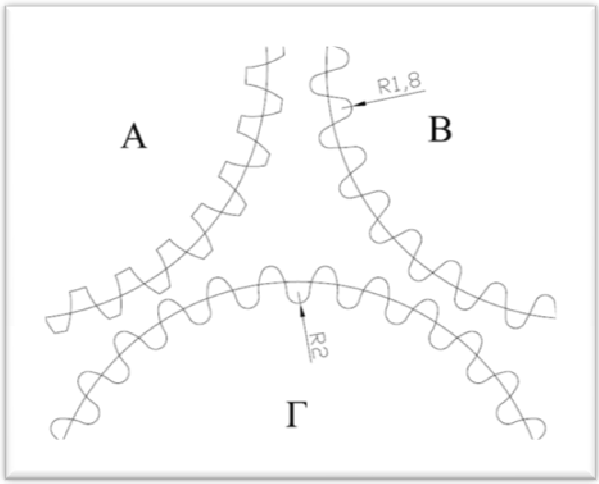


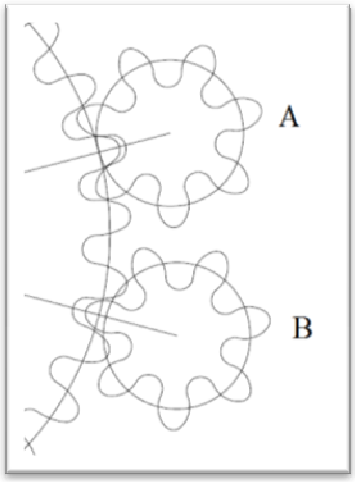
Εικόνα 4-21. Ακολουθία 100/7-70/7 με συστήματα μείωσης και αύξησης στροφών για τους δείκτες.

Χρησιμοποιήθηκε πάλι υποσύστημα γραναζιών, ένα για τη αύξηση των στροφών κατά 3 για τον άξονα του λεπτοδείκτη και ένα για τη μείωση των στροφών στο 1/4 για τον άξονα του δείκτη των ωρών (**Εικ. 4-21**). Αυτή η αλλαγή της θέσης του βάρους έγινε για να αυξήσουμε το χρόνο λειτουργίας με κάθε κούρδισμα και να χρησιμοποιηθούν γρανάζια με μέγεθος που θα ταιριάζει αισθητικά με το σκελετό.

Για τη σχεδίαση των αρχικών γραναζιών χρησιμοποιήθηκε στο πρόγραμμα **TurboCAD**, που διέθετε ενσωματωμένη λειτουργία για τη σχεδίαση γραναζιών σε polyline. Σχεδιάστηκα όλα τα γρανάζια από 5 έως 100 δόντια, γιατί εκείνη τη στιγμή δεν ήταν γνωστό ποια ακριβώς θα χρειαστούν. Τα γρανάζια αυτά δε μπορούσαν να κατασκευαστούν όπως ακριβώς είναι στη CNC φρέζα, λόγω των κλειστών εσωτερικών γωνιών που είχαν (**Εικ.4-22 Α**). Έτσι έγινε μετατροπή τους σε γρανάζια με κυκλική εσωτερική μορφή, ακτίνας 1,8mm, με σκοπό να χρησιμοποιηθεί κοπτικό 3mm στο CNC (**Εικ. 4-22 Β**). Οι πρώτοι μηχανισμοί σχεδιάστηκαν

με αυτά τα γρανάζια. Όταν έφτασε η ώρα των δοκιμών διαπιστώθηκε ότι το μικρότερο διαθέσιμο κοπτικό ήταν των 4mm. Ακόμα και αν υπήρχε κοπτικό 3mm δε ήμασταν σίγουροι ότι θα έχει το κατάλληλο ωφέλιμο μήκος κοπής. Τα γρανάζια τροποποιήθηκαν ξανά στη τελική τους μορφή, όπου η εσωτερική καμπυλότητα είναι ακτίνας 2mm (**Εικ. 4-22 Γ**).

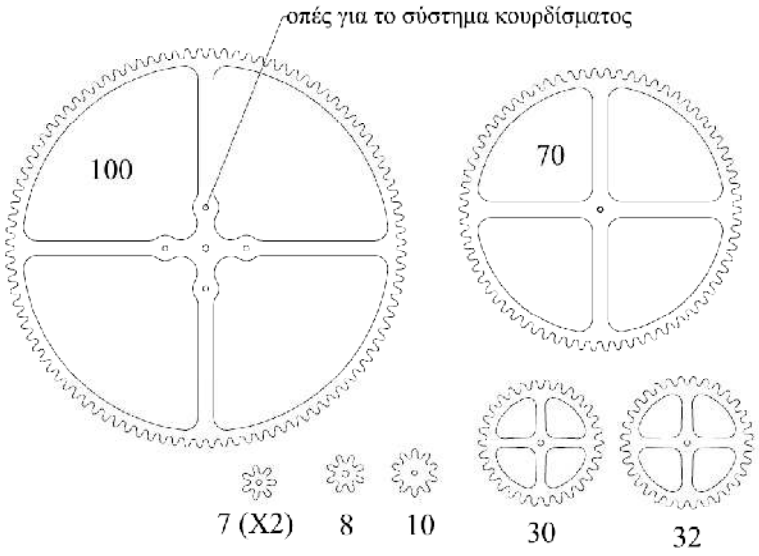




4-22 (αριστερά) Η εξέλιξη στη γεωμετρία των γραναζιών.

4-23. (δεξιά) Η θεωρητική συμπλοκή των γραναζιών βάση του αρχικού κύκλου (A) και η πρακτική που χρησιμοποιήθηκε με αύξηση της μεταξύ τους απόστασης (B)

Η κυκλική γραμμή που διακρίνεται και στα τρία σχέδια είναι ο **αρχικός κύκλος** των γραναζιών. Οι αρχικοί κύκλοι δυο συμπλεκόμενων γραναζιών πρέπει να εφάπτονται (**Εικ. 4-23 Α**). Αυτό το μέγεθος είναι θεωρητικό. Για να αποφευχθούν προβλήματα στη συνεργασία των γραναζιών (από λάθη στις οπές των αξόνων ή στη γεωμετρία των γραναζιών), οι αρχικές διάμετροι όλων των γραναζιών αυξήθηκαν κατά **0,5mm**. Συνολικά **1mm** μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ των αξόνων των συμπλεκόμενων γραναζιών (**Εικ. 4-23 Β**).



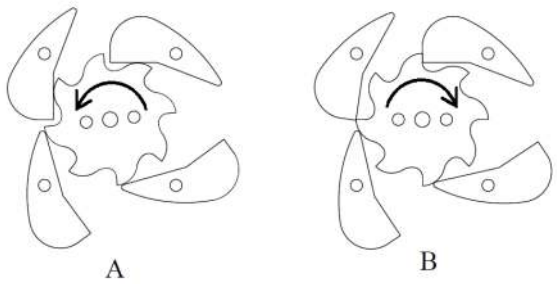
Εικόνα 4-24. Τα γρανάζια του μηχανισμού

Συνολικά χρειάστηκαν τα γρανάζια της εικόνας **4-24**. Όπως φαίνεται σ' αυτή την εικόνα, το μεγάλο γρανάζι έχει κοντά στον άξονά του τέσσερις τρύπες. Αυτές οι τρύπες είναι για τη συνεργασία του με το **σύστημα βάρους και κουρδίσματος**.

4.2.2.4. Σύστημα Κουρδίσματος - Βάρους

Το σύστημα αυτό έχει δυο τροχαλίες για σχοινί. Στη μια τροχαλία κρεμάμε το βάρος και στην άλλη ένα μικρό βάρος-χερούλι για το κούρδισμα του ρολογιού. Τα σχοινιά ξεκινούν από τις τροχαλίες, ανεβαίνουν στο πάνω μέρος του σκελετού και περνάνε πάνω από τους ξύλινους άξονες που περιστρέφονται ελεύθερα. Με αυτό τον τρόπο μπορούμε να σηκώσουμε το βάρος ψηλότερα και να διατηρήσουμε για περισσότερη ώρα το ρολόι σε λειτουργία.

Όσο το ρολόι δουλεύει το βάρος κατεβαίνει σταδιακά ξετυλίγοντας το σχοινί από τη μια τροχαλία. Από την άλλη τροχαλία τυλίγεται για να είναι έτοιμο για το κούρδισμα. Μόλις το βάρος κατέβει τραβάμε το σχοινί κουρδίσματος και γίνεται η αντίστροφη διαδικασία, με το βάρος να σηκώνεται πάλι ψηλά.



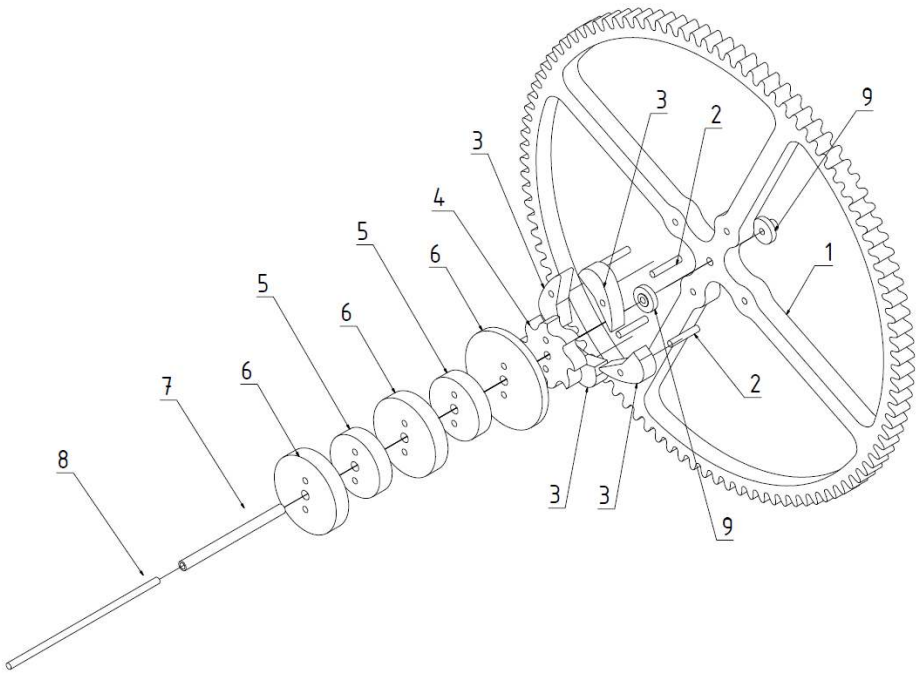
Εικόνα 4-25. (A) Ελεύθερη κίνηση αριστερόστροφα
(B) Κλείδωμα του οδοντωτού τροχού στη δεξιόστροφη κίνηση

Όταν το ρολόι δουλεύει, οι τροχαλίες πρέπει να παρασέρνουν το μεγάλο γρανάζι με τη κίνησή τους και να δίνουν κίνηση σε όλο το μηχανισμό. Όταν όμως κουρδίζουμε γυρίζοντας το σύστημα των τροχαλιών προς την ανάποδη φορά, πρέπει να μπορεί να κινείται ελεύθερα, χωρίς να εμπλέκεται με το μεγάλο γρανάζι. Αυτό επιτυγχάνεται με έναν οδοντωτό τροχό στην μια άκρη του συστήματος, ο οποίος συνεργάζεται με τα ειδικά διαμορφωμένα «κλειδιά» που τοποθετούνται πάνω στο μεγάλο γρανάζι, στις οπές που αναφέραμε νωρίτερα. Τα κλειδιά επιτρέπουν τη κίνηση του οδοντωτού τροχού προς τη μια κατεύθυνση και το μπλοκάρουν προς την άλλη.

Κάθε φορά ένα μόνο κλειδί μπλοκάρει το τροχό. Αυτό συμβαίνει επειδή το κλείδωμα γίνεται με τη βοήθεια της βαρύτητας. Μόλις τελειώσει το κούρδισμα και ο οδοντωτός τροχός αρχίζει

να κινείται προς τη φορά λειτουργίας, κάποιο από τα κλειδιά θα είναι σε τέτοια θέση, που λόγω της βαρύτητας θα κατέβει και θα τον μπλοκάρει (**Εικ. 4-25**).

Στην επόμενη εικόνα φαίνεται όλο το σύστημα κουρδίσματος και βάρους. Ακολουθεί η περιγραφή των στοιχείων της εικόνας.



Εικόνα 4-26. Σύστημα βάρους και κουρδίσματος

1) Το γρανάζι των 100 δοντιών, στον άξονα του οποίου εφαρμόζεται το βάρος.

2) Μεταλλικοί άξονες που σφηνώνουν στο γρανάζι.

3) κλειδιά που μπλοκάρουν τον οδοντωτό τροχό. Γυρίζουν ελεύθερα γύρω από τους άξονές τους.

4) οδοντωτός τροχός

5) τροχαλίες πάνω στις οποίες δένονται και τυλίγονται τα σχοινιά

6) Διαχωριστικά - αποστάτες

7) Σωλήνας που συνδέει όλα τα κομμάτια 4,5 και 6. Ο σωλήνας τοποθετείται γύρω από τον κεντρικό άξονα (8) του γραναζιού και επιτρέπει στις τροχαλίες να κινούνται ανεξάρτητα από το γρανάζι.

8) Κεντρικός άξονας γραναζιού.

9) Παξιμάδια για τη συγκράτηση του γραναζιού στον άξονα (8)

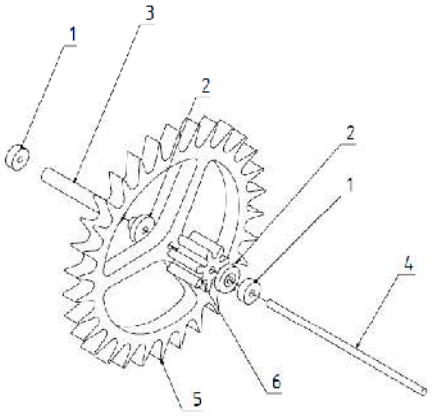
Για το σύστημα κουρδίσματος σχεδιάστηκαν δυο τροχαλίες με διαφορετική διάμετρο για να επιλεγεί εκείνη με τη καλύτερη συμπεριφορά. Η διαφορετική διάμετρος στη τροχαλία του βάρους επηρεάζει το χρόνο λειτουργίας με ένα κούρδισμα, αλλά και το απαιτούμενο βάρος. Ο χρόνος κουρδίσματος επηρεάζεται επειδή με κάθε στροφή του άξονα του βάρους το σχοινί ξετυλίγεται μια φορά από τη τροχαλία. Όσο μικρότερη είναι η διάμετρος (και άρα η περίμετρος) τόσο περισσότερες στροφές μπορεί να κάνει ο άξονας του βάρους μέχρι να φτάσει το βάρος κάτω. Αυτό όμως σημαίνει ότι πρέπει να χρησιμοποιήσουμε μεγαλύτερο βάρος ώστε να έχουμε τη ροπή που χρειάζεται στον άξονα.

Οι τροχαλίες που σχεδιάστηκαν είχαν διαμέτρους **32mm** και **40mm**. Οι αναμενόμενοι χρόνοι λειτουργίας ήταν αντίστοιχα **53** και **42** ώρες. Η τελική επιλογή θα γινόταν όταν το ρολόι έμπαινε σε λειτουργία.

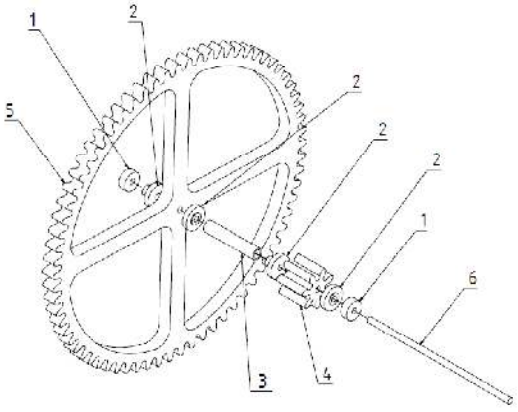
4.2.2.5. Συνολική εικόνα του μηχανισμού

Σε όλους του άξονες, γραναζιών και συστήματος διαφυγής, χρησιμοποιήθηκε ντίζα M4. Για τη συγκράτηση του κάθε κομματιού στη σωστή θέση στον άξονα χρησιμοποιήθηκαν στρογγυλά παξιμάδια. Στις εικόνες **4-27,28,29** και **30** που ακολουθούν φαίνεται σε έκρηξη η δομή του κάθε άξονα. Στην εικόνα **4-31** και **4-32** φαίνεται ολόκληρος ο μηχανισμός συναρμολογημένος και στην **4-33** ολόκληρο το ρολόι.

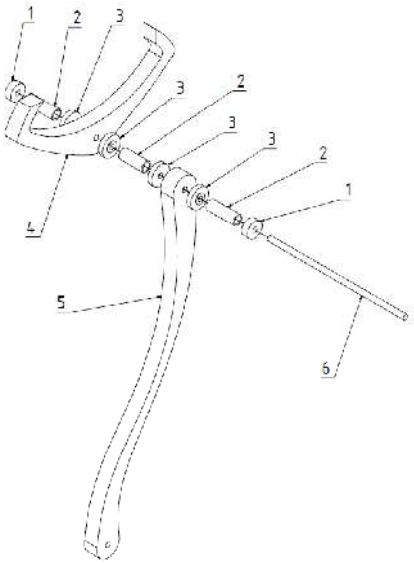
Τα πλήρη τεχνικά σχέδια παρουσιάζονται στο **Παράρτημα Γ**.



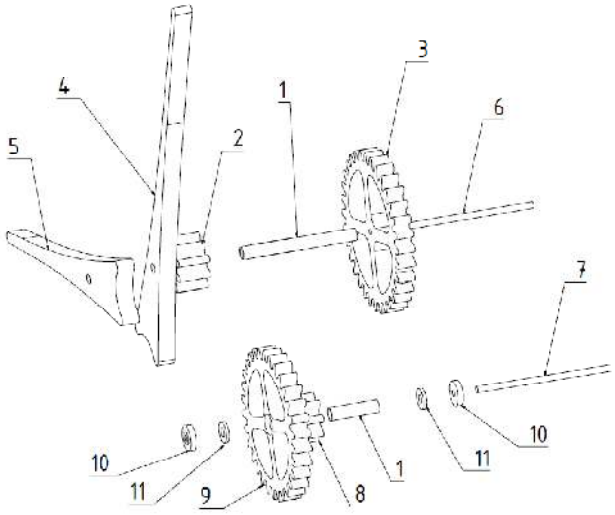
Εικόνα 4-28. Σύστημα διαφυγής 1)ρουλεμάν 2) παξιμάδια 3)αποστάτης 4) άξονας 5) τροχός διαφυγής 6)γρανάζι 7 δοντιών



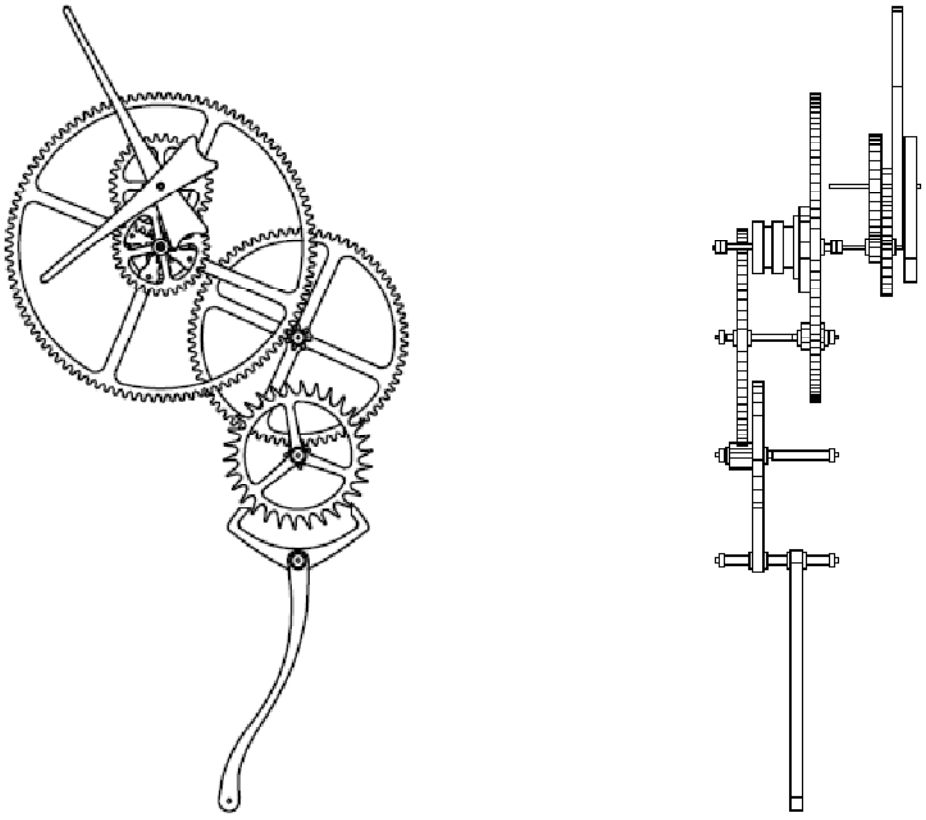
Εικόνα 4-27. .Σύστημα ενδιάμεσου γραναζιού 1)ρουλεμάν 2)παξιμάδια 3)αποστάτης, 4)γρανάζι 7 δοντιών 5)γρανάζι 70 δοντιών 6)άξονας



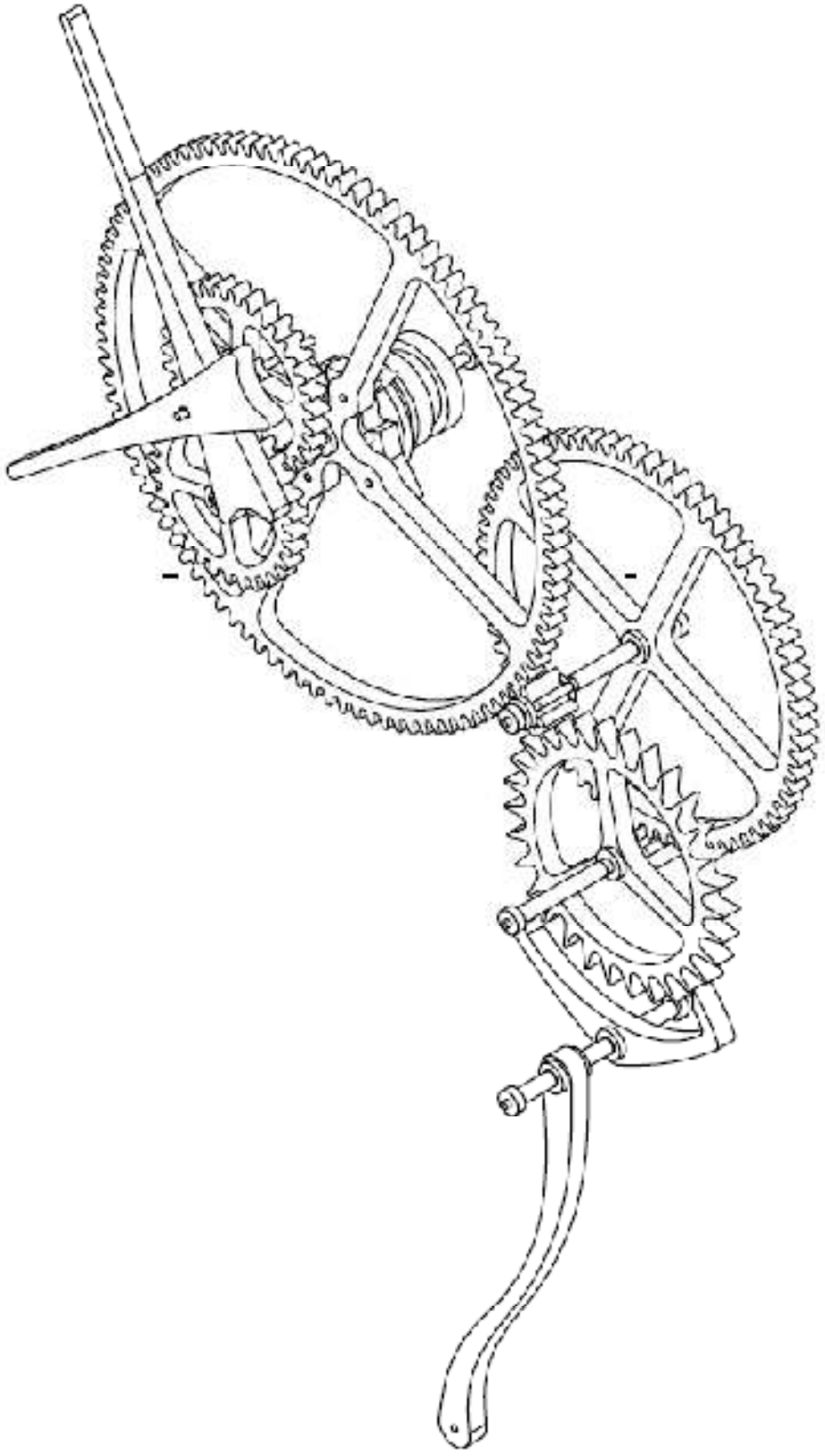
Εικόνα 4-30. Σύστημα διαφυγής 1)ρουλεμάν 2)αποστάτες 3)παξιμάδια 4)Εξάρτημα κλειδώματος 5) Προέκταση συνεργασίας με το εκκρεμές 6)άξονας



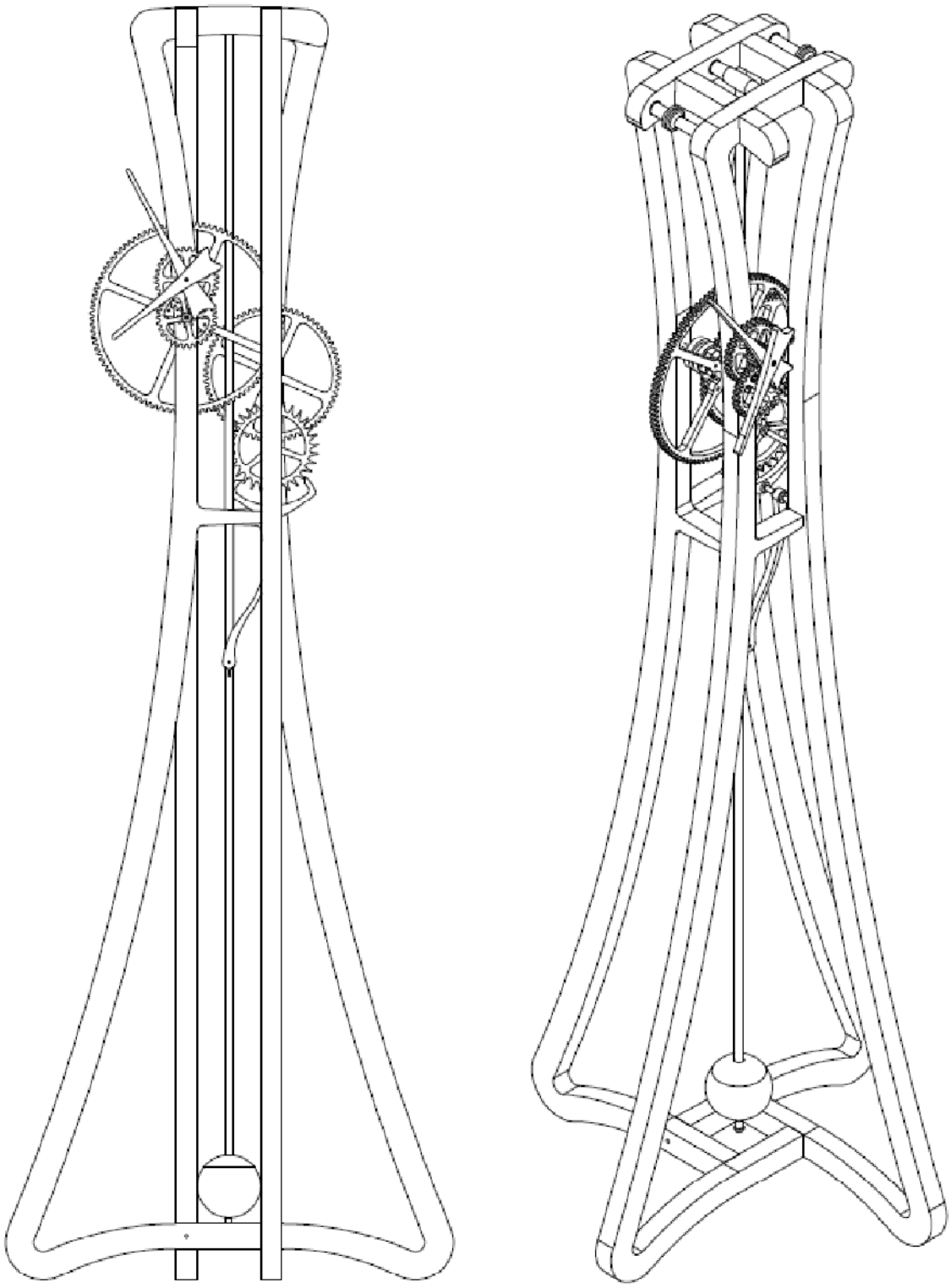
Εικόνα 4-29. Σύστημα δεικτών 1)άξονες-σωλήνες 2)γρανάζι 10 δοντιών 3) γρανάζι 32 δοντιών 4)δείκτης λεπτών 5)δείκτης ωρών 6)άξονας δεικτών 7)άξονας τριών ωρών 8)γρανάζι 8 δοντιών 9)γρανάζι 30 δοντιών 10)Παξιμάδια 11)Δέρμα



Εικόνα. 4-31. Συνολική εικόνα του μηχανισμού



Εικόνα 4-32. Συνολική εικόνα του μηχανισμού



Εικόνα 4-33. Συνολική όψη του ρολογιού

5. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΥ

5.1. Δοκιμαστικές κατασκευές

Η κατασκευή του πρωτοτύπου ξεκίνησε με 3 δοκιμές. Η μια αφορούσε το κοπτικό για τα γρανάζια, η δεύτερη αφορούσε το υλικό για τα γρανάζια και η τρίτη το σκελετό και τη μορφολογία του.

Για τη δοκιμαστική κοπή γραναζιών χρησιμοποιήθηκε κοπτικό 4mm που ήταν το μικρότερο διαθέσιμο στη σχολή. Το αποτέλεσμα ήταν ικανοποιητικό και έτσι αποφασίστηκε να προσαρμοστούν όλα τα σχέδια των γραναζιών ώστε να μπορούν να κοπούν με κοπτικό 4mm, αφού ο αρχικός σχεδιασμός απαιτούσε κοπτικό 3mm.

Εικόνα 5-1(αριστερά) Δοκιμαστικά κομμάτια υπό κατεργασία

Εικόνα 5-2.(δεξιά) Στο φως φαίνεται πόσο λεπτό φύλλο έχει μείνει ακατέργαστο (0,6mm)

Η δοκιμή έγινε επίσης για να εξασφαλίσουμε ότι το κοπτικό μετρήθηκε σωστά, ώστε να εφαρμόσουμε μια συγκεκριμένη τεχνική. Σε αυτή τη τεχνική το κομμάτι δε κόπηκε σε όλο του το βάθος αλλά έμεινε ένα λεπτό φύλλο στο κάτω μέρος. Αυτό επιτρέπει τη συγκράτηση του κομματιού καθ' όλη τη διάρκεια της κατεργασίας, αλλά απαιτεί επιπλέον δουλειά για το καθαρισμό του κομματιού. Εφαρμόστηκε, όπως θα δούμε παρακάτω μόνο σε κομμάτια με λίγα δόντια, όπου δεν υπήρχε δυνατότητα για άλλου είδους συγκράτηση. Σε μεγάλα κομμάτια χρησιμοποιήθηκε άλλη τεχνική.

Για τη δοκιμή των γραναζιών χρησιμοποιήθηκε ένα κόντρα πλακέ του εμπορίου, το οποίο όμως ήταν κακής ποιότητας. Η αμφιβολία για το αν θα μπορούσαμε να βρούμε στο εμπόριο κόντρα πλακέ του επιθυμητού πάχους (10-12mm) και καλής ποιότητας (χωρίς κενά και ανομοιομορφίες), μας οδήγησε να φτιάξουμε ένα δικό μας υλικό. Για το δοκιμαστικό κομμάτι

κόντρα πλακέ χρησιμοποιήθηκαν διακοσμητικά ξυλόφυλλα από σφενδάμι και απλή κόλλα επιπλοποιίας που πιέστηκαν στη μικρή πρέσα της σχολής. Το αποτέλεσμα ήταν ικανοποιητικό. Στο σόκορο οι στρώσεις φαινόντουσαν ελάχιστα (λόγω του μικρού πάχους των διακοσμητικών ξυλόφυλλων) και το μόνο πρόβλημα ήταν οι στρεβλώσεις που εμφάνισε μετά την απομάκρυνση από τη πρέσα. Αποφασίστηκε να χρησιμοποιήσουμε αυτό το υλικό δεδομένου ότι η στρέβλωση δε θα επηρέαζε σε μεγάλο βαθμό τα κομμάτια (ειδικά τα μικρά).

Εικόνα 5-3. Παραγωγή δοκιμαστικού κόντρα πλακέ.

Η τρίτη δοκιμή αφορούσε το αρχικό σχέδιο του σκελετού. Για να έχουμε μια εικόνα της κατασκευής σε πραγματικό μέγεθος κόπηκαν στο CNC οκτώ κομμάτια, 2 για κάθε πόδι. Τα κομμάτια δέθηκαν πρόχειρά για να φανεί η κατασκευή (**Εικ. 5-4,5-5,5-6**). Η εμφάνιση του μοντέλου σε πραγματική μέγεθος δεν ήταν ικανοποιητική και αποφασίστηκε η τροποποίησή του, όπως έχει ήδη περιγραφεί στο κεφάλαιο 4.2.1.

Εικόνες 5-4 και 5-5. Λεπτομέρειες κατασκευής

Εικόνα 5-6. Δοκιμή σκελετού ύψους 1,80μ

5.2. Κατασκευή γραναζιών και εξαρτημάτων

Για τη κατασκευή των γραναζιών χρησιμοποιήθηκαν διακοσμητικά ξυλόφυλλα από σφενδάμι. Τα ξυλόφυλλα αφού κόπηκαν σε τετράγωνα κομμάτια, κολλήθηκαν σταυρωτά αφού πρώτα αλείφτηκαν με κόλλα. Για το μεγάλο γρανάζι δεν υπήρχαν αρκετά μεγάλα ξυλόφυλλα. Έτσι η κάθε στρώση δημιουργήθηκε με τη πλευρική ένωση δυο κομματιών με ειδική ταινία, αφού πρώτα οι πλευρές της ένωσης κόπηκαν ίσια με κοπίδι. Χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 21 στρώσεις για κάθε πλάκα που κατασκευάστηκε.

Τα τελικά κολλημένα κομμάτια τοποθετήθηκαν στη μεγάλη πρέσα και έμειναν εκεί για μια μέρα. Στη συνέχεια το τεμάχια γωνιάστηκαν και ταξινομήθηκαν ανάλογα με το μέγεθος και το βαθμό στρέβλωσης για να γίνουν τα σχέδια κοπής με τη καλύτερη δυνατή απόδοση. Τα τεμάχια με στρέβλωση χρησιμοποιήθηκαν για μικρά εξαρτήματα και τα καλύτερα τεμάχια χρησιμοποιήθηκαν για τα μεγαλύτερα γρανάζια

Με βάση τα τελικά μεγέθη των τεμαχίων έγιναν τα σχέδια κοπής (AutoCAD και WoodWOP) με κριτήριο τη σωστή χρήση του υλικού, ώστε να παραχθούν και εφεδρικά κομμάτια.

Εικόνα 5-7. Ξυλόφυλλα πριν τη κατεργασία.

Εικόνα 5-8. Κολλημένα ξυλόφυλλα έτοιμα για πρεσάρισμα

Εικόνα 5-9. Πλευρική ένωση σε ξυλόφυλλα για τη δημιουργία μεγάλου τεμαχίου

Εικόνα 5-10. Τα τεμάχια κόντρα πλακέ μόλις βγήκαν από τη πρέσα

Στη κοπή των τεμαχίων στο CNC χρησιμοποιήθηκαν δυο μέθοδοι για τη συγκράτηση τους. Η «μερική κατεργασία σε βάθος» και το «προσαρμοσμένη βεντούζα»

1) **Μερική κατεργασία σε βάθος**. Σε αυτή τη μέθοδο η κατεργασία δε γίνεται σε όλο το πάχος του υλικού. Η κατεργασία φτάνει μέχρι ένα σημείο, αφήνοντας στο κάτω μέρος ένα πολύ λεπτό φύλλο της τάξη του 0,5 έως 1 mm. Το λεπτό ακατέργαστο στρώμα επιτρέπει στις βεντούζες να συνεχίσουν να κρατούν το τεμάχιο στη θέση του και το παραγόμενο εξάρτημα να μη φύγει.

Εικόνα 5-11. Εξαρτήματα με μερική κατεργασία σε βάθος

Βασικές προϋποθέσεις είναι να έχει μετρηθεί το κοπτικό με μεγάλη ακρίβεια (μαζί με το τσοκ) και το κατεργαζόμενο τεμάχιο να μην έχει στρεβλώσεις. Κατά τη διάρκεια κατεργασίας σε στρεβλά τεμάχια υπήρξαν προβλήματα, αφού το κοπτικό διαπέρασε το τεμάχιο και χάθηκε η υποπίεση που κρατούσε το κομμάτι. Είναι ορατά τα προβλήματα κατεργασίας στο μεγάλο γρανάζι. Η έλλειψη υλικών δεν επέτρεψε τη δημιουργία νέου.

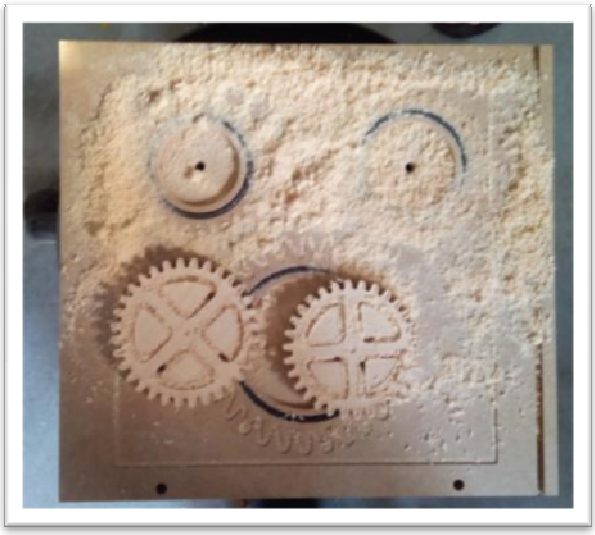
Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιήθηκε σε όλα τα μικρά εξαρτήματα και στα εσωτερικά ανοίγματα των δυο μεγάλων γραναζιών. Ο καθαρισμός των υπολειμμάτων της κατεργασίας έγινε με το χέρι (κοπίδι, γυαλόχαρτο και μικρές λίμες).

2) **Προσαρμοσμένες βεντούζες**. Σε κάποιες περιπτώσεις ήταν απαραίτητη η κατεργασία σε όλο το πάχος του υλικού. Αυτό συνέβη σε κομμάτια με πολλά δόντια ή κομμάτια που απαιτούσαν ακρίβεια στη κοπή, αλλά ήταν μικρά για να τα κρατήσει μια βεντούζα. Για αυτά τα εξαρτήματα δημιουργήθηκαν βεντούζες προσαρμοσμένες στη γεωμετρία των εξαρτημάτων. Χρησιμοποιήθηκε στα γρανάζια 30 και 32 δοντιών και στο τροχό διαφυγής.

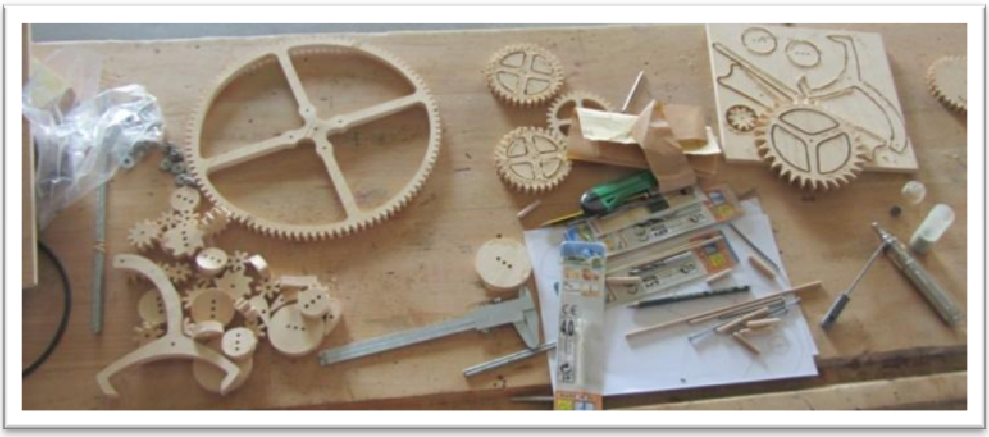
Οι βεντούζες αυτές δημιουργήθηκαν από MDF στο οποίο δημιουργήθηκαν κυκλικές αυλακώσεις. Στο εσωτερικό κάθε αυλάκωσης υπήρχε τρύπα για την απορρόφηση του αέρα από το σύστημα υποπίεσης του CNC. Μέσα στα αυλάκια τοποθετήθηκε ειδικό ελαστικό που

θα έπαιζε το ρόλο της βεντούζας. Οι αυλακώσεις είχαν τέτοιο μέγεθος ώστε να συγκρατούν το κατεργαζόμενο τεμάχιο αλλά να επιτρέπουν την πλήρη κατεργασία έξω από τα όριά τους.

Για την υλοποίηση αυτής της μεθόδου πρέπει οι αυλακώσεις να γίνουν ακριβώς στο σημείο που θα γίνουν αργότερα τα τελικά εξαρτήματα.



Εικόνα 5-12 και 5-13. Οι βεντούζες (καλούπια) και τα εξαρτήματα που δημιουργήθηκαν με αυτές



Εικόνα 5-14. Τα εξαρτήματα που κατασκευάστηκαν από κόντρα πλακέ

5.3. Κατασκευή σκελετού

Η αρχική πρόταση ήταν να φτιαχτεί ένας σκελετός από μασίφ ξύλο. Αποφασίστηκε όμως να γίνει πρώτα ένα πρωτότυπο από MDF για να αξιολογηθεί η γεωμετρία του και να δοκιμαστούν τα προγράμματα κατεργασίας στο CNC. Υπήρχε πάντα η εναλλακτική να χρησιμοποιηθεί ο δοκιμαστικός σκελετός, εφόσον λειτουργούσε ικανοποιητικά.

Για το σκελετό χρησιμοποιήθηκαν γυμνά MDF πάχους 16mm τα οποία κολλήθηκαν ανά δυο για να πάρουμε τέσσερα τεμάχια πάχους 32mm και διαστάσεων περίπου 700X2100mm.Το αρχικό σχέδιο ήταν φτιαγμένο για πάχος 35mm οπότε όλα τα σχέδια αναθεωρήθηκαν και τα προγράμματα κατεργασίας παραμετροποιήθηκαν ώστε να είναι δυνατή η εύκολη αλλαγή τους σε περίπτωση που αλλάξουμε υλικό και πάχος

Όπως και σε πολλά εξαρτήματα έτσι και στο σκελετό έγινε μερική κατεργασία στο βάθος και ένα λεπτό στρώμα έμεινε στο τέλος για να καθαριστεί με το **router** χειρός (**Εικ. 5-15**). Οι τρύπες σημαδεύτηκαν μόνο γιατί δεν είχε ακόμα αποφασιστεί ο τρόπος έδρασης των αξόνων.

Εικόνα 5-15. (αριστερά) τμήμα του σκελετού αμέσως μετά τη κατεργασία του στο CNC
Εικόνα 5-16. (δεξιά) Η πρώτη δοκιμαστική συναρμολόγηση του σκελετού

Για τις σόκορες τρύπες, που δε μπορούσαν να γίνουν με αυτό το CNC και αυτό το τύπο κατεργασίας, επιλέχθηκε να γίνουν σημάδια έξω από το κυρίως κομμάτι του σκελετού και εκατέρωθεν αυτού. Τα σημάδια χρησιμοποιήθηκαν στη συνέχεια ως οδηγοί για το άνοιγμα των οπών στο μορσοτρύπανο.

Αφού ολοκληρώθηκε η εργασία στο CNC τα τεμάχια του σκελετού καθαρίστηκαν με το router χειρός. Στη δοκιμαστική συναρμολόγηση διαπιστώθηκε ότι οι εγκοπές για τη μισοχαρακτή σύνδεση στο επάνω μέρος είχαν γίνει πιο στενές από ότι έπρεπε, πιθανώς από σχεδιαστικό λάθος. Έτσι πριν τις δοκιμαστικές συναρμολογήσεις οι εγκοπές διευρύνθηκαν με λίμα.

Εικόνα 5-17. Συναρμογή στο μέσο του σκελετού

Εικόνα 5-18. και 5-19. Όψεις σκελετού

Αφού διαπιστώθηκε ότι η συναρμολόγηση ήταν σωστή (**Εικ. 5-16, 5-17,5-18,5-19**) ανοίχτηκαν οι οπές για τη συναρμολόγηση και για την τοποθέτηση των αξόνων. Οι οπές απαιτούσαν ακρίβεια και γι' αυτό οι οπές στα σόκορα απαιτούσαν πολύ προσοχή λόγω του ότι δεν είχαν σημαδευτεί από το CNC.

5.4. Συναρμολόγηση - προσαρμογές

Με τις πρώτες οπές έγινε δοκιμή της συναρμολόγησης και της σωστής θέσης των οπών. Αυτός ο έλεγχος είναι καθοριστικής σημασίας αφού όλοι άξονες εδράζονται σε δυο κομμάτια και πρέπει οι σχετικές οπές να είναι αντικριστές. Λανθασμένες οπές μπορεί να είναι υπεύθυνες για κακή ή μη λειτουργία όλου του μηχανισμού.

Μετά τη πρώτη δοκιμή διαπιστώθηκε ότι οι τριβές στην περιστροφή των αξόνων ήταν πολλές. Αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθούν **ρουλεμάν** για τη τοποθέτηση των αξόνων. Επίσης οι χορδές βάρους και κουρδίσματος θα έπρεπε να κινούνται ελεύθερα στο επάνω μέρος του σκελετού απ' όπου κρέμονται και αποφασίστηκε η χρήση **ρουλεμάν** και σε αυτό το σημείο. Ανοίχτηκαν νέες οπές στο επάνω μέρος του σκελετού και διευρύνθηκαν οι οπές των αξόνων ώστε να χωρά μέσα το ρουλεμάν (**Εικ. 5-20, 5-21**).

Εικόνα 5-20. Και 5-21. Οπές για ρουλεμάν

Μετά την τοποθέτηση των ρουλεμάν στους άξονες το ρολόι στήθηκε για να γίνουν δοκιμές λειτουργίας (**Εικ. 5-22, 4-23**). Στις δοκιμές χρησιμοποιήθηκε βάρος 2.300γρ. Από την αρχή φάνηκε η καλή συμπεριφορά του στις τριβές. Λειτούργησε άμεσα αλλά σε πολύ μικρή περίοδο εκκρεμούς (<2sec). Βάση σχεδίου όμως το ρολόι έπρεπε να δουλέψει με **περίοδο 2,5sec**. Αυτό σημαίνει ένα εκκρεμές με κέντρο βάρους 1,6m από το κέντρο της ταλάντωσης.

Εικόνα 5-22. και **5-23.** Τοποθέτηση αξόνων με ρουλεμάν

Ακολούθησε σταδιακή αύξηση της περιόδου του εκκρεμούς. Αυτό έγινε με την προσθήκη βάρους στο κάτω μέρος και την τοποθέτησή του όλο και χαμηλότερα στο εκκρεμές. Σε αυτή τη φάση το εκκρεμές ήταν μια λεπτή ράβδος από MDF, ίδιο με αυτό του σκελετού, με τρύπες για τη ρύθμιση της θέσης των βαρών (**Εικ. 5-24, 5-25**). Η ρύθμιση του εκκρεμούς στα 2,5 sec ήταν απαραίτητη όχι μόνο για τη διασφάλιση της σωστής λειτουργίας του μηχανισμού, αλλά για τον προσδιορισμό των τελικών διαστάσεων του εκκρεμούς που θα κατασκευαζόταν από σωλήνα αλουμινίου.

Εικόνα 5-24. Δοκιμαστικό εκκρεμές με MDF

Εικόνα 5-25. Βάρος εκκρεμούς και βάρος λειτουργίας

Στις μεγάλες περιόδους ταλάντωσης το ρολόι δεν μπορούσε να διατηρήσει τη κίνηση. Ύστερα από πολλές δοκιμές διαπιστώθηκε ότι το πρόβλημα ήταν ο βραχίονας που ενώνει το μηχανισμό διαφυγής με το εκκρεμές. Το μήκος του ήταν μικρό με αποτέλεσμα να περιορίζει τη γωνία ταλάντωσης του εκκρεμούς κάτω από τη 1^{o} (περίπου $\mathbf{0,7^{o}}$) Σε τέτοια γωνία ταλάντωσης το εκκρεμές δε συμπεριφερόταν ισόχρονα.

Έγινε δοκιμή με μεγαλύτερο βραχίονα μήκους **240mm**, που έρχεται σε επαφή με το εκκρεμές χαμηλότερα και επιτρέπει ταλάντωση $\mathbf{1,4^{o}}$. Με το νέο βραχίονα ο μηχανισμός ήταν σε θέση να διατηρήσει τη κίνηση. Έτσι αποφασίστηκε η απομάκρυνση του ενσωματωμένου βραχίονα από το σύστημα διαφυγής και η δημιουργία άλλου βραχίονα με το κατάλληλο μήκος (**Εικ. 5-26, 27, 28**).

Εικόνα 5-28. Αφαίρεση αρχικού βραχίονα και νέος βραχίονας.

Εικόνα 5-26. Και 5-27. Ο αρχικός και ο τελικός βραχίονας

Οι δοκιμές έγιναν με τη τροχαλία διαμέτρου **40mm** και το βάρος που χρησιμοποιήθηκε ήταν περίπου **2.300γρ**. Με τη χρήση της μικρής τροχαλίας διαμέτρου **32mm** το απαιτούμενο βάρος ήταν περίπου **3 κιλά**. Αν και το βάρος αυτό δεν είναι υπερβολικό θεώρησα καλύτερο να χρησιμοποιηθεί η μεγάλη τροχαλία και το μικρό βάρος, αφού η κατασκευή ήταν δοκιμαστική και δεν ήξερα πως θα ανταποκριθεί σε μεγαλύτερη καταπόνηση.

Μια ακόμη σημαντική αλλαγή σε σχέση με το αρχικό σχέδιο είναι η μετατροπή του σκελετού σε λυόμενο. Οι αρχικές οπές για καβίλιες στο κάτω μέρος σφραγιστήκαν και αντικαταστάθηκαν από νέες οπές για φυράμια.

Εικόνα 5-29. Σφράγιση παλιών οπών

Εικόνα**5-30.** Άνοιγμα νέων οπών για φυράμια

Εικόνα 5-31. Άνοιγμα νέων οπών για φυράμια

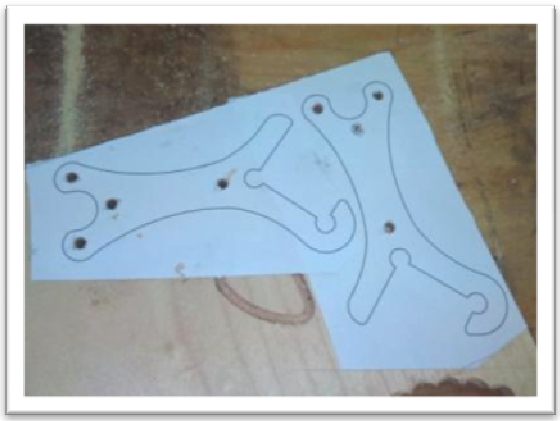
Εικόνα 5-32. Τροχαλίες βαρών και στήριγμα εκκρεμούς

Ο άξονας στο επάνω μέρος του σκελετού για το εκκρεμές και οι τροχαλίες για το βάρος και το κούρδισμα έγιναν στο τόρνο (**Εικ. 5.32**). Χρησιμοποιήθηκε ξύλο δρυός. Στα σόκορα έγιναν οπές 8mm για καβίλιες. Οι καβίλιες προεξέχουν για να μπαίνουν στα ρουλεμάν. Χρησιμοποιήθηκαν επίτηδες καβίλιες γιατί δεν σφηνώνουν στα ρουλεμάν και δίνουν τη δυνατότητα στους άξονες να γυρίζουν ακόμα και αν δεν είναι απόλυτα κάθετοι στο σκελετό.

Στο τέλος προστέθηκε στη κατασκευή ένα επιπλέον κομμάτι, το χερούλι για το κούρδισμα. Αν και υπήρχε έτοιμο ένα χερούλι φτιαγμένο στο τόρνο, τελικά κατασκεύασα ένα με το κόντρα πλακέ των γραναζιών. Το νέο κομμάτι είναι διαιρούμενο και έγινε για να παίξει διπλό ρόλο. Χρησιμοποιείται σαν χερούλι κουρδίσματος αλλά αν διαιρεθεί και τοποθετηθεί με διαφορετικό τρόπο, χρησιμοποιείται στο σκελετό για να σταθεροποιεί το εκκρεμές, όταν έχουμε σκοπό να μετακινήσουμε το ρολόι (**Εικ. 5-33, 5.34)**.

Εικόνα 5-34.(αριστερά) Συναρμολόγηση ως χερούλι.
Εικόνα 5-35.(δεξιά) Συναρμολόγηση για τη σταθεροποίηση του εκκρεμούς

Τα κομμάτια για το χερούλι καθώς και η νέα προέκταση του μηχανισμού διαφυγής που είδαμε νωρίτερα, δεν έγιναν στο CNC γιατί τη περίοδο εκείνη το εργαστήριο Μηχανικής Κατεργασίας δεν λειτουργούσε πλήρως και δε μπορούσα να βρω χειριστή. Αναγκάστηκα να κόψω αυτά τα δυο τεμάχια στην **επιτραπέζια παλμική σέγα**, αφού πρώτα τύπωσα και κόλλησα τα σχέδια πάνω στο κόντρα πλακέ (**Εικ. 5.35**).



Εικόνα 5-33. Τα κομμάτια για το χερούλι πριν τη κοπή.

5.5. Μεταλλικά και άλλα εξαρτήματα

Για το εκκρεμές χρησιμοποιήθηκε όπως έχει αναφερθεί, ένας σωλήνας αλουμινίου διαμέτρου 14mm. Στο επάνω μέρος καταλήγει σε ένα ξύλινο άξονα, ο οποίος περιστρέφεται με τη βοήθεια 2 ρουλεμάν που βρίσκονται τοποθετημένα στο σκελετό. Στο κάτω μέρος η ράβδος έχει σπείρωμα στην οποίο βιδώνεται σφικτά μια ντίζα με σπείρωμα M10. Στη ντίζα τοποθετείται μια μπρούτζινη σφαίρα με καπάκι, μέσα στην οποία τοποθετούνται βαρίδια μόλυβδου.

Κάτω από τη σφαίρα βιδώνεται ένα παξιμάδι που κρατάει τη σφαίρα σε συγκεκριμένο ύψος και επιτρέπει την αλλαγή της θέσης της για τη ρύθμιση της περιόδου. Στο εσωτερικό της σφαίρας τοποθετείτε ένας σωλήνας αλουμινίου (διαμέτρου 18mm εσωτερικά και 15mm εσωτερικά για να μην έρχονται τα βαρίδια σε επαφή με τη βίδα. Όλα αυτά τα εξαρτήματα είναι βαμμένα σε χρώμα ασημί και επικαλυμμένα με λούστρο.

Εικόνα 5-36. Μεταλλικά εξαρτήματα για το εκκρεμές

Πέρα από το μπρούτζο και το αλουμίνιο του εκκρεμούς, χρησιμοποιήθηκαν και άλλα μεταλλικά εξαρτήματα, κυρίως INOX. Τα εξαρτήματα αυτά χρησιμοποιήθηκαν στους άξονες.

Εικόνα 5-37. Μερικά από τα μεταλλικά εξαρτήματα

Στους περισσότερους άξονες χρησιμοποιήθηκαν ντίζες **M4** από γαλβανισμένο σίδηρο. Για τη συγκράτηση των γραναζιών στη θέση τους χρησιμοποιήθηκαν **INOX** παξιμάδια ειδικού τύπου **DIN 466** και **DIN 467**. Για την απόκρυψη της ντίζας χρησιμοποιήθηκε σωλήνας INOX εσωτερικής διαμέτρου **4mm** και εξωτερικής **6mm**. Αυτοί οι σωλήνες χρησιμοποιούνται και ως αποστάτες για την τοποθέτηση των γραναζιών στη σωστή τους θέση πάνω στον άξονα κατά τη συναρμολόγηση. Για τον άξονα των δεικτών χρησιμοποιήθηκε κυλινδρική ράβδος INOX διαμέτρου **4mm**, όπως και στα κλειδιά που μπλοκάρουν το σύστημα κουρδίσματος.

Εικόνα 5-38.. Πλήρως συναρμολογημένοι άξονες

Οι άξονες και οι σωλήνες δουλεύτηκαν στο χέρι λόγω χρονικών περιορισμών και έλλειψης κατάλληλου εξοπλισμού. Σε κάποια από αυτά είναι ίσως ορατές κακοτεχνίες.

Στο σκελετό τοποθετούνται και τα ρουλεμάν στα οποία εδράζονται οι άξονες. Στους άξονες των γραναζιών χρησιμοποιήθηκαν μικρά ρουλεμάν διαμέτρου **13mm** πάχους **5mm** και εσωτερικής τρύπας **4mm**. Στο επάνω μέρος του σκελετού για τη ταλάντωση του εκκρεμούς και τη περιστροφή των τροχαλιών, χρησιμοποιήθηκαν ρουλεμάν διαμέτρου **23mm**, πάχους **7mm** και εσωτερικής τρύπας **8mm**.

Για να είναι δυνατή η ρύθμιση της ώρας (**βλ. παρ. 7.3**) χρησιμοποιούνται μικρά κομμάτια από δέρμα. Το ενιαίο σύστημα γραναζιών των 30 και 8 δοντιών είναι προσαρτημένο στον άξονά του βάρους (από την έξω πλευρά του σκελετού)

Εικόνα 5-39. Τα γρανάζια 30 και 8 δοντιών που φέρουν πατούρες με δέρμα

με δυο παξιμάδια και περιστρέφονται μαζί κατά τη λειτουργία του ρολογιού. Όταν ρυθμίζουμε την ώρα τα γρανάζια αυτά περιστρέφεται ανεξάρτητα από τον άξονά τους. Για να είναι αυτό δυνατό, τα παξιμάδια που τα κρατούν στη θέση τους δεν τα πιέζουν απευθείας. Ανάμεσα από τα παξιμάδια και τα γρανάζια είναι κρυμμένα δυο μικρά κομμάτια δέρμα τα οποία επιτρέπουν στα γρανάζια να περιστρέφονται ανεξάρτητα όταν εφαρμοστεί σ’ αυτά

δύναμη αλλά να παρασύρονται από την περιστροφή του άξονα κατά τη λειτουργία του ρολογιού (**Εικ. 5-39**).

Για την τοποθέτηση των βαρών χρησιμοποιήθηκε συνθετικό **νήμα** διαμέτρου 0,35mm και αντοχής περίπου **22 κιλών**. Εάν αυτό το νήμα αποδειχτεί ακατάλληλο θα αντικατασταθεί από ατσάλινο σύρμα διαμέτρου περίπου 0,5mm. Και τα δυο προϊόντα προέρχονται από είδη αλιείας, όπου χρειάζονται μεγάλες αντοχές σε τάσεις.

6. ΦΙΝΙΡΙΣΜΑ

Για το φινίρισμα του σκελετού χρησιμοποιήθηκε λάκα χρώματος **RAL9001**. Ο σκελετός βάφτηκε 2 φορές με βάση (σουρφασερ) αφού προστατεύθηκαν οι οπές των ρουλεμάν και οι μισοχαρακτές συνδέσεις.

Εικόνα 6-1. Ο σκελετός μετά την εφαρμογή του σουρφασέρ

Εικόνα 6-2. Προστασία των οπών κατά τη βαφή

Για τη βαφή των γραναζιών και όλων των κομματιών από κόντρα πλακέ, χρησιμοποιήθηκε ακρυλικό βερνίκι πολυουρεθάνης με γυαλάδα 30%.

Εικόνα 6-3. Συναρμολόγηση του σκελετού μετά το βάψιμο

Εικόνα 6-4. Βαφή των γραναζιών

7. ΧΡΗΣΗ - ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ

Για τη σωστή λειτουργία και γενικά χρήση του ρολογιού θα πρέπει κάποιος να γνωρίζει κάποιες βασικές ρυθμίσεις και κανόνες. Αυτές μπορεί να είναι ρυθμίσεις ρουτίνας ή ρυθμίσεις απαραίτητες μετά από κάποια δυσλειτουργία ή τη μετακίνηση της κατασκευής.

7.1. Κούρδισμα

Το κούρδισμα γίνεται τραβώντας το χερούλι που βρίσκεται από την δεξιά πλευρά του ρολογιού. Μετά το κούρδισμα δίνουμε μια μικρή ώθηση στο εκκρεμές για να ξεκινήσει.

ΤΙ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΠΡΟΣΕΧΟΥΜΕ:

- Η ρύθμιση γίνεται με το ρολόι σταματημένο.
- Ελέγχουμε αν τα νήματα είναι σωστά τοποθετημένα στις τροχαλίες πριν κουρδίσουμε.
- Τραβάμε αργά και σταθερά. Απότομο κούρδισμα μπορεί να προκαλέσει ζημιές.

7.2. Ρύθμιση εκκρεμούς

Η περίοδος του εκκρεμούς ρυθμίζεται όπως έχουμε πει από το παξιμάδι κάτω από το σφαιρικό βάρος. Η ρύθμιση αυτή είναι απαραίτητη:

Όταν το ρολόι πάει πίσω

Στρίβοντας το παξιμάδι δεξιόστροφα το βάρος ανεβαίνει και η περίοδος του εκκρεμούς μειώνεται. Το ρολόι θα μετράει πιο γρήγορα.

Όταν το ρολόι πάει μπροστά

Στρίβοντας το παξιμάδι αριστερόστροφα το βάρος κατεβαίνει και η περίοδος αυξάνεται. Το ρολόι θα μετράει πιο αργά.

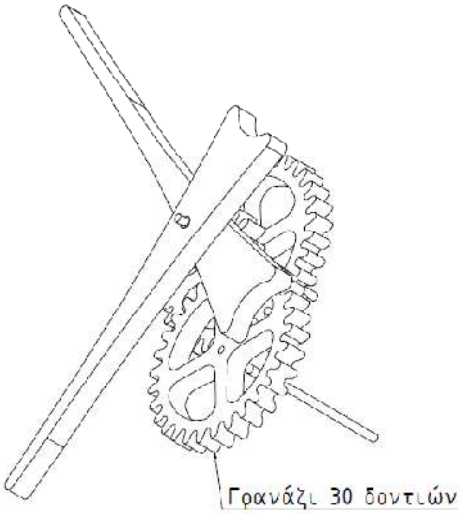
Εικόνα 7-1. Παξιμάδι ρύθμισης βάρους ακριβώς κάτω από τη σφαίρα

ΤΙ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΠΡΟΣΕΧΟΥΜΕ:

- Η ρύθμιση γίνεται με το ρολόι σταματημένο.
- Κατά τη διάρκεια της ρύθμισης είναι καλό να ανασηκώνουμε λίγο τη σφαίρα με το ένα χέρι.

7.3. Ρύθμιση ώρας

Για τη ρύθμιση της ώρας χρησιμοποιούμε το γρανάζι κάτω από τους δείκτες και όχι τους ίδιους τους δείκτες (τουλάχιστον όχι τον δείκτη των ωρών). Πιάνουμε το γρανάζι των 30 δοντιών και το περιστρέφουμε και οι δείκτες γυρίζουν μαζί, διατηρώντας τη μεταξύ τους σχέση.



Εικόνα 7-2. Το γρανάζι των 30 δοντιών που χρησιμοποιείται για τη ρύθμιση της ώρας

.**ΤΙ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΠΡΟΣΕΧΟΥΜΕ**:

- Η ρύθμιση γίνεται με το ρολόι σταματημένο.

7.4. Ρύθμιση μηχανισμού διαφυγής

Όταν το ρολόι είναι σε λειτουργία θα πρέπει οι χρόνοι ανάμεσα στους χτύπους του ρολογιού να είναι ίσοι, όσο αυτό είναι δυνατό. Μετά από τη μετακίνηση του ρολογιού, απότομο κούρδισμα ή άμεση παρέμβαση στο μηχανισμό διαφυγής μπορεί να τον ξερυθμίσει. Στη καλύτερη περίπτωση το ρολόι θα λειτουργεί αλλά οι χτύποι θα είναι άτακτοι. Στη χειρότερη περίπτωση το ρολόι δε θα δουλεύει.

Αυτό συμβαίνει γιατί η σχετική θέση των δυο εξαρτημάτων της **εικόνας 7-3** αλλάζει. Αν και τα εξαρτήματα κρατούνται στη θέση τους από τα παξιμάδια είναι δυνατή κάποια ελάχιστη περιστροφή αν αυτά τα εξαρτήματα καταπονηθούν..

Εικόνα 7-3. Τα δυο εξαρτήματα των οποίων η σχετική θέση επηρεάζει το χρόνο μεταξύ των χτύπων.

Για τη διόρθωση μιας τέτοιας δυσλειτουργίας πρέπει να αλλάξουμε ελαφρώς τη σχετική θέση των δυο εξαρτημάτων. Με το ένα χέρι κρατάμε σταθερό τον βραχίονα και με το άλλο περιστρέφουμε ελαφρά το άλλο εξάρτημα. Δοκιμάζουμε τη λειτουργία και επεμβαίνουμε πάλι αν είναι απαραίτητο.

Περιστρέφουμε προς τα αριστερά όταν η κατάσταση μπλοκαρίσματος διαρκεί περισσότερο από τη κατάσταση οδήγησης. (βλ. παρ. 1.3)

Περιστρέφουμε προς τα δεξιά όταν η κατάσταση οδήγησης διαρκεί περισσότερο από τη κατάσταση μπλοκαρίσματος. (βλ. παρ. 1.3)

ΤΙ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΠΡΟΣΕΧΟΥΜΕ:

- Η ρύθμιση γίνεται με το ρολόι σταματημένο.
- Η σχετική περιστροφή πρέπει να είναι ελάχιστη. Τόσο που δεν είμαστε καν σίγουροι αν περιστράφηκε.
- Ελέγχουμε αν τα παξιμάδια είναι σφιγμένα καλά.

7.5. Μετακίνηση και επαναλειτουργία

Η μετακίνηση της κατασκευής μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στη λειτουργία της γι' αυτό πρέπει να γίνεται (αν είναι απαραίτητη) με μεγάλη προσοχή. Πρέπει να προσέχουμε τα εξής:

- Σταματάμε το ρολόι και αφαιρούμε το βάρος που δίνει κίνηση

- Απομπλέκουμε το μηχανισμό διαφυγής από το εκκρεμές, βγάζοντας το μικρό ξύλινο πίρο από το εκκρεμές.
- Αν η μετακίνηση είναι μεγάλη αφαιρούμε το βάρος στο κάτω μέρος του εκκρεμούς. Αυτό σημαίνει ότι όταν το ρολόι τοποθετηθεί ξανά πρέπει πάλι να ρυθμίσουμε το χρόνο του εκκρεμούς (βλ παρ. 7.2).
- Αφαιρούμε το χερούλι κουρδίσματος χωρίζοντας τα δυο κομμάτια που το αποτελούν και τα επανατοποθετούμε στο εσωτερικό του σκελετού για να σταθεροποιήσουμε το εκκρεμές..

Αφού το ρολόι μετακινηθεί ακολουθούμε τα παρακάτω βήματα για να μπει ξανά σε λειτουργία.

- Σιγουρευόμαστε ότι στη νέα θέση το ρολόι είναι σε επίπεδο δάπεδο.
- Απελευθερώνουμε το εκκρεμές και βάζουμε ξανά το χερούλι στη θέση του.
- Συνδέουμε ξανά το εκκρεμές με το μηχανισμό διαφυγής
- Τοποθετούμε το βάρος στη θέση του.
- Ρυθμίζουμε τους δείκτες στη τρέχουσα ώρα (βλ παρ. 7.3).
- Δίνουμε μια μικρή ώθηση στο εκκρεμές.

Σε περίπτωση δυσλειτουργίας ελέγχουμε μήπως ο μηχανισμός διαφυγής ξερυθμίστηκε (**βλ. παρ. 7.4**) ή κάποιο από τα νήματα έφυγαν από τη θέση τους.

7.6. Αποσυναρμολόγηση – Συναρμολόγηση

Η αποσυναρμολόγηση του ρολογιού πρέπει να αποφεύγεται. Έχει προβλεφθεί μόνο για λόγους συντήρησης (αν για παράδειγμα χρειαστεί αντικατάσταση κάποιου εξαρτήματος), αλλά η διαδικασία δεν είναι εύκολη. Αν κριθεί απολύτως απαραίτητη πρέπει να γίνει μετά από επικοινωνία μαζί μου. Η διαδικασίες αυτές πρέπει να γίνονται από δυο άτομα.

8. ΚΟΣΤΟΣ

Από το παρακάτω πίνακα υλικών μπορούμε να υπολογίσουμε το κόστος της πρωτότυπη κατασκευής.

Υλικό	**Διαστάσεις**	**Ποσότητα**	**Κόστος**
Ξυλόφυλλα σφένδαμου για κοντρα πλακέ	Περίπου 9m^2		80€
MDF	2200 X 700 X 16mm	8	80€
Παξιμάδια (DIN 466 & 467)		14	12€
Λάκα		1,5 κιλά	15€
Βερνίκι		1 κιλό	
Ρουλεμαν μικρά	13X5X4	10	25€
Ρουλεμαν μεγάλα	22X7X8	6	12€
Εξαρτήματα και εργασία για εκκρεμές			18€
Ντίζες και άξονες INOX			1€
		Σύνολο	243€

Ο υπολογισμός του κόστους των υλικών αφορά το πρωτότυπο. Η καλά προγραμματισμένη μαζική παραγωγή και η χοντρική προμήθεια υλικών και μεταλλικών εξαρτημάτων μπορούν να μειώσουν το κόστος αρκετά. Η χρήση έτοιμου κόντρα πλακέ αντί για το κόντρα πλακέ από καπλαμάδες που χρησιμοποιήθηκε, θα ήταν επίσης μια σημαντική μείωση κόστους. Ενδεχομένων να είναι απαραίτητη η αλλαγή του τρόπου παραγωγής ώστε να απαιτεί λιγότερες παρεμβάσεις και εργασία από ανθρώπους.

Σαν προϊόν ένα μηχανικό ρολόι από ξύλο είναι αρκετά εξεζητημένο. Για να αποφασίσει κάποιος να κατασκευάσει και να διαθέσει τέτοια προϊόντα πρέπει πρώτα να προσδιορίσει σε ποιους πελάτες απευθύνεται. Τα προϊόντα που διατίθενται στη παγκόσμια αγορά (βλ. Κεφ. 3) είναι περιορισμένα και δεν είναι έτοιμα προς χρήση, αλλά απαιτούν την συναρμολόγηση από τον πελάτη. Πολλά λοιπόν από τα προϊόντα απευθύνονται σε χομπίστες. Η στόχευση σε αυτή την ομάδα πελατών απαιτεί καλή τυποποίηση της παραγωγής ώστε να μπορούν να παραχθούν με ανταγωνιστικό κόστος.

Μια δεύτερη πιθανή αγορά, σαφώς πιο μικρή, είναι η διάθεση έτοιμων προς εγκατάσταση και λειτουργία ρολογιών, τυποποιημένων ή προσαρμοσμένων σχεδίων. Η αγορά αυτή είναι πιο μικρή γιατί δεν είναι εύκολη η αποστολή συναρμολογημένων ρολογιών στο εξωτερικό ούτε είναι δυνατή η παροχή υπηρεσιών εγκατάστασης. Η αγορά αυτή αποτελείται περισσότερο από ανθρώπου που θα εκτιμήσουν το αισθητικό αποτέλεσμα μιας τέτοιας κατασκευής αλλά δεν είναι διατεθειμένοι να το συναρμολογήσουν ή να γίνουν ειδικοί. Σε μια τέτοια αγορά δεν στοχεύουμε στην ελαχιστοποίηση του κόστους για λόγους ανταγωνισμού. Είναι σαφώς μικρότερη αλλά με μεγαλύτερα περιθώρια κέρδους. Ίσως βέβαια σε μια τέτοια προσπάθεια το μεγαλύτερο όφελος να είναι τα διαπιστευτήρια του σχεδιαστή και του κατασκευαστή.

9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το θέμα που επέλεξα για την εργασία μου αποδείχθηκε πιο περίπλοκο από ότι υπολόγιζα στην αρχή. Η συνολική διαδικασία του σχεδιασμού και κατασκευής αυτού του ρολογιού είχε πολλές αντιξοότητες και απρόοπτα. Στη πορεία προέκυψαν πολλές αλλαγές και προσαρμογές. Συστήματα, πέραν του βασικού μηχανισμού, απαιτούσαν πολλές ώρες σχεδιασμού και μελέτης και όλες οι εργασίες έπρεπε να γίνουν με ακρίβεια. Αναγκάστηκα να αναζητήσω λύσεις και να έρθω σε επαφή με επαγγελματίες για να βρω τα κατάλληλα υλικά και εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν.

Αν και η κατασκευή λειτουργεί, χρειάζεται λίγος χρόνος για να φανεί αν τα υλικά και οι μέθοδοι σύνδεσης και τοποθέτησης των εξαρτημάτων είναι ικανοποιητικά. Ως πρωτότυπο έδωσε χρήσιμα συμπεράσματα για βελτιώσεις που θα έπρεπε να γίνουν στο σχέδιο και στη διαδικασία παραγωγής. Για παράδειγμα θα έπρεπε να αλλάξει ο τρόπος συναρμογής των κομματιών (ειδικά στο επάνω μέρος) ώστε να είναι πιο εύκολη η συναρμολόγηση και αποσυναρμολόγηση. Επίσης κάποιο άλλο είδος CNC (πολυαξονικό Router ή Laser CNC) θα μπορούσε να βοηθήσει πολύ στη ταχύτητα και την ακρίβεια της παραγωγής.

Μπορεί να μην επιτεύχθηκε το τέλειο αλλά σε μια τέτοια προσπάθεια δεν είναι μόνο το αποτέλεσμα που σε ανταμείβει αλλά και όλη η διαδικασία που σου προσφέρει σημαντική εμπειρία.

10. ΒΙΒΛΙΟΓΑΦΙΑ

Όλες οι αναφορές είναι διαδικτυακές. Από τις ίδιες ιστοσελίδες προέρχονται και οι περισσότερες εικόνες των κεφαλαίων 1 και 2.

1) Πληροφορίες για την ιστορία των μηχανικών ρολογιών.

http://inventors.about.com/library/weekly/aa072801a.htm

http://en.wikipedia.org/wiki/Pendulum_clock

http://www.uh.edu/engines/epi1506.htm

http://en.wikipedia.org/wiki/Christiaan_Huygens

http://en.wikipedia.org/wiki/Shortt-Synchronome_clock

2) Πληροφορίες για τους μηχανισμούς διαφυγής

http://www.abbeyclock.com/escapement.html

http://en.wikipedia.org/wiki/Verge_escapement

http://en.wikipedia.org/wiki/Escapement

http://www.thefullwiki.org/Escapement

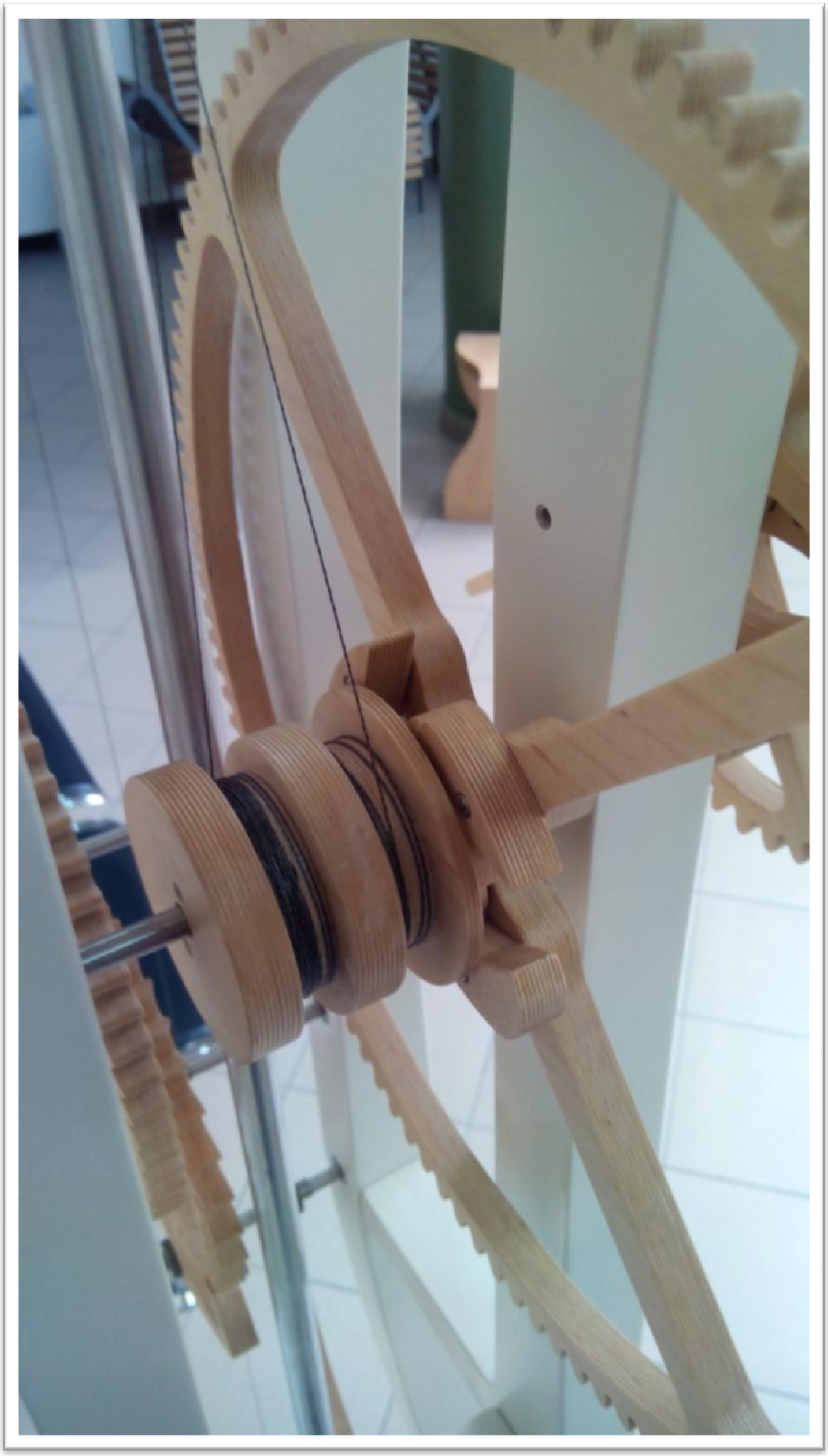
3) Πληροφορίες για το εκκρεμές στο μηχανικά ρολόγια

http://physiclessons.blogspot.gr/2013/04/blog-post_12.html

http://www.thefullwiki.org/Pendulum

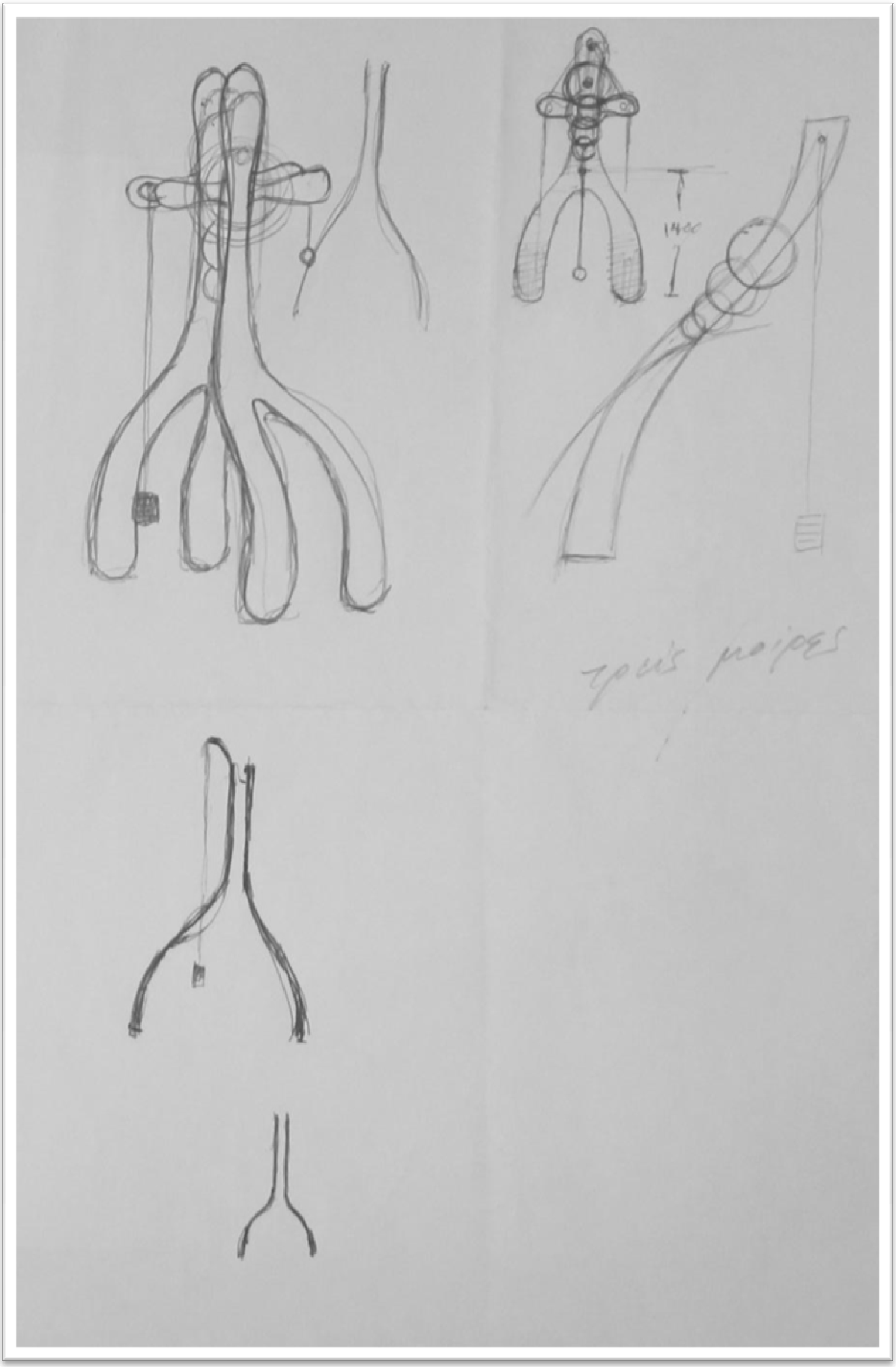
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α’

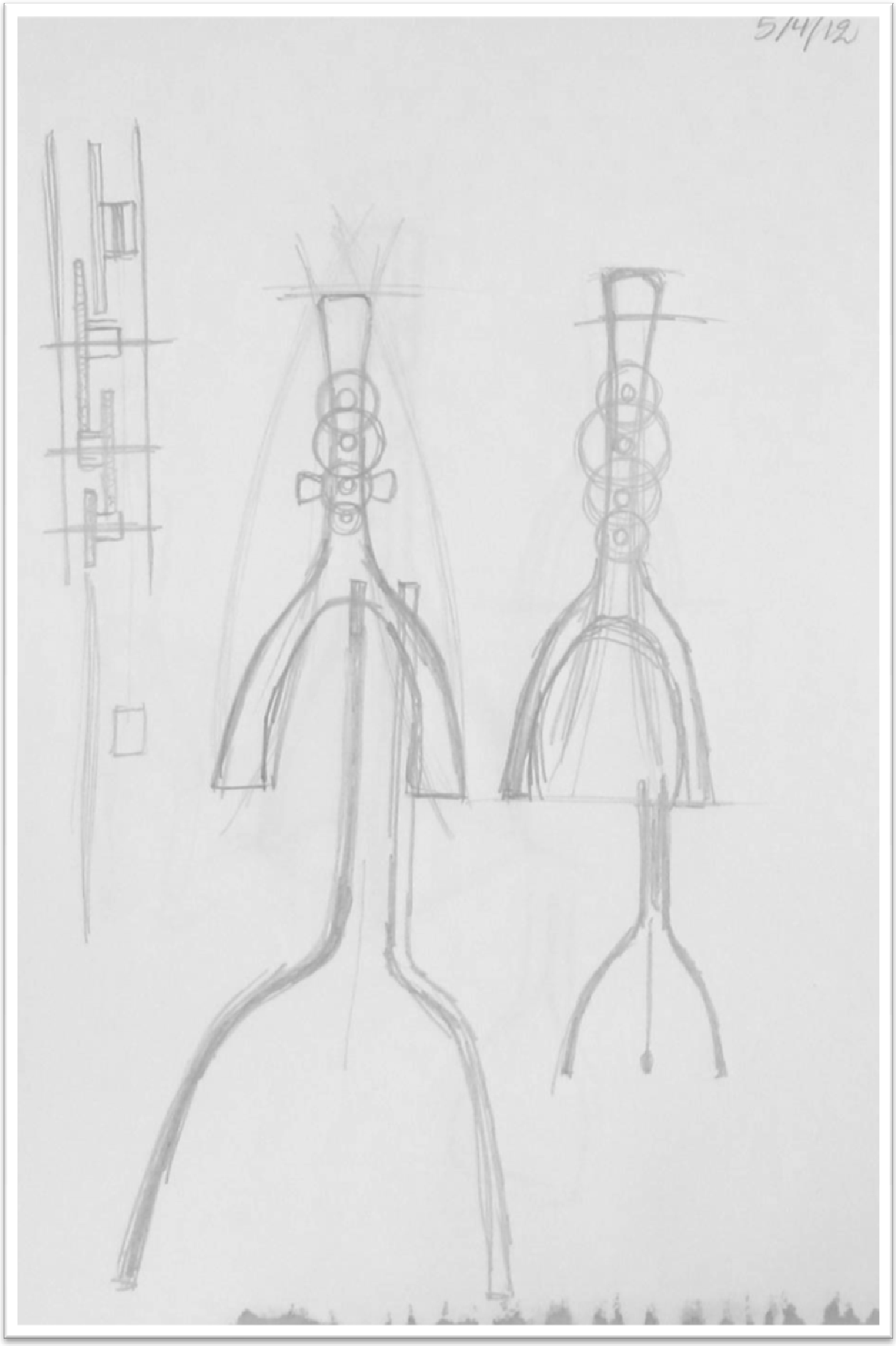
Φωτογραφίες τελικής κατασκευής

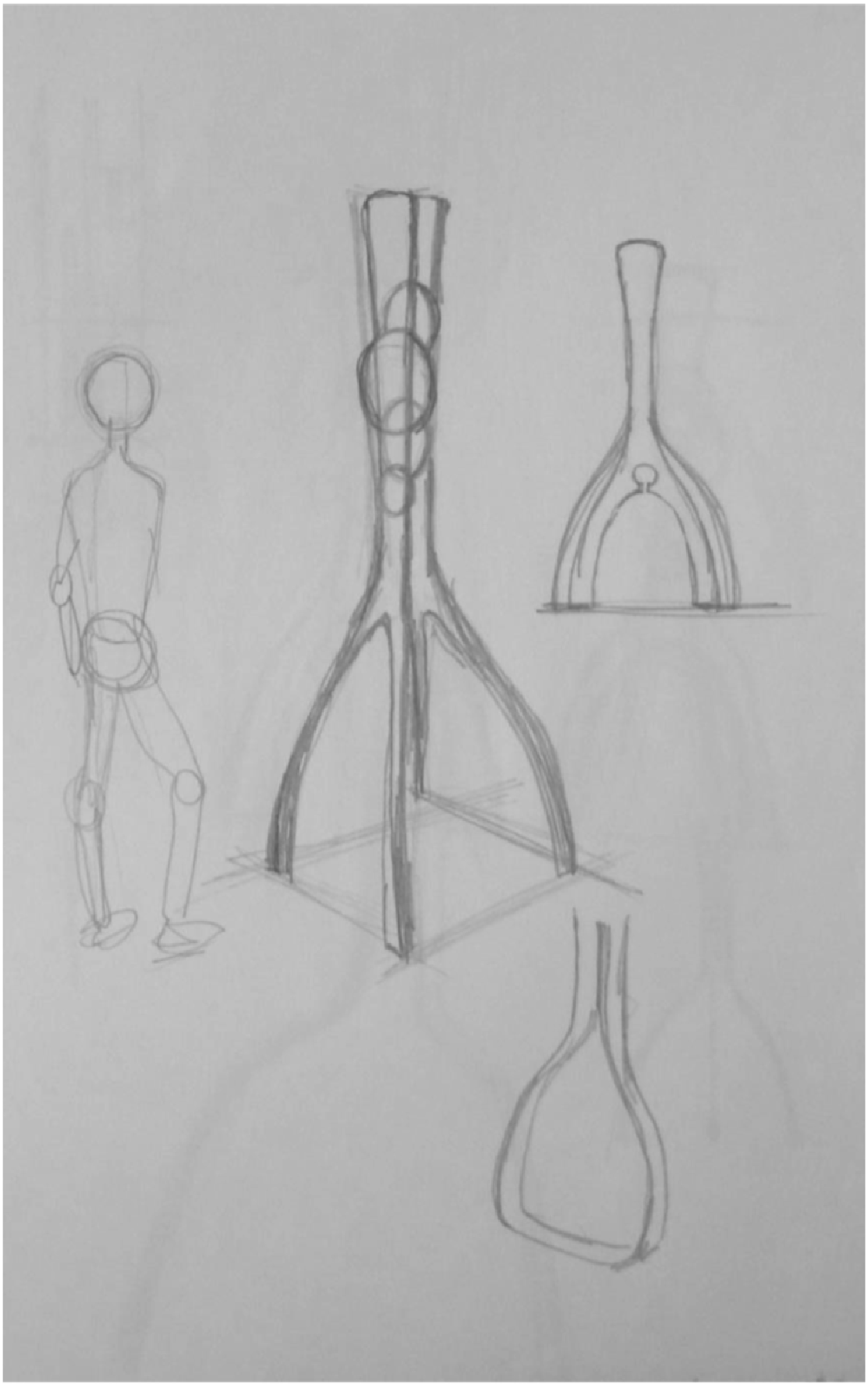


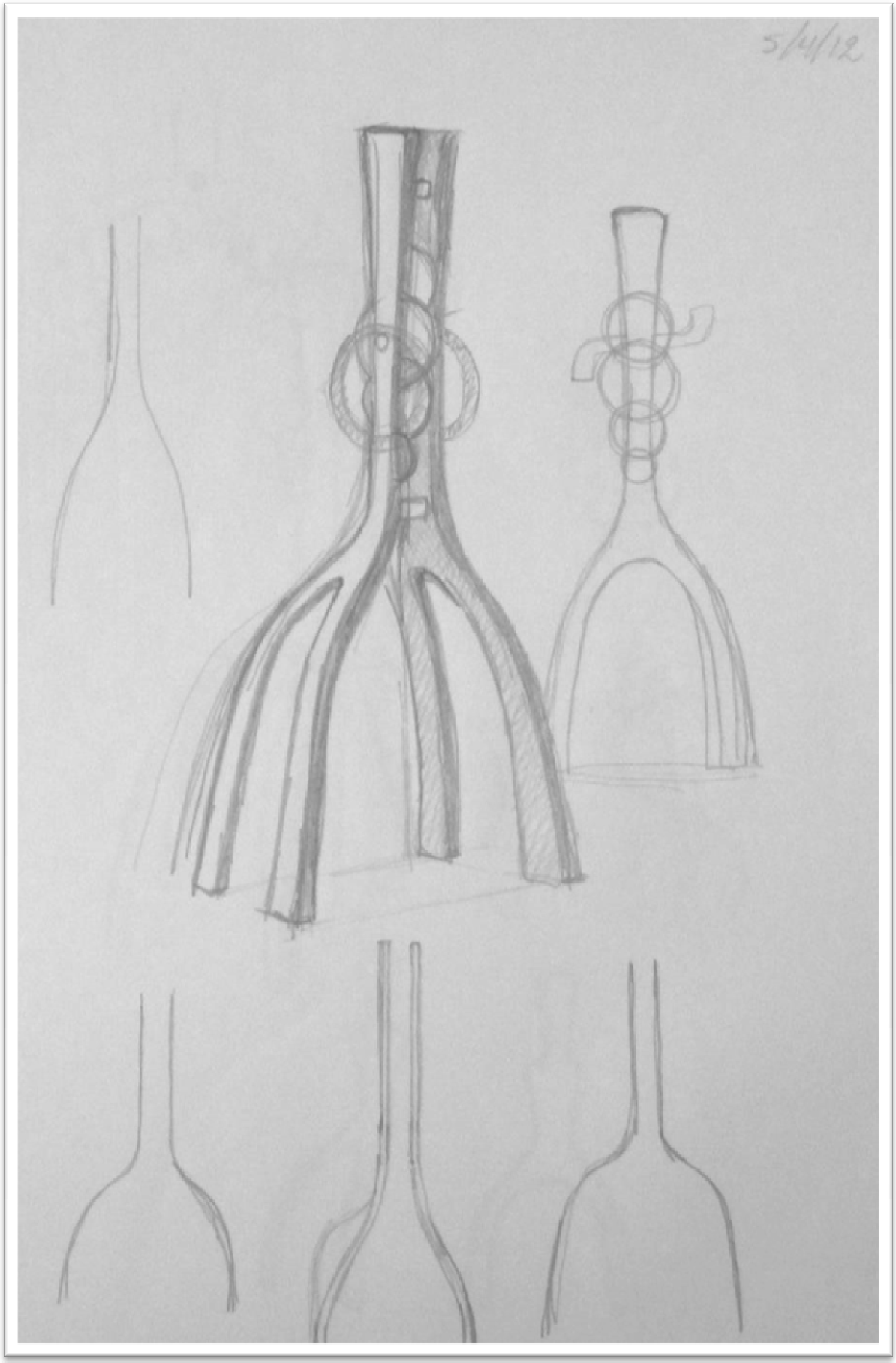
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β’

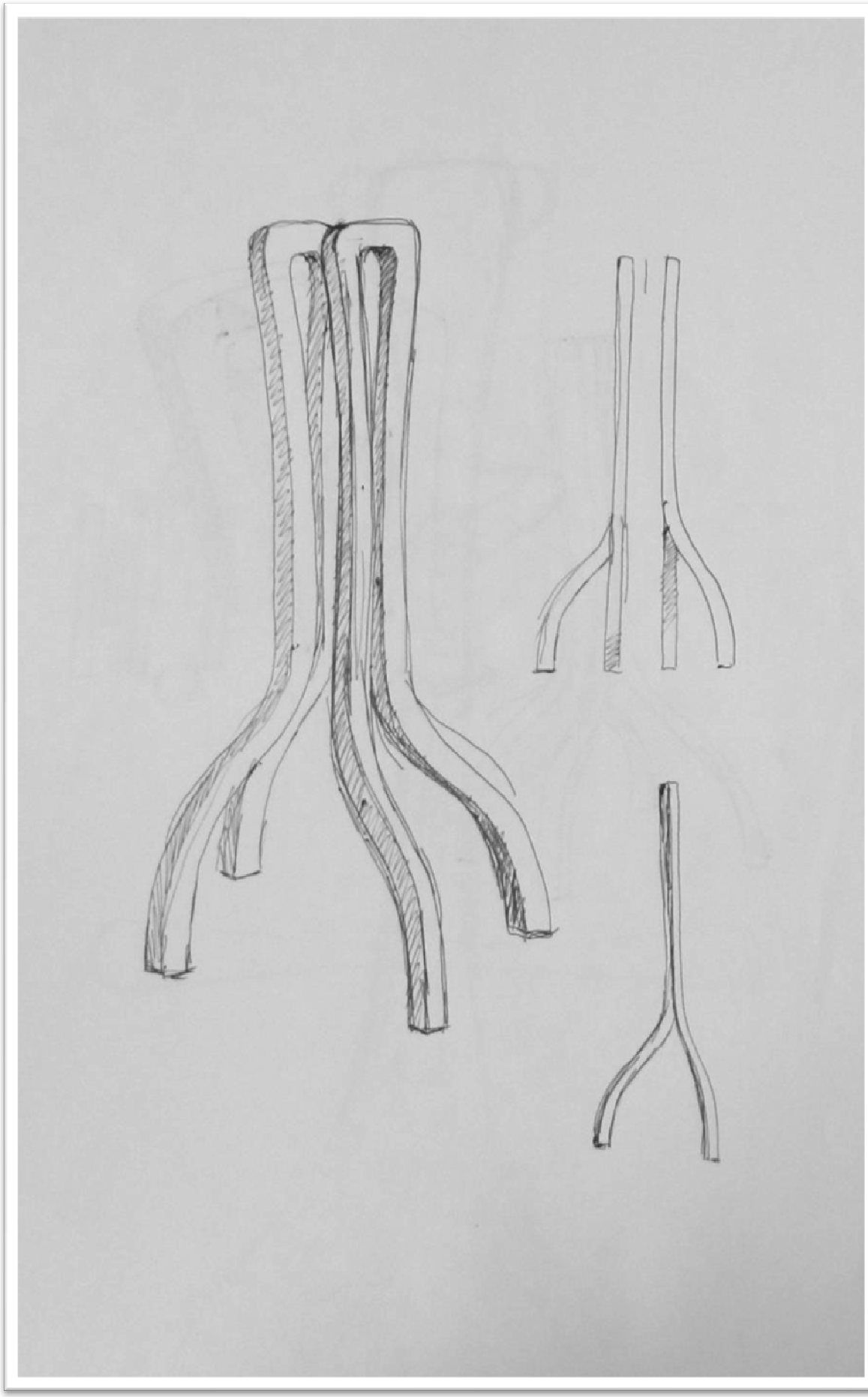
Σκίτσα από τη μελέτη του ρολογιού

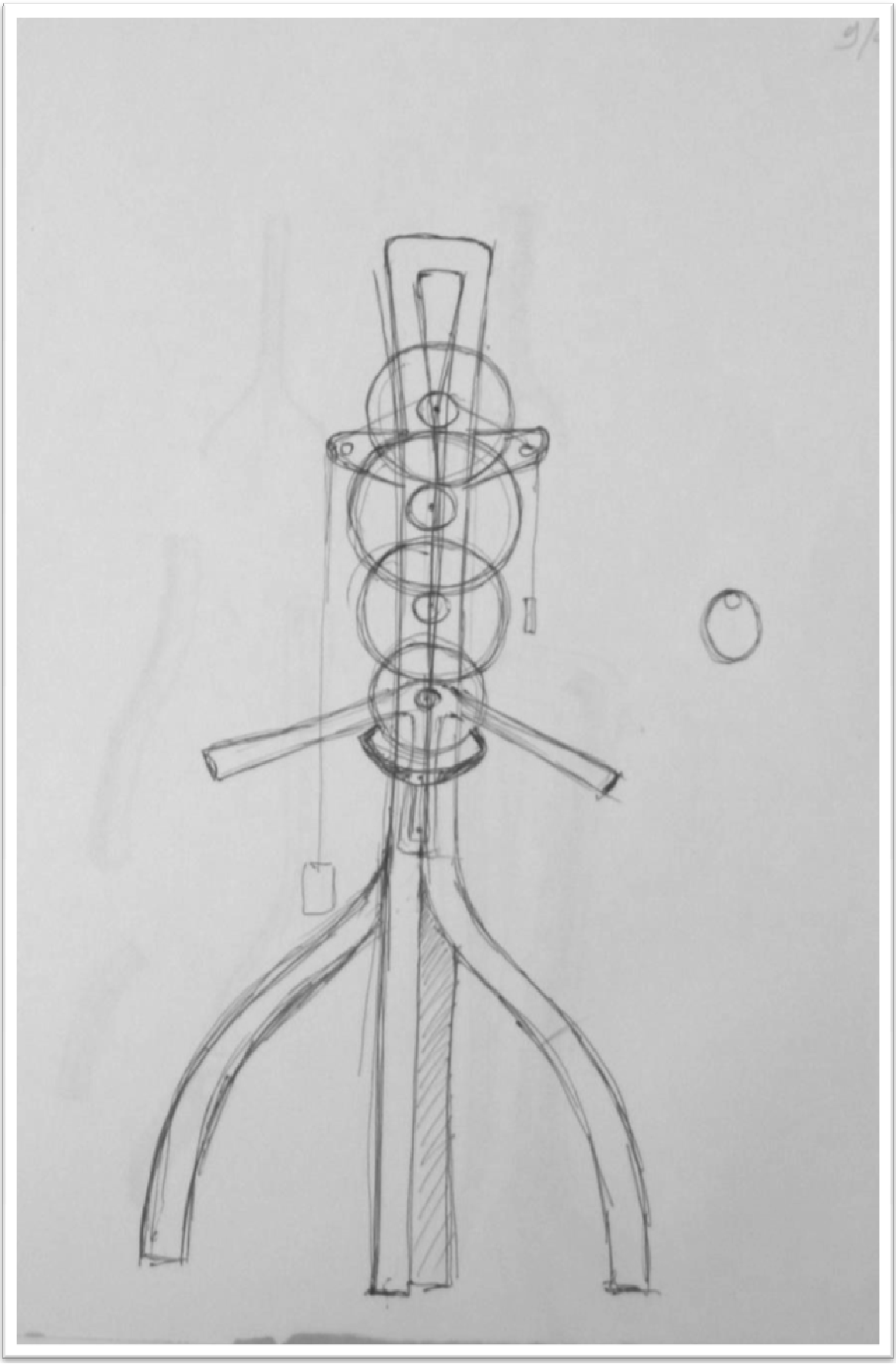

14cc
trois pieds

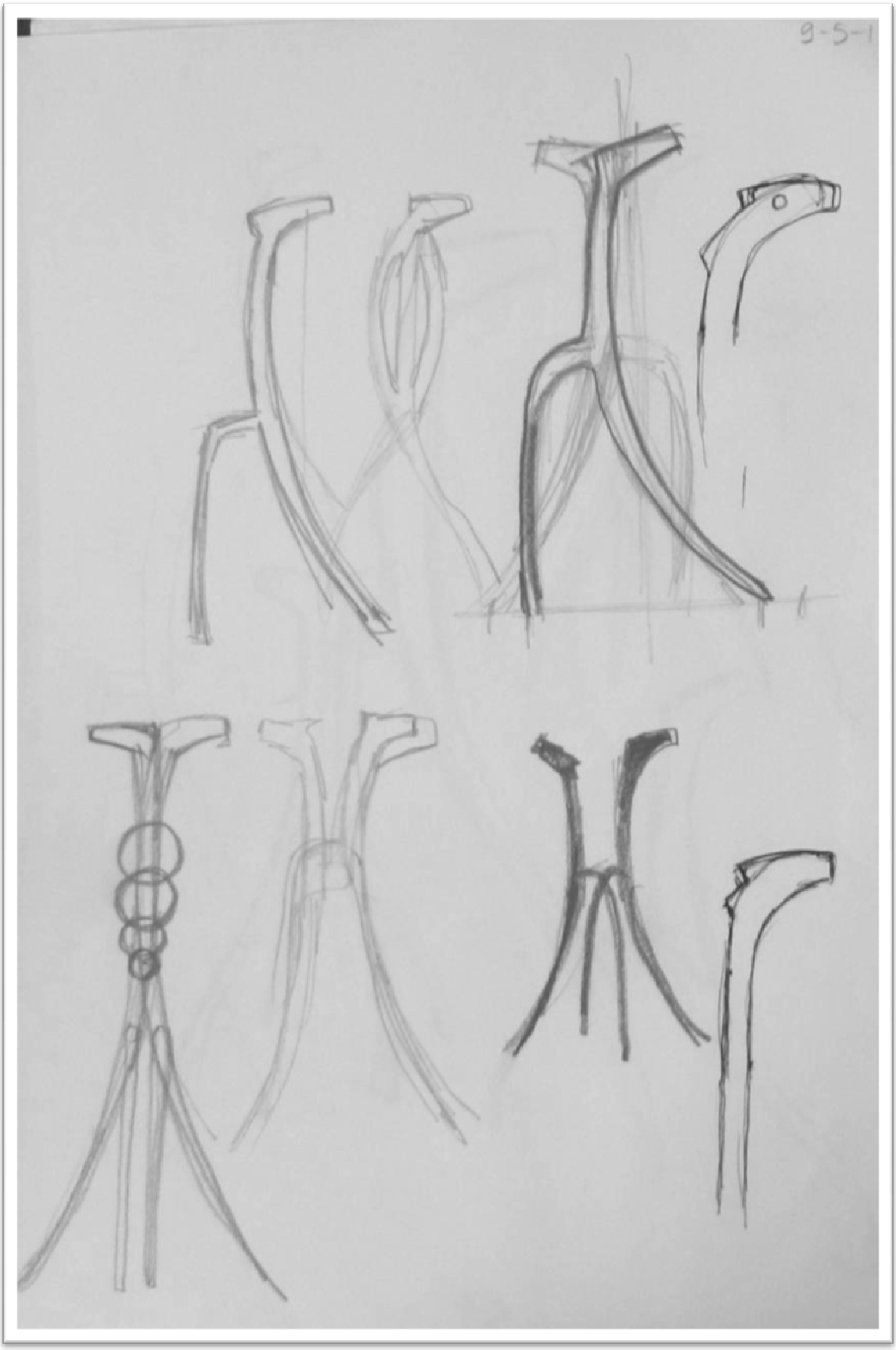

5/4/12



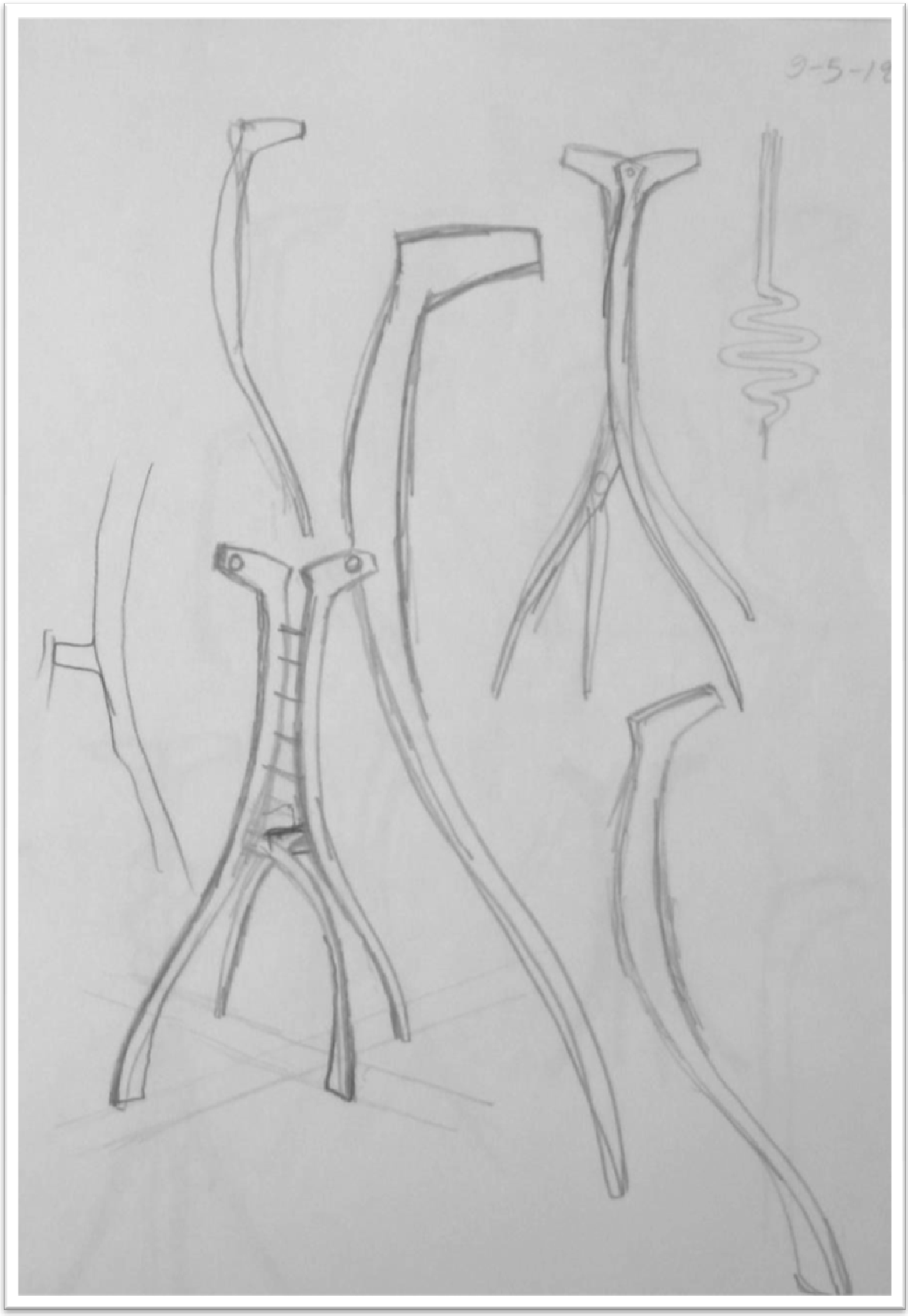

5/4/12

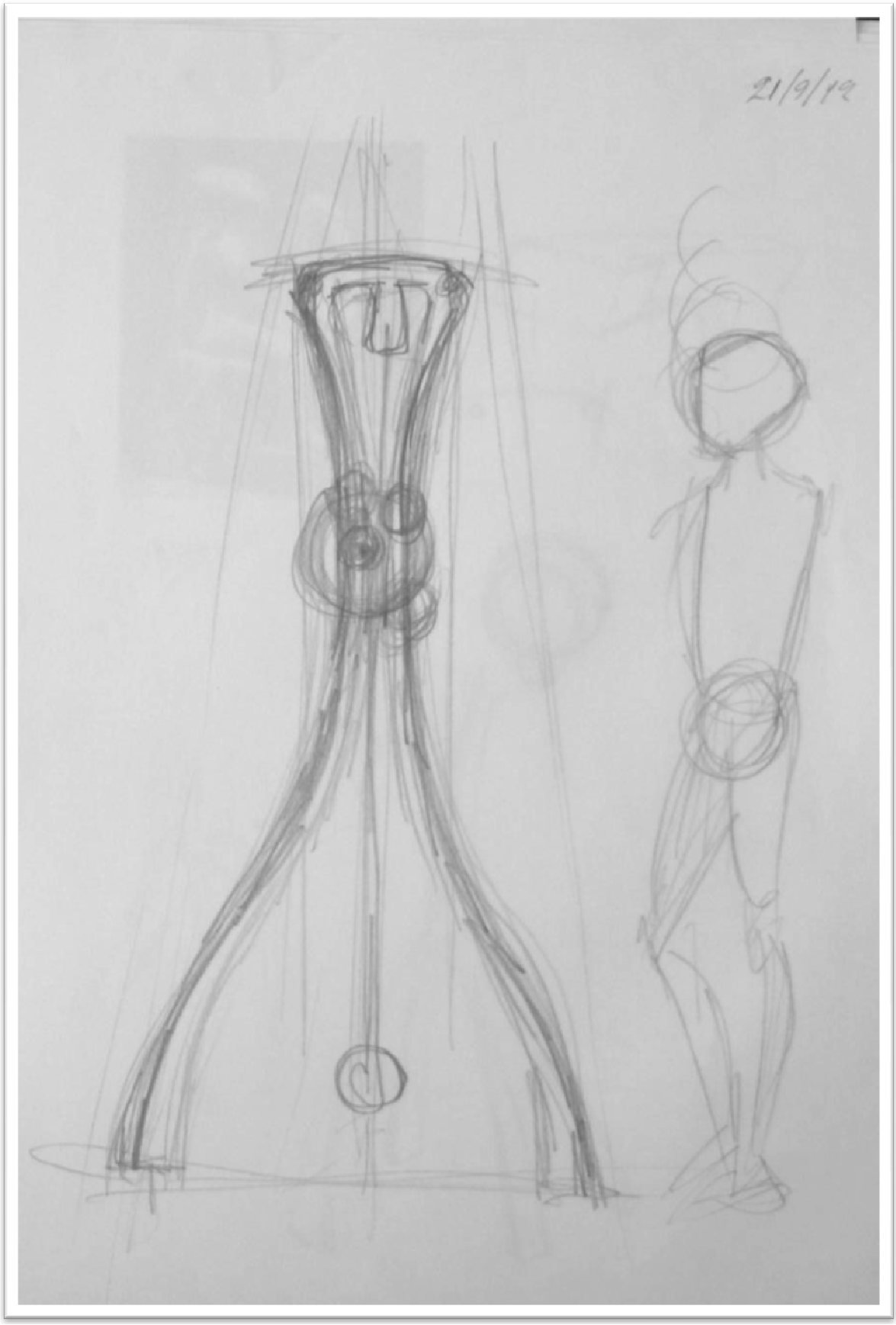




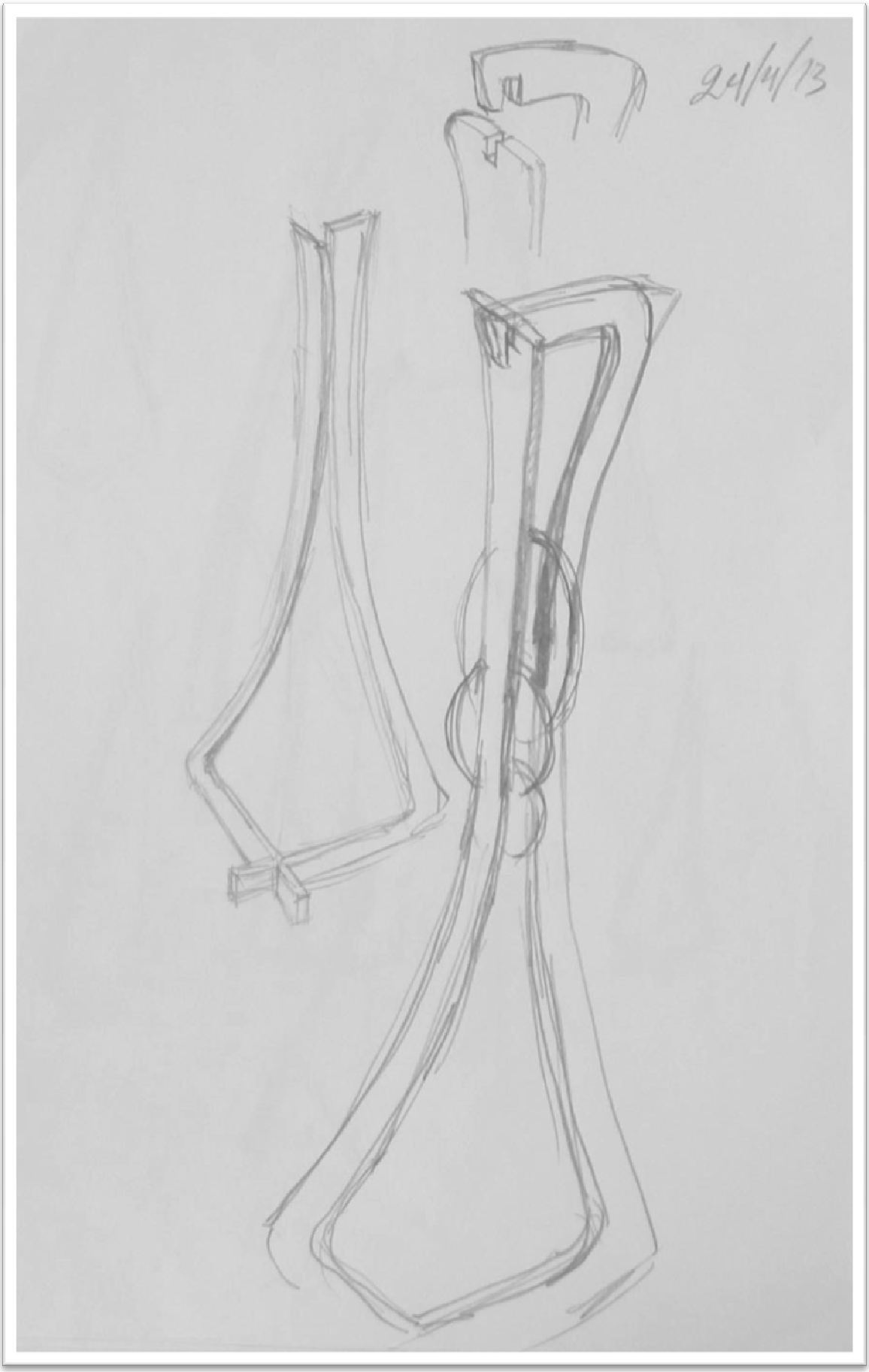

9-5-1

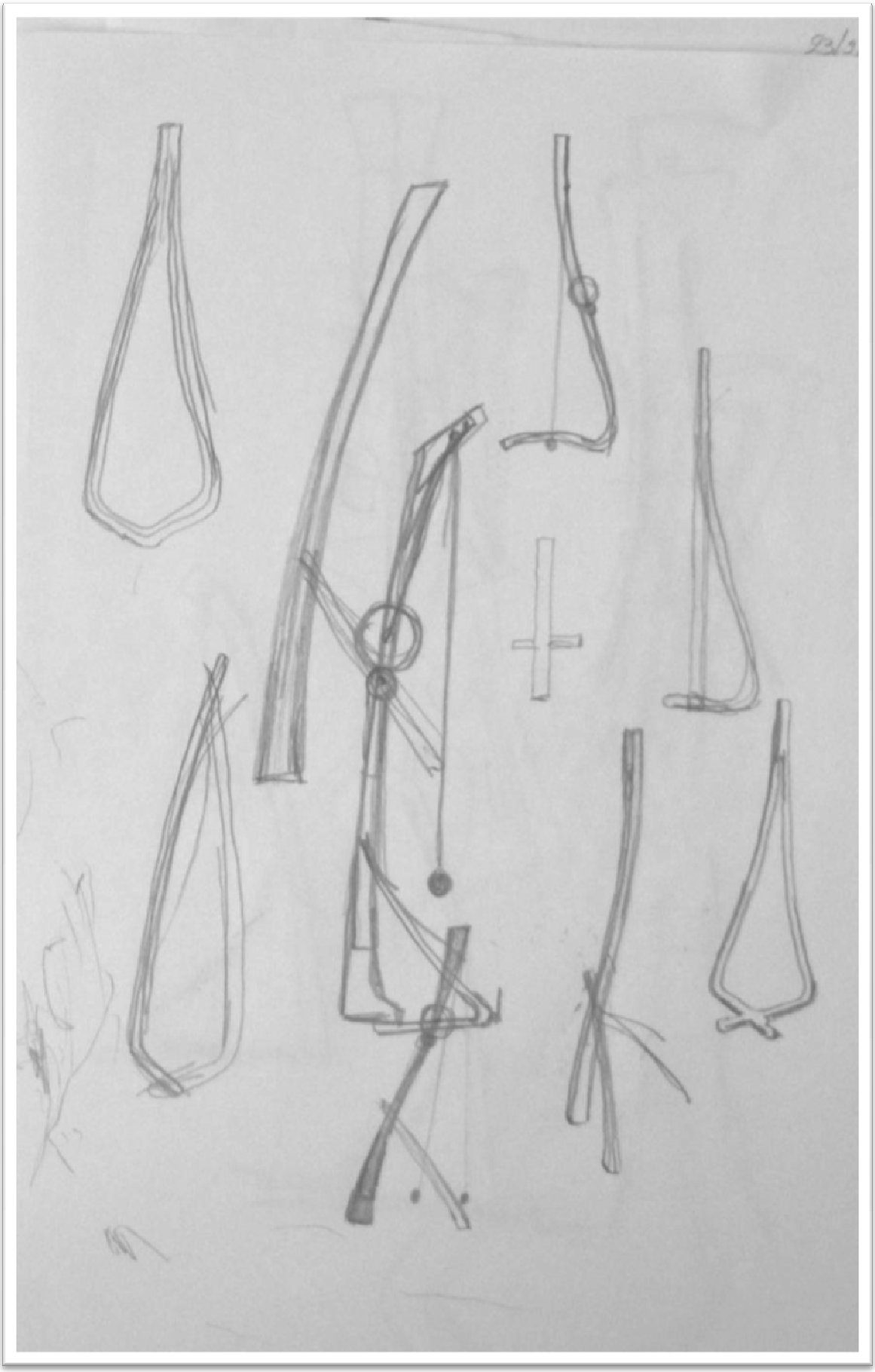
3-5-12

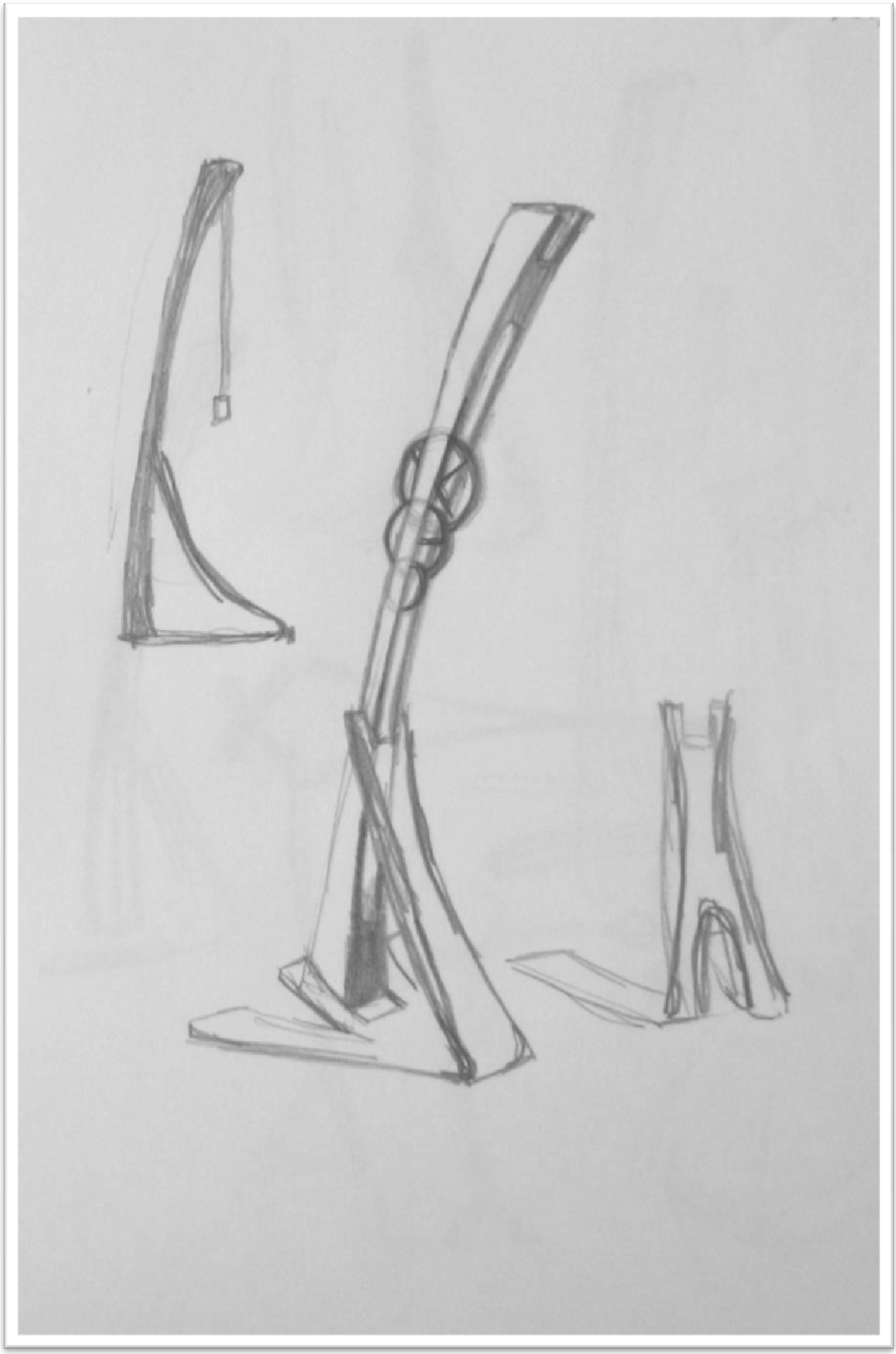

9-5-19

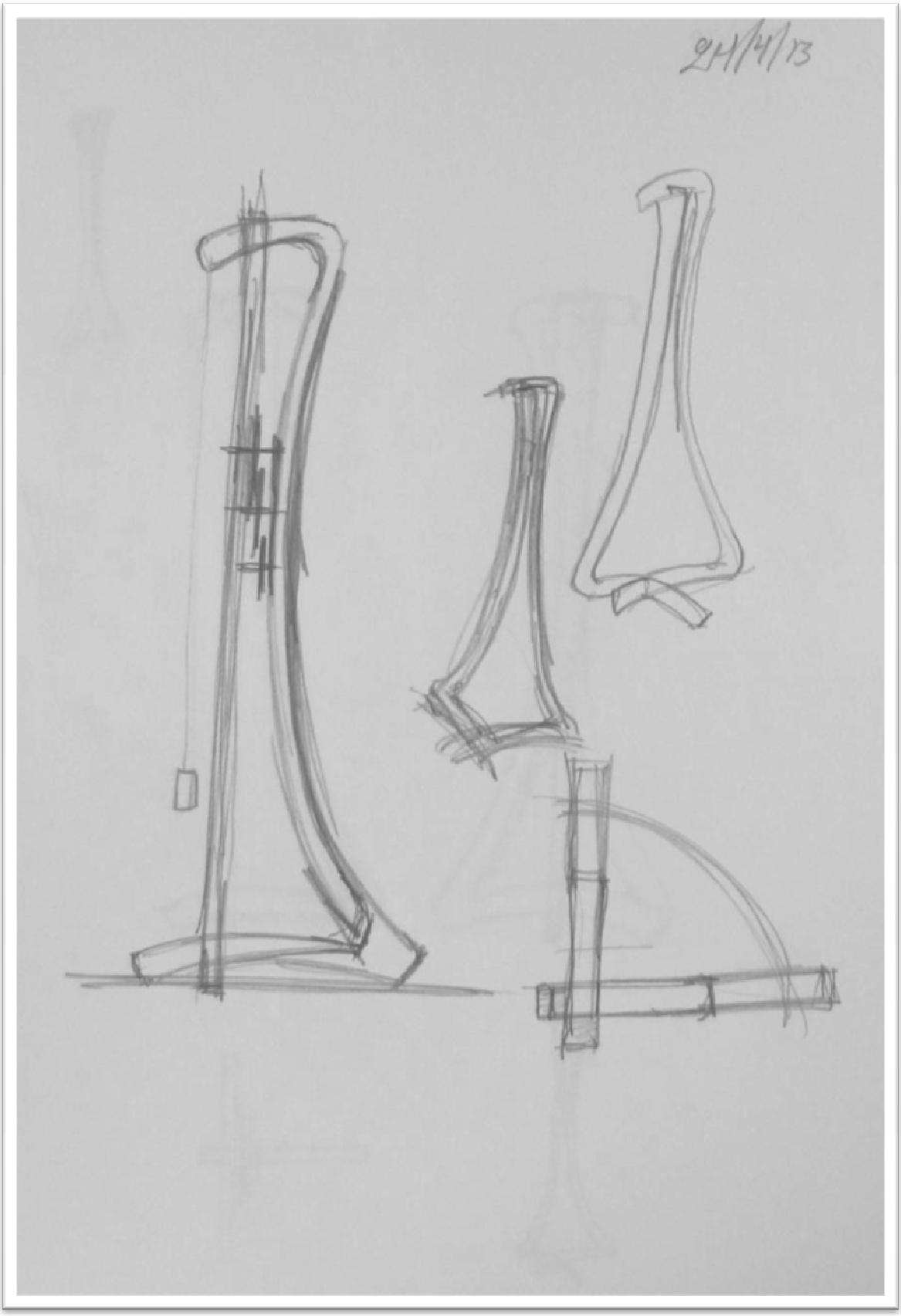

21/9/19

21/6/26


24/4/13

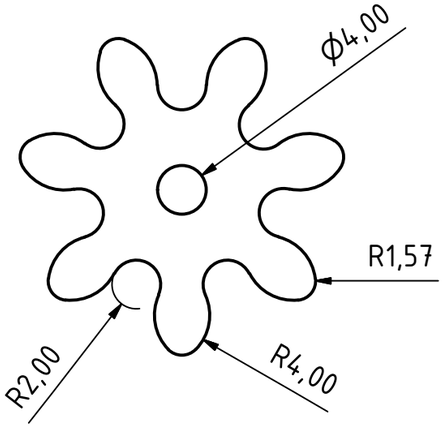


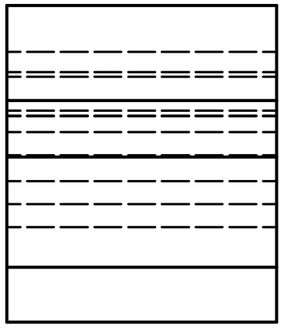


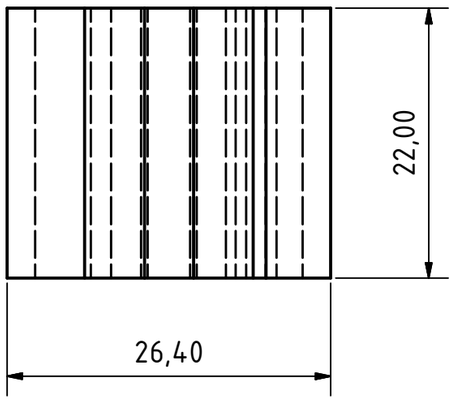

24/4/13

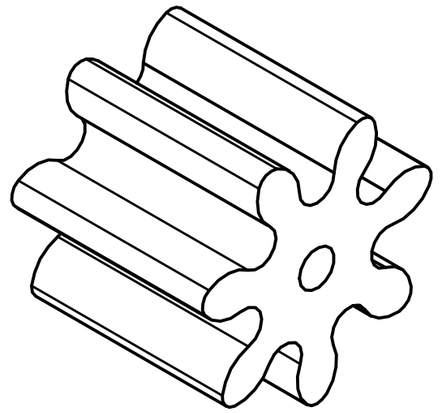
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ’

Τεχνικά σχέδια των βασικών εξαρτημάτων

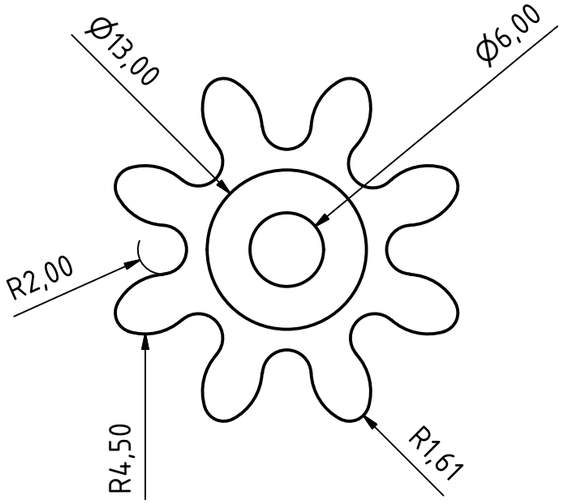


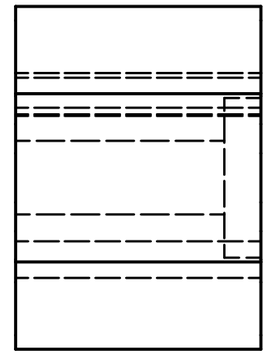


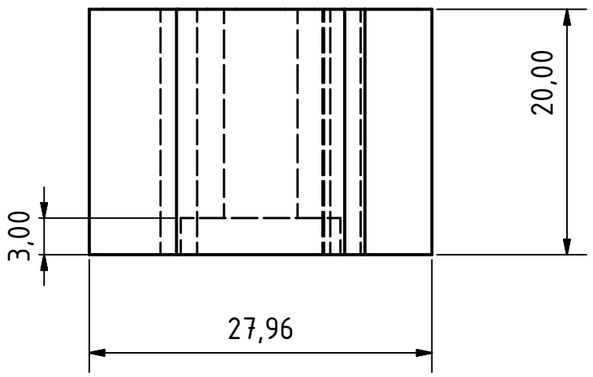


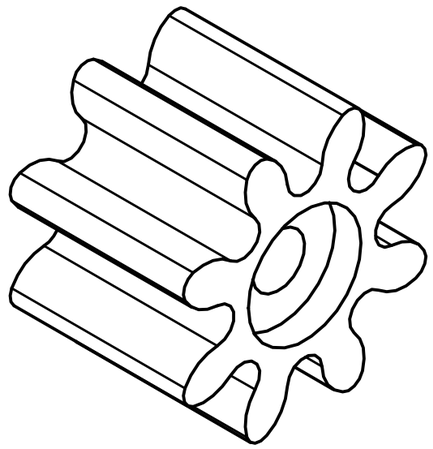


Τμήμα	Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου
Μάθημα	Πτυχιακή Εργασία
Θέμα	Ξύλινο μηχανικό ρολόι με εκκρεμές
Περιγραφή	Γρανάζι 7 δοντιών
Επιβλέπων	Λαμπούδης Δημήτριος
Σχεδιαστής	Βλάχος Στέφανος
Αρ. Σχεδίου	1
Κλίμακα	2:1
Ημερομηνία	29-9-2014

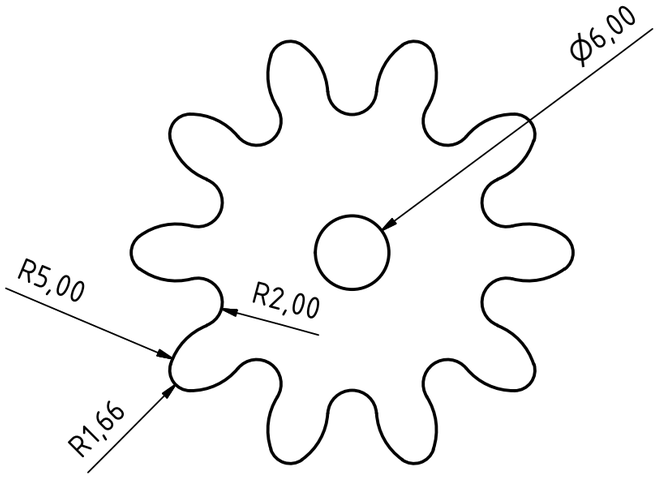


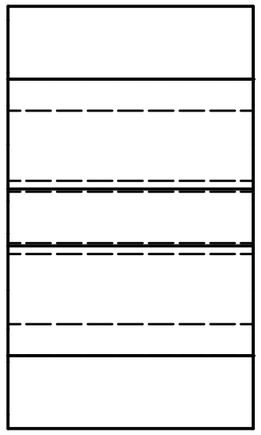


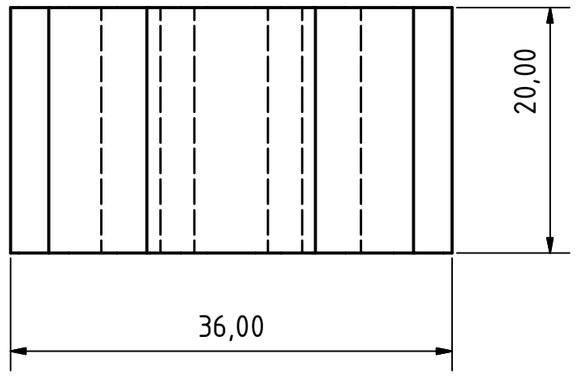


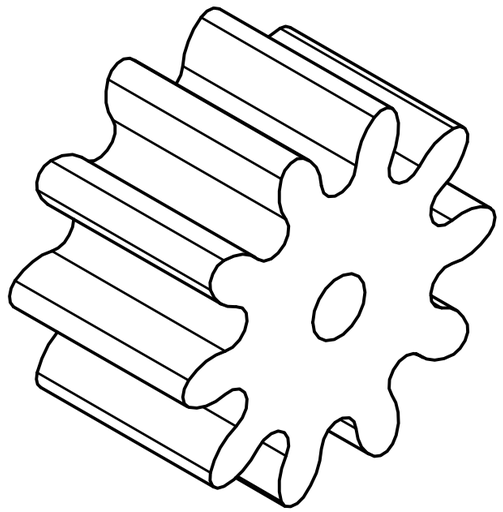


Τμήμα	Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου
Μάθημα	Πτυχιακή Εργασία
Θέμα	Ξύλινο μηχανικό ρολόι με εκκρεμές
Περιγραφή	Γρανάζι 8 δοντιών
Επιβλέπων	Λαμπούδης Δημήτριος
Σχεδιαστής	Βλάχος Στέφανος
Αρ.	2
	2:1
	29-9-2014

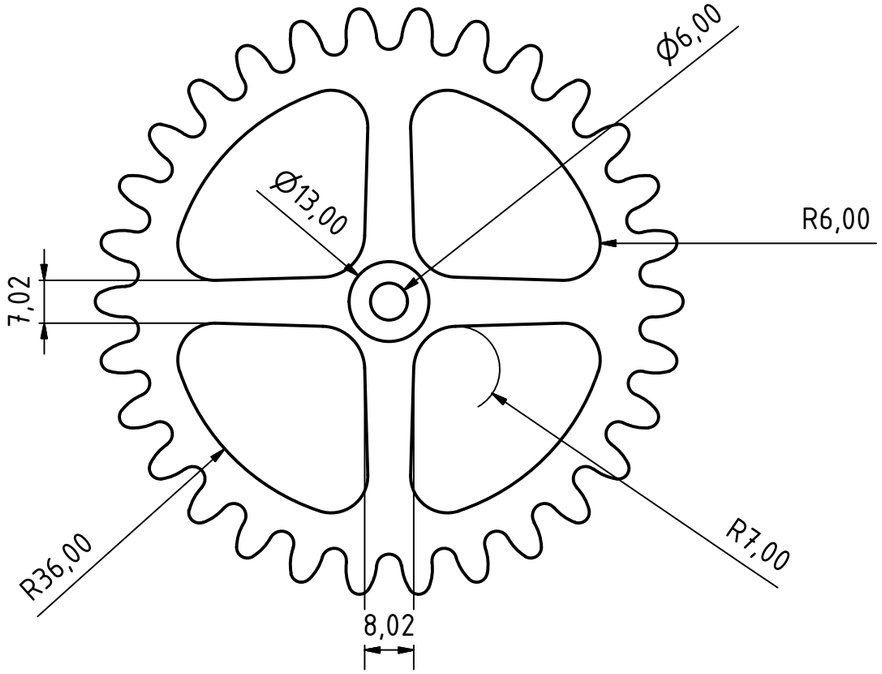


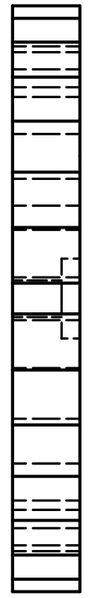


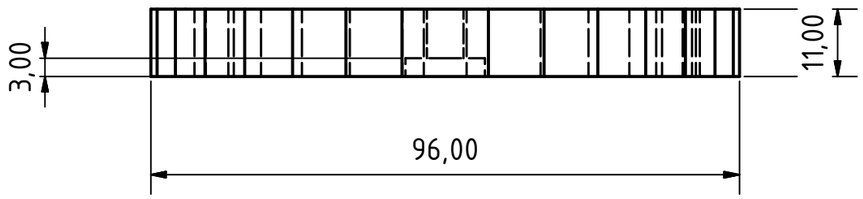


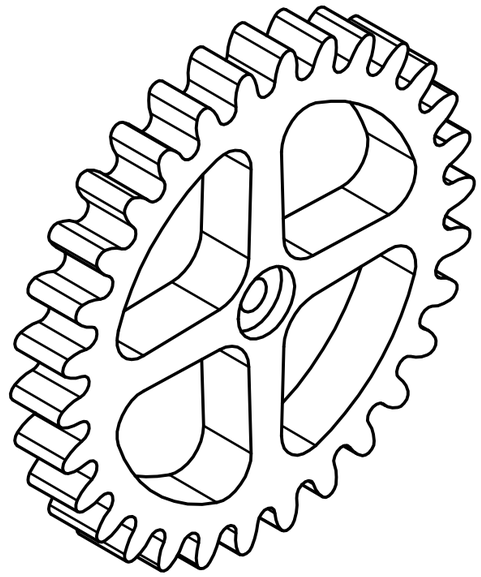


Τμήμα	Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου		
Μάθημα	Πτυχιακή Εργασία		
Θέμα	Ξύλινο μηχανικό ρολόι με εκκρεμές		
Περιγραφή	Γρανάζι 10 δοντιών		
Επιβλέπων	Λαμπούδης Δημήτριος	Σχεδιαστής	Βλάχος Στέφανος
Αρ. Σχεδίου	3	Κλίμακα 2:1	Ημερομηνία 29-9-2014

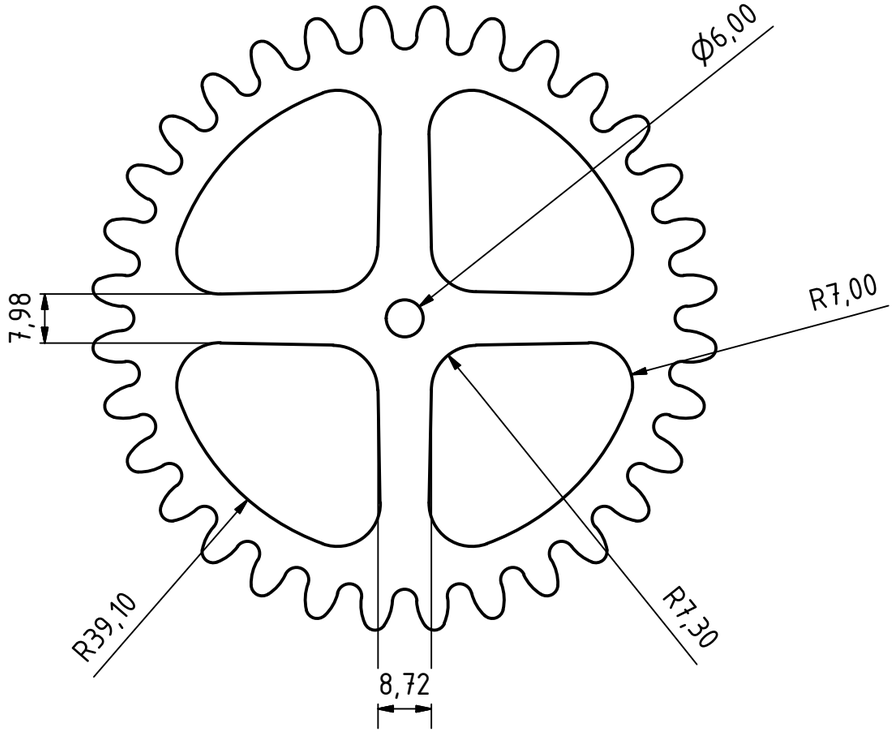


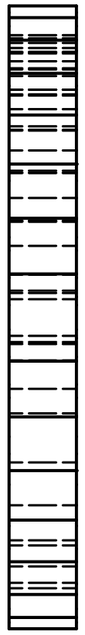


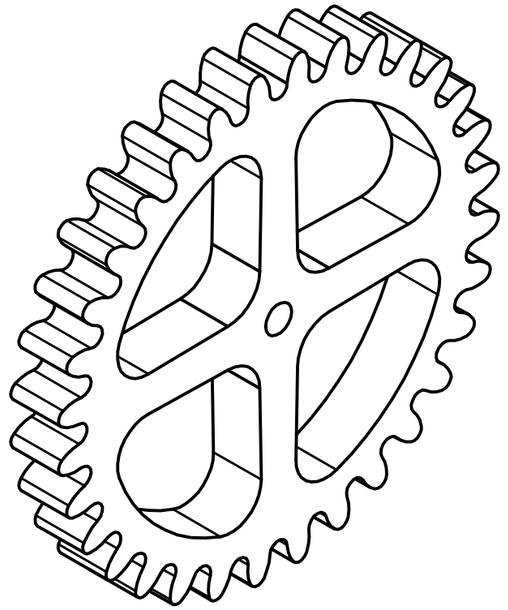


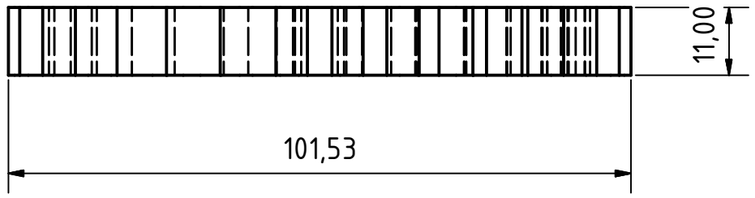


Τμήμα	Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου		
Μάθημα	Πτυχιακή Εργασία		
Θέμα	Ξύλινο μηχανικό ρολόι με εκκρεμές		
Περιγραφή	Γρανάζι 30 δοντιών		
Επιβλέπων	Λαμπούδης Δημήτριος	Σχεδιαστής	Βλάχος Στέφανος
Αρ. Σχεδίου	4	Κλίμακα 1:1	Ημερομηνία 29-9-2014

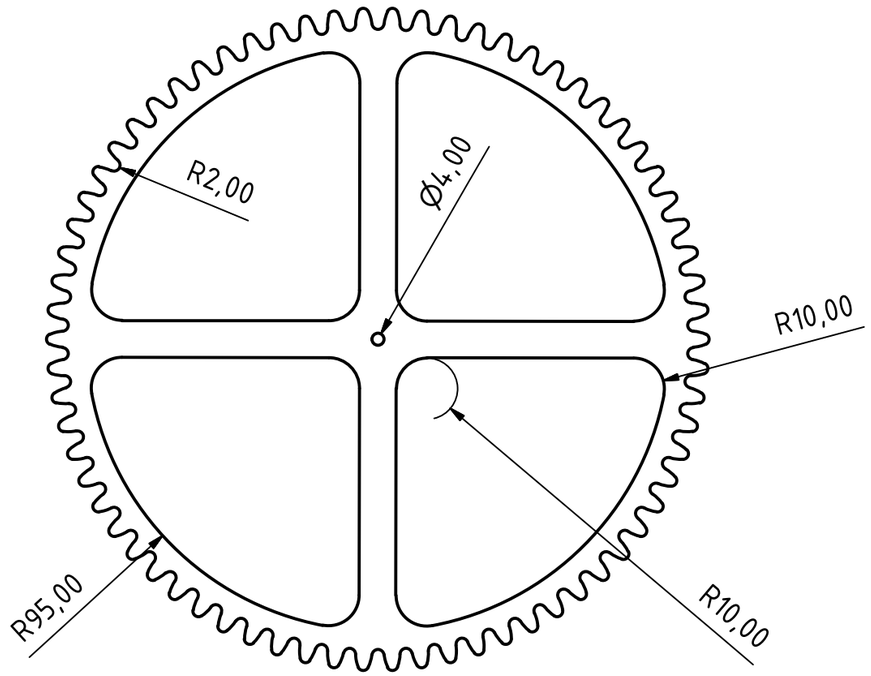


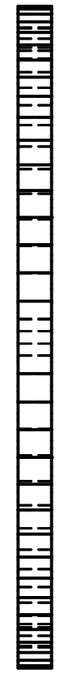


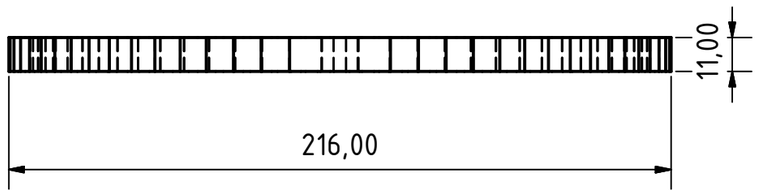


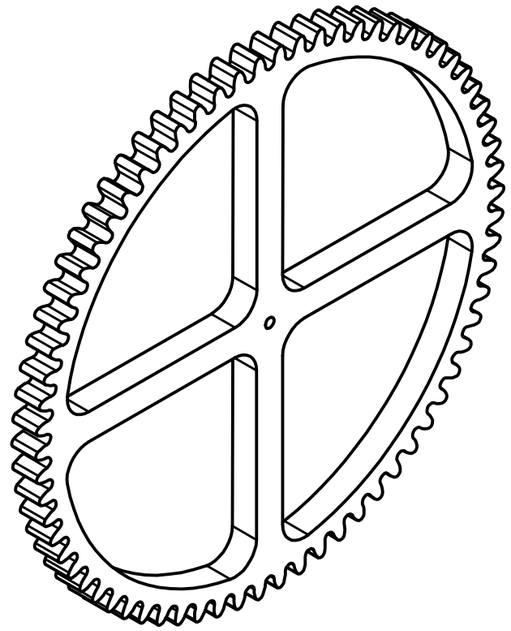


Τμήμα	Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου
Μάθημα	Πτυχιακή Εργασία
Θέμα	Ξύλινο μηχανικό ρολόι με εκκρεμές
Περιγραφή	Γρανάζι 32 δοντιών
Επιβλέπων	Λαμπούδης Δημήτριος
Σχεδιαστής	Βλάχος Στέφανος
Αρ. Σχεδίου	5
Κλίμακα	1:1
Ημερομηνία	29-9-2014

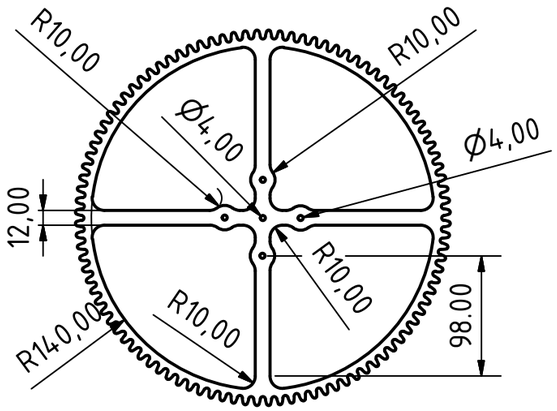


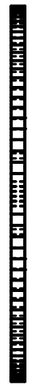


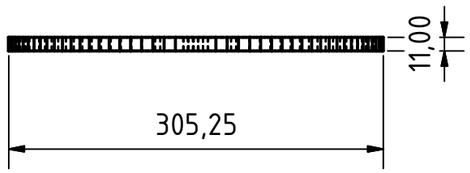


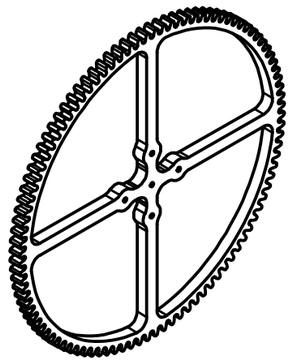


Τμήμα	Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου		
Μάθημα	Πτυχιακή Εργασία		
Θέμα	Ξύλινο μηχανικό ρολόι με εκκρεμές		
Περιγραφή	Γρανάζι 70 δοντιών		
Επιβλέπων	Λαμπούδης Δημήτριος	Σχεδιαστής	Βλάχος Στέφανος
Αρ. Σχεδίου	6	Κλίμακα 1:2	Ημερομηνία 29-9-2014

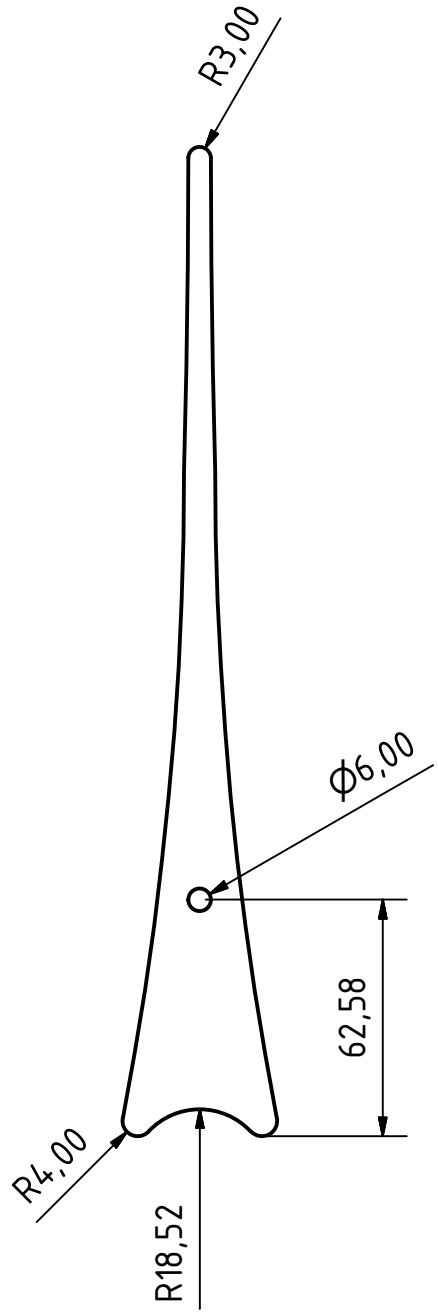


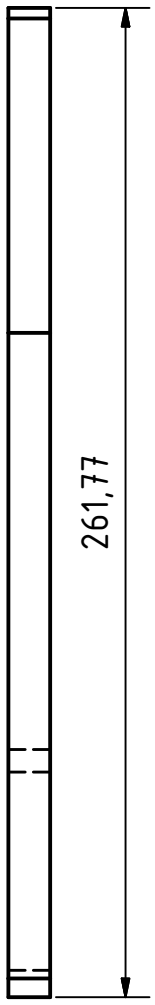


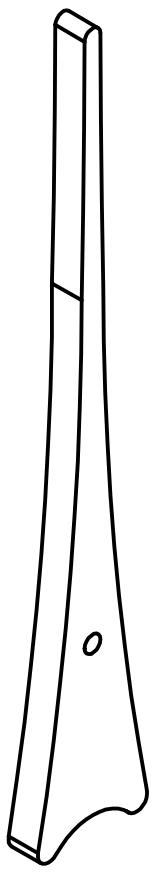




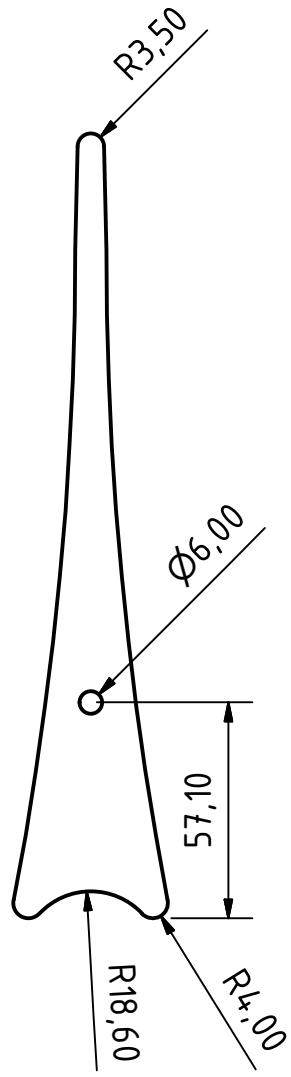
Τμήμα	Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου		
Μάθημα	Πτυχιακή Εργασία		
Θέμα	Ξύλινο μηχανικό ρολόι με εκκρεμές		
Περιγραφή	Γρανάζι 100 δοντιών		
Επιβλέπων	Λαμπούδης Δημήτριος	Σχεδιαστής	Βλάχος Στέφανος
Αρ. Σχεδίου	7	Κλίμακα 1:5	Ημερομηνία 29-9-2014

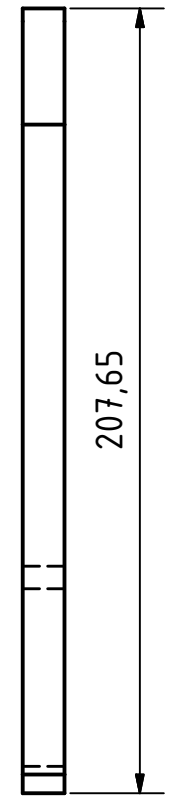


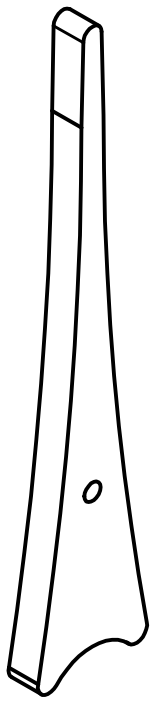




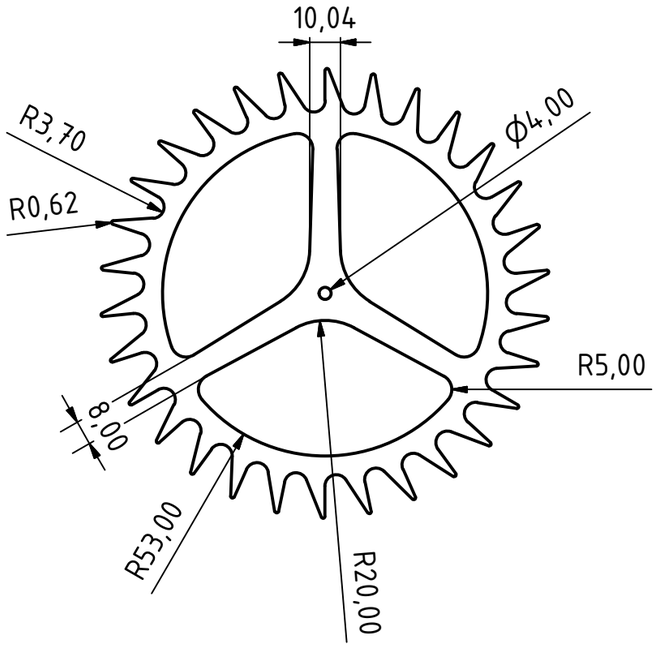
Τμήμα	Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου
Μάθημα	Πτυχιακή Εργασία
Θέμα	Ξύλινο μηχανικό ρολόι με εκκρεμές
Περιγραφή	Λεπτοδείκτης
Επιβλέπων	Λαμπούδης Δημήτριος
Σχεδιαστής	Βλάχος Στέφανος
Αρ. Σχεδίου	8
Κλίμακα	1:2
Ημερομηνία	29-9-2014

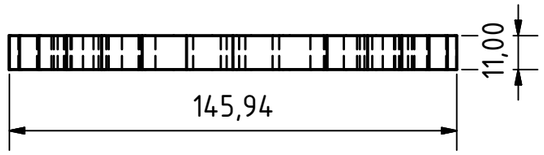


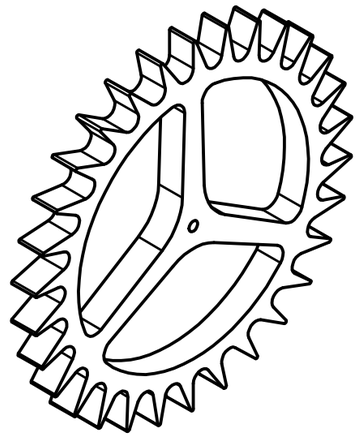




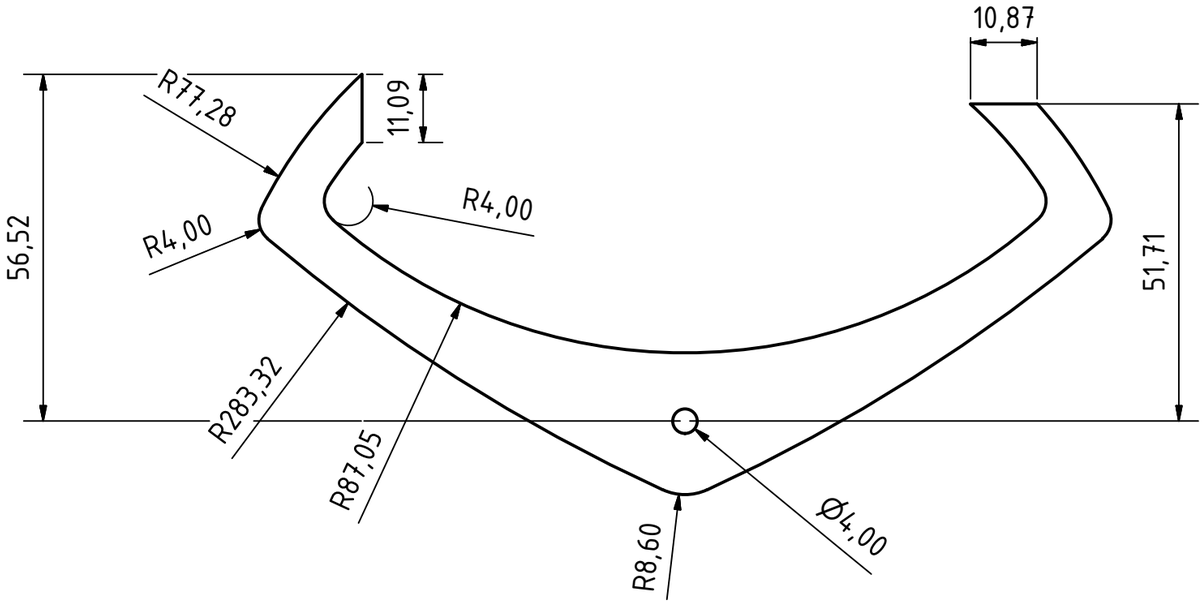
Τμήμα	Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου
Μάθημα	Πτυχιακή Εργασία
Θέμα	Ξύλινο μηχανικό ρολόι με εκκρεμές
Περιγραφή	Δείκτης ωρών
Επιβλέπων	Λαμπούδης Δημήτριος
Σχεδιαστής	Βλάχος Στέφανος
Αρ. Σχεδίου	9
Κλίμακα	1:2
Ημερομηνία	29-9-2014

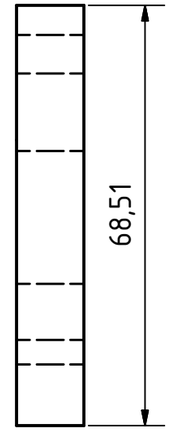


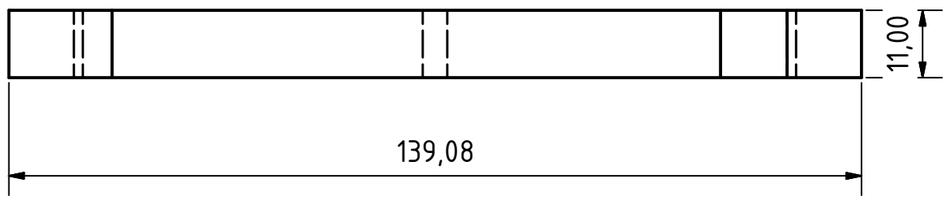


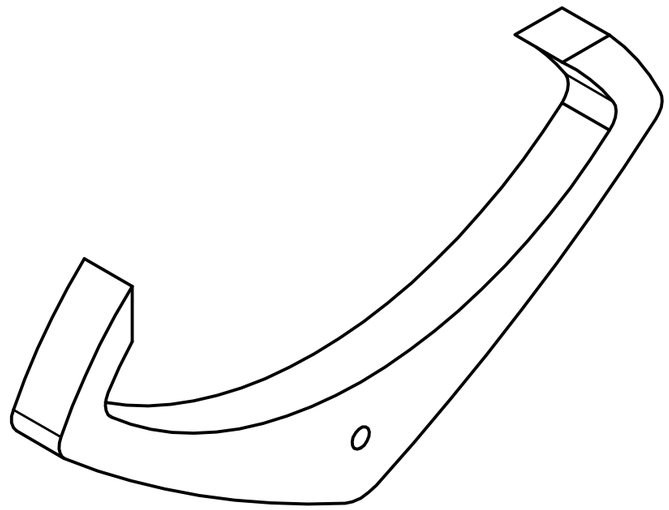


Τμήμα	Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου		
Μάθημα	Πτυχιακή Εργασία		
Θέμα	Ξύλινο μηχανικό ρολόι με εκκρεμές		
Περιγραφή	Τροχός Διαφυγής		
Επιβλέπων	Λαμπούδης Δημήτριος	Σχεδιαστής	Βλάχος Στέφανος
Αρ. Σχεδίου	10	Κλίμακα 1:2	Ημερομηνία 29-9-2014

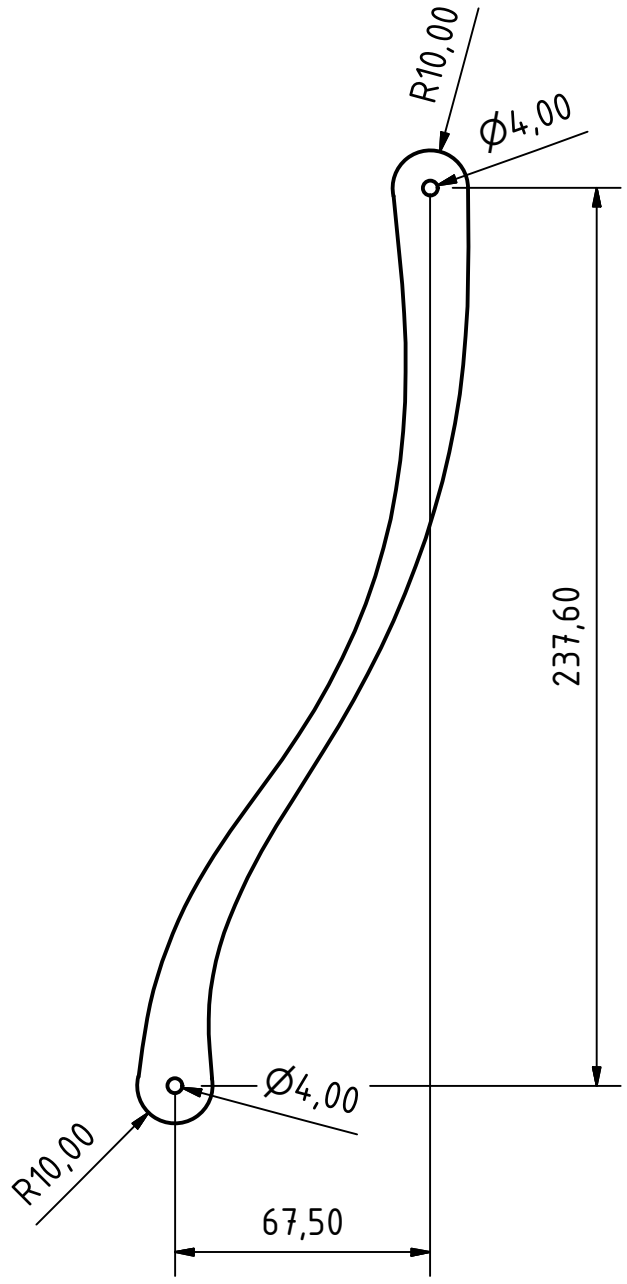


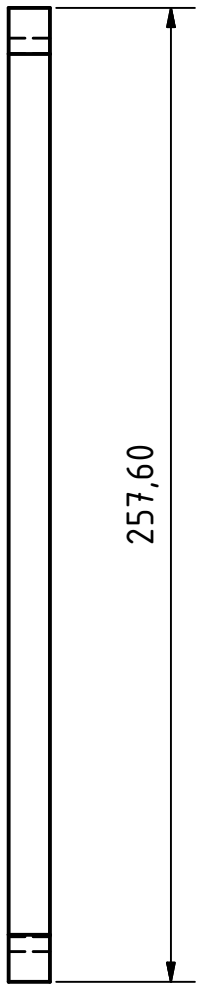


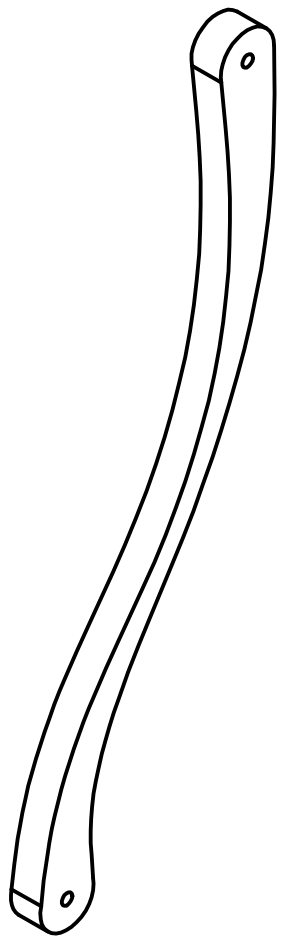


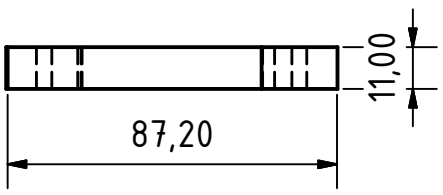


Τμήμα	Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου		
Μάθημα	Πτυχιακή Εργασία		
Θέμα	Ξύλινο μηχανικό ρολόι με εκκρεμές		
Περιγραφή	Εξάρτημα κλειδώματος διαφυγής		
Επιβλέπων	Λαμπούδης Δημήτριος	Σχεδιαστής	Βλάχος Στέφανος
Αρ. Σχεδίου	11	Κλίμακα 1:1	Ημερομηνία 29-9-2014

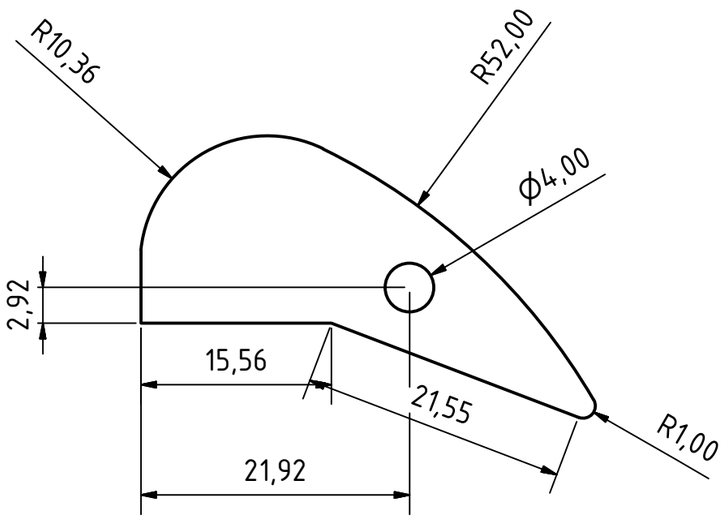


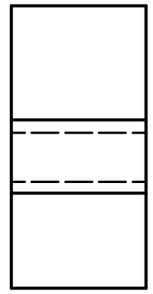


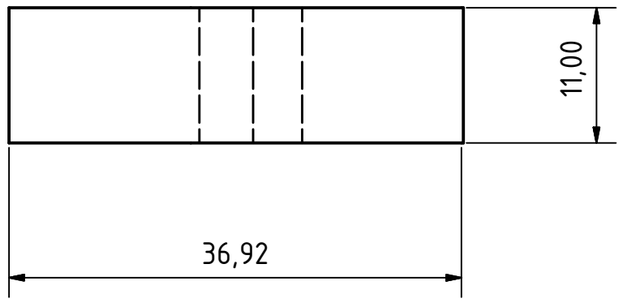


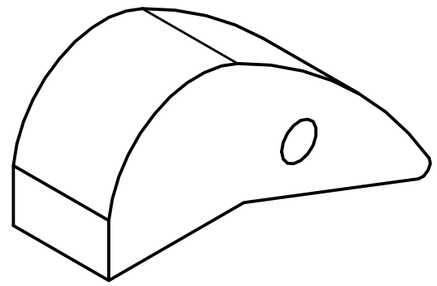


Τμήμα	Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου		
Μάθημα	Πτυχιακή Εργασία		
Θέμα	Ξύλινο μηχανικό ρολόι με εκκρεμές		
Περιγραφή	Προέκταση συστήματος διαφυγής		
Επιβλέπων	Λαμπούδης Δημήτριος	Σχεδιαστής	Βλάχος Στέφανος
Αρ. Σχεδίου	12	Κλίμακα 1:2	Ημερομηνία 29-9-2014

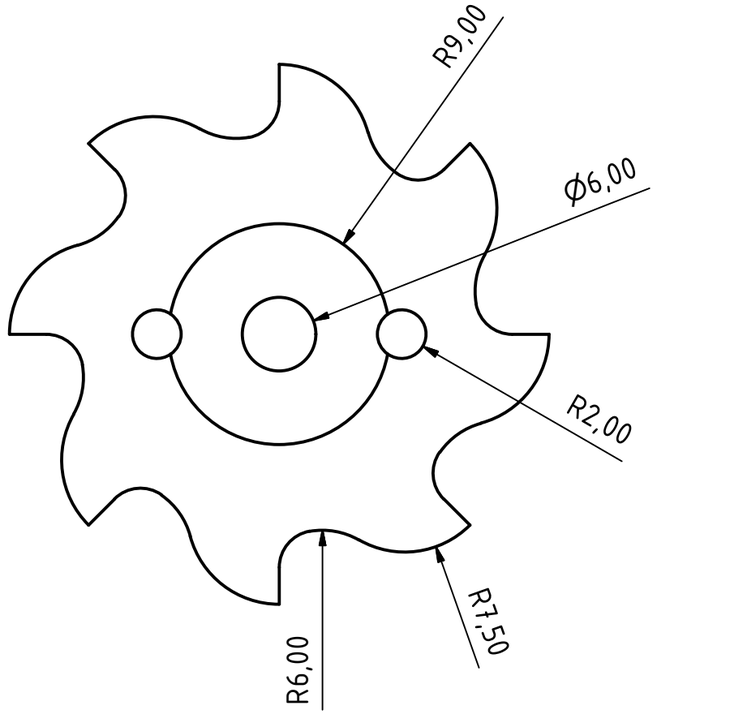


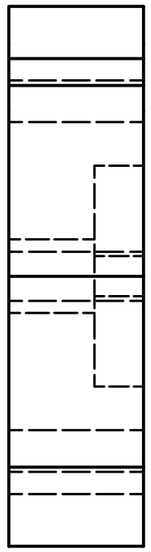


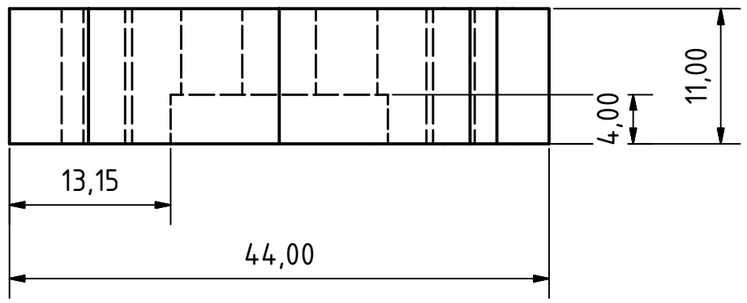


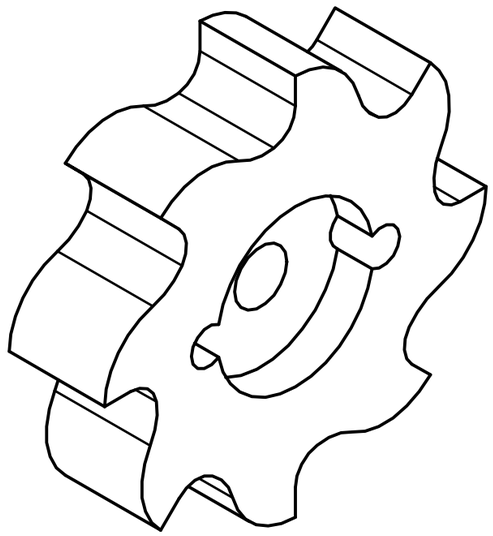


Τμήμα	Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου		
Μάθημα	Πτυχιακή Εργασία		
Θέμα	Ξύλινο μηχανικό ρολόι με εκκρεμές		
Περιγραφή	Εξάρτημα κλειδώματος οδοντωτού τροχού		
Επιβλέπων	Λαμπούδης Δημήτριος	Σχεδιαστής	Βλάχος Στέφανος
Αρ. Σχεδίου	13	Κλίμακα 2:1	Ημερομηνία 29-9-2014

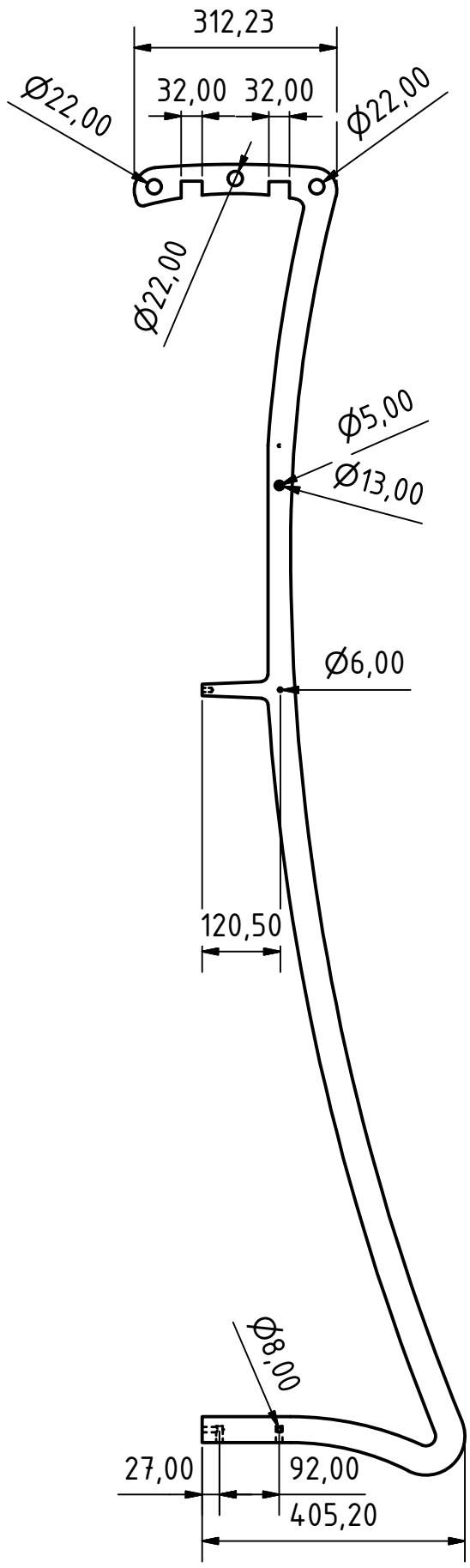


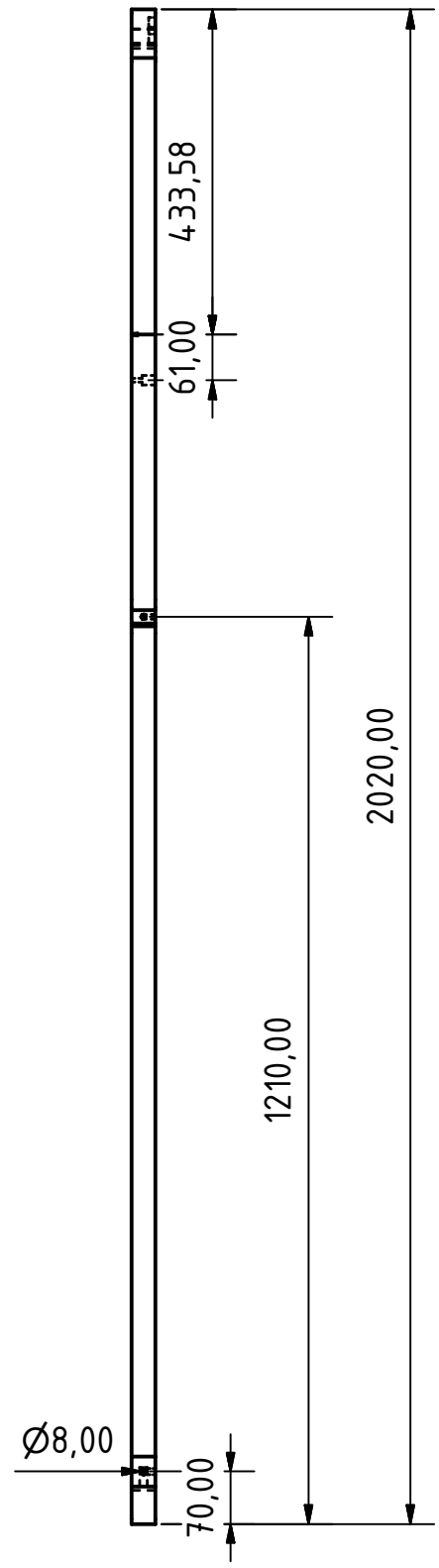


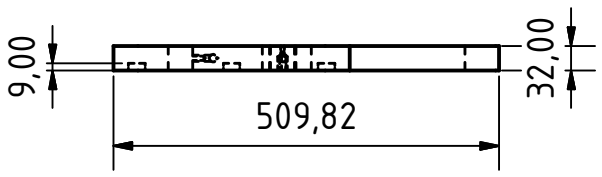


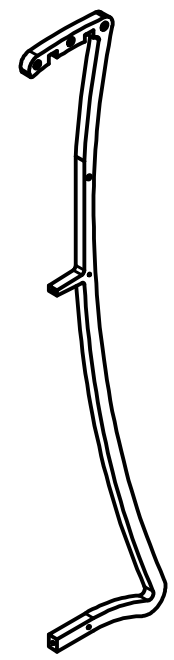


Τμήμα	Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου		
Μάθημα	Πτυχιακή Εργασία		
Θέμα	Ξύλινο μηχανικό ρολόι με εκκρεμές		
Περιγραφή	Οδοντωτός τροχός κουρδίσματος		
Επιβλέπων	Λαμπούδης Δημήτριος	Σχεδιαστής	Βλάχος Στέφανος
Αρ. Σχεδίου	14	Κλίμακα 2:1	Ημερομηνία 29-9-2014

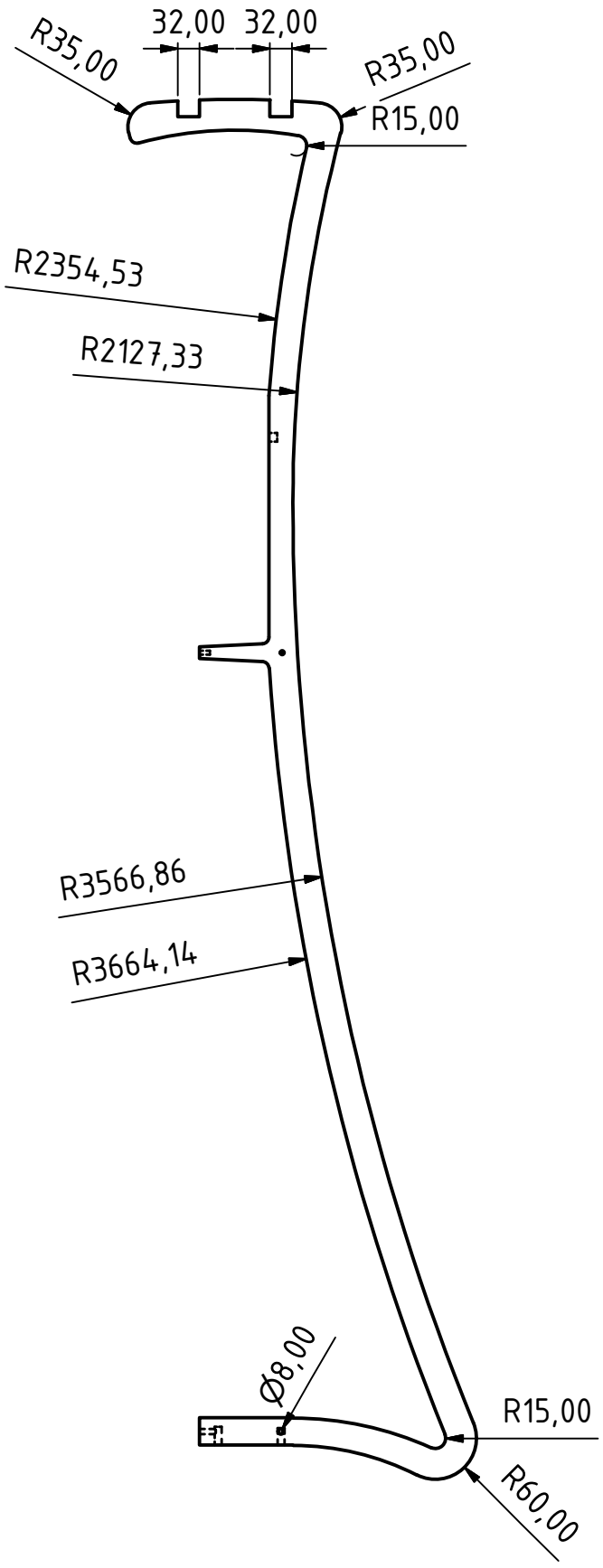


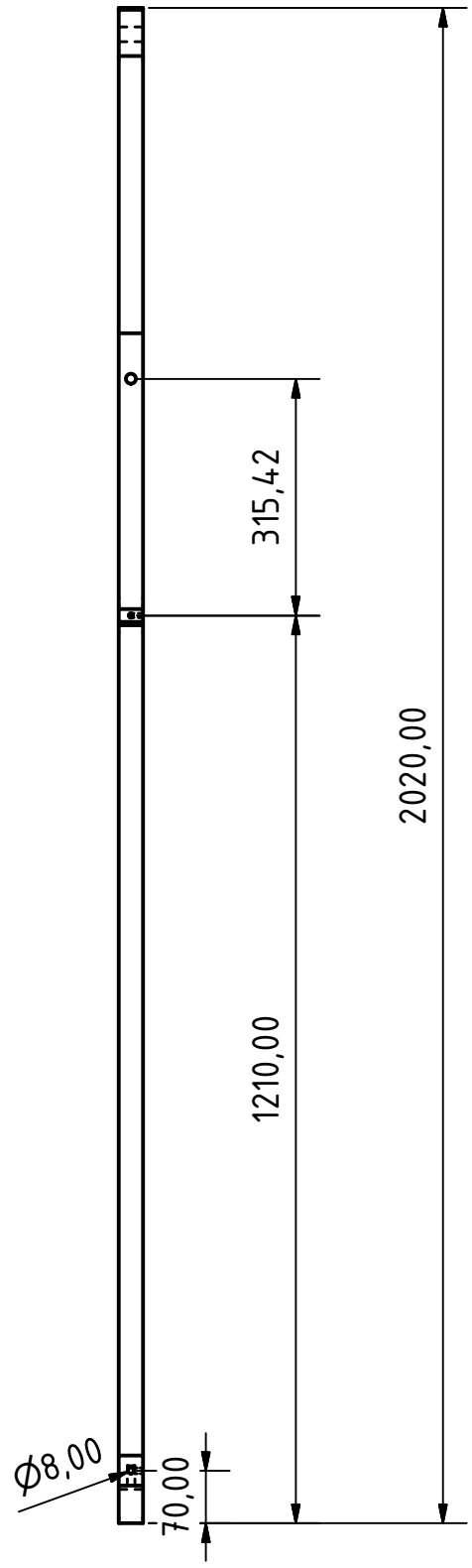


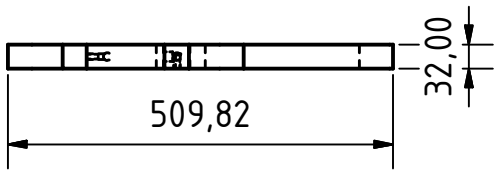


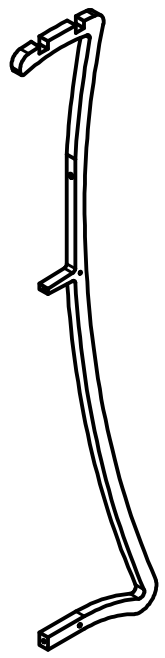


Τμήμα	Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου
Μάθημα	Πτυχιακή Εργασία
Θέμα	Ξύλινο μηχανικό ρολόι με εκκρεμές
Περιγραφή	Πόδι σκελετού 1
Επιβλέπων	Λαμπούδης Δημήτριος
Σχεδιαστής	Βλάχος Στέφανος
Αρ. Σχεδίου	15
Κλίμακα	1:10
Ημερομηνία	29-9-2014

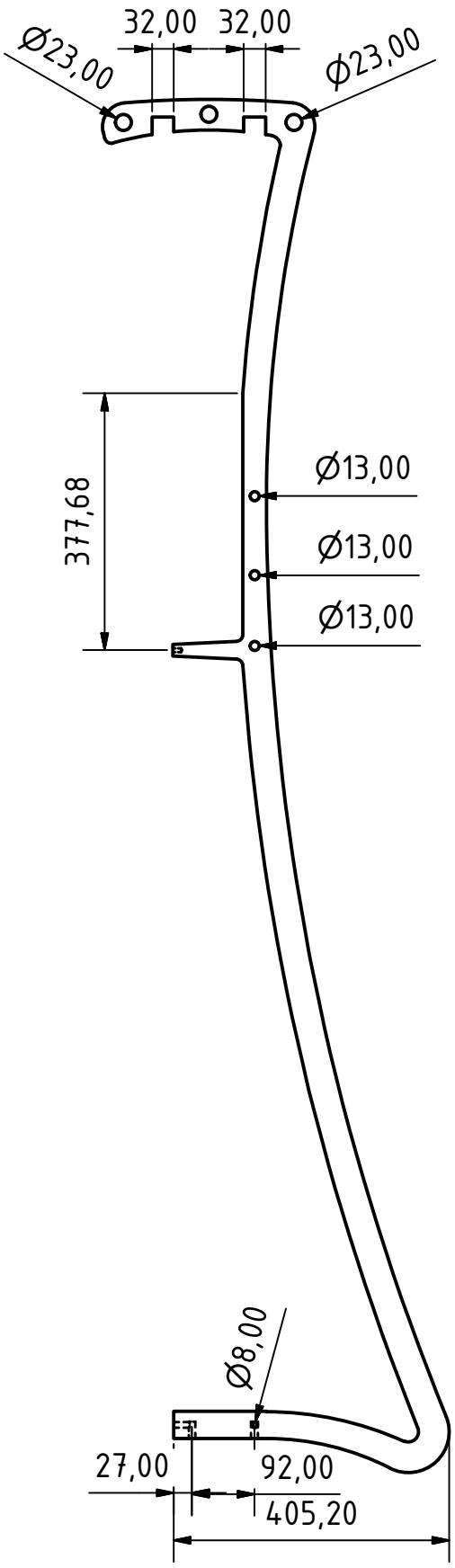


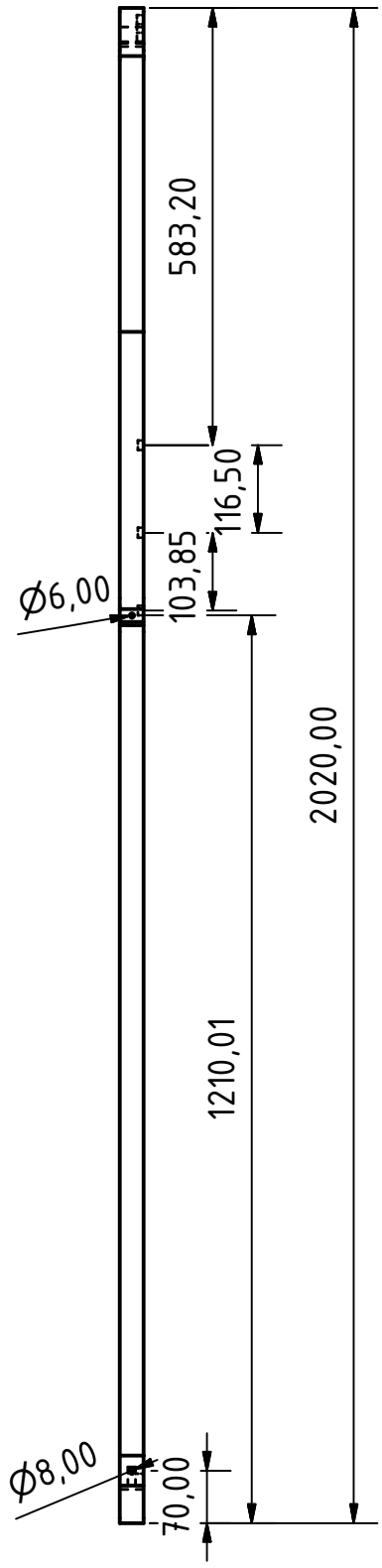


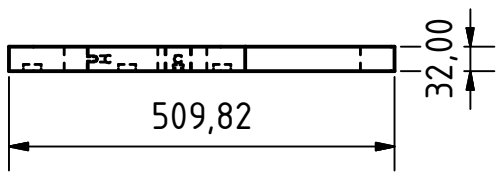


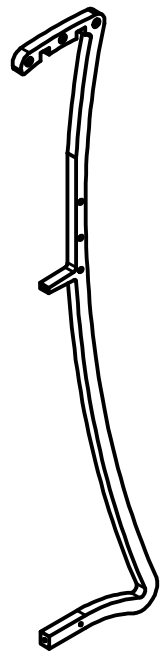


Τμήμα	Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου
Μάθημα	Πτυχιακή Εργασία
Θέμα	Ξύλινο μηχανικό ρολόι με εκκρεμές
Περιγραφή	Πόδι σκελετού 2
Επιβλέπων	Λαμπούδης Δημήτριος
Σχεδιαστής	Βλάχος Στέφανος
Αρ. Σχεδίου	16
Κλίμακα	1:10
Ημερομηνία	29-9-2014

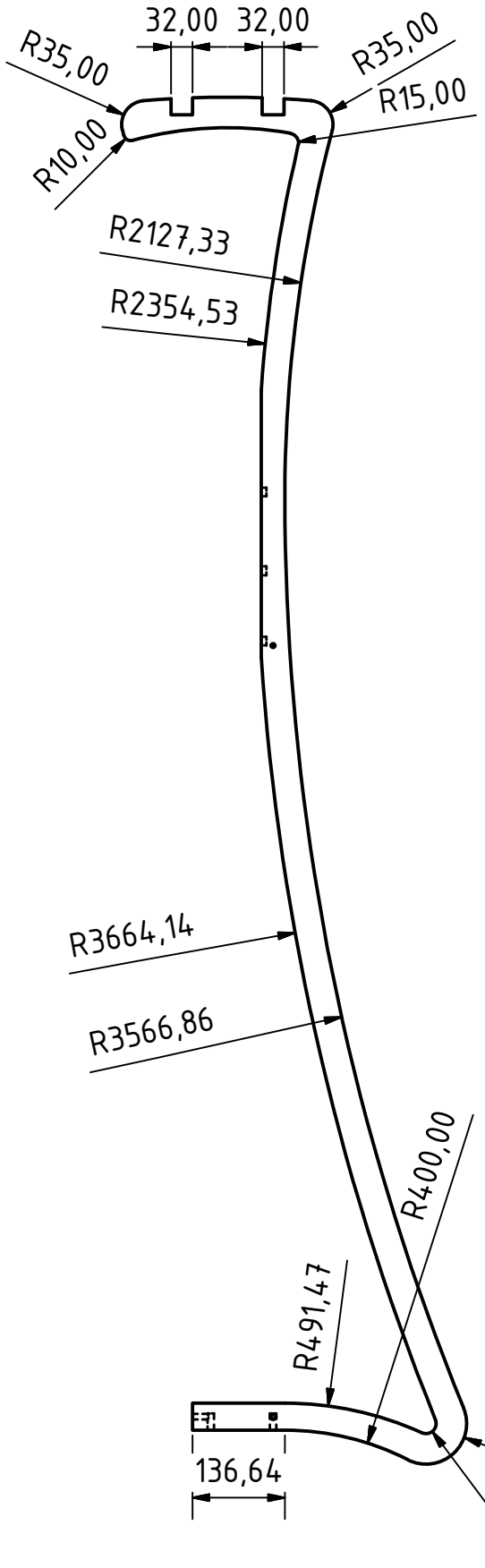


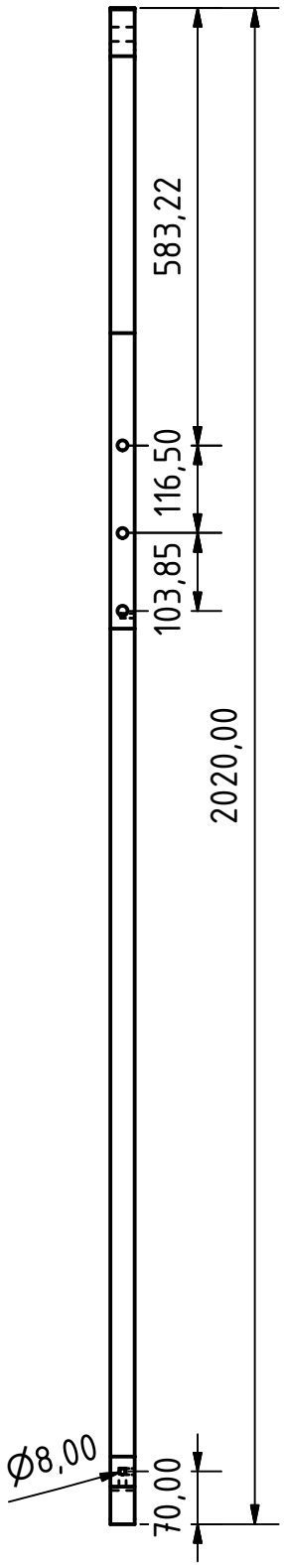


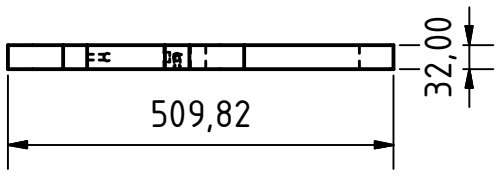


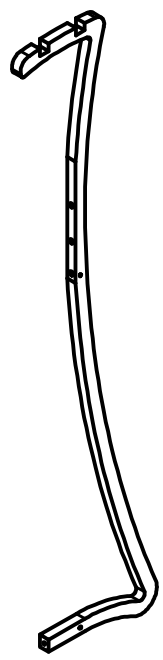


Τμήμα	Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου
Μάθημα	Πτυχιακή Εργασία
Θέμα	Ξύλινο μηχανικό ρολόι με εκκρεμές
Περιγραφή	Πόδι σκελετού 3
Επιβλέπων	Λαμπούδης Δημήτριος
Σχεδιαστής	Βλάχος Στέφανος
Αρ. Σχεδίου	17
Κλίμακα	1:10
Ημερομηνία	29-9-2014

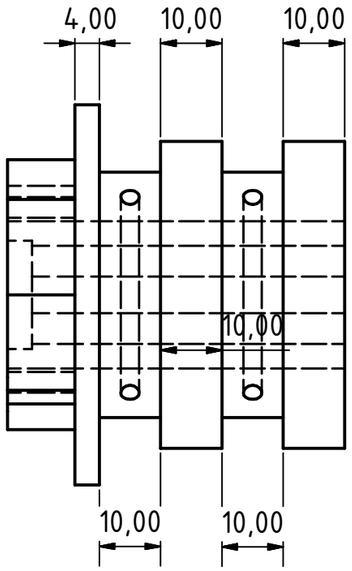


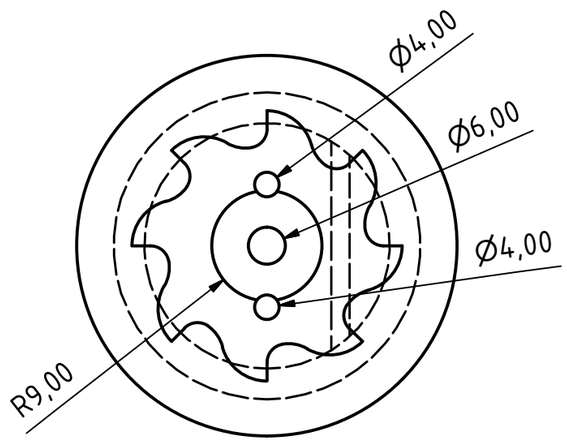


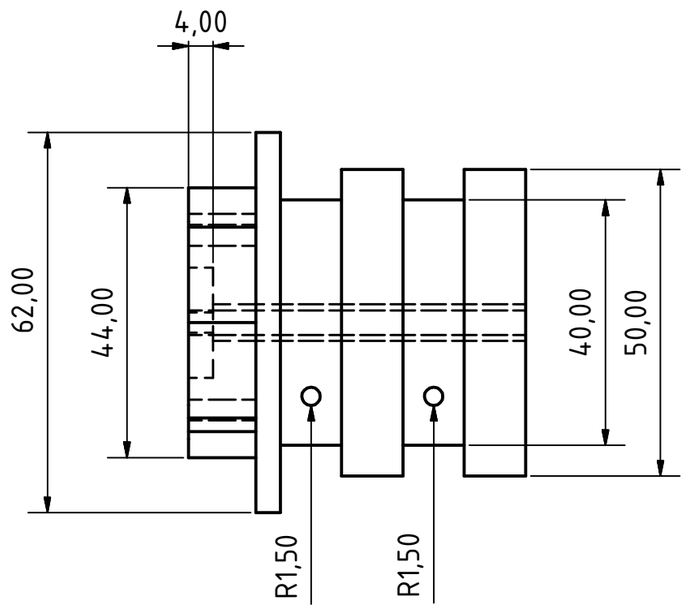


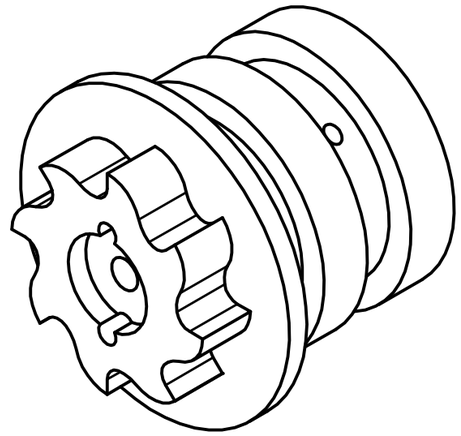


Τμήμα	Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου
Μάθημα	Πτυχιακή Εργασία
Θέμα	Ξύλινο μηχανικό ρολόι με εκκρεμές
Περιγραφή	Πόδι σκελετού 4
Επιβλέπων	Λαμπούδης Δημήτριος
Σχεδιαστής	Βλάχος Στέφανος
Αρ. Σχεδίου	18
Κλίμακα	1:10
Ημερομηνία	29-9-2014

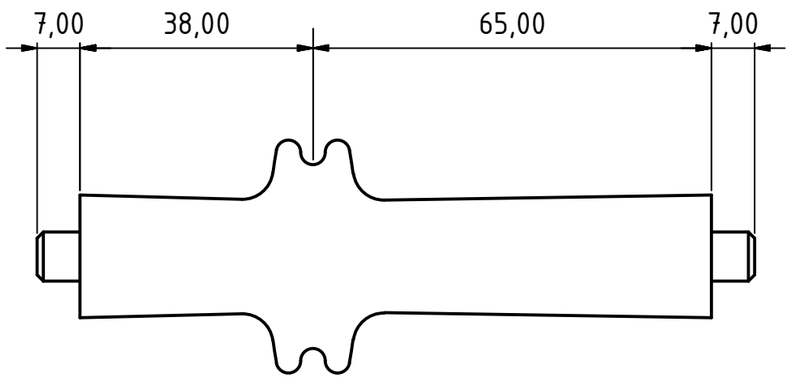


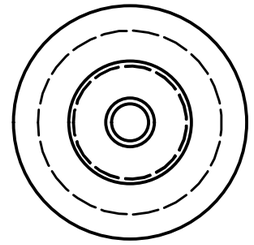


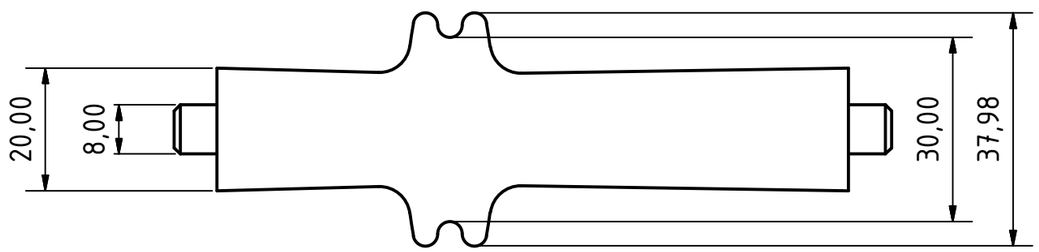


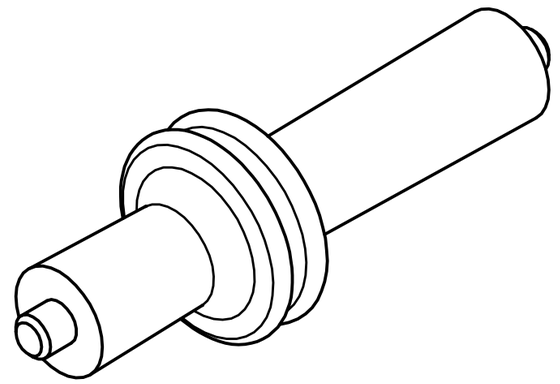


Τμήμα	Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου		
Μάθημα	Πτυχιακή Εργασία		
Θέμα	Ξύλινο μηχανικό ρολόι με εκκρεμές		
Περιγραφή	Κύριες τροχαλίες βαρών		
Επιβλέπων	Λαμπούδης Δημήτριος	Σχεδιαστής	Βλάχος Στέφανος
Αρ. Σχεδίου	19	Κλίμακα 1:1	Ημερομηνία 29-9-2014

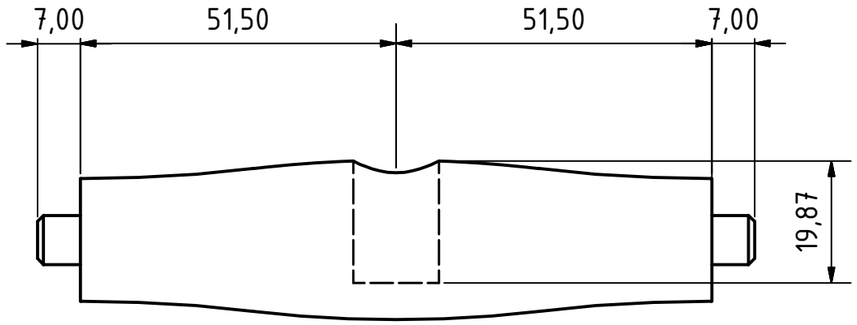


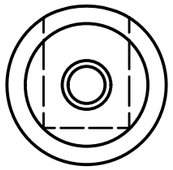


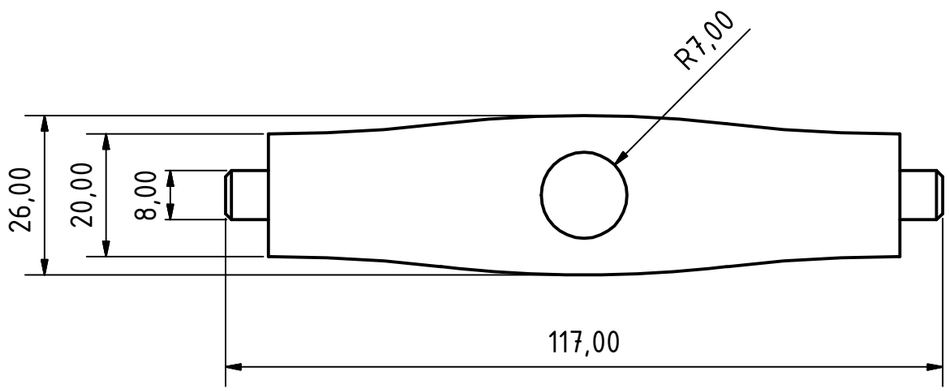


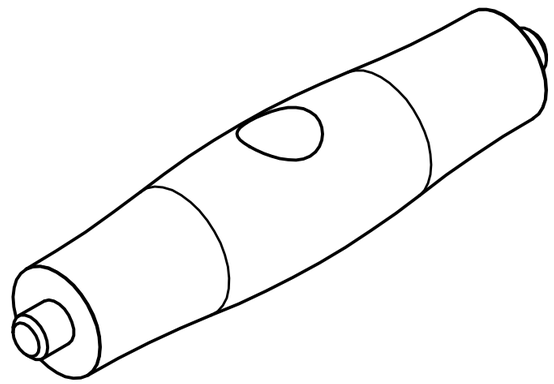


Τμήμα	Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου		
Μάθημα	Πτυχιακή Εργασία		
Θέμα	Ξύλινο μηχανικό ρολόι με εκκρεμές		
Περιγραφή	Δευτερεύουσες τροχαλίες βαρών		
Επιβλέπων	Λαμπούδης Δημήτριος	Σχεδιαστής	Βλάχος Στέφανος
Αρ. Σχεδίου	20	Κλίμακα 1:1	Ημερομηνία 29-9-2014



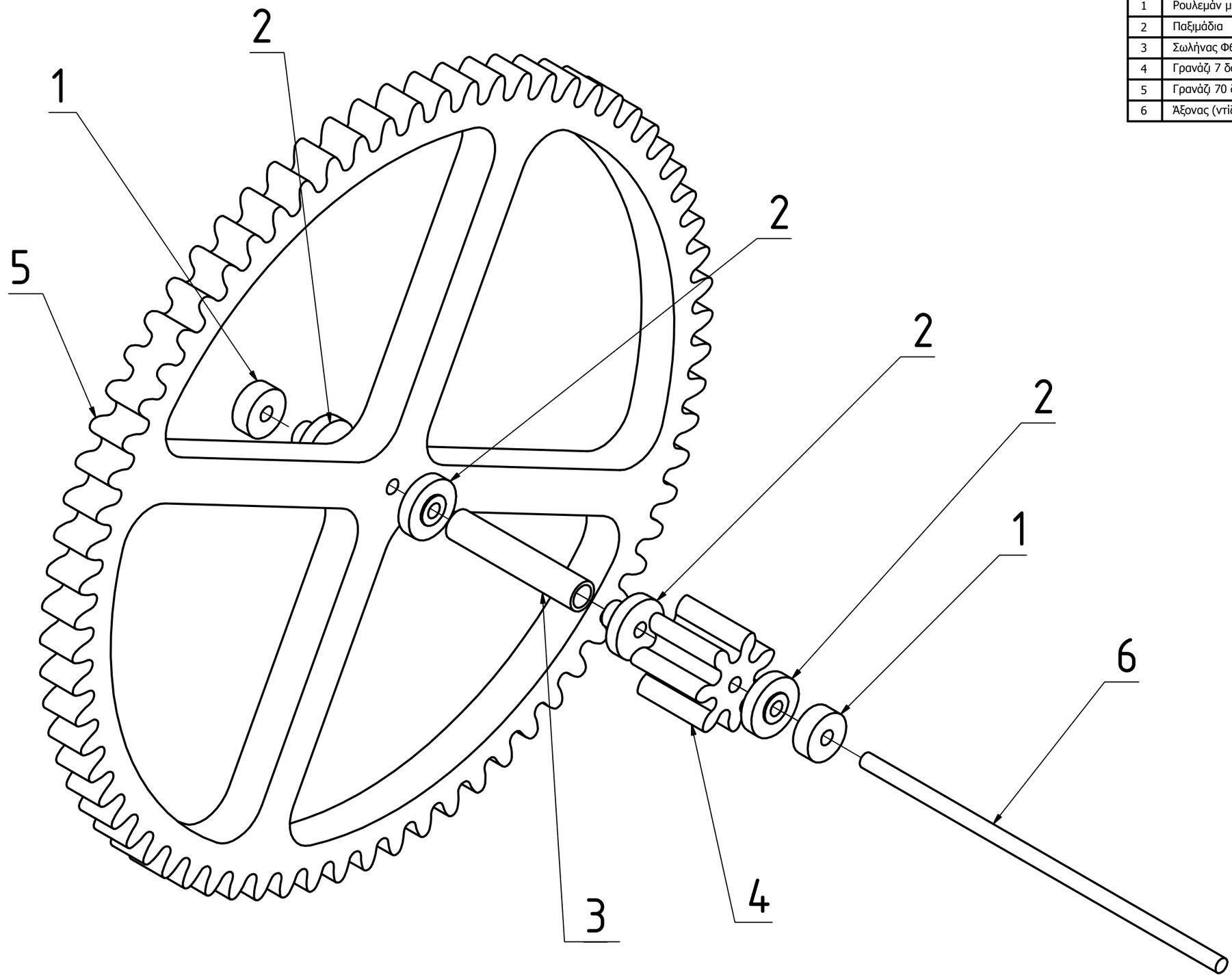






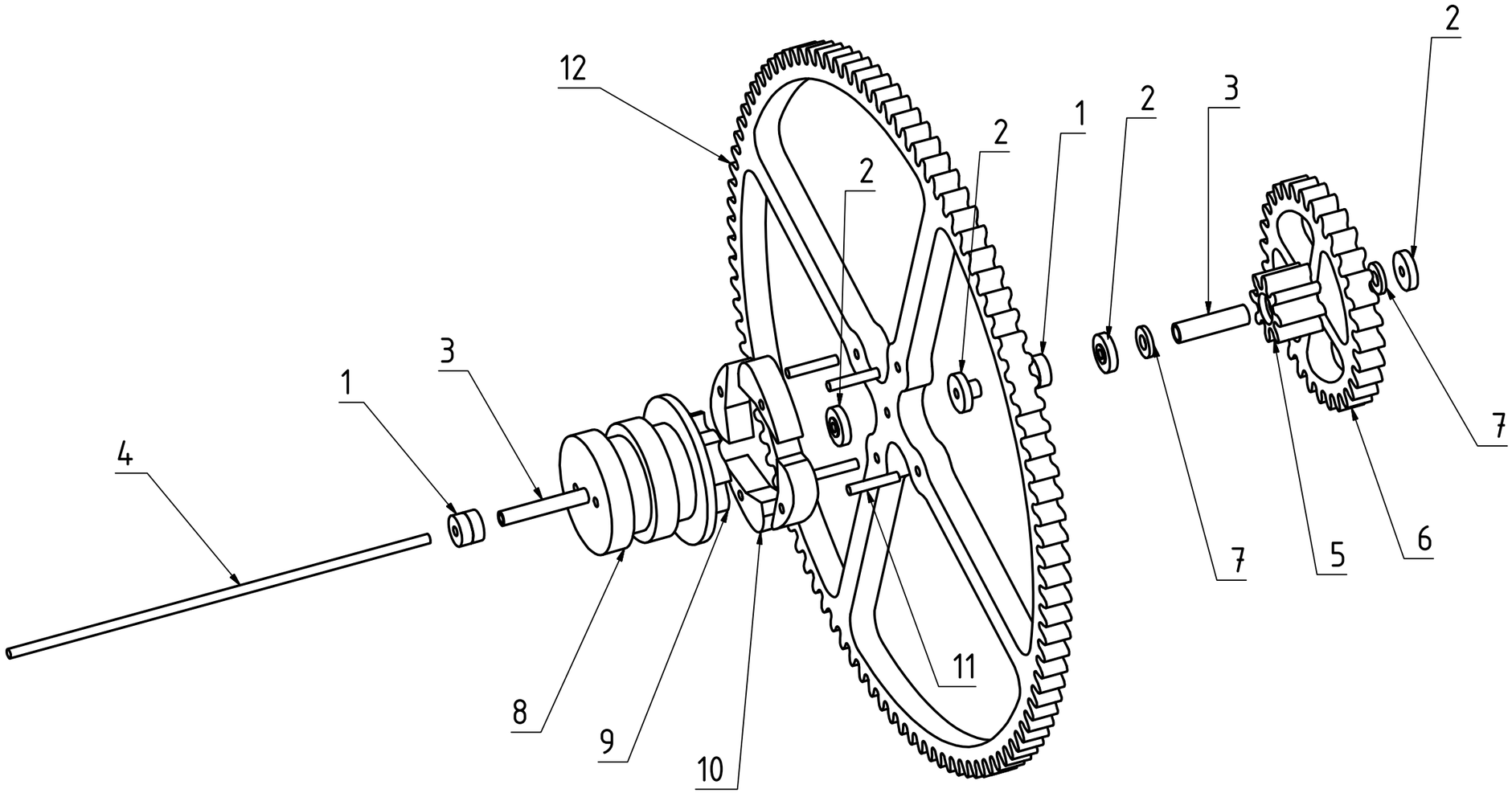
Τμήμα	Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου		
Μάθημα	Πτυχιακή Εργασία		
Θέμα	Ξύλινο μηχανικό ρολόι με εκκρεμές		
Περιγραφή	Άξονας Εκκρεμούς		
Επιβλέπων	Λαμπούδης Δημήτριος	Σχεδιαστής	Βλάχος Στέφανος
Αρ. Σχεδίου	21	Κλίμακα 1:1	Ημερομηνία 29-9-2014

Α/Α	Περιγραφή	Υλικό	Ποσότητα
1	Ρουλεμάν μικρά	INOX	2
2	Παξιμάδια	INOX	4
3	Σωλήνας Φ6	INOX	1
4	Γρανάζι 7 δοντιών	Κόντρα πλακέ	1
5	Γρανάζι 70 δοντιών	Κόντρα πλακέ	1
6	Άξονας (ντίζα)	Ατσάλι	1



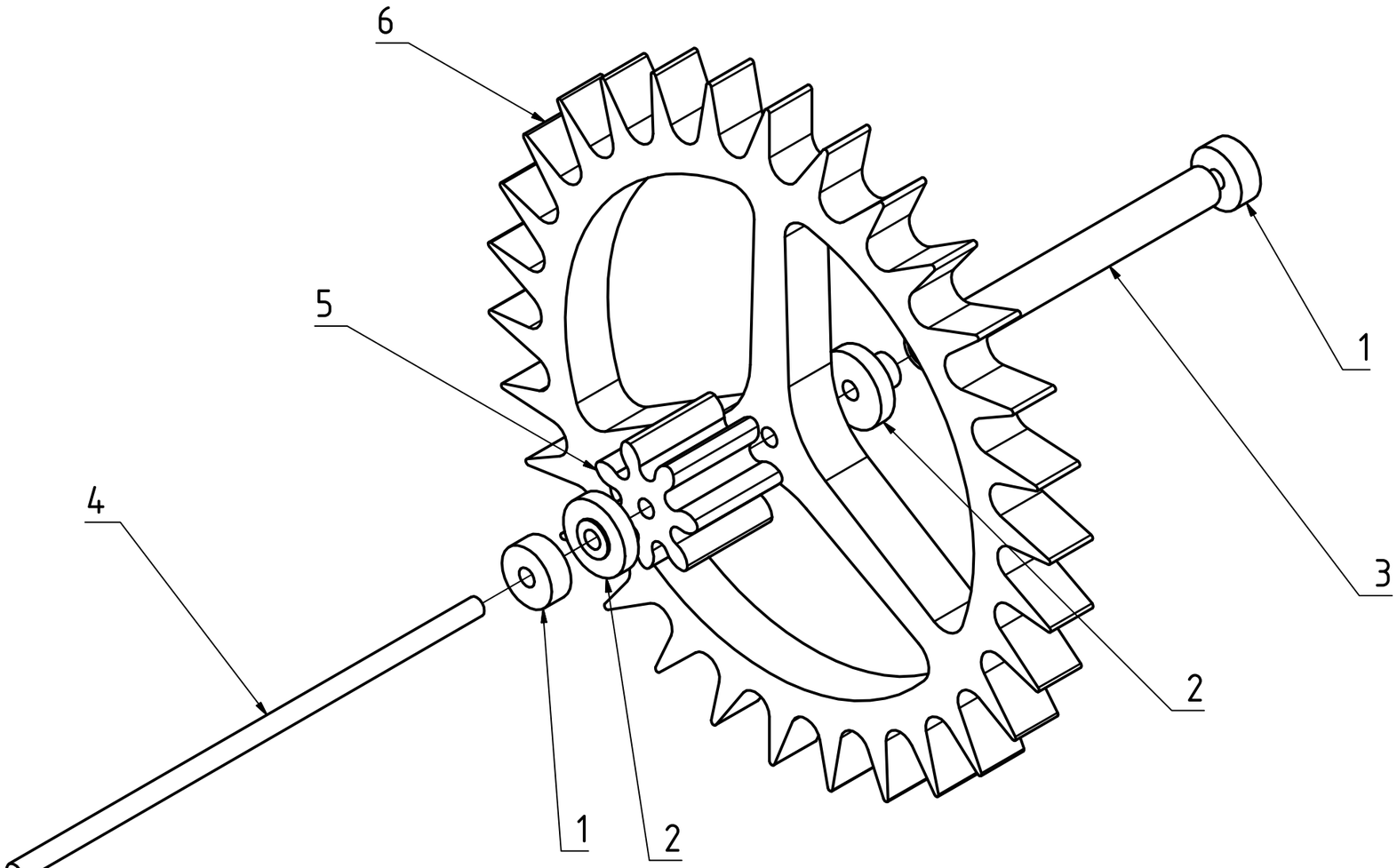
Τμήμα	Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου
Μάθημα	Πτυχιακή Εργασία
Θέμα	Ξύλινο μηχανικό ρολόι με εκκρεμές
Περιγραφή	Έκρηξη του ενδιάμεσου άξονα
Επιβλέπων	Λαμπούδης Δημήτριος
Σχεδιαστής	Βλάχος Στέφανος
Αρ. Σχεδίου	22
Κλίμακα	1:1
Ημερομηνία	29-9-2014

Α/Α	Περιγραφή	Υλικό	Ποσότητα
1	Ρουλεμάν μικρά	INOX	4
2	Παξιμάδια	INOX	4
3	Σωλήνας Φ6	INOX	2
4	Άξονας (ντίζα)	Ατσάλι	1
5	Γρανάζι 8 δοντιών	Κόντρα πλακέ	1
6	Γρανάζι 30 δοντιών	Κόντρα πλακέ	1
7	Ροδέλες	Δέρμα	2
8	Σύστημα τροχαλιών για βάρη	Κόντρα πλακέ	1
9	Οδοντωτός τροχός κουρδίσματος	Κόντρα πλακέ	4
10	Κλειδώματα οδοντωτού τροχού	Κόντρα πλακέ	1
11	Ράβδοι Φ4	INOX	4
12	Γρανάζι 100 δοντιών	Κόντρα πλακέ	1



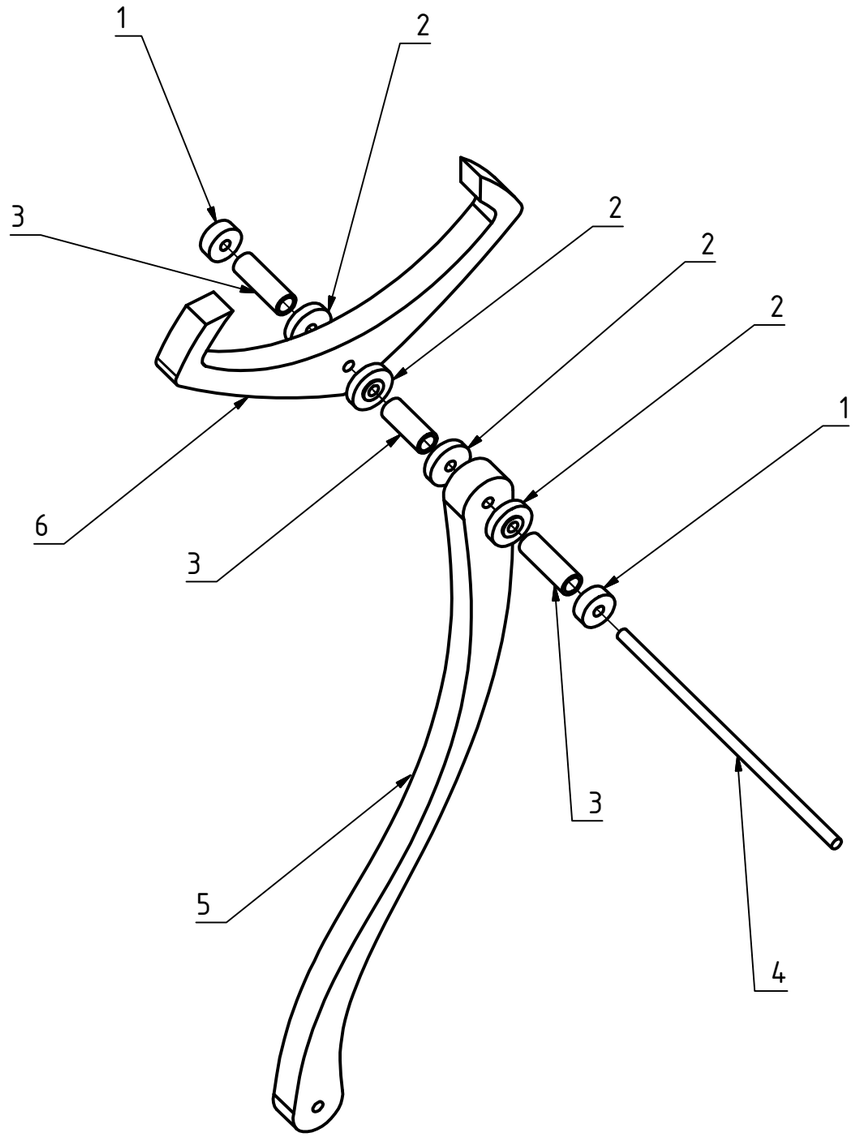
Τμήμα	Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου		
Μάθημα	Πτυχιακή Εργασία		
Θέμα	Ξύλινο μηχανικό ρολόι με εκκρεμές		
Περιγραφή	Έκρηξη του άξονα βάρους		
Επιβλέπων	Λαμπούδης Δημήτριος	Σχεδιαστής	Βλάχος Στέφανος
Αρ. Σχεδίου	23	Κλίμακα 1:2	Ημερομηνία 29-9-2014

Α/Α	Περιγραφή	Υλικό	Ποσότητα
1	Ρουλεμάν μικρά	INOX	2
2	Παξιμάδια	INOX	2
3	Σωλήνας Φ6	INOX	1
4	Άξονας (ντίζα)	Ατσάλι	1
5	Γρανάζι 7 δοντιών	Κόντρα πλακέ	1
6	Τροχός διαφυγής	Κόντρα πλακέ	1



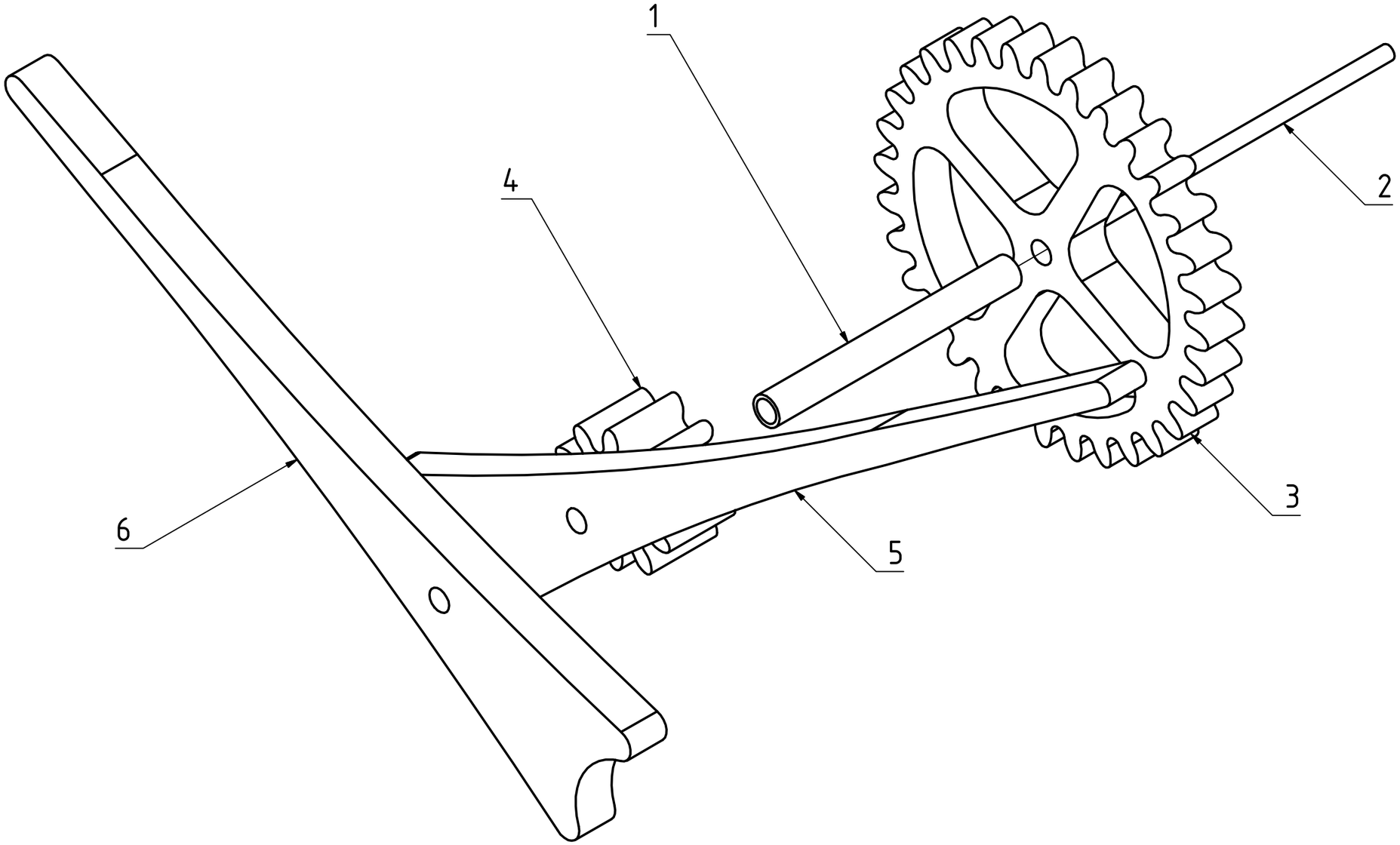
Τμήμα	Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου		
Μάθημα	Πτυχιακή Εργασία		
Θέμα	Ξύλινο μηχανικό ρολόι με εκκρεμές		
Περιγραφή	Έκρηξη του άξονα τροχού διαφυγής		
Επιβλέπων	Λαμπούδης Δημήτριος	Σχεδιαστής	Βλάχος Στέφανος
Αρ. Σχεδίου	24	Κλίμακα 1:1	Ημερομηνία 29-9-2014

Α/Α	Περιγραφή	Υλικό	Ποσότητα
1	Ρουλεμάν μικρά	INOX	2
2	Παξιμάδια	INOX	4
3	Σωλήνας Φ6	INOX	3
4	Άξονας (ντίζα)	Ατσάλι	1
5	Προέκταση συνεργασίας με το εκκρεμές	Κόντρα πλακέ	1
6	Άγγιστρα συστήματος διαφυγής	Κόντρα πλακέ	1



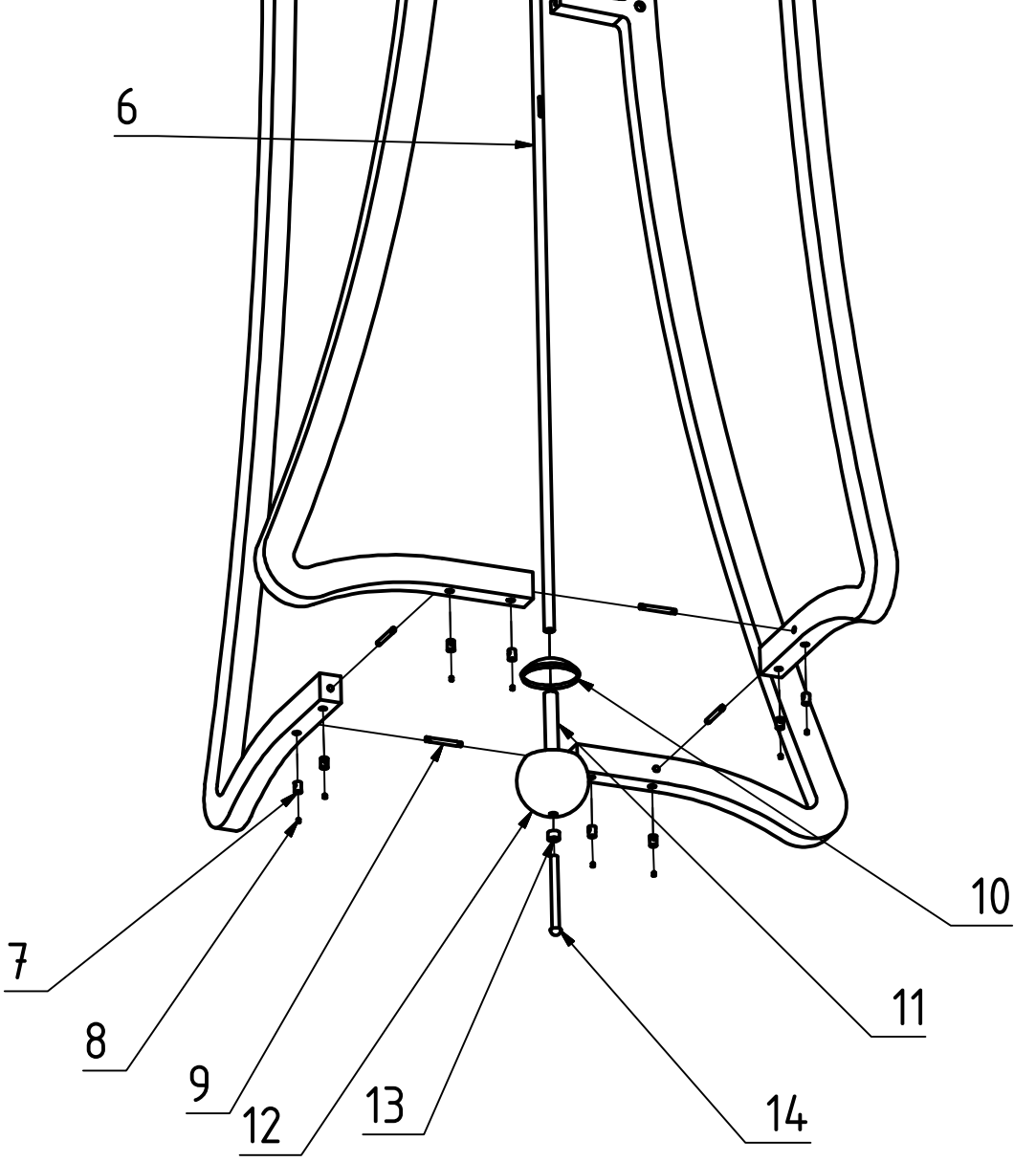
Τμήμα	Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου		
Μάθημα	Πτυχιακή Εργασία		
Θέμα	Ξύλινο μηχανικό ρολόι με εκκρεμές		
Περιγραφή	Έκρηξη άξονα άγγιστρων συστήματος διαφυγής		
Επιβλέπων	Λαμπούδης Δημήτριος	Σχεδιαστής	Βλάχος Στέφανος
Αρ. Σχεδίου	25	Κλίμακα 1:2	Ημερομηνία 29-9-2014

Α/Α	Περιγραφή	Υλικό	Ποσότητα
1	Σωλήνας Φ6	INOX	1
2	Άξονας (ντίζα)	Ατσάλι	1
3	Γρανάζι 32 δοντιών	Κόντρα πλακέ	1
4	Γρανάζι 10 δοντιών	Κόντρα πλακέ	1
5	Λεπτοδείκτης	Κόντρα πλακέ	1
6	Δείκτης ωρών	Κόντρα πλακέ	1



Τμήμα	Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου
Μάθημα	Πτυχιακή Εργασία
Θέμα	Ξύλινο μηχανικό ρολόι με εκκρεμές
Περιγραφή	Έκρηξη άξονα δεικτών
Επιβλέπων	Λαμπούδης Δημήτριος
Σχεδιαστής	Βλάχος Στέφανος
Αρ. Σχεδίου	26
Κλίμακα	1:1
Ημερομηνία	29-9-2014

Α/Α	Περιγραφή	Υλικό	Ποσότητα
1	Πόδια σκελετού	MDF	4
2	Ρουλεμάν μεγάλα	INOX	6
3	Τροχαλία κουρδίσματος	Δρυς	1
4	Τροχαλία βάρους	Δρυς	1
5	Άξονας εκκρεμούς	Δρυς	1
6	Σωλήνας εκκρεμούς Φ14	Αλουμίνιο	1
7	Φυρμάμια	INOX	8
8	Βιδάκια για φυράμια	INOX	8
9	Άξονες για φυράμια	INOX	4
10	Καπάκι σφαίρας	Μπρούντζος	1
11	Σωλήνας Φ18	Αλουμίνιο	1
12	Σφαίρα βαριδίων	Μπρούντζος	1
13	Παξιμάδι ρύθμισης εκκρεμούς	Αλουμίνιο	1
14	Βίδα Μ10 ρύθμισης εκκρεμούς	Ατσάλι	1



Τμήμα	Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου
Μάθημα	Πτυχιακή Εργασία
Θέμα	Ξύλινο μηχανικό ρολόι με εκκρεμές
Περιγραφή	Έκρηξη σκελετού και εκκρεμούς
Επιβλέπων	Λαμπούδης Δημήτριος
Σχεδιαστής	Βλάχος Στέφανος
Αρ. Σχεδίου	27
Κλίμακα	1:10
Ημερομηνία	29-9-2014