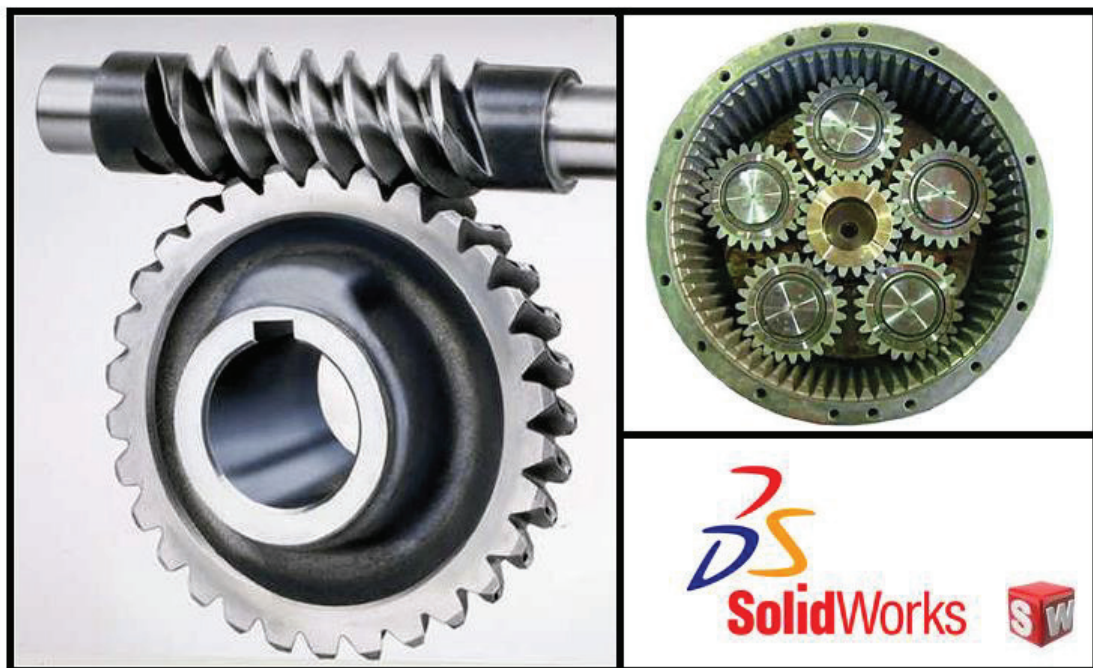


Α.Τ.Ε.Ι ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ & ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ SOLIDWORKS
& ΕΦΑΡΜΟΓΗ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ

ΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΡΑΣΙΜΟΣ

ΜΠΑΞΕΒΑΝΟΓΛΟΥ ΓΙΩΡΓΟΣ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ

ΜΠΙΣΔΟΥΝΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

ΜΕΣΟΛΟΓΓΙ 2013

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το αντικείμενο της εργασίας (Μηχανολογικός σχεδιασμός με τη χρήση του Solidworks & εφαρμογή) περιλαμβάνει τη χρησιμοποίηση τρισδιάστατου σχεδιαστικού πακέτου σε Η/Υ, με δυνατότητα προσομοίωσης δυναμικής λειτουργίας στο σχεδιασμό και ανάλυση στοιχείων μηχανών και στη συνέχεια κατασκευή δύο τυπικών εφαρμογών σε συνδυασμό με τρισδιάστατο εκτυπωτή.

Εξετάζεται για σχεδιασμό ο οδοντωτός τροχός (βασικό στοιχείο μηχανής) και ως εφαρμογή η σχεδίαση δύο συστημάτων γραναζιών, α) πλανητικό σύστημα, β) σύστημα ατέρμων κοχλίας. Η εξέταση του οδοντωτού τροχού αναλύει τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, την μορφή, τα υλικά κατασκευής, τις μηχανικές κατεργασίες και με την χρήση του προγράμματος προσομοίωσης υπολογίζει δυναμικά τα αποτελέσματα της ανάλυση των δυνάμεων στις δύο τυπικές εφαρμογές.

Με την βαθύτερη μελέτη και κατανόηση α) του σχεδιαστικού προγράμματος SolidWorks και β) του στοιχείου μηχανής (γρανάζι), σχεδιάζονται και κατασκευάζονται οι δύο εφαρμογές (τα εξαρτήματα από τα οποία συγκροτούνται, το γρανάζι με μετωπική οδόντωση, το γρανάζι με εσωτερική οδόντωση, το ελικοειδές γρανάζι και ο ατέρμων κοχλίας) με την βοήθεια τρισδιάστατου εκτυπωτή που συνεργάζεται με το σχεδιαστικό πρόγραμμα.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο πρώτο κεφάλαιο αναφερόμαστε και κατατάσσουμε τους οδοντωτούς τροχούς σε κατηγορίες αναλογικά με τη γεωμετρική μορφή τους και στην βασική μέθοδο σχεδιασμού που είναι η καμπύλη εξελιγμένης όπως και τα συστήματα που δημιουργούν.

Έπειτα στο δεύτερο κεφάλαιο μελετάμε τα θεωρητικά και γεωμετρικά στοιχεία που διέπουν το κάθε κομμάτι ξεχωριστά ώστε να κατανοηθούν βασικοί ορισμοί και χαρακτηριστικά των διάφορων γρاناζιών που τίθενται προς κατασκευή.

Τα χαρακτηριστικά της οδόντωσης είναι τα δύο βήματα, το κυκλικό και το διαμετρικό, η απόσταση κεφαλών ή Addendum (a), το οδόντωμα ή Dedendum (d), η ανοχή (c), οι διάμετροι : εξωτερική (D_o) και ρίζας (D_R), το ολικό βάθος (h_i), το εργαζόμενο βάθος (h_k), το πάχος δοντιού (t), ο χώρος δοντιού, το διάκενο, το πλάτος δοντιού (F), η καμπύλη επιφάνειας δοντιού, το μέτωπο δοντιού και η ελεύθερη επιφάνεια δοντιού.

Επιπλέον θα αναλυθούν βασικά μεγέθη που προκύπτουν από τη συνεργασία δύο ή και περισσότερων οδοντωτών τροχών που εμπλέκονται μεταξύ τους, τα οποία είναι η γωνία πίεσης, η οποία ευθύνεται για την περιστροφή ενός ζευγαριού γρاناζιών και για την ομαλότητα της περιστροφής τους, η σχέση μετάδοσης, οι διαφορές μεταξύ δύο γρاناζιών του ίδιου ζεύγους και πως αυτές παρακάμπτονται, καθώς επίσης και ο λόγος ταχυτήτων δύο ή και περισσότερων γρاناζιών που εμπλέκονται.

Στο τρίτο κεφάλαιο της εργασίας θα μελετήσουμε ξεχωριστά τα προς κατασκευή εξαρτήματα και θα αναλυθούν οι δυνάμεις που δέχονται κατά τη λειτουργία τους.

Στο επόμενο και τέταρτο κεφάλαιο περιγράφουμε την κατασκευαστική και παραγωγική μέθοδο όπως τα συνηθέστερα υλικά και τα μηχανήματα κατεργασίας και οι μέθοδοι κατασκευής των γρاناζιών οι οποίοι μέθοδοι είναι πατέντες εργοστασίων πάνω σε εργαλειομηχανές.

Παρακάτω και στο κεφάλαιο του σχεδίου και της αποτύπωσης στο χαρτί και ποιό συγκεκριμένα παρουσιάζεται το μηχανολογικό σχέδιο των στοιχείων που επιθυμούμε να κατασκευάσουμε και όπως πρέπει να αποτυπώνονται, δηλαδή ο αρχικός κύκλος, ο

κύκλος βήματος, ο εξωτερικός κύκλος, οι τομές και οι ημιτομές, το σχέδιο όταν υπάρχει εμπλοκή δύο γραναζιών και γενικότερα οι όψεις..

Στο προτελευταίο έκτο και στο τελευταίο έβδομο κεφάλαιο εισερχόμαστε στο σχεδιασμό των αντικειμένων με τη δυνατότητα μας δίνει το πρόγραμμα Solidworks. Το Solidworks είναι ένα πρόγραμμα σχεδιασμού που παράγεται από την εταιρία Dassault Systems και ανήκει στην οικογένεια των CAD (Computer Aided Design- Σχεδιασμός με τη βοήθεια υπολογιστή) προγραμμάτων με το πλεονέκτημα ότι ο σχεδιασμός γίνεται τρισδιάστατα.

Με τη δυνατότητα που μας παρέχει το solidworks θα σχεδιάσουμε βάση κάποιων κριτηρίων όπως το μέγεθος, το κόστος, το υλικό, τα προμελετημένα εξαρτήματα. Δηλαδή το γρανάζι με μετωπική οδόντωση και το γρανάζι με εσωτερική οδόντωση για να σχηματίσουμε ένα πλανητικό σύστημα, και το ελικοειδές γρανάζι μαζί με τον ατέρμονα κοχλία που σχηματίζουν το σύστημα που λειτουργεί ως μειωτήρας στροφών.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο 1^ο

1. ΟΔΟΝΤΩΤΟΙ ΤΡΟΧΟΙ.....	10
1.1 Γενικά για οδοντωτούς τροχούς.....	10
1.1.1 Διαχωρισμός οδοντωτών τροχών.....	10
1.2 Βασικός νόμος οδόντωσης	12
1.3 Είδη οδοντώσεων.....	13
1.3.1 Κυκλοειδής οδοντώσεις.....	13
1.3.2 Οδοντώσεις εξελιγμένης.....	14
1.4 Γρανάζι με οδόντωση εξελιγμένης καμπύλης.....	14

Κεφάλαιο 2^ο

2. ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΟΝΤΙΟΥ ΚΑΙ ΟΔΟΝΤΩΤΟΥ ΤΡΟΧΟΥ.....	18
2.1 Βήμα.....	18
2.2 Κυκλικό βήμα (p).....	19
2.3 Διαμετρικό βήμα (P_d).....	19
2.4 Σύστημα μετρικού module (m).....	20
2.5 Χαρακτηριστικά Οδόντωσης.....	21
2.5.1 Απόσταση κεφαλών ή Addendum (a).....	21
2.5.2 Οδόντωμα ή Dedendum (d).....	22
2.5.3 Ανοχή (c).....	22
2.5.4 Εξωτερική διάμετρος (D_o).....	22
2.5.5 Διάμετρος ρίζας (D_R).....	23

2.5.6 Ολικό βάθος (h_t).....	23
2.5.7 Εργαζόμενο βάθος (h_k).....	23
2.5.8 Πάχος δοντιού (t).....	24
2.5.9 Χώρος δοντιού.....	24
2.5.10 Διάκενο.....	24
2.5.11 Πλάτος δοντιού (F).....	25
2.5.12 Καμπύλη επιφάνειας δοντιού.....	25
2.5.13 Μέτωπο δοντιού.....	25
2.5.14 Ελεύθερη επιφάνεια δοντιού.....	26
2.5.15 Απόσταση κέντρων (C).....	26
2.6 Γωνία πίεσης (φ).....	27
2.7 Σχέση μετάδοσης (m_f).....	29
2.8 Διαφορές μεταξύ ζευγών γραναζιών.....	30
2.9 Παράκαμψη διαφορών.....	31
2.10 Λόγος ταχύτητας (VR).....	32
2.11 Τιμές σε σύστημα γραναζιών (TV).....	33
Κεφάλαιο 3^ο	
3. ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΠΡΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ.....	35
3.1 Μετωπικοί οδοντωτοί τροχοί.....	35
3.1.1 Ανάλυση δυνάμεων.....	36
3.2 Γρανάζι μεεσωτερική οδόντωση.....	38
3.3 Πλανητικό σύστημα γραναζιών.....	41
3.4 Ελικοειδή γρανάζια.....	43

3.4.1 Δυνάμεις στα ελικοειδή γρανάζια.....	44
3.5 Ατέρμον κοιλίας.....	46
3.5.1 Δυνάμεις σε κοιλία.....	47
3.6 Σύστημα ελικοειδούς γραναζιού –ατέρμον κοιλία.....	49
Κεφάλαιο 4^ο	
4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΦΑΡΜΟΦΩΝ.....	52
4.1 Υλικά κατασκευής γραναζιών.....	52
4.2 Κατεργασία οδοντωτών τροχών.....	55
4.2.1 Μηχανές με κοπτικό εργαλείο μορφής.....	55
4.2.2 Μηχανές που εργάζονται με τη μέθοδο της κύλισης.....	59
4.3 Εργαλειομηχανή CNC – Φρέζα.....	59
4.3.1 Γενικές αρχές.....	59
4.3.2 Βασικές χρήσεις και κύρια μέρη.....	61
Κεφάλαιο 5^ο	
5. ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΚΑΙ ΟΨΕΙΣ.....	63
5.1 Σχέδιο οδοντωτού τροχού.....	63
5.2 Σχέδιο μετωπικής εμπλοκής συστήματος οδοντωτών τροχών.....	63
5.3 Σχέδιο εσωτερικής μετωπικής εμπλοκής πλανητικού συστήματος.....	65
5.4 Σχέδιο συστήματος γραναζιού – ατέρμονα κοιλία σε εμπλοκή.....	65
Κεφάλαιο 6^ο	
6.ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ SOLIDWORKS.....	67
6.1 Σχεδιασμός στοιχείων πλανητικού συστήματος.....	67
6.1.1 Σχεδιασμός μετωπικού οδοντωτού τροχού.....	67

6.1.2 Σχεδιασμός του γραναζιού με εσωτερική οδόντωση.....	73
6.2 Σχεδιασμός στοιχείων συστήματος ελικοειδούς γραναζιού ατέρμονα κοχλία...77	
6.2.1. Σχεδιασμός ελικοειδούς γραναζιού.....	77
6.2.2 Σχεδιασμός ατέρμονα κοχλία.....	79
Κεφάλαιο 7^ο	
7. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΕ ΕΠΙΤΥΠΩΤΗ ΤΡΙΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ.....	84
7.1 Γενικά για τρισδιάστατους εκτυπωτές.....	84
7.1.1 Κατηγορίες τρισδιάστατων εκτυπωτών.....	85
7.2 Υλικό κατασκευής.....	86
7.3 Εξαρτήματα τρισδιάστατου εκτυπωτή.....	87
7.4 Τεχνικά χαρακτηριστικά τρισδιάστατου εκτυπωτή.....	91
7.5 Αρχές λειτουργίας τρισδιάστατου εκτυπωτή.....	91
7.6 Αποτελέσματα – παρατηρήσεις κοπής γραναζιών.....	92
7.6.1 Πλανητικό σύστημα.....	92
7.6.2 Δακτύλιος.....	93
7.6.3 Ήλιος.....	94
7.6.4 Πλανήτες.....	95
7.7 Σύστημα ατέρμον κοχλία - κορώνα.....	96
7.7.1 Ατέρμον κοχλίας.....	96
7.7.2 Ελικοειδές γρανάζι.....	97
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	98
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	100

1. ΟΔΟΝΤΩΤΟΙ ΤΡΟΧΟΙ

1.1 Γενικά για οδοντωτούς τροχούς

Οι οδοντωτοί τροχοί ή αλλιώς γρανάζια είναι μηχανολογικά εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα για μετάδοση κίνησης από έναν άξονα σε ένα δεύτερο άξονα. Η μετάδοση της κίνησης πραγματοποιείται μέσω της οδόντωσης του τροχού, η οποία οδόντωση εισέρχεται στα αντίστοιχα διάκενα του άλλου οδοντωτού τροχού. Οι οδοντωτοί τροχοί έχουν την ιδιότητα να μεταφέρουν άμεσα από τις ποιο μικρές μέχρι τις μεγαλύτερες ισχύεις και στροφές, μεταξύ παράλληλων, τεμνόμενων και διασταυρούμενων στον χώρο ασύμβατων αξόνων.

Ιστορικά δεν υπάρχουν πολλές πληροφορίες για οδοντωτούς τροχούς και μηχανισμούς. Οι πρώτες ουσιαστικές αναφορές για τους οδοντωτούς τροχούς γίνονται από τον αλεξανδρινό μηχανικό Ήρωνα. Οι υπάρχουσες ενδείξεις όμως υποδεικνύουν σαν πιθανούς εφευρέτες τον Αρχιμήδη ή τον Κτηβίσιο. Τα παλαιότερα ευρήματα που περιβάλλονταν από οδοντωτούς τροχούς είναι ο αστρολάβος των Αντικυθήρων και ο κοχλίας του Αρχιμήδη.

Οι οδοντωτοί τροχοί παρουσιάζουν τα εξής πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα σαν μέσο μεταφοράς ισχύος έναντι άλλων μεθόδων όπως είναι οι ιμάντες και οι αλυσίδες.

Πλεονεκτήματα των οδοντωτών τροχών θεωρούνται η μικρή απαιτούμενη συντήρηση, η μεγάλη ασφάλεια λειτουργίας και διάρκεια ζωής, η ακριβής σχέση μετάδοσης, ο μεγάλος βαθμός απόδοσης, η δυνατότητα υπερφόρτισης και ο μικρός χώρος που καταλαμβάνουν έναντι άλλων στοιχείων μετάδοσης κίνησης.

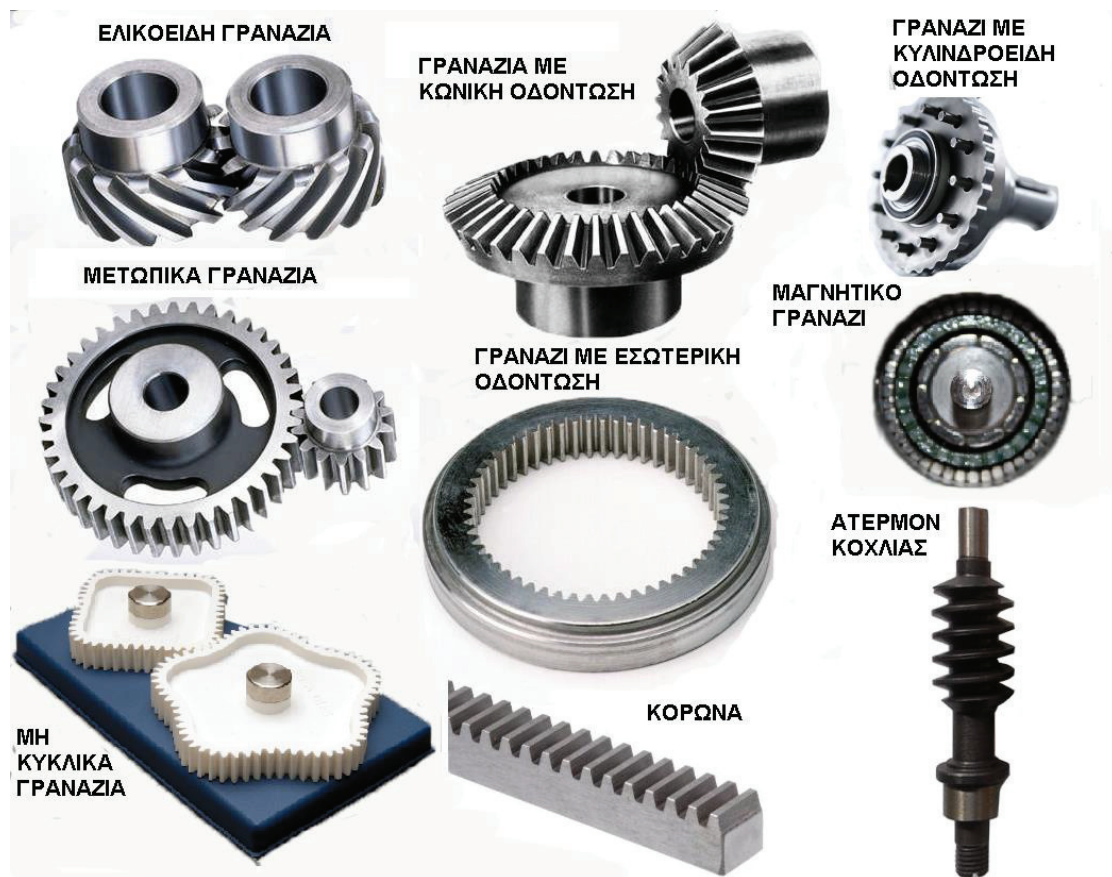
Μειονεκτήματα είναι το σχετικό μεγάλο κόστος κατασκευής, η θορυβώδης λειτουργία τους και η μη ελαστική μεταφορά των δυνάμεων.

1.1.1 Διαχωρισμός οδοντωτών τροχών

Υπάρχουν διάφορα είδη και μορφές οδοντωτών τροχών που το κάθε είδος χρησιμοποιείται σε διάφορες μηχανολογικές κατασκευές.

Οι οδοντωτοί τροχοί διακρίνονται σε :

- Γρανάζια με απλή οδόντωση (μετωπικά) που είναι τα πιο συνηθισμένα
- Γρανάζια με ελικοειδή οδόντωση
- Γρανάζια με κωνική οδόντωση
- Γρανάζι με εσωτερική οδόντωση
- Γρανάζι με οδόντωση τύπου κορώνα
- Γρανάζι με κυλινδροειδή οδόντωση
- Μη κυκλικό γρανάζι
- Ατέρμον κοχλίας
- Μαγνητικά γρανάζια



Εικόνα 1.1.1 Μορφές Γραναζιών

Συστήματα οδοντωτών τροχών

Υπάρχουν διάφοροι συνδυασμοί οδοντωτών τροχών οι βασικοί είναι οι εξής :

- Σύστημα κορώνα – πηνίο
- Πλανητικό σύστημα γραναζιών
- Σύστημα αρμονικού υποπολλαπλασιασμού
- Σύστημα γραναζιού – ατέρμονα κοχλία

ΠΗΝΕΙΟ - ΚΟΡΩΝΑ



ΓΡΑΝΑΖΙ - ΑΤΕΡΜΟΝ ΚΟΧΛΙΑΣ



ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΠΟΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑΣΜΟΥ



ΠΛΑΝΗΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ



Εικόνα 1.1.1-2 Συστήματα γραναζιών

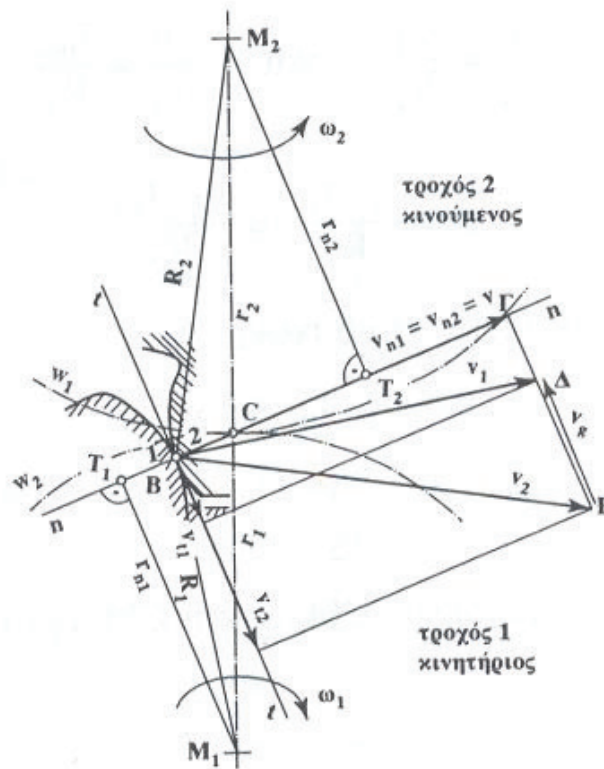
1.2 Βασικός νόμος οδόντωσης

Προϋπόθεση για την κανονική και ομοιόμορφη λειτουργία ενός ζεύγους οδοντωτών τροχών είναι μια σταθερή σχέση των γωνιακών ταχυτήτων μεταξύ του κινητήριου και του κινούμενου τροχού, δηλαδή μια σταθερή σχέση μετάδοσης.

Ο βασικός νόμος της οδόντωσης λέει ότι :

Για να μεταφερθεί η κίνηση από έναν οδοντωτό τροχό στον συνεργαζόμενο ομοιόμορφα, δηλαδή ο αρχικός κύκλος του ενός τροχού να κυλίνεται χωρίς ολίσθηση

πάνω στον αρχικό κύκλο του συνεργαζόμενου, θα πρέπει η κάθετος στο εκάστοτε σημείο επαφής των δύο συνεργαζόμενων κατατομών να περνάει από το σημείο ή κέντρο κύλισης C.



Εικόνα 3.2 Βασικός νόμος οδόντωσης και κέντρο κύλισης

1.3 Είδη οδοντώσεων

Οι μορφές των κατατομών των οδοντώσεων μπορούν να είναι τυχαίες, αρκεί να πληρούται ο βασικός νόμος οδόντωσης. Για να απλοποιηθούν όμως οι κατασκευές των δοντιών είναι σκόπιμο να επιλέγονται ορισμένες γεωμετρικές καμπύλες

1.3.1 Κυκλοειδής οδοντώσεις

Κυκλοειδής οδόντωση είναι η καμπύλη που διαγράφει σημείο περιφέρειας κύκλου, ο οποίος κυλίεται πάνω σε μια τροχιά. Ανάλογα με το είδος της τροχιάς παράγονται διάφορα είδη κυκλοειδών καμπύλων

- Επικυκλοειδής είναι η καμπύλη που παράγεται με κύλιση ενός κύκλου πάνω στην περιφέρεια ενός άλλου βασικού κύκλου
- Υποκυκλοειδής είναι η καμπύλη που παράγεται με την κύλιση ενός κύκλου εσωτερικά της περιφέρειας ενός άλλου βασικού κύκλου
- Ορθοκυκλοειδής είναι η καμπύλη που παράγεται με κύλιση ενός κύκλου, πάνω σε μια ευθεία.

1.3.2 Οδοντώσεις εξελιγμένης

Οδόντωση εξελιγμένης είναι η καμπύλη που παράγεται από το σημείο μιας ευθείας η οποία κυλίεται πάνω σε ένα βασικό κύκλο.

Οι οδοντώσεις με εξελιγμένη έχουν επικρατήσει πλήρως διότι παρουσιάζουν πολλά πλεονεκτήματα :

- Μπορούν να κατασκευαστούν με μεγάλη ακρίβεια από απλό εργαλείο το οποίο οι κατατομές είναι ευθείες.
- Μικρές μεταβολές στην απόσταση των κέντρων των τροχών δεν επηρεάζουν τις συνθήκες επαφής των δοντιών.
- Με το ίδιο εργαλείο μπορούν να κατασκευαστούν οι οδόντες με μετατόπιση.
- Είναι τροχοί ανταλλάξιμοι διότι τα τμήματα της γραμμής επαφών δεξιά και αριστερά από το κέντρο είναι εφαρμόσιμα.
- Η διεύθυνση της κάθετης δύναμης πάνω στη κατατομή παραμένει αμετάβλητη.
- Σαν μειονέκτημα θεωρείται ότι για μικρό αριθμό δοντιών, οι κορυφές των δοντιών του μεγάλου τροχού υποσκάπτουν τη βάση των δοντιών του μικρότερου τροχού και έτσι εμφανίζονται οι λεγόμενες υποκοπές.

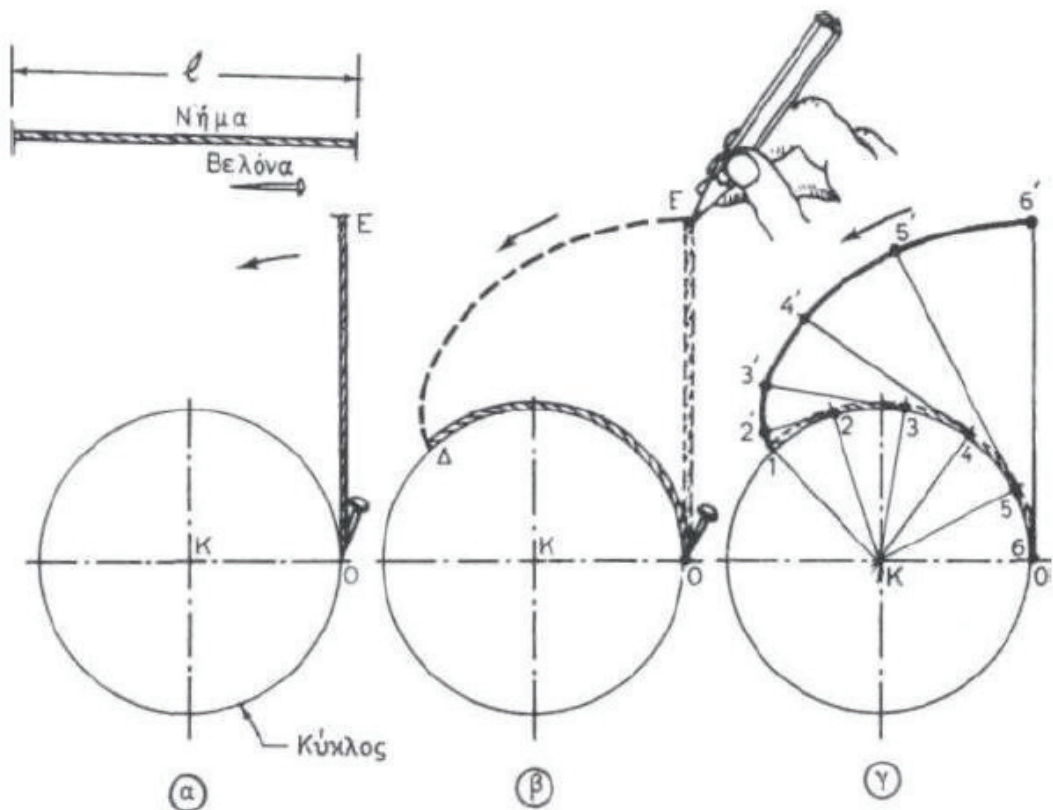
1.4 Γρανάζι με οδόντωση εξελιγμένης καμπύλης

Αυτό το είδος των γραναζιών είναι το πιο κοινό και απαντάται σχεδόν παντού.

Η εξελιγμένη καμπύλη είναι μία γεωμετρική καμπύλη που ανήκει στην κατηγορία των συζευγμένων καμπύλων. Όταν δύο γρανάζια εμπλέκονται μεταξύ τους και

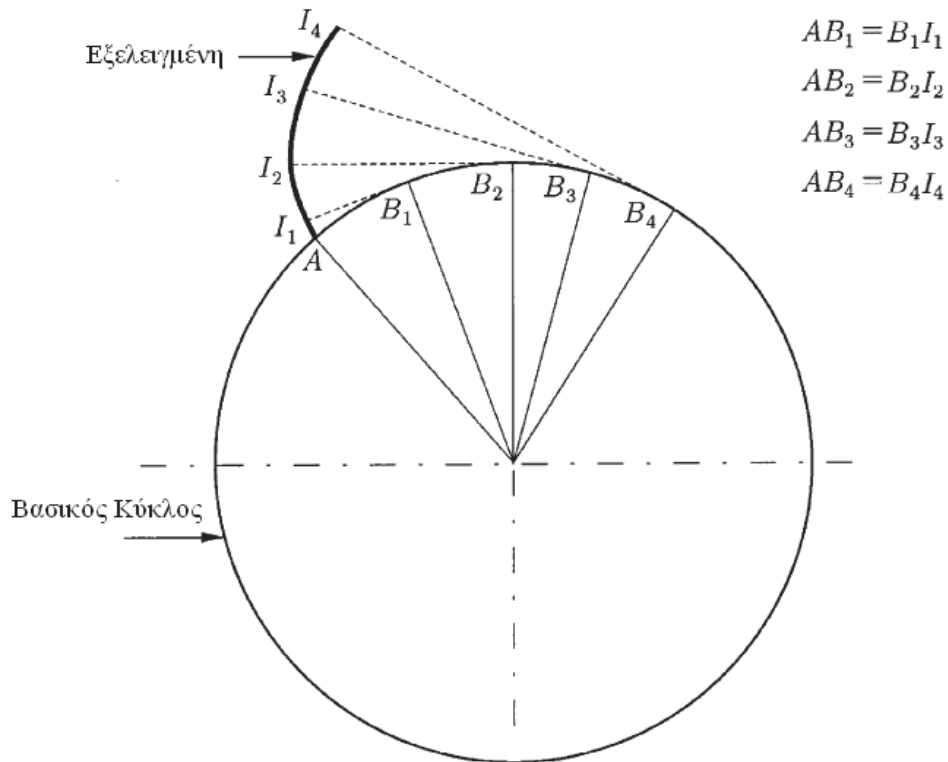
περιστρέφονται, στην οδόντωση τους υπάρχει μία σταθερή γωνιακή ταχύτητα μετάδοσης της κίνησης. Από την στιγμή της αρχικής σύμπλεξης μέχρι την στιγμή της αποσύμπλεξης, η κίνηση του κινούμενου γραναζιού εξαρτάται σταθερά και αναλογικά από την κίνηση του και την ταχύτητα περιστροφής του κινητήριου γραναζιού. Το απαιτούμενο αποτέλεσμα είναι η ομαλή περιστροφή κινητήριου – κινούμενου στοιχείου. Αν σε οποιαδήποτε περίπτωση δεν επιτυγχάνεται σταθερή μετάδοση, έχουμε σαν αποτέλεσμα επιμέρους επιταχύνσεις ή επιβραδύνσεις κατά τη σύμπλεξη, και ως συνέπεια των προηγούμενων δημιουργούνται δονήσεις, θόρυβος και επικίνδυνες ταλαντώσεις στο σύστημα.

Εύκολα μπορούμε να κατανοήσουμε και να φανταστούμε την καμπύλη εξελιγμένης παίρνοντας έναν κύλινδρο και καρφιτσώνοντας ένα κορδόνι στην περιφέρεια του κύκλου του κυλίνδρου και στην άλλη άκρη ένα μολύβι. Η καμπύλη που θα προκύψει από το μολύβι όσο το κορδόνι είναι τεντωμένο και ξετυλίγεται από την περιφέρεια του κυλίνδρου είναι μια καμπύλη εξελιγμένης.



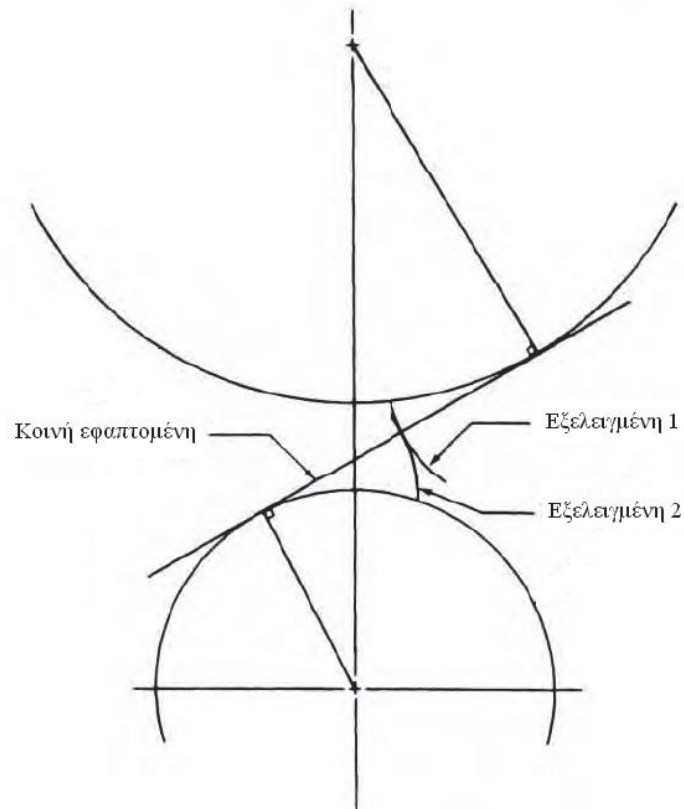
Εικόνα 4.4-1 : Σχεδιασμός εξελιγμένης καμπύλης

Ο κύκλος που αντιστοιχεί στη περιφέρεια του κυλίνδρου ονομάζεται βασικός κύκλος. Διαπιστώνουμε ότι σε κάθε σημείο που βρίσκεται το μολύβι, το κορδόνι είναι πάντα εφαπτομένη στη περιφέρεια του κυλίνδρου και ταυτόχρονα είναι κάθετη στη καμπύλη εξελιγμένης



Εικόνα 1.4-2 : Καμπύλη εξελιγμένης

Σχεδιάζοντας έναν άλλο κύκλο με κέντρο πάνω στη αξονική γραμμή του κύκλου που σχεδιάσαμε νωρίτερα και ακολουθώντας την παραπάνω διαδικασία κατασκευής της εξελιγμένης καμπύλης, σχεδιάζουμε άλλη μία καμπύλη η οποία είναι εφαπτομένη στην προηγούμενη που σχεδιάσαμε, διαπιστώνουμε ότι οι καμπύλες είναι συμπίπτων μέχρι να κάνει περιστροφική κίνηση ο βασικός κύκλος. Αυτό συμβαίνει και όταν δύο δόντια εμπλέκονται μεταξύ τους.



Εικόνα 1.4-3 : Απεικόνιση κοινής εφαπτομένης

Είναι θεμελιώδης αρχή της κινηματικής ότι αν μια κάθετη γραμμή προς τις επιφάνειες δύο περιστρεφόμενων σωμάτων στο σημείο επαφής τους, όπου η κάθετη γραμμή πάντα διασχίζει τις αξονικές γραμμές μεταξύ των δύο σωμάτων στον ίδιο χώρο, έχει σαν αποτέλεσμα ότι η γωνιακή ταχύτητα των δύο σωμάτων θα είναι σταθερή. Αυτό είναι μια απόδοση του νόμου της οδόντωσης και όπως δείξαμε και ποιο πριν, το γρανάζι όπου η οδόντωση του προέρχεται από την καμπύλη εξελιγμένης, υπόκειται στο νόμο της οδόντωσης.

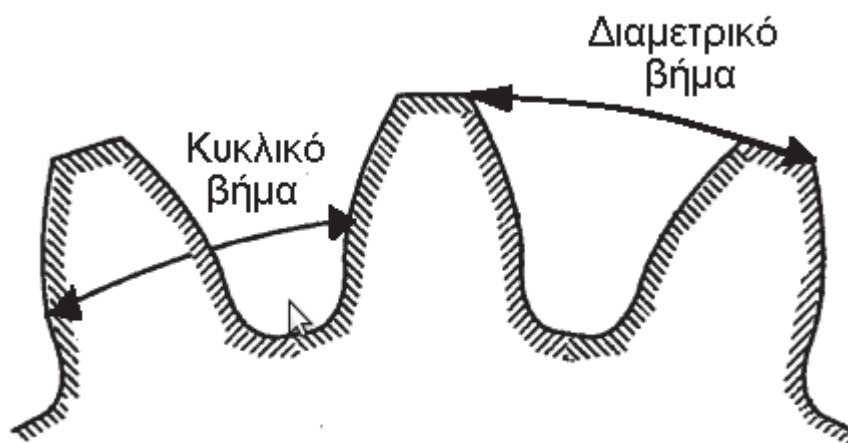
2. ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΔΟΝΤΙΟΥ ΚΑΙ ΟΔΟΝΤΩΤΟΥ ΤΡΟΧΟΥ

Διαμετρικό βήμα

2.1 Βήμα

Είναι το διάστημα ανάμεσα σε δύο παρακείμενα δόντια και το μέγεθος των δοντιών εξαρτιόνται από το βήμα. Υπάρχουν τρεις μέθοδοι προσδιορισμού του βήματος γραναζιών που χρησιμοποιούνται κοινώς :

1. Κυκλικό βήμα
2. Διαμετρικό βήμα
3. Μετρικό Module



Εικόνα 2.1 Διαμετρικό και κυκλικό βήμα

2.2 Κυκλικό Βήμα (p)

Κυκλικό βήμα ονομάζεται η απόσταση μεταξύ δύο σημείων δύο παρακείμενων δοντιών ενός γραναζιού. Δίδεται από τη σχέση

$$p = \frac{(\pi * D)}{N} \quad (2.2.-1)^*$$

όπου : N = Αριθμός δοντιών

D = η διάμετρος βήματος

Διαπιστώνουμε ότι το κυκλικό βήμα με τη διάμετρο βήματος είναι ανάλογα μεγέθη, όποτε δύο γρανάζια για να λειτουργήσουν σωστά πρέπει το βήμα να είναι πανομοιότυπο και στα δύο γρανάζια.

Συνεπάγεται ότι :

$$P_{\text{κορωνας}} = P_{\text{γραναζιού}}$$

2.3 Διαμετρικό βήμα (Pd)

Το ποιο κοινό σύστημα βήματος που χρησιμοποιείται στις ΗΠΑ, είναι ο αριθμός των δοντιών ανά μήκος της διαμέτρου αναφοράς. Δίνεται από τη σχέση :

$$P_d = \frac{N}{D} \quad (2.3-1)^*$$

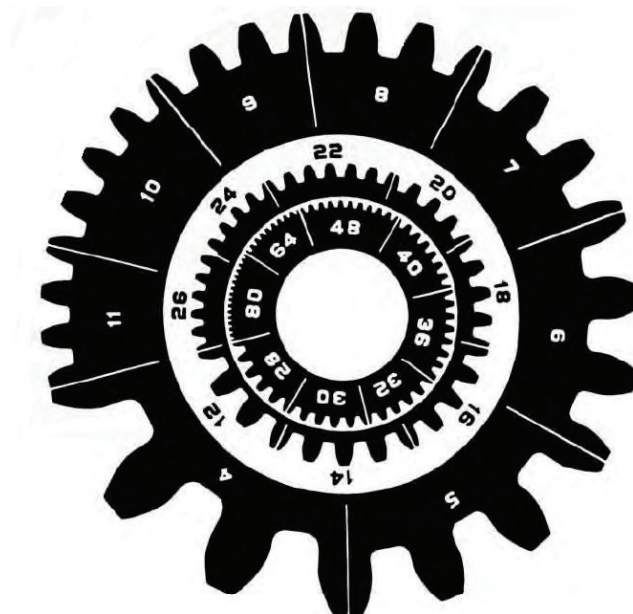
Πολλές φορές χρειάζεται να μετατρέψουμε το διαμετρικό βήμα σε κυκλικό βήμα προκύπτει εξισώνοντας τις παραπάνω εξισώσεις

$$p * P_d = \pi \quad (2.3-2)^*$$

2.4 Σύστημα μετρικού module (m)

Στο διεθνές σύστημα SI το module προκύπτει από τη διάμετρο βήματος ανά τα δόντια του γραναζιού

$$m = \frac{D}{N} \quad (\text{σε mm}) \quad (2.4 - 1)$$



Εικόνα 2.4 : Διάφορα module

Τα γρανάζια μπορούν να κατασκευαστούν με οποιοδήποτε modul. Έτσι αναπτύχθηκαν εργαλεία τυποποίησης που καταγράφουν το επιθυμητό modul του εκάστοτε γραναζιού.

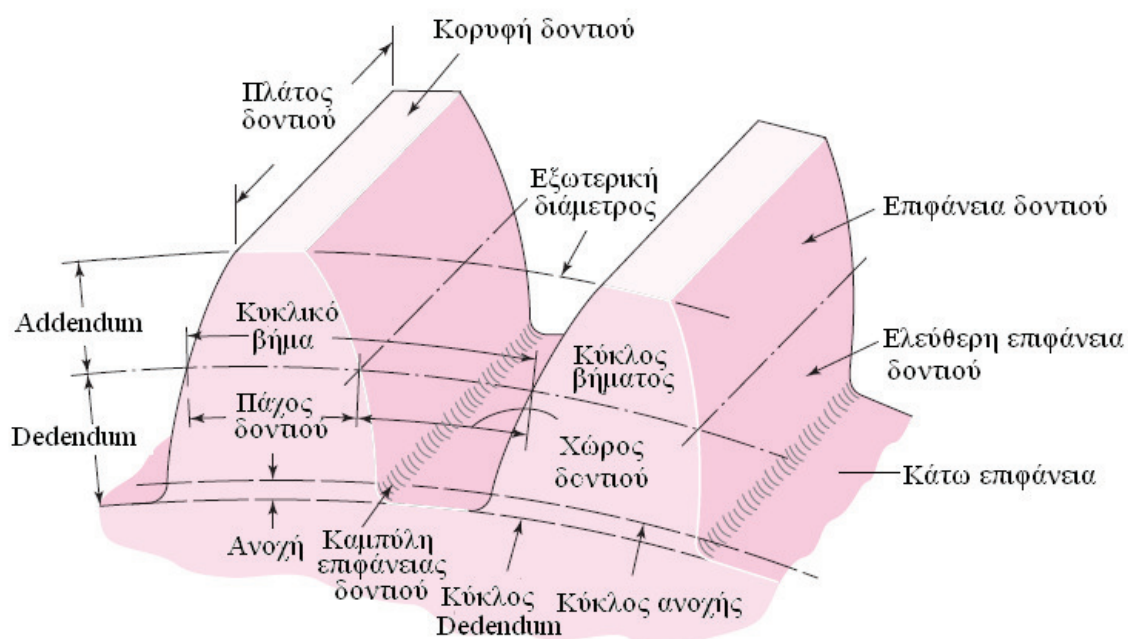
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Πίνακας 2.4-1 : Τυποποιημένα modul κατά τα πρότυπα Din 780 που αναφέρεται σε τοπικά γρανάζια

*V.B. Bhandari, *Design of Machine Elements :Third Edition*, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, 2010

0,05	0,06	0,08	0,1	0,12	0,16	0,2	0,25	0,3	0,4
0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,25	1,5	2	2,5
3	4	5	6	8	10	12	16	20	25
32	40	50	60						

2.5 Χαρακτηριστικά οδόντωσης



Εικόνα 2.5 : Χαρακτηριστικά οδόντωσης

2.5.1 Ύψος κεφαλής (addendum) (α)

Το addendum ή ύψος κεφαλής είναι το ύψος το οποίο εργάζεται ένα δόντι ενός γραναζιού και είναι η ακτινική απόσταση μεταξύ του κύκλου βήματος και της εξωτερικής διαμέτρου.

2.5.2 Οδόντωμα (dedendum) (d)

Dedendum ή οδόντωμα είναι η ακτινική απόσταση μεταξύ του κύκλου βήματος και της διαμέτρου ρίζας.

2.5.3 Ανοχή (c)

Ανοχή είναι η ακτινική απόσταση από το addendum ενός δοντιού μέχρι το dedendum ενός εμπλεκόμενου δοντιού.

$$c = d - a \quad (2.5.3-1)^*$$

2.5.4 Εξωτερική διάμετρος (D_o)

Εξωτερική διάμετρος είναι η διάμετρος του κύκλου που περικλείει εξωτερικά τα δόντια του γραναζιού.

$$D_o = D + 2a \quad (2.5.4 - 1)^*$$



Εικόνα 2.5.4 : Εξωτερική διάμετρος

* Robert L Mott, *Machine elements in mechanical design – fourth edition*, Pearson prentice hall, USA 1985

2.5.5 Διάμετρος ρίζας (D_R)

Διάμετρος ρίζας είναι η διάμετρος του κύκλου ρίζας στον οποίο περιέχεται η βάση των δοντιών.

$$D_R = D - 2d \quad (2.5.5 - 1)^*$$

2.5.6 Ολικό βάθος (h_t)

Ολικό βάθος ονομάζεται η ακτινική απόσταση και το συνολικό βάθος του χώρου που καταλαμβάνει το δόντι.

$$h_t = a + d \quad (2.5.6 - 1)^*$$

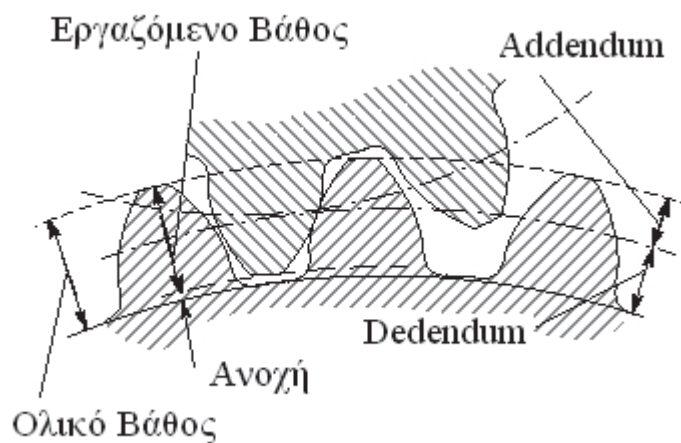
2.5.7 Εργαζόμενο βάθος (h_k)

Εργαζόμενο βάθος ονομάζεται το βάθος εμπλοκής δύο γρاناζιών ή το άθροισμα κεφαλών των δύο εμπλεκόμενων γρاناζιών.

$$h_k = a + a = 2a \quad (2.5.7 - 1)^*$$

$$h_K = h_t - c \quad (2.5.7 - 2)^*$$

*Robert L Mott, Machine elements in mechanical design – fourth edition, Pearson prentice hall, USA 1985



Εικόνα 2.5.7 : Εργαζόμενο βάθος

2.5.8 Πάχος δοντιού (t)

Πάχος δοντιού ονομάζεται το μήκος τόξου μετρούμενο από τη μία άκρη του δοντιού ως την άλλη πάνω στον κύκλο βήματος.

$$t = \frac{p}{2} = \frac{\pi}{2P_d} \quad (2.5.8 - 1)$$

2.5.9 Χώρος δοντιού

Χώρος δοντιού ονομάζεται το μήκος τόξου μετρούμενο στον κύκλο βήματος και είναι η απόσταση από το δεξί άκρο ενός δοντιού μέχρι το αριστερό άκρο του παρακειμένου δοντιού. Θεωρητικά ο χώρος του δοντιού ισούται με το πάχος του δοντιού, πρακτικά όμως ο χώρος δοντιού είναι μεγαλύτερο.

2.5.10 Διάκενο

Αν θεωρητικά το πάχος δοντιού με τον χώρο δοντιού ισούταν, τα δόντια όταν εμπλέκονταν μεταξύ τους θα εφάρμοζαν τέλεια και έτσι δεν θα υπήρχαν ανοχές και έτσι δημιουργείται ένα πρόβλημα της λίπανσης των επιφανειών των δοντιών. Για τον

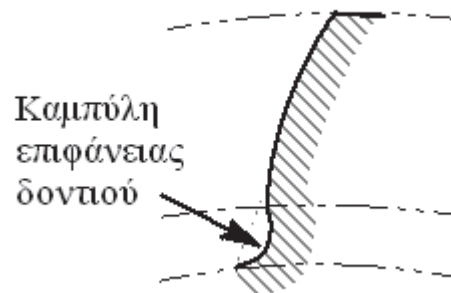
παραπάνω λόγω στα γρανάζια ο χώρος του δοντιού είναι μεγαλύτερος από το πάχος του δοντιού και η διαφορά των δύο μεγεθών ονομάζεται διάκενο.

2.5.11 Πλάτος δοντιού (F)

Ονομάζεται το πλάτος που έχει ένα δόντι.

2.5.12 Καμπύλη επιφάνειας δοντιού

Είναι η καμπύλη που ενώνει το προφίλ ενός δοντιού από όπου ξεκινάει η καμπύλη εξελιγμένης με τη ρίζα του χώρου του δοντιού.



Εικόνα 2.5.12 : Καμπύλη επιφάνειας δοντιού

2.5.13 Μέτωπο δοντιού

Μέτωπο ονομάζεται η επιφάνεια ενός δοντιού και ορίζεται από τον κύκλο βήματος μέχρι τον εξωτερικό κύκλο.

2.5.14 Ελεύθερη επιφάνεια δοντιού

Είναι η επιφάνεια ενός δοντιού που ορίζεται από τον κύκλο βήματος μέχρι την ρίζα του χώρου του δοντιού συμπεριλαμβανομένης και της καμπύλης επιφάνειας του δοντιού.

2.5.15 Απόσταση κέντρων (C)

Είναι η απόσταση των κέντρων δύο εμπλεκόμενων γραναζιών.

$$C = \frac{D_G}{2} + \frac{D_P}{2} = \frac{D_G + D_P}{2} \quad *$$

(2.5.15 – 1)

* Dan B Marghitu, *Mechanical engineer's handbook*, Academic press, USA 2001

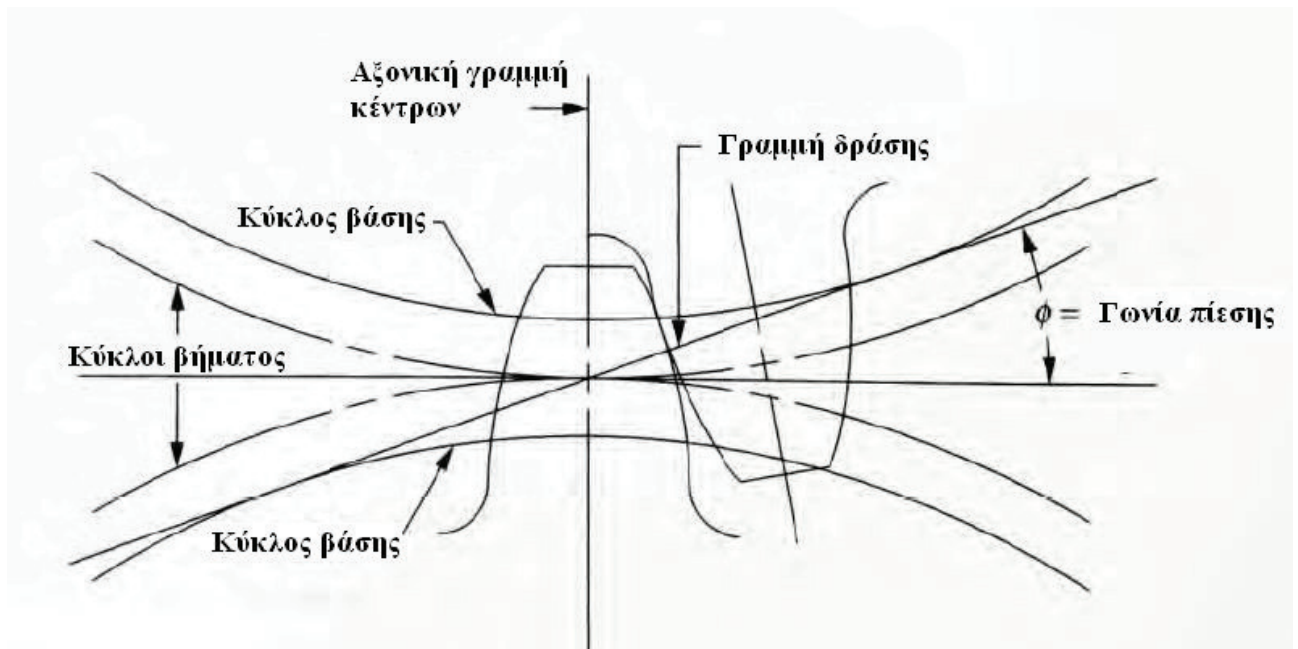
Τυποποιημένο μέγεθος αναλογιών δοντιού εξελεγμένης

Πίνακας 2.5. : Μέγεθος αναλογιών δοντιού εξελεγμένης, τυποποίηση κατά America Gears Manufactures Association (AGMA)

Χαρακτηριστικά γγρααζιού	Κυκλικό βήμα p	Διαμετρικό βήμα P	Module m
Addendum	0.3183 p	1/P	m
Dedendum	0.3977 p	1.25/P	1.25 m
Πάχος δοντιού	0.5 p	1.5708/P	1.5708 m
Κενό δοντιού	0.5 p	1.5708/P	1.5708 m
Βάθος εργασίας	0.6366 p	2/P	2 m
Ολικό βάθος	0.7160 p	2.25/P	2.25 m
Διάκενο	0.0794	0.25/P	0.25 m
Διάμετρος βήματος	zp/π	z/P	zm
Εξωτερική διάμετρος	$(z+2)p/\pi$	$(z+2)/P$	$(z+2)m$
Διάμετρος ρίζας	$(z-2.5)p/\pi$	$(z-2.5)/P$	$(z-2.5)m$
Ακτίνα καμπυλότητας δοντιού	0.1273 p	0.4/P	0.4 m

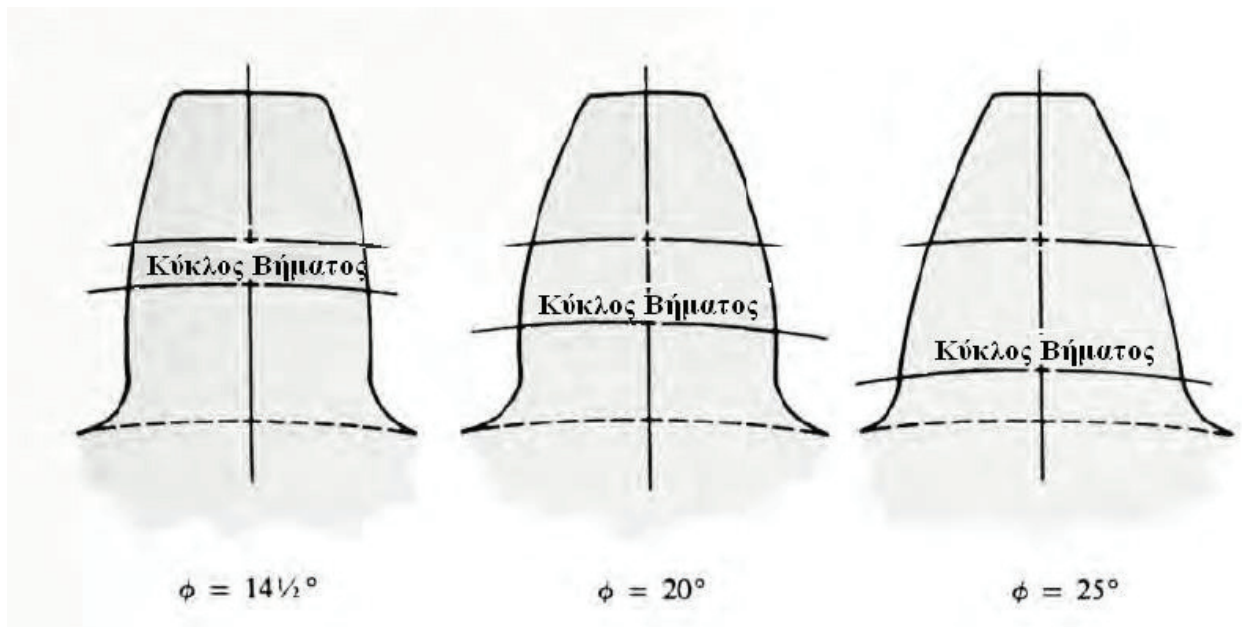
2.6 Γωνία πίεσης (ϕ)

Γωνία πίεσης ή γωνία εκτροπής, ονομάζεται η γωνία μεταξύ ενός σημείου της επιφάνειας ενός δοντιού και της γραμμής πίεσεως. Προσδιορίζεται από την εφαπτομένη στο κύκλο βήματος και την κάθετη γραμμή που σχεδιάζεται πάνω στην επιφάνεια του δοντιού. Η γωνία πίεσης διαμορφώνει το σχήμα της οδόντωσης.



Εικόνα 2.6 : Γωνία πίεσης

Οι τυποποιημένες βιομηχανικές τιμές της γωνίας πίεσης είναι 14.5, 20 και 25 μοίρες. Ανάλογα με τις τιμές της γωνίας πίεσης επηρεάζονται και οι τιμές του addendum, dedendum, ανοχής και ολικού βάθους ενός δοντιού.

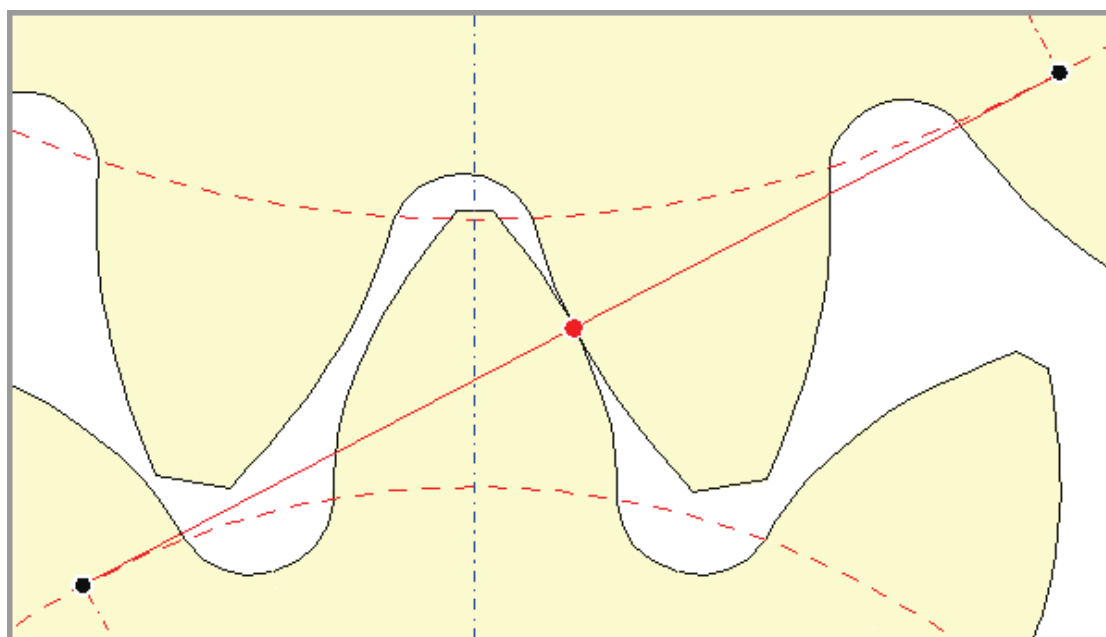


Εικόνα 2.6-2 : Μορφές δοντιών

2.7 Σχέση μετάδοσης (m_f)

Όταν δύο γρανάζια εμπλέκονται μεταξύ τους είναι απαραίτητο για την ομαλή λειτουργία τους το δεύτερο δόντι να ξεκινά να εφάπτεται πριν το προηγούμενο δόντι απεμπλακεί.

Ο όρος σχέση μετάδοσης χρησιμοποιείται για να δείξει τον μέσο όρο αριθμό δοντιών που βρίσκονται σε εμπλοκή κατά τη διάρκεια μετάδοσης κίνησης. Μια προτεινόμενη ελάχιστη σχέση μετάδοσης είναι 1,2 και σε τυπικούς συνδυασμούς γραναζιών συχνά έχουμε τιμές από 1,5 και πάνω. Η σχέση μετάδοσης καθορίζεται από το μέτρο του μήκους της γραμμής δράσης ενός γραναζιού. Η γραμμή δράσης είναι μια ευθεία γραμμή από το σημείο ενός δοντιού που συναντάει την εξωτερική διάμετρο ενός εμπλεκόμενου δοντιού στο σημείο της απεμπλοκής του.



Εικόνα 2.7 : Σχέση μετάδοσης

Το βασικό βήμα είναι η διάμετρος του βασικού κύκλου, διαιρεμένο με τον αριθμό των δοντιών του γραναζιού.

Μια σχέση υπολογισμού της m_f είναι :

$$m_f = \frac{[(\sqrt{R_{oP}^2} - \sqrt{R_{bP}^2}) + (\sqrt{R_{oG}^2} - \sqrt{R_{bG}^2} - c \cos \varphi)]}{p \cos \varphi} \quad *$$

(2.7 – 1)

Όπου

Φ = γωνία πίεσης

R_{oP} = εξωτερική ακτίνα του πηνίου = $D_{oP}/2 = (N_p + 2)/2P_d$

R_{bP} = ακτίνα βασικού κύκλου πηνίου = $D_{bP}/2 = (D_p/2) \cos \varphi = (N_p/2P_d) \cos \varphi$

R_{oG} = εξωτερική ακτίνα γραναζιού = $D_{oG}/2 = (N_g + 2)/2P_d$

R_{bG} = ακτίνα βασικού κύκλου γραναζιού = $D_{bG}/2 = (D_g/2) \cos \varphi = (N_g/2P_d) \cos \varphi$

C = απόσταση κέντρων γραναζιών = $(N_p + N_g) / 2$

p = κυκλικό βήμα = $\pi D_p / N_p = \pi / P_d$

2.8 Διαφορές μεταξύ ζευγών γραναζιών

Για διάφορους συνδυασμούς μεταξύ δοντιών σε ένα ζεύγος γραναζιών, υπάρχει μια παρεμβολή μεταξύ της κορυφής του δοντιού του πηνίου και της ρίζας του δοντιού του γραναζιού. Προφανώς αυτό δε γίνεται ανεκτό διότι τα γρανάζια απλώς δε θα εμπλακούν μεταξύ τους. Η πιθανότητα της παρεμβολής να συμβεί όταν ένα μικρό γρανάζι εμπλέκεται με ένα μεγαλύτερο. Ο σχεδιαστής φέρει ευθύνη για να διασφαλίσει ότι δεν θα υπάρξει διαφορά σε μια διδόμενη εφαρμογή. Ο ποιο βέβαιος δρόμος για να το επιτύχει είναι να ελέγξει τον ελάχιστο αριθμό δοντιών του πηνίου. Ο σχεδιαστής που επιθυμεί να χρησιμοποιήσει λιγότερα από τη λίστα δόντια, μπορεί να χρησιμοποιήσει μια γραφική σχεδίαση για να τεστάρει τυχόν διαφορές μεταξύ πηνίου και γραναζιού. Ενδείξεις πάνω στην κινηματική παρέχουν βοήθεια για την διαδικασία .

*Robert L Mott, *Machine elements in mechanical design – fourth edition*, Pearson prentice hall, USA 1985

Ο πίνακας υποδεικνύει το μέγιστο αριθμό δοντιών ενός γραναζιού για να αποφευχθούν διαφορές

Πίνακας 2.8 : Αναλογία δοντιών πηνίου - κορώνας

Για σύστημα γραναζιών με γωνία πίεσης 20°	
Αριθμός δοντιών πηνίου	Μέγιστος αριθμός δοντιών γραναζιού
13	16
14	26
15	45
16	101
17	1309

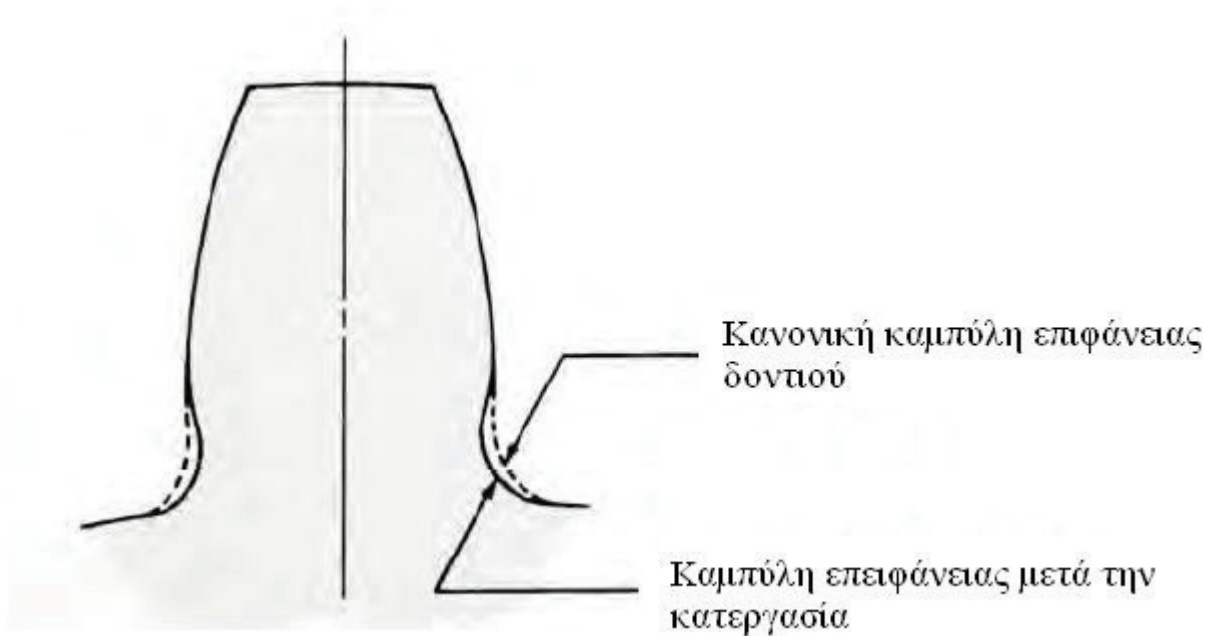
Παραδοχές που ισχύουν :

- Αν ο σχεδιαστής επιθυμεί να είναι σίγουρος ώστε να μην υπάρχουν διαφορές ανάμεσα σε δύο γρανάκια που τα δόντια τους έχουν σχεδιαστεί με γωνία πίεσης $14\frac{1}{2}^\circ$, το πηνίο δεν πρέπει να διαθέτει λιγότερα από 32 δόντια
- Για σύστημα γραναζιών με 20° για να διασφαλιστεί ότι δεν θα υπάρξουν διαφορές μεταξύ των γραναζιών ο ελάχιστος αριθμός δοντιών είναι 18
- Για σύστημα γραναζιών με 25° για να διασφαλιστεί ότι δεν θα υπάρξουν διαφορές μεταξύ των γραναζιών ο ελάχιστος αριθμός δοντιών είναι 12

2.9 Παράκαμψη διαφορών

Αν προκύψει πρόβλημα με την εμπλοκή των γραναζιών και δημιουργούνται διαφορές, υπάρχουν μέθοδοι για να παρακαμφθούν, παρεμβάλλοντας στο σχήμα του δοντιού. Η διεργασία αυτή χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή γιατί αλλάζει και η τάση που

δέχεται το δόντι. Ο σχεδιαστής παρεμβάλει και κόβοντας τις ρίζες του δοντιού, τροποποιώντας το addendum ή τροποποιώντας την απόσταση των κέντρων.



Εικόνα 2.9 : Σχεδιασμός για παράκαμψη διαφορών

2.10 Λόγος ταχύτητας (VR)

Ο λόγος ταχύτητας μεταξύ δύο γραναζιών καθορίζεται από την ταχύτητα του κινητήριου γραναζιού προς την ταχύτητα του κινούμενου

Η ταχύτητα ενός γραναζιού καθορίζεται από τον τύπο

$$V_t = R \cdot \omega \quad (2.10-1)^*$$

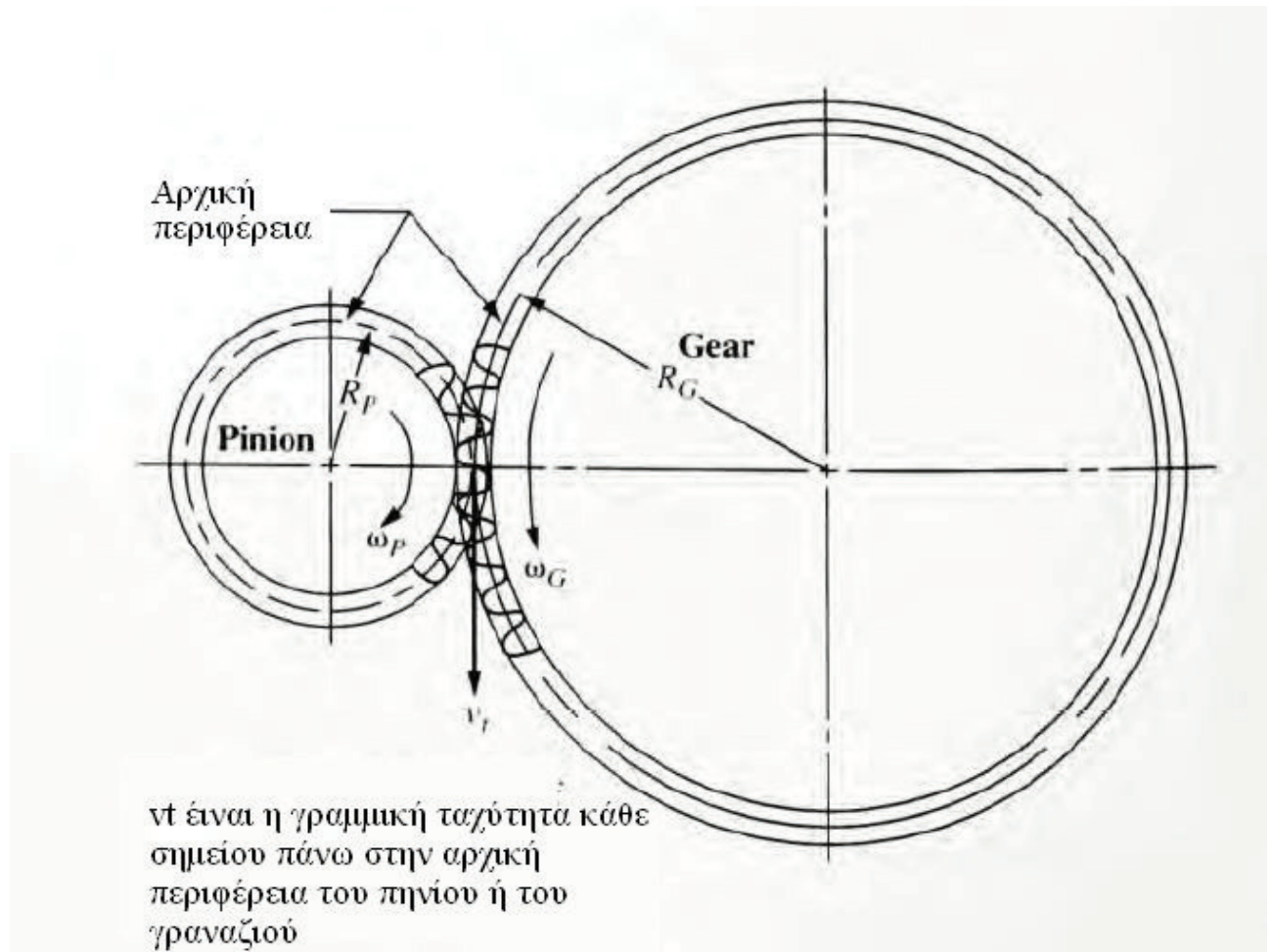
Όπου R η ακτίνα του γραναζιού από το κέντρο ως το βασικό κύκλο και ω η γωνιακή ταχύτητα

Και ο λόγος ισούται με

$$VR = \frac{V_{t1}}{V_{t2}} \quad (2.10-2)^*$$

*Robert L Mott, *Machine elements in mechanical design – fourth edition*, Pearson prentice hall, USA 1985

Πολλά συστήματα γραναζιών λειτουργούν σαν μειωτήρες ταχύτητας και ο λόγος παίρνει τιμές μεγαλύτερες της μονάδας και αντίστροφα στα συστήματα αύξησης ταχύτητα ο λόγος παίρνει τιμές μικρότερες της μονάδας.



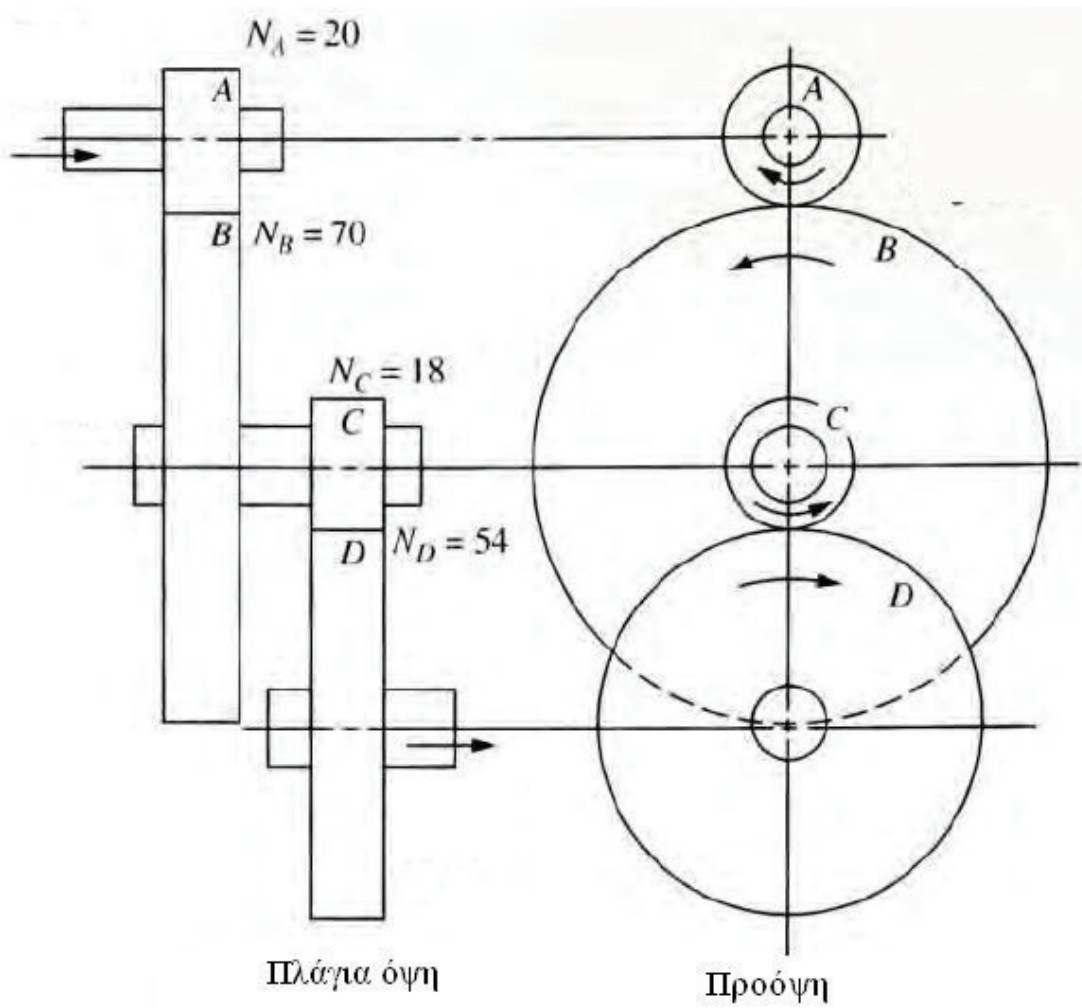
Εικόνα 2.10 : Προσδιορισμός λόγου ταχύτητας

2.11 Λόγος ταχυτήτων σε σύστημα γραναζιών (TV)

Όταν πάνω από δύο γρανάζια είναι σε εμπλοκή και πρέπει να καθοριστεί ο λόγος ταχυτήτων τότε βρίσκουμε το λόγο ταχυτήτων ανά δυάδα γραναζιών

$$\mathbf{TV} = \mathbf{VR}_1\mathbf{VR}_2 = \begin{pmatrix} \mathbf{n}_a \\ \mathbf{n}_b \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{n}_c \\ \mathbf{n}_d \end{pmatrix} \quad *$$

(2.11-1)



Εικόνα 2.11 : Τιμές σε σύστημα γραναζιών

* Robert L Mott, *Machine elements in mechanical design – fourth edition*, Pearson prentice hall, USA 1985

3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

3.1 Μετωπικοί οδοντωτοί τροχοί



Εικόνα 3.1: Γρανάζι με μετωπικούς οδόντες

Οι μετωπικοί οδοντωτοί τροχοί είναι ο πιο συνηθισμένος τύπος γραναζιών και χρησιμοποιούνται για μικρές και μέσες περιφερειακές ταχύτητες και συναντιόνται σε μειωτήρες γενικής χρήσης, μικρά ανυψωτικά μηχανήματα, βαρούλκα, δομικές και αγροτικές μηχανές, κιβώτια αλλαγής ταχυτήτων σε εργαλειομηχανές.

Σε σχέση με τους οδοντωτούς τροχούς με κεκλιμένους οδόντες παρουσιάζουν τα εξής μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα :

Πλεονεκτήματα

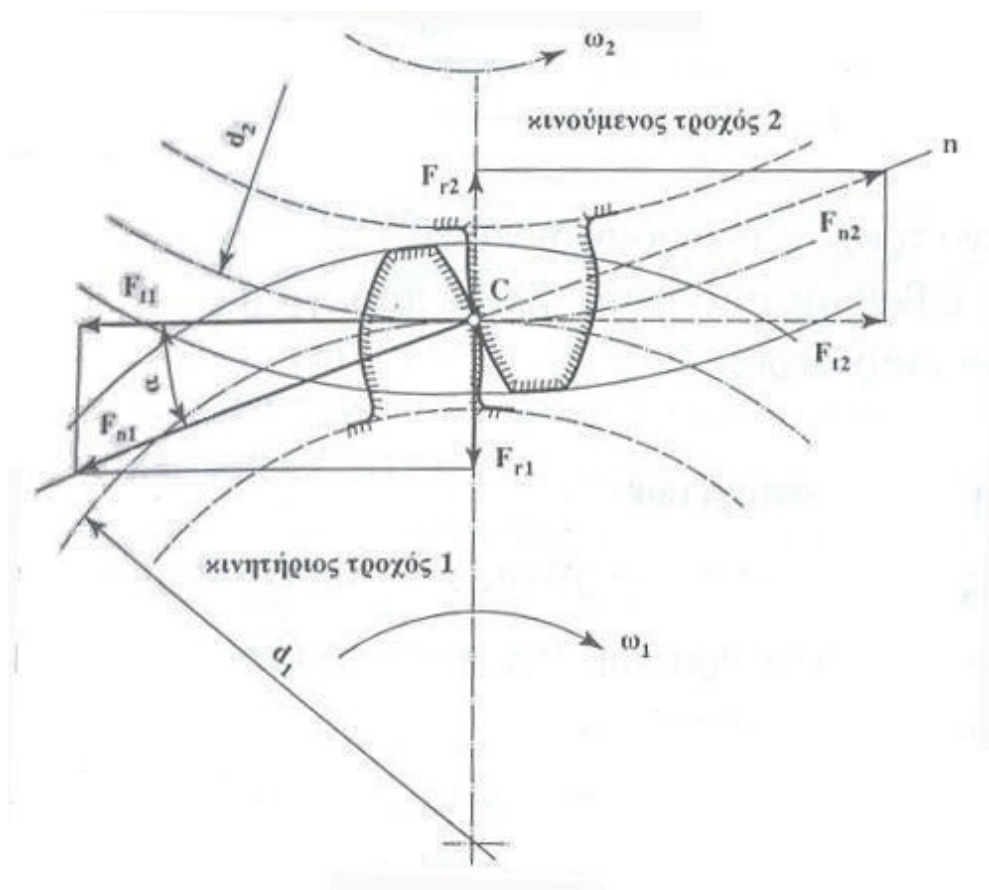
- Δεν εμφανίζουν κατά τη λειτουργία τους αξονικές δυνάμεις και επομένως τα έδρανα δέχονται μικρότερα φορτία
- Ο βαθμός απόδοσης είναι μεγαλύτερος

- Οι οδόντες μπορούν να κατασκευαστούν με μεγαλύτερο πλάτος. Έτσι προκύπτουν μεγαλύτερες επιφάνειες επαφής, μικρότερες πιέσεις επιφάνειας και συνεπώς λιγότερες φθορές

Μειονεκτήματα

- Η λειτουργία τους είναι σχετικά θορυβώδης και όχι τόσο ήρεμη, ιδιαίτερα όταν εργάζονται σε υψηλό αριθμό στροφών
- Η αντοχή τους για τις ίδιες διαστάσεις είναι μικρότερη
- Εμφανίζουν ευκολότερα ταλαντώσεις και δυναμικές θραύσης

3.1.1 Ανάλυση δυνάμεων



Εικόνα 3.1.1: Ανάλυση δυνάμεων σε μετωπική οδόντωση

Αν θεωρήσουμε ότι κατά τη συνεργασία δύο οδοντωτών τροχών με μετωπική οδόντωση, μόνο ένα ζεύγος δοντιών βρίσκεται σε επαφή, τότε η επιφάνεια του

οδόντα 1 που δίνει κίνηση πιέζει την επιφάνεια του δεύτερου εμπλεκόμενου δοντιού που δέχεται την κίνηση. Η κάθετη δύναμη F_n που εφαρμόζεται στο σημείο επαφής των οδόντων συμπίπτει, με την καμπύλη εξελιγμένης, με τη γραμμή επαφών $n-n$ και περνά από το σημείο κύλισης C. Η F_n θεωρείται ότι ενεργεί στο μέσο του πλάτους (b) του δοντιού.

Η δύναμη F_{n1} επενεργεί στην επιφάνεια του πρώτου δοντιού κατά τη διεύθυνση μιας πιθανής θραύσης του. Αν δεν ληφθούν υπόψη οι τριβές, η ίση και αντίθετη δύναμη F_{n2} θέτει σε κίνηση το δεύτερο γρανάζι και ενεργεί επίσης κατά τη διεύθυνση μιας πιθανής θραύσης του δεύτερου δοντιού.

Οι δυνάμεις F_{n1} , F_{n2} αναλύονται στις ακτινικές συνιστώσες F_{r1} , F_{r2} και στις εφαπτομενικές συνιστώσες που ενεργούν σαν περιφερειακές δυνάμεις F_{t1} , F_{t2}

Η ροπή στρέψης T_1 στον πρώτο τροχό με αρχική διάμετρο d_1 υπολογίζεται από

$$T_1 = \frac{(F_{t1} * d_1)}{2000} \quad (3.1.1 - 1)^*$$

T_1 = ροπή στρέψης σε Nm

F_{t1} = εφαπτομενική συνιστώσα της F_{n1} σε N

F_{n1} = κάθετη ασκούμενη δύναμη στο δόντι 1 σε N

d_1 = αρχική διάμετρος δοντιού σε mm

Η κάθετη δύναμη στο δόντι υπολογίζεται

$$F_{n1} = \frac{F_{t1}}{\sigma_{\nu\alpha}} = \frac{2000 * T_1}{d_1 * \sigma_{\nu\alpha}} \quad (3.1.1 - 2)^*$$

Η ακτινική δύναμη F_{r1} που έχει διεύθυνση προς το κέντρο του τροχού υπολογίζεται

$$F_{r1} = F_{t1} * \epsilon\phi\alpha = \frac{2000 * T1 * \epsilon\phi\alpha}{d_1} \quad (3.1.1 - 3) *$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΔΥΝΑΜΕΩΝ

Στο παράδειγμα θα υπολογίσουμε την ροπή στρέψης και τις αναλυόμενες δυνάμεις.

Έστω ότι η δύναμη που ασκείται στο μέσω πλάτος (b) του γραναζιού είναι 30 N και από τα δεδομένα μας έχουμε αρχική διάμετρο δοντιού (d_1) 30mm και τη γωνία πίεσης που είναι (α) 20°

Υπολογίζουμε την εφαπτομενική συνιστώσα F_{t1}

$$F_{n1} = F_{t1} / \sigma\nu\alpha \Rightarrow F_{t1} = F_{n1} * \sigma\nu\alpha \Rightarrow F_{t1} = 30 * 0,448 \Rightarrow F_{t1} = 13,44 \text{ N}$$

Υπολογίζουμε την ροπή στρέψης T_1

$$T_1 = (F_{t1} * d_1) / 2000 \Rightarrow T_1 = (13,44 * 30) / 2000 \Rightarrow T_1 = 0,20 \text{ Nm}$$

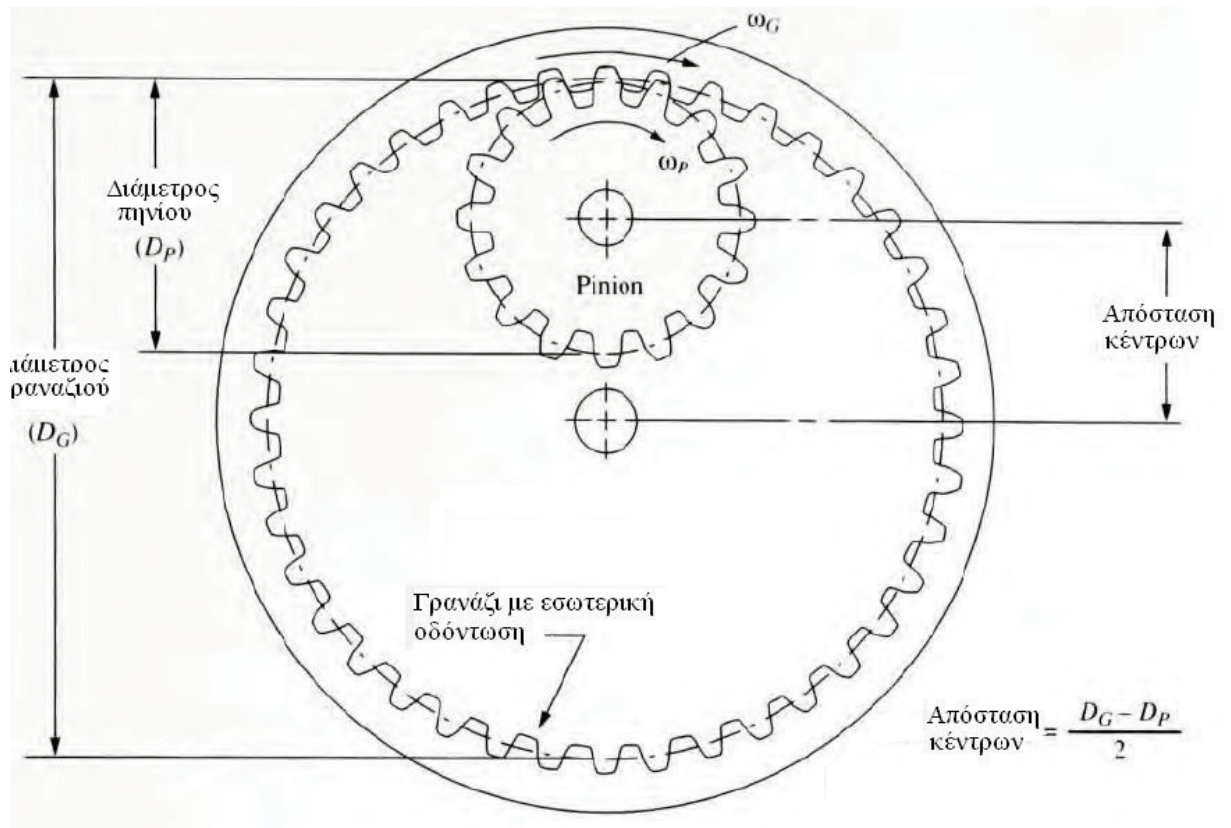
*Ιωάννης Κ. Στεργίου και Κων/νος Ι. Στεργίου, *Στοιχεία Μηχανών*, Σύγχρονη Εκδοτική ΕΠΕ, Αθήνα
Μάρτιος 2002

3.2 Γρανάζι με εσωτερική οδόντωση



Εικόνα 3.2: Γρανάζι με εσωτερική οδόντωση

Τα γρανάζια με εσωτερική οδόντωση είναι σχεδιασμένα αντίστροφα από τα κανονικά, χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές και είναι βασικά εξαρτήματα αντλιών, κιβώτιων ταχυτήτων, συστήματα αυξομείωσης στροφών κτλ.



Εικόνα 3.2-2 : Χαρακτηριστικά γραναζιού με εσωτερική οδόντωση

Στο παραπάνω σχήμα βλέπουμε ένα σύστημα γραναζιού με δακτύλιο.

Τα χαρακτηριστικά που διέπουν το σύστημα είναι :

Η απόσταση των κέντρων C ισούται

$$C = \frac{D_G}{2} - \frac{D_P}{2} = \frac{D_G - D_P}{2} = \frac{\left(\frac{N_G}{P_d} - \frac{N_P}{P_d}\right)}{2} = \frac{N_G - N_P}{2P_d} \quad *$$

(3.2 -1)

* Robert L Mott, *Machine elements in mechanical design – fourth edition*, Pearson prentice hall, USA 1985

C = απόσταση κέντρων σε mm

D_G = διάμετρος γραναζιού σε mm

D_p = διάμετρος πηνίου σε mm

N_G = αριθμός δοντιών γραναζιού

N_p = αριθμός δοντιών πηνίου

P_d = διαμετρικό βήμα

Η εσωτερική διάμετρος ισούται :

$$D_i = D - 2a_1 \quad (3.2-2)^*$$

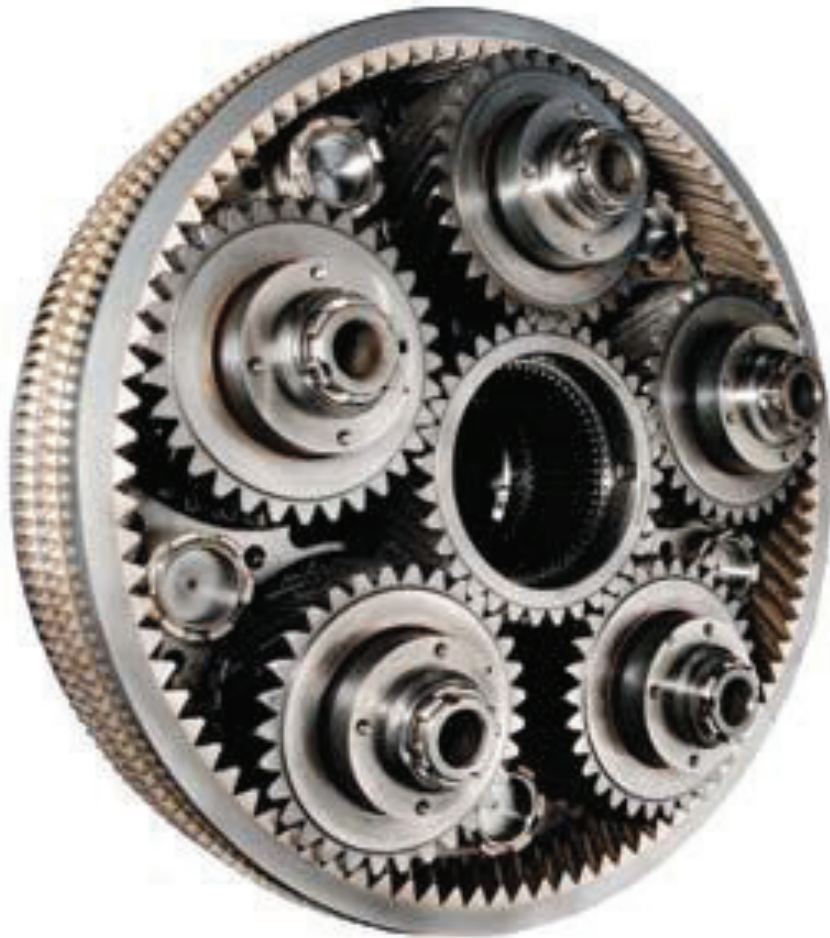
Η διάμετρος ρίζας ισούται με :

$$D_R = D + 2d_1 \quad (3.2-3)^*$$

Όπου a το addendum και d το dedendum

* Robert L Mott, *Machine elements in mechanical design – fourth edition*, Pearson prentice hall, USA 1985

3.3 Πλανητικό σύστημα γραναζιών



Εικόνα 3.3 : Πλανητικό σύστημα γραναζιών

Πλανητικό σύστημα λέγεται το σύμπλεγμα τριών και άνω γραναζιών που το καθένα επενεργεί ξεχωριστά και διαχωρίζονται ως εξής :

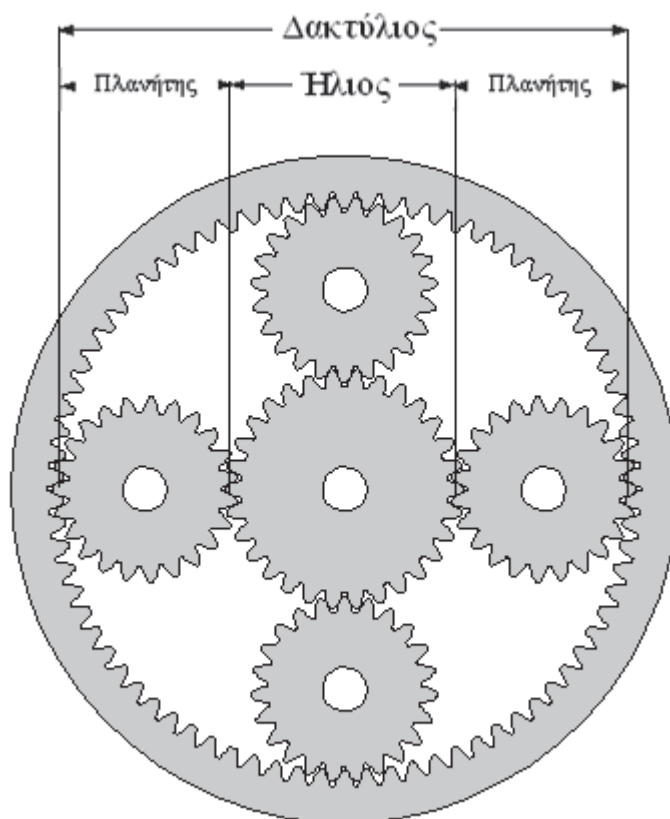
Ήλιος : ονομάζεται το γρανάτζι που είναι στο κέντρο, μεταφέρει και μεταδίδει την κίνηση προς τα άλλα γρανάτζια δηλαδή είναι το κινητήριο και κινείται μόνο περιστροφικά. Σε ένα πλανητικό σύστημα μπορεί να υπάρξει μόνο ένας ήλιος.

Πλανήτης : είναι το γρανάζι που δέχεται την κίνηση από τον ήλιο και κινείται περιστροφικά και μεταφορικά. Σε ένα πλανητικό σύστημα μπορεί να υπάρχει παραπάνω από ένας πλανήτης.

Δακτύλιος : ονομάζεται το γρανάζι με την εσωτερική οδόντωση και η λειτουργία του σε ένα πλανητικό σύστημα είναι να συμπεριλαμβάνει στο εσωτερικό του τους πλανήτες και τον ήλιο. Ο δακτύλιος είναι ομοαξονικός με τον ήλιο

Αν θέσουμε ως N_{π} τον αριθμό των δοντιών ενός πλανήτη, N_{η} τον αριθμό των δοντιών του ήλιου και N_{δ} τον αριθμό των δοντιών του δακτυλίου ισχύει :

$$N_{\delta} = 2N_{\pi} + N_{\eta} \quad (3.3 -1)$$



Εικόνα 2.3-2 : Χαρακτηριστικά πλανητικού συστήματος

3.4 Ελικοειδή γρανάζια



Εικόνα 3.4 : Ελικοειδής γρανάζια

Ελικοειδή γρανάζια ονομάζονται τα γρανάζια που διαθέτουν ελικοειδή οδόντωση. Τα εμπρόσθια άκρα των δοντιών δηλαδή η κεφαλή δεν είναι παράλληλα προς τον άξονα περιστροφής αλλά υπό γωνία. Τα συναντάμε κυρίως στα κιβώτια ταχυτήτων.

Τα πλεονεκτήματα των ελικοειδών γραναζιών συγκριτικά με τα απλά γρανάζια είναι ότι :

1. Τα ελικοειδή γρανάζια μπορούν να εμπλέκονται παράλληλα μεταξύ τους ή σταυρωτά.

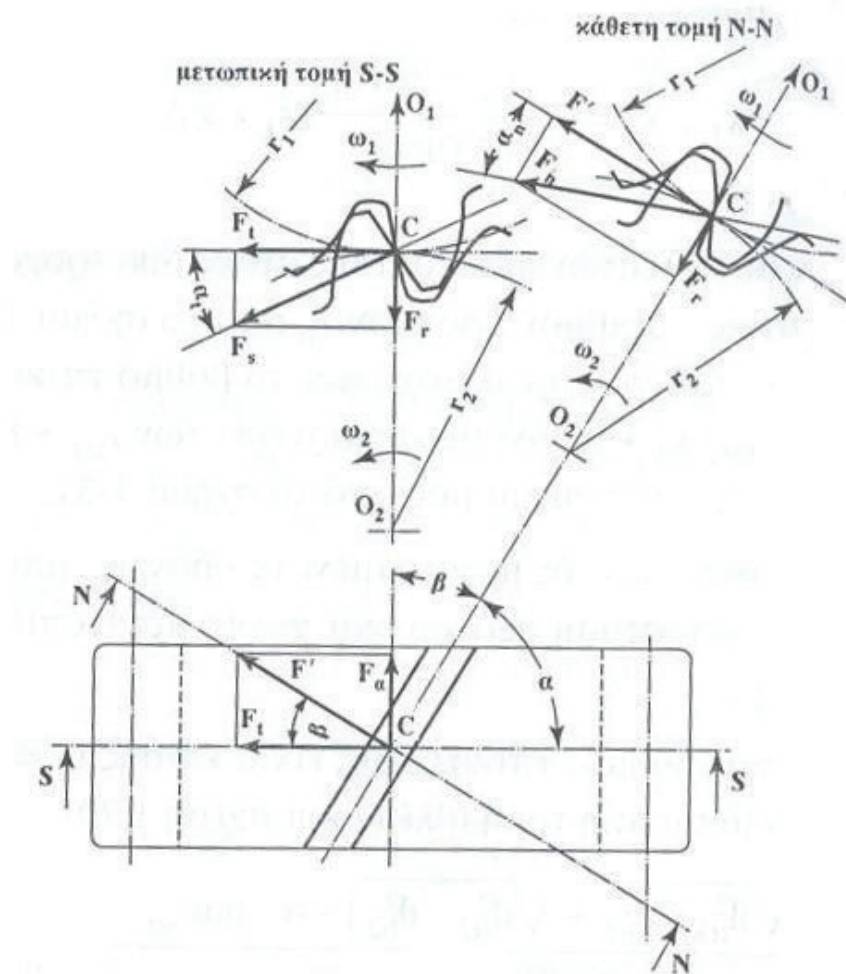


Εικόνα 3.4-2 : Εμπλοκή ελικοειδών γραναζιών

- Κατά τη λειτουργία τους είναι πιο αθόρυβα λόγω ότι υπάρχει μεγαλύτερη επιφάνεια σύμπλεξης των δοντιών.

Μειονεκτούν στο μεγαλύτερο κόστος παραγωγής.

3.4.1 Δυνάμεις στα ελικοειδή γρανάζια



Εικόνα 3.4.1 Δυνάμεις σε ελικοειδή γρανάζια

Όπως και στους οδοντωτούς τροχούς με μετωπικούς οδόντες, η κάθετη στον οδόντα δύναμη F_n , περνά από το σημείο κύλισης C και θεωρείται ότι ενεργεί στο μέσο πλάτος (b) του δοντιού.

Η F_n τέμνει τον άξονα του τροχού υπό γωνία 90° ενώ στους ευθείς τροχούς είναι κάθετη προς τον άξονα. Έτσι η F_n αναλύεται σε τρεις συνιστώσες, κάθετες μεταξύ τους, την περιφερειακή δύναμη F_t , την ακτινική δύναμη F_r , και την αξονική δύναμη F_a

Η περιφερειακή δύναμη F_{t1} ενεργεί στην μετωπική τομή s-s πάνω στον κινητήριο τροχό 1, αντίθετα προς τη διεύθυνση περιστροφής και στον κινούμενο τροχό 2 η F_{t2} κατά τη διεύθυνση περιστροφής.

Οι ακτινικές δυνάμεις F_{r1} και F_{r2} έχουν διεύθυνση προς τους αντίστοιχους τροχούς και προς το κέντρο των τροχών

Οι αξονικές δυνάμεις F_{a1} και F_{a2} στους αντίστοιχους τροχούς και έχουν αξονική διεύθυνση που εξαρτάται από τη γωνία κλίσης (β) των δοντιών.

Οι δυνάμεις με δείκτες 1 και 2 είναι ίσες και αντίθετες εκτός αν ληφθεί υπόψη ο βαθμός απόδοσης που τότε οι δυνάμεις με δείκτη 2 είναι μικρότερες.

Ισχύουν οι σχέσεις :

Για τον υπολογισμό της περιφερειακής δύναμης

$$F_t = \frac{2000 T}{d} \quad (3.4.1-1)^*$$

F_t = περιφερειακή δύναμη σε N

T = ροπή στρέψης σε Nm

d = διάμετρος αρχικού κύκλου σε mm

Για την ακτινική δύναμη

$$F_r = F_t \cdot \epsilon \phi \alpha_n = \frac{F_t \cdot \epsilon \phi \alpha_n}{\sigma \nu \beta} \quad (3.4.1-2)$$

Για την αξονική δύναμη $F_a = F_t \cdot \epsilon \phi \beta \quad (3.4.1-3)^*$

* Ιωάννης Κ. Στεργίου και Κων/νος Ι. Στεργίου, *Στοιχεία Μηχανών*, Σύγχρονη Εκδοτική ΕΠΕ, Αθήνα Μάρτιος 2002

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΔΥΝΑΜΕΩΝ

Εστω ότι η δύναμη F' ισούται με 30 N , από τα δεδομένα μας η γωνία κλίσης (β) είναι 20° , η γωνία πίεσης (α) είναι 20° και η διαμετρος αρχικού κύκλου (d) είναι 87 mm

Υπολογίζουμε την ακτινική δύναμη F_r

$$F_r = F' * \varepsilon\varphi\beta \Rightarrow F_r = 30 * \varepsilon\varphi 20^\circ \Rightarrow \mathbf{F_r = 66,9\text{ N}}$$

Υπολογίζουμε την περιφεριακή δύναμη F_t

$$F_t = (F_r * \sigma\nu\eta\beta) / \varepsilon\varphi\alpha\eta \Rightarrow F_t = (66,9 * 0,4) / 2,23 \Rightarrow \mathbf{F_t = 12\text{ N}}$$

Υπολογίζουμε την ροπή στρέψης T

$$T = (F_t * d) / 2000 \Rightarrow T = (12 * 88) / 2000 \Rightarrow \mathbf{T = 0,528\text{ Nm}}$$

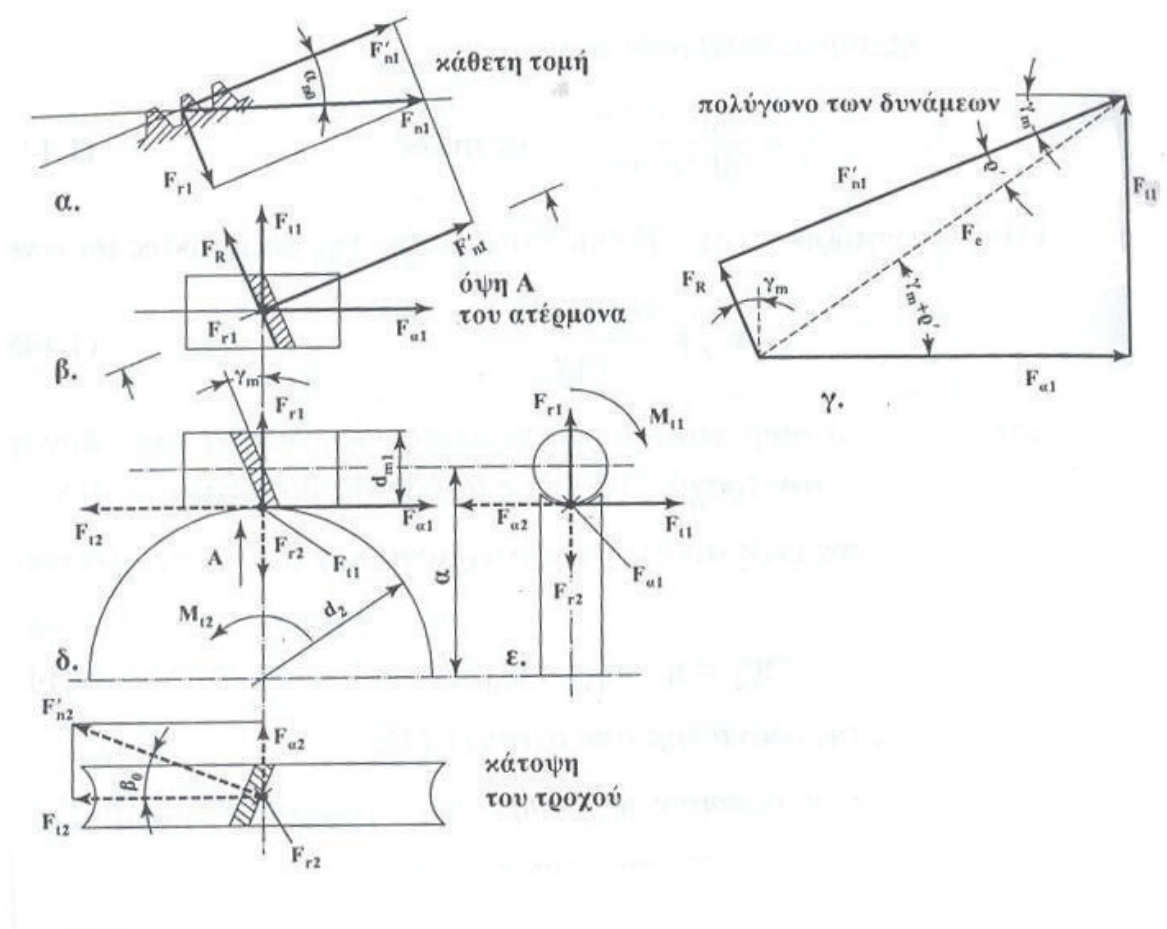
3.5 Ατέρμονας κοιλίας



Εικόνα 3.5 : Ατέρμονες κοιλίες

Ατέρμονας κοιλίας είναι ουσιαστικά μία άτρακτος ή άξονας που φέρει εξωτερικά σπειρώματα είτε δεξιόστροφα είτε αριστερόστροφα. Λέγεται ότι ο εφευρέτης του ατέρμονα κοιλία ήταν ο Αρχιμήδης.

3.5.1 Δυνάμεις σε κοχλία



Εικόνα 3.5.1: Δυνάμεις σε ατέρμονα κοχλία

Η δύναμη F_{n1} που ενεργεί κάθετα στην κατατομή του δοντιού κατά τη διεύθυνση της γραμμής επαφών, αναλύεται σε δύο κάθετες δυνάμεις την ακτινική F_{r1} και την F'_{r2} . Η F'_{n1} αναλύεται στην περιφερειακή δύναμη F_{t1} και στην αξονική F_{a1} , λαμβάνοντας υπόψη ότι κατά μήκος της κατατομής και αντίθετα προς την περιστροφή, ενεργεί η δύναμη τριβής F_R

Περιφερική ταχύτητα F_{t1}

$$F_{t1} = \frac{2000 T_1}{2dm_1} \quad (3.5.1 - 1)^*$$

Ακτινική δύναμη F_{r1}

$$F_{r1} = \frac{F_{t1} * \sigma \nu \rho' * \epsilon \phi \alpha n}{\eta \mu (\gamma m + \rho')} \quad (3.5.1 - 2)^*$$

γm = γωνία κλήσης ατέρμονα

α_n = γωνία επαφής στη κάθετη τομή = 20 ο

ρ' = γωνία τριβής

Αξονική δύναμη F_{a1}

$$F_{a1} = \frac{F_{t1}}{\epsilon \phi (\gamma m + \rho')} \quad (3.5.1 - 3)^*$$

Οι δυνάμεις που ενεργούν στην κορώνα σημειώνονται με εστιγμένη γραμμή.

Η περιφερειακή δύναμη στην κορώνα είναι ίση και αντίθετη με την αξονική δύναμη στον ατέρμονα.

$$F_{t2} = F_{a1} \quad (3.5.1-4)^*$$

Το ίδιο ισχύει και για την ακτινική δύναμη στην κορώνα

$$F_{r2} = F_{r1} \quad (3.5.1-5)^*$$

και την αξονική δύναμη στην κορώνα

$$F_{a2} = F_{t1} \quad (3.5.1-6)^*$$

*Ιωάννης Κ. Στεργίου και Κων/νος Ι. Στεργίου, *Στοιχεία Μηχανών*, Σύγχρονη Εκδοτική ΕΠΕ, Αθήνα
Μάρτιος 2002

3.6 Σύστημα ελικοειδούς γραναζιού – ατέρμον κοχλία



Εικόνα 3.6 : Σύστημα ελικοειδούς γραναζιού – ατέρμον κοχλία

Το σύστημα γραναζιού ατέρμον κοχλία χρησιμοποιείται όταν υπάρχει ανάγκη για μείωση στροφών. Συνήθως η μείωση των στροφών που επιτυγχάνεται είναι από αναλογία 20:1 και φτάνει μέχρι και 300:1 ή και σε συγκεκριμένες περιπτώσεις επιτυγχάνεται ακόμα μεγαλύτερη μείωση. Ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του συστήματος είναι όταν επιτυγχάνεται μεταφορά κίνησης από τον ατέρμον κοχλία στο γρανάζι λειτουργεί σαν μειωτήρας ενώ αντιστρόφως λειτουργεί σαν επιταχυντήρας. Το σύστημα ατέρμονα κοχλία – γραναζιού απαντάται σε πολλές μηχανολογικές και ηλεκτρικές εφαρμογές με συνηθέστερη το διαφορικό των αυτοκινήτων και επίσης ως μηχανισμός τάνυσης εγχόρδων οργάνων.

4. ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΓΡΑΝΑΖΙΩΝ

4.1 Υλικά κατασκευής γραναζιών

Η επιλογή του υλικού κατασκευής εξαρτάται από μια ποικιλία συνθηκών, όπως οι παρακάτω:

- Από την ικανότητα μεταφοράς φορτίου του δοντιού που εξαρτάται από την μέγιστη αντοχή σε εφελκυσμό του υλικού.
- Όταν το δόντι υποκύπτει σε διακυμάνσεις των δυνάμεων που δέχεται.
- Το υλικό του γραναζιού πρέπει να έχει επαρκή αντοχή για να αντισταθεί σε κάποια αποτυχία λόγω θραύσης
- Σε πολλές περιπτώσεις από τη διάσταση των δοντιών
- Η αντίσταση στη φθορά εξαρτάται από τα στοιχεία κράματος, το ποσοστό άνθρακα και την επιφανειακή σκληρότητα.
- Όταν το υλικό του γραναζιού πρέπει να έχει επαρκή επιφανειακή αντοχή για να αποφευχθεί σπάσιμο
- Για υψηλές ταχύτητες στροφές και ισχύεις το υλικό να έχει χαμηλό συντελεστή τριβής
- Ανάλογα με το μέγεθος της θερμικής στρέβλωσης κατά τη διάρκεια μιας θερμικής επεξεργασίας
- Όταν το φορτίο συγκεντρώνεται σε μία γωνία του δοντιού.

Πίνακας 4.1 : Υλικά πηνίου τροχού ανάλογα με τη μεταφερόμενη ισχύ

Χαρακτηριστικά	Υλικό	
	πηνίων	τροχός
Μικρές ισχύεις και μικρός αριθμός στροφών	Χυτοσίδηρος St42, st 50	χυτοσίδηρος
Μέσες ισχύεις και μέσος αριθμός στροφών	Χυτοσίδηρος, χυτοχάλυβας St50 st60	Χυτοσίδηρος, χυτοχάλυβας Σφαιροειδής χυτοσίδηρος
Μεγάλες ισχύς και μεγάλος αριθμός στροφών	St60 , st70 Βελτιωμένοι χάλυβες	Χυτοσίδηρος, χυτοχάλυβας Σφαιροειδής χυτοσίδηρος, Βελτιωμένοι χάλυβες
Τροχοί μεγάλων απαιτήσεων	St60 , st70 Βαμμένος και βελτιωμένος, Βελτιωμένοι χάλυβες, χάλυβες ενανθράκωσης	Χυτοχάλυβας, Βελτιωμένοι χάλυβες, χάλυβες ενανθράκωσης

Υλικά που χρησιμοποιούνται

Πίνακας 4.1-2 :Χρησιμοποιούμενα υλικά και ονομασίες

Ατσάλι	AISI 304, AISI 1020, Κράμα χάλυβα, υπερστιλβωμένο κράμα χάλυβα, στιλβωμένος ανθρακούχος χάλυβας, στιλβωμένο ανοξείδωτο ατσάλι, χρωμιούχο ανοξείδωτο ατσάλι, γαλβανισμένος χάλυβας, μη κραματοποιημένος χάλυβας, σφυρήλατος ανοξείδωτος χάλυβας
Σίδηρος	Όλκιμος χυτοσίδηρος, φατός χυτοσίδηρος, ελατός χυτοσίδηρος
Κράματα αλουμινίου	1060,1345, 1350, 2014,2018,2024,3003, 6061, 7079
Άλλα κράματα	Ντουρανικέλιο (R) 301, κράματα μαγνησίου, Monel(R) 400
Χαλκός	Χαλκός, Ορείχαλκος, Χαλκοαλουμίνιο, μολυβδούχος χαλκός, μαγγανιούχος ορείχαλκος, χαλκός με κασσίτερο, σφυρήλατος χαλκός
Άλλα μέταλλα	Κοβάλτιο, μόλυβδος, νικέλιο, χρυσάφι, ασήμι, τιτάνιο, βανάδιο, ζirkόνιο

Επίσης υπάρχουν γρανάζια που κατασκευάζονται από πλαστικό και ξύλο

4.2 Κατεργασία οδοντωτών τροχών

Είδη κατεργασίας

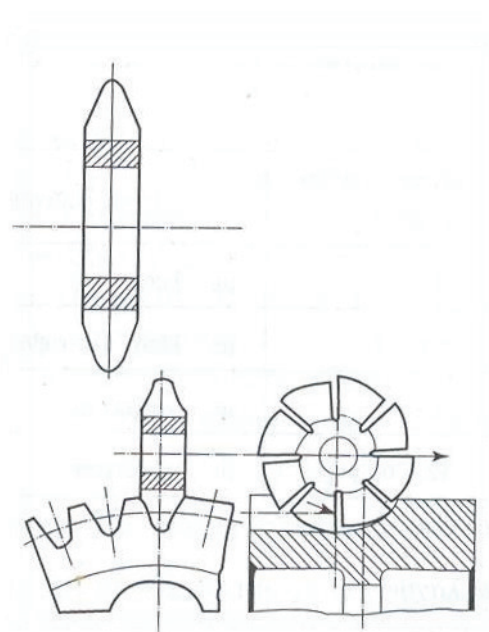
Οι οδοντωτοί τροχοί κατασκευάζονται σήμερα, κατά κύριο λόγο με δύο κατηγορίες εργαλειομηχανών, οι οποίες είναι :

- Μηχανές με κοπτικό εργαλείο μορφής (φρέζες)
- Μηχανές που εργάζονται με τη μέθοδο της κύλισης.

Οι τροχοί που συνεργάζονται πρέπει κατά το δυνατόν να κατασκευάζονται με την ίδια μέθοδο για να αποφεύγονται πιθανές ανωμαλίες κατά τη λειτουργία.

4.2.1 Μηχανές με κοπτικό εργαλείο μορφής

Το εργαλείο που χρησιμοποιείται είναι τύπου δίσκου και έχει τη μορφή του κενού του οδόντα.



Εικόνα 4.2.1: Κίνηση κοπτικού εργαλείου

Κατά την κοπή των οδόντων το κοπτικό εργαλείο κινείται παράλληλα προς τον άξονα, αλλά και κατά την ακτίνα του τροχού, έτσι σχηματίζεται το πλάτος και το βάθος του δοντιού. Μετά την κατεργασία του κενού του οδόντα και την

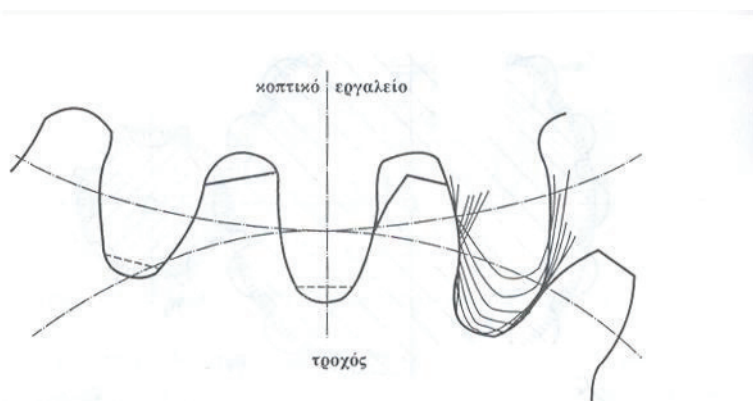
οπισθοχώρηση του κοπτικού εργαλείου, ο κατεργαζόμενος οδοντωτός τροχός περιστρέφεται κατά ένα βήμα μέσω ειδικής συσκευής που λέγεται διαιρέτης.

Επειδή αυτή η μέθοδος κατασκευής οδοντωτών τροχών δεν απαιτεί παρά μόνο μια οριζόντια φρέζα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί από κάθε είδους μηχανουργείο.

Ανακρίβειες στην κατασκευή των οδοντώσεων μπορούν να προέλθουν από διάφορες αιτίες όπως η παραμόρφωση του κοπτικού εργαλείου, εσφαλμένη τοποθέτηση του, λάθη διαίρεσης κ.τ.λ.

4.2.2 Μηχανές που εργάζονται με τη μέθοδο της κύλισης

Πλάνη FELLOW

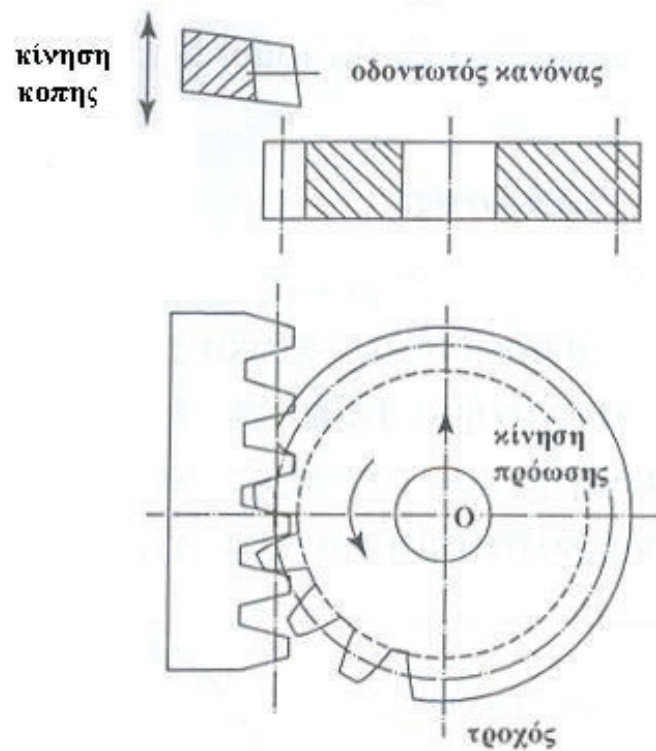


Εικόνα 4.2.2-1: Κατασκευή οδοντωτού τροχού με τη μέθοδο FELLOW

Το κοπτικό εργαλείο που έχει το σχήμα του συνεργαζόμενου τροχού, περιστρέφεται και παλινδρομεί. Ο προς κατεργασία τροχός περιστρέφεται χωρίς να παλινδρομεί. Ο τρόπος αυτός της κατεργασίας αναπτύχθηκε από το εργοστάσιο FELLOW

Με τη μέθοδο FELLOW μπορούν να κατασκευαστούν με ακρίβεια εξωτερικές και εσωτερικές οδοντώσεις με ευθείς ή κεκλιμένους οδόντες.

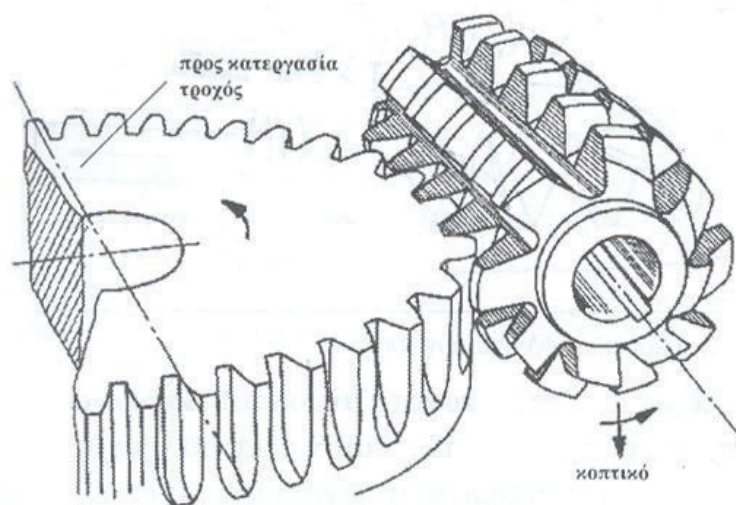
Πλάνη MAAG



Εικόνα 4.2.2-2: Κατασκευή οδοντωτών τροχών με τη μέθοδο MAAG

Το κοπτικό εργαλείο που παλινδρομεί έχει τη μορφή του οδοντωτού κανόνα. Κατά τη διάρκεια της κατεργασίας ο προς κατεργασία τροχός κυλιέται πάνω στον κανόνα. Με τον ίδιο κανόνα είναι δυνατή η κατασκευή τροχών με ευθείς ή κεκλιμένους οδόντες. Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε από το εργοστάσιο MAAG

Γραναζοκόπτης ΗΟΒ



Εικόνα 4.2.2-3: Κοπτικό εργαλείο με τη μορφή ατέρμονα κοχλία

Το κοπτικό εργαλείο έχει τη μορφή ατέρμονα κοχλία που περιστρέφεται. Η αξονική κατατομή του ατέρμονα κοχλία αντιστοιχεί στην κατατομή του οδοντωτού κανόνα, η οποία στην περίπτωση της οδόντωσης εξελιγμένης έχει σχήμα τραπεζοειδές.

Η περιστροφή του κοπτικού εργαλείου και του τροχού γίνεται με τέτοιο συνδυασμό, ώστε μετά από μία στροφή του κοπτικού εργαλείου ο τροχός πρέπει να έχει περιστραφεί κατά ένα βήμα. Κοπτικό και τροχός βρίσκονται συνεχώς σε επαφή.

4.3 Εργαλειομηχανή CNC - Φρέζα (Computer Numerical Control Milling Machines)



Εικόνα 4.3: Εργαλειομηχανή CNC - Φρέζα

4.3.1 Γενικές αρχές

Ορισμός του Αριθμητικού Ελέγχου

Αριθμητικός έλεγχος εργαλειομηχανών είναι ο τύπος ελέγχου που χρησιμοποιεί αριθμητικές τιμές για την αναφορά στη θέση και την κίνηση των αξόνων της μηχανής, για τον ορισμό εργαλείων, στροφών ατράκτου κλπ. Η έννοια «άξονας κίνησης μηχανής» αναφέρεται σε ένα κινηματικό άξονα που αντιστοιχεί συνήθως σε γραμμική κίνηση, όπως η πρόωση του τραπεζιού μιας φρέζας, ή σε περιστροφική κίνηση, όπως η περιστροφή του διαιρέτη της φρέζας.

Μία σειρά τέτοιων αριθμητικών τιμών αποτελεί ουσιαστικά το πρόγραμμα αριθμητικού ελέγχου. Τα σημερινά συστήματα ελέγχου CNC (αριθμητικός έλεγχος με H/Y) χρησιμοποιούν επιπρόσθετα αριθμητικές τιμές και για λειτουργίες όπως ο μετασχηματισμός συστημάτων συντεταγμένων, η διαχείριση πινάκων δεδομένων, η αντιστάθμιση διαμέτρου και μήκους εργαλείου κλπ. Αυτές καθώς και επιπρόσθετες λειτουργίες γραφικών, επικοινωνίας με άλλους H/Y και περιφερειακά

αντιδιαστέλλουν τον απλό αριθμητικό έλεγχο (NC) με αυτόν που βασίζεται σε ηλεκτρονικό υπολογιστή (CNC) . Σήμερα πλέον δεν υφίσταται NC με την αρχική του έννοια , απλά CNC και αυτό εννοούμε πλέον με τον όρο «αριθμητικός έλεγχος».

Πλεονεκτήματα και περιορισμοί του Αριθμητικού Ελέγχου

Σε αντίθεση με τον παλαιότερο μηχανικό, πνευματικό ή υδραυλικό έλεγχο μηχανών και συσκευών, όπου ο ανά-προγραμματισμός ήταν εξαιρετικά χρονοβόρος διότι γινόταν με μετατόπιση οριακών διακοπών, βυσμάτων καλωδίων κλπ., αλλά και με τις πρώτες μονάδες αριθμητικού ελέγχου όπου η κύρια λειτουργία ήταν η μετατροπή αριθμητικών τιμών σε ηλεκτρικά σήματα.

Οι σημερινές μονάδες CNC εκτελούν σχετικά μεγάλης έκτασης επεξεργασία των δεδομένων, κάτι που τους προσθέτει λειτουργικότητα αλλά και πολυπλοκότητα.

Το βασικότερο κίνητρο στην ανάπτυξη των εργαλειομηχανών με σύστημα αριθμητικού ελέγχου, αποτέλεσε η ανάγκη για υψηλή ακρίβεια στις κατασκευές εξαρτημάτων πολύπλοκης γεωμετρίας, σε συνδυασμό τόσο με την επαναληψιμότητα του αποτελέσματος όσο και με τη μείωση του χρόνου κατεργασίας.

Η ανάδειξη των πλεονεκτημάτων των εργαλειομηχανών CNC μπορεί να γίνει συγκρίνοντας τις δυνατότητες τους με αυτές των συμβατικών εργαλειομηχανών.

Κατασκευές υψηλής ακρίβειας, της τάξης του 0.01mm ή μικρότερο, απαιτούν στις συμβατικές εργαλειομηχανές εξαιρετικά χρονοβόρες κατεργασίες, αφού ο χειριστής είναι υποχρεωμένος να διακόπτει συχνά την κοπή για να μετρά τις διαστάσεις του κομματιού, έτσι ώστε να εξασφαλίσει την απαιτούμενη ακρίβεια.

Οι εργαλειομηχανές CNC εξοικονομούν αυτό το χρόνο, αφού η ακρίβεια κοπής είναι συνήθως ίση προς τη διακριτική ικανότητα της εργαλειομηχανής και είναι δεδομένη από το σύστημα.

Περαιτέρω εξοικονόμηση χρόνου επιτυγχάνεται με CNC και κατά την αλλαγή της φάσης κατεργασίας, όπου ο χειριστής συμβατικής μηχανής θα ήταν υποχρεωμένος να σταματήσει, έτσι ώστε να είναι δυνατή η συνέχιση της επόμενης φάσης.

Η παραγωγική διαδικασία και το αποτέλεσμά της θα εξαρτάται ακόμα και από την κόπωση του χειριστή. Στα συστήματα CNC, παρακάμπτονται αυτά τα προβλήματα και επιπλέον, επειδή η επαναληψιμότητα του αποτελέσματος είναι σε υψηλά επίπεδα, ο έλεγχος της ποιότητας περιορίζεται στο πρώτο μόνο κομμάτι.

Στις συμβατικές εργαλειομηχανές, η δυνατότητα κοπής περιγραμμάτων τα οποία απαιτούν κίνηση του κοπτικού εργαλείου ταυτόχρονα σε δύο άξονες, βρίσκεται σε άμεση εξάρτηση από την εμπειρία και δεξιοτεχνία του χειριστή και αυτό μόνο για απλά κομμάτια, ενώ η κοπή περιγραμμάτων σε τρεις διαστάσεις είναι εντελώς αδύνατη. Αντίθετα στις εργαλειομηχανές CNC, οι δυνατότητες αυτές είναι χαρακτηριστικές.

Σε αντιστάθμισμα αυτών των πλεονεκτημάτων, οι εργαλειομηχανές CNC έχουν υψηλότερο κόστος αγοράς και συντήρησης και απαιτούν έμπειρους προγραμματιστές εξοικειωμένους με τις μηχανουργικές κατεργασίες, τον προγραμματισμό και τη λειτουργία τους.

4.3.2 Βασικές χρήσεις και κύρια μέρη στις επιτραπέζιες φρέζες αριθμητικού ελέγχου

Μια επιτραπέζια φρέζα αριθμητικού ελέγχου CNC εν συγκρίσει με τα πολύ μεγαλύτερα βιομηχανικά κέντρα κατεργασιών αποτελεί μια πολύ καλή επιλογή για ταχεία κατασκευή πρωτοτύπων, λόγω του μικρού μεγέθους και του χαμηλού κόστους απόκτησής της.

Επίσης οι επιτραπέζιες εργαλειομηχανές CNC εξυπηρετούν τις ανάγκες πολλών επαγγελματιών, όπως των κατασκευαστών κοσμημάτων, αναμνηστικών (μετάλλια), ανάγλυφων εικόνων και άλλων που ασχολούνται με τη χάραξη ή την παραγωγή μικρών ή μεσαίων εξαρτημάτων για καθημερινή χρήση, και όχι μόνο.

Κύρια μέρη σε επιτραπέζιες φρέζες αριθμητικού ελέγχου αποτελούν:

I. Οι άξονες της εργαλειομηχανής: Με αυτούς επιτελείται συνδυασμός γραμμικών και περιστροφικών κινήσεων. Κάθε άξονας νοείται τόσο με την κινηματική του έννοια , όσο και σαν σύστημα μετάδοσης κίνησης και ισχύος ή μέτρησης επί αυτού των στοιχείων κίνησης (θέση, ταχύτητα, επιτάχυνση). Οι άξονες, η κίνησή τους και ο έλεγχός τους είναι αποφασιστικής σημασίας για την κατάταξη, το χαρακτηρισμό και τις δυνατότητες των επιτραπέζιων CNC φρεζομηχανών, για αυτό και αναλύονται εκτενέστερα παρακάτω.

II. Ο κινητήρας κύριας ατράκτου δια του οποίου συντελείται η περιστροφή του κοπτικού εργαλείου.

III. Το ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου, το οποίο περιλαμβάνει συνήθως ένα αριθμό μικροεπεξεργαστών, μνήμης (RAM & ROM) και ολοκληρωμένων κυκλωμάτων για την επεξεργασία και διαχείριση του προγράμματος κοπής καθώς και ηλεκτρονικά ισχύος για τον έλεγχο των αξόνων.

IV. H/Y και λειτουργικό λογισμικό για την διαχείριση του προγράμματος κοπής στη μηχανή (με ενσωματωμένο CAM ή μέσω post-processor από εξωτερικό CAM), την εκτύπωση αρχείων και ενδεχομένως την παρακολούθηση της λειτουργίας της εργαλειομηχανής.

5. ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΚΑΙ ΟΨΕΙΣ

5.1 Μηχανολογικό σχέδιο οδοντωτού τροχού

Γενικά ένας οδοντωτός τροχός παρουσιάζεται σε πρόσοψη στο Μηχανολογικό Σχέδιο σαν ένα στερεό αντικείμενο χωρίς δόντια, αλλά με την προσθήκη μιας γραμμής αναφοράς που σχεδιάζεται με αξονική γραμμή ή περιφέρεια, ανάλογα τη θέαση του γραναζιού, που αντιστοιχεί στη θέση του αρχικού κύκλου ή κύκλου κύλισης. Βασικές οδηγίες για τη σχεδίαση των οδοντωτών τροχών είναι

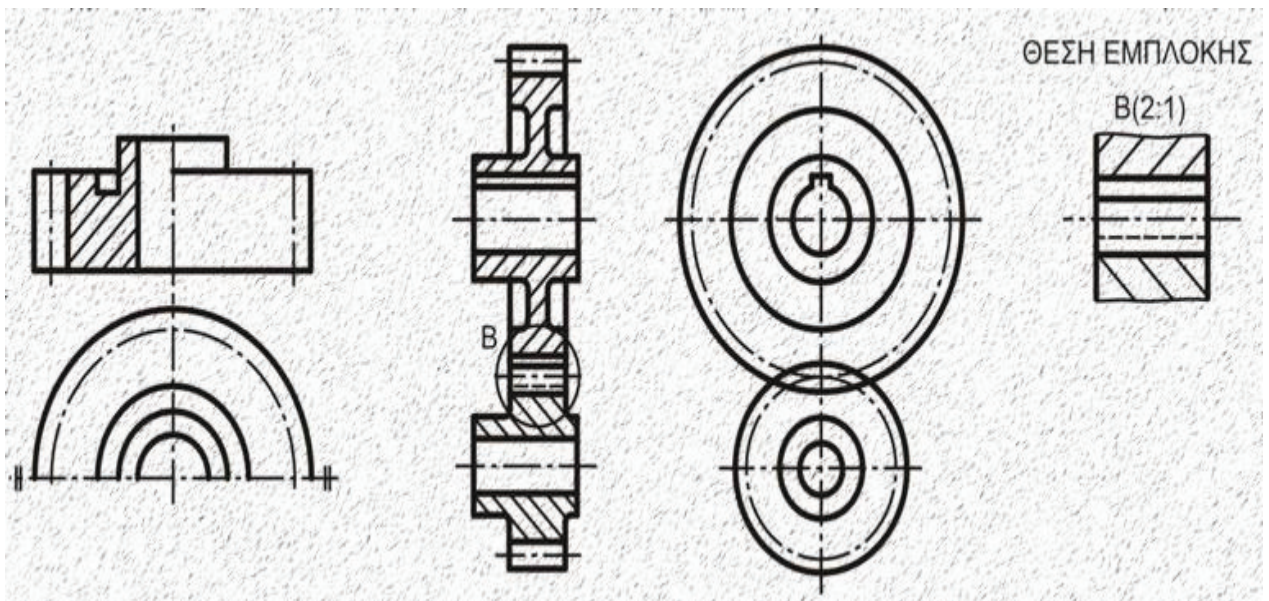
- Οι οδοντωτοί τροχοί σχεδιάζονται σε όψη ή τομή ή ημιτομή, λαμβάνοντας ως εξωτερικό περίγραμμα τον κύκλο κεφαλών που σχεδιάζεται με παχιά συνεχή γραμμή.
- Η γραμμή ή η περιφέρεια αναφοράς της οδόντωσης σχεδιάζονται με αξονική γραμμή.
- Η περιφέρεια ποδών συνήθως δεν σχεδιάζεται παρά μόνο αναγκαστικά παριστάνεται στις τομές των οδοντωτών τροχών. Στην περίπτωση όμως που σε μία όψη σχεδιαστεί η περιοχή του ποδιού ενός γραναζιού, αυτό γίνεται με λεπτή συνεχή γραμμή.
- Τα δόντια του οδοντωτού τροχού σχεδιάζονται στην τομή ολόκληρα χωρίς να διαγραμμίζονται.

5.2 Μηχανολογικό σχέδιο μετωπικής εμπλοκής συστήματος οδοντωτών τροχών

Στο αριστερό μέρος του επομένου σχήματος παρουσιάζεται σε ημιτομή ένας μετωπικός οδοντωτός τροχός με ευθεία οδόντωση. Αντίστοιχα, στο δεξιό μέρος του σχήματος παρουσιάζεται ένας ζεύγος μετωπικών οδοντωτών τροχών σε εμπλοκή. Ιδιαίτερη προσοχή στη σχεδίαση πρέπει να δίνεται στη θέση

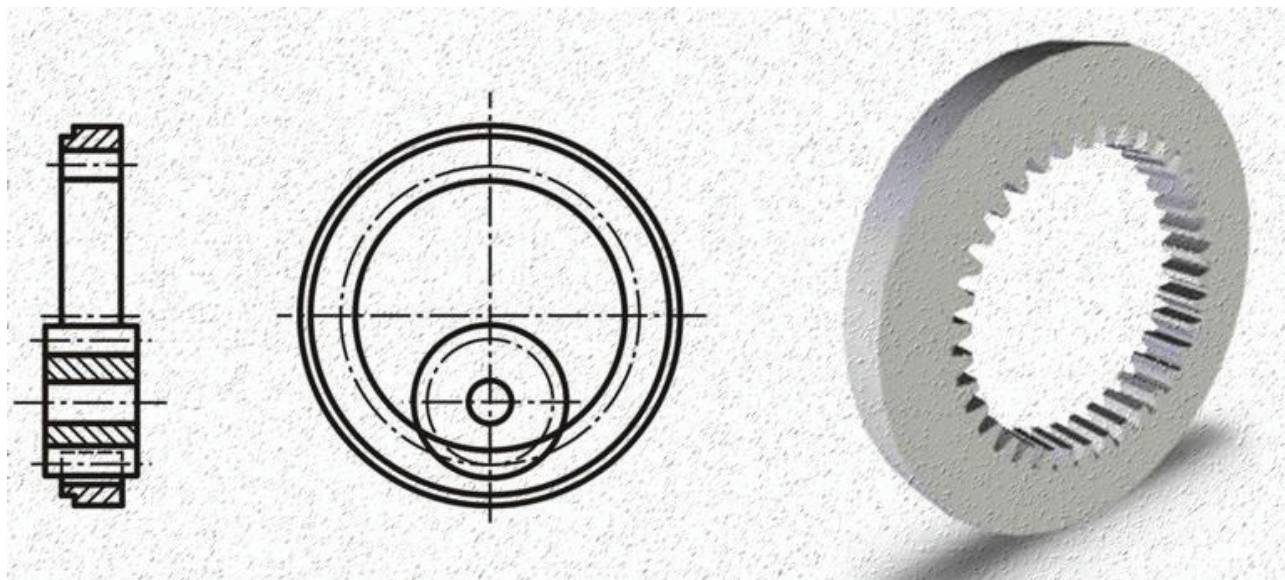
εμπλοκής όπου παρουσιάζεται το δόντι του ενός οδοντωτού τροχού να καλύπτει το αντίστοιχο του άλλου.

Έτσι, τα δύο γρανάζια, έχουν στην πρόσοψη σε τομή κοινή την αξονική γραμμή που υποδηλώνει την αρχική περιφέρειά τους ενώ η κεφαλή του ενός δοντιού παρουσιάζεται με διακεκομμένη γραμμή, όπως φαίνεται στη λεπτομέρεια Β, θεωρώντας ότι αυτό το δόντι καλύπτεται από δόντι του άλλου γραναζιού. Αντίστοιχα στην πλάγια όψη, οι δύο κύκλοι με αξονική γραμμή που υποδηλώνουν την αρχική περιφέρεια των γραναζιών θα πρέπει να εφάπτονται μεταξύ τους.



Εικόνα 5.2 : Μηχανολογικό σχέδιο μετωπικής εμπλοκής οδοντωτού τροχού

5.3 Μηχανολογικό σχέδιο εσωτερικής μετωπικής εμπλοκής πλανητικού συστήματος



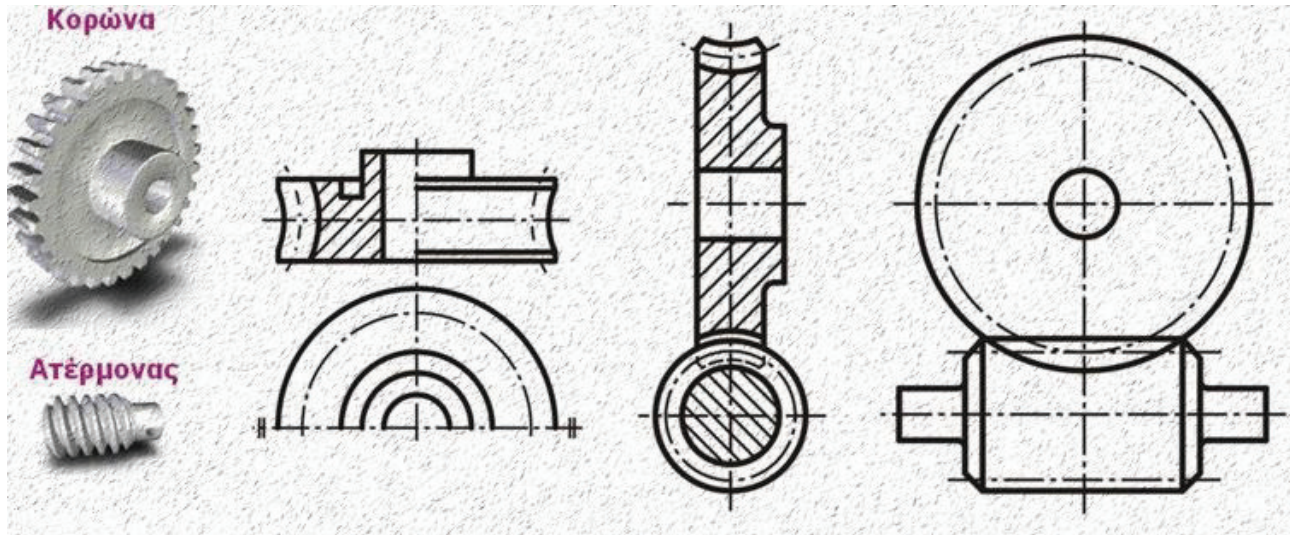
Εικόνα 5.3 : Σχεδιασμός εσωτερικής μετωπικής εμπλοκής πλανητικού συστήματος

5.4 Μηχανολογικό σχέδιο συστήματος γραναζιού – ατέρμονα κοχλία σε εμπλοκή

Το σύστημα ατέρμονα κοχλία – οδοντωτού τροχού (κορώνας) χρησιμοποιείται για μεταφορά μεγάλων φορτίων και για μεγάλες σχέσεις μετάδοσης. Το σύστημα αυτό αποτελείται από έναν ατέρμονα κοχλία, που είναι ένας κοχλίας κίνησης κατάλληλου σπειρώματος μιας ή περισσότερων αρχών, ο οποίος συνεργάζεται με έναν οδοντωτό τροχό κατά τέτοιο τρόπο ώστε η συνεργασία να μοιάζει με τον τρόπο εμπλοκής σε συνεργασία ενός κοχλίας με το περικόχλιο του. Συνήθως ο ατέρμονας κοχλίας σε αυτήν την οδοντοκίνηση είναι ο κινητήριος τροχός και τότε το σύστημα ατέρμονα κοχλία – κορώνας χρησιμοποιείται ως μειωτήρας στροφών.

Πολλές φορές όμως το σύστημα ατέρμονα κοχλία – κορώνας χρησιμοποιείται για ανύψωση στροφών, οπότε στην περίπτωση αυτή η κορώνα είναι ο κινητήριος τροχός. Οι άξονες των δύο συνεργαζόμενων τροχών είναι συνήθως κάθετοι μεταξύ τους ενώ είναι δυνατόν να σχηματίζουν και διαφορετική γωνία από τις 90°. Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζονται σε τρισδιάστατη

μοντελοποίηση ένας ατέρμονας κοχλία και μία κορώνα καθώς και σε μηχανολογική σχεδίαση μία κορώνα και ένα ζεύγος ατέρμονα κοχλία – κορώνας σε εμπλοκή.



Εικόνα 5.4 : Μηχανολογικό σχέδιο συστήματος γραναζιού – ατέρμονα κοχλία σε εμπλοκή

6. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ SOLIDWORKS

6.1 Σχεδιασμός στοιχείων πλανητικού συστήματος

6.1.1 Σχεδιασμός μετωπικού οδοντωτού τροχού

Τα δεδομένα μας που πρέπει να γνωρίζουμε για να σχεδιάσουμε το γρανάζι μας είναι :

1. Το modul (P)
2. Ο αριθμός των δοντιών (N),
3. Η γωνία πίεσεως (PA)

Στην συνέχεια χρειαζόμαστε τα εξής βασικά στοιχεία :

4. Διάμετρος Βήματος (D) $D = N/m$ N= αριθμός δοντιών m = modul
5. Ακτίνα Βήματος (R) $R = D/2$
6. Διάμετρο Βάσης (DB) $DB = D * \cos(PA)$ PA= Γωνία πίεσης
7. Ακτίνα Βάσης (RB) $RB = DB/2$
8. Addendum (a)
9. The Dedendum (d)
10. Εξωτερική Διάμετρο (DO) $DO = D + 2*a$
11. Εξωτερική Ακτίνα (RO) $RO = (DO)/2$
12. Διάμετρο Ρίζας (DR) $DR = D - 2*d$
13. Ακτίνα Ρίζας (RR) $RR = DR/2$

Πίνακας 6.1.1 : Τυποποιημένο μέγεθος αναλογιών δοντιού εξελεγμένης κατά AGMA

Χαρακτηριστικά γραναζιού	Κυκλικό βήμα p	Διαμετρικό βήμα P	Module m
Addendum	0.3183 p	1/P	m
Dedendum	0.3977 p	1.25/P	1.25 m
Πάχος δοντιού	0.5 p	1.5708/P	1.5708 m
Κενό δοντιού	0.5 p	1.5708/P	1.5708 m
Βάθος εργασίας	0.6366 p	2/P	2 m
Ολικό βάθος	0.7160 p	2.25/P	2.25 m
Διάκενο	0.0794	0.25/P	0.25 m
Διάμετρος βήματος	zp/π	z/P	zm
Εξωτερική διάμετρος	$(z+2)p/\pi$	$(z+2)/P$	$(z+2)m$
Διάμετρος ρίζας	$(z-2.5)p/\pi$	$(z-2.5)/P$	$(z-2.5)m$
Ακτίνα καμπυλότητας δοντιού	0.1273 p	0.4/P	0.4 m

Έστω ότι θέλουμε να σχεδιάσουμε ένα γρανάζι με $m = 1$, $N = 30$, και $PA = 20$

Υπολογίζουμε τα παραπάνω δεδομένα και έχουμε :

Module (m) = 1

Αριθμός δοντιών (N) = 30

Γωνία πίεσης (PA) = 20°

Διάμετρος Βήματος (D) $D = N/m = 30 \text{ mm}$

Ακτίνα Βήματος (R) $R = D/2 = 15 \text{ mm}$

Διάμετρο Βάσης (DB) $DB = D - \text{COS} (PA) = 29,6 \text{ mm}$

Ακτίνα Βάσης (RB) $= DB/2 = 14,8 \text{ mm}$

Addendum (a) από πίνακα = 1

Dedendum (d) από πίνακα = 1.25

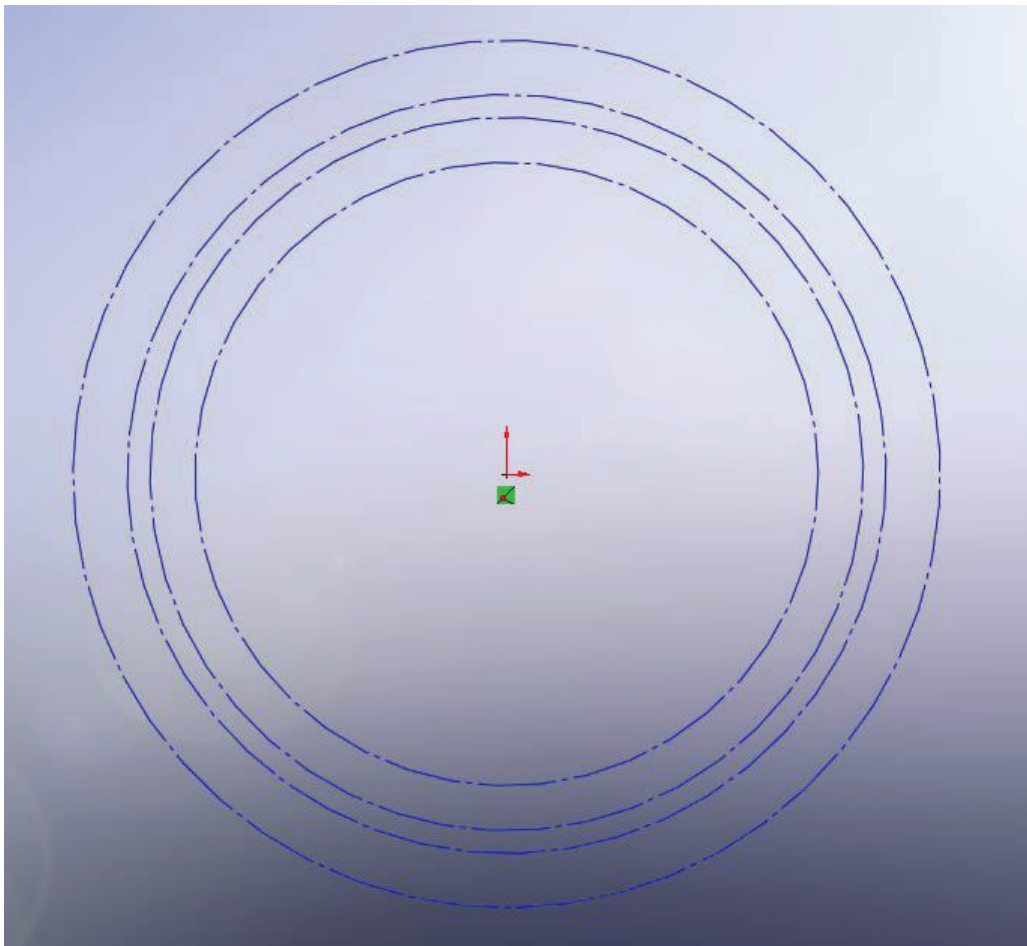
Εξωτερική Διάμετρο (DO) = $D+2*a = 32 \text{ mm}$

Εξωτερική Ακτίνα (RO) = $(DO)/2 = 16 \text{ mm}$

Διάμετρο Ρίζας (DR) = $D-2*d = 27,5 \text{ mm}$

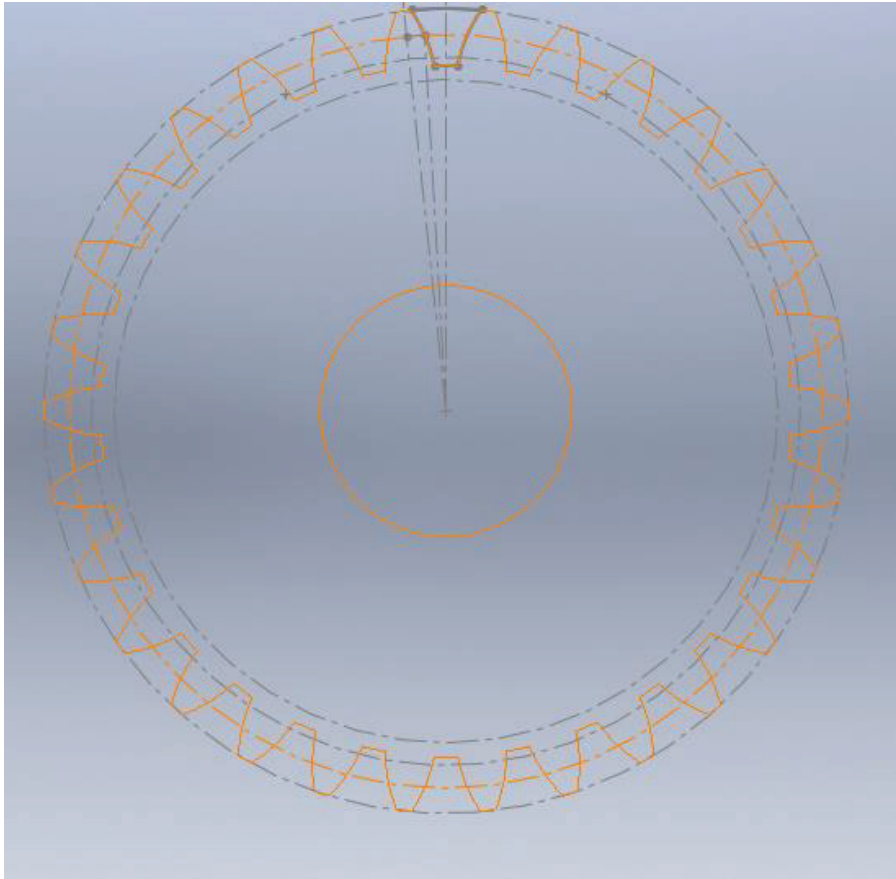
Ακτίνα Ρίζας (RR) = $DR/2 = 13,75 \text{ mm}$

Ξεκινάμε ανοίγοντας το solidworks και σχεδιάζουμε τέσσερις ομόκεντρους κύκλους με τις διαστάσεις που υπολογίσαμε



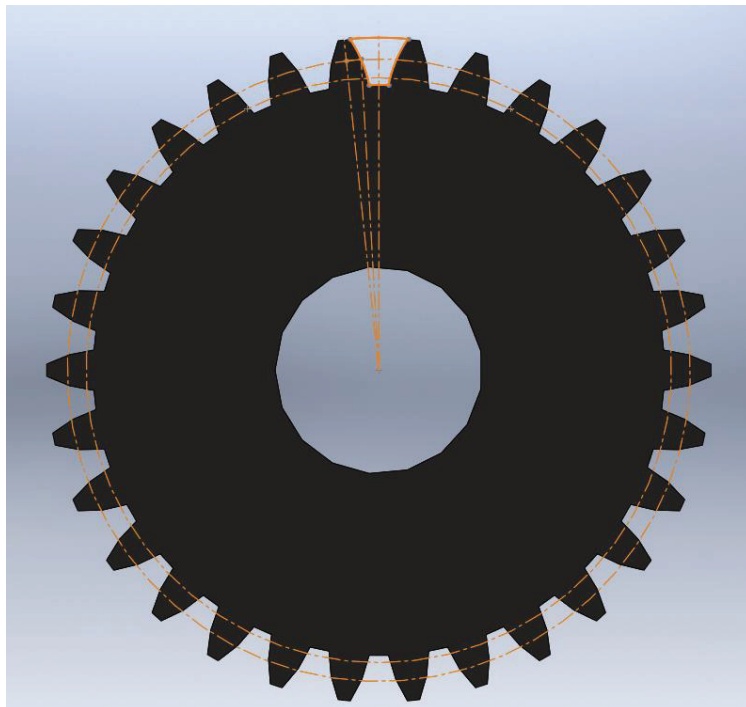
Εικόνα 6.1.1: Βασικοί κύκλοι σχεδίασης

Έπειτα θα σχεδιάσουμε τα δόντια

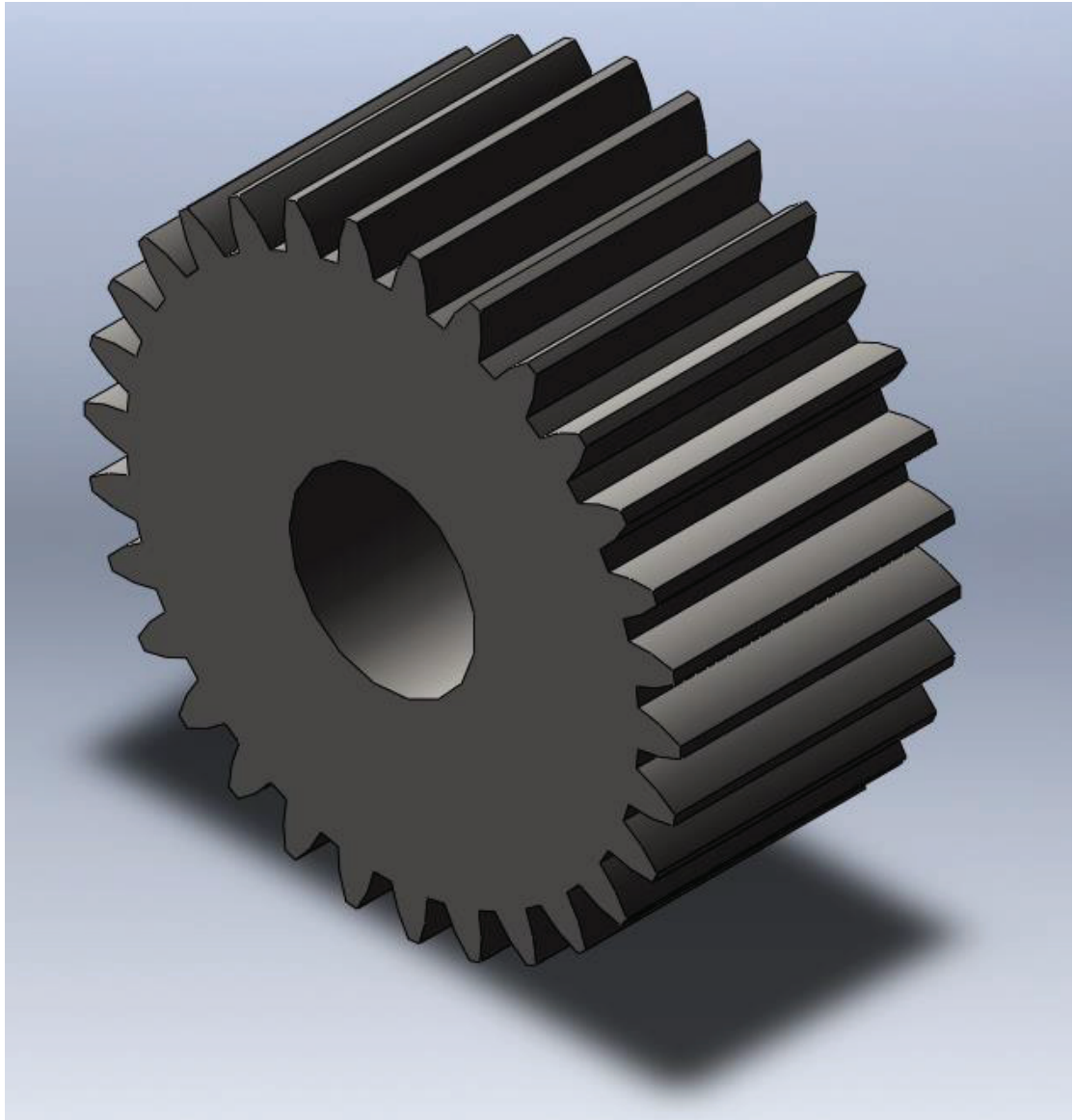


Εικόνα 6.1.1-2: Σχεδιασμός δοντιών

Και τέλος θα δώσουμε τρισδιάστατη απεικόνιση στο μοντέλο μας

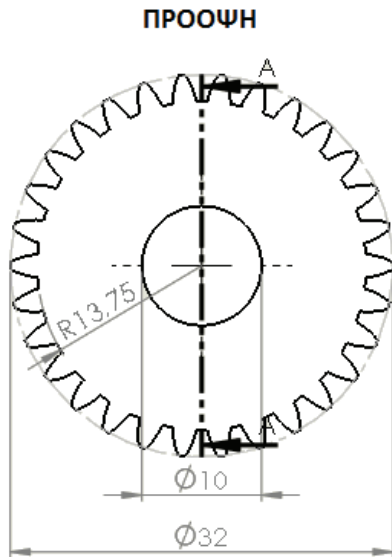


Εικόνα 6.1.1-3: Μοντελοποίηση

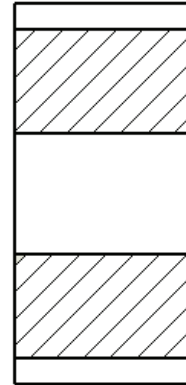


Εικόνα 6.1.1-4: Τρισδιαστατη απεικόνιση γραναζιού

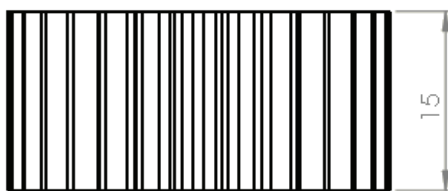
ΣΧΕΔΙΟ ΓΡΑΝΑΖΙΟΥ



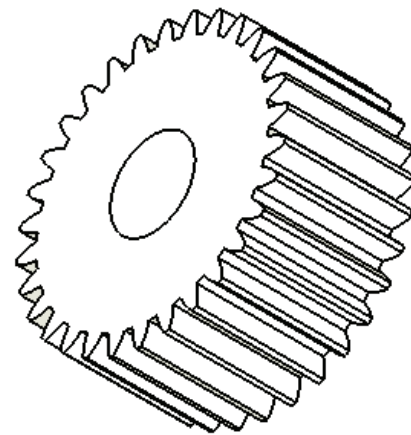
ΗΜΙΤΟΜΗ Α-Α



ΚΑΤΟΨΗ



ΙΣΟΜΕΤΡΙΚΗ ΟΨΗ



	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ	ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ
ΣΧΕΔΙΟ 1.Α			
ΥΛΙΚΟ PLA	ΓΡΑΝΑΖΙ ΜΕ ΜΕΤΩΠΙΚΗ ΟΔΟΝΤΩΣΗ		ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ : 1
ΚΛΙΜΑΚΑ 2:1			ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΤΑΛΟΓΟΥ ΤΕΜΑΧΙΩΝ : 3
Module : 1	Αριθμός δοντιών $N = 30$		
	Γωνία πίεσης $PA = 20^\circ$		

6.1.2 Σχεδιασμός του γραναζιού με εσωτερική οδόντωση

Για να συνυπάρξει με το παραπάνω γρανάτζι που σχεδιάσαμε θα πρέπει να υπολογίσουμε τα εξής :

Την διάμετρο βήματος (D) = $3 \cdot D_o = 96 \text{ mm}$

Την ακτίνα βήματος (R) = $D_o/2 = 48 \text{ mm}$

Την διάμετρο του κύκλου dedendum (D_d) = $D - 2d = 93,5 \text{ mm}$

Την ακτίνα του κύκλου dedendum (R_d) = $D_d/2 = 46,75 \text{ mm}$

Την διάμετρο του κύκλου addendum (D_a) = $D - 2(d+a) = 95,5 \text{ mm}$

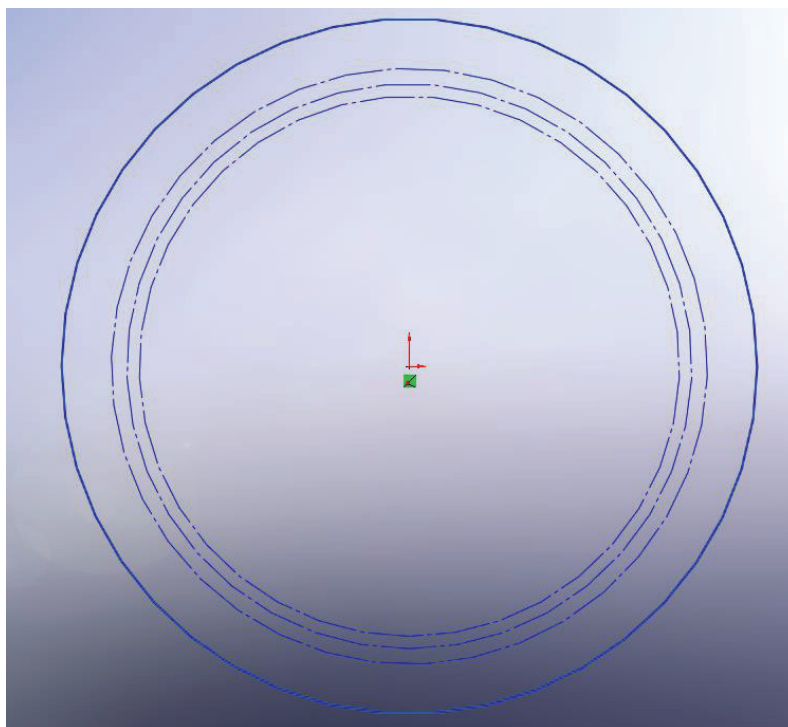
Την ακτίνα του κύκλου addendum (R_a) = $D_a/2 = 47,75 \text{ mm}$

Επιθυμητή εξωτερική διάμετρος δακτυλιδιού (δεν υπολογίζεται) = 100 mm

Ακτίνα εξωτερικού κύκλου $100/2 = 50 \text{ mm}$

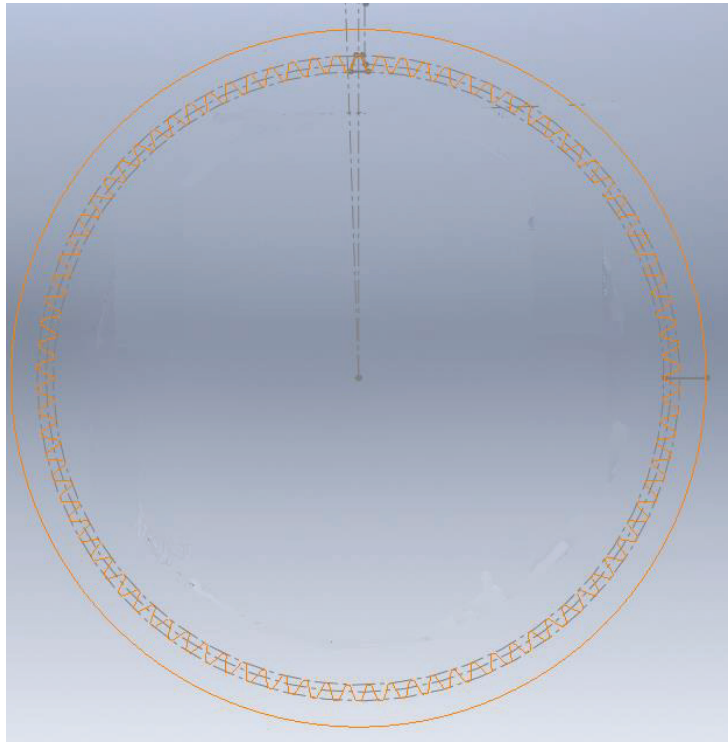
Αριθμός δοντιών = $2 \cdot \text{δόντια πλανήτη} + \text{δόντια ήλιου} = 90$

Σχεδιάζουμε ομόκεντρος κύκλους με τα παραπάνω στοιχεία



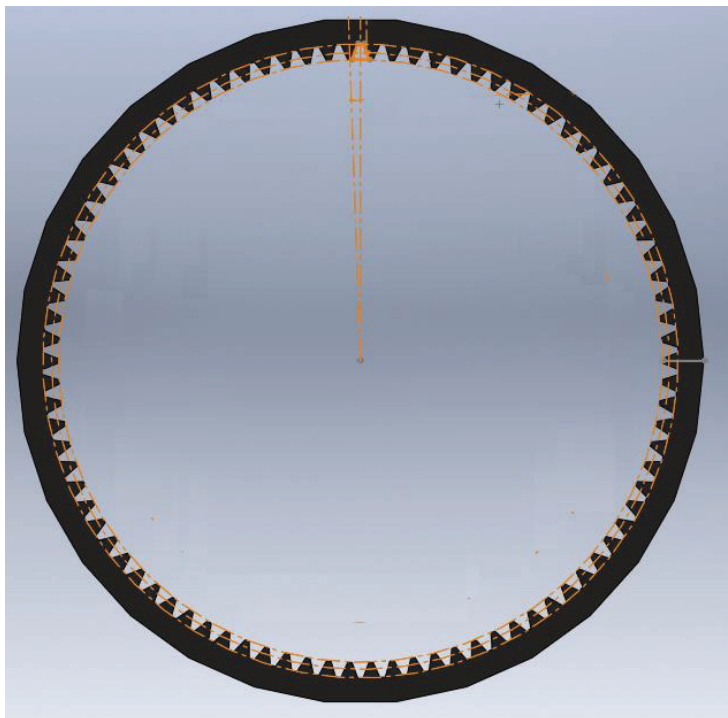
Εικόνα 6.1.2: Βασικοί κύκλοι σχεδίασης

Σχεδιάζουμε τα δόντια

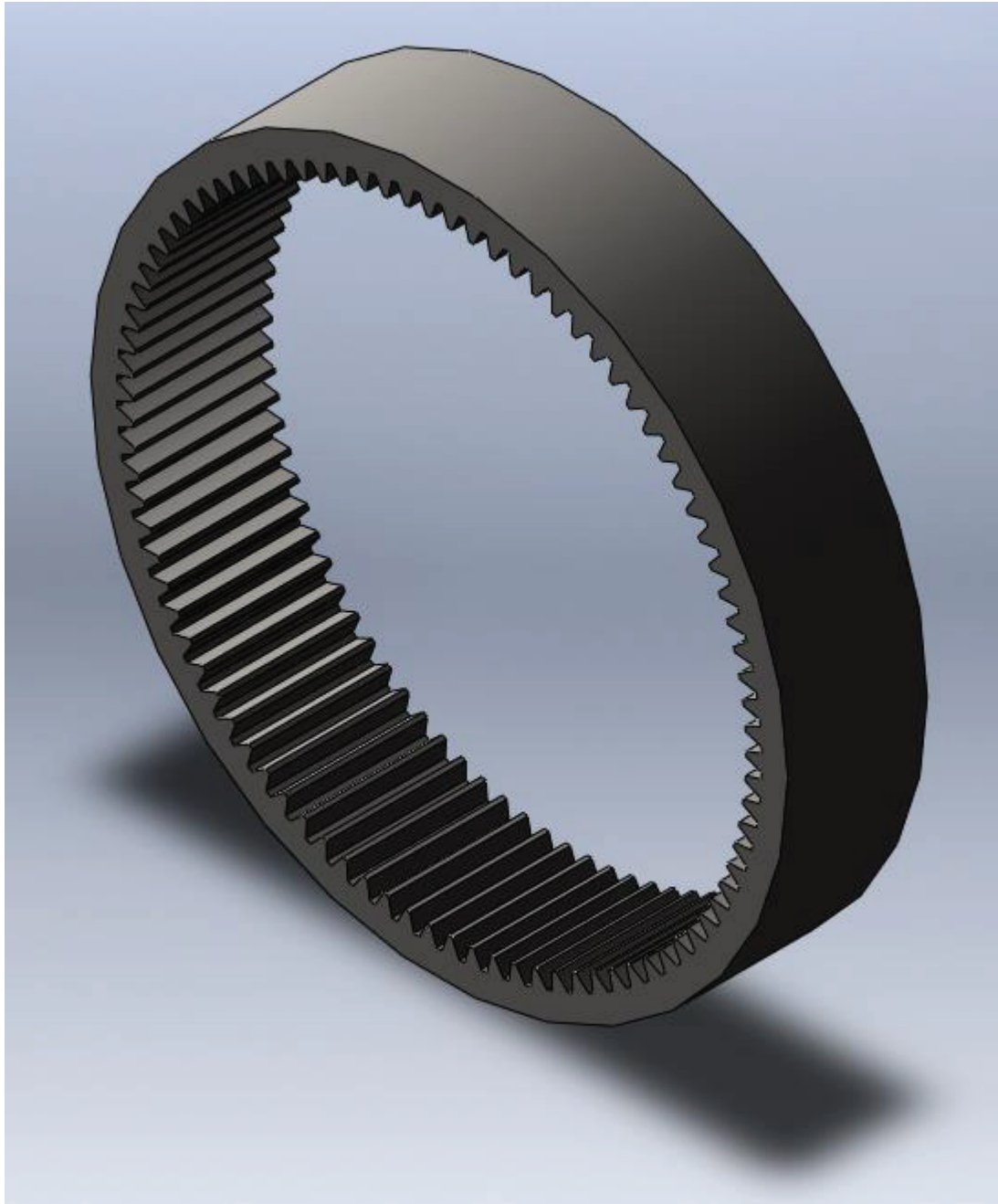


Εικόνα 6.1.2-2: Σχεδιασμός οδόντωσης

Και δίνουμε τρισδιάστατη απεικόνιση στο μοντέλο μας

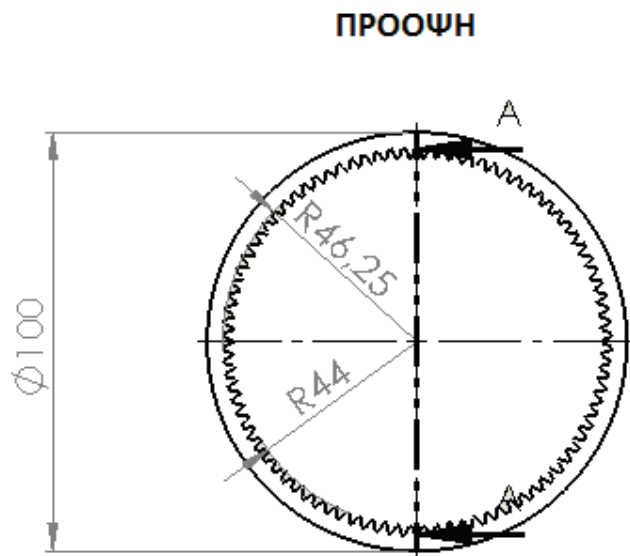


Εικόνα 6,1,2-3: Μοντελοποίηση

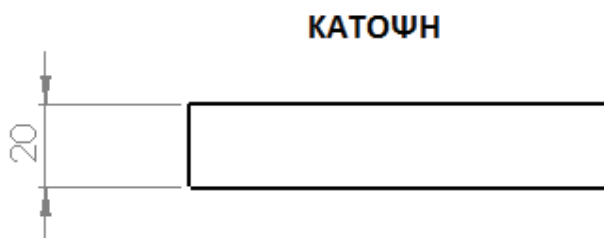
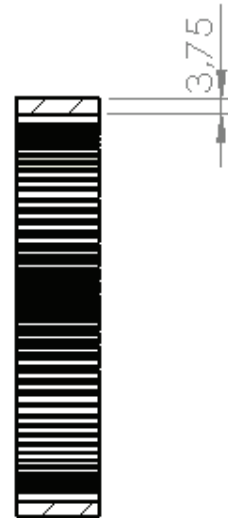


Εικόνα 6.1.2-4: Τρισδιάστατη απεικόνιση γραναζιού με εσωτερική οδόντωση

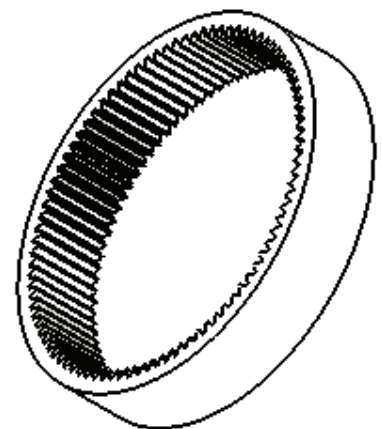
ΣΧΕΔΙΟ ΓΡΑΝΑΖΙΟΥ ΜΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΟΔΟΝΤΩΣΗ



ΗΜΙΤΟΜΗ Α-Α



ΙΣΟΜΕΤΡΙΚΗ ΟΨΗ



	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ	ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ
ΣΧΕΔΙΟ 1.Β			
ΥΛΙΚΟ PLA	ΓΡΑΝΑΖΙ ΜΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΟΔΟΝΤΩΣΗ		ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ : 2
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:2			ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΤΑΛΟΓΟΥ ΤΕΜΑΧΙΩΝ : 1
Modul : 1	Αριθμός δοντιών $N = 90$		
	Γωνία πίεσης $PA = 20^\circ$		

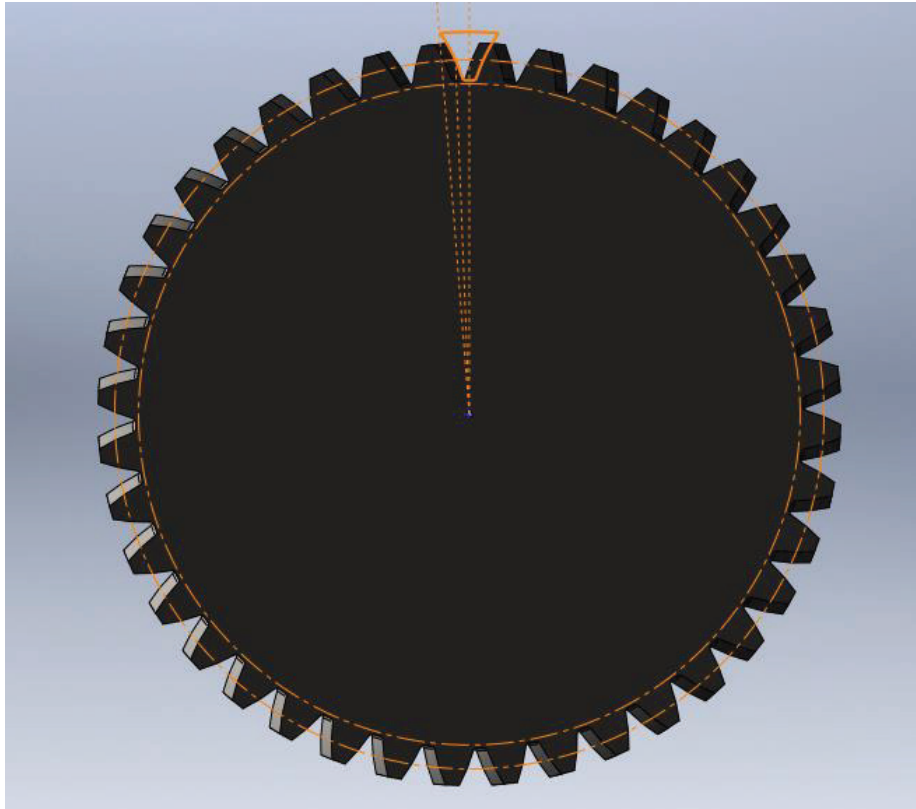
6.2 Σχεδιασμός στοιχείων συστήματος ελικοειδούς γραναζιού – ατέρμονα κοχλία

6.2.1. Σχεδιασμός ελικοειδούς γραναζιού

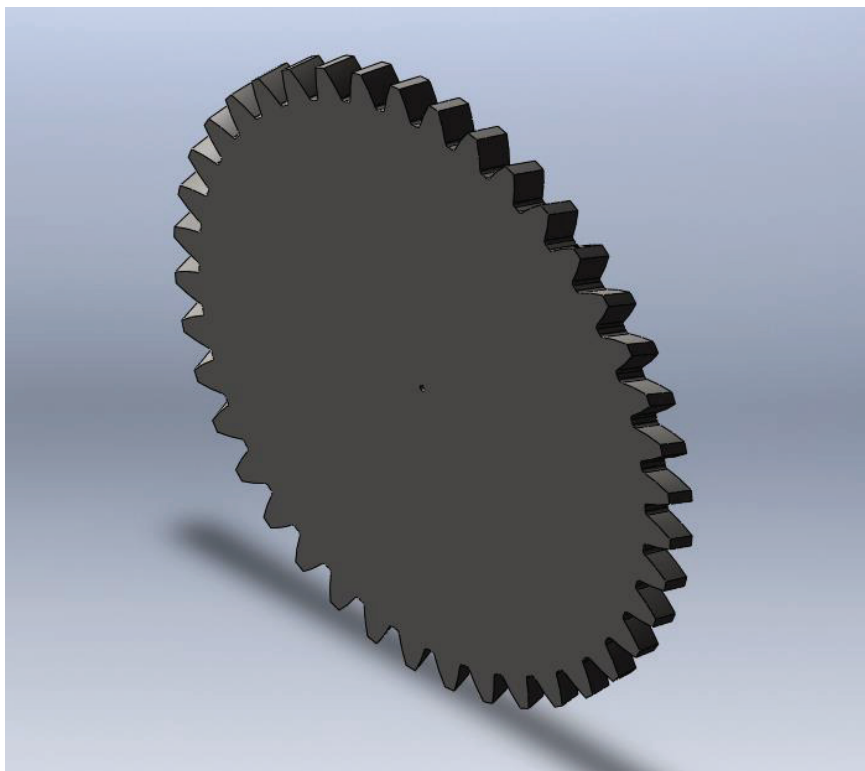
Η διαδικασία που ακόλουθη είναι ολόιδια με τον σχεδιασμό του γραναζιού απλώς δόθηκε μία κλίση στα δόντια 20°

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2.1 : Γεωμετρικά μεγέθη ελικοειδούς γραναζιού

Χαρακτηριστικά γραναζιού	Σύμβολο	Μέγεθος
Modul	m	2
Αριθμός δοντιών	N	40
Γωνία πίεσης	PA	20°
Γωνία κλίσης οδόντα	A	20°
Εξωτερική διάμετρος	DO	89.13 mm
Διάμετρος βήματος	D	85.13mm
Διάμετρος βάσης	DB	80.13 mm
Διάμετρος ρίζας	DR	79,38 mm
Addendum	a	4
Dedendum	d	5.75
Παχος γραναζιού	K	4 mm

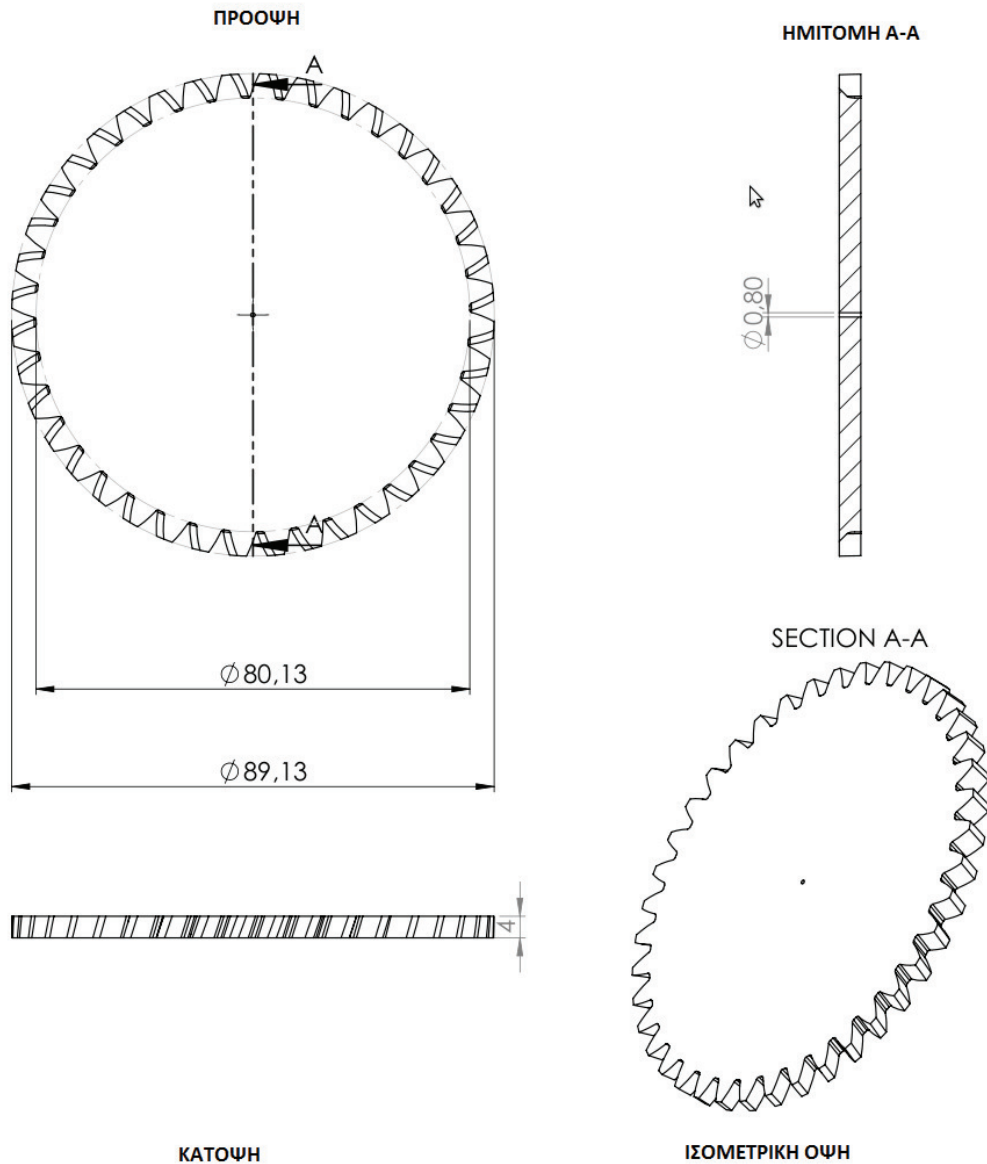


Εικόνα 6.2.1-1 Μοντελοποίηση



Εικόνα 6.2.1-2 Ελικοειδές γράναζι

ΣΧΕΔΙΟ ΕΛΙΚΟΕΙΔΟΥΣ ΓΡΑΝΑΖΙΟΥ



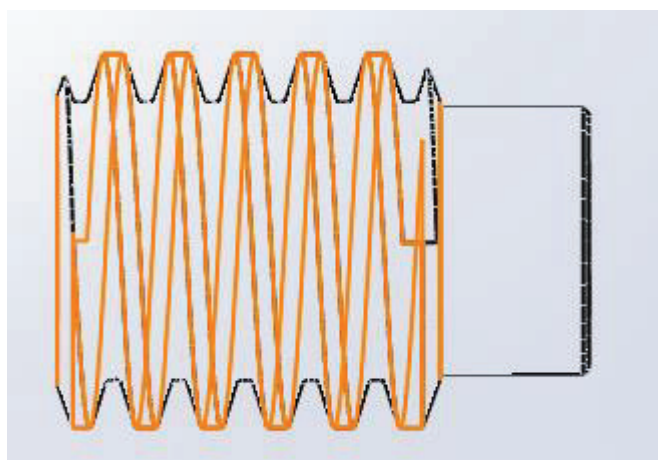
	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ	ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ
ΣΧΕΔΙΟ 2.Α			
ΥΛΙΚΟ PLA	ΕΛΙΚΟΕΙΔΕΣ ΓΡΑΝΑΖΙ		ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ : 3
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:1,6			ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΤΑΛΟΓΟΥ ΤΕΜΑΧΙΩΝ : 1
Modul : 2	Αριθμός δοντιών N = 40		
	Γωνία πίεσης PA = 20°		Γωνία κλίσης δοντιου 20°

6.2.2 Σχεδιασμός ατέρμονα κοχλία

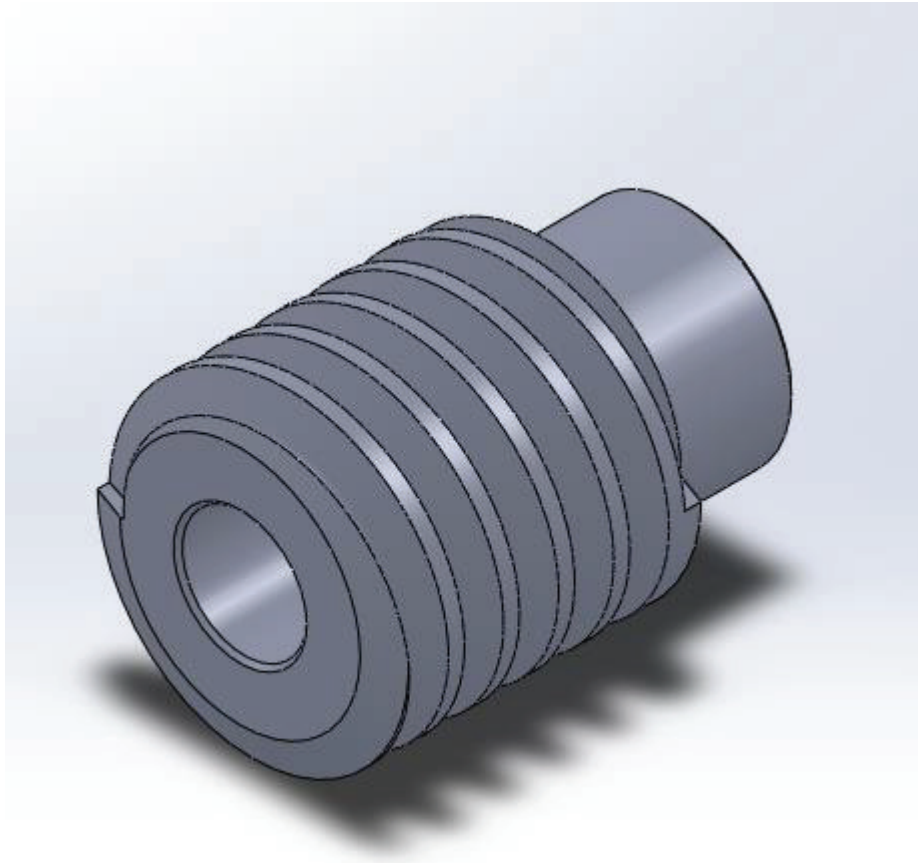
Για να σχεδιάσουμε έναν ατέρμονα κοχλία τα δεδομένα που πρέπει να γνωρίζουμε είναι η διάμετρος και το μήκος του, το βήμα της σπείρας την γωνία που θα ξεκινάει η σπείρα και τον αριθμό των στροφών της σπείρας. Ο σχεδιασμός γίνεται με βάση των χαρακτηριστικών του προσχεδιάσοντως ελικοειδούς γραναζιού με το οποίο θα γίνει η σύμπλεξη.

Πίνακας 6.2.2 : Γεωμετρικά στοιχεία ατέρμονα κοχλία

Χαρακτηριστικά ατέρμονα	Σύμβολο	Μέγεθος
Αριθμός σπειρών	N	6
Ολικό μήκος	M	48.85 mm
Εξωτερική διάμετρος	DO	35 mm
Εσωτερική διάμετρος	DI	25 mm
Γωνία εκκίνηση σπείρας	X	180 °
Βήμα σπείρας	B	6,2 mm
Υψος σπείρας	H	5 mm



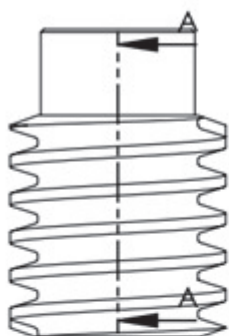
Εικόνα 6.2.2 -1 Σχεδιασμος σπειρών



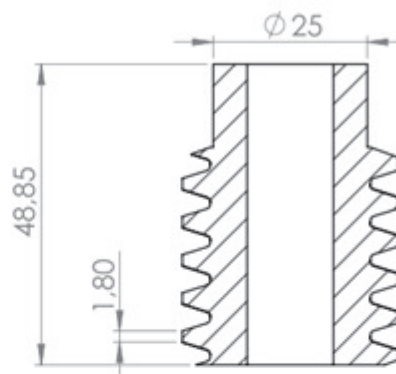
Εικόνα 6.2.2-2 Ατέρμον κοχλίας

ΣΧΕΔΙΟ ΑΤΕΡΜΟΝΑ ΚΟΧΛΙΑ

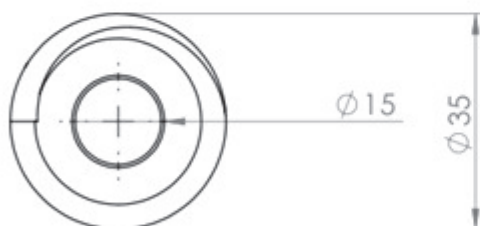
ΠΡΟΨΗ



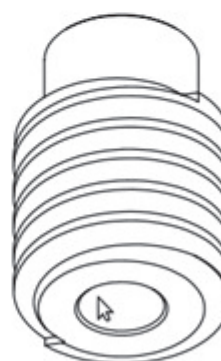
ΗΜΙΤΟΜΗ



SECTION A-A



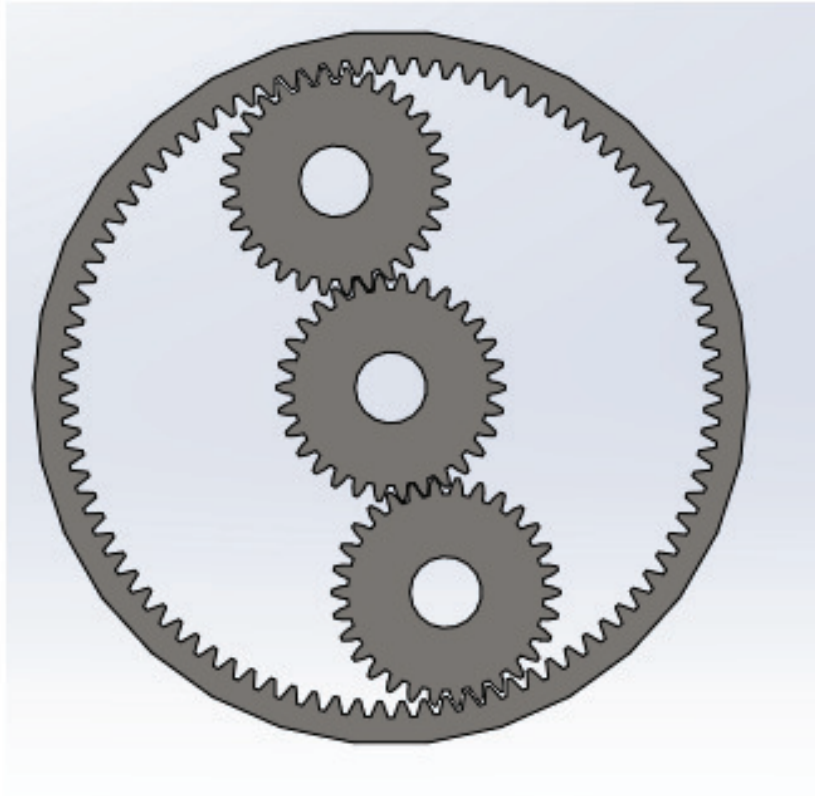
ΚΑΤΟΨΗ



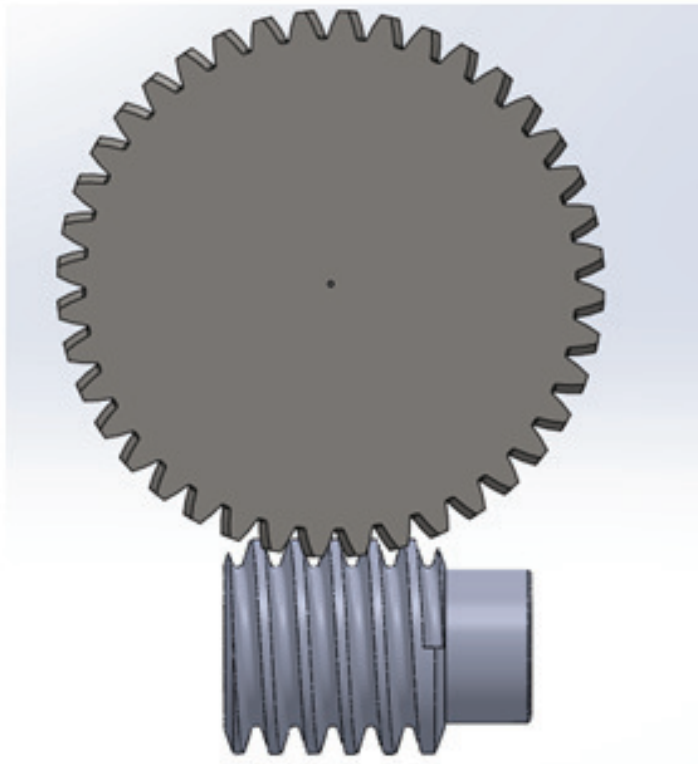
ΙΣΟΜΕΤΡΙΚΗ ΟΨΗ

	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ	ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ
ΣΧΕΔΙΟ 2 Β			
ΥΛΙΚΟ PLA	ΑΤΕΡΜΟΝ ΚΟΧΛΙΑΣ		ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ : 4
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:2			ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΤΑΛΟΓΟΥ ΤΕΜΑΧΙΩΝ : 1
	Αριθμός σπειρών : 6		Γωνία κλήσης σπείρας : 20 °

ΠΛΑΝΗΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ



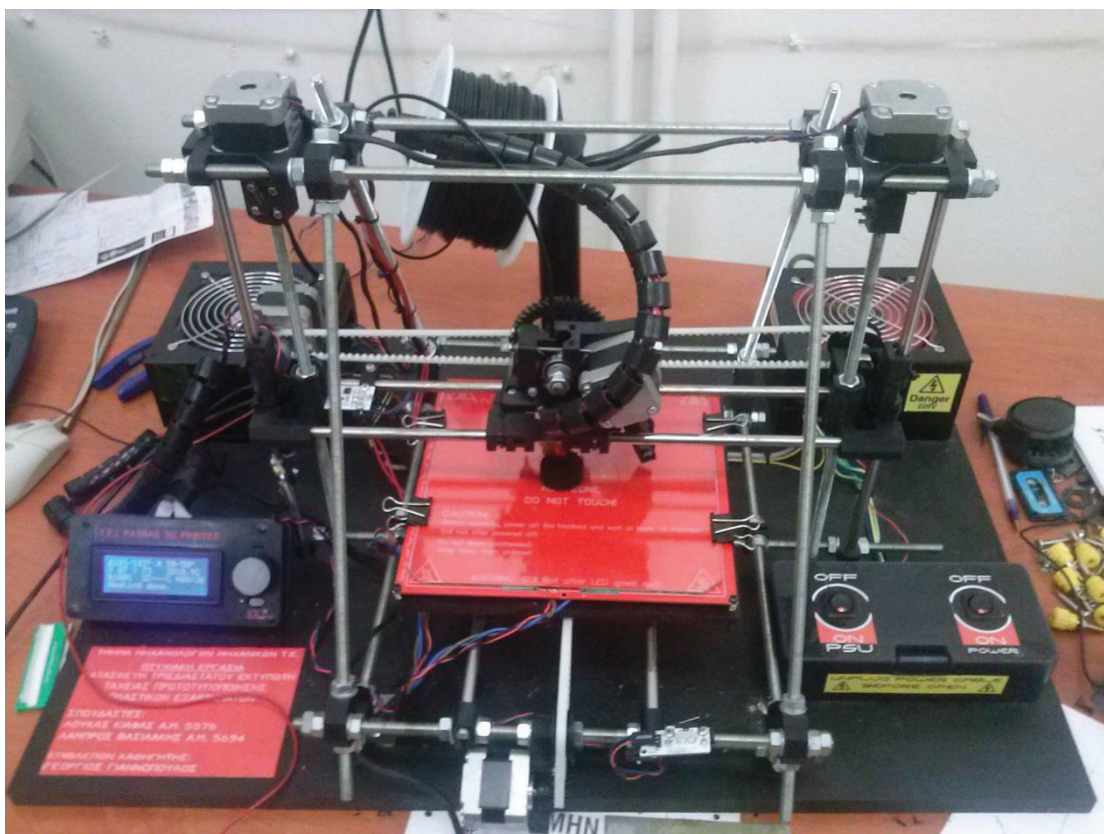
ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΤΕΡΜΟΝΑ - ΓΡΑΝΑΖΙΟΥ



Εικόνα 6.2.3 Τελικά αποτελέσματα

7. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΕ ΕΚΤΥΠΩΤΗ ΤΡΕΙΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ

Τα σχέδια που αναπτύξαμε μέσω του σχεδιαστικού προγράμματος *SOLIDWORKS* τα κατασκευάσαμε με τη βοήθεια ενός τρισδιάστατου εκτυπωτή του τμήματος Μηχανολογίας του Α.Τ.Ε.Ι Πατρών ο οποίος είναι κατασκευαστική πτυχιακή δύο σπουδαστών του τμήματος.



Εικόνα 7: Τρισδιάστατος Εκτυπωτής

7.1 Γενικά για τρισδιάστατους εκτυπωτές

Οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές είναι μια καινούργια τεχνολογία που σιγά σιγά μπαίνει στην καθημερινότητα και συνεχώς αναπτύσσεται. Η γενική αρχή λειτουργίας ενός τρισδιάστατου εκτυπωτή είναι η κατασκευή στερεών αντικειμένων σε τρεις διαστάσεις οποιουδήποτε σχήματος και μορφής από κάποιο ψηφιακό μοντέλο που σχεδιάζεται από κάποιο πρόγραμμα σχεδιασμού σε έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές συμπεριλαμβάνονται στην κατηγορία των εργαλειομηχανών επεξεργασίας υλικού με τη μόνη διαφορά ότι οι πλειοψηφία αυτών των μηχανών αφαιρεί υλικό ενώ ο τρισδιάστατος εκτυπωτής προσθέτει.

7.1.1 Κατηγορίες τρισδιάστατων εκτυπωτών

Οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές διακρίνονται στις εξής κατηγορίες :

Πίνακας 7.1 : Κατηγοριοποίηση τρισδιάστατων εκτυπωτών

Τυπος εκτυπωτή	Τεχνολογία εκτυπωτή	Υλικό κατεργασίας
Εκτυπωτής εξώθησης	Εναπόθεσης λιωμένου υλικού	Θερμοπλαστικά (π.χ. PLA, ABS), HDPE, εύτηκτα μέταλλα, βρώσιμα υλικά
Εκτυπωτής σύρματος	Εναπόθεσης υλικού ελεύθερης κατεργασίας	Σχεδόν όλα τα κράμματα μετάλλων
Εκτυπωτής κόκκων	Άμεσης σύντηξης μετάλλων με λέιζερ	Σχεδόν όλα τα κράμματα μετάλλων
	Τήξης δέσμης ηλεκτρονίων	Κράματα τιτανίου
	Επιλεγμένης τήξης με λέιζερ	Κράματα τιτανίου, κράματα κοβαλτίου - χρώμιου, ανοξείδωτο ατσάλι, αλουμίνιο
	Επιλεγμένης σύντηξης θερμότητας	Θερμοπλαστική σκόνη
	Επιλεγμένης σύντηξης με λέιζερ	Θερμοπλαστικά, σκόνες μετάλλων, κεραμικά κόνεα
Εκτυπωτής ψεκασμού κεφαλής	Τεχνολογία με βάση το γύψο	Γύψος
Εκτυπωτής συγκόλλησης	Κατασκευής συγκολλήσεων αντικειμένου	Χαρτί, φύλλα μετάλλου, πλαστικό φιλμ
Εκτυπωτής με πολυμερισμένο φως	Στερεολιθογραφία	φωτοπολυμερές
	Ψηφιακή επεξεργασία φωτός	φωτοπολυμερές

Ο εκτυπωτής που πραγματοποιήσαμε την κατασκευή των γранаζίων είναι εκτυπωτής εξώθησης και εναπόθεσης λιωμένου υλικού.

7.2 Υλικό κατασκευής

Το υλικό κατεργασίας που χρησιμοποιήθηκε είναι θερμοπλαστικό PLA με ονομασία πολυγαλακτικό οξύ ή πολυλακτίδιο.'

Κατασκευάζεται από διάφορα ενεργιακά φυτά όπως καλαμπόκι, πατάτα και έτι είναι φιλικό προς το περιβάλλον.

Η θερμοκρασία που απαιτείται για να επεξεργαστεί το υλικό ανέρχεται στους 175 ° C.

Κατόπιν παραγγελίας αγοράστηκε καρούλι με νήμα 125 μέτρων, διαμέτρου 3 mm και μαύρου χρώματος



Εικόνα 7.2: Υλικό Κατασκευής PLA

7.3 Εξαρτήματα τρισδιάστατου εκτυπωτή

Ο τρισδιάστατος εκτυπωτής αποτελείται από :

- Τροφοδοτικό ισχύος 550 Watt



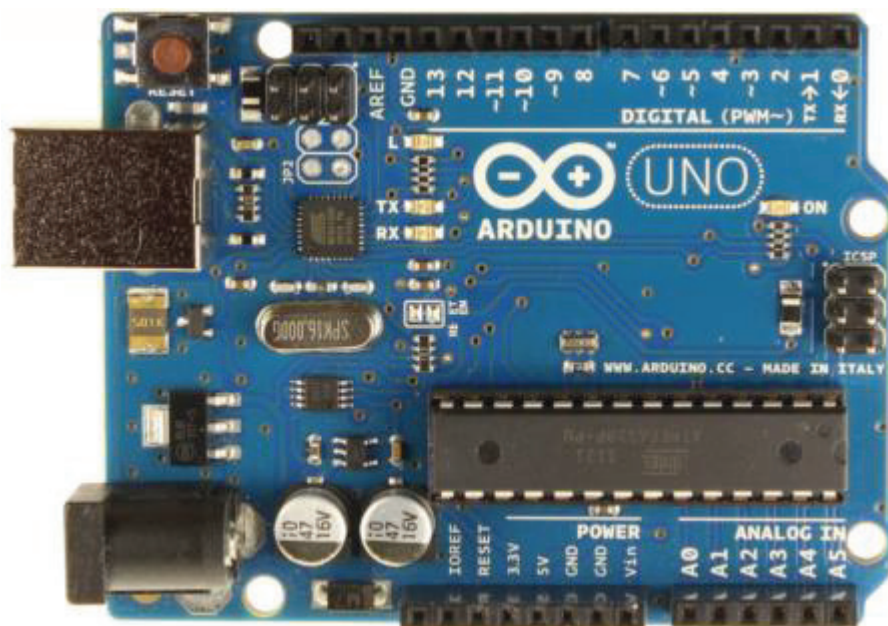
Εικόνα 7.3: Τροφοδοτικό 3D Printer

- 5 ηλεκτροκινητήρες : 2 για την κίνηση του άξονα z
1 για την κίνηση του άξονα x
1 για την κίνηση του άξονα y
1 για τον εναποθέτη (extruder) του υλικού



Εικόνα 7.3.1: Ηλεκτροκινητήρας

- Arduino προγραμματισμένο σε γλώσσα C



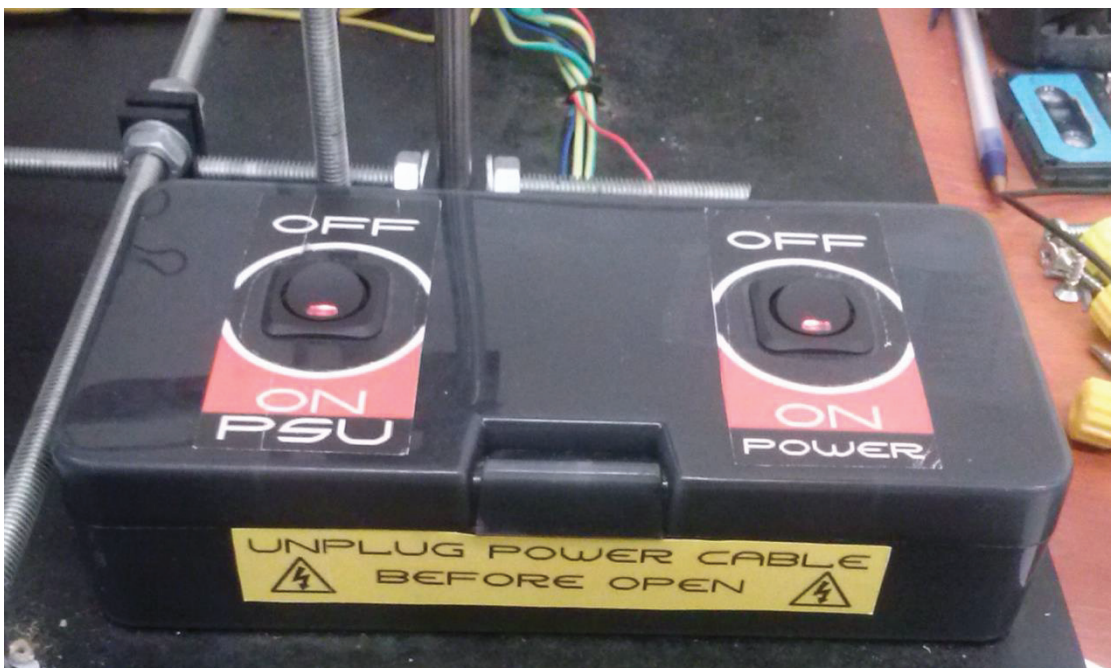
Εικόνα 7.3.2: Arduino

- Κέντρο ελέγχου ταχύτητας πρόωσης



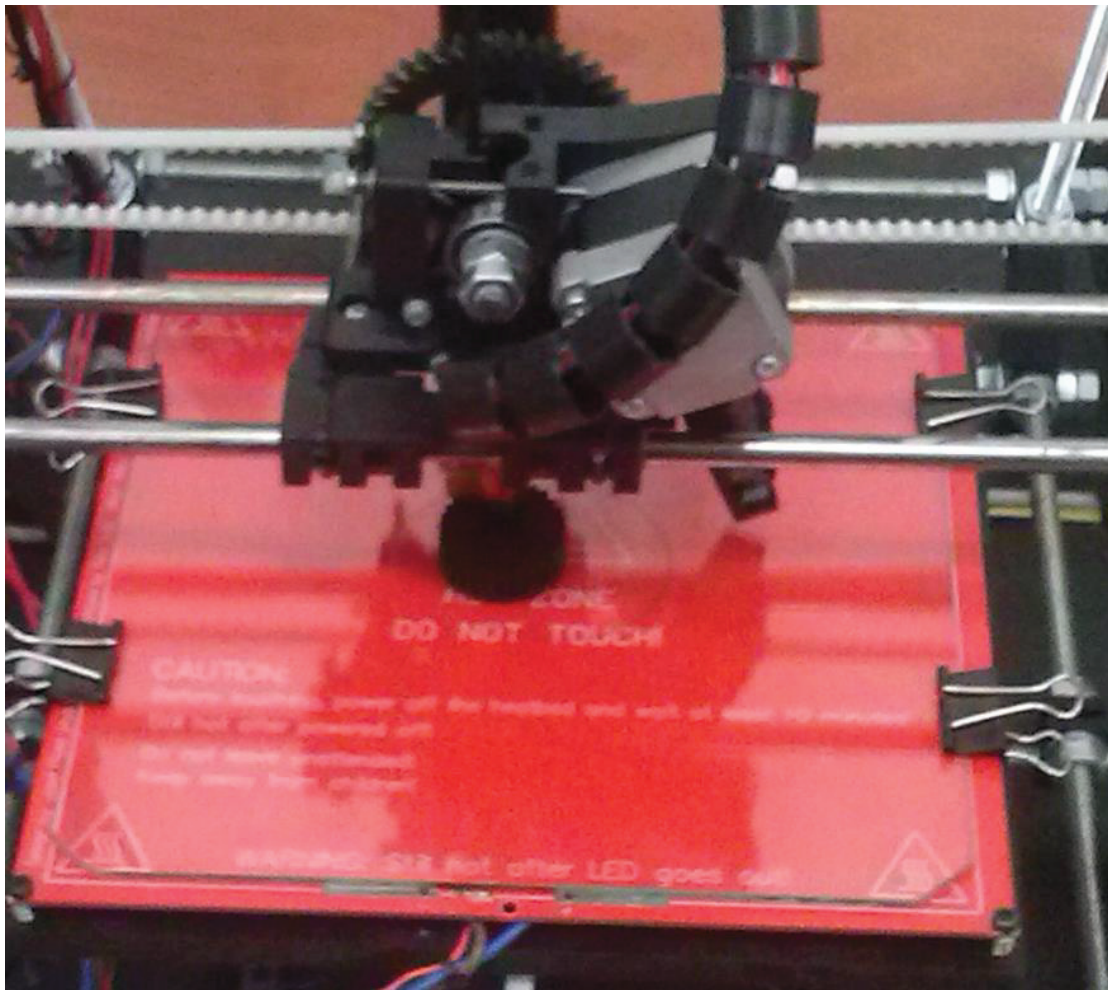
Εικόνα 7.3.3: Κεντρο ελέγχου

- Διακόπτες λειτουργίας ON/OFF



Εικόνα 7.3.4 Διακόπτες

- Κεφαλή ή μύτη κεραμικού στομίου εναπόθεσης υλικού
- Κρεβάτι



Εικόνα 7.3.5: Κρεβάτι & Extruder

- Αισθητήρες θερμοκρασίας
- Σκελετός
- Βάση
- Τροχαλίες
- Ιμάντες
- Καλωδιώσεις
- Συστημα ψύξης

7.4 Τεχνικά χαρακτηριστικά τρισδιάστατου εκτυπωτή

- Μέγιστες διαστάσεις εκτύπωσης 165 mm στον άξονα x, 175 mm στον άξονα y και 85 mm στον άξονα z
- Διάμετρος μύτης 0,4 mm
- Ύψος στρώσης 0,6 mm – 0,8 mm
- Ταχύτητα πρόοσης για την κατασκευή της περιμέτρου του μοντέλου 30 mm/min
- Ταχύτητα πρόοσης για το γέμισμα του μοντέλου 60 mm/min
- Θερμοκρασία μύτης 173 °C – 190 °C η οποία πετυγχάνεται από μία αντίσταση 40 Watt
- Θερμοκρασία κρεβατιού 50 °C – 60 °C

7.5 Αρχές λειτουργίας τρισδιάστατου εκτυπωτή

Η αρχή λειτουργίας του τρισδιάστατου εκτυπωτή είναι η κατασκευή των μοντέλων μέσω της σύνδεσης του με έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή και της επικοινωνίας με ένα πρόγραμμα μετατροπής αρχείων STL στη γλώσσα μηχανής. Η εναπόθεση του υλικού από το καρούλι γίνεται από την κεφαλή με την βοήθεια ενός μηχανισμού αποτελούμενο από έναν ηλεκτροκινητήρα και γρανάζια τα οποία τραβάνε το υλικό το οποίο στη συνέχεια περνάει από τη μύτη που έχει θερμανθεί και συνεπώς λιώνει το πλαστικό και το εναποθέτει στο κρεβάτι. Η κεφαλή κινείται στους άξονες z και x ενώ το κρεβάτι στον άξονα y. Έπειτα η κατασκευή γίνεται στρώση – στρώση μέχρι να τελειοποιηθεί το κομμάτι.

7.6 Αποτελέσματα - παρατηρήσεις κοπής γραναζιών

7.6.1 Πλανητικό σύστημα

Για την ορθή λειτουργία του πλανητικού συστήματος χρειάστηκε να λειανθούν με μια λίμα τα δόντα όλων των εμπλεκόμενων γραναζιών. Έχει παρατηρηθεί μια δυσκολία πραγματοποίησης μιας πλήρους περιστροφής των γραναζιών και αυτό οφείλεται σε κάποια γεωμετρική ανομοιομορφία.



Εικόνα 7.6.1: Πλανητικό σύστημα

7.6.2 Δακτύλιος

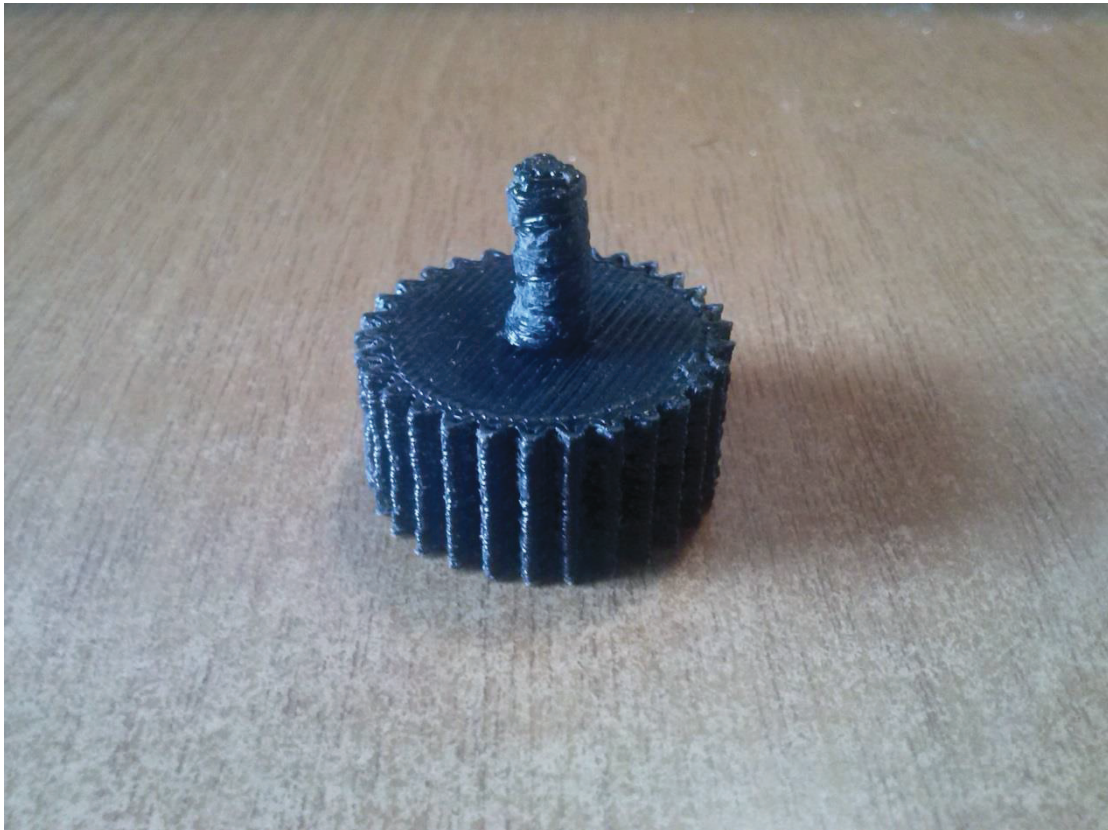
Για την κατασκευή του δακτύλιου χρειάστηκαν 3 ώρες και 40 λεπτά. Ο δακτύλιος αποτελείται από 632 στρώσεις υλικού με γέμισμα 100 %. Το μήκος υλικού που χρησιμοποιήθηκε ανήρθε σε 4.1 μέτρα και ο όγκος του είναι 29.6 cm^3 . Σαν αποτέλεσμα κρίνεται άριστο διότι εκτυπώθηκε ως είχε το σχέδιο.



Εικόνα 7.6.2: Δακτύλιος

7.6.3 Ήλιος

Για την εκτύπωση του ήλιου χρειάστηκαν 540 στρώσεις υλικού, το γέμισμα ήταν 100% και ο χρόνος κατασκευής ανήρθε σε 45 min. Παρατηρήθηκε λόγω κακής ψήξης μια κακή εναπόθεση υλικού κατά την κατασκευή των οδόντων η οποία βελτιώθηκε με μία λίμα και επίσης παραμόρφωση του άξονα. Το μήκος του υλικού που χρειάστηκε για την κατασκευή του ηλίου είναι 1,6 μέτρα και ο όγκος του είναι $10,6 \text{ cm}^3$. Σαν αποτέλεσμα κρίνεται ικανοποιητικό και λειτουργικό.



Εικόνα 7.6.3: Ήλιος

7.6.4 Πλανήτες

Κατασκευάστηκαν 3 πλανήτες σε χρόνο 35 min ο έκαστος, οι στρώσεις υλικού του κάθε πλανήτη είναι 470 με γέμισμα υλικού 100%. Παρατηρήθηκε ότι οι πρώτες στρώσεις του υλικού ήταν λίγο μεγαλύτερες από τις υπόλοιπες στρώσεις και επεξεργάστηκαν μια λίμα ώστε να αποκτήσουν τις ίδιες διαστάσεις με τις υπόλοιπες. Ο όγκος κάθε πλανήτη είναι $9,1 \text{ cm}^3$ και για κάθε πλανήτη χρειάστηκαν 1,3 μέτρα υλικού για την κατασκευή του. Σαν αποτέλεσμα κατασκευής οι πλανήτες κρίνονται ικανοποιητικοί διότι εμπλέκονται μεταξύ τους όπως στο σχεδιασμό.



Εικόνα 7.6.4: Πλανήτες

7.7 Σύστημα ατέρμον κοχλία – κορώνας

7.7.1 Ατέρμον κοχλίας

Για την κατασκευή του ατέρμονα κοχλία χρειάστηκαν τρεις απόπειρες κατασκευής. Τις δύο πρώτες φορές παρατηρήθηκε πρόβλημα στις στρώσεις λόγω κακής ψύξης, η οποία επέφερε έκκεντρο στην μύτη. Το σύστημα ψύξης βελτιώθηκε με την τοποθέτηση ανεμιστήρων και συνεπώς πραγματοποιήθηκε η κατασκευή του κοχλία σε χρόνο 4 ωρών και 15 λεπτών. Οι στρώσεις του κοχλία ανέρχονται σε 1566, το γέμισμα των στρώσεων ήταν 100 %, χρησιμοποιήθηκαν 4,4 m υλικού και ο όγκος του κομματιού $28,5 \text{ cm}^3$, η θερμοκρασία κεφαλής σε $175 \text{ }^\circ\text{C}$, η θερμοκρασία κρεβατιού ήταν $60 \text{ }^\circ\text{C}$, η ταχύτητα εναπόθεσης υλικού 180 mm/min και να σημειωθεί ότι για να επιτευχθεί το σπείρωμα χρησιμοποιήθηκε υποβοήθηση υλικού το οποίο έπειτα αφαιρέθηκε για να ολοκληρωθεί η μορφολογία του ατέρμονα. Το αποτέλεσμα αξιολογείται πλήρως ικανοποιητικό.



Εικόνα 7.7.1: Ατέρμον Κοχλίας

7.7.2 Ελικοειδές γρανάζι

Η κατασκευή του ελικοειδούς γραναζιού διάρκησε 2 ώρες, αποτελείται από 125 στρώσεις υλικού με γέμισμα 100 %. Το μήκος του υλικού αέρχεται σε 3,4 μέτρα και ο όγκος του ελικοειδούς σε $22,4 \text{ cm}^3$. Σαν αποτέλεσμα κρίνεται επαρκέστατο αλλά πλήρως λειτουργικό διότι εντοπίστηκαν γεωμετρικές ανομοιομορφίες και ανομαλίες σχετικά με τα σχέδια.



Εικόνα 7.7.2: Ελικοειδές Γρανάζι

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με την αποπεράτωση της πτυχιακής εργασίας διαπιστώνουμε τα πλεονεκτήματα που πηγάζουν από ένα μηχανολογικό σχεδιασμό με χρήση ενός προγράμματος CAD και στη συγκεκριμένη περίπτωση το Solidworks.

Κατανοούμε τον σύγχρονο τρόπο σχεδιασμού που προέρχεται από διάφορα σχεδιαστικά πακέτα για τις σύγχρονες σχεδιαστικές ανάγκες.

Γενικότερα τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν τα προγράμματα CAD προέρχονται από τις ανάγκες ενός άμεσου σχεδιασμού, εξοικονόμηση χρόνου και ποιοτικότερου αποτελέσματος.

Ουσιαστικά μέσω του προγράμματος, σχέδιο και σχεδιασμός είναι η ίδια διαδικασία και με τη δυνατότητα άμεσης διόρθωσης σε περίπτωση λάθους.

Επίσης πετυχαίνεται άμεση επαφή ενός τμήματος σχεδιασμού και του τμήματος παραγωγής με λιγότερες πιθανότητες αποτυχίας λόγω κακού σχεδιασμού ή οποιουδήποτε ενδιάμεσου σφάλματος. Στην περίπτωση της δικής μας πτυχιακής το πέρασμα από τον σχεδιασμό με το Solidworks στο εργαλείο κατασκευής των κομματιών, στην προκειμένη περίπτωση τον τρισδιάστο εκτυπωτή ήταν άμεση.

Το Solidworks σαν πρόγραμμα μας έδωσε τη δυνατότητα να πραγματοποιήσουμε ένα μηχανολογικό σχέδιο, έπειτα να το προσομοιώσουμε τρισδιάστατα και να κάνουμε διάφορες εξομοιώσεις κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες, ακόμα και επιλογή του υλικού κατασκευής.

Επίσης δίνεται η δυνατότητα κατασκευής κατά τις διάφορες διεθνείς τυποποιήσεις και πιστοποιήσεις (ANSI, GB, AS, BSI, CISC, ISO, DIN, IS, JIS, KS).

Η γενικότερη δυσκολία που αντιμετωπίσαμε κατά την πραγματοποίηση της εργασίας ήταν η πρώτη επαφή με το πρόγραμμα και η προσαρμογή μας σε αυτό.

Στο σημείο που πρέπει να σταθούμε είναι ότι κρίθηκε ιδιαίτερα ότι η κατασκευή των κομματιών θα πρέπει να γίνει βήμα – βήμα και έτσι ώστε να γίνει τελείως κατανοητή η διαδικασία στον οποιοδήποτε που θα πάρει στα χέρια του τη παρούσα εργασία, αναλύοντας όλα τα χαρακτηριστικά που χρειάζονταν για να κατασκευαστούν τα κομμάτια από τα θεωρητικά μέχρι τα πρακτικά.

Στο κατασκευαστικό μέρος της πτυχιακής η διαμόρφωση των δοκιμίων πραγματοποιήθηκε πειραματικά για εκπαιδευτικούς σκοπούς σε έναν τρισδιάστατο εκτυπωτή του τμήματος Μηχανολογίας του Α.Τ.Ε.Ι. Πατρών. Ο συγκεκριμένος εκτυπωτής αποτελεί πρυχιακή εργασία δύο σπουδαστών του τμήματος.

Τα αποτελέσματα κρίνονται επαρκώς ικανοποιητικά και λειτουργικά για εκπαιδευτικούς σκοπούς και για μελέτη βελτιστοποίησης πάνω τους.

Κατά τη παρακολούθηση της εκτύπωσης σε εργαστήριο του παραπάνω τμήματος, ήρθαμε σε επαφή και είχαμε μια πρωτόγνωρη εμπειρία μιας καινούργιας τεχνολογίας κατασκευής δοκιμίων, η οποία με τη σειρά της μπαίνει σιγά σιγά στον μοντέρνο τρόπο ζωής και σίγουρα μελλοντικά θα αποκτήσει την δική της θέση και θα γίνει αναπόσπαστο κομμάτι του κλάδου παραγωγής και της παραγωγικής διαδικασίας διάφορων αντικειμένων.

Συνοπτικά με την ανάληψη της δημιουργίας της παρούσας πτυχιακής εργασίας, μας ανοίχτηκε ένας νέος ορίζοντας γνώσης και τρόπος σκέψης πάνω στον συγκεκριμένο κλάδο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Matt Lombard. *Solidworks Bible 2010*, Wiley Publishing Inc. Indianapolis USA 2010
2. Robert L Mott, *Machine elements in mechanical design – fourth edition*, Pearson prentice hall, USA 1985
3. Dan B Marghitu, *Mechanical engineer's handbook*, Academic press, USA 2001
4. T. Krishna Rao, *Design of Machine Elements : Volume 1*, I.K. International, January 2008
5. Frederick A. Halsey, *Worm and Spiral Gearing – Gear Design and Engineering*, Wexford Collage Press, 2003
6. V.B. Bhandari, *Design of Machine Elements :Third Edition*, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, 2010
7. Λάζαρος Ε. Λαζαρίδης, *Στοιχεία Μηχανών*, Ίδρυμα Ευγενίδου, Αθήνα 1998
8. Ιωάννης Κ. Στεργίου και Κων/νος Ι. Στεργίου, *Στοιχεία Μηχανών*, Σύγχρονη Εκδοτική ΕΠΕ, Αθήνα Μάρτιος 2002
9. Γ. Βοσνιακός: Σημειώσεις Μαθήματος «Εργαλειομηχανές» Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Αθήνα 2008