

<b>ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ</b>	<b>Κωδικός ΟΕ-12</b>	<b>Υπολογισμός Αβεβαιότητας των μετρήσεων</b>		
		<b>Αρ. Έκδοσης 1.4</b>	<b>Ημερομηνία Έκδοσης 24/11/2008</b>	<b>Σελίδα 1/14</b>

## Παράρτημα VII:

### «ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΟΕ-11»

#### A. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Η μέτρηση αξόνων 0-100 mm διενεργείται σύμφωνα με τη οδηγία εργασίας ΟΕ.11 και προσδιορίζεται με τη μηχανή ULM OPAL 600, γνωστής αβεβαιότητας. Η διαδικασία υπολογισμού που περιγράφεται σε αυτό το Παράρτημα υλοποιείται με τη βοήθεια ήδη αντίστοιχου λογιστικού φύλλου. Στο παρόν παράδειγμα, υπολογίζεται το μήκος και η αβεβαιότητα ενός πλακιδίου, Grade 0, ονομαστικού μήκους 90 mm (βλ. Αρχείο Μετρήσεων). Η μέτρηση του πλακιδίου υλοποιείται με σύγκρισή του με διακριβωμένο πρότυπο πλακίδιο αναφοράς (ΠΑ.01 – 90 mm) διακριβωμένου μήκους 89.999942 mm .

#### A1. Συμβολισμοί:

$l_x$ : το άγνωστο μήκος στη θερμοκρασία αναφοράς

$\alpha$ : ο συντελεστής θερμικής διαστολής

$l_s$ : Το διακριβωμένο μήκος του προτύπου αναφοράς

L: Το ονομαστικό μήκος της μετρούμενης ποσότητας σε mm

$\Delta t$ : Η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ δοκιμίου και προτύπου

$\Delta T$ : Η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της μέσης θερμοκρασίας μέτρησης και της θερμοκρασίας αναφοράς

$\delta$ : Το σύμβολο που αφορά τις διορθώσεις που απαιτούνται για την κάθε παράμετρο

$\nu$ : Οι βαθμοί ελευθερίας

$u$ : Η τυπική αβεβαιότητα

$u_c$ : Η συνδυασμένη τυπική αβεβαιότητα

$U$ : Η Διευρυμένη αβεβαιότητα

<b>ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ</b>	<b>Κωδικός ΟΕ-12</b>	<b>Υπολογισμός Αβεβαιότητας των μετρήσεων</b>		
		<b>Αρ. Έκδοσης 1.4</b>	<b>Ημερομηνία Έκδοσης 24/11/2008</b>	<b>Σελίδα 2/14</b>

A2. Παραδοχές:

- Συντελεστής θερμικής διαστολής σε δοκίμια σκληρυμμένου χάλυβα λαμβάνεται  $\alpha=11,5 \times 10^{-6} / \text{oC}$ , εκτός αν αναφέρεται διαφορετικά.
- Οι παράμετροι που συμμετέχουν στη διαδικασία μέτρησης και συνεισφέρουν στην αβεβαιότητα δεν συσχετίζονται μεταξύ τους (ανεξάρτητοι).

## B. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΗΓΩΝ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ

Οι πηγές αβεβαιότητας που εμπλέκονται στη μέτρηση αφορούν τα όργανα μέτρησης, την διαδικασία της μέτρησης και τις συνθήκες μέτρησης, όπως αυτές διακρίνονται αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα:

<b>Παράμετροι – Πηγές Αβεβαιότητας</b>
1. Αναπαραγωγιμότητα μετρήσεων ( $l_R$ )
2. Πρότυπο αναφοράς ( $l_S$ )
3. Πιστοποιητικό διακρίβωσης μηχανής ( $\delta l_m$ )
4. Αποκλίσεις θερμοκρασίας ( $\delta l_T$ )
5. Γεωμετρία ακίδων επαφής ( $\delta l_g$ )
6. Ελαστική παραμόρφωση κατά τη μέτρηση ( $\delta l_e$ )
7. Σφάλμα ευθυγράμμισης ακίδων επαφής ( $\delta l_a$ )
8. Κλίση της τράπεζας εργασίας ( $\delta l_b$ )
9. Διακύμανση του μήκους του πλακιδίου ( $\delta l_v$ )

### Διορθώσεις

Σύμφωνα με τις διορθώσεις που πρέπει να γίνουν, η ζητούμενη διάσταση υπολογίζεται από τη σχέση:

$$l_x = l_s + \delta l + \delta l_m + \delta l_T + \delta l_g + \delta l_e + \delta l_a + \delta l_v$$

Όπου  $\delta l_T = L \cdot (a \cdot \delta t + \delta a \cdot \delta T)$  οι διορθώσεις λόγω της επιδράσεως των θερμοκρασιακών αποκλίσεων σε συνάρτηση με τις αποκλίσεις των συντελεστών θερμικής διαστολής.

Σημείωση : Η μηχανή ULM OPAL 600 μετατρέπει απευθείας την διαφορά μήκους ( $\delta l$ ) σε απόλυτη ένδειξη ( $l$ ) ως εξής :  $l_R = l_s + \delta l$

Αποτίμηση συντελεστών ευαισθησίας :

Η συνεισφορά κάθε παραμέτρου στη αβεβαιότητα υπολογίζεται μέσω των συντελεστών ευαισθησίας. Ο υπολογισμός των συντελεστών ευαισθησίας γίνεται με παραγωγή της συνάρτησης του  $l_x$  με την αντίστοιχη παράμετρο και προκύπτει πως για κάθε παράμετρο  $c_i = 1$ .

**Γ. ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ**

Γ.1. Αναπαραγωγιμότητα ( $l_R$ ) - Τύπου Α

Για τον υπολογισμό υλοποιούνται n=30 μετρήσεις σε διάστημα τριών ημερών. Από τις μετρήσεις υπολογίζεται η τυπική απόκλιση ως εξής:

Μετρήσεις i	$\bar{l}_R$	Τυπική απόκλιση $\sigma_x$
1	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n l_i = 90,00036$	$\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (l_i - \bar{l})^2}$
2		
3		
...		
N		

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των μετρήσεων η τυπική αβεβαιότητα υπολογίζεται τελικά:

<b>ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ</b>	<b>Κωδικός ΟΕ-12</b>	<b>Υπολογισμός Αβεβαιότητας των μετρήσεων</b>		
		<b>Αρ. Έκδοσης 1.4</b>	<b>Ημερομηνία Έκδοσης 24/11/2008</b>	<b>Σελίδα 4/14</b>

$$u(l_R) = \sigma_l \cdot 10^6 = 100 \text{ (nm)}$$

Με συνολική συνεισφορά στη συνολική αβεβαιότητα :  $u_1(l_x) = |c_{l_R}| \cdot u(l_R) = 100 \text{ nm}$

και βαθμούς ελευθερίας  $\nu_1 = n - 1 = 29$

Γ.2. Αβεβαιότητα προτύπου αναφοράς ( $l_s$ ) - Τύπου Β

Από το πιστοποιητικό διακρίβωσης του προτύπου (ΠΑ.01 – 90 mm) δεχόμαστε αβεβαιότητα  $U=0.06+0.5L \text{ } \mu\text{m}$  (L σε m) με συντελεστή κάλυψης  $k=2$ . Οπότε η τυπική αβεβαιότητα του μήκους του προτύπου αναφοράς υπολογίζεται :

$$u(l_s) = \frac{U}{k} = \frac{105 \text{ (nm)}}{2} = 53 \text{ (nm)}$$

με συνεισφορά στη συνολική τυπική αβεβαιότητα:  $u_2(l_x) = |c_{l_s}| \cdot u(l_s) = 53 \text{ nm}$

και βαθμούς ελευθερίας  $\nu_2 = \infty$

Γ.3. Πιστοποιητικό διακρίβωσης μηχανής ( $\delta l_m$ ) - Τύπου Β

Από το πιστοποιητικό διακρίβωσης της μηχανής ULM OPAL 600 δίνεται αβεβαιότητα  $U = 0,1 + L / 2000 \text{ } \mu\text{m}$ , με επίπεδο εμπιστοσύνης 95% και συντελεστή κάλυψης  $k_{95}=2$ :

$$u(\delta l_m) = \frac{U}{k} = \frac{0,1 + L / 2000}{2} \cdot 10^3 = 50 + 0,25 \cdot L \text{ nm (L σε mm)}$$

Οπότε η τυπική αβεβαιότητα υπολογίζεται  $u(\delta l_m) = 73 \text{ (nm)}$

με συνεισφορά στη συνολική τυπική αβεβαιότητα:  $u_3(l_x) = |c_{\delta l_m}| \cdot u(\delta l_m) = 73 \text{ nm}$

και βαθμούς ελευθερίας  $\nu_3 = \infty$

<b>ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ</b>	<b>Κωδικός ΟΕ-12</b>	<b>Υπολογισμός Αβεβαιότητας των μετρήσεων</b>		
		<b>Αρ. Έκδοσης 1.4</b>	<b>Ημερομηνία Έκδοσης 24/11/2008</b>	<b>Σελίδα 5/14</b>

Γ.4. Αποκλίσεις θερμοκρασίας - Τύπου Β

Δεχόμαστε ότι η θερμοκρασία του πρότυπο αναφοράς και του δοκιμίου δεν μπορεί να διαφέρουν μεταξύ τους περισσότερο από  $0.1 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $\delta t = \pm 0.1$ ). Επίσης, η διαφορά μεταξύ της μέσης θερμοκρασίας προτύπου και δοκιμίου και της θερμοκρασίας αναφοράς ( $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ) έχει διαπιστωθεί ότι δεν υπερβαίνει τους  $0.5 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $\delta T = \pm 0.5$ ). Για δοκίμια σκληρυμένου χάλυβα δεχόμαστε ότι ο συντελεστής θερμικής διαστολής είναι  $a = (11.5 \pm 1) \cdot 10^{-6} \text{ ppm}$ . Οπότε η διαφορά του συντελεστή θερμικής διαστολής προτύπου και δοκιμίου λαμβάνεται  $\delta a = \pm 2 \cdot 10^{-6} \text{ ppm}$ . Οι παραπάνω παραδοχές, δεχόμενοι ορθογωνική κατανομή, έχουν δύο επιδράσεις στην αβεβαιότητα :

$$\alpha) u_a(\delta l_T) = \frac{L \cdot a \cdot \delta t}{\sqrt{3}} = \frac{L \cdot 11.5 \cdot 0.1}{\sqrt{3}} = 0.664 \cdot L \text{ nm (όπου L σε mm)}$$

και

$$\beta) u_b(\delta l_T) = \frac{L \cdot \delta a \cdot \delta T}{\sqrt{3}} = \frac{L \cdot 2 \cdot 0.5}{\sqrt{3}} = 0.578 \cdot L \text{ nm (όπου L σε mm)}$$

Συνδυαζόμενες οι δυο αυτές επιδράσεις δίνουν :

$$u(\delta l_T) = \sqrt{u_a^2(\delta l_T) + u_b^2(\delta l_T)} = 0.88 \cdot L = 79 \text{ nm}$$

με συνεισφορά στη συνολική τυπική αβεβαιότητα:

$$u_4(l_x) = |c_{\delta l_T}| \cdot u(\delta l_T) = 79 \text{ nm}$$

και βαθμούς ελευθερίας  $\nu_4 = \infty$

Γ.5. Γεωμετρία ακίδων επαφής ( $\delta l_g$ ) - Τύπου Β

Οι ακίδες σφαιρικής επαφής που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση δεχόμαστε ότι μπορεί να έχουν υποστεί κάποια μικρή φθορά από τη χρήση (μόνιμη παραμόρφωση και απώλεια της σφαιρικότητας – δημιουργία μικρής επίπεδης επιφάνειας στο σημείο επαφής). Δεδομένου ότι κατά την επαφή το σφαιρικών ακίδων προκαλείται σημαντική ελαστική παραμόρφωση (βλ. Γ.6.) και σε αυτές και στο δοκίμιο, μπορούμε να δεχθούμε ότι η πλαστική παραμόρφωση (σφάλμα σφαιρικότητας των ακίδων) δεν επηρεάζει σημαντικά τη μέτρηση.

<b>ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ</b>	<b>Κωδικός ΟΕ-12</b>	<b>Υπολογισμός Αβεβαιότητας των μετρήσεων</b>		
		<b>Αρ. Έκδοσης 1.4</b>	<b>Ημερομηνία Έκδοσης 24/11/2008</b>	<b>Σελίδα 6/14</b>

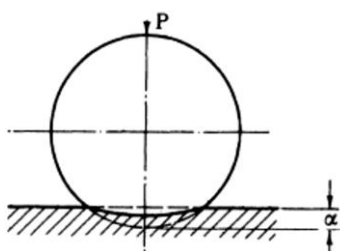
Οπότε θεωρούμε ότι η συνεισφορά στη συνολική τυπική αβεβαιότητα είναι μηδενική:

$$u_5(l_x) = 0 \quad \text{με βαθμούς ελευθερίας} \quad v_5 = \infty$$

Γ.6. Ελαστική παραμόρφωση κατά τη μέτρηση ( $\delta l_e$ ) - Τύπου Β

Κατά τη σύγκριση του προτύπου αναφοράς με το δοκίμιο η εφαρμοζόμενη δύναμη (1.5 Nt) από τις ακίδες επαφής προκαλεί ελαστική παραμόρφωση. Το μέγεθος της παραμόρφωσης μπορεί να υπολογιστεί, κατά αναλογία με την επαφή σφαίρας με επίπεδη επιφάνεια, με τη βοήθεια των εξισώσεων των M. J. Puttock και E. G. Thwaite (Elastic Compression of Spheres and Cylinders at Point and Line Contact, 1969). Στην περίπτωση που το υλικό του προτύπου αναφοράς είναι παρόμοιο με αυτό του δοκιμίου, το σφάλμα λόγω ελαστικής παραμόρφωσης απαλείφεται καθώς μεταφέρεται από το πρότυπο στο δοκίμιο και δεν επηρεάζει το αποτέλεσμα της μέτρησης.

Στην περίπτωση που το μετρούμενο δοκίμιο είναι από διαφορετικό υλικό από ότι το πρότυπο αναφοράς, θα πρέπει να υπολογιστεί μια διόρθωση  $\delta l_e$ . Η διόρθωση αυτή θα προκύπτει από τη διαφορά των δυο διαφορετικών παραμορφώσεων που παρατηρούνται.



Σύμφωνα με τις εξισώσεις των M. J. Puttock και E. G. Thwaite (Elastic Compression of Spheres and Cylinders at Point and Line Contact) η παραμόρφωση υπολογίζεται:

$$a = \frac{(3\pi)^{2/3}}{2} \cdot P^{2/3} \cdot (V_1 + V_2) \cdot \left(\frac{1}{D}\right)^{1/3}$$

Όπου  $a$  η παραμόρφωση,  $P$  η εφαρμοζόμενη δύναμη (gf),  $V = \frac{1-\sigma^2}{\pi \cdot E}$  ( $\text{mm}^2/\text{gf}$ ),  $\sigma$  ο λόγος Poisson

(λόγος εγκάρσιας και ορθής παραμόρφωσης) για το κάθε υλικό,  $E$  το μέτρο ελαστικότητας του κάθε υλικού ( $\text{gf}/\text{mm}^2$ ) και  $D$  η διάμετρος της ακίδας (mm).

<b>ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ</b>	<b>Κωδικός ΟΕ-12</b>	<b>Υπολογισμός Αβεβαιότητας των μετρήσεων</b>		
		<b>Αρ. Έκδοσης</b> 1.4	<b>Ημερομηνία Έκδοσης</b> 24/11/2008	<b>Σελίδα</b> 7/14

Σημείωση:  $1 \text{ Nt/m}^2 = 0.000102 \text{ gf/mm}^2$  και  $1 \text{ Nt} = 101.97 \text{ gf}$

Για την ακίδα σφαιρικής επαφής (Tungsten carbide) γνωρίζουμε από πίνακα ότι  $\sigma=0.28$  και  $E=704 \text{ GPa}$ . Και για το πρότυπο αναφοράς (σκληρυμμένος χάλυβας)  $\sigma=0.29$  και  $E=205 \text{ GPa}$ . Κατά συνέπεια κατά την επαφή του προτύπου με τις δυο ακίδες σφαιρικής επαφής έχουμε παραμόρφωση  $2 \cdot \alpha_1 = 600 \text{ nm}$ .

Ομοίως υπολογίζεται και η παραμόρφωση  $2\alpha_2$  που προκαλείται κατά την επαφή με το μετρούμενο δοκίμιο. Για μερικά συνηθη μέταλλα υπολογίζεται:

Για δοκίμιο από αλουμίνιο  $2\alpha_2 = 1100 \text{ nm}$  οπότε  $\delta l_e = 1100 - 600 = 500(\text{nm})$ .

Για κεραμικό δοκίμιο ισχύουν τα ίδια με το σκληρυμμένο χάλυβα.

Για δοκίμια χαλκού :  $2\alpha_2 = 750 \text{ nm}$  περίπου οπότε  $\delta l_e = 1100 - 750 = 350(\text{nm})$ .

Θεωρώντας ένα σφάλμα στην εκτίμηση των ελαστικών ιδιοτήτων των υλικών, δεχόμαστε ότι η συνολική παραμόρφωση μπορεί να αποκλίνει έως  $\pm 20\%$  από αυτήν που υπολογίσαμε. Οπότε καταλήγουμε στον παρακάτω πίνακα:

<b>Πρότυπο αναφοράς</b>	<b>Δοκίμιο</b>	<b>Διόρθωση</b> $\delta l_e = 2 \cdot (\alpha_2 - \alpha_1)$	<b>Αβεβαιότητα</b> $u_6(l_x) = \frac{2 \cdot (\alpha_1 - \alpha_2) \cdot 20\%}{\sqrt{3}}$
Χάλυβας	Χάλυβας	0	0
Χάλυβας	Αλουμίνιο	0.00050 mm	58 nm
Χάλυβας	Κεραμικό	0	0
Χάλυβας	Χαλκός	0.00035 mm	41 nm

Για το συγκεκριμένο παράδειγμα έχουμε  $u_6(l_x) = 0$

με βαθμούς ελευθερίας  $v_6 = \infty$

Σημείωση: Όλοι οι υπολογισμοί επαληθεύτηκαν με τη χρήση υπολογιστικών εργαλείων που διατίθενται σε Ιστοσελίδα του NIST: <http://emtoolbox.nist.gov/Main/Main.asp>

<b>ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ</b>	<b>Κωδικός ΟΕ-12</b>	<b>Υπολογισμός Αβεβαιότητας των μετρήσεων</b>		
		<b>Αρ. Έκδοσης 1.4</b>	<b>Ημερομηνία Έκδοσης 24/11/2008</b>	<b>Σελίδα 8/14</b>

Γ.7. Σφάλμα ευθυγράμμισης ακίδων επαφής ( $\delta l_a$ ) - Τύπου Β

Οι ακίδες επαφής πριν από κάθε μέτρηση ρυθμίζονται κατάλληλα έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η ευθυγράμμισή τους με τον άξονα μέτρησης. Μετά από πλήθος δοκιμών διαπιστώθηκε ότι κατά τη διάρκεια της μέτρησης μπορεί να έχουμε απώλεια της ευθυγράμμισης έως και 100 nm σε (ο έλεγχος ευθυγράμμισης υλοποιείται με τη βοήθεια του λογισμικού της μηχανής). Κατά συνέπεια, δεχόμενοι ορθογωνική κατανομή, υπολογίζουμε τυπική αβεβαιότητα:

$$u(\delta l_a) = \frac{100}{\sqrt{3}} = 58 \text{ nm}$$

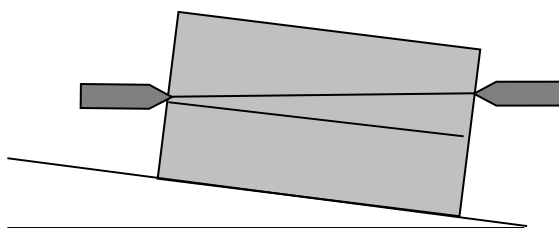
με συνεισφορά στη συνολική τυπική αβεβαιότητα:

$$u_7(l_x) = |c_{\delta l_a}| \cdot u(\delta l_a) = 58 \text{ nm}$$

και βαθμούς ελευθερίας  $\nu_7 = \infty$

Γ.8. Κλίση της τράπεζας εργασίας ( $\delta l_b$ ) - Τύπου Β

Καθώς η στήριξη των πλακιδίων γίνεται πάνω στην τράπεζα εργασίας, πιθανή κλίση της σε σχέση με την επιφάνεια ολίσθησης των εδράνων της κεφαλής θα προκαλούσε σφάλμα στη μέτρηση. Μετά από μετρήσεις της τράπεζας εργασίας και των επιφανειών ολίσθησης των εδράνων (με τη βοήθεια κλινόμετρου) διαπιστώθηκε ότι απόκλιση της τάξης των 0,03°.



Καθώς όμως το πρότυπο και το δοκίμιο βρίσκονται στην ίδια κλίση το σφάλμα απαλείφεται ή καθίσταται αμελητέο, εφόσον η μέτρηση είναι συγκριτική. Οπότε:

$$u_8(l_x) = |c_{\delta l_b}| \cdot u(\delta l_b) = 0 \text{ nm}$$

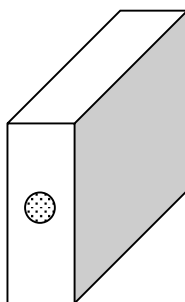
και βαθμούς ελευθερίας  $\nu_8 = \infty$



<b>ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ</b>	<b>Κωδικός ΟΕ-12</b>	<b>Υπολογισμός Αβεβαιότητας των μετρήσεων</b>		
		<b>Αρ. Έκδοσης 1.4</b>	<b>Ημερομηνία Έκδοσης 24/11/2008</b>	<b>Σελίδα 9/14</b>

Γ.9. Διακύμανση του μήκους του πλακιδίου ( $\delta l_v$ ) - Τύπου Β

Δεχόμαστε ότι το σημείο επαφής των ακίδων πάνω στο πρότυπο αναφοράς και στο δοκίμιο μπορεί να αποκλίνει έως 1 mm σε σχέση με το ζητούμενο σημείο (πχ. κέντρο πλακιδίου). Δηλαδή θεωρούμε ότι το σημείο επαφής βρίσκεται μέσα σε ένα νοητό κύκλο διαμέτρου 2 mm με κέντρο το ζητούμενο σημείο μέτρησης (βλ. παρακάτω σχήμα)



Σύμφωνα με το πρότυπο ISO 3650 για πλακίδια Grade 0, η διακύμανση του μήκους του πλακιδίου, μεταξύ του κέντρου και των γωνιών, καθορίζεται να είναι  $\pm 0,12$  mm. Υποθέτοντας ότι αυτή η μεταβολή εμφανίζεται κατά μήκος της μικρής πλευράς του πλακιδίου (9 mm), μπορούμε να δεχθούμε κατ' αναλογία ότι μέσα στον νοητό κύκλο εμφανίζεται διακύμανση:

$$\frac{2}{9} \cdot 0,12 = 0,027 (\mu m) = \pm 27 \text{ nm}$$

Οπότε δεχόμενοι ορθογωνική κατανομή, υπολογίζουμε τυπική αβεβαιότητα:

$$u(\delta l_v) = \frac{27}{\sqrt{3}} = 16 \text{ nm}$$

με συνεισφορά στη συνολική τυπική αβεβαιότητα:

$$u_g(l_x) = |c_{\delta l_v}| \cdot u(\delta l_v) = 16 \text{ nm}$$

και βαθμούς ελευθερίας  $\nu_g = \infty$

**Δ. ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ**

Πρόκειται για την αβεβαιότητα που προκύπτει από τον συνδυασμό των επιμέρους αβεβαιοτήτων των πηγών  $x_i$  και υπολογίζεται ως εξής:

<b>ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ</b>	<b>Κωδικός ΟΕ-12</b>	<b>Υπολογισμός Αβεβαιότητας των μετρήσεων</b>		
		<b>Αρ. Έκδοσης 1.4</b>	<b>Ημερομηνία Έκδοσης 24/11/2008</b>	<b>Σελίδα 10/14</b>

$$u_c(l_x) = \sqrt{\sum_{i=1}^9 u_i^2(l_x)} = 167 \text{ nm}$$

#### Ε. ΔΙΕΥΡΥΜΜΕΝΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ

Το τελευταίο βήμα είναι ο υπολογισμός της διευρυμένης αβεβαιότητας που αποτελεί την έκφραση για τη συνολική αβεβαιότητα της διαδικασίας της μέτρησης. Η διευρυμένη αβεβαιότητα υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας την τυπική αβεβαιότητα με ένα συντελεστή κάλυψης  $k_p$  που την συσχετίζει με επίπεδο εμπιστοσύνης 95%:

$$U = k_p \cdot u_c(l_x) = 334 \text{ nm}$$

Όπου  $u_c(l_x)$  είναι η συνδυασμένη τυπική αβεβαιότητα και οι συνολικοί βαθμοί ελευθερίας της μέτρησης υπολογίζονται από την εξίσωση:

$$v_{l_x} = \frac{u_c^4(l_x)}{\sum_{i=1}^9 \frac{u_i^4(l_x)}{v_i}} = \frac{167^4}{\frac{100^4}{29} + 0 + \dots + 0} = 225$$

Η επιλογή του συντελεστή  $k_p$  έχει απλή λύση αν υποθέσουμε ότι η πιθανοτική κατανομή που χαρακτηρίζεται από το αποτέλεσμα της μέτρησης είναι σχεδόν κανονική, οπότε και επιλέγουμε  $k = 2$ . Κριτήριο για αυτή την παραδοχή είναι το μέγεθος της αβεβαιότητας λόγω επαναληψιμότητας ή οι συνολικοί βαθμοί ελευθερίας της μέτρησης (Central limit theorem - UKAS 1997). Αν η αβεβαιότητα λόγω επαναληψιμότητας είναι μικρότερη από το 50% της διευρυμένης τυπικής αβεβαιότητας (δηλαδή έχει συγκρίσιμη συνεισφορά σε σχέση με τις άλλες τυπικές αβεβαιότητες), τότε δεχόμαστε κανονική κατανομή και  $k = 2$  με επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Επίσης κανονική κατανομή μπορούμε να δεχθούμε όταν οι συνολικοί βαθμοί ελευθερίας της μέτρησης είναι πάνω από 30. Σε διαφορετική περίπτωση δεχόμαστε κατανομή t και υπολογίζουμε τον συντελεστή κάλυψης  $t_{95}$  από τον πίνακα G.2 του «Guide for the Expression of Uncertainty in Measurement» (GUM), ISO 1995».

#### ΣΤ. ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ

Στον **Πίνακα 1** απεικονίζεται το ισοζύγιο αβεβαιότητας για τη μέθοδο ΟΕ-11.

<b>ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ</b>	<b>Κωδικός ΟΕ-12</b>	<b>Υπολογισμός Αβεβαιότητας των μετρήσεων</b>		
		Αρ. Έκδοσης 1.4	Ημερομηνία Έκδοσης 24/11/2008	Σελίδα 11/14

**Πίνακας 1** πλακίδιο 50mm

Παράμετρος - Πηγή αβεβαιότητας	Εκτίμηση (mm)	Τυπική Αβεβαιότητα (nm)	Συντελεστής ευαισθησίας	Συνεισφορά τυπικής αβεβαιότητας (nm) $u_i(l_x)$	Βαθμοί ελευθερίας
1. Αναπαραγωγιμότητα μετρήσεων ( $l_R$ )	90.00036	100	1	100	29
2. Πρότυπο αναφοράς ( $l_s$ )	0	53	1	53	$\infty$
3. Πιστοποιητικό διακρίβωσης μηχανής ( $\delta l_m$ )	0	$50+0.25L=73$	1	73	$\infty$
4. Αποκλίσεις θερμοκρασίας ( $\delta l_T$ )	0	$0.88L=79$	1	79	$\infty$
5. Γεωμετρία ακίδων επαφής ( $\delta l_g$ )	0	0	1	0	$\infty$
6. Ελαστική παραμόρφωση κατά τη μέτρηση ( $\delta l_e$ )	0	0	1	0	$\infty$
7. Σφάλμα ευθυγράμμισης ακίδων επαφής ( $\delta l_a$ )	0	58	1	58	$\infty$
8. Κλίση της τράπεζας εργασίας ( $\delta l_b$ )	0	0	1	0	$\infty$
9. Διακύμανση του μήκους του πλακιδίου ( $\delta l_v$ )	0	16	1	16	$\infty$
<b>Συνδυασμένη Τυπική Αβεβαιότητα</b>				167 nm	<b>225</b>
<b>Διευρυμένη Αβεβαιότητα</b>				<b>334 nm</b>	
<b>Αναφορά (<math>l_x = l_R + \delta l_m + \delta l_T + \delta l_g + \delta l_e + \delta l_a + \delta l_v \pm U</math>)</b>				$l_x = 90,00036 \pm 0.00033 \text{ mm}$	

<b>ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ</b>	<b>Κωδικός ΟΕ-12</b>	<b>Υπολογισμός Αβεβαιότητας των μετρήσεων</b>		
		<b>Αρ. Έκδοσης 1.4</b>	<b>Ημερομηνία Έκδοσης 24/11/2008</b>	<b>Σελίδα 12/14</b>

## Z. BEST MEASUREMENT CAPABILITY (BMC)

Διαπιστώθηκε ότι κατά τις μετρήσεις προτύπων πλακιδίων διαφόρων διαστάσεων μπορεί να επιτευχθεί αναπαραγωγιμότητα έως 100 nm (βλ. Αρχείο). Το αποτέλεσμα αυτό προκύπτει όταν τα πρότυπα πλακίδια μετρώνται 3 φορές σε διαφορετικές ημέρες στο διάστημα μιας εβδομάδας όπως περιγράφεται στην παράγραφο Γ.1 του παρόντος παραρτήματος. Δεχόμενοι την τιμή αυτή για την αναπαραγωγιμότητα της μέτρησης σε πρότυπα δοκίμια μπορούμε να υπολογίσουμε το Best Measurement Capability της μεθόδου σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους. Διατηρώντας την μεταβλητή του μήκους στη σχέση υπολογισμού της συνδυασμένης αβεβαιότητας της μέτρησης, και απαλείφοντας την παράμετρο της διακύμανσης του μήκους που εξαρτάται από το δοκίμιο, σύμφωνα με το ισοζύγιο του **Πίνακα 1** προκύπτει:

$$u_c = \sqrt{18673 + 25 \cdot L + 0.837 \cdot L^2} \quad (\text{nm})$$

Συνεπώς η Διευρυμένη Αβεβαιότητα της μέτρησης εκφρασμένη σε μm είναι:

$$U = \frac{2\sqrt{18673 + 25 \cdot L + 0.837 \cdot L^2}}{1000} \quad (\mu\text{m})$$

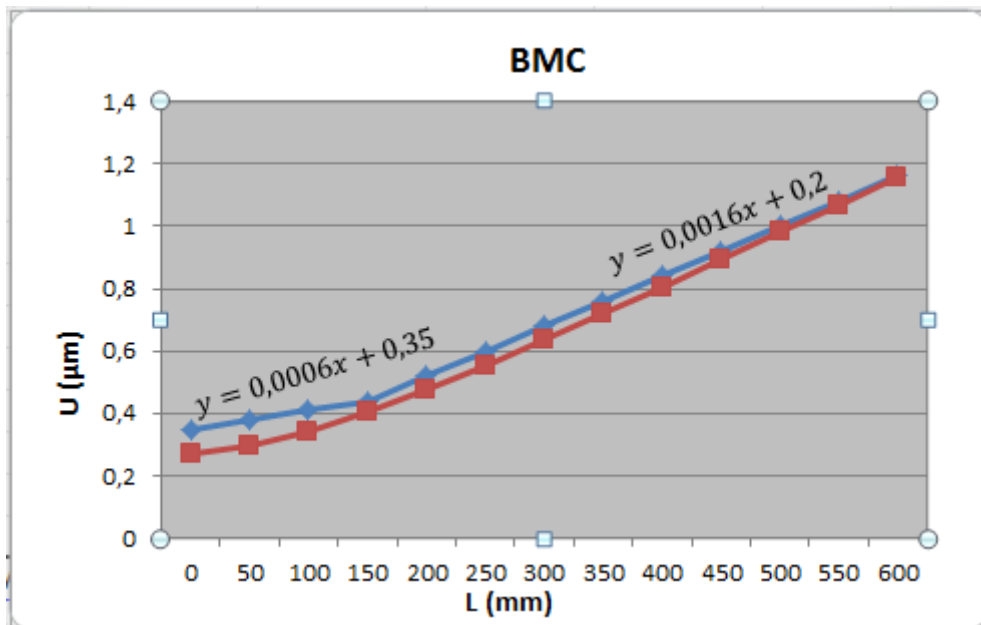
Διακρίνοντας το εύρος μέτρησης σε δύο μέρη (0-150 mm και 150-600 mm) μπορούμε με ικανοποιητική προσέγγιση να αντικαταστήσουμε την παραπάνω σχέση με δυο εξισώσεις ευθείας όπως φαίνεται στο **Διάγραμμα 1**.

Κατά συνέπεια το Best Measurement Capability της μεθόδου διατυπώνεται ως εξής:

<b>Εύρος (mm)</b>	<b>BMC (μm)</b>
0-150	$0,35 + 0,6 \cdot \frac{L}{1000}$
150-600	$0,2 + 1,6 \cdot \frac{L}{1000}$

(Όπου L σε mm)

<b>ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ</b>	<b>Κωδικός ΟΕ-12</b>	<b>Υπολογισμός Αβεβαιότητας των μετρήσεων</b>		
		<b>Αρ. Έκδοσης 1.4</b>	<b>Ημερομηνία Έκδοσης 24/11/2008</b>	<b>Σελίδα 13/14</b>



**Διάγραμμα 1**

<b>ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ</b>	<b>Κωδικός ΟΕ-12</b>	<b>Υπολογισμός Αβεβαιότητας των μετρήσεων</b>		
		<b>Αρ. Έκδοσης 1.4</b>	<b>Ημερομηνία Έκδοσης 24/11/2008</b>	<b>Σελίδα 14/14</b>

## Η. ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- ISO 1995, Guide for the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM)
- Ruedi Thalman & Hugo Baechler, Issues and advantages of gauge block calibration by mechanical comparison, Swiss Federal Office of Metrology and Accreditation (METAS), CH-3003 Bern-Wabern
- ISO 3650:1998, Geometrical Product Specifications (GPS) – Length Standards – Gauge blocks
- European cooperation for Accreditation, EA-4/02, Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration, Δεκέμβριος 1999
- European cooperation for Accreditation, EA-4/16, EA guidelines on the expression of uncertainty in quantitative testing
- UKAS, M3003 The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement, Ιανουάριος 2007
- Jennifer E. Decker James R. Pekelsky, Uncertainty of Gauge Block Calibration by Mechanical Comparison: A Worked Example, NRC 1996
- Ted Doiron & John Stoup, Uncertainty and Dimensional Calibrations, Journal of research of the National Institute of Standards and Technology Vol 102, 1997
- Thomas M. Adams, G103 - A2LA Guide for the Estimation of Uncertainty and Testing Results, 2002
- M. J. Puttock and E. G. Thwaite, Elastic Compression of Spheres and Cylinders at Point and Line Contact, National Standards Laboratory Technical Paper No. 25, 1969
- John S. Beers and James E. Taylor, NBS Technical Note 962 - Contact Deformation In Gage Block Comparisons, National Bureau of Standards 1978
- <http://emtoolbox.nist.gov/Main/Main.asp>, Ιστοσελίδα Engineering Metrology Toolbox για υπολογιστικά εργαλεία, National Institute of Standards and Technology (NIST)