

# ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΚΟΠΗΣ ΣΤΟ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑ ΜΕ ΚΥΛΙΣΗ ΟΔΟΝΤΩΣΕΩΝ



**Μαμμάς Ανδρέας**

Πολυτεχνείο Κρήτης – Χανιά 2012



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



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

**Ανδρέας Μαμμάς**

## Φραιζάρισμα με κύλιση οδοντώσεων (Gear Hobbing)

- Μέθοδος κοπής οδοντώσεων με γένεση.
- Η πλέον διαδεδομένη και αποδοτική μέθοδος παραγωγής οδοντώσεων υψηλής ποιότητας.



## Κοχλιοειδής φραιζα

ή κοπήρας ή hob, είναι στην ουσία ένας ατέρμονας κοχλίας που φέρει περιφερειακά:

- Κοπτικά δόντια τα οποία αποτελούν ένα τυπικό εργαλείο κοπής.
- Αυλάκια μεταξύ των δοντιών που βοηθούν στην απομάκρυνση των αποβλίπτων και στη διεύθυνση του υγρού της κοπής.



Φραιζάρισμα με κύλιση οδοντώσεων

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



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

**Ανδρέας Μαμμάς**

**Είδος Κίνησης**

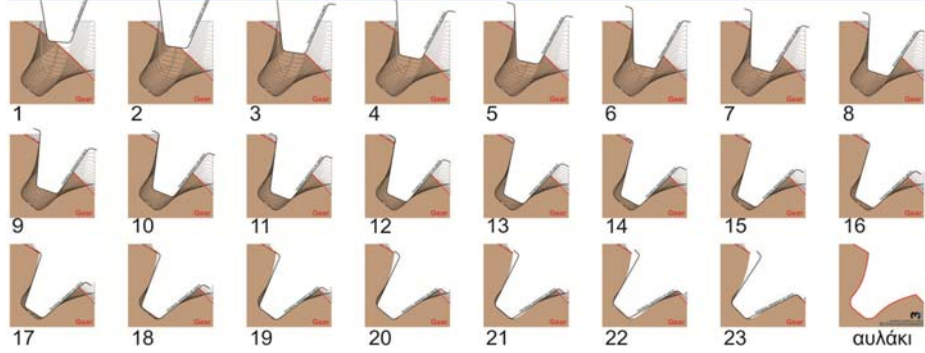
- Το κατεργαζόμενο κομμάτι εκτελεί περιστροφική κίνηση.
- Η κοχλιοειδής φραιζά εκτελεί και περιστροφική και μεταφορική κίνηση.

**Τρόπος κατεργασίας**

Τα κοπτικά δόντια συμμετέχουν στην κοπή κόβοντας διαφορετικής γεωμετρίας απόβλιπτα το καθένα έως ότου να σχηματιστεί η τελική μορφή του τροχού.



Διαδοχικές θέσεις κύλισης για κατεργασία ενός αυλακιού



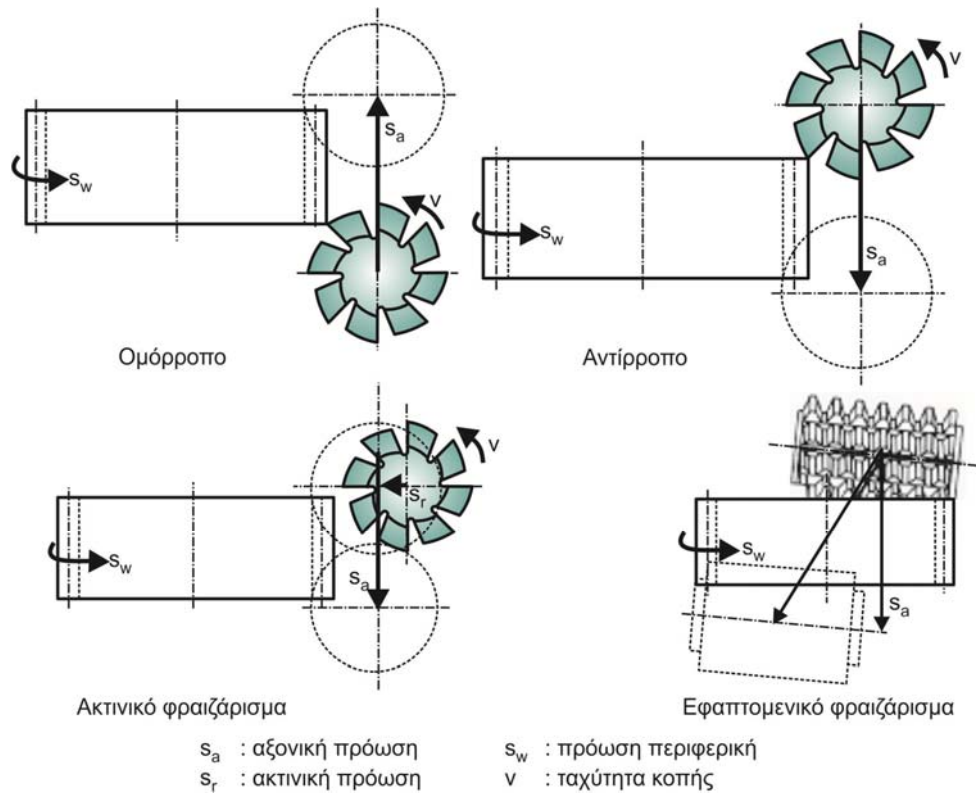
Κινηματική της κατεργασίας

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



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

Ανδρέας Μαμμάς



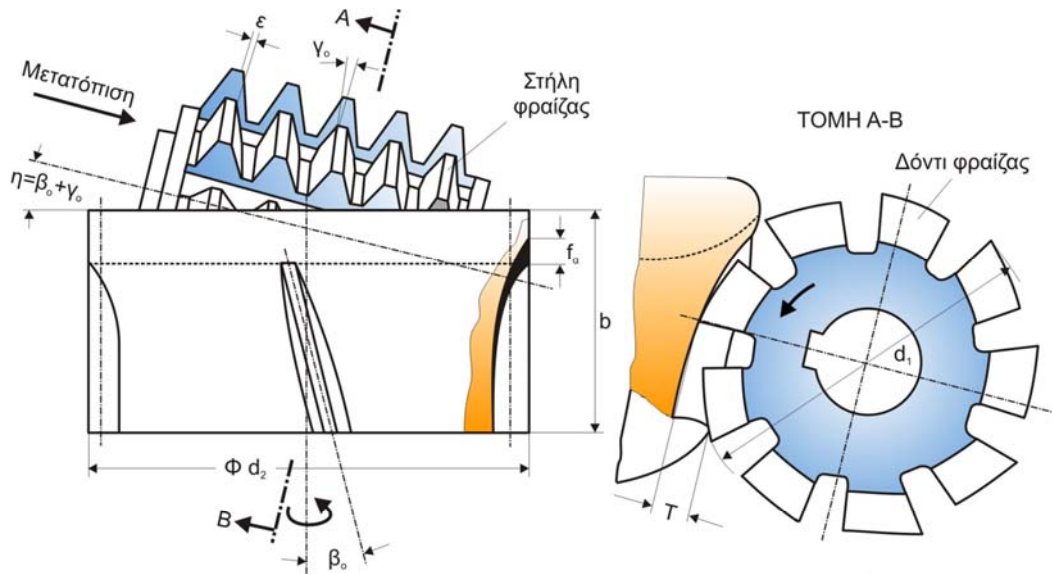
Παραλλαγές της κατεργασίας

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



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

Ανδρέας Μαμμάς

**ΤΡΟΧΟΣ**

$d_2$  : διάμετρος τροχού  
 $z_2$  : αριθμός δοντιών  
 $\beta_0$  : γωνία κλίσης οδόντωσης  
 $b$  : πλάτος τροχού

**ΦΡΑΙΖΑ**

$d_1$  : διάμετρος φραιζας  
 $z_1$  : αριθμός αρχών  
 $\gamma_0$  : γωνία ελίκωσης  
 $\epsilon$  : αξονικό βήμα  
 $i$  : αριθμός στηλών

**ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ**

$\eta$  : γωνία κλίσης  
 $\eta = \beta_0 \pm \gamma_0$   
 $f_a$  : αξονική πρόωση  
 $f_H$  : βήμα μετατόπισης  
 $T$  : βάθος κοπής

**Ορολογία για το ζεύγος φραιζα – τροχού**
<http://www.m3.tuc.gr>


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

**Ανδρέας Μαμμάς**
**Autodesk  
 Inventor®**
**Προσομοίωση διαδικασίας με  
 χρήση του λογισμικού της Autodesk  
 Inventor 2011**

Δυνατότητα δημιουργίας προγραμμάτων  
 σε **VBA** (Visual Basic for Application)

Microsoft®  
**Visual Basic®**  
 for Applications

**HOB3D**

Λογισμικό σε VBA που αναπτύχθηκε  
 από τον Δρ. Μηχανικό Παραγωγής  
 και Διοίκησης Ν. Ταππόγλου και  
 προσομοιώνει τη διαδικασία  
 μορφοποίησης.

**Δεδομένα Εισόδου**

- Γεωμετρικά χαρακτηριστικά κοπτικού εργαλείου.
- Γεωμετρικά χαρακτηριστικά οδοντωτού τροχού.
- Συνθήκες κατεργασίας.

**Αποτελέσματα**

- Γεωμετρικά χαρακτηριστικά αποβλήτου.
- Γραφική αναπαράσταση αναπτυσσόμενης δύναμης.

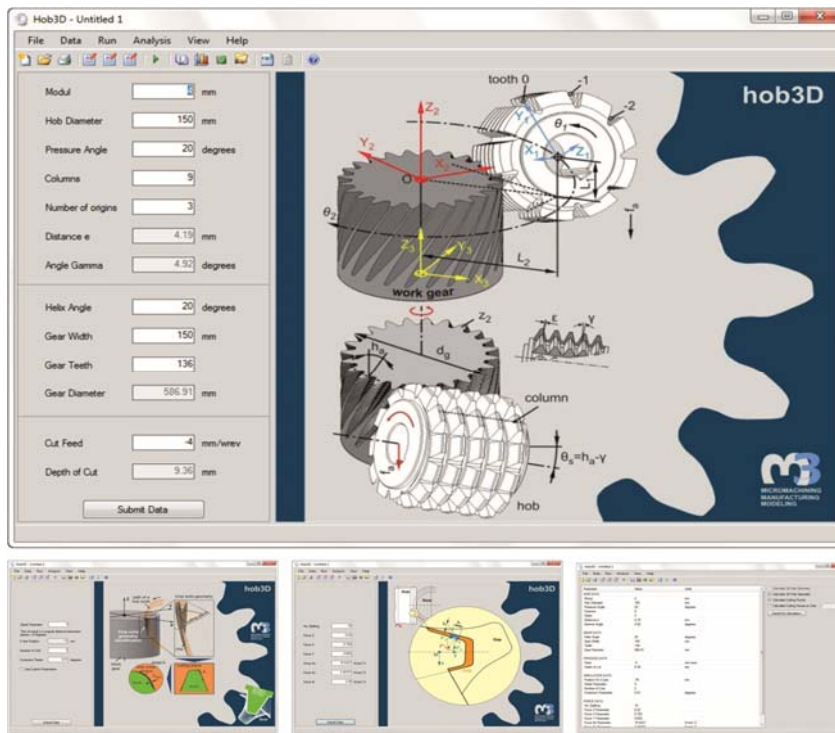
**Προσομοίωση της κατεργασίας**
<http://www.m3.tuc.gr>


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

**Ανδρέας Μαμμάς**



Φόρμα εισόδου δεδομένων



Χρήση του προγράμματος HOB3D

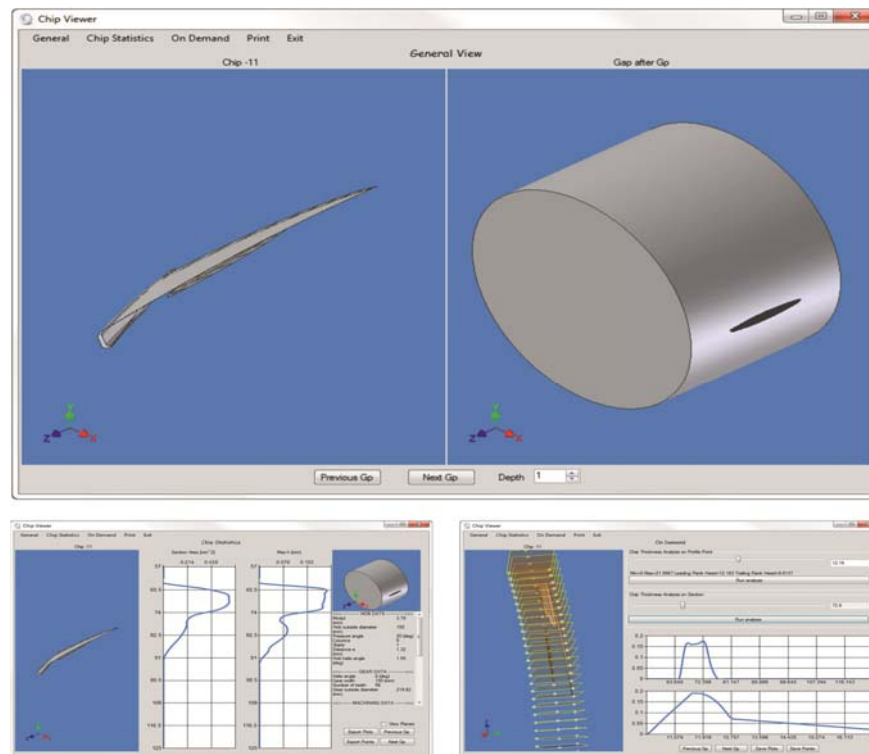
<http://www.m3.tuc.gr>



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

Ανδρέας Μαμμάς

Φόρμα παρουσίασης αποτελεσμάτων αποβλήτων



Αποτελέσματα προσομοίωσης με τη χρήση του HOB3D

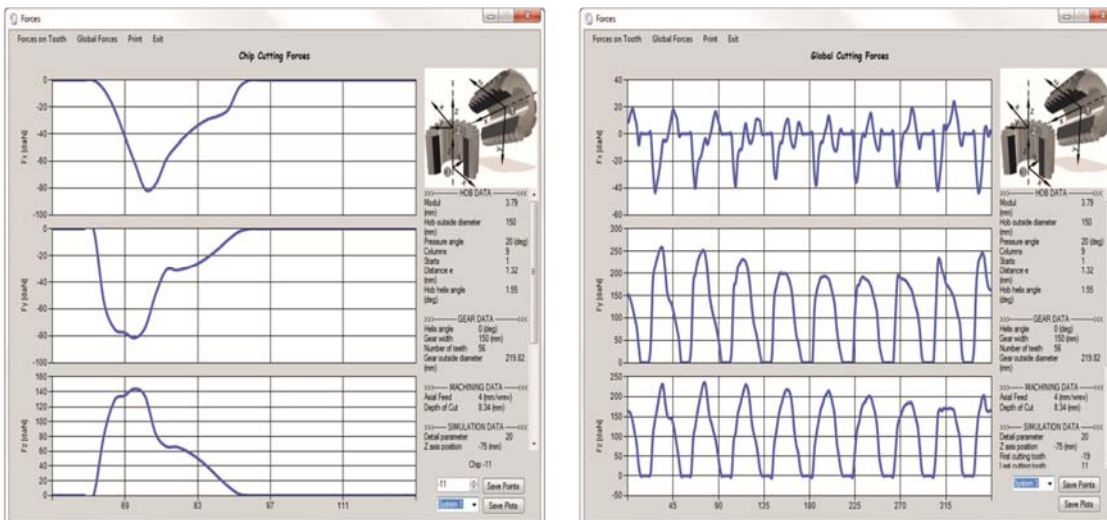
<http://www.m3.tuc.gr>



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

Ανδρέας Μαμμάς

## Φόρμα παρουσίασης των δυνάμεων κοπής



2012

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΚΟΠΗΣ ΣΤΟ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑ ΜΕ ΚΥΚΛΗ ΟΔΟΝΤΩΣΗ



Αποτελέσματα προσομοίωσης με τη χρήση του HOB3D

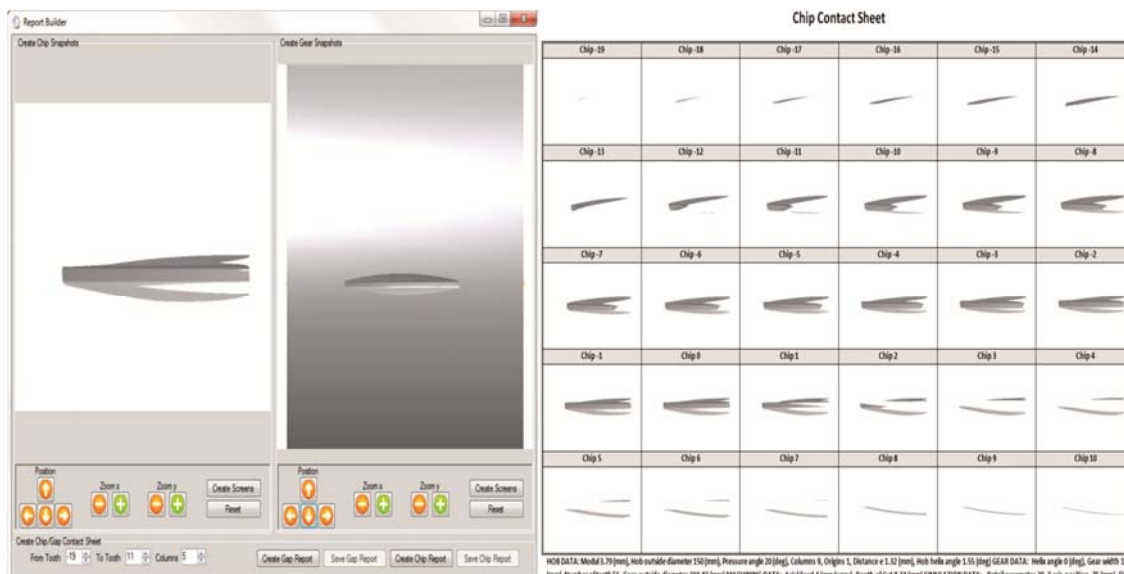
<http://www.m3.tuc.gr>



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

Ανδρέας Μαμμάς

## Φόρμα παρουσίασης δημιουργίας αναφορών και τελική αναφορά



2012

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΚΟΠΗΣ ΣΤΟ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑ ΜΕ ΚΥΚΛΗ ΟΔΟΝΤΩΣΗ



Αποτελέσματα προσομοίωσης με τη χρήση του HOB3D

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



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

Ανδρέας Μαμμάς

Οι παράμετροι που επιλέχθηκαν είναι αυτοί που έχουν τη μεγαλύτερη επίδραση στις αναπτυσσόμενες δυνάμεις κοπής και σχετίζονται με:

#### Τη γεωμετρία του παραγόμενου οδοντωτού τροχού:

- $m_n$  μέτρο οδόντωσης [mm]
- $z_2$  αριθμός δοντιών
- $h_a$  γωνία ελίκωσης [deg]

#### Γεωμετρικοί παράγοντες που σχετίζονται με το κοπτικό εργαλείο:

- $n_{st}$  αριθμός στηλών
- $z_1$  αριθμός αρχών

#### Κίνηση του κοπτικού εργαλείου:

- $f_a$  αξονική πρόωση [mm/wρεν]
- ομόρροπο ή αντίρροπο φραιζάρισμα



Παράμετροι που εξετάστηκαν κατά τη διαδικασία της προσομοίωσης

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



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

Ανδρέας Μαρμάς

A/A	module	$d_{a1}$	a	$n_{st}$	$z_1$	$\beta$	$z_2$	$f_a$
case 1	4	100	20	12	1	0	40	4
case 2	8	200	20	12	1	0	40	4
case 3	12	300	20	12	1	0	40	4
case 4	16	400	20	12	1	0	40	4
case 5	4	100	20	12	1	0	40	8
case 6	4	100	20	12	1	0	40	12
case 7	4	100	20	12	1	0	40	16
case 8	4	100	20	12	1	0	80	4
case 9	4	100	20	12	1	0	120	4
case 10	4	100	20	12	1	0	160	4
case 11	4	100	20	12	1	-30	40	4
case 12	4	100	20	12	1	-20	40	4
case 13	4	100	20	12	1	-10	40	4
case 14	4	100	20	12	1	10	40	4
case 15	4	100	20	12	1	20	40	4
case 16	4	100	20	12	1	30	40	4
case 17	4	100	20	12	2	0	40	4
case 18	4	100	20	12	3	0	40	4
case 19	4	100	20	10	1	0	40	4
case 20	4	100	20	14	1	0	40	4
case 21	4	100	20	18	1	0	40	4
case 22	4	100	20	12	1	0	40	-4
case 23	4	100	20	12	1	0	40	-8
case 24	4	100	20	12	1	0	40	-12
case 25	4	100	20	12	1	0	40	-16
case 26	4	100	20	12	1	0	40	2
case 27	4	100	20	12	1	0	40	-2
case 28	4	100	20	8	1	0	40	4
case 29	4	100	20	6	1	0	40	4



Περίπτώσεις που εξετάστηκαν

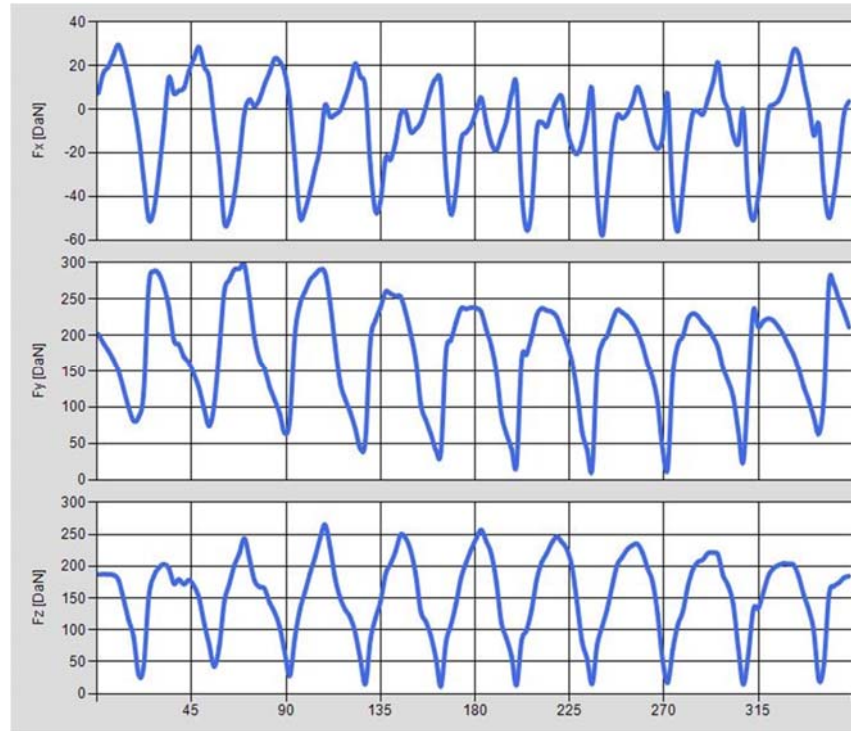
<http://www.m3.tuc.gr>



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

Ανδρέας Μαρμάς

Εξέλιξη της δύναμης κατά τη διάρκεια της διαδικασίας



## Εξαγωγή αποτελεσμάτων

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

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

Ανδρέας Μαμμάς

Γεωμετρία του αποβλήτου σε κάθε πέρασμα

Chip -30	Chip -29	Chip -28	Chip -27	Chip -26
Chip -25	Chip -24	Chip -23	Chip -22	Chip -21
Chip -20	Chip -19	Chip -18	Chip -17	Chip -16
Chip -15	Chip -14	Chip -13	Chip -12	Chip -11
Chip -10	Chip -9	Chip -8	Chip -7	Chip -6
Chip -5	Chip -4	Chip -3	Chip -2	Chip -1
Chip 0	Chip 1	Chip 2	Chip 3	Chip 4
Chip 5	Chip 6	Chip 7	Chip 8	Chip 9
Chip 10	Chip 11	Chip 12	Chip 13	Chip 14



## Εξαγωγή αποτελεσμάτων

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

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

Ανδρέας Μαμμάς



**Για το μέτρο της οδόντωσης:**

Όσο αυξάνεται το μέτρο οδόντωσης οι  $F_z$  και  $F_x$  μειώνονται. Το αντίθετο ισχύει για την  $F_y$ .

**Για τον αριθμό των οδοντώσεων:**

Για αυτή τη παράμετρο διακρίνονται δύο περιπτώσεις. Για αριθμό δοντιών μέχρι περίπου 80 υπάρχει μια απότομη μείωση της μέγιστης δύναμης με την αύξηση του αριθμού των δοντιών, ενώ για αριθμό μεγαλύτερο από 80 η τιμή της σχεδόν σταθεροποιείται.

**Για τον αριθμό των στηλών:**

Οι δυνάμεις στους άξονες  $x$  και  $z$  αυξάνονται με την αύξηση του αριθμού των στηλών, ενώ στον  $y$  άξονα παρατηρείται μια σταδιακά μικρή μείωση.

**Για τον αριθμό των αρχών:**

Αύξηση του αριθμού των αρχών συνεπάγεται μείωση της μέγιστης δύναμης στους  $x$  και  $z$  άξονες και το αντίστροφο στον  $y$  άξονα.

**Για το μέγεθος της πρόωσης:**

Αύξηση της πρόωσης επιφέρει μείωση της δύναμης στους άξονες  $z$  και  $x$ , ενώ έχει αντίθετο αποτέλεσμα στον  $y$  άξονα, όταν η φόρα πρόωσης είναι θετική. Όταν η φόρα πρόωσης είναι αρνητική η  $F_x$  αυξάνει με την αύξηση της πρόωσης ενώ μειώνεται στους άλλους δύο άξονες.



**Ταπόγλου Νικόλαος**, Προσομοίωση της κατεργασίας οδοντώσεων με φραιζάρισμα με κύλιση και διερεύνηση των τεχνολογικών της παραμέτρων, Διδακτορική Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2012

[DIN-3972], "Bezugsprofile von Verzahnwerkzeugen fuer Evolventenverzahnungen Nach DIN 867 " *Taschenbuch* 106, 1981.

**Fette-Lmt.**, "Gear Cutting Tools Catalog."

**K. D. Bouzakis**, "Konzept und technologische Grundlagen zur automatisierten Erstellung optimaler Bearbeitungsdaten beim Waelzfraese," Habilitation, TH Aachen, 1980.

**K. D. Bouzakis, S. Kombogiannis, A. Antoniadis, and N. Vidakis**, "Gear Hobbing Cutting Process Simulation and Tool Wear Prediction Models," *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, vol. 124, pp. 42-51, 2002.

**P. Gutmann**, "Zerspankraftberechnung beim Waelzfraesen," Ph.d. thesis, TH Aachen, 1988.

**V. Dimitriou and A. Antoniadis**, "Advanced CAD Simulation of Gear Hobbing," in *CIRP - 10th International Workshop on Modeling of Machinig Operation*, University of Calabria, 2007.

**V. Dimitriou and A. Antoniadis**, "CAD-based simulation of the hobbing process for the manufacturing of spur and helical gears," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 41, pp. 347-357, 2009.

**V. Dimitriou, N. Vidakis, and A. Antoniadis**, "Advanced Computer Aided Design Simulation of Gear Hobbing by Means of 3-Dimensional Kinematics Modeling," *ASME Journal of Manufacturing Science and Engineering*, vol. 129, pp. 911-918, 2007.

**A. Antoniadis**, "Determination of the impact tool stresses during gear hobbing and determination of cutting forces during hobbing of the hardened gears.," Dissertation, Aristoteles University of Thessaloniki, 1989.

**K. D. Bouzakis and A. Antoniadis**, "Optimal Selection of Machining Data in Gear Hobbing Regarding the Tool Mechanical Stresses Occuring During the Cutting Process," *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, vol. 37, pp. 109-112, 1988.

**Antoniadis, N. Vidakis, and N. Bilalis**, "Fatigue Fracture Investigation of Cemented Carbide Tools in Gear Hobbing, Part 2: The Effect of Cutting Parameters on the Level of Tool Stresses---A Quantitative Parametric Analysis," *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, vol. 124, pp. 792-798, 2002.

**A. Antoniadis, N. Vidakis, and N. Bilalis**, "Fatigue Fracture Investigation of Cemented Carbide Tools in Gear Hobbing, Part 1: FEM Modeling of Fly Hobbing and Computational Interpretation of Experimental Results," *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, vol. 124, pp. 784-791, 2002.

**O. Friderikos**, "Simulation of Chip Formation and Flow in Gear Hobbing Using the Finite Element Method," Ph.D.Thesis, Aristoteles University of Thessaloniki, 2008.

