ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΗΓΩΝ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΤΡΗΤΙΚΗΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΜΙΚΡΟΜΕΤΡΑ.

Κ. Ν. Αθανασιάδης
Δρ. Τεχνικών Επιστημών, Α.Τ.Ε.Ι. Θεσ/νίκης, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Αυτοματισμού, Σίνδος 54101, Θεσ/νίκη
e-mail: kath@teithe.gr

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια αναπτύσσονται συνεχώς κοινές μέθοδοι και διαδικασίες για τον υπολογισμό των μετρητικών αβεβαιοτήτων, τόσο σε εθνικό επίπεδο όσο και διεθνώς. Έτσι επιτυγχάνεται ενιαίος τρόπος υπολογισμού τους, καθιστώντας τις μετρήσεις αξιόπιστες διεθνώς αλλά και παράλληλα διευκολύνεται η διαδικασία αλληλοσύγκρισης των αποτελεσμάτων των μετρήσεων μεταξύ εργαστηρίων διακρίβωσης.

Βασικό όργανο μέτρησης διαστάσεων αποτελεί το μικρόμετρο. Η χρήση του στη βιομηχανία αλλά και στα εργαστήρια διακριβώσεων είναι συνεχής καθιστώντας το ένα από τα πλέον αξιόπιστα καθημερινά όργανα μέτρησης.

Στην εργασία αυτή περιγράφεται η διαδικασία ελέγχου και διακρίβωσης ενός μικρομέτρου για εξωτερικές μετρήσεις. Τα μικρόμετρα, αποτελούνται είτε από έναν σταθερό (non-removable) είτε από εναλλασσόμενους (interchangeable) άκμονες (anvil) (προεκτάσεις) και από επίπεδες επιφάνειες μέτρησης.

Γίνεται ανάλυση των πηγών οι οποίες συμβάλλουν στη μετρητική αβεβαιότητα ενός μικρομέτρου, όπως η έλλειψη επιπεδότητας και παραλληλότητας των επιφανειών μέτρησης για τη διακρίβωση. Περιγράφεται μαθηματικό μοντέλο στη βάση του οποίου κατηγοριοποιούνται οι αβεβαιότητες τύπου Α και Β. Μέσω παραδείγματος δίδεται ο συγκεντρωτικός πίνακας πηγών αβεβαιοτήτων και υπολογίζεται η συνολική και η διευρυμένη μετρητική αβεβαιότητα.

Λέξεις-Κλειδιά: *Μετρολογία, Μικρόμετρο, Υπολογισμός μετρητικής αβεβαιότητας,*

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα μικρόμετρα είναι εργαλεία ακριβείας που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση μικρών αποστάσεων από 0 μέχρι 25 cm και για μεγαλύτερες αποστάσεις μέχρι και 5 m. Το εύρος μέτρησης επιτυγχάνεται με τη χρήση εναλλασσόμενων (interchangeable) ακμόνων ή αλλιώς προεκτάσεων. Κατασκευάζονται δύο είδη μικρομέτρων, ο ένας για εξωτερικές μετρήσεις και ο άλλος για εσωτερικές.

Η απλότητα χρήσης και η μεγάλη ακρίβεια μέτρησης έχουν καταστήσει το μικρόμετρο ως ένα από τα βασικά όργανα μέτρησης στο εργαστήριο και στην παραγωγική διαδικασία. Το σπουδαιότερο εξάρτημα του μικρομέτρου είναι ο κοχλίας του[1]. Αυτός υλοποιεί την διάσταση και μεγεθύνει την ένδειξη. Η λειτουργία των μικρομέτρων βασίζεται στην σχετική κίνηση κοχλία-περικοχλίου. Το πλέον συνηθισμένο βήμα του κοχλία είναι 0.5 mm και αυτός είναι ο λόγος που το περιστρεφόμενο τύμπανο του οργάνου φέρει περιμετρικά 50 υποδιαιρέσεις. Με αυτόν τον τρόπο αν το τύμπανο περιστραφεί κατά μια υποδιαίρεση, τότε μετατοπίζεται αξονικά ο κοχλίας κατά 0.5 : 50 = 0.01 mm [2].

Στην εργασία αυτή γίνεται προσπάθεια περιγραφής των βημάτων που πρέπει να ακολουθηθούν για τον έλεγχο και διακρίβωση των μικρομέτρων για εξωτερικές μετρή-

σεις, τα οποία αποτελούνται από έναν σταθερό (non-removable) άκμονα (anvil) και από επίπεδες επιφάνειες μέτρησης.

Όταν πραγματοποιούνται μετρήσεις με μικρόμετρο οι αβεβαιότητες που μπορούν να υπεισέλθουν κατά τη διαδικασία της μέτρησης θα μπορούσαν να είναι εξαιτίας:

1. του μετρητικού στελέχους (spindle error),
2. της έλλειψης επιπεδότητας μετρητικών επιφανειών μικρομέτρου,
3. της έλλειψης παραλληλότητας μετρητικών επιφανειών μικρομέτρου,
4. της αναγνωσιμότητας (ανθρώπινος παράγοντας),
5. της διαφορετικής εφαρμοζόμενης ροπής μέσω της καστάνιας για τη μέτρηση,
6. της διαφορετικής θερμοκρασίας μικρομέτρου αντικειμένου˙ (εξωτερικός παράγοντας και όχι του μικρομέτρου η οποία όμως επηρεάζει τη μέτρηση),
7. της διαφορετικής ελαστικότητας υλικών (μέτρηση με σταθερή ροπή οδηγεί σε διαφορετικά αποτελέσματα αναλόγως των υλικών)

Γίνεται κατανοητό ότι αυτοί οι παράγοντες που επηρεάζουν τη μέτρηση με μικρόμετρο δεν είναι κατ' ανάγκη και οι πηγές αβεβαιότητας κατά τη διαδικασία διακρίβωσης του οργάνου. Ο λόγος είναι ότι σε ένα εργαστήριο διακρίβωσης όπου:

- υπάρχουν καταγραμμένες περιβαλλοντικές συνθήκες όπως θερμοκρασία και σχετική υγρασία,
- η διακύμανση θερμοκρασίας δεν είναι μεγάλη κατά τη διάρκεια διακρίβωσης του οργάνου,
- υπάρχουν διακριβωμένες συσκευές όπως δυναμόκλειδα και ροπόκλειδα για την εφαρμογή γνωστής δύναμης και ροπής,
- υπάρχει εκπαιδευμένο προσωπικό για την πραγματοποίηση της διακρίβωσης,

οι προαναφερθέντες πηγές αβεβαιότητας μειώνονται.

Οι κύριες πηγές μετρητικής αβεβαιότητας οι οποίες πηγάζουν από τη διαδικασία διακρίβωσης μέσω προτύπων πλακιδίων και συμβάλλουν στη μετρητική αβεβαιότητα ενός μικρομέτρου είναι η:

- έλλειψη επιπεδότητας και παραλληλότητας των επιφανειών μέτρησης,
- αβεβαιότητα στο μήκος των προτύπων πλακιδίων,
- διαφορική θερμοκρασία,
- σφάλμα αναγνωσιμότητας.

Έτσι πιο κάτω με βάση αυτές τις πηγές μετρητικής αβεβαιότητας περιγράφεται μαθηματικό μοντέλο στη βάση του οποίου κατηγοριοποιούνται οι αβεβαιότητες τύπου Α και Β. Μέσω παραδείγματος δίδεται ο συγκεντρωτικός πίνακας του ισοζυγίου πηγών αβεβαιότητας και υπολογίζεται η συνολική και η διευρυμένη μετρητική αβεβαιότητα.

3. ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗ ΜΙΚΡΟΜΕΤΡΟΥ

3.1 Εξοπλισμός, περιβαλλοντικές συνθήκες και προσωπικό.

Όλος ο **εξοπλισμός** (όργανα διακρίβωσης και το υπό διακρίβωση μικρόμετρο με το συνοδευτικό τους εξοπλισμό) πρέπει να φυλάσσεται σε χώρο εντός του εργαστηρίου στο οποίο θα πραγματοποιηθεί η διακρίβωση και στον οποίο η θερμοκρασία και η υγρασία καταγράφεται και ελέγχεται, για χρονική περίοδο τουλάχιστον 6-24 ωρών. Ο χρόνος που πρέπει να παρέλθει για να ξεκινήσει η διακρίβωση του μικρομέτρου ποικίλει από το μέγεθος και τον όγκο του οργάνου. Με βάση το πρότυπο DIN 863 [3], όλες οι μετρήσεις

σε συσκευές για μετρήσεις διαστασιακών μεγεθών όπως τα μικρόμετρα, πρέπει να υλοποιούνται σε θερμοκρασία χώρου: 20 °C ± 2 °C. Βεβαίως όσο πιο μικρό το εύρος διακύμανσης της θερμοκρασίας τόσο μικρότερη είναι η αβεβαιότητα που εξαιτίας της διακύμανσης αυτής υπεισέρχεται στο ισοζύγιο μετρητικής αβεβαιότητας.

Το **προσωπικό** που μπορεί να επιτελέσει την διακρίβωση των μικρομέτρων πρέπει να είναι εκπαιδευμένο για μετρήσεις ακριβείας, χρήση προτύπων οπτικών πλακιδίων (optical flats), χρήση κυρίως εξοπλισμού του εργαστηρίου για τη διακρίβωση του μικρομέτρου και του βοηθητικού εξοπλισμού της. Επίσης θα πρέπει, το προσωπικό, να έχει εκπαιδευτεί στις προφυλάξεις που είναι απαραίτητες όταν χειρίζονται επίπεδες επιφάνειες μεγάλης ακρίβειας.

Για τη διακρίβωση ενός μικρομέτρου χρησιμοποιείται κυρίως ο εξής εξοπλισμός:

- Πρότυπα πλακίδια,
- Πρότυποι ράβδοι μεγάλου μήκους,
- Οπτικά πλακίδια για μέτρηση παραλληλότητας (Optical Parallels),
- Οπτικά πλακίδια για μέτρηση επιπεδότητας (Optical Flats),
- Δυναμόμετρο για μέτρηση της καστάνιας του οργάνου.

Η επιπεδότητα των επιφανειών μέτρησης υπολογίζεται με οπτικά πλακίδια επιπεδότητας (optical flats).

Η παραλληλότητα των επιφανειών μέτρησης υπολογίζεται με πρότυπα οπτικά πλακίδια (Optical Parallels). Για μεγάλου εύρους μικρόμετρα μπορεί να χρησιμοποιηθούν και άλλες συσκευές όπως Universal Measurement Machine.

Η μέτρηση της κλίμακας του μικρομέτρου, πραγματοποιείται σε σύγκριση με συνδυασμό προτύπων πλακιδίων (gauge blocks).

Η μετρητική αβεβαιότητα του μικρομέτρου προσδιορίζεται σε σύγκριση με συνδυασμό προτύπων πλακιδίων και ορίζεται ως η διαφορά της ένδειξης του μικρομέτρου και της ονομαστικής τιμής των προτύπων πλακιδίων.

Για να είναι δυνατή η διακρίβωση των μικρομέτρων τα παραπάνω όργανα και συσκευές, πρέπει να είναι διακριβωμένα ώστε να εξασφαλίζουν ιχνηλασιμότητα μετρήσεων σε εθνικά ή διεθνή πρότυπα μήκους [4]. Οι χρόνοι επαναδιακρίβωσης όλων των προτύπων που χρησιμοποιούνται για τις διακριβώσεις, πρέπει να είναι καταγραμμένοι σε ειδικό φάκελο και να ορίζονται στο εγχειρίδιο ποιότητας του εργαστηρίου ή σε μια από τις τεχνικές διαδικασίες του εργαστηρίου.

3.2 Προκαταρκτικές εργασίες

Πριν την έναρξη των μετρήσεων επιβάλλεται η διεξοδική μελέτη του υπό διακρίβωση μικρομέτρου. Σε περίπτωση ανίχνευσης προβλήματος ή ύπαρξης αμφιβολιών, ως προς την σωστή λειτουργία του οργάνου, πρέπει να υπάρξει συνεννόηση με τον Πελάτη για τη συνέχιση ή μη της διακρίβωσης, την ανάγκη επισκευής του οργάνου ή όχι κλπ.

Τα όργανα πρέπει να καθαρίζονται με την βοήθεια καθαριστικού που περιέχει τολουόνη ή τριχλωροαιθυλένιο και το οποίο δεν αφήνει λεπτό στρώμα πάνω στις επιφάνειες που έχουν καθαριστεί με το υλικό.

Σε κάθε όργανο, με την παραλαβή του στο εργαστήριο, πρέπει να τοποθετείται καρτέλα, όπου καταγράφονται τα στοιχεία τα οποία περιγράφουν το όργανο όπως: κατασκευαστής και τύπος του υπό διακρίβωση οργάνου, αριθμός σειράς του οργάνου, ημερομηνία παραλαβής του οργάνου. Εάν το όργανο συνοδεύεται από ελεγκτήρα, τοποθετείται μικρή καρτέλα με τον αριθμό σειράς του μικρομέτρου, στο οποίο ανήκει ο ελεγκτήρας. Σε περίπτωση ύπαρξης δύο ή περισσοτέρων ελεγκτήρων του ίδιου μικρομέτρου, τοποθετείται

σε κάθε ελεγκτήρα για το διαχωρισμό τους ένα χαρακτηριστικό (όπως π.χ. γράμμα της λατινικής αλφαβήτου Α, Β, C κ.τ.λ.).

Το εργαστήριο είναι δυνατό να δέχεται επισκέψεις. Οι επισκέπτες με βάση το εγχειρίδιο ποιότητας του εργαστηρίου δεν πρέπει να γνωρίζουν σε ποιον πελάτη ανήκουν τα συγκεκριμένα όργανα μέτρησης ώστε να μην εξάγουν βεβιασμένα συμπεράσματα σε περίπτωση που τα όργανα είναι παλιά ή λερωμένα. Αυτός είναι ο κύριος λόγος για τον οποίο στην προαναφερόμενη καρτέλα τοποθετείται κωδικός πελάτη και όχι το όνομα αυτού.

4. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗΣ ΜΙΚΡΟΜΕΤΡΩΝ

Η διακρίβωση ενός μικρομέτρου μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω διαδικασιών οι οποίες βασίζονται σε διάφορα διεθνή πρότυπα. Τα πιο γνωστά από τα διεθνή πρότυπα είναι τα DIN 863 [3] και ISO 3611 [5]. Η συγκεκριμένη τεχνική διαδικασία διακρίβωσης βασίζεται στο ISO3611:1978 [5].

Κατά τη διάρκεια της διακρίβωσης τα αποτελέσματα του ελέγχου και των άλλων μετρήσεων καταγράφονται σε Πρωτόκολλο διακρίβωσης.

4.1 Έλεγχος μικρομέτρου

Έλεγχος σφιγκτήρα: Περιστροφή του σφιγκτήρα μέχρι να φτάσει στην θέση σύσφιξης του άξονα. Με την βοήθεια της καστάνιας ή αν η καστάνια απουσιάζει, με το χέρι μας, ελέγχεται αν σφίγγει σωστά το μετρητικό στέλεχος, ο σφιγκτήρας.

Έλεγχος καστάνιας: Μέτρηση, με την βοήθεια διακριβωμένου δυναμόμετρου, της δύναμης που εφαρμόζεται στις επιφάνειες μέτρησης του οργάνου, με την περιστροφή της καστάνιας (εφόσον υπάρχει). Η δύναμη αυτή πρέπει να κείτεται στο εύρος (5–15) N [3,5].

Εάν απουσιάζει ή είναι κατεστραμμένη η καστάνια, τότε με την βοήθεια διακριβωμένου δυναμόκλειδου, εφαρμόζουμε στις επιφάνειες μέτρησης του οργάνου, δύναμη ίση με 10 N. Με την δύναμη αυτή γίνονται οι μετρήσεις. Η απουσία ή η βλάβη της καστάνιας καταγράφεται.

Έλεγχος της θέσης '0' (αρχή της κλίμακας) του οργάνου

Το όργανο ελέγχεται, με τοποθέτηση προτύπων πλακιδίων ανάμεσα στις επιφάνειες μέτρησης, ως προς την ένδειξή του στην θέση '0'. Εφόσον υπάρχει απόκλιση, καταγράφεται και γίνεται η επαναφορά, αν αυτό το επιτρέπει το όργανο.

Στα μικρόμετρα με προεκτάσεις, ο έλεγχος της θέσης '0', πραγματοποιείται με κάθε μία από τις προεκτάσεις. Ανάμεσα στις επιφάνειες μέτρησης τοποθετείται συνδυασμός προτύπων πλακιδίων με ονομαστικό μήκος - το μήκος που αναφέρεται στην ένδειξη '0' του μικρομέτρου. Γίνεται καταγραφή των ενδείξεων. Εφόσον υπάρχει απόκλιση από την θέση '0' γίνεται επαναφορά (εφόσον αυτό είναι δυνατόν) αλλάζοντας το μήκος της προέκτασης.

Εφόσον οι προεκτάσεις του μικρομέτρου δεν επιδέχονται αλλαγές, η επαναφορά στην θέση μηδέν γίνεται με την βοήθεια του μετρητικού στελέχους, με τέτοιον τρόπο, ούτως ώστε, η απόκλιση από την θέση '0' για όλες τις προεκτάσεις, να είναι η μικρότερη δυνατή.

4.2 Διακρίβωση μικρομέτρου

Μέτρηση σφάλματος της κλίμακας του οργάνου

Η μέτρηση της κλίμακας του οργάνου πραγματοποιείται με την βοήθεια σετ προτύπων πλακιδίων.

Εφόσον το εύρος κλίμακας του μικρομέτρου είναι άνω των 25 mm, χρησιμοποιούνται πρότυπα πλακίδια από άλλα σετ προτύπων πλακιδίων, για να καλύψουν το εύρος μέτρησης του οργάνου.

Το όργανο ελέγχεται σε 10 σημεία της κλίμακάς του (0.0, 2.5, 5.1, 7.7, 10.3, 12.9, 15.0, 17.6, 20.2, 22.8, και 25.0 mm) τα οποία αντιστοιχούν σε διαφορετικές γωνιακές θέσεις του άξονα περιστροφής (spindle). Για κάθε πρότυπο μήκος σημειώνεται η ένδειξη του οργάνου στρογγυλοποιημένη στην πλησιέστερη υποδιαίρεση του οργάνου.

Μετρήσεις επιπεδότητας

Οι μετρήσεις επιπεδότητας, γίνονται με την βοήθεια των προτύπων οπτικών πλακιδίων (optical flats).

Τα οπτικά πλακίδια τοποθετούνται σε κάθε μια από τις επίπεδες επιφάνειες του μικρομέτρου. Το σχήμα και ο αριθμός των κροσσών που σχηματίζονται μας δείχνουν τον βαθμό επιπεδότητας της επιφάνειας. Ο αριθμός των κροσσών συμβολής που σχηματίζεται πάνω στην επιφάνεια δεν πρέπει να ξεπερνά τους τέσσερις ή αλλιώς η έλλειψη επιπεδότητας δεν πρέπει να είναι άνω του 1 μm [3,5].

Μετρήσεις παραλληλότητας

Οι μετρήσεις παραλληλότητας, γίνονται:

I. με το σετ οπτικών πλακιδίων (optical flats) για μικρόμετρα 0 - 25 mm. Το σετ, μέσω τεσσάρων κρυστάλλων διαφορετικού πάχους, καλύπτει μια πλήρη περιστροφή του άξονα του μικρομέτρου (spindle).

II. με το σετ οπτικών πλακιδίων (optical flats), την βοήθεια προτύπων πλακιδίων και προτύπων ράβδων, για μικρόμετρα άνω των 25 mm,

III. με την βοήθεια Universal Measurement Machine, για μικρόμετρα άνω των 25 mm.

Για την μέτρηση παραλληλότητας στα μικρόμετρα 0 – 25 mm, τοποθετείται κάθε κρύσταλλος, από το προαναφερθέν σετ, ανάμεσα στις επιφάνειες επαφής και με την βοήθεια της καστάνιας έρχεται σε επαφή με τις επιφάνειες του μικρομέτρου. Προσπαθούμε από την μια πλευρά του κρυστάλλου να περιορίσουμε, όσο μπορούμε, τον αριθμό των κροσσών συμβολής. Στην απέναντι πλευρά, μετράμε τον αριθμό των κροσσών, ο οποίος και μας δείχνει την έλλειψη παραλληλότητας.

Η μέτρηση παραλληλότητας για μικρόμετρα μεγαλύτερου εύρους, μέχρι και 500 mm, γίνεται όπως αναφέρθηκε παραπάνω, με την διαφορά ότι παρεμβάλλεται ένα πρότυπο πλακίδιο (gauge block) ανάμεσα στους κρυστάλλους, που έχει ενωθεί με αυτούς, μέσω της διαδικασίας wringing, δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο πρότυπο παραλληλότητας. Το μήκος του προτύπου πλακιδίου, το οποίο παρεμβάλλεται ανάμεσα στους κρυστάλλους, επιλέγεται, έτσι, ούτως ώστε οι μετρήσεις να γίνονται σε σημεία, τα οποία καλύπτουν την απαίτηση για πλήρη περιστροφή του άξονα του μικρομέτρου (spindle).

Η μέτρηση παραλληλότητας σε μικρόμετρα εύρους, μέχρι και 500 mm, μπορεί να γίνει με την χρήση Universal Measurement Machine ή και άλλης συσκευής μέτρησης εσωτερικών διαστάσεων. Σε κάθε περίπτωση βρίσκουμε την μεγαλύτερη δυνατή απόσταση στο κέντρο των επιφανειών μέτρησης του μικρομέτρου. Μηδενίζουμε την ένδειξη του οργάνου. Μετακινώντας τους άξονες της συσκευής σε σχήμα σταυρού, παρατηρούμε την απόκλιση από την μέγιστη απόσταση, στην οθόνη. Η μεγαλύτερη τιμή, που θα παρατηρήσουμε, αναφέρεται στην έλλειψη παραλληλότητας του μικρομέτρου.

5. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΤΡΗΤΙΚΗΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ

Το υπό διακρίβωση μικρόμετρο θεωρούμε ότι έχει εύρος μέτρησης 0 - 25 mm και διακριτότητα 0.001 mm.

Το σφάλμα του μικρομέτρου προσδιορίζεται σε σύγκριση με συνδυασμό προτύπων πλακιδίων, για την μέτρηση του σφάλματος του μετρητικού στελέχους και σειράς προτύπων οπτικών πλακιδίων (optical flats), για την μέτρηση της παραλληλότητας και επιπεδότητας των επιφανειών μέτρησης. Τα πρότυπα πλακίδια έχουν ονομαστικό μήκος: 2.5, 5.1, 7.7, 10.3, 12.9, 15.0, 17.6, 20.2, 22.8 και 25.0 mm. Επομένως η συνολική μετρητική αβεβαιότητα θα είναι συνδυασμός του σφάλματος ένδειξης του μετρητικού στελέχους ως προς το ονομαστικό μήκος των προτύπων πλακιδίων και του σφάλματος, που προστίθεται, λόγω της έλλειψης επιπεδότητας ή και παραλληλότητας των επιφανειών μέτρησης του μικρομέτρου.

5.1 Μαθηματικό μοντέλο

$$Y_{\mathrm{UR}} = X_{STD} + Error \qquad (1)$$

όπου

- Y_{UR} - η ανάγνωση του μικρομέτρου
- X_{STD} - το ονομαστικό μήκος του προτύπου πλακιδίου και,
- *Error* – η διαφορά μεταξύ της ένδειξης του μικρομέτρου και του μήκους του προτύπου πλακιδίου.

Για τον υπολογισμό της μετρητικής αβεβαιότητας *Error*, θα πρέπει να λάβουμε υπόψη τις επιμέρους αβεβαιότητες, που υπεισέρχονται λόγω έλλειψης παραλληλότητας του άξονα περιστροφής (spindle) με τον σταθερό άκμονα (anvil) καθώς επίσης και της έλλειψης επιπεδότητας των επιφανειών μέτρησης του μικρομέτρου.

Η συνδυασμένη τυπική αβεβαιότητα, δίδεται από τον τύπο:

$$U_C(Y_{UR}) = \sqrt{\left[\left(\frac{\partial Y_{UR}}{\partial X_{STD}}\right)(U(X_{STD}))\right]^2 + \left[\left(\frac{\partial Y_{UR}}{\partial Error}\right)(U(Error))\right]^2} \qquad (2)$$

5.2 Αποτελέσματα μετρήσεων

Έγιναν 3 μετρήσεις για κάθε μήκος του προτύπου πλακιδίου, όπως φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί:

Ονομαστικό μήκος πλακιδίου, mm	*Απόκλιση ένδειξης από το κανονικό, mm*			*Τυπική απόκλιση, μm*
2.5	0	0	0	0
5.1	0	0.001	0.001	0.577
7.7	0.001	0	0.001	0.577
10.3	0.001	0.001	0	0.577
12.9	0	0	0	0
15	-0.001	0	-0.001	0.547
17.6	-0.001	0	0	0.548
20.2	0	0.001	0	0.548
22.8	0.001	0.001	0.001	0
25	0.001	0	0.001	0.577

5.3 Εκτίμηση αβεβαιοτήτων τύπου Α

Η αβεβαιότητα τύπου Α εξάγεται από τον παραπάνω πίνακα με βάση την μέγιστη τυπική απόκλιση.

Η τυπική αβεβαιότητα (Standart uncertainty) U_M δίδεται από την σχέση:

$$U_M = \frac{\text{Standard Deviation}}{\sqrt{n}} \quad (\text{όπου } n=3) \Rightarrow$$

$$U_M = \frac{0.577}{1.73} \Rightarrow$$

$$U_M = 0.333\ \mu\text{m}$$

5.4 Εκτίμηση αβεβαιοτήτων τύπου Β

Οι αβεβαιότητες που αναφέρονται στο πιστοποιητικό διακρίβωσης των προτύπων πλακιδίων, καθώς επίσης και στα πιστοποιητικά διακρίβωσης των προτύπων οπτικών πλακιδίων, είναι αβεβαιότητες τύπου Β της κανονικής κατανομής.

Για διάστημα ενός σ (1σ), όπου σ - η τυπική απόκλιση έχουμε:

⇒ Για τα πρότυπα πλακίδια, κατηγορίας 00 και μήκους < 100mm, η εκτίμηση της αβεβαιότητας δίδεται από την σχέση:

$$U_{GB} = \frac{0.15}{2}$$

$$= 0.075\ \mu\text{m}$$

⇒ Η αβεβαιότητα για πρότυπα οπτικά πλακίδια , ως προ μετρήσεις επιπεδότητας ή παραλληλότητας:

$$U_{OF} = \frac{0.05}{2}$$

$$= 0.025\ \mu\text{m}$$

⇒ Ένας άλλος τύπος αβεβαιότητας τύπου Β έχει σχέση με την διακριτότητα του μικρομέτρου, η οποία στην περίπτωσή μας είναι 0.001 mm και κατατάσσεται στην ορθογωνική κατανομή:

$$U_{RES} = \frac{1}{2\sqrt{3}} = \frac{1}{\sqrt{12}}$$

$$= 0.289\ \mu\text{m}.$$

⇒ Λόγω του ότι το πρότυπο πλακίδιο και το μικρόμετρο είναι κατασκευασμένα από χάλυβα, υποθέτουμε ότι η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του προτύπου πλακιδίου και του μικρομέτρου θα είναι μηδέν με μια αβεβαιότητα ± 0.5 °C. Αυτή η τιμή χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της αβεβαιότητας λόγω θερμικής διαστολής/συστολής, από την σχέση: 0.02μm/°C. Η θερμοκρασία ελέγχθηκε μεταξύ των ορίων και θεωρείται ότι έχει ορθογωνική κατανομή.

5.5 Συγκεντρωτικός πίνακας, Ισοζύγιο μετρητικών αβεβαιοτήτων

Πηγή Αβεβαιότητας	Τύπος	U_i	Τιμή Αβεβαιότητας (μm)	Πιθανή Κατανομή	Ενεργοί Βαθμοί Ελευθερίας
Επαναληψιμότητα	A	U_M	0.333	t-κατανομή	2
Πρότυπο πλακίδιο	B	U_{GB}	0.075	Κανονική	∞
Παραλληλότητα προ-τύπων οπτικών πλακι-δίων	B	U_{OF}	0.025	Κανονική	∞
Συστολή / διαστολή	B	U_{TH}	0.02	Ορθογωνική	∞
Διακριτότητα	B	U_{RES}	0.289	Ορθογωνική	∞

5.6 Συνδυασμένη αβεβαιότητα

Η συνδυασμένη αβεβαιότητα θα είναι:

$$U_C(Y_{UR}) = \sqrt{U_M^2 + U_{GB}^2 + U_{OF}^2 + U_{TH}^2 + U_{RES}^2}$$

$$= \sqrt{0.333^2 + 0.075^2 + 0.025^2 + 0.02^2 + 0.289^2}$$

$$= 0.45\ \mu m$$

5.7 Ενεργοί βαθμοί ελευθερίας

Οι ενεργοί βαθμοί ελευθερίας υπολογίζονται ως ακολούθως:

$$\nu_{eff} = \frac{U_C^4}{\frac{U_M^2}{n-1} + \frac{U_{GB}^2}{\infty} + \frac{U_{OF}^2}{\infty} + \frac{U_{TH}^2}{\infty} + \frac{U_{RES}^2}{\infty}}$$

$$= \frac{0.45^4}{\frac{0.333^4}{2}}$$

$$= 6$$

Από τον πίνακα τιμών για την t - κατανομή, το $k = 2.45$ για βαθμό ελευθερίας $\nu = 6$ και για διάστημα εμπιστοσύνης 95%.

Η διευρυμένη αβεβαιότητα θα ισούται:

$$U = kU_C(Y_{UR})$$

$$= 2.45X\ 0.45$$

$$= 1.10\ \mu m.$$

6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Το τελικό αποτέλεσμα της διακρίβωσης δίνεται ως εξής:

Η αβεβαιότητα η σχετιζόμενη με την διακρίβωση είναι ±0.0011 mm για διάστημα εμπιστοσύνης περίπου 95%.

Η αβεβαιότητα που αναφέρεται είναι το γινόμενο της συνδυασμένης αβεβαιότητας (U_C) με τον συντελεστή κάλυψης k = 2,45 (διευρυμένη αβεβαιότητα) και προσδιορίστηκε σύμφωνα με το έντυπο «Guide to the Expression of Uncertainty in Measurements» (ISO 1995). Γενικώς, η τιμή της μετρούμενης ποσότητας περιέχεται στο προσδιοριζόμενο εύρος με πιθανότητα 95% περίπου. Η εκτίμηση της αναφερόμενης αβεβαιότητας δεν εμπεριέχει ενδεχόμενες μακροπρόθεσμες μεταβολές. Οι συμμεταβλητότητες γενικώς δεν λαμβάνονται υπόψη.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή έγινε περιγραφή του ελέγχου και διακρίβωσης μικρομέτρων με επίπεδες επιφάνειες μέτρησης για εξωτερικές μετρήσεις. Μετά από ανάλυση των πηγών μετρητικής αβεβαιότητας κατά τη χρήση ενός μικρομέτρου για τη μέτρηση αποστάσεων αποδείχτηκε ότι αυτές δεν είναι κατ' ανάγκη και οι πηγές μετρητικής αβεβαιότητας μιας διαδικασίας διακρίβωσης ενός μικρομέτρου. Έτσι με τη χρήση μαθηματικού μοντέλου και μετά τον υπολογισμό των μετρητικών αβεβαιοτήτων που επηρεάζουν μια διαδικασία διακρίβωσης, σχηματίστηκε συγκεντρωτικός πίνακας του ισοζυγίου των μετρητικών αβεβαιοτήτων. Με βάση αυτό το μαθηματικό μοντέλο υπολογίστηκε η συνολική και διευρυμένη μετρητική αβεβαιότητα, η οποία βρέθηκε εντός των ορίων που δίδουν τα διαπιστευμένα εργαστήρια διακρίβωσης για διακριβώσεις μικρομέτρων.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Πετρόπουλος Π., *Μαθήματα μηχανουργικής τεχνολογίας, Μετροτεχνία*, Θεσ/νίκη, Εκδόσεις ΑΠΘ, Πολυτεχνική Σχολή, σελ. 237, 1985.
2. Braun H., Doll W., Fischer U. κ.ά., *Μετροτεχνία*, Αθήνα, Εκδοτικός όμιλος ΙΩΝ, Σειρά: Βιβλιοθήκη του Μηχανολόγου, σελ. 104, 1996.
3. DIN 863, *Verification of geometrical parameters - Micrometers - Parts 1-4*, DIN Verlag, Germany, 04-1994.
4. ISO *Guide to the expression of uncertainty in measurement*, p110, 1995.
5. ISO 3611:1978, *Micrometer callipers for external measurement*, 1978.