

Τ.Ε.Ι ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

# ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ-ΜΕΛΕΤΗ-ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΩΡΟΛΟΓΙΟΥ ΤΟΙΧΟΥ ΤΥΠΟΥ ΕΚΚΡΕΜΕΣ



ΑΛΕΞΟΠΟΥΛΟΥ ΑΝΝΑ  
ΠΑΠΑΔΗΜΗΤΡΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΕΥΘΥΜΙΟΥ ΑΝΔΡΕΑΣ  
ΑΚΑΔΗΜΑΙΚΟΣ ΥΠΟΤΡΟΦΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2019

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία με τίτλο «*Σχεδιασμός – Μελέτη - Κατασκευή Ωρολογίου τοίχου τύπου εκκρεμές*» εκπονήθηκε στα πλαίσια της ολοκλήρωσης των προϋποθέσεων για την λήψη του πτυχίου μας από τα ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε..

Σκοπός μας κατά την διάρκεια της συγγραφής της είναι να γνωρίσουμε τον κόσμο του ωρολογίου και ειδικότερα του ωρολογίου τοίχου τύπου εκκρεμές. Βασική μας επιδίωξη είναι να εμβαθύνουμε τις γνώσεις μας σε αυτό και να κατανοήσουμε τον τρόπο λειτουργίας του. Έγινε προσπάθεια ώστε το περιεχόμενο της εργασίας να είναι σαφές και κατανοητό και για αυτό τον λόγο η ανάλυση του θέματος έγινε με την σχεδίαση και την κατασκευή ωρολογίου και με την χρήση σχεδίων, αριθμητικών πράξεων και φωτογραφιών.

Ευελπιστούμε το περιεχόμενο να καλύπτει όχι μόνο το θέμα μας, αλλά και τις προσδοκίες των καθηγητών μας.

Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον υπεύθυνο για εμάς καθηγητή, κ. Ευθυμίου Ανδρέα που ήταν δίπλα μας σε όλη αυτή την προσπάθεια δίνοντας απάντηση σε οποιαδήποτε απορία μας αλλά και στηρίζοντάς μας ψυχολογικά. Επίσης θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε, τον κ. Σωτήριο Τσίρκα, τον κ. Παναγιώτη Μπιζρέμη και τον κ. Σπυρίδων Γραμματικόπουλο για την πολύτιμη βοήθεια που μας παρείχαν. Περισσότερο απ' όλους όμως, ευχαριστούμε θερμά τις οικογένειές μας που ήταν δίπλα μας και μας έδιναν κουράγιο όλα αυτά τα χρόνια στις προσπάθειες και στον μόχθο μας, γιατί χωρίς αυτούς δεν θα είχαμε καταφέρει όσα έχουμε επιτύχει μέχρι σήμερα. Με υπομονή και επιμονή μάς υπέδειξαν πως είναι σημαντικό να αγαπάμε και να αποδεχόμαστε τον εαυτό μας και να μην σταματήσουμε ποτέ να θέτουμε στόχους και στη συνέχεια να τους υλοποιούμε.

**ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ ΜΗ ΛΟΓΟΚΛΟΠΗΣ:** Οι κάτωθι υπογεγραμμένοι Φοιτητές έχουμε επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνουμε υπεύθυνα ότι είμαστε συγγραφείς αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, αναλαμβάνοντας την ευθύνη επί ολοκλήρου του κειμένου εξ ίσου, έχουμε δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μας όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποιήσαμε και λάβαμε ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνουμε επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχουμε ενσωματώσει στην εργασία μας προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχουμε πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχουμε αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Οι Φοιτητές

(Ονοματεπώνυμο)

(Ονοματεπώνυμο)

.....

.....

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Βασικό αντικείμενο της εργασίας, όπως μαρτυρά και ο τίτλος της, είναι η μελέτη, ο σχεδιασμός και η κατασκευή ενός ωρολογίου τοίχου τύπου εκκρεμές.

Αρχικά, γίνεται αναφορά στην ιστορία των ωρολογίων με εκκρεμές, η οποία ξεκινάει 2.279 χρόνια προ Χριστού. Επισημαίνονται ονόματα προσωπικοτήτων, οι οποίες διαδραμάτισαν σημαντικό ρόλο στην μελέτη του χρόνου και την κατασκευή ωρολογίων. Στο τέλος του πρώτου κεφαλαίου γίνεται προσπάθεια κατηγοριοποίησης των ωρολογίων με αναφορές στα μηχανικά ωρολόγια και σε εκείνα τύπου Quartz.

Στο δεύτερο κεφάλαιο επικεντρωνόμαστε στα εκκρεμή ωρολόγια και στα είδη των μηχανισμών τους. Στη συνέχεια αναφέρονται και αναλύονται τα κύρια μέρη αυτών, το βάρος, ο μηχανισμός διαφυγής, η ακολουθία των οδοντωτών τροχών και μηχανισμός ρύθμισης. Επιπροσθέτως, αναλύονται η αρχή λειτουργίας των οδοντωτών τροχών και ο μηχανισμός διαφυγής ενός ωρολογίου. Πραγματοποιούνται επίσης, και αναφέρονται οι αριθμητικές αναλύσεις που είναι αναγκαίες για την αποτελεσματικότητα, την απόδειξη και διευκρίνιση της κατασκευής του ωρολογίου.

Στο τρίτο κεφάλαιο, ακολουθεί η ανάλυση των καμπτικών ροπών στους άξονες του ωρολογίου και παρατίθεται πίνακας με τα χαρακτηριστικά των οδοντωτών τροχών που είναι απαραίτητα για τους υπολογισμούς της εργασίας.

Στο τέταρτο κεφάλαιο πραγματοποιείται η μελέτη του σκελετού του ωρολογίου, ο σχεδιασμός αυτού στο Solidworks, ο σχεδιασμός του συστήματος διαφυγής και η μελέτη και ο σχεδιασμός του εκκρεμούς και του συστήματος του κουρδίσματος του βάρους. Ουσιαστικά, μελετάται το αν είναι εφικτό να κατασκευαστεί το εκκρεμές ωρολόγιο

Στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο, και εφόσον έχουν γίνει οι απαραίτητες αναλύσεις δυνάμεων και ο έλεγχος στις αντοχές των υλικών, δύναται να ξεκινήσει η κατασκευή του ωρολογίου τύπου εκκρεμές. Μέσω προσωπικών λήψεων (φωτογραφιών) παρουσιάζεται η όλη διαδικασία της κατασκευής, το στήσιμο, δηλαδή, των κομματιών, η συναρμολόγηση αυτών και η επεξεργασία τους.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	
ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ	
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup></b> .....	<b>1</b>
ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΩΡΟΛΟΓΙΩΝ ΤΥΠΟΥ ΕΚΚΡΕΜΕΣ .....	1
ΤΥΠΟΙ ΩΡΟΛΟΓΙΩΝ .....	3
I. ΜΗΧΑΝΙΚΑ .....	4
II. QUARTZ – ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ .....	5
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup></b> .....	<b>7</b>
ΩΡΟΛΟΓΙΑ ΤΥΠΟΥ ΕΚΚΡΕΜΕΣ .....	7
ΕΙΔΗ ΜΗΧΑΝΙΣΜΩΝ ΤΩΝ ΩΡΟΛΟΓΙΩΝ ΜΕ ΕΚΚΡΕΜΕΣ .....	7
ΚΥΡΙΑ ΜΕΡΗ ΒΡΟΛΟΓΙΟΥ ΕΚΚΡΕΜΟΥΣ ( <i>Hunker Emily Goodman</i> ).....	9
Ακολουθία οδοντωτών τροχών (Gary's clocks) .....	14
ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΔΙΑΦΥΓΗΣ .....	17
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup></b> .....	<b>20</b>
3.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΜΠΤΙΚΩΝ ΡΟΠΩΝ .....	20
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup></b> .....	<b>24</b>
ΜΕΛΕΤΗ ΣΚΕΛΕΤΟΥ .....	24
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΚΕΛΕΤΟΥ ΣΤΟ Solidworks .....	24
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΟΔΟΝΤΩΤΩΝ ΤΡΟΧΩΝ .....	25
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΙΑΦΥΓΗΣ .....	37
ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΕΚΚΡΕΜΟΥΣ .....	38
ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΟΥΡΔΙΣΜΑΤΟΣ ΒΑΡΟΥΣ .....	38
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup></b> Κατασκευή ωρολογίου εκκρεμούς.....	<b>42</b>
<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b> .....	<b>49</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	<b>50</b>

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ανέκαθεν τα ωρολόγια διαδραμάτιζαν σημαντικό ρόλο στην ζωή των ανθρώπων, καθώς χάρη σε αυτά, από αρχαιοτάτων χρόνων, ο κόσμος είχε τη δυνατότητα να αντιλαμβάνεται την ημέρα και την νύχτα. Πλέον, εξαιτίας των γρήγορων ρυθμών ζωής και των συνθηκών αυτής, το ωρολόγιο καθίσταται το πλέον χρήσιμο αντικείμενο του ανθρώπου. Τα ωρολόγια είναι κατασκευασμένα με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε όλοι να μπορούν να κατανοήσουν την ώρα, ακόμα και εκείνοι που δεν έχουν την δυνατότητα ανάγνωσής της. Τα είδη τους ποικίλουν καθώς υπάρχουν μικρά, διακριτικά, μεγάλα, βαριά, αυτά του τύπου τοίχου, κρεμαστά, επιτραπέζια, ρολόγια δαπέδου, χειρός, τσέπης, πλέον ακόμα και στα κινητά τηλέφωνα. Με το πέρασμα των χρόνων και χάρη στην εξέλιξη της τεχνολογίας και την πληροφόρησης είναι ευδιάκριτο και κατανοητό ότι υπάρχει διαφορά ώρας μεταξύ των χωρών. Έτσι, με την ανακάλυψη του ωρολογίου αλλά και την εξέλιξή του στον τεχνολογικό του τομέα, γνωρίζουμε αυτή την διαφορά ώρας με αποτέλεσμα να υπάρχει σωστή επικαιρότητα σε ολόκληρο τον πλανήτη.

Δεδομένης λοιπόν της χρησιμότητας και της σπουδαιότητας των ωρολογίων, πραγματοποιείται η μελέτη/σχεδιασμός και η κατασκευή ενός εκκρεμούς ωρολογίου. Αρχικά, γίνεται αναφορά στην ιστορία των ωρολογίων από αρχαιοτάτων χρόνων έως και σήμερα, όπου διαπιστώνονται πολλές σημαντικές αλλαγές και η ύπαρξη διαφόρων ειδών. Πραγματευόμενη η πτυχιακή εργασία ως θέμα τα εκκρεμή ωρολόγια, αναφέρονται τα κύρια μέρη αυτών και ο υπάρχων μηχανισμός ο οποίος δίνει κίνηση στο σύμπλεγμα γραναζιών, έτσι ώστε να κινηθεί ο λεπτοδείκτης μας κατά ένα λεπτό. Επιπροσθέτως, μελετάται η ύπαρξη κάθε κομματιού, η χρησιμότητά τους, και ο τρόπος λειτουργίας τους. Πιο συγκεκριμένα, τα ωρολόγια αποτελούνται από τους δείκτες, ένα σύστημα γραναζιών, τους άξονες στήριξης, τον μηχανισμό διαφυγής, το εκκρεμές και το αντίβαρο του και το καλούπι του. Οι δείκτες είναι αυτοί που μας δείχνουν την ώρα, το σύστημα γραναζιών λαμβάνει την κίνηση και έτσι με την ακολουθία που υπάρχει μεταξύ τους το ωρολόγιο ξεκινάει να λειτουργεί, άρα υπάρχει κίνηση στους δείκτες. Οι άξονες στήριξης είναι η βάση των γραναζιών, για αυτό τον λόγο επιλέγονται κατάλληλα υλικά αξόνων, ώστε να αντέχουν στους κραδασμούς και σε οποιαδήποτε άλλη φυσική φθορά. Ο μηχανισμός διαφυγής είναι ζωτικής σημασίας για την λειτουργία του ωρολογίου.

## ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ / ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

Χρήσιμοι τύποι για την ανάλυση και την κατασκευή του ωρολογίου.

R	Ακτίνα
Z	Αριθμός δοντιών
$i = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{n_1}{n_2}$	Λόγος μετάδοσης
$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g}}$	Σχέση μετάδοσης
$U = \omega \cdot R$	Ταχύτητα
$\Omega = \frac{2 \cdot \pi}{T}$	Γωνιακή ταχύτητα
$P = m \cdot U$	Δύναμη
H	Ύψος
$V = \pi \cdot R^2 \cdot h$	Όγκος
$m = \frac{V}{\rho}$	Μάζα
$M_t = x \cdot P$	Στρεπτική ροπή
$S = \frac{P}{A}$	Τάση

$A = 2 \cdot \pi \cdot R$	Διατομή
$m = \frac{dk}{z+2}$	Module
$t = \pi \cdot m$	Βήμα
$H_k$	Ύψος κεφαλής δοντιού
$H$	Ύψος δοντιού
$H_f$	Ύψος ποδός δοντιού
$D_0$	Διάμετρος περιφέρειας
$D_k$	Διάμετρος κεφαλής δοντιού
$D_f$	Διάμετρος ποδός δοντιού
$S$	Πάχος δοντιού
$L$	Διάκενο δοντιών
$A$	Απόσταση αξόνων

---

## ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΧΑΛΥΒΑ

---

2,6898	Πυκνότητα
200 Gra	Μέτρο Ελαστικότητας
225 Gra	Μέτρο διάτμησης
0.3	Συντελεστής poisson
7.870 gr/	Πυκνότητα στους 20°C
13000	Σημείο τήξης
110 Mpa	Αντοχή σε διάτμηση (Tmax)
140 -200 Mpa	Αντοχή σε θλίψη
80-110 Mpa	Αντοχή σε εφελκυσμό (σmax)



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

### ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΩΡΟΛΟΓΙΩΝ ΤΥΠΟΥ ΕΚΚΡΕΜΕΣ

Τα πρώτα ωρολόγια εμφανίζονται στην Κίνα το 2.279 π.Χ. και αποτελούν μια πρωτόγονη εκδοχή του ηλιακού ρολογιού. Το πρώτο ηλιακό ρολόι ήταν ουσιαστικά μια ράβδος τοποθετημένη κατακόρυφα στο έδαφος, η σκιά της οποίας κινούνταν στο έδαφος ακολουθώντας την κίνηση του ήλιου. Το 1530 π.Χ. οι άνθρωποι μετρούν τον χρόνο χάρη στις πρώτες κλεψύδρες με νερό ή άμμο που εμφανίζονται στην Αίγυπτο και χρησιμοποιήθηκαν τόσο από τους Βαβυλώνιους όσο και από τους Έλληνες. Οι κλεψύδρες θεωρούνταν πιο πρακτικές από τα ηλιακά ωρολόγια, επειδή δεν εξαρτιόνταν από την εμφάνιση του Ήλιου κατά τη διάρκεια της ημέρας. Αργότερα ο Πλάτων τροποποίησε μια κλεψύδρα νερού ώστε να παράγει έναν συριγμό σε καθορισμένη ώρα, δηλαδή το πρώτο ξυπνητήρι.

Το μηχανικό ωρολόγιο έγινε πραγματικότητα χάρη στον «μηχανισμό διαφυγής», μια διάταξη που περιλαμβάνει έναν τροχό ο οποίος κινεί τους δείκτες το ρολογιού προς μία κατεύθυνση. Το 725 μ.Χ. κατασκευάστηκε στην Κίνα το πρώτο ωρολόγιο με μηχανισμό διαφυγής. Ωστόσο, η προέλευση του πλήρους μηχανικού ωρολογίου είναι άγνωστη. Πιθανολογείται ότι πρώτοι το χρησιμοποίησαν μοναχοί σε μοναστήρια. Αυτές οι πρώιμες συσκευές δεν διέθεταν δείκτες. Το αρχαιότερο από αυτά στην Αγγλία είναι του καθεδρικού Ναού του Σώλσμπερι το 1386 μ.Χ. που σημαίνει τις ώρες, ενώ αυτό που εγκαταστάθηκε στη Ρουέν της Γαλλίας το 1389 μ.Χ. σήμαινε τα τέταρτα της ώρας.

Όσον αφορά τα ωρολόγια τύπου εκκρεμές, η παράδοση λέει ότι ο Γαλιλαίος πρωτοαντιλήφθηκε πως το εκκρεμές είναι ισόχρονο το 1582, όταν ήταν σε ηλικία 18 χρόνων. Επισκέφθηκε τον καθεδρικό ναό της Πίζας για να προσευχηθεί και παρατήρησε έναν καλόγερο να τραβά προς το μέρος του ένα μεγάλο πολυέλαιο, να ανάβει τα κεριά και να τον αφήνει ελεύθερο, ώστε να επανέλθει στη θέση του. Ο Γαλιλαίος πρόσεξε ότι η ταλάντευση έμοιαζε να έχει σταθερή κίνηση ακόμα και όταν άλλαζε η γωνία ταλάντευσης. Αμέσως άρχισε την επιστημονική παρατήρηση. Προκειμένου να μετρήσει το χρόνο που ο πολυέλαιος κινείτο, σκέφθηκε και χρησιμοποίησε για μονάδα μέτρησης τους παλμούς της καρδιάς του. Ακολούθως επινόησε έναν μαθηματικό τύπο που περιέγραφε την κίνηση του εκκρεμούς και, όταν γύρισε στο δωμάτιό του, έφτιαξε διάφορα είδη εκκρεμούς, μεταβάλλοντας το μήκος του νήματος και το βάρος του βαριδίου. Μετά από προσεκτική μελέτη, επαλήθευσε και θεμελίωσε δύο σπουδαίες αρχές:

1. ότι ο χρόνος ταλάντευσης ενός εκκρεμούς δεν συνδέεται με το μήκος του τόξου ή την μάζα του βαριδιού

2. ότι ο χρόνος ή η διάρκεια της ταλάντευσης ενός εκκρεμούς εξαρτάται μόνο από το μήκος του νήματος του εκκρεμούς.

Μετά την ανακάλυψη του Γαλιλαίου, οι αστρονόμοι και οι γιατροί χρησιμοποίησαν μικρότερα εκκρεμή, για να χρονομετρούν όχι μόνο φαινόμενα, αλλά και τους σφυγμούς των ασθενών. Ένα αδύνατο σημείο της όλης υποθέσεως ήταν ότι τα μικρά εκκρεμή σταματούν γρήγορα και θέλουν συνεχώς ώθηση, με αποτέλεσμα να χαλά ο ρυθμός και πιο συγκεκριμένα να μεταβάλλεται η περίοδος. Περίπου το 1641, ο Γαλιλαίος σχεδίασε μια συσκευή, που μπορούσε να δίνει μια μικρή ώθηση στο τέλος κάθε αιωρήσεως, αν και είναι πολύ πιθανό, να μην κατασκεύασε ποτέ μια τέτοια συσκευή, που να λειτουργήσει. Δυστυχώς, η διαφυγή του Γαλιλαίου ήταν ανακριβής και δεν χρησιμοποιήθηκε.

Ο Christian Huygen, Δανός επιστήμονας, ήταν ο πρώτος που γνωστοποίησε στον κόσμο, το 1565, την ανακάλυψη και την κατασκευή ενός μηχανισμού διαφυγής ωρολογίου με εκκρεμές. Επιπλέον, έκανε την πρώτη αναλυτική μελέτη, που αφορούσε την αιτία αιωρήσεως ενός εκκρεμούς και διαπίστωσε πως μόνο οι μικρού πλάτους αιωρήσεις είναι μάλλον ισόχρονες. Το ωρολόγιο του Huygen «έχανε» 1 λεπτό την ημέρα, ακρίβεια που πρώτη φορά είχε επιτευχθεί. Σε επόμενες βελτιώσεις του πέτυχε να μειώσει το λάθος σε λιγότερο από 10 δευτερόλεπτα τη μέρα. Αργότερα, γύρω στο 1675, ο Huygen αναπτύσσει το τροχό ισοροπίας (*balancewheel*) που ακόμα συναντάμε σε κάποια ωρολόγια χειρός. Η διαφυγή του Huygen δεν ήταν τέλεια, είχε όμως το πλεονέκτημα της προσαρμοστικότητας στα υπάρχοντα ωρολόγια και άνοιξε έτσι το δρόμο για παραπέρα βελτιώσεις.

Το 1671 στο Λονδίνο, ο William Clement ξεκινά να κατασκευάζει ωρολόγια χρησιμοποιώντας ένα νέο μηχανισμό διαφυγής, το μηχανισμό ανάκρουσης (*Anchor Recoil Escapement*), μια σημαντική βελτίωση, καθώς μείωνε την αλληλεπίδραση με το εκκρεμές και επέτρεπε τη κατασκευή εκκρεμών μεγαλύτερου μήκους και μικρότερης γωνίας ταλάντωσης. Τότε εμφανίστηκαν και τα «ωρολόγια του παππού» ή «εκκρεμή δευτερολέπτου» ή «βασιλικά ωρολόγια», 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 μηχανισμός αυτός χρησιμοποιήθηκε και έγινε γνωστός από τον Graham, στον οποίο οφείλει και το όνομά του. Σταδιακά αυτός ο μηχανισμός διαφυγής αντικατέστησε τον μηχανισμό ανάκρουσης λόγω της μεγαλύτερης ακρίβειας που πετύχαινε. Το 1721 ο George Graham βελτίωσε την ακρίβεια του ωρολογίου με εκκρεμές στο 1 δευτερόλεπτο την ημέρα, αντισταθμίζοντας τις μεταβολές του μήκους του εκκρεμούς λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών. Τους επόμενους αιώνες ακολούθησαν 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 ωρολόγια, οι «ρυθμιστές» (ή χρονιστές— *regulators*), έμπαιναν σε κοινόχρηστους χώρους. Τα ωρολόγια με τη μεγαλύτερη ακρίβεια χρησιμοποιούνταν σε αστεροσκοπεία και ονομάζονταν «αστρονομικά

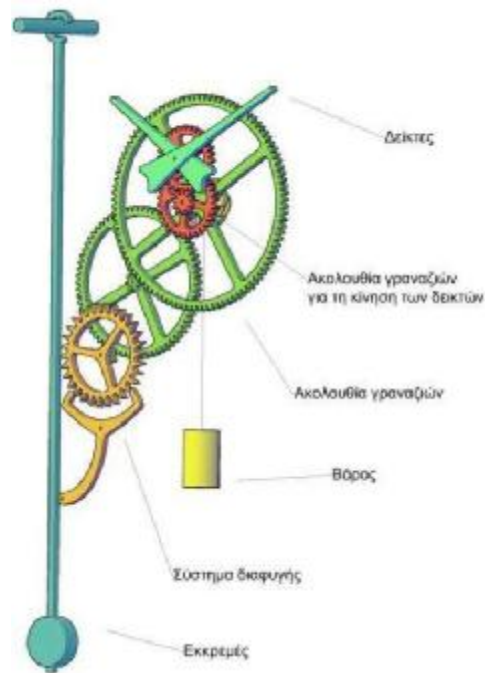
ωρολόγια». Μετά το 1840 εμφανίζονται τα ηλεκτρομηχανικά ωρολόγια, τα οποία χρησιμοποιούσαν τον ηλεκτρισμό ως κινητήριο δύναμη σε συνδυασμό πάλι με ένα εκκρεμές. Ωστόσο, στο τέλος, τα ωρολόγια με εκκρεμές παραγκωνίστηκαν από το ωρολόγια Quartz από το 1930, αφού είχαν ακρίβεια που δεν ήταν δυνατό να επιτευχθεί με τα ωρολόγια με μηχανισμούς διαφυγής.

## ΤΥΠΟΙ ΩΡΟΛΟΓΙΩΝ

### I. ΜΗΧΑΝΙΚΑ

Τα μηχανικά ωρολόγια με εκκρεμές έχουν πέντε (5) βασικά μέρη:

1. **Μια κινητήριο δύναμη.** Συνήθως είναι ένα βάρος σε μία χορδή ή αλυσίδα που γυρίζει ένα οδοντωτό τροχό ή τροχαλία. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ένα μεγάλο έλασμα.
2. **Το εκκρεμές (pendulum).** Ένα βάρος σε μια ράβδο.
3. **Ένα μηχανισμό διαφυγής (escapement).** Σε συνεργασία με το εκκρεμές απελευθερώνει στιγμιαία τη δύναμη του βάρους, επιτρέποντας σε όλο το σύστημα των οδοντωτών τροχών να περιστρέφεται (μαζί και οι δείκτες) κατά μικρά βήματα και ταυτόχρονα δίνει μικρές ωθήσεις στο εκκρεμές διατηρώντας τη κίνησή του.
4. **Μια ακολουθία γραναζιών (geartrain).** Τα γρανάζια μεταφέρουν μειούμενη τη δύναμη του βάρους στο εκκρεμές ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί.
5. **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 οδοντωτών τροχών.



**Εικόνα 1.2.1:** Βασικά συστήματα μηχανικού εκκρεμούς ωρολογίου  
(Πηγή: [www.wfdt.gr](http://www.wfdt.gr))

Τα μηχανικά ωρολόγια διακρίνονται σε (2) δύο μεγάλες κατηγορίες:

1. **Κουρδιστό** - Ο συγκεκριμένος τύπος μηχανής θέλει καθημερινό κούρδισμα. Ο κουρδιστός μηχανισμός δουλεύει με το κούρδισμα του ελατηρίου του ρολογιού. Με το κούρδισμα δίδεται κινητική δύναμη στο ρολόι το οποίο και δίνει κίνηση.
2. **Αυτόματο** - Το μόνο που χρειάζεται για να δουλεύει είναι κίνηση. Ο αυτόματος μηχανισμός δουλεύει με την κίνηση του χεριού. Έτσι με την κίνηση του χεριού ο ρότορας του ρολογιού περιστρέφεται και κουρδίζει το ελατήριο που δίνει κίνηση στις άλλες ρόδες.

Οι παραπάνω δύο τύποι μηχανών, μπορεί να μας δείχνουν μόνο την ώρα ή και την ημερομηνία ή και την ημέρα καθώς επίσης να έχουν και πιο σύνθετες λειτουργίες, όπως αυτόματο ημερολόγιο, Μέσο χρόνο Γκρίνουιτς (GMT), χρονογράφο, ζυπνητήρι και άλλα.

### II. QUARTZ – ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ

Ο μηχανισμός μπαταρίας ή quartz χρησιμοποιεί τον κρύσταλλο quartz (από όπου πήρε και το όνομά του) ο οποίος έχει την ιδιότητα να ταλαντεύεται ακριβώς όσο ένα δευτερόλεπτο. Έτσι, μέσω της μπαταρίας προκαλείται η ταλάντευσή του και δίνεται η ακριβής κίνηση.

Ο συγκεκριμένος τύπος μηχανής διακρίνεται στις εξής κατηγορίες:

1. **Μπαταρίας:** Το μόνο που χρειάζεται για να δουλεύει είναι μία μπαταρία με διάρκεια ζωής από 1 έως 3 χρόνια.
2. **Kinetic:** Στο συγκεκριμένο τύπο μηχανής η μπαταρία είναι πυκνωτής στον οποίο συσσωρεύεται ενέργεια από την κίνηση του ωρολογίου. Αν το φοράμε συνεχώς, ο πυκνωτής αλλάζεται από 5 έως 7 χρόνια. Μία εφεύρεση της SEIKO βασίζεται στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω γεννήτριας και την αποθήκευση της σε πυκνωτή. Με αυτόν τον τρόπο επιτεύχθηκε σημαντική μείωση της ενέργειας που χρειαζόνταν για την λειτουργία του ωρολογίου. Ήδη από την προηγούμενη δεκαετία η SEIKO κατασκεύαζε ρολόγια που χρειαζόντουσαν αλλαγή μπαταρίας κάθε 10 χρόνια.
3. **Eco - drive / ηλιακό/ solar power:** Ο μηχανισμός Eco - Drive δουλεύει με το φως (τεχνητό ή φυσικό). Κάτω από το καντράν του ωρολογίου, υπάρχουν κυψέλες οι οποίες συλλέγουν ακόμα και το πιο αμυδρό φως. Στη συνέχεια το φως αυτό μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια και αποθηκεύεται στο πυκνωτή του ωρολογίου για να δώσει την κίνηση μέσω του quartz. Ο μηχανισμός EcoDRIVE εφευρέθηκε από την CITIZEN. Έχει επίσης διάρκεια ζωής 5 έως 7 χρόνια.
4. **Φόρτισης:** Ο μηχανισμός φόρτισης χρησιμοποιείται από ρολόγια τα οποία καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια, όπως αυτά που φέρουν GPS. Το ρολόι φορτίζει από ηλεκτρικό ρεύμα, το οποίο μεταφέρεται στο ρολόι με μετασχηματιστή για να δώσει λειτουργία.
5. **Spring drive:** Μια εφεύρεση της SEIKO βασισμένη στην τεχνολογία μηχανικών ρολογιών. Έχει ένα κύριο ελατήριο που με την κίνηση του χεριού ο ρότορας του ρολογιού περιστρέφεται και κουρδίζει το ελατήριο το οποίο δίνει κίνηση στις ρόδες, μόνο που χρησιμοποιεί ένα εξ ολοκλήρου νέο σύστημα για το χρονισμό, που επιτυγχάνει ακρίβεια 1 δευτερολέπτου την ημέρα, χωρίς να επηρεάζεται ο ρυθμός λειτουργίας του ρολογιού λόγω των διαφορετικών θέσεων του και της βαρύτητας. Ενώ όλα τα άλλα μηχανικά ρολόγια ακόμα και τα πιο ακριβά έχουν ακρίβεια την ημέρα 15 με 20 δευτερόλεπτα.

Οι παραπάνω κατηγορίες μπορεί να έχουν απλή ένδειξη ώρας έως και πιο σύνθετες λειτουργίες, όπως χρονόμετρο, ημερολόγιο, ξυπνητήρι και άλλα.

Αυτή η κατηγοριοποίηση έγινε με βάση την τροφοδοσία της μηχανής με ενέργεια. Υπάρχει άλλη μία κατηγοριοποίηση που αφορά τον τρόπο εμφάνισης των ενδείξεων. Με βάση αυτό λοιπόν οι κατηγορίες είναι:

- 1. Αναλογικός μηχανισμός**
- 2. Ψηφιακός μηχανισμός**
- 3. Αναλογικός και ψηφιακός**

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

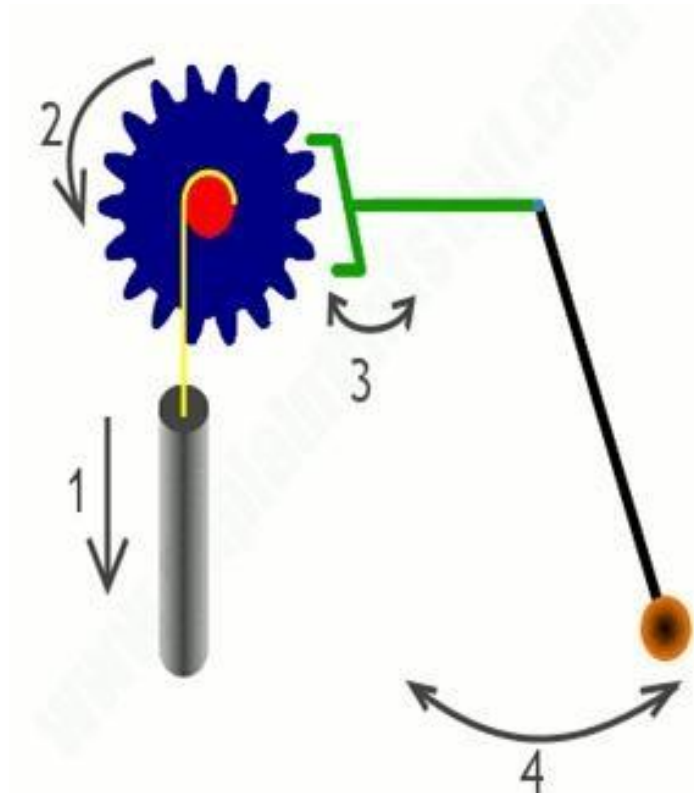
### ΩΡΟΛΟΓΙΑ ΤΥΠΟΥ ΕΚΚΡΕΜΕΣ

Τα ωρολόγια τύπου εκκρεμές είναι χρονομετρητές οι οποίοι λειτουργούν με την βοήθεια της κίνησης ενός εκκρεμούς. Πρόκειται για κίνηση ενός αρμονικού ταλαντωτή, εμπρός και πίσω σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, με ένα συγκεκριμένο ρυθμό που εξαρτάται από το μήκος του εκκρεμούς. Είναι ένας καθαρά μηχανικός μηχανισμός ο οποίος μετατρέπει την μηχανική ενέργεια σε κινητική, η οποία είναι απαραίτητη για την λειτουργία του χρονομετρητή. Τα εκκρεμή υπόκεινται στις τοπικές δυνάμεις βαρύτητας με αποτέλεσμα να μην έχουν τον ίδιο τρόπο λειτουργίας, Για παράδειγμα, δυο εκκρεμή τα οποία βρίσκονται σε διαφορετικό υψόμετρο θα έχουν διαφορετική λειτουργία.

### ΕΙΔΗ ΜΗΧΑΝΙΣΜΩΝ ΤΩΝ ΩΡΟΛΟΓΙΩΝ ΜΕ ΕΚΚΡΕΜΕΣ

Ένα μέρος της ενέργειας οφείλεται σε μια διάταξη η οποία δίνει κίνηση στους άξονες του ρολογιού. Είδη διαφορετικών μηχανισμών που αποτελούν την διάταξη αυτή είναι:

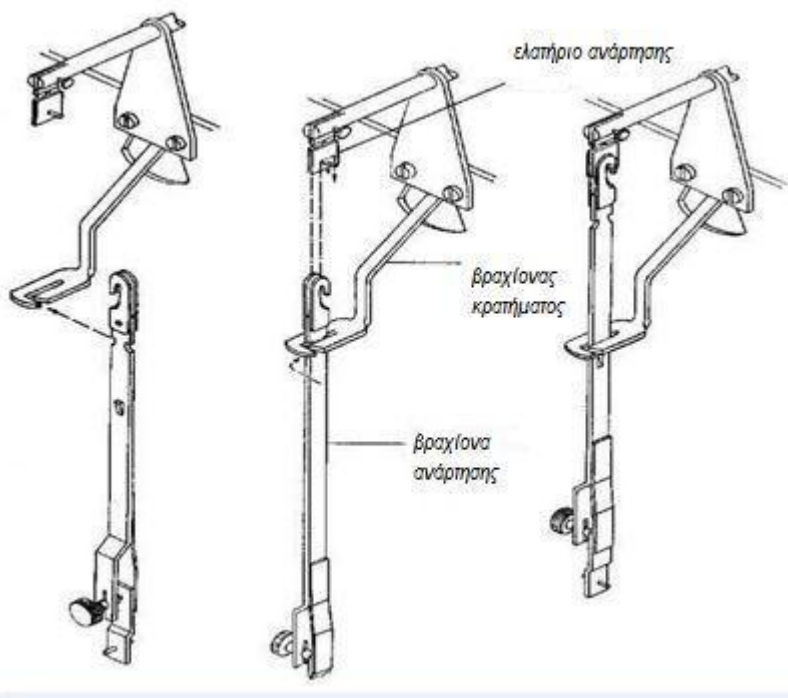
1. Μέσω ενός σχοινιού το οποίο στο άκρο του έχει ένα βάρος, το σχοινί είναι τυλιγμένο σε άτρακτο και κατά την πτώση του τον περιστρέφει (Εικ. 2.1).



**Εικόνα 2.1:** Μηχανισμός με βάρος

(Πηγή: <https://www.explainthatstuff.com/how-pendulum-clocks-work.html>)

2. Μέσω ενός ελατηρίου το οποίο δίνει συνεχή κίνηση στο εκκρεμές (Εικόνα. 2.2).



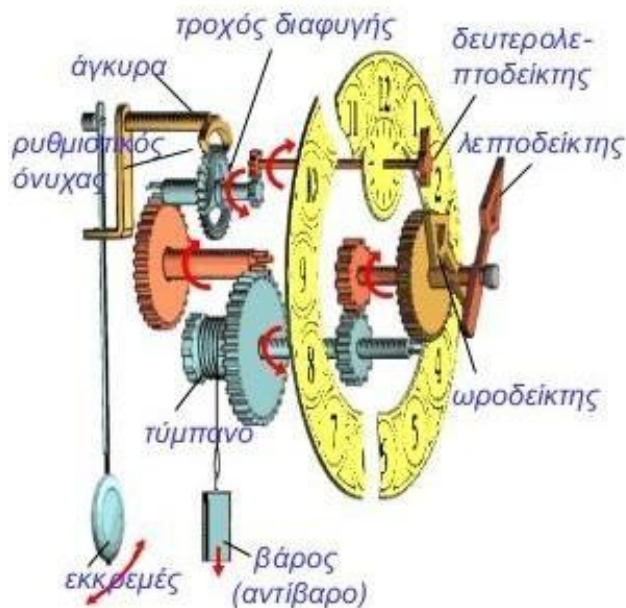
**Εικόνα 2.2:** Μηχανισμός με ελατήριο



Στην κατασκευή ωρολογίου με εκκρεμές που πραγματοποιήθηκε στην παρούσα πτυχιακή εργασία επιλέχθηκε να τοποθετηθούν επάνω στο εκκρεμές, δεξιά και αριστερά αυτού, μαγνήτες οι οποίοι θα απωθούνται από αντίστοιχους, δεξιά και αριστερά της κατασκευής, λόγω της όμοιας πολικότητας. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η συνεχής κίνηση του εκκρεμούς.

### **KYRIA MERH VROLOGIOY EKKREMOYS (HUNKER EMILY GOODMAN)**

Τα ωρολόγια με εκκρεμές χρησιμοποιούν την αιώρηση του εκκρεμούς για να ρυθμίζουν το ωρολόγιο, την ενέργεια των βαρών σταδιακά να πέφτουν για να κρατήσουν το εκκρεμές και μια ή περισσότερες σειρές γραναζιών για να βεβαιωθούμε ότι τα χέρια κινούνται με έναν ακριβή ρυθμό.



**Εικόνα 2.3:** Διάταξη μηχανισμού ωρολογίου εκκρεμούς  
(Πηγή: <https://www.slideshare.net/ssuser703132/ss-31797578>)

Τα κύρια μέρη ενός ωρολογίου εκκρεμούς είναι:

1. Ένα **βάρος** (το εκκρεμές):

Πρόκειται για ένα βάρος που είναι συνδεδεμένο με μια χορδή και τυλίγεται γύρω από ένα τύμπανο έτσι ώστε αυτό να κρέμεται πάνω από το πάτωμα, όπως αποτυπώνεται στην εικόνα (2.4). Εάν το αφήσουμε να φύγει, το βάρος θα πέσει, γυρίζοντας το τύμπανο, μέχρι να φτάσει στο κάτω μέρος. Οι δείκτες είναι συνδεδεμένοι με το τύμπανο και περιστρέφονται καθώς το βάρος πέφτει.

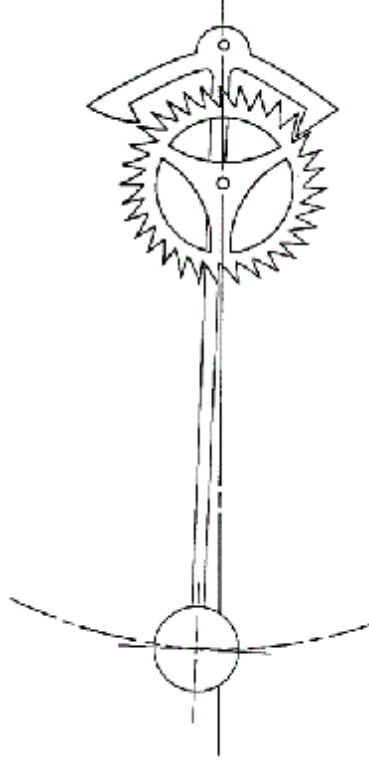
Το εκκρεμές είναι ένα στρογγυλό βάρος στο τέλος μιας ράβδου. Καθώς η ράβδος κινείται, το εκκρεμές πηγαίνει εμπρός και πίσω με κανονικό ρυθμό. Η περίοδος ενός εκκρεμούς, ο χρόνος που χρειάζεται για να πάει μπροστά και πίσω μία φορά, βασίζεται στο μήκος της ράβδου εκκρεμούς και επηρεάζεται από την έλξη βαρύτητας σε μια συγκεκριμένη θέση στη γη. Με κατάλληλο σχεδιασμό εκκρεμούς, σωστού μήκους και βάρους, μπορούμε να επιτύχουμε την περίοδο έτσι ώστε να είναι ακριβώς ένα δευτερόλεπτο μακριά, ή κάποια άλλη κανονική χρονική περίοδο. Εάν το εκκρεμές μπορούσε κατά κάποιον τρόπο να συνεχίσει, έτσι ώστε να μην σταματήσει με τριβή, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να μετρήσει ακριβώς το πέρασμα του χρόνου.



**Εικόνα 2.4:** Εκκρεμές, βάρος ωρολογίου

(photo: atas educational).

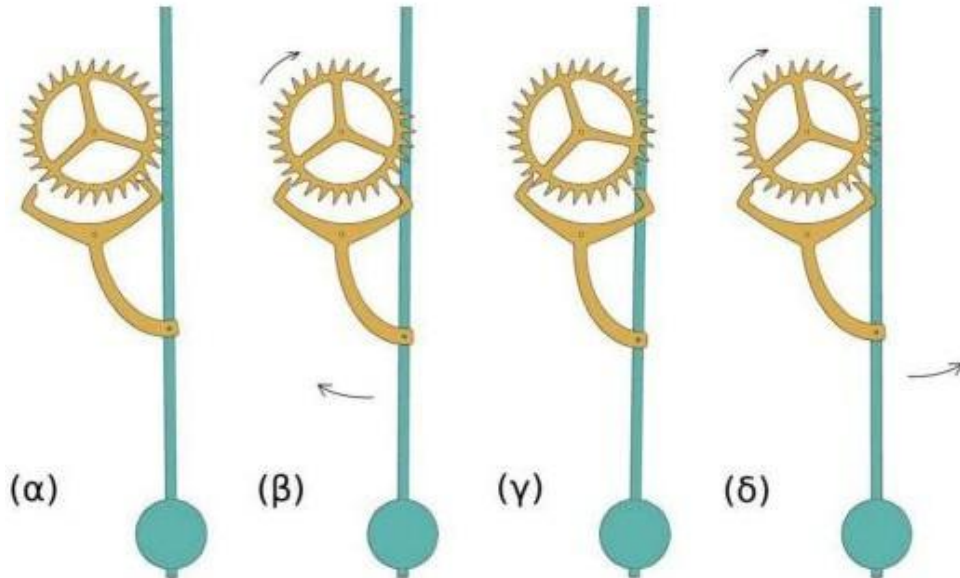
2. η **διαφυγή** (escapement): Η διαφυγή είναι μια σειρά από μέρη, το εκκρεμές, ένα οδοντωτό γρανάζι και μια συσκευή που ονομάζεται άγκυρα, που εμπλέκει τα δόντια του γραναζιού (Εικ. 2.5).



**Εικόνα 2.5:** Μηχανισμός διαφυγής ωρολογίου εκκρεμούς

(Πηγή: <https://www.uh.edu/engines/epi1307.htm>)

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 (Εικ. 2.6).



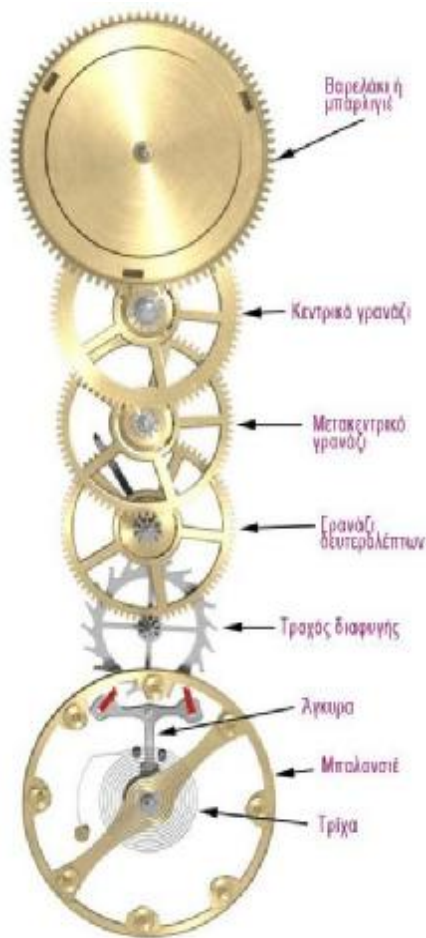
**Εικόνα 2.6:** Στάδια λειτουργίας του μηχανισμού διαφυγής

(Πηγή: <http://www.wfdt.teilar.gr>)

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 (Εικόνα.2.6). Στην επιστροφή του εκκρεμούς τα γρανάζια απελευθερώνονται για πολύ μικρό χρονικό διάστημα (Εικ. 2.6β), μέχρι ο μηχανισμός διαφυγής να τα ξαναμπλοκάρει (Εικ. 2.6γ). Ο μηχανισμός διαφυγής μπαίνει τότε σε κατάσταση οδήγησης και λίγο πριν τη νέα απελευθέρωση των τροχών, δίνει στο εκκρεμές μια ελαφριά ώθηση (Εικ. 2.6δ). 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 οδοντωτών τροχών, πόσο συχνά δηλαδή θα απελευθερώνονται και θα μπλοκάρονται τα γρανάζια.

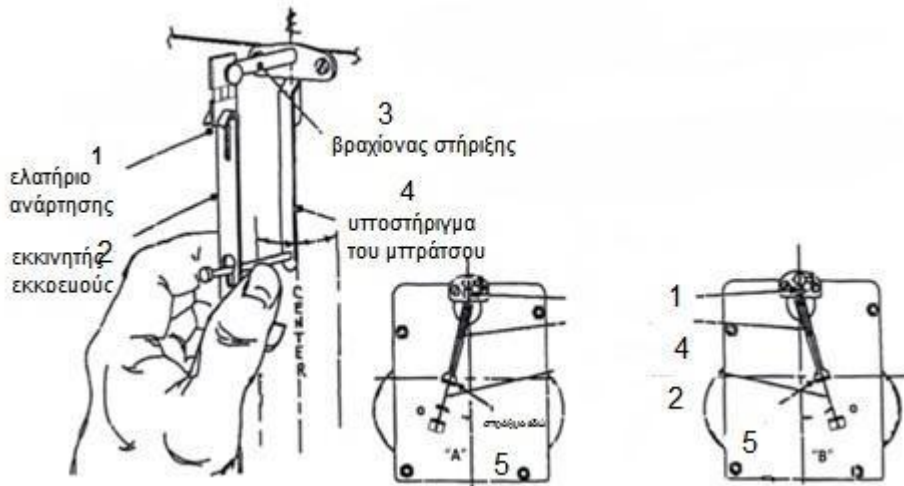
3. μια **σειρά οδοντωτών τροχών**: Είναι μια σειρά από οδοντωτούς τροχούς , καθένας από τους οποίους συνδέεται στον επόμενο. Σε ένα ωρολόγιο, μία σειρά με οδοντωτούς τροχούς συνδέει το τύμπανο σε κάθε δείκτη του ωρολογίου. Οι διαφορετικοί διάμετροι και ο διαφορετικός αριθμός των οδοντωτών τροχών είναι υπεύθυνοι για την περιστροφή κάθε δείκτη με διαφορετική ταχύτητα, όπως αυτό φαίνεται στη εικόνα (Εικόνα. 2.7). Οι οδοντωτοί τροχοί ρυθμίζουν την ταχύτητα με την οποία γυρίζουν τα τύμπανα, έτσι ώστε τα βάρη να πέφτουν σε ρυθμιζόμενες ταχύτητες.



**Εικόνα 2.7:** Παράδειγμα διαδοχικής σειράς γραναζιών ωρολογίου εκκρεμούς (<http://www.hellenic-college.gr>)

4. Ένας **μηχανισμός ρύθμισης**: Ο μηχανισμός ρύθμισης αποσυνδέει τη σειρά ταχυτήτων έτσι ώστε οι δείκτες του ωρολογίου να μπορούν να ρυθμιστούν

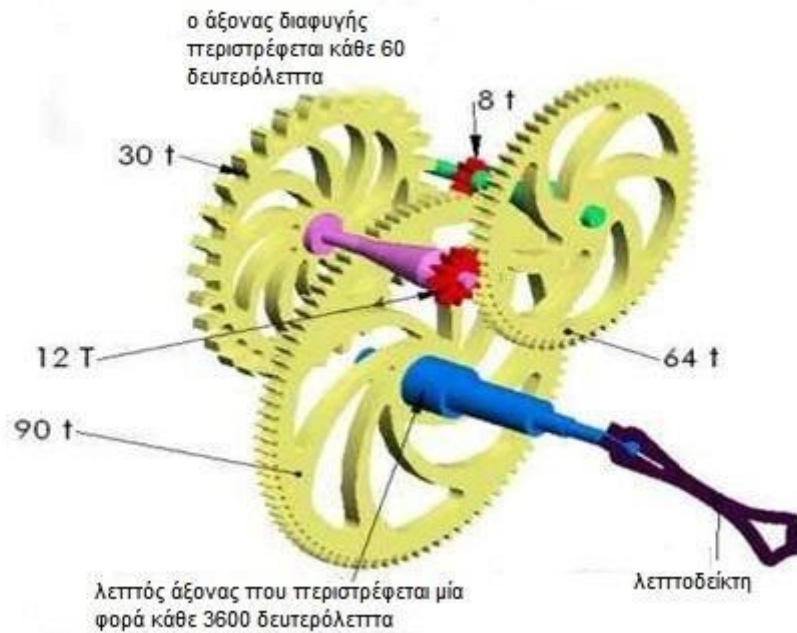
στη σωστή ώρα. Αντιστοιχεί στο στέλεχος ενός ρολογιού, το οποίο πρέπει να τραβηχτεί, αποσυνδέοντας τα γρανάζια, έτσι ώστε να μπορούν να ρυθμιστούν οι δείκτες (Εικόνα. 2.8).



**Εικόνα 2.8:** Μηχανισμός ρύθμισης  
(Πηγή: Klockit's blog)

## ΑΚΟΛΟΥΘΙΑ ΟΔΟΝΤΩΤΩΝ ΤΡΟΧΩΝ (GARYSCLOCKS)

Σε αυτό το υποκεφάλαιο περιγράφεται η αρχή λειτουργίας των γραναζιών ενός ωρολογιού έτσι ώστε ο δείκτης και ο λεπτοδείκτης να κινούνται ανά ώρα και λεπτό της ώρας αντίστοιχα. Υπάρχουν διάφορες διατάξεις γραναζιών έτσι ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα, είτε με μία πολύπλοκη συνδεσμολογία, είτε με μία απλούστερη. Ωστόσο, όλες η διατάξεις κινούνται στα πλαίσια κάποιας αρχής και αυτή είναι να έχουμε ως αποτέλεσμα στην κίνηση των δεικτών την ώρα και τα δευτερόλεπτα.



**Εικόνα 2.9:** Ακολουθία οδοντωτών τροχών

(Πηγή: <http://garysclocks.sawdustcorner.com/clock-gear-math.html>)

Περιγράφεται η απλούστερη συνδεσμολογία έτσι ώστε να γίνει κατανοητή η λειτουργία του ωρολογίου. Έστω ότι υπάρχει ένας άξονας στον οποίο είναι τοποθετημένος ένας οδοντωτός τροχός με 90 δόντια, ο οποίος πραγματοποιεί μια περιστροφή ανά 3600 δευτερόλεπτα, δηλαδή μία ώρα. Επάνω σε αυτό τον άξονα είναι τοποθετημένος και ο λεπτοδείκτης. Διαθέτουμε επίσης ένα άξονα τον οποίο ονομάζουμε διαφυγής καθώς είναι τοποθετημένος επάνω του ο οδοντωτός τροχός διαφυγής. Αυτός ο άξονας κάνει μία περιστροφή ανά 60 δευτερόλεπτα και διαθέτει αριθμό δοντιών 30. Ο λόγος μετάδοσης μεταξύ των δύο αυτών οδοντωτών τροχών είναι 3600 προς 60, δηλαδή 60:1. Για να μεταδοθεί η κίνηση και στους υπόλοιπους οδοντωτούς τροχούς πρέπει να τοποθετηθούν και γρاناζία μικρότερης διαμέτρου αλλά και αριθμού δοντιών. Για να βρεθεί ο αριθμός των δοντιών αυτών των μικρότερων γρاناζιών υπολογίζεται το γινόμενο των οδοντώσεων των μεγάλων γρاناζιών προς το γινόμενο των μικρότερων. Αυτό πρέπει να ισούται με 60, που είναι και ο λόγος μετάδοσης.

$$\frac{\delta}{\delta \delta} = \text{---} \quad (2.1)$$

Στη κατασκευή του παρόντος ωρολογίου εκκρεμούς, ο λεπτοδείκτης πραγματοποιεί μία πλήρη περιστροφή μέσω της συνδεσμολογίας των εξής οδοντωτών τροχών: τοποθετούνται κύριοι οδοντωτοί τροχοί αριθμού οδοντώσεως 63, 69, 84, 60, 16 και μικρότερης διαμέτρου με αριθμό δοντιών 10, 1 δύο των 12

και δύο των 15. Με επίλυση της εξίσωσης 2.1 για την κίνηση του λεπτοδείκτη προκύπτει:

Μέσω της εξίσωσης 2.1 προκύπτει:  $L = 60$

Όσο αφορά την κίνηση του ωροδείκτη, διατίθενται ως κινητήριοι οδοντωτοί τροχοί ένας με οδόντωση 45 και ένα με 60, καθώς και δύο μικρότερης διαμέτρου με αριθμό οδόντωσης 15, οπότε:

Μέσω της εξίσωσης 2.1 προκύπτει: \_\_\_\_\_

Όπου 12 είναι οι κινήσεις ώστε να ολοκληρωθεί μία πλήρη περιστροφή του δείκτη.

Ως κινητήρια ενέργεια της λειτουργίας του μηχανισμού, χρησιμοποιείται η δύναμη που παράγεται από το εκκρεμές. Για την σωστή λειτουργία του ωρολογίου χρειαζόμαστε συγκεκριμένο μήκος εκκρεμούς το οποίο δίνεται από τον τύπο:

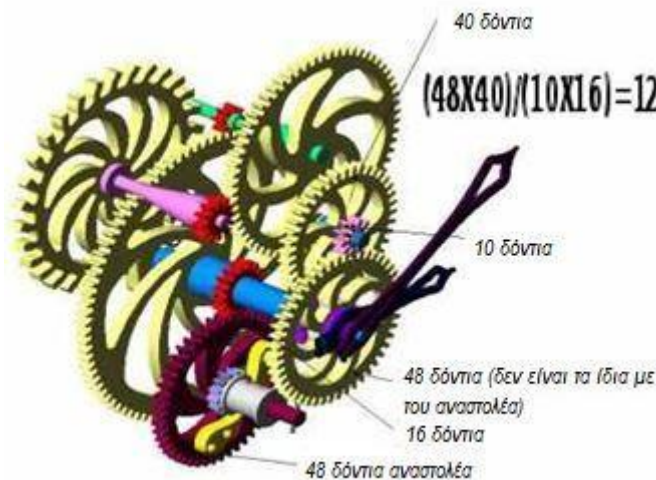
$$L = \frac{gT^2}{4\pi^2}, \text{ όπου:} \quad (2.2)$$

$g$  = σταθερά βαρύτητας 9,8 m/

$T$  = περίοδος του εκκρεμούς, και

$\pi = 3,14159$

Η περίοδος του εκκρεμούς δίνεται από τη διαίρεση του αριθμού του χρόνου περιστροφής του τροχού διαφυγής, προς τον αριθμό της οδόντωσης του.



**Εικόνα 2.10:** Ακολουθία οδοντωτών τροχών



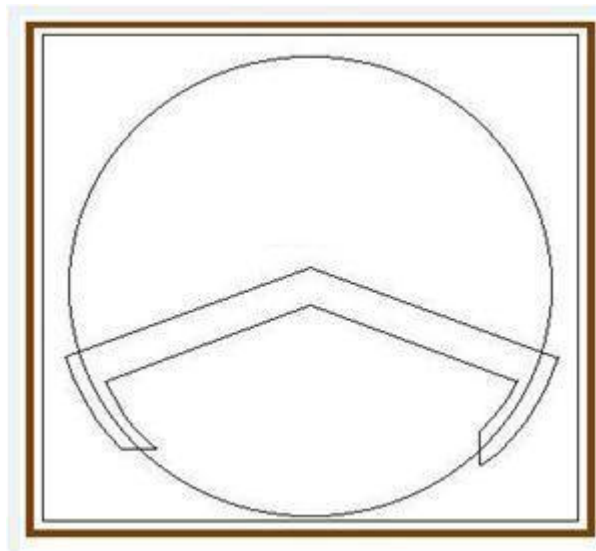
Για να οριστεί η διάταξη της συνδεσμολογίας των οδοντωτών τροχών της ώρας, πρέπει είναι γνωστός ο λόγος μετάδοσης αυτών, ο οποίος είναι γνωστός, καθώς είναι 12:1 το λεπτό. Για να βρεθεί το σύνολο των οδοντωτών τροχών χρησιμοποιείται η εξίσωση 2.1 ο οποίος χρησιμοποιήθηκε και για τα λεπτά:

Μέσω της εξίσωσης 2.1 προκύπτει: —

Έτσι έχουμε ορίσει την ώρα αλλά και τα λεπτά σε ένα ωρολόγιο εκκρεμές, με την απλούστερη συνδεσμολογία των τροχών. Ωστόσο, πρέπει να αναφερθεί πως η συνδεσμολογία του εκκρεμούς ωρολογίου της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι πιο σύνθετη λόγω κατασκευαστικών παραγόντων.

### ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΔΙΑΦΥΓΗΣ

Το 1715, ο George Graham λέγεται ότι έχει τροποποιήσει τη διαφυγή αγκυροβόλησης για να εξαλείψει την ανάκρουση και να ξεπεράσει τις τριβές στους άξονες των οδοντωτών τροχών. Ο Graham τροποποίησε τον βραχίονα κατασκευασμένο από χάλυβα έτσι ώστε το κατώτερο τμήμα κάθε άκρου να βασίζεται στο τόξο ενός κύκλου με το κέντρο του στον άξονα περιστροφής των παλετών (Εικ. 2.11)



**Εικόνα 2.11:** Διαφυγή Graham, κυκλικό σχέδιο  
(Πηγή: princeton.edu)

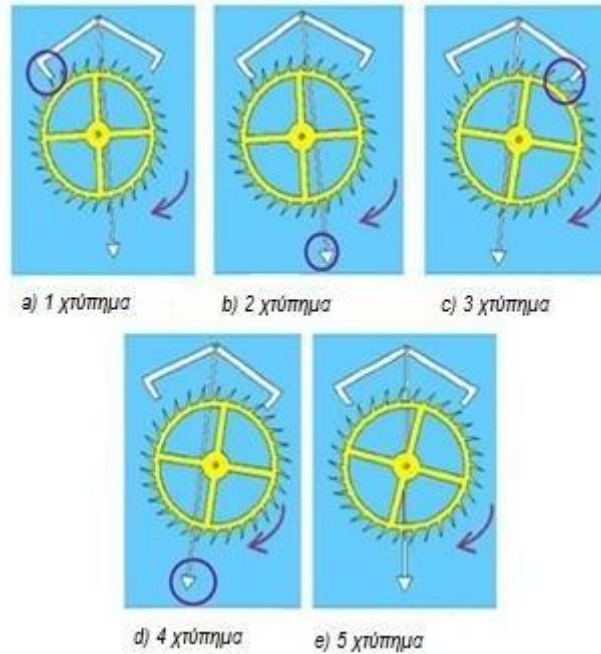
Η άκρη κάθε άκρου έχει επιφάνεια, η γωνία της οποίας, με βάση τις κατευθύνσεις της δύναμης, σχεδιάστηκε για να δώσει ώθηση στην παλέτα καθώς το δόντι διαφυγής ολισθαίνει στην επιφάνεια κάθε άκρου. Το δόντι διαφυγής χτυπά την παλέτα πάνω από το άκρο στο κατώτερο τμήμα του άκρου (Εικ. 2.12), όπου ο τροχός διαφυγής περιστρέφεται δεξιόστροφα και πρόκειται να χτυπήσει την παλέτα εισόδου στην αριστερή πλευρά, πάνω από την όψη του παλμού. Η επιφάνεια στην οποία πέφτει το δόντι διαφυγής είναι η επιφάνεια ασφάλισης, καθώς αποτρέπει την περιστροφή του τροχού διαφυγής.



**Εικόνα 2.12:** Διαφυγή Graham

(Πηγή: princeton.edu)

Όταν η μία πλευρά της άγκυρας απελευθερώνει ένα δόντι διαφυγής, ο τροχός διαφυγής περιστρέφεται ελεύθερα με περίπου  $2^\circ$ , ώσπου ένα άλλο δόντι να χτυπήσει την άλλη πλευρά στην επιφάνεια ασφάλισης, ακριβώς πέρα από την άκρη. Αν το εκκρεμές συνεχίσει να αιωρείται μετά την πτώση, το δόντι διαφυγής ολισθαίνει μέχρι την επιφάνεια ασφάλισης ώσπου να σταματήσει το εκκρεμές. Ο τροχός διαφυγής δεν σπρώχνεται προς τα πίσω (ανάκρουση) καθώς το δόντι ολισθαίνει επάνω στην όψη ασφάλισης, επειδή κάθε σημείο κατά μήκος της επιφάνειας ασφάλισης βρίσκεται στην ίδια ακτινική απόσταση από τον άξονα περιστροφής (άξονας περιστροφής) της άγκυρας. Το εκκρεμές σταματά στο τέλος κάθε ταλάντευσης, σε κάποιο βαθμό εξαιτίας της βαρυτικής δύναμης, αλλά κυρίως λόγω της ελαστικότητας του ελατηρίου ανάρτησης, το οποίο χρησιμεύει στην μεταβολή της κατεύθυνσης της κίνησης του εκκρεμούς και να αρχίσει να κινείται και πάλι. Η ενέργεια που παρέχει ο τροχός διαφυγής στο εκκρεμές είναι απαραίτητη για να διατηρηθεί η κίνηση του εκκρεμούς. Το ωρολόγιο δεν είναι αυτόνομο, πρέπει να δοθεί ώθηση στο εκκρεμές.



**Εικόνα 2.13:** Παράδειγμα κίνησης του μηχανισμού διαφυγής

(Πηγή: <https://www.princeton.edu/~timeteam/graham.html>)

Το σχήμα παρουσιάζει τα βήματα που διέρχεται η διαφυγή σε έναν πλήρη κύκλο. Σημειώστε ότι στην εικόνα ο κύκλος δείχνει τα σημεία που πρέπει να παρατηρηθούν και το βέλος δείχνει την κατεύθυνση περιστροφής του τροχού διαφυγής. Στην εικόνα 2.13(a) δείχνει την 1<sup>η</sup> κρούση, η οποία είναι η επαφή ενός δοντιού στον τροχό διαφυγής στην παλέτα εισόδου της περόνης παλέτας. Η εικόνα 2.13(b) δείχνει την 2<sup>η</sup> κρούση, στην οποία το εκκρεμές φθάνει στο πιο απομακρυσμένο σημείο και αρχίζει να κινείται προς την αντίθετη κατεύθυνση. Η εικόνα 2.13(c) δείχνει την 3<sup>η</sup> κρούση, ένα άλλο δόντι στον τροχό διαφυγής αγγίζει την παλέτα εξόδου του πιρουιού. Στην εικόνα(d) φαίνεται η 4<sup>η</sup> κρούση, το εκκρεμές φθάνει στο άλλο απομακρυσμένο σημείο. Τέλος, η εικόνα 2.13(e) δείχνει την 5<sup>η</sup> κρούση, το πιρούι και το εκκρεμές επιστρέφουν στην αρχική τους θέση συμπληρώνοντας ένα γύρο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

### ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΜΠΤΙΚΩΝ ΡΟΠΩΝ

Για την ολοκλήρωση της κατασκευής του ωρολογίου εκκρεμούς, πρέπει πρώτα να γίνει στοιχειώδη ανάλυση των καμπτικών ροπών στους άξονες του, οι οποίοι φέρουν το φορτίο των οδοντωτών τροχών. Ως κάμψη ορίζεται η καταπόνηση σε δοκούς και ατράκτους, η οποία οφείλεται σε εγκάρσια φορτία. Η μελέτη της κάμψης σε θεωρητικό επίπεδο γίνεται κάτω από προϋποθέσεις και παραδοχές, αυτές είναι:

- 1) Ο διαμήκης άξονας να είναι ευθύγραμμος.
- 2) Οι διαστάσεις της διατομής να είναι μικρές σε σχέση με το μήκος του άξονα.
- 3) Οι εγκάρσιες διατομές διατηρούν την επιπεδότητα τους και μετά τη φόρτιση.
- 4) Η δοκός αποτελείται από ανεξάρτητες διαμήκεις ίνες οι οποίες παραμορφώνονται σαν μην υπάρχουν οι υπόλοιπες.
- 5) Ισχύει ο νόμος του Hooke, δηλαδή οι αναπτυσσόμενες τάσεις είναι μικρότερες από το όριο αναλογίας του υλικού.
- 6) Όλα τα φορτία που ενεργούν κάθετα στον άξονα της δοκού βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο, το επίπεδο κάμψης.
- 7) Το επίπεδο της κάμψης διαθέτει το διαμήκη κεντροβαρικό άξονα της δοκού και τον άτρακτο συμμετρίας της διατομής ή έναν από τους κύριους άξονες αδράνειας της διατομής.

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται τα χαρακτηριστικά των οδοντωτών τροχών, όπως αυτά είναι απαραίτητα για τους υπολογισμούς μας:

Πίνακας 3.1:

## Στοιχεία οδοντωτών τροχών

εδομ ένα	1 <sup>ος</sup>	2 <sup>ος</sup>	3 <sup>ος</sup>	4 <sup>ος</sup>	5 <sup>ος</sup>	6 <sup>ος</sup>	7 <sup>ος</sup>	8 <sup>ος</sup>	9 <sup>ος</sup>	10 <sup>ος</sup>	11 <sup>ος</sup>	12 <sup>ος</sup>	13 <sup>ος</sup>	14 <sup>ος</sup>
R(m)	0,007	0,014	0,036	0,007	0,017	0,049	0,043	0,011	0,006	0,02	0,013	0,035	0,047	0,013
z	12	16	69	12	15	63	84	12	60	18	15	45	60	15
t	3,14	4,71	3,14	3,14	6,28	4,71	3,14	4,71	6,28	6,28	4,71	4,71	4,71	4,71
m	1,00	1,50	1,00	1,00	2,00	1,50	1,00	1,50	2,00	2,00	1,50	1,50	1,50	1,50
hk	1,00	1,50	1,00	1,00	2,00	1,50	1,00	1,50	2,00	2,00	1,50	1,50	1,50	1,50
h	2,17	3,25	2,17	2,17	4,33	3,25	2,17	3,25	4,33	4,33	3,25	3,25	3,25	3,25
hf	1,17	1,75	1,17	1,17	2,33	1,75	1,17	1,75	2,33	2,33	1,75	1,75	1,75	1,75
d0	12,00	24,00	69,00	12,00	30,00	94,50	84,00	18,00	120,00	36,00	22,50	67,50	90,00	22,50
Ik(m)	0,014	0,027	0,071	0,014	0,034	0,098	0,086	0,021	0,012	0,040	0,026	0,071	0,093	0,025
df	9,67	20,51	66,67	9,67	25,34	91,01	81,00	18,58	115,34	31,34	19,01	64,01	86,51	19,01
s	1,52	2,28	1,52	1,52	3,04	2,28	1,52	2,28	3,04	3,04	2,28	2,28	2,28	2,28
l	1,62	2,43	1,62	1,62	3,24	2,43	1,62	2,43	3,24	3,24	2,43	2,43	2,43	2,43
i	0,17		0,17	0,14		0,19	0,14	0,19						

Η καμπτική ροπή δίνεται από τον τύπο:

$$M_T = x \times F \text{ (Nm)} \quad \text{όπου,} \quad (3.1)$$

X: απόσταση φορτίου, στο μήκος του άξονα, από το μηδενικό σημείο που έχουμε ορίσει. (m)

F: φορτίο (N)

m: μέτρα

Το φορτίο υπολογίζεται ως εξής:

$$F = m \times U \text{ (N)} \quad (3.2)$$

M: η μάζα του γραναζιού (Kg)

U: η ταχύτητα περιστροφής (m/s)

$$m = \rho \times V \text{ (kg)} \quad (3.3)$$

$\rho$ : η πυκνότητα υλικού του οδοντωτού τροχού ( )

V:ο όγκος του οδοντωτού τροχού (

$$V=\pi \times R^2 \times H \quad (3.4)$$

R:ακτίνα του οδοντωτού τροχού

H:πάχος οδοντωτού τροχού

$$U=\omega \quad (m/s) \quad (3.5)$$

$$\omega=2 \quad (3.6)$$

$$T=2 \quad - \quad (3.7)$$

Όπου:

$$\pi = 3,1415$$

$$g = 9,81$$

Παρακάτω γίνεται υπολογισμός της καμπτικής ροπής των αξόνων, καθώς οι οδοντωτοί τροχοί οι οποίοι είναι τοποθετημένοι και περιστρέφονται πάνω σε αυτούς, τους καταπονούν, με αποτέλεσμα τον κίνδυνο αστοχίας τους. Έτσι γίνεται ο έλεγχος αντοχής τους σε κάμψη. Για την ευκρίνεια των αποτελεσμάτων, τα οποία έχουν πραγματοποιηθεί σε αρχείο excel, αυτά θα αποτυπωθούν σε πίνακα με όλα τα δεδομένα που προ-απαιτούνται.

Ταξινομώντας τις ατράκτους από αυτόν του λεπτοδείκτη πηγαίνοντας προς αυτόν με τον γάντζο διαφυγής έχουμε:

Πίνακας 3.2:

#### Στοιχεία ατράκτων

Αξονες	Vf(m <sup>3</sup> )	mf(Kg)	F(N)	ρf(Kg/m <sup>3</sup> )	U(m/s)	Mt(Nm)	H(m)	ωf(m/s)	T(s)
1 <sup>ος</sup>	1,7E-05	0,0001	0,000026	7,87	0,23	8,7E-07	0,010	5,94	1,06
2 <sup>ος</sup>	2,1E-05	0,0002	0,000035	7,87	0,25	1,2E-06	0,010	5,94	1,06
3 <sup>ος</sup>	3E-05	0,0002	0,000056	7,87	0,33	1,91E-06	0,010	5,94	1,06
4 <sup>ος</sup>	3E-05	0,0002	0,000015	7,87	0,31	5,13E-07	0,010	5,94	1,06
5 <sup>ος</sup>	4,3E-05	0,0003	0,000108	7,87	0,00	3,67E-06	0,005	5,94	1,06
6 <sup>ος</sup>	7,7E-06	6E-05	0,000006	7,87	0,19	1,97E-07	0,010	5,94	1,06
7 <sup>ος</sup>	4,9E-05	0,0004	0,000086	7,87	0,53	2,92E-06	0,015	5,94	1,06

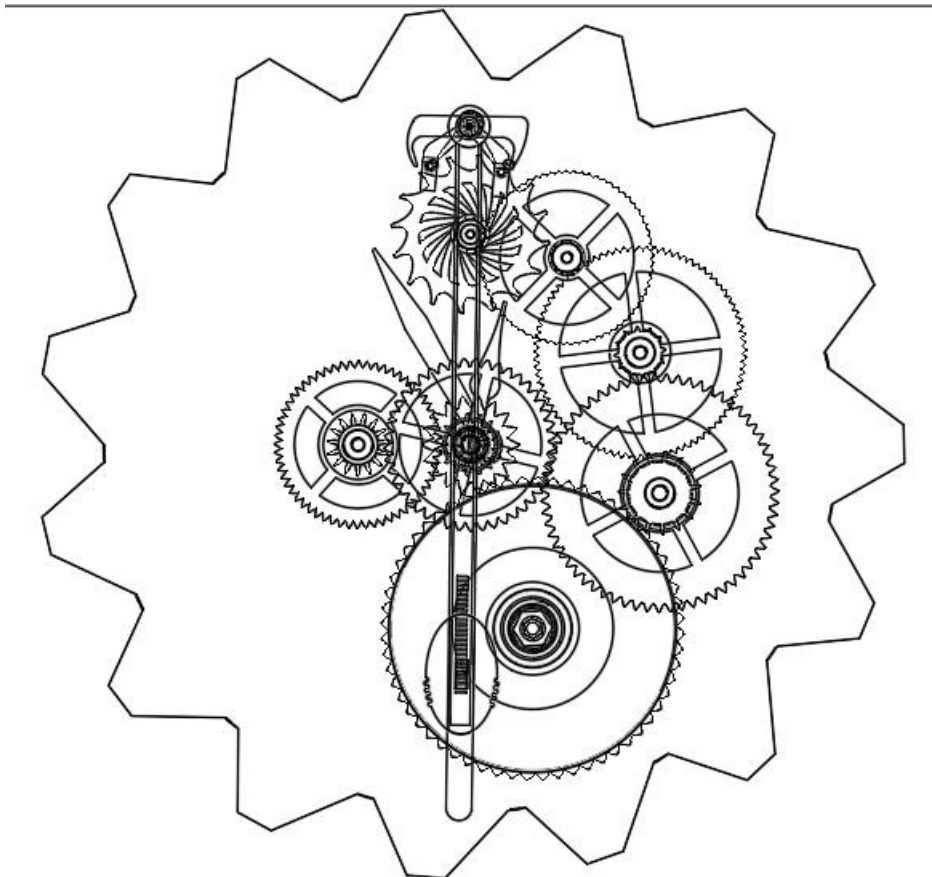
Όπως φαίνεται στο πίνακα 3.2, οι στρεπτικές δυνάμεις στην άτρακτο είναι αμελητέες, οι άτρακτοι δεν κινδυνεύουν να αστοχήσουν. Βέβαια αυτό το υποψιαζόμασταν εξ' αρχής, αφού πρόκειται για πολύ μικρά φορτία.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>

### ΜΕΛΕΤΗ ΣΚΕΛΕΤΟΥ

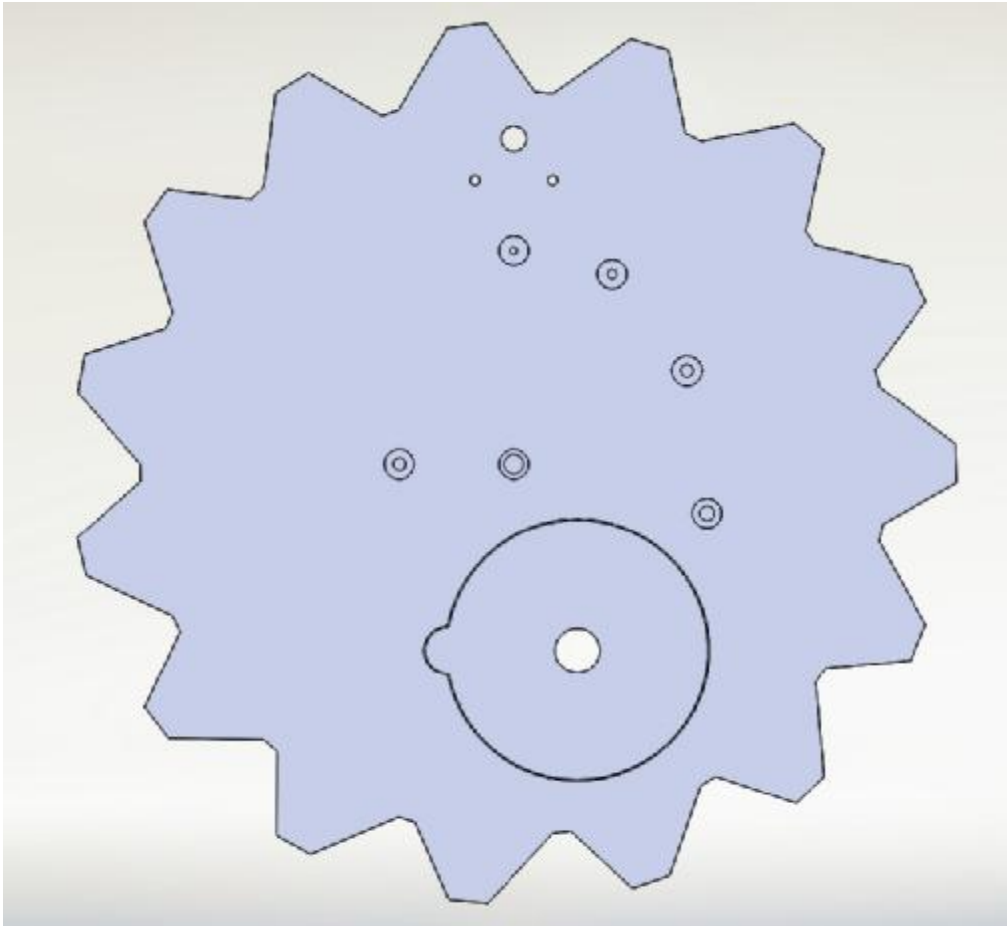
Ο σκελετός δηλαδή το καλούπι της κατασκευής μας θα πρέπει να είναι από ένα πολύ καλό υλικό με καλές κραδαστικές αντοχές και καλές μηχανικές ιδιότητες. Έτσι το υλικό που επιλέξαμε είναι κατασκευασμένο από φύλλα αλουμινίου με κράμα τύπου AlMg2. Επιλέγοντας αυτό το υλικό έχουμε την δυνατότητα στήριξης όλων των αξόνων, αλλά και την αντοχή στήριξης των οδοντωτών τροχών που είναι κατασκευασμένα από μαλακό ατσάλι.

### ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΚΕΛΕΤΟΥ ΣΤΟ Solidworks



*Εικόνα 4.1: Όψη πλήρως συναρμολογημένου ωρολογίου τοίχου τύπου εκκρεμούς.*

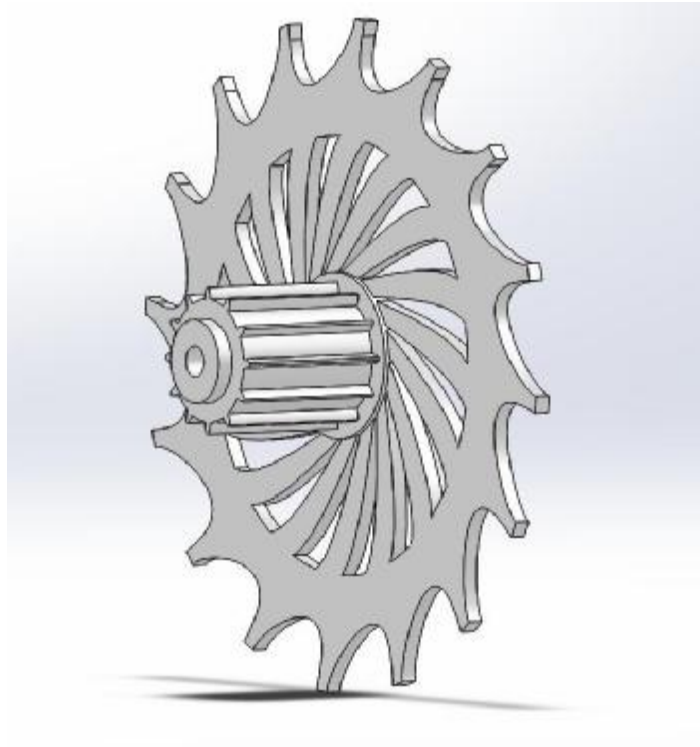




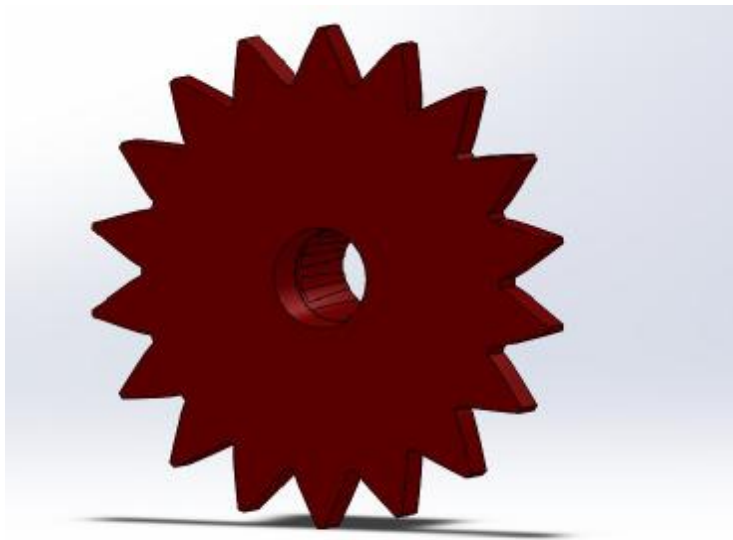
*Εικόνα 4.2: Καλούπι ωρολογίου*

### **ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΩΝ ΟΔΟΝΤΩΤΩΝ ΤΡΟΧΩΝ**

Παρακάτω είναι τοποθετημένες εικόνες οι οποίες απεικονίζουν τους οδοντωτούς τροχούς της πτυχιακής του ωρολογίου , όπως αυτά σχεδιάστηκαν στο πρόγραμμα **Solidworks**.



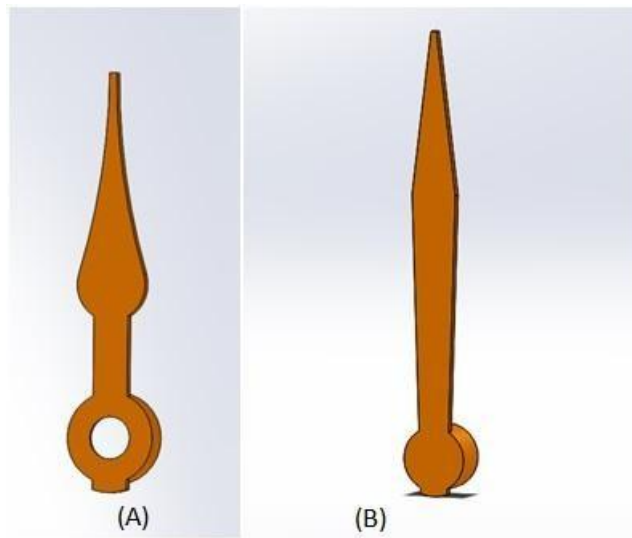
**Εικόνα 4.3:** Δίσκος διαφυγής και οδοντωτός τροχός 15 δοντιών



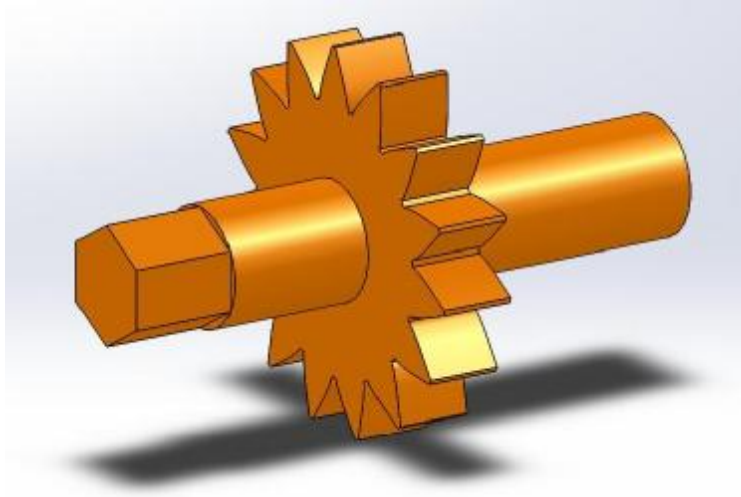
**Εικόνα 4.4:** Οδοντωτός τροχός 18 δοντιών



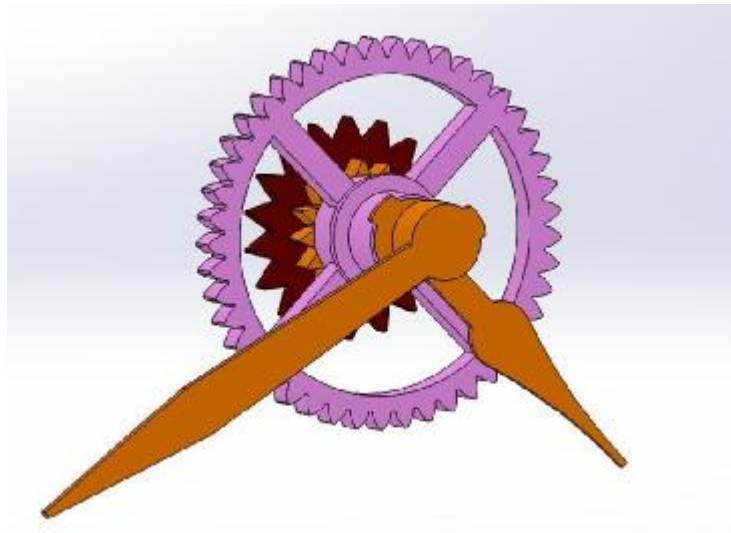
**Εικόνα 4.5.:** Ζεύγος οδοντωτών τροχών που τοποθετούνται ομοαξονικά, 69 και 12 οδοντώσεων.



**Εικόνα 4.6 :** Ωροδείκτης (A) και λεπτοδείκτης (B)



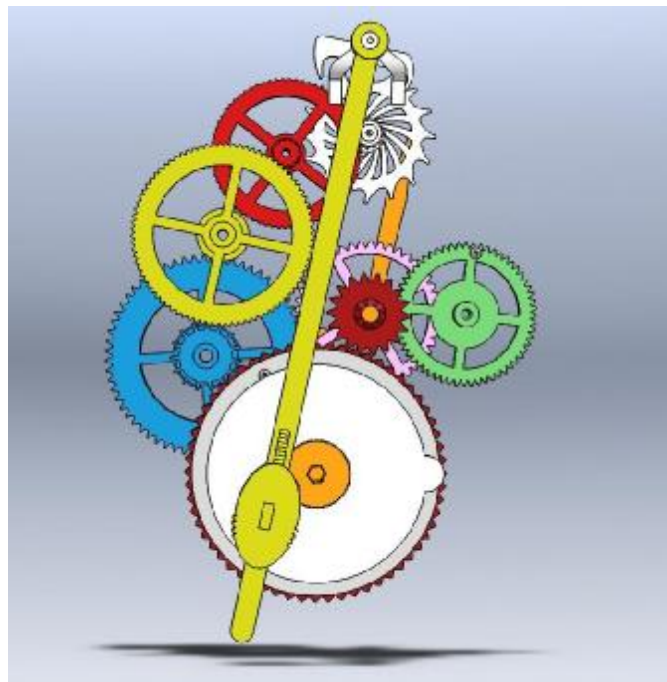
**Εικόνα 4.7:** Άτρακτος που στηρίζονται οι δείκτες και οδοντωτός τροχός 15 δόντια.



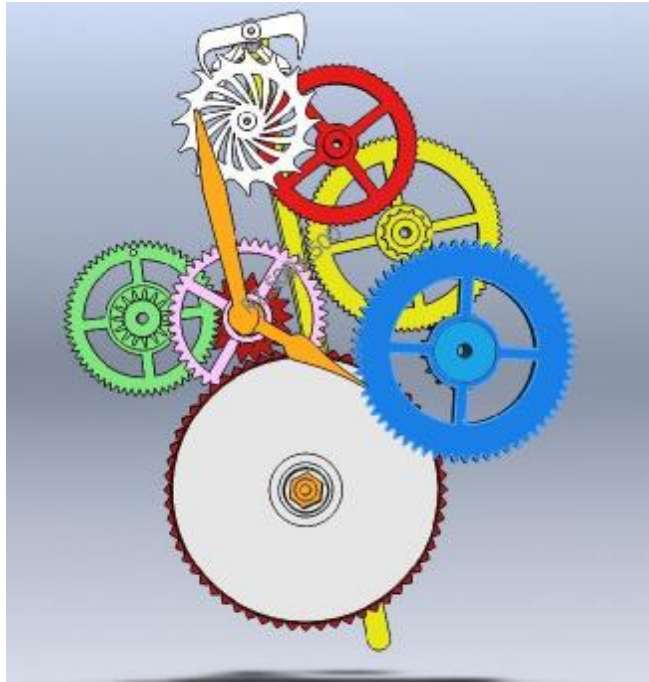
**Εικόνα 4.8:** Συστοιχία οδοντωτών τροχών στον άξονα των δεικτών



**Εικόνα 4.9:** Η άγκυρα τοποθετημένη επάνω σε άτρακτο συνδεδεμένη κάθετα με το εκκρεμές



**Εικόνα 4.10:** Πίσω όψη συνδεσμολογία οδοντωτών τροχών μηχανισμού και εκκρεμές.



**Εικόνα 4.11:** Εμπρόσθια όψη συναρμολογημένων οδοντωτών τροχών μηχανισμού και εκκρεμές.

Στη συνέχεια ακολουθούν φωτογραφίες από τους οδοντωτούς τροχούς που κατασκευάστηκαν, ώστε να χρησιμοποιηθούν στην συναρμολόγηση του ωρολογίου.



**Εικόνα 4.12:** 1<sup>ος</sup> οδοντωτός τροχός m1,5 z45



**Εικόνα 4.13:** 2<sup>ος</sup> οδοντωτός τροχός m1,5 z15



**Εικόνα 4.14:** 3<sup>ος</sup> οδοντωτός τροχός m2,0 z18



**Εικόνα 4.15:** 4<sup>ος</sup> οδοντωτός τροχός m1,5 z60



**Εικόνα 4.16:** 5<sup>ος</sup> οδοντωτός τροχός m1.5 z15





**Εικόνα 4.17:** 6<sup>ος</sup> οδοντωτός τροχός m2.0 z60



**Εικόνα 4.18:** 7<sup>ος</sup> οδοντωτός τροχός m1.5 z63



**Εικόνα 4.19:** 8<sup>ος</sup> οδοντωτός τροχός m2.0 z15



**Εικόνα 4.20:** 9<sup>ος</sup> οδοντωτός τροχός m1.0 z85



**Εικόνα 4.21:** 10<sup>ος</sup> οδοντωτός τροχός m1.5 z12



**Εικόνα 4.22:** 11<sup>ος</sup> οδοντωτός τροχός m1.0 z69

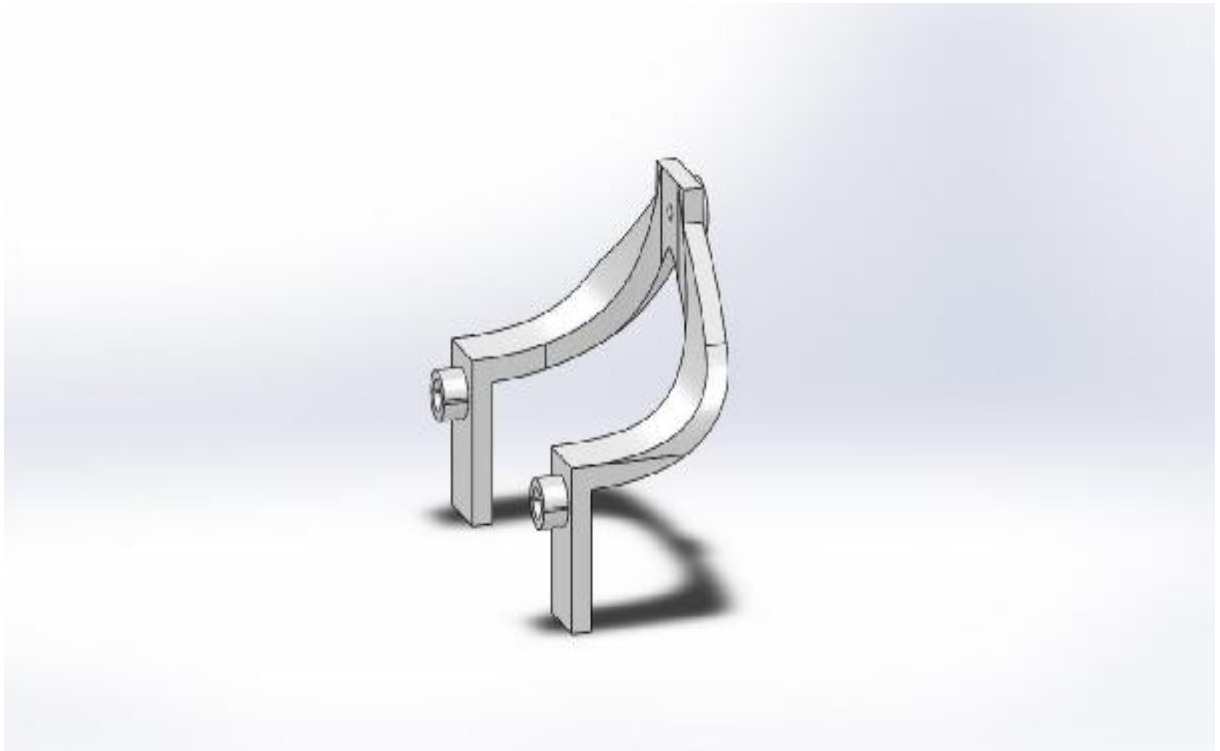


**Εικόνα 4.23:** 12<sup>ος</sup> οδοντωτός τροχός m1.0 z12



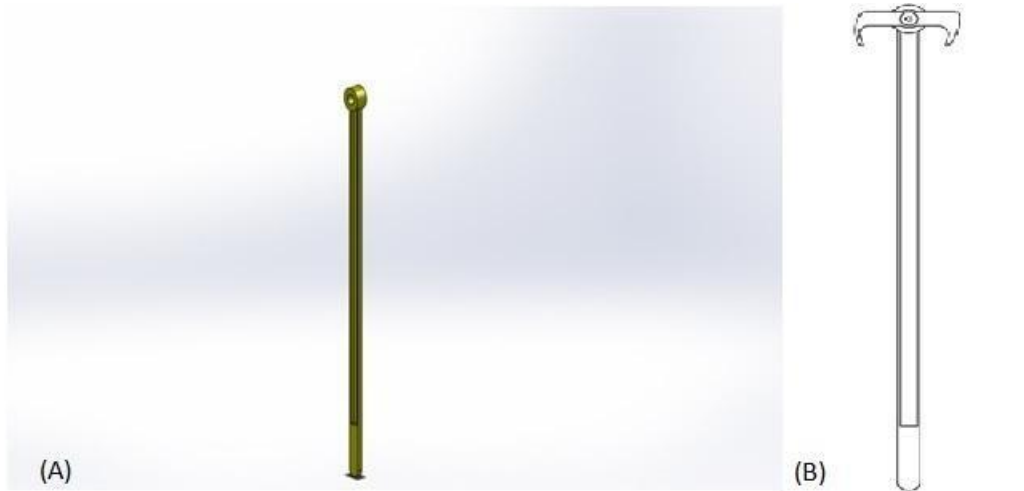
**Εικόνα 4.24:** 13<sup>ος</sup> οδοντωτός τροχός m1.0 z12

## ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΙΑΦΥΓΗΣ



**Εικόνα 4.25:** Εξάρτημα στήριξης της ατράκτου του συστήματος διαφυγής και του εκκρεμές.

## ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΕΚΚΡΕΜΟΥΣ



Εικόνα 4.26: Εκκρεμές

## ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΟΥΡΔΙΣΜΑΤΟΣ ΒΑΡΟΥΣ

Για το σύστημα κουρδίσματος χρησιμοποιείται το εκκρεμές στο οποίο έχει τοποθετηθεί βάρος (εικόνα 4.20) στο οποίο η κίνηση του ξεκινάει με την ανθρώπινη ώθηση και μετέπειτα συνεχίζει την κίνηση του. Για την βοήθεια του κουρδίσματος χρησιμοποιείται βάρος στο κάτω μέρος του εκκρεμούς και στο πίσω μέρος του ωρολογίου έχει τοποθετηθεί ζεύγος μαγνητών όπου δίνουν την κίνηση στο εκκρεμές.



**Εικόνα 4.27:** Εκκρεμές με τοποθετημένο το βάρος.



**Εικόνα 4.28:** Άγκυρα ή μηχανισμός διαφυγής.



**Εικόνα 4.29:** Ρουλεμάν για την έδραση των ατράκτων



**Εικόνα 4.30:** Άτρακτος με ρουλεμάν





**Εικόνα 4.31:** Εξάρτημα στήριξης της ατράκτου του συστήματος διαφυγής και του εκκρεμές.



**Εικόνα 4.32:** Ωροδείκτης

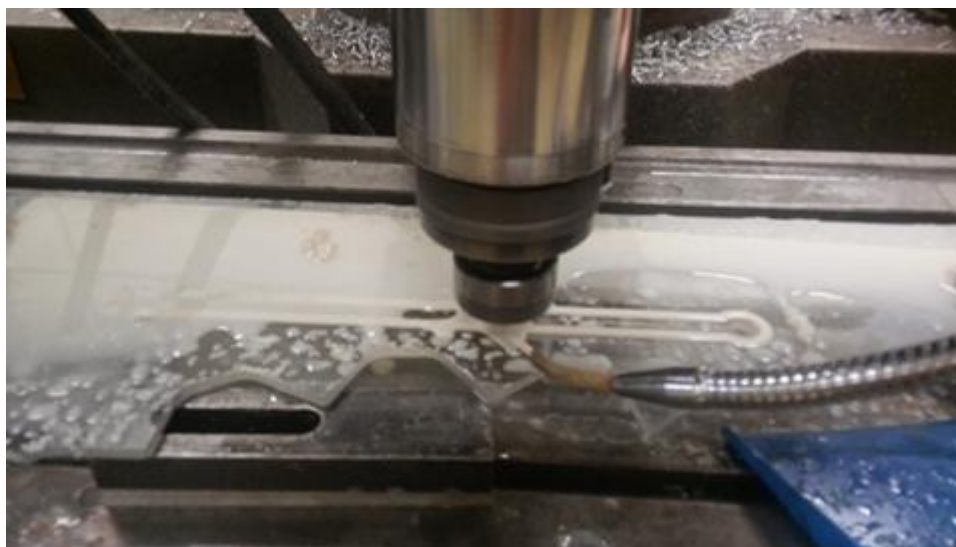
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>

Για την κατασκευή του ωρολογίου πρέπει αρχικά να φτιαχτεί το σχέδιο και να αναλυθεί η συνοχή των οδοντωτών τροχών για την σωστή λειτουργία του. Επιλέχθηκαν τα κατάλληλα υλικά ώστε να μην είναι βαριά η κατασκευή, αλλά να έχει εξίσου κραδαστικές ιδιότητες και καλή αντοχή. Έτσι τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν είναι το αλουμίνιο, αλουμίνιο με κράμα τύπου AlMg2, plex-glass και μαλακός χάλυβας.

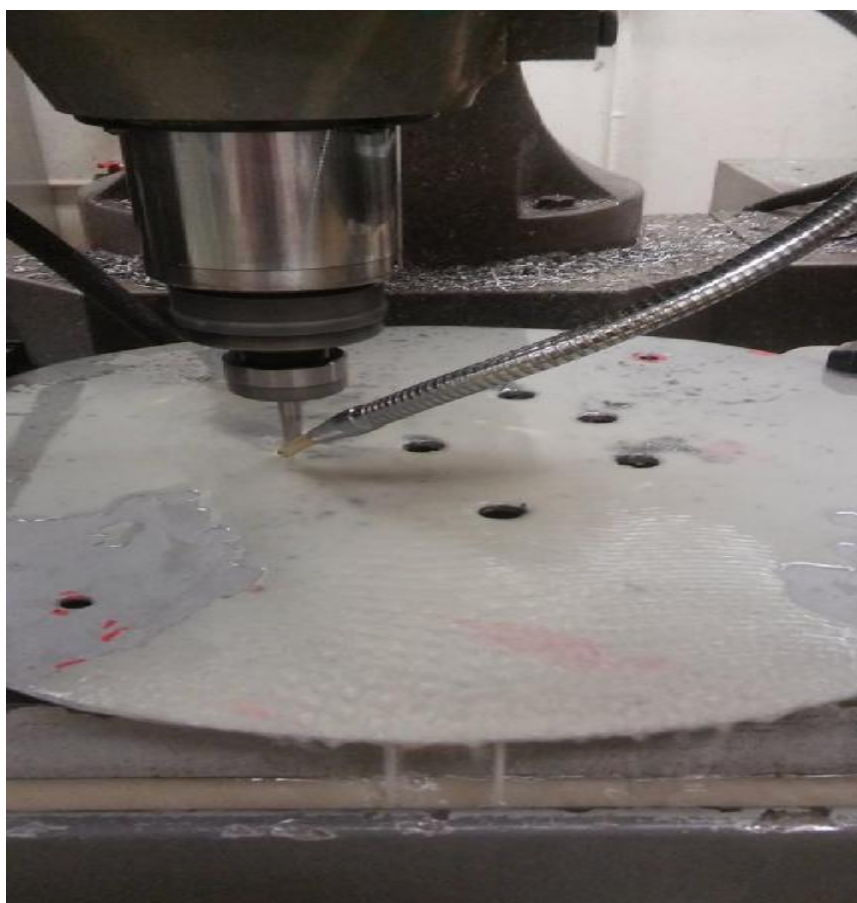
Πρώτα, η κατασκευή ξεκίνησε από την δημιουργία του καλουπιού μας με την βοήθεια CNC φρέζας όπου υπήρχε στις εγκαταστάσεις του ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ στο τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ . Ε ..



**Εικόνα 5.1:** Κατασκευή καλουπιού από plex-glass για το μπροστινό μέρος του ωρολογίου.



**Εικόνα 5.2:** Κατασκευή εκκρεμούς από plex-glass με CNC φρέζα.



**Εικόνα 5.3:** Κατασκευή καλουπιού από συνθετικό αλουμίνιο με ηλεκτροστατική βαφή στην CNC φρέζα.



**Εικόνα 5.4:** Κατασκευή καλουπιού.

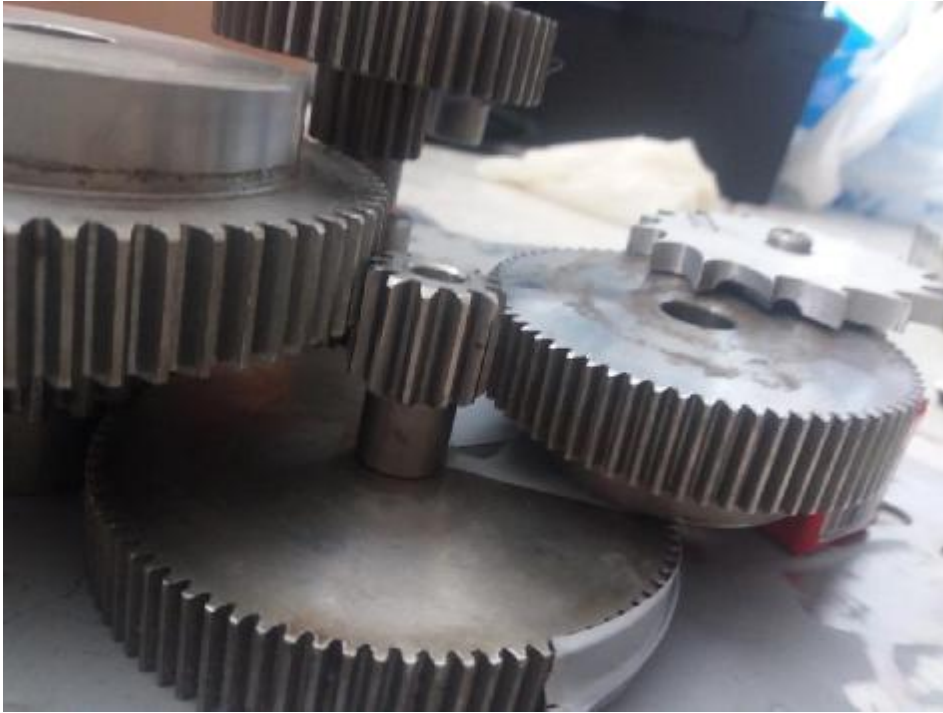


**Εικόνα 5.6:** Κατασκευή καλουπιού σε CNC Φρέζα.



**Εικόνα 5.7:** Τελείωμα της κατασκευής του καλουπιού.

Το επόμενο βήμα για την ολοκλήρωση του ωρολογίου είναι η συναρμολόγηση όλων των ήδη κατασκευασμένων εξαρτημάτων σε έναν λειτουργικό μηχανισμό. Τα οποία είναι το εκκρεμές, το αντίβαρο, οι οδοντωτοί τροχοί, οι ατράκτοι, τα ρουλεμάν και ασφαλώς όλα τα υπόλοιπα. Για την συναρμολόγηση θα χρησιμοποιηθεί ειδική κόλλα για την στήριξη των ρουλεμάν πάνω στο καλούπι, η οποία έχει την ιδιότητα συγκόλλησης μετάλλων.

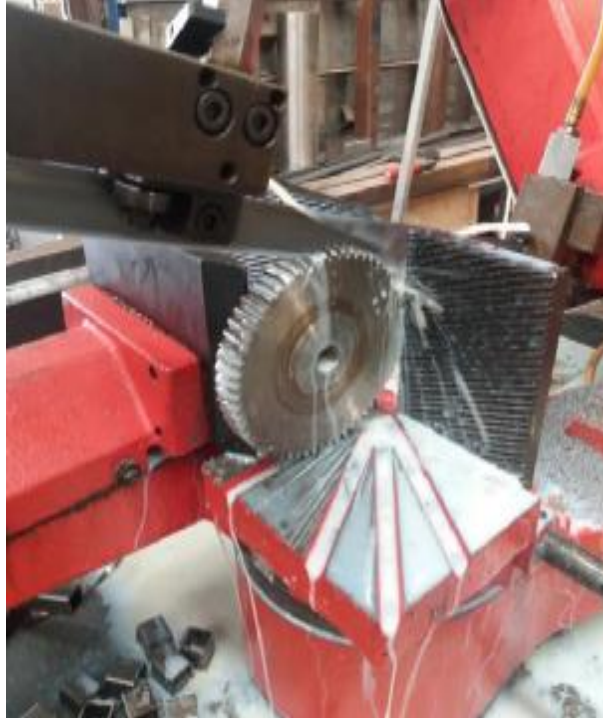


**Εικόνα 5.8:** Συναρμολόγηση των οδοντωτών τροχών.



**Εικόνα 5.9:** Συναρμολόγηση των οδοντωτών τροχών από διαφορετική όψη.

Όπως παρατηρείται παραπάνω οι οδοντωτοί τροχοί έχουν αρκετά μεγάλο πάχος για τον χώρο στον οποίο εμπεριέχονται, επομένως ήταν επιβεβλημένη η μείωση του πάχους των οδοντωντών τροχών όπως φαίνεται και παρακάτω στην εικόνα 5.10.



**Εικόνα 5.10:** Κοπή οδοντωτών τροχών με χρήση ηλεκτρικού πριονιού.



**Εικόνα 5.11:** Συναρμολόγηση ωρολογίου μετά από την τροποποίηση των εξαρτημάτων.



**Εικόνα 5.12:** Ωρολόγιο με συναρμολογημένους των οδοντωτών τροχών.



**Εικόνα 5.13:** Ολοκλήρωση και συναρμολόγηση εσωτερικού μηχανισμού.



## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο χρόνος είναι μια διάσταση της παρούσας ζωής που καθορίζει τη συμπεριφορά μας σε μεγάλο βαθμό. Η πραγματικότητα αυτή αποτέλεσε την αφορμή για την μελέτη και την κατασκευή ενός ωρολογίου τύπου εκκρεμούς. Γεννήθηκε η περιέργεια μέσα μας να ανακαλύψουμε πώς αυτός ο μηχανισμός μετράει το χρόνο, τον οποίο οι άνθρωποι έχουν ως όριο στις πράξεις και στις σκέψεις τους. Δυστυχώς όμως, η υλοποίηση του εγχειρήματος αποδείχτηκε πιο περίπλοκη.

Αρχικά, οι πηγές πληροφόρησης ήταν τόσες πολλές με αποτέλεσμα να κάνουν λίγο πιο δύσκολη, αλλά ταυτόχρονα πιο ενδιαφέρουσα την αναζήτηση εξακριβωμένων πληροφοριών.

Επίσης, η συνολική διαδικασία του σχεδιασμού και της κατασκευής του ωρολογίου είχε πολλές αντιξοότητες και απρόοπτα. Πιο συγκεκριμένα, ο εξοπλισμός εργαλειομηχανών δεν ήταν επαρκής με αποτέλεσμα την αδυναμία κατασκευής των οδοντωτών τροχών. Παράλληλα, η κατασκευή αυτών σε εξωτερικό μηχανουργείο είχε υψηλό κόστος. Οι δυο αυτές παράμετροι οδήγησαν στην αγορά των οδοντωτών τροχών με τις προαπαιτούμενες διαστάσεις, αλλά με υλικό κατασκευής διαφορετικό από εκείνο της προτίμησης μας, γεγονός που αποδείχτηκε στο τέλος τροχοπέδη στην λειτουργία του ωρολογίου. Γίνεται, λοιπόν, αντιληπτό πως στην πορεία προέκυψαν πολλές αλλαγές και προσαρμογές που απαιτούσαν πολλές ώρες μελέτης και σχεδιασμού, καθώς επίσης και μεγάλη ακρίβεια.

Τέλος, αφού ολοκληρώθηκε η συναρμολόγηση των εξαρτημάτων του μηχανισμού του ωρολογίου και στη διάρκεια της πρώτης δοκιμής, επαληθεύτηκαν οι φόβοι μας. Το ωρολόγιο δεν λειτουργεί. Αιτία αυτού είναι η ύπαρξη εξαρτημάτων που είναι κατασκευασμένα από διαφορετικά υλικά. Συγκεκριμένα, το τμήμα του μηχανισμού του ωρολογίου το οποίο αποτελεί την κινητήριου δύναμη αυτού είναι κατασκευασμένο από υλικό το οποίο δεν έχει την δύναμη να δώσει κίνηση στα υπόλοιπα εξαρτήματα.

Μπορεί, λοιπόν, να μην επετεύχθηκε το τέλειο, αλλά σε μια τέτοια προσπάθεια δεν είναι αποκλειστικά το αποτέλεσμα που σου δίνει ικανοποίηση, αλλά και ολόκληρη η διαδικασία που σου προσφέρει σημαντική εμπειρία. Γιατί, όπως έχει πει και ο σπουδαίος ποιητής Κ. Καβάφης, «Κι αν πτωχική την βρεις, η Ιθάκη δεν σε γέλασε. Έτσι σοφός που έγινες, με τόση πείρα, ήδη θα το κατάλαβες η Ιθάκες τι σημαίνουν.».

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Δρ. Ανδρέας Χρ. Γιαννόπουλο, *Στοιχεία Μηχανών Ι - ΟΔΗΓΟΣ ΕΠΙΛΗΣΗΣ ΑΣΚΗΣΕΩΝ ΠΡΑΞΗΣ*, Εκδοτικός όμιλος ΙΩΝ
2. Ιωάννης Κ. Στεργίου και Κωνσταντίνος Ι. Στεργίου, *ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΗΧΑΝΩΝ Ι - ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ - ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΕΙΣ - ΑΝΤΟΧΗ - ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ - ΗΛΩΣΕΙΣ - ΚΟΧΛΙΕΣ - ΕΛΑΤΗΡΙΑ - ΑΤΡΑΚΤΟΙ - ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ - ΕΔΡΑΝΑ*, Νέα ανανεωμένη έκδοση, Σύγχρονη Εκδοτική, Αθήνα 2003

## ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

1. <http://sourisp.com/watch-information.htm>
2. <http://www.tmth.gr/home/59-applications/769-istoria-rologiou>
3. <https://www.orologio.gr/anatomia.aspx>
4. [http://e-logeio.blogspot.com/2016/02/3\\_4.html](http://e-logeio.blogspot.com/2016/02/3_4.html)
5. <http://www.wfdt.teilar.gr>
6. <https://www.explainthatstuff.com/how-pendulum-clocks-work.html>
7. <http://garysclocks.sawdustcorner.com/clock-gear-math.html>
8. <https://www.princeton.edu/~timeteam/graham.html>
9. <http://www.noah.org/science/clock/>
10. <https://www.explainthatstuff.com/how-pendulum-clocks-work.html>
11. <https://feltmagnet.com/crafts/HowToMakeAWoodenGearClock>

## ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΡΕΥΝΑ ΑΓΟΡΑΣ

1. [www.chrismotor.gr](http://www.chrismotor.gr)
2. <https://grobotronics.com/>