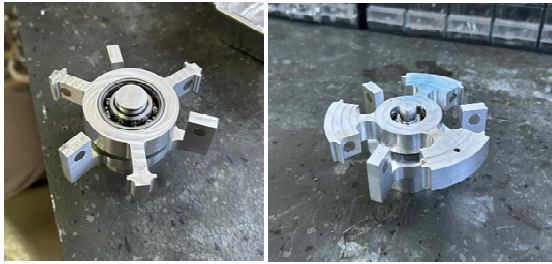


Σχεδιασμός και κατασκευή περιστροφικού ανέπαφου απορροφητή κραδασμών



Μαυρεδάκης Γεώργιος-Ευθύμιος
2019010063

- Αλευράς Παναγιώτης, Επίκουρος Καθηγητής (Επιβλέπων)
- Αριστομένης Αντωνιάδης, Καθηγητής
- Μάριος Καζασίδης, Επίκουρος Καθηγητής

2026



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



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab

2026



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



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab

Στάθμη γνώσεων

1

Μεθοδολογία
σχεδιασμού και
κατασκευής

2

Πειραματικές
δοκιμές και
αποτελέσματα

3

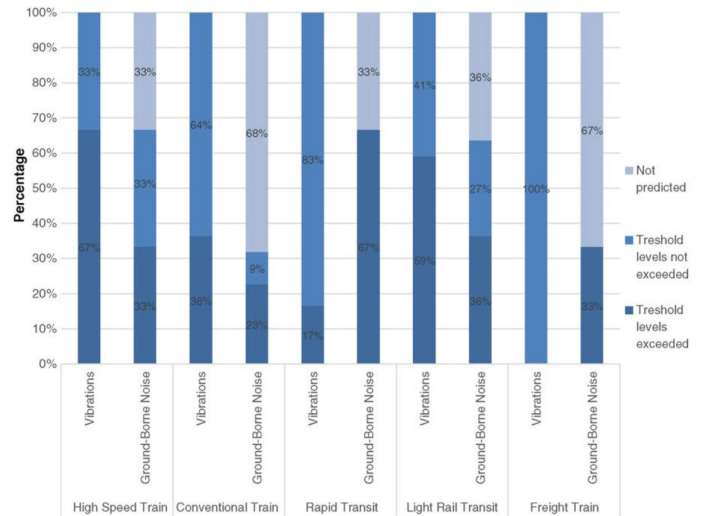
Συμπεράσματα και
μελλοντική
εργασία

4

Περιεχόμενα

Προβλήματα κραδασμών

- Σε δομικές κατασκευές και συστήματα μεταφορών (σιδηρόδρομοι) οι κραδασμοί μπορούν να προκαλέσουν βλάβες και ηχορύπανση, οπότε χρειάζονται μετρήσεις για τον έλεγχο των κριτηρίων αξιολόγησης.



2026



Στάθμη γνώσεων

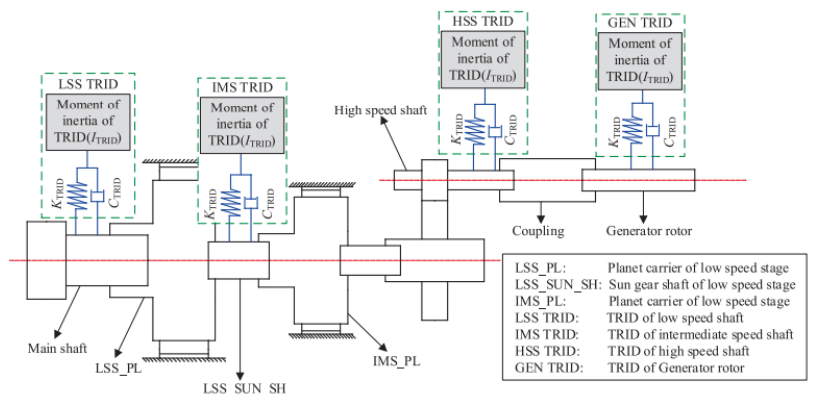
<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab

Γραμμικοί απορροφητές ενέργειας (Tuned Mass Dumper - TMD)

- Οι γραμμικοί απορροφητές ενέργειας κραδασμών αποτελούν μια από τις πρώτες και ευρέως εφαρμοσμένες παθητικές τεχνικές ελέγχου ταλαντώσεων σε μηχανολογικά και δομικά
- Ήυαπόσταστατικότητα τους περιορίζεται μόνο κοντά στη στοχευμένη συχνότητα.



Διάταξη ενός παθητικού γραμμικού απορροφητή ενέργειας

2026



Στάθμη γνώσεων

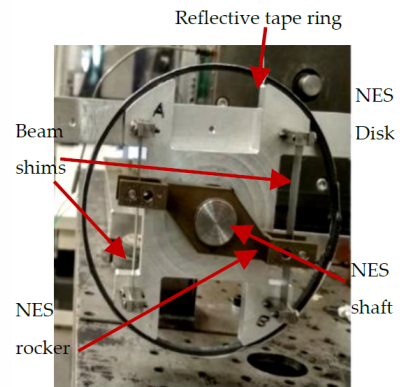
<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab

Μη γραμμικοί απορροφητές ενέργειας (Nonlinear Energy Sinks - NES)

- Οι NES μπορούν να αποσβέσουν κραδασμούς σε ευρύ φάσμα συχνοτήτων, σε αντίθεση με τους TMD. Επιτυγχάνεται αυτό, λόγω του μηχανισμού λειτουργίας τους (Targeted Energy Transfer-TET) μέσω παροδικού μη-γραμμικού συντονισμού με το κύριο σύστημα.



NES σε μορφή δίσκου

2026



Στάθμη γνώσεων

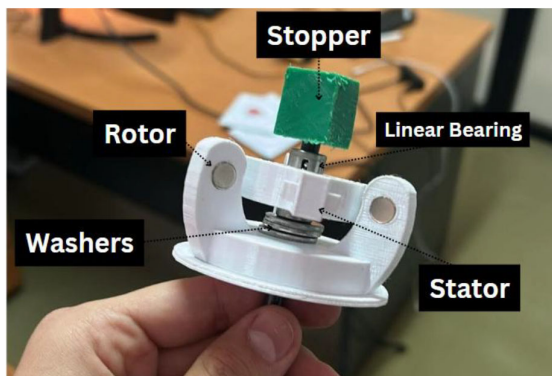
<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab

Μη γραμμικοί απορροφητές ενέργειας (Nonlinear Energy Sinks - NES)

- Κίνητρο αποτέλεσε η ανέπαφη προσέγγιση ενός ανέπαφου NES όπου η μη-γραμμικότητα υλοποιείται μέσω μαγνητικής ροπής επαναφοράς.



Διάταξη ανέπαφου μαγνητικού NES

2026



Στάθμη γνώσεων

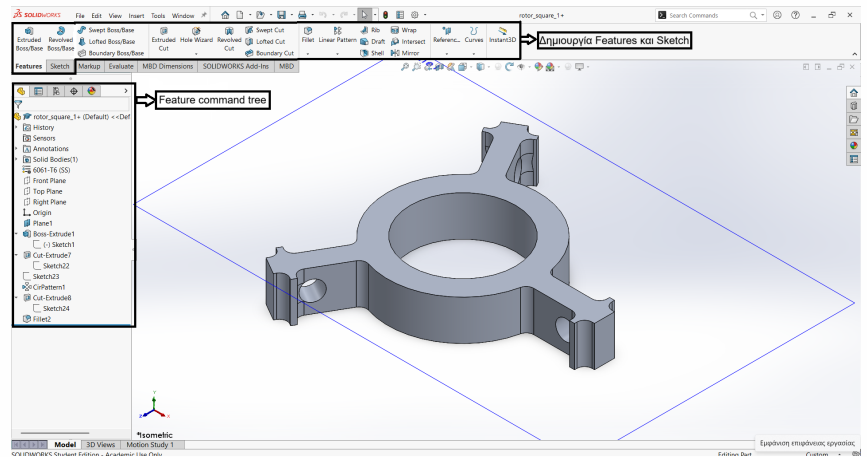
<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab

CAD (Computer-Aided Design)

➤ Χρησιμοποιώντας τα προγράμματα SolidWorks & Siemens NX σχεδιάστηκαν τα feature-based 3D μοντέλα και assemblies των NES, ως βάση για την αλυσίδα CAD→CAM→CNC.



User Interface SolidWorks

2026



Στάθμη γνώσεων

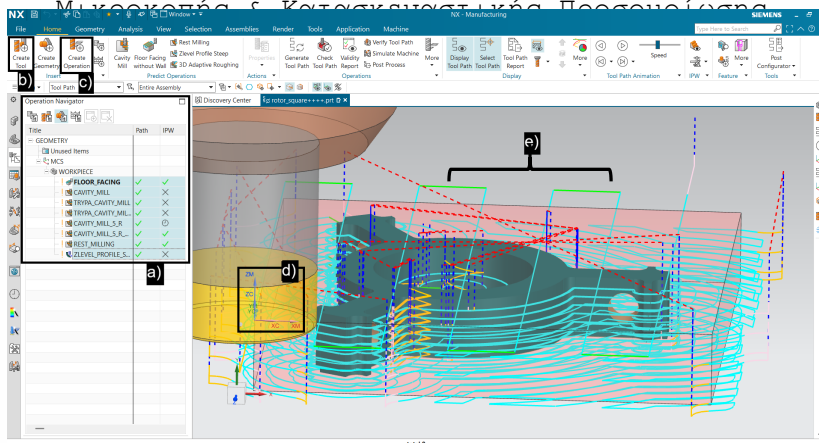
<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab

CAM (Computer-Aided Manufacturing)

➤ Στο Siemens NX ορίστηκαν setups, εργαλεία και κατεργασίες, δημιουργήθηκαν και ελέγχθηκαν toolpaths με simulation και έγινε post-processing σε G-code πλήρως συμβατό με τη CNC εργαλειομηχανή (φραιζα) του εργαστηρίου m3 :



User Interface
Siemens NX CAM, όπου:
a) Οδηγός κατεργασιών, b) Δημιουργία κοπτικού με τα χαρακτηριστικά του, c) Δημιουργία κατεργασίας με τα ορίσματά της, d) Σύστημα συντεταγμένων, e) Toolpaths (χρωματιστές γραμμές)

2026



Στάθμη γνώσεων

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



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab

CNC machining



- Στις CNC κατεργασίες εκτελούνται προγραμματισμένες κινήσεις, προσφέροντας ακρίβεια και υψηλή παραγωγικότητα σε σύνθετες γεωμετρίες, με επιπλέον έλεγχο και ασφάλεια από τον controller.

Κέντρο κατεργασίας 3+2 αξόνων
DMG MORI DMU 50 eco

2026



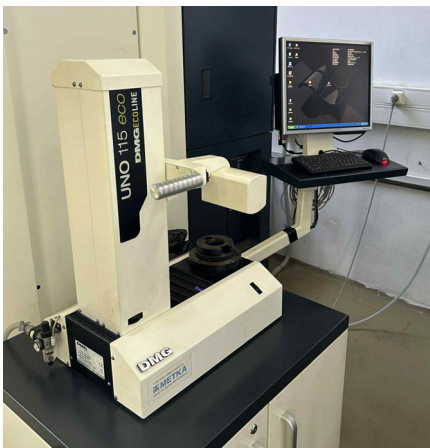
Στάθμη γνώσεων

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



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab

Κατασκευαστικός εξοπλισμός



Συσκευή μέτρησης
εργαλείων MICROSET
UNO 115 ECO



Πριονοκορδέλα (Band
Saw) BS-250GA



Μετρητικό ρολόι (3D
probe)

2026



Στάθμη γνώσεων

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

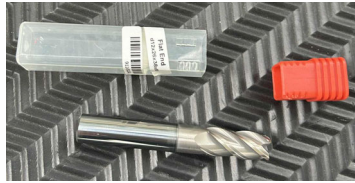


School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab

Κατασκευαστικός εξοπλισμός



Sandvik
Coromant
490-040Q16-
08M με
βίδια 490R-
08T308M-PL
4240



Helion
91.14791200



EMSA 4310L 0500



Al-6082



11010000785,
HEPYC
11010000790,

2026



Στάθμη γνώσεων

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



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab

Κατασκευαστικός εξοπλισμός



SKF
63004-
2RS1



SKF
6001/C3



Μαγνήτες
νεοδυμίου
NdFeB N42

2026



Στάθμη γνώσεων

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



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab

Κατασκευαστικός εξοπλισμός



High Speed
Camera
MIKROTRON
MotionBLITZ
EoSens®
mini2

2026



Στάθμη γνώσεων

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



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab

Σχεδιασμός Πρωτότυπου NES

Η γεωμετρία των τεμαχίων ακολούθησε δύο βασικές αρχές:

Η κάθετη απόσταση ανάμεσα στον κοινό άξονα (περιστροφής στον ρότορα και στους μαγνήτες του) των τεμαχίων και των μαγνητών πρέπει να είναι 45mm

Η γωνία που σχηματίζουν τα κέντρα των μαγνητών μεταξύ τους, άρα και τα χέρια ρότορα και στάτορα πρέπει να είναι ίση με 120° .

2026



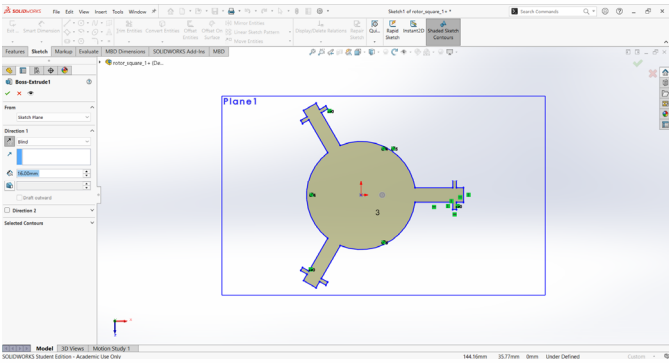
Μεθοδολογία σχεδιασμού και κατασκευής

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

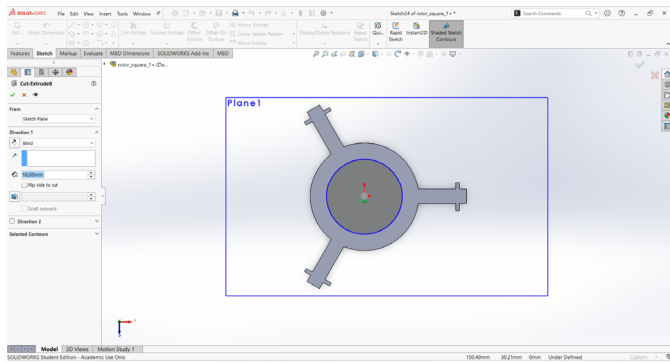


School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab

Σχεδιασμός Πρωτότυπου NES



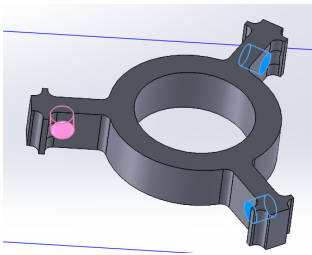
UI σε Boss-Extrude



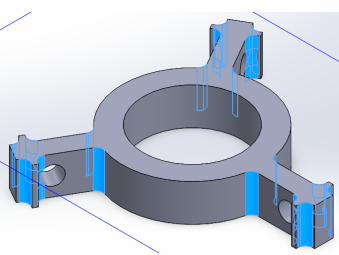
UI σε Cut-Extrude

2026

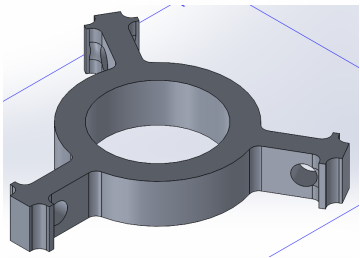
Σχεδιασμός Πρωτότυπου NES



CirPattern



Fillet



Τελικό σχέδιο Πρωτότυπου ρότορα

Material

Search...

- 3003-H18
- 3003-H18, Rod (SS)
- 3003-O
- 3003-O, Rod (SS)
- 3004-H34, Rod (SS)
- 3004-O, Rod (SS)
- 356.0-T6 Permanent Mold cast (SS)
- 4032-T6
- 5052-H32
- 5052-H34
- 5052-H36
- 5052-H38
- 5052-H38, Rod (SS)
- 5052-O
- 5052-O, Rod (SS)
- 5086-H32, Rod (SS)
- 5154-O, Rod (SS)
- 5454-H111
- 5454-H112
- 5454-H32
- 5454-H34
- 5454-O
- 6061 Alloy
- 6061-O (SS)
- 6061-T4 (SS)
- 6061-T6 (SS)**

Properties Appearance CrossHatch Custom Application Data Favorites Sheet Metal

Material properties
Materials in the default library can not be edited. You must first copy the material to a custom library to edit it.

Model Type: Plasticity - von Mises Save model type in library

Units: SI - N/mm² (MPa) Create stress-strain curve

Category: Aluminium Alloys

Name: 6061-T6 (SS)

Description:

Source:

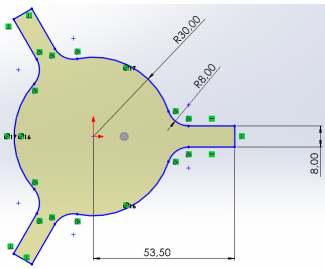
Sustainability: Defined

Property	Value	Units
Elastic Modulus	69000.00067	N/mm ²
Poisson's Ratio	0.33	N/A
Tensile Strength	310.0000021	N/mm ²
Yield Strength	275.0000009	N/mm ²
Tangent Modulus		N/mm ²
Thermal Expansion Coefficient	2.4e-05	/K
Mass Density	2700	kg/m ³
Hardening Factor	0.85	N/A

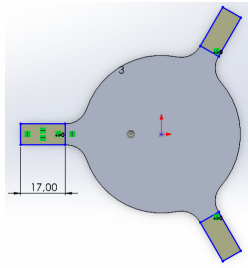
Save Config... Apply Close Help

2026

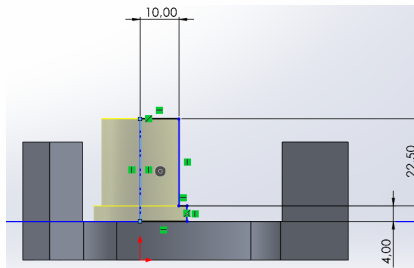
Σχεδιασμός Πρωτότυπου NES



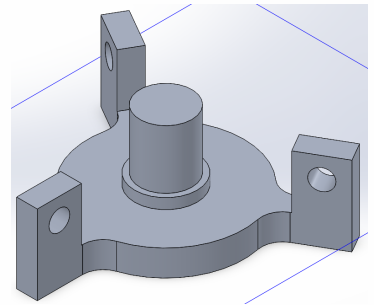
Boss-Extrude



Boss-Extrude



Revolve



Τελικό σχέδιο
Πρωτότυπου
στάτορα

2026



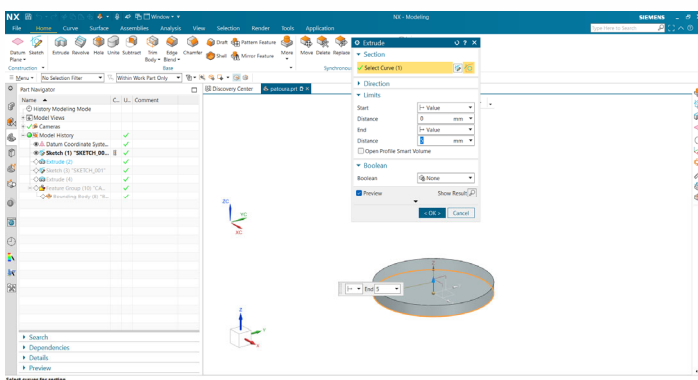
Μεθοδολογία σχεδιασμού και κατασκευής

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

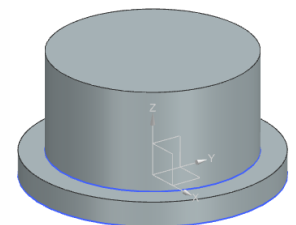
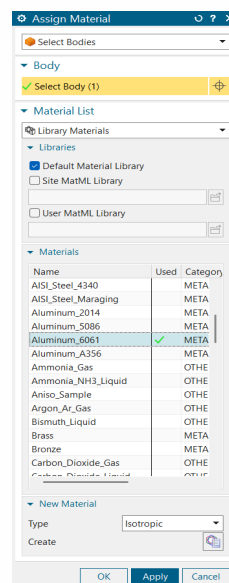


School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab

Σχεδιασμός Πρωτότυπου NES



UI σε Extrude



Τελικό σχέδιο
πατούρας

2026



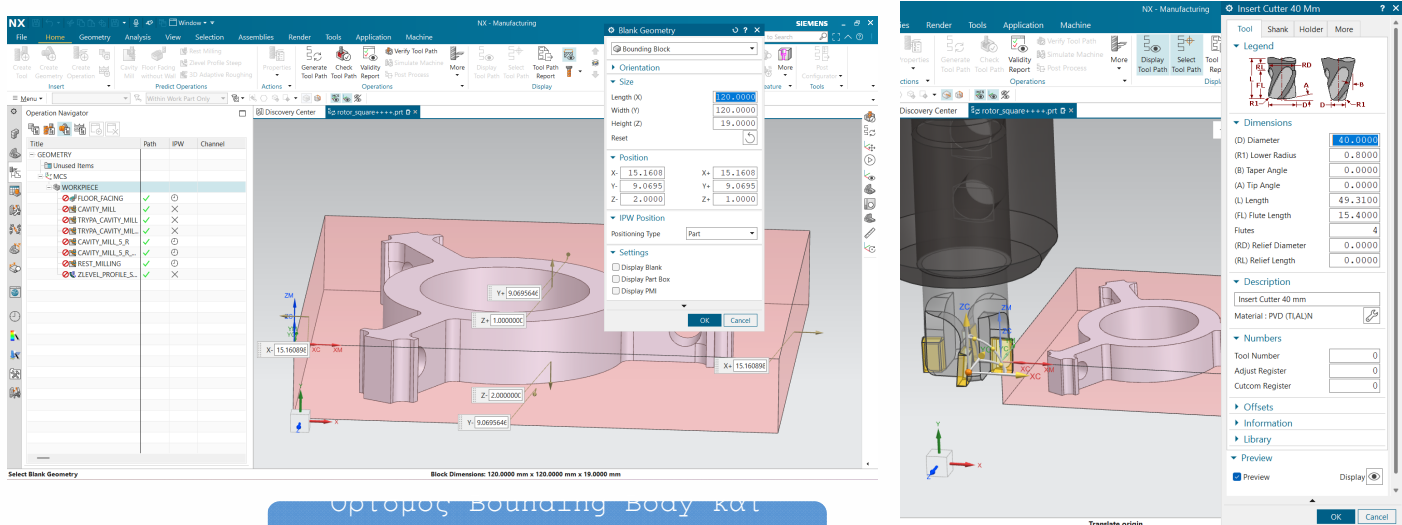
Μεθοδολογία σχεδιασμού και κατασκευής

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



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab

Κατασκευή Πρωτότυπου NES



Ορισμός Bounding Box και παραμέτρων κοπτικού στο Siemens NX

2026



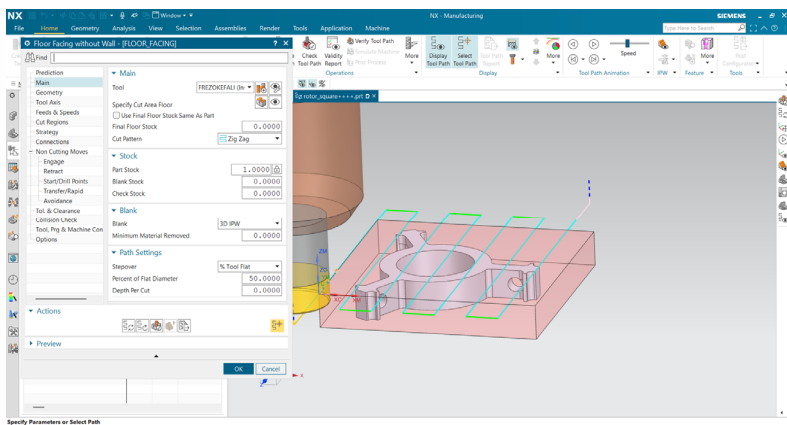
Μεθοδολογία σχεδιασμού και κατασκευής

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

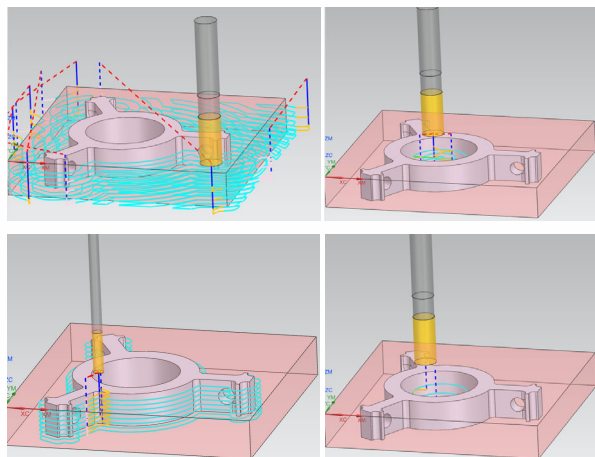


School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab

Κατασκευή Πρωτότυπου NES



Δημιουργία κατεργασιών στο Siemens NX



Toolpaths κατεργασιών

2026



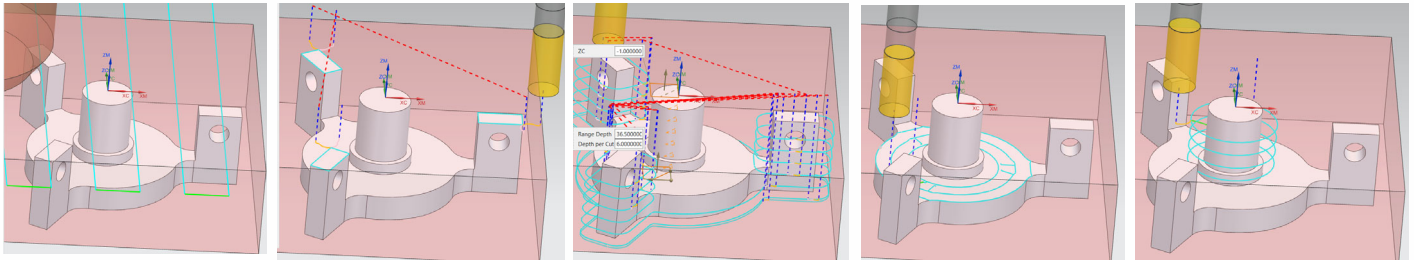
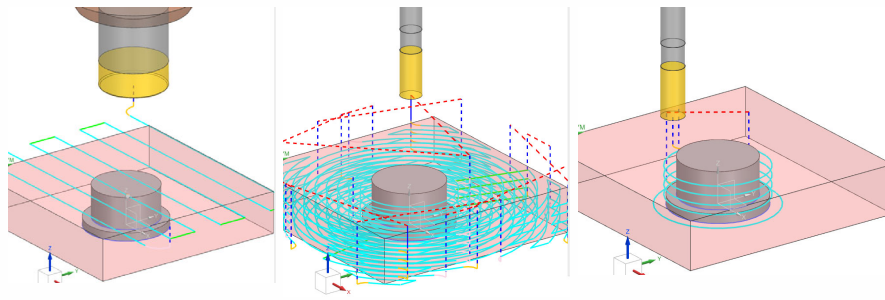
Μεθοδολογία σχεδιασμού και κατασκευής

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



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab

Κατασκευή Πρωτότυπου NES



2026



Κατασκευή Πρωτότυπου NES

table 4 - Tolerances for cast iron and steel housings – seats for radial bearings¹⁾

Conditions	Dimensional tolerance ²⁾	Total radial run-out tolerance	Total axial run-out tolerance	Ra ³⁾	Displacement of outer ring
				μm	
<i>For non-split housings only</i>					
Rotating outer ring load					
Heavy loads on bearings in thin-walled housings, heavy peak loads (P > 0.1 C)	P7	IT6/2	IT6	3.2	Cannot be displaced
Normal to heavy loads (P > 0.05 C)	N7	IT6/2	IT6	3.2	Cannot be displaced
Light and variable loads (P ≤ 0.05 C)	M7	IT6/2	IT6	3.2	Cannot be displaced

¹⁾For drawn cup, alignment and combined needle roller bearings:
 ○ Drawn cup needle roller bearings
 ○ Alignment needle roller bearings
 ○ Combined needle roller bearings
²⁾The envelope requirement symbol (E) from ISO 14405-1) is not shown but applies to all tolerance classes.

ISO Tolerances for Holes (ISO 286-2)																					
Nominal hole sizes (mm)																					
over	3	6	10	18	30	40	50	65	80	100	120	140	160	180	200	225	250	280	315	355	
inc.	6	10	18	30	40	50	65	80	100	120	140	160	180	200	225	250	280	315	355	400	
micrometres																					
JS7	+6 -6	+7.5 -7.5	+9 -9	+10.5 -10.5	+12.5 -12.5	+15 -15	+17.5 -17.5	+20 -20	+23 -23	+26 -26	+28.5 -28.5	+31.5 -31.5	+36 -36	+40.5 -40.5	+44.5 -44.5	+49 -49	+54 -54	+59 -59	+64 -64	+70 -70	
JS8	+9 -9	+11 -11	+13.5 -13.5	+16.5 -16.5	+19.5 -19.5	+23 -23	+27 -27	+31.5 -31.5	+36 -36	+40.5 -40.5	+44.5 -44.5	+49 -49	+54 -54	+59 -59	+64 -64	+70 -70	+77 -77	+84 -84	+91 -91	+99 -99	
K6	+2 -6	+2 -7	+2 -9	+2 -11	+3 -13	+4 -15	+4 -18	+4 -21	+5 -24	+5 -27	+6 -30	+6 -33	+7 -36	+7 -39	+8 -42	+8 -45	+9 -48	+9 -51	+10 -54	+10 -57	
K7	+3 -9	+5 -10	+6 -12	+6 -15	+7 -18	+9 -21	+9 -25	+10 -28	+12 -33	+13 -36	+16 -40	+17 -44	+19 -48	+21 -52	+23 -56	+25 -60	+28 -64	+31 -68	+34 -72	+38 -76	
K8	+5 -13	+6 -16	+8 -19	+10 -23	+12 -27	+14 -32	+16 -38	+18 -43	+20 -50	+22 -58	+25 -66	+28 -74	+31 -81	+34 -87	+38 -96	+42 -105	+46 -114	+50 -123	+54 -132	+59 -141	
M6	-1 -9	-3 -12	-4 -15	-4 -17	-4 -20	-5 -24	-6 -28	-8 -33	-9 -39	-10 -45	-12 -54	-14 -66	-16 -81	-19 -102	-23 -123	-28 -156	-34 -192	-42 -252	-54 -324	-70 -420	-94 -546
M7	0 -12	0 -15	0 -18	0 -21	0 -25	0 -30	0 -35	0 -40	0 -46	0 -54	0 -66	0 -81	0 -102	0 -123	0 -156	0 -192	0 -252	0 -324	0 -420	0 -546	
M8	+2 -16	+1 -21	+2 -25	+2 -29	+3 -34	+4 -41	+5 -48	+6 -57	+8 -69	+9 -81	+11 -96	+14 -117	+18 -144	+23 -180	+28 -225	+34 -282	+42 -360	+54 -450	+70 -567	+94 -720	
N6	-5 -13	-7 -16	-9 -20	-11 -24	-12 -28	-14 -33	-16 -38	-20 -45	-23 -54	-27 -66	-33 -81	-40 -102	-49 -123	-60 -156	-74 -192	-96 -252	-126 -324	-162 -420	-210 -546	-270 -720	
N7	-4 -16	-4 -19	-5 -23	-7 -28	-8 -33	-9 -39	-10 -45	-12 -54	-14 -66	-17 -81	-21 -102	-26 -123	-33 -156	-42 -192	-54 -252	-70 -324	-94 -420	-123 -546	-162 -720	-210 -900	
N8	-2 -20	-3 -25	-3 -30	-3 -36	-3 -42	-4 -50	-4 -58	-5 -67	-6 -77	-7 -87	-8 -99	-10 -117	-12 -144	-15 -180	-19 -225	-25 -282	-34 -360	-46 -450	-60 -567	-80 -720	

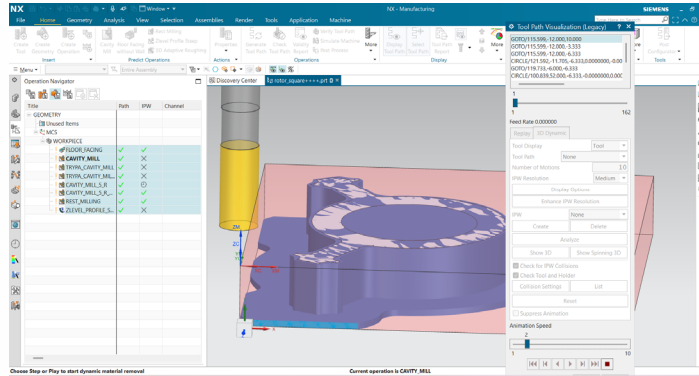
κατηγορίες
ανοχών από την
SKF

Τοιπίραθς
κατευνασίων

2026



Κατασκευή Πρωτότυπου NES



Verify Tool Path

2026



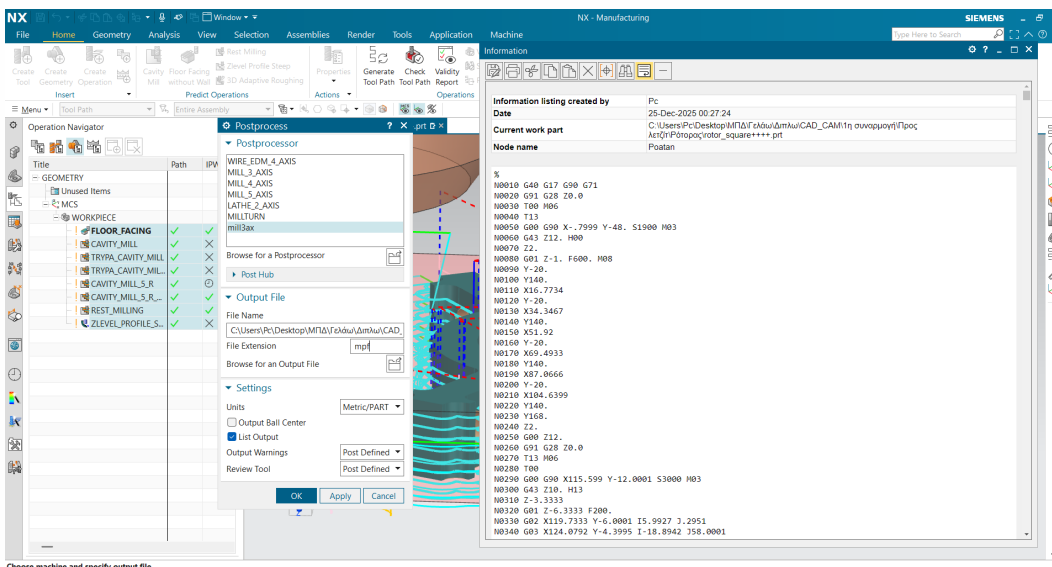
Μεθοδολογία σχεδιασμού και κατασκευής

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



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab

Κατασκευή Πρωτότυπου NES



Post-process για
εξαγωγή του G-
Κώδικα από το NX

2026



Μεθοδολογία σχεδιασμού και κατασκευής

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



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab

Κατασκευή Πρωτότυπου NES

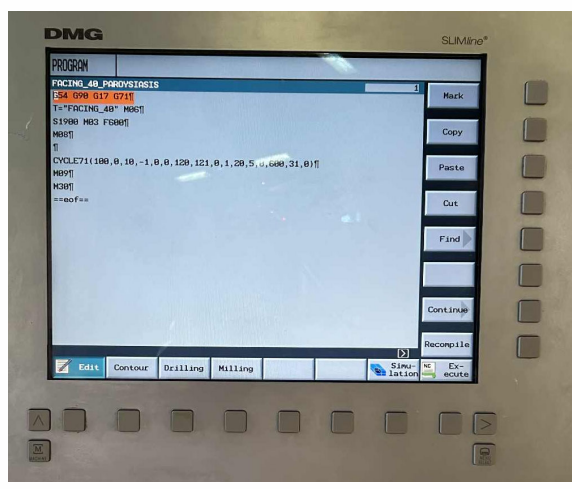
```

NX_Final_Rotor.mpf
File Edit View
|
N0010 G54 G17 G90 G71
N0030 T="FACING_40" M06
N0050 G90 G90 X-60.5749 Y-107.7 S1900 M03
N0070 Z1.
N0080 G01 Z0.0 F600. M08
N0090 Y-79.7
N0100 Y79.7
N0110 X-43.0766
N0120 Y-79.7
N0130 X-25.5783
N0140 Y79.7
N0150 X-8.08
N0160 Y-79.7
N0170 X9.4183
N0180 Y79.7
N0190 X26.9166
N0200 Y-79.7
N0210 X44.4149
N0220 Y79.7
N0230 Y107.7
N0240 Z3.
N0250 G00 Z13.
N0270 T="MILL_12" M06
N0290 G90 G90 X34.6223 Y-71.7 S3000 M03
N0310 Z-1.6667
N0320 G01 Z-4.6667 F200. M08
N0330 G02 X33.5211 Y-65.7 I4.5314 J3.9328
N0340 G03 X34.9875 Y-60.6801 I-34.7345 J12.7481
N0350 X64.619 Y-57.665 I11.477 J35.175
N0360 X65.7751 Y-57.2078 I-13.0277 J34.6306
N0370 G01 Y-50.5993
N0380 G02 X62.0744 Y-52.2081 I-14.1037 J27.5649
N0390 X35.8610 Y-54.5556 I-15.6090 J26.783
N0400 G01 X33.9825 Y-53.8715
N0410 G02 X30.1117 Y-52.1549 I10.6026 J29.1305
N0420 X29.6029 Y-56.3655 I-30.9778 J1.1726
N0430 G01 X29.4592 Y-57.3593
N0440 X29.3156 Y-58.3351
N0450 G02 X27.0441 Y-65.7 I-30.529 J5.3831
Ln 1, Col 1 185,416 characters Plain text 100% Windows (CRLF) UTF-8
    
```

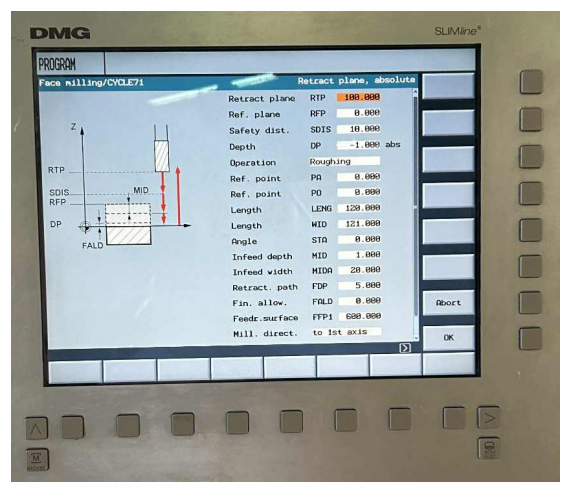
Διορθώσεις του G-Κώδικα στο Notepad

2026

Κατασκευή Πρωτότυπου NES



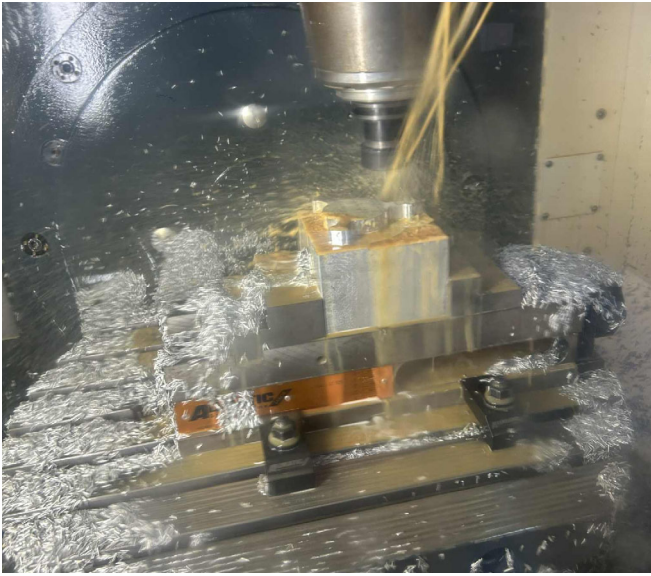
G-Κώδικας για Face milling



Ορίσματα Κύκλου κατεργασιών φραιζας CYCLE71

2026

Κατασκευή Πρωτότυπου NES



2026



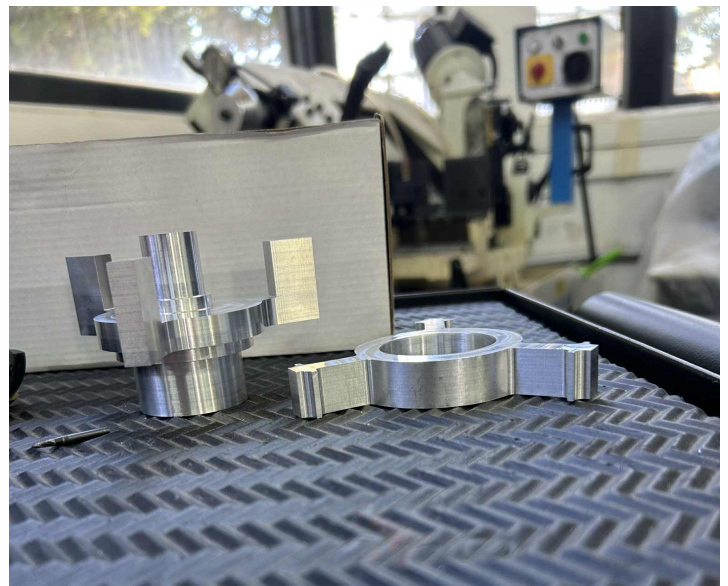
Μεθοδολογία σχεδιασμού και κατασκευής

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



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab

Κατασκευή Πρωτότυπου NES



2026



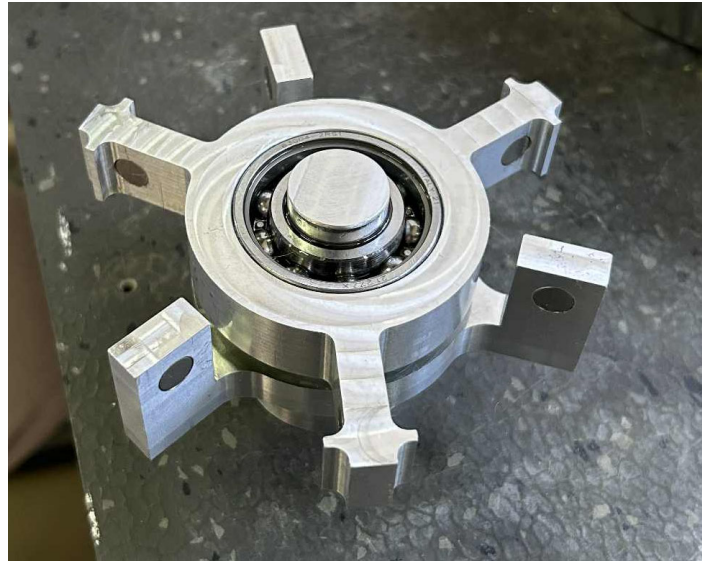
Μεθοδολογία σχεδιασμού και κατασκευής

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



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab

Κατασκευή Πρωτότυπου NES



2026



Μεθοδολογία σχεδιασμού και κατασκευής

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



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab

Κατασκευή Βελτιωμένου NES

- Παρότι τα πειραματικά αποτελέσματα ήταν συνεπή με την προσομοίωση, η σφιχτή συναρμογή προκάλεσε υπερβολικές τριβές. Για τον λόγο αυτό κατασκευάστηκε ένας ανασχεδιασμένος NES ώστε να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα. Η νέα γεωμετρία του ρότορα φέρνει τους μαγνήτες ρότορα-στάτορα πιο κοντά στη θέση Ισοροπίας, εξασφαλίζοντας ότι η ταλάντωση αποσβένεται ακριβώς στην επιθυμητή ισοροπία και όχι σε μετατοπισμένη θέση.

2026



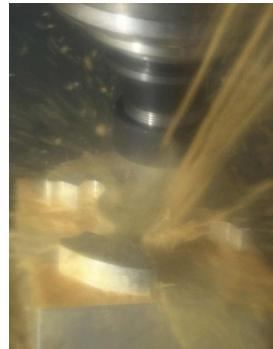
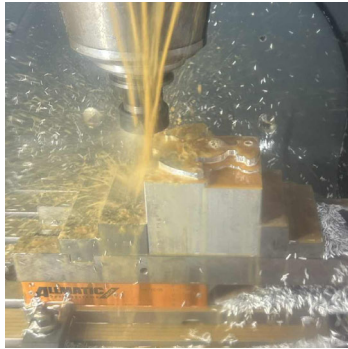
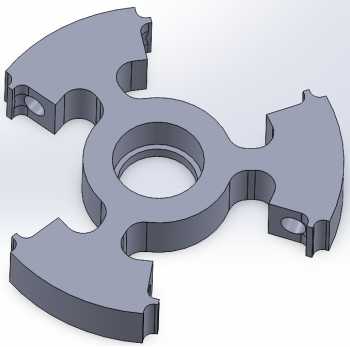
Μεθοδολογία σχεδιασμού και κατασκευής

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



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab

Σχεδιασμός και κατασκευή Βελτιωμένου NES



2026



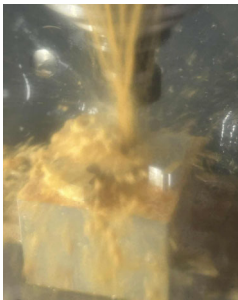
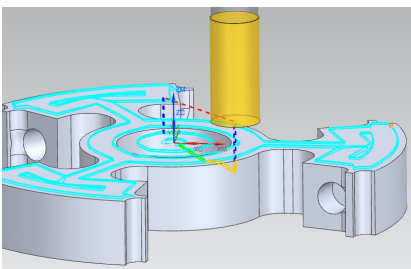
Μεθοδολογία σχεδιασμού και κατασκευής

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



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab

Κατασκευή Βελτιωμένου NES



2026



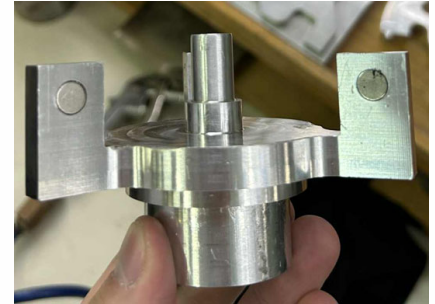
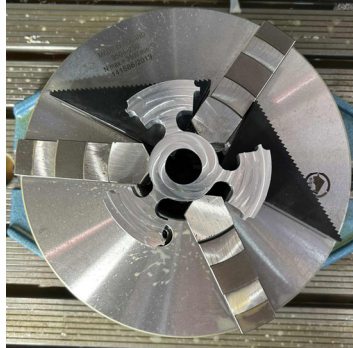
Μεθοδολογία σχεδιασμού και κατασκευής

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



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab

Κατασκευή Βελτιωμένου NES



2026



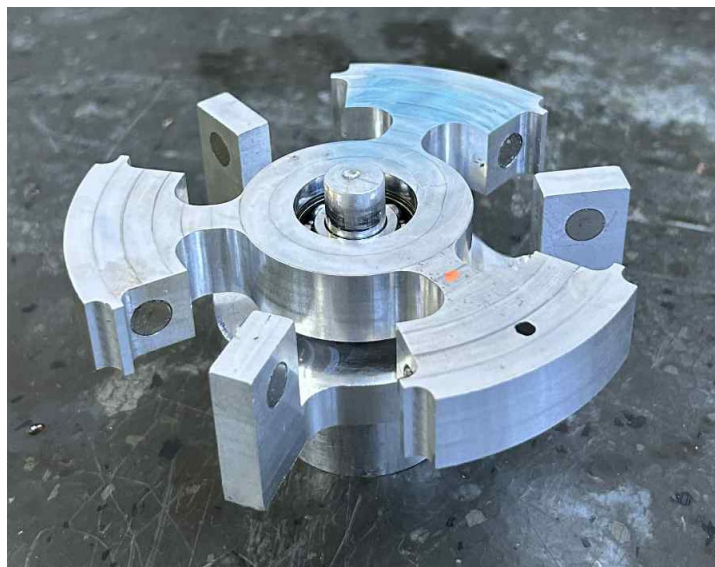
Μεθοδολογία σχεδιασμού και κατασκευής

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



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab

Κατασκευή Βελτιωμένου NES



2026



Μεθοδολογία σχεδιασμού και κατασκευής

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

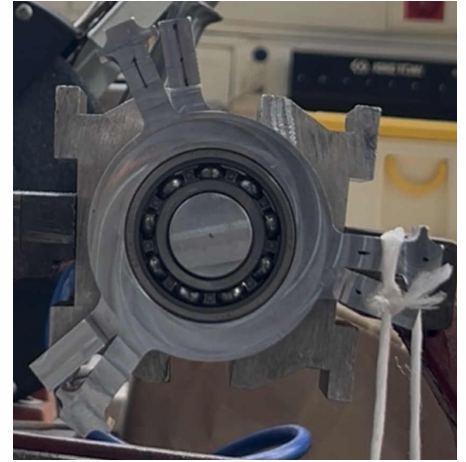


School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab

Στατικό πείραμα Πρωτότυπου NES

➤ Στόχος του πειράματος είναι ο υπολογισμός της ροπής T που ασκείται από τους μαγνήτες στο ρότορα εν συναρτήσεως της γωνίας θ που σχηματίζει

1. Ο NES συγκρατήθηκε κατακόρυφα σε μέγιστη με κατάλληλους αποστάτες.
2. Ένα νήμα δεμένο σε δοχείο προσαρμόστηκε σε ακτίνα 45 mm από τον κεντρικό άξονα.
3. Τοποθετήθηκαν στο δοχείο βάρη υπολογισμένης μάζας.
4. Υπολογίστηκε η αρχική γωνία θ .
5. Τα βάρη αφαιρέθηκαν διαδοχικά με εκ νέου μέτρηση της γωνίας θ , μέχρι πλήρης απουσίας φορτίου.
6. Η συλλογή δεδομένων και η μέτρηση της γωνίας πραγματοποιήθηκαν με το open-source πρόγραμμα ανάλυσης βίντεο και εικόνας «Tracker», όπως φαίνεται στην επόμενη διαφάνεια με το αντίστοιχο περιβάλλον χρήστη.



2026



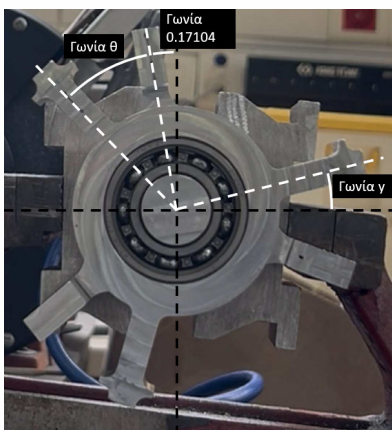
Πειραματικές δοκιμές και αποτελέσματα

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



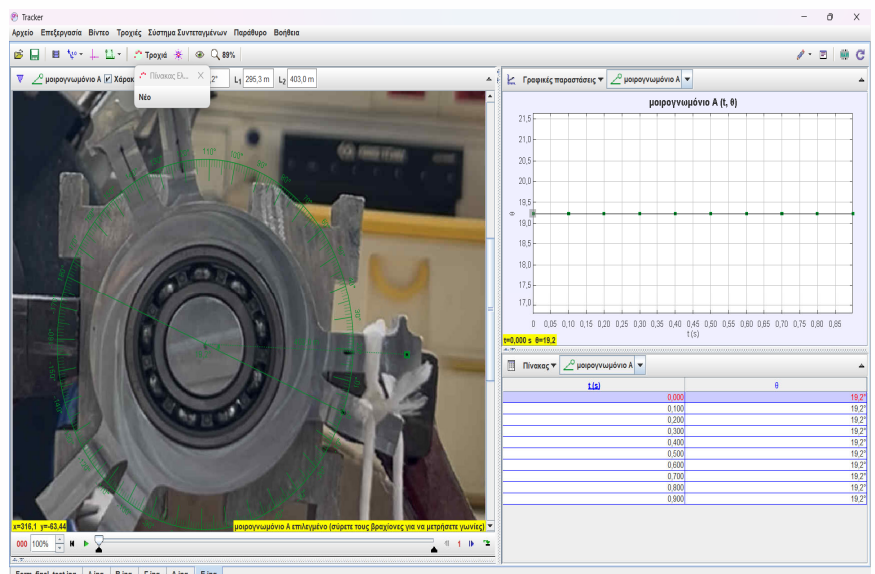
School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab

Στατικό πείραμα Πρωτότυπου NES



$$T(\gamma) = M * g * 0.045 * \cos(\gamma)$$

$$\gamma = 1.5708 - 2.0944 + 0.17104 + \theta$$



2026



Πειραματικές δοκιμές και αποτελέσματα

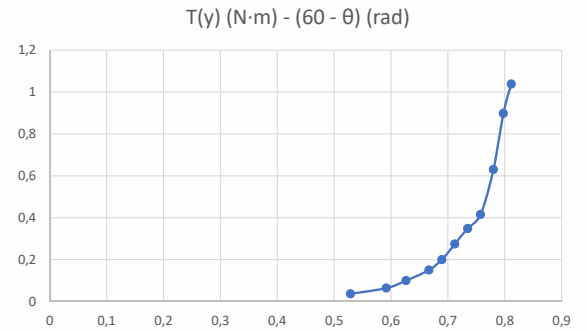
<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab

Στατικό πείραμα Πρωτότυπου NES

M (kg)	θ (μίρες)	θ (rad)	60-θ (μίρες)	60 - θ (rad)	γ (μίρες)	γ (rad)	T(y)
2.368	13.50	0.23562	46.50000	0.81158	-6.70	-0.11694	1.03821
2.045	14.30	0.24958	45.70000	0.79762	-5.90	-0.10297	0.89798
1.433	15.30	0.26704	44.70000	0.78016	-4.90	-0.08552	0.63029
0.942	16.60	0.28972	43.40000	0.75747	-3.60	-0.06283	0.41503
0.789	17.90	0.31241	42.10000	0.73478	-2.30	-0.04014	0.34802
0.621	19.20	0.33510	40.80000	0.71209	-1.00	-0.01745	0.27410
0.452	20.50	0.35779	39.50000	0.68941	0.30	0.00524	0.19953
0.340	21.80	0.38048	38.20000	0.66672	1.60	0.02793	0.15003
0.226	24.10	0.42062	35.90000	0.62657	3.90	0.06807	0.09954
0.145	26.10	0.45553	33.90000	0.59167	5.90	0.10297	0.06367
0.084	29.70	0.51836	30.30000	0.52883	9.50	0.16581	0.03657
0.000	35.00	0.61087	25.00000	0.43633	14.80	0.25831	0.00000



2026



Πειραματικές δοκιμές και αποτελέσματα

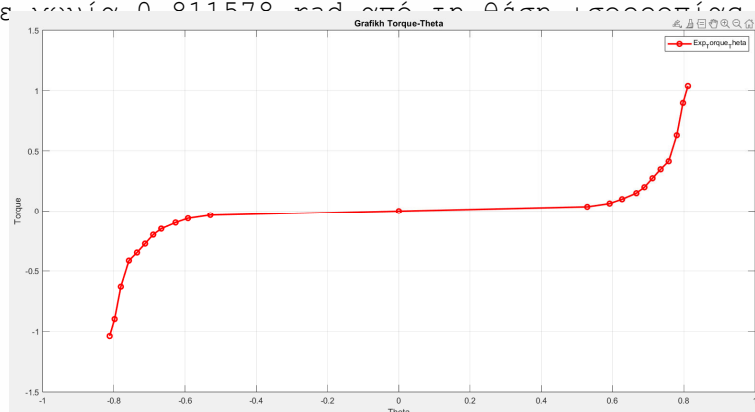
<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab

Στατικό πείραμα Πρωτότυπου NES

- Η συμμετρική γραφική που δημιουργήθηκε με script στη MATLAB, έχει μορφή πολυώνυμου 3ου βαθμού, όπως αναμενόταν λόγω της μαγνητικής αλληλεπίδρασης των μαγνητών N42 που είναι ενσωματωμένοι στον ρότορα και στον στάτορα. Η μέγιστη ροπή φτάνει τα 1.03821 N·m όταν τα χέρια ρότορα-στάτορα πλησιάζουν σε επαφή, σε γωνία 0.811579 rad από τη θέση ισορροπίας.



2026



Πειραματικές δοκιμές και αποτελέσματα

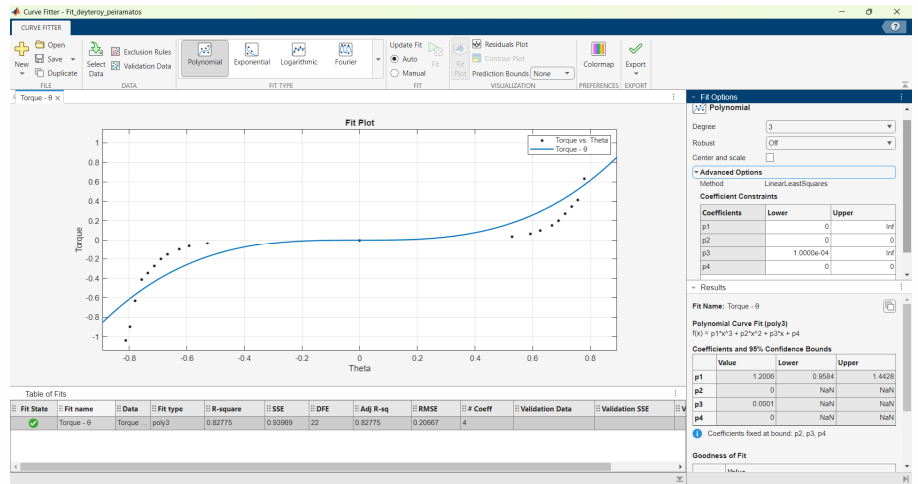
<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab

Στατικό πείραμα Πρωτότυπου NES

- Στο fitting στη MATLAB που έγινε με χρήση του Curve Fitter App, στοχεύοντας στην καλύτερη δυνατή προσέγγιση των σημείων αυτών, η περιορισμένη ποιότητα προσαρμογής ($R^2 \approx 0.83$) οφείλεται στις υψηλές τριβές του ρουλεμάν από σφικτική συναρμογή, που διεύρυναν τη Θ .Ι. ($\approx 35^\circ - 75^\circ$) και παραμόρφωσαν την καμπύλη ροπής-γωνίας, δυσχεραίνοντας το fitting ελαχίστων τετραγώνων.



2026



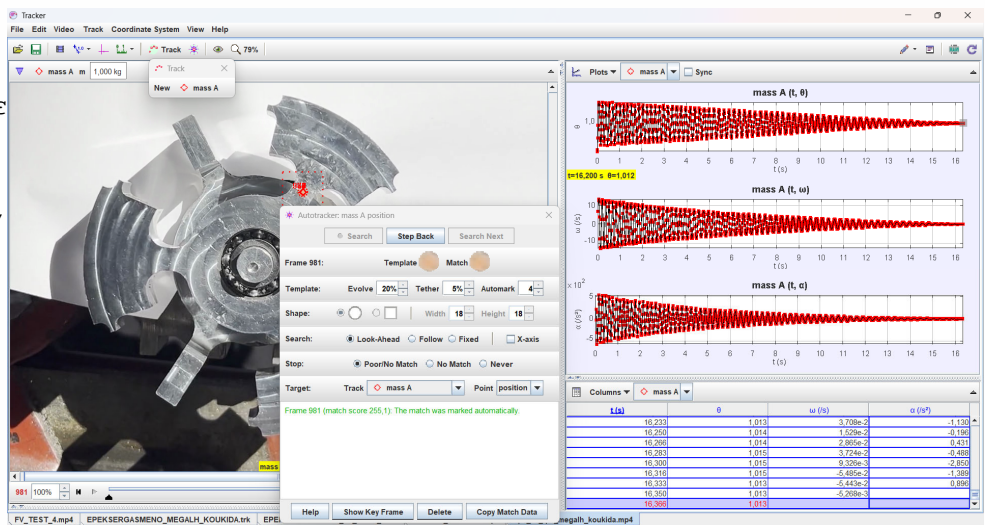
Πειραματικές δοκιμές και αποτελέσματα

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

School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab

Δυναμικό πείραμα Βελτιωμένου NES με λήψη βίντεο 60 fps

- Ο Βελτιωμένος NES αξιολογήθηκε αρχικά με δυναμικό πείραμα ελεύθερης ταλάντωσης (free vibration test), καταγράφοντας βίντεο HD 60 fps με μέγιστο αρχικό πλάτος.
- Με frame-by-frame ανάλυση στο Tracker υπολογίστηκαν η γωνία $\theta(t)$ και οι παράγωγοί της $\omega(t)$, $\alpha(t)$ έως την επαναφορά του ρότορα στη θέση Ισορροπίας (Θ .Ι.).



2026



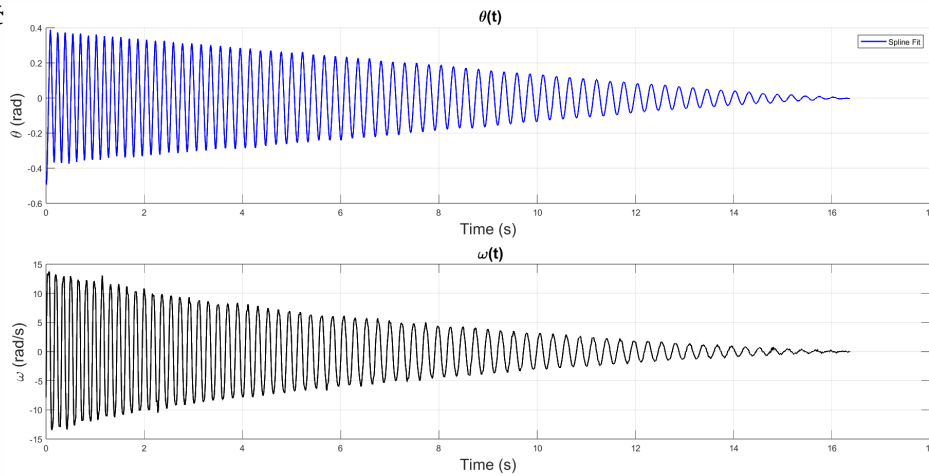
Πειραματικές δοκιμές και αποτελέσματα

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

School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab

Δυναμικό πείραμα Βελτιωμένου NES με λήψη βίντεο 60 fps

- Επιλέχθηκε ο επανασχεδιασμός των γραφικών $(\theta - t)$ και $(\omega - t)$ λοιπόν, με χρήση splines στη MATLAB, με σκοπό την ποιοτικότερη μελέτη συμπεριφοράς του Βελτιωμέ



2026



Πειραματικές δοκιμές και αποτελέσματα

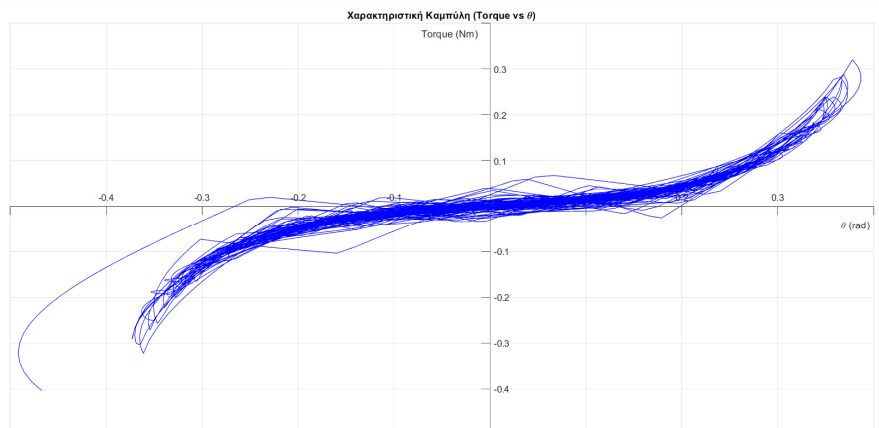
<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab

Δυναμικό πείραμα Βελτιωμένου NES με λήψη βίντεο 60 fps

- Η τιμή της ροπής αδράνειας του ρότορα με ενσωματωμένους τους μαγνήτες λήφθηκε από το σχετικό CAD αρχείο στο SolidWorks, $Pz = Jp = 0.0003 \left(\frac{kg}{m^2}\right)$ οπότε και υπολογίστηκαν οι τιμές της ροπής:



2026



Πειραματικές δοκιμές και αποτελέσματα

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



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab

Δυναμικό πείραμα Βελτιωμένου NES με λήψη βίντεο 60 fps

- Με βάση το διάγραμμα ($\theta - t$), δημιουργήθηκε η γραφική παράσταση της

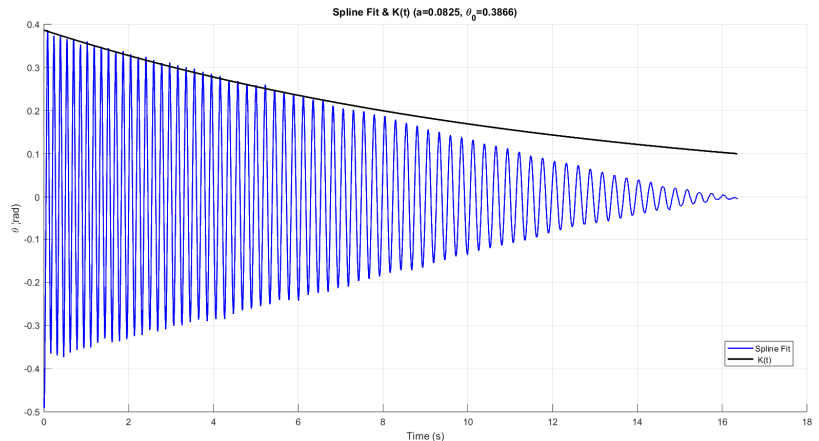
$$K(t) = \theta_0 * \exp(-a * t), \quad t_0 \leq t \leq t_f$$

Όπου: $\theta_0 = 1.01322 \text{ rad}, t_0 = 0.08342 \text{ s},$
 $t_f = 16.36635 \text{ s}$ και $a = 0.0825$

- Η έλλειψη σημείων τομής ανάμεσα στις δύο γραφικές μετά την χρονική στιγμή $t=6.5875 \text{ s}$ οφείλεται στην αύξηση της τριβών Coulomb.

$$c = 2 * J_p * \omega_n * \zeta = 0.00005 \frac{Ns}{m}$$

- Επιπλέον, υπολογίστηκε ο συντελεστής απόσβεσης:



2026



Πειραματικές δοκιμές και αποτελέσματα

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

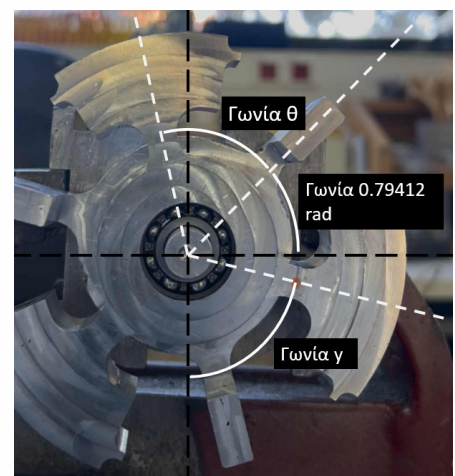


School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab

Στατικό πείραμα Βελτιωμένου NES

- Πραγματοποιήθηκε στατικό πείραμα με την ίδια διαδικασία όπως στον Πρωτότυπο NES, με σταθερή γωνία αναφοράς μεταξύ χεριού στάτορα και κατακόρυφου άξονα 0.79412 rad για τον υπολογισμό της γωνίας γ .

M (kg)	θ (μοίρες)	θ (rad)	40- θ (deg)	40- θ (rad)	y (μοίρες)	y (rad)	T(y)
2.441	13.50000	0.23562	26.50000	0.46251	29.00000	0.50615	0.94247222
1.854	14.13025	0.24662	25.86975	0.45151	29.63025	0.51715	0.71142309
1.272	15.33346	0.26762	24.66654	0.43051	30.83346	0.53815	0.48215892
1.047	15.96372	0.27862	24.03628	0.41951	31.46372	0.54915	0.39424155
0.821	17.22423	0.30062	22.77577	0.39751	32.72423	0.57115	0.30490632
0.652	18.37014	0.32062	21.62986	0.37751	33.87014	0.59115	0.23898224
0.498	19.63065	0.34262	20.36935	0.35551	35.13065	0.61315	0.17979611
0.329	21.75059	0.37962	18.24941	0.31851	37.25059	0.65015	0.11560807
0.206	23.87054	0.41662	16.12946	0.28151	39.37054	0.68715	0.07030106
0.083	29.60011	0.51662	10.39989	0.18151	45.10011	0.78715	0.02586333
0	40.50197	0.70689	-0.50197	-0.00876	56.00197	0.97742	0



2026



Πειραματικές δοκιμές και αποτελέσματα

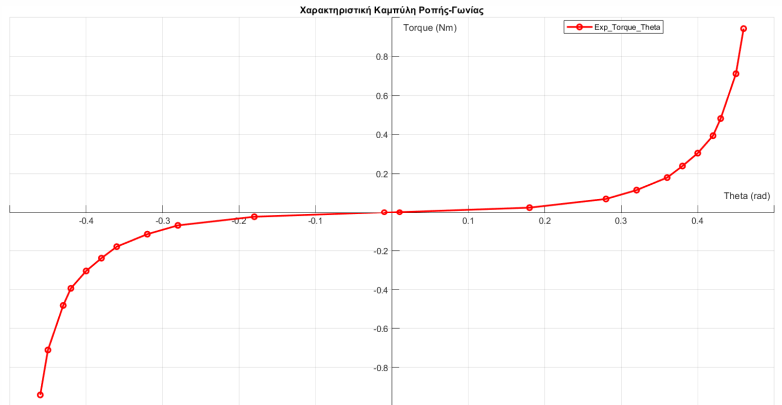
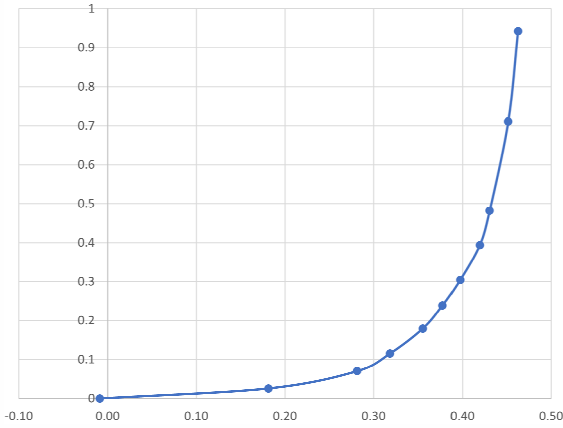
<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab

Στατικό πείραμα Βελτιωμένου NES

- Η θ . Ι. εμφανίζεται μετατοπισμένη στο ± 0.008726646 rad, λόγω μικρής αστοχίας ευθυγράμμισης της κάμερας (ο φακός τοποθετήθηκε ελαφρώς υψηλότερα από το αξονικά κεντρικό σημείο του Βελτιωμένου NES).



2026



Πειραματικές δοκιμές και αποτελέσματα

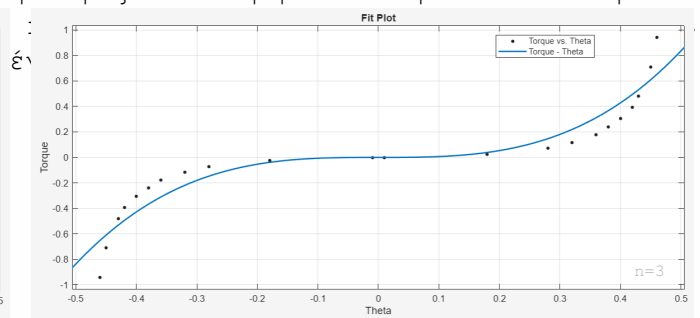
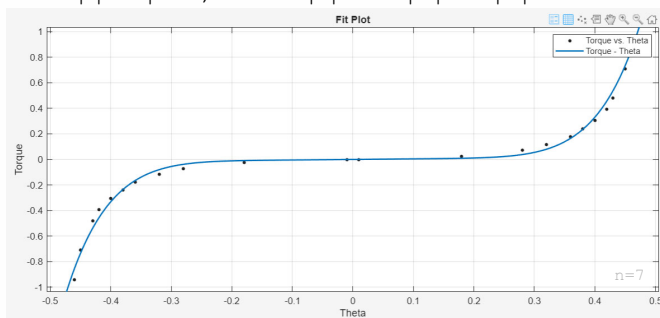
<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab

Στατικό πείραμα Βελτιωμένου NES

- Στο 7ου βαθμού fitting ($p_7=0.044$, $p_5=0.001$, $p_3=0.1$, $p_1=190.4179$) προκύπτει το μέγιστο $R^2=0.99023$, ενώ στο 3ου βαθμού fitting ($p_3=0.0001$, $p_1=6.8674$) προκύπτει $R^2=0.91235$.
- Η καλύτερη ταύτιση του 7ου βαθμού είναι αναμενόμενη λόγω περισσότερων βαθμών ελευθερίας, όμως για μοντελοποίηση επιλέγεται η απλούστερη και φυσικά ερμηνεύσιμη μορφή 3ου βαθμού (με μηδενισμό σταθερού & τετραγωνικού όρου για συμμετρία). Η υψηλότερη τιμή R^2 και η σαφώς καλύτερη ταύτιση του Βελτιωμένου



2026



Πειραματικές δοκιμές και αποτελέσματα

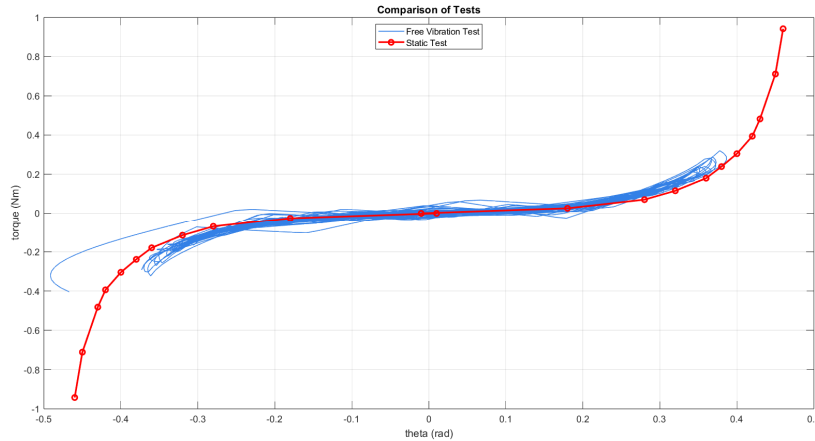
<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab

Σύγκριση στατικού και δυναμικού HD 60 fps πειράματος Βελτιωμένου NES

- Εμφανίζοντας στο ίδιο διάγραμμα τις γραφικές ($T-\theta$) από το στατικό και το δυναμικό πείραμα του Βελτιωμένου NES, επιβεβαιώνεται από το υψηλό επίπεδο αντιστοιχίας τιμών η άρτια λειτουργία του, όπως και η εγκυρότ



2026



Πειραματικές δοκιμές και αποτελέσματα

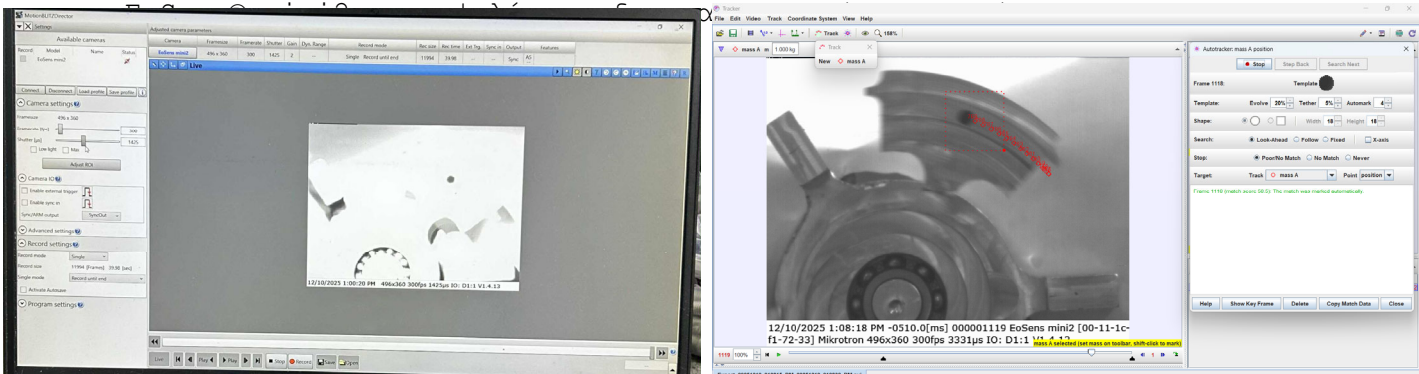
<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab

Δυναμικό πείραμα Βελτιωμένου NES με λήψη βίντεο από High Speed Camera

- Παρά την καλή αντιστοιχία, το δυναμικό πείραμα δεν προσεγγίζει επαρκώς τις υψηλές ροπές λόγω ενεργειακών απωλειών από εγγενή απόσβεση και κυρίως λόγω χαμηλών fps λόγω απουσίας δεδομένων κατά τις πρώτες ταλαντώσεις, επαναλαμβάνεται η διαδικασία με λήψη βίντεο από την High Speed Camera MIKROTRON MotionBLITZ



2026



Πειραματικές δοκιμές και αποτελέσματα

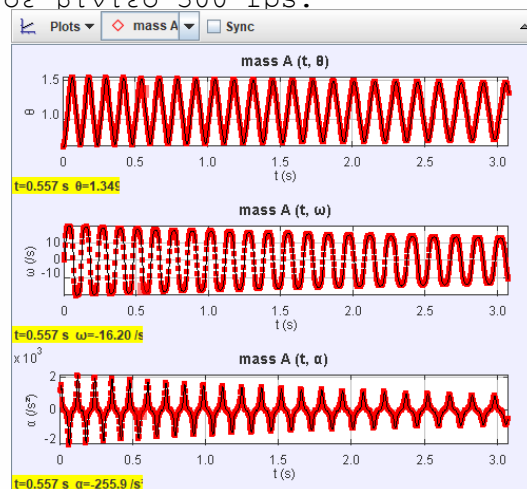
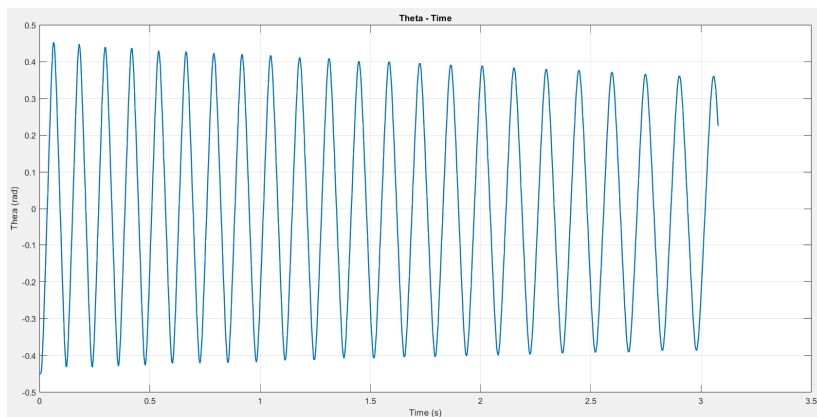
<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab

Δυναμικό πείραμα Βελτιωμένου NES με Λήψη βίντεο από High Speed Camera

- Λόγω μεγάλου όγκου δεδομένων από τη High Speed Camera, αναλύθηκαν τα πρώτα 3.077 s της ταλάντωσης σε βίντεο 300 fps.



2026



Πειραματικές δοκιμές και αποτελέσματα

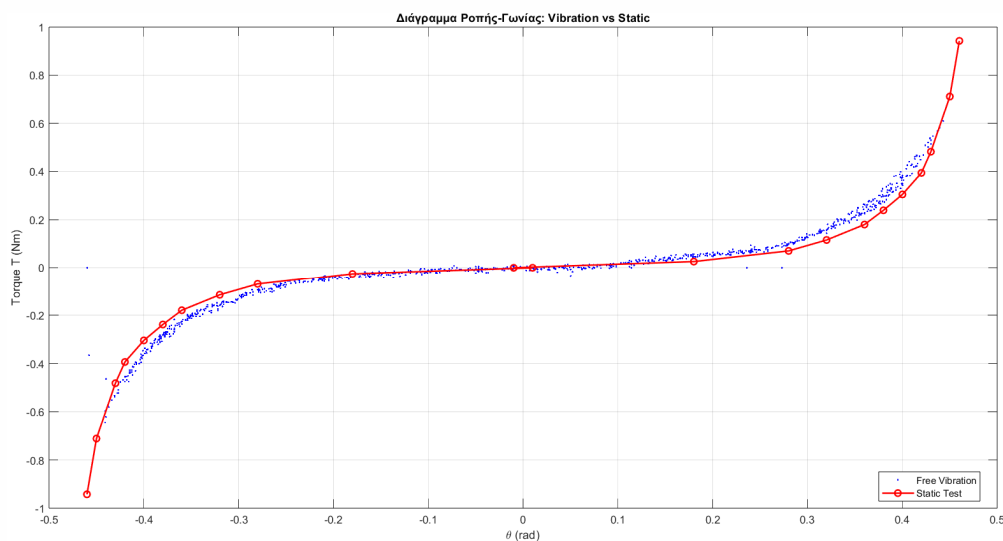
<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab

Δυναμικό πείραμα Βελτιωμένου NES με λήψη βίντεο από High Speed Camera και σύγκριση τιμών με στατικό

- Η σύγκριση επιβεβαιώνει την εγκυρότητα της πειραματικής διαδικασίας και την άρτια λειτουργία του Βελτιωμένου NES, με σαφώς καλύτερη ταύτιση και σε υψηλότερες ροπές χάρη στα αυξημένα fps.
- Παρ' όλα αυτά, το δυναμικό τεστ φτάνει τιμή ροπής 0.6099 N·m, ενώ το στατικό έως 0.94247



2026



Πειραματικές δοκιμές και αποτελέσματα

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



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab

Συμπεράσματα

- Ολοκληρώθηκε επιτυχώς η αλυσίδα σχεδιασμού-κατασκευής-πειραματικής επαλήθευσης ενός μαγνητικού, περιστροφικού, ανέπαφου NES για απόσβεση στρεπτικών ταλαντώσεων.
- Η Πρωτότυπη διάταξη εμφάνισε αυξημένες τριβές στο ρουλεμάν που μετέβαλαν τη $\Theta.I.$ και υποβάθμισαν το fitting (χαμηλότερο R^2), ενώ στη Βελτιωμένη οι τριβές μειώθηκαν και η καμπύλη ροπής-γωνίας ακολούθησε σαφώς καλύτερα τα πειραματικά σημεία.
- Το free vibration test επιβεβαίωσε τη δυναμική λειτουργία με υψηλή συμφωνία στατικών-δυναμικών αποτελεσμάτων, ενώ χρησιμοποιώντας την High Speed Camera βελτιώθηκε η επάρκεια δεδομένων σε υψηλότερες ροπές.

2026



Συμπεράσματα και μελλοντική εργασία

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



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab

Μελλοντική εργασία

Ανασχεδιασμ

Παραμετρική βελτιστοποίηση για ενίσχυση της αποσβεστικής συμπεριφοράς.



Καλύτερη δυναμική μοντελοπ

Ακριβέστερος υπολογισμός της ισοδύναμης ροπής αδράνειας, συνυπολογίζοντας τα περιστρεφόμενα τμήματα του ρουλεμάν.



Μοντελοποίηση απωλειών

Διερεύνηση διαφοράς μέγιστης ροπής στατικού-δυναμικού



Ρεαλιστικές δοκιμές

Έλεγχος υπό μεταβαλλόμενα φορτία και μακροχρόνια λειτουργία



2026



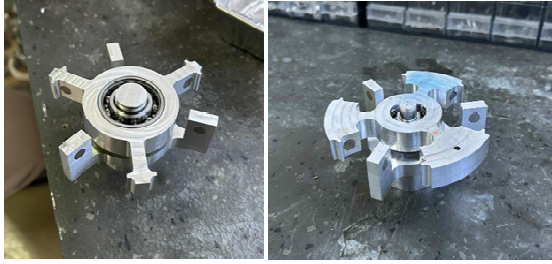
Συμπεράσματα και μελλοντική εργασία

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



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab

Ευχαριστώ για τον χρόνο σας!



Μαυρεδάκης Γεώργιος-Ευθύμιος

gmavredakis@tuc.gr

2026



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



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab