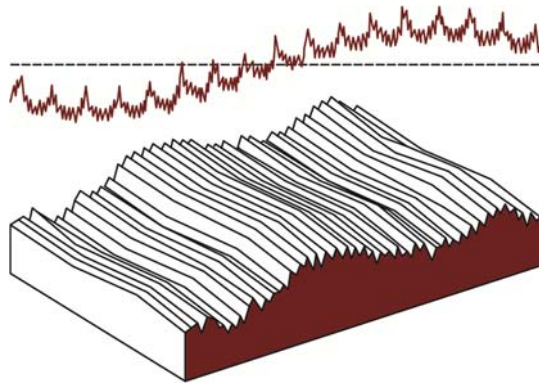


## ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ



*Dept. of Production Eng. & Management  
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab  
Dimitrios G. Vakondios*

2011

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ  
ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ



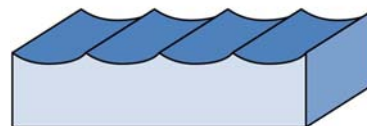
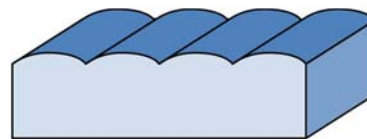
<http://www.m3.tuc.gr>



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

Δημήτριος Γ. Βακόνδιος

- Τραχύτητα
- Σχεδιασμός πειραμάτων
- Φραιζάρισμα
- Πειραματικός εξοπλισμός
- Στρατηγικές φραιζαρίσματος
- Μοντέλο RSM
- Αποτελέσματα



2011

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ  
ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ



Δομή παρουσίασης

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



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

Δημήτριος Γ. Βακόνδιος

- Οι ιδιότητες της επιφάνειας αποτελούν ένα σημαντικό παράγοντα της τελικής ποιότητας των προϊόντων, επειδή επηρεάζουν χαρακτηριστικά όπως είναι:
  - η διαστατική ακρίβεια,
  - ο συντελεστής τριβής,
  - η φθορά,
  - η εμφάνιση,
  - το κόστος.
- Η τραχύτητα επιφάνειας συνήθως μετράται αφότου έχει γίνει η κατεργασία και χρησιμοποιείται ως δείκτης της ποιότητας του προϊόντος. Η καλής ποιότητας επιφάνεια είναι βασικό ζητούμενο που απαιτείται στο σχεδιασμό μηχανολογικών προϊόντων.
- Η ποιότητα της επιφάνειας που παράγεται από το φραιζάρισμα εξαρτάται από ποικίλες τεχνολογικές παραμέτρους, όπως:
  - τις συνθήκες κοπής
  - τις τεχνικές προδιαγραφές του κοπτικού εργαλείου
  - τις ιδιότητες του υλικού του τεμαχίου κατεργασίας.



## Τραχύτητα

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



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

Δημήτριος Γ. Βακόνδιος

- Η τραχύτητα επιφάνειας, συχνά αναφερόμενη εν συντομία ως τραχύτητα, αποτελεί ένα μέτρο της υψής μιας επιφάνειας. Ως τραχύτητα ορίζεται το μέτρο των κάθετων αποκλίσεων της πραγματικής επιφάνειας από την ιδανικής μορφής επιφάνεια.
- Οι παράγοντες, που επηρεάζουν την τραχύτητα μιας κατεργασμένης επιφάνειας είναι οι ακόλουθοι:
  - Η κινηματική της κατεργασίας (σχετική κίνηση εργαλείου – τεμαχίου).
  - Το υλικό του κατεργαζόμενου τεμαχίου.
  - Η γεωμετρική μορφή του κοπτικού εργαλείου, η τραχύτητα των κοπτικών επιφανειών του και η φθορά του.
  - Οι συνθήκες κατεργασίας (τραχύτητα κοπής, πρόωση, βάθος κοπής).
  - Το υγρό κοπής, αν χρησιμοποιείται.
  - Η κατάσταση της μηχανής, όσον αφορά την επιτυγχανόμενη ακρίβεια.
  - Οι ταλαντώσεις του συστήματος (κατεργασία – εργαλειομηχανή – τεμάχιο, εργαλείο).



## Παράγοντες που επηρεάζουν την τραχύτητα

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

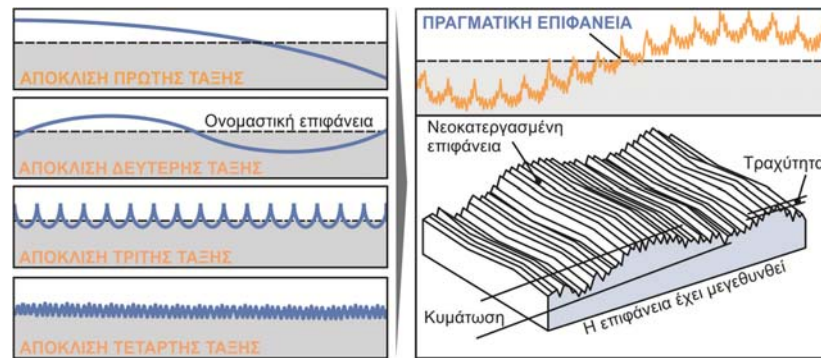


Dept. of Production Eng. & Management  
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab  
Assoc. Prof. Aristomenis Antoniadis

Δημήτριος Γ. Βακόνδιος

2011

- **Αποκλίσεις 1<sup>ης</sup> τάξης:** είναι τα πρωτογεωμετρικά σφάλματα από την ονομαστική επιφάνεια (π.χ. αποκλίσεις από σφάλματα επιπεδότητας, παραλληλότητας κ.λ.π.). Οφείλονται κυρίως σε κακή στήριξη του κομματιού ή του εργαλείου.
- **Αποκλίσεις 2<sup>ης</sup> τάξης:** αναφέρονται σε κυματώσεις της επιφάνειας με μεγάλη σχετικά περίοδο, οι οποίες μπορούν να αποδοθούν σε εκκεντρότητα του κομματιού ή του εργαλείου, σε ταλαντώσεις του συστήματος εργαλείου-τεμαχίου, ανομοιογένεια του υλικού κ.λ.π..
- **Αποκλίσεις 3<sup>ης</sup> τάξης:** είναι ανωμαλίες της επιφάνειας υπό μορφή αυλακώσεων, που οφείλονται σε ατέλειες στη μορφή των εργαλείων και στην κινηματική των κατεργασιών.
- **Αποκλίσεις 4<sup>ης</sup> τάξης:** είναι μικρογεωμετρικές ανωμαλίες της επιφάνειας, οι οποίες οφείλονται σε ατέλειες στην τρύχιση του εργαλείου, στη φθορά του, στη δημιουργία ψευδόκοψης κ.λ.π..
- **Αποκλίσεις 5<sup>ης</sup> τάξης και ανώτερης τάξης:** είναι ανωμαλίες της επιφάνειας, μικρογεωμετρικής μορφής, οι οποίες μπορούν να αποδοθούν σε χημικές επιδράσεις, σε μεταβολές στο κρυσταλλικό πλέγμα του μετάλλου και σε άλλες αιτίες.



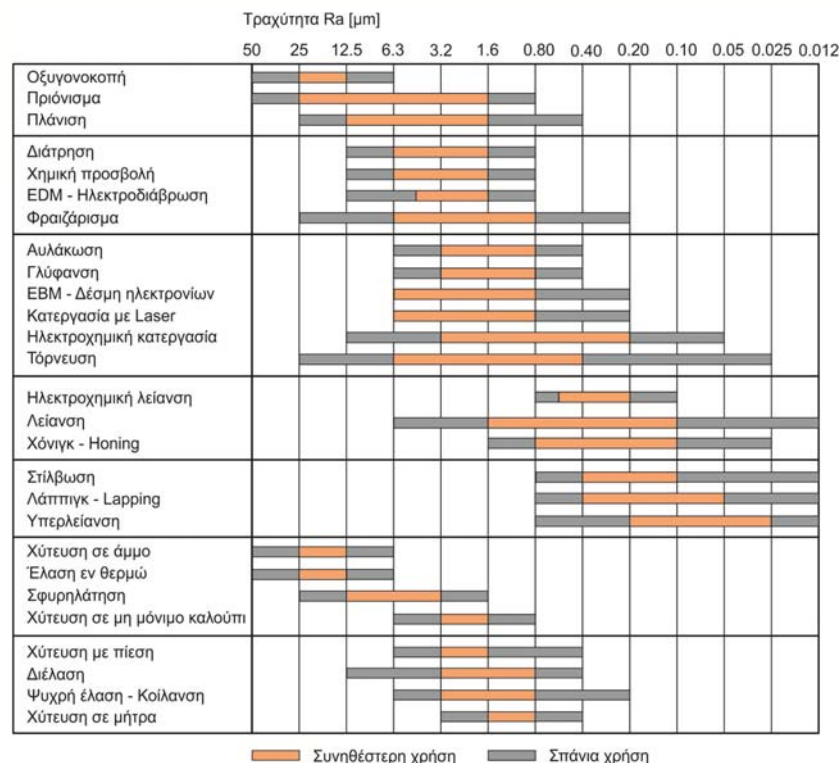
## Αποκλίσεις τραχύτητας

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

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

Δημήτριος Γ. Βακόνδιος

2011

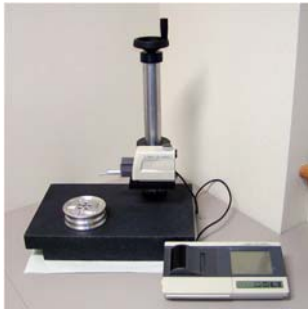


## Εύρος τιμών τραχύτητας

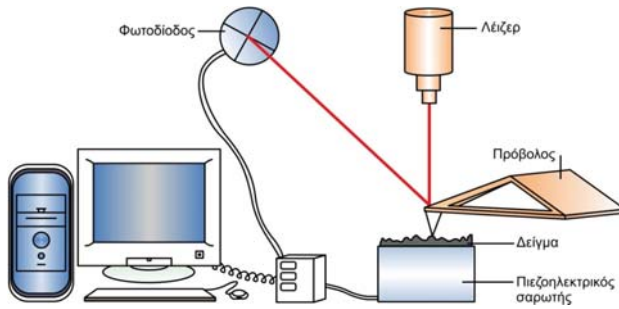
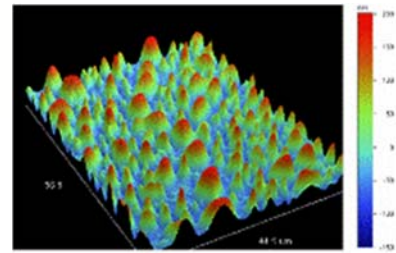
<http://www.m3.tuc.gr>

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

Δημήτριος Γ. Βακόνδιος



Τρχαύμετρο στυλίσκου



Μικροσκόπιο ατομικής δύναμης (AFM)



Οπτικό προφιλόμετρο

2011



## Όργανα μέτρησης τραχύτητας

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



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

Δημήτριος Γ. Βακόνδιος

| Παράμετρος    | Ονομασία                                | Τύπος υπολογισμού                                                                                                                     |
|---------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $R_a$         | Μέσο αριθμητικό ύψος                    | $R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n  y_i $                                                                                                |
| $R_q$         | Μέση τετραγωνική ρίζα                   | $R_q = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2}$                                                                                         |
| $R_z$         | Μέσο ύψος από κορυφή σε κοιλάδα         | $R_{z(ISO)} = \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n p_i - \sum_{i=1}^n v_i)$<br>$R_{z(DIN)} = \frac{1}{2n} (\sum_{i=1}^n p_i + \sum_{i=1}^n v_i)$ |
| $R_p$         | Μέγιστο ύψος κορυφής                    | $R_p = \max_i y_i$                                                                                                                    |
| $R_v$         | Μέγιστο βάθος κοιλάδας                  | $R_v = \min_i y_i$                                                                                                                    |
| $R_{pm}$      | Μέσο ύψος κορυφών                       | $R_{pm} = \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n p_i)$                                                                                             |
| $R_{vm}$      | Μέσο βάθος κοιλάδων                     | $R_{vm} = \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n v_i)$                                                                                             |
| $R_t/R_{max}$ | Μέγιστο ύψος του προφίλ                 | $R_t = R_p + R_v$                                                                                                                     |
| $R_{ti}$      | Μέγιστο ύψος από κορυφή σε κοιλάδα      | $R_{ti} = R_{pi} + R_{vi}$                                                                                                            |
| $R_{tm}$      | Μέσο μέγιστο ύψος από κορυφή σε κοιλάδα | $R_{tm} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_{ti}$                                                                                            |
| $R_y$         | Μεγαλύτερο από κορυφή σε κοιλάδα ύψος   | $R_y = \max_i R_{ti}$                                                                                                                 |
| $R_{3y}$      | Τρίτου σημείου ύψος                     | $R_{3y} = \frac{1}{5} (\sum_{i=1}^5 R_{3yi})$                                                                                         |
| $k$           | Παράγοντας στερεότητας προφίλ           | $k = \frac{R_y}{R_{max}}$                                                                                                             |
| $R_{sk}$      | Ασυμμετρία                              | $R_{sk} = \frac{1}{R_q^3} \int_{-\infty}^{+\infty} y^3 p(y) dy$<br>$R_{sk} = \frac{1}{NR_q^3} (\sum_{i=1}^N y_i^3)$                   |
| $R_{ku}$      | Κύρτωση                                 | $R_{sk} = \frac{1}{R_q^4} \int_{-\infty}^{+\infty} y^4 p(y) dy$<br>$R_{sk} = \frac{1}{NR_q^4} (\sum_{i=1}^N y_i^4)$                   |

2011



## Παράμετροι τραχύτητας

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



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

Δημήτριος Γ. Βακόνδιος

2011

- Η τραχύτητα της τελικής επιφάνειας επηρεάζεται από τις προεπιλεγμένες συνθήκες κοπής. Τέτοιες συνθήκες είναι το είδος λιπαντικού, το είδος του κατεργαζόμενου υλικού και ο τύπος του κοπτικού εργαλείου, καθώς και αστάθμητοι παράγοντες οι οποίοι δεν είναι ικανοί να ελεγχθούν, όπως οι ταλαντώσεις της κατεργασίας και η ακρίβεια της εργαλειομηχανής. Το γεγονός αυτό δείχνει ότι η πρόβλεψη της τραχύτητας είναι αναγκαία.
- Ο καθορισμός της τραχύτητας της τελικής επιφάνειας αποτελεί ένα δύσκολο έργο και ποικίλες μέθοδοι έχουν προταθεί για αυτό. Στο πλαίσιο αυτό, έγιναν πολλές μελέτες για την πρόβλεψη της τραχύτητας της προκύπτουσας επιφάνειας σε όλες τις κατεργασίες κοπής. Οι μελέτες αυτές κατηγοριοποιούνται σε τέσσερις μεγάλες κατηγορίες, βάση της προσέγγισης του προβλήματος:
  - Προσεγγίσεις, οι οποίες βασίστηκαν στη θεωρία της κατεργασίας για να αναπτυχθούν αναλυτικά μοντέλα και/ή αλγόριθμοι, που να αναπαριστούν την κατεργασμένη επιφάνεια.
  - Προσεγγίσεις, οι οποίες εξετάζουν την επίδραση διαφόρων παραγόντων μέσω της πραγματοποίησης πειραμάτων και ανάλυσης των εξαγόμενων αποτελεσμάτων.
  - Προσεγγίσεις που χρησιμοποιούν ειδικά σχεδιασμένα πειράματα.
  - Προσεγγίσεις με χρήση μοντέλων τεχνητής νοημοσύνης.



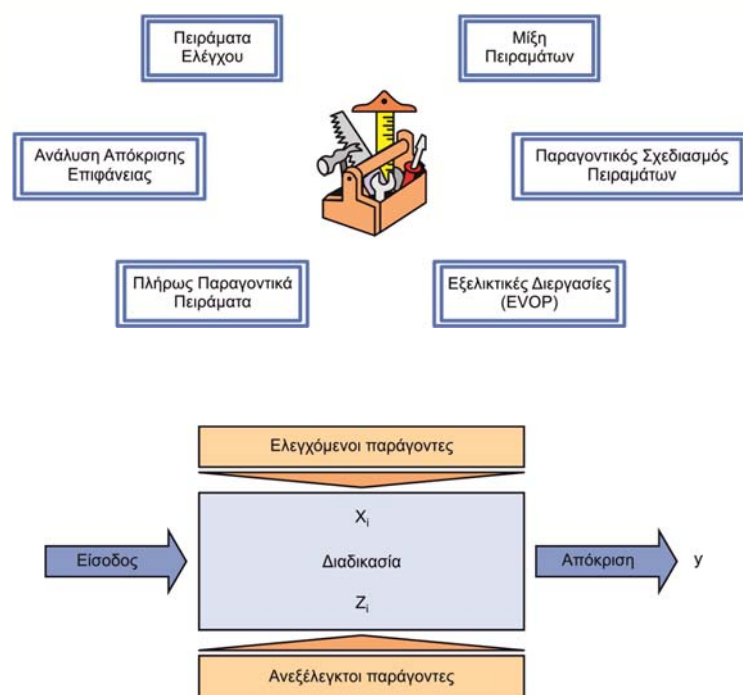
## Πρόβλεψη τραχύτητας

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


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

Δημήτριος Γ. Βακόνδιος

2011



## Σχεδιασμός πειραμάτων

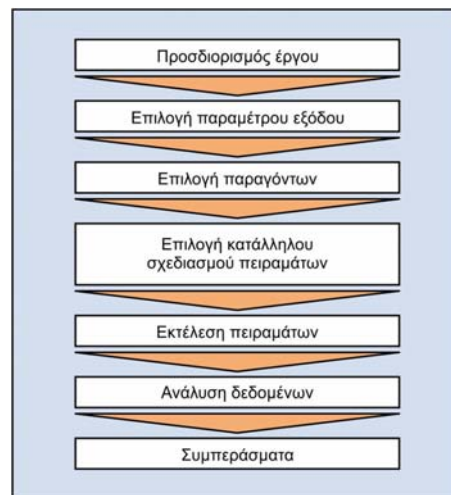
<http://www.m3.tuc.gr>


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

Δημήτριος Γ. Βακόνδιος



2011

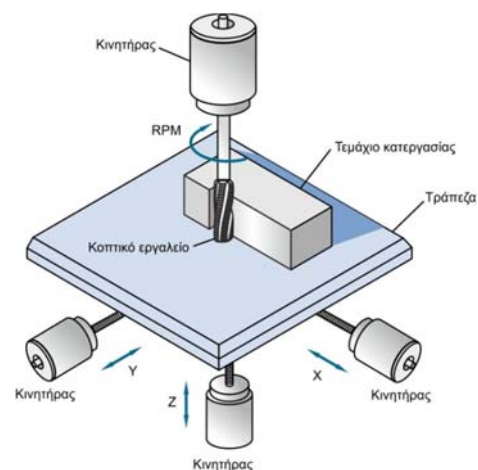

<http://www.m3.tuc.gr>

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

Δημήτριος Γ. Βακόνδιος

2011

- Η αναγκαιότητα περιορισμού του ποσοστού συμμετοχής του χειριστή και ο αυτόματος έλεγχος οδήγησαν σε μια νέα γενιά εργαλειομηχανών οι οποίες λειτουργούν βασιζόμενες στον αριθμητικό έλεγχο (Numerical Control).
- Οι ψηφιακά καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές είναι ευρέως διαδεδομένες και χρησιμοποιούνται σε πολλούς τομείς της παραγωγικής διαδικασίας καθότι έχουν τη δυνατότητα συνεργασίας με συστήματα σχεδίασης (CAD) και συστήματα κατεργασιών (CAM) ενώ ταυτόχρονα έχουν τη δυνατότητα ένταξής τους σε ολοκληρωμένα συστήματα παραγωγής (CIM) και ευέλικτα συστήματα παραγωγής (FMS).
- Η συνήθης κατεργασία κοπής με εργαλείο πολλαπλής σημειακής επαφής είναι το φραιζάρισμα. Το φραιζάρισμα είναι κοπή με περιστροφική κίνηση του κοπτικού εργαλείου και με ανεξάρτητη κάθετη προς τον άξονα περιστροφής του εργαλείου προωθητική κίνηση του κατεργάσιμου τεμαχίου.



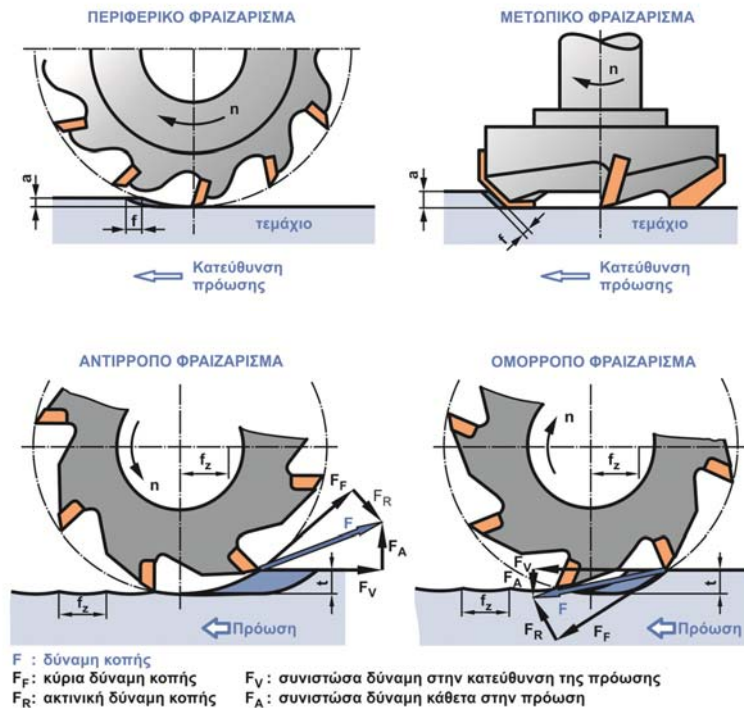
Φραιζάρισμα

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

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

Δημήτριος Γ. Βακόνδιος

2011



## Είδη φραιζαρίσματος

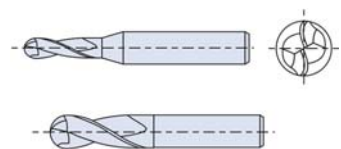
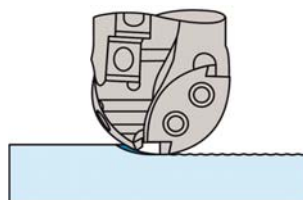
<http://www.m3.tuc.gr>

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

Δημήτριος Γ. Βακόνδιος

2011

- Μια ευρέως διαδεδομένη κατεργασία για τη μορφοποίηση της τελικής επιφάνειας είναι η διαδικασία του φραιζαρίσματος με εργαλείο σφαιρικής απόληξης (Ball-end milling). Η γεωμετρία του κοπτικού εργαλείου και οι διαδρομές του εργαλείου είναι βασικοί παράγοντες της τοπομορφίας της τραχύτητας. Μελέτες έχουν εστιάσει στην επίδραση της φθοράς του κοπτικού εργαλείου πάνω στην τραχύτητα της τελικής επιφάνειας.
- Στο φραιζάρισμα με εργαλείο σφαιρικής απόληξης, η ταχύτητα κοπής ποικίλει ανάλογα με το σημείο επαφής της κοπτικής ακμής σε σχέση με το τεμάχιο. Η ρύθμιση των κλίσεων του τεμαχίου και του κοπτικού εργαλείου μπορούν να βελτιώσουν την επίδοση του κοπτικού και την τραχύτητα της επιφάνειας. Η τοποθέτηση του κοπτικού εργαλείου διαφοροποιείται ανάλογα με τις κλίσεις μεταξύ τεμαχίου και κοπτικού και την κατεύθυνση της πρόωσης.



## Εργαλεία σφαιρικής απόληξης

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

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

Δημήτριος Γ. Βακόνδιος

- Το υλικό που επιλέχθηκε για την διεξαγωγή των πειραμάτων είναι το Al7075-T6. Το συγκεκριμένο υλικό χρησιμοποιείται ευρέως στην κατασκευή δομικών εξαρτημάτων κυρίως στην αεροναυπηγικές εφαρμογές. Η αεροναυπηγική βιομηχανία απαιτεί υλικά που έχουν υψηλή αντοχή και εύκολη όσο είναι δυνατόν κατεργασιμότητα. Το ντουραλουμίνιο Al7075 θερμικής κατεργασίας T6 συνδυάζει υψηλή αντοχή, μέση σκληρότητα και αντίσταση στη διάβρωση. Για αυτό το λόγο προτιμάται στη βιομηχανία κατασκευής δομικών εξαρτημάτων.
- Μηχανικές ιδιότητες

|                    | Πάχος<br>in. (mm)           | Αντοχή σε εφελκυσμό<br>ksi (MPa) | Όριο διαρροής<br>ksi (MPa) | Επιμήκυνση<br>% |
|--------------------|-----------------------------|----------------------------------|----------------------------|-----------------|
| Al7075-T6<br>φύλλο | 0.008-0.249<br>(0.203-6.32) | 74-78<br>(510-538)               | 63-69<br>(434-476)         | 5-8             |

- Όρια χημικής σύνθεσης (wt. %)

|         |         |         |           |
|---------|---------|---------|-----------|
| Si..... | 0.40    | Mg..... | 2.1-2.9   |
| Fe..... | 0.50    | Cr..... | 0.18-0.28 |
| Cu..... | 1.2-2.0 | Zn..... | 5.1-6.1   |
| Mn..... | 0.30    | Ti..... | 0.20      |



Al7075-T6

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

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

Δημήτριος Γ. Βακόνδιος

- Τα πειράματα έγιναν στο Εργαστήριο Μικροκοπής και Κατασκευαστικής Προσομοίωσης (m3) του Πολυτεχνείου Κρήτης, στο κέντρο κατεργασίας της Deckel Maho DMU 50 eco, το οποίο φέρει χειριστήριο ψηφιακής καθοδήγησης Siemens 810D.
- Το κέντρο κατεργασίας DMU 50 eco διαθέτει ισχυρή άτρακτο μέχρι 8.000 rpm, 83 Nm (40% ED), ισχύ άτράκτου 13 kW (40% ED) και 12 m/min γρήγορη μετατόπιση. Διαθέτει περιστρεφόμενο τραπέζι με περιοχή περιστροφής μέχρι τις 115° (-5° / +110°). Ο εργαλειοφόρας με 16 θέσεις και το αποσπώμενο χειριστήριο καθιστούν εφικτή την απλή και άνετη εκτέλεση των διαφόρων εργασιών φραιζαρίσματος. Η κατασκευή είναι με χυτοσίδηρο σκελετό, για μέγιστη ακρίβεια και ποιότητα επιφανειών.
- Το εργονομικό DMG SLIMline® Panel με οθόνη TFT 15", SIEMENS 810D powerline και λογισμικό ShopMill καθιστούν εφικτό τον απλό προγραμματισμό και την τρισδιάστατη προσομοίωση.



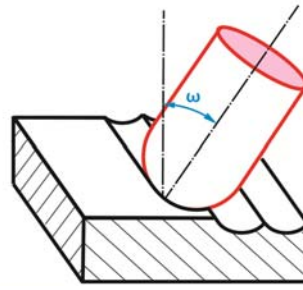
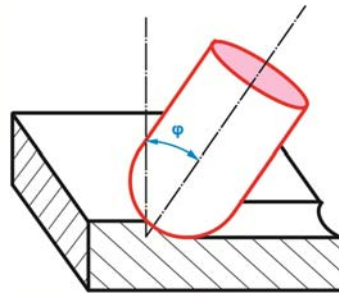
DMU 50 eco

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

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

Δημήτριος Γ. Βακόνδιος





$t_z \quad t_{xy} \quad f_z \quad \varphi \quad \omega$   
Αριθμός πειραμάτων =  $2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 2 = 48$

| $t_z$ | $t_{xy}$ | $f_z$ | $\varphi$ | $\omega$ |
|-------|----------|-------|-----------|----------|
| 0,3   | 0,3      | 0,2   | -5        | 0        |
| 0,6   | 0,6      | 0,6   | 0         | 5        |



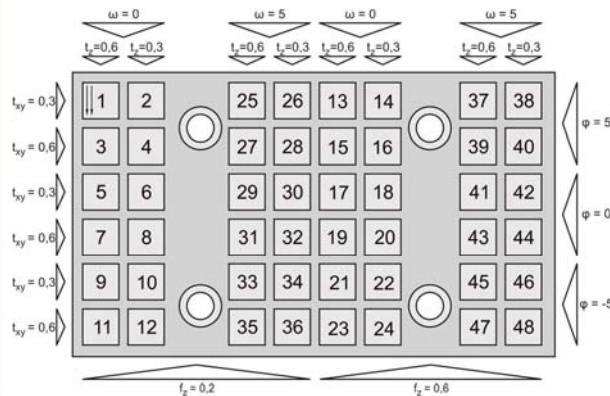
### Παράμετροι πειραμάτων

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



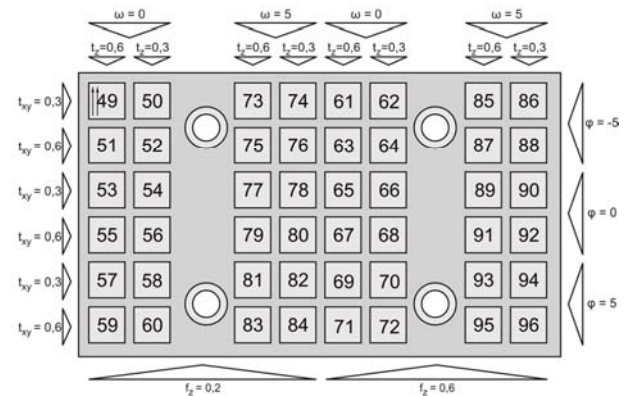
Dept. of Production Eng. & Management  
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab  
Assoc. Prof. Aristomenis Antoniadis

Δημήτριος Γ. Βακόνδιος



Τεμάχιο ομόροπων πειραμάτων

Τεμάχιο αντίροπων πειραμάτων



### Κατεργαζόμενα τεμάχια

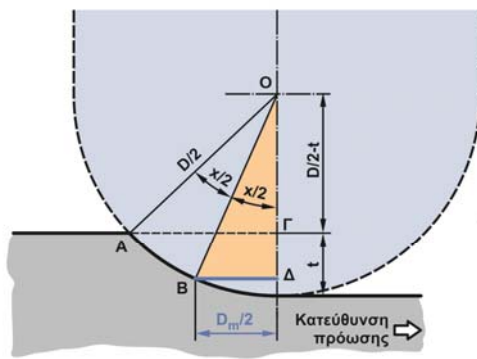
<http://www.m3.tuc.gr>



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

Δημήτριος Γ. Βακόνδιος

2011

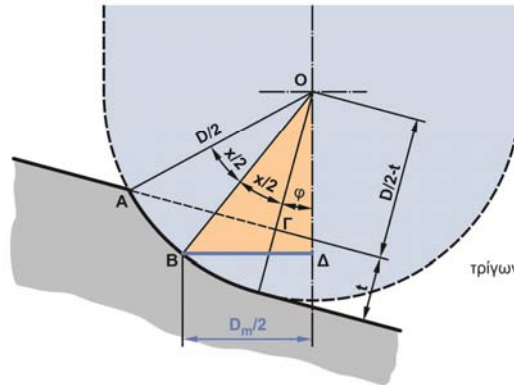


$$\text{τρίγωνο } OAG \Rightarrow \cos x = \frac{D/2-t}{D/2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow x = \arccos \frac{D/2-t}{D/2}$$

$$\text{τρίγωνο } OBA \Rightarrow \sin(x/2) = \frac{D_m/2}{D/2} = \frac{D_m}{D} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow D_m = D \cdot \sin(x/2)$$



$$\text{τρίγωνο } OAG \Rightarrow \cos x = \frac{D/2-t}{D/2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow x = \arccos \frac{D/2-t}{D/2}$$

$$\text{τρίγωνο } OBA \Rightarrow \sin(x/2+\varphi) = \frac{D_m/2}{D/2} = \frac{D_m}{D} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow D_m = D \cdot \sin(x/2+\varphi)$$



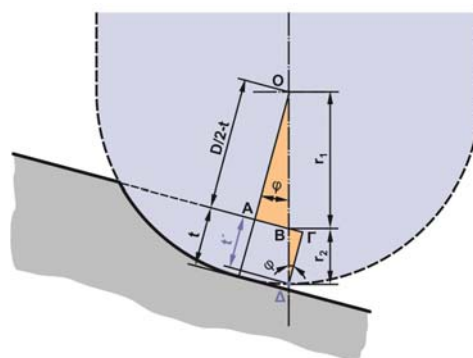
### Υπολογισμός ενεργής διαμέτρου

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


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

Δημήτριος Γ. Βακόνδιος

2011



$$\text{τρίγωνο } OAB \Rightarrow r_1 = \frac{D/2-t}{\cos \varphi}$$

$$r_2 = D/2 - r_1 \Rightarrow r_2 = D/2 - \frac{D/2-t}{\cos \varphi}$$

$$\text{τρίγωνο } B\Gamma\Delta \Rightarrow t' = \cos \varphi \cdot r_2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow t' = D/2 \cdot (\cos \varphi - 1) + t$$



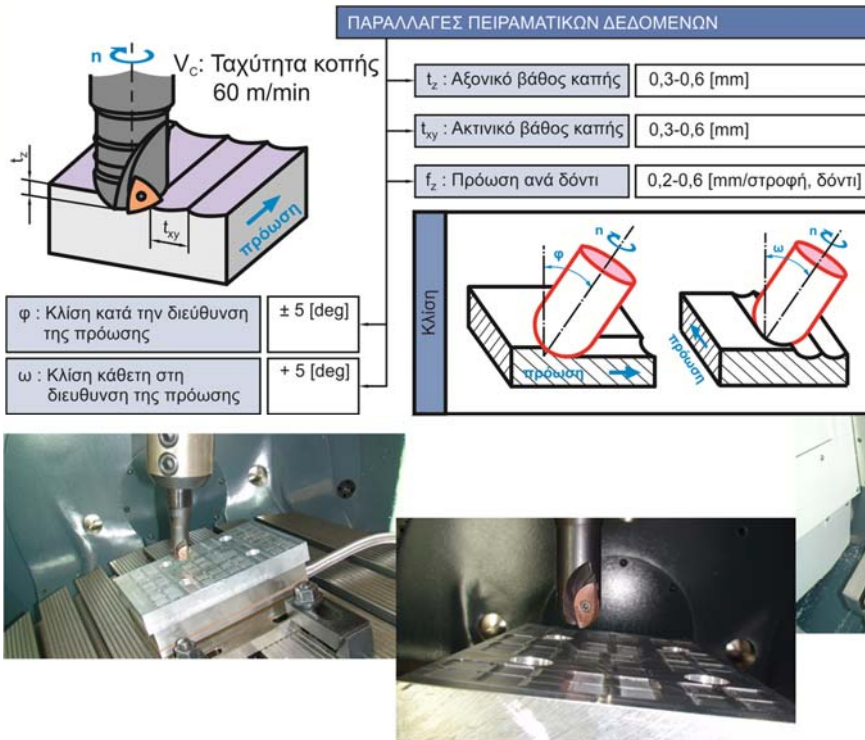
### Υπολογισμός προγραμματιζόμενου σημείου

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


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

Δημήτριος Γ. Βακόνδιος

2011



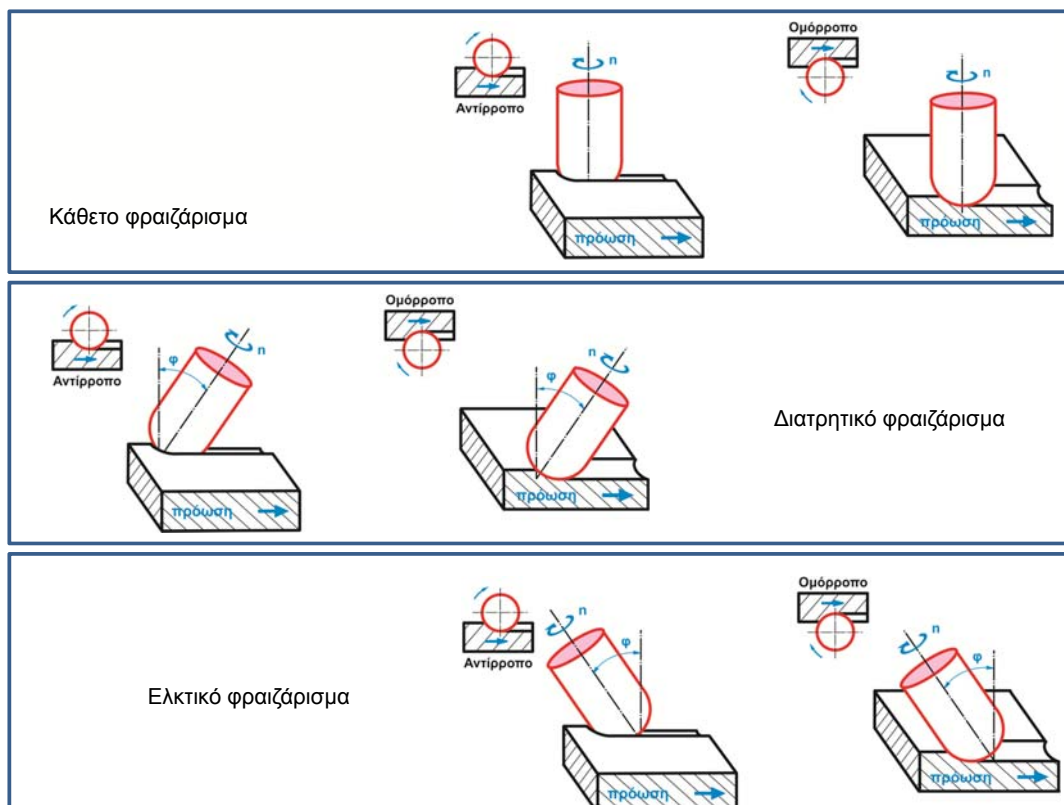
## Παράγοντες κοπής

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

Δημήτριος Γ. Βακόνδιος

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

2011

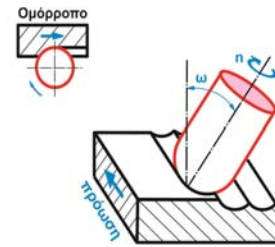
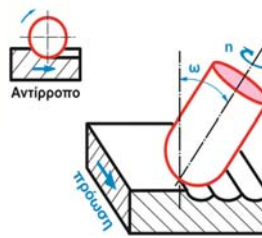


## Στρατηγικές φραιζαρίσματος

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

Δημήτριος Γ. Βακόνδιος

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



Πλάγιο φραιζάρισμα



### Στρατηγικές φραιζαρίσματος

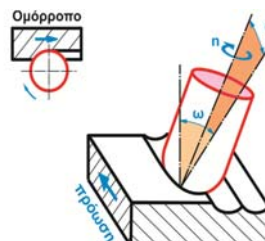
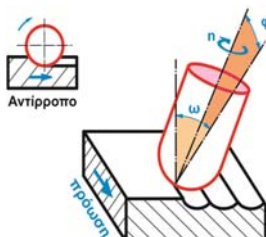
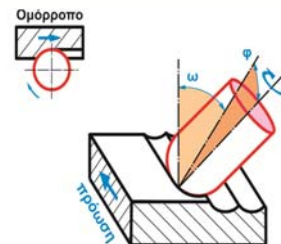
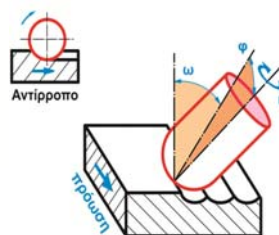
<http://www.m3.tuc.gr>



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

Δημήτριος Γ. Βακόνδιος

Πλάγιο διατρητικό  
φραιζάρισμα



Πλάγιο ελκτικό  
φραιζάρισμα



### Στρατηγικές φραιζαρίσματος

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



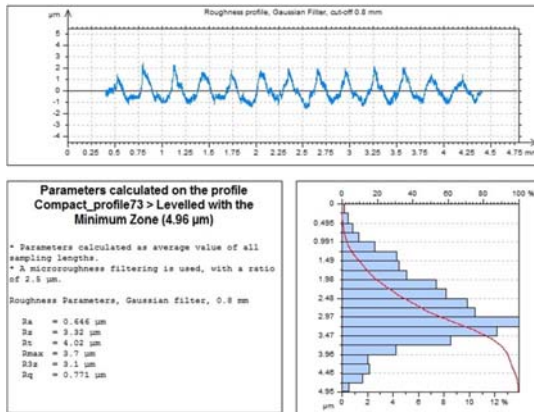
Dept. of Production Eng. & Management  
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab  
Assoc. Prof. Aristomenis Antoniadis

Δημήτριος Γ. Βακόνδιος

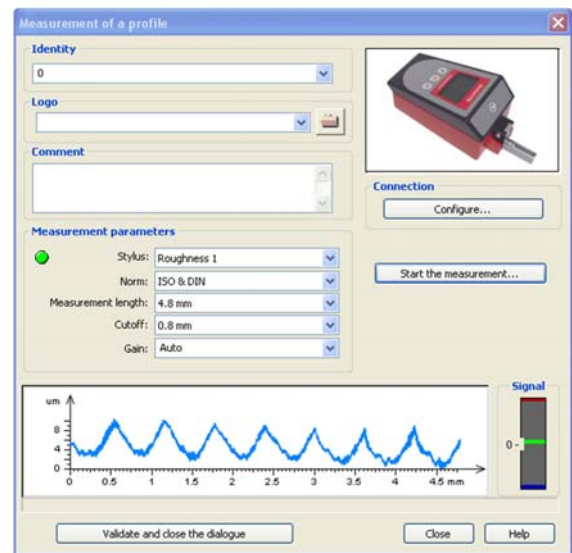




Τραχύμετρο



Παράδειγμα τραχυμέτρησης



Δεδομένα τραχυμέτρησης

2011



Τραχύμετρο Diavite Compact

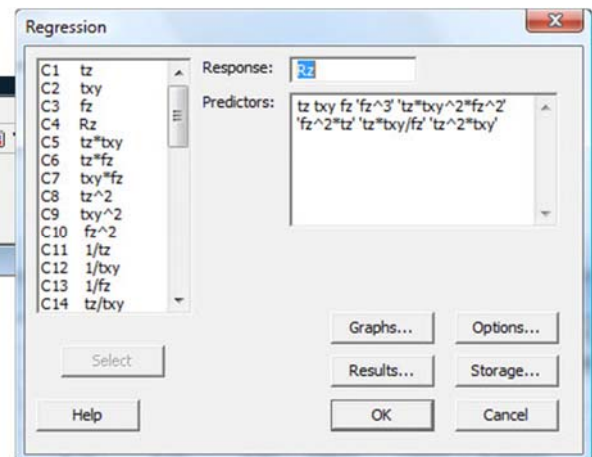
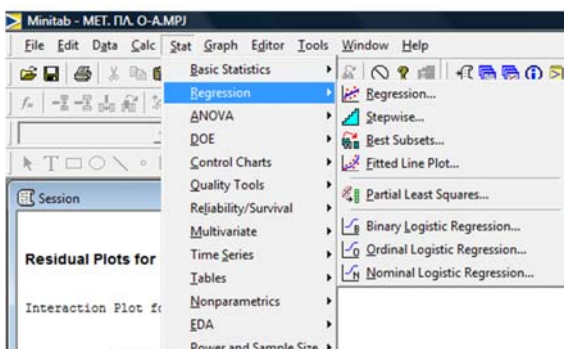
<http://www.m3.tuc.gr>



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

Δημήτριος Γ. Βακόνδιος

|    | C1  | C2  | C3   | C4    | C5   | C6    | C7    | C8   | C9   | C10  | C11     | C12     | C13      | C14 | C15  | C16 | C17  | C18      | C19   |
|----|-----|-----|------|-------|------|-------|-------|------|------|------|---------|---------|----------|-----|------|-----|------|----------|-------|
| 1  | 0.6 | 0.3 | -0.2 | 7.49  | 0.18 | -0.12 | -0.06 | 0.36 | 0.09 | 0.04 | 1.66667 | 3.33333 | -5.00000 | 2.0 | -3.0 | 0.5 | -1.5 | -0.33333 | -0.66 |
| 2  | 0.3 | 0.3 | -0.2 | 7.21  | 0.09 | -0.06 | -0.06 | 0.09 | 0.09 | 0.04 | 3.33333 | 3.33333 | -5.00000 | 1.0 | -1.5 | 1.0 | -1.5 | -0.66667 | -0.66 |
| 3  | 0.6 | 0.6 | -0.2 | 13.57 | 0.36 | -0.12 | -0.12 | 0.36 | 0.36 | 0.04 | 1.66667 | 1.66667 | -5.00000 | 1.0 | -3.0 | 1.0 | -3.0 | -0.33333 | -0.33 |
| 4  | 0.3 | 0.6 | -0.2 | 14.36 | 0.18 | -0.06 | -0.12 | 0.09 | 0.36 | 0.04 | 3.33333 | 1.66667 | -5.00000 | 0.5 | -1.5 | 2.0 | -3.0 | -0.66667 | -0.33 |
| 5  | 0.6 | 0.3 | -0.6 | 7.74  | 0.18 | -0.36 | -0.18 | 0.36 | 0.09 | 0.36 | 1.66667 | 3.33333 | -1.66667 | 2.0 | -1.0 | 0.5 | -0.5 | -1.00000 | -2.00 |
| 6  | 0.3 | 0.3 | -0.6 | 8.74  | 0.09 | -0.18 | -0.18 | 0.09 | 0.09 | 0.36 | 3.33333 | 3.33333 | -1.66667 | 1.0 | -0.5 | 1.0 | -0.5 | -2.00000 | -2.00 |
| 7  | 0.6 | 0.6 | -0.6 | 15.05 | 0.36 | -0.36 | -0.36 | 0.36 | 0.36 | 0.36 | 1.66667 | 1.66667 | -1.66667 | 1.0 | -1.0 | 1.0 | -1.0 | -1.00000 | -1.00 |
| 8  | 0.3 | 0.6 | -0.6 | 14.94 | 0.18 | -0.18 | -0.36 | 0.09 | 0.36 | 0.36 | 3.33333 | 1.66667 | -1.66667 | 0.5 | -0.5 | 2.0 | -1.0 | -2.00000 | -1.00 |
| 9  | 0.6 | 0.3 | 0.2  | 10.65 | 0.18 | 0.12  | 0.06  | 0.36 | 0.09 | 0.04 | 1.66667 | 3.33333 | 5.00000  | 2.0 | 3.0  | 0.5 | 1.5  | 0.33333  | 0.66  |
| 10 | 0.3 | 0.3 | 0.2  | 10.99 | 0.09 | 0.06  | 0.06  | 0.09 | 0.09 | 0.04 | 3.33333 | 3.33333 | 5.00000  | 1.0 | 1.5  | 1.0 | 1.5  | 0.66667  | 0.66  |
| 11 | 0.6 | 0.6 | 0.2  | 15.17 | 0.36 | 0.12  | 0.12  | 0.36 | 0.36 | 0.04 | 1.66667 | 1.66667 | 5.00000  | 1.0 | 3.0  | 1.0 | 3.0  | 0.33333  | 0.33  |



2011



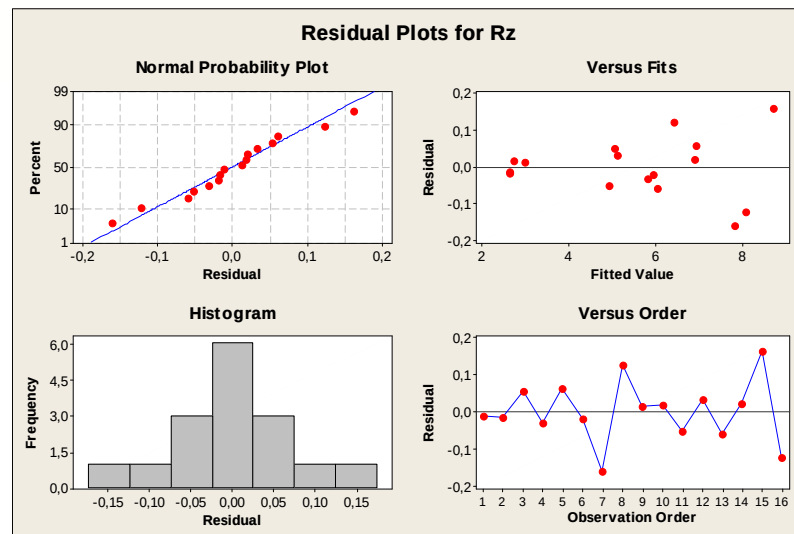
Minitab

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



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

Δημήτριος Γ. Βακόνδιος



## Διαγράμματα δεδομένων

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


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

Δημήτριος Γ. Βακόνδιος

$$R_z = -1,71 + 3,02 t_z + 12,7 t_{xy} + 2,69 f_z - 8,70 t_z t_{xy} + 22,7 f_z^2 - 0,397 \frac{t_{xy}}{f_z} + 58,8 t_z^2 t_{xy} f_z^2 + 0,317 \frac{t_z}{f_z} - 1,81 \frac{t_z f_z}{t_{xy}}$$

| Predictor     | Coef    | SE Coef | T      | P     |
|---------------|---------|---------|--------|-------|
| Constant      | -1,714  | 0,631   | -2,720 | 0,053 |
| tz            | 3,018   | 1,330   | 2,270  | 0,086 |
| txy           | 12,728  | 1,330   | 9,570  | 0,001 |
| fz            | 2,689   | 0,249   | 10,800 | 0,000 |
| tz*txy        | -8,699  | 2,803   | -3,100 | 0,036 |
| fz^2          | 22,661  | 2,463   | 9,200  | 0,001 |
| tz*fz/txy     | -1,815  | 0,199   | -9,110 | 0,001 |
| fz^2*tz       | -16,193 | 5,192   | -3,120 | 0,036 |
| fz^2*txy      | -25,753 | 3,191   | -8,070 | 0,001 |
| tz/fz         | 0,317   | 0,063   | 5,030  | 0,007 |
| txy/fz        | -0,397  | 0,063   | -6,300 | 0,003 |
| tz^2*txy*fz^2 | 58,780  | 12,160  | 4,830  | 0,008 |

S = 0,157615

R-Sq = 99,8%

R-Sq(adj) = 99,4%

| Source         | DF | SS     | MS    | F      | P     |
|----------------|----|--------|-------|--------|-------|
| Regression     | 11 | 58,853 | 5,35  | 215,37 | 0,000 |
| Residual Error | 4  | 0,099  | 0,025 |        |       |
| Total          | 15 | 58,952 |       |        |       |



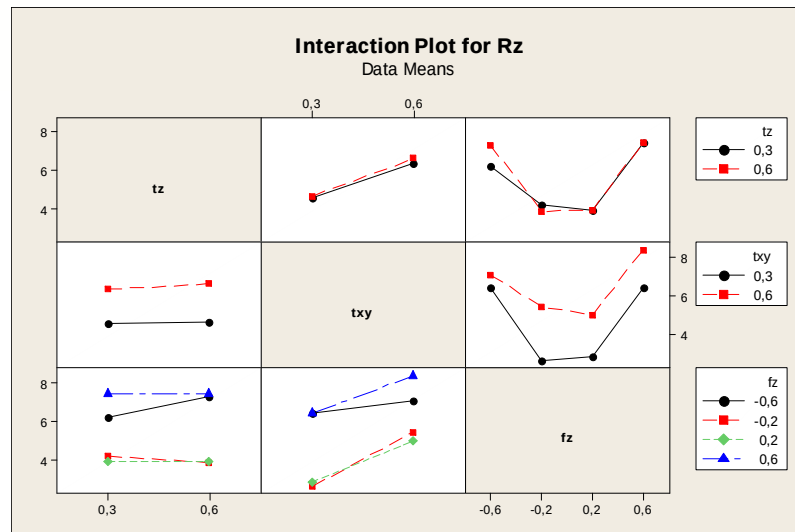
## Ανάλυση παλινδρόμησης

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


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

Δημήτριος Γ. Βακόνδιος

2011



Διαγράμματα αλληλεπίδρασης

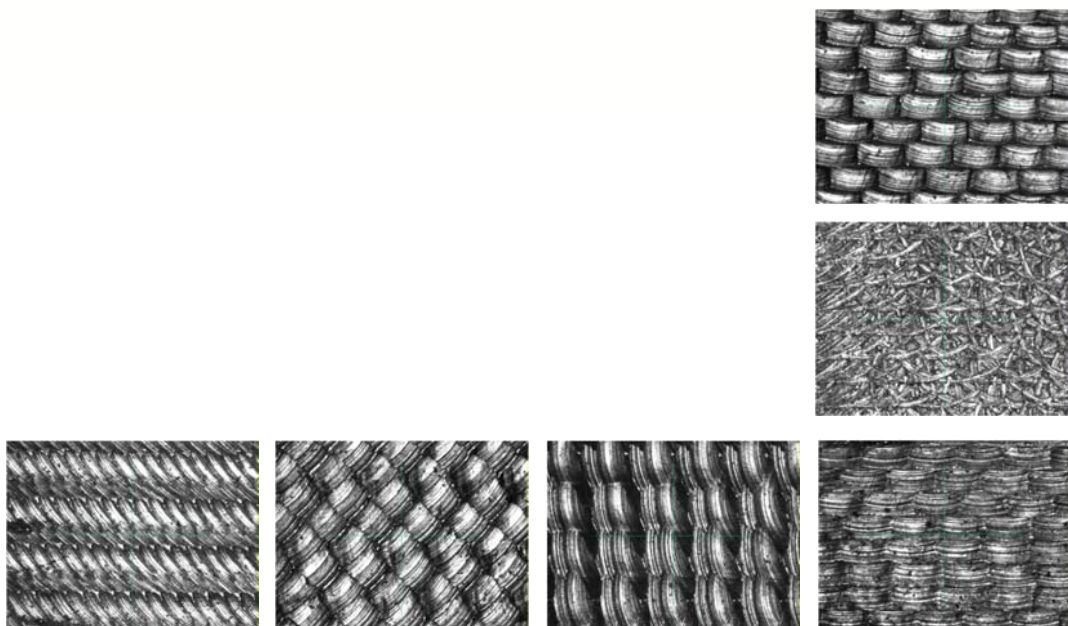
<http://www.m3.tuc.gr>



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

Δημήτριος Γ. Βακόνδιος

2011



Προφίλ τραχύτητας

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



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

Δημήτριος Γ. Βακόνδιος

Όλα έχουν Happy End!!!

# Ευχαριστώ!

2011

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ  
ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΠΕΙΡΜΑΤΩΝ



Τέλος

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



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

Δημήτριος Γ. Βακόνδιος