



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΤΟ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑ ΑΝΘΡΑΚΟΥΧΟΥ ΧΑΛΥΒΑ C45 ΜΕ ΒΑΡΕΛΟΕΙΔΗ ΚΟΠΤΙΚΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ



Διπλωματική Εργασία:
Παναγιώτης Μπαλαφούτης

2025



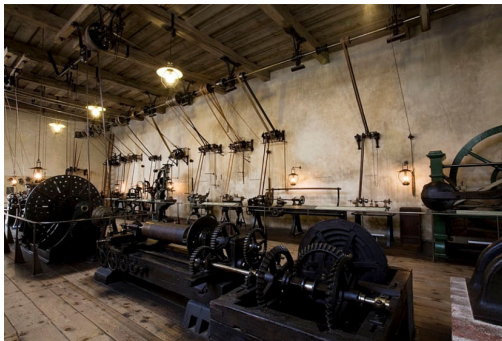
<http://www.m3.tuc.gr>



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

Παναγιώτης Μπαλαφούτης

- Η ανάπτυξη της Βιομηχανίας κατεργασιών μετάλλων οδηγεί σε αυξημένες απαιτήσεις για ακρίβεια και ποιότητα.
- Η χρήση **CNC εργαλειομηχανών** και σύγχρονων CAD/CAM περιβαλλόντων, επιτρέπει πολύπλοκες και ακριβείς κατεργασίες.
- **Στόχος:** Βελτιστοποίηση παραμέτρων κοπής για υψηλή ποιότητα και αντοχή εργαλείων.



2025



Εισαγωγή

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



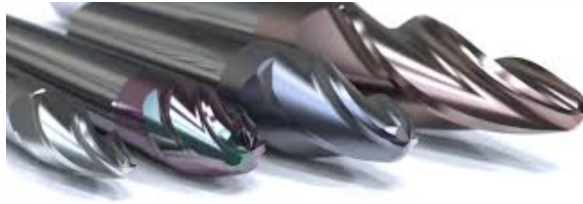
School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Παναγιώτης Μπαλαφούτης

Πειραματική μελέτη της επιφανειακής ποιότητας σε πέντε αξόνων κατεργασία με βαρελοειδή κοπτικά εργαλεία.

Συλλογή δεδομένων τραχύτητας σε διαφορετικές συνθήκες κατεργασίας (υλικό: χάλυβας C45).

Εξαγωγή συσχετισμών: βελτιστοποίηση παραγωγικής διαδικασίας.



2025



Στόχος Εργασίας

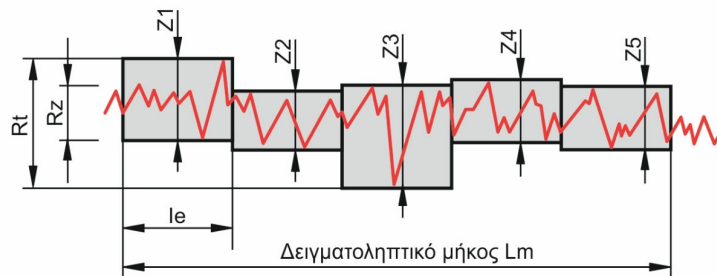
<http://www.m3.tuc.gr>



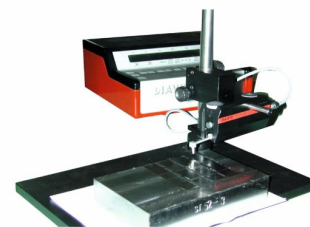
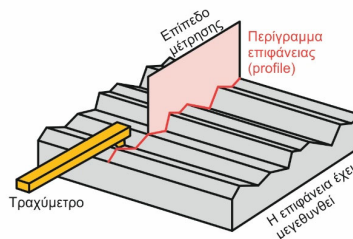
School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Παναγιώτης Μπαλαφούτης

- Η ποιότητα εξαρτάται από τη διαστατική ακρίβεια και την τραχύτητα.
- **Παράγοντες:** μέθοδος κατεργασίας, γεωμετρία και φθορά εργαλείου, ιδιότητες υλικού.
- Η **Rz** επηρεάζει την τριβή, τη φθορά, την αντοχή και τη ροή ρευστών.



$$Rz = \frac{Z1 + Z2 + Z3 + Z4 + Z5}{5}$$



2025



Ποιότητα Κατεργασμένης Επιφάνειας & Τραχύτητα

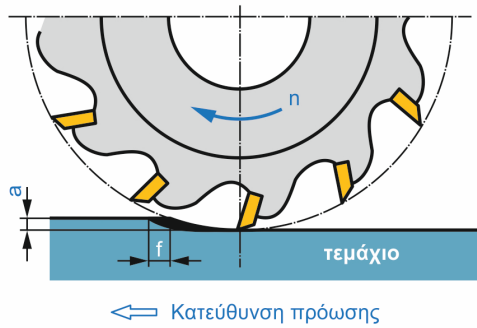
<http://www.m3.tuc.gr>



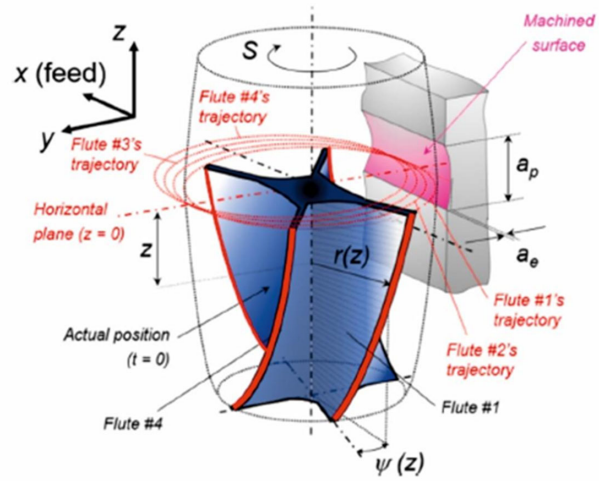
School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Παναγιώτης Μπαλαφούτης

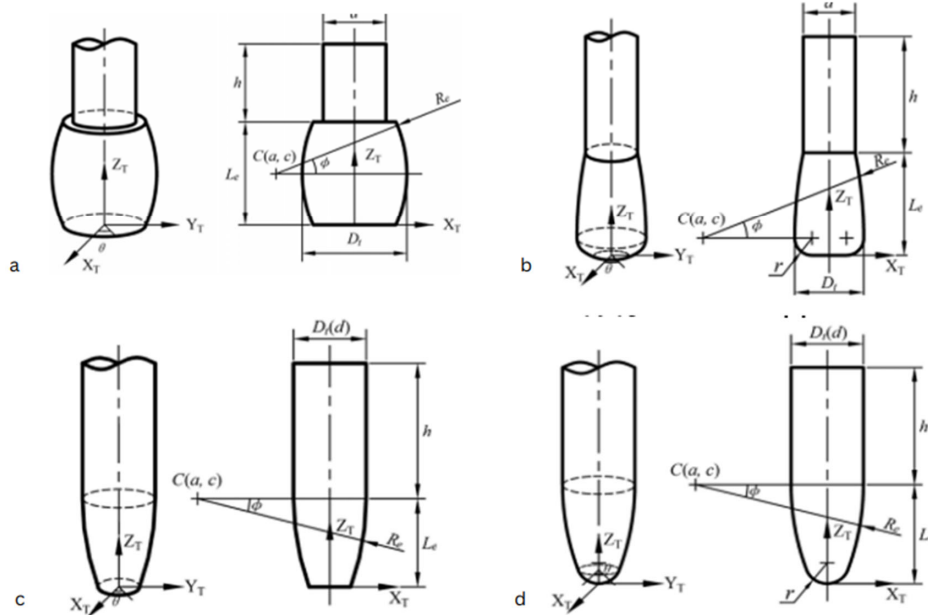
- Ταχύτητα κοπής (V_c), πρόωση (f), βάθος κοπής (ακτινικό, αξονικό), γωνία κλίσης τραπέζιου και στρατηγική κατεργασίας: ομόρροπο/αντίρροπο.



Σωστός συνδυασμός παραμέτρων οδηγεί σε καλύτερη ποιότητα και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής εργαλείων.



- **Τύποι:** γενικό, ημιβαρελοειδούς απόληξης, drum-taper, BBM.
- **Πλεονεκτήματα:** καλύτερο φινίρισμα, αυξημένη ακρίβεια σε σύνθετα σχήματα, μειωμένη κατανάλωση εργαλείων.



G. Urbikain et al.
Surface roughness prediction with new barrel-shape mills considering runout

Αντικείμενο έρευνας

- Πρόβλεψη τραχύτητας επιφάνειας με βαρελοειδή κοπτικά εργαλεία
- Υλικά: κράμα αλουμινίου & τιτανίου

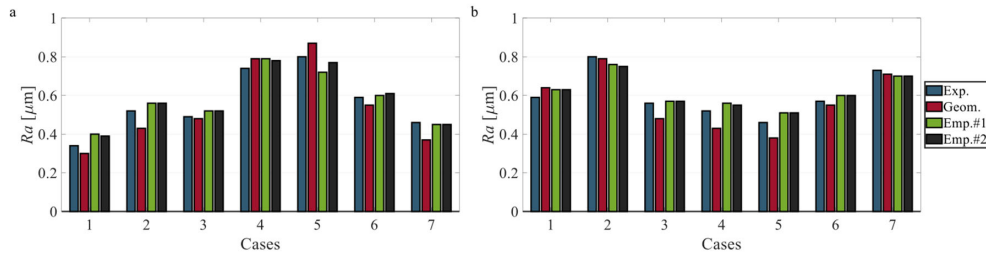
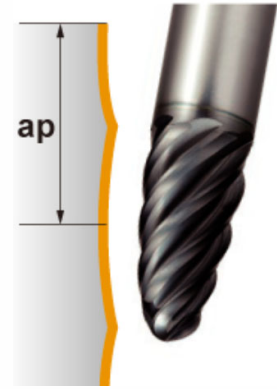
Μεθοδολογία

- Γεωμετρικό μοντέλο πρόβλεψης
- Δεν απαιτεί παραμέτρους όπως cutting speed & ακτινικό βάθος

Αποτελέσματα

- Απόκλιση μοντέλου – πραγματικότητας: **10-15%**
- Μοντέλο αξιόπιστο ακόμη και σε σκληρά κράματα (π.χ. τιτάνιο)

Συμπέρασμα: Η γεωμετρική προσέγγιση αποτελεί αξιόπιστο εργαλείο για εκτίμηση τραχύτητας σε φραιζάρισμα με βαρελοειδές κοπτικό.



2025

Επίδραση των συνθηκών κατεργασίας στο φραιζάρισμα ανθρακούχου χάλυβα C45 με βαρελοειδή κοπτικά εργαλεία



Σύνοψη Ερευνών – Μοντέλα Δυνάμεων & Τραχύτητας

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



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

Παναγιώτης Μπαλαφούτης

G. Urbikain et al.
Numerical simulation of milling forces with barrel-shaped tools considering runout and tool inclination angles

Αντικείμενο έρευνας

- Προσομοίωση δυνάμεων κοπής σε κεκλιμένο επίπεδο
- Εργαλείο: βαρελοειδές κοπτικό

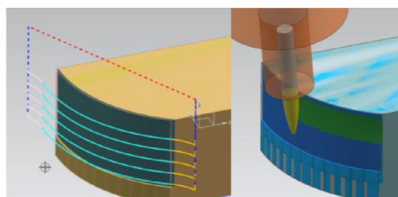
Μεθοδολογία

- Μοντέλο προσομοίωσης δυνάμεων
- Λήψη υπόψη runout & γωνίας κλίσης

Αποτελέσματα

- Μέγιστη απόκλιση: **~18%** από πειραματικά δεδομένα
- Η φθορά του κοπτικού παίζει καθοριστικό ρόλο
- Για ακτινικό βάθος **0,9 mm**: σχεδόν ταύτιση μοντέλου–πειράματος

Συμπέρασμα: Το μοντέλο αποδίδει με υψηλή ακρίβεια, ειδικά για μικρά βάθη κοπής, και αναδεικνύει την επίδραση της φθοράς εργαλείου.



Average forces (tilt + lead) in circular paths.

Case	Lead [°]	Tilt [°]	Forces (RMS) – experimental			Forces (RMS) – simulations		
			F_f [N]	F_c [N]	F_n [N]	F_f [N]	F_c [N]	F_n [N]
1	0	6	43.97	62.30	13.50	41.56	63.96	13.94
2	0	8	49.07	71.85	14.50	47.53	73.07	16.15
3	0	10	59.08	92.12	17.69	53.90	89.51	18.86
4	6	6	38.36	63.22	17.82	42.70	62.34	16.80
5	6	8	51.22	72.23	20.22	48.80	70.89	19.07
6	6	10	61.06	91.90	21.89	56.32	86.98	21.74

2025

Επίδραση των συνθηκών κατεργασίας στο φραιζάρισμα ανθρακούχου χάλυβα C45 με βαρελοειδή κοπτικά εργαλεία



Σύνοψη Ερευνών – Μοντέλα Δυνάμεων & Τραχύτητας

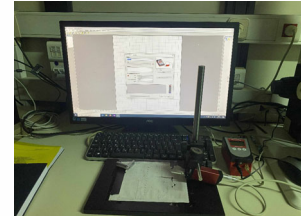
<http://www.m3.tuc.gr>



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

Παναγιώτης Μπαλαφούτης

- **Υλικό:** Χάλυβας C45 (βασικά χαρακτηριστικά).
- **Κέντρο κατεργασίας:** DMG MORI DMU 50 πέντε αξόνων φραιζα - Συσκευή Προρύθμισης Εργαλείων MICROSET UNO 115 ECO.
- **Εργαλεία:** Βαρελοειδές κοπτικό Palbit, Μετρητικό ρολόι, τραχύμετρο Diavite, στερεοσκόπιο Leica.



2025



Πειραματικός Εξοπλισμός

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


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

Παναγιώτης Μπαλαφούτης

- Επιλογή μεταβλητών: ταχύτητα κοπής (V_c), πρόωση ανά δόντι (f_z), ακτινικό/αξονικό βάθος κοπής, γωνία προσβολής (tilt angle), κατεύθυνση.
- Εφαρμογή συνδυασμών παραμέτρων για ολιστική αξιολόγηση.

Σχεδιασμός πειραμάτων (DOE):

Εκτέλεση πειραμάτων:

- Κατεργασία δοκιμών C45 σε πενταξονικό κέντρο DMG MORI DMU 50.
- Χρήση βαρελοειδούς κοπτικού εργαλείου Palbit.

- Αποτύπωση τραχύτητας (R_z) με τραχύμετρο Diavite Compact.
- Οπτικός έλεγχος επιφανειών με στερεοσκόπιο Leica M125.

Μετρήσεις:

Τεκμηρίωση:

- Καταγραφή όλων των παραμέτρων, αποτελεσμάτων και λήψη φωτογραφιών σε κάθε στάδιο.



2025



Διαδικασία Πειραμάτων

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


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

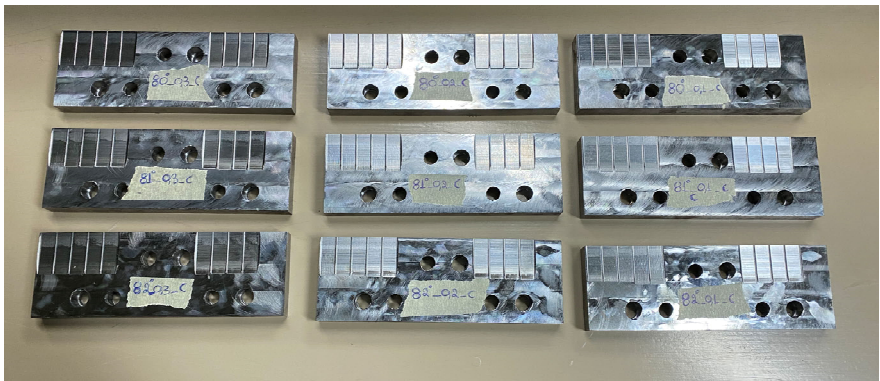
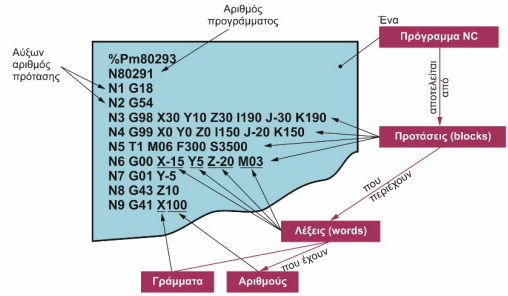
Παναγιώτης Μπαλαφούτης

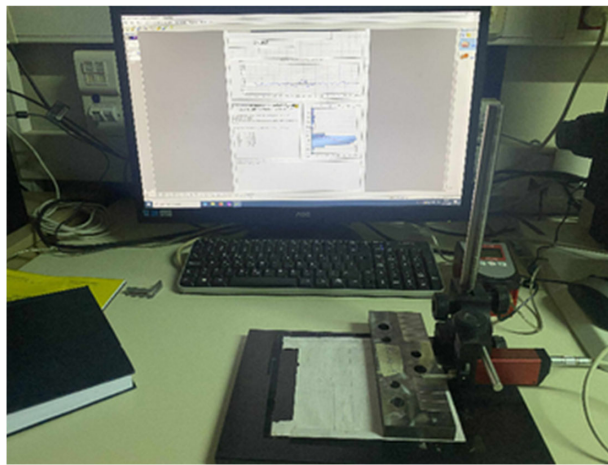

```
G90 G54 G17 G71
T="BALL_8" M06
G00 X0 Y0 Z10
S7162 M03 F94.5384

M08
G01 X-10
G01 Y-12 Z-15.2868
G01 X-3.726
G01 Y-2
G01 X-10
G01 Y-12
G01 X-10
G01 Y-12 Z-16.76401162951831
G01 X-3.9864722665003955
G01 Y-2
G01 X-10
G01 Y-12

G01 X-10
G01 Y-12 Z-18.241223259036623
G01 X-4.246944533000791
G01 Y-2
G01 X-10
G01 Y-12

G01 X-10
G01 Y-12 Z-19.718434888554935
G01 X-4.507416799501187
G01 Y-2
G01 X-10
G01 Y-12
```





2025



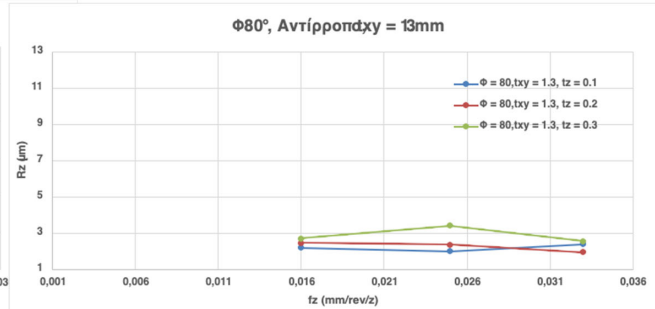
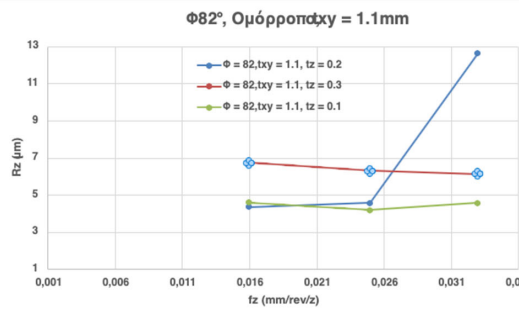
Τραχυμέτρηση - Φωτογράφιση Πειραμάτων

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



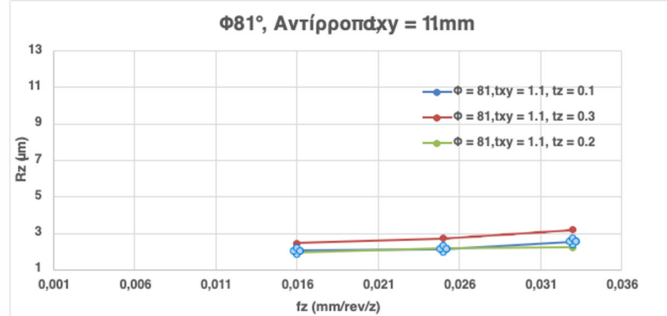
School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Παναγιώτης Μπαλαφούτης



Σχήμα 1

Σχήμα 2



Σχήμα 3

2025



Επεξεργασία Δεδομένων στο Excel

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

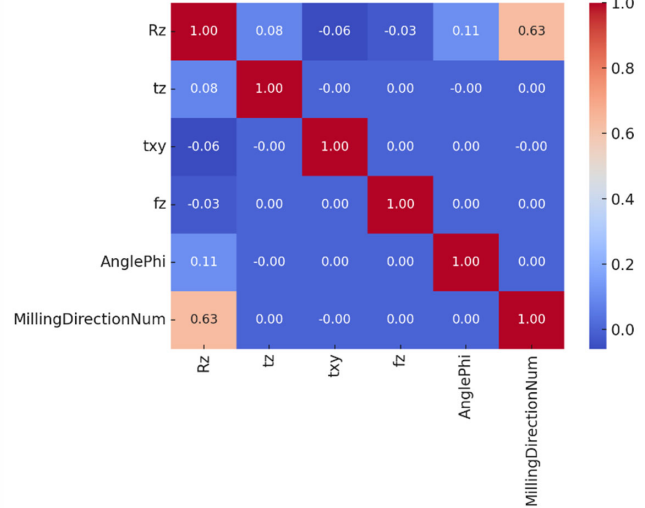


School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Παναγιώτης Μπαλαφούτης

- Κύρια επίδραση: Η κατεύθυνση φραιζαρίσματος επηρεάζει περισσότερο την τραχύτητα από τις υπόλοιπες μεταβλητές. Το αντίστροφο δίνει κατά μέσο όρο καλύτερη ποιότητα επιφάνειας (Rz μικρότερο).
- **Γωνία κοπής** (ϕ): Μικρή θετική επίδραση στο Rz (μεγαλύτερη $\phi \rightarrow$ ελαφρώς μεγαλύτερο Rz).
- **Αξονικό βάθος** (tz): Πολύ μικρή θετική συσχέτιση με Rz.
- **Ακτινικό βάθος** (txy): Πολύ μικρή αρνητική συσχέτιση.
- **Πρώωση** (fz): Σχεδόν μηδενική επίδραση στα δεδομένα.

Συσχέτιση Μεταβλητών Κοπής με Rz (χωρίς Vc)



2025



Συμπεράσματα – Προτάσεις

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


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

Παναγιώτης Μπαλαφούτης



2025



Φωτογραφία κατά την κοπή

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


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

Παναγιώτης Μπαλαφούτης

Ευχαριστίες

Ευχαριστίες στο εργαστήριο, επιβλέποντες, τεχνικό προσωπικό, συμφοιτητές.

