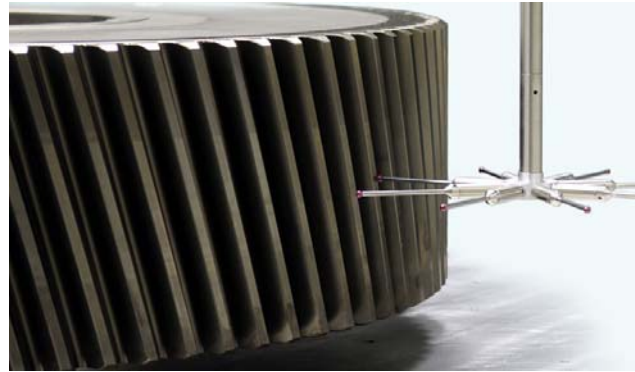


# ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΟΔΟΝΤΩΣΕΩΝ



Φασιλής Νικόλαος

Πολυτεχνείο Κρήτης – Χανιά 2019

2019

ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΟΔΟΝΤΩΣΕΩΝ



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



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

Φασιλής Νικόλαος

## Οδοντωτοί τροχοί

- Τύποι οδοντωτών τροχών
- Βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά
- Τεχνικά χαρακτηριστικά
- Κατεργασίες οδοντώσεων

## Σφάλματα οδοντώσεων

- Σφάλμα μετάδοσης
- Τύποι σφαλμάτων μετάδοσης
- Απεικόνιση των σφαλμάτων κατά τη συνεργατική λειτουργία των τροχών

## Μετρολογία

- Μετρούμενα μεγέθη
- Συμβατές μέθοδοι μέτρησης
- Ένταξη των οδοντώσεων σε βαθμούς ακρίβειας/ποιότητας

2019

ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΟΔΟΝΤΩΣΕΩΝ



Δομή παρουσίασης

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



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

Φασιλής Νικόλαος

Σύμφωνα με το **βασικό τους σχήμα** οι οδοντωτοί τροχοί διακρίνονται σε:

- Μετωπικούς οδοντωτούς τροχούς (παράλληλοι άξονες)
- Κωνικούς οδοντωτούς τροχούς (τεμνόμενοι άξονες)
- Ατέρμονες κοχλίες – κορώνες (τεμνόμενοι/ασύμβατοι άξονες)

Με βάση τη **μορφή της οδόντωσης** οι μετωπικοί και οι κωνικοί διακρίνονται στους:

- Μετωπικούς/Κωνικούς ευθείας οδόντωσης
- Μετωπικούς/Κωνικούς ελικοειδούς ή λοξής οδόντωσης
- Μετωπικούς/Κωνικούς με τοξοειδή οδόντωση



## Τύποι οδοντωτών τροχών

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



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

Φασιλής Νικόλαος

### Μετωπικοί οδοντωτοί τροχοί



με ευθείς οδόντες



με ελικοειδή οδόντωση



με τοξοειδή οδόντωση

### Κωνικοί οδοντωτοί τροχοί



με ευθείς οδόντες



με ελικοειδή οδόντωση



με τοξοειδή οδόντωση

### Ατέρμον κοχλίας-κορώννα



## Τύποι οδοντωτών τροχών

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

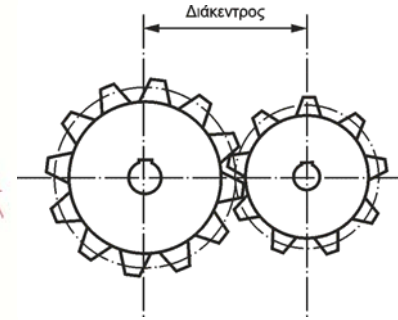
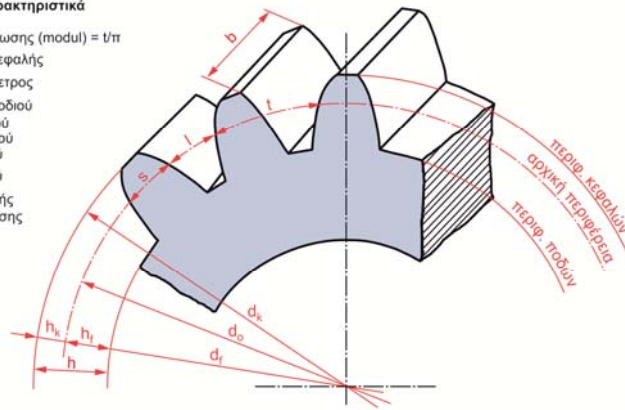


School of Production Eng. & Management  
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab  
Prof. Aristomenis Antoniadis

Φασιλής Νικόλαος

## Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά

$m$  = μέτρο οδόντωσης (modul) =  $t/\pi$   
 $d_k$  = διάμετρος κεφαλής  
 $d_o$  = αρχική διάμετρος  
 $d_f$  = διάμετρος ποδιού  
 $s$  = πάχος δοντιού  
 $l$  = διάκενο δοντιού  
 $h$  = ύψος δοντιού  
 $h_f$  = ύψος ποδιού  
 $h_k$  = ύψος κεφαλής  
 $t$  = βήμα οδόντωσης



Ο μετωπικός τροχός με ευθεία οδόντωση θεωρείται ως ο πιο απλός οδοντωτός τροχός από γεωμετρικής φύσεως

2019



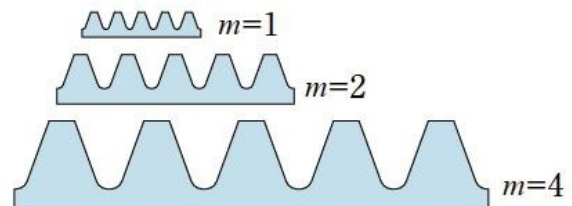
Βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά

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

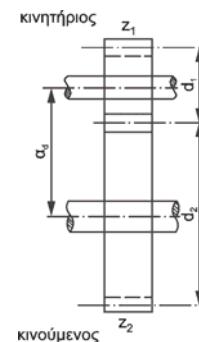

School of Production Eng. & Management  
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab  
Prof. Aristomenis Antoniadis

Φασιλής Νικόλαος

Το μέτρο οδόντωσης **modul** είναι η κύρια μονάδα που αντιπροσωπεύει τις οδοντώσεις. Λαμβάνει τυποποιημένες τιμές σε mm κατά ISO.



Η **σχέση μετάδοσης i** ορίζεται ως λόγος του αριθμού στροφών ή γωνιακής ταχύτητας του κινητήριου προς τις στροφές ή τη γωνιακή ταχύτητα του κινούμενου.



2019



Τεχνικά χαρακτηριστικά

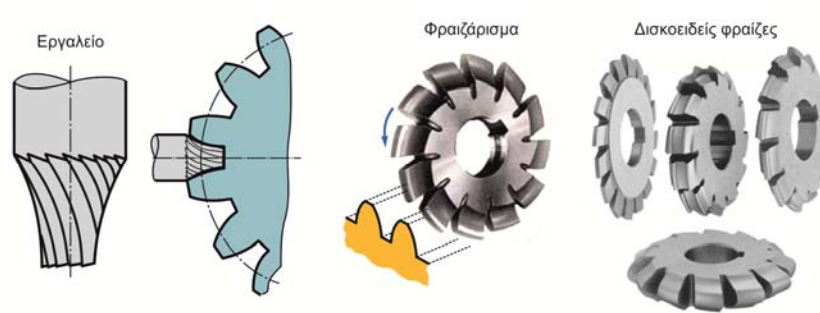
<http://www.m3.tuc.gr>


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

Φασιλής Νικόλαος

Με εργαλείο μορφής

- Μετωπικό φραιζάρισμα με δισκοειδή φραιζα
- Μετωπικό φραιζάρισμα με κονδυλοειδή φραιζα



2019

ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΟΔΟΝΤΩΣΕΩΝ



Κατεργασίες οδοντώσεων

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

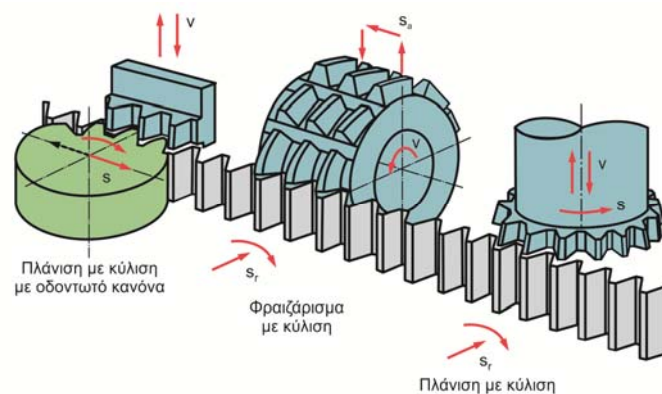


School of Production Eng. & Management  
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab  
Prof. Aristomenis Antoniadis

Φασιλής Νικόλαος

Με γένεση

- Φραιζάρισμα με κύλιση οδοντώσεων
- Πλάνιση με κύλιση οδοντώσεων
- Πλάνιση με κύλιση με οδοντωτό κανόνα



Το φραιζάρισμα με κύλιση οδοντώσεων κατέχει την κύρια θέση στις μεθόδους με γένεση. Το βασικό μειονέκτημα είναι πως δε δύναται να χρησιμοποιηθεί σε κατεργασία εσωτερικής οδόντωσης.

2019

ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΟΔΟΝΤΩΣΕΩΝ



Κατεργασίες οδοντώσεων

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



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

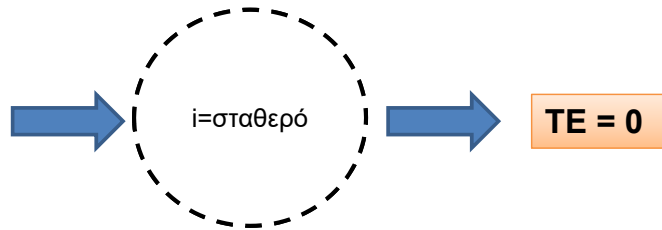
Φασιλής Νικόλαος

## Σφάλμα μετάδοσης (Transmission Error – TE)

Το σφάλμα μετάδοσης είναι η διαφορά μεταξύ της θεωρητικής ταχύτητας εξόδου από την πραγματική. Με βάση τους αρχικούς κύκλους των 2 τροχών δίνεται από τη σχέση  $TE (\mu m) = R_1 \theta_1 - R_2 \theta_2$

Για οδοντωτούς τροχούς με :

- Τέλεια γεωμετρική μορφή οδόντωσης
- Απουσία τριβής
- Άπειρη ακαμψία



2019

ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΟΔΟΝΤΩΣΕΩΝ



Σφάλμα μετάδοσης

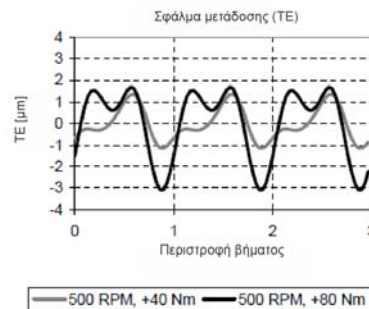
<http://www.m3.tuc.gr>


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

Φασιλής Νικόλαος

## Τύποι σφαλμάτων μετάδοσης

- 1) **Κατασκευαστικό σφάλμα (MTE):** Προκαλείται άμεσα κατά την κοπή των οδοντώσεων
- 2) **Κινηματικό σφάλμα (KTE):** Σχετίζεται με την τραχύτητα και θεωρείται ως παράγωγο του MTE για μέτρηση υπό μηδενική φόρτιση
- 3) **Στατικό σφάλμα (STE):** Μέτρηση υπό χαμηλή φόρτιση και ταχύτητα για την αποφυγή των επιμέρους επιδράσεων του συστήματος.
- 4) **Δυναμικό σφάλμα (DTE):** Μέτρηση που αφορά ολόκληρο το σύστημα. Σχετίζεται άμεσα με το θόρυβο και το μέγεθος κραδασμών.



2019

ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΟΔΟΝΤΩΣΕΩΝ



Τύποι σφαλμάτων μετάδοσης

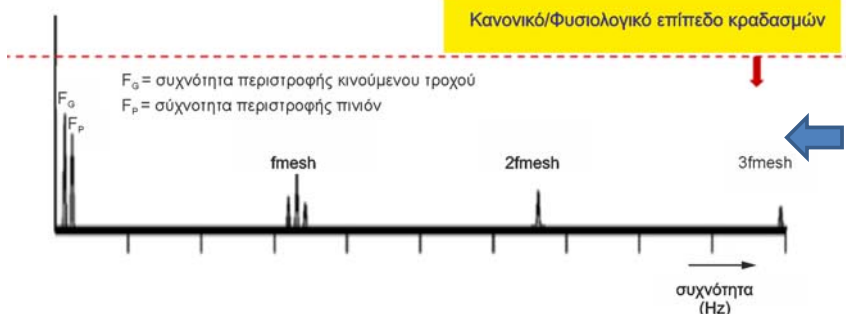
<http://www.m3.tuc.gr>


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

Φασιλής Νικόλαος

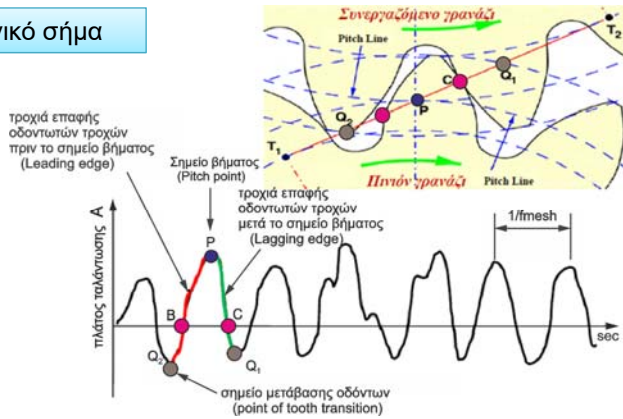


**Φάσμα συχνοτήτων**



Ομοιόμορφα πλάτη στη συχνότητα εμπλοκής

**Χρονικό σήμα**



Απουσία σφάλματος

Ομοιόμορφοι κύκλοι εμπλοκής δοντιών

2019



Απεικόνιση των σφαλμάτων κατά τη συνεργατική λειτουργία των οδοντωτών τροχών <http://www.m3.tuc.gr>



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

Φασιλής Νικόλαος

**Κύρια σφάλματα κατά τη συνεργατική λειτουργία των οδοντώσεων**

- Θραύση οδόντος** → Μείωση εύρους συχνότητας εμπλοκής με ενίσχυση των πλευρικών συχνοτήτων
- Κακή ευθυγράμμιση** → Αύξηση του εύρους της 2ης και 3ης αρμονικής της συχνότητας εμπλοκής
- Χαλαρότητα** → Εμφάνιση ισχυρών πλευρικών συχνοτήτων αριστερά της συχνότητας εμπλοκής
- Εκκεντρότητα** → Εμφάνιση ισχυρών πλευρικών συχνοτήτων δεξιά της συχνότητας εμπλοκής
- Φθορά** → Διαφοροποίηση του εύρους επιτάχυνσης σε όλο το φάσμα συχνοτήτων με ενίσχυση των πλευρικών συχνοτήτων

2019



Απεικόνιση των σφαλμάτων κατά τη συνεργατική λειτουργία των οδοντωτών τροχών <http://www.m3.tuc.gr>

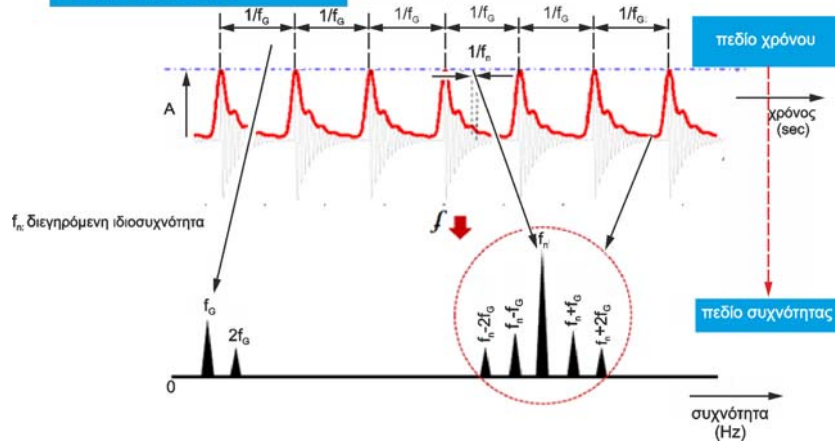


School of Production Eng. & Management  
 Micromachining & Manufacturing Modeling Lab  
 Prof. Aristomenis Antoniadis

Φασιλής Νικόλαος

## Θραύση οδόντος

Χρόνικό σήμα και Φάσμα συχνοτήτων για λειτουργία οδοντωτού τροχού με ένα σπασμένο δόντι



Διακρίνονται ενισχυμένοι κρουστικοί παλμοί κατά την εμπλοκή του φθαρμένου δοντιού με έναν οδόντα στο συνεργαζόμενο τροχό.

2019

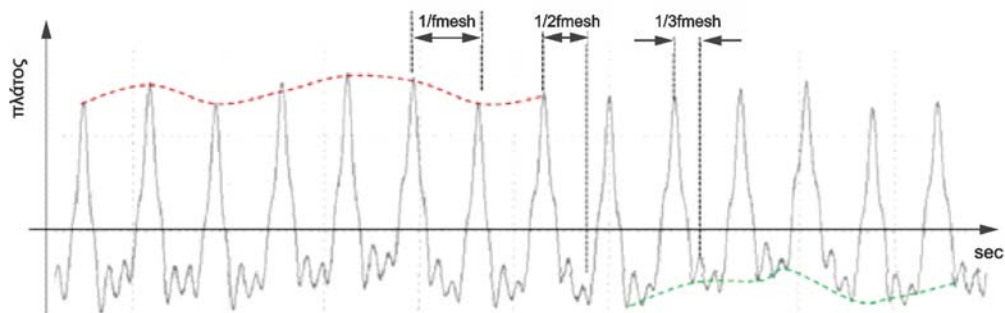
ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΟΔΟΝΤΩΣΕΩΝ


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


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

Φασιλής Νικόλαος

## Κακή ευθυγράμμιση



Μεταβαλλόμενα πλάτη ταλαντώσεων στους κύκλους εμπλοκής με εμφάνιση υποδιαίρεσεων της συχνότητας εμπλοκής.

Μεταβαλλόμενο μέγεθος δυνάμεων σε κάθε επόμενο οδόντα.

2019

ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΟΔΟΝΤΩΣΕΩΝ



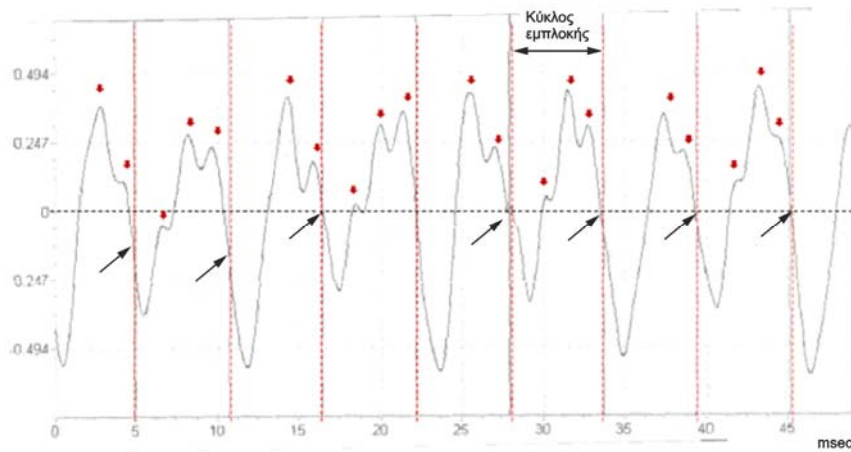
Απεικόνιση των σφαλμάτων κατά τη συνεργατική λειτουργία των οδοντωτών τροχών

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


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

Φασιλής Νικόλαος

## Χαλαρότητα



Εξολοκλήρου ανομοιόμορφοι κύκλοι εμπλοκής όσον αφορά το πλάτος, τη φάση και το εύρος.

Ανομοιόμορφη κατανομή φόρτισης στα πλάτη των οδόντων δημιουργώντας προβλήματα στη μετάδοση κίνησης.

2019



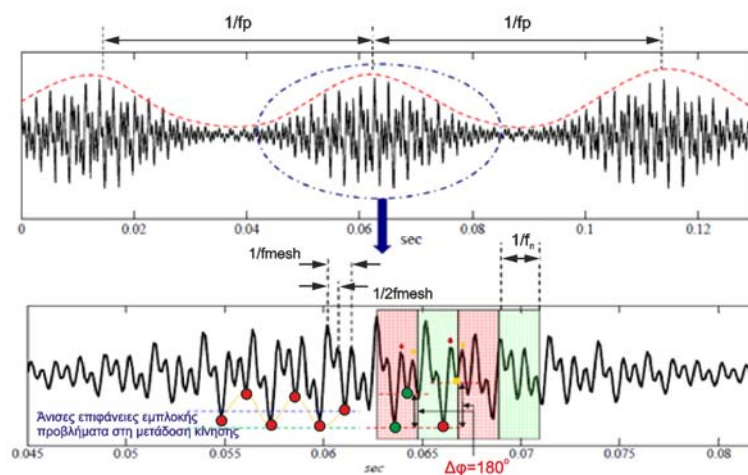
Απεικόνιση των σφαλμάτων κατά τη συνεργατική λειτουργία των οδοντωτών τροχών <http://www.m3.tuc.gr>



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

Φασιλής Νικόλαος

## Εκκεντρότητα



Εμφάνιση μεταβαλλόμενων δυνάμεων και περιοδικών αυξομειώσεων των δυνάμεων εμπλοκής σε συγκεκριμένους οδόντες δημιουργώντας τους αυξημένου μεγέθους φθοράς.

2019



Απεικόνιση των σφαλμάτων κατά τη συνεργατική λειτουργία των οδοντωτών τροχών <http://www.m3.tuc.gr>



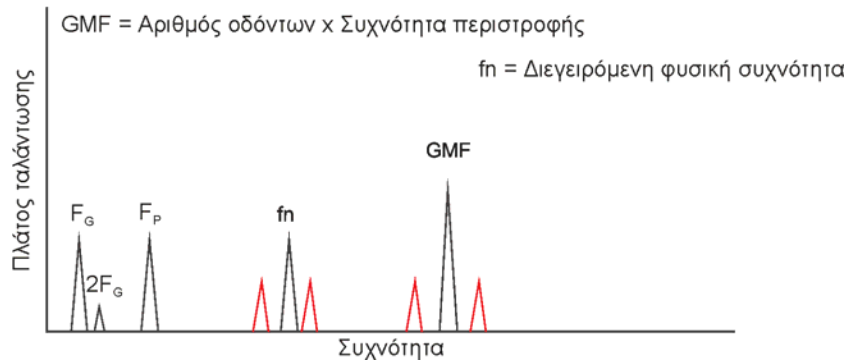
School of Production Eng. & Management  
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab  
Prof. Aristomenis Antoniadis

Φασιλής Νικόλαος



## Φθορά

### Ενδεικτικό φάσμα



Διέγερση της φυσικής συχνότητας του φθαρμένου με παρουσία πλευρικών συχνοτήτων.

2019

ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΟΔΟΝΤΩΣΕΩΝ



Απεικόνιση των σφαλμάτων κατά τη συνεργατική λειτουργία των οδοντωτών τροχών

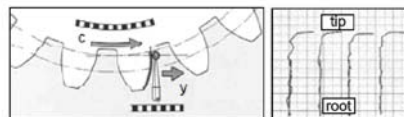
<http://www.m3.tuc.gr>



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

Φασιλής Νικόλαος

## Μετρολογία



Μέτρηση κατατομής δοντιού μέσω επαπτομενικής κίνησης του αισθητήρα

Μέτρηση πλάτους οδόντος με ελικοειδή κίνηση



### Μετρούμενα μεγέθη

- Κατατομή
- Πλάτος οδόντος
- Βήμα
- Παρέκκλιση (runout)
- Πάχος οδόντος
- Μέτρηση σύνθετου σφάλματος με πρότυπο τροχό
- Τοπογραφική επιθεώρηση

Ο κύριος σκοπός των μετρήσεων και του ελέγχου είναι η εξασφάλιση της ποιότητας όπως αυτή ορίζεται από τις σχετικές προδιαγραφές.

2019

ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΟΔΟΝΤΩΣΕΩΝ



Μετρούμενα μεγέθη

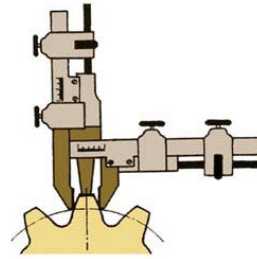
<http://www.m3.tuc.gr>



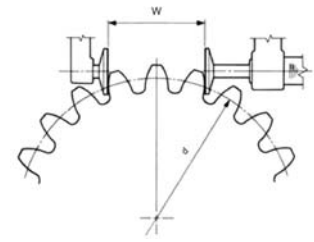
School of Production Eng. & Management  
 Micromachining & Manufacturing Modeling Lab  
 Prof. Aristomenis Antoniadis

Φασιλής Νικόλαος

- Ειδικά όργανα για τη μέτρηση του πάχους οδόντωσης (παχύμετρα, μικρόμετρα).
- Μέτρηση σύνθετου σφάλματος με πρότυπο τροχό.
- Μετρήσεις από σύγχρονες μετρητικές μηχανές και μηχανές τύπου CMM με αισθητήρες επαφής.
- Μετρήσεις με οπτικά μέσα.



παχύμετρο

μικρόμετρο  
φλάντζαςΜέτρηση με αισθητήρα  
εξ επαφήςΟπτικός έλεγχος σε  
κοπήτρη hob

2019



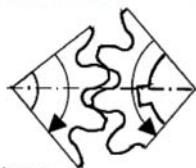
Συμβατές μέθοδοι μέτρησης

<http://www.m3.tuc.gr>School of Production Eng. & Management  
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab  
Prof. Aristomenis Antoniadis

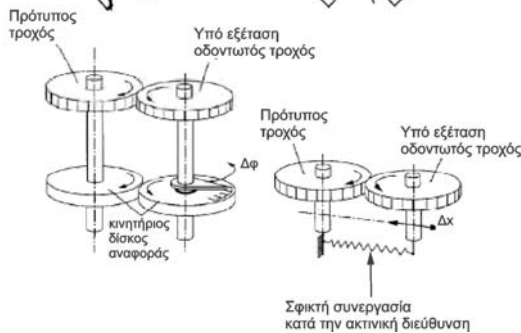
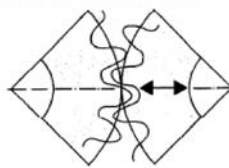
Φασιλής Νικόλαος

## Μέτρηση σύνθετου σφάλματος με πρότυπο τροχό

Σύνθετη δοκιμή  
μονής παρειάς  
(Single flank gear roll testing)



Σύνθετη δοκιμή  
διπλής παρειάς  
(Double flank gear roll testing)



Τα σφάλματα αφορούν τα εξής ενός οδοντωτού τροχού:

- Βήμα
- Πάχος
- Κατατομή
- Εκκεντρότητα

Σφάλμα σε κάθε ένα επιμέρους μέγεθος χαρακτηρίζεται ως απλό σφάλμα. Η υπέρθεση αυτών ορίζει το **σύνθετο σφάλμα**.

Ο **πρότυπος τροχός** είναι ένας εξαιρετικά υψηλής ακρίβειας σχεδίασης οδοντωτός τροχός.

2019



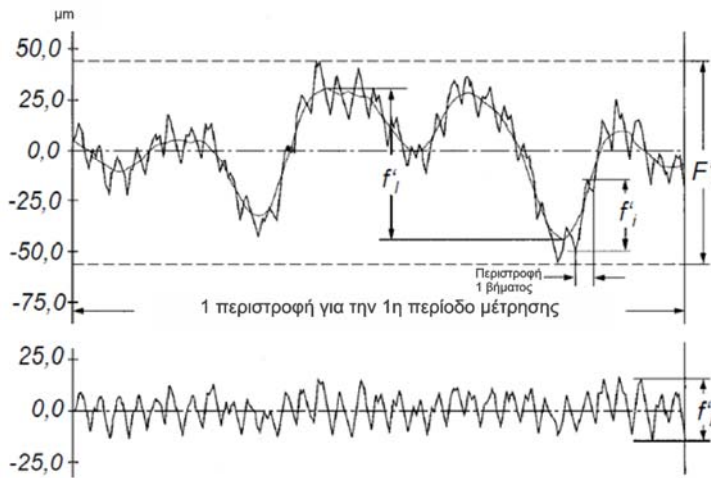
Συμβατές μέθοδοι μέτρησης

<http://www.m3.tuc.gr>School of Production Eng. & Management  
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab  
Prof. Aristomenis Antoniadis

Φασιλής Νικόλαος

## Σύνθετη δοκιμή μονής παρειάς

Χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του σφάλματος μετάδοσης που προκύπτει ως γωνιακή μετατόπιση των τροχών όταν λειτουργούν υπό την ονομαστική απόσταση των κέντρων τους. Η κάθε πλευρά των οδόντων επιθεωρείται ξεχωριστά.



**F'i:** Ολικό σύνθετο σφάλμα. Ορίζει τη μέγιστη παραλλαγή της γωνιακής μετατόπισης σε μια πλήρης περιστροφή του τροχού.

**f'i:** Σύνθετο σφάλμα από οδόντα σε οδόντα. Ορίζει τη μέγιστη γωνιακή μετατόπιση που παρατηρείται σε περιστροφή ενός βήματος του τροχού.

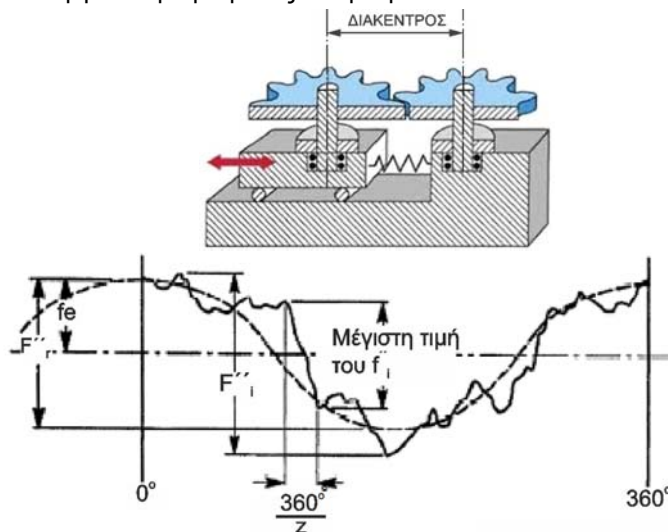
**f'k:** Βραχυπρόθεσμη παράμετρος.

**f'i:** Μακροπρόθεσμη παράμετρος.



## Σύνθετη δοκιμή διπλής παρειάς

Χρησιμοποιείται για τη μέτρηση των ακτινικών μετατοπίσεων που συμβαίνουν επί της διακέντρου των οδοντωτών τροχών, όταν λειτουργούν υπό σφικτή συνεργασία. Ενδείκνυται για έλεγχο ασταθής σύσφιξης, ύπαρξης εκκεντρότητας, επιρροές από κατεργασία φινιρίσματος και φθορά των οδόντων.



**F''i:** Ολικό σύνθετο σφάλμα. Ορίζει τη μέγιστη παραλλαγή της γωνιακής μετατόπισης σε μια πλήρης περιστροφή του τροχού.

**f''i:** Σύνθετο σφάλμα από οδόντα σε οδόντα. Ορίζει τη μέγιστη γωνιακή μετατόπιση που παρατηρείται σε περιστροφή ενός βήματος του τροχού.

**fe:** Εκκεντρότητα.

**F''r:** Παρέκκλιση.



## Ένταξη των μετωπικών οδοντωτών τροχών σε βαθμούς ακρίβειας κατά ISO 1328

Το σύστημα ISO περιλαμβάνει 13 βαθμούς ακρίβειας, όπου 0 χαρακτηρίζεται ο μέγιστος βαθμός και 12 αντίστοιχα ο ελάχιστος.

### Χρησιμοποιούμενα εύρη (σε mm)

- Αρχική διάμετρος  $d$ , 5/20/50/125/280/560/1000/1600/2500/4000/6000/8000/10000
- Μέτρο οδόντωσης  $m$ , 0,5/2/3,5/6/10/16/25/40/70
- Πλάτος οδόντος  $b$ , 4/10/20/40/80/160/250/400/650/1000

Ως **κοινός συντελεστής** για τον προσδιορισμό των τιμών ανοχών σε δύο διαδοχικούς βαθμούς ορίζεται το  $\sqrt{2}$ . Για κάθε μεγαλύτερο (ή μικρότερο) οι τιμές προκύπτουν με πολλαπλασιασμό (ή διαίρεση) με το  $\sqrt{2}$ . Για οποιονδήποτε βαθμό η απαιτούμενη τιμή προκύπτει με πολλαπλασιασμό της μη στρογγυλοποιημένης τιμής για βαθμό 5 με τη σχέση  $2^{0,5(Q-5)}$ .

### Κανόνες στρογγυλοποίησης αποκλίσεων (σε $\mu\text{m}$ )

- Για τιμή  $< 10\mu\text{m}$  η στρογγυλοποίηση πραγματοποιείται στον πλησιέστερο ακέραιο ή 0,5.
- Για τιμή  $> 10\mu\text{m}$  η στρογγυλοποίηση πραγματοποιείται στον πλησιέστερο ακέραιο.
- Για τιμή  $< 5\mu\text{m}$  η στρογγυλοποίηση πραγματοποιείται στον πλησιέστερο ακέραιο ή 0,1.

2019

ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΟΔΟΝΤΩΣΕΩΝ



Ένταξη των οδοντώσεων σε βαθμό ακρίβειας/ποιότητας

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


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

Φασιλής Νικόλαος

## Σύστημα ταξινόμησης βαθμού ακρίβειας μετωπικών οδοντωτών τροχών σύμφωνα με τη σύνθετη δοκιμή μονής παρειάς κατά ISO 1328

### Χρησιμοποιούμενα εύρη (σε mm)

- Αρχική διάμετρος  $d$ , 5/20/50/125/280/560/1000/1600/2500/4000/6000/8000/10000
- Μέτρο οδόντωσης  $m$ , 0,5/2/3,5/6/10/16/25/40/70

Η ένταξη υλοποιείται με πολλαπλασιασμό των τιμών  $f'i/K$  από σχετικούς πίνακες όπου  $K = 0,2 \left( \frac{\varepsilon_\gamma + 4}{\varepsilon_\gamma} \right)$  για  $\varepsilon_\gamma < 0,4$  ή  $K=0,4$  για  $\varepsilon_\gamma \geq 0,4$  με  $\varepsilon_\gamma$  ο συνολικός βαθμός επικάλυψης.

### Για βαθμό ακρίβειας 5:

- $f'i = K(9+0,3m+3,2\sqrt{2}m+0,34\sqrt{d})$
- $F'i = F_p + f'i$

με  $F_p$  το ολικό σφάλμα βήματος.

2019

ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΟΔΟΝΤΩΣΕΩΝ



Ένταξη των οδοντώσεων σε βαθμό ακρίβειας/ποιότητας

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


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

Φασιλής Νικόλαος

## Σύστημα ταξινόμησης βαθμού ακρίβειας μετωπικών οδοντωτών τροχών σύμφωνα με τη σύνθετη δοκιμή διπλής παρειάς κατά AGMA

Για την ένταξη των οδοντωτών τροχών σε βαθμό ακρίβειας με τη μέθοδο της σύνθετης δοκιμής διπλής παρειάς χρησιμοποιείται ο αλφαριθμητικός κώδικας **AGMA 2015-2-A06**.

Χρησιμοποιούνται 9 βαθμοί ακρίβειας, όπου C4 χαρακτηρίζεται ο βαθμός με τη μέγιστη ακρίβεια και C12 ο ελάχιστος.

### Χρησιμοποιούμενα εύρη (σε mm)

- Αρχική διάμετρος  $d$ ,  $2 \leq d \leq 1000$
- Μέτρο οδόντωσης  $m_n$ ,  $0,2 \leq m_n \leq 5$
- Πλάτος οδόντος  $b$ ,  $4 \leq b \leq 1000$
- Γωνία ελίκωσης  $\beta$ ,  $\beta \leq 45^\circ$
- Αριθμός οδόντων  $z$ ,  $3 \leq z \leq 1000$

Διαφορετικά εύρη τιμών σε σχέση με το ISO

Ο κοινός συντελεστής για την εύρεση των τιμών ανοχών ανάμεσα σε 2 διαδοχικούς βαθμούς είναι  $\sqrt{2}$ . Ισχύουν οι ίδιοι κανονισμοί στρογγυλοποίησης με το ISO 1328.

Το επίπεδο ακρίβειας ορίζεται από τις σχέσεις:

$$F''_i = 1,08[0,025d + 0,3m_n + 19]\sqrt{2}^{C-5} \quad \text{και} \quad f''_i = 0,2[0,025d + 0,3m_n + 19]\sqrt{2}^{C-5}$$

Για οποιονδήποτε βαθμό ακρίβειας, η απαιτούμενη τιμή καθορίζεται με πολλαπλασιασμό της μη στρογγυλοποιημένης τιμής για βαθμό ακρίβειας 5 με τη σχέση  $\sqrt{2}^{C-5}$ .

2019

ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΟΔΟΝΤΩΣΕΩΝ



Ένταξη των οδοντώσεων σε βαθμό ακρίβειας/ποιότητας

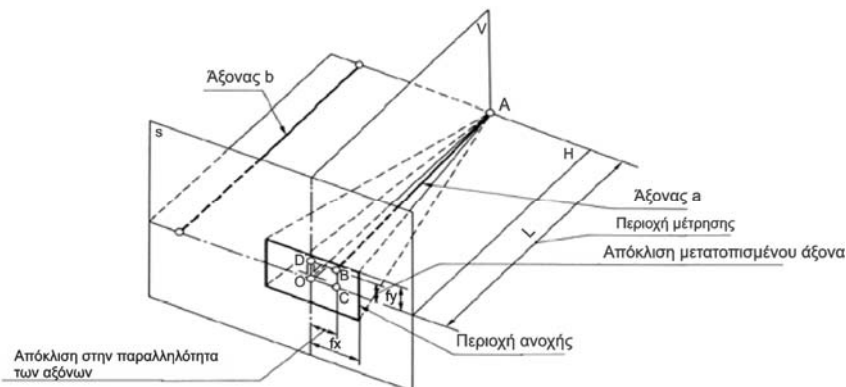
<http://www.m3.tuc.gr>



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

Φασιλής Νικόλαος

## Ένταξη των μετωπικών οδοντωτών τροχών σε βαθμό ακρίβειας σύμφωνα με τη παραλληλότητα των αξόνων κατά JGMA



### Χρησιμοποιούμενα εύρη (σε mm)

- Αρχική διάμετρος  $d$ , 5/20/50/125/280
- Πλάτος οδόντος  $b$ , 4/10/20/40/80

### Μετρούμενα μεγέθη (σε $\mu\text{m}$ )

- Επιτρεπτή απόκλιση εντός επιπέδου σύμφωνα με την παραλληλότητα των αξόνων ( $f_x$ )
- Επιτρεπτή απόκλιση σφάλματος μετατοπισμένου άξονα σύμφωνα με την παραλληλότητα των αξόνων ( $f_y$ )

Το σύστημα κατά JGMA1101-01 (2000) χρησιμοποιεί 6 βαθμούς ακρίβειας όπου **N5** ορίζεται ο βαθμός με τη μέγιστη ακρίβεια και **N10** ως ο ελάχιστος.

2019

ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΟΔΟΝΤΩΣΕΩΝ



Ένταξη των οδοντώσεων σε βαθμό ακρίβειας/ποιότητας

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

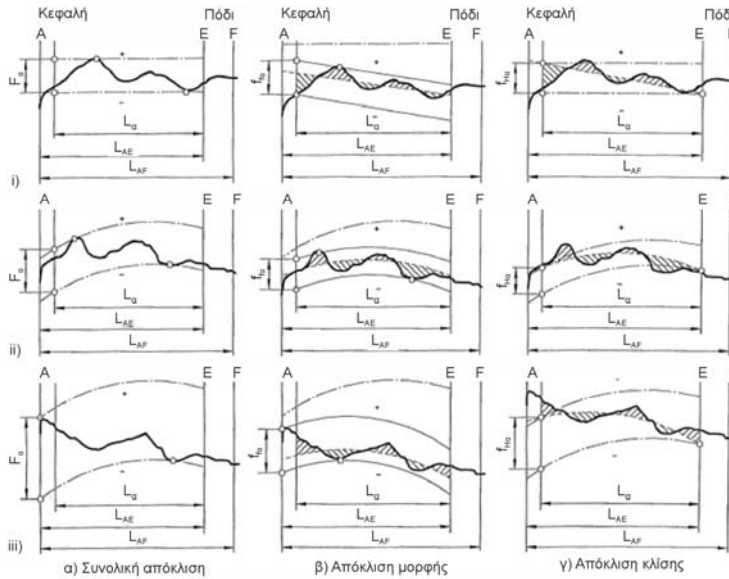


School of Production Eng. & Management  
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab  
Prof. Aristomenis Antoniadis

Φασιλής Νικόλαος



## Σύστημα ταξινόμησης βαθμού ακρίβειας μετωπικών οδοντωτών τροχών σύμφωνα με την απόκλιση κατατομής βάσει ISO 1328



### Χρησιμοποιούμενα εύρη

- **LAF:** Το μήκος όπου μετρείται η κατατομή.
- **LAE:** Το ενεργό τμήμα της κατατομής.
- **La:** Αποτελεί το 92% του LAE και στο εύρος αυτό πραγματοποιείται η ένταξη

### Μετρούμενες αποκλίσεις με βάση τις τιμές των $d$ και $m$

- **F $\alpha$ :** Συνολική απόκλιση
- **F $\beta$ :** Απόκλιση μορφής
- **F $\gamma$ :** Απόκλιση κλίσης

Το εύρος μεταξύ του LAE και La για την εύρεση της συνολικής απόκλισης και απόκλισης μορφής, λαμβάνεται υπόψη μόνο όταν η περίσσεια υλικού αυξάνει το μέγεθος της απόκλισης.

2019

ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΟΔΟΝΤΩΣΕΩΝ



Ένταξη των οδοντώσεων σε βαθμό ακρίβειας/ποιότητας

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



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

Φασιλής Νικόλαος

### Για βαθμό ακρίβειας 5:

$$F\alpha = 3,2\sqrt{m} + 0,22\sqrt{d} + 0,7$$

ενώ για την απόκλιση μορφής και κλίσης ισχύουν οι σχέσεις:

$$f\beta = 2,5\sqrt{m} + 0,17\sqrt{d} + 0,5$$

$$f\gamma = 2\sqrt{m} + 0,14\sqrt{d} + 0,5$$

2019

ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΟΔΟΝΤΩΣΕΩΝ



Ένταξη των οδοντώσεων σε βαθμό ακρίβειας/ποιότητας

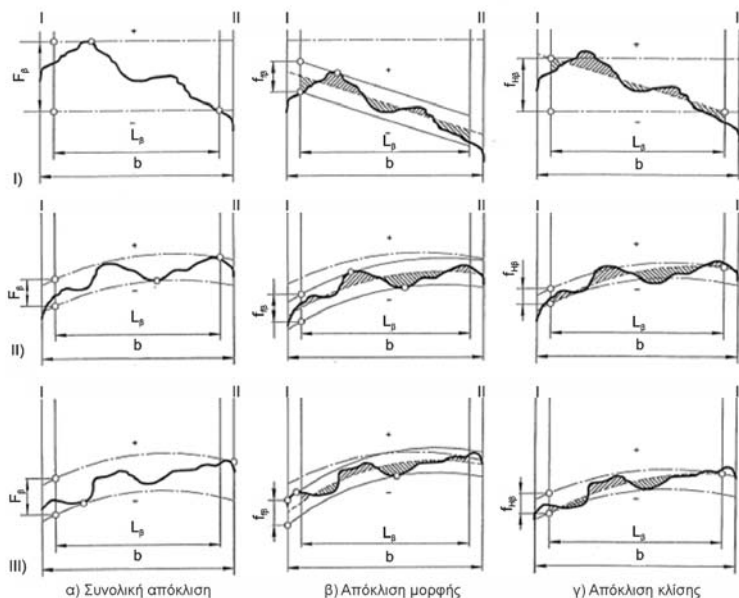
<http://www.m3.tuc.gr>



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

Φασιλής Νικόλαος

## Σύστημα ταξινόμησης βαθμού ακρίβειας μετωπικών οδοντωτών τροχών σύμφωνα με την απόκλιση ελίκωσης βάσει ISO 1328



### Χρησιμοποιούμενα εύρη

- $b$ : Πλάτος οδόντος
- $L_{\beta}$ : Το ενεργό μήκος

### Μετρούμενες αποκλίσεις με βάση τις τιμές των $d$ και $b$

- $F_{\beta}$ : Συνολική απόκλιση
- $f_{\beta}$ : Απόκλιση μορφής
- $f_{\beta\lambda}$ : Απόκλιση κλίσης

Το  $L_{\beta}$  ισαπέχει από το  $b$  και από τα 2 τμήματα, κατά μια από τις 2 ελάχιστες τιμές:

- -5% του  $b$
- μήκος ίσο με ένα modul

Το εύρος μεταξύ του  $b$  και  $L_{\beta}$  για την εύρεση της συνολικής απόκλισης και απόκλισης μορφής, λαμβάνεται υπόψη μόνο όταν η περίσσεια υλικού αυξάνει το μέγεθος της απόκλισης.

2019

ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΟΔΟΝΤΩΣΕΩΝ



Ένταξη των οδοντώσεων σε βαθμό ακρίβειας/ποιότητας

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


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

Φασιλής Νικόλαος

### Για βαθμό ακρίβειας 5:

$$F_{\beta} = 0,1\sqrt{d} + 0,63\sqrt{b} + 4,2$$

ενώ για την απόκλιση μορφής και κλίσης ισχύουν οι σχέσεις:

$$f_{\beta} = f_{\beta\lambda} = 0,07\sqrt{d} + 0,45\sqrt{b} + 3$$

2019

ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΟΔΟΝΤΩΣΕΩΝ



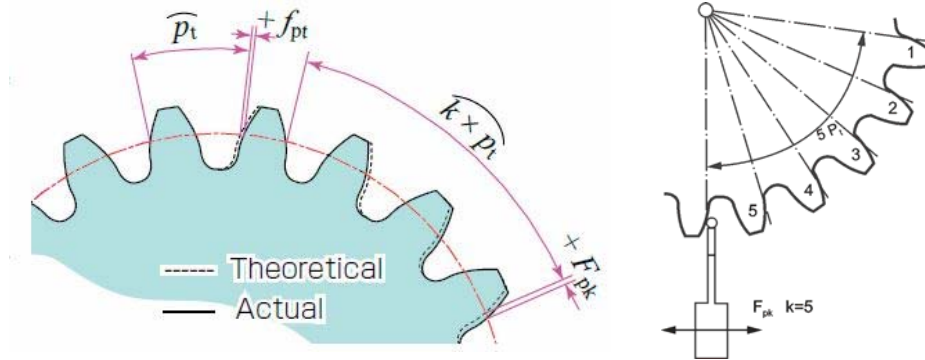
Ένταξη των οδοντώσεων σε βαθμό ακρίβειας/ποιότητας

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


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

Φασιλής Νικόλαος

## Σύστημα ταξινόμησης βαθμού ακρίβειας μετωπικών οδοντωτών τροχών σύμφωνα με το σφάλμα βήματος βάσει ISO 1328



### Μετρούμενα μεγέθη με βάση τις τιμές των $d$ και $m$

- **Απλό σφάλμα βήματος  $f_{pt}$ :** Αλγεβρική διαφορά μεταξύ θεωρητικού και πραγματικού βήματος.
- **Αθροιστικό σφάλμα βήματος  $F_{pk}$ :** Αλγεβρική διαφορά μεταξύ θεωρητικού και πραγματικού τόξου μέτρησης βημάτων μέχρι το  $1/8$  της περιφέρειας του τροχού.
- **Ολικό σφάλμα βήματος  $F_p$ :** Το μέγιστο αθροιστικό σφάλμα για μέτρηση όλων των βημάτων του οδοντωτού τροχού.

2019

ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΟΔΟΝΤΩΣΕΩΝ



Ένταξη των οδοντώσεων σε βαθμό ακρίβειας/ποιότητας

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


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

Φασιλής Νικόλαος

### Για βαθμό ακρίβειας 5:

$$f_{pt} = 0,3(m+0,4\sqrt{d})+4$$

$$F_{pk} = f_{pt} + 1,6\sqrt{(k-1)m}$$

$$F_p = 0,3m + 1,25\sqrt{d}+7$$

2019

ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΟΔΟΝΤΩΣΕΩΝ



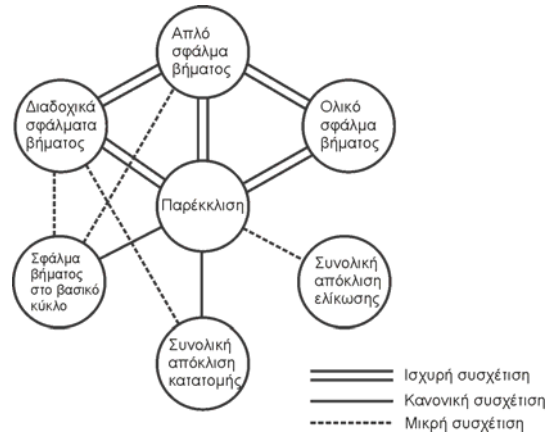
Ένταξη των οδοντώσεων σε βαθμό ακρίβειας/ποιότητας

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


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

Φασιλής Νικόλαος

## Παρέκκλιση (Runout)



### Κύρια αίτια εμφάνισης παρέκκλισης:

- Ύπαρξη εκκεντρότητας στον τροχό
- Κατασκευαστικό σφάλμα σε 1 ή και στους 2 άξονες
- Σφάλματα βήματος
- Σφάλματα κατατομής



2019

ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΟΔΟΝΤΩΣΕΩΝ



Ένταξη των οδοντώσεων σε βαθμό ακρίβειας/ποιότητας

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


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

Φασιλής Νικόλαος

## Σύστημα ταξινόμησης οδοντωτών τροχών σε βαθμό ποιότητας κατά DIN 3962

### Μετρούμενα μεγέθη (σε $\mu\text{m}$ )

- Απόκλιση μορφής κατατομής  $f_f$
- Απόκλιση κλίσης κατατομής  $f_{H\alpha}$
- Ολική απόκλιση κατατομής  $F_f$
- Απλό σφάλμα βήματος  $f_p$
- Απόκλιση βήματος επαφών  $f_{pe}$
- Διαφορά σφάλματος μεταξύ βημάτων  $f_u$
- Ολικό σφάλμα βήματος  $F_p$
- Αθροιστικό σφάλμα βήματος μέχρι το 1/8 της περιφέρειας του τροχού  $F_p z/8$
- Εκκεντρότητα  $F_r$
- Διακύμανση τιμής πάχους οδόντος  $R_s$



### Χρησιμοποιούμενα εύρη (σε $\text{mm}$ )

- **modul  $m_n$** , 1/2/3.55/6/10/16/25/40/70
- **Αρχική διάμετρος  $d$** , 10/50/125/280/560/1000/1600/2500/4000/6300/10000

2019

ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΟΔΟΝΤΩΣΕΩΝ



Ένταξη των οδοντώσεων σε βαθμό ακρίβειας/ποιότητας

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


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

Φασιλής Νικόλαος

Σας ευχαριστώ !



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



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

Φασιλής Νικόλαος