



Παρουσίαση Διπλωματικής Εργασίας

<http://www.m3.tuc.gr>


Dept. of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Ανδρέας Δ. Ζουρέλλης



Κατεργασίες κοπής οδοντώσεων

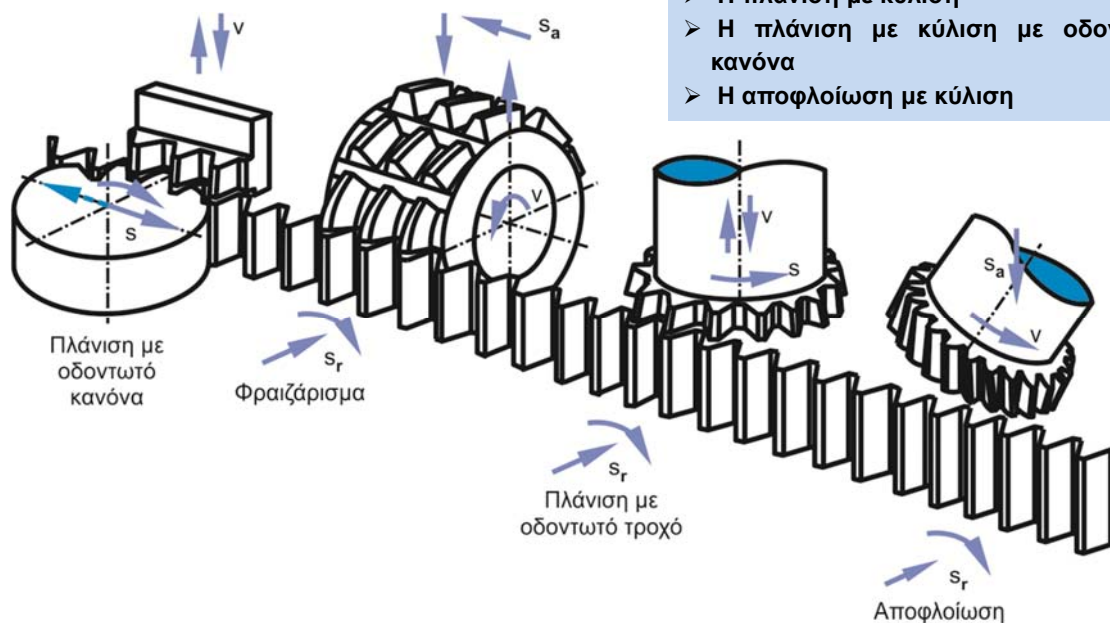
<http://www.m3.tuc.gr>


Dept. of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Ανδρέας Δ. Ζουρέλλης

Για την κατασκευή οδοντώσεων που λειτουργούν σε υψηλό αριθμό στροφών και με υψηλές ποιοτικές προδιαγραφές, χρησιμοποιούνται αποκλειστικά **κατεργασίες κοπής με κύλιση** όπως:

- Το φραιζάρισμα με κύλιση
- Η πλάνιση με κύλιση
- Η πλάνιση με κύλιση με οδοντωτό κανόνα
- Η αποφλοίωση με κύλιση



Το **Autodesk Inventor**® μας παρέχει τρισδιάστατη απεικόνιση:

- της τροχιάς του κοπτικού εργαλείου
- του οδοντωτού τροχού
- των αποβλίπτων της κατεργασίας
- της αυλάκωσης που παράγεται μετά από κάθε θέση κύλισης.



Μέσω της **VBA (Visual Basic for Applications)** δημιουργείται κώδικας για ανάλυση της κατατομής της κοπτικής ακμής και εξαγωγή αποτελεσμάτων.



Autodesk Inventor® - Visual Basic for Applications

<http://www.m3.tuc.gr>



Dept. of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

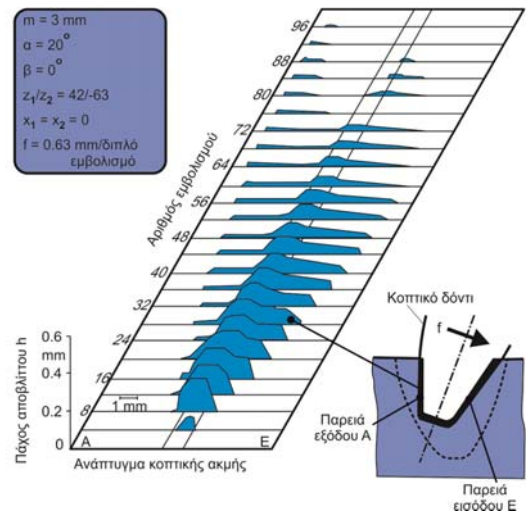
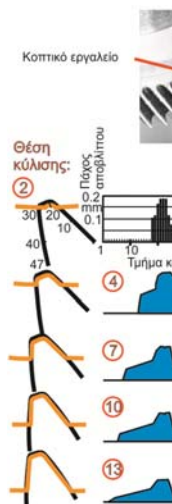
Ανδρέας Δ. Ζουρέλλης

Μοντέλο προσομοίωσης **Sulzer**:

Το 1973 ο Δρ. Gerd Sulzer του Πολυτεχνείου του Άαχεν ασχολήθηκε με προσομοιωτικά μοντέλα πλάνισης με κύλιση. Ο Sulzer μελέτησε :

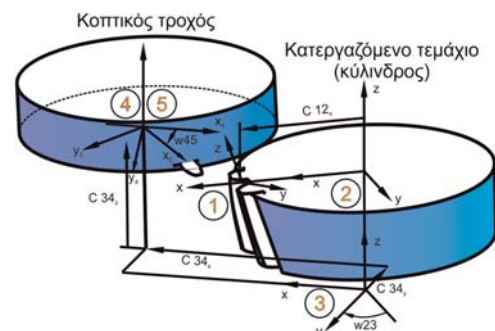
- τη φθορά του κοπτικού εργαλείου.
- την κινηματική αυτού.
- τα απόβλιττα που προκύπτουν .
- τις συγκρούσεις μεταξύ των υπο-αποβλίπτων.

Για την προσομοίωσή του ο Sulzer, διακριτοποίησε τον οδοντωτό τροχό σε ένα αριθμό επιπέδων παράλληλων προς τον άξονά του.



Μοντέλο προσομοίωσης **Μπουζάκης**:

Ο Μπουζάκης το 1976, έκανε μια επανάληψη όλων αυτών που μελέτησε ο Sulzer με τη διαφορά ότι εκείνος εστίασε περισσότερο στις **δυνάμεις** που αναπτύσσονται κατά τη κοπή. Μελέτησε τόσο τις δυνάμεις σε διαφορετικά συστήματα συντεταγμένων (κοπτικό εργαλείο, οδοντωτός τροχός), όσο και σε ένα ενιαίο σύστημα όπου και εξήγαγε τη συνισταμένη δύναμη της κατεργασίας.



Προγενέστερα μοντέλα προσομοίωσης

<http://www.m3.tuc.gr>



Dept. of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Ανδρέας Δ. Ζουρέλλης

Δομή κώδικα

Κύρια Συνάρτηση

- ✓Εισαγωγή δεδομένων
- ✓Σχεδιασμός κατατομής κοπτικής ακμής (**Sketch_Profile**)
- ✓Σχεδιασμός τροχιάς κοπτικού εργαλείου (**Sketch_Trajectory**)
- ✓Σχεδιασμός κατεργαζόμενου τροχού (**Create_GearBlank**)
- ✓Συναρμολόγηση (**Assembly_Cut_In**)
- ✓Υπολογισμός αποβλίπτων
- ✓Υπολογισμός αυλακώσεων
- ✓Εξαγωγή αρχείου δεδομένων (**Input_Data**)

Τέλος



Περιγραφή λογισμικού

<http://www.m3.tuc.gr>

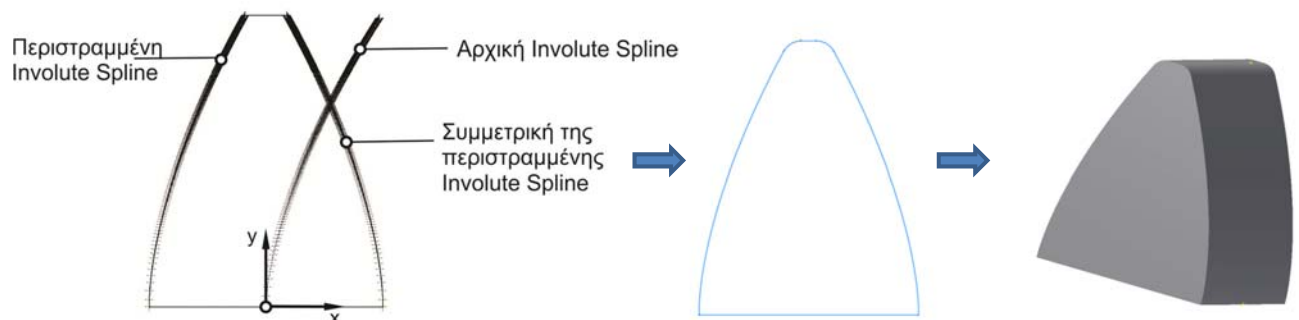


Dept. of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Ανδρέας Δ. Ζουρέλλης

Η μελέτη της εξελεγμένης του κύκλου είναι απαραίτητη για το σχεδιασμό των εκατέρωθεν παρειών του κάθε δοντιού του τροχού. Η χρήση της εξελεγμένης του κύκλου στο σχεδιασμό της κατατομής προσδιορίζεται από το πρότυπο **DIN 3972 II**. Τα βήματα που ακολουθούνται είναι:

- ✓ Δημιουργία ενός συνόλου σημείων που υπακούουν στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της εξελεγμένης του κύκλου (Involute Spline).
- ✓ Περιστροφή των σημείων Involute Spline .
- ✓ Δημιουργία συνόλου σημείων συμμετρικών προς τα ήδη περιστραμμένα.
- ✓ Ένωση των σημείων στις δύο συμμετρικές Splines.
- ✓ Σχεδιασμός συνολικού περιγράμματος της κοπτικής ακμής.
- ✓ Δημιουργία και παρουσίαση στερεής κοπτικής ακμής.



Συνάρτηση σχεδιασμού κοπτικής ακμής

<http://www.m3.tuc.gr>

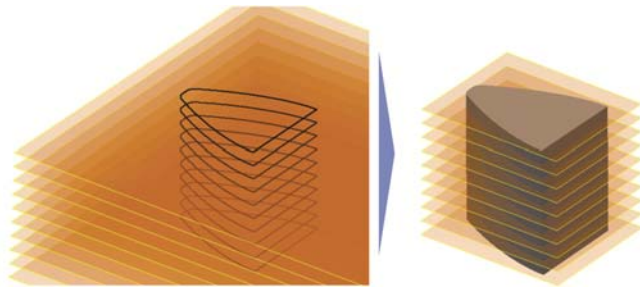
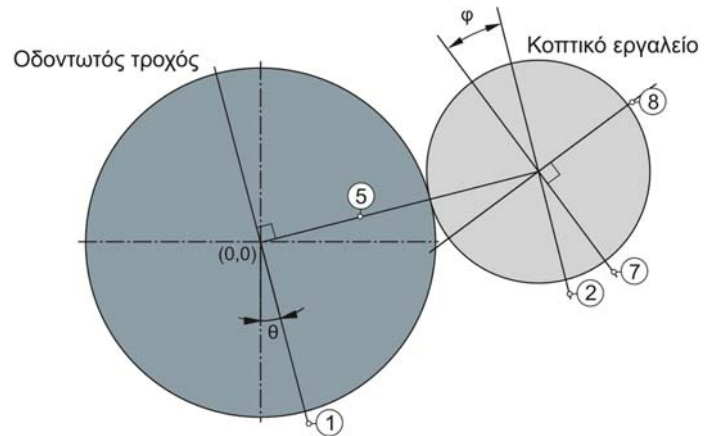


Dept. of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Ανδρέας Δ. Ζουρέλλης

Διαδικασία ορισμού τελικού WorkPlane

Σε αυτό το στάδιο της διαδικασίας πρέπει να τοποθετηθεί το περίγραμμα της κατατομής που περιγράφηκε προηγουμένως σε παράλληλα επίπεδα στο χώρο τα οποία ισαπέχουν μεταξύ τους και η απόσταση μεταξύ του πρώτου και του τελευταίου να είναι κατ' ελάχιστο ίση με το πάχος του οδοντωτού τροχού που θα κατασκευαστεί. Δημιουργούνται **επίπεδα**, **άξονες** και **σημεία** εργασίας τα οποία σε συνδυασμό με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των κύκλων που ορίζουν το κοπτικό εργαλείο και τον οδοντωτό τροχό, μας δίνουν ένα τελικό επίπεδο, όπου και θα τοποθετηθεί η τελική κατατομή.



Δημιουργία τελικής τροχιάς

Μετά από έναν επαναληπτικό βρόγχο θα κατασκευαστούν παράλληλα επίπεδα προς το τελικό, τα οποία θα φέρουν και αυτά το ίδιο περίγραμμα, έτσι ώστε με την κατάλληλη εντολή **Loft** να κατασκευάζεται ένα συνεχές στερεό το οποίο περιγράφει την κίνηση ενός δοντιού στη συγκεκριμένη θέση κύλισης.



Συνάρτηση σχεδιασμού τροχιάς κοπτικής ακμής

<http://www.m3.tuc.gr>



Dept. of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

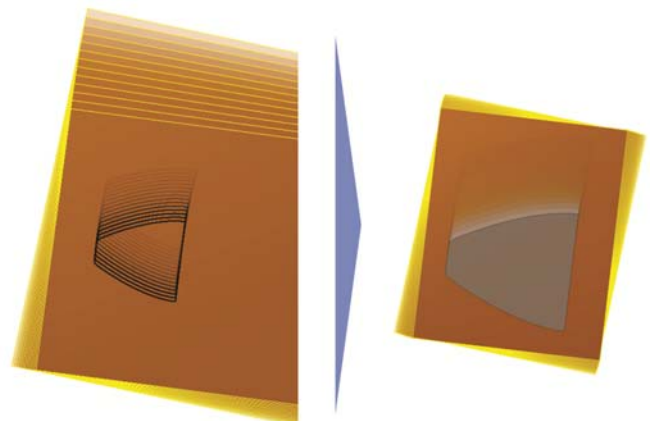
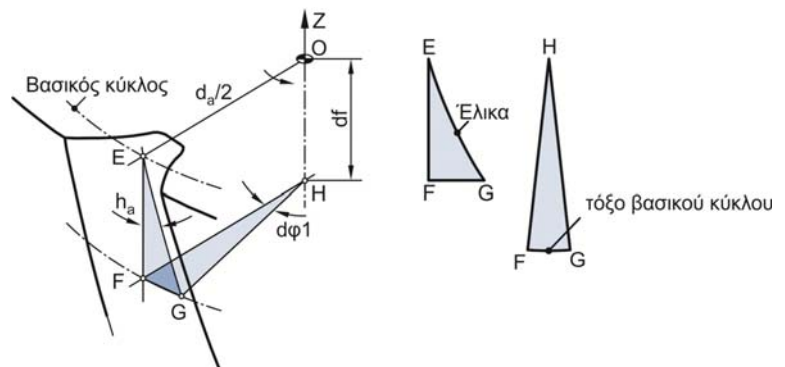
Ανδρέας Δ. Ζουρέλλης

Στην κατεργασία οδοντωτών τροχών ελικοειδούς οδόντωσης θα πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν και η μεταβλητή **d_{helix}** η οποία υπολογίζει το βήμα με το οποίο θα στρέφεται κάθε φορά το νέο επίπεδο τοποθέτησης της κατατομής του δοντιού. Ο τύπος υπολογισμού της είναι:

$$d_{helix} = 2 \cdot \text{atan} (df \cdot \sin(ha) / m \cdot z)$$

Κάνοντας τη θεώρηση ότι ο οδοντωτός τροχός παραμένει ακίνητος κατά την κατεργασία και περιστρέφεται μόνο το κοπτικό εργαλείο, η γωνία περιστροφής του θα είναι:

$$\varphi = \theta \cdot (z_2 / z_1) - d_{helix}$$



Συνάρτηση σχεδιασμού τροχιάς δοντιού στην πλάγια οδόντωση

<http://www.m3.tuc.gr>



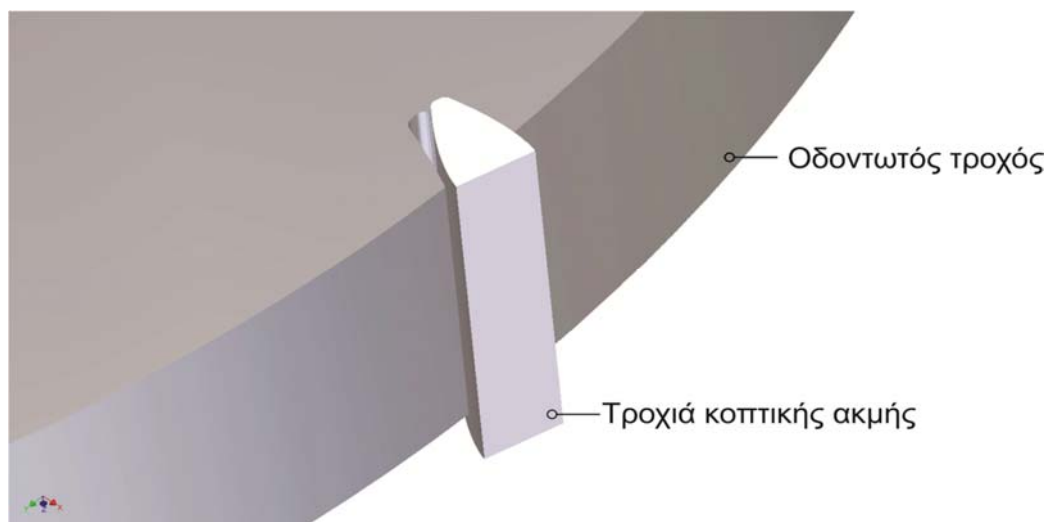
Dept. of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Ανδρέας Δ. Ζουρέλλης

Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει τρία βήματα τα οποία επαναλαμβάνονται για όλα τα δόντια τα οποία συμμετέχουν στην κοπή:

- ✓ η συναρμολόγηση της τροχιάς με τον οδοντωτό τροχό που παράχθηκε.
- ✓ η δημιουργία της γεωμετρίας του απαραμόρφωτου αποβλίττου.
- ✓ η δημιουργία της γεωμετρίας του οδοντωτού τροχού μετά από αυτό το βήμα.

Για τη συναρμολόγηση των δύο τεμαχίων, απαιτείται η σωστή τοποθέτησή τους.



Διαδικασία συναρμολόγησης

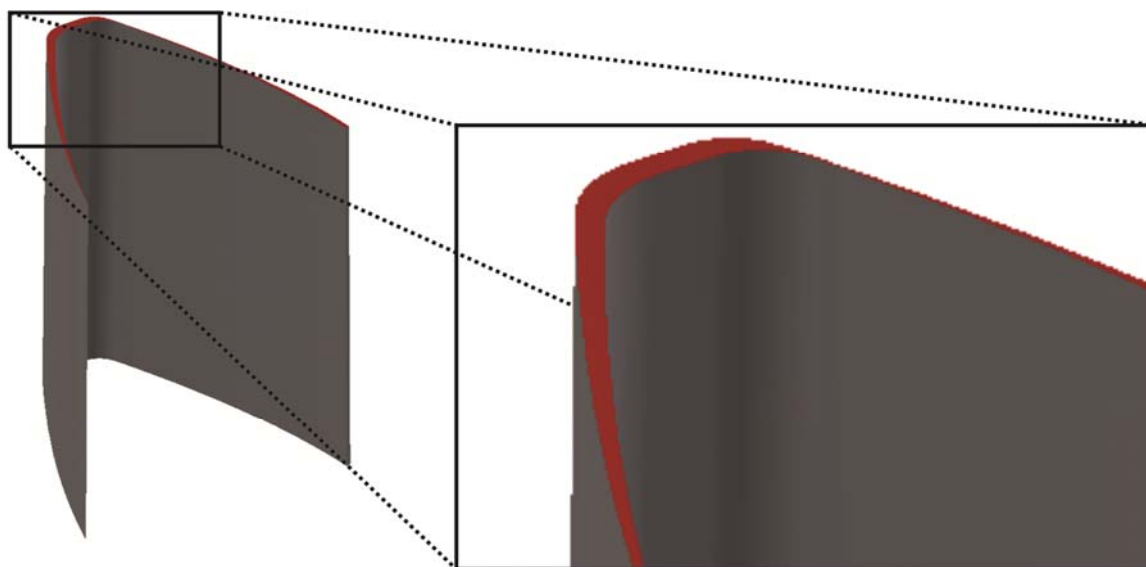
<http://www.m3.tuc.gr>



Dept. of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Ανδρέας Δ. Ζουρέλλης

Παρουσίαση τρισδιάστατου αποβλίττου ευθύγραμμης οδόντωσης



$m=3.629\text{mm}$, $\alpha=22.5^\circ$, $z_1/z_2=32/50$, $\beta=0^\circ$, $s=0.92\text{mm/DH}$



Εξαγόμενα αποτελέσματα από τη συναρμολόγηση

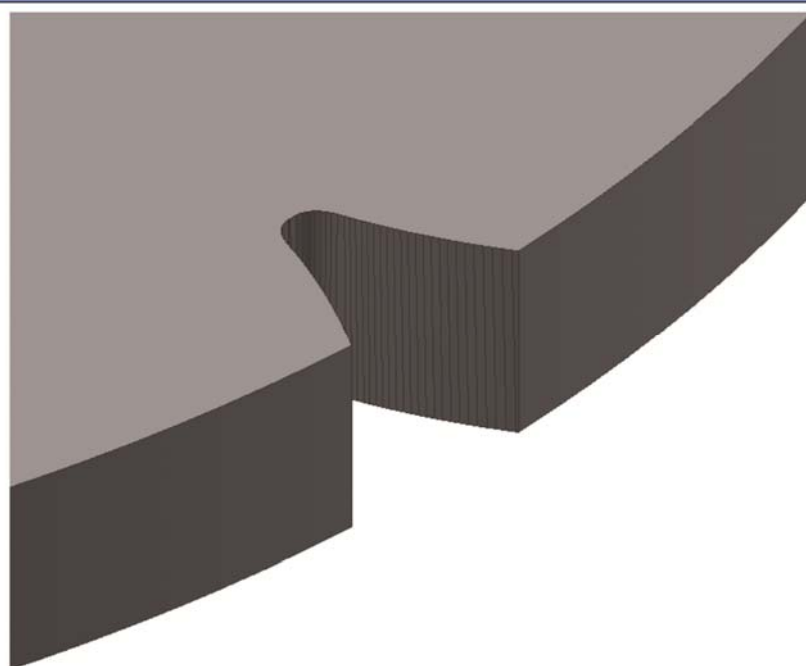
<http://www.m3.tuc.gr>



Dept. of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Ανδρέας Δ. Ζουρέλλης

Παρουσίαση τρισδιάστατης αυλακώσεως



$$m=3.629\text{mm}, \alpha=22.5^\circ, z_1/z_2=32/50, \beta=0^\circ, s=0.92\text{mm/DH}$$



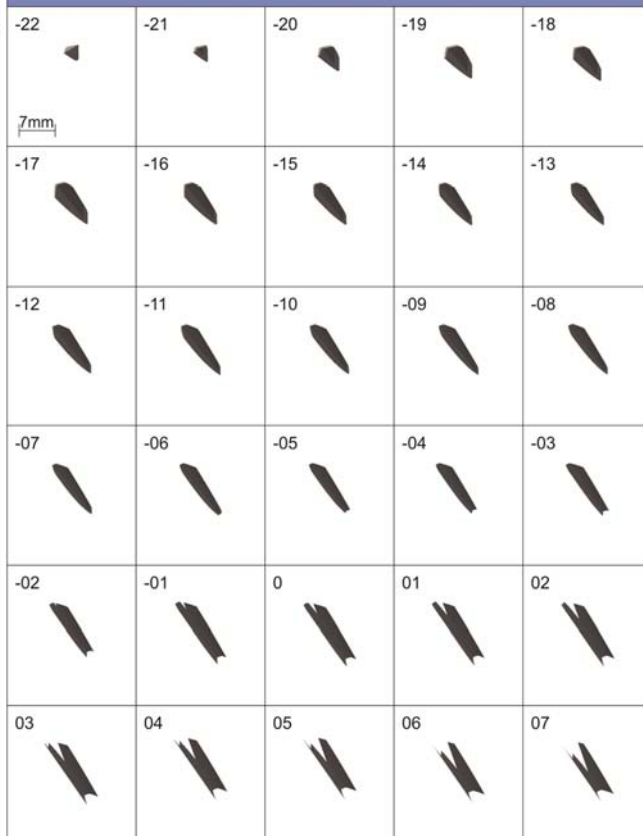
Εξαγόμενα αποτελέσματα από τη συναρμολόγηση

<http://www.m3.tuc.gr>

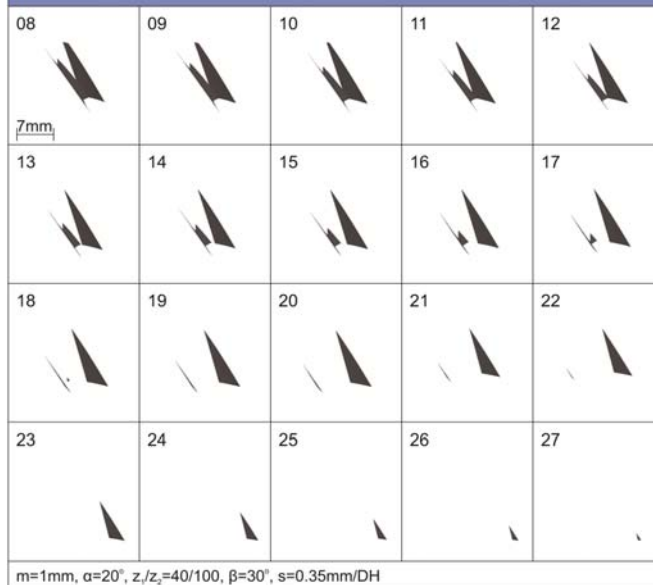

Dept. of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Ανδρέας Δ. Ζουρέλλης

Γεωμετρία Στερεών Αποβλήτων Ελικοειδούς Οδόντωσης



Γεωμετρία Στερεών Αποβλήτων Ελικοειδούς Οδόντωσης



$$m=1\text{mm}, \alpha=20^\circ, z_1/z_2=40/100, \beta=30^\circ, s=0.35\text{mm/DH}$$

Παρατηρείται ότι η κοπή ξεκινά στη θέση κύλισης **-22**, με την κεφαλή της κοπτικής ακμής να είναι η πρώτη που έρχεται σε επαφή με το υπό επεξεργασία τεμάχιο. Από την ακριβώς επόμενη θέση κύλισης λαμβάνει μέρος στην κοπή και η εισερχόμενη (αριστερή) παρειά του κοπτικού. Στη θέση κύλισης **13** όπου το απόβλιττο χωρίζεται σε δύο επιμέρους υποαπόβλιττα. Επίσης γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι όσο προχωράει η κατεργασία η συμμετοχή της εισερχόμενης παρειάς μειώνεται και αυτή της εξερχόμενης αυξάνεται. Η κατεργασία ολοκληρώνεται με τη θέση κύλισης **27**.



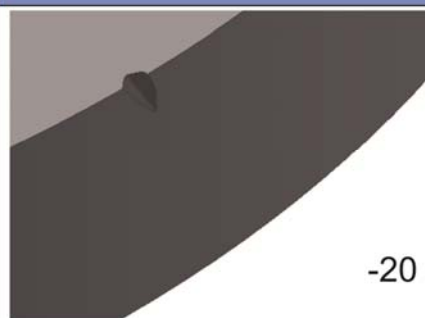
Παρουσίαση αποβλήτων προσομοίωσης

<http://www.m3.tuc.gr>

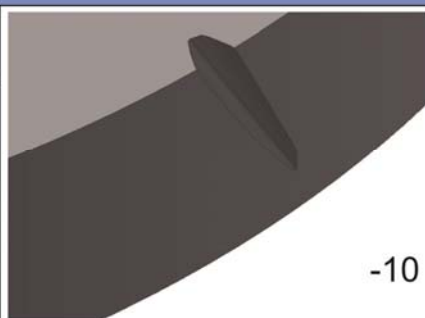

Dept. of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Ανδρέας Δ. Ζουρέλλης

Γεωμετρία αυλακώσεως οδοντωτού τροχού



-20



-10



58

$m=1\text{mm}$, $\alpha=20^\circ$, $z_1/z_2=40/100$, $\beta=30^\circ$, $s=0.35\text{mm/DH}$

Στη θέση κύλισης **-20** το κοπτικό εργαλείο βρίσκεται στις πρώτες θέσεις κύλισής του και έχει κόψει ένα πολύ μικρό κομμάτι από τον οδοντωτό τροχό. Όσο προχωράει η διαδικασία της κατεργασίας βλέπουμε ότι το αυλάκι ολοένα και μεγαλώνει όπως φαίνεται στη θέση κύλισης **-10**. Η αυλάκωση έχει πάρει την πλήρη μορφή της στη θέση κύλισης **58**.

2013



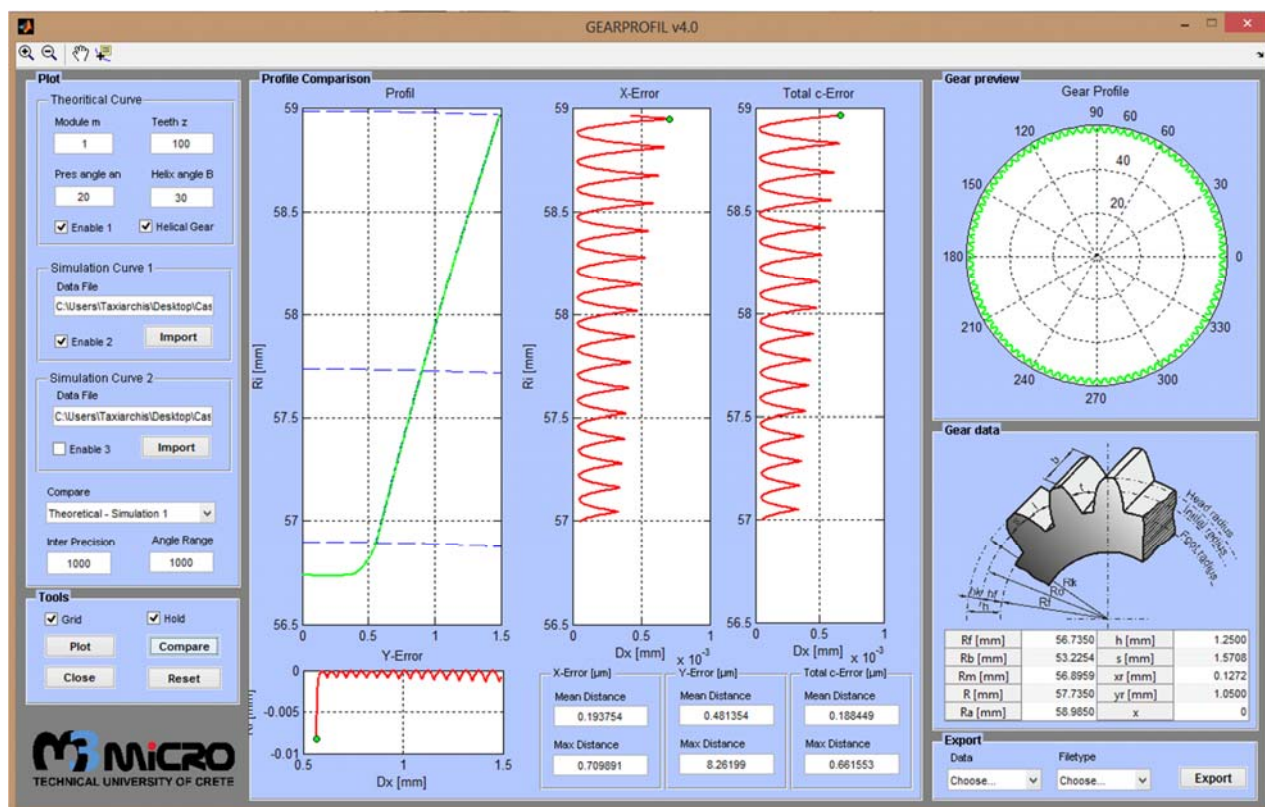
Παρουσίαση αυλακώσεων προσομοίωσης

<http://www.m3.tuc.gr>



Dept. of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Ανδρέας Δ. Ζουρέλλης



2013



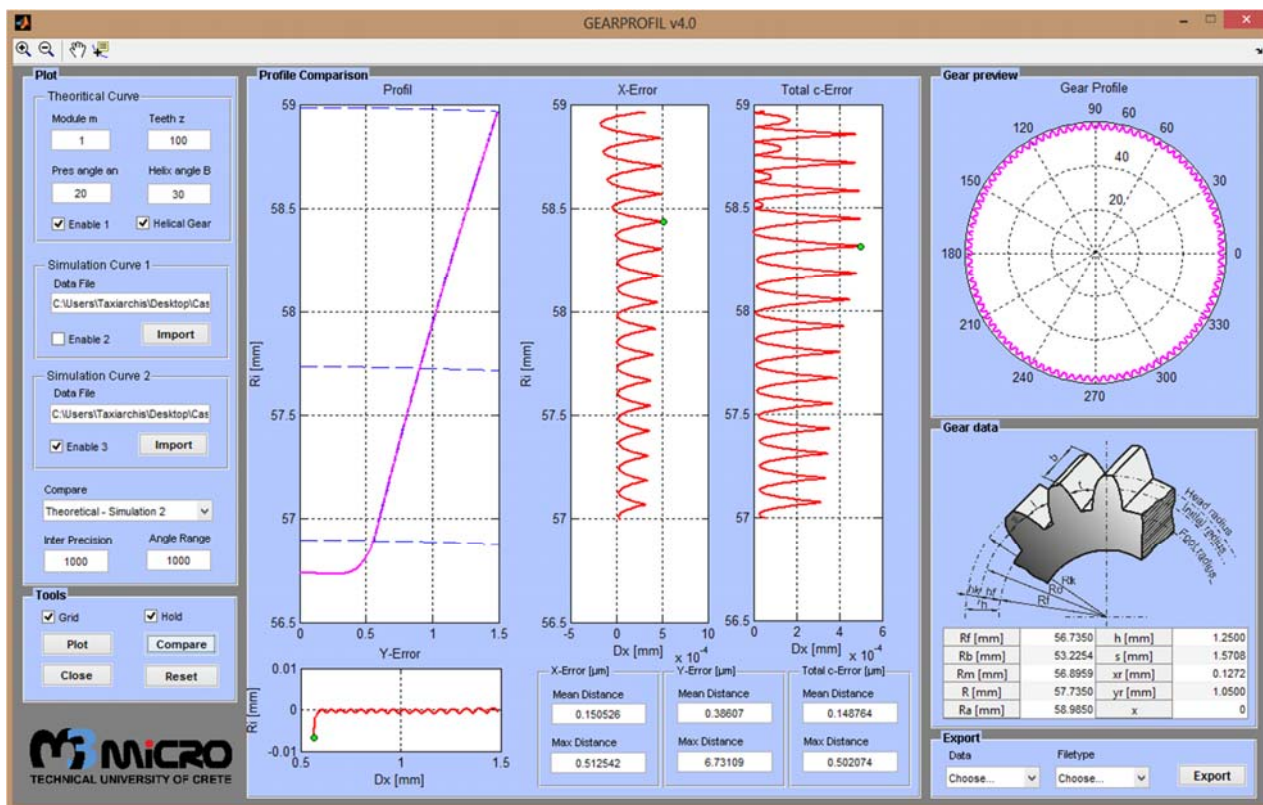
Επαλήθευση αυλακώσεως μοντέλου

<http://www.m3.tuc.gr>



Dept. of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Ανδρέας Δ. Ζουρέλλης



2013



Επαλήθευση αυλακώσεως μοντέλου

<http://www.m3.tuc.gr>

 Dept. of Production Eng. & Management
 Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
 Prof. Aristomenis Antoniadis

Ανδρέας Δ. Ζουρέλλης

Μελλοντικές επεκτάσεις μοντέλου:

- ✓ δημιουργία κώδικα ο οποίος θα προσομοιώνει κοπή οδοντώσεων με πλάνιση με κύλιση για εσωτερική οδόντωση.
- ✓ δημιουργία περιβάλλοντος χρήστη ο οποίος θα καταχωρεί σε ένα Interface τα δεδομένα της προσομοίωσης της κοπής και παίρνει τα επιθυμητά αποτελέσματα και αρχεία.
- ✓ μελέτη των δυνάμεων κοπής που αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια της κατεργασίας.
- ✓ μελέτη της φθοράς του κοπτικού εργαλείου κατά τον εμβολισμό.
- ✓ χρήση της μεθόδου πεπερασμένων στοιχείων (FEA) για την μελέτη της κοπής των οδοντώσεων με πλάνιση με κύλιση.



2013



Μελλοντικές επεκτάσεις / βελτιωτικές κινήσεις μοντέλου

<http://www.m3.tuc.gr>

 Dept. of Production Eng. & Management
 Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
 Prof. Aristomenis Antoniadis

Ανδρέας Δ. Ζουρέλλης

Βιβλιογραφία

- [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] Sulzer Gerd, Leistungssteigerung bei der Zylinderradherstellung durch genaue Erfassung der Zerspankinematik, Ph.D. Thesis, 1973.
- [4] Bouzakis Konstantinos-Dionysios, Erhöhung der Wirtschaftlichkeit beim Wälzstoßen durch Optimierung des Zerspanprozesses und der Werkzeugauslegung, Ph.D. Thesis 1976.
- [5] Βαλούς Αθανάσιος, Υπολογισμός δυνάμεων κοπής κατά την πλάνιση οδοντώσεων με κύλιση, Διπλωματική εργασία 1987.
- [6] Müller H. Dieter, Zahnradbetriebe, 1998.
- [7] König W., Bouzakis K., Handbuch zur Ermittlung der Zerspankraftkomponenten beim Wälzstoßen, 1976.
- [8] Thämer Reinhard, Untersuchung der Hauptschnittkraft beim Wälzstoßen von Geradstirnrädern, 1963.
- [9] Bouzakis Konstantinos-Dionysios, Konzept und technologische Grundlagen zur automatisierten Erstellung optimaler Bearbeitungsdaten beim Wälzfräsen, 1981.
- [10] König W., Weck M., Zahnrad und Getriebeuntersuchungen, 1975.



Βιβλιογραφία

<http://www.m3.tuc.gr>



Dept. of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Ανδρέας Δ. Ζουρέλλης

Σας ευχαριστώ για την προσοχή σας!



Τέλος παρουσίασης

<http://www.m3.tuc.gr>



Dept. of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Ανδρέας Δ. Ζουρέλλης