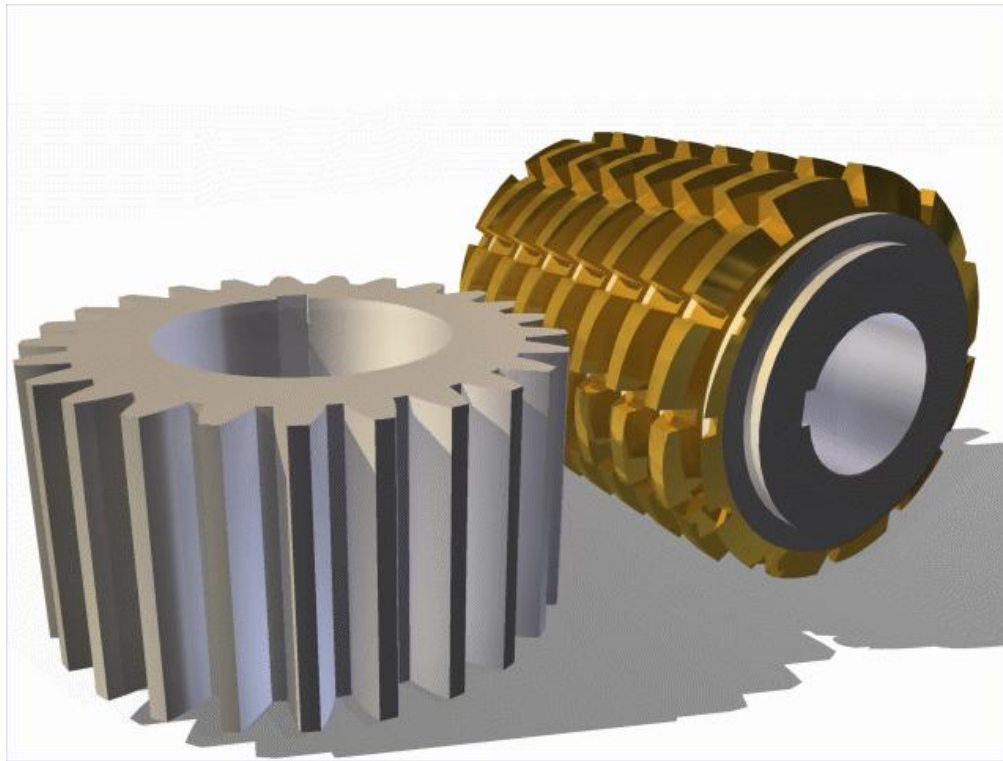


Βελτιστοποίηση τεχνολογικών παραμέτρων κατεργασίας οδοντώσεων με φραιζάρισμα με κύλιση



Διπλ. Μηχ. (M.Sc.) Ταπόγλου Νικόλαος

Κατεργασία οδοντώσεων με φραιζάρισμα με κύλιση

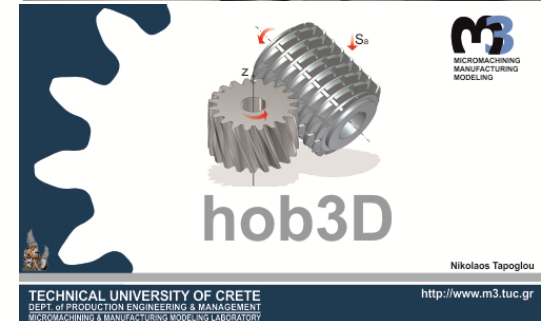
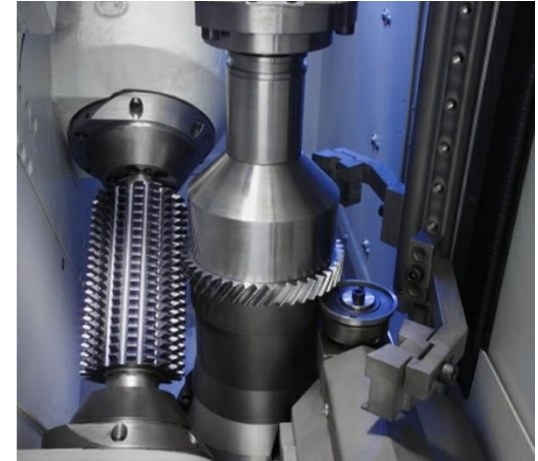
Στάθμη των γνώσεων

Μοντέλο Προσομοίωσης

Επαλήθευση του μοντέλου

Προσομοίωση με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων

Διερεύνηση βέλτιστων συνθηκών κατεργασίας



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Η παρούσα έρευνα έχει συγχρηματοδοτηθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο - ΕΚΤ) και από εθνικούς πόρους μέσω του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Διά Βίου Μάθηση» του Εθνικού Στρατηγικού Πλαισίου Αναφοράς (ΕΣΠΑ) – Ερευνητικό Χρηματοδοτούμενο Έργο: Ηράκλειος II. Επένδυση στην κοινωνία της γνώσης μέσω του Ευρωπαϊκού Κοινωνικού Ταμείου.

Δομή παρουσίασης

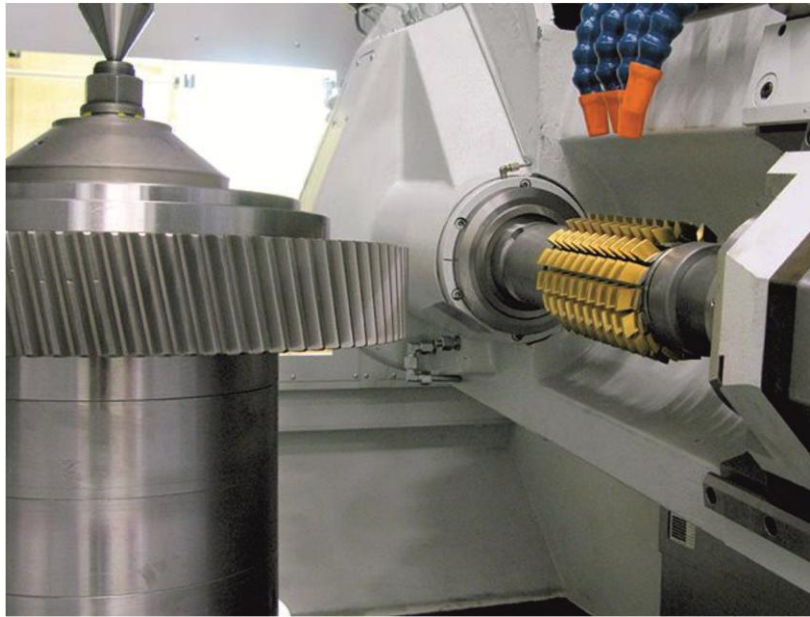
<http://www.m3.tuc.gr>



Πολυτεχνείο Κρήτης
Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης
Εργαστήριο Μικροκοπής και Κατασκευαστικής Προσομοίωσης

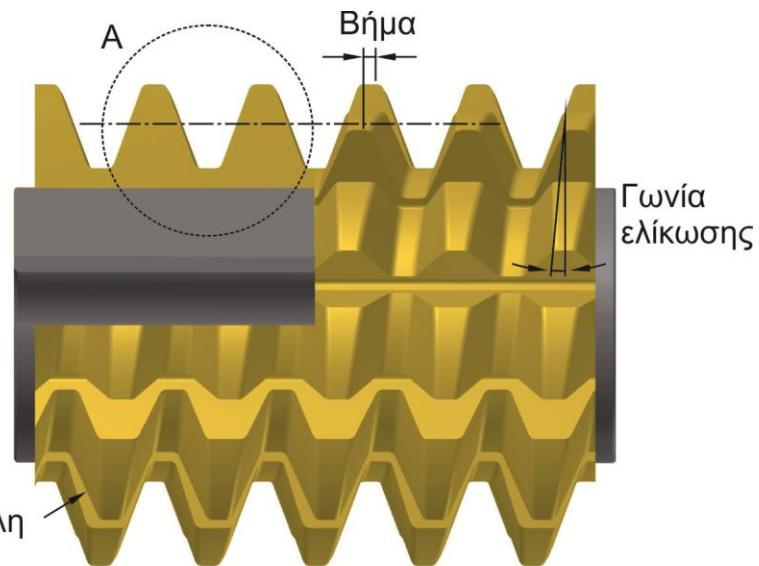
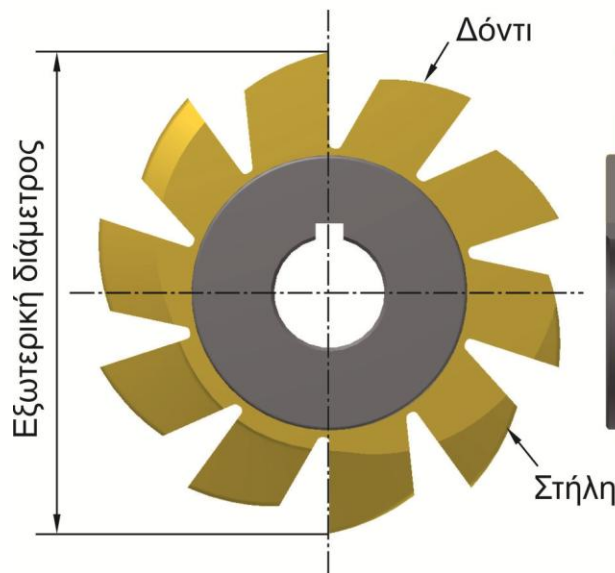
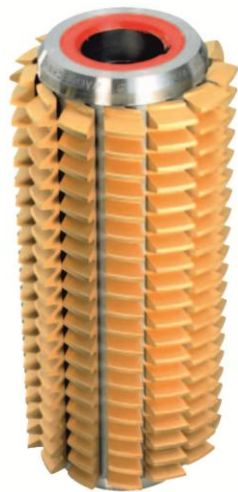
Ταπόγλου Νικόλαος





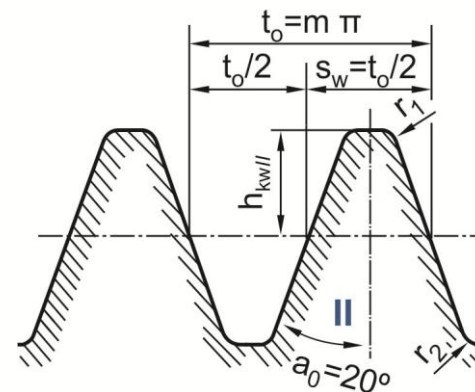
Κινηματική της κατεργασίας

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



- Μορφή κυλινδρικής εξελιγμένης σπείρας
- Μια ή περισσότερες ελικοειδείς τροχιές
- Κατατομή βασισμένη στην κατατομή αναφοράς DIN-3972
- Εξωτερική διάμετρος από 20-350mm
- Μέτρο οδόντωσης από 0.2-30mm
- Υλικό κατασκευής ταχυχάλυβας ή σκληρομέταλλα

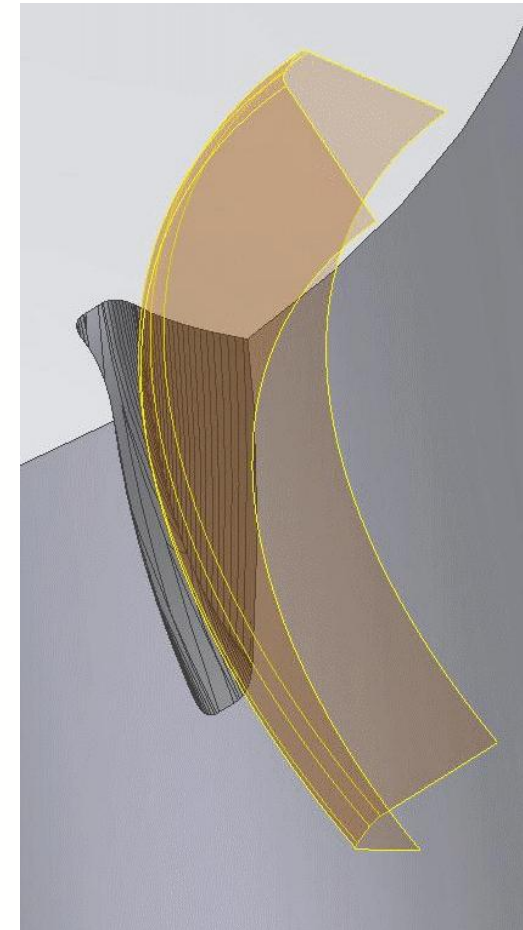
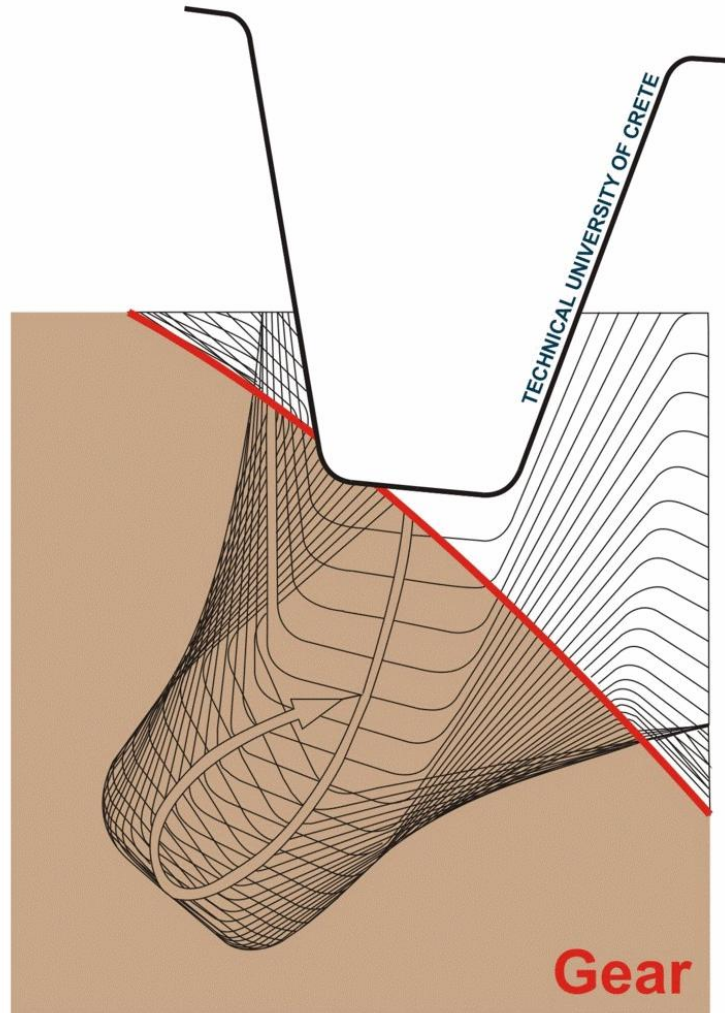
Λεπτομέρεια Α



Κοπτικό εργαλείο

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

Η κατεργασία ενός αυλακιού του οδοντωτού τροχού με φραιζάρισμα με κύλιση γίνεται με μια σειρά περασμάτων του κοπτικού εργαλείου, κάθε ένα από τα οποία ονομάζεται **θέση κύλισης**.



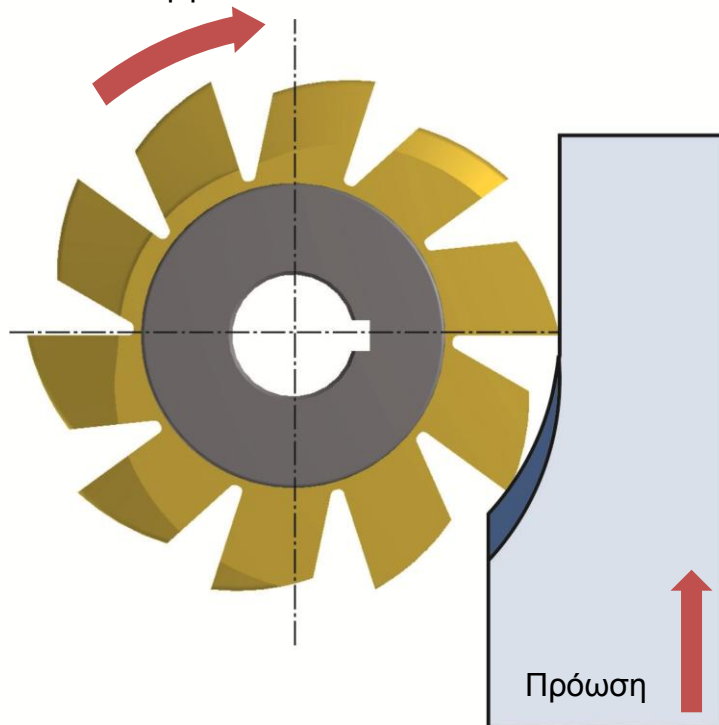
Θέσεις κύλισης

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

Ανάλογα με την κατεύθυνση της πρόωσης, η κατεργασία οδοντώσεων με φραιζάρισμα με κύλιση χωρίζεται σε:

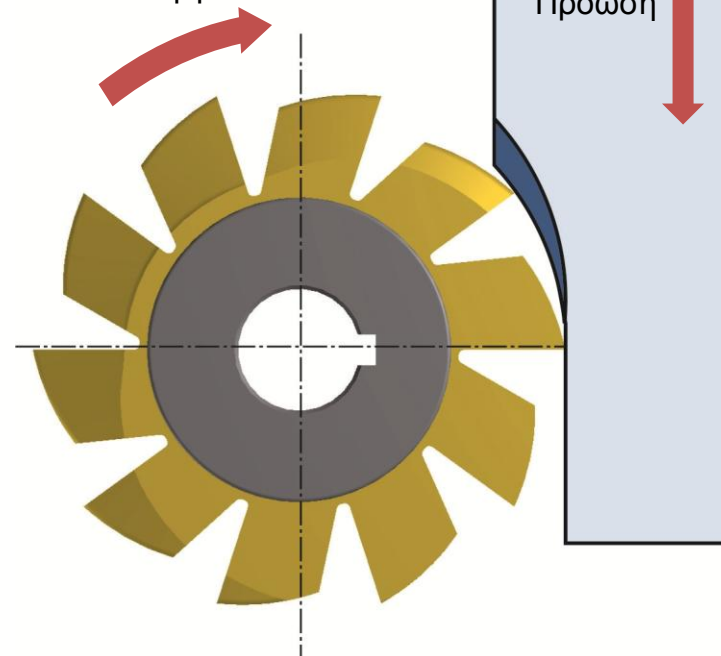
- **ομόρροπο** φραιζάρισμα
- **αντίρροπο** φραιζάρισμα

Περιστροφή
κοπτικού εργαλείου



Αντίρροπο φραιζάρισμα

Περιστροφή
κοπτικού εργαλείου

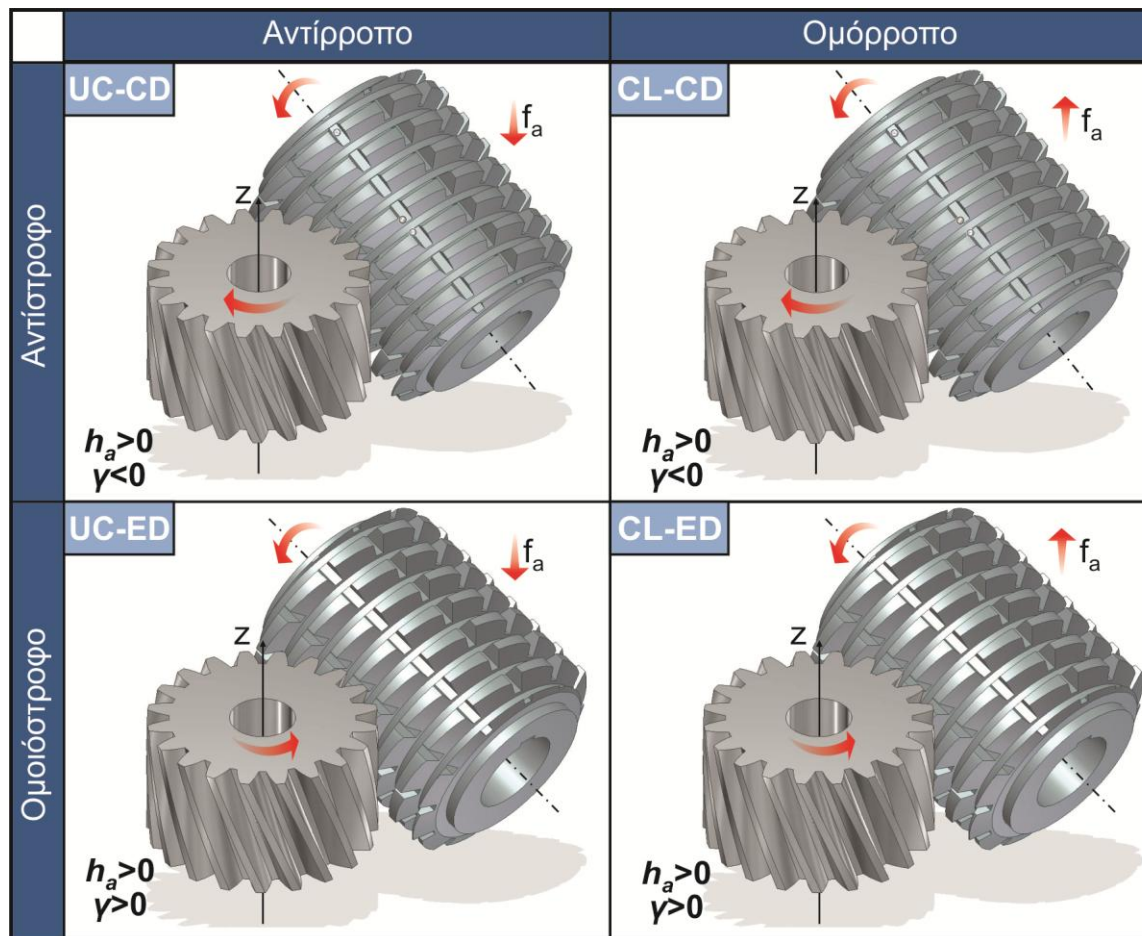


Ομόρροπο φραιζάρισμα

Παραλλαγές κατεργασίας

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

Ανάλογα με την κατεύθυνση της πρόωσης, η κατεργασία οδοντώσεων με φραιζάρισμα με κύλιση χωρίζεται σε:



- **ομόρροπο** φραιζάρισμα
- **αντίρροπο** φραιζάρισμα

Στη περίπτωση των ελικοειδών τροχών υπάρχουν δυο ακόμα παραλλαγές οι οποίες προκύπτουν από τη σύγκριση της γωνίας ελίκωσης του κοπτικού εργαλείου σε σχέση με αυτήν του τροχού.

Όταν η κατεύθυνση της ελίκωσης του κοπτικού εργαλείου είναι ίδια με αυτήν του τροχού, τότε η κατεργασία ονομάζεται **ομοιόστροφη**, ενώ στην αντίθετη περίπτωση ονομάζεται **αντίστροφη**.

FRS

Μοντέλο προσομοίωσης κατεργασίας οδοντωτών τροχών / Sulzer, G. 1974

"Leistungssteigerung bei der Zylinderradherstellung durch genaue Erfassung der Zerspankinematik.", Dissertation, TH Aachen.

Jorppa, K. / 1977

"Leistungssteigerung beim Waelzfraesen mit Schnellarbeitsstahl durch Analyse, Beurteilung und Beeinflussung des Zerspanprozesses.", TH Aachen.
FRSDYN

Υπολογισμός δυνάμεων κοπής / Μπουζάκης, Κ. Δ. 1980

"Konzept und technologische Grundlagen zur automatisierten Erstellung optimaler Bearbeitungsdaten beim Waelzfraesen.", Habilitation, TH Aachen.

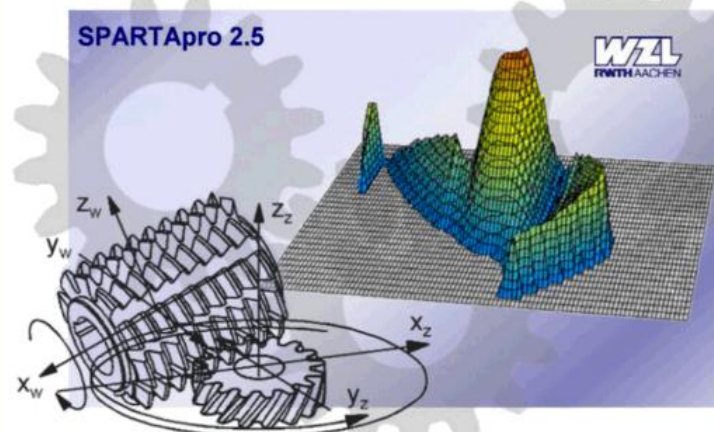
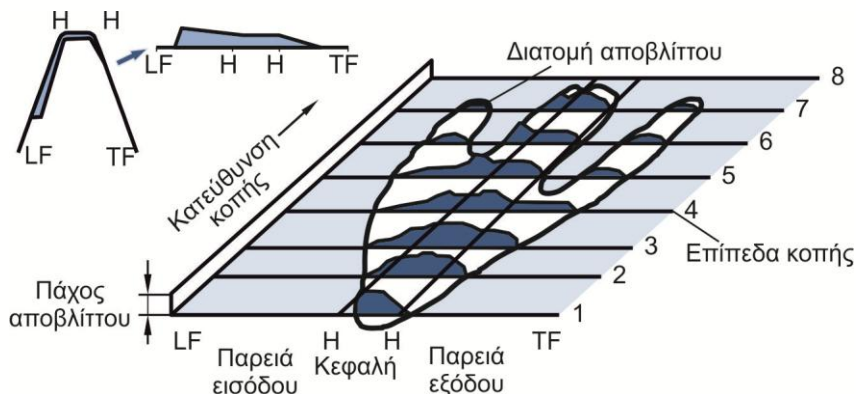
Gutmann, P. / 1988

"Zerspankraftberechnung beim Waelzfraesen.", TH Aachen.

Αντωνιάδης, Α. / 1989

"Προσδιορισμός κρουστικών καταπονήσεων των εργαλείων στο φραιζάρισμα κυλίσεως οδοντώσεων και προσδιορισμός των δυνάμεων κοπής κατά την αποφλοίωση στην αυτή κατεργασία μορφοποιήσεως οδοντώσεων.", Διδακτορική διατριβή, Α.Π.Θ..
SPARTapro

Πρόγραμμα προσομοίωσης της κατεργασίας οδοντώσεων με φραιζάρισμα με κύλιση


Στάθμη των γνώσεων
<http://www.m3.tuc.gr>

Αντωνιάδης, Α. / 1989

"Προσδιορισμός κρουστικών καταπονήσεων των εργαλείων στο φραιζάρισμα κυλίσεως οδοντώσεων και προσδιορισμός των δυνάμεων κοπής κατά την αποφλοίωση στην αυτή κατεργασία μορφοποιήσεως οδοντώσεων.", Διδακτορική διατριβή, Α.Π.Θ..

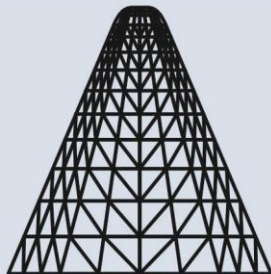
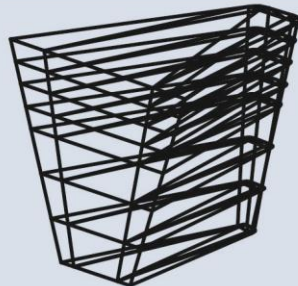
Αντωνιάδης, Α., Βιδάκης, Ν., Μπιλάλης, Ν. / 2002

"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, 2002. **124**(4): p. 784-791.

"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, 2002. **124**(4): p. 792-798.

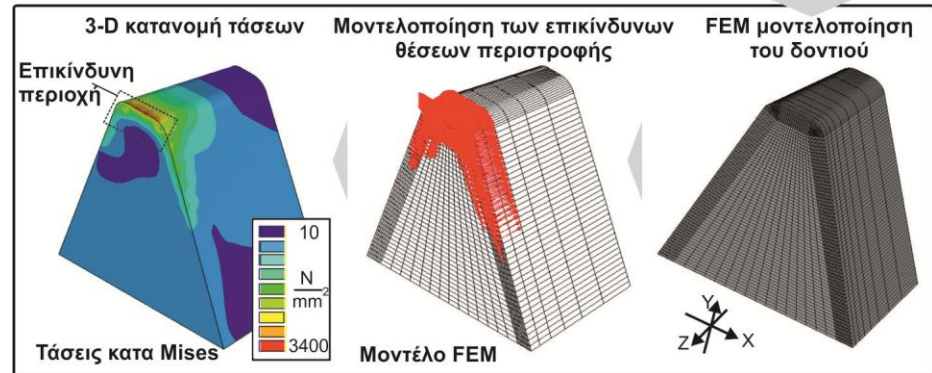
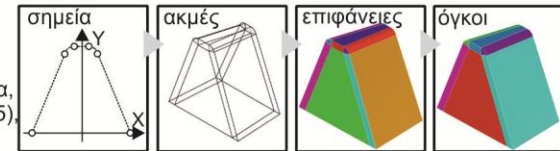
Φρειδερίκος, Ο. / 2008

"Προσομοίωση της δημιουργίας και ροής αποβλίττων κατά το φραιζάρισμα με κύλιση οδοντώσεων με χρησιμοποίηση της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων.", Διδακτορική διατριβή, Α.Π.Θ..

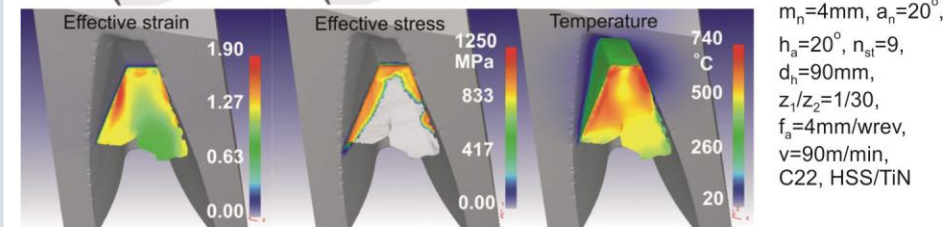
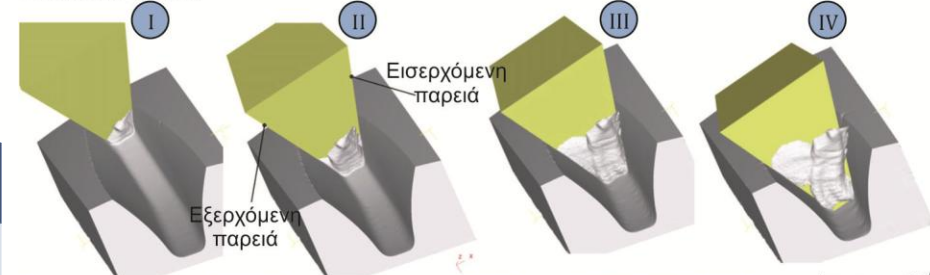
Υπολογισμός κοπτικής
κατατομήςΣχηματισμός πλέγματος
στην επιφάνεια αποβλίττου

Διαδικασία προσομοίωσης

$m_n=3.82\text{mm}$, $z_1/z_2=2/24$, $n_{st}=12$,
 $h_a=30^\circ$, $t=9.7\text{mm}$, $f_a=4\text{mm/wrev}$,
Ομόρροπο-ομοιότροφο φραιζάρισμα,
Σκληρομέταλλο ISO-P40 (US code C5),
16MnCr5 G



Θέση περιστροφής



$m_n=4\text{mm}$, $a_n=20^\circ$,
 $h_a=20^\circ$, $n_{st}=9$,
 $d_t=90\text{mm}$,
 $z_1/z_2=1/30$,
 $f_a=4\text{mm/wrev}$,
 $v=90\text{m/min}$,
C22, HSS/TiN

Στάθμη των γνώσεων

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

Rech, J., Djouadi, M. A. και Picot, J. / 2001

"Wear resistance of coatings in high speed gear hobbing.", Wear, vol. 250, pp. 45-53.

Rech, J. / 2006

"Influence of cutting edge preparation on the wear resistance in high speed dry gear hobbing.", Wear, vol. 261, pp. 505-512.

Michalski, J. και Skoczylas, L. / 2008

"A comparative analysis of the geometrical surface texture of a real and virtual model of a tooth flank of a cylindrical gear.", Journal of Materials Processing Technology, vol. 204, pp. 331-342, 2008.

"Modelling the tooth flanks of hobbed gears in the CAD environment.", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 36, pp. 746-751, 2008.

Michalski, J. / 2009

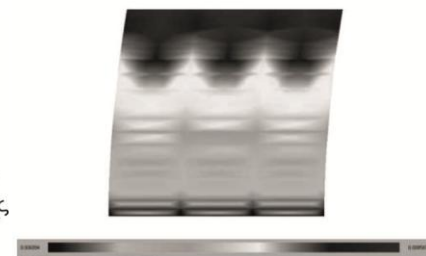
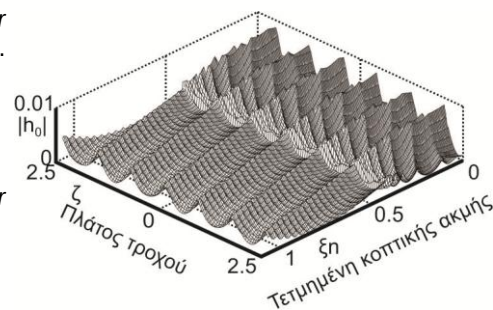
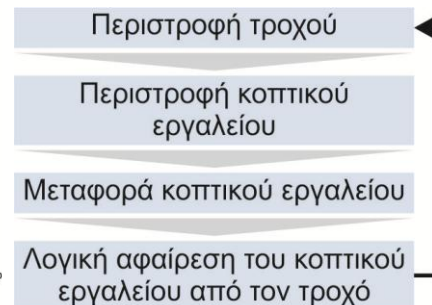
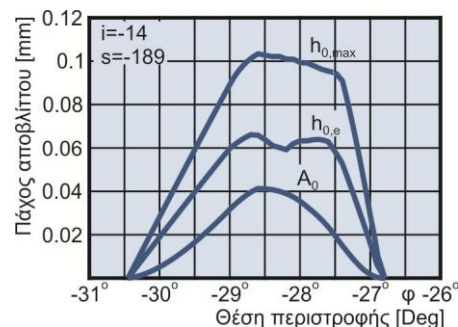
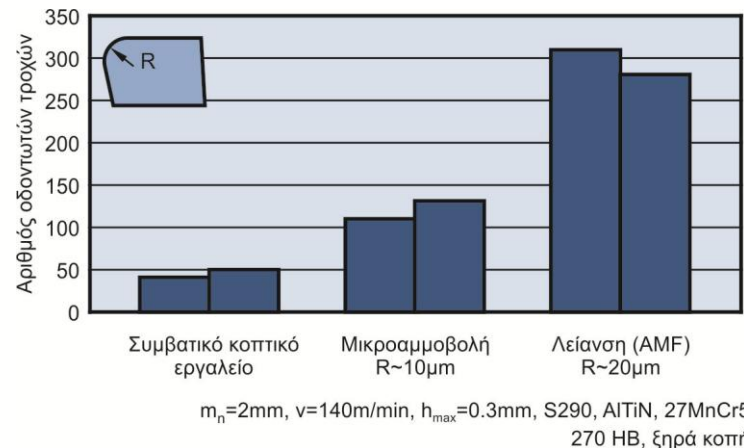
"Surface topography of the cylindrical gear tooth flanks after machining.", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 43, pp. 513-528, 2009.

Vedmar, L., Andersson, C., και Stahl, J.-E. / 2009

"A Parametric Analysis of the Undeformed Chip Geometry in Gear Hobbing.", Journal of Manufacturing Science and Engineering, vol. 131, pp. 061003-8.

L. Vedmar / 2010

"A Parametric Analysis of the Gear Surface Roughness After Hobbing.", Journal of Mechanical Design, vol. 132, pp. 1110041-8.



Στάθμη των γνώσεων

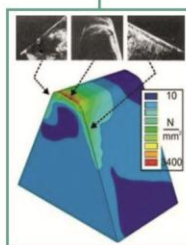
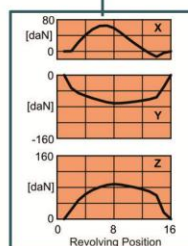
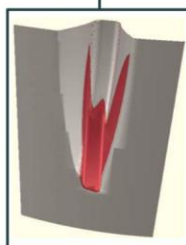
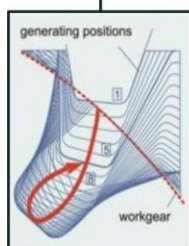
<http://www.m3.tuc.gr>

Προσομοίωση κατεργασίας οδοντώσεων με φραιζάρισμα με κύλιση

Υπολογισμός απαραμόρφωτων αποβλήτων

Υπολογισμός δυνάμεων κοπής

Προσομοίωση της κατεργασίας με τη Μ.Π.Σ.



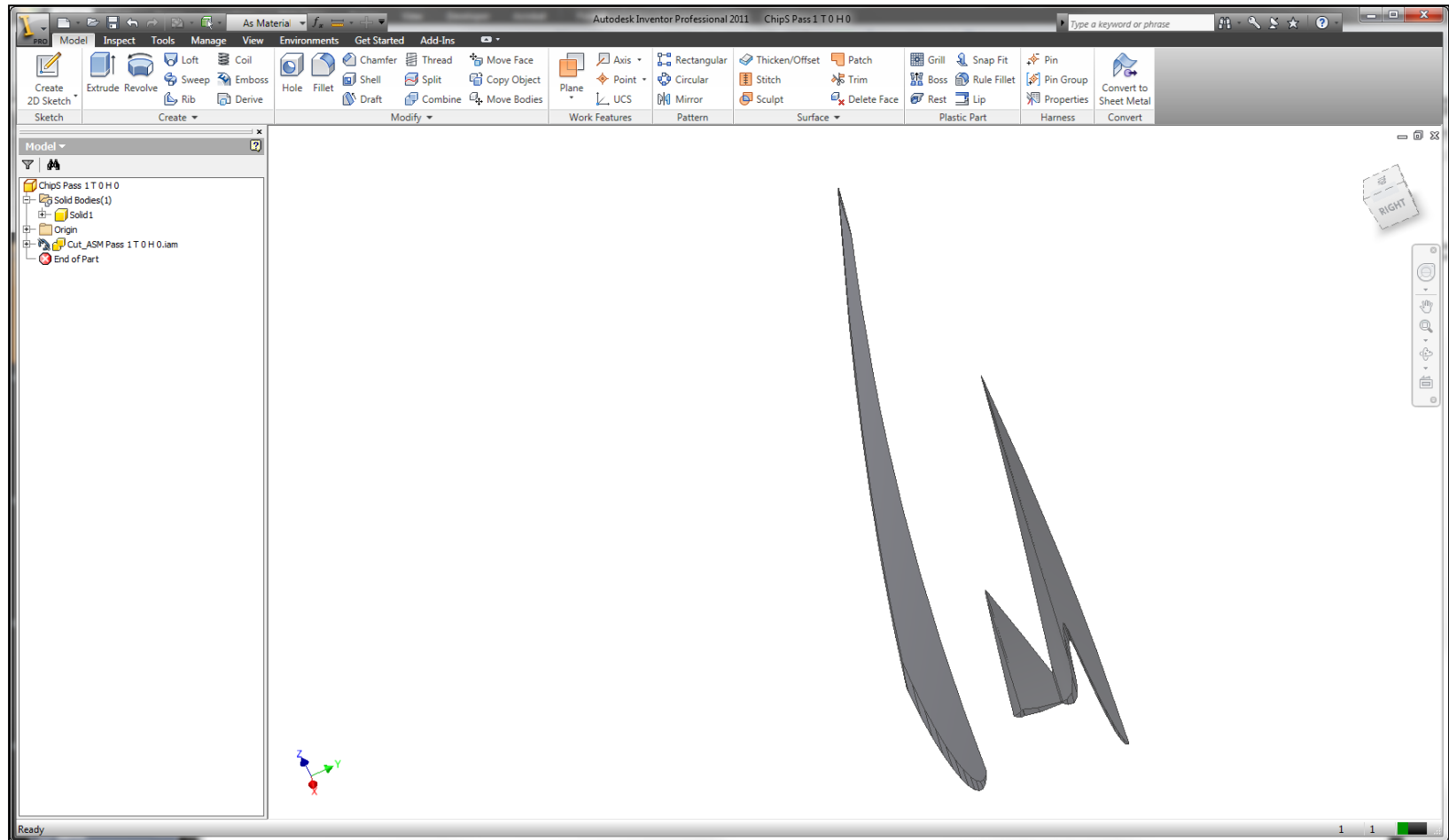
Στόχοι

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



Πολυτεχνείο Κρήτης
Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης
Εργαστήριο Μικροκοπής και Κατασκευαστικής Προσομοίωσης

Ταπόγλου Νικόλαος



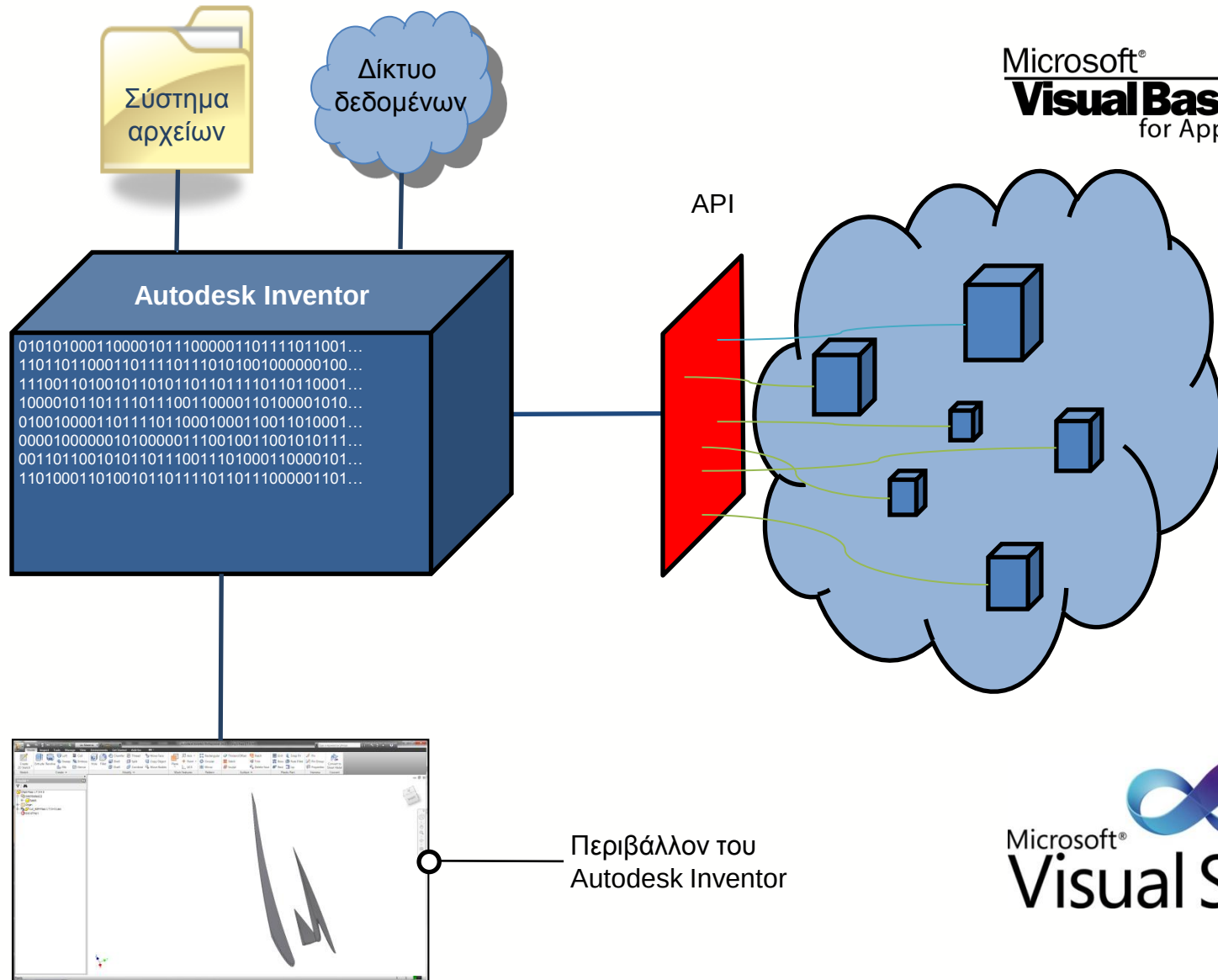
Autodesk Inventor 2011

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



Πολυτεχνείο Κρήτης
Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης
Εργαστήριο Μικροκοπής και Κατασκευαστικής Προσομοίωσης

Ταπόγλου Νικόλαος



Microsoft®
Visual Basic®
for Applications

Microsoft®
Visual Studio®

Autodesk Inventor και το περιβάλλον προγραμματισμού API

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

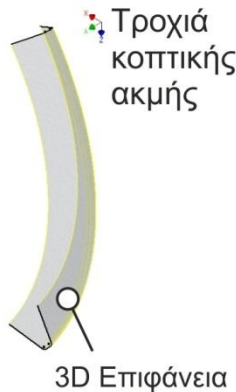
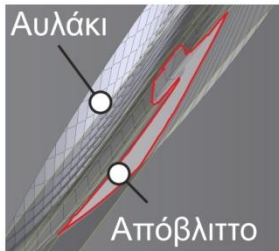
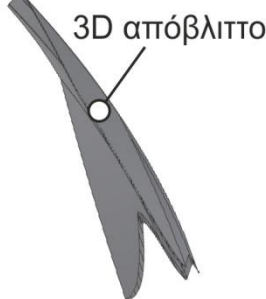
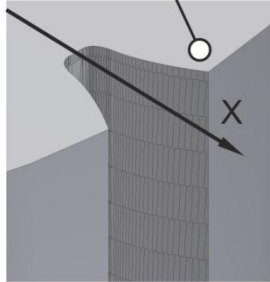


Πολυτεχνείο Κρήτης
Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης
Εργαστήριο Μικροκοπής και Κατασκευαστικής Προσομοίωσης

Ταπόγλου Νικόλαος



Δεδομένα εισόδου		
Κοπτικό εργαλείο	Οδοντωτός τροχός	Συνθήκες κατεργασίας
m_n : Μέτρο οδόντωσης (mm) a_n : Γωνία πίεσης (deg) d_h : Εξωτερική διάμετρος (mm) n_{st} : Αριθμός στηλών z_1 : Αριθμός αρχών	m_n : Μέτρο οδόντωσης (mm) d_g : Εξωτερική διάμετρος (mm) h_a : Γωνία ελίκωσης (deg) z_2 : Αριθμός δοντιών	t : Βάθος κοπής (mm) f_a : Πρόωση (mm/wren) v : Ταχύτητα κοπής (m/min)

Υπολογισμοί (για κάθε ενεργό δόντι)				
Τοποθέτηση	3D κινηματική	Συναρμολόγηση	Απόβλιττο	Οδοντωτός τροχός
Τοποθέτηση κοπτικής κατατομής στον 3D χώρο 	Τροχιά κοπτικής ακμής 	Συναρμολόγηση 3D τροχιάς με τον οδοντωτό τροχό 	Γεωμετρία απαραμόρφωτου αποβλίττου 	Τελική μορφή αυλακιού 3D Αυλάκι 

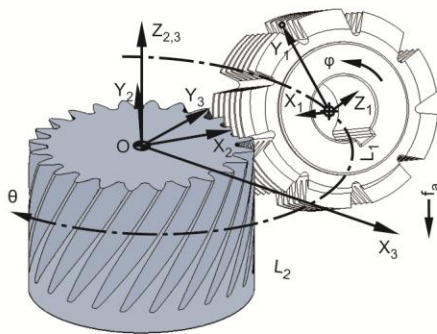
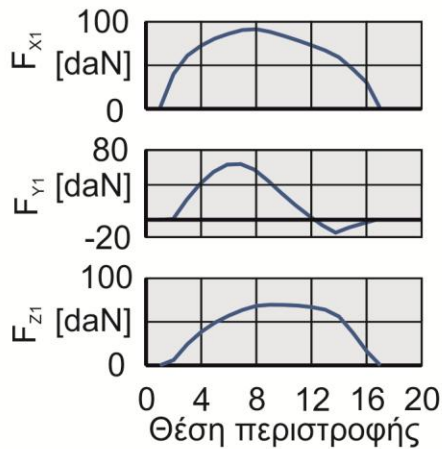
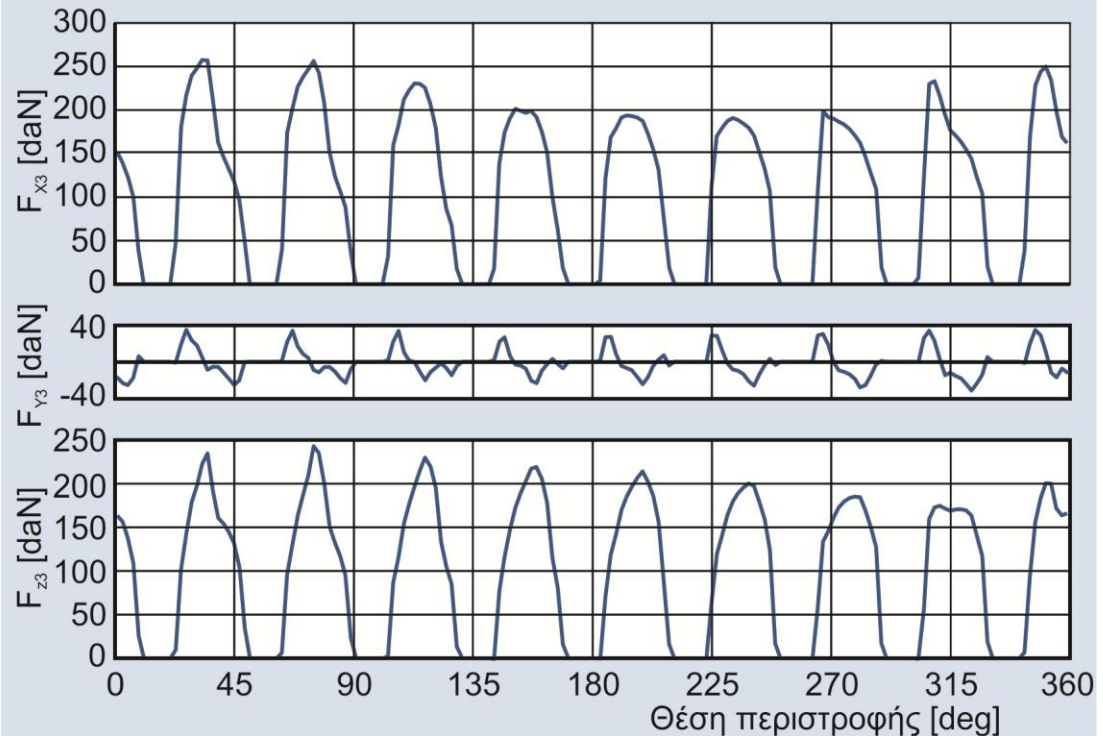
Δομή του μοντέλου HOB3D

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


Πολυτεχνείο Κρήτης
 Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης
 Εργαστήριο Μικροκοπής και Κατασκευαστικής Προσομοίωσης

Ταπόγλου Νικόλαος

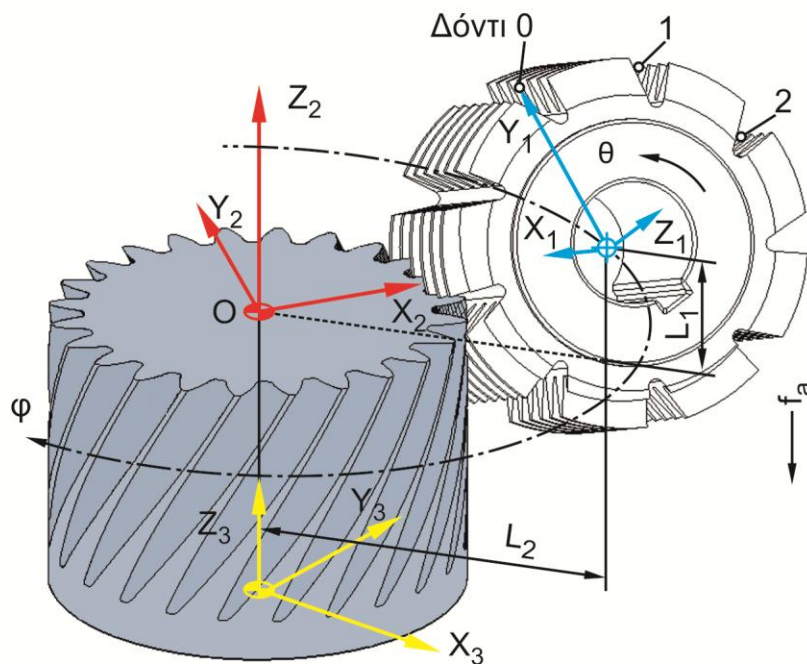
Υπολογισμός των συνιστωσών των δυνάμεων κοπής

Δυνάμεις κοπής σε ένα δόντι
(σύστημα 1) Θ.Κ.1Συνολικές δυνάμεις κοπής
(σύστημα 3)

$m_n=3.79\text{mm}$, $\alpha_n=20^\circ$, $h_a=0^\circ$, $z_1/z_2=1/56$, $f_a=4\text{mm/wrev}$, $n_{st}=9$, $d_h=150\text{mm}$,
16 MnCr5 BG, P25, $v=120\text{m/min}$, Ομόρροπο φραιζάρισμα

Δομή του μοντέλου HOB3D

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

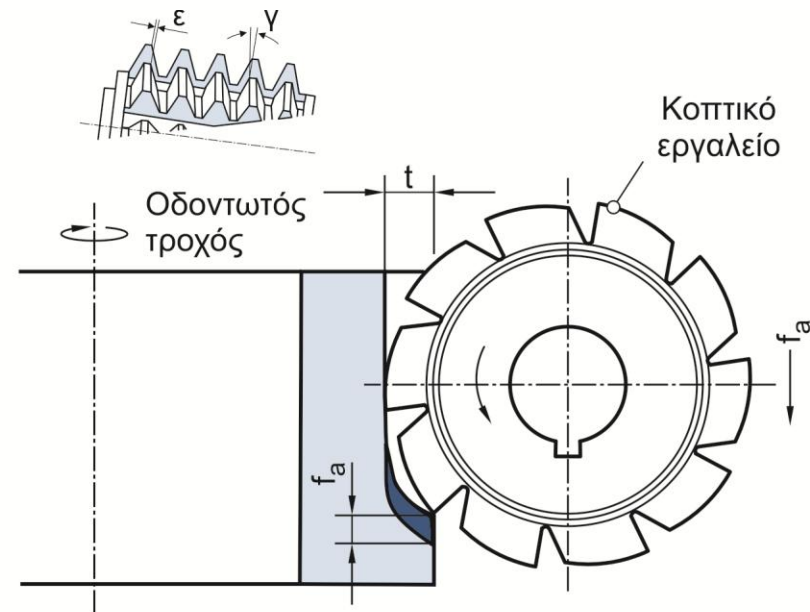


ϕ : Περιστροφή του οδοντωτού τροχού

θ : Περιστροφή του κοπτικού εργαλείου

L_1 : Κατακόρυφη απόσταση κοπτικού εργαλείου-οδοντωτού τροχού

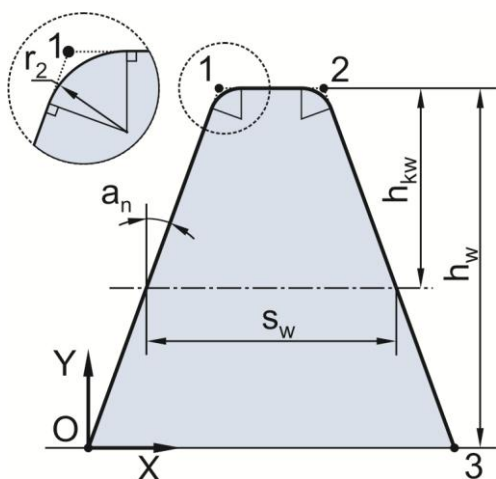
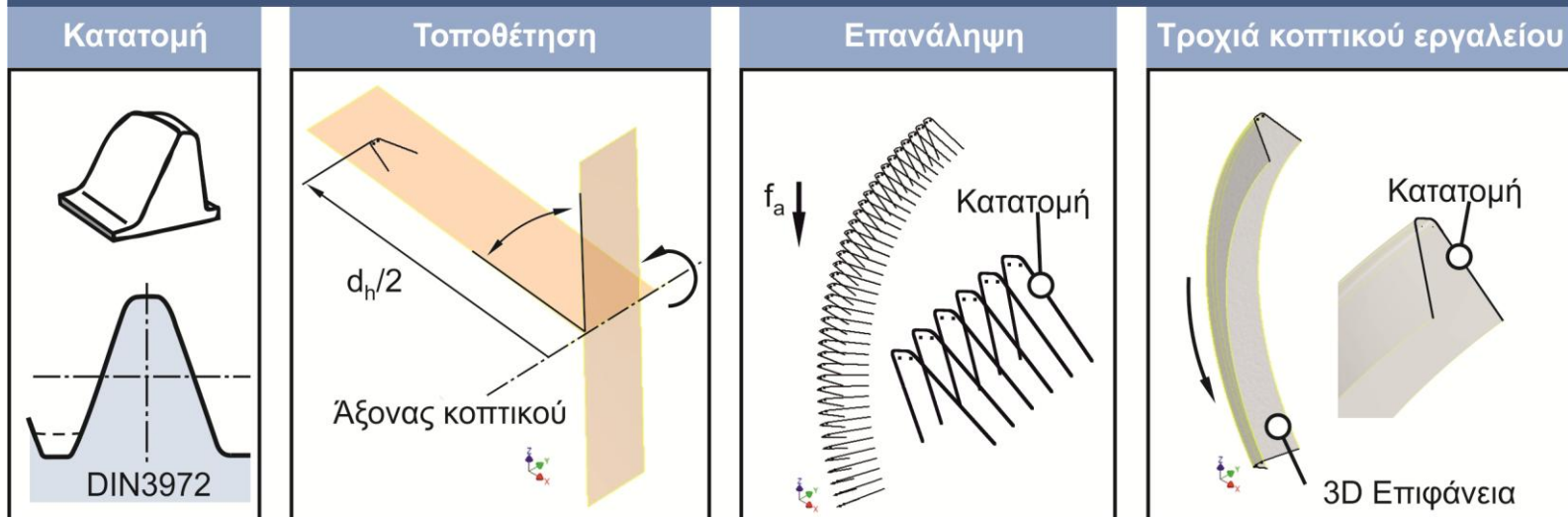
L_2 : Οριζόντια απόσταση κοπτικού εργαλείου-οδοντωτού τροχού



Κινηματική της κατεργασίας οδοντώσεων με φραιζάρισμα με κύλιση

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

Διαδικασία υπολογισμού της πορείας του κοπτικού εργαλείου



Σημείο 1

$$x_1 = h_w \tan a_n$$

$$y_1 = h_w$$

Σημείο 2

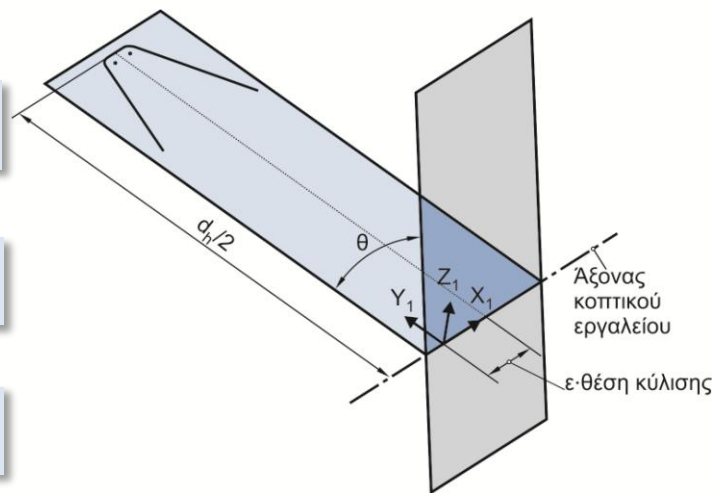
$$x_2 = x_1 + s_w - 2h_{kw} \tan a_n$$

$$y_2 = h_w$$

Σημείο 3

$$x_3 = x_2 + h_w \tan a_n$$

$$y_3 = 0$$

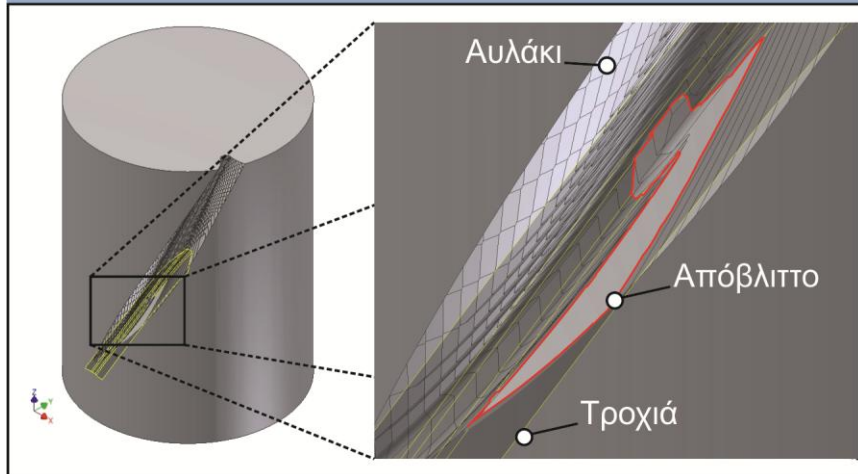


Διαδικασία υπολογισμού της τροχιάς του κοπτικού εργαλείου

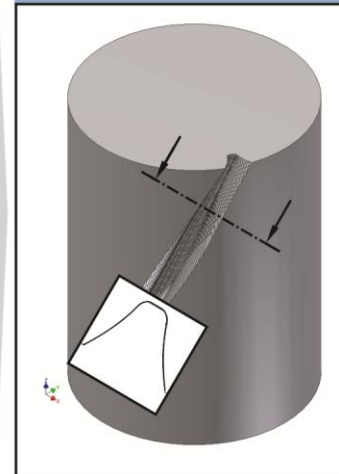
<http://www.m3.tuc.gr>

Συναρμολόγηση οδοντωτού τροχού-τροχιάς

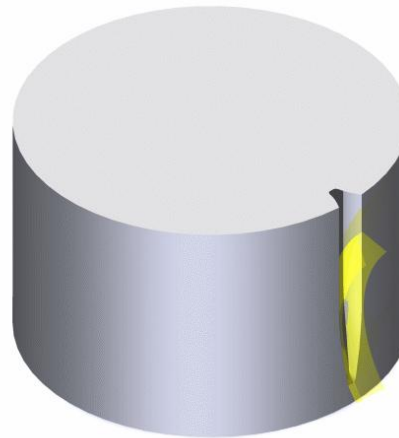
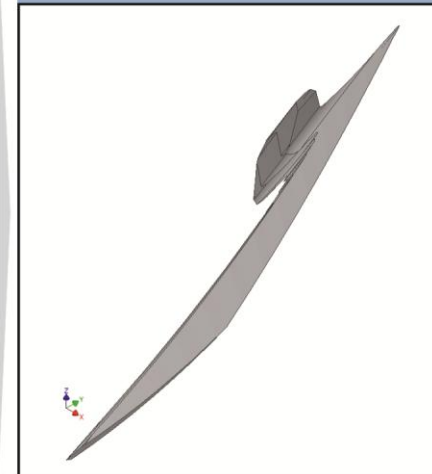
Οδοντωτός τροχός



Αυλάκι

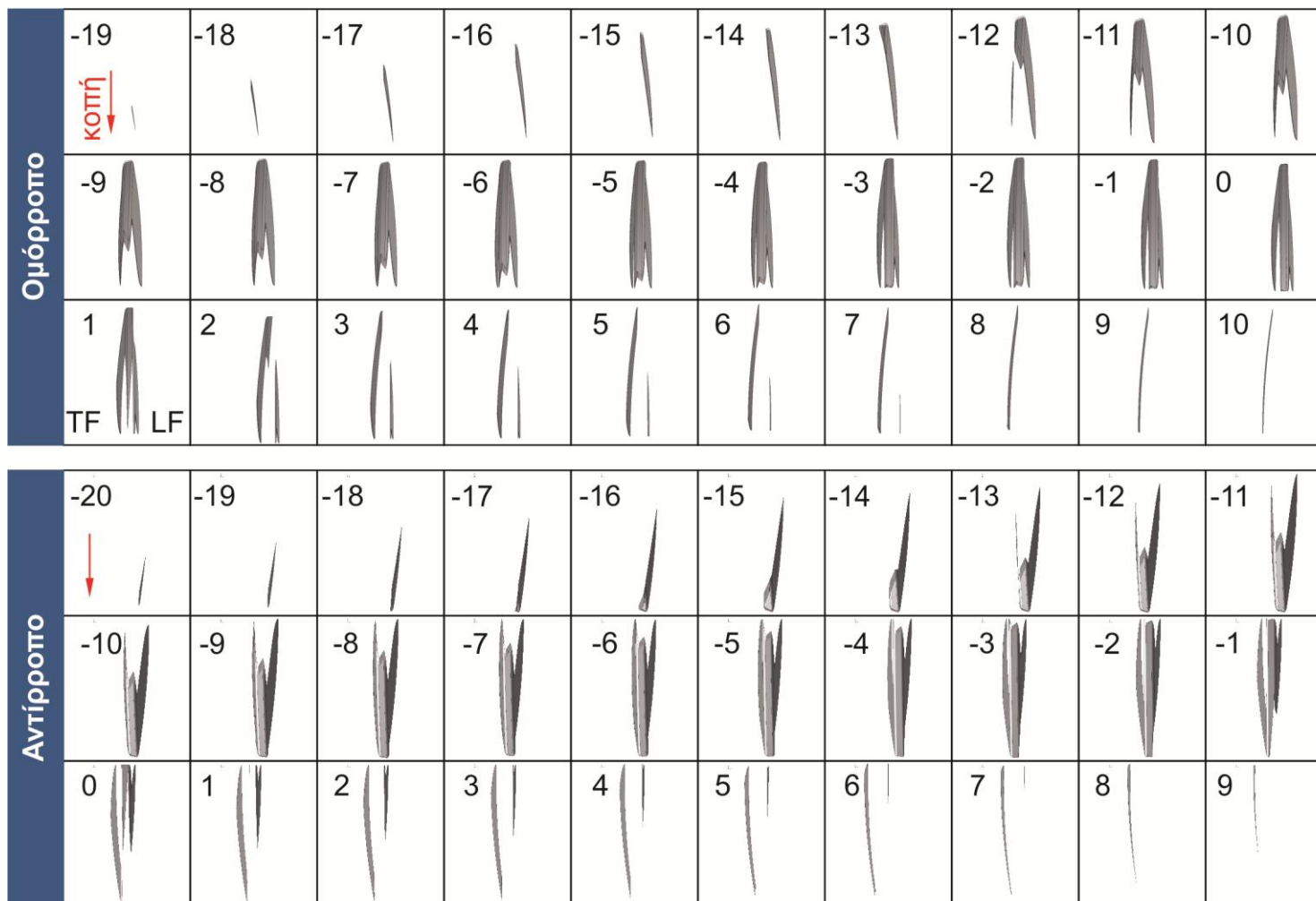


3D Απόβλιττο

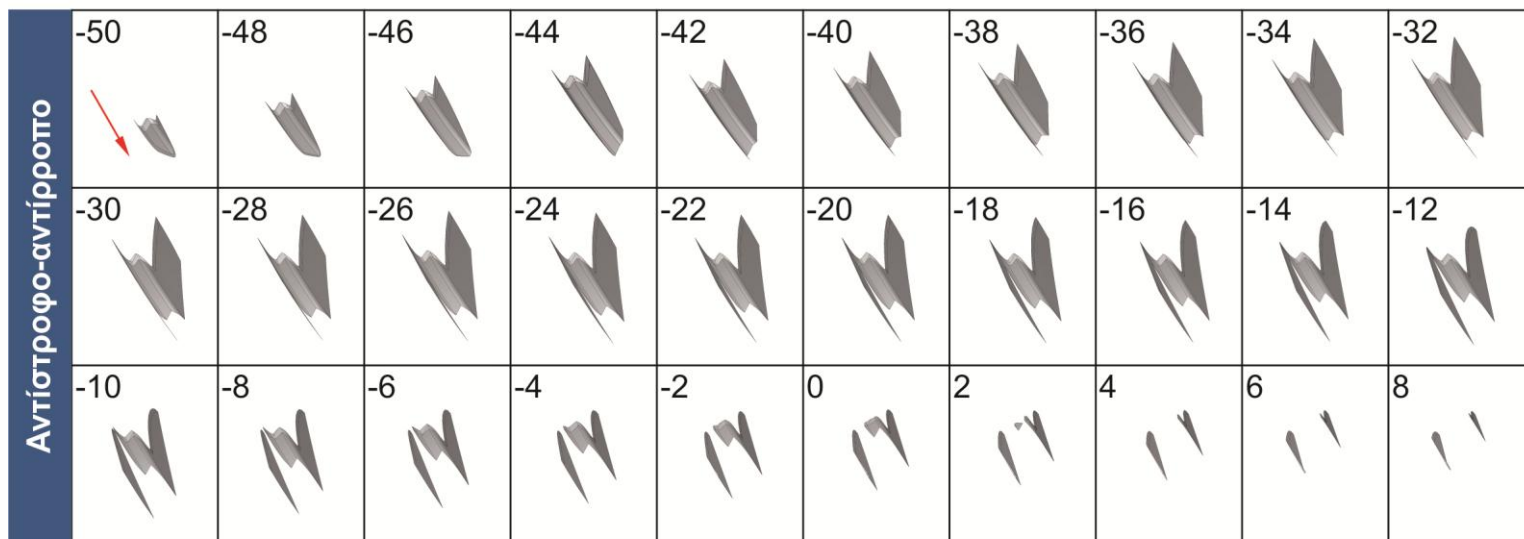
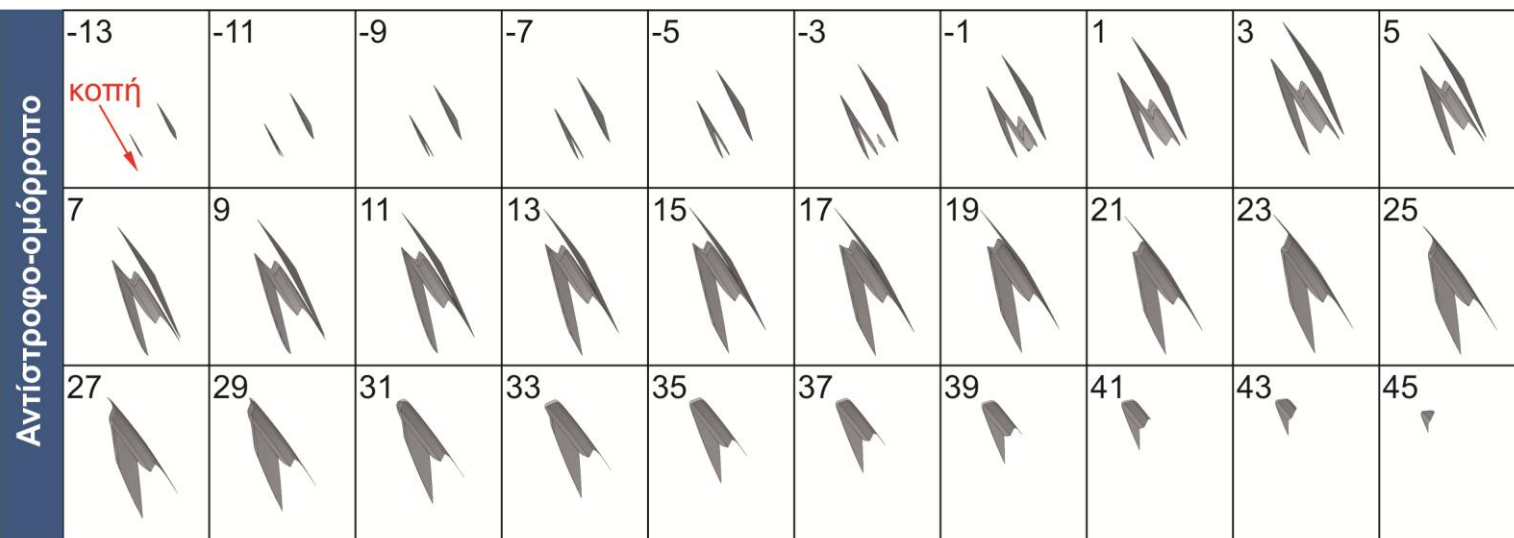


Συναρμολόγηση τροχιάς-οδοντωτού τροχού

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



$$m_n=3.79\text{mm}, \alpha_n=20^\circ, h_a=0^\circ, z_1/z_2=1/56, f_a=4\text{mm/wrev}, n_{st}=9, d_h=150\text{mm}$$



$m_n=4\text{mm}$, $\alpha_n=20^\circ$, $h_a=-30^\circ$, $z_1/z_2=1/40$, $f_a=-4\text{mm/wrev}$, $n_{st}=12$, $d_h=100\text{mm}$

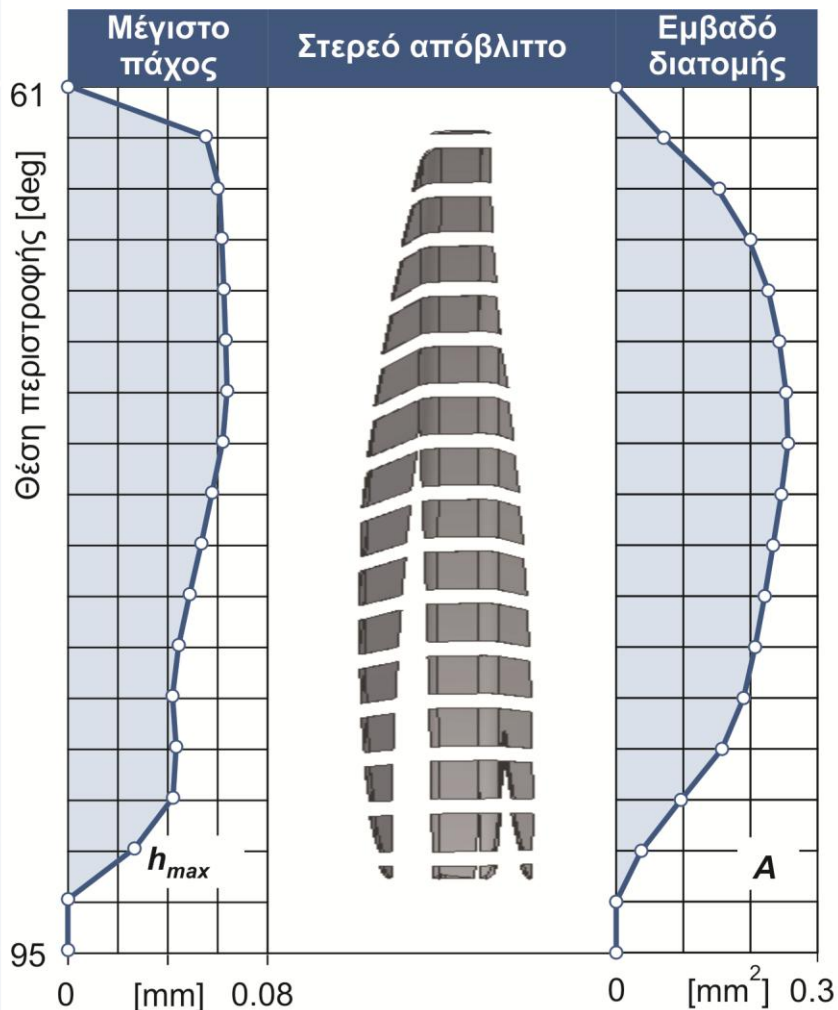
Γεωμετρία στερεών αποβλήτων

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

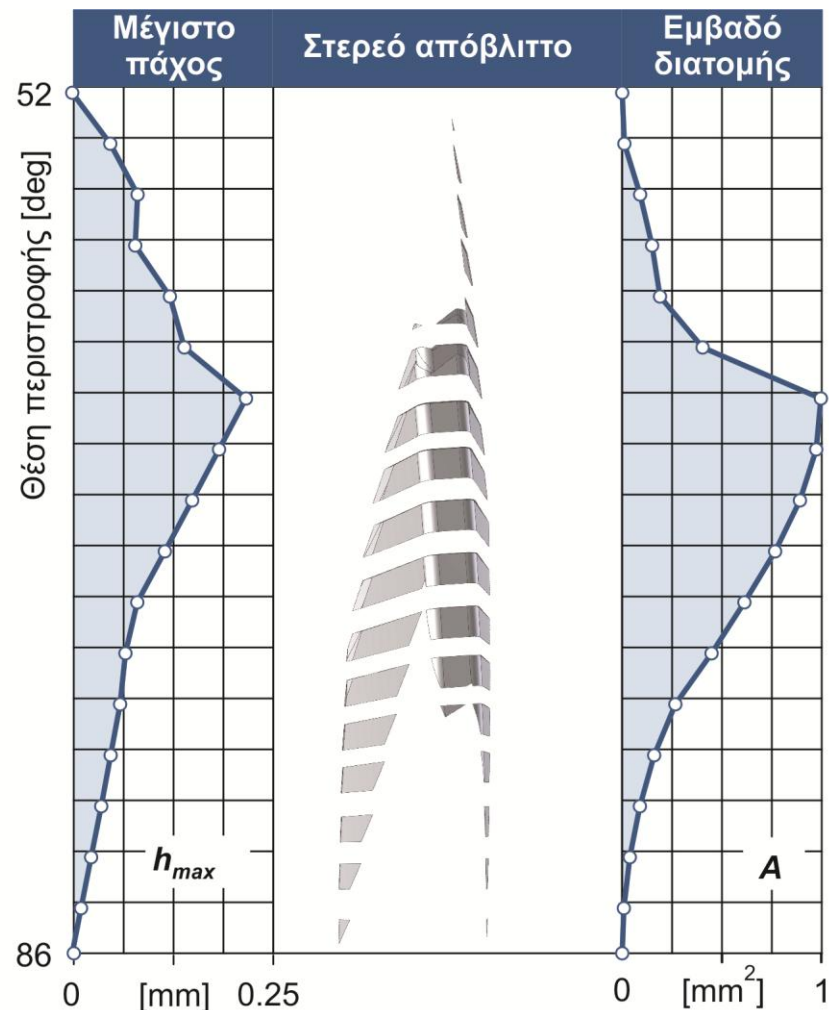


Πολυτεχνείο Κρήτης
Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης
Εργαστήριο Μικροκοπής και Κατασκευαστικής Προσομοίωσης

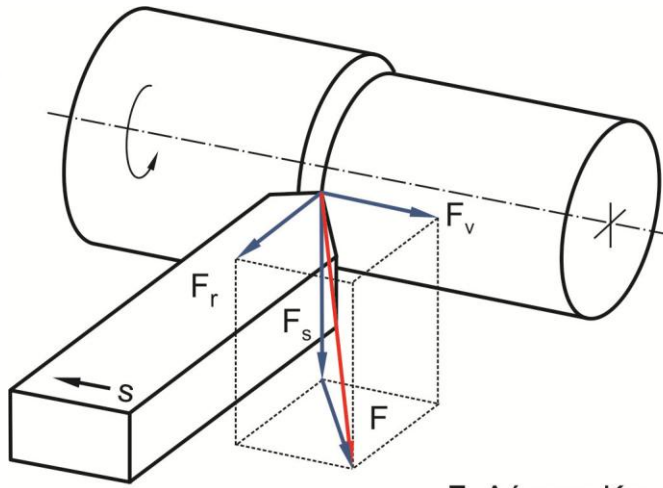
Ταπόγλου Νικόλαος



$m_n=3.79\text{mm}$, $\alpha_n=20^\circ$, $h_a=0^\circ$, $z_1/z_2=1/56$, $n_{st}=9$, $d_h=150\text{mm}$,
 $f_a=4\text{mm/wren}$, Ομόρροπο φραιζάρισμα, Θ.Κ.0



$m_n=4\text{mm}$, $\alpha_n=20^\circ$, $h_a=-30^\circ$, $z_1/z_2=1/40$, $n_{st}=12$, $d_h=100\text{mm}$,
 $f_a=4\text{mm/wren}$, Αντίστροφο-ομόρροπο, Θ.Κ.21



F: Δύναμη Κοπής

Συνιστώσες των δυνάμεων κοπής:

- F_s συνιστώσα δύναμης κοπής παράλληλα στην ταχύτητα κοπής [N]
- F_v συνιστώσα δύναμης κοπής παράλληλα στην πρόωση [N]
- F_r συνιστώσα δύναμης κάθετη στις F_s και F_r [N]

$$F_s = b \cdot K_{S1,1} \cdot h^{1-z}$$

$$F_r = b \cdot K_{R1,1} \cdot h^{1-y}$$

$$F_v = b \cdot K_{V1,1} \cdot h^{1-x}$$

όπου:

b

πλάτος αποβλίττου [mm]

h

πάχος αποβλίττου [mm]

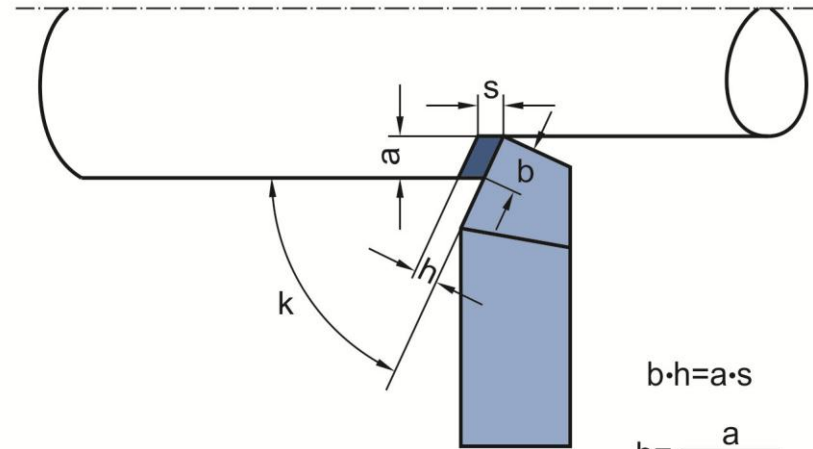
 $K_{S1,1}, K_{R1,1}, K_{V1,1}$ ειδική αντίσταση κοπής [N/mm²]

z, x, y

σταθερά κατεργαζόμενου υλικού

s

πρόωση [mm/rev]



$$b \cdot h = a \cdot s$$

$$b = \frac{a}{\sin(k)}$$

$$h = s \cdot \sin(k)$$



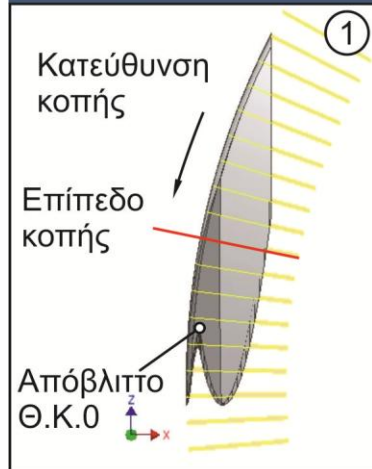
Μοντέλο δυνάμεων κοπής κατά Kienzle-Victor

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

Πολυτεχνείο Κρήτης
Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης
Εργαστήριο Μικροκοπής και Κατασκευαστικής Προσομοίωσης

Ταπόγλου Νικόλαος

Θέσεις περιστροφής

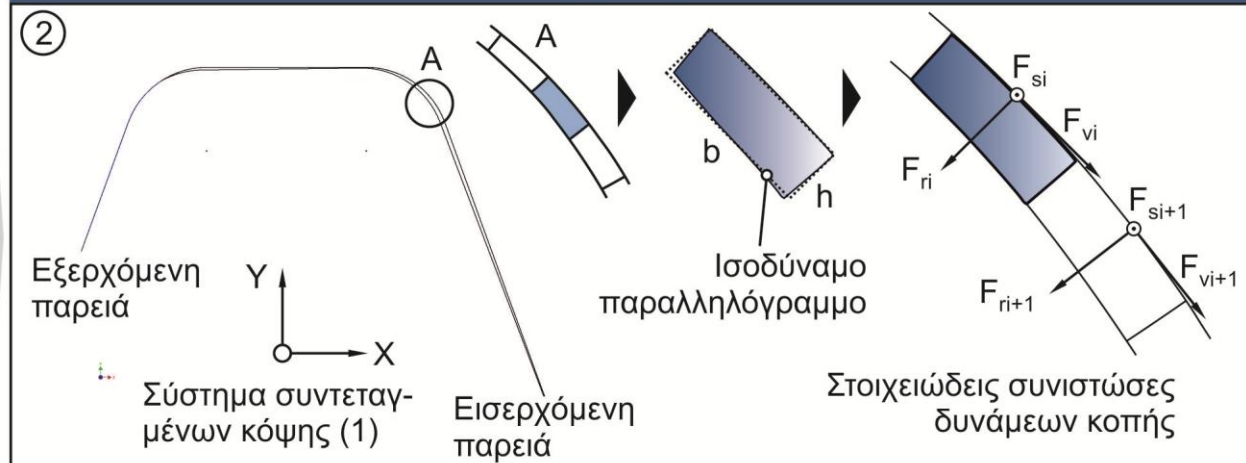


Εξ. Kienzle-Victor

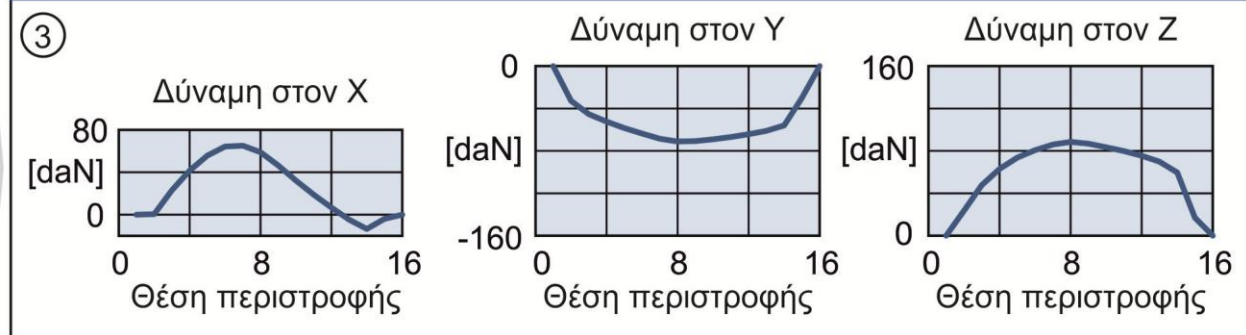
$$F_i = K_i \cdot b \cdot h^{(1-z)}$$

$m_n = 3.79\text{mm}$, $d_h = 150\text{mm}$,
 $a_n = 20^\circ$, $n_{st} = 9$, $h_a = 0^\circ$,
 $z_1/z_2 = 1/56$, $f_a = 4\text{mm/wrev}$,
 16MnCr5BG, $v = 120\text{m/min}$
 Ειδική αντίσταση κοπής
 K_s, K_v, K_f

Διατομή αποβλίττου

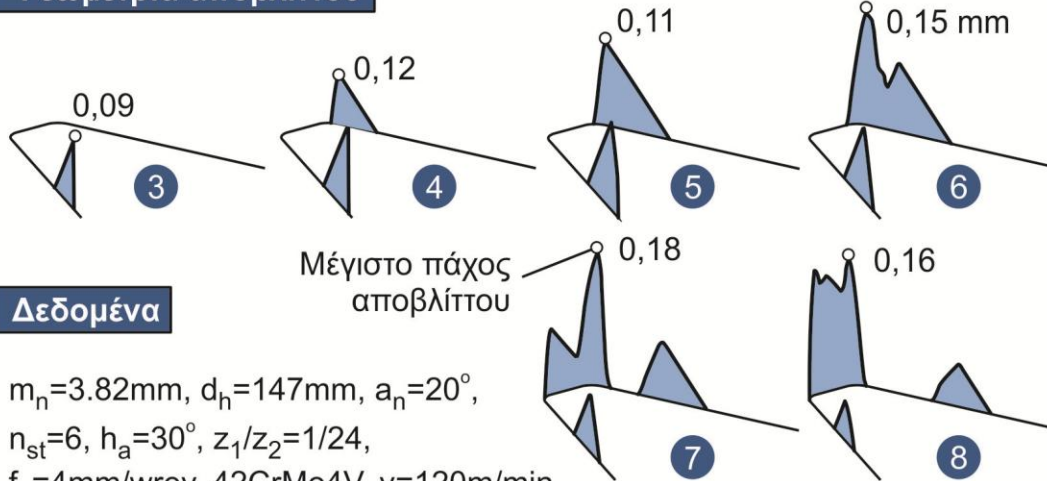


Συνιστώσες δυνάμεων κοπής στο σύστημα της κόψης (1)

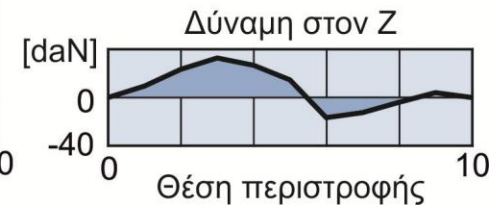
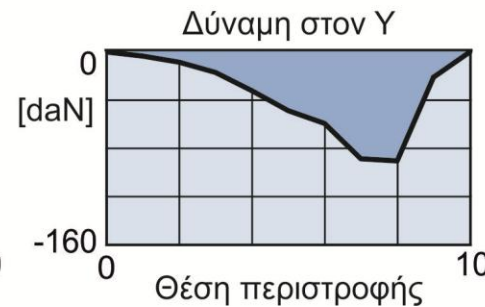
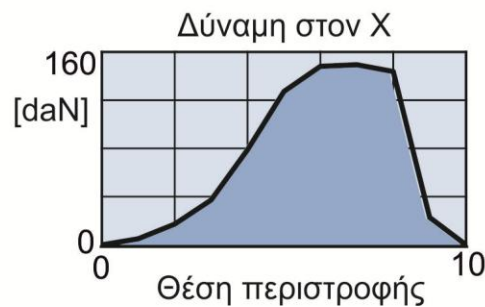
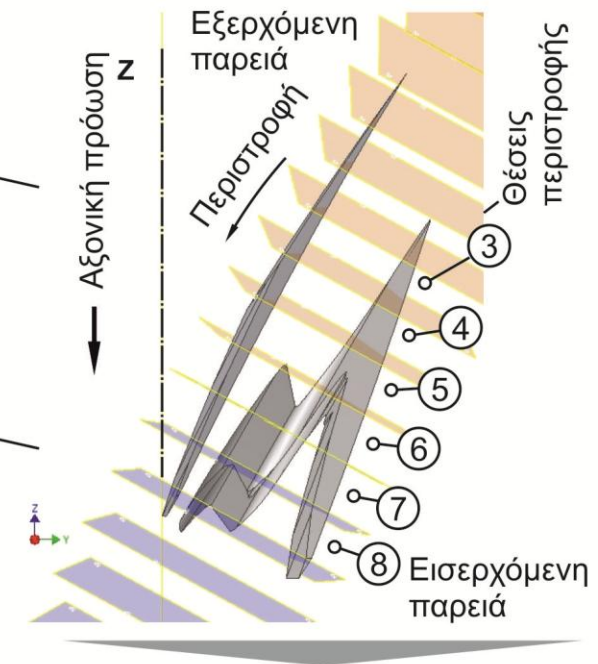


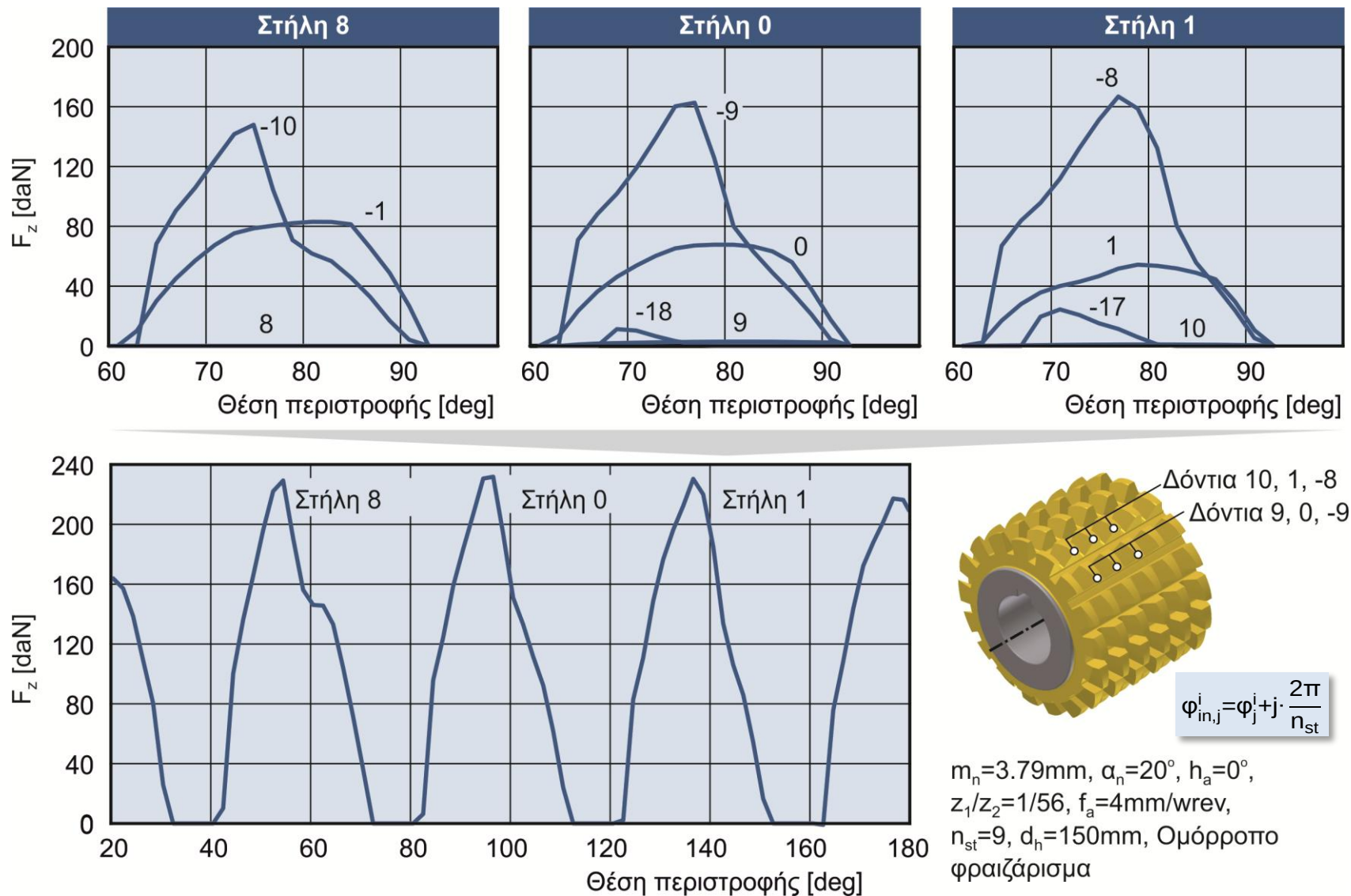
Διαδικασία υπολογισμού των δυνάμεων κοπής

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

Γεωμετρία αποβλίπτου

Δεδομένα

$m_n = 3.82 \text{ mm}$, $d_h = 147 \text{ mm}$, $\alpha_n = 20^\circ$,
 $n_{st} = 6$, $h_a = 30^\circ$, $z_1/z_2 = 1/24$,
 $f_a = 4 \text{ mm/wrev}$, 42CrMo4V, $v = 120 \text{ m/min}$,
 Ομόρροπο-ομοιόστροφο, Θέση κύλισης: -2

Δυνάμεις κοπής στο σύστημα συντεταγμένων της κόψης (1)

Αποτελέσματα υπολογισμού των δυνάμεων κοπής
<http://www.m3.tuc.gr>



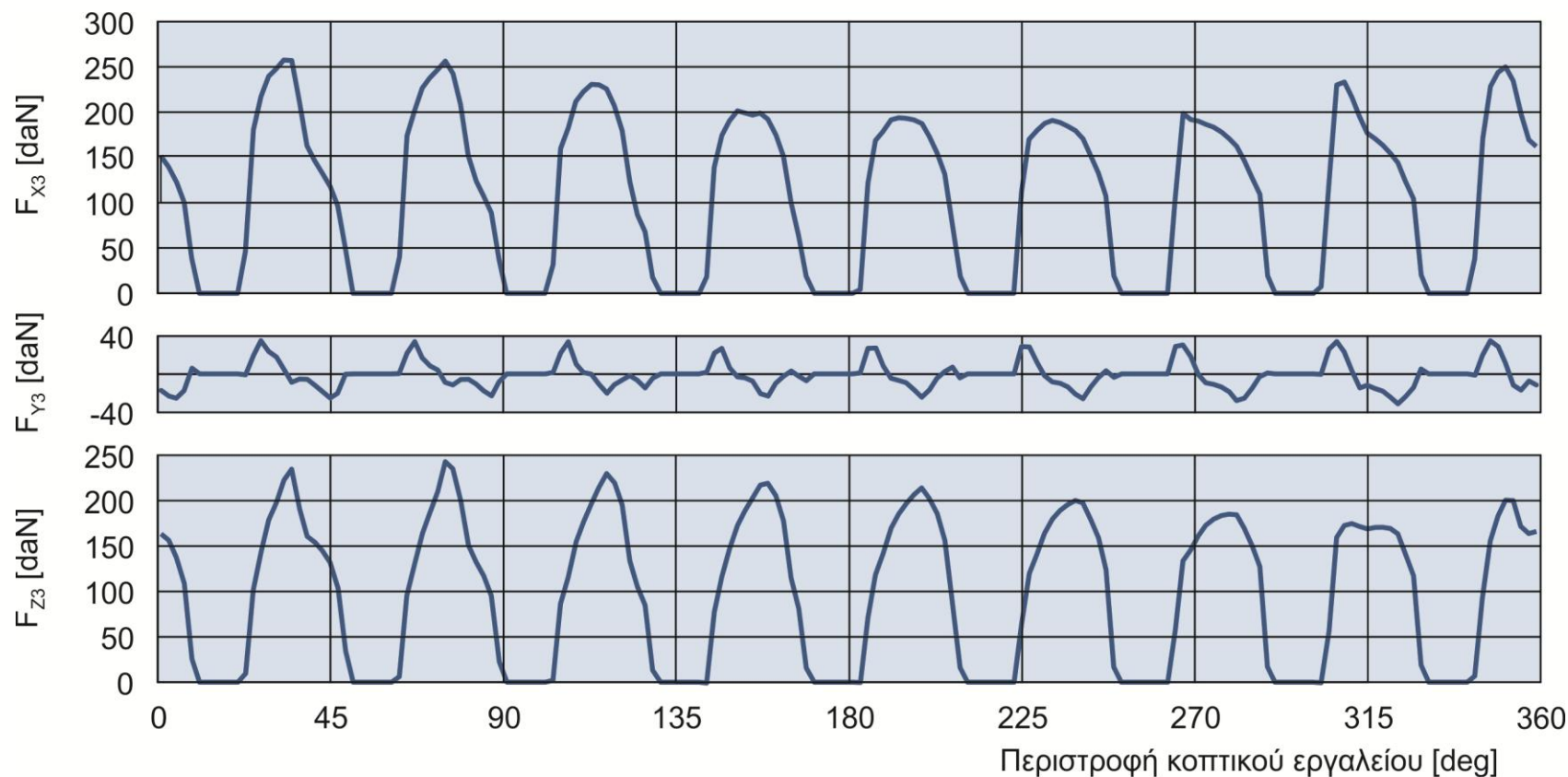
Άθροιση των δυνάμεων κοπής

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



Πολυτεχνείο Κρήτης
Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης
Εργαστήριο Μικροκοπής και Κατασκευαστικής Προσομοίωσης

Ταπόγλου Νικόλαος



$m_n=3.79\text{mm}$, $\alpha_n=20^\circ$, $h_a=0^\circ$, $z_1/z_2=1/56$, $f_a=4\text{mm/wrev}$, $n_{st}=9$, $d_h=150\text{mm}$, Ομόρροπο φραιζάρισμα

Αποτελέσματα υπολογισμού δυνάμεων κοπής

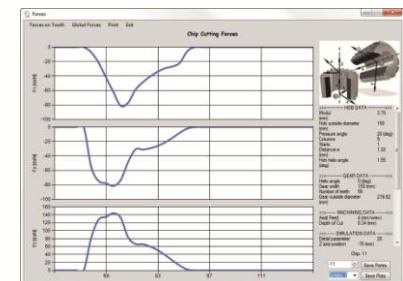
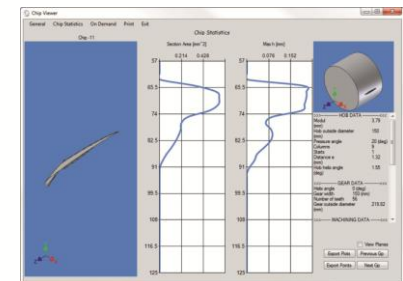
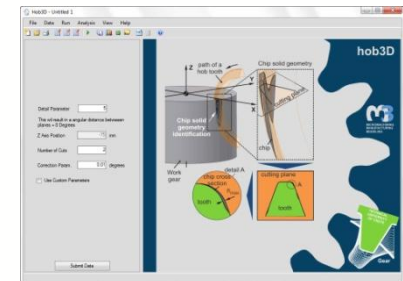
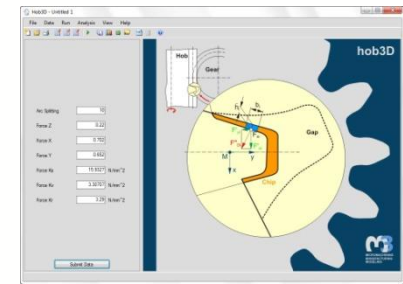
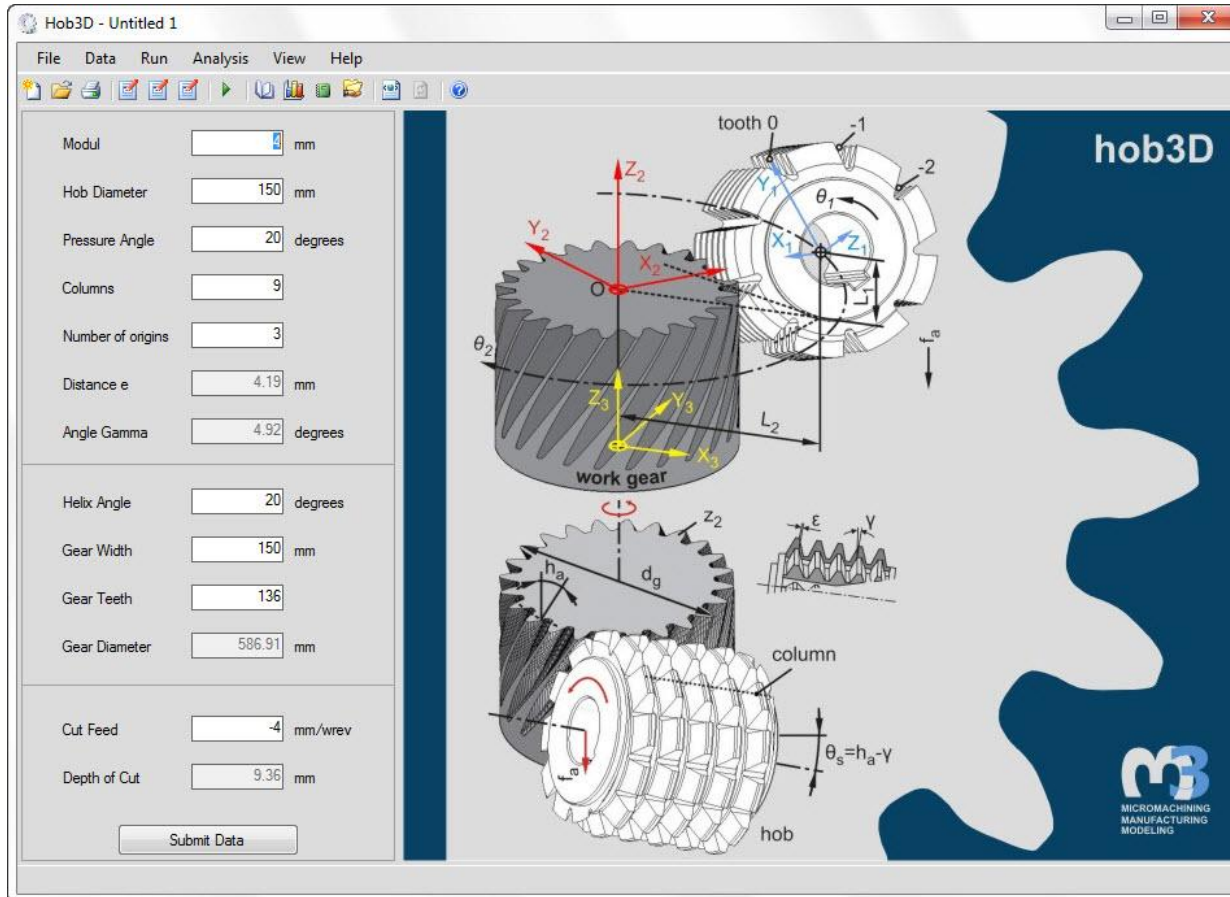
<http://www.m3.tuc.gr>



Πολυτεχνείο Κρήτης
Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης
Εργαστήριο Μικροκοπής και Κατασκευαστικής Προσομοίωσης

Ταπόγλου Νικόλαος

Εισαγωγή των δεδομένων της κατεργασίας



Περιβάλλον HOB3D

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

Έλεγχος της μορφής του αυλακιού

- ✦ Έλεγχος με βάση το θεωρητικό αυλάκι
- ✦ Έλεγχος με βάση πειραματικά αποτελέσματα

Έλεγχος των αναπτυσσόμενων δυνάμεων κοπής

- ✦ Έλεγχος με βάση πειραματικά μετρημένες δυνάμεις κοπής, με κατεργασία οδοντώσεων με φραιζάρισμα με κύλιση, με ένα δόντι
- ✦ Έλεγχος με βάση πειραματικά μετρημένες δυνάμεις κοπής, με κατεργασία οδοντώσεων με φραιζάρισμα με κύλιση, με ολόκληρο κοπτικό εργαλείο

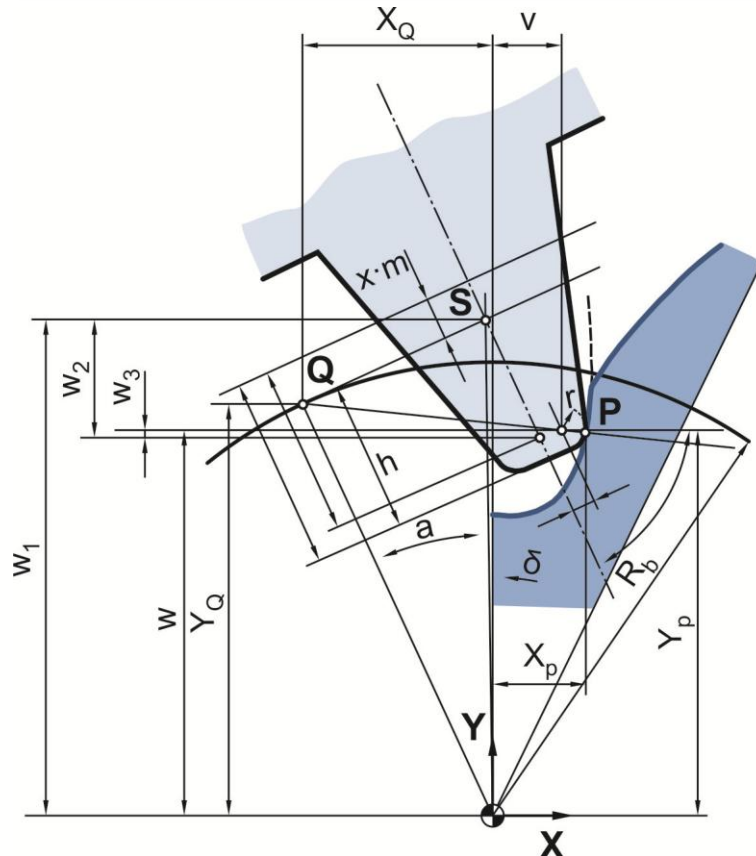


Στάδια επαλήθευσης των αποτελεσμάτων του μοντέλου

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

Η διαδικασία παραγωγής της μορφής της κατατομής αναφοράς γίνεται σε δύο βήματα:

- ⊕ Κατασκευή εξελιγμένης καμπύλης
- ⊕ Κατασκευή καμπύλης του ποδιού



H. Petri, "Zahnfuß-Analyse bei außenverzahnten Evolventenstirnrädern. Teil II - Berechnung," *Antriebstechnik*, vol. 14, pp. 125-131, 1975.

Σημείο έναρξης της εξελιγμένης:

$$X_P = -R_b \cdot P_{s1} + P_{s2} + \frac{r}{\sqrt{1+P_3^2}}$$

$$Y_P = R_b \cdot P_{c1} - P_{c2} + \frac{r \cdot P_3}{\sqrt{1+P_3^2}}$$

όπου:

$$P_{s1} = \sqrt{1+\tan^2 a} \cdot \sin \left[\frac{180}{\pi} (\tan a - a) \right]$$

$$P_{c1} = \sqrt{1+\tan^2 a} \cdot \cos \left[\frac{180}{\pi} (\tan a - a) \right]$$

$$P_{s2} = (y_r - x \cdot m_n) \cdot \sin a + x_r \cdot \cos a$$

$$P_{c2} = (y_r - x \cdot m_n) \cdot \cos a - x_r \cdot \sin a$$

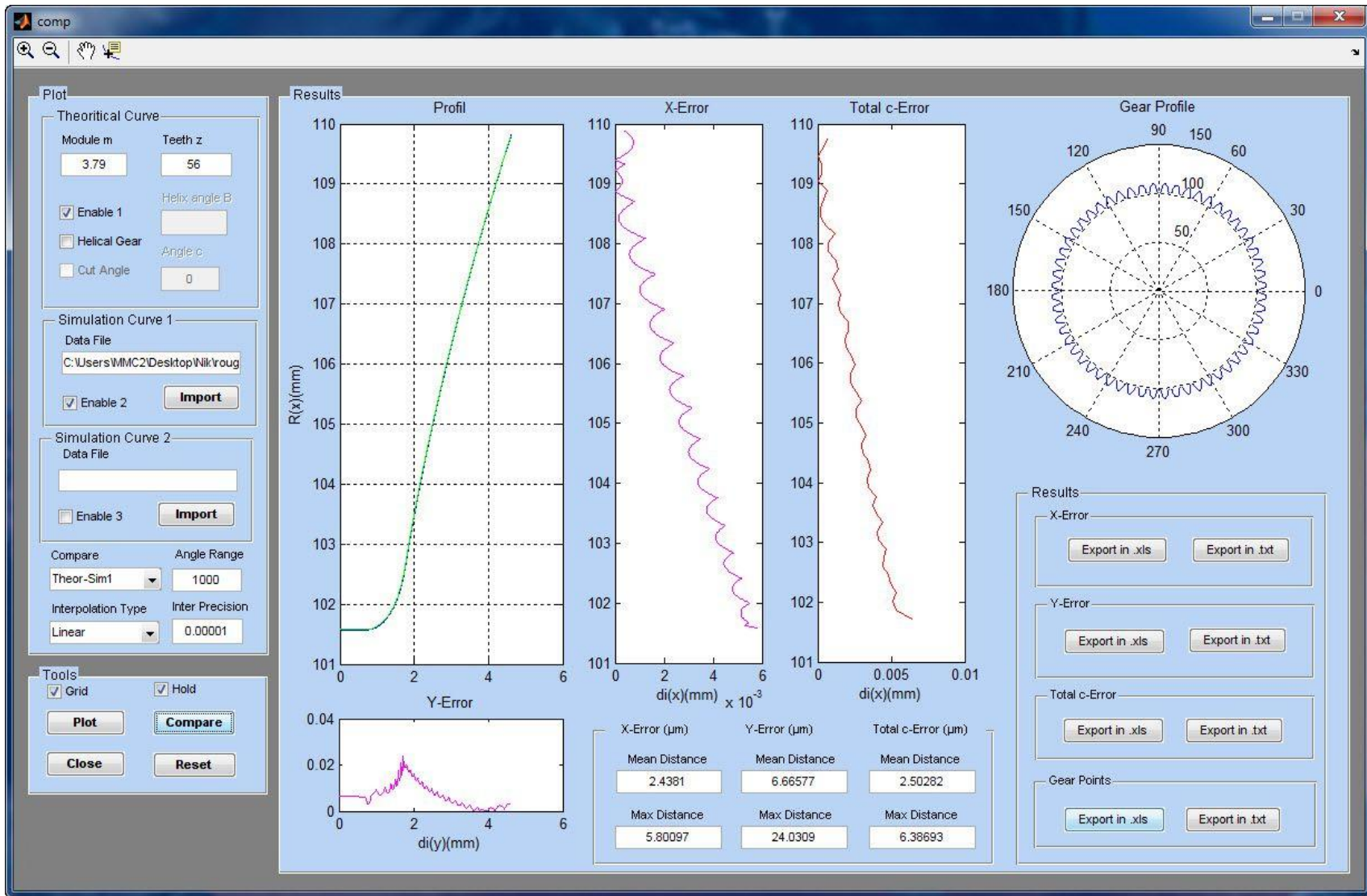
$$P_3 = \frac{R_b \cdot (\cos a - P_{c1}) + P_{c2}}{R_b \cdot (\sin a - P_{s1}) + P_{s2}}$$

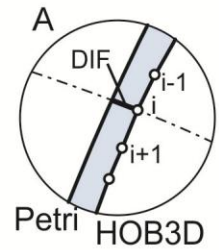
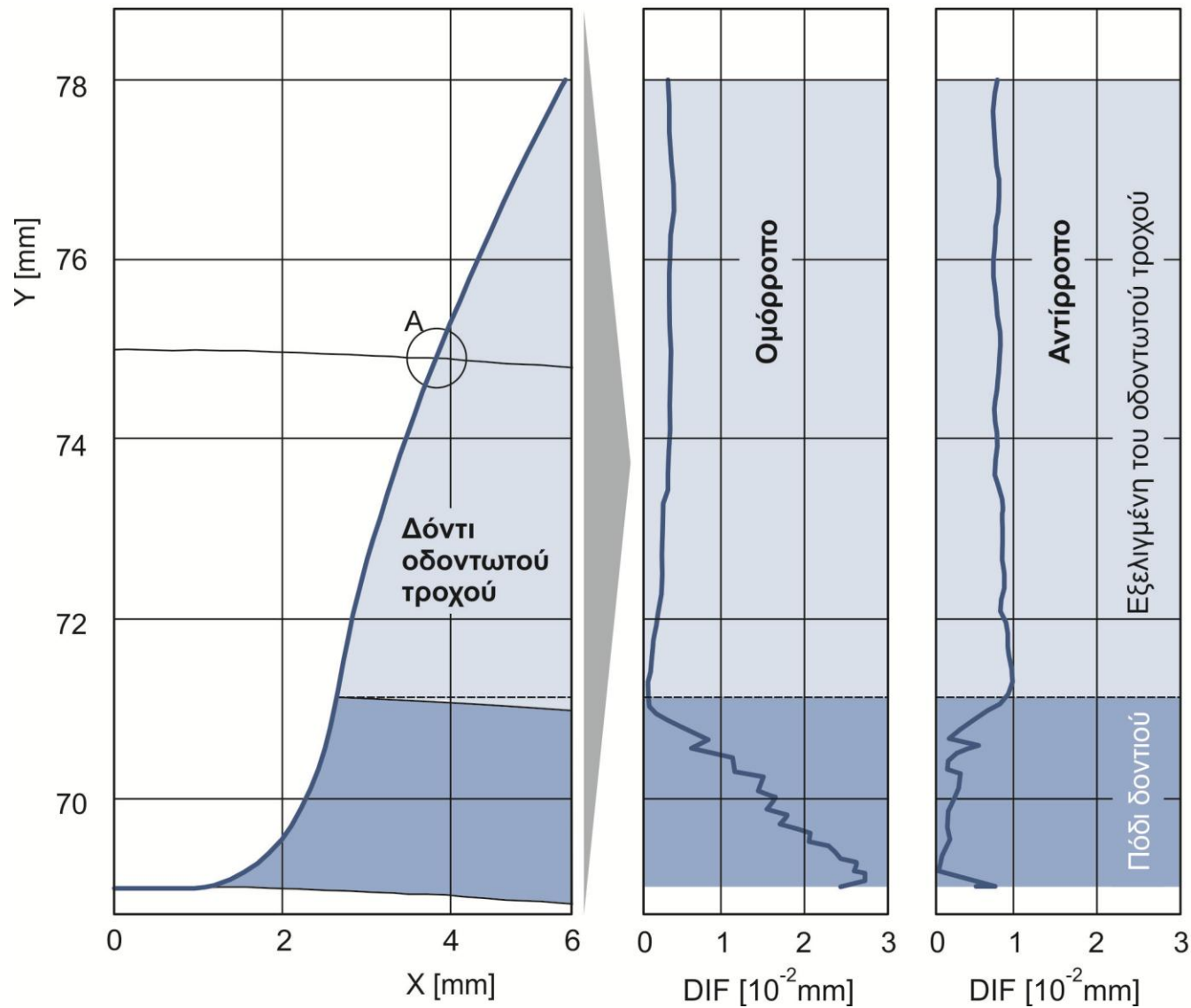
Εξελιγμένη:

$$X_{inv} = R_b \cdot (\cos a + a \cdot \sin a) \quad Y_{inv} = R_b \cdot (\sin a + a \cdot \cos a)$$

Κατασκευή κατατομής αναφοράς

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





Petri HOB3D

$m_n=5\text{mm}$,
 $d_h=125\text{mm}$,
 $z_1/z_2=1/30$,
 $n_{st}=12$, $h_a=0^\circ$,
 $t=11\text{mm}$,
 $f_a=4\text{mm/wrev}$

Επαλήθευση παραγόμενης αυλάκωσης

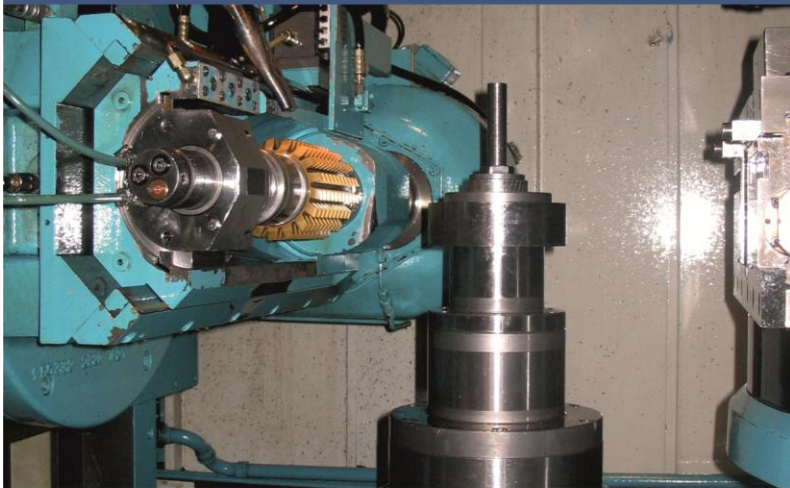
<http://www.m3.tuc.gr>



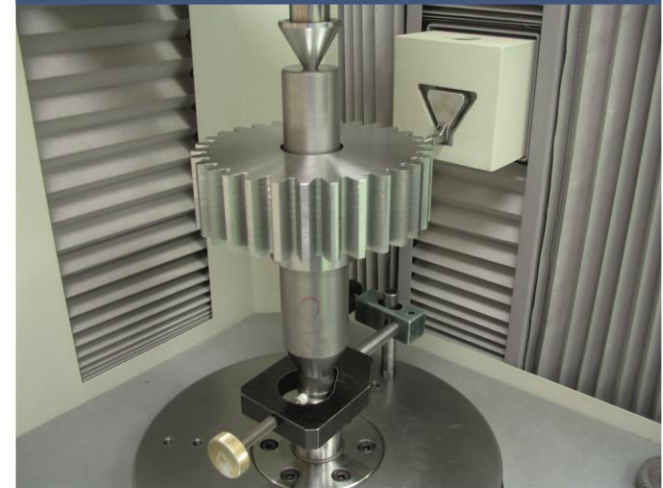
Πολυτεχνείο Κρήτης
 Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης
 Εργαστήριο Μικροκοπής και Κατασκευαστικής Προσομοίωσης

Ταπόγλου Νικόλαος

Κοπή οδόντωσης

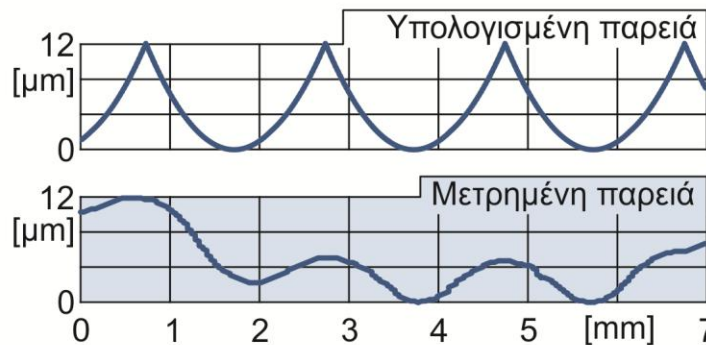


Μετρητική διάταξη

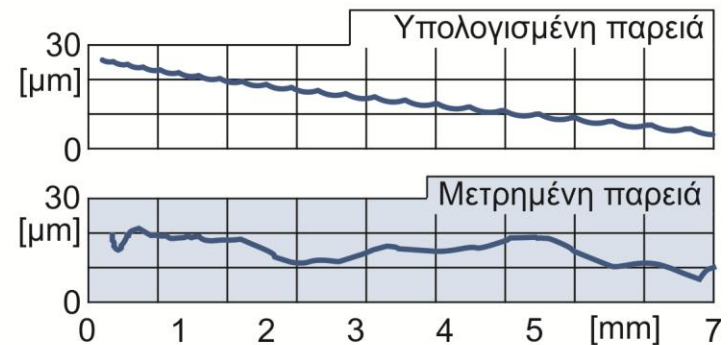


Σύγκριση υπολογισμένου και μετρημένου αυλακιού

Κάθετα στην παρειά



Παράλληλα στην παρειά

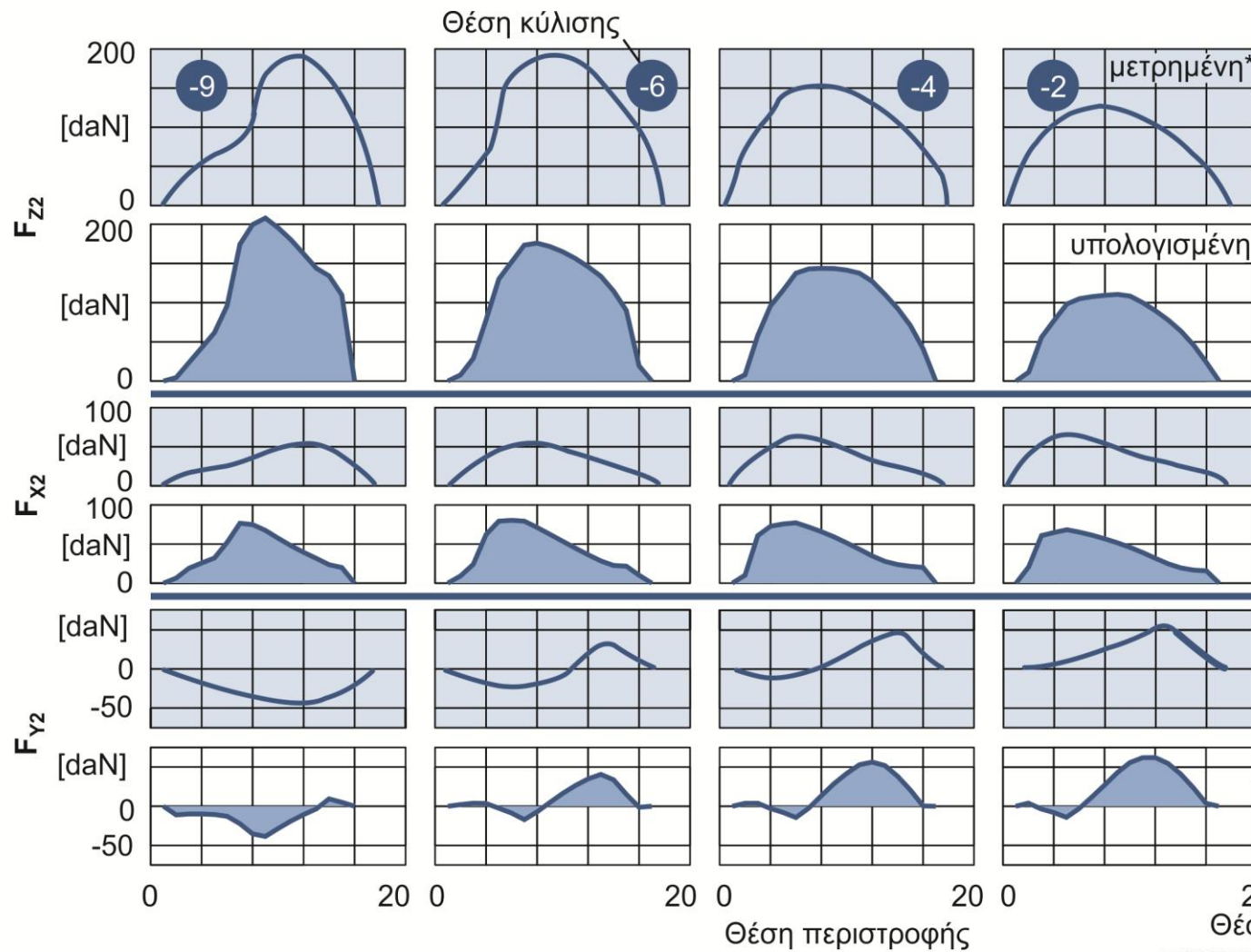


$m_n=5\text{mm}$, $\alpha_n=20^\circ$, $h_a=0^\circ$, $z_1/z_2=1/30$, $f_a=4\text{mm/wrev}$, $n_{st}=17$, $d_h=125\text{mm}$, $v=48\text{m/min}$, Ομόρροπο φραιζάρισμα

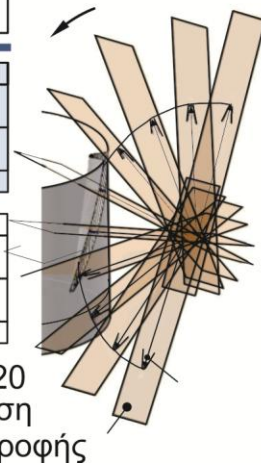
Επαλήθευση παραγόμενης αυλάκωσης με πειραματικά δεδομένα

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

Συνιστώσες δυνάμεων κοπής



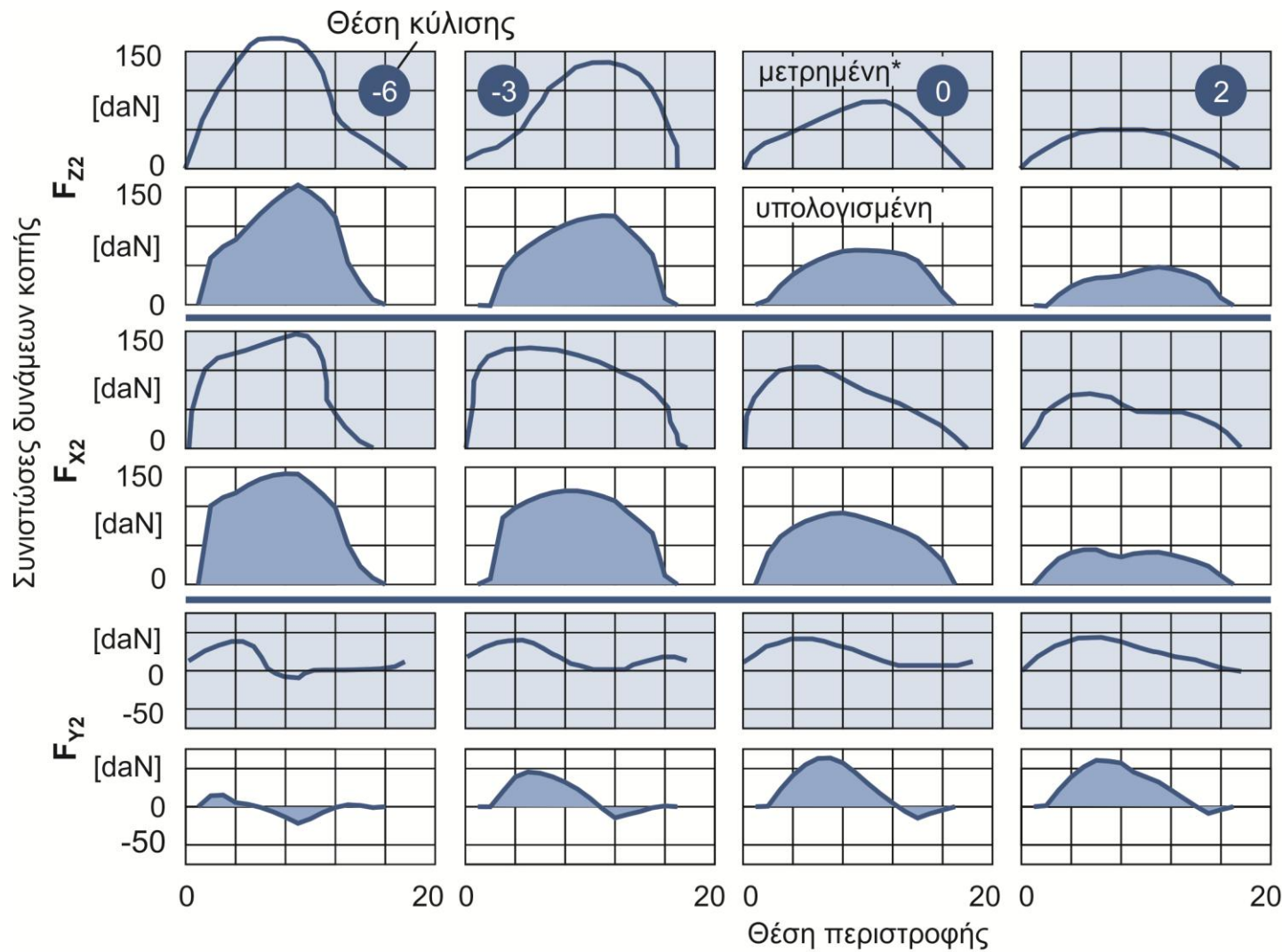
$m_n = 3.79 \text{ mm}$,
 $\alpha_n = 20^\circ$,
 $h_a = 0^\circ$,
 $z_1/z_2 = 1/56$,
 $f_a = -4 \text{ mm/wrev}$,
 $n_{st} = 9$,
 $d_h = 150 \text{ mm}$,
 16MnCr5 BG,
 P25,
 $v = 120 \text{ m/min}$,
 Αντίρροπο
 φραιζάρισμα



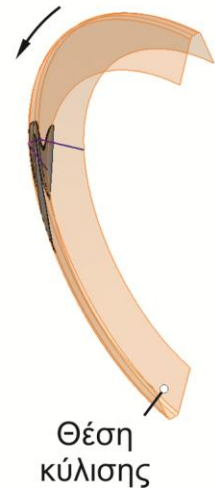
*Κ. Δ. Μπουζάκης 1980 "Konzept und technologische Grundlagen zur automatisierten Erstellung optimaler Bearbeitungsdaten beim Waelzfraesen," Habilitation, TH Aachen.

Επαλήθευση δυνάμεων κοπής στο αντίρροπο φραιζάρισμα

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



$m_n=3.79\text{mm}$,
 $\alpha_n=20^\circ$,
 $h_a=0^\circ$,
 $z_1/z_2=1/56$,
 $f_a=4\text{mm/wrev}$,
 $n_{st}=9$,
 $d_h=150\text{mm}$,
 16 MnCr5 BG,
 P25,
 $v=120\text{m/min}$,
 Ομόρροπο
 φραιζάρισμα

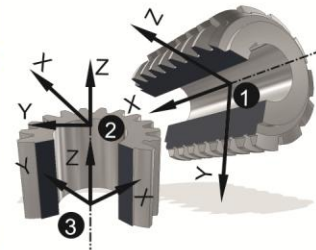
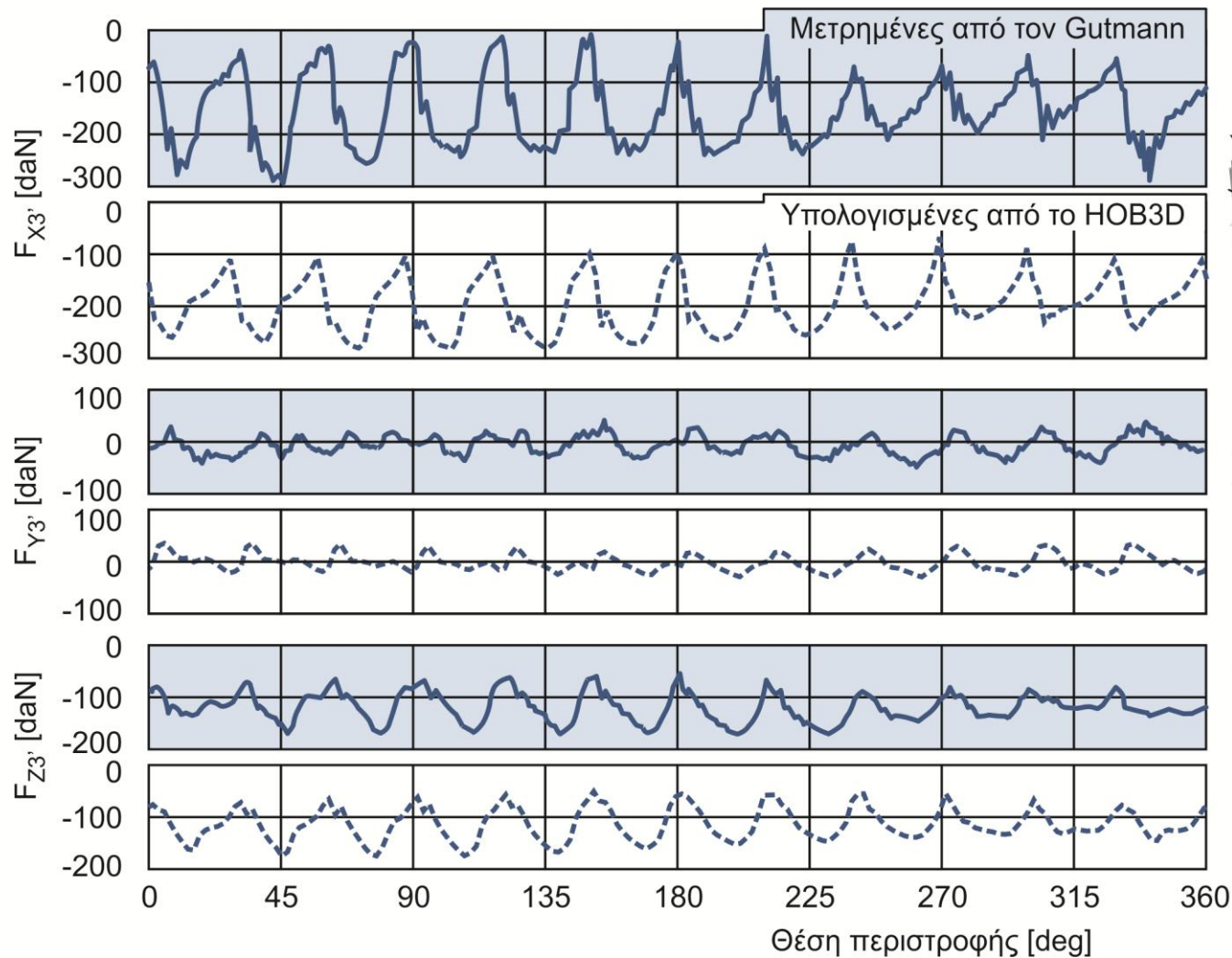


*Κ. Δ. Μπουζάκης 1980 "Konzept und technologische Grundlagen zur automatisierten Erstellung optimaler Bearbeitungsdaten beim Waelzfraesen," Habilitation, TH Aachen.

Επαλήθευση δυνάμεων κοπής στο ομόρροπο φραιζάρισμα

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

Συνιστώσες δυνάμεων κοπής



$m_n=4\text{mm}$,
 $\alpha_n=20^\circ$,
 $h_a=0^\circ$,
 $z_1/z_2=1/75$,
 $f_a=4\text{mm}/w_{rev}$,
 $n_{st}=12$,
 $d_h=115\text{mm}$,
 16MnCr5 N,
 HSS,
 $v=60\text{m/min}$,
 Ομόρροπο
 φραιζάρισμα

Επαλήθευση συνολικών δυνάμεων κοπής

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

Πολυτεχνείο Κρήτης
Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης
Εργαστήριο Μικροκοπής και Κατασκευαστικής Προσομοίωσης

Ταπόγλου Νικόλαος

Hob3D Pre-Processing

Τροποποίηση γεωμετρίας
του οδοντωτού τροχού

Δημιουργία στερεής
γεωμετρίας δοντιού

Πορεία δοντιού του
κοπτικού εργαλείου

Hob3D

Γεωμετρία οδοντωτού τροχού
πριν την προς εξέταση Θ.Κ.

Deform

Εισαγωγή γεωμετρίας αυλακιού

Εισαγωγή γεωμετρίας κοπτικού εργαλείου

Πλεγματοποίηση αντικειμένων

Πλεγματοποίηση αντικειμένων

Εισαγωγή οριακών συνθηκών

Εισαγωγή κινηματικής του δοντιού

Ορισμός υλικού κατεργασίας

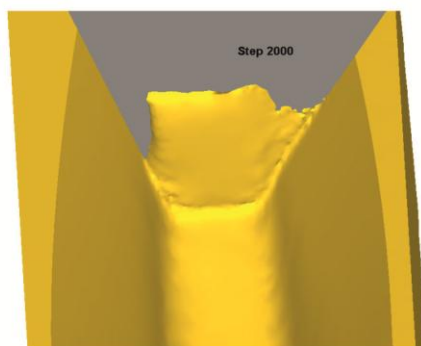
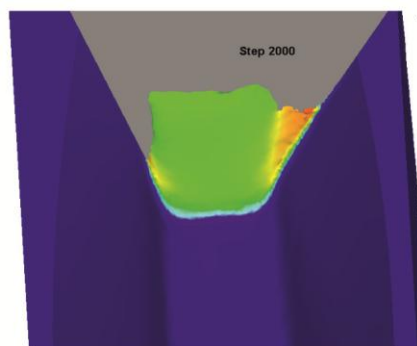
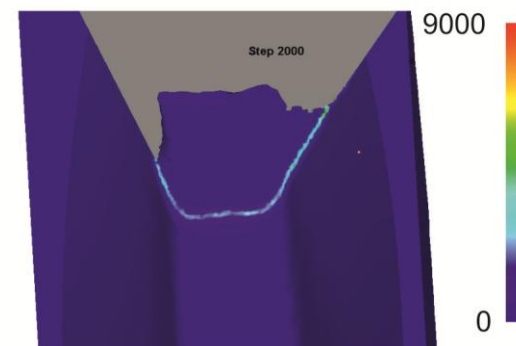
Ορισμός υλικού του κοπτικού εργαλείου

Αποτελέσματα

Δυνάμεις κοπής

Τάσεις/Παραμορφώσεις
στο αυλάκι

Τάσεις στο κοπτικό
εργαλείο

Αυλάκι**Παραμόρφωση****Ρυθμός παραμόρφωσης**

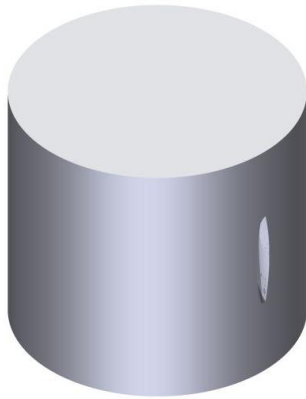
$m_n=4\text{mm}$, $\alpha_n=20^\circ$, $h_a=0^\circ$, $z_1/z_2=1/40$, $f_a=4\text{mm/wrev}$, $n_{st}=12$, $d_h=100\text{mm}$, $v=100\text{m/min}$, P40, 16MnCr5,
Θέση κύλισης: -10, Ομόρροπο φραιζάρισμα

Δομή του μοντέλου προσομοίωσης με χρήση της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων

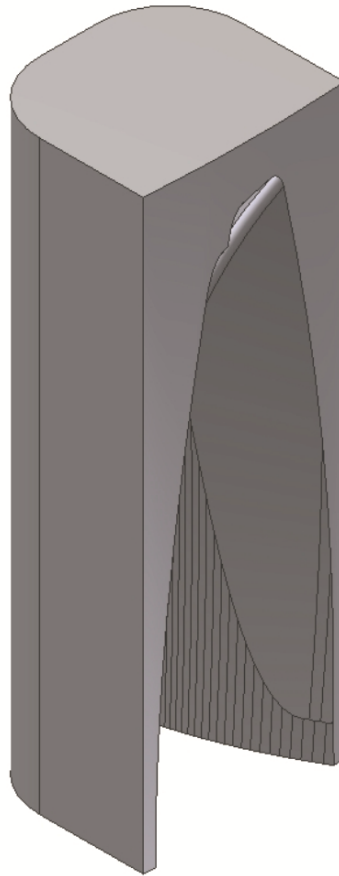
<http://www.m3.tuc.gr>

Διαδικασία τροποποίησης του οδοντωτού τροχού

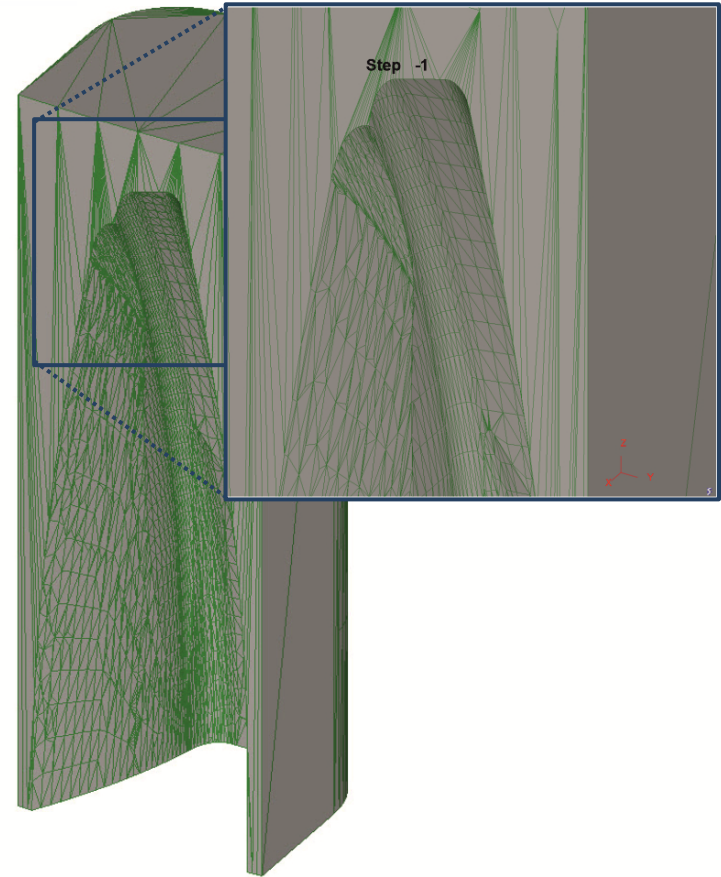
Αρχικός οδοντωτός τροχός



Περιοχή ενδιαφέροντος



Εισηγμένη γεωμετρία



Τροποποίηση της γεωμετρίας του τροχού

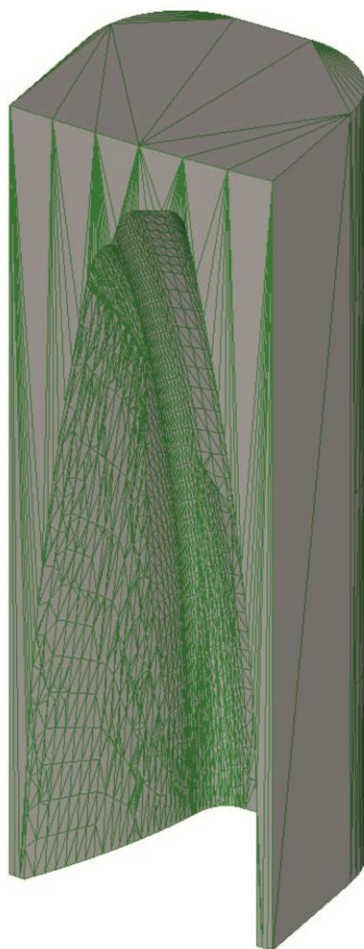
<http://www.m3.tuc.gr>

Πολυτεχνείο Κρήτης
Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης
Εργαστήριο Μικροκοπής και Κατασκευαστικής Προσομοίωσης

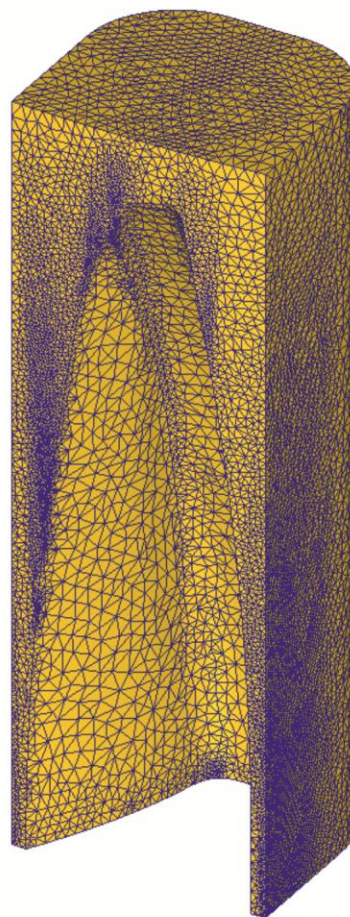
Ταπόγλου Νικόλαος

Εισαγωγή και πλεγματοποίηση του οδοντωτού τροχού

Εισηγμένη γεωμετρία



Πλεγματοποίηση τροχού



Νέα πλεγματοποίηση οδοντωτού τροχού

$m_n=4\text{mm}$, $\alpha_n=20^\circ$, $h_a=0^\circ$, $z_1/z_2=1/40$, $f_a=4\text{mm/wrev}$, $n_{st}=12$, $d_h=100\text{mm}$, $v=100\text{m/min}$, P40, 16MnCr5,
Θέση κύλισης: -10, Ομόρροπο φραιζάρισμα

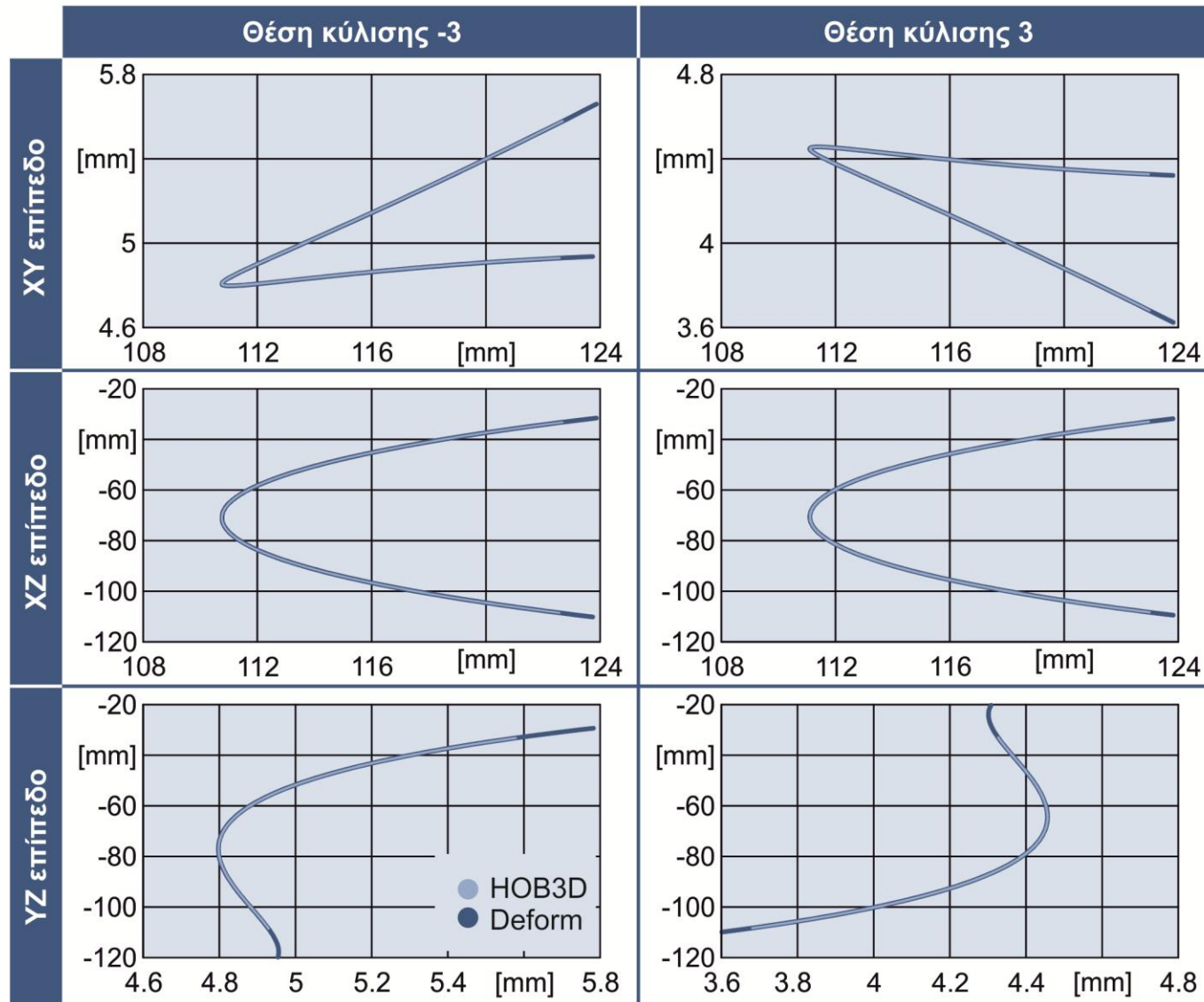
Εισαγωγή και πλεγματοποίηση του οδοντωτού τροχού

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

Πολυτεχνείο Κρήτης
Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης
Εργαστήριο Μικροκοπής και Κατασκευαστικής Προσομοίωσης

Ταπόγλου Νικόλαος



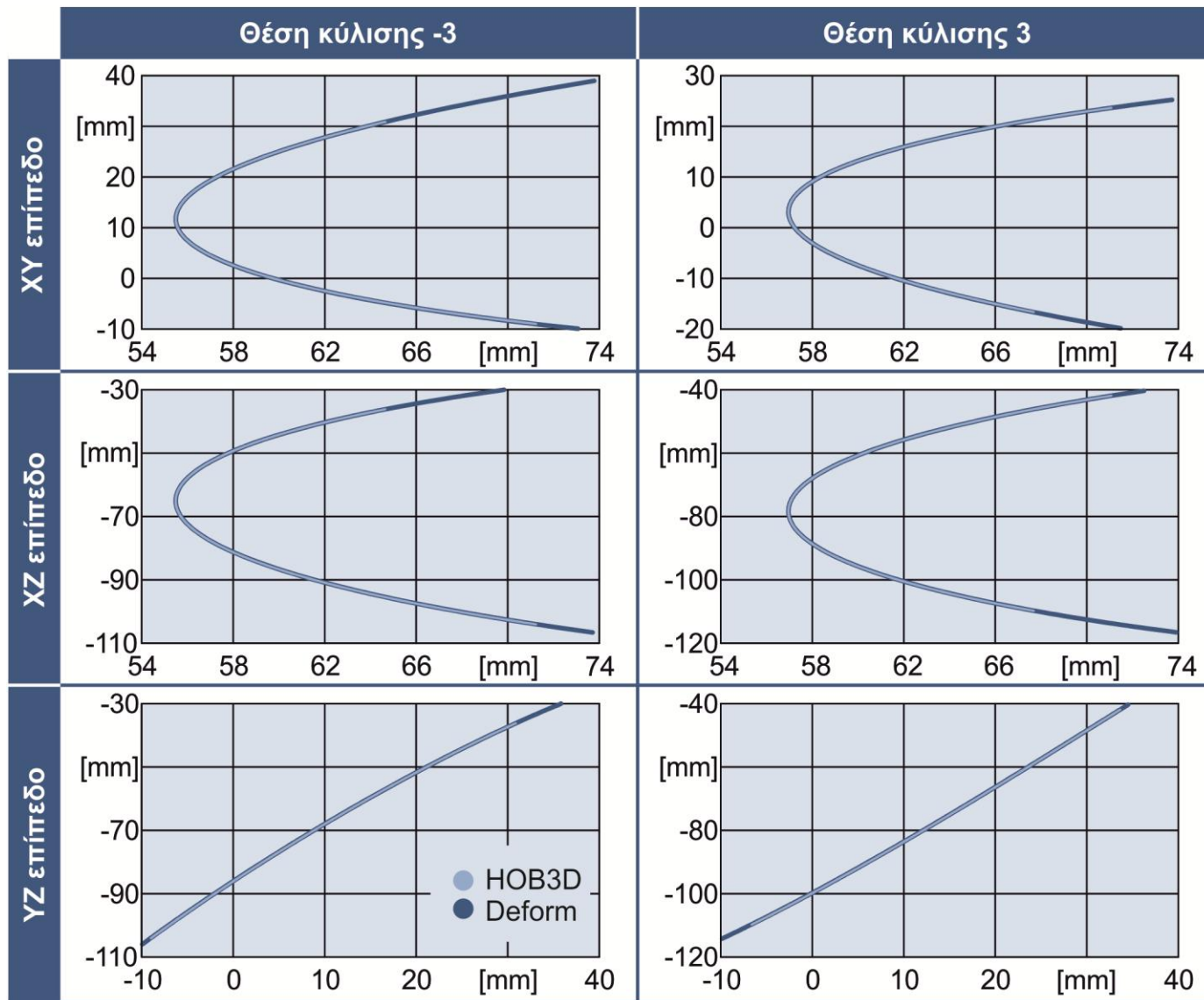


$m_n=3.79\text{mm}$, $\alpha_n=20^\circ$,
 $h_a=0^\circ$, $z_1/z_2=1/56$,
 $f_a=4\text{mm/wrev}$, $n_{st}=9$,
 $d_h=150\text{mm}$,
 Ομόρροπο
 φραιζάρισμα

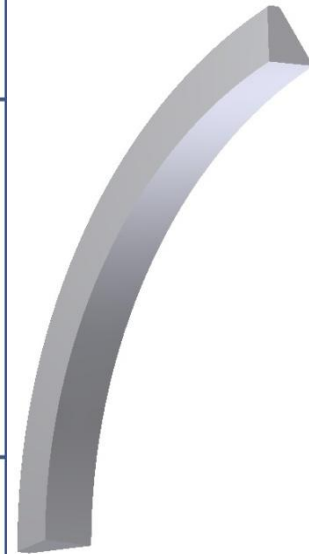


Επαλήθευση της τροχιάς του κοπτικού δοντιού

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



$m_n = 3.82 \text{ mm}$, $\alpha_n = 20^\circ$,
 $h_a = 30^\circ$, $z_1/z_2 = 1/30$,
 $f_a = 4 \text{ mm/wrev}$, $n_{st} = 6$,
 $d_h = 147 \text{ mm}$,
 Ομόρροπο-
 ομοιόστροφο



Επαλήθευση της τροχιάς του κοπτικού δοντιού

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

Θέση περιστροφής 1



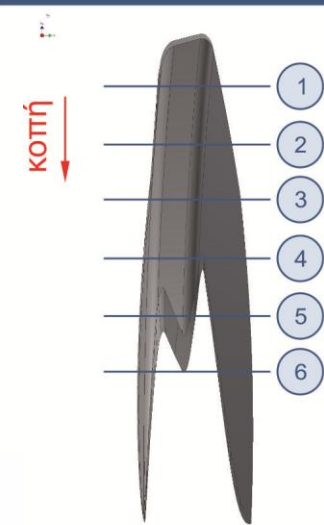
Θέση περιστροφής 2



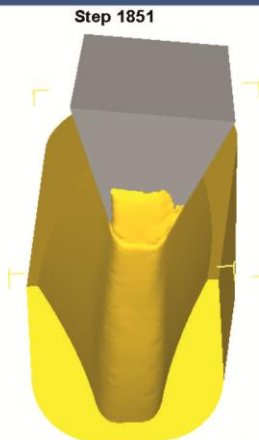
Θέση περιστροφής 3



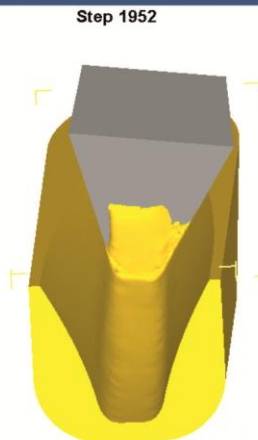
3D-Απόβλιττο



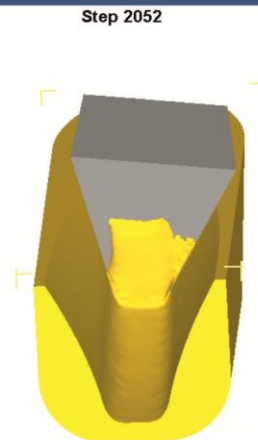
Θέση περιστροφής 4



Θέση περιστροφής 5



Θέση περιστροφής 6



$m_n=4\text{mm}$, $\alpha_n=20^\circ$, $h_a=0^\circ$, $z_1/z_2=1/40$, $n_{st}=12$, $f_a=4\text{mm/wrev}$, $d_h=100\text{mm}$,
 $v=100\text{m/min}$, P40, 16MnCr5, Ομόρροπο φραιζάρισμα, Θέση κύλισης: -10

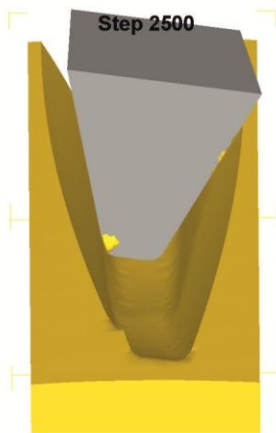
Επαλήθευση παραγόμενων αποβλίττων

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

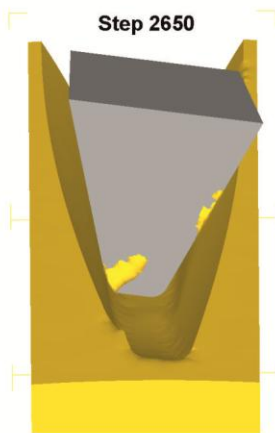
Πολυτεχνείο Κρήτης
 Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης
 Εργαστήριο Μικροκοπής και Κατασκευαστικής Προσομοίωσης

Ταπόγλου Νικόλαος

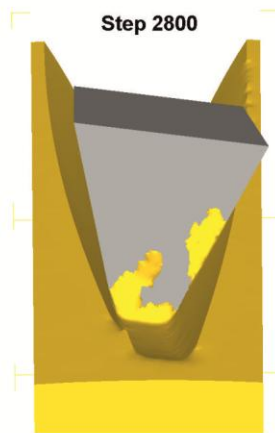
Θέση περιστροφής 1



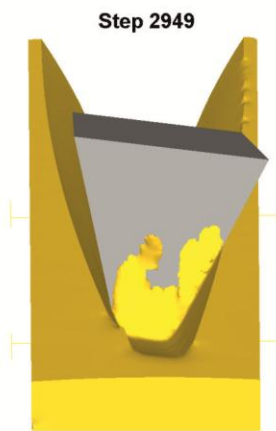
Θέση περιστροφής 2



Θέση περιστροφής 3



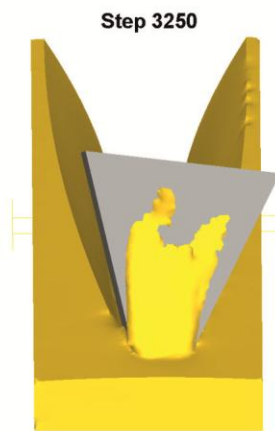
Θέση περιστροφής 4



Θέση περιστροφής 5

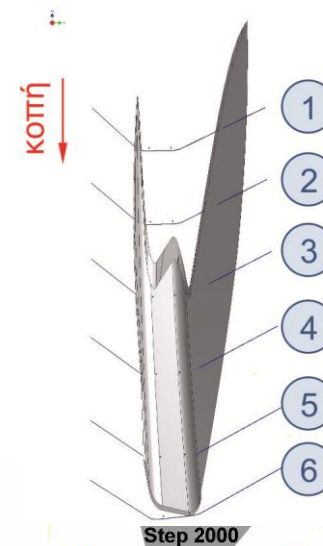


Θέση περιστροφής 6



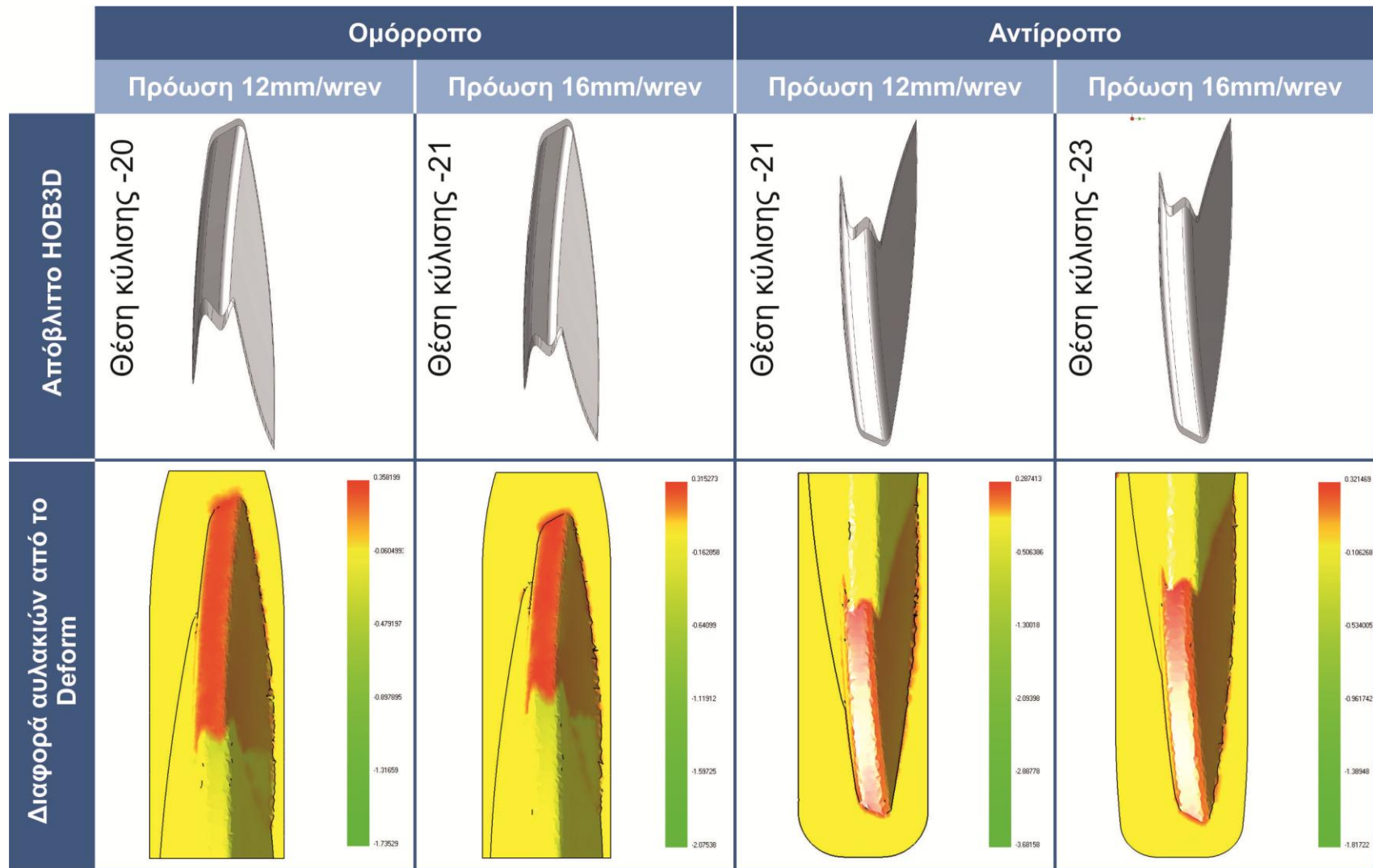
$m_n=4\text{mm}$, $\alpha_n=20^\circ$, $h_a=0^\circ$, $z_1/z_2=1/40$, $n_{st}=12$, $f_a=-4\text{mm/wrev}$, $d_h=100\text{mm}$,
 $v=100\text{m/min}$, P40, 16MnCr5, Αντίρροπο φραιζάρισμα, Θέση κύλισης: -14

3D-Απόβλιττο



Επαλήθευση παραγόμενων αποβλίττων

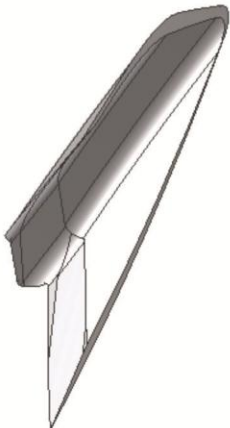
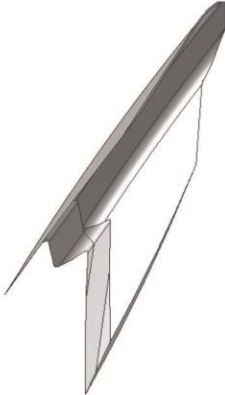
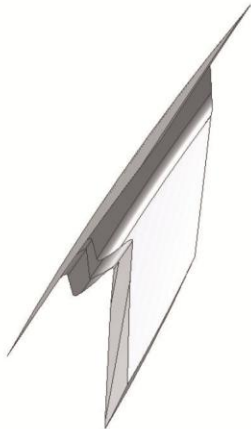
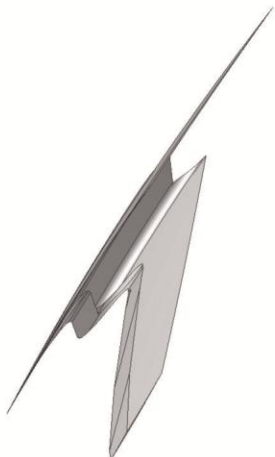
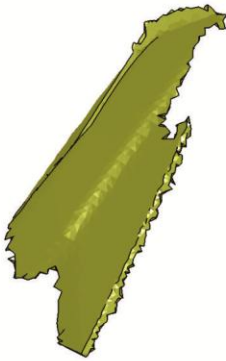
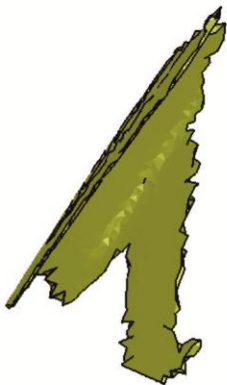
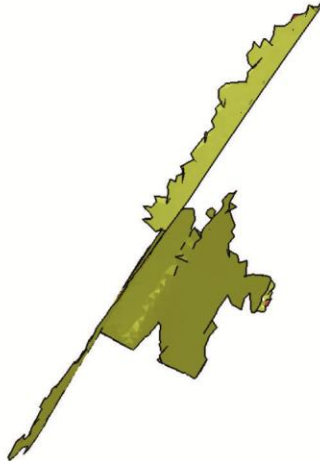
<http://www.m3.tuc.gr>



$m_n=4\text{mm}$, $\alpha_n=20^\circ$, $h_a=0^\circ$, $z_1/z_2=1/40$, $n_{st}=12$, $d_h=100\text{mm}$, P40, 16MnCr5, $v=100\text{m/min}$

Επαλήθευση παραγόμενων αποβλίττων

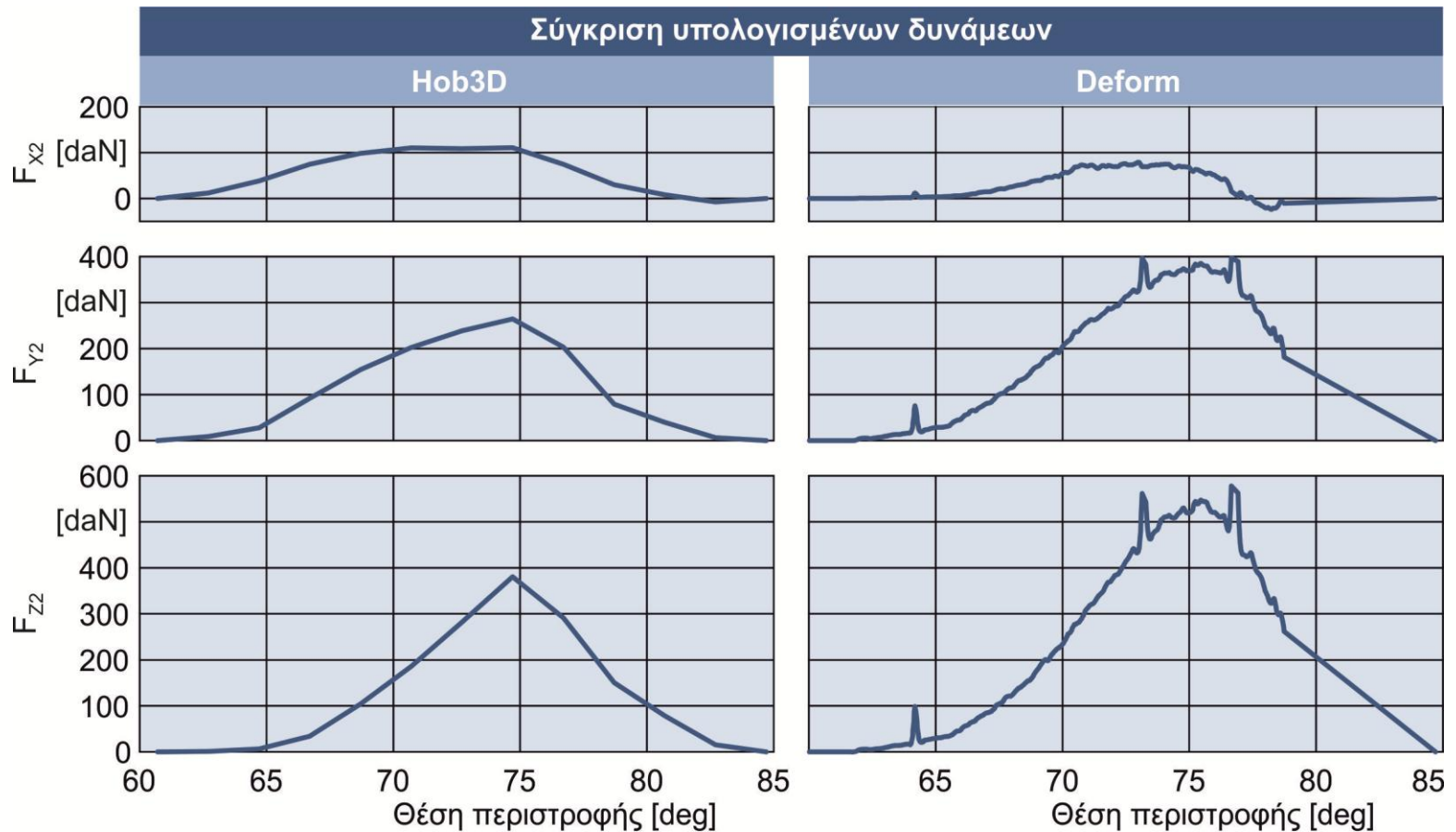
<http://www.m3.tuc.gr>

	Θέση κύλισης -17	Θέση κύλισης -15	Θέση κύλισης -13	Θέση κύλισης -9
Απόβλιττο HOB3D				
Απόβλιττο Deform				

$m_n=3.82\text{mm}$, $\alpha_n=20^\circ$, $h_a=30^\circ$, $z_1/z_2=1/30$, $f_a=4\text{mm/wrev}$, $n_{st}=6$, $d_h=147\text{mm}$, P40, 16MnCr5,
 $v=100\text{m/min}$, Ομόρροπο-ομοιόστροφο

Επαλήθευση παραγόμενων αποβλίττων

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



$m_n=3.82\text{mm}$, $\alpha_n=20^\circ$, $h_a=30^\circ$, $z_1/z_2=2/24$, $f_a=4\text{mm/wrev}$, $n_{st}=12$, $d_h=147\text{mm}$, $v=100\text{m/min}$,
Ομόρροπο-ομοιόστροφο, P40, 16MnCr5, Θέση κύλισης: -13

Επαλήθευση δυνάμεων κοπής

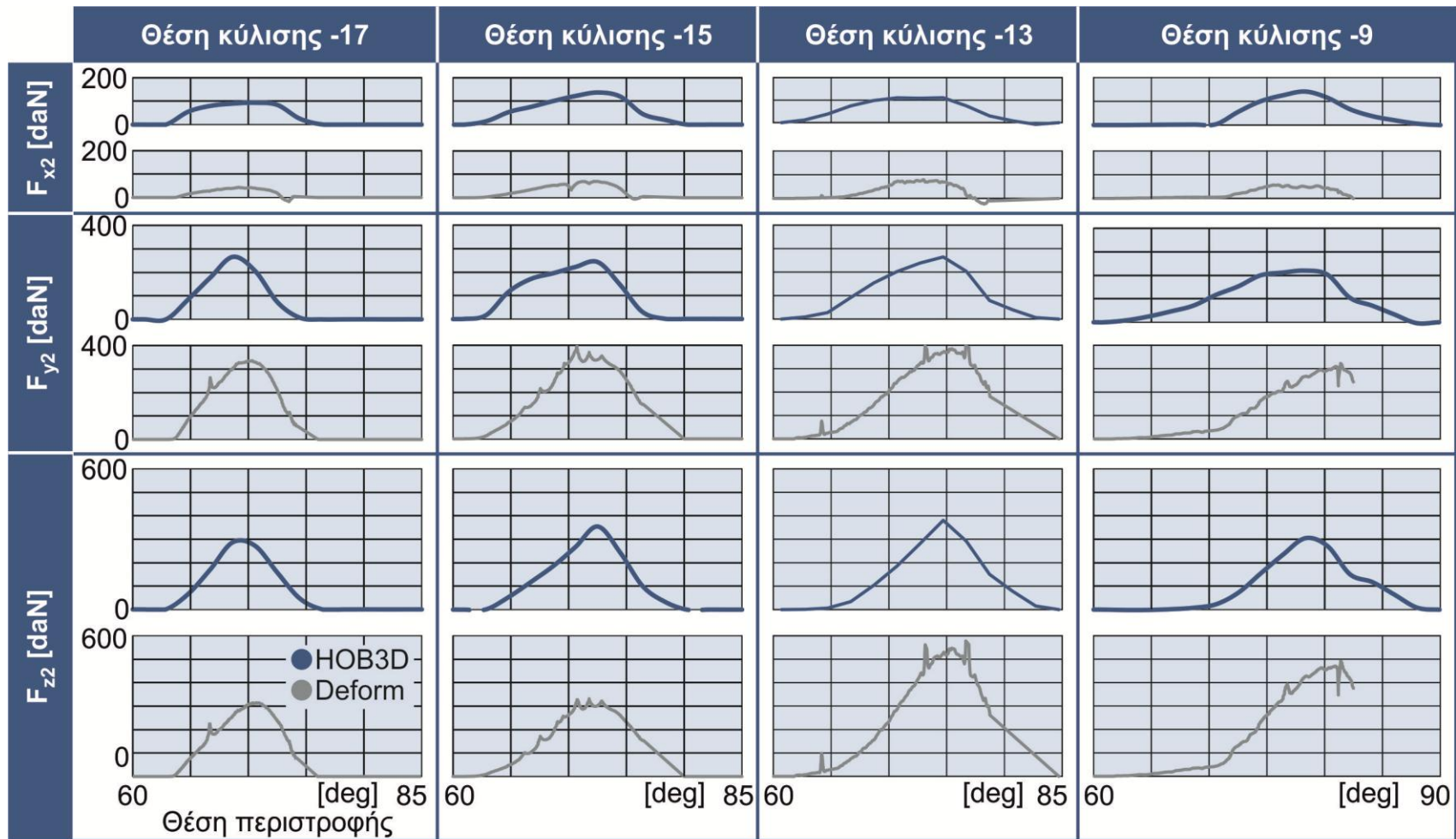
<http://www.m3.tuc.gr>



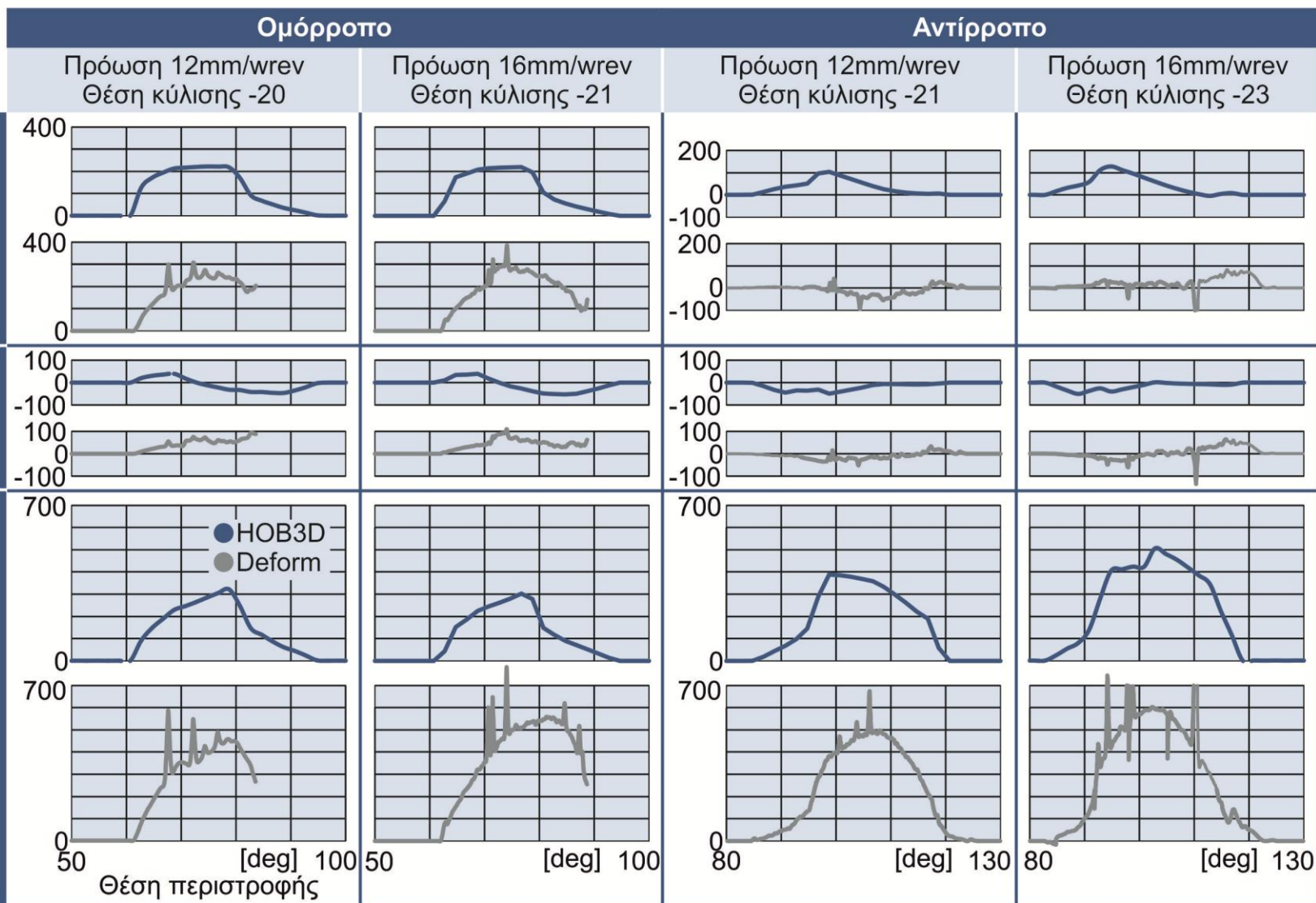
Πολυτεχνείο Κρήτης
Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης
Εργαστήριο Μικροκοπής και Κατασκευαστικής Προσομοίωσης

Ταπόγλου Νικόλαος





$m_n=3.82\text{mm}$, $\alpha_n=20^\circ$, $h_a=30^\circ$, $z_1/z_2=1/30$, $f_a=4\text{mm/wrev}$, $n_{st}=6$, $d_n=147\text{mm}$, P40, 16MnCr5,
 $v=100\text{m/min}$, Ομόρροπο-ομοιόστροφο



$m_n=4\text{mm}$, $\alpha_n=20^\circ$, $h_a=0^\circ$, $z_1/z_2=1/40$, $n_{st}=12$, $d_h=100\text{mm}$, P40, 16MnCr5, $v=100\text{m/min}$

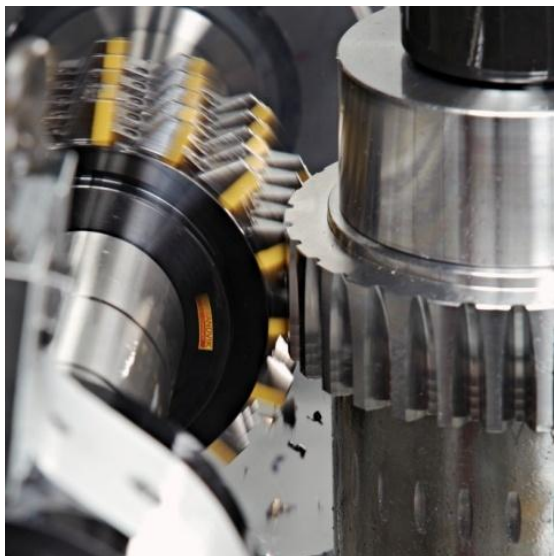
Επαλήθευση δυνάμεων κοπής

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



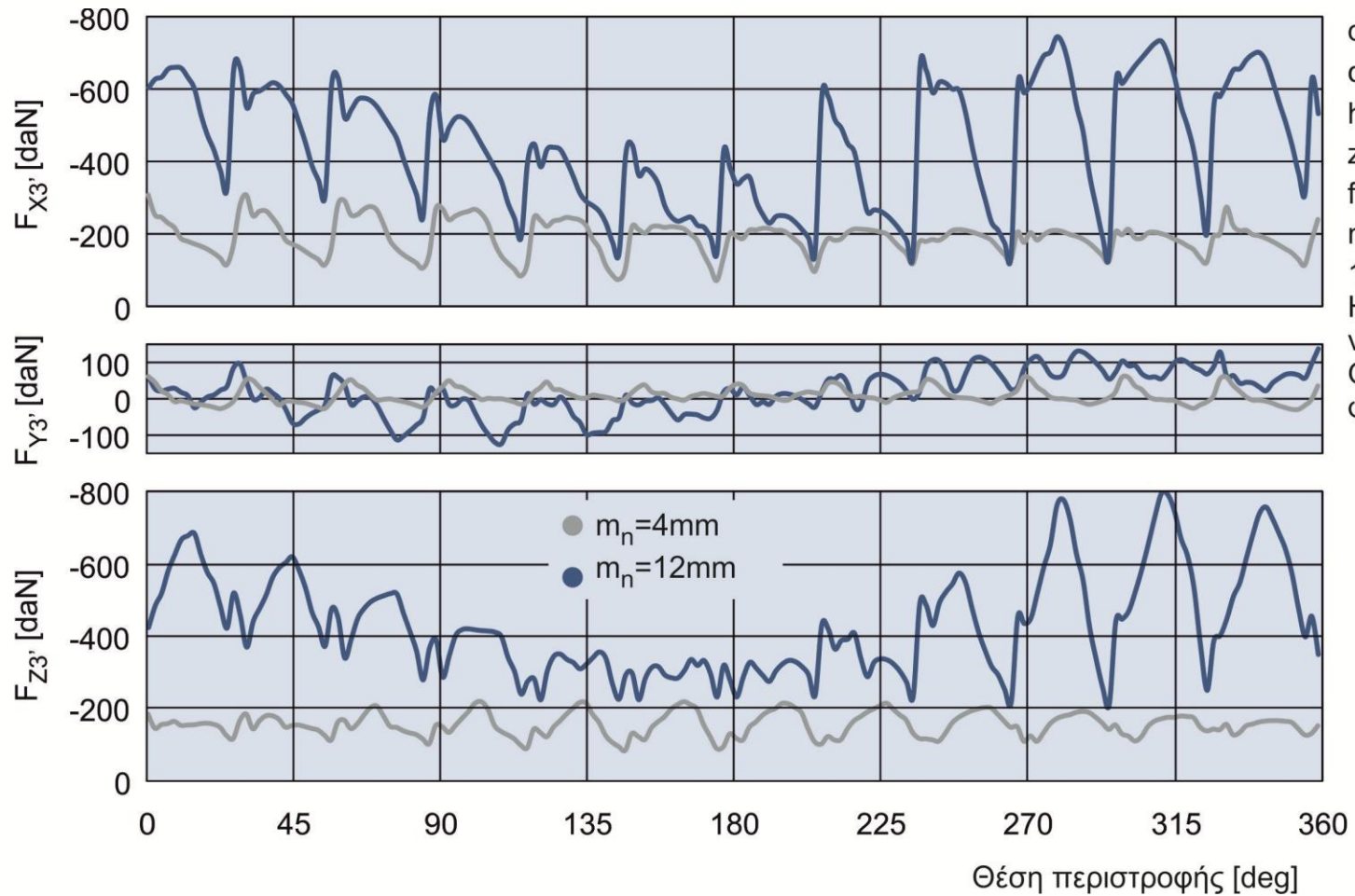
Πολυτεχνείο Κρήτης
Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης
Εργαστήριο Μικροκοπής και Κατασκευαστικής Προσομοίωσης

Ταπόγλου Νικόλαος



m_n	Μέτρο οδόντωσης [mm]	4	8	12	16			
z_2	Αριθμός δοντιών	40	80	120	160			
h_a	Γωνία ελίκωσης [deg]	-30	-20	-10	0	10	20	30
n_{st}	Αριθμός στηλών	6	8	10	12	14	16	18
z_1	Αριθμός αρχών	1	2	3				
f_a	Αξονική πρόωση [mm/wrev]	2	4	8	12	16		
Στρατηγική κατεργασίας		Ομόρροπο φραιζάρισμα				Αντίρροπο φραιζάρισμα		

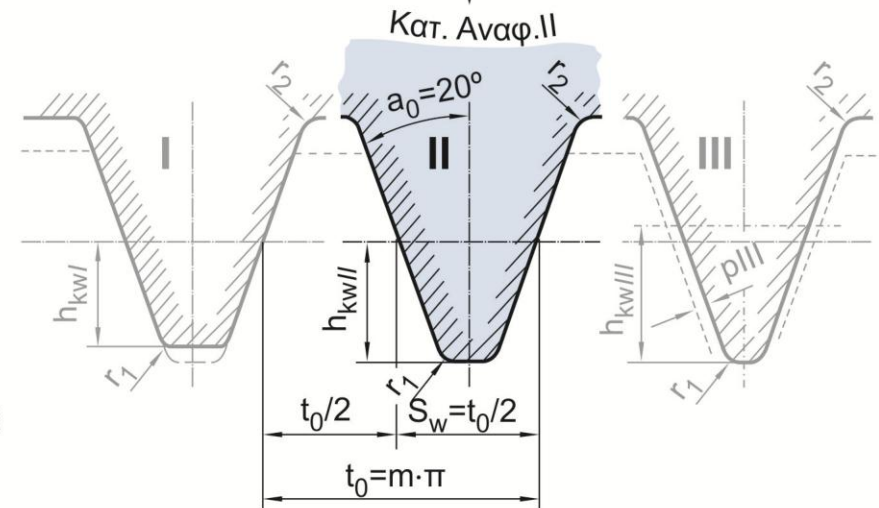
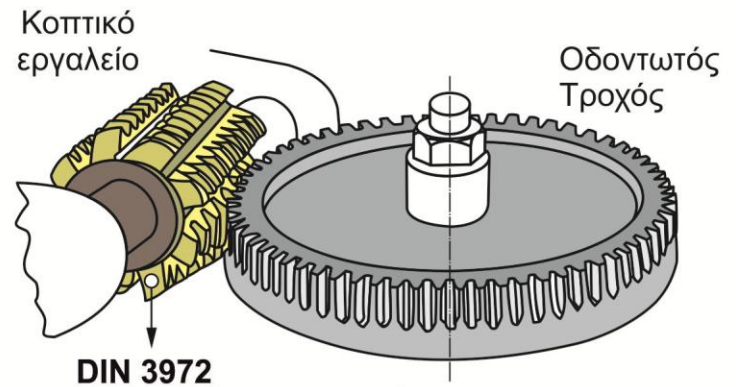
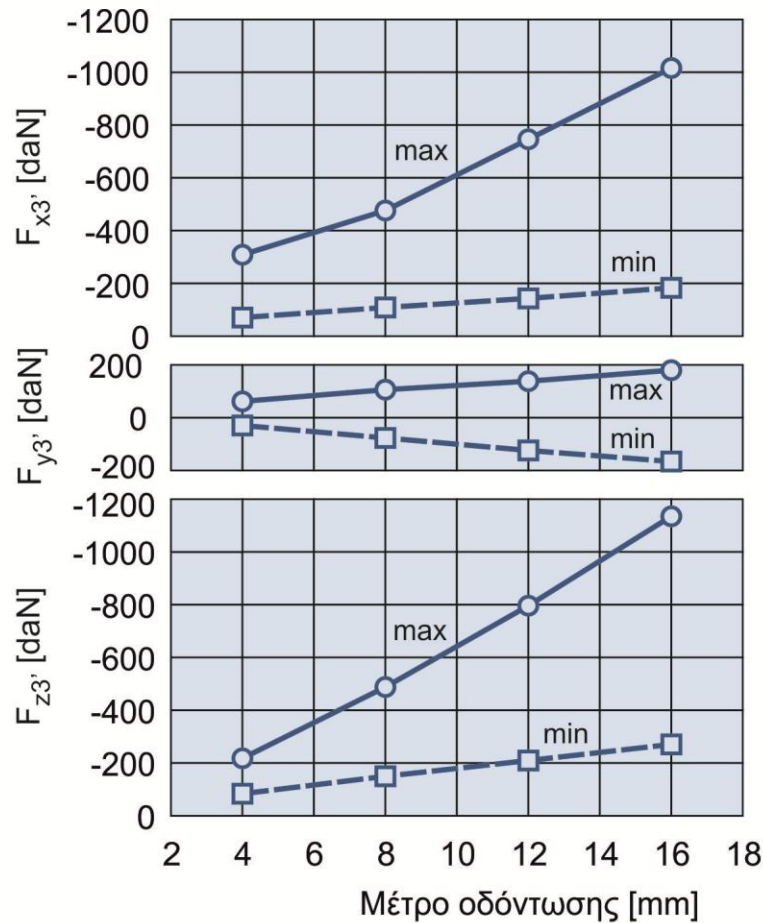
Συνιστώσες δυνάμεων κοπής



Επίδραση του μέτρου της οδόντωσης στις δυνάμεις κοπής

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

Συνιστώσες δυνάμεων κοπής

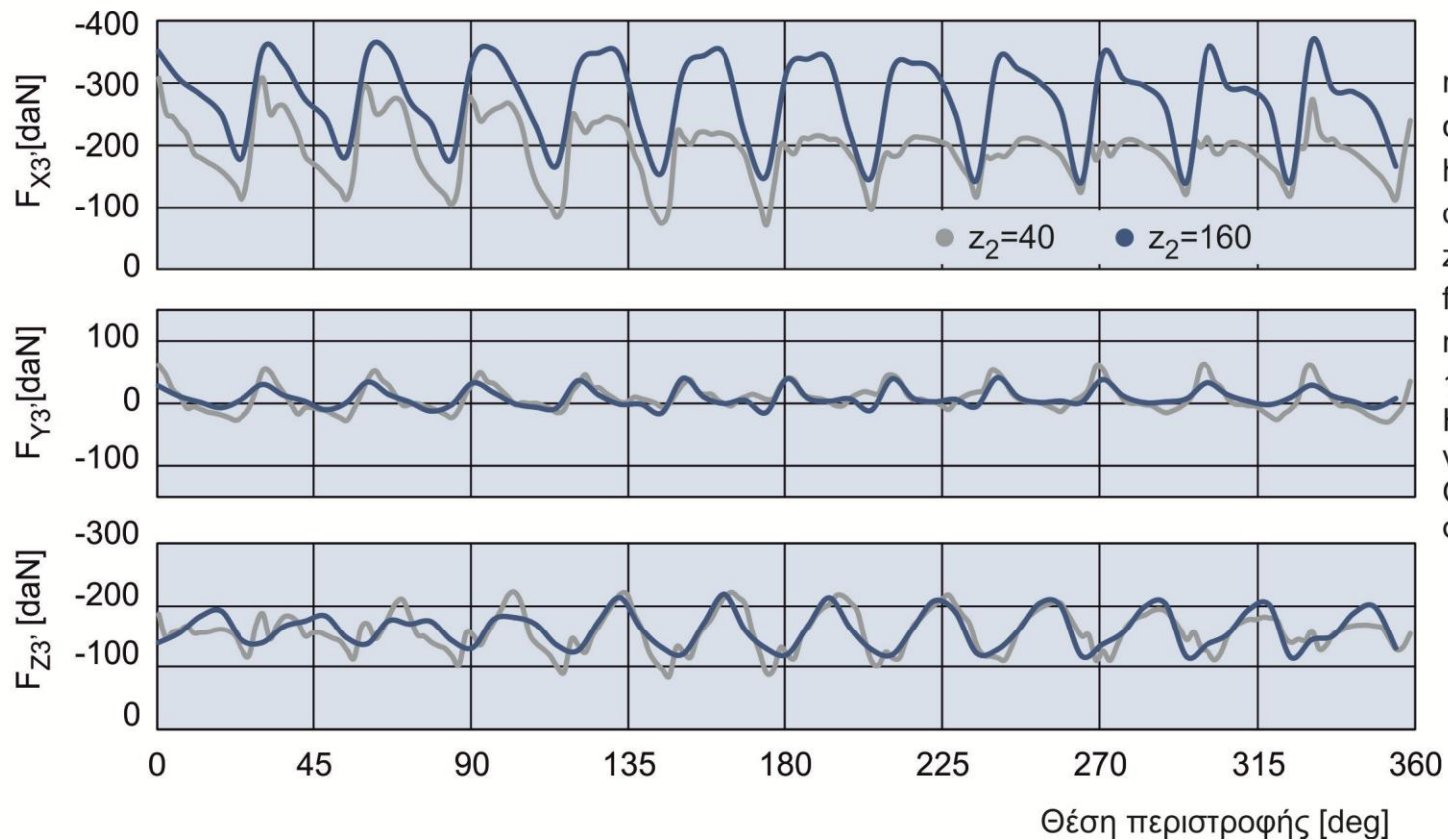


$\alpha_n = 20^\circ$, $z_1/z_2 = 1/40$, $n_{st} = 12$, $h_a = 0^\circ$, $d_h/m_n = 25$, $\gamma = 2,547^\circ$, 16MnCr5 N, HSS, $v = 100 \text{ m/min}$,
 $f_a = 4 \text{ mm/wren}$, Ομόρροπο φραιζάρισμα

Επίδραση του μέτρου της οδόντωσης στις δυνάμεις κοπής

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

Συνιστώσες δυνάμεων κοπής

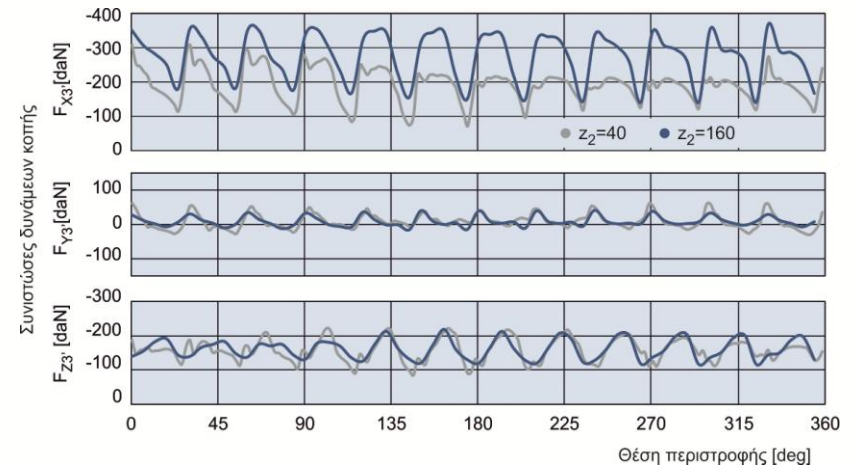
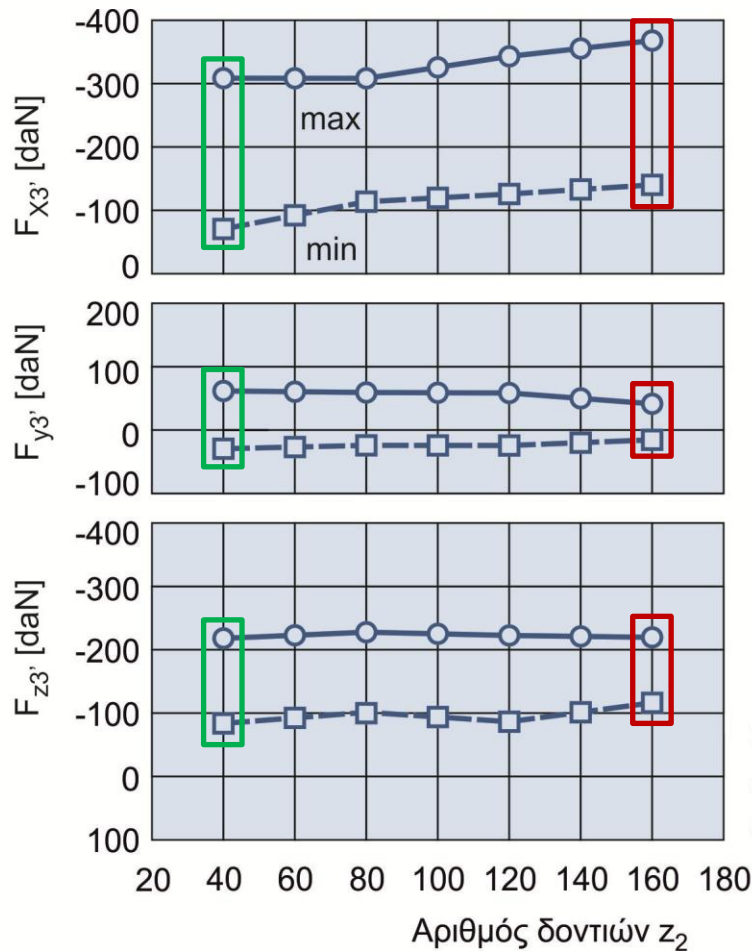


Επίδραση του αριθμού των δοντιών του οδοντωτού τροχού στις δυνάμεις κοπής

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



Συνιστώσες δυνάμεων κοπής



$m_n=4\text{mm}$, $\alpha_n=20^\circ$, $z_1=1$, $f_a=4\text{mm/wrev}$, $h_a=0^\circ$, $n_{st}=12$,
 $d_h=100\text{mm}$, $\gamma=2,547^\circ$, 16MnCr5 N, HSS, $v=100\text{m/min}$,
 Ομόρροπο φραιζάρισμα

Επίδραση του αριθμού των δοντιών του οδοντωτού τροχού στις δυνάμεις κοπής

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

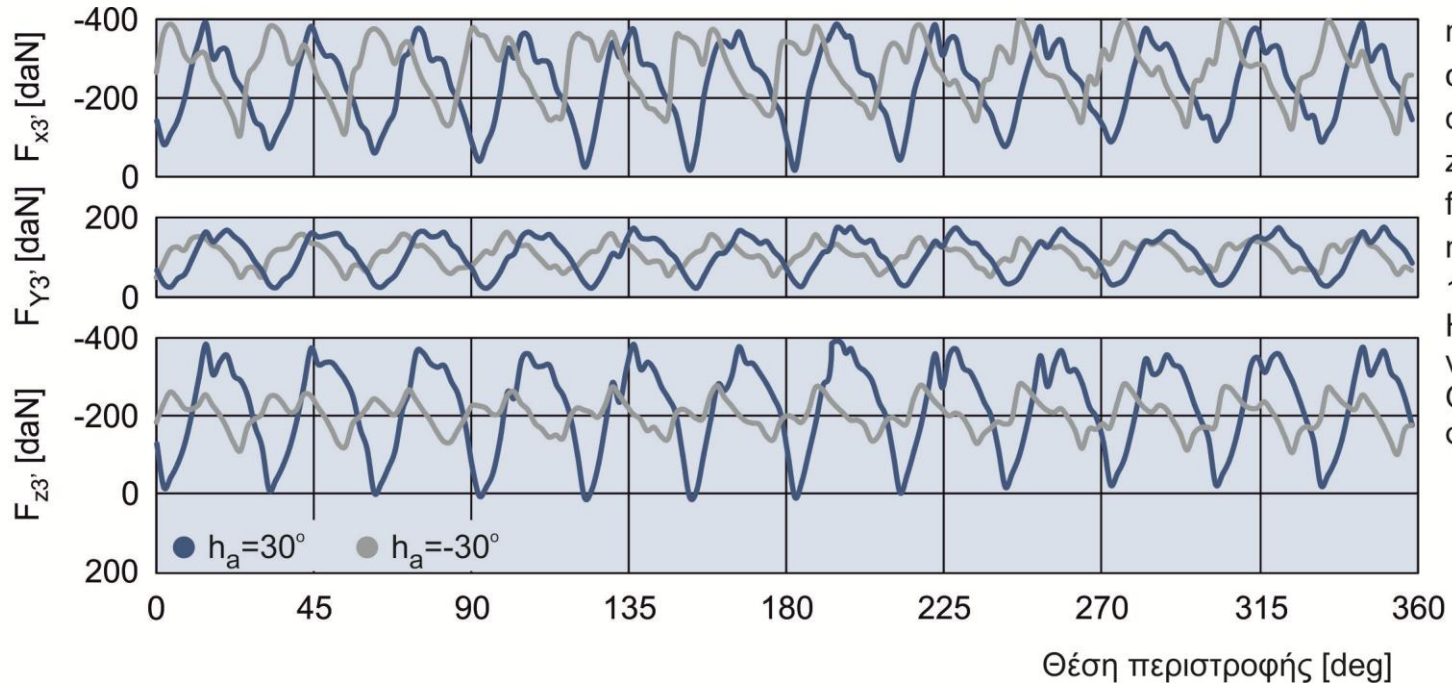


Πολυτεχνείο Κρήτης
 Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης
 Εργαστήριο Μικροκοπής και Κατασκευαστικής Προσομοίωσης

Ταπόγλου Νικόλαος



Συνιστώσες δυνάμεων κοπής



$m_n = 4$,
 $\alpha_n = 20^\circ$,
 $d_h = 100\text{mm}$,
 $z_1/z_2 = 1/40$,
 $f_a = 4\text{mm/wrev}$,
 $n_{st} = 12$,
 16MnCr5 N,
 HSS,
 $v = 100\text{m/min}$,
 Ομόρροπο
 φραιζάρισμα

Επίδραση της γωνίας ελίκωσης του οδοντωτού τροχού στις
δυνάμεις κοπής

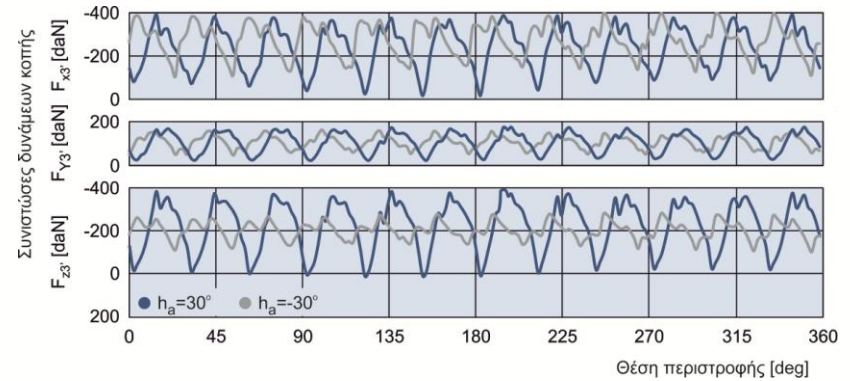
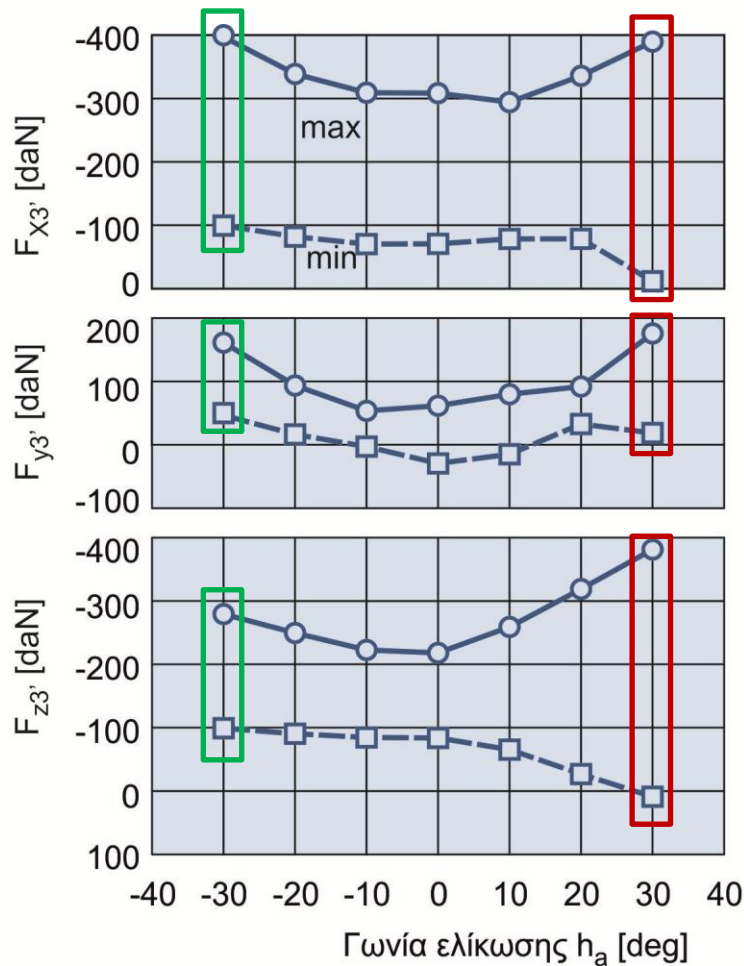
<http://www.m3.tuc.gr>



Πολυτεχνείο Κρήτης
 Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης
 Εργαστήριο Μικροκοπής και Κατασκευαστικής Προσομοίωσης

Ταπόγλου Νικόλαος

Συνιστώσες δυνάμεων κοπής



$m_n = 4\text{mm}$, $\alpha_n = 20^\circ$, $z_1/z_2 = 1/40$, $f_a = 4\text{mm/wrev}$, $n_{st} = 12$,
 $d_h = 100\text{mm}$, $\gamma = 2,547^\circ$, 16MnCr5 N, HSS, $v = 100\text{m/min}$,
 Ομόρροπο φραιζάρισμα

Επίδραση της γωνίας ελίκωσης του οδοντωτού τροχού στις
δυνάμεις κοπής

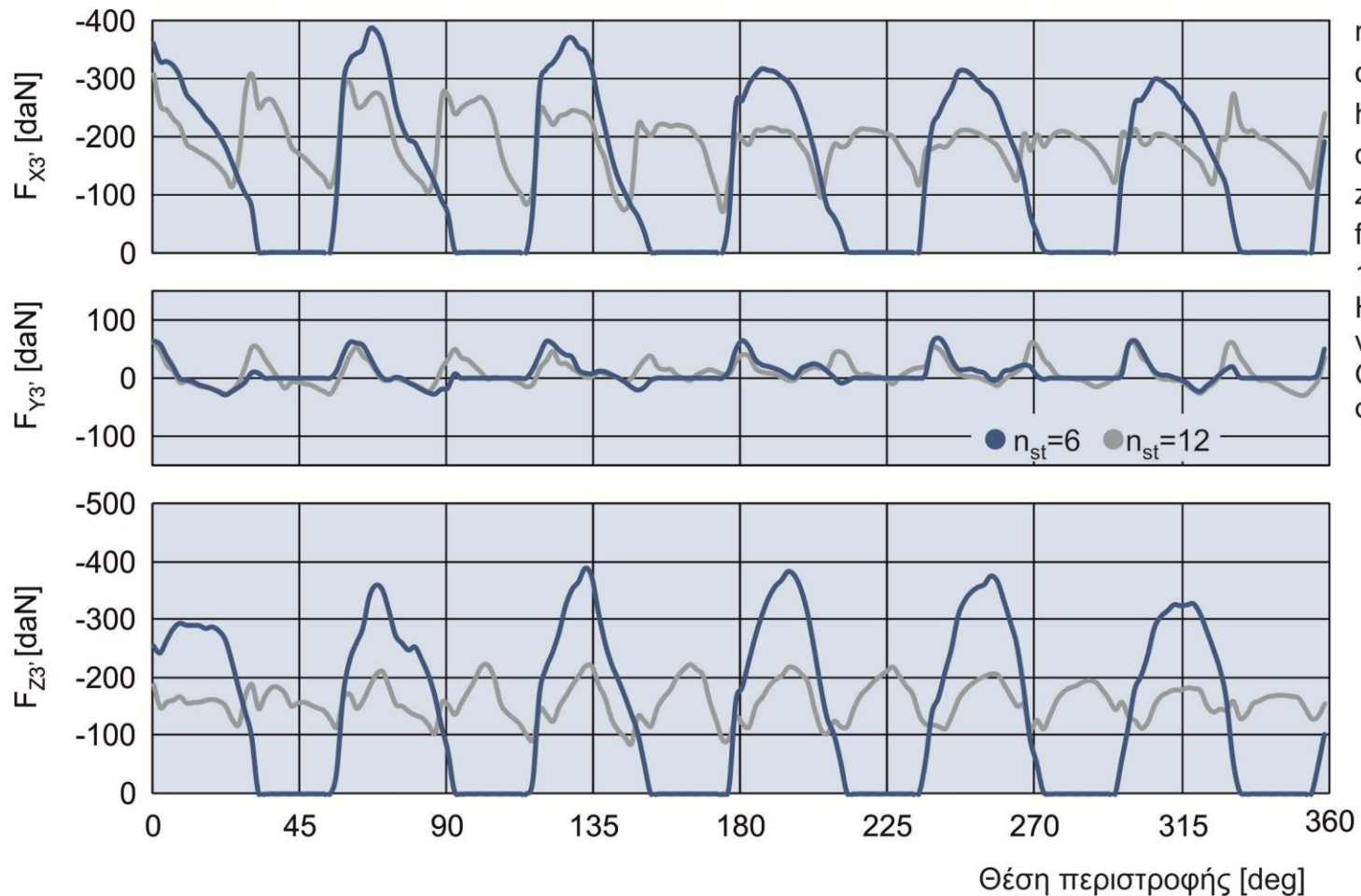
<http://www.m3.tuc.gr>



Πολυτεχνείο Κρήτης
Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης
Εργαστήριο Μικροκοπής και Κατασκευαστικής Προσομοίωσης

Ταπόγλου Νικόλαος

Συνιστώσες δυνάμεων κοπής



$m_n=4$,
 $\alpha_n=20^\circ$,
 $h_a=0^\circ$,
 $d_h=100\text{mm}$,
 $z_1/z_2=1/40$,
 $f_a=4\text{mm/wrev}$,
 16MnCr5 N,
 HSS,
 $v=100\text{m/min}$,
 Ομόρροπο
 φραιζάρισμα

Επίδραση του αριθμού των στηλών του κοπτικού εργαλείου στις δυνάμεις κοπής

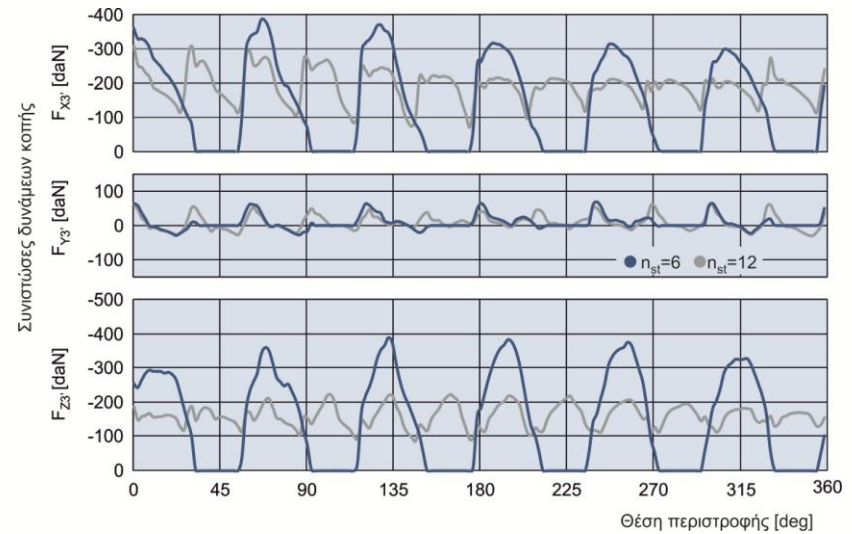
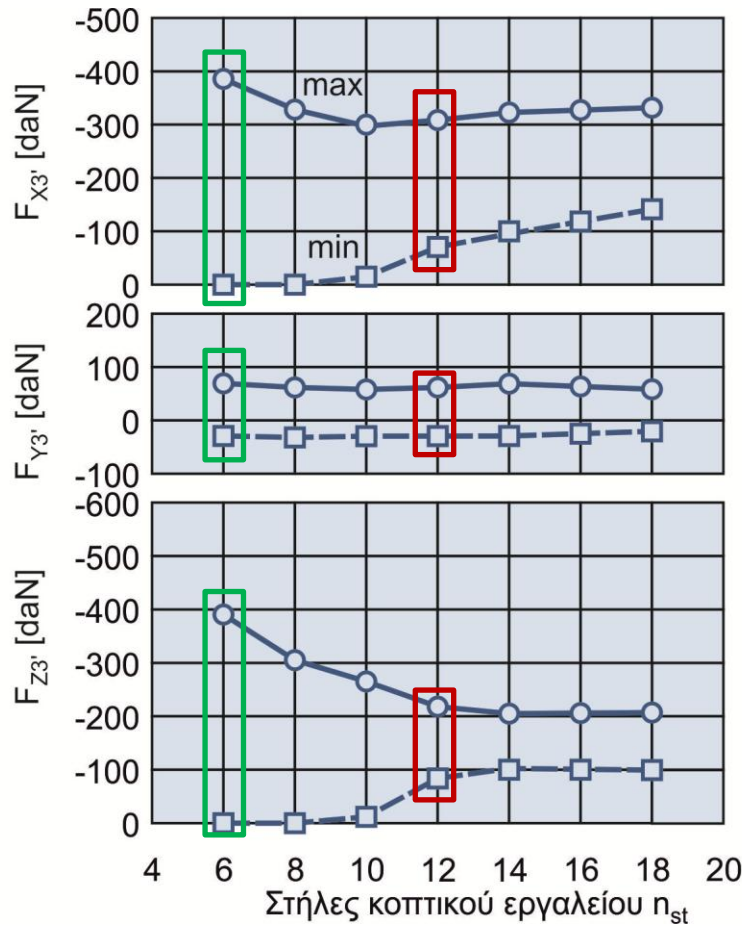
<http://www.m3.tuc.gr>



Πολυτεχνείο Κρήτης
 Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης
 Εργαστήριο Μικροκοπής και Κατασκευαστικής Προσομοίωσης

Ταπόγλου Νικόλαος

Συνιστώσες δυνάμεων κοπής



$m_n = 4\text{mm}$, $\alpha_n = 20^\circ$, $z_1/z_2 = 1/40$, $f_a = 4\text{mm/wrev}$, $h_a = 0^\circ$,
 $d_h = 100\text{mm}$, $\gamma = 2,547^\circ$, 16MnCr5 N, HSS, $v = 100\text{m/min}$,
 Ομόρροπο φραιζάρισμα

Επίδραση του αριθμού των στηλών του κοπτικού εργαλείου στις δυνάμεις κοπής

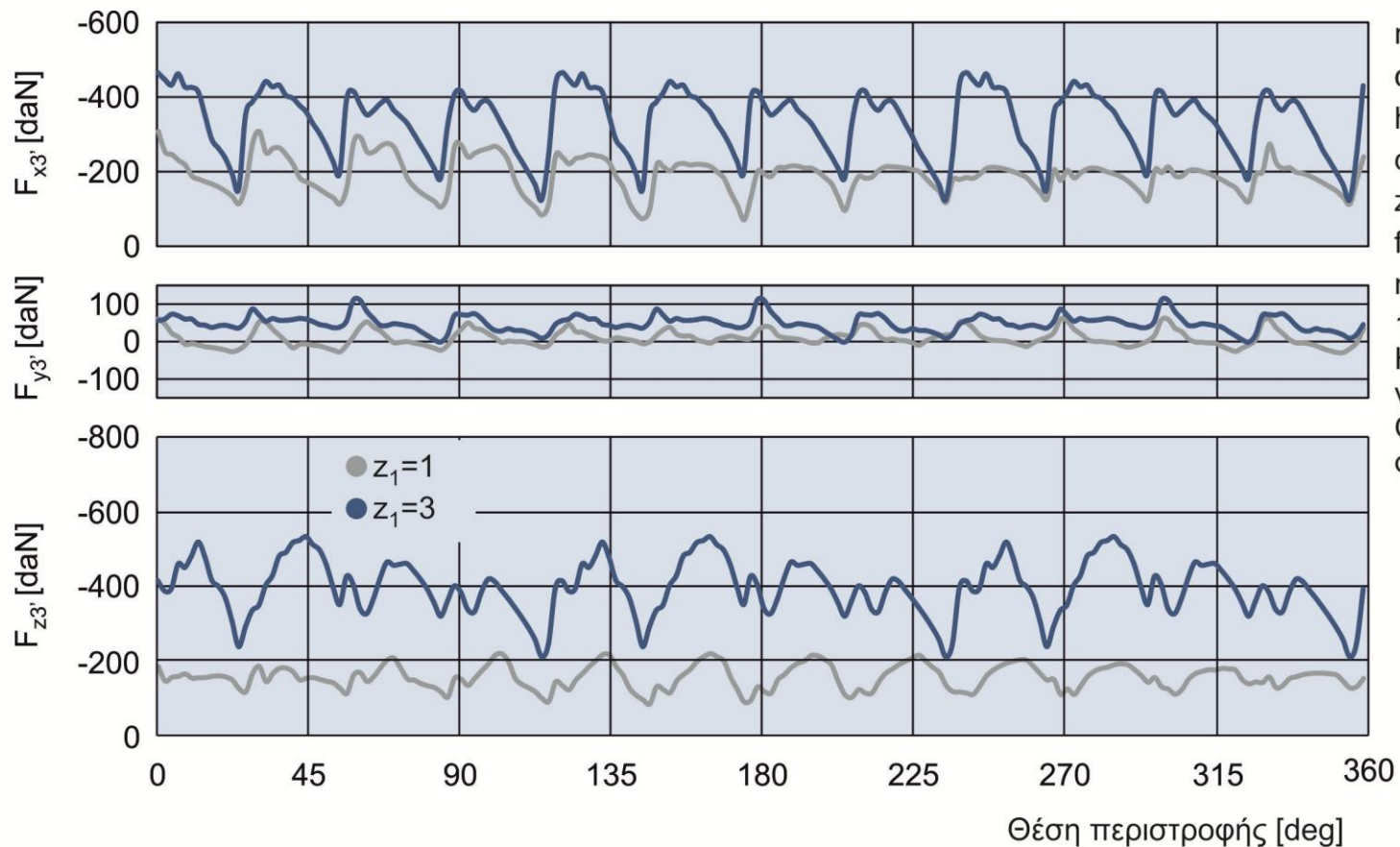
<http://www.m3.tuc.gr>



Πολυτεχνείο Κρήτης
Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης
Εργαστήριο Μικροκοπής και Κατασκευαστικής Προσομοίωσης

Ταπόγλου Νικόλαος

Συνιστώσες δυνάμεων κοπής



Επίδραση του αριθμού των αρχών του εργαλείου κοπτικού στις
δυνάμεις κοπής

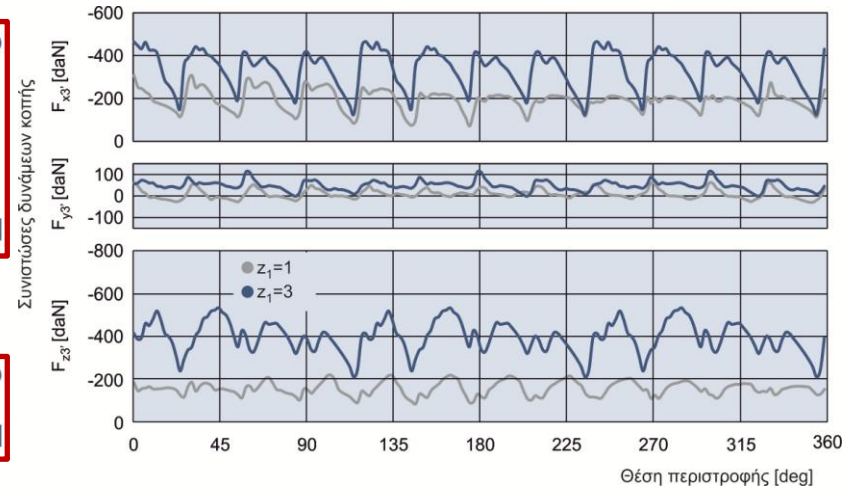
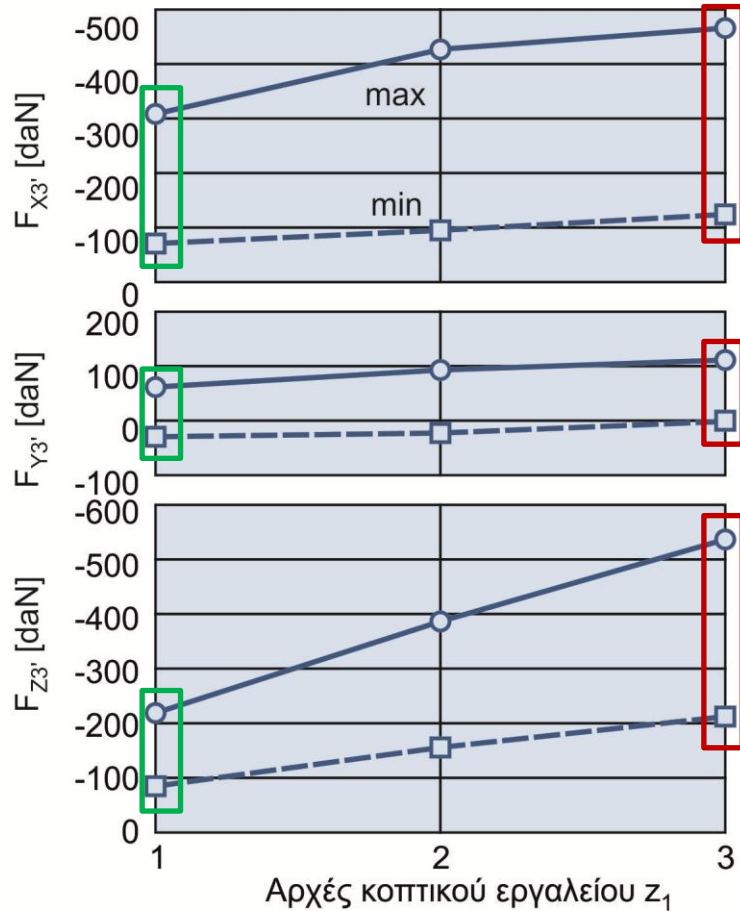
<http://www.m3.tuc.gr>



Πολυτεχνείο Κρήτης
Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης
Εργαστήριο Μικροκοπής και Κατασκευαστικής Προσομοίωσης

Ταπόγλου Νικόλαος

Συνιστώσες δυνάμεων κοπής



$m_n=4\text{mm}$, $\alpha_n=20^\circ$, $z_2=40$, $n_{st}=12$, $f_a=4\text{mm/wrev}$, $h_a=0^\circ$,
 $d_h=100\text{mm}$, $\gamma=2,547^\circ$, 16MnCr5 N, HSS, $v=100\text{m/min}$,
 Ομόρροπο φραιζάρισμα

Επίδραση του αριθμού των αρχών του κοπτικού εργαλείου στις
δυνάμεις κοπής

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

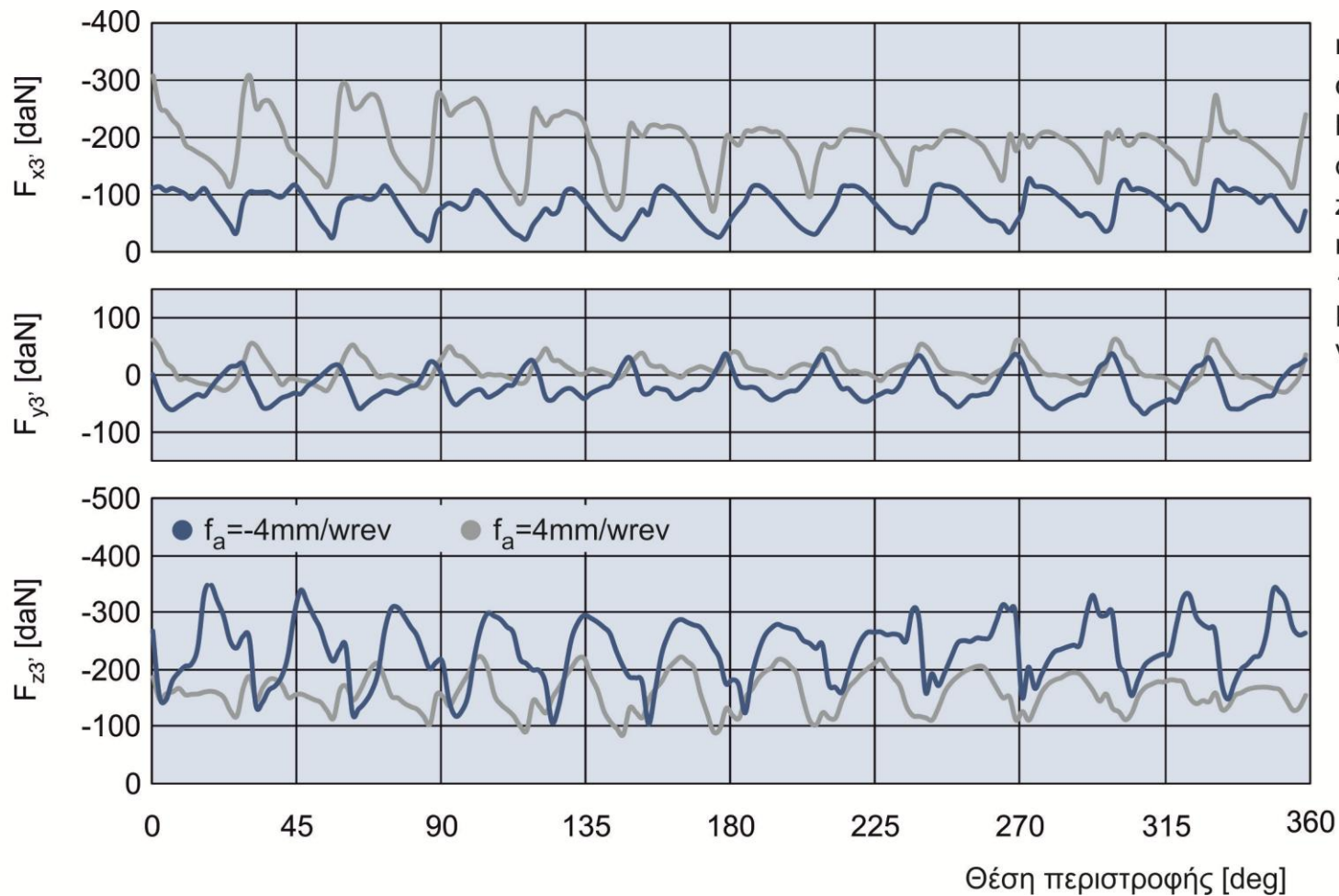


Πολυτεχνείο Κρήτης
Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης
Εργαστήριο Μικροκοπής και Κατασκευαστικής Προσομοίωσης

Ταπόγλου Νικόλαος



Συνιστώσες δυνάμεων κοπής

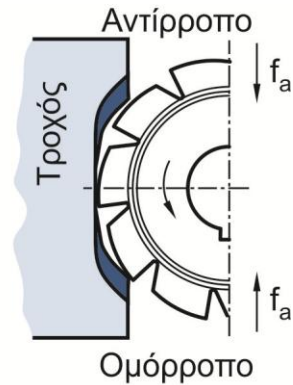
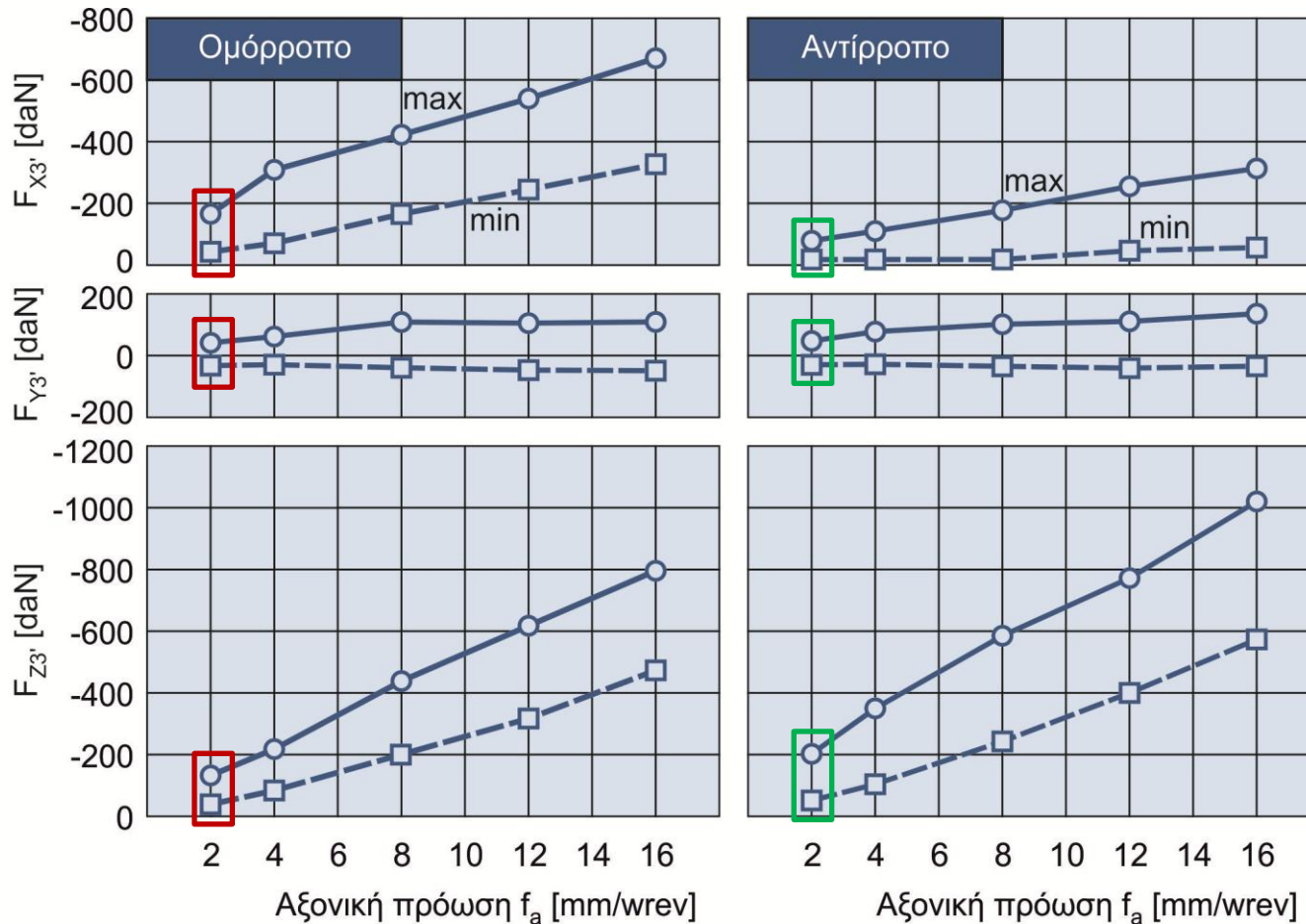


$m_n=4$,
 $\alpha_n=20^\circ$,
 $h_a=0^\circ$,
 $d_h=100 \text{ mm}$,
 $z_1/z_2=1/40$,
 $n_{st}=12$,
 16MnCr5 N,
 HSS,
 $v=100 \text{ m/min}$

Επίδραση της κατεύθυνσης της πρόωσης στις δυνάμεις κοπής

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

Συνιστώσες δυνάμεων κοπής



$m_n=4\text{mm}$,
 $\alpha_n=20^\circ$,
 $z_1/z_2=1/40$,
 $n_{st}=12$,
 $h_a=0^\circ$,
 $d_h=100\text{mm}$,
 $\gamma=2,547^\circ$,
 16MnCr5 N,
 HSS,
 $v=100\text{m/min}$

Επίδραση της πρόωσης στις δυνάμεις κοπής

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

Πολυτεχνείο Κρήτης
 Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης
 Εργαστήριο Μικροκοπής και Κατασκευαστικής Προσομοίωσης

Ταπόγλου Νικόλαος



Προσομοίωση κατεργασίας οδοντώσεων με φραιζάρισμα με κύλιση

Υπολογισμός απαραμόρφωτων αποβλίττων

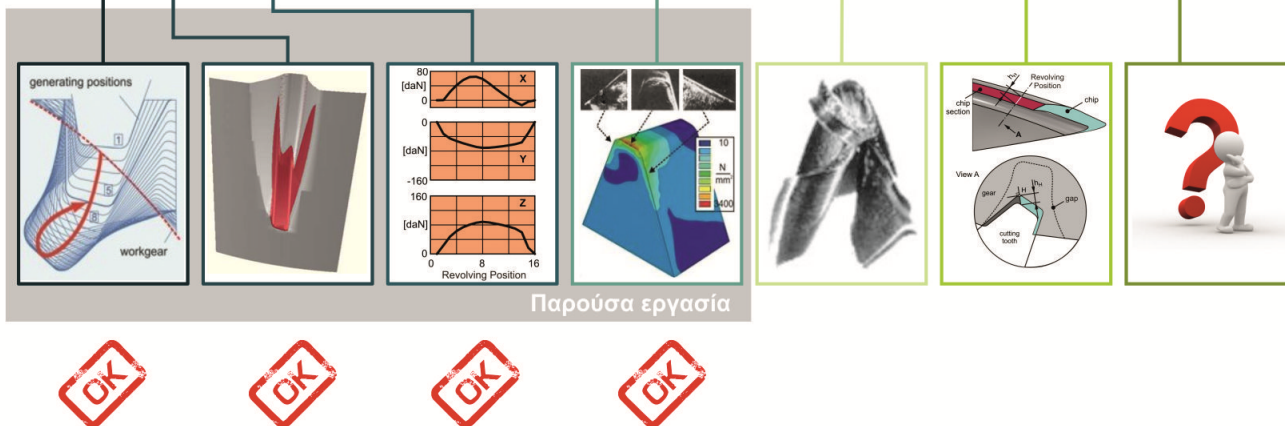
Υπολογισμός δυνάμεων κοπής

Προσομοίωση της κατεργασίας με τη Μ.Π.Σ.

Εντοπισμός συγκρούσεων των υποαποβλίττων

Υπολογισμός της φθοράς του κοπτικού εργαλείου

Επανασχεδιασμός του κοπτικού εργαλείου



Σύνοψη - μελλοντικές επεκτάσεις

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

Εργασίες σε διεθνή περιοδικά με κριτές

Tapoglou, N., Antoniadis, A.

"CAD-based calculation of cutting force components in Gear Hobbing.", A.S.M.E. Journal of Manufacturing Science and Engineering, 2012, Vol. 134(3), pp. 031009-1 - 031009-8.

Tapoglou, N., Mammias, A., Antoniadis, A.

"Influence of Machining Data on Developed Cutting Forces in Gear Hobbing.", International Journal Machining and Machinability of Materials (υπο κρίση).

Kyratsis, P., Tapoglou, N., Bilalis, N., Antoniadis, A.

Thrust force prediction of twist drill tools using a 3D CAD system application programming interface, International Journal Machining and Machinability of Materials, 2011, Vol. 10, Nos. 1/2, pp.18–33.

Tapoglou, N., Antoniadis, A.

3-Dimensional Kinematics Simulation of Face Milling, Measurement, 2012, Vol. 45(6), pp. 1396-1405.

Ανακοινώσεις σε διεθνή συνέδρια με κριτές

Tapoglou, N., Antoniadis, A.

"CAD-Based calculation of cutting force components in gear hobbing.", Design, Technology and Management in Manufacturing D.T.M.M.-2010, Iasi Romania, pp. 21-30.

Tapoglou, N., Belis, T., Vakondios, D., Antoniadis, A.

"CAD-Based Simulation of Gear hobbing.", 31st International Symposium on Mechanics of Materials Aghia Marina, Greece, pp. 136-150.

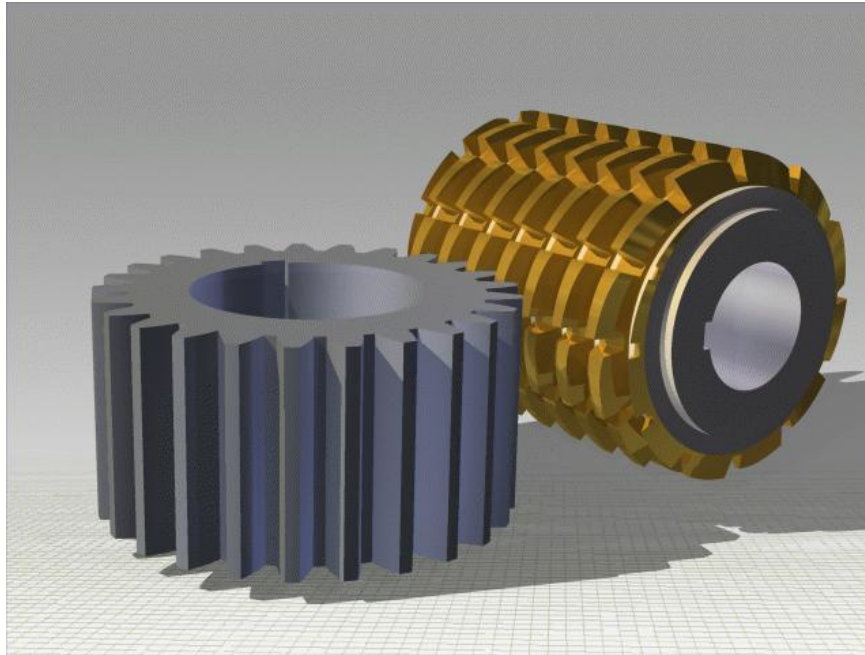
Tapoglou, N., Maravelakis E., Antoniadis, A.

"3D Simulation of Face Milling.", International Conference on Mechanical and Industrial Engineering, ICMIE 2009, Amsterdam, Netherlands.

Tapoglou, N., Antoniadis, A.

"Influence of cutting parameters in face milling on cutting forces and surface roughness using CAD based simulation.", International Conference on Manufacturing Systems, ICMS 2009, Iasi, Romania pp. 1-11





Ευχαριστώ για την προσοχή σας

Ενδεικτική βιβλιογραφία

- Sulzer, G., (1974)** Leistungssteigerung bei der Zylinderradherstellung durch genaue Erfassung der Zerspankinematik, Dissertation, TH Aachen
- Gutman, P., (1988)** Zerspankraftberechnung beim Waelzfraesen, Dissertation, TH Aachen
- Joppa, K., (1977)** Leistungssteigerung beim Waelzfraesen mit Schnellarbeitsstahl durch Analyse, Beurteilung und Beeinflussung des Zerspanprozesses, Dissertation, TH Aachen
- Antoniadis, A., (1988)** Determination of the impact tool stresses during gear hobbing and determination of cutting forces during hobbing of hardened gears, Dissertation, Aristotle University of Thessaloniki
- Antoniadis, A., Vidakis, N., Bilalis, N., (2002)** Fatigue Fracture Investigation of Cemented Carbide Tools Used in Gear Hobbing, Part I: FEM Modeling of Fly Hobbing and Computational Interpretation of Experimental Results. ASME Journal of Manufacturing Science & Engineering 124/4:784-791
- Bouzakis, K., D., (1979)** "Ermittlung des zeitlichen Verlaufs der Zerspankraftkomponenten beim Waelzfraesen Teil 1: Digitalrechnerprogramm FRDYN " VDI-Z 121 Nr. 19 Oct. (I) : 943-950
- Petri, H., (1975)** Zahnhuß – Analyse bei außenverzahnten Evolventenstirnraedern : Teil III Berechnung, Antriebstechnik 14, Nr 5:289-297
- DIN 3972, (1992)** Bezugsprofile von Verzahnwerkzeugen fuer Evolventen-Verzahnungen nach DIN 867. Taschenbuch 106, Beuth Verlag



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Η παρούσα έρευνα έχει συγχρηματοδοτηθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο - ΕΚΤ) και από εθνικούς πόρους μέσω του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Διά Βίου Μάθηση» του Εθνικού Στρατηγικού Πλαισίου Αναφοράς (ΕΣΠΑ) – Ερευνητικό Χρηματοδοτούμενο Έργο: Ηράκλειτος ΙΙ. Επένδυση στην κοινωνία της γνώσης μέσω του Ευρωπαϊκού Κοινωνικού Ταμείου.

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



Πολυτεχνείο Κρήτης
Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης
Εργαστήριο Μικροκοπής και Κατασκευαστικής Προσομοίωσης

Ταπόγλου Νικόλαος