



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

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΚΟΠΗΣ ΟΔΟΝΤΩΣΕΩΝ ΜΕ ΑΠΟΦΛΟΙΩΣΗ ΜΕ ΚΥΛΙΣΗ



ΙΕΡΩΝΥΜΑΚΗΣ ΣΤΕΡΕΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΑΡΙΣΤΟΜΕΝΗΣ ΑΝΤΩΝΙΑΔΗΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Στην Ανιψιά μου και στην Ελευθερία.

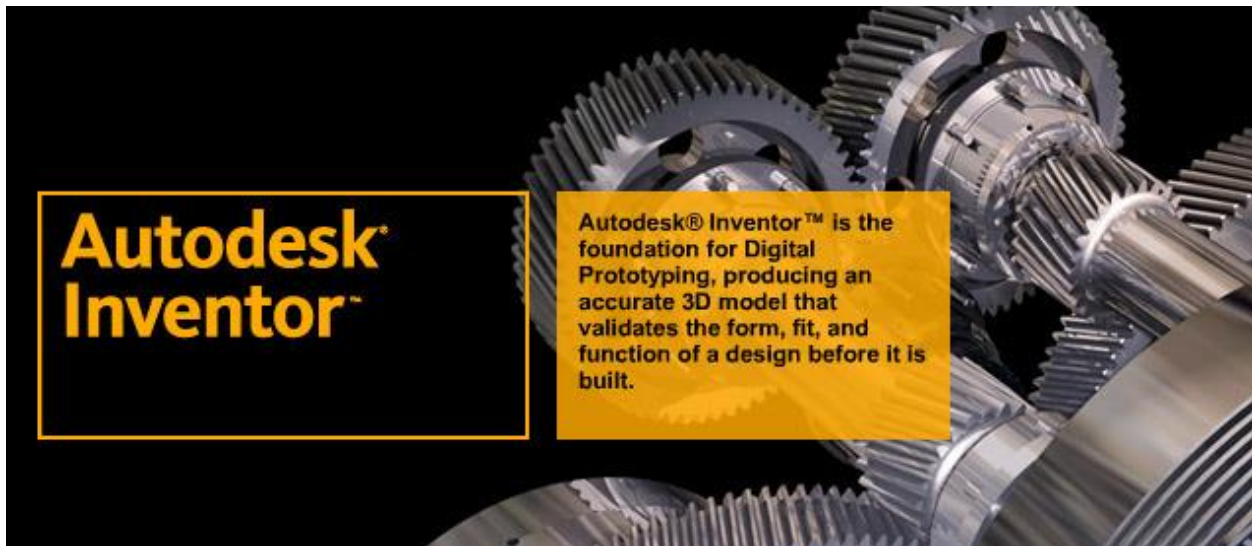
Με την εκτέλεση της παρούσας διπλωματικής εργασίας ολοκληρώνεται ένα πολύ όμορφο κομμάτι της ζωής μου, μαζί με τις σπουδές μου στο Πολυτεχνείο Κρήτης τελειώνουν και τα ευχάριστα φοιτητικά μου χρόνια. Γι αυτό το λόγο θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους εκείνους που με στήριξαν όλα αυτά τα χρόνια, τους καθηγητές μου και ιδιαίτερα τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Αριστομένη Αντωνιάδη για την καθοδήγηση του καθώς και για την υπομονή του καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησης αυτής της εργασίας. επίσης θα ήθελα να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον συνεργάτη μου Δρ. Νικόλαο Ταπόγλου, που χωρίς την πολύτιμη βοήθεια του αυτή η εργασία δεν θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί, πολλά ευχαριστώ και στα στελέχη του εργαστηρίου Ταξιάρχη Μπελή και Δημήτριο Βακόνδιο για την δική τους αρωγή. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, τους γονείς μου Ηλία και Μαρία και τον αδελφο μου Γιώργο για την πολύτιμη ηθική και ψυχολογική στήριξη και συμπαράσταση όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες	2
Περιεχόμενα	3
1. Εισαγωγή	4
2. Στάθμη των γνώσεων	5
2.1 Οδοντωτοί τροχοί	5
2.2 Είδη οδοντωτών τροχών	7
2.3 Εσωτερικοί οδοντωτοί τροχοί	9
2.4 Αποφλοίωση οδοντώσεων με κύλιση	10
2.5 Ιστορία της μεθόδου	13
3. Περιγραφή του προγράμματος	14
3.1 Κυρίως πρόγραμμα (Main)	14
3.2 Κατασκευή του κοπτικού εργαλείου	15
3.3 Κατασκευή του τελικού οδοντωτού τροχού	15
3.4 Παρουσίαση των υποπρογραμμάτων του κώδικα	16
3.4.1 Υποπρόγραμμα εισαγωγής δεδομένων στον κώδικα	17
3.4.2 Υποπρόγραμμα δημιουργίας κατατομής οδοντωτού κανόνα	18
3.4.3 Υποπρόγραμμα δημιουργίας κυλινδρικού τεμαχίου	19
3.4.4 Υποπρόγραμμα τοποθέτησης της κατατομής του οδοντωτού κανόνα στις κατάλληλες θέσεις για την συντέλεση της κοπής του κοπτικού εργαλείου	20
3.4.5 Υποπρόγραμμα συναρμολόγησης κυλινδρικού τεμαχίου (Κοπτικό εργαλείο) και συμπαγούς κατατομής αναφοράς κατά DIN 3972	20
3.4.6 Υποπρόγραμμα δημιουργίας κατατομής τελικού κοπτικού εργαλείου	21
3.4.7 Υποπρόγραμμα δημιουργίας της τροχιάς κατατομής του κοπτικού	22
3.4.8 Συνάρτηση συναρμολόγησης της τροχιάς κατατομής του κοπτικού με το τελικό κυλινδρικό τεμάχιο	24
4. Παρουσίαση των αποτελεσμάτων του προγράμματος	27
4.1 Παρουσίαση προσομοιώσεων	27
4.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης εσωτερικής οδόντωσης	27
4.3 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα, Συσχετισμός αποβλίπτων - αυλάκωσης	35
5. Σύνοψη- Συμπεράσματα	39
6. Βιβλιογραφία	40
7. Παράρτημα	41

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην συγκεκριμένη διπλωματική διατριβή πραγματοποιείται προσομοίωση της κοπής οδοντώσεων με αποφλοίωση με κύλιση, βασισμένη σε υπάρχον λογισμικό CAD. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται το προγραμματιστικό περιβάλλον του προγράμματος Inventor της Autodesk και με τη βοήθεια της γλώσσας προγραμματισμού Visual Basic δημιουργούνται εικονικά μοντέλα του τεμαχίου προς κοπή καθώς και του κοπτικού εργαλείου. Στη συνέχεια με τον κατάλληλο κώδικα προσομοιώνεται η κατεργασία κοπής οδοντώσεων (ευθέων) και θα λαμβάνονται αποτελέσματα που αφορούν τη γεωμετρία του αποβλήτου.



Σχήμα 1.1 : Πρόγραμμα τρισδιάστατης μηχανολογικής σχεδίασης.

Το λογισμικό πρόγραμμα λαμβάνει ως είσοδο τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κοπτικού εργαλείου και του προς κατεργασία τεμαχίου.

Με τις κατάλληλες διεργασίες που πραγματοποιούνται μέσα στο πρόγραμμα, αρχικά δημιουργείται η κοπτική κατανομή του κοπτικού εργαλείου και στην συνέχεια αυτή η κατατομή τοποθετείται σε κατάλληλα επίπεδα ούτως ώστε να δημιουργηθεί η τροχιά που ακολουθεί το κοπτικό μας εργαλείο. Στην συνέχεια, με τα κατάλληλα υποπρογράμματα, η τροχιά του εργαλείου συναρμολογείται με το τεμάχιο προς κατεργασία. Στο επόμενο βήμα, το πρόγραμμα αφαιρεί από την συναρμολόγηση, με συγκεκριμένη τεχνική (λογική αφαίρεση), το απόβλητο, δίνοντας μας την αυλάκωση του εσωτερικού τροχού.

Τελικά το πρόγραμμα έχει σαν αποτέλεσμα την τρισδιάστατη απεικόνιση ενός εσωτερικού οδοντωτού τροχού καθώς και το απόβλητο που προκύπτει από την κατεργασία. Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό των δυνάμεων κοπής της κατεργασίας και αυτές με την σειρά τους μπορούν να μας δώσουν στοιχεία για την φθορά του κοπτικού εργαλείου καθώς και για τον χρόνο ζωής του.

2. ΣΤΑΘΜΗ ΤΩΝ ΓΝΩΣΕΩΝ

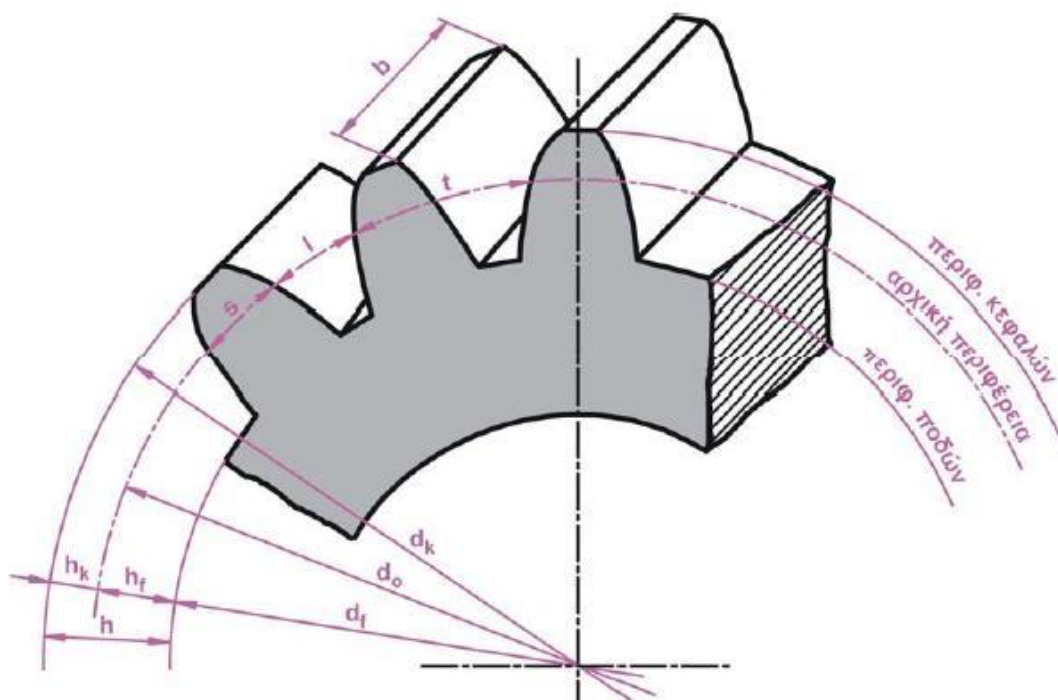
2.1 Οδοντωτοί τροχοί

Για πρώτη φορά σαφή αναφορά στους οδοντωτούς τροχούς υπάρχει από τον Έλληνα μηχανικό και γεωμέτρη Ήρωνα που έζησε στην Αλεξάνδρεια της Αιγύπτου περίπου τον 1ο π.Χ ή 1ο μ.Χ αιώνα. Ο οδοντωτός τροχός είναι συνήθως ένας ολόσωμος κύλινδρος ή δίσκος ή τροχός με βραχίονες. Πολλές φορές ο δίσκος έχει τρύπες για μείωση του βάρους του γραναζιού. Στο κέντρο του γραναζιού υπάρχει η πλήμνη (ομφαλός σύνδεσης με την άτρακτο), που έχει κατάλληλο αυλάκι για τη σφήνα, και στην περιφέρειά του η οδόντωση. Οι οδοντωτοί τροχοί είναι συμπαγή μηχανολογικά στοιχεία τα οποία χρησιμοποιούνται για την μετάδοση ισχύος μεταξύ παράλληλων ή υπό γωνία αξόνων περιστροφής. Αναλόγως τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των δυο οδοντωτών τροχών και τον τρόπο σύνδεσης- εμπλοκής τους, καθορίζουν την ταχύτητα, την ροπή και την φορά περιστροφής των δυο αξόνων περιστροφής. Υπάρχουν και περιπτώσεις όπου η περιστροφική κίνηση μετατρέπεται σε ευθύγραμμη ή το αντίθετο, αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση του οδοντωτού κανόνα.



Σχήμα 2.1 : Οδοντωτός Τροχός Συνεργαζόμενος με Οδοντωτό Κανόνα.

Οι οδοντώσεις χρησιμοποιούνται στα κιβώτια ταχυτήτων των αυτοκινήτων και των εργαλειομηχανών, στο διαφορικό, το τιμόνι, τον εκκεντροφόρο και άλλους βοηθητικούς μηχανισμούς των αυτοκινήτων, στους μειωτήρες στροφών, στις συνεργασίες κινητήριων μηχανών– εργομηχανών που δεν συμπίπτουν οι γεωμετρικοί άξονες των ατράκτων τους καθώς και σε άλλες περιπτώσεις μετάδοσης που δεν απέχουν πολύ οι συνεργαζόμενες άτρακτοι. Είναι κατάλληλες για απαιτήσεις μεγάλων ροπών, πολλών στροφών, ακρίβειας στην σχέση μετάδοσης, σχετικά χαμηλού θορύβου και μεγάλης διάρκειας ζωής με ελάχιστη συντήρηση.



Σχήμα 2.2 : Γεωμετρικά Στοιχεία Οδοντωτού Τροχού.

Τα κύρια γεωμετρικά στοιχεία δυο οδοντωτών τροχών φαίνονται στο παραπάνω Σχήμα και παρουσιάζονται παρακάτω.

m = Μέτρο Οδόντωσης (Module)= t/π	h = Ύψος δοντιού
d_k = Διάμετρος κεφαλής	h_f = Ύψος ποδιού
d_o = Αρχική διάμετρος	h_k = Ύψος κεφαλής
d_f = Διάμετρος ποδιού	t = Βήμα δοντιού
s = Πάχος δοντιού	z = Αριθμός δοντιών
l = Διάκενο δοντιού	b = Πλάτος οδοντωτού τροχού

Σχήμα 2.3 : Κύρια γεωμετρικά στοιχεία μεθόδου.

Για την σωστή συνεργασία-εμπλοκή δυο οδοντωτών τροχών χωρίς να υπάρχουν ασυνέχειες θα πρέπει να τηρούνται κάποιες προϋποθέσεις. Θα πρέπει να έχουν το ίδιο module, όπου module είναι ο αριθμός που προκύπτει από την διαίρεση της αρχικής διαμέτρου του οδοντωτού τροχού προς τον αριθμό των δοντιών του. Αν d_o είναι η αρχική διάμετρος, z ο αριθμός των δοντιών και t το βήμα του γραναζιού, τότε για το μήκος της αρχικής περιφέρειας θα ισχύει η σχέση: $\pi d_o = z t$. Επομένως $d_o = z (t / \pi)$. Ο z είναι φυσικός αριθμός και ο π

είναι άρρητος, δηλαδή έχει απεριόριστο αριθμό δεκαδικών ψηφίων. Αυτό οδηγεί σε άρρητη τιμή και τη διάμετρο, με συνέπεια δύσκολους υπολογισμούς και δυσκολία στην τυποποίηση, ειδικά αν οι κατασκευαστές επέλεγαν διαφορετική ακρίβεια προσέγγισης. Για να ξεπεραστούν αυτά τα προβλήματα συμφωνήθηκε διεθνώς ο λόγος t/π να πάρει ορισμένες ρητές τιμές (σε mm) και να ονομαστεί διαμετρικό βήμα ή **MODULE**. Έτσι είναι $m = t / \pi$, $d_0 = z m$ και $m = d_0 / z$.

Οι οδοντωτοί τροχοί κατασκευάζονται από διάφορα υλικά, παρακάτω παρουσιάζονται τα πιο διαδεδομένα.

- Χυτοσίδηρος: Έχει μεγάλη αντοχή στην διάβρωση και στις φθορές από σκόνες, άμμο κτλ. (ιδιαίτερα ο σκληρός) και γι' αυτό τον προτιμάμε για εργασίες σε περιβάλλον με τέτοια στοιχεία ή υγρασία. Δεν είναι κατάλληλος για μεγάλες ταχύτητες και μεγάλες απαιτήσεις κατασκευαστικής ακρίβειας.
- Χάλυβας: Είναι πιο κατάλληλος για μεγάλες ταχύτητες και ακριβείς διαστάσεις, αλλά σε περιβάλλοντα με ρύπους και υγρασία χρειάζεται προστασία και λίπανση. Όταν καταπονείται σε κρουστικά φορτία υφίσταται επιφανειακή βαφή και σκλήρυνση (ενανθράκωση) μέχρι βάθους 1mm περίπου, ώστε να διατηρήσει εσωτερικά την ελαστικότητά του.
- Κράματα του αλουμινίου: όταν επιβάλλεται η κατασκευή να έχει μικρό βάρος.
- Κοινοί και φωσφορούχοι ορείχαλκοι.
- Κεραμικά, πλαστικά, συνθετικές ρητίνες: όταν οι τροχοί εργάζονται σε διαβρωτικό και οξειδωτικό περιβάλλον. Εργάζονται με σχετικά χαμηλό θόρυβο, έχουν όμως περιορισμένη μηχανική αντοχή.

2.2 Είδη οδοντωτών τροχών

Οι πιο διαδεδομένοι οδοντωτοί τροχοί είναι αυτοί με την εξωτερική οδόντωση. Οι πιο απλοί μορφή οδοντωτών τροχών είναι αυτή που παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα, η οποία παρουσιάζει ένα μετωπικό οδοντωτό τροχό ευθείας οδόντωσης.



Σχήμα 2.4 : Μετωπικός Οδοντωτός τροχός ευθείας οδόντωσης.

Υπάρχουν όμως και άλλα είδη οδοντώσεων τα οποία κατατάσσονται με βάση την μορφή της οδόντωσης και με βάση την μορφή ολοκλήρου του οδοντωτοί τροχού. Με βάση την μορφή της οδόντωσης έχουμε τους ευθείς, τους ελικοειδείς και τους τοξοειδείς οδοντωτούς τροχούς.

Τα πλεονεκτήματα των οδοντωτών τροχών με ελικοειδή δόντια είναι:

- Ομαλή και ασφαλής λειτουργία
 - Χαμηλά επίπεδα θορύβου
- και οφείλονται α) στο γεγονός ότι η εμπλοκή κάθε δοντιού είναι σταδιακή όχι μόνο κατά την έννοια του ύψους αλλά και κατά την έννοια του μήκους του και β) στο ότι έχουν μεγαλύτερο

βαθμό επικάλυψης από τους τροχούς με ίσια δόντια. Για τους λόγους αυτούς είναι πιο κατάλληλοι στις πολλές στροφές και στις μεγάλες δυνάμεις.

Τα μειονεκτήματά τους είναι:

- Πιο δαπανηροί κατασκευαστικά
- Λόγω της μορφής τους, η περιφερειακή δύναμη που ασκεί το κάθε δόντι στο αντίστοιχό του δεν είναι ασύμβατα κάθετη στον άξονα του τροχού αλλά πλάγια, με αποτέλεσμα να αναπτύσσονται κατά τη μετάδοση αξονικές δυνάμεις, που αν είναι σημαντικές, απαιτούν για την παραλαβή τους αντίστοιχα έδρανα. Η χρήση των γωνιωδών δοντιών (δυσκολότερη η κατασκευή τους) στις περιπτώσεις αυτές οδηγεί στην αλληλεξουδετέρωση των αξονικών δυνάμεων, αίροντας το αντίστοιχο μειονέκτημα.



Σχήμα 2.5 : Ελικοειδής και τοξοειδής μετωπικός οδοντωτός τροχός.

Εν συνεχεία για το διαχωρισμό ανάλογα το βασικό σχήμα τους έχουμε οδοντωτούς τροχούς με εσωτερική ή εξωτερική οδόντωση, τους μετωπικούς ή τους γωνιακούς, τον οδοντωτό κανόνα, τους ατέρμονες και τους κοχλίες.



Σχήμα 2.6 : Εμπλοκή- Συνεργασία γωνιακών (ευθειών- ελικοειδών) οδοντωτών τροχών.



Σχήμα 2.7 : Εμπλοκή- Συνεργασία οδοντωτού τροχού με κοχλία.

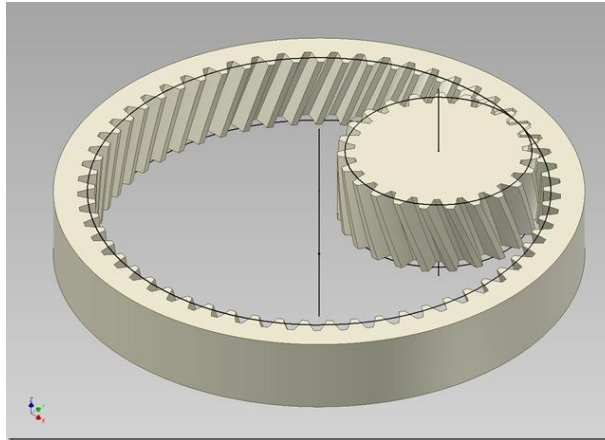
2.3 Εσωτερικοί οδοντωτοί τροχοί

Όλοι οι εσωτερικοί οδοντωτοί τροχοί προκύπτουν από την λογική αφαίρεση ενός εξωτερικού οδοντωτού τροχού από ένα κυλινδρικό τεμάχιο. Σαν αποτέλεσμα τα δυο τεμάχια που προκύπτουν από την παραπάνω διαδικασία έχουν ίδιο module. Οι εσωτερικοί οδοντωτοί τροχοί λέγονται και δακτυλιοειδής και παράγουν μια εξωτερική περιστροφή ίδιας φοράς με την εσωτερική. Άρα όταν εμπλέκουν ένας εσωτερικός οδοντωτός τροχός με έναν οδοντωτό τροχό εξωτερικής οδόντωσης έχουν ίδια φορά περιστροφής ενώ όταν εμπλέκουν δυο οδοντωτοί τροχοί εξωτερικής οδόντωσης η φορές περιστροφής τους είναι αντίρροπες. Η χρήση των εσωτερικών οδοντωτών τροχών είναι ευρέως διαδεδομένη στην κατασκευή αντλιών.



Σχήμα 2.8 : Εσωτερικός μετωπικός οδοντωτός τροχός ευθείας οδόντωσης.

Όπως και στους οδοντωτούς τροχούς εξωτερικής οδόντωσης έτσι και στους εσωτερικούς έχουμε τρεις κύριες μορφές οδοντώσεων. Την ευθεία (Σχήμα 2.7), την ελικοειδή και την τοξοειδή. Παρακάτω παρουσιάζεται η εμπλοκή ενός εσωτερικού οδοντωτού τροχού με έναν εξωτερικό, οι δυο τροχοί έχουν ελικοειδή οδόντωση και παρουσιάζονται μέσα από το εικονικό περιβάλλον του προγράμματος τρισδιάστατης μηχανολογικής σχεδίασης Inventor της Autodesk.



Σχήμα 2.9 : Εμπλοκή- συνεργασία εσωτερικού με εξωτερικό οδοντωτό τροχό ελικοειδούς οδόντωσης.

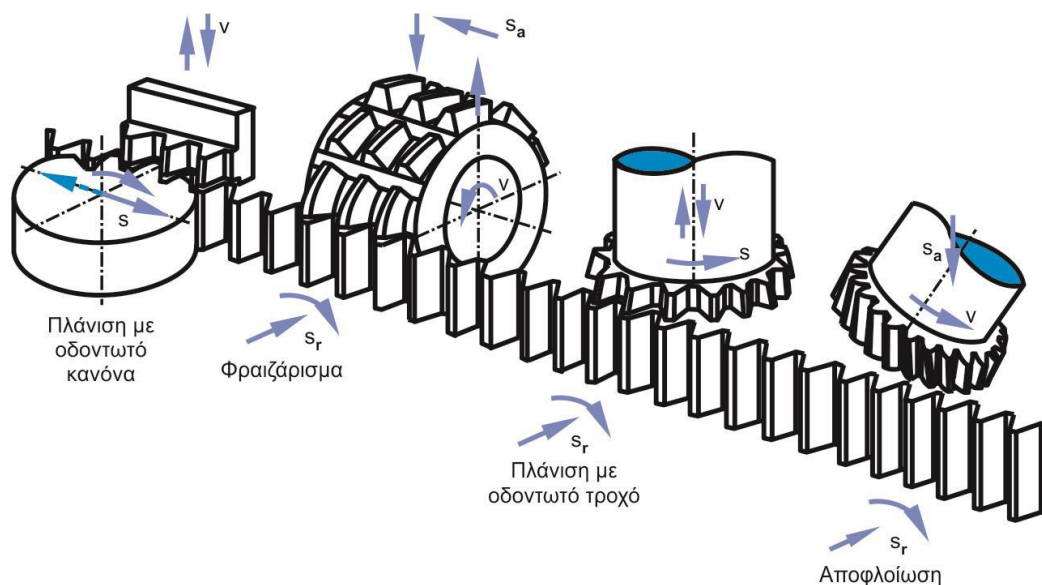
Με την χρήση εσωτερικών οδοντωτών τροχών συνήθως επιτυγχάνεται η μεγάλη μείωση της γωνιακής ταχύτητας. Οπότε όταν υπάρχει ανάγκη για μεγάλη μείωση των στροφών ενός κινητήρα τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί, μια διάταξη ενός εσωτερικού οδοντωτού τροχού σε συνεργασία με ένα γρανάζι “pinion”, μικρού μεγέθους.

2.4 Αποφλοίωση οδοντώσεων με κύλιση

Υπάρχουν τρεις κύριες κατηγορίες μεθόδων κατασκευής οδοντωτών τροχών.

- Με χύτευση μαζί με τον τροχό: για μεγάλα δόντια και μικρές απαιτήσεις κατασκευαστικής ακρίβειας – ακατάλληλα για περιφερειακές ταχύτητες μεγαλύτερες από 2 m/s.
- Στους γραναζοκόπτες, με τη μέθοδο της αφαίρεσης υλικού. Είναι εξειδικευμένα μηχανήματα που απαιτούν πολλές ρυθμίσεις και έμπειρο και εκπαιδευμένο προσωπικό για το χειρισμό τους. Ως εργαλεία χρησιμοποιούν κοπτικές κοχλιωτές φρέζες, οδοντοτροχούς και κτένια.
- Σε κοινή φρεζομηχανή με τη βοήθεια διαιρέτη, για περιορισμένο αριθμό κομματιών. Τα κοπτικά εργαλεία στην περίπτωση αυτή είναι δισκοειδείς φρέζες ή ειδικά «κονδύλια».

Η μέθοδος που παρουσιάζεται στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία ανήκει στην κατηγορία κατασκευής οδοντωτών τροχών με την βοήθεια γραναζοκοπτών. Η συγκεκριμένη μέθοδος κοπής οδοντωτών τροχών προκύπτει από την σύνδεση των δυο πιο γνωστών μεθόδων κοπής, την πλάνιση με κύλιση και το φραιζάρισμα με κύλιση. Στην μέθοδο που μελετάμε το κοπτικό μας εργαλείο και το κατεργαζόμενο τεμάχιο εμπλέκουν μεταξύ τους και ταυτόχρονα το κοπτικό εργαλείο με συγκεκριμένη πρόωση κατέρχεται δημιουργώντας την τελική κατατομή του οδοντωτού τροχού. Σε κάθε πέρασμα του το κοπτικό εργαλείο αποφλοιώνει το τεμάχιο με συγκεκριμένο τρόπο έτσι το απόβλητο που προκύπτει από την κοπή είναι πάντα το ίδιο. Η μορφή και η γεωμετρία του απόβλητου εξαρτάται από την πρόωση του κοπτικού εργαλείου και από την απόσταση των κέντρων του κοπτικού εργαλείου και του τεμαχίου προς κοπή.

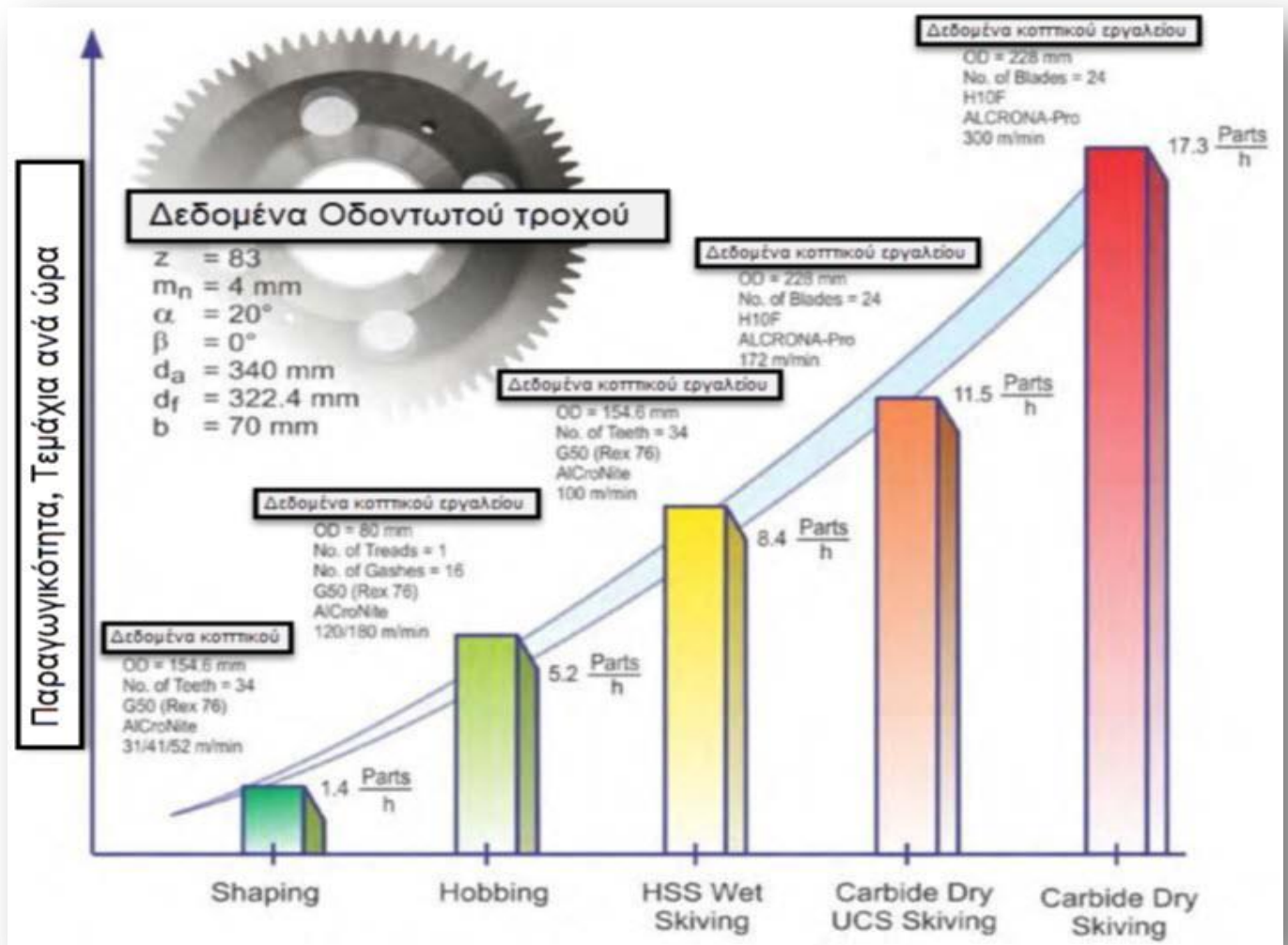


Σχήμα 2.10 : Διάφορες μέθοδοι κοπής οδοντωτών τροχών με την χρήση γρاناζοκοπτών.

Η μέθοδος που μελετάμε έχει κάποια πολύ σημαντικά πλεονεκτήματα απέναντι στην μέθοδο πλάνισης με κύλιση. Οι δυο αυτές μέθοδοι χρησιμοποιούνται για την κατασκευή εσωτερικών οδοντωτών τροχών. Η αποφλοίωση με κύλιση είναι μια πολύ πιο γρήγορη και ακριβής μέθοδο κοπής εσωτερικών οδοντωτών τροχών. Μελετώντας τις δυο κοπές προκύπτουν ενδιαφέροντα αποτελέσματα. Ένα κοπτικό εργαλείο με 60 δόντια εκτελεί 120.000 μικρο κοπές το λεπτό στην αποφλοίωση με κύλιση ενώ ένα αντίστοιχο κοπτικό στην πλάνιση με κύλιση εκτελεί μόνο 3.600 μικρο κοπές. Λόγω αυτής της διαφοράς υπάρχει ένα μεγάλο πλεονέκτημα κατά την χρήση της μεθόδου της αποφλοίωσης έναντι της μεθόδου πλάνισης. Σαν αποτέλεσμα της παραπάνω σύγκρισης, η μέθοδος της αποφλοίωσης με κύλιση είναι η ταχύτερη γνωστή μέθοδος κοπής εσωτερικής οδόντωσης. Αυτός ο μεγάλος αριθμός μικρο κόπων ανά μονάδα χρόνου έχει θετικό αντίκτυπο στην ποιότητα του τελικού οδοντωτού τροχού αλλά επίσης επηρεάζει θετικά και την τραχύτητα της επιφάνειας κοπής στο τελικό τεμάχιο (πολύ χαμηλή τραχύτητα σε σχέση με άλλες μεθόδους).



Σχήμα 2.11 : Αυτόματος Γρاناζοκόπτης γνωστής εταιρείας.

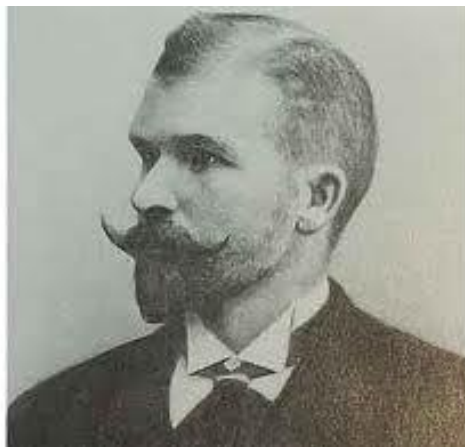


Σχήμα 2.12 : Πίνακας παραγωγικότητας μεθόδου σε σχέση με άλλες γνωστές μεθόδους κοπής.

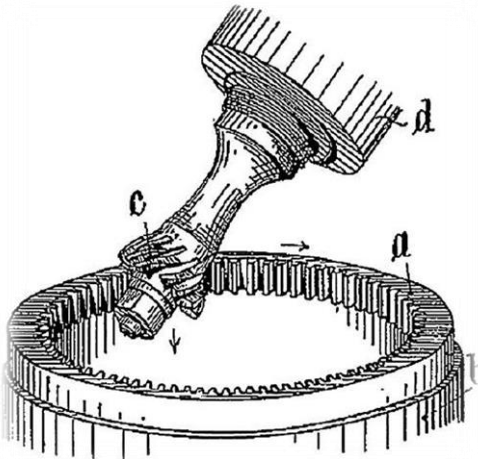
Στον παραπάνω πίνακα παρουσιάζονται τα παραγόμενα τεμάχια για την κάθε μέθοδο κοπής για οδοντωτό τροχό 83 δοντιών με module= 4 mm, όπως φαίνεται στο σχήμα η μέθοδος της αποφλοιώσεως με κύλιση είτε σε ξηρό είτε σε υγρό περιβάλλον (Skiving) έχει την μεγαλύτερη παραγωγικότητα που μπορεί να φτάσει τα 17,3 τεμάχια ανά ώρα. Η μέθοδος με την μικρότερη παραγωγικότητα είναι η πλάνιση με κύλιση (Shaping) με μόλις 1,4 τεμάχια ανά ώρα. Στο σχήμα φαίνεται επίσης η παραγωγικότητα της μεθόδου φρεζαρίσματος με κύλιση (Hobbing), η οποία είναι 5,2 τεμάχια την ώρα. Για την κάθε μέθοδο δίνονται τα δεδομένα των εκάστοτε κοπτικών εργαλείων, όπως ο αριθμός οδόντων, η διάμετρος και η ταχύτητα περιστροφής τους.

2.5 Ιστορία της μεθόδου αποφλοίωση με κύλιση

Η μέθοδος της αποφλοίωσης με κύλιση παρουσιάστηκε πρώτη φορά στο ευρύ κοινό πριν περίπου 100 χρόνια, το 1910, από τον πολωνικής καταγωγής εφευρέτη και μετέπειτα βιομήχανο Julius Wilhelm von Pittler. Η εφεύρεση του αν και πρόσφερε μεγάλη παραγωγικότητα και μπορούσε να εφαρμοστεί σε πολλές κατασκευές της εποχής της δεν κατάφερε να εξελιχθεί και να χρησιμοποιηθεί ευρέως λόγω των μεγάλων απαιτήσεων της σε μηχανήματα, στον έλεγχο των μηχανημάτων αυτών και στα κοπτικά εργαλεία που θα χρησιμοποιούνταν. Στην σημερινή εποχή όπου τα παραπαία προβλήματα έχουν ξεπεραστεί με την βοήθεια της τεχνολογίας και των αλμάτων που έχουν επιτευχθεί σε αυτή, η συγκεκριμένη μέθοδο επανήλθε στο προσκήνιο και αξιοποιήθηκε από εταιρείες παράγωγης οδοντωτών τροχών της Ευρώπης και της Αμερικής (DVS, Profilator, Klingelnberg, Gleason), οι οποίες την εξέλιξαν και επωφελήθηκαν από την παραγωγικότητα και το εύρος των εφαρμογών της μεθόδου αυτής.



Σχήμα 2.13 : Julius Wilhelm von Pittler, Εφευρέτης μεθόδου κοπής οδοντώσεων.



Σχήμα 2.14 : Αρχικό σχέδιο που απεικονίζει την μέθοδο κοπής.

3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

3.1 Κυρίως πρόγραμμα (Main)

Αυτό το κομμάτι του προγράμματος χωρίζεται σε δυο μέρη. Στο πρώτο μέρος κατασκευάζεται η κατατομή του κοπτικού εργαλείου ενώ στο δεύτερο η τελική κατατομή τού προς επεξεργασία τεμαχίου. Στο κυρίως πρόγραμμα υπάρχουν όλα τα απαραίτητα υποπρογράμματα για τη λειτουργία του κώδικα καθώς και τα υποπρογράμματα εισαγωγής δεδομένων προς επεξεργασία. Για να χρησιμοποιηθεί μια υπο-συνάρτηση αρκεί να την καλέσουμε μέσα από το κυρίως πρόγραμμα αναγράφοντας την σε μια γραμμή του κώδικα. Οι υπο-συναρτήσεις καλούνται σε σειρά ανάλογα με τις γραμμές που καταλαμβάνουν στον κώδικα. Για τη λήψη αποτελεσμάτων από το πρόγραμμα πρέπει η κύρια συνάρτηση να λειτουργήσει δυο φορές, μία για την κατασκευή της κατατομής του κοπτικού και μια για την κατασκευή του τελικού τεμαχίου. Επιπροσθέτως, στο κυρίως πρόγραμμα αναγράφονται όλες οι απαραίτητες βιβλιοθήκες εντολών του κώδικα για την συγκεκριμένη γλώσσα προγραμματισμού (visual basic). Τέλος, στο κυρίως πρόγραμμα υπάρχει μια υπο-συνάρτηση η οποία δημιουργεί την κατατομή ελέγχου των αποτελεσμάτων μας, η κατατομή αυτή μας βοηθάει στο να ελέγξουμε την γεωμετρία των τελικών τεμαχίων.

```
Sub main()  
  
Set opartdoc = ThisApplication.Documents.Add(kPartDocumentObject,  
ThisApplication.FileManager.GetTemplateFile(kPartDocumentObject), True)  
Set opartcompdef = opartdoc.ComponentDefinition  
Set otransgeom = ThisApplication.TransientGeometry  
  
Call Getdata  
  
'Call Sketch_Profile_C(Tool.Modul, Tool.Teeth, DtoR(Din.Presangle), DtoR(10))  
Call Profile2(opartcompdef.WorkPlanes.Item(3), 0, 1)  
Call GearCr(Tool.Width, 0)  
Call TrajectoryT  
Call AssembleT  
  
Call Sketchf  
Call Trajectory  
Call GearCr(Gear.Width, Gear.Hole)  
Call Assemble(15)  
  
End Sub
```

Βιβλιοθήκες προγράμματος

Κατασκευή κοπτικού

Κατασκευή τελικού τεμαχίου

Σχήμα 3.1 : Ο κώδικας του κυρίως προγράμματος και τα επιμέρους κομμάτια του.

3.2 Κατασκευή του κοπτικού εργαλείου

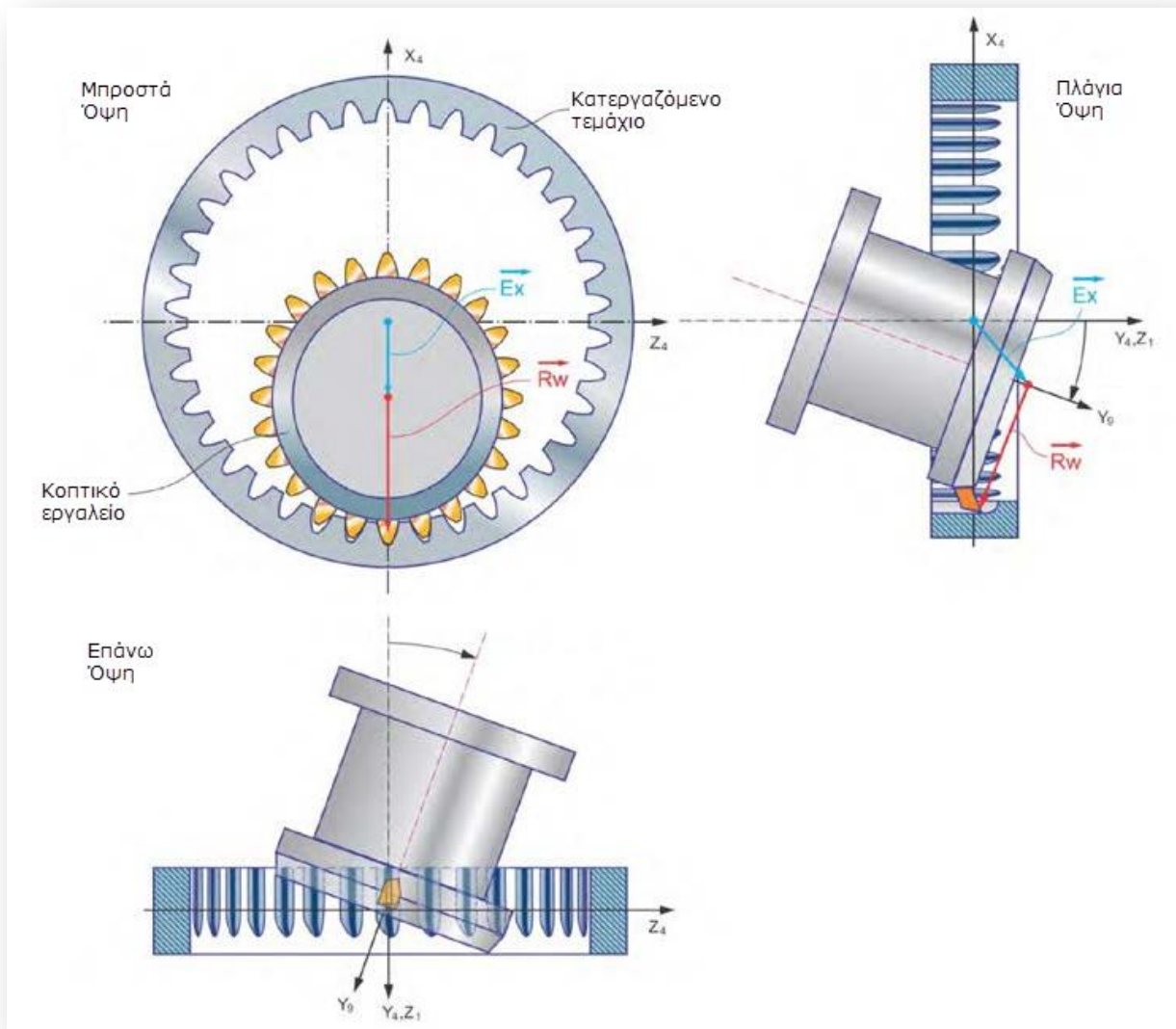
Στο συγκεκριμένο κομμάτι του κώδικα ή του κυρίου προγράμματος, δημιουργείται αρχικά, η κατατομή ενός οδοντωτού κανόνα με τυποποίηση DIN 3972, στη συνέχεια χρησιμοποιούμε αυτόν τον οδοντωτό κανόνα για να κατασκευάσουμε το τελικό κοπτικό εργαλείο. Παίρνοντας την κατατομή της αυλάκωσης του οδοντωτού κανόνα και τοποθετώντας την στις κατάλληλες θέσεις γύρω από ένα κυλινδρικό τεμάχιο, δημιουργούμε την κατατομή του κοπτικού εργαλείου χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της λογικής αφαίρεσης. Η μέθοδος αυτή (της λογικής αφαίρεσης) ουσιαστικά αφαιρεί από το τεμάχιο μας όλο εκείνο το υλικό που είναι κοινό μεταξύ του τεμαχίου και του κοπτικού οδοντωτού κανόνα. Οι θέσεις της κατατομής της αυλάκωσης του οδοντωτού κανόνα στον τρισδιάστατο χώρο, προκύπτουν από τη γεωμετρία της μεθόδου κοπής οδοντώσεων με πλάνιση με οδοντωτό κανόνα. Από την εκτέλεση αυτού του κομματιού του κώδικα, προκύπτει ένα κυλινδρικό τεμάχιο στο οποίο διαγράφεται ένα δόντι, αυτό το δόντι είναι η κατατομή των δοντιών του κοπτικού μας εργαλείου.



Σχήμα 3.2 : Διάφορα κοπτικά εργαλεία της μεθόδου Αποφλοίωσης με κύλιση.

3.3 Κατασκευή του τελικού οδοντωτού τροχού

Σε αυτό το κομμάτι του κώδικα ανήκουν τέσσερις υπο-συναρτήσεις οι οποίες καλούνται με τη σειρά που αναγράφονται και εκτελούν τις εξής εργασίες: Αρχικά λαμβάνεται η κατατομή του κοπτικού εργαλείου, από τα αποτελέσματα που αναφέραμε στην προηγούμενη παράγραφο, με την κατάλληλη υπό-συνάρτηση. Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας τη γεωμετρία της κοπής με αποφλοίωση με κύλιση, η οποία εμπεριέχεται σε συγκεκριμένο υποπρόγραμμα, τοποθετούμε την κατατομή του κοπτικού μας εργαλείου στην κατάλληλη τροχιά, δημιουργώντας έτσι ένα συμπαγές τεμάχιο. Τέλος, δημιουργούμε το τεμάχιο προς κατεργασία (κυλινδρικό τεμάχιο στην περίπτωση της εξωτερικής οδόντωσης, ή δακτύλιος στην περίπτωση της εσωτερικής οδόντωσης) και το συναρμολογούμε με το τεμάχιο που περιγράφει την τροχιά του κοπτικού εργαλείου. Η διαδικασία αυτή γίνεται με τη μέθοδο της λογικής αφαίρεσης που αναφέραμε παραπάνω, δηλαδή αφαιρούμε υλικό από το τεμάχιο προς κατεργασία, λαμβάνοντας με αυτό τον τρόπο την ζητούμενη κατατομή της αυλάκωσης του οδοντωτού τροχού. Επίσης από την παραπάνω τελική διαδικασία προκύπτει το απόβλητο της κοπής που είναι κοινό σε κάθε "πέρασμα" του κοπτικού εργαλείου, δηλαδή σε κάθε επιμέρους συναρμολόγηση του κατ εργαζόμενου τεμαχίου με το τεμάχιο της τροχιάς. Όλα τα αποτελέσματα του κώδικα αποτελούνται από τρισδιάστατα εικονικά μοντέλα τα οποία αποθηκεύονται σε κατάλληλους φακέλους.



Σχήμα 3.3 : Βασική γεωμετρία και κινηματική της μεθόδου Αποφλοίωσης με κύλιση. Τρεις κύριες όψεις της διαδικασίας.

3.4 Παρουσίαση των υποπρογραμμάτων του κώδικα

Ο κώδικας αποτελείται από ένα σύνολο υποπρογραμμάτων τα όποια καλούνται στην κύρια συνάρτηση και κάθε ένα από αυτά πραγματοποιεί μια απαραίτητη διεργασία, για την λειτουργία της προσομοίωσης και την εξαγωγή αποτελεσμάτων. Παρακάτω παρουσιάζονται τα επιμέρους κύρια υποπρογράμματα του κώδικα που είναι απαραίτητα για την σωστή λειτουργία του κώδικα και την σωστή εξαγωγή αποτελεσμάτων. Τα υποπρογράμματα θα παρουσιαστούν με την σειρά που χρησιμοποιούνται- καλούνται από την κύρια συνάρτηση (Main).

3.4.1 Υποπρόγραμμα εισαγωγής δεδομένων στον κώδικα (Getdata)

Στο συγκεκριμένο υποπρόγραμμα υπάρχουν όλα τα δεδομένα που είναι απαραίτητα για την προσομοίωση. Τα δεδομένα αυτά χωρίζονται σε τρεις κύριες κατηγορίες. Η πρώτη αποτελείται από όλα εκείνα τα δεδομένα που αφορούν το κοπτικό μας εργαλείο, τα δεδομένα αυτά επιγραμματικά είναι το Module του κοπτικού μας, ο αριθμός των δοντιών του κοπτικού, η αρχική ακτίνα του κοπτικού (η ακτίνα που περνάει από το μέσο περίπου της οδόντωσης), η γωνία του κοπτικού εργαλείου στο χώρο σε σχέση με τον οριζόντιο άξονα, η πρόωση με την οποία κατέρχεται το κοπτικό εργαλείο στον κατακόρυφο άξονα και το πλάτος του κοπτικού τροχού. Στην συνέχεια η δεύτερη κατηγορία εμπεριέχει τα δεδομένα και περιγράφουν το προς κατεργασία τεμάχιο, αυτά είναι το πλάτος του προς κατεργασία τροχού, ο αριθμός των οδοντώσεων του τροχού, η αρχική ακτίνα του προς κατεργασία τροχού αντίστοιχα όπως και στο κοπτικό εργαλείο που αναφέρθηκε παραπάνω και το διάκενο αν αυτό υπάρχει (στον εσωτερικό οδοντωτό τροχό απαραίτητο ενώ στον εξωτερικό προαιρετικό). Τέλος η τελευταία κατηγορία αποτελείται από όλα εκείνα δεδομένα που αφορούν αυτή κάθε αυτή την προσομοίωση και είναι τα εξής, η γωνία περιστροφής του κοπτικού εργαλείου (γωνία ϕ), η σχέση σύνδεσης της γωνίας περιστροφής του κοπτικού με την γωνία περιστροφής του προς κατεργασία τεμαχίου (γωνία θ), το εύρος της προσομοίωσης το οποίο παρουσιάζει την γωνία μέσα στην οποία γίνεται η μελέτη της κοπής και τέλος τις επαναλήψεις που επιλέγονται για την συναρμολόγηση του προς κατεργασία τεμαχίου με την τροχιά του κοπτικού. Επίσης υπάρχουν και κάποιες γεωμετρικές σταθερές όπως ο αριθμός $\pi=3.14$ ο οποίος εισάγεται στον κώδικα μέσω του υποπρογράμματος και είναι απαραίτητος και αυτός για την λειτουργία του σύνολου των υπό συναρτήσεων. Αυτό το υποπρόγραμμα είναι χρήσιμο γιατί δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να επεξεργαστεί τα δεδομένα και να αλλάξει τις τιμές τους μια φορά και σε ένα σημείο μέσα στον κώδικα έτσι ο κώδικας γίνεται πιο εύχρηστος και πιο λειτουργικός για τον εκάστοτε χρήστη του.

```
Public Function Getdata()  
  
pi = 3.14159265358979  
  
Tool.Modul = 0.2  
Tool.Teeth = 30  
Tool.RT = (Tool.Modul * Tool.Teeth) / 2  
Tool.Angle = 20  
Tool.Proo = 0.008  
Tool.Pos = 0.1  
Tool.Width = 2  
  
Din.Presangle = 20  
  
Gear.Width = 10  
Gear.Teeth = 60  
Gear.RG = (Tool.Modul * Gear.Teeth) / 2  
Gear.Hole = Gear.RG - Tool.Modul  
  
Sim.d_phi = 1  
Sim.d_theta = Sim.d_phi * (Tool.Teeth / Gear.Teeth)  
Sim.limit = ArcCos(Tool.RT / ((Tool.Modul * Tool.Teeth + 2.5 * Tool.Modul) / 2))  
Sim.steps = CInt(2 * DtoR(Sim.limit) / DtoR(Sim.d_phi))  
Sim.h = 0.7  
  
End Function
```

→ Δεδομένα κοπτικού εργαλείου

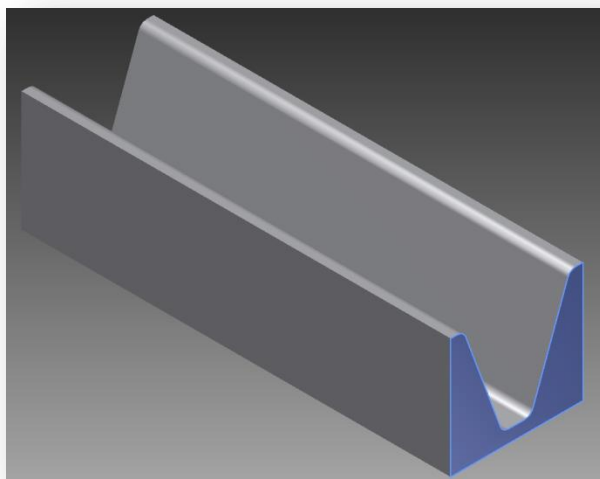
→ Δεδομένα κατεργαζόμενου τεμαχίου

→ Δεδομένα Προσομοίωσης

Σχήμα 3.4 : Ο κώδικας του υποπρογράμματος εισαγωγής δεδομένων.

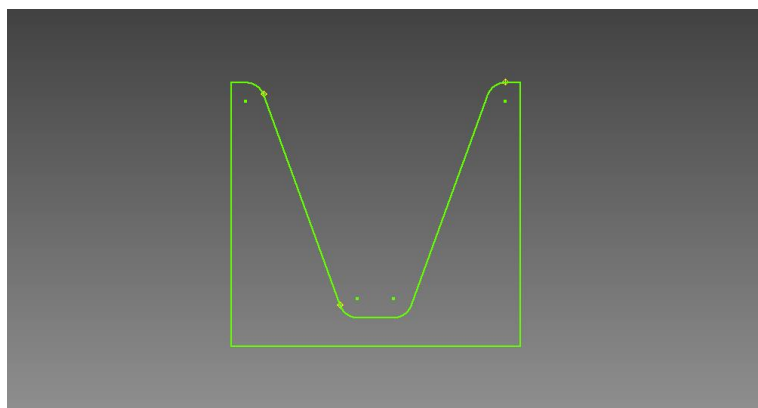
3.4.2 Υποπρόγραμμα δημιουργίας κατατομής οδοντωτού κανόνα (Profile2)

Για την κατασκευή του κοπτικού μας εργαλείου χρησιμοποιείται ένα νέο κοπτικό εργαλείο το οποίο αποτελείται από έναν οδοντωτό κανόνα ο οποίος έχει οδόντωση με τυποποίηση DIN 3972. Η κατασκευή της κατατομής του οδοντωτού κανόνα συντελείται σε αυτό το κομμάτι του κώδικα. Το υποπρόγραμμα δέχεται σαν δεδομένα εισόδου το κατάλληλο επίπεδο για την τοποθέτηση του σχεδίου της κατατομής και κάποιες τιμές για την θέση της κατατομής ως προς την αρχή των αξόνων μέσα στο τρισδιάστατο εικονικό περιβάλλον. Για τη κατασκευή αυτή χρησιμοποιούνται γνωστοί μαθηματικοί τύποι που δίνουν όλα εκείνα τα απαραίτητα δεδομένα, από τα οποία προκύπτουν σημεία μέσα στον χώρο που αν ενωθούν κατάλληλα δημιουργούν ένα συμπαγές σχέδιο που παρουσιάζει την χαράδρα ανάμεσα σε δυο δόντια του οδοντωτού κανόνα. Έτσι το εξαγόμενο αποτέλεσμα από το συγκεκριμένο κομμάτι του κώδικα είναι ένα συμπαγές κομμάτι με συγκεκριμένο πλάτος στο οποίο διαγράφεται η κατατομή αναφοράς ενός κοπτικού εργαλείου κατά τυποποίηση DIN 3972.



Σχήμα 3.5 : Τρισδιάστατη απεικόνιση της συμπαγούς κατατομής του οδοντωτού κανόνα όπως αυτή φαίνεται μέσα από το εικονικό περιβάλλον του προγράμματος σχεδίασης.

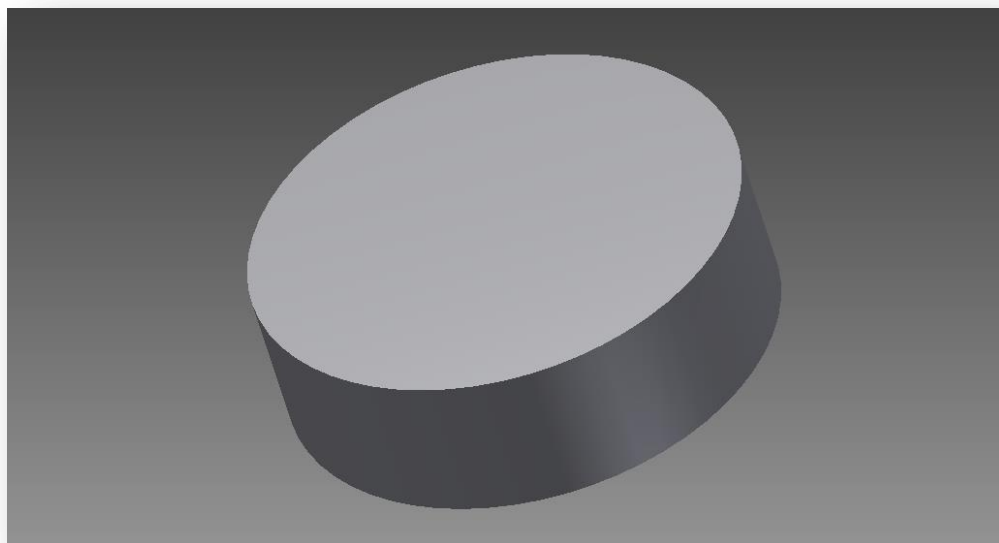
Στο παραπάνω σχήμα με μπλε σκίαση παρουσιάζεται η κατατομή της χαράδρας του οδοντωτού κανόνα. Για καλύτερη κατανόηση της κατατομής υπάρχει συμπληρωματικό σχήμα παρακάτω, που παρουσιάζει την κατατομή κατά τυποποίηση DIN 3972 σε δισδιάστατο επίπεδο.



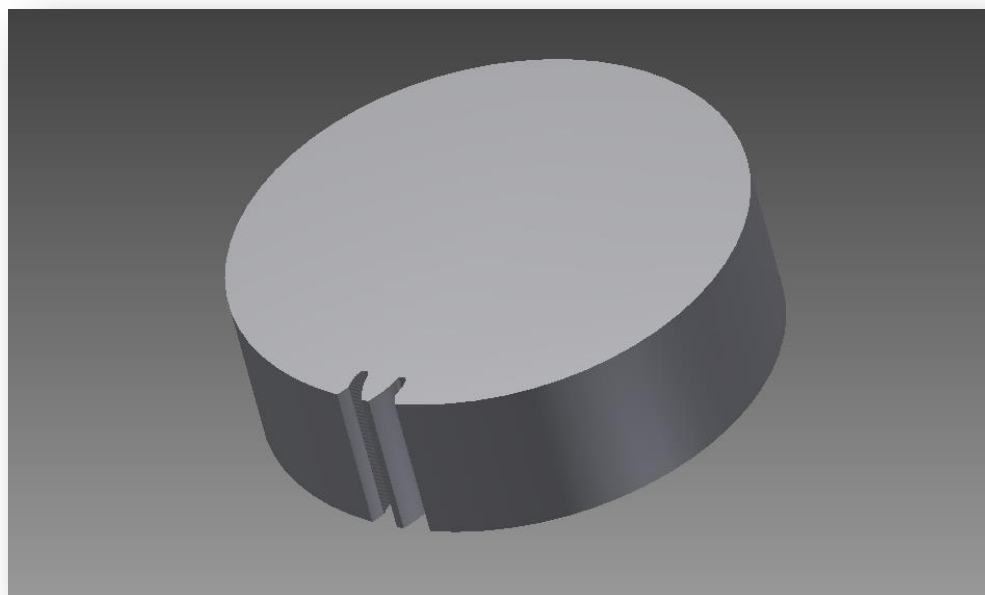
Σχήμα 3.6 : Απεικόνιση κατατομής οδοντωτού κανόνα σε δισδιάστατο επίπεδο κατά DIN 3972.

3.4.3 Υποπρόγραμμα δημιουργίας κυλινδρικού τεμαχίου (GearCr)

Ένα αρκετά απλό κομμάτι του κώδικα στο οποίο ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει είτε το κυλινδρικό τεμάχιο του τελικού κοπτικού εργαλείου, είτε το κυλινδρικό τεμάχιο προς κατεργασία. Το συγκεκριμένο υποπρόγραμμα του κώδικα χρησιμοποιεί σαν δεδομένα εισόδου το πλάτος του κυλινδρικού τεμαχίου που ο χρήστης θέλει να δημιουργήσει και το μέγεθος του διάκενου αν αυτό υπάρχει στο κέντρο του κυλίνδρου. Σαν αποτελέσματα το υποπρόγραμμα επιστρέφει ένα κυλινδρικό τεμάχιο με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά που έχουν επιλεγεί από το χρήστη κατά το κάλεσμα του υποπρογράμματος μέσα από τον κύριο κώδικα.



Σχήμα 3.7 : Συμπαγές κυλινδρικό τεμάχιο πριν υποστεί επεξεργασία.



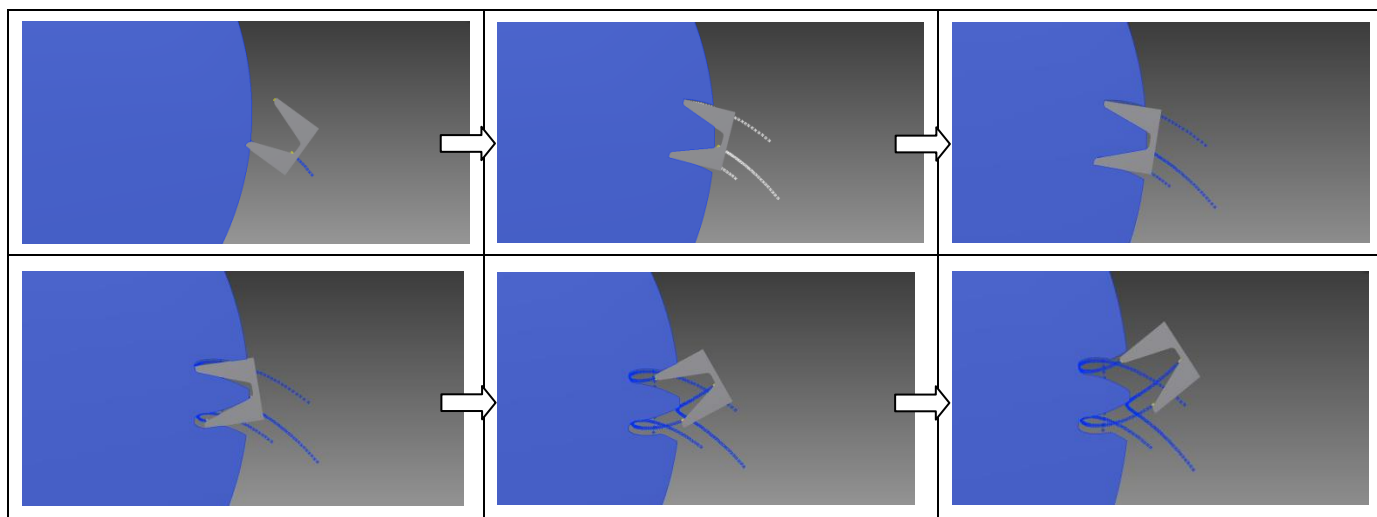
Σχήμα 3.8 : Συμπαγές κυλινδρικό τεμάχιο μετά το πέρας της κατεργασίας κοπής.

3.4.4 Υποπρόγραμμα τοποθέτησης της κατατομής του οδοντωτού κανόνα στις κατάλληλες θέσεις για την συντέλεση της κοπής του κοπτικού εργαλείου (TrajectoryT)

Στο συγκεκριμένο κομμάτι του κώδικα γίνεται η τοποθέτηση του συμπαγούς κομματιού του οδοντωτού κανόνα στις κατάλληλες θέσεις μέσα στον τρισδιάστατο χώρο. Εδώ δεν υπάρχουν δεδομένα εισόδου άλλα υπάρχουν πολλά δεδομένα εξόδου που προκύπτουν από τον συγκεκριμένο κώδικα. Το υποπρόγραμμα επιστρέφει ένα σύνολο αρχείων τα οποία ναι μεν παρουσιάζουν την ίδια συμπαγή κατατομή του οδοντωτού κανόνα κάθε φορά άλλα αυτό που τα διαφοροποιεί είναι η θέση της κατατομής μέσα στον τρισδιάστατο χώρο. Το συμπαγές κομμάτι που προκύπτει από παραπάνω υποπρόγραμμα κινείται πάνω σε μια ευθεία και οι διαφορετικές του θέσεις υπολογίζονται από μαθηματικούς τύπους που συνδέουν, την ακτίνα του προς κατεργασία κυλίνδρου με την απόσταση του οδοντωτού κανόνα από την αρχή των αξόνων (δεδομένο ότι η αρχή των αξόνων είναι στο κέντρο βάρους του κυλινδρικού τεμαχίου). Επίσης με μαθηματικούς τύπους συνδέεται και η γωνία περιστροφής του κυλίνδρου σε σχέση με την ευθύγραμμη μετατόπιση της κατατομής του συμπαγούς κομματιού, έτσι επιτυγχάνεται η ακριβής θέση του εκάστοτε κομματιού σε κάθε αρχείο. Το εύρος των εκάστοτε θέσεων εξαρτάται από τα δεδομένα προσομοίωσης που έχουν δοθεί στην αρχή του κώδικα και περιγράφουν την γωνία περιστροφής στην οποία γίνεται η μελέτη της κοπής.

3.4.5 Υποπρόγραμμα συναρμολόγησης κυλινδρικού τεμαχίου (Κοπτικό εργαλείο) και συμπαγούς κατατομής αναφοράς κατά DIN 3972 (AssembleT)

Μέσω της διαδικασίας της λογικής αφαίρεσης που αναφέρθηκε παραπάνω, σε αυτό το κομμάτι του κώδικα συναρμολογούνται οι εκάστοτε θέσεις της κατατομής αναφοράς με ένα κυλινδρικό τεμάχιο το οποίο συνέχεια μεταβάλλεται και με την αφαίρεση κατάλληλου υλικού από τον κύλινδρο δημιουργείται μια ολοκληρωμένη οδόντωση πάνω σε αυτόν. Τα εκάστοτε συμπαγή κομμάτια συναρμολογούνται αρχικά με τον αρχικό κύλινδρο και σε επόμενα βήματα με τον εκάστοτε κύλινδρο του προηγούμενου κατά σειρά βήματος. Άρα στο τέταρτο βήμα για παράδειγμα, το τέταρτο κατά σειρά αρχείο της κατατομής αναφοράς θα συναρμολογηθεί με το τρίτο κατά σειρά αρχείο του κυλινδρικού τεμαχίου. Έτσι μετά το πέρας του υποπρογράμματος θα δημιουργηθεί το τελευταίο κατά σειρά κυλινδρικό τεμάχιο στο οποίο θα διαγράφεται ένα μοναδικό και ολοκληρωμένο δόντι, το οποίο θα αποτελεί δόντι του τελικού κοπτικού εργαλείου.



Σχήμα 3.9 : Διαδοχικές θέσεις κατατομής οδοντωτού κανόνα σε σχέση με το κυλινδρικό τεμάχιο από όπου προκύπτει το τελικό μας κοπτικό εργαλείο.

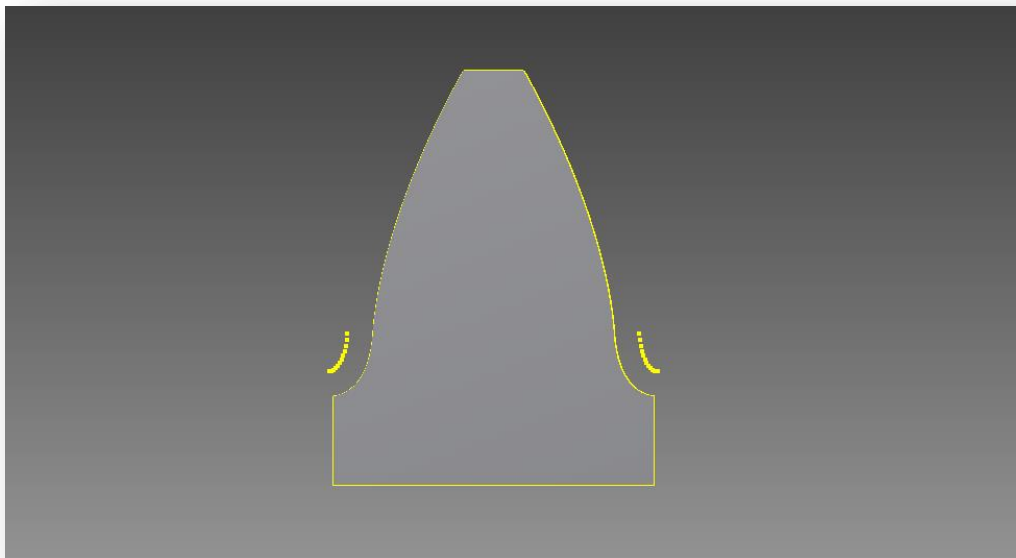
3.4.6 Υποπρόγραμμα δημιουργίας κατατομής τελικού κοπτικού εργαλείου (Sketchf)

Το κυλινδρικό τεμάχιο της προηγούμενης συνάρτησης μας παρουσιάζει ένα δόντι του τελικού κοπτικού εργαλείου, στην συνάρτηση αυτής της παραγράφου με τις κατάλληλες εντολές λαμβάνεται το ζητούμενο σχέδιο της κατατομής του τελικού κοπτικού. Η συγκεκριμένη υπό-συνάρτηση δεν λαμβάνει δεδομένα εισόδου για να λειτουργήσει, αλλά επιστρέφει ένα αρχείο όπου διαγράφεται το ζητούμενο μηχανολογικό σχέδιο της κατατομής του τελικού κοπτικού εργαλείου της μεθόδου. Παρακάτω παρουσιάζεται το δισδιάστατο σχέδιο της ζητούμενης κατατομής όπως αυτό φαίνεται στο τρισδιάστατο εικονικό περιβάλλον του προγράμματος σχεδίασης που χρησιμοποιείται.

```
Public Function Sketchf()  
  
    Dim x1 As Double, x2 As Double  
    Dim y1 As Double  
  
    Dim oprofile1 As Profile  
    Dim wrpln As WorkPlane  
  
    Dim osketch1 As Sketch  
    Dim oSketch2 As Sketch  
  
    Dim opartdoc1 As PartDocument  
    Set opartdoc1 = ThisApplication.Documents.Open(setdir() & "Tools\Toolb1" & Sim.steps & ".ipt", True)  
    Dim opartcompdef1 As PartComponentDefinition  
    Set opartcompdef1 = opartdoc1.ComponentDefinition  
  
    'Set wrpln = opartcompdef1.WorkPlanes.AddByPlaneAndOffset(opartcompdef1.WorkPlanes.Item(3), Tool.Width + 1, False)  
    Set oSketch2 = opartcompdef1.Sketches.Add(opartcompdef1.WorkPlanes.Item(3))  
  
    x1 = ((Tool.Teeth * Tool.Modul + 2.5 * Tool.Modul) / 2) + 0.1  
    x2 = Tool.RT - (2 * Tool.Modul)  
    y1 = (Tool.Modul * pi) / 2.5  
  
    With otransgeom  
        Call oSketch2.SketchLines.AddAsTwoPointRectangle(.CreatePoint2d(x1, y1), .CreatePoint2d(x2, -y1))  
    End With  
  
    Set oprofile1 = oSketch2.Profiles.AddForSolid  
    Call opartcompdef1.Features.ExtrudeFeatures.AddByDistanceExtent(oprofile1, 5, kPositiveExtentDirection, kIntersectOperation)  
  
    'Project Cut Edges  
    Dim oPasteControlDef As ControlDefinition  
    Set osketch1 = opartcompdef1.Sketches.Add(opartcompdef1.WorkPlanes.AddByPlaneAndOffset(opartcompdef1.WorkPlanes.Item(3), 0.1))  
    osketch1.Edit  
    Set oPasteControlDef = ThisApplication.CommandManager.ControlDefinitions.Item("SketchProjectCutEdgesCmd")  
    oPasteControlDef.Execute  
    osketch1.ExitEdit  
  
    |  
  
End Function
```

Σχήμα 3.10 : Κώδικας υποπρογράμματος δημιουργίας κοπτικής κατατομής.

Στο παραπάνω σχήμα παρουσιάζεται ολος ο κώδικας του υποπρογράμματος δημιουργίας της κατατομής του κοπτικού εργαλείου. Το κυριότερο σημείο του κώδικα είναι η παράγραφος όπου γίνεται η αποκοπή του σχεδίου της κατατομής από το συμπαγές κομμάτι, αυτή η παράγραφος βρίσκεται στο τέλος του παραπάνω σχήματος με τον σχολιασμό **“Project Cut Edges”**. Ειδικότερα στο συγκεκριμένο σημείο αποκόπτεται το σχέδιο του οδόντα του κοπτικού εργαλείου με την βοήθεια των άκμων του συμπαγούς κομματιού το οποίο πρόέκυψε από την διαδικασία του κεφαλαίου 3.4.5.



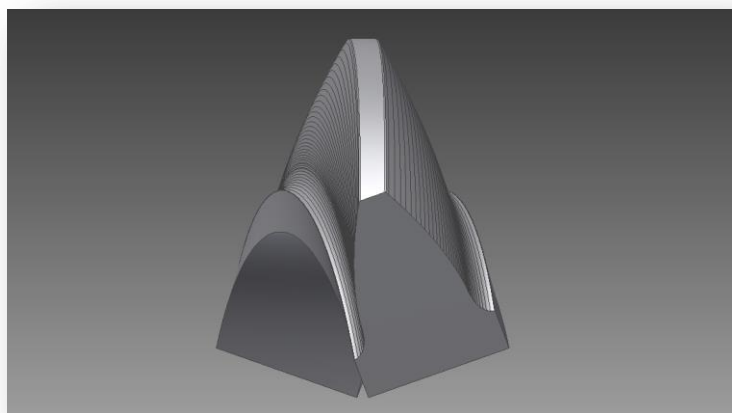
Σχήμα 3.10 : Κατατομή τελικού κοπτικού εργαλείου.

Η κατατομή του τελικού κοπτικού εργαλείου του παραπάνω σχήματος είναι ίδια και στις δυο περιπτώσεις κοπής εσωτερικής ή εξωτερικής οδόντωσης. Παρακάτω παρουσιάζονται οι διαφορές των δυο περιπτώσεων, οι οποίες αφορούν την τροχιά του κοπτικού και την μορφή του τελικού τεμαχίου.

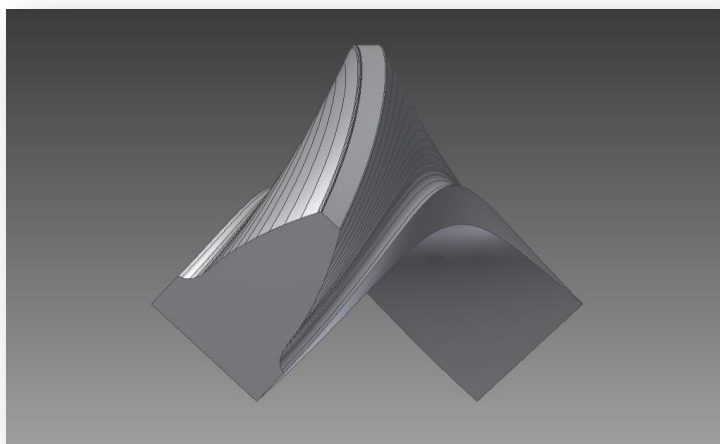
3.4.7 Υποπρόγραμμα δημιουργίας της τροχιάς κατατομής του κοπτικού (Trajectory)

Μια από τις πιο σημαντικές συναρτήσεις του κώδικα είναι η συνάρτηση της παραγράφου. Χωρίς αυτή δεν θα μπορούσε να καθοριστεί η πορεία του κοπτικού εργαλείου στο χώρο σε σχέση με το προς κατεργασία τεμάχιο. Όπως σημειώθηκε παραπάνω για λόγους ευκολίας στην δημιουργία του κώδικα θεωρήθηκε ότι το κοπτικό εργαλείο κινείται γύρω από το προς κατεργασία τεμάχιο., δηλαδή μεταφέρθηκαν όλες οι κινήσεις που συμβαίνουν πάνω στο κοπτικό εργαλείο, με αυτόν τον τρόπο καθώς το κοπτικό περιστρεφόταν γύρω από τον εαυτό του, ταυτόχρονα περιστρεφόταν και γύρω από το τεμάχιο. Έτσι υπήρχαν δυο γωνίες οι οποίες ήταν απαραίτητες για την προσομοίωση, αρχικά η γωνία περιστροφής του κοπτικού γύρω από τον εαυτό του (ϕ) και η γωνία του κοπτικού γύρω από το τεμάχιο. (θ). Στην συγκεκριμένη συνάρτηση συντελείται μια επαναληπτική διαδικασία κατά την οποία το σχέδιο της κατατομής τοποθετείται σε κατάλληλες θέσεις γύρω από το τεμάχιο., αυτό επιτυγχάνεται με μια τεχνική η οποία δημιουργεί όλα εκείνα τα απαραίτητα επίπεδα και άξονες στις κατάλληλες αποστάσεις μεταξύ τους, ούτως ώστε τελικά να δημιουργηθεί το τελικό επίπεδο πάνω στο οποίο θα τοποθετείται το σχέδιο της κατατομής του κοπτικού. Τα εκάστοτε επίπεδα, τα οποία

καθορίζονται από το χρήστη στην συνάρτηση εισαγωγής δεδομένων που προαναφέρθηκε, διαφέρουν μεταξύ τους ως προς την κατακόρυφη απόσταση τους από το κύριο **επίπεδο XY**, επίσης διαφέρουν και κατά τις δυο γωνίες που παρουσιάζονται παραπάνω στην παράγραφο. Στην συνέχεια και αφού όλα τα **Sketch** τοποθετηθούν στα κατάλληλα επίπεδα, με την βοήθεια της εντολής **Loft** δημιουργείται ένα συμπαγές σχήμα το οποίο παρουσιάζει την τροχιά ενός δοντιού του κοπτικού εργαλείου μέσα στον τρισδιάστατο χώρο. Το υποπρόγραμμα δεν χρησιμοποιεί δεδομένα εισόδου, αλλά επιστρέφει ένα αρχείο το οποίο παρουσιάζει στον τρισδιάστατο χώρο την τροχιά του δοντιού του κοπτικού, αυτό το αρχείο αποθηκεύεται σε φάκελο και μπορεί να το επεξεργαστεί ο οποιοσδήποτε μετά το τέλος της προσομοίωσης. Το υποπρόγραμμα έχει αρκετές διαφορές, στους μαθηματικούς τύπους τους οποίους χρησιμοποιεί, στις δυο περιπτώσεις κατασκευής εσωτερικής και εξωτερικής οδόντωσης. Αυτές οι διαφορές είναι εμφανείς και στην τρισδιάστατη απεικόνιση των δυο τροχιών για τις δυο κατεργασίες.



Σχήμα 3.11 : Τρισδιάστατη απεικόνιση τροχιάς κοπτικού εργαλείου για την κατασκευή εσωτερικής οδόντωσης.

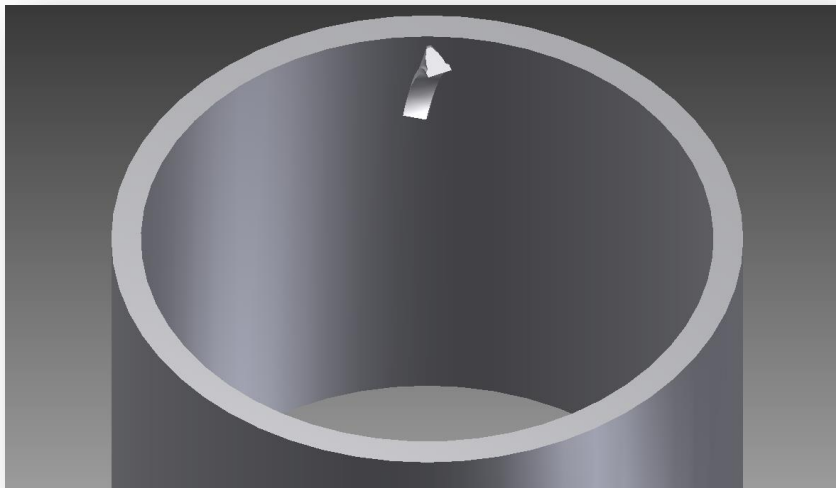


Σχήμα 3.12 : Τρισδιάστατη απεικόνιση τροχιάς κοπτικού εργαλείου για την κατασκευή εξωτερικής οδόντωσης

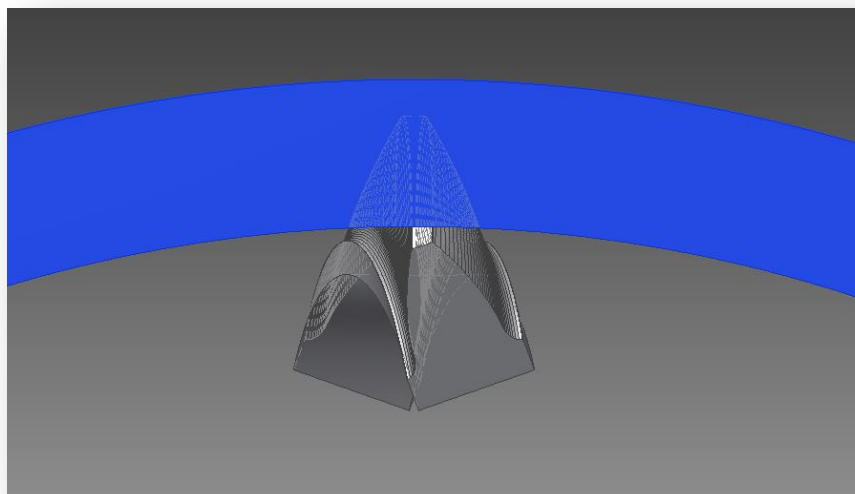
3.4.8 Συνάρτηση συναρμολόγησης της τροχιάς κατατομής του κοπτικού με το τελικό κυλινδρικό τεμάχιο (Assemble)

Τέλος παρουσιάζεται η τελευταία κατά σειρά συνάρτηση του κώδικα όπου μέσα σε αυτή συντελείτε η συναρμολόγηση της τροχιάς του κοπτικού εργαλείου με το προς κατεργασία κυλινδρικό τεμάχιο. Άλλη μια σημαντική συνάρτηση του κώδικα η οποία, αφού λειτουργήσει, μας επιστρέφει τα τελικά αποτελέσματα τα οποία θα παρουσιαστούν στο επόμενο κεφάλαιο. Σε αυτό το κύριο κομμάτι του κώδικα ο χρήστης καλείται να δώσει τον αριθμό των επαναλήψεων, που θέλει να γίνει η συναρμολόγηση, σαν δεδομένο εισόδου της συνάρτησης, με αυτό το μετρητή μπορεί να δημιουργηθεί ένα ολοκληρωμένο αυλάκι του τελικού οδοντωτού αλλά και ένα ανολοκλήρωτο. Αρχικά στην συνάρτηση έχουμε μια μεταβλητή (z) η οποία είναι η μετατόπιση της τροχιάς του κοπτικού εργαλείου στον κατακόρυφο άξονα που διέρχεται από το κέντρο του προς κατεργασία κυλίνδρου, η μεταβλητή αυτή εξαρτάται από την δοσμένη πρόωση του κοπτικού καθώς και από το πηλίκο του αριθμού των οδοντώσεων των δυο τεμαχίων. Στη συνέχεια μέσω μιας ακόμα επαναληπτικής διαδικασίας καλούνται τα δυο τεμάχια προς συναρμολόγηση, τα οποία βρίσκονται στα κατάλληλα σημεία στο χώρο. Το μόνο που αλλάζει σε κάθε επανάληψη είναι το ύψος στο οποίο βρίσκεται η τροχιά του κοπτικού καθώς και το κυλινδρικό τεμάχιο το οποίο αντικαθίσταται από το τεμάχιο που προκύπτει από την προηγούμενη επανάληψη. Αυτό επιτυγχάνεται με κατάλληλους μετρητές, οι οποίοι καλούν κάθε φορά, για συναρμολόγηση, τα κατάλληλα αρχεία από τους κατάλληλους φακέλους. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω εκτός από τον τελικό οδοντωτό τροχό η συνάρτηση, μετά την εκτέλεση της, επιστρέφει και το απόβλητο της κατεργασίας το οποίο έχει πάντα την ίδια μορφή. Άρα αρκεί μια επανάληψη της συναρμολόγησης στο μέσο ύψος του κυλινδρικού τεμαχίου για να λάβουμε το ζητούμενο απόβλητο. Όλα τα αποτελέσματα αποθηκεύονται με την μορφή αρχείων (**ipt**) είτε με μορφή αρχείων συναρμολόγησης (**iam**) σε φακέλους που επιλεγεί ο χρήστης.

Παρακάτω παρουσιάζεται η συναρμολόγηση στην περίπτωση κατασκευής της εσωτερικής οδόντωσης, όπως φαίνεται και από τα σχήματα αρκεί μια οποιαδήποτε θέση του κοπτικού εργαλείου στο πλάτος του κατεργαζόμενου τεμαχίου, για την σωστή περισυλλογή ασφαλών αποτελεσμάτων.

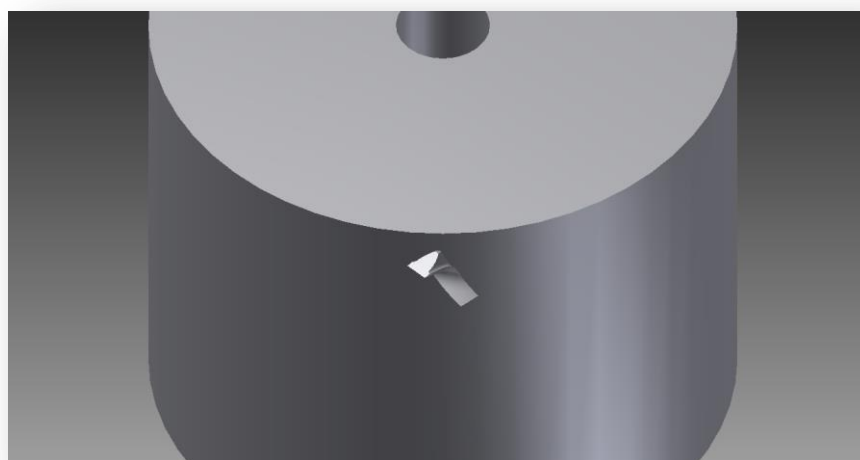


Σχήμα 3.13 : Τρισδιάστατη απεικόνιση συναρμολόγησης της τροχιάς του κοπτικού με το προς κατεργασία τεμάχιο στην εσωτερική οδόντωση.

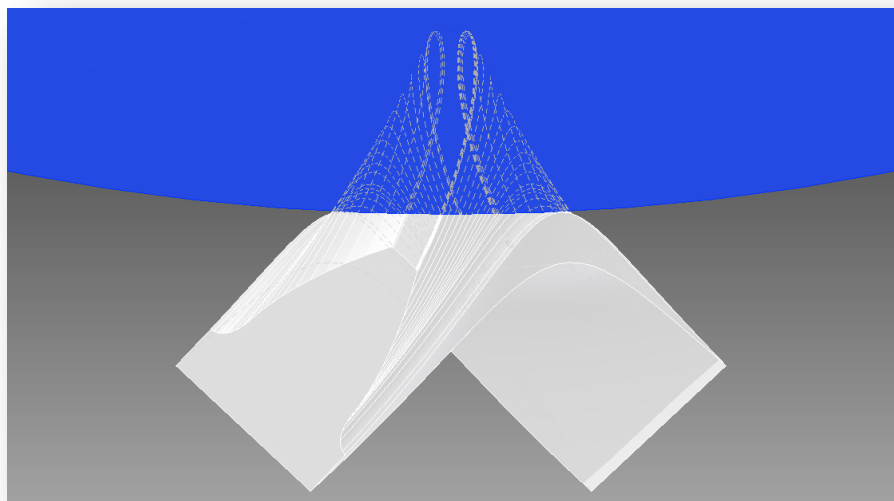


Σχήμα 3.14 : Πιο λεπτομερείς απεικόνιση της συναρμολόγησης από την επάνω όψη της κοπής.

Υπάρχει και η περίπτωση κατασκευής της εξωτερικής οδόντωσης, συγκρίνοντας τα σχήματα των δυο περιπτώσεων σε αυτή και την προηγούμενη σελίδα φαίνονται οι διαφορές στην γεωμετρία της τροχιάς του κοπτικού καθώς και του κατεργαζόμενου τεμαχίου.



Σχήμα 3.15 : Συναρμολόγηση τροχιάς κοπτικού με κατεργαζόμενο τεμάχιο στην μέθοδο κατασκευής εξωτερικής οδόντωσης.



Σχήμα 3.16 : Πιο λεπτομερείς απεικόνιση της συναρμολόγησης.

4. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

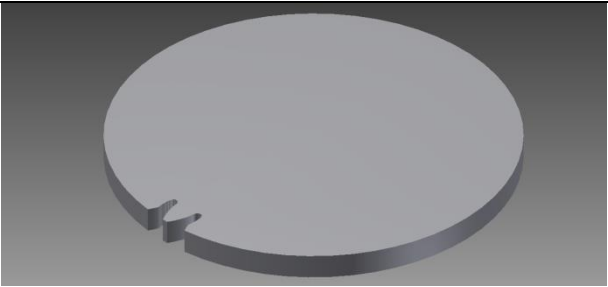
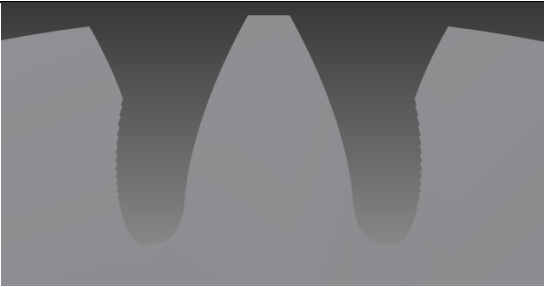
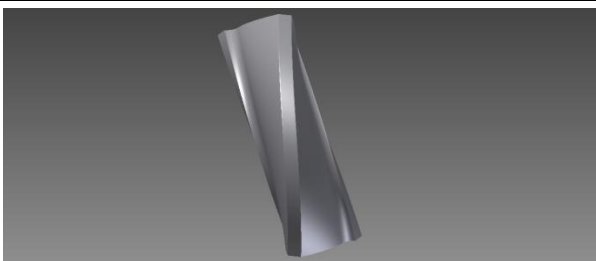
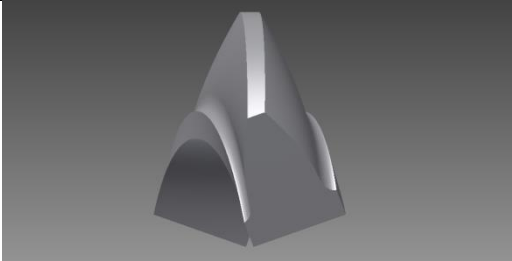
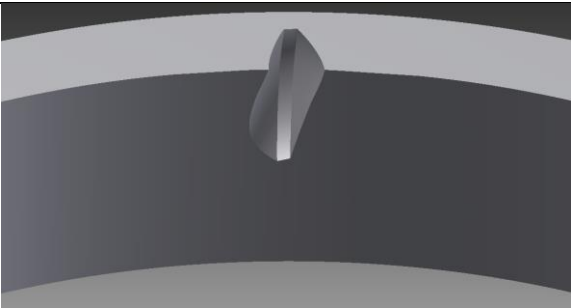
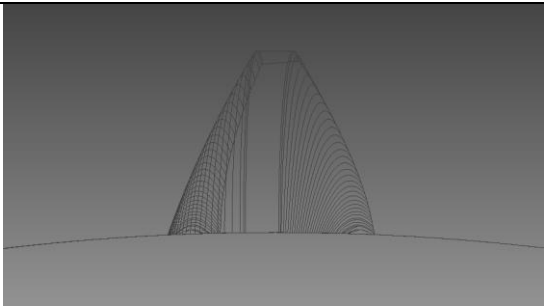
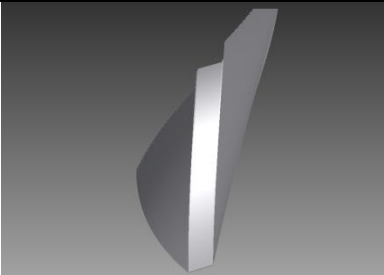
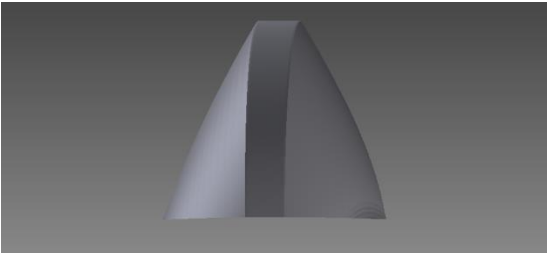
Σε αυτό το κεφάλαιο πραγματοποιείται εκτενής παρουσίαση όλων των αποτελεσμάτων από τα παραδείγματα κοπής που επιλέχτηκαν. Η επιλογή αυτή έγινε με σκοπό να επιβεβαιωθεί η σωστή λειτουργία του κώδικα, επιπλέον επιλέχτηκε μεγάλος αριθμός παραδειγμάτων για την εξερεύνηση διαφορών ανάμεσα στις εκάστοτε κοπές και για να δοθεί η δυνατότητα συγκρίσεων μεταξύ κοπών καθώς και μεταξύ κοπτικών εργαλείων. Τα αποτελέσματα θα παρουσιαστούν σε ομάδες ανάλογα με την κοπή. Πρώτα θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα των εκάστοτε κοπών των εσωτερικών οδοντώσεων και στην συνέχεια των εξωτερικών. Ο διαχωρισμός των αποτελεσμάτων έγινε με βάση των αριθμό των δοντιών του κοπτικού εργαλείου, με βάση των αριθμό των δοντιών του κατεργαζόμενου τεμαχίου και τέλος με βάση το **module**. Η επιλογή των προσομοιώσεων έγινε με βάσει γνωστές προσομοιώσεις άλλων ερευνητών οι οποίες έχουν εκτελεστεί στο παρελθόν και υπάρχουν εκτενή αποτελέσματα για αυτές.

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ	ΚΟΠΤΙΚΟ ΕΡΓΑΛΕΙΟ	ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΤΕΜΑΧΙΟ	ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ
1	m=1 mm z=30	m=1 mm z=60	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΟΔΟΝΤΩΣΗ ΠΡΟΩΣΗ=0.008 mm/στρ
2	m=1 mm z=30	m=1 mm z=60	ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΟΔΟΝΤΩΣΗ ΠΡΟΩΣΗ=0.008 mm/στρ
3	m=0.5 mm z=20	m=0.5 mm z=80	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΟΔΟΝΤΩΣΗ ΠΡΟΩΣΗ=0.008 mm/στρ
4	m=0.5 mm z=20	m=0.5 mm z=80	ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΟΔΟΝΤΩΣΗ ΠΡΟΩΣΗ=0.008 mm/στρ
5	m=2 mm z=35	m=2 mm z=50	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΟΔΟΝΤΩΣΗ ΠΡΟΩΣΗ=0.008 mm/στρ
6	m=2 mm z=35	m=2 mm z=50	ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΟΔΟΝΤΩΣΗ ΠΡΟΩΣΗ=0.008 mm/στρ

Σχήμα 4.1 : Πινάκας παρουσίασης των εκτελεσμένων προσομοιώσεων.

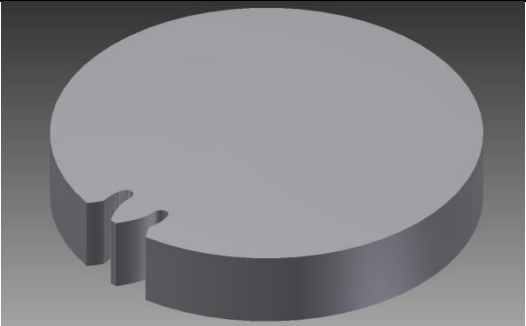

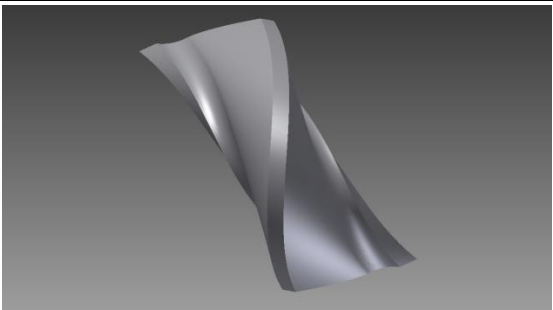
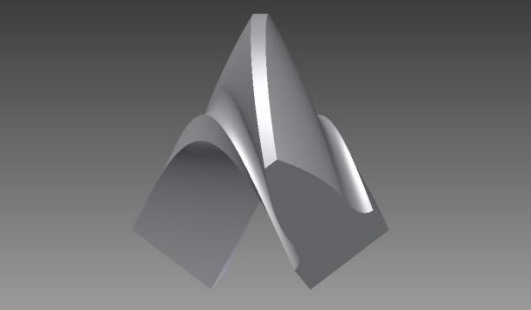
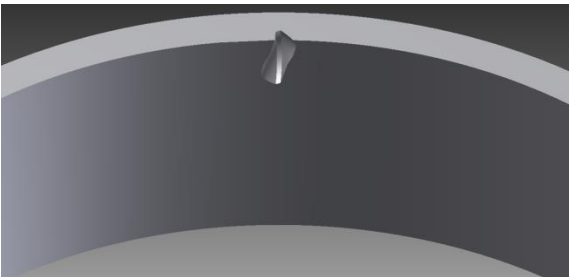
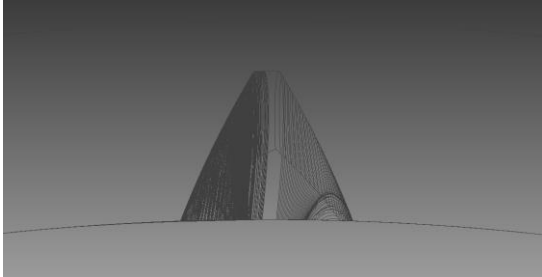
4.1 Αποτελέσματα προσομοίωσης εσωτερικής οδόντωσης.

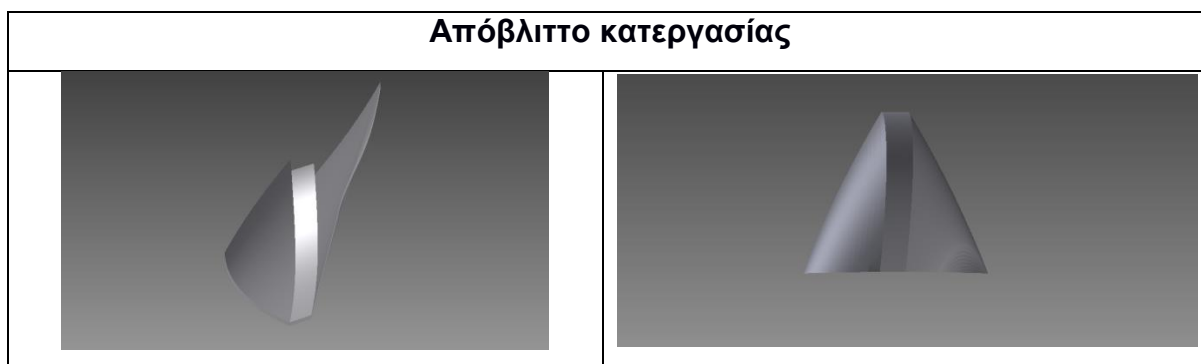
Ύστερα από πληθώρα πειραματικών προσομοιώσεων κοπής, πρόέκυψαν ενδιαφέροντα αποτελέσματα για την γεωμετρία του τελικού εσωτερικού οδοντωτού τροχού καθώς και για το απόβλητο της κοπής. Παρακάτω ακολουθούν σχήματα τα όποια αντιστοιχούν στις εκάστοτε κοπές. Οι προσομοιώσεις που αναφέρονται στην εσωτερική οδόντωση είναι τα νούμερα 1,3,5. Σε κάθε προσομοίωση υπάρχουν αλλαγές όχι μόνο στο module αλλά και στον αριθμό δοντιών του κοπτικού και του τεμαχίου. Για πιο ακριβοί αποτελέσματα δεν υπάρχουν αλλαγές στην πρόωση του κοπτικού μας εργαλείου.

Προσομοίωση Νο1.	
Κοπτικό εργαλείο	
	
$m = 1 \text{ mm}$, $z = 30$ Δόντια	
Τροχιά κοπτικού	
	
$\alpha = 20^\circ$	
Τελικό τεμάχιο	
	
$m = 1 \text{ mm}$, $z = 60$ Δόντια	
Απόβλιπτο κατεργασίας	
	

Σχήμα 4.2 : Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης νούμερο 1, Module= 1mm .

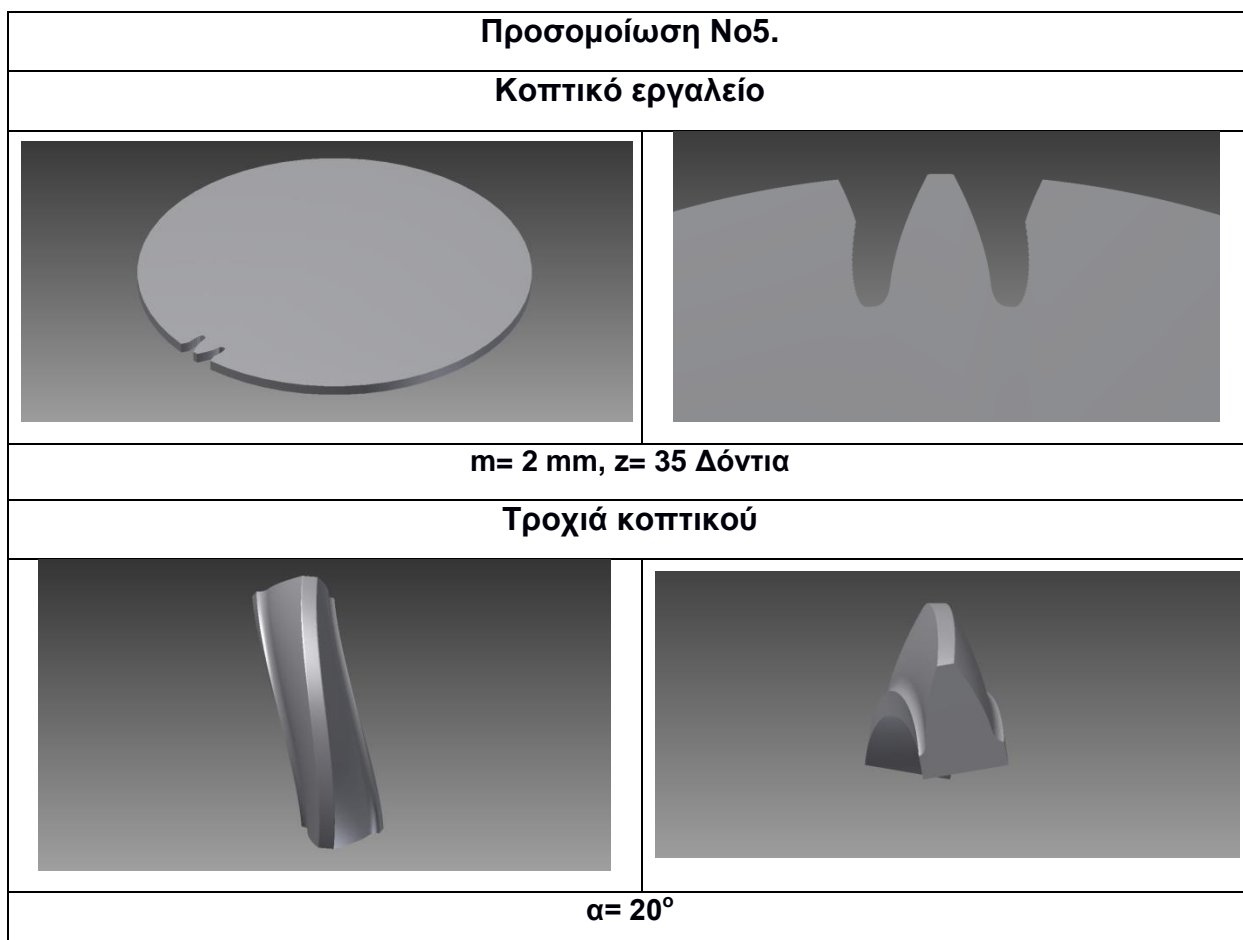
Παραπάνω παρουσιάζονται τα εικονικά μοντέλα που προκύπτουν από την προσομοίωση κοπής εσωτερικού οδοντωτού τροχού 60 οδόντων από κοπτικό εργαλείο 30 οδόντων με module 1 mm. Αρχικά φαίνεται το κοπτικό εργαλείο από δυο όψεις, μια γενική και μια πιο λεπτομερή. Στην συνέχεια προκύπτει η τροχιά του οδόντα του κοπτικού, η όποια σε σχέση με το τεμάχιο προς κατεργασία παρουσιάζει μια γωνία 20 μοιρών. Τέλος στον παραπάνω πίνακα παρουσιάζονται το τελικό τεμάχιο από δυο όψεις που βοηθάμε στην κατανόηση του και το απόβλιττο της κοπής από την μπροστά και από την επάνω όψη.

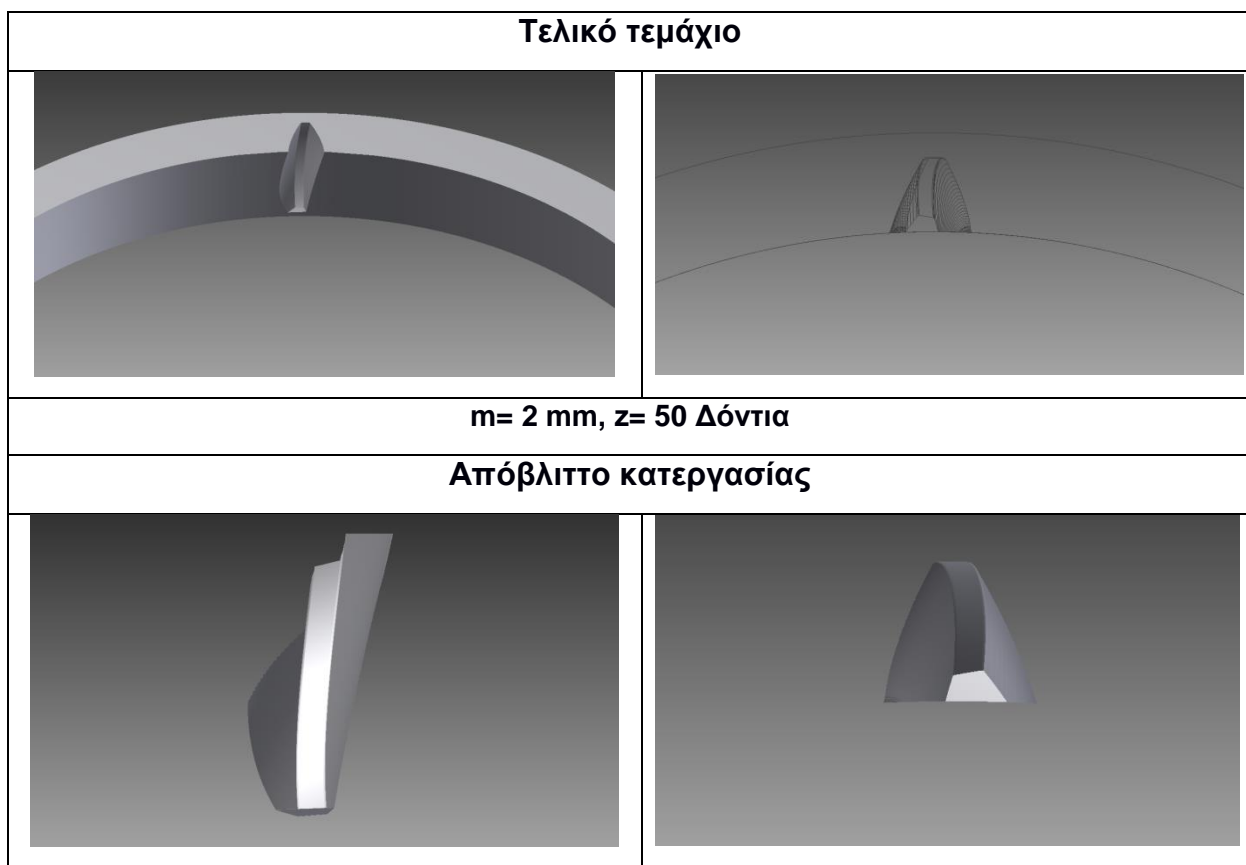
Προσομοίωση Νο3.	
Κοπτικό εργαλείο	
	
m= 0,5 mm, z= 20 Δόντια	
Τροχιά κοπτικού	
	
$\alpha = 20^\circ$	
Τελικό τεμάχιο	
	
m= 0,5 mm, z= 80 Δόντια	



Σχήμα 4.3 : Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης νούμερο 3, Module= 0,5mm .

Τα παραπάνω αποτελέσματα της προσομοίωσης νούμερο 3 συγκριτικά με εκείνα της προσομοίωσης νούμερο 1 διαφέρουν ως προς την μορφή του κοπτικού εργαλείου, αυτό προκύπτει λόγω του ότι η διάμετρος και η γεωμετρία του οδόντα του κοπτικού εργαλείου εξαρτάται άμεσα από το module της κατεργασίας καθώς και από τον αριθμό των δοντιών του κοπτικού. Διαφέρουν επίσης ως προς την γεωμετρία του αποβλίπτου άρα και ως προς την τελική γεωμετρία του οδοντωτού τροχού.





Σχήμα 4.4 : Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης νούμερο 5, Module= 2mm .

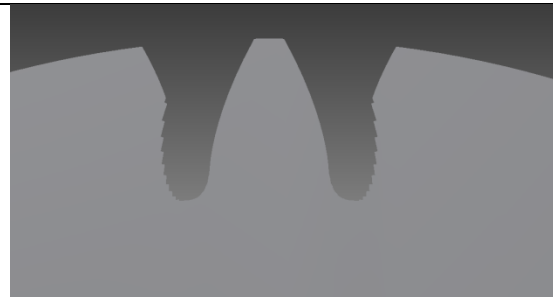
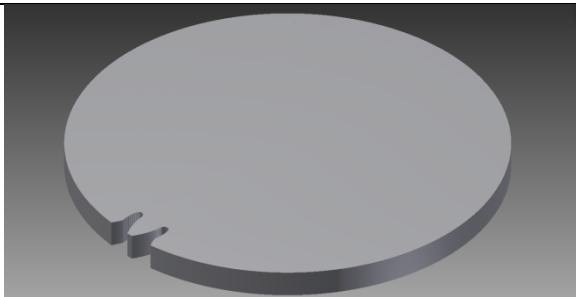
Παρατηρείται σε όλους τους παραπάνω πινάκες ότι η τροχιά της κοπτικής ακμής παρουσιάζει ένα ιδιαίτερα μεγάλο ύψος κοπής, αυτό οφείλεται στην γωνία 20 μοιρών που υπάρχει μεταξύ του κοπτικού εργαλείου και τεμαχίου προς κατεργασία, η γωνία αυτή είναι και η γωνία ελευθερίας της κοπής μας, δηλαδή επιτρέπει την ομαλή εξαγωγή του αποβλίττου από την περιοχή της κοπής.

4.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης εξωτερικής οδόντωσης.

Παρακάτω εμφανίζονται τα αποτελέσματα που αφορούν την δημιουργία εξωτερικών οδοντωτών τροχών. Υπάρχει μια κύρια διαφορά μεταξύ των δυο προσομοιώσεων εσωτερικής και εξωτερικής οδόντωσης, κατά την εξωτερική οδόντωση έχει επιλεγεί μεγαλύτερη μοναδιαία γωνία περιστροφής του κοπτικού άρα όπως θα φανεί και στα παρακάτω σχήματα υπάρχει μικρότερη ακρίβεια στην κοπή όσο αναφορά την εξωτερική οδόντωση.

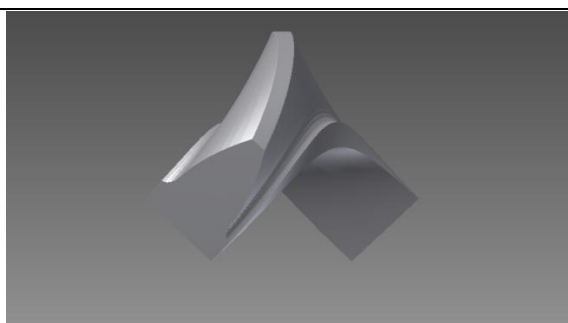
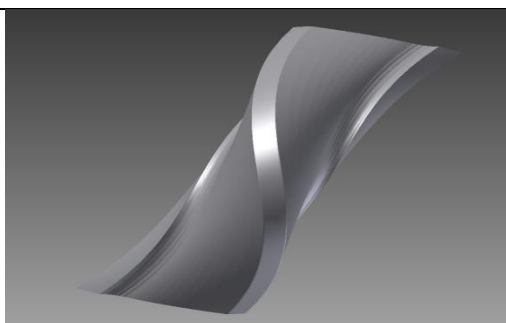
Προσομοίωση Νο2.

Κοπτικό εργαλείο



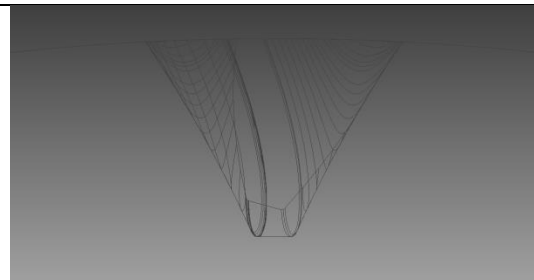
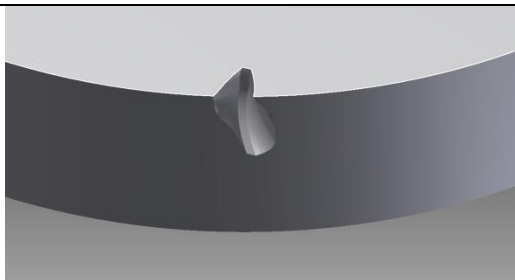
$m = 1 \text{ mm}$, $z = 30$ Δόντια

Τροχιά κοπτικού



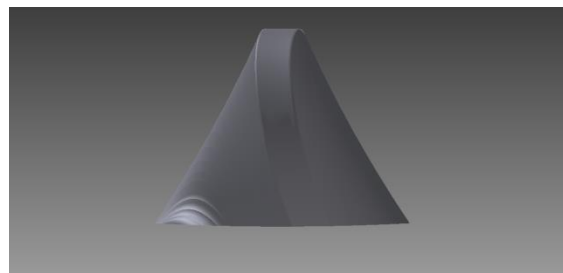
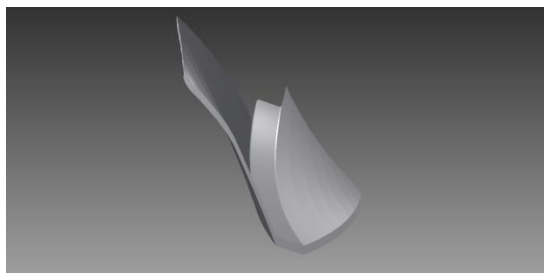
$\alpha = 20^\circ$

Τελικό τεμάχιο



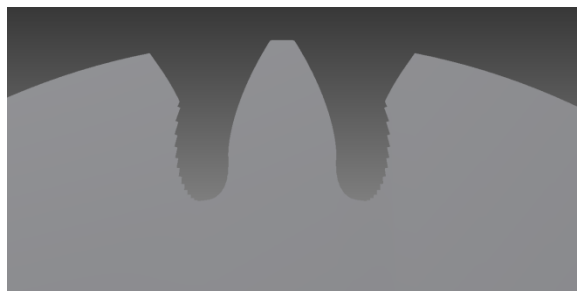
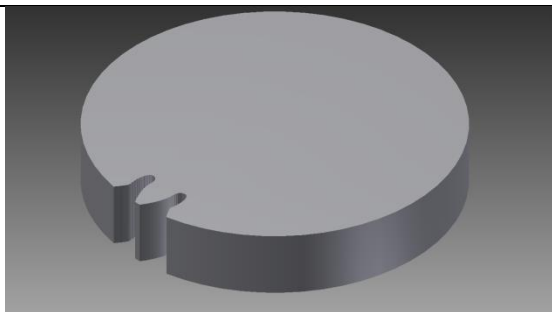
$m = 1 \text{ mm}$, $z = 60$ Δόντια

Απόβλιττο κατεργασίας



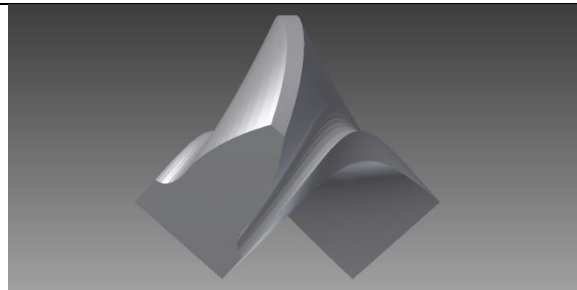
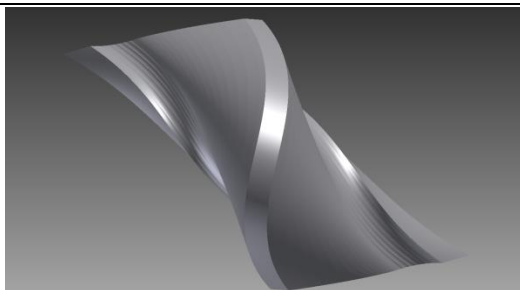
Προσομοίωση Νο4.

Κοπτικό εργαλείο



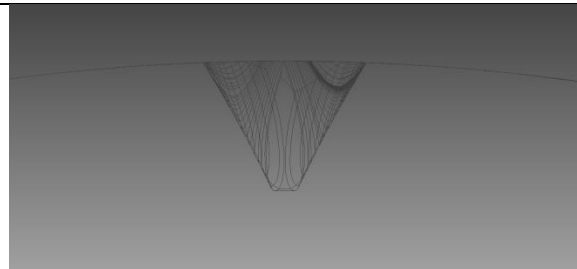
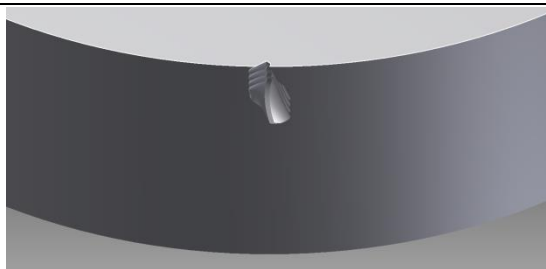
$m = 0,5 \text{ mm}$, $z = 20$ Δόντια

Τροχιά κοπτικού



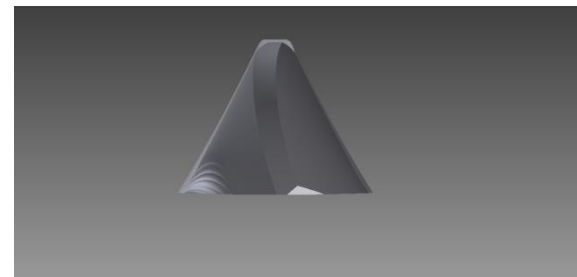
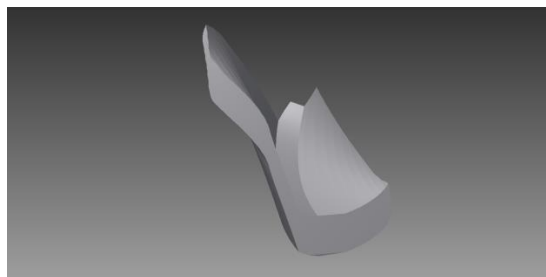
$\alpha = 20^\circ$

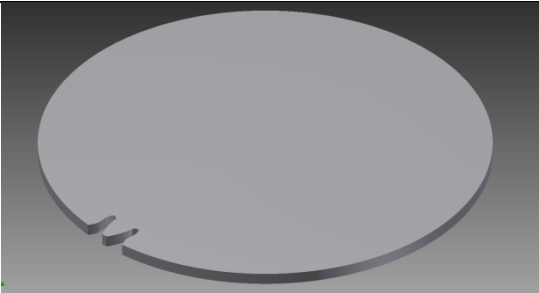
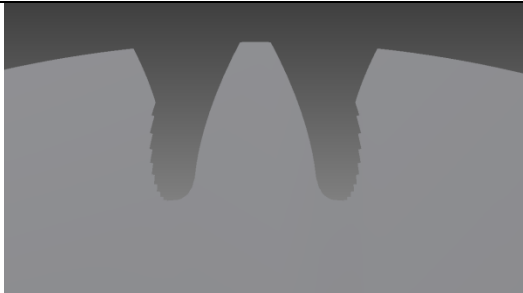
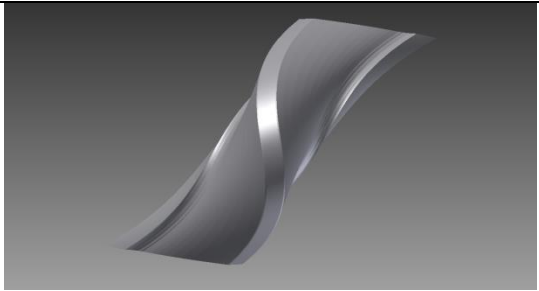
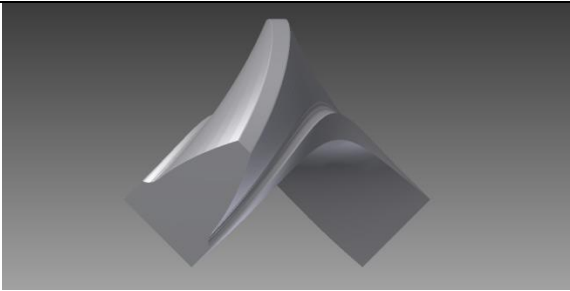
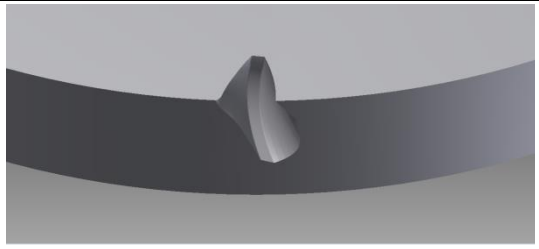
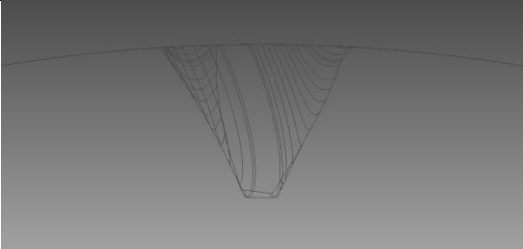
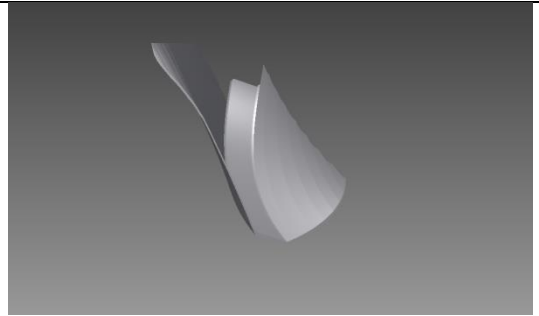
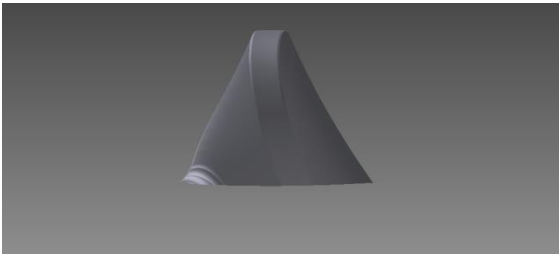
Τελικό τεμάχιο



$m = 0,5 \text{ mm}$, $z = 80$ Δόντια

Απόβλιπτο κατεργασίας



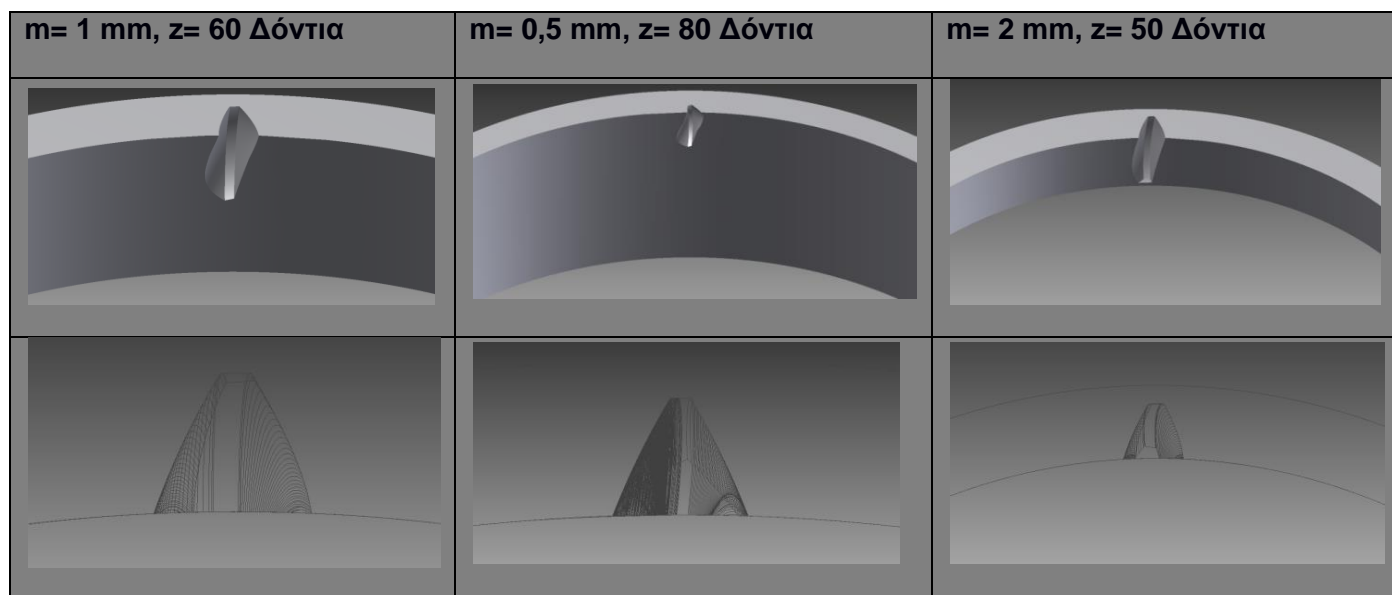
Προσομοίωση Νο6.	
Κοπτικό εργαλείο	
	
$m= 2\text{ mm}$, $z= 35$ Δόντια	
Τροχιά κοπτικού	
	
$\alpha= 20^\circ$	
Τελικό τεμάχιο	
	
$m= 2\text{ mm}$, $z= 50$ Δόντια	
Απόβλιττο κατεργασίας	
	

Σχήμα 4.5 : Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοιώσεων που αφορούν την κοπή εξωτερικών οδοντωτών τροχών .

Όπως παρατηρείται στους παραπάνω πινάκες που αφορούν και την εσωτερική και την εξωτερική οδόντωση τα κοπτικά εργαλεία ιδίου Module έχουν ίδια μορφή είτε πρόκειται να κόψουν εσωτερικό οδοντωτό τροχό είτε εξωτερικό.

4.3 Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα, Συσχετισμός αποβλίπτων-αυλάκωσης.

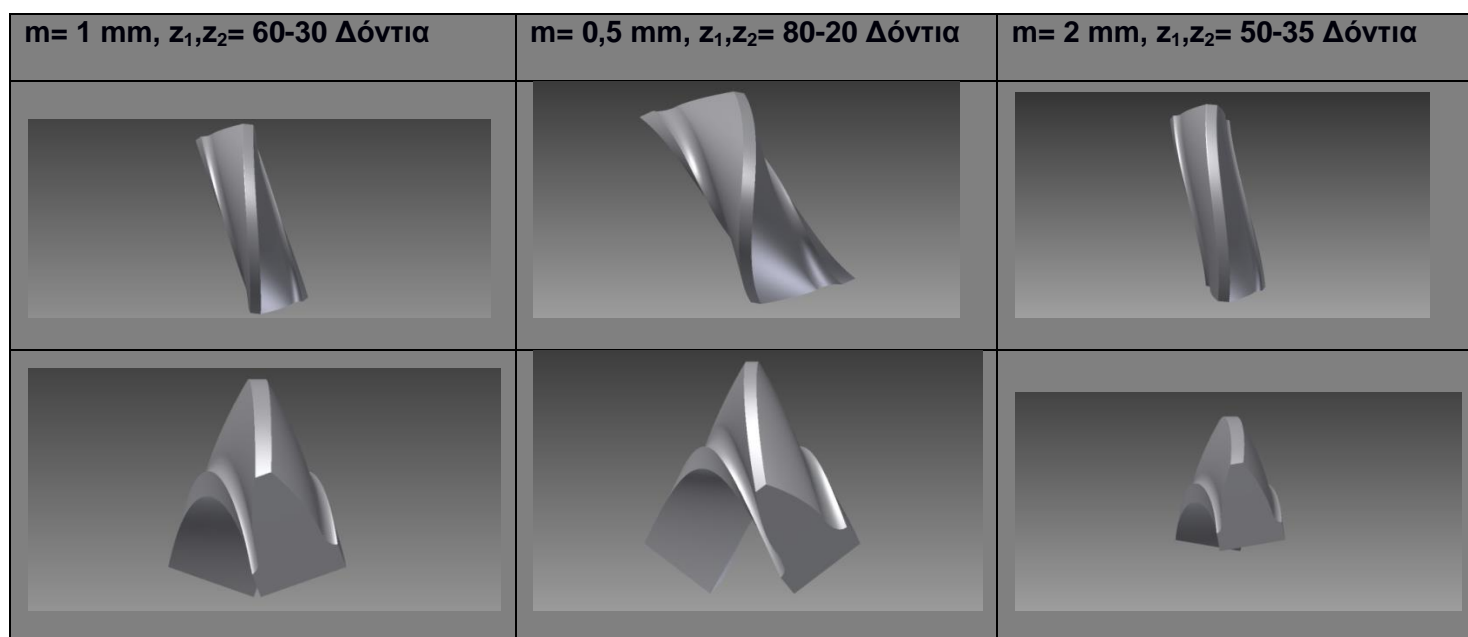
Σε αυτή την παράγραφο θα γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων όλων των επιλεγμένων προσομοιώσεων που πραγματοποιήθηκαν.



Σχήμα 4.6 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα όσο αναφορά το τελικό τεμάχιο εσωτερικής οδόντωσης.

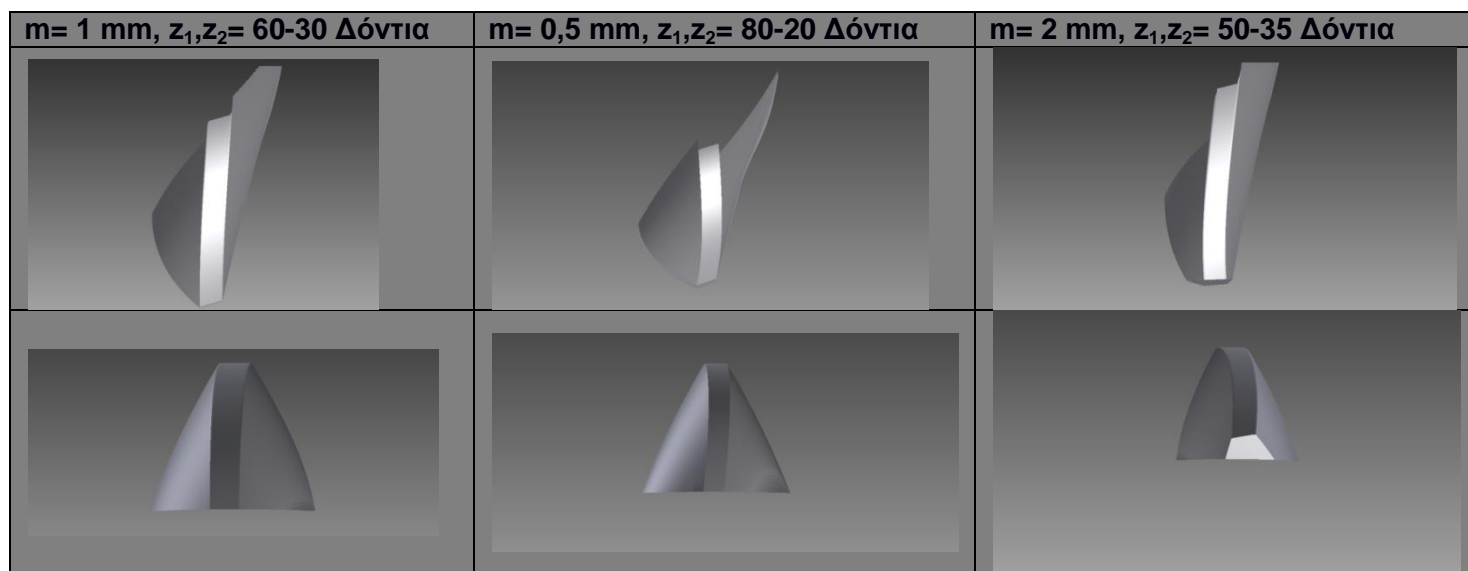
Όπως παρατηρείται στο παραπάνω σχήμα δεν υπάρχουν μεγάλες διαφορές αναλογικά στην γεωμετρία των αυλακώσεων της κάθε προσομοίωσης. Η διαφορά που προκύπτει είναι στο πλάτος του κατεργαζόμενου τεμαχίου καθώς σε όλες τις προσομοιώσεις έχει επιλεγεί ίδιο πλάτος τροχού 10 cm αλλά αλλάζει η διάμετρος του εκάστοτε τροχού καθώς εξαρτάται από τον αριθμό των δοντιών και από το Module $d_o = m * z$.

Επίσης μια συγκέντρωση των αποτελεσμάτων που αφορούν την τροχιά του κοπτικού σε κάθε προσομοίωση βοηθάει στην περαιτέρω κατανόηση του κώδικα και του τρόπου λειτουργίας του. Παρακάτω στον πίνακα παρουσιάζονται οι τροχιές σε όλες τις προσομοιώσεις που αφορούν την δημιουργία εσωτερική οδόντωση, όσο πιο μεγάλη η διάφορα στον αριθμό των δοντιών κοπτικού και τελικού τεμαχίου τόσο πιο διευρυμένη η τροχιά του κοπτικού μέσα στον τρισδιάστατο χώρο, για άλλη μια φορά παρατηρείται η ίδια αναλογικά μορφή της κατατομής του κοπτικού εργαλείου.



Σχήμα 4.7 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα όσο αναφορά την τελική τροχιά του κοπτικού εργαλείου στην εσωτερική οδόντωση.

Τέλος υπάρχει ο συγκεντρωτικός πίνακας των αποβλίπτων της εκάστοτε κοπής εσωτερικών τροχών. Τα αποτελέσματα είναι πολύ ενδιαφέροντα και θα σχολιαστούν εκτενώς μετά την παρουσίαση τους.

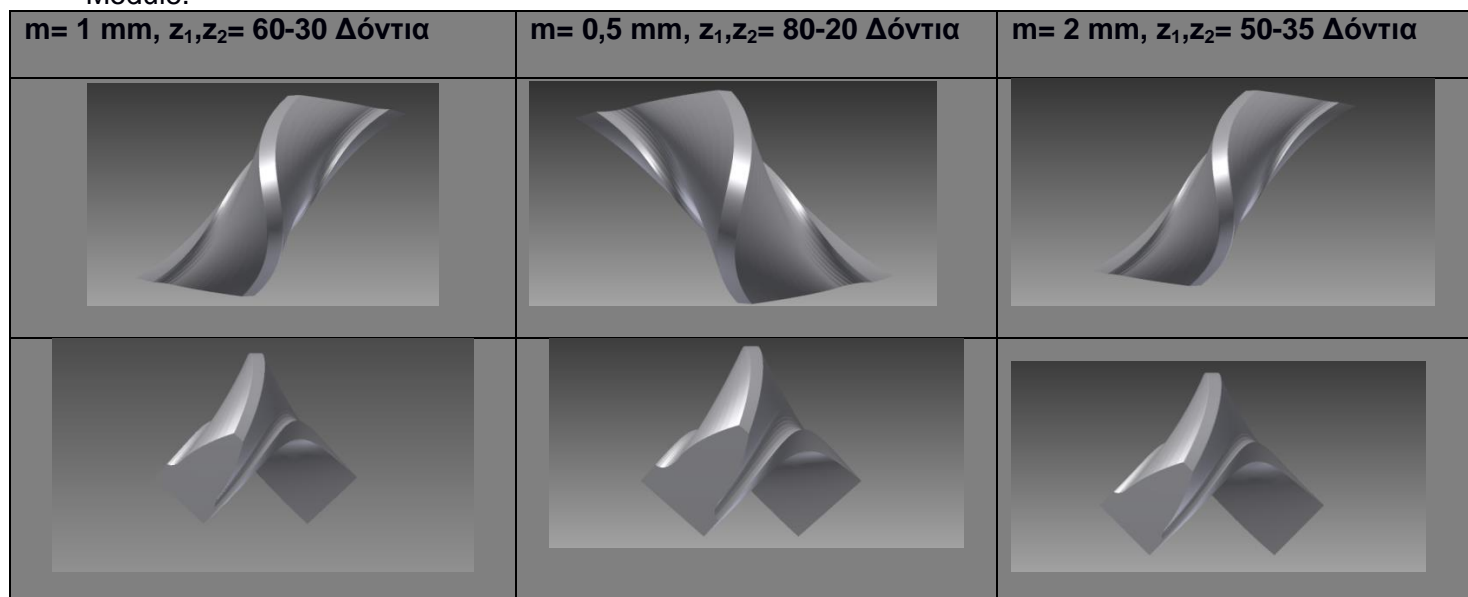


Σχήμα 4.8 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα όσο αναφορά τα απόβλιπτα στην εσωτερική οδόντωση.

Όπως παρατηρείται υπάρχουν σημαντικές διαφορές στην γεωμετρία κάθε αποβλίπτου. Οι κύριες διαφορές φαίνονται στο πλάτος του αποβλίπτου και κατά συνέπεια της αυλάκωσης του τροχού, στο σχήμα του και τέλος στο μήκος του, καθώς σε κάθε περίπτωση αλλάζει το μήκος της τροχιάς του κοπτικού. Άρα είναι εμφανές πόσο εξαρτάται η μορφή του αποβλίπτου από το

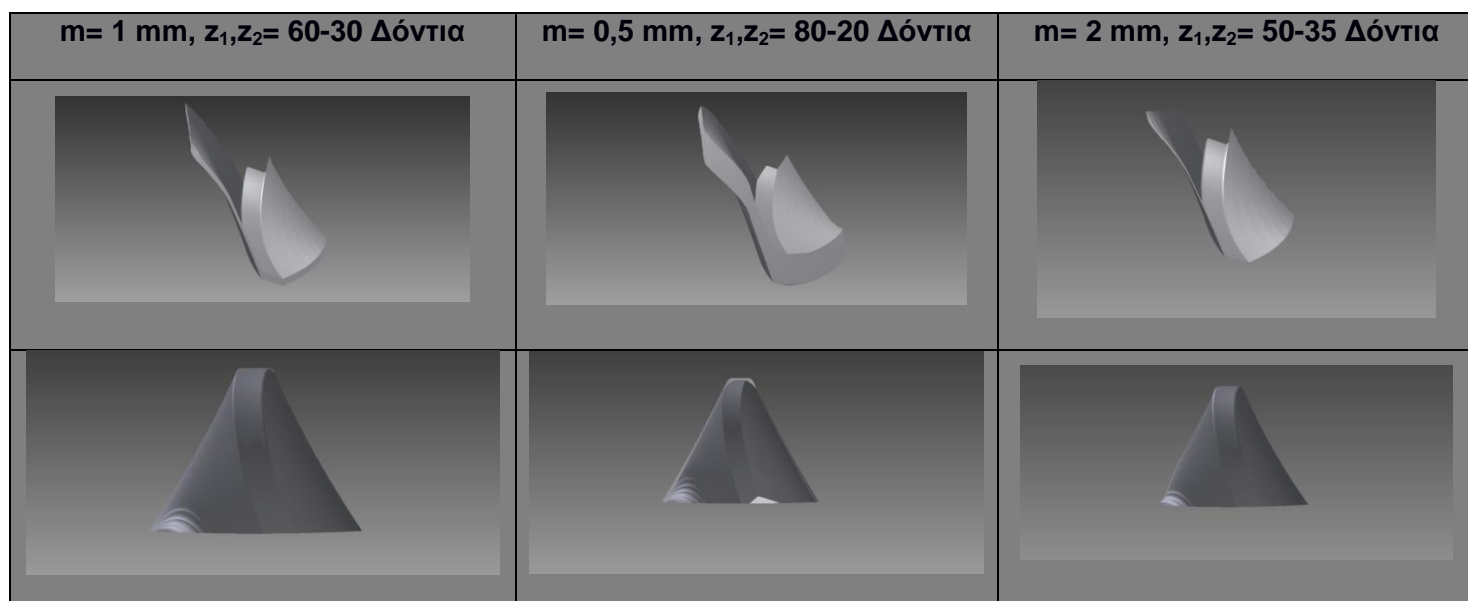
Module και από την διαφορά στον αριθμό των δοντιών του κοπτικού και του κατεργαζόμενου τεμαχίου.

Θα παρουσιαστούν και τα αποτελέσματα της εξωτερικής οδόντωσης, αλλά μόνο αυτά που αφορούν την τροχιά του κοπτικού και τα απόβλιττα της κατεργασίας, καθώς το κοπτικό εργαλείο είναι ίδιο και στις δύο διαδικασίες εσωτερικής και εξωτερικής οδόντωσης για κοινό Module.



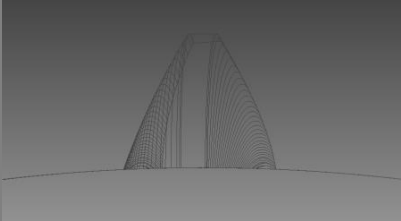
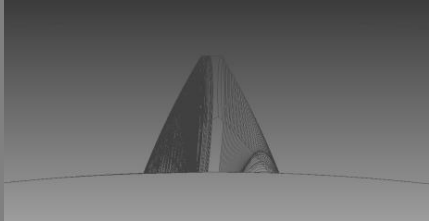
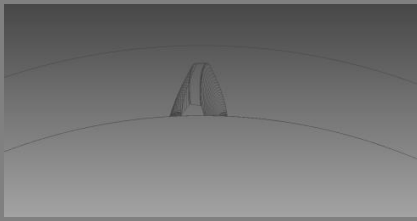
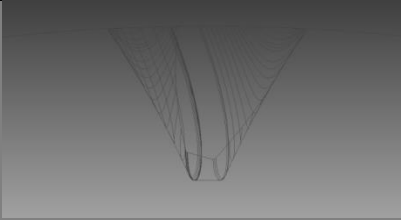
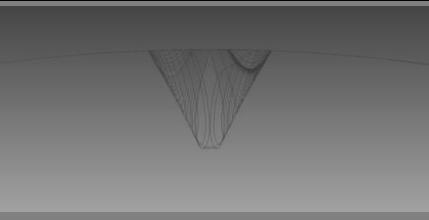
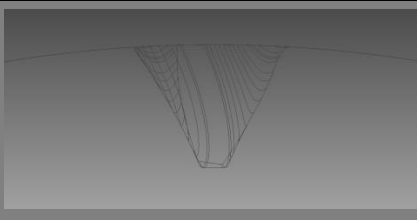
Σχήμα 4.9 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα όσο αναφορά την τελική τροχιά του κοπτικού εργαλείου στην εξωτερική οδόντωση.

Όπως φαίνεται από το παραπάνω Σχήμα 4.9 δεν υπάρχουν τόσο εμφανείς διαφορές ανάμεσα στις εκάστοτε τροχιές. Στην συνέχεια είναι η σειρά των αποβλίττων της κατεργασίας.



Σχήμα 4.10 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα όσο αναφορά τα απόβλιττα.

Τέλος για να φάνουν οι διαφορές ανάμεσα στους δυο κώδικες για την εσωτερική και την εξωτερική οδόντωση θα παρουσιαστούν συγκεντρωτικά αποτελέσματα για την μορφή της εσωτερικής και της εξωτερικής οδόντωσης.

	m= 1 mm, z₁,z₂= 60-30 Δόντια	m= 0,5 mm, z₁,z₂= 80-20 Δόντια	m= 2 mm, z₁,z₂= 50-35 Δόντια
Εσωτερική Οδόντωση			
Εξωτερική Οδόντωση			

Σχήμα 4.11 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα όσο αναφορά το τελικό αυλάκι της εσωτερικής και της εξωτερικής οδόντωσης.

5. ΣΥΝΟΨΗ- ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας ήταν η προσομοίωση της κοπής εσωτερικών και εξωτερικών οδοντώσεων με την μέθοδο της αποφλοίωσης με κύλιση. Η εν λόγω μέθοδος επιλέχθηκε ανάμεσα σε άλλες γνώστες μεθόδους για περεταίρω εξερεύνηση, γιατί είναι αρκετά ενδιαφέρουσα, έχει πολύ μεγάλη παραγωγικότητα στην δημιουργία εσωτερικών και εξωτερικών οδοντωτών τροχών. Παρουσιάζει ενδιαφέρουσα γεωμετρία κοπής καθώς συνδυάζει δυο πολύ γνώστες μεθόδους κοπής οδοντωτών τροχών, την μέθοδο φρεζαρίσματος με κύλιση και την μέθοδο πλάνισης με κύλιση. Για την προσομοίωση επιλέχθηκε το προγραμματιστικό περιβάλλον του προγράμματος τρισδιάστατης σχεδίασης Autodesk® Inventor® 2012. Ειδικότερα χρησιμοποιήθηκε ένα εργαλείο του προγράμματος σχεδίασης που επιτρέπει στον χρήστη με την χρήση της γλώσσας προγραμματισμού Visual Basic να δημιουργεί κατάλληλα σχέδια και επίπεδα στο τρισδιάστατο χώρο για την πραγματοποίηση της κοπής.

Συγκεκριμένα για να πραγματοποιηθεί η προσομοίωση αρχικά δημιουργείται, μέσω του προγραμματισμού σε Visual Basic , το κοπτικό εργαλείο κατά τυποποίηση **DIN 3972**. Για την δημιουργία του κοπτικού χρησιμοποιείται η μέθοδος της πλάνισης με οδοντωτό κανόνα. Με κατάλληλο κώδικα λαμβάνεται η κατατομή του κοπτικού εργαλείου και τοποθετείται στις κατάλληλες θέσεις στο χώρο για την δημιουργία της τελικής τροχιάς του κοπτικού. Στην συνέχεια δημιουργείται κατάλληλο κυλινδρικό τεμάχιο το οποίο θα επεξεργαστεί με την μέθοδο που μελετάμε, τέλος συναρμολογείται η τροχιά της κατατομής του κοπτικού με το κυλινδρικό τεμάχιο και προκύπτει ο τελικός οδοντωτός τροχός. Λόγω της πληθώρας των αποτελεσμάτων για τις λεπτομέρειες αυτών, δε μπορεί να δημιουργηθεί ένα ολοκληρωμένο τελικό τεμάχιο. Γι' αυτό το λόγο, στις παραπάνω προσομοιώσεις που επιλέχθηκαν, πραγματοποιήθηκαν το πολύ δυο συναρμολογήσεις της τροχιάς της κατατομής του κοπτικού με το τελικό τεμάχιο. Εξάλλου, η γεωμετρία του αποβλήτου της κοπής είναι πάντα η ίδια για το εκάστοτε module. Πραγματοποιήθηκαν έξι συνολικά προσομοιώσεις, τρεις για εσωτερική οδόντωση και τρεις για εξωτερική. Η επιλογή των προσομοιώσεων έγινε με βάσει γνωστά μοντέλα άλλων προγενέστερων ερευνητών. Τα αποτελέσματα ελέγχθηκαν με κατάλληλο κομμάτι κώδικα που δημιουργεί, με την βοήθεια της εξελιγμένης του κύκλου, κατάλληλες κατατομές τελικών τεμαχίων με βάση των αριθμό των δοντιών τους και το Module τους.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον, καθώς παρατηρούνται οι διαφορές ανάμεσα στην δημιουργία εσωτερικού και εξωτερικού οδοντωτού τροχού, στις εκάστοτε τροχιές των κοπτικών παρατηρούνται διαφορές στο πλάτος στο εύρος και στο ύψος κοπής. Κατά συνέπεια παρόμοιες διαφορές παρατηρούνται και στα απόβλιττα κάθε κοπής.

Στο μοντέλο μπορούν να πραγματοποιηθούν μελλοντικές επεκτάσεις που αφορούν την δημιουργία κώδικα για την κατασκευή πλαγίων οδοντώσεων, εσωτερικών ή εξωτερικών. Επίσης τα αποτελέσματα του προγράμματος που αφορούν τα απόβλιττα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μελλοντική εξερεύνηση των δυνάμεων που ασκούνται κατά την κοπή, αυτά τα δεδομένα μπορούν να προσδιορίσουν την διάρκεια ζωής του κοπτικού εργαλείου. Τέλος ως επέκταση του προγράμματος μπορεί να δημιουργηθεί κατάλληλο κομμάτι κώδικα για την κατασκευή εικονικού περιβάλλοντος εισαγωγής δεδομένων του χρήστη στο πρόγραμμα.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Αντωνιάδης Αριστομένης, Μηχανουργική Τεχνολογία Τόμος Β': Κατεργασίες Κοπής, 2010.

[2] Ταπόγλου Νικόλαος, Προσομοίωση οδοντώσεων με φραιζάρισμα με κύλιση και διερεύνηση των τεχνολογικών της παραμέτρων, Ph.D. Thesis, 2012.

[3] Kottisch E. Walzschalen Werkzeugauslegung und Spanungsgeometrie, Diplomarbeit, 1974.

[4] Jansen Wilfried, Leistungssteigerung und Verbesserung der Fertigungsgenauigkeit beim Walzschalen von Innenverzahnungen, Diplom- Ingenieur, 1980

[5] Pittler von, W. Verfahren zum Schneiden von Zahnrädern mittels eines zahnrad-artigen, an den Stirnflächen der Zähne mit Schneidkanten versehen-en Schneidwerkzeuges, Patent Application, Germany, 1910.

[6] Kreschel, J. "Gleason Power Skiving: Technology and Basics," Gleason Company Publication, Ludwigsburg, Germany, 2012.

[7] Ζουρέλλης Ανδρέας, Προσομοιοτικό Μοντέλο κοπής οδοντώσεων με πλάνιση με κύλιση, Διπλωματική εργασία, 2013

7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Option Explicit

Public opartdoc As PartDocument
Public opartcompdef As PartComponentDefinition
Public otransgeom As TransientGeometry
Public pi As Double

Type Din3972_Data
Width As Double
Teeth As Double
RD As Double
Presangle As Double
End Type

Type Tool_Data
Modul As Double
RT As Double
Teeth As Integer
Angle As Double
Proo As Double
Pos As Double
Width As Double
End Type

Type Gear_Data
RG As Double
Width As Double
Teeth As Double
Hole As Double
End Type

Type Simulation_Data
param As Double
d_phiD As Double


```
d_phi As Double
d_theta As Double
limit As Double
steps As Integer
h As Double
End Type
```

```
Public Din As Din3972_Data
Public Tool As Tool_Data
Public Gear As Gear_Data
Public Sim As Simulation_Data
```

```
Sub main()
Set opartdoc
=ThisApplication.Documents.Add(kPartDocumentObject, ThisApplication.FileManager.GetTemplateFile(kPartDocumentObject), True)
    Set opartcompdef = opartdoc.ComponentDefinition
    Set otransgeom = ThisApplication.TransientGeometry
```

```
Call Getdata
```

```
'Call Sketch_Profile_C(Tool.Modul, Tool.Teeth, DtoR(Din.Presangle), DtoR(10))
Call Profile2(opartcompdef.WorkPlanes.Item(3), 0, 1)
Call GearCr(Tool.Width, 0)
Call TrajectoryT
Call AssembleT
```

```
Call Sketchf
Call Trajectory
Call GearCr(Gear.Width, Gear.Hole)
Call Assemble(3)
```

```
End Sub
```

Public Function Sketchf()

Dim x1 As Double, x2 As Double
Dim y1 As Double

Dim oprofile1 As Profile
Dim wrpln As WorkPlane

Dim osketch1 As Sketch
Dim oSketch2 As Sketch

Dim opartdoc1 As PartDocument
Set opartdoc1 = ThisApplication.Documents.Open(setdir() & "Tools\Toolbl" & Sim.steps & ".ipt", True)
Dim opartcompdef1 As PartComponentDefinition
Set opartcompdef1 = opartdoc1.ComponentDefinition

'Set wrpln = opartcompdef1.WorkPlanes.AddByPlaneAndOffset(opartcompdef1.WorkPlanes.Item(3), Tool.Width + 1, False)
Set oSketch2 = opartcompdef1.Sketches.Add(opartcompdef1.WorkPlanes.Item(3))

$x1 = ((\text{Tool.Teeth} * \text{Tool.Modul} + 2.5 * \text{Tool.Modul}) / 2) + 0.1$
 $x2 = \text{Tool.RT} - (2 * \text{Tool.Modul})$
 $y1 = (\text{Tool.Modul} * \pi) / 2.5$

With otransgeom
Call oSketch2.SketchLines.AddAsTwoPointRectangle(.CreatePoint2d(x1, y1), .CreatePoint2d(x2, -y1))
End With

Set oprofile1 = oSketch2.Profiles.AddForSolid
Call opartcompdef1.Features.ExtrudeFeatures.AddByDistanceExtent(oprofile1, 5, kPositiveExtentDirection, kIntersectOperation)

```
'Project Cut Edges
Dim oPasteControlDef As ControlDefinition
Set osketch1 = opartcompdef1.Sketches.Add(opartcompdef1.WorkPlanes.AddByPlaneAndOffset(opartcompdef1.WorkPlanes.Item(3),
0.1))
osketch1.Edit
Set oPasteControlDef = ThisApplication.CommandManager.ControlDefinitions.Item("SketchProjectCutEdgesCmd")
oPasteControlDef.Execute
osketch1.ExitEdit
```

End Function

Public Function Profile(WP2D As WorkPlane) As Sketch

```
Dim opartdoc1 As PartDocument
Set opartdoc1 = ThisApplication.Documents.Open(setdir() & "Tools\Toolbl" & Sim.steps & ".ipt", True)
Dim opartcompdef1 As PartComponentDefinition
Set opartcompdef1 = opartdoc1.ComponentDefinition
Dim osketch1 As Sketch
Dim oSketch As Sketch
Set osketch1 = opartcompdef1.Sketches.Item(2)
Set oSketch = opartcompdef1.Sketches.Add(WP2D)

Call osketch1.CopyContentsTo(oSketch)
Set Profile = oSketch
```

End Function

```

Public Function GearCr(ex As Double, h As Double)
    ' Create a new part document, using the default part template.
    Dim opartdoc As PartDocument
    Set opartdoc = ThisApplication.Documents.Add(kPartDocumentObject,
ThisApplication.FileManager.GetTemplateFile(kPartDocumentObject), True)

    ' Set a reference to the component definition.
    Dim oCompDef As PartComponentDefinition
    Set oCompDef = opartdoc.ComponentDefinition

    ' Create a new sketch on the X-Y work plane.
    Dim oSketch As PlanarSketch
    Set oSketch = oCompDef.Sketches.Add(oCompDef.WorkPlanes.Item(3))

    ' Set a reference to the transient geometry object.
    Dim otransgeom As TransientGeometry
    Set otransgeom = ThisApplication.TransientGeometry

    Dim R As Double
    If h > 0 Then
        R = h + 3 * Tool.Modul
        ' Create a rectangle on the sketch.
        Call oSketch.SketchCircles.AddByCenterRadius(otransgeom.CreatePoint2d(0, 0), R)
        Call oSketch.SketchCircles.AddByCenterRadius(otransgeom.CreatePoint2d(0, 0), h)
    ElseIf h = 0 Then
        R = (Tool.Teeth * Tool.Modul + 2.5 * Tool.Modul) / 2
        Call oSketch.SketchCircles.AddByCenterRadius(otransgeom.CreatePoint2d(0, 0), R)
    End If

    ' Create the profile.
    Dim oprofile As Profile
    Set oprofile = oSketch.Profiles.AddForSolid

```

```

' Create an extrusion.
Call oCompDef.Features.ExtrudeFeatures.AddByDistanceExtent(oprofile, ex, kPositiveExtentDirection, kJoinOperation)
If h > 0 Then
    Call opartdoc.SaveAs(setdir() & "Gears\Gearbl-1.ipt", False)
Elseif h = 0 Then
    Call opartdoc.SaveAs(setdir() & "Tools\Toolbl" & -Sim.steps - 1 & ".ipt", False)
End If

```

End Function

Public Function Trajectory()

Dim oPnt As Point, oPnt1 As Point

Dim oWorkpnt As WorkPoint, oWorkpnt1 As WorkPoint

Dim oAxis As WorkAxis, oAxis1 As WorkAxis, oAxis2 As WorkAxis, oAxis3 As WorkAxis, oAxis4 As WorkAxis, oAxis5 As WorkAxis, oAxis6 As WorkAxis

Dim oWorkpln As WorkPlane, oWorkpln1 As WorkPlane, oWorkpln2 As WorkPlane, oWorkpln3 As WorkPlane, oWorkpln4 As WorkPlane, oWorkplnf As WorkPlane, oWorkpln5 As WorkPlane, oWorkplnfi As WorkPlane

Dim Sk As Sketch

Dim oCollection As ObjectCollection

Dim oprofile As Profile

Dim i As Double, tooth As Integer

Dim limit As Double

Dim steps As Double

Dim theta As Double, phi As Double

Dim x As Double, y As Double, z As Double

Dim R As Double

R = Gear.RG - Tool.RT

Set oCollection = ThisApplication.TransientObjects.CreateObjectCollection

For i = -Sim.steps To Sim.steps

 theta = (i * Sim.d_theta)

 phi = (i * Sim.d_phi)

 x = R * Cos(DtoR(theta))

 y = R * Sin(DtoR(theta))

 z = Tool.Proo * (DtoR(phi) / DtoR(360))

 Sim.h = Sim.h + z

 Set oPnt = otransgeom.CreatePoint(x, y, z)

 'Simeio1 opou vriskete to kentro tou koptikou'

 Set oWorkpnt = opartcompdef.WorkPoints.AddFixed(oPnt, False)

 'Epipedo0 upo gonias thita guro apo ton axona z'

Set oWorkpln = opartcompdef.WorkPlanes.AddByLinePlaneAndAngle(opartcompdef.WorkAxes.Item(3),
 opartcompdef.WorkPlanes.Item(1), DtoR(theta), False)
 'Epipedo1 parallilo sto Epipedo0 se apostasi R'
 Set oWorkpln1 = opartcompdef.WorkPlanes.AddByPlaneAndOffset(oWorkpln, R, False)
 'Epipedo2 parallilo sto epipedo xy se apostasi z'
 Set oWorkpln2 = opartcompdef.WorkPlanes.AddByPlaneAndOffset(opartcompdef.WorkPlanes.Item(3), z, False)
 'Axonas0 pou dimiourgite apo tin tomi ton epipedon 1-2'
 Set oAxis = opartcompdef.WorkAxes.AddByTwoPlanes(oWorkpln1, oWorkpln2, False)
 'Axonas1 kathetos ston axona0 sto shmeio1'
 Set oAxis1 = opartcompdef.WorkAxes.AddByNormalToSurface(oWorkpln1, oWorkpnt, False)
 'Epipedo3 upo gonias 20 moiron guro apo ton axona1, ekei topothetite to sketch tou dontiou'
 Set oWorkpln3 = opartcompdef.WorkPlanes.AddByLinePlaneAndAngle(oAxis1, oWorkpln2, DtoR(Tool.Angle), False)
 'Axonas2 kathetos sto Epipedo3 sto kentro tou koptikou'
 Set oAxis2 = opartcompdef.WorkAxes.AddByNormalToSurface(oWorkpln3, oWorkpnt, False)
 'Epipedo4 upo gonias fi guro apo azona2'
 Set oWorkpln4 = opartcompdef.WorkPlanes.AddByLinePlaneAndAngle(oAxis2, oWorkpln1, DtoR(-phi + 270), False)
 'Axonas4 kathetos ston axona3 sto simeio1'
 Set oAxis4 = opartcompdef.WorkAxes.AddByNormalToSurface(oWorkpln4, oWorkpnt, False)
 'Axonas3 apo tin tomi plane3 kai plane4'
 Set oAxis3 = opartcompdef.WorkAxes.AddByTwoPlanes(oWorkpln3, oWorkpln4, False)
 'Teliko epipedo opou topothetite to sketch tou koptikou'
 Set oWorkplnf = opartcompdef.WorkPlanes.AddByTwoLines(oAxis3, oAxis4, False)


```
Dim oWPD As WorkPlane
```

```
Set oWPD = opartcompdef.WorkPlanes.AddByLinePlaneAndAngle(oAxis3, oWorkplnf, DtoR(-Tool.Angle))
```

```
Set Sk = Profile(oWPD)
```

```
Set oprofile = Sk.Profiles.AddForSolid
```

```
Call oCollection.Add(oprofile)
```

```
Next
```

```
Dim oloftdef As LoftDefinition
```

```
Set oloftdef = opartcompdef.Features.LoftFeatures.CreateLoftDefinition(oCollection, kJoinOperation)
```

```
Dim olof As LoftFeature
```

```
Set olof = opartcompdef.Features.LoftFeatures.Add(oloftdef)
```

```
Call opartdoc.SaveAs(setdir() & "Traj\tooth.ipt", False)
```

```
End Function
```

```
Public Sub Assemble(metritis As Integer)
```

```
'-----> Inventor Objects <-----'
```

```
Dim oAsmDoc As AssemblyDocument
```

Dim oMatrix As Matrix

Dim oOcc1 As ComponentOccurrence

Dim oOcc2 As ComponentOccurrence

Dim opartdoc As PartDocument

Dim oPartPlane1 As WorkPlane

Dim oPartPlane2 As WorkPlane

Dim oAsmPlane1 As WorkPlaneProxy

Dim oAsmPlane2 As WorkPlaneProxy

Dim oDerivedAsmDef As DerivedAssemblyDefinition

Dim oDerivedP As DerivedAssemblyComponent

'-----> Counters <-----'

Dim Index() As Double, Angle1() As Double

Dim MaxInd As Integer

Dim i As Integer

Dim z As Double

$z = \text{Tool.Proo} / (\text{Gear.Teeth} / \text{Tool.Teeth})$

For i = 0 To metritis - 1

'-----> Create a new assembly file <-----'

Set oAsmDoc = ThisApplication.Documents.Add(kAssemblyDocumentObject, _
 ThisApplication.FileManager.GetTemplateFile(kAssemblyDocumentObject), True)

Set oMatrix = ThisApplication.TransientGeometry.CreateMatrix

'-----> Add Workpiece <-----'

Set oOcc1 = oAsmDoc.ComponentDefinition.Occurrences.Add(setdir() & "Gears\Gearbl" & i - 1 & ".ipt", oMatrix)
oOcc1.Name = "Workpiece"

'-----> Place the cut <-----'

Set oOcc2 = oAsmDoc.ComponentDefinition.Occurrences.Add(setdir() & "Traj\tooth.ipt", oMatrix)
oOcc2.Name = "Tooth"

Set oPartPlane1 = oOcc1.Definition.WorkPlanes.Item(3)

Set oPartPlane2 = oOcc2.Definition.WorkPlanes.Item(3)

Call oOcc1.CreateGeometryProxy(oPartPlane1, oAsmPlane1)

Call oOcc2.CreateGeometryProxy(oPartPlane2, oAsmPlane2)

' Create the constraint using the work plane proxies.

Call oAsmDoc.ComponentDefinition.Constraints.AddFlushConstraint(oAsmPlane1, oAsmPlane2, i * Tool.Proo * (Gear.Teeth / Tool.Teeth) - Sim.h)

Call oAsmDoc.SaveAs(setdir() & "ASML\Cut_ASM Pass " & i & ".iam", False)

oAsmDoc.Close

'-----> Derive Process For Chip!!!! <-----'

Set opartdoc = ThisApplication.Documents.Add(kPartDocumentObject,
ThisApplication.FileManager.GetTemplateFile(kPartDocumentObject), False)

'-----> Create a derived definition for the assembly <-----'

Set oDerivedAsmDef = opartdoc.ComponentDefinition.ReferenceComponents.DerivedAssemblyComponents.CreateDefinition(setdir()
& "ASML\Cut_ASM Pass " & i & ".iam")

oDerivedAsmDef.Occurrences.Item("Workpiece").InclusionOption = kDerivedIncludeAll

oDerivedAsmDef.Occurrences.Item("Tooth").InclusionOption = kDerivedIntersect

'-----> Create the derived assembly <-----'

Set oDerivedP = opartdoc.ComponentDefinition.ReferenceComponents.DerivedAssemblyComponents.Add(oDerivedAsmDef)

Call oDerivedP.BreakLinkToFile

'-----> Save and close the part <-----'

Call opartdoc.SaveAs(setdir() & "Chips\ChipS Pass " & i & ".ipt", False)

opartdoc.Close

'-----> Derive Process For Gap!!!! <-----'

Set opartdoc = ThisApplication.Documents.Add(kPartDocumentObject,
ThisApplication.FileManager.GetTemplateFile(kPartDocumentObject), False)

'-----> Create a derived definition for the assembly <-----'

Set oDerivedAsmDef = opartdoc.ComponentDefinition.ReferenceComponents.DerivedAssemblyComponents.CreateDefinition(setdir()
& "ASML\Cut_ASM Pass " & i & ".iam")

oDerivedAsmDef.Occurrences.Item("Workpiece").InclusionOption = kDerivedIncludeAll

oDerivedAsmDef.Occurrences.Item("Tooth").InclusionOption = kDerivedSubtractAll

'-----> Create the derived assembly <-----'

Set oDerivedP = opartdoc.ComponentDefinition.ReferenceComponents.DerivedAssemblyComponents.Add(oDerivedAsmDef)

Call oDerivedP.BreakLinkToFile

'-----> Save and close the part <-----'

Call opartdoc.SaveAs(setdir() & "Gears\Gearbl" & i & ".ipt", False)

```
'Call oPartDoc.SaveAs(SetDir() & "Workpiece Pass " & i & ".jpg", False)
```

```
opartdoc.Close
```

```
Next
```

```
' Set oPartDoc = ThisApplication.Documents.Open(SetDir() & "Gaps\Workpiece Pass " & i & ".ipt", True)
```

```
' Call oPartDoc.SaveAs(SetDir() & "Gaps\Workpiece Pass " & i & ".ipt", False)
```

```
' oPartDoc.Close
```

```
End Sub
```

```
Public Function Profile2(WP2D As WorkPlane, e As Double, center As Double) As Sketch
```

```
Dim olines(1 To 8) As SketchLine
```

```
Dim y1 As Double, y2 As Double
```

```
Dim x(1 To 4) As Double
```

```
Dim DEx As Double
```

```
Dim hw As Double, hkw As Double, sw As Double
```

```
Dim t0 As Double, r1 As Double, dist1 As Double
```

```
Dim skc As SketchArc, wp As WorkPoint, i As Integer
```

```
Dim otransgeom As TransientGeometry  
Set otransgeom = ThisApplication.TransientGeometry
```

```
Dim oSketch As Sketch  
Set oSketch = opartcompdef.Sketches.Add(WP2D)
```

```
hw = 2.5 * Tool.Modul  
hkw = 1.25 * Tool.Modul  
DEx = 0  
t0 = pi * Tool.Modul  
sw = t0 * 0.5  
r1 = 0.2 * Tool.Modul  
dist1 = Tan(DtoR(Din.Presangle)) * hkw
```

```
y1 = ((0.5 * DEx - hw) * center) + Tool.Modul * 1.25  
y2 = (((0.5 * DEx) * center) + (1 - center) * hw) + Tool.Modul * 1.25
```

```
x(1) = (e - 0.5 * (2 * hw * Tan(DtoR(Din.Presangle)) + sw - 2 * dist1)) * center
```


$x(2) = x(1) + hw * \tan(DtoR(Din.Presangle))$

$x(3) = x(2) + sw - 2 * dist1$

$x(4) = x(3) + hw * \tan(DtoR(Din.Presangle))$

With otransgeom

Set olines(1) = oSketch.SketchLines.AddByTwoPoints(.CreatePoint2d(x(1), y2), .CreatePoint2d(x(2), y1))

Set olines(2) = oSketch.SketchLines.AddByTwoPoints(olines(1).EndSketchPoint, .CreatePoint2d(x(3), y1))

Set olines(3) = oSketch.SketchLines.AddByTwoPoints(olines(2).EndSketchPoint, .CreatePoint2d(x(4), y2))

Set olines(4) = oSketch.SketchLines.AddByTwoPoints(olines(3).EndSketchPoint, .CreatePoint2d(x(4) + 0.3 * Tool.Modul, y2))

Set olines(5) = oSketch.SketchLines.AddByTwoPoints(olines(4).EndSketchPoint, .CreatePoint2d(x(4) + 0.3 * Tool.Modul, y1 - 0.3 * Tool.Modul))

Set olines(6) = oSketch.SketchLines.AddByTwoPoints(olines(5).EndSketchPoint, .CreatePoint2d(x(1) - 0.3 * Tool.Modul, y1 - 0.3 * Tool.Modul))

Set olines(7) = oSketch.SketchLines.AddByTwoPoints(olines(6).EndSketchPoint, .CreatePoint2d(x(1) - 0.3 * Tool.Modul, y2))

Set olines(8) = oSketch.SketchLines.AddByTwoPoints(olines(7).EndSketchPoint, olines(1).StartSketchPoint)

End With

Set skc = oSketch.SketchArcs.AddByFillet(olines(1), olines(2), r1, olines(1).StartSketchPoint.Geometry, olines(2).EndSketchPoint.Geometry)

Call oSketch.SketchArcs.AddByFillet(olines(2), olines(3), r1, olines(2).StartSketchPoint.Geometry, olines(3).EndSketchPoint.Geometry)

Call oSketch.SketchArcs.AddByFillet(olines(3), olines(4), r1, olines(3).StartSketchPoint.Geometry, olines(4).EndSketchPoint.Geometry)

Call oSketch.SketchArcs.AddByFillet(olines(8), olines(1), r1, olines(8).StartSketchPoint.Geometry, olines(1).EndSketchPoint.Geometry)

```
Set wp = opartcompdef.WorkPoints.AddByPoint(olines(1).StartSketchPoint, False)
Set wp = opartcompdef.WorkPoints.AddByPoint(olines(4).StartSketchPoint, False)
Set wp = opartcompdef.WorkPoints.AddByPoint(olines(1).EndSketchPoint, False)
```

```
Set Profile2 = oSketch
```

```
End Function
```

```
Public Function TrajectoryT()
```

```
Dim oPnt As Point
```

```
Dim oWorkpnt As WorkPoint
```

```
Dim oAxis As WorkAxis, oAxis1 As WorkAxis, oAxis2 As WorkAxis, oAxis3 As WorkAxis, oAxis4 As WorkAxis
```

```
Dim oWorkpln As WorkPlane, oWorkpln1 As WorkPlane, oWorkpln2 As WorkPlane, oWorkpln3 As WorkPlane, oWorkplnf As WorkPlane
```

```
Dim Sk As Sketch
```

```
Dim oProfileT As Profile
```

```
Dim i As Double, tooth As Integer
```

```
Dim limit As Double
```

Dim steps As Double

Dim phiD As Double, phi As Double

Dim x As Double, y As Double, z As Double, x1 As Double

Dim RT As Double

RT = Tool.RT

For i = -Sim.steps To Sim.steps

Set opartdoc = ThisApplication.Documents.Add(kPartDocumentObject,
ThisApplication.FileManager.GetTemplateFile(kPartDocumentObject), True)

Set opartcompdef = opartdoc.ComponentDefinition

Set otransgeom = ThisApplication.TransientGeometry

phi = (i * Sim.d_phi)

x = RT * Cos(DtoR(phi))

y = RT * Sin(DtoR(phi))

z = 0

x1 = (Tool.Teeth * Tool.Modul * DtoR(phi)) / 2

Set oPnt = otransgeom.CreatePoint(x, y, z)

'Simeio1 opou vriskete to kentro tou koptikou'

Set oWorkpnt = opartcompdef.WorkPoints.AddFixed(oPnt, False)

```

'Epipedo0 upo gonia phi guro apo ton axona z'
Set oWorkpln = opartcompdef.WorkPlanes.AddByLinePlaneAndAngle(opartcompdef.WorkAxes.Item(3),
opartcompdef.WorkPlanes.Item(1), DtoR(phi), False)
'Epipedo1 parallilo sto Epipedo0 se apostasi r'
Set oWorkpln1 = opartcompdef.WorkPlanes.AddByPlaneAndOffset(oWorkpln, RT, False)
'Epipedo2 parallilo sto epipedo xy se apostasi z'
Set oWorkpln2 = opartcompdef.WorkPlanes.AddByPlaneAndOffset(opartcompdef.WorkPlanes.Item(3), z, False)
'Axonas0 pou dimiourgite apo tin tomi ton epipedon 1-2'
Set oAxis = opartcompdef.WorkAxes.AddByTwoPlanes(oWorkpln2, oWorkpln1, False)
'Axonas1 kathetos ston axona0 sto shmeio1'
Set oAxis1 = opartcompdef.WorkAxes.AddByNormalToSurface(oWorkpln1, oWorkpnt, False)
'Teliko epipedo opou topothetite to sketch tou koptikou'
Set oWorkpln3 = opartcompdef.WorkPlanes.AddByTwoLines(oAxis, oAxis1, False)
Set oWorkplnf = opartcompdef.WorkPlanes.AddByLinePlaneAndAngle(oAxis, oWorkpln3, DtoR(180), False)
Set Sk = Profile2(oWorkplnf, -x1, 1)
Set oProfileT = Sk.Profiles.AddForSolid
Call opartcompdef.Features.ExtrudeFeatures.AddByDistanceExtent(oProfileT, Tool.Width, kPositiveExtentDirection, kJoinOperation)
Call opartdoc.SaveAs(setdir() & "Toolform\Din_3972 " & i & ".ipt", False)
opartdoc.Close
Next
End Function

```

Public Sub AssembleT()

'-----> Inventor Objects <-----'

Dim oAsmDoc As AssemblyDocument

Dim oMatrix As Matrix

Dim oOcc1 As ComponentOccurrence

Dim oOcc2 As ComponentOccurrence

Dim opartdoc As PartDocument

Dim oPartPlane1 As WorkPlane

Dim oPartPlane2 As WorkPlane

Dim oAsmPlane1 As WorkPlaneProxy

Dim oAsmPlane2 As WorkPlaneProxy

Dim oDerivedAsmDef As DerivedAssemblyDefinition

Dim oDerivedP As DerivedAssemblyComponent

'-----> Counters <-----'

Dim Index() As Double, Angle1() As Double

Dim MaxInd As Integer

Dim i As Integer

Dim thetaT As Double

Dim R As Double

Dim x As Double, y As Double

For i = -Sim.steps To Sim.steps

'-----> Create a new assembly file <-----'

Set oAsmDoc = ThisApplication.Documents.Add(kAssemblyDocumentObject, _

 ThisApplication.FileManager.GetTemplateFile(kAssemblyDocumentObject), True)

Set oMatrix = ThisApplication.TransientGeometry.CreateMatrix

'-----> Add Workpiece <-----'

Set oOcc1 = oAsmDoc.ComponentDefinition.Occurrences.Add(setdir() & "Tools\Toolbl" & i - 1 & ".ipt", oMatrix)

oOcc1.Name = "Workpiece"

'-----> Place the cut <-----'

Set oOcc2 = oAsmDoc.ComponentDefinition.Occurrences.Add(setdir() & "Toolform\Din_3972 " & i & ".ipt", oMatrix)

oOcc2.Name = "Tooth"

Call oAsmDoc.SaveAs(setdir() & "ASMLT\Cut_ASMT Pass " & i & ".iam", False)

oAsmDoc.Close

' -----> Derive Process For Chip!!!! <-----'

' Set oPartDoc = ThisApplication.Documents.Add(kPartDocumentObject,
ThisApplication.FileManager.GetTemplateFile(kPartDocumentObject), False)

'

' -----> Create a derived definition for the assembly <-----'

' Set oDerivedAsmDef =
oPartDoc.ComponentDefinition.ReferenceComponents.DerivedAssemblyComponents.CreateDefinition(setdir() & "ASMLT\Cut_ASMT Pass
" & i & ".iam")

' oDerivedAsmDef.Occurrences.Item("Workpiece").InclusionOption = kDerivedIncludeAll

' oDerivedAsmDef.Occurrences.Item("Tooth").InclusionOption = kDerivedIntersect

'

' -----> Create the derived assembly <-----'

' Set oDerivedP = oPartDoc.ComponentDefinition.ReferenceComponents.DerivedAssemblyComponents.Add(oDerivedAsmDef)

' Call oDerivedP.BreakLinkToFile

'

' -----> Save and close the part <-----'

' Call oPartDoc.SaveAs(setdir() & "Chips\ChipS Pass " & i & ".ipt", False)

' oPartDoc.Close

'

'-----> Derive Process For Gap!!!! <-----'

Set opartdoc = ThisApplication.Documents.Add(kPartDocumentObject,
ThisApplication.FileManager.GetTemplateFile(kPartDocumentObject), False)

'-----> Create a derived definition for the assembly <-----'

Set oDerivedAsmDef = opartdoc.ComponentDefinition.ReferenceComponents.DerivedAssemblyComponents.CreateDefinition(setdir()
& "ASMLT\Cut_ASMT Pass " & i & ".iam")

oDerivedAsmDef.Occurrences.Item("Workpiece").InclusionOption = kDerivedIncludeAll

oDerivedAsmDef.Occurrences.Item("Tooth").InclusionOption = kDerivedSubtractAll

'-----> Create the derived assembly <-----'

Set oDerivedP = opartdoc.ComponentDefinition.ReferenceComponents.DerivedAssemblyComponents.Add(oDerivedAsmDef)

Call oDerivedP.BreakLinkToFile

'-----> Save and close the part <-----'

Call opartdoc.SaveAs(setdir() & "Tools\Toolbl" & i & ".ipt", False)

'Call oPartDoc.SaveAs(SetDir() & "Workpiece Pass " & i & ".jpg", False)

opartdoc.Close

Next

' Set oPartDoc = ThisApplication.Documents.Open(SetDir() & "Gaps\Workpiece Pass " & i & ".ipt", True)

```
' Call oPartDoc.SaveAs(SetDir() & "Gaps\Workpiece Pass " & i & ".ipt", False)
```

```
' oPartDoc.Close
```

```
End Sub
```

```
Public Function Getdata()
```

```
pi = 3.14159265358979
```

```
Tool.Modul = 2
```

```
Tool.Teeth = 35
```

```
Tool.RT = (Tool.Modul * Tool.Teeth) / 2
```

```
Tool.Angle = 20
```

```
Tool.Proo = 0.008
```

```
Tool.Pos = 0.1
```

```
Tool.Width = 2
```

```
Din.Presangle = 20
```

```
Gear.Width = 10
```

```
Gear.Teeth = 50
```

$\text{Gear.RG} = (\text{Tool.Modul} * \text{Gear.Teeth}) / 2$

$\text{Gear.Hole} = \text{Gear.RG} - \text{Tool.Modul}$

$\text{Sim.d_phi} = 1$

$\text{Sim.d_theta} = \text{Sim.d_phi} * (\text{Tool.Teeth} / \text{Gear.Teeth})$

$\text{Sim.limit} = \text{Arccos}(\text{Tool.RT} / ((\text{Tool.Modul} * \text{Tool.Teeth} + 2.5 * \text{Tool.Modul}) / 2))$

$\text{Sim.steps} = \text{CInt}(2 * \text{DtoR}(\text{Sim.limit}) / \text{DtoR}(\text{Sim.d_phi}))$

$\text{Sim.h} = -1$

End Function

Public Function RtoD(radians As Double) As Double

$\pi = 4 * \text{Atn}(1)$

$\text{RtoD} = (\text{radians} * 180) / \pi$

End Function

Public Function DtoR(degrees As Double) As Double

$\pi = 4 * \text{Atn}(1)$

$\text{DtoR} = (\text{degrees} * \pi) / 180$

End Function

```
Public Function setdir() As String
```

```
setdir = "C:\tasks\Modul\" & Tool.Modul & "\"
```

```
End Function
```

```
'toxo synimitonou(Arccos)
```

```
Public Function Arccos(x As Double) As Double
```

```
If x = 0 Then
```

```
    Arccos = 90
```

```
Else
```

```
    Arccos = RtoD(Atn(-x / Sqr(-x * x + 1)) + 2 * Atn(1))
```

```
End If
```

```
End Function
```

```
Public Function SplinePoints_Rotation(x() As Double, theta As Double, ni As Integer, ByRef ret() As Double)
```

```
    Dim R() As Double
```

```
    Dim i As Integer
```

```
    Dim j As Integer
```

```
    Dim k As Integer
```

```
    ReDim R(2, 2)
```

```
    R(1, 1) = Cos((theta))
```

```
    R(1, 2) = -Sin((theta))
```

R(2, 1) = Sin((theta))

R(2, 2) = Cos((theta))

ReDim ret(2, ni)

For i = 1 To 2

For j = 1 To ni

ret(i, j) = 0

For k = 1 To 2

ret(i, j) = ret(i, j) + R(i, k) * x(k, j)

Next

Debug.Print (i & vbTab & j & vbTab & ret(i, j))

Next

Next

End Function

Public Function Profile3972(WP2D As WorkPlane, e As Double, center As Double) As Sketch

Dim oSketch As Sketch

Dim olines(1 To 4) As SketchLine

Dim y1 As Double, y2 As Double

Dim x(1 To 4) As Double

Dim DEx As Double

Dim hw As Double, hkw As Double, sw As Double

Dim t0 As Double, r1 As Double, dist1 As Double

Dim skc As SketchArc, wp As WorkPoint, i As Integer

Set oSketch = opartcompdef.Sketches.Add(WP2D)

DEx = (Tool.Modul * Tool.Teeth + 2.5 * Tool.Modul)

hw = 2.45 * Tool.Modul

hkw = 1.25 * Tool.Modul

t0 = pi * Tool.Modul

sw = t0 * 0.5

r1 = 0.2 * Tool.Modul

dist1 = Tan(DtoR(Tool.Presangle)) * hkw

y1 = (0.5 * DEx - hw) * center

y2 = ((0.5 * DEx) * center) + (1 - center) * hw

$x(1) = (e - 0.5 * (2 * hw * \tan(DtoR(Tool.Presangle)) + sw - 2 * dist1)) * center$

$x(2) = x(1) + hw * \tan(DtoR(Tool.Presangle))$

$x(3) = x(2) + sw - 2 * dist1$

$x(4) = x(3) + hw * \tan(DtoR(Tool.Presangle))$

With otransgeom

Set olines(1) = oSketch.SketchLines.AddByTwoPoints(.CreatePoint2d(x(1), y1), .CreatePoint2d(x(2), y2))

Set olines(2) = oSketch.SketchLines.AddByTwoPoints(olines(1).EndSketchPoint, .CreatePoint2d(x(3), y2))

Set olines(3) = oSketch.SketchLines.AddByTwoPoints(olines(2).EndSketchPoint, .CreatePoint2d(x(4), y1))

Set olines(4) = oSketch.SketchLines.AddByTwoPoints(olines(3).EndSketchPoint, olines(1).StartSketchPoint)

End With

Set skc = oSketch.SketchArcs.AddByFillet(olines(1), olines(2), r1, olines(1).StartSketchPoint.Geometry, olines(2).EndSketchPoint.Geometry)

Call oSketch.SketchArcs.AddByFillet(olines(2), olines(3), r1, olines(2).StartSketchPoint.Geometry, olines(3).EndSketchPoint.Geometry)

Set wp = opartcompdef.WorkPoints.AddByPoint(olines(1).StartSketchPoint, False)

Set wp = opartcompdef.WorkPoints.AddByPoint(olines(4).StartSketchPoint, False)

Set wp = opartcompdef.WorkPoints.AddByPoint(olines(1).EndSketchPoint, False)

Set Profile = oSketch

End Function