

# ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗ ΠΛΑΚΙΔΙΩΝ ΜΗΚΟΥΣ ΜΕ ΜΗΧΑΝΙΚΟ ΣΥΓΚΡΙΤΗ. ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΙΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗΣ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΩΝ

Χρήστος Μπαντής<sup>1</sup>, Ιωάννης Κουρούπας<sup>1</sup>, Παναγιώτης Πυλαρινός<sup>2</sup>, Αναστάσιος Ντόκας<sup>3</sup>  
και Γεώργιος Τζορμπατζόγλου<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Ελληνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας, Βιομηχανική Περιοχή Θεσσαλονίκης, Οικ. Τετρ. 45, 57022 Σίνδος, Θεσσαλονίκη, e-mail: bandis@eim.org.gr

<sup>2</sup> Εργαστήριο Διακρίβωσης, Ελληνική Αεροπορική Βιομηχανία, 320 09 Σχηματάρι, Βοιωτίας

<sup>3</sup> Εργαστήριο Διαστασιακών Μετρήσεων και Διακριβώσεων, Ελληνικά Αμυντικά Συστήματα, Ηλιουπόλεως 1, 17236 Υμηττός Αττικής.

<sup>4</sup> Μετρολογία Ελλάς Α.Ε., Δουκίσσης Πλακεντίας 3, 15234 Χαλάνδρι, Αθήνα

Στο δεύτερο εξάμηνο του 2006 πραγματοποιήθηκε και ολοκληρώθηκε η πρώτη διεργαστηριακή μεταξύ εργαστηρίων που δραστηριοποιούνται στις μετρήσεις πλακιδίων με μηχανικό συγκριτή στον Ελληνικό χώρο με πιλοτικό εργαστήριο το εργαστήριο διαστατικών του Ελληνικού Ινστιτούτου Μετρολογίας. Τα αποτελέσματα που αναφέρθηκαν από τα συνολικά τέσσερα εργαστήρια που μετείχαν αφορούσαν την απόκλιση του κεντρικού μήκους του κάθε πλακιδίου από την ονομαστική του τιμή, καθώς και την διακύμανση του μήκους από άκρη σε άκρη του κάθε πλακιδίου σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα. Μετά από την στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων, ο έλεγχος του βαθμού της ισοδυναμίας τους (degree of equivalence) καθώς και της συμβατότητας τους (consistency), απέδειξε ότι όλα τα αποτελέσματα, τα οποία και παρουσιάζονται στην εργασία αυτή είναι απολύτως συμβατά μεταξύ τους, με την στατιστική έννοια του όρου, και καμία διορθωτική ενέργεια δεν απαιτείται από κανένα από τα συμμετέχοντα εργαστήρια.

*Λέξεις-Κλειδιά: Πρότυπα μήκους, πλακίδια μήκους, αβεβαιότητα, διεργαστηριακή σύγκριση.*

## 1. Εισαγωγή

Η διεξαγωγή της παρούσας διεργαστηριακής σύγκρισης αποφασίστηκε με βασικό κίνητρο την υποστήριξη του συστήματος διαπίστευσης των εργαστηρίων της χώρας αλλά και την ανταλλαγή εμπειριών μεταξύ των ελληνικών εργαστηρίων που δραστηριοποιούνται στον τομέα της διακρίβωσης πλακιδίων μήκους.

Πιλοτικό εργαστήριο στην παρούσα διεργαστηριακή ήταν το εργαστήριο διαστατικών του Ελληνικού Ινστιτούτου Μετρολογίας (EIM) το οποίο και διέθεσε τα απαραίτητα πλακίδια μήκους για τον σκοπό αυτό. Τα προς μέτρηση πλακίδια ήταν κατασκευασμένα από ατσάλι, μήκους 1 mm, 5 mm, 10 mm, 50 mm, και 100 mm.

Το εργαστήριο διαστατικών του Ελληνικού Ινστιτούτου Μετρολογίας πριν από την διεξαγωγή της παρούσας διεργαστηριακής μετείχε επιτυχώς στις παρακάτω διεθνείς διεργαστηριακές:

- BIPM.K11, key comparison on primary wavelength standards, 2005.
- Euromet Project 601, Supplementary Comparison on Calibration of Gauge Blocks by Mechanical Comparison, 2003.
- EUROMET.L-K1.1, Calibration of gauge blocks by interferometry, 2004.

εξασφαλίζοντας έτσι την ισοδυναμία (degree of equivalence) των μετρήσεων των συμμετεχόντων εργαστηρίων με αυτές που πραγματοποιούνται διεθνώς σύμφωνα με τους κανόνες του διακανονισμού αμοιβαίας αναγνώρισης (Mutual Recognition Arrangement, MRA).

Βασικός σκοπός της διεργαστηριακής ήταν ο προσδιορισμός της απόκλισης ( $\Delta l$ ) του κεντρικού μήκους ( $l$ ) του κάθε πλακιδίου από την ονομαστική του τιμή ( $L$ )

$$\Delta l = l - L$$

καθώς και ο προσδιορισμός της αβεβαιότητας της απόκλισης  $\Delta l$ ,  $u(\Delta l)$ .

Επιπλέον ζητήθηκε από τα εργαστήρια μαζί με τα αποτελέσματα των μετρήσεων να αποστείλουν και τον πίνακα αβεβαιοτήτων που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της αβεβαιότητας του πλακιδίου των 50 mm <sup>1</sup>.

Εκτός από το κεντρικό μήκος των πλακιδίων μήκους όλα τα εργαστήρια μέτρησαν και την απόκλιση του μήκους στις τέσσερις γωνίες του κάθε πλακιδίου από το κεντρικό μήκος του έτσι ώστε να μπορεί να εκτιμηθεί η διακύμανση του μήκους του κάθε πλακιδίου σε όλη του την επιφάνεια (variation in length,  $v$ ) <sup>2</sup>.

Η μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με την χρήση του μηχανικού συγκριτή και των προτύπων πλακιδίων του κάθε εργαστηρίου.

## 2. Πειραματικό Μέρος – Μετρήσεις

### 2.1. Συμμετέχοντα εργαστήρια - Πρότυπα

Τα εργαστήρια που μετείχαν στην διεργασηριακή αναφέρονται στο Πίνακα 1

Πίνακας 1. Συμμετέχοντα εργαστήρια

Εργαστήριο	Διεύθυνση	Υπεύθυνος
Εργαστήριο Διαστατικών Ελληνικό Ινστ. Μετρολογίας (EIM)	Βιομηχανική Περιοχή Θεσσαλονίκης, Οικ. Τετρ. 45, Τ.Κ. 57022 Σίνδος, Θεσσαλονίκης	Μπαντής Χρήστος, Κουρούπας Ιωάννης
Εργαστήριο Διακρίβωσης Ελληνική Αεροπορική Βιομηχανία (ΕΑΒ)	320 09 Σχηματάρι, Βοιωτία	Πυλαρινός Παναγιώτης
Ελληνικά Αμυντικά Συστήματα (ΕΑΣ) Εργαστήριο Διαστασιακών Μετρήσεων και Διακριβώσεων	Ηλιουπόλεως 1, 17236 Υμηττός Αττικής	Ντόκας Αναστάσιος
Μετρολογία Ελλάς Α.Ε.	Δουκίσσης Πλακεντίας 3 15234 Χαλάνδρι, Αθήνα	Γ. Τζορμπατζόγλου

Το εργαστήριο διαστατικών του Ελληνικού Ινστιτούτου Μετρολογίας (EIM) εκτελώντας χρέη πιλοτικού εργαστηρίου ανέλαβε:

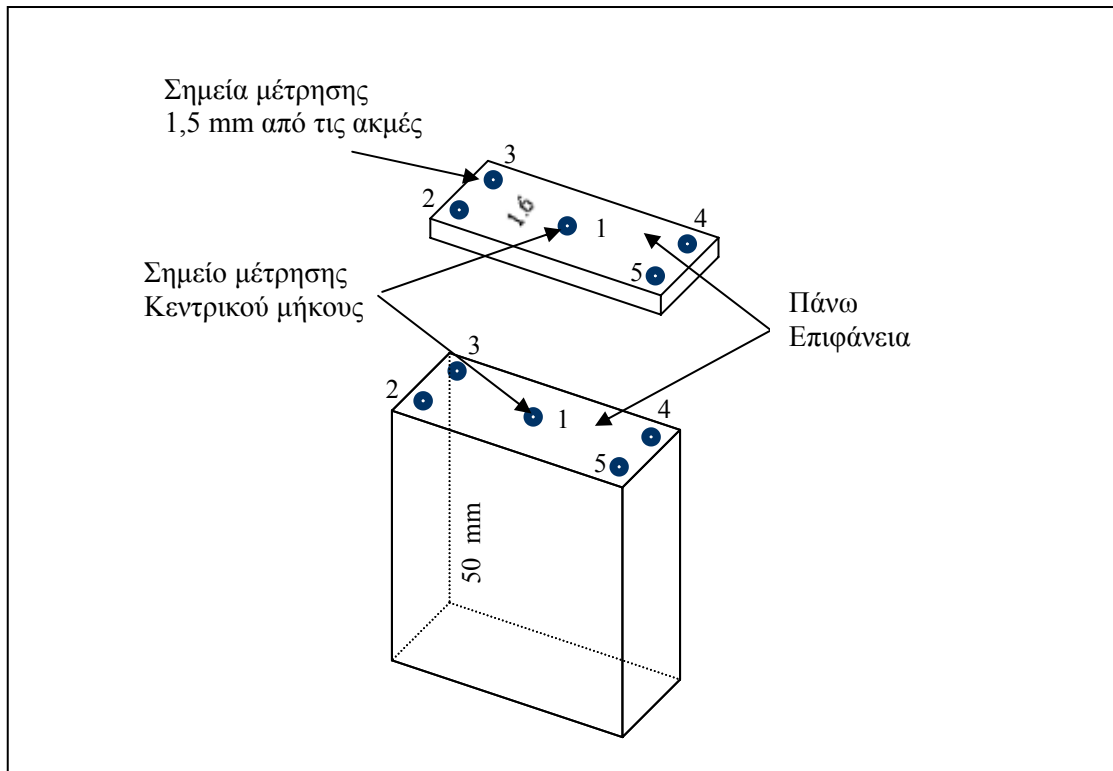
- Να συντάξει το πρωτόκολλο της διεργασηριακής.
- Να διαθέσει τα απαραίτητα προς μέτρηση πρότυπα.
- Να διακριβώσει τα προς μέτρηση πρότυπα στην αρχή και στο τέλος της διεργασηριακής.
- Να συγκεντρώσει και να επεξεργαστεί τα αποτελέσματα από τα συμμετέχοντα εργαστήρια.
- Να συντάξει την αναφορά των αποτελεσμάτων και να την κοινοποιήσει στα συμμετέχοντα εργαστήρια.

Τα στοιχεία των προς μέτρηση πλακιδίων αναφέρονται στο Πίνακα 2. Τα πρότυπα πλακίδια μήκους κατά την παραλαβή τους έπρεπε να καθαριστούν και να ελεγχθούν με προσοχή για τυχόν χτυπήματα, χαραγματιές και στίγματα σκουριάς χωρίς σε καμία περίπτωση να επιχειρηθεί επιδιόρθωση ή γυάλισμα των επιφανειών τους.

Πίνακας 2. Πρότυπα πλακίδια προς διακρίβωση

Ονομαστικό Μήκος	Αριθμός Σειράς	Συντελεστής Διαστολής
1 mm	94646	$(11.5 \pm 1) 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
5 mm	93050	$(11.5 \pm 1) 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
10 mm	94501	$(11.5 \pm 1) 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
50 mm	93117	$(11.5 \pm 1) 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
100 mm	94092	$(11.5 \pm 1) 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

## 2.2 Διαδικασία μετρήσεων



Σχήμα 1. Σημεία μέτρησης

Μετά τον καθαρισμό τους και πριν την έναρξη των μετρήσεων, τα πλακίδια έπρεπε να παραμείνουν στο χώρο του εργαστηρίου για χρόνο αρκετό ώστε να σταθεροποιηθεί η θερμοκρασία τους.

Η θερμοκρασία των πλακιδίων έπρεπε να καταγραφεί στην αρχή και στο τέλος της μέτρησης.

Η μέτρηση του μήκους των πλακιδίων πραγματοποιήθηκε από το κάθε εργαστήριο με μηχανικό συγκριτή χρησιμοποιώντας τα δικά του πρότυπα αναφοράς και ακολουθώντας τις διαδικασίες διακρίβωσης όπως προβλέπεται από το σύστημα ποιότητάς του.

Οι παρακάτω μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν για κάθε πλακίδιο μήκους:

- Απόκλιση του κεντρικού μήκους του πλακιδίου από την ονομαστική του τιμή, μέτρηση στο Σημείο 1 (Σ1 - κέντρο πλακιδίου), βλ. Σχήμα 1.
- Απόκλιση του μήκους στα σημεία Σ2, Σ3, Σ4, Σ5 από το κεντρικό μήκος (Σημείο 1, Σ1).

Τα πλακίδια τοποθετήθηκαν στο συγκριτή όπως φαίνονται στο Σχήμα 1:

- 1 mm, και 5 mm – Η μετρητική επιφάνεια με την χαραγμένη ονομαστική τιμή του πλακιδίου έβλεπε προς τα επάνω με την ονομαστική τιμή να βρίσκεται στην αριστερή πλευρά όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.

- 10 mm, 50 mm, και 100 mm – Η πλευρά με την χαραγμένη ονομαστική τιμή του πλακιδίου ήταν κάθετη και προς το μέρος του χειριστή, με την χαραγμένη ονομαστική τιμή να βρίσκεται στην αριστερή πλευρά όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.

Μετά το τέλος των μετρήσεων τα πλακίδια έπρεπε να καθαριστούν και να επικαλυφθούν με καθαρή βαζελίνη ή με κατάλληλο λιπαντικό που θα τα προστατέυε από τυχόν οξείδωση και να τοποθετηθούν στην αρχική τους συσκευασία ώστε να αποσταλούν στο επόμενο εργαστήριο.

### **2.3. Υπολογισμός της αβεβαιότητας των μετρήσεων από τα συμμετέχοντα εργαστήρια**

Ο υπολογισμός της αβεβαιότητας της μέτρησης πραγματοποιήθηκε με βάση το διεθνές πρότυπο ISO "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement", 1995<sup>1</sup>. Ο υπολογισμός περιείχε τους όρους που περιγράφουν οι διαδικασίες διακρίβωσης του κάθε εργαστηρίου.

Ενδεικτικά αναφέρουμε μερικούς παράγοντες που συμπεριλήφθηκαν στον υπολογισμό της αβεβαιότητας σχεδόν από όλα τα εργαστήρια:

Αβεβαιότητα

- μετρούμενης τιμής.
- του μήκους του προτύπου αναφοράς.
- της μεταβολής του μήκους του πλακιδίου από την τελευταία διακρίβωση.
- του συντελεστή διαστολής.
- της θερμοκρασίας των πλακιδίων
- της επαναληψιμότητας
- γραμμικότητας και ευαισθησίας συγκριτή
- λόγω της ποιότητας των προς μέτρηση επιφανειών (χαραγές, στίγματα, ανωμαλίες)

### 3. Ανάλυση αποτελεσμάτων

#### 3.1 Απόκλιση κεντρικού μήκους από την ονομαστική τιμή

Για κάθε πλακίδιο η απόκλιση του κεντρικού μήκους τους από την ονομαστική τιμή ( $x_i = \Delta l_i$ ) και η αβεβαιότητα της απόκλισης αυτής ( $u_i$ ) αναφέρθηκαν από κάθε εργαστήριο που μετείχε στη διεργαστηριακή.

Η τιμή αναφοράς ( $x_{ref}$ ) της απόκλισης του κεντρικού μήκους από την ονομαστική τιμή υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα των μετρήσεων όλων των εργαστηρίων και υπολογίζοντας τον σταθμισμένο μέσο όρο (weighted-mean) των αποτελεσμάτων αυτών<sup>3-5</sup>:

$$x_{ref} = \Delta l_{mean} = \frac{\sum_i (1/u_i)^2 x_i}{\sum_i (1/u_i)^2} \quad (1)$$

Η αβεβαιότητα της τιμής αναφοράς δίνεται από:

$$u^2(x_{ref}) = u^2(\Delta l_{mean}) = \left( \sum_i (1/u_i)^2 \right)^{-1} \quad (2)$$

Για τον έλεγχο του βαθμού της ισοδυναμίας των αποτελεσμάτων (degree of equivalence) υπολογίζεται στη συνέχεια η διαφορά:

$$d_i = x_i - x_{ref} = \Delta l_i - \Delta l_{mean} \quad (3)$$

Της οποίας η αβεβαιότητα  $u(d_i)$  αφού λάβουμε υπόψη και την συσχέτιση μεταξύ  $x_i$  και  $x_{ref}$  δίνεται από:

$$u(d_i) = \sqrt{u^2(x_i) - u^2(\Delta l_{mean})} \quad (4)$$

Τα αποτελέσματα μεταξύ των εργαστηρίων θεωρούνται συμβατά μεταξύ τους (consistent) με βεβαιότητα ~95% όταν

$$|E_j| = \left| \frac{d_j}{ku(d_j)} \right| < 1, \text{ για } k=2 \quad (5)$$

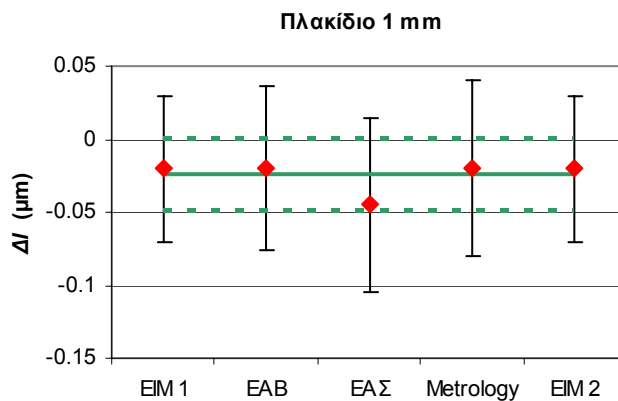
Στους Πίνακες 3 έως και 7 καθώς και στα Σχήματα 2 έως και 6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που αφορούν την απόκλιση του ονομαστικού μήκους από την ονομαστική του τιμή σύμφωνα με την παραπάνω ανάλυση για κάθε πλακίδιο μήκους. Στους πίνακες καθώς και στα σχήματα για λόγους απλότητας και παρουσίασης αντί για τις τυπικές αβεβαιότητες αναφέρονται οι διευρυμένες αβεβαιότητες  $U_i = ku_i$ , για  $k=2$ .

Σε όλα τα σχήματα με συνεχόμενη γραμμή απεικονίζεται η τιμή αναφοράς ενώ με διακεκομμένες γραμμές η αβεβαιότητα αυτής  $\pm U(\Delta l_{mean})$  ( $k=2$ ). Για κάθε σημείο η διευρυμένη αβεβαιότητα ( $k=2$ ) απεικονίζεται στα διαστήματα σφάλματος,  $\pm U_i$ .

Όπως προκύπτει από την ανάλυση των αποτελεσμάτων, τα αποτελέσματα όλων των μετρήσεων που αφορούν το κεντρικό μήκος είναι απολύτως συμβατά μεταξύ τους.

Πίνακας 3. Αποτελέσματα κεντρικού μήκους πλακιδίου 1 mm

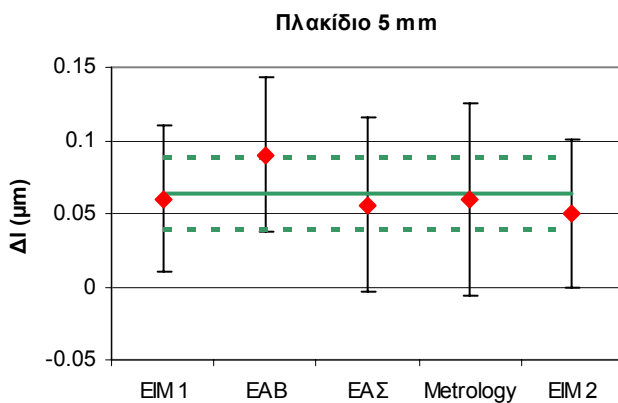
	<b>EIM 1</b>	<b>EAB</b>	<b>ΕΑΣ</b>	<b>Metrology</b>	<b>EIM 2</b>
$\Delta l$ ( $\mu\text{m}$ ):	-0.02	-0.02	-0.045	-0.02	-0.02
$Uc(\Delta l)(k=2)$ ( $\mu\text{m}$ ):	0.05	0.056	0.06	0.06	0.05
$\Delta l_{mean}$ ( $\mu\text{m}$ ):	-0.024	-0.024	-0.024	-0.024	-0.024
$U(\Delta l_{mean})$ ( $\mu\text{m}$ ):	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024
$d=\Delta l-\Delta l_{mean}(\mu\text{m})$ :	0.004	0.004	-0.021	0.004	0.004
$U(d)(\mu\text{m})$ :	0.044	0.050	0.055	0.055	0.044
$Ej=d/U(d)$	0.10	0.08	-0.38	0.08	0.10



Σχήμα 2. Αποτελέσματα κεντρικού μήκους πλακιδίου 1mm.

Πίνακας 4. Αποτελέσματα κεντρικού μήκους πλακιδίου 5 mm

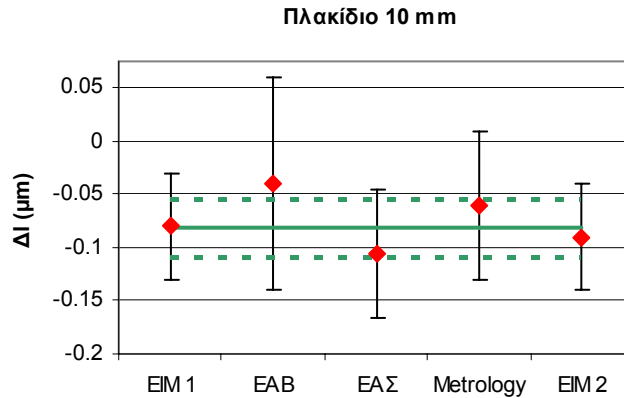
	<b>EIM 1</b>	<b>EAB</b>	<b>ΕΑΣ</b>	<b>Metrology</b>	<b>EIM 2</b>
$\Delta l$ ( $\mu\text{m}$ ):	0.06	0.09	0.056	0.06	0.05
$Uc(\Delta l)(k=2)$ ( $\mu\text{m}$ ):	0.05	0.053	0.06	0.066	0.05
$\Delta l_{mean}$ ( $\mu\text{m}$ ):	0.063	0.063	0.063	0.063	0.063
$U(\Delta l_{mean})$ ( $\mu\text{m}$ ):	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
$d=\Delta l-\Delta l_{mean}(\mu\text{m})$ :	-0.003	0.027	-0.007	-0.003	-0.013
$U(d)(\mu\text{m})$ :	0.044	0.047	0.055	0.061	0.044
$Ej=d/U(d)$	-0.08	0.57	-0.13	-0.05	-0.31



Σχήμα 3. Αποτελέσματα κεντρικού μήκους πλακιδίου 5 mm.

Πίνακας 5. Αποτελέσματα κεντρικού μήκους πλακιδίου 10 mm

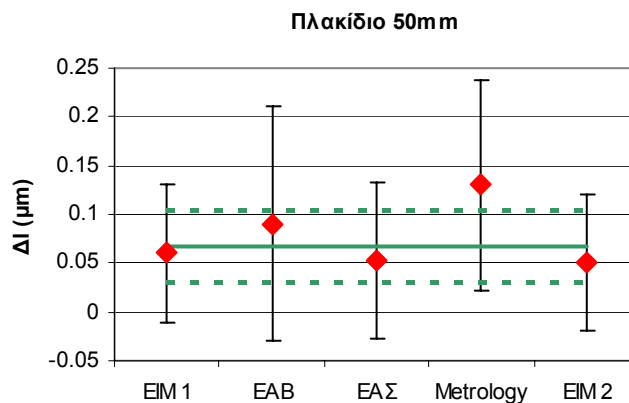
	<b>EIM 1</b>	<b>EAB</b>	<b>ΕΑΣ</b>	<b>Metrology</b>	<b>EIM 2</b>
$\Delta l$ ( $\mu\text{m}$ ):	-0.08	-0.04	-0.106	-0.06	-0.09
$U_c(\Delta l)(k=2)$ ( $\mu\text{m}$ ):	0.05	0.099	0.06	0.07	0.05
$\Delta l_{mean}$ ( $\mu\text{m}$ ):	-0.082	-0.082	-0.082	-0.082	-0.082
$U(\Delta l_{mean})$ ( $\mu\text{m}$ ):	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027
$d=\Delta l-\Delta l_{mean}(\mu\text{m})$ :	0.002	0.042	-0.024	0.022	-0.008
$U(d)(\mu\text{m})$ :	0.042	0.095	0.054	0.065	0.042
$E_j=d/U(d)$	0.05	0.44	-0.44	0.34	-0.18



Σχήμα 4. Αποτελέσματα κεντρικού μήκους πλακιδίου 10 mm.

Πίνακας 6. Αποτελέσματα κεντρικού μήκους πλακιδίου 50 mm

	<b>EIM 1</b>	<b>EAB</b>	<b>ΕΑΣ</b>	<b>Metrology</b>	<b>EIM 2</b>
$\Delta l$ ( $\mu\text{m}$ ):	0.06	0.09	0.052	0.13	0.05
$U_c(\Delta l)(k=2)$ ( $\mu\text{m}$ ):	0.07	0.12	0.08	0.108	0.07
$\Delta l_{mean}$ ( $\mu\text{m}$ ):	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067
$U(\Delta l_{mean})$ ( $\mu\text{m}$ ):	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037
$d=\Delta l-\Delta l_{mean}(\mu\text{m})$ :	-0.007	0.023	-0.015	0.063	-0.017
$U(d)(\mu\text{m})$ :	0.059	0.114	0.071	0.101	0.059
$E_j=d/U(d)$	-0.11	0.20	-0.21	0.62	-0.28

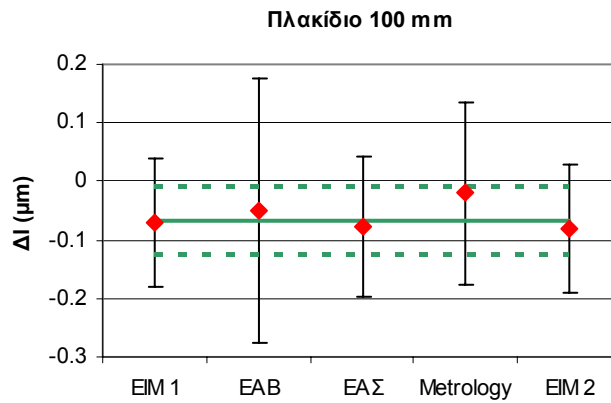


Σχήμα 5. Αποτελέσματα κεντρικού μήκους πλακιδίου 50 mm.



Πίνακας 7. Αποτελέσματα κεντρικού μήκους πλακιδίου 100 mm

	<b>EIM 1</b>	<b>EAB</b>	<b>ΕΑΣ</b>	<b>Metrology</b>	<b>EIM 2</b>
$\Delta l$ ( $\mu\text{m}$ ):	-0.07	-0.05	-0.077	-0.02	-0.08
$Uc(\Delta l)(k=2)$ ( $\mu\text{m}$ ):	0.11	0.225	0.12	0.156	0.11
$\Delta l_{mean}$ ( $\mu\text{m}$ ):	-0.066	-0.066	-0.066	-0.066	-0.066
$U(\Delta l_{mean})$ ( $\mu\text{m}$ ):	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058
$d=\Delta l-\Delta l_{mean}(\mu\text{m})$ :	-0.004	0.016	-0.011	0.046	-0.014
$U(d)(\mu\text{m})$ :	0.093	0.217	0.105	0.145	0.093
$Ej=d/U(d)$	-0.04	0.07	-0.10	0.32	-0.15



Σχήμα 6. Αποτελέσματα κεντρικού μήκους πλακιδίου 100 mm.

### 3.2 Διακύμανση μήκους

Εκτός από το κεντρικό μήκος κάθε εργαστήριο ανέφερε και την απόκλιση του μήκους στα σημεία Σ2, Σ3, Σ4, Σ5 από το κεντρικό μήκος (Σημείο 1, Σ1), βλέπε Σχήμα 1. Από τα στοιχεία αυτά υπολογίστηκε η διακύμανση του μήκους του κάθε πλακιδίου,  $v_i$ , σε όλη του την επιφάνεια (variation in length)<sup>2</sup>:

$$v_i = \max(\Sigma 1_i, \Sigma 2_i, \Sigma 3_i, \Sigma 4_i, \Sigma 5_i) - \min(\Sigma 1_i, \Sigma 2_i, \Sigma 3_i, \Sigma 4_i, \Sigma 5_i) \quad (6)$$

Η αβεβαιότητα της διακύμανσης του μήκους  $u(v_i)$  υπολογίστηκε από τις αβεβαιότητες που ανέφεραν τα εργαστήρια για την μέτρηση του κεντρικού μήκους του κάθε πλακιδίου, αφαιρώντας τους όρους που αφορούν το μήκος του προτύπου αναφοράς και της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ του προτύπου και του προς διακρίβωση πλακιδίου.

Ο υπολογισμός των τιμών  $v_{ref} = v_{mean}$ ,  $u(v_{mean})$ ,  $dv = v_i - v_{mean}$  and  $E_j$  έγιναν σύμφωνα με την ανάλυση που παρουσιάζεται στην προηγούμενη παράγραφο<sup>3-5</sup>.

Στους Πίνακες 8 έως και 12 καθώς και στα Σχήματα 7 έως και 11 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που αφορούν την διακύμανση του μήκους του κάθε πλακιδίου σύμφωνα με την παραπάνω ανάλυση για κάθε πλακίδιο μήκους. Στους πίνακες καθώς και στα σχήματα για λόγους απλότητας και παρουσίας αντί για τις τυπικές αβεβαιότητες αναφέρονται οι διευρυμένες αβεβαιότητες  $U_i = k u_i$ , για  $k=2$ .

Σε όλα τα σχήματα με συνεχόμενη γραμμή απεικονίζεται η τιμή αναφοράς ενώ με διακεκομμένες γραμμές η αβεβαιότητα αυτής  $\pm U(v_{mean})$  ( $k=2$ ). Για κάθε σημείο η διευρυμένη αβεβαιότητα ( $k=2$ ) απεικονίζεται στα διαστήματα σφάλματος,  $\pm U_i$ .

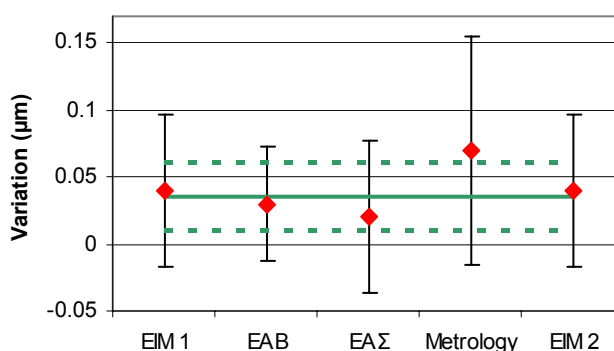
Όπως προκύπτει από την ανάλυση των αποτελεσμάτων, με εξαίρεση ενός, τα αποτελέσματα όλων των μετρήσεων που αφορούν την διακύμανση του μήκους είναι απολύτως συμβατά μεταξύ τους. Η απόκλιση του ενός αυτού σημείου είναι απόλυτα δικαιολογημένη μια και όλη η στατιστική ανάλυση γίνεται για διάστημα εμπιστοσύνης ~95%, έτσι θα περίμενε κανείς από τα 50 τελικά αποτελέσματα που αναφέρονται από τα εργαστήρια 2-3 να μην συμπεριλαμβάνονται στο διάστημα αυτό.

Αλλάζοντας το διάστημα εμπιστοσύνης της στατιστικής ανάλυσης από ~95% σε ~99% ( $k=3$ ) όλα τα αποτελέσματα είναι απολύτως συμβατά μεταξύ τους και άρα καμία διορθωτική ενέργεια δεν απαιτείται από το εν λόγω εργαστήριο.

Πίνακας 8. Αποτελέσματα διακύμανσης μήκους πλακιδίου 1 mm

	<b>EIM 1</b>	<b>EAB</b>	<b>ΕΑΣ</b>	<b>Metrology</b>	<b>EIM 2</b>
<b><math>\Sigma 2 - \Sigma 1</math> (<math>\mu\text{m}</math>):</b>	-0.01	-0.01	0	0.04	0
<b><math>\Sigma 3 - \Sigma 1</math> (<math>\mu\text{m}</math>):</b>	0	-0.01	0	-0.02	0
<b><math>\Sigma 4 - \Sigma 1</math> (<math>\mu\text{m}</math>):</b>	-0.03	-0.03	-0.02	-0.03	-0.04
<b><math>\Sigma 5 - \Sigma 1</math> (<math>\mu\text{m}</math>):</b>	-0.04	-0.03	-0.02	0.02	-0.04
<b>Variation V (<math>\mu\text{m}</math>):</b>	0.04	0.03	0.02	0.07	0.04
<b><math>Uv(k=2)</math> (<math>\mu\text{m}</math>):</b>	0.06	0.04	0.06	0.08	0.06
<b><math>V_{mean}</math> (<math>\mu\text{m}</math>):</b>	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035
<b><math>U(V_{mean})</math> (<math>\mu\text{m}</math>):</b>	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
<b><math>dv=V-V_{mean}</math> (<math>\mu\text{m}</math>):</b>	0.005	-0.005	-0.015	0.035	0.005
<b><math>U(dv)</math> (<math>\mu\text{m}</math>):</b>	0.051	0.034	0.051	0.081	0.051
<b><math>Ej=dv/U(dv)</math></b>	0.09	-0.15	-0.30	0.43	0.09

Πλακίδιο 1 mm

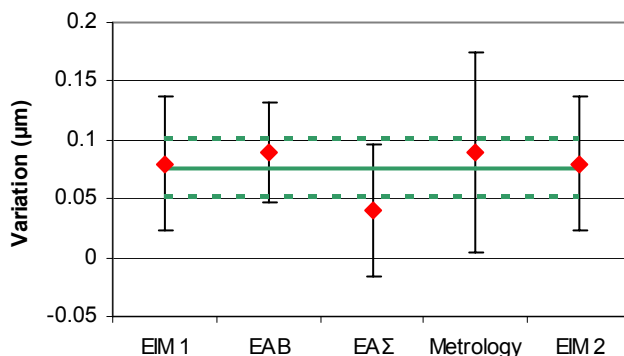


Σχήμα 7. Αποτελέσματα διακύμανσης μήκους πλακιδίου 1 mm.

Πίνακας 9. Αποτελέσματα διακύμανσης μήκους πλακιδίου 5 mm

	<b>EIM 1</b>	<b>EAB</b>	<b>ΕΑΣ</b>	<b>Metrology</b>	<b>EIM 2</b>
<b><math>\Sigma 2 - \Sigma 1</math> (<math>\mu\text{m}</math>):</b>	0.02	0.03	0.01	0.03	0.02
<b><math>\Sigma 3 - \Sigma 1</math> (<math>\mu\text{m}</math>):</b>	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.01
<b><math>\Sigma 4 - \Sigma 1</math> (<math>\mu\text{m}</math>):</b>	-0.06	-0.06	-0.03	-0.06	-0.06
<b><math>\Sigma 5 - \Sigma 1</math> (<math>\mu\text{m}</math>):</b>	-0.03	-0.03	-0.02	0.01	-0.03
<b>Variation V (<math>\mu\text{m}</math>):</b>	0.08	0.09	0.04	0.09	0.08
<b><math>Uv(k=2)</math> (<math>\mu\text{m}</math>):</b>	0.06	0.04	0.06	0.08	0.06
<b><math>V_{mean}</math> (<math>\mu\text{m}</math>):</b>	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077
<b><math>U(V_{mean})</math> (<math>\mu\text{m}</math>):</b>	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
<b><math>dv=V-V_{mean}</math> (<math>\mu\text{m}</math>):</b>	0.003	0.013	-0.037	0.013	0.003
<b><math>U(dv)</math> (<math>\mu\text{m}</math>):</b>	0.051	0.034	0.051	0.081	0.051
<b><math>Ej=dv/U(dv)</math></b>	0.07	0.39	-0.72	0.17	0.07

Πλακίδιο 5 mm

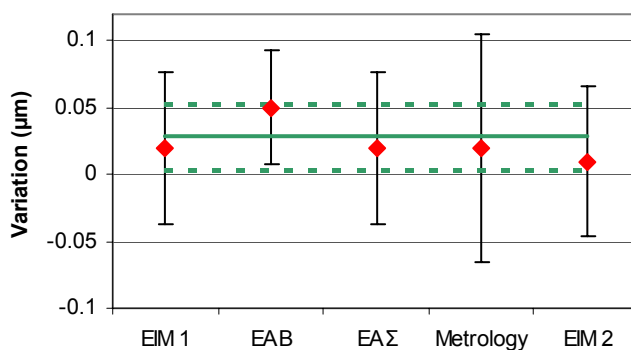


Σχήμα 8. Αποτελέσματα κεντρικού μήκους πλακιδίου 5 mm.

Πίνακας 10. Αποτελέσματα διακύμανσης μήκους πλακιδίου 10 mm

	<b>EIM 1</b>	<b>EAB</b>	<b>ΕΑΣ</b>	<b>Metrology</b>	<b>EIM 2</b>
<b><math>\Sigma 2 - \Sigma 1</math> (<math>\mu\text{m}</math>):</b>	0.01	-0.01	-0.01	0	0
<b><math>\Sigma 3 - \Sigma 1</math> (<math>\mu\text{m}</math>):</b>	0.01	0	-0.01	0	0
<b><math>\Sigma 4 - \Sigma 1</math> (<math>\mu\text{m}</math>):</b>	0.02	0.04	0.01	0.01	0.01
<b><math>\Sigma 5 - \Sigma 1</math> (<math>\mu\text{m}</math>):</b>	0.01	0.01	0	0.02	0.01
<b>Variation V (<math>\mu\text{m}</math>):</b>	0.02	0.05	0.02	0.02	0.01
<b><math>Uv(k=2)</math> (<math>\mu\text{m}</math>):</b>	0.06	0.04	0.06	0.08	0.06
<b><math>V_{mean}</math> (<math>\mu\text{m}</math>):</b>	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028
<b><math>U(V_{mean})</math> (<math>\mu\text{m}</math>):</b>	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
<b><math>dv=V-V_{mean}</math> (<math>\mu\text{m}</math>):</b>	-0.008	0.022	-0.008	-0.008	-0.018
<b><math>U(dv)</math> (<math>\mu\text{m}</math>):</b>	0.051	0.034	0.051	0.081	0.051
<b><math>Ej=dv/U(dv)</math></b>	-0.16	0.63	-0.16	-0.10	-0.36

Πλακίδιο 10 mm

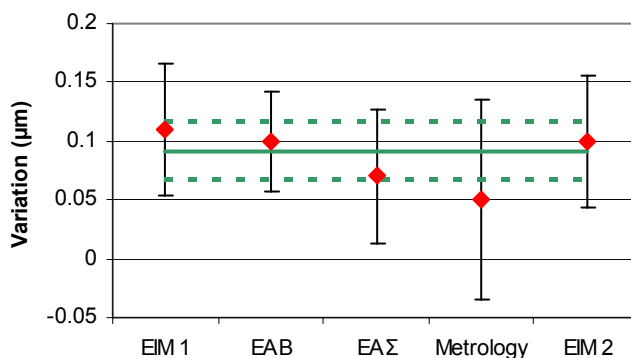


Σχήμα 9. Αποτελέσματα διακύμανσης μήκους πλακιδίου 10 mm.

Πίνακας 11. Αποτελέσματα διακύμανσης μήκους πλακιδίου 50 mm

	<b>EIM 1</b>	<b>EAB</b>	<b>ΕΑΣ</b>	<b>Metrology</b>	<b>EIM 2</b>
<b><math>\Sigma 2 - \Sigma 1</math> (<math>\mu\text{m}</math>):</b>	0.08	0.05	0.06	0.03	0.07
<b><math>\Sigma 3 - \Sigma 1</math> (<math>\mu\text{m}</math>):</b>	0.11	0.1	0.07	0.05	0.1
<b><math>\Sigma 4 - \Sigma 1</math> (<math>\mu\text{m}</math>):</b>	0.05	0.04	0.03	0.03	0.05
<b><math>\Sigma 5 - \Sigma 1</math> (<math>\mu\text{m}</math>):</b>	0	0	0.01	0.02	0
<b>Variation V (<math>\mu\text{m}</math>):</b>	0.11	0.1	0.07	0.05	0.1
<b><math>Uv(k=2)</math> (<math>\mu\text{m}</math>):</b>	0.06	0.04	0.06	0.08	0.06
<b><math>V_{mean}</math> (<math>\mu\text{m}</math>):</b>	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092
<b><math>U(V_{mean})</math> (<math>\mu\text{m}</math>):</b>	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
<b><math>dv=V-V_{mean}</math> (<math>\mu\text{m}</math>):</b>	0.018	0.008	-0.022	-0.042	0.008
<b><math>U(dv)</math> (<math>\mu\text{m}</math>):</b>	0.051	0.034	0.051	0.081	0.051
<b><math>Ej=dv/U(dv)</math></b>	0.36	0.23	-0.43	-0.52	0.16

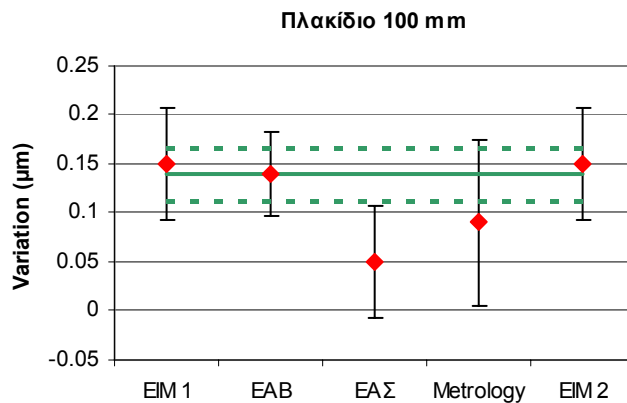
Πλακίδιο 50 mm



Σχήμα 10. Αποτελέσματα κεντρικού μήκους πλακιδίου 50 mm.

Πίνακας 12. Αποτελέσματα διακύμανσης μήκους πλακιδίου 100 mm

	EIM 1	EAB	ΕΑΣ	Metrology	EIM 2
$\Sigma 2 - \Sigma 1$ ( $\mu\text{m}$ ):	-0.01	-0.01	0.01	-0.01	-0.01
$\Sigma 3 - \Sigma 1$ ( $\mu\text{m}$ ):	0.06	0.04	0.02	0.04	0.06
$\Sigma 4 - \Sigma 1$ ( $\mu\text{m}$ ):	0.14	0.13	0.05	0.08	0.14
$\Sigma 5 - \Sigma 1$ ( $\mu\text{m}$ ):	0.12	0.12	0.04	0.05	0.12
Variation V ( $\mu\text{m}$ ):	0.15	0.14	0.05	0.09	0.15
$Uv(k=2)$ ( $\mu\text{m}$ ):	0.06	0.04	0.06	0.08	0.06
$V_{mean}$ ( $\mu\text{m}$ ):	0.139	0.139	0.139	0.139	0.139
$U(V_{mean})$ ( $\mu\text{m}$ ):	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028
$dv=V-V_{mean}$ ( $\mu\text{m}$ ):	0.011	0.001	-0.089	-0.049	0.011
$U(dv)$ ( $\mu\text{m}$ ):	0.049	0.032	0.049	0.080	0.049
$Ej=U(dv)/U(dv)$	0.21	0.02	-1.81	-0.62	0.21



Σχήμα 11. Αποτελέσματα διακύμανσης μήκους πλακιδίου 100 mm.

#### 4. Σύνοψη - Συμπεράσματα

Στο δεύτερο εξάμηνο του 2006 πραγματοποιήθηκε και ολοκληρώθηκε η πρώτη διεργαστηριακή μεταξύ εργαστηρίων που δραστηριοποιούνται στις μετρήσεις πλακιδίων με μηχανικό συγκριτή στον Ελληνικό χώρο με πιλοτικό εργαστήριο το εργαστήριο διαστατικών του Ελληνικού Ινστιτούτου Μετρολογίας.

Τα αποτελέσματα που αναφέρθηκαν από τα συνολικά τέσσερα εργαστήρια που μετείχαν αφορούσαν την απόκλιση του κεντρικού μήκους του κάθε πλακιδίου από την ονομαστική του τιμή καθώς και την διακύμανση του μήκους από άκρη σε άκρη του κάθε πλακιδίου σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα.

Μετά από την στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων ο έλεγχος του βαθμού της ισοδυναμίας των αποτελεσμάτων (degree of equivalence) καθώς και της συμβατότητας τους (consistency) απέδειξε ότι όλα τα αποτελέσματα είναι απολύτως συμβατά μεταξύ τους, με την στατιστική έννοια του όρου, και καμία διορθωτική ενέργεια δεν απαιτείται από κανένα από τα συμμετέχοντα εργαστήρια.

## Βιβλιογραφικές Αναφορές

- [1] ISO, *Guide to the expression of uncertainty in measurement*. (International Organization for Standardization, 1995).
- [2] ISO 3650, *Geometrical product specification (GPS) - Length standards - Gauge blocks* (International Organization for Standardization, 1998).
- [3] K. Beissner, *On a measure of consistency in comparison measurements*, *Metrologia* **39**, 59 (2002).
- [4] G. Ratel, *Evaluation of the uncertainty of the degree of equivalence*, *Metrologia* **42**, 140 (2005).
- [5] C. M. Wang and H. K. Iyer, *Detection of influential observations in the determination of the weighted-mean KCRV*, *Metrologia* **42**, 262 (2005).