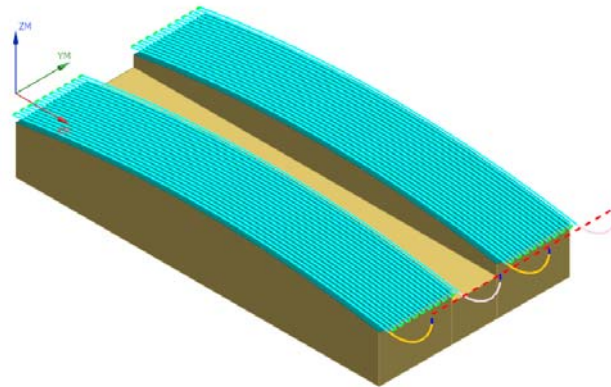


Προσδιορισμός τροχιών ελάχιστης τραχύτητας σε φραιζάρισμα πολυαξονικών επιφανειών



Καθ. Αριστομένης Αντωνιάδης
Καθ. Νικόλαος Μπιλάλης
Καθ. Γεώργιος Σταυρουλάκης

Διπλ. Μηχ. Χριστοδουλόπουλος Αντώνιος

2018

Προσδιορισμός τροχιών ελάχιστης τραχύτητας
σε φραιζάρισμα πολυαξονικών επιφανειών



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



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

Χριστοδουλόπουλος Αντώνιος

1

1 - Εισαγωγή

- Σκοπός και περιγραφή της εργασίας
- Βελτιστοποίηση μονοπατιών τριών αξόνων
- Βελτιστοποίηση μονοπατιών πέντε αξόνων

2 - Πειραματική διαδικασία

- Δημιουργία βάσης δεδομένων με πειράματα τραχύτητας και δυνάμεων κοπής για διαφορετικές συνθήκες κοπής

3 - Μοντέλο βελτιστοποίησης

- Δεδομένα εισόδου
- Βασικοί υπολογισμοί
- Αποτελέσματα μοντέλου

4 - Πειραματική επιβεβαίωση μοντέλου

- Σύγκριση βελτιστοποιημένου μονοπατιού με ένα συμβατικό στην ίδια επιφάνεια

2018

Προσδιορισμός τροχιών ελάχιστης τραχύτητας
σε φραιζάρισμα πολυαξονικών επιφανειών



Δομή παρουσίασης

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



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

Χριστοδουλόπουλος Αντώνιος

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η επιλογή των βέλτιστων συνθηκών σε κατεργασίες πολυαξονικών επιφανειών για τις οποίες ελαχιστοποιούνται η **τραχύτητα**, οι **δυνάμεις κοπής** και ο **χρόνος κατεργασίας**.

Το μοντέλο λαμβάνει υπόψιν τη σχετική κλίση του εργαλείου ως προς την κατεργασμένη επιφάνεια σε κάθε θέση της. Η επιλογή των συνθηκών γίνεται μέσα από βάση τεχνολογικών πληροφοριών που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της εργασίας αυτής και περιλαμβάνει τις προκύπτουσες δυνάμεις κοπής και τραχύτητες επιφανειών για μεγάλη ποικιλία συνθηκών κατεργασίας.



Πηγή: ISCAR tools



Σκοπός και περιγραφή εργασίας

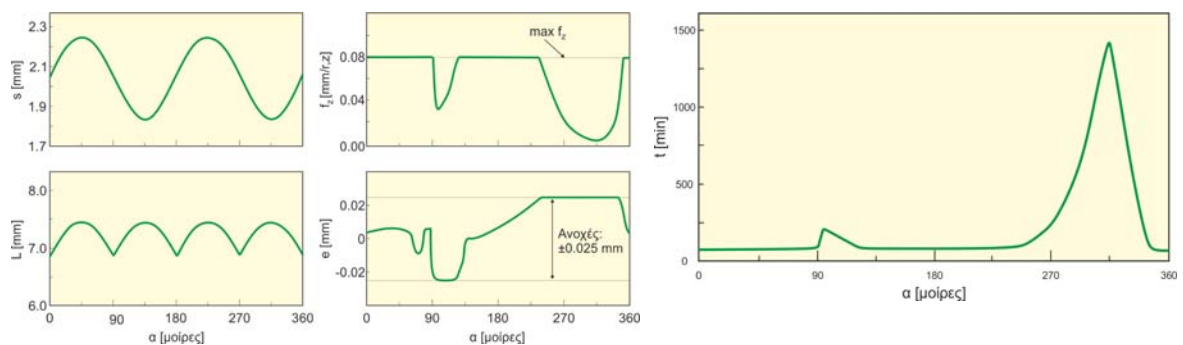
<http://www.m3.tuc.gr>



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

Χριστοδουλόπουλος Αντώνιος

Οι **Feng και Su** επικεντρώθηκαν στη βελτιστοποίηση μονοπατιών επιλέγοντας μια κατάλληλη κατεύθυνση πρόωσης και μια τιμή πρόωσης ανά περιστροφή και δόντι (f_z). Στόχος ήταν η ελαχιστοποίηση του χρόνου κατεργασίας και περιορισμοί ήταν το ύψος ακίδας (scallop height), οι αποκλίσεις τις επιφάνειας και η τήρηση του f_z σε ένα συγκεκριμένο εύρος.



Βελτιστοποίηση μονοπατιών σε φραιζάρισμα τριών αξόνων

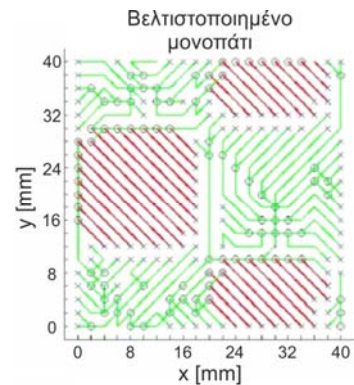
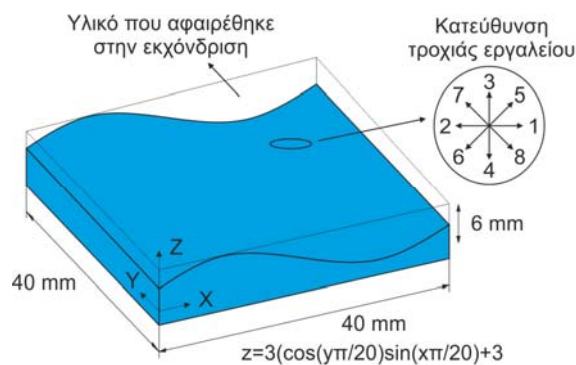
<http://www.m3.tuc.gr>



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

Χριστοδουλόπουλος Αντώνιος

Ο **Lazoglu** και οι συνεργάτες του ανέπτυξαν ένα μοντέλο βελτιστοποίησης το οποίο ελαχιστοποιεί τις δυνάμεις που δέχεται το εργαλείο στην κατεργασία. Η πρόωση ανά περιστροφή και δόντι, η ταχύτητα περιστροφής, η διάμετρος του εργαλείου, το ακτινικό βάθος κοπής καθώς και η δύναμη που προκύπτει σε κάθε κίνηση οριοθετούνται σε ένα συγκεκριμένο εύρος τιμών και αποτελούν τους περιορισμούς του προβλήματος.



Βελτιστοποίηση μονοπατιών σε φραιζάρισμα τριών αξόνων

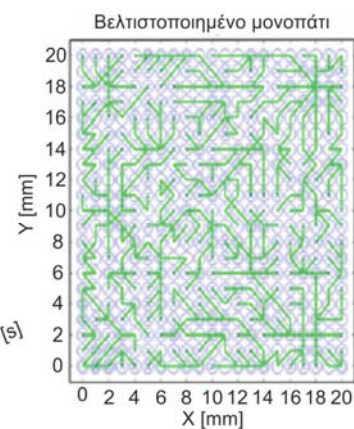
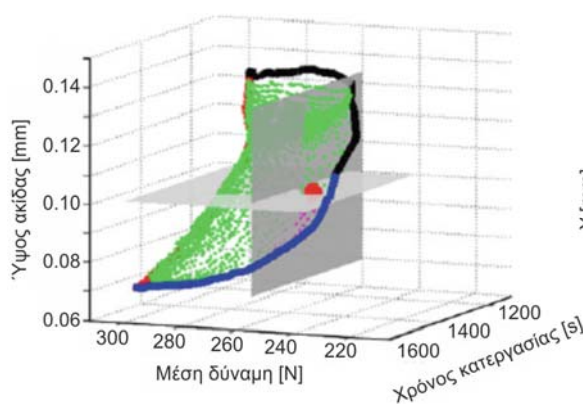
<http://www.m3.tuc.gr>



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

Χριστοδουλόπουλος Αντώνιος

Ο **Manav** και οι συνεργάτες του ανέπτυξαν έναν αλγόριθμο βελτιστοποίησης που ελαχιστοποιεί ταυτόχρονα τη μέση δύναμη που δέχεται το εργαλείο, το μέσο ύψος ακίδας και τον συνολικό χρόνο κατεργασίας μέσα σε ένα εύρος τιμών και με την εισαγωγή βαρών σε κάθε ένα από τα κριτήρια.



Βελτιστοποίηση μονοπατιών σε φραιζάρισμα τριών αξόνων

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

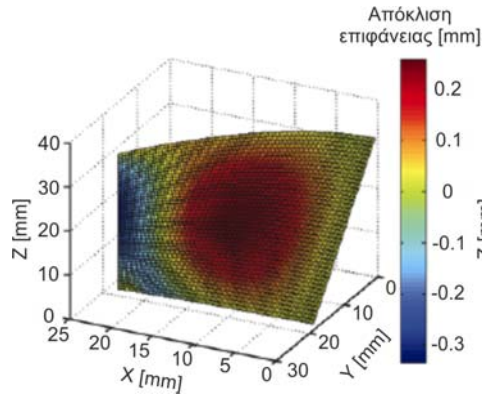


School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

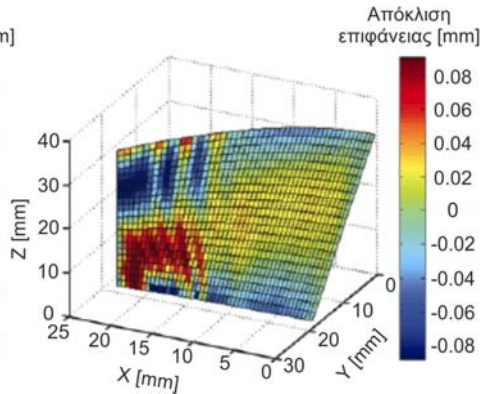
Χριστοδουλόπουλος Αντώνιος

Οι **Ding και Zhu** ασχολήθηκαν με την ελαχιστοποίηση της απόκλισης της κατεργασμένης επιφάνειας από την πραγματική. Για το λόγο αυτό οι ερευνητές όρισαν μια συνάρτηση για τη μέτρηση της απόστασης μεταξύ της επιφάνειας που δημιουργείται από το μονοπάτι του εργαλείου με την επιφάνεια σχεδίασης.

Μονοπάτι από CAM

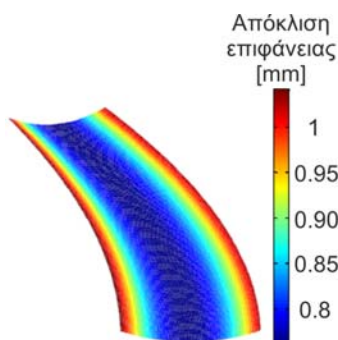


Βελτιστοποιημένο

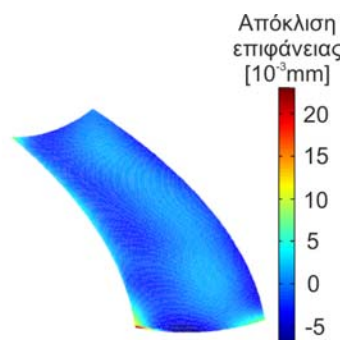


Οι ίδιοι ερευνητές, λίγα χρόνια μετά, επέκτειναν τη μέθοδό τους υπολογίζοντας και τα βέλτιστα γεωμετρικά χαρακτηριστικά που θα πρέπει να έχει το κοπτικό εργαλείο για την ελαχιστοποίηση των σφαλμάτων απόκλισης. Η βελτιστοποίηση του εργαλείου έχει νόημα σε κατεργασίες πέντε αξόνων στις οποίες η κοπή δε γίνεται μόνο στη μύτη του εργαλείου αλλά και στην έλικά του (flank milling).

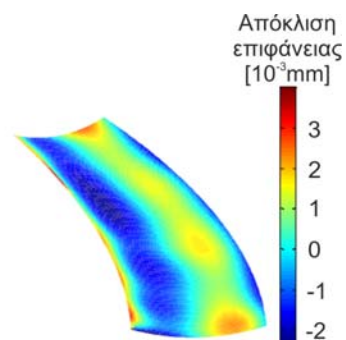
Χωρίς βελτιστοποίηση



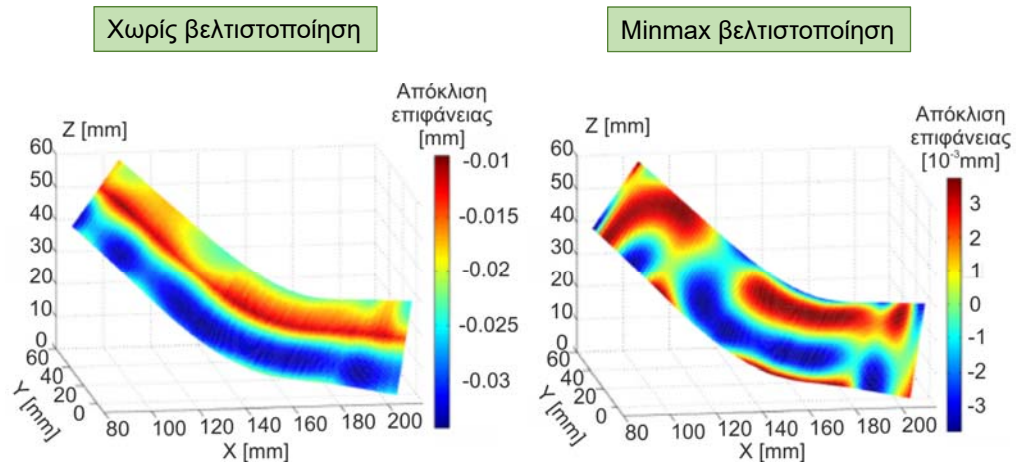
Γραμμική βελτιστοποίηση



Minmax βελτιστοποίηση



Οι **Li και Zhu** βελτίωσαν σημαντικά τα μοντέλα [10] και [11] προσθέτοντας και το φαινόμενο Runout στη βελτιστοποίηση της τροχιάς του εργαλείου. Το φαινόμενο αυτό είναι αναπόφευκτο στις κατεργασίες κοπής επηρεάζοντας την ακρίβεια της. Το εργαλείο που μελετήθηκε ήταν κωνικό σφαιρικής απόληξης.



Βελτιστοποίηση μονοπατιών σε φραιζάρισμα πέντε αξόνων

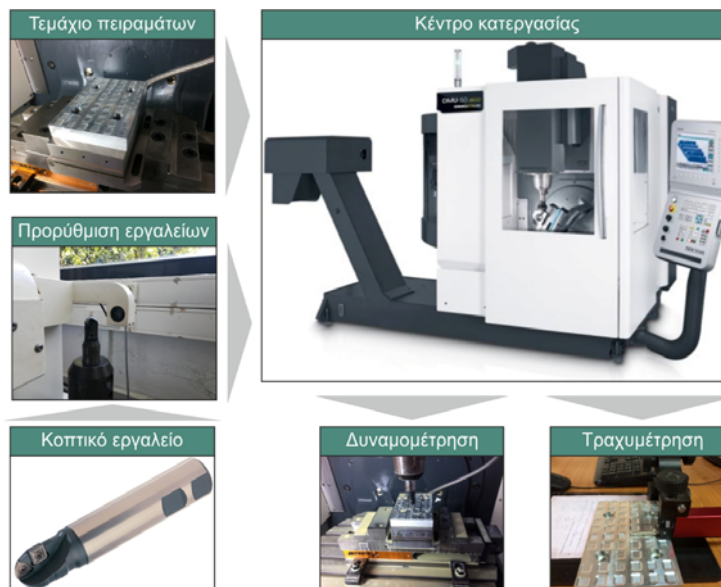
<http://www.m3.tuc.gr>



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

Χριστοδουλόπουλος Αντώνιος

Για τη δημιουργία της βάσης δεδομένων που χρησιμοποιείται από τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης πραγματοποιήθηκαν 324 πειράματα και σε κάθε ένα από αυτά μετρήθηκε η **τραχύτητα** και οι **δυνάμεις κοπής**.



Δημιουργία βάσης δεδομένων με πειράματα

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



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

Χριστοδουλόπουλος Αντώνιος

Οι παράμετροι που καθόρισαν και διαφοροποίησαν τα πειράματα ήταν:

- Η ταχύτητα κοπής V_c [m/min]
- Η πρόωση ανά στροφή και δόντι του κοπτικού εργαλείου f_z [mm/rev,z]
- Το ακτινικό βάθος κοπής t_{xy} [mm]
- Το αξονικό βάθος κοπής t_z [mm]
- Η γωνία κλίσης του εργαλείου στην κατεύθυνση της πρόωσης φ [°]
- Η γωνία κλίσης του εργαλείου κάθετα στην κατεύθυνση της πρόωσης ω [°]
- Είδος φραιζαρίσματος (ομόρροπο και αντίρροπο)

Οι τιμές που επιλέχθηκαν για τις παραπάνω παραμέτρους είναι οι ακόλουθες:

- $V_c=60$ m/min, σταθερό σε όλα τα πειράματα
- $f_z=0.1$, $f_z=0.3$ και $f_z=0.5$ mm/rev,z
- $t_{xy}=0.3$ και $t_{xy}=0.6$ mm
- $t_z=0.3$ και $t_z=0.6$ mm
- $\varphi=10^\circ$, $\varphi=5^\circ$, $\varphi=0^\circ$, $\varphi=-5^\circ$ και $\varphi=10^\circ$
- $\omega=-5^\circ$, $\omega=0^\circ$ και $\omega=5^\circ$

Το εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε ήταν σφαιρικής απόληξης διαμέτρου 20mm.

Το υλικό κατεργασίας ήταν το AL5083 'Ο' H111.



Δημιουργία βάσης δεδομένων με πειράματα

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



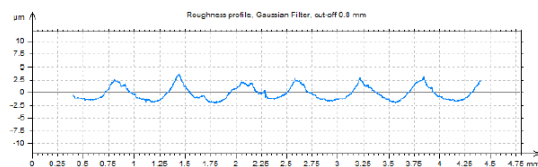
School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Χριστοδουλόπουλος Αντώνιος

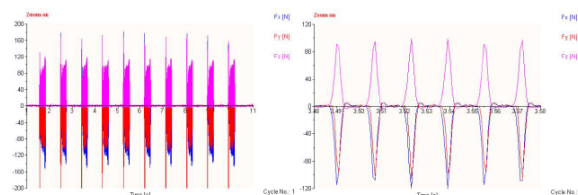
ΠΕΙΡΑΜΑ	84	
ΤΕΜΑΧΙΟ	2	
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ	(Ο) ΕΛΚΤΙΚΟ	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ	t_z 0.6	mm
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ	t_{xy} 0.6	mm
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)	f_z 0.5	mm/rev,z
ΚΛΙΣΗ παράλληλα σε πρόωση	φ -5	deg
ΚΛΙΣΗ κάθετα σε πρόωση	ω 0	deg
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ	V_c 60	m/min



Τραχυμετρήσεις R_z [μm]									$R_{z_{\max}}$	$R_{z_{\min}}$	$R_{z_{\text{mean}}}$	
4.83	5.02	4.81	5	5.1	4.41	4.73	4.84	4.91	4.87	5.1	4.41	4.852



Δυναμομετρήσεις [N]								
F_{xmax}	F_{ymax}	F_{zmax}	F_{xmin}	F_{ymin}	F_{zmin}	F_{xmean}	F_{ymean}	F_{zmean}
5.86	5.86	107.37	-143.55	-105.47	-2.98	-18.87	-13.9	17.1



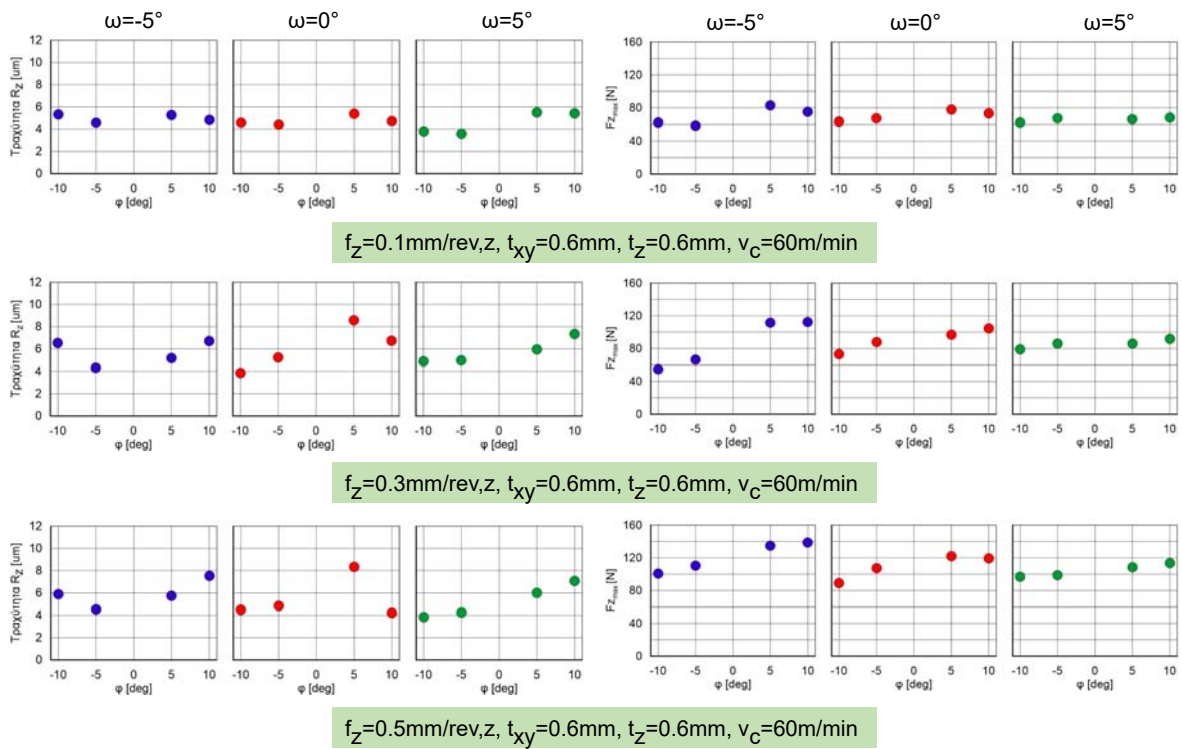
Παράδειγμα αποτελεσμάτων από τα πειράματα

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



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

Χριστοδουλόπουλος Αντώνιος

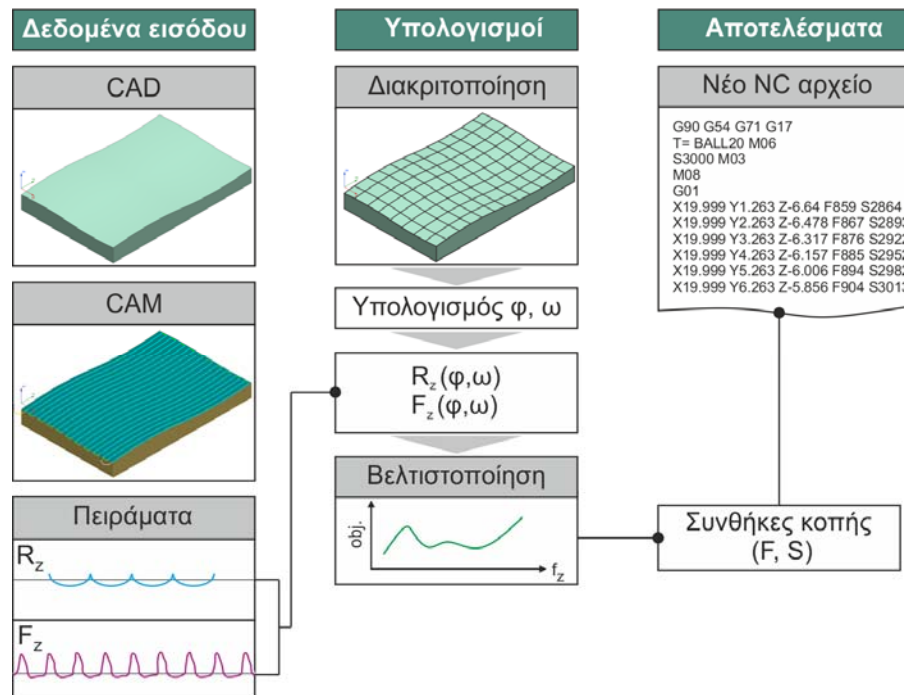


Παράδειγμα αποτελεσμάτων από τα πειράματα

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


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

Χριστοδουλόπουλος Αντώνιος

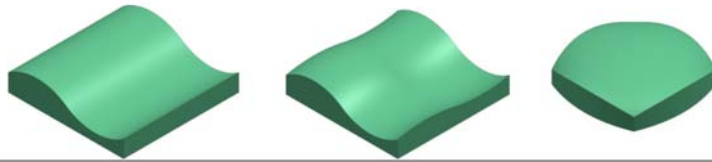


Μοντέλο βελτιστοποίησης

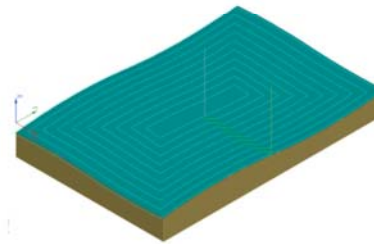
<http://www.m3.tuc.gr>


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

Χριστοδουλόπουλος Αντώνιος

Γεωμετρία
κατεργαζόμενου
τεμαχίουΕίδος και διάμετρος
κοπτικού εργαλείουNC αρχείο για
βελτιστοποίηση

N1 G90 G54 G71 G17
 N2 T="BALL20" M06
 N3 S5513 M03
 N4 M08
 N5 G00 X5.479 Y4.5 Z3.92
 N6 G01 X5.479 Y4.5 Z-1.079 F551.328
 N7 X5.479 Y10.5 Z-1.079
 N8 Z3.92
 N9 G00 X6.076 Y4.5 Z3.868



Δεδομένα εισόδου του μοντέλου

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

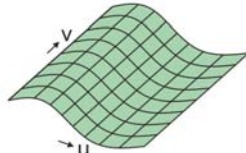
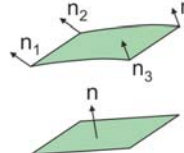
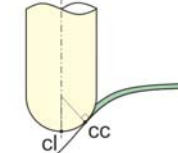
School of Production Eng. & Management
 Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
 Prof. Aristomenis Antoniadis

Χριστοδουλόπουλος Αντώνιος

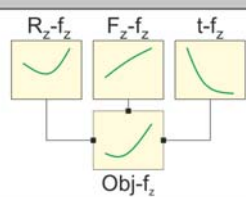
Σκοπός του μοντέλου είναι η εξαγωγή ενός βελτιστοποιημένου NC αρχείου ως προς την πρόωση και την ταχύτητα περιστροφής με την ελαχιστοποίηση της **τραχύτητας**, των **δυνάμεων κοπής** και του **χρόνου κατεργασίας**. Το μοντέλο λαμβάνει υπόψιν του τις κλίσεις της επιφάνειας, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της τροχιάς του εργαλείου και τις διαστάσεις του τεμαχίου.

Υπολογισμοί μοντέλου βελτιστοποίησης τροχιάς εργαλείου

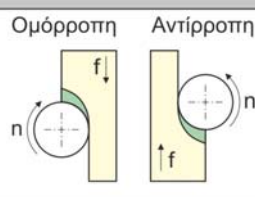
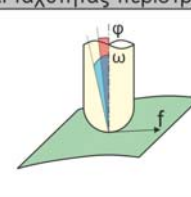
Διακριτοποίηση επιφάνειας

Εύρεση κάθετων
διανυσμάτωνΥπολογισμός σημείων
CC από CL

Βελτιστοποίηση



Εύρεση κατεύθυνσης κοπής

Υπολογισμός γωνιών ϕ και ω
και ταχύτητας περιστροφής

Υπολογισμοί μοντέλου βελτιστοποίησης

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

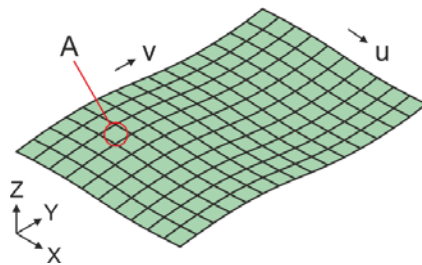
School of Production Eng. & Management
 Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
 Prof. Aristomenis Antoniadis

Χριστοδουλόπουλος Αντώνιος

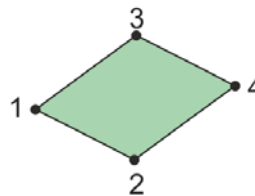
Τέσσερα σημεία αποτελούν ένα στοιχείο της επιφάνειας. Το κάθε στοιχείο μπορεί να έχει οποιοδήποτε σχήμα και εξαρτάται από τη διακριτοποίηση και τη γεωμετρία της επιφάνειας.

$$u_{\text{step}} = i/n_u \quad i = 0, \dots, n_u - 1$$

$$v_{\text{step}} = j/n_v \quad j = 0, \dots, n_v - 1$$



Λεπτομέρεια A



Σημείο	u	v
1	$i \times u_{\text{step}}$	$j \times v_{\text{step}}$
2	$(i+1) \times u_{\text{step}}$	$j \times v_{\text{step}}$
3	$i \times u_{\text{step}}$	$(j+1) \times v_{\text{step}}$
4	$(i+1) \times u_{\text{step}}$	$(j+1) \times v_{\text{step}}$

2018



Διακριτοποίηση επιφάνειας

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



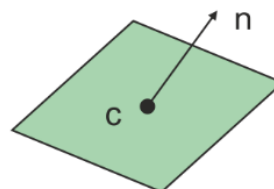
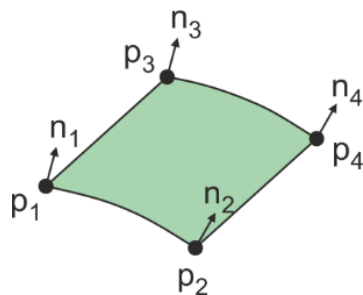
School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Χριστοδουλόπουλος Αντώνιος

Με βάση τα σημεία 1,2,3 και 4 βρίσκονται τα κάθετα διανύσματα στα σημεία αυτά τα οποία είναι και μοναδιαία. Κάθε στοιχείο

$$\vec{n} = (\vec{n}_1 + \vec{n}_2 + \vec{n}_3 + \vec{n}_4) / 4$$

$$c = (p_1 + p_2 + p_3 + p_4) / 4$$



2018



Υπολογισμός κάθετου διανύσματος κάθε στοιχείου

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



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

Χριστοδουλόπουλος Αντώνιος