



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ
ΚΑΙ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

«Ανάπτυξη Διαδικασίας Διακρίβωσης 5m μετροταινίας γενικής χρήσης στο Εργαστήριο Διαστατικών Μεγεθών της ΥΠΗΔ, υπολογισμού αβεβαιότητας και έκδοσης πιστοποιητικού διακρίβωσης.».

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΑΔΕΝΙΔΗΣ ΕΥΣΤΑΘΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Β.Ι. ΛΕΩΠΟΥΛΟΣ

Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή της διπλωματικής μου εργασίας, κύριο Βρασίδα Λεώπουλο για την ανάθεση της διπλωματικής εργασίας, καθώς και το Δόκτορα Γιώργο Χατζηστέλιο, για τη συνεργασία και τη βοήθειά του, χωρίς την οποία δεν θα ήταν δυνατή η πραγματοποίηση της εργασίας μου.

Στη συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους: Σμήναρχο (ΜΑ) Κωνσταντίνο Κλενιάτη, πρώην Διοικητή της Υπηρεσίας Διακριβώσεων και Σμήναρχο (ΜΑ) Νικόλαο Δανιήλ, νυν Διοικητή της Υπηρεσίας, που μου επέτρεψαν την ελεύθερη πρόσβαση σε όλα τα τμήματα της.

Ιδιαίτερη ευγνωμοσύνη αισθάνομαι για τον Μόνιμο Υπάλληλο Τεχνικό Υπεύθυνο-Τεχνικό Διακριβωτή Ευάγγελο Αρτσίτα ,ο οποίος ήταν δίπλα μου σε όλη τη διάρκεια των πειραματικών μετρήσεων, παρέχοντάς μου πολύτιμες συμβουλές , μεταλαμπαδεύοντάς μου την τεράστια εμπειρία του και το πάθος ενός πραγματικού ερευνητή.

Τέλος, ευχαριστώ τη σύζυγό μου για τη στήριξή της καθ' όλη τη διάρκεια της προσπάθειάς μου και αφιερώνω την εργασία μου στα δύο μου παιδιά, Δημήτρη και Κατερίνα.

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διακρίβωση 5m μετροταινίας γενικής χρήσης στο Εργαστήριο Διαστατικών Μεγεθών της ΥΠΗΔ ,ο υπολογισμός της αβεβαιότητας που προκύπτει από τη διαδικασία αυτή και η έκδοση του πιστοποιητικού διακρίβωσης.

Η εργασία αποτελείται από εννέα κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο, παρουσιάζεται η αποστολή και το έργο της ΥΠΗΔ και του Εργαστηρίου Διαστατικών Μεγεθών. Στο δεύτερο κεφάλαιο, περιγράφεται η διαδικασία υπολογισμού της αβεβαιότητας, με τη βοήθεια του νόμου των πιθανοτήτων, καθώς και τα χαρακτηριστικά των μετρήσεων. Στο τρίτο κεφάλαιο, αναλύονται η διαδικασία επαναδιακρίβωσης των οργάνων και το κόστος διακρίβωσης. Επίσης, καταγράφονται οι οδηγίες επιλογής αξιόπιστου εργαστηρίου διακρίβωσης και τα χαρακτηριστικά των μετροταινιών. Στο τέταρτο κεφάλαιο, περιγράφεται το πειραματικό κομμάτι της εργασίας και αναλύονται όλα τα στάδια της διαδικασίας που ακολουθήθηκαν στο εργαστήριο, με βάση τις οδηγίες OIML R 35-1, R 35-2 ,R 35-3 που έχει εκδώσει ο Διεθνής Οργανισμός Μετρολογίας OIML. Στο πέμπτο κεφάλαιο αναλύεται ο υπολογισμός των επιμέρους αβεβαιοτήτων που επηρεάζουν το αποτέλεσμα της μέτρησης. Στο έκτο κεφάλαιο, υπολογίζεται ο δείκτης διάθλασης ,μέσω της ιστοσελίδας του ENGINEERING METROLOGY TOOLBOX που έχει δημιουργηθεί από το NIST ,για τις συγκεκριμένες περιβαλλοντικές που επικρατούσαν κατά την διεξαγωγή των μετρήσεων .Στο έβδομο κεφάλαιο περιγράφεται ο υπολογισμός αβεβαιότητας της συγκεκριμένης μεθόδου για τα 500mm. Στο όγδοο κεφάλαιο υπολογίζεται η Μετρητική Ικανότητα Διακρίβωσης (Calibration and Measurement Capability) της μετροταινίας ενώ, τέλος, στο ένατο κεφάλαιο παρουσιάζεται το ισοζύγιο αβεβαιότητας για τα 500mm και το πιστοποιητικό διακρίβωσης της μετροταινίας.

ABSTRACT

The purpose of the current thesis is the “calibration” of a general purpose 5m measure tape by the Laboratory of Bistatic Dimensions of the Hellenic Air Force Calibration Agency, the calculation of the uncertainty during this procedure and the issuing of the calibration certificate.

The thesis consists of nine chapters. In the first chapter, the mission and the work of the Hellenic Air Force Calibration Agency and its Laboratory of Bistatic Dimensions is being presented. In the second chapter, the process of calculating the uncertainty by using the law of possibilities is being described as well as the particular characteristics of all the measurements. In the third chapter, the process of recalibrating the instruments along with the cost of the calibration process is being analyzed. Furthermore, instructions on selecting a reliable calibration laboratory as well as the characteristics of the measurements are being given. In the fourth chapter, the experimental part of the thesis is being described and all the stages of the process are being analyzed, in accordance to OIML R 35-4, R 35-2, R 35-3 by the OIML. In the fifth chapter, the deflection index is being calculated, by the use of the ENGINEERING METROLOGY TOOLBOX website created by the NIST, for the specific environmental conditions during the measurements. In the seventh chapter, the calculation of the uncertainty of the specific method for the 500mm is being described. In the eighth chapter, the Calibration and Measurement Capability of the measure tape is being calculated and, finally, in the ninth chapter, the balance of uncertainty for the 500mm along with the certificate of calibration for the measurement tape are being presented

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	i
Περίληψη.....	ii
ABSTRACT	iii
1. Έργο της ΥΠΗΔ και Αίθουσα Διαστατικών Μεγεθών	1
1.1 ΥΠΗΔ.....	1
1.1.1 Αποστολή της ΥΠΗΔ.....	1
1.1.2 Έμβλημα-Σήμα ΥΠΗΔ	1
1.1.3 Τοποθεσία –Έδρα	2
1.1.4 Ύδρευση-Μετονομασία-Μετεγκατάσταση-Υπαγωγή	2
1.1.5 Αποστολή –Σκοπός	2
1.1.6 Οργάνωση	2
1.1.7 Παραγωγικά μέσα-Εργαστήρια- Κινητές Ομάδες	2
1.1.8 Εκπαίδευση	4
1.1.9 Διασφάλιση ποιότητας-Ενέργειες Διοίκησης-Διαπίστευση κατά ΕΛΟΤ EN ISO/IEC 17025:2005.....	4
1.1.10 Αλλαγές-Τροποποιήσεις-Καθημερινή Βελτίωση.....	7
1.1.11 ΥΠΗΔ- ΕΙΜ	7
1.1.12 Συμμέτοχη σε Διεργαστηριακές Ασκήσεις.....	7
1.2 Αίθουσα Διαστατικών Μετρήσεων – Περιγραφή ελεγχόμενων συνθηκών.....	7
1.2.1 Χειρισμός Συσκευών-Εξοπλισμού	9
1.2.2 Ασφάλεια Συσκευών.....	10
1.2.3 Έλεγχος Έγγραφων-Βάση δεδομένων.....	11
1.2.4 Ιχνηλασιμότητα μετρήσεων	11
1.2.5 Έκδοση Πιστοποιητικού Διακρίβωσης.....	11
2. Διαδικασία υπολογισμού της αβεβαιότητας- Χαρακτηριστικά μετρήσεων.....	13
2.1 Ιστορία των μετρήσεων	13
2.2 Παραδείγματα Μετρήσεων στην καθημερινή ζωή και στην βιομηχανία	13
2.3 Διεθνές Σύστημα Μονάδων.....	14
2.4 Μετρολογία.....	15
2.5 Μετρολογικό Σύστημα της Ελλάδος.....	15
2.6 Ιεράρχηση Μετρολογικού Συστήματος-Προτύπων	16
2.7 Αβεβαιότητα Μετρήσεων.....	17

2.8 Ακρίβεια της μέτρησης- Αξιοπιστία μέτρησης- Διασπορά μέτρησης	18
2.9 Πηγές Σφάλματος	19
2.10 Σφάλμα Μέτρησης	20
2.11 Τύποι Σφαλμάτων.....	20
2.12 Συμφωνία Έκφρασης Διασποράς Τιμών	20
2.13 Μετρητική αβεβαιότητα κατά ISO GUM	21
2.13.1 Διαδικασία μέτρησης με την χρήση του νόμου διάδοσης των αβεβαιοτήτων ..	22
2.13.2 Διαδικασία μέτρησης με την χρήση της προσομοίωσης Monte Carlo.....	23
2.14 Τρόποι υπολογισμού τυπικής αβεβαιότητας.	23
2.14.1 Αβεβαιότητα Τύπου Α.....	23
2.14.2 Αβεβαιότητα Τύπου Β.....	23
2.15 Συνδυασμένη Τυπική Αβεβαιότητα	25
2.16 Διευρυμένη Αβεβαιότητα.....	26
2.17 Αποτέλεσμα μέτρησης.....	26
3. Διαδικασία επαναδιακρίβωσης των οργάνων , το κόστος διακρίβωσης. Οδηγίες επιλογής αξιόπιστου εργαστηρίου διακρίβωσης. Χαρακτηριστικά των μετροταινιών.	27
3.1 Ανάγκη διακρίβωσης των οργάνων.....	27
3.1.1 Επαναδιακρίβωση των οργάνων.....	28
3.1.2 Κόστος Διακρίβωσης.....	29
3.1.3 Οδηγίες επιλογής αξιόπιστου εργαστηρίου διακρίβωσης	30
3.2 Χαρακτηριστικά των μετροταινιών	31
3.2.1 Μετροταινίες.....	31
3.2.2 Ονομαστικό μήκος.....	31
3.2.3 Υλικό Κατασκευής-Τρόπος Χρήσης.....	31
3.2.4 Βαθμολογική Κλίμακα- ενδείξεις	32
4. Πειραματικό κομμάτι της διαδικασίας διακρίβωσης της 5 m μετροταινίας	36
4.1 Περιγραφή Διακρίβωσης	36
4.2. Απαιτήσεις εξοπλισμού	37
4.3 Προκαταρτικές εργασίες.....	40
4.4. Διαδικασία μετρήσεων	44
4.4.1 Δοκιμή ακριβείας.....	44
4.5 Αποτελέσματα Μετρήσεων.....	48
4.6 LASER AGILENT 5529A -Περιγραφή δυνατοτήτων και βημάτων μέτρησης.....	50

5. Υπολογισμός των επιμέρους αβεβαιοτήτων που επηρεάζουν το αποτέλεσμα της μέτρησης	54
5.1 Υπολογισμός μήκους μετροταινίας.....	54
5.2 Αβεβαιότητα των μετρήσεων	56
5.2.1 Υπολογισμός αβεβαιότητας uLm	56
5.2.2 Υπολογισμός αβεβαιότητας για unair	58
5.2.3 Υπολογισμός αβεβαιότητας για uam	58
5.2.4 Υπολογισμός αβεβαιότητας για uTm	58
5.2.5 Υπολογισμός αβεβαιότητας για uab	59
5.2.6 Υπολογισμός αβεβαιότητας για ucos	60
5.2.7 Υπολογισμός αβεβαιότητας για udp	60
5.2.8 Υπολογισμός αβεβαιότητας για uLlat	62
5.2.9 Υπολογισμός αβεβαιότητας για uLtur	63
5.2.10 Υπολογισμός αβεβαιότητας για uLfor	63
5.2.11 Υπολογισμός αβεβαιότητας για uLdop	64
5.2.12 Υπολογισμός αβεβαιότητας για uLo (επαναληψιμότητα στο σημείο 0).....	64
5.2.13 Υπολογισμός αβεβαιότητας για uLi (επαναληψιμότητα στο σημείο i).....	65
5.3 Υπολογισμός συνδυασμένης τυπικής αβεβαιότητας.....	65
5.4 Υπολογισμός διευρυμένης αβεβαιότητας.....	66
5.5 Αποτέλεσμα μέτρησης.....	66
6. Υπολογισμός δείκτη διάθλασης.....	67
6.1 Δείκτης διάθλασης	67
6.1.1 Υπολογισμός δείκτη Διάθλασης	69
6.1.2 Υπολογισμός αβεβαιότητας δείκτη διάθλασης	71
6.2 Αριθμητικός υπολογισμός δείκτη διάθλασης και συνδυασμένης τυπικής αβεβαιότητας.....	78
7. Υπολογισμός ισοζυγίου αβεβαιότητας της συγκεκριμένης μεθόδου για τα 500mm	83
7.1 Ποσοτικοποίηση των πηγών αβεβαιότητας	83
7.1.1 Μήκος κύματος στο κενό λ_{vac}	83
7.1.2 N (πλήθος μηκών κύματος).....	84
7.1.3 Δείκτης διάθλασης n_{air}	85
7.1.4 Αβεβαιότητα θερμικής διαστολής της μετροταινίας α_m	85
7.1.5 $\Delta T=(T_r-T_m)$ διαφορά θερμοκρασίας από την πρότυπη	85
7.1.6 dLab Διόρθωση μήκους λόγω σφάλματος abbe.....	86

7.1.7 dLcos Διόρθωση μήκους λόγω σφάλματος cosine.....	86
7.1.8 dLdp Διόρθωση μήκους λόγω σφάλματος deadpath	87
7.1.9 dLlat Διόρθωση μήκους λόγω σφάλματος lateral.....	87
7.1.10 dLtur Διόρθωση μήκους λόγω σφάλματος turbulence.....	87
7.1.11 dLfor Διόρθωση μήκους λόγω σφάλματος force	88
7.1.12 dLdop Διόρθωση μήκους λόγω φαινομένου Doppler	88
7.1.13 dLo Διόρθωση μήκους λόγω σφάλματος repeatability(0)	88
7.1.14 dLi Διόρθωση μήκους λόγω σφάλματος repeatability(i)	89
7.2 Υπολογισμός συνδυασμένης τυπικής αβεβαιότητας.....	89
7.3 Υπολογισμός διευρυμένης αβεβαιότητας -Αποτέλεσμα μέτρησης.....	89
8. Υπολογισμός Μετρητική Ικανότητα Διακρίβωσης (Calibration and Measurement Capability) της μετροταινίας.....	91
9. Ισοζύγιο αβεβαιότητας για τα 500mm -Πιστοποιητικό διακρίβωσης της μετροταινίας.....	94
9.1 Ισοζύγιο αβεβαιότητας για τα 500mm.....	94
9.2 Πιστοποιητικό διακρίβωσης της μετροταινίας.....	97
Βιβλιογραφία.....	101

1. Έργο της ΥΠΗΔ και Αίθουσα Διαστατικών Μεγεθών

1.1 ΥΠΗΔ

1.1.1 Αποστολή της ΥΠΗΔ



Εικόνα 1. Προαύλιος χώρος ΥΠΗΔ

Ξεκινώντας την παρούσα διπλωματική εργασία θα ήθελα να παρουσιάσω στο ευρύ κοινό την ιστορία, την οργάνωση και τον σκοπό της Υπηρεσίας Διακριβώσεων (ΥΠΗΔ). Επιπλέον, θα ήθελα να παρουσιάσω τις εγκαταστάσεις, τα εργαστήρια, τις διεργασίες που πραγματοποιούνται στην ΥΠΗΔ, καθώς και την Αίθουσα Διαστατικών Μετρήσεων, όπου και έγινε η όλη διαδικασία της διακρίβωσης της μετροταινίας, κάτω από συγκεκριμένες Η υπηρεσία έχει γίνει γνωστή σε πλήθος ιδιωτικών φορέων και οργανισμών με τους οποίους πλέον συνεργάζεται.

1.1.2 Έμβλημα-Σήμα ΥΠΗΔ

Έχει το παρακάτω έμβλημα με το ρητό: ΜΕΓΕΘΗ ΑΛΛΗΛΑ ΛΟΓΟΝ ΕΧΕΙΝ.



1.1.3 Τοποθεσία –Έδρα

Η ΥΠΗΔ βρίσκεται στο δήμο Βύρωνα του νομού Αττικής και συγκεκριμένα στο Στρατόπεδο Αερονομίας.

1.1.4 Ίδρυση-Μετονομασία-Μετεγκατάσταση-Υπαγωγή

Ιδρύθηκε και άρχισε να λειτουργεί ως Κρατικό Εργαστήριο Διακρίβωσης Προτύπων (ΚΕΔΠ) το 1959 με έδρα στο Παλαιό Φάληρο ,υποστηρίζοντας όλους τους κλάδους των Ενόπλων Δυνάμεων .Μετα από δέκα επτά χρόνια και συγκεκριμένα το 1976 μετονομάστηκε με την σημερινή της ονομασία .Ένα χρόνο αργότερα έγινε η μετεγκατάσταση της από το Παλαιό Φάληρο στις σημερινές εγκαταστάσεις της στο Στρατόπεδο της Αερονομίας όπου και εδρεύει έως και σήμερα .Κατά το έτος 2007 έγινε στελέχωση της Υπηρεσίας με προσωπικό τόσο από τον Στρατό Ξηράς όσο και από το Πολεμικό Ναυτικό και θεσμοθετήθηκε ως Διακλαδική Υπηρεσία Διακριβώσεων με Υπαγωγή στον Κύριο Α/ΓΕΕΘΑ μέσω του Κυρίου Α/ΓΕΑ.

1.1.5 Αποστολή –Σκοπός

Οι τρεις βασικές αποστολές της ΥΠΗΔ είναι οι ακόλουθες:

- Η επισκευή και διακρίβωση οργάνων- εργαλείων και συσκευών και των τριών κλάδων των Ενόπλων Δυνάμεων καθώς και διαφόρων Δημόσιων και Ιδιωτικών Φορέων.
- Η περιοδική αξιολόγηση και πιστοποίηση υπηρεσιών και προσωπικού των Περιφερειακών Εργαστηρίων Διακρίβωσης (ΠΕΔ) και των Συνεργείων Περιορισμένης Διακρίβωσης (ΣΠΕΔ).
- Η ανάπτυξη μετρητικών διατάξεων και διαδικασιών.

1.1.6 Οργάνωση

Το βασικό οργανόγραμμα της ΥΠΗΔ διαθέτει τον διοικητή με το επιτελείο του ,τις διευθύνσεις παραγωγής ,διασφάλισης ποιότητας και υποστήριξης. Περιλαμβάνει ακόμα τα γραφεία εφοδιασμού ,οικονομικού και τα γραφεία των αξιωματικών συνδέσμων. Επίσης, διαθέτει χώρους παραλαβής και αποστολής υλικού για την εξυπηρέτηση των πελατών της Υπηρεσίας .Απαραίτητοι είναι και οι αποθηκευτικοί χώροι που προορίζονται για τη ασφαλή φύλαξη των συσκευών των μονάδων κάτω από συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες. Η βιβλιοθήκη της ΥΠΗΔ αποτελεί ένα χώρο συνάντησης και ενημέρωσης της πορείας των εξελίξεων στην μετρολογία. Όλα τα τμήματα και οι διευθύνσεις συνεπικουρούν στο έργο του διοικητή .Καθημερινά όλο το πολιτικό και στρατιωτικό προσωπικό εργάζεται με μεγάλη υπευθυνότητα για την ακριβή και αξιόπιστη λειτουργία των οπλικών συστημάτων μας, τα οποία εξασφαλίζουν την εθνική άμυνα της χώρας μας και την ασφάλεια των χειριστών τους.

1.1.7 Παραγωγικά μέσα-Εργαστήρια- Κινητές Ομάδες

Όλες οι υψηλές μετρήσεις ακριβείας καθώς και οι διακριβώσεις γίνονται στις εγκαταστάσεις της υπηρεσίας και συγκεκριμένα στα πλήρη εξοπλισμένα εργαστήρια-αίθουσες .Οι τομείς που καλύπτονται είναι οι παρακάτω

- Ηλεκτρονικών - Ηλεκτρικών
- Φυσικών Διαστάσεων
- Ηλεκτρομηχανικών – Μηχανικών

Επιπλέον, υπάρχουν και Κινητές Ομάδες Διακριβώσεως (ΚΟΔ) οι οποίες επισκέπτονται τις μονάδες των Ενόπλων Δυνάμεων στα νησιά και στην ηπειρωτική Ελλάδα, παρέχοντας όλες σχεδόν τις υπηρεσίες που γίνονται στις εγκαταστάσεις της ΥΠΗΔ. Οι συγκεκριμένες ομάδες είναι εξοπλισμένες με διαμορφωμένα οχήματα που διαθέτουν πρότυπες συσκευές και αντικραδασμικά συστήματα για να αποφεύγονται οι καταπονήσεις τους κατά την διάρκεια των ταξιδιών. Η συμβολή τους είναι τεραστία μιας και η μεταφορά των διαφόρων οπλικών συστημάτων στην ΥΠΗΔ θα ήταν αδύνατη και το κόστος τεράστιο. Πρόσφατα μάλιστα, στην υπηρεσία της ΥΠΗΔ εντάχθηκε ένα ακόμα ειδικά διασκευασμένο φορτηγό όχημα, με διακριβωμένες συσκευές, το οποίο με το έμπειρο προσωπικό που το στελεχώνει, μπορεί να φέρει εις πέρας αποστολές σε μακρινούς προορισμούς σε όλη την επικράτεια.



Εικόνα 2. Εργαστήριο Ηλεκτρομηχανικών-μηχανικών



Εικόνα 3. Εργαστήριο Ηλεκτρονικών – Ηλεκτρικών



Εικόνα 4. Εργαστήριο Διαστατικών Μετρήσεων

1.1.8 Εκπαίδευση

Οι υπηρεσίες που παρέχει η Υπηρεσία Διακριβώσεως σε δημόσιους και ιδιωτικούς φορείς είναι ανάλογες των δεξιοτήτων και της αποτελεσματικότητας των εργαζομένων της, οι οποίες διασφαλίζονται από τη συνεχή ενημέρωση και εκπαίδευση υψηλού επιπέδου που παρέχεται στο έμπειρο προσωπικό της. Σεμινάρια, σχολεία και εκπαιδεύσεις πάνω σε νέες μεθόδους διακρίβωσης και ελέγχου των συσκευών διοργανώνονται από τη Διοίκηση της Υπηρεσίας με σκοπό να διατηρηθεί το επίπεδο των υπηρεσιών της.

Τα σχολεία νέων διακριβωτών περιλαμβάνουν πέντε εβδομάδες θεωρητική εκπαίδευση και επτά μήνες πρακτική εκπαίδευση. Για κάθε πεδίο διακρίβωσης η εκπαίδευση είναι ξεχωριστή και εξειδικευμένη .

1.1.9 Διασφάλιση ποιότητας-Ενέργειες Διοίκησης-Διαπίστευση κατά ΕΛΟΤ EN ISO/IEC 17025:2005

Η ΥΠΗΔ αποτελεί για τις ένοπλες δυνάμεις της Ελλάδας τον ανώτερο φορέα διακρίβωσης και αυτό όχι τυχαία .Καταβάλλονται συνεχώς προσπάθειες η υπηρεσία να ακολουθεί και να εφαρμόζει ένα πρόγραμμα διασφάλισης ποιότητας όπως ισχύει στις πάγιες διαταγές της Πολεμικής Αεροπορίας και στα αντίστοιχα πρότυπα της Αμερικανικής Πολεμικής Αεροπορίας.

Αναγνωρίζοντας την αξιοπιστία του προσωπικού της στον τομέα των διακριβώσεων και θέλοντας να αναβαθμίσει το κύρος των εργαστηρίων της, η ΥΠΗΔ ξεκίνησε τις διαδικασίες για να διαπιστευτεί κατά ΕΛΟΤ EN ISO/IEC 17025:2005. Έτσι, ξεκίνησαν όλες οι εργασίες προκειμένου να αξιολογηθεί στα πεδία μάζας ,μήκους ,θερμοκρασίας και ηλεκτρικής αντίστασης στα εργαστήρια Ηλεκτρονικών συσκευών και Ηλεκτρομηχανικών.

Η προσπάθεια αυτή για να στεφθεί με επιτυχία, χρειάστηκε σκληρή δουλειά και έγινε πάνω σε ένα πολύ απαιτητικό πρότυπο με αυστηρούς κανόνες και ελέγχους , που καθορίζει προσωπικό ,διαδικασίες ,έγγραφα ,χρονική διάρκεια.

Αρμόδιος οργανισμός για να χορηγήσει το παραπάνω πιστοποιητικό στην Ελλάδα βάση νομού είναι το Εθνικό Σύστημα Διαπίστευσης (Ε.ΣΥ.Δ.) .Στην αρχική του σελίδα το Ε.ΣΥ.Δ. αναφέρει ότι διαπίστευση είναι η διαδικασία της επίσημης αναγνώρισης από αρμόδιο οργανισμό, ότι ένα νομικό ή φυσικό πρόσωπο ασκεί συγκεκριμένες δραστηριότητες με αμεροληψία και με τεκμηριωμένη επάρκεια .Επιπλέον, καθορίζει τα έντυπα ,τους κανόνες

και τις διαδικασίες που πρέπει να ακολουθηθούν προκειμένου να διαπιστευτεί το υποψήφιο εργαστήριο προς διαπίστευση.

Έχοντας σαν βάση το διεθνές πρότυπο 17025 όρισε τους υπεύθυνους Έναν Υπεύθυνο Ποιότητας στη Διεύθυνση Διασφάλισης Ποιότητας και δύο Τεχνικών Υπευθύνων για κάθε ένα εργαστήριο (Ηλεκτρονικών συσκευών και Ηλεκτρομηχανικών).

Έπειτα ακολουθήθηκαν όλα τα βήματα υλοποίησης συστήματος διαχείρισης της ποιότητας:

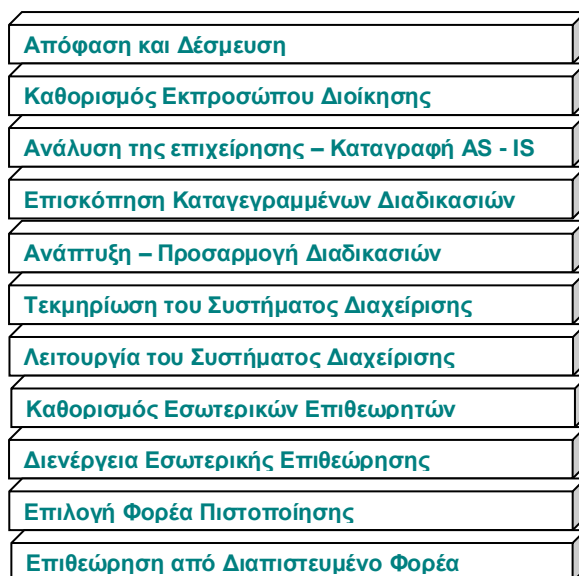
- Πλήρης καταγραφή των σταθερών περιβαλλοντικών συνθηκών που επικρατούν και επηρεάζουν τις δοκιμές.
- Καθαριότητα των χώρων των εργαστηρίων.
- Απουσία ακτινοβολιών ,υγρασίας και ήχων στους χώρους όπου γίνονται οι διακριβώσεις.
- Επικύρωση των μεθόδων διακρίβωσης.
- Ιχνηλασιμότητα των μετρήσεων.
- Κατάρτιση και εξειδίκευση του προσωπικού που θα διαθέτουν εμπειρία, ικανοποιητική γνώση δοκιμών ,της νομοθεσίας και προτύπων.
- Ύπαρξη καταγεγραμμένα συντηρημένου και διακριβωμένου του εξοπλισμού των εργαστηρίων.
- Λογισμικό εγγραφής ,επεξεργασίας των αποτελεσμάτων καθώς και έκδοσης του πιστοποιητικού διακρίβωσης.
- Συνεχής εξωτερικός και εσωτερικός έλεγχος ποιότητας .
- Έκδοση πιστοποιητικών καταγράφοντας με πλήρη ακρίβεια και αξιοπιστία τις περιβαλλοντικές συνθήκες ,την μέθοδο διακρίβωσης ,την αβεβαιότητα της μέτρησης καθώς και αν χρειάστηκε επισκευή η ρύθμιση η προς διακρίβωση συσκευή.
- Υποχρέωση συμμετοχής σε διεργαστηριακές ασκήσεις.
- Μελέτη βέλτιστης μέτρησης.
- Καταγεγραμμένη μέθοδο δοκιμών.
- Συγκεκριμένη διαδικασία παραλαβής και προετοιμασίας της προς διακρίβωσης συσκευής.
- Διαδικασία χειρισμού μη συμμορφώσεων.
- Δημιουργία εμπιστοσύνης στους πελάτες ως προς τις ικανότητες των εργαστηρίων καθώς και στην αξιοπιστία των εκδιδόμενων αποτελεσμάτων.
- Πλήρης καταγραφή και προγραμματισμός της ροής εργασιών.

Διατυπώθηκαν οι δηλώσεις ποιότητας και ενσωματώθηκαν στο εγχειρίδιο ποιότητας .Έγινε πλήρης ανασχεδιασμός βάσει προτύπου. Ελέγχθηκε το σύστημα διοίκησης ποιότητας και τεκμηριώθηκε μέσω των πέντε επίπεδων

- Πολιτική ποιότητας
- Εγχειρίδιο ποιότητας
- Εγχειρίδιο διαδικασιών
- Εγχειρίδιο οδηγιών εργασίας
- Έγγραφων συστήματος διαχείρισης ποιότητας

Ενημερώθηκε το προσωπικό και συντάχτηκαν όλα τα απαραίτητα έγγραφα.

Όλα τα βήματα που αναφερθήκαν παραπάνω απεικονίζονται στο παρακάτω σχήμα που ακολουθεί (πηγή Βρασίδης Λεώπουλος Συστήματα Διαχείρισης Ποιότητας)



Αποστάλθηκαν σε έντυπη και ηλεκτρονική μορφή τα παρακάτω έγγραφα όπως προβλέπεται από το ΕΣΥΔ

- Έντυπη Αίτηση συμπληρωμένη
- το Εγχειρίδιο Ποιότητας
- τις σχετικές διαδικασίες
- τα απαραίτητα νομιμοποιητικά έγγραφα και
- αντίγραφο καταθετηρίου τραπέζης από το οποίο προκύπτει η καταβολή των τελών αίτησης

Τα έγγραφα αυτά ελέγχθηκαν βάσει των αντίστοιχων κριτηρίων και τους κανόνων διαπίστευσης και αφού δεν προέκυψε κανένα πρόβλημα ορίστηκε ημερομηνία ελέγχου. Αξιολογήθηκε η επάρκεια των εργαστηρίων και η καταλληλότητα των μεθόδων και του εξοπλισμού. Προσδιορίστηκε η ιχνηλασιμότητα των μετρήσεων και επίσης αξιολογήθηκε η ικανότητα και η αποτελεσματικότητα του προσωπικού που εκτελεί διακρίβωση για να μην υπάρχουν λάθη ή παραλήψεις στην καταχώρηση, ανάλυση και αναφορά των αποτελεσμάτων.

Η ολοκλήρωση της διαπίστευσης έγινε την 23.1.2015 με αριθμό πιστοποιητικού 966, από το Ε.ΣΥ.Δ. έχοντας ισχύ μέχρι την 22.01.2019.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι διαπιστεύσεις της Υπηρεσίας όπως αναφέρονται στην ιστοσελίδα του Ε.ΣΥ.Δ για το Υπουργείο Εθνικής Άμυνας, Γενικό Επιτελείο Εθνικής Άμυνας, Διακλαδική Υπηρεσία Διακριβώσεων Ενόπλων Δυνάμεων (ΥΠΗΔ).

Μετρήσεις Μάζας.

- Ηλεκτρονικά όργανα ζύγισης μη-αυτόματης λειτουργίας.

Ηλεκτρικές μετρήσεις.

- Μετρητικά όργανα αντίστασης.

Μετρήσεις Θερμοκρασίας.

- Αισθητήρες θερμοκρασίας.

Διαστασιακές μετρήσεις.

- Αναλογικά παχύμετρα.
- Εξωτερικά αναλογικά μικρόμετρα.
- Εξωτερικά ψηφιακά μικρόμετρα.

- Ψηφιακά παχύμετρα.

1.1.10 Αλλαγές-Τροποποιήσεις-Καθημερινή Βελτίωση

Στόχος καθημερινά όλων των εργαζομένων ,πολιτικού και στρατιωτικού προσωπικού, είναι η αναβάθμιση των υπηρεσιών που προσφέρονται και η αποκατάσταση των προβλημάτων που προκύπτουν .Περιοδικά γίνονται εσωτερικοί και εξωτερικοί έλεγχοι. Η βιβλιοθήκη είναι το μέρος όπου γίνονται οι συναντήσεις ,συζητιούνται τα παράπονα των πελατών και ενημερώνεται το προσωπικό για τις εξελίξεις στην μετρολογία. Καθημερινά γίνεται προσπάθεια βελτίωσης για την αποδοτικότερη λειτουργία της Υπηρεσίας , έστω και με περιορισμένους πόρους.

1.1.11 ΥΠΗΔ- ΕΙΜ

Η συνεργασία ξεκίνησε από το 2003 και διαρκεί μέχρι και σήμερα, ενώ οι υπηρεσίες που παρέχονται αναβαθμίζονται συνεχώς .Το Ελληνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας αρχικά διακρίβωνε τον εξοπλισμό και τα πρότυπα της Υπηρεσίας Διακριβώσεως .Πλέον εκπαιδεύει το προσωπικό με σεμινάρια στην έδρα της στην Θεσσαλονίκη και μεταφέρει την τεχνογνωσία της ανταλλάσσοντας απόψεις και εμπειρίες.

1.1.12 Συμμέτοχη σε Διεργαστηριακές Ασκήσεις

Η ΥΠΗΔ, έχει συμμετάσχει επιτυχώς σε διεργαστηριακές ασκήσεις για συγκριτική διαπίστευση μικρομέτρου, θερμομέτρου ,ζυγού και αντίστασης με το ΕΙΜ.

1.2 Εργαστήριο Διαστατικών Μετρήσεων - Περιγραφή ελεγχόμενων συνθηκών

Στο δεύτερο μέρος του πρώτου κεφαλαίου θα περιγραφεί το εργαστήριο Διαστατικών μετρήσεων του Τμήματος Διακρίβωσης Ηλεκτρομηχανικών – Μηχανικών, όπου και διεξήχθησαν οι μετρήσεις, καθώς και όλη η διαδικασία της διακρίβωσης της 5m μετροταινίας . Το εργαστήριο είναι κατασκευασμένο βάση αμερικανικών προτύπων , ενώ εδώ και τρία χρόνια έχει ολοκληρωθεί και η εγκατάσταση της κλιματιστικής μονάδας που έχει δώσει σταθερή θερμοκρασία απαραίτητη για τον εγκλιματισμό των συσκευών καθώς και την διακρίβωση τους.

Συγκεκριμένα έχουν εξασφαλιστεί όλοι εκείνοι οι περιβαλλοντικοί παράμετροι - παράγοντες που επηρεάζουν τις διαστατικές μας μετρήσεις .

- Σταθερή Θερμοκρασία - Température [°c] : $20^{\circ}C \pm 0,5^{\circ}C$.
- Σχετική Υγρασία - Relative Humidity [%]: 45%+15%.
- Βαρομετρική πίεση- Barometric Pressure $100.000Pa \pm 6000 Pa$.

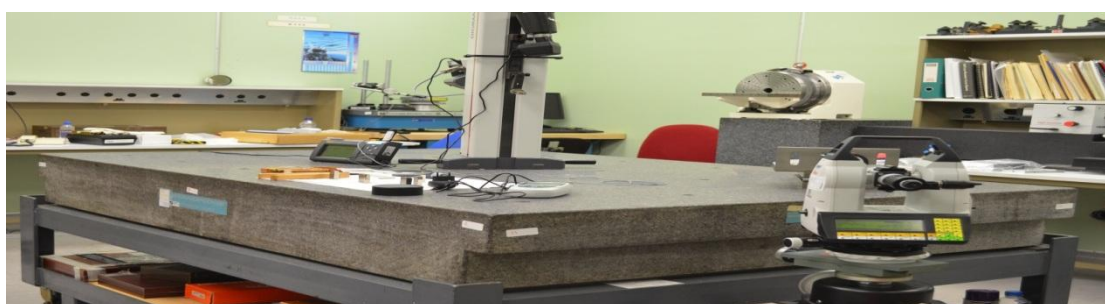
Οι παράγοντες αυτοί συνεχώς καταγράφονται όπως προβλέπεται βάση του προτύπου και αποτυπώνονται στα αντίστοιχα πιστοποιητικά διακρίβωσης.

Όσον αφορά στην μέτρηση θερμοκρασίας και υγρασίας χρησιμοποιείται το όργανο Fluke 1620A Dewk Thermo-Hygrometer.

Όσον αφορά στην μέτρηση της βαρομετρικής πίεσης χρησιμοποιείται το όργανο DHI RPM3A0015.

Επίσης, στην αίθουσα υπάρχει απουσία δονήσεων και ακτινοβολιών, όπως επιβάλλει το πρότυπο ΕΛΟΤ EN ISO/IEC 17025:2005.

Για να εισέλθει κάποιος στο εργαστήριο πρέπει να περάσει από ένα μικρό προθάλαμο, ώστε να εξασφαλίζεται έτσι η θερμική ισορροπία και η καθαριότητα του χώρου από σωματίδια σκόνης που τυχόν υπάρχουν στο διπλανό Τμήμα Διακρίβωσης Ηλεκτρομηχανικών – Μηχανικών. Οι περιβαλλοντικές συνθήκες για την διεξαγωγή διακρίβωσεων και εγκλιματισμού των προτύπων είναι άριστες και δεν επηρεάζονται από τα γύρω εργαστήρια. Η διατήρηση σταθερής θερμοκρασίας επιτυγχάνεται μέσω ενός συστήματος κλιματισμού το οποίο και ελέγχεται από αισθητήρες (όργανο μοντέλου A611), οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε συγκεκριμένα σημεία που έχουν επιλεγεί μετά από παρατήρηση και εμπειρία, έτσι ώστε να συλλέγουν τα δεδομένα που χρειάζονται ανά πάσα στιγμή. Σε περίπτωση βλάβης της κλιματιστικής μονάδας έχει προβλεφθεί η πλήρης παύση των εργασιών και η άμεση αποκατάσταση της βλάβης. Τα μετρητικά όργανα βρίσκονται πάνω σε μια γρανιτένια πλάκα εφαρμογής επιφάνειας 46x72 ίντσες (μοντέλου GGG-P-463). Η πλάκα αυτή εξασφαλίζει ισχυρή μόνωση και είναι πακτωμένη σε αντικραδασμική βάση.

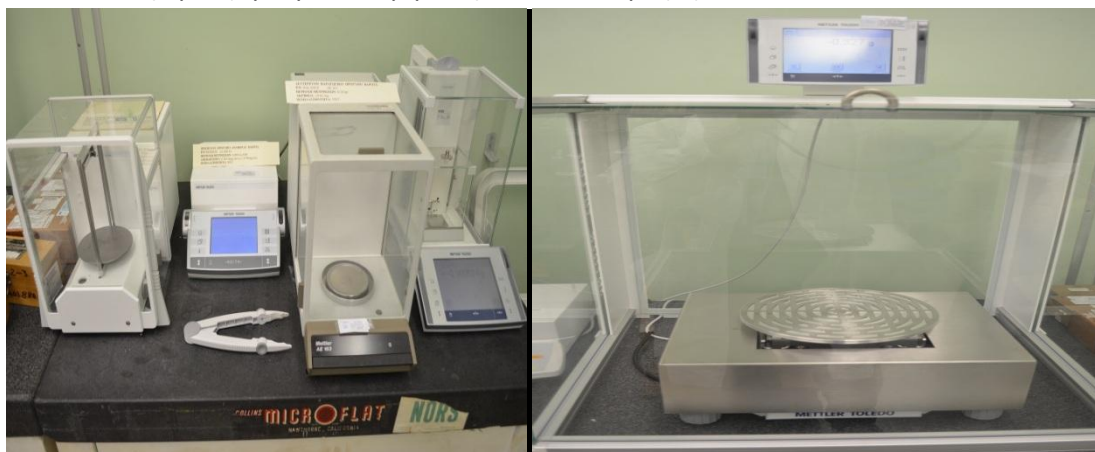


Στον χώρο του εργαστηρίου υπάρχουν οι παρακάτω συσκευές:

- Μηχανή Mahr 1000



- Διάφοροι ζυγοί για διακρίβωση του πεδίου μάζας



- Συσκευές για διακρίβωση θεοδολίων.



- Λείζερ AGILENT 5529A συνδεδεμένο με υπολογιστή και πληκτρολόγιο όπου έχει γίνει η εγκατάσταση του προγράμματος με το λογισμικό του πακέτου λείζερ.



Υπάρχουν διάφοροι αποθηκευτικοί χώροι όπου και φυλάσσονται οι συλλογές, τα πρότυπα, τα τεχνικά εγχειρίδια και ότι άλλο είναι αναγκαίο για να φέρει το προσωπικό σε πέρας το έργο και την αποστολή του.



1.2.1 Χειρισμός Συσκευών-Εξοπλισμού

Είναι αναγκαίο να τονισθεί πως μονό το προσωπικό που είναι εξουσιοδοτημένο μπορεί να χειριστεί τον εξοπλισμό των μετρήσεων του Εργαστηρίου. Πάνω σε κάθε μια συσκευή υπάρχουν οδηγίες λειτουργίας, ελέγχου του εξοπλισμού καθώς και οδηγίες για την προληπτική συντήρησή τους. Κάθε χρήση καταγράφεται και τηρούνται αρχεία από τους

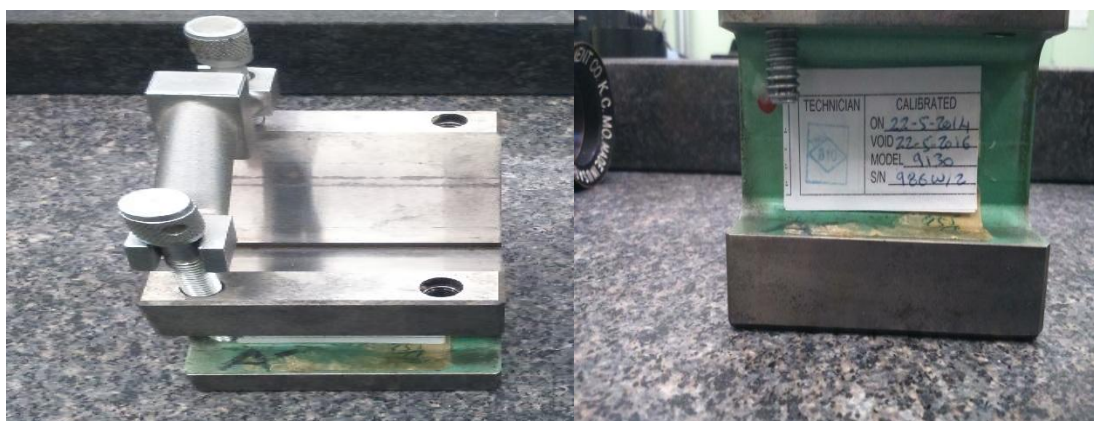
εξουσιοδοτημένους χειριστές της συσκευής με την οποιαδήποτε ενέργεια των χειριστών π.χ. ένας προγραμματισμένος έλεγχος , η διακρίβωση , μια παρατήρηση επί της λειτουργίας της, επιδιόρθωση ή ακόμα τυχόν βλάβη και αποκατάσταση .Το προσωπικό έχει διαθέσιμα τα εγχειρίδια των κατασκευαστών προκειμένου να τα συμβουλευτεί και να ενεργεί πάντα βάσει αυτών, αποφεύγοντας έτσι να προκληθεί ζημιά από αμέλεια ή απροσεξία στη χρήση τους.

Σε κάθε διακριβωμένο εξοπλισμό υπάρχει ετικέτα όπου διακρίνονται η ημερομηνία διακρίβωσης , η ημερομηνία της επόμενης διακρίβωσης και ο φορέας διακρίβωσης.

Στο παρακάτω όργανο βαρομετρικής πίεσης DHI RPM3A0015 φαίνονται χαρακτηριστικά ο αριθμός μοντέλου με τα τρία χαρακτηριστικά του 2083/H1-H2-H3,ο μοναδικός αριθμός διακρίβωσης που δόθηκε από τον Ε.Ι.Μ , η ημερομηνία της επόμενης διακρίβωσης 09-03-2015 και ο φορέας διακρίβωσης που είναι το Ε.Ι.Μ.



Στο παρακάτω όργανο V BLOCK (2EA) TAFT PEIRCE 9130 φαίνονται χαρακτηριστικά ημερομηνία διακρίβωσης 22-5-2014, η ημερομηνία της επόμενης διακρίβωσης 22-5-2016,αριθμός μοντέλου 9130 καθώς και ο φορέας διακρίβωσης (συγκεκριμένος τεχνικός του εργαστηρίου που έχει την σφραγίδα με αριθμό B10).



1.2.2 Ασφάλεια Συσκευών

Για οποιαδήποτε χρήση ,μεταφορά, αποθήκευση των συσκευών υπάρχουν καθορισμένες διαδικασίες που ακολουθούνται από τους χειριστές για να εξασφαλίσουν την ασφάλεια της συσκευής και την περαιτέρω λειτουργία της .Η συσκευή συνοδεύεται με μια ετικέτα ανάγνωσης στην οποία αναγράφονται τα στοιχεία της μονάδας, ο αριθμός ονομαστικού ,η περιγραφή της συσκευής, η ημερομηνία εισόδου και η εντολή εργασίας. Σε περίπτωση που

η συσκευή είναι της ΥΠΗΔ τότε έχει ένα μοναδικό αριθμό ταυτότητας ο οποίος φαίνεται στην βάση δεδομένων που υπάρχει στους υπολογιστές.

1.2.3 Έλεγχος Έγγραφων-Βάση δεδομένων

Όλες οι διαδικασίες και οι μέθοδοι που χρησιμοποιεί το εργαστήριο για τις μετρήσεις που λαμβάνουν χώρα τηρούνται σε αρχείο και εντοπίζονται με ειδικό λογισμικό σε σταθερούς υπολογιστές που βρίσκονται στον χώρο του εργαστηρίου .Είναι σημαντικό να τονισθεί ότι όλα τα γραφεία της υπηρεσίας έχουν τις ίδιες εκδόσεις εγγράφων. Το γεγονός αυτό είναι πάρα πολύ σημαντικό μιας και σε αντίθετη περίπτωση θα ήταν λόγος αποτυχίας και αποκλεισμού της μονάδας από τις διαδικασίες του προτύπου. Ο έλεγχος των εγγράφων έχει επιτευχθεί μέσω:

- Καθορισμένου αριθμού εγγράφου.
- Χρήση ελεγχόμενων εγγράφων.
- Ύπαρξη κατάλογου ,θεματολογίου εγγράφων.
- Πλήρης έλεγχος και καταγραφή κάθε αλλαγής.

Όλα τα έγγραφα του εργαστηρίου είναι πλήρως ενημερωμένα και υπογεγραμμένα από τους χειρίστες τους και τηρούνται σε φακέλους και σε κατάλληλη βάση δεδομένων όπου κάθε χρήστης μπαίνει με τον προσωπικό κωδικό του. Στην βάση υπάρχει όλος ο εξοπλισμός της ΥΠΗΔ, η ημερομηνία διακρίβωσής της κάθε συσκευής, η ημερομηνία τυχόν επισκευής της και η ημερομηνία επόμενης συντήρησης της .Επίσης, είναι καταγεγραμμένες όλες οι συσκευές που διακριβώνονται είτε επιτόπου είτε από τις κινητές ομάδες με πλήρη καταγραφή ημερομηνιών εισόδου και εξόδου ,αριθμών ονομαστικού, μονάδων προέλευσης .Τα πιστοποιητικά διακρίβωσης εκδίδονται αφού υπογραφούν απο τον τεχνικό υπεύθυνο, τον τεχνικό διακριβωτή και τον υπεύθυνο ποιότητας, ενώ τηρείται και αντίγραφο ,το οποίο και αποθηκεύεται σε συγκεκριμένο αρχείο και φάκελο. Τέλος, ο κάθε χειριστής μπορεί να δει όλα τα έγγραφα που εκδίδονται από τα γραφεία τις υπηρεσίας του.

1.2.4 Ιχνηλασιμότητα μετρήσεων

Πριν γίνει οποιαδήποτε διακρίβωση, κάθε τμήμα του εξοπλισμού του εργαστηρίου και γενικά της ΥΠΗΔ για να είναι ικανό να δίνει ακρίβεια και εγκυρότητα στα αποτελέσματα των μετρήσεων ελέγχεται . Για όλες τις συσκευές υπάρχει πλάνο προγραμματισμού διακρίβωσης ανάλογα με το χρονικό διάστημα που είναι αναγκαίο να γίνει ξανά ο έλεγχος της και ορίζεται μέσω του κατασκευαστή της από τα τεχνικά εγχειρίδια που συνοδεύουν κάθε συσκευή .Οι περισσότερες από αυτές τις διακριβώσεις διεξάγονται από το υπάρχον εξειδικευμένο προσωπικό των εργαστηρίων που έχουν το δικαίωμα υπογραφής πιστοποιητικών. Σε κάθε άλλη περίπτωση αποστέλλονται στα εργαστήρια του ΕΙΜ .Τα πρότυπα είναι ιχνηλάσιμα στα εθνικά πρότυπα Πρέπει να τονισθεί ότι για τα συγκεκριμένα πρότυπα αναφοράς που βρίσκονται στην αίθουσα Διαστατικών Μετρήσεων (πλακίδια αναφοράς και ζυγοί) υπάρχουν συγκεκριμένες οδηγίες φύλαξης, χειρισμού και διακρίβωσης .

1.2.5 Έκδοση Πιστοποιητικού Διακρίβωσης

Τα στοιχεία που περιλαμβάνονται και αναγράφονται σε κάθε πιστοποιητικό όχι μόνο της αίθουσας Διαστατικών αλλά και όλων των Εργαστηρίων της Υπηρεσίας Διακριβώσεως περιλαμβάνουν τα εξής:

- Τα στοιχεία του εργαστηρίου (όνομα διεύθυνση τηλέφωνο φαξ)
- Τα στοιχεία του πελάτη (όνομα και διεύθυνση)
- Τον αριθμό του πιστοποιητικού και τον αριθμό σειράς του οργάνου (Certificate number, Instrument serial No)
- Περιγραφή του οργάνου ,του κατασκευαστή και του τύπου του και της καταστάσεως του κατά την παραλαβή.
- Την ημερομηνία παραλαβής του οργάνου και την ημερομηνία έκδοσης του πιστοποιητικού.
- Υπογραφή από τον υπεύθυνο του εργαστηρίου.
- Αναγράφεται με ποια μέθοδο έγινε η σύγκριση και η διακρίβωση.
- Καταγράφονται οι περιβαλλοντικές συνθήκες του εργαστηρίου η διαδικασία διακρίβωσης ιχνηλασιμότητα η αβεβαιότητα καθώς και το επίπεδο εμπιστοσύνης και στο τέλος υπάρχουν τα αποτελέσματα της διακρίβωσης και
- Δήλωση για την μη αναπαραγωγή του υπόψη πιστοποιητικού χωρίς σύμφωνη γνώση της υπηρεσίας.

2. Διαδικασία υπολογισμού της αβεβαιότητας- Χαρακτηριστικά μετρήσεων

2.1 Ιστορία των μετρήσεων

Από τη αρχαιότητα έως και σήμερα ο άνθρωπος προσπαθεί να κατασκευάσει όργανα και συσκευές για να μετρά το βάρος ,την πίεση ,τον όγκο , την ισχύ ,την ηλεκτρική αντίσταση και την τάση. Όσο εξελίσσεται η τεχνολογία αυτό γίνεται πιο εύκολο αλλά συγχρόνως αυξάνονται και οι απαιτήσεις μας για να έχουμε μια πλήρη και ακριβή μέτρηση.

Στο παρελθόν κάθε περιοχή χρησιμοποιούσε τον δικό της τρόπο ζυγίσματος προϊόντων , έχοντας δική της μονάδα μέτρησης, χωρίς να υπάρχει κοινό σημείο αναφοράς μεταξύ τους ως προς το αποτέλεσμα.

2.2 Παραδείγματα Μετρήσεων στην καθημερινή ζωή και στην βιομηχανία

Παραδείγματα μετρήσεων συναντάμε συχνά στην καθημερινότητά μας. Πηγαίνοντας στο τοπικό μπακάλικο ή στο τοπικό κρεοπωλείο η ζυγαριά μέτρησης βάρους είναι απαραίτητη για την αγοραπωλησία, όπως , επίσης και ο μετρητής ποσότητας της βενζίνης. Η ακρίβεια των μετρήσεων σε αυτά τα καθημερινά παραδείγματα μπορεί να μην μας απασχολεί ιδιαίτερα, όταν όμως πρόκειται για μετρήσεις που επηρεάζουν την ποιότητα ενός προϊόντος ή την αξιοπιστία και τη λειτουργία μιας μηχανής ή μιας παραγωγικής διαδικασίας τότε η διακρίβωση των συσκευών μέτρησης είναι υψίστης σημασίας. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι τα οπλικά συστήματα. Ένα υπερσύγχρονο μαχητικό διαθέτει όργανα που δείχνουν από το ύψος του ίδιου του μαχητικού μέχρι και την ακριβή θέση του αντίπαλου μαχητικού. Ένα μικρό λάθος στην μέτρηση αποστάσεων καταλαβαίνει κανείς ότι μπορεί να οδηγήσει στην αποτυχία μιας αποστολής. Γενικότερα, τα όργανα-συσκευές μέτρησης στον τομέα της βιομηχανίας εξασφαλίζουν τη σωστή και έγκαιρη διάγνωση βλαβών και την αποφυγή ατυχημάτων. Στις μέρες μας όλες οι εταιρείες προσπαθούν να παρέχουν ποιοτικά προϊόντα χωρίς προβλήματα και ελλείψεις .Για αυτό τον λόγο έχει αναπτυχτεί η διαδικασία του προτύπου ISO.Έτσι, σε μια βιομηχανία ή ένα εργοστάσιο όταν το προϊόν που είναι στην γραμμή παραγωγής δεν καλύπτει συγκεκριμένες προδιαγραφές και απαιτήσεις , η παραγωγή σταματά μέχρι να αποκατασταθεί η αιτία της μη συμμόρφωσης . Όταν για παράδειγμα σε ένα εργοστάσιο παραγωγής κρουασάν με γέμιση, η μηχανή για κάποιο λόγο σταματήσει να τροφοδοτεί με τη σωστή ποσότητα γέμισης, αυτόματα παύει η λειτουργία της. Σε αντίθετη περίπτωση το προϊόν θα έβγαινε στην αγορά είτε με περισσότερη γέμιση, κάτι που θα κόστιζε οικονομικά στην εταιρεία , είτε με λιγότερη γέμιση, πράγμα που θα καθιστούσε το κρουασάν λιγότερο ποιοτικό στα μάτια των καταναλωτών.

2.3 Διεθνές Σύστημα Μονάδων

Το 1960 η Γενική Συνέλευση Μέτρων και Σταθμών υιοθέτησε τα Διεθνή Πρότυπα των επτά μονάδων του SI.Τ πρότυπα αυτά είναι το μέτρο (m) για το μήκος, το χιλιόγραμμο (kg) για την μάζα, το δευτερόλεπτο (s) για τον χρόνο , το αμπέρ (A) για την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος, το κέλβιν (K) για την θερμοκρασία ,η καντέλα (cd) για την ένταση της ακτινοβολίας, το μολ (mol) για την ποσότητα ύλης και αποτελούν τις βασικές μονάδες μέτρησης. Οι παράγωγες μονάδες προκύπτουν μετα από συγκεκριμένες σχέσεις με τις βασικές μονάδες .Τα πολλαπλάσια η υποπολλαπλάσια δηλώνονται με συγκεκριμένα προθέματα.

Παρακάτω παρουσιάζονται με το τι ισούται το κάθε πρότυπο.

➤ Μάζα

Ισούται με την μάζα ενός κυλίνδρου το ύψος του και η διάμετρός του είναι 39,17 mm.

➤ Χρόνος

Ορίζεται ως η χρονική διάρκεια 9.192.631.770 ταλαντώσεων που κάνει ένα άτομο καισίου-133.

➤ Μήκος

Ορίστηκε το μέτρο ως την απόσταση που διανύει το φως στο κενό στη διάρκεια 1/299.792.458 δευτερολέπτων.

➤ Θερμοκρασία

Ορίζεται από δύο σημεία, του απολύτου μηδενός και του τριπλού σημείου του νερού.

➤ Ποσότητα ύλης

Ένα μολ είναι η ποσότητα που περιέχει περίπου 6.02214 ·10²³ οντότητες.

➤ Ένταση ηλεκτρικού ρεύματος

Το αμπέρ είναι η ένταση ενός σταθερού ρεύματος το οποίο, αν διαρρέει δύο ευθείς παράλληλους αγωγούς απείρου μήκους και αμελητέας διατομής, σε απόσταση ενός μέτρου παράγει δύναμη ίση με 2 ·10⁻⁷ N/m.

➤ Ένταση φωτοβολίας

Η καντέλα ορίστηκε ως ένταση φωτοβολίας σε μια ορισμένη κατεύθυνση μια φωτεινής πηγής που εκπέμπει μονοχρωματική ακτινοβολία συχνότητας 540 ·10¹² Hz και έχει ένταση ακτινοβολίας σε αυτή την κατεύθυνση 1/683 watt ανά στερακίνιο.

Τα πρότυπα αυτά βρίσκονται σε συγκεκριμένους χώρους του Διεθνούς Γραφείου Μέτρων και Σταθμών (Bureau international des poids et mesures), που έχει έδρα του το Παρίσι .

Οι άλλες δύο οργανώσεις που διατηρούν το ίδιο σύστημα είναι: η Γενική Διάσκεψη Μέτρων και Σταθμών (Conférence générale des poids et mesures) και η "Διεθνής Επιτροπή των Μέτρων και Σταθμών (Comité international des poids et mesures).

Το Διεθνές Σύστημα Μονάδων είναι εξελισσόμενο και προσπαθεί να καλύπτει τις συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες μετρήσεων. Έτσι πλέον σε όλο τον πλανήτη εφαρμόζεται ενιαίος τρόπος μέτρησης που δεν επιδέχεται καμία αμφιβολία .Επιπλέον, για κάθε μια χώρα υπεύθυνο για την εξασφάλιση της ιχνηλασιμότητας των μετρήσεων είναι το μετρολογικό της σύστημα.

2.4 Μετρολογία

Στο διεθνές λεξικό βασικών ,γενικών και συναφών όρων μετρολογίας JCGM 200:2012 International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM) 3rd. Edition 2008 version with minor corrections συναντούμε τον ορισμό της μετρολογίας .Εκεί ορίζεται ως η επιστήμη της μέτρησης και των εφαρμογών της .Επιπλέον, η μετρολογία περιλαμβάνει όλες τις θεωρητικές και πρακτικές πτυχές της μέτρησης , όποια και αν είναι η μέτρηση αβεβαιότητας και το πεδίο εφαρμογής. Δηλαδή, περιλαμβάνει τον καθορισμό και τον σχεδιασμό μεθοδολογίας για την ακρίβεια της μέτρησης κατά την διαδικασία της διακρίβωσης και την ανάπτυξη προτύπων συσκευών μετρήσεων .Έτσι οδηγούμαστε στα Εθνικά Πρότυπα Μεγεθών.

Η μετρολογία περιέχει μέσα της κατάλληλα βαθμονομημένα όργανα που θα χρησιμοποιήσουν πρότυπες μονάδες (μονάδες μέτρησης) οι όποιες θα μετατρέψουν για παράδειγμα την ένταση σε αμπέρ και όλα αυτά θα αποδώσουν ένα μαθηματικό αποτέλεσμα.

Η επιστήμη της μετρολογίας είναι πάρα πολύ σημαντική γιατί όλα τα έθνη έχουν κοινή αφετηρία και κοινό πλαίσιο μετρήσεων .Υπάρχει μια παγκόσμια συνεργασία και η επιστήμη αναπτύσσεται σε όλους τους τομείς που βρίσκει εφαρμογή .Η 20η Μαΐου έχει οριστεί σαν η παγκόσμια Ημέρα Μετρολογίας. Την ημέρα εκείνη εν έτη 1875 υπογράφηκε από τους εκπροσώπους των δεκαεπτά εθνών η Σύμβαση του Μέτρου για την διατήρηση του Διεθνούς Συστήματος Μονάδων (SI).

Σήμερα οι αναπτυγμένες χώρες ,έχοντας καταλάβει την σπουδαιότητα και τον σημαντικό ρόλο που διαδραματίζει η μετρολογία στις διεργασίες παραγωγής και στον έλεγχο της ποιότητας των προϊόντων ,δαπανούν ένα σημαντικό ποσοστό του Ακαθάριστου Εθνικού Προϊόντος τους για την εξέλιξή της. Αυτό το ποσοστό μπορεί να φτάσει και το 6%, πράγμα που συμβάλλει στη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας και επομένως στην ανάπτυξη της οικονομίας.

2.5 Μετρολογικό Σύστημα της Ελλάδος



Πηγή εικόνας από τον ιστοτοπο eim.gr

Στην χώρα μας υπεύθυνος Εθνικός Φορέας Μετρολογίας είναι το Εθνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας (ΕΙΜ) που αποτελεί μονάδα του Εθνικού Συστήματος Υποδομών Ποιότητας (ΕΣΥΠ). Έχει την έδρα του στην βιομηχανική περιοχή της Ινδού στην Θεσσαλονίκη .Ιδρύθηκε το 1994 και εποπτεύεται από το υπουργείο ανάπτυξης .Μαζί με το Εθνικό Συμβούλιο Διαπίστευσης (Ε.ΣΥ.Δ) και τον Ελληνικό Οργανισμό Τυποποίησης (ΕΛ.Ο.Τ) αποτελούν την βασική υποδομή ποιότητας.

Οι σκοποί και οι αρμοδιότητες του ΕΙΜ όπως αναφέρονται στο ιστότοπο του είναι

- Η υλοποίηση των βασικών και παράγωγων μονάδων μέτρησης του διεθνούς συστήματος μονάδων (S.I.) με την τήρηση των αντίστοιχων προτύπων και διατάξεων.
- Η ανάπτυξη μεθόδων και τεχνικών μέτρησης.
- Η υποστήριξη του εθνικού μετρολογικού συστήματος της χώρας.
- Η λειτουργία εργαστηρίων διακρίβωσης και η έκδοση πιστοποιητικών διακρίβωσης.
- Η διάδοση της μετρολογίας και της μετρολογικής γνώσης.
- Η ανάπτυξη και διάθεση υλικών αναφοράς.
- Η εκπροσώπηση της χώρας στους διεθνείς οργανισμούς μετρολογίας.

Το Εθνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας έχει στελεχωθεί με έμπειρα και ικανά άτομα που καθημερινά αναπτύσσουν δράσεις βοηθώντας την ελληνική οικονομία στην παραγωγή ποιοτικότερων προϊόντων ,στην διασφάλιση των συναλλαγών και στην προστασία του καταναλωτή.

2.6 Ιεράρχηση Μετρολογικού Συστήματος-Προτύπων

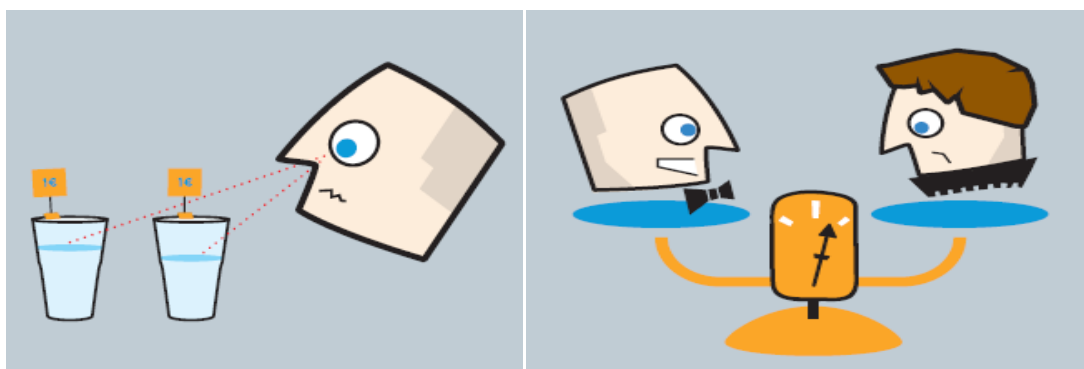
Εάν θελήσουμε να αποτυπώσουμε το μετρολογικό σύστημα στην χώρα μας θα λέγαμε πως υπάρχουν τρία επίπεδα.

Στην βάση του έχει όλα εκείνα τα άτομα που χρησιμοποιούν καθημερινά και σε μεγάλη έκταση τα μετρητικά όργανα προκειμένου να κάνουν μετρήσεις σε υλικά ή μετρητικές συσκευές για την διασφάλιση ποιοτικών προϊόντων ή διεξάγουν ελέγχους σε εργοστάσια και εργαστήρια.

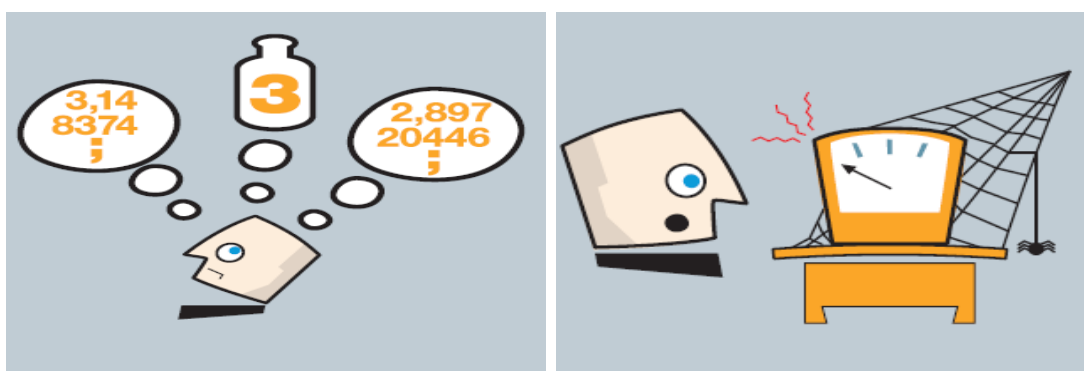
Στο αμέσως επόμενο επίπεδο της ιεράρχησης θα βρούμε τα πρότυπα εργασίας καθώς και τα πρότυπα αναφοράς με τα όποια και διακρίνονται τα ίδια. Τα συναντούμε στα εργαστήρια διακρίβωσης όπου γίνεται η διακρίβωση μετρητικών οργάνων .Τα όργανα αυτά δεν είναι αλλά από αυτά που χρησιμοποιούνται από τους χειριστές του παραπάνω επιπέδου.

Τέλος, στην κορυφή συναντούμε τα πρωτεύοντα πρότυπα τα όποια δεν διακριβώνονται και η τιμή τους δεν επιδέχεται καμία άλλη αναφορά σε άλλο πρότυπο .Αποτελούν το υψηλότερο επίπεδο ακρίβειας και αξιοπιστίας .Στην Ελλάδα υπεύθυνο είναι το Ελληνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας που όπως έχει προαναφερθεί τηρεί τα πρότυπα και εξασφαλίζει την ιχνηλασιμότητα τους.

2.7 Αβεβαιότητα Μετρήσεων



Όποιος ξεκινάει από αμφιβολίες καταλήγει σε βεβαιότητες.
Φραγκίσκος Βάκων, 1561-1626, Άγγλος φιλόσοφος



Πηγή εικόνων από το learn.eim.gr

Καμία μέτρηση που δεν γίνεται από διακριβωμένες συσκευές δεν είναι απόλυτα ακριβής και αξιόπιστη. Πηγαίνοντας ένα βήμα παραπάνω και αναζητώντας τον όρο αβεβαιότητα μέτρησης στο διεθνές λεξικό βασικών και γενικών όρων μετρολογίας (VIM 3rd edition 2008 version with minor corrections) βρίσκουμε πως ορίζεται ως μια παράμετρος που συνδέεται με μια δηλωμένη τιμή που αποδίδεται σε ένα μετρούμενο μέγεθος, και χαρακτηρίζει τη διασπορά των τιμών που αποδίδονται σε αυτό.

Εκφράζει δηλαδή το μέγεθος της αμφιβολίας δίνοντας ένα επίπεδο εμπιστοσύνης , κατά πόσο δηλαδή μπορούμε να εμπιστευθούμε το αποτέλεσμα .Άρα αύξηση του επιπέδου εμπιστοσύνης μας οδηγεί σε μεγαλύτερη αξιοπιστία. Σημειώνοντας το ποσοστό αβεβαιότητας και συσχετίζοντας το με την τιμή ενός προτύπου ,με τεκμηριωμένες τιμές αναφοράς, το καθιστούμε ιχνηλάσιμο. Το γεγονός αυτό είναι πολύ σημαντικό μιας και η ιχνηλασιμότητα που καταγράφεται μας δίνει μια ασφαλή λύση για την αποδοχή των αποτελεσμάτων και αντίστοιχα μας οδηγεί σε ποιοτικά αποτελέσματα και υπηρεσίες.

2.8 Ακρίβεια της μέτρησης- Αξιοπιστία μέτρησης- Διασπορά μέτρησης

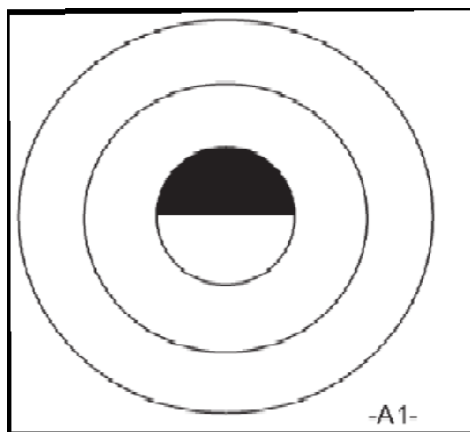
Γίνεται αντιληπτό ότι οι παράγοντες που επηρεάζουν την αβεβαιότητα των μετρήσεων βασίζεται στο τρίπτυχο ακρίβεια, διασπορά και αξιοπιστία .Για να πάμε ένα βήμα ακόμα παρακάτω και για να ξεχωρίσουμε τις παραπάνω έννοιες ας δούμε προσεκτικά πως αποδίδεται το τρίπτυχο στο διεθνές λεξικό βασικών και γενικών όρων μετρολογίας (VIM 3rd edition 2008 version with minor corrections).

Ακρίβεια της μέτρησης (παράγραφος 2.13) ορίζεται η εγγύτητα μεταξύ της μετρούμενης τιμής και της πραγματικής τιμής. Δεν είναι ποσότητα και δεν είναι δεδομένη. Επίσης, δεν θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί για την αξιοπιστία και την διασπορά μέτρησης.

Αξιοπιστία μέτρησης (παράγραφος 2.14 ορίζεται) η εγγύτητα μεταξύ του μέσου όρου ενός άπειρου αριθμού επαναλήψεων της μετρούμενης ποσότητας και της τιμής της ποσότητας αναφοράς. Δεν είναι η ποσότητα και ως εκ τούτου δεν μπορεί να εκφραστεί αριθμητικά. Δεν έχει σχέση με το τυχαίο σφάλμα μέτρησης. Η αξιοπιστία μέτρησης δεν θα πρέπει να χρησιμοποιείται για την ακρίβεια μέτρησης.

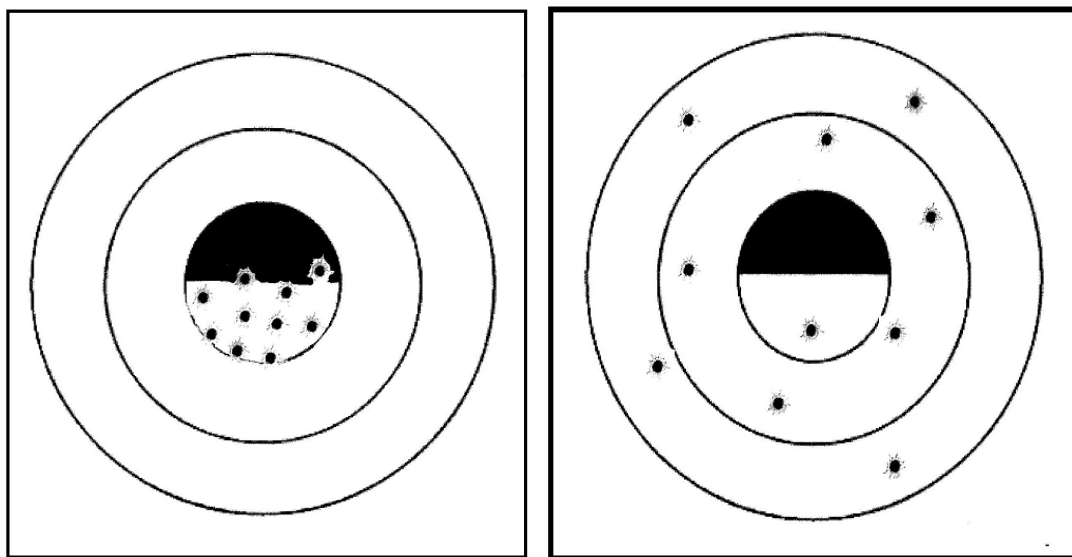
Διασπορά μέτρησης (παράγραφος 2.15)ορίζεται η εγγύτητα μεταξύ των ενδείξεων ή μεταξύ των μετρούμενων τιμών που λαμβάνεται μέσω επαναληπτικών μετρήσεων για τα ίδια ή παρόμοια αντικείμενα υπό συγκεκριμένες προϋποθέσεις .Η διασπορά μέτρησης εκφράζεται συνήθως αριθμητικά όπως με την τυπική απόκλιση, διακύμανση για τις συγκεκριμένες συνθήκες της μέτρησης -για παράδειγμα συνθήκες επαναληψιμότητας και αναπαραγωγιμότητα των μετρήσεων- και οι οποίες την καθορίζουν .Χρησιμοποιείται μερικές φορές η διασπορά μέτρησης λανθασμένα για την ακρίβεια της μέτρησης.

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα για να κατανοηθούν οι παραπάνω οροί δεν θα είναι από την επιστήμη της μετρολογίας αλλά από την βασική εκπαίδευση ενός νεοσυλλέκτου στρατιώτη .Μετα από αρκετό καιρό εκπαίδευσης έρχεται η στιγμή που θα πραγματοποιήσει την πρώτη βολή με τυφέκιο .Έχει μάθει να χειρίζεται το ατομικό του τυφέκιο καθώς και όλους τους παράγοντες που θα τον καταστήσουν ικανό σκοπευτή .Οι κυριότεροι παράγοντες είναι: να είναι άνετος και όχι σφιγμένος ,να υλοποιεί την σκοπευτική γραμμή μέσω του ματιού του ,του κλισιοσκοπίου και του στόχου ,να λάβει υπόψη του τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν και να έχει ρυθμίσει τα σκοπευτικά του τυφεκίου του.



Παραπάνω φαίνεται ο στόχος που θα έχει απέναντι του ο νεοσύλλεκτος κατά την βολή.

Ο γεμιστήρας περιλαμβάνει δέκα φυσίγγια και ο σκοπευτής λαμβάνει την θέση βολής π.χ. στα 100 μέτρα από τον στόχο .Βλέπει τον στόχο που αποτελείται από τρεις ομοκέντρους κύκλους .Η βαθμολογία είναι η ακόλουθη .Ο μικρός κύκλος στο κέντρο έχει 5 βαθμούς ,ο επόμενος έχει 4 και ο μεγάλος 3.Αριστη βολή θεωρείται το 10/50.Δηλαδή 10 φυσίγγια στο κέντρο του στόχου ,το οποίο και έχει μικρή διασπορά, μεγάλη ακρίβεια και αξιοπιστία .Οποιοδήποτε άλλη συγκέντρωση οδηγεί σε αλλά συμπεράσματα για την ακρίβεια, αξιοπιστία και διασπορά .Για παράδειγμα αποτέλεσμα 10/37 σημαίνει 10 φυσίγγια στον στόχο αλλά όχι στο κέντρο ,έχει μεγάλη διασπορά μικρή ακρίβεια και αξιοπιστία .Βελτίωση της σκοπευτικής ικανότητας του στρατιώτη γίνεται με επανάληψη των βολών και με εκπαίδευση στις όποιες αναζητούνται όλοι οι λόγοι (πηγές σφάλματος)που οδήγησαν τον σκοπευτή σε μη επιτυχή αποτελέσματα.



Ο αριστερός σκοπευτής εμφανίζει μικρή διασπορά, μεγάλη ακρίβεια και αξιοπιστία ενώ ο δεξιός σκοπευτής εμφανίζει μεγάλη διασπορά, μικρή ακρίβεια και αξιοπιστία, αντίστοιχα.

2.9 Πηγές Σφάλματος

Καταλαβαίνουμε ότι καμία διαδικασία και καμία μέτρηση δεν είναι τελεία, αλλά έχει ατέλειες και σφάλματα Κάθε φορά που πραγματοποιείται μια μέτρηση περιέχει από μονή της σφάλματα που οφείλονται η προκαλούνται από τις εξής λάθος παραμέτρους :

- Το μετρούμενο αντικείμενο μπορεί να μην είναι σταθερό
- Το όργανο μέτρησης μπορεί να έχει υποστεί φθορά ,γήρανση η να παρουσιάζει άλλα προβλήματα.
- Η ίδια μέθοδος μέτρησης μπορεί να είναι δύσκολο να ακολουθηθεί
- Έχει επιλεγθεί ακατάλληλη διαδικασία μέτρησης ή έχουν γίνει λάθος παραδοχές και υποθέσεις στην μέθοδο μέτρησης
- Η επίδραση συνθηκών περιβάλλοντος (θερμοκρασία ,ατμοσφαιρική πίεση , υγρασία , αέρα , ταλάντωση , παρεμβολή πεδίων , θόρυβος , φωτισμός)

- Ο ανθρωπινός παράγοντας : απειρία , λάθος ικανότητα εκτίμησης , μειωμένη διακριτική ικανότητα
- Η αβεβαιότητα μετρήσεων των οργάνων– επαναληψιμότητα μετρήσεων
- Η διακριτική ικανότητα οργάνου
- Ύπαρξη εσφαλμένων τιμών προτύπου αναφοράς

2.10 Σφάλμα Μέτρησης

Σφάλμα μέτρησης είναι η διάφορα μεταξύ της μετρούμενης τιμής ενός μεγέθους από την πραγματική του τιμή .Την πραγματική τιμή όμως δεν την γνωρίζουμε έτσι οδηγούμαστε να βάζουμε δίπλα στα αποτελέσματα μας μια νέα εκτίμηση σφάλματος .Εισάγουμε μια αβεβαιότητα αφού δεν υπάρχουν ακριβείς και ιδανικές μετρήσεις.

2.11 Τύποι Σφαλμάτων

Υπάρχουν δυο ειδών σφάλματα και αυτό που τα διαφοροποιεί είναι οι πηγές σφάλματος. Αναλυτικότερα:

- Συστηματικά (systematic errors) η σταθερά σφάλματα (fixed error): έχουν σαν αποτέλεσμα όλες οι μετρήσεις που επαναλαμβάνονται κάτω από τις ίδιες συνθήκες να απέχουν σταθερά από την πραγματική τους κατά το ίδιο ποσοστό .Έχουν την ίδια τιμή και πρόσημο .Τις περισσότερες φορές μπορούν να διορθωθούν .Τέτοια σφάλματα συναντούμε σε λάθος βαθμονόμηση της συσκευής μέτρησης ή σε περιβαλλοντικούς παράγοντες
- Τυχαία σφάλματα: οφείλονται όπως λέει και η ετυμολογία της λέξης σε τυχαίους παράγοντες ανάμεσα στις μετρήσεις .Δεν μπορούν να υπολογιστούν και να ελεγχθούν κατά την πειραματική διαδικασία.

2.12 Συμφωνία Έκφρασης Διασποράς Τιμών

Είναι απαραίτητος ένας ενιαίος τρόπος έκφρασης διασποράς τιμών για την ορθότητα και την ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Ο τρόπος αυτός πρέπει να είναι κοινά αποδεκτός και πλήρως επιστημονικά τεκμηριωμένος, ώστε να μην αφήνει κανένα ενδεχόμενο αμφιβολιών και παρερμηνείας. Μετά από συσκέψεις οδηγηθήκαμε σήμερα να έχουν συμφωνηθεί και να εφαρμόζονται οι παρακάτω οδηγίες :

- JCGM 100:2008 GUM 1995 with minor corrections Evaluation of measurement data- Guide to the expression of uncertainty in measurement First edition September 2008
- JCGM 104:2009 Evaluation of measurement data - An introduction to the “Guide to the expression of uncertainty in measurement” and related documents First edition July 2009
- JCGM 101:2008 Evaluation of measurement data - Supplement 1 to the “Guide to the expression of uncertainty in measurement” - Propagation of distributions using a Monte Carlo method First edition 2008

- JCGM 102:2011 Evaluation of measurement data - Supplement 2 to the “Guide to the expression of uncertainty in measurement” - Extension to any number of output quantities October 2011
- JCGM 200:2012 International vocabulary of metrology - Basic and general concepts and associated terms (VIM) 3rd edition 2008 version with minor corrections

Συγκεκριμένα για τις αρχές και τις απαιτήσεις στις διακριβώσεις στα εργαστήρια, τη δήλωση της αβεβαιότητας της μέτρησης στα πιστοποιητικά βαθμονόμησης και την πλήρη καταγραφή της πιο κατάλληλης μεθόδου μετρήσεων στα εργαστήρια ισχύει η οδηγία: EA-4/02 Publication Reference Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration December 1999

2.13 Μετρητική αβεβαιότητα κατά ISO GUM

Η οδηγία JCGM 100:2008 GUM 1995 with minor corrections Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement First edition September 2008 η αλλιώς όπως έχει επικρατήσει να λέγεται ISO GUM έχει μια διαφορετική προσέγγιση με τα μέχρι τότε δεδομένα στην αναζήτηση των ατελειών. Τώρα γίνεται αναζήτηση όλων των παραγόντων που επηρεάζουν την μετρητική διαδικασία, συλλέγονται πληροφορίες για τα μεγέθη και καταγράφονται και οι περιβαλλοντικές συνθήκες κάτω από τις οποίες αυτή λαμβάνει χώρα. Δεν υπολογίζεται όπως γινόταν παλιότερα η απόκλιση από την πραγματική τιμή της μετρούμενης ποσότητας.

Όπως αναφέρεται στον JCGM 100:2008 GUM 1995 υπάρχουν δύο τρόποι υπολογισμού της αβεβαιότητας:

- Χρήση του νόμου διάδοσης των αβεβαιοτήτων.

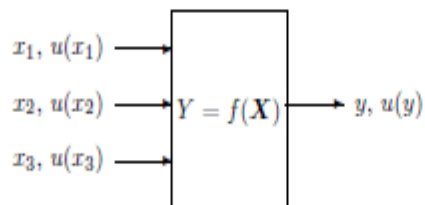


Illustration of the law of propagation of uncertainty for $N = 3$ independent input quantities

Πηγή εικόνας: JCGM 100:2008 GUM 1995 with minor corrections Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement First edition September 2008

- Χρήση της προσομοίωσης Monte Carlo.

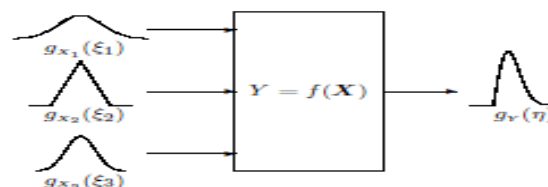


Illustration of the propagation of distributions for $N = 3$ independent input quantities

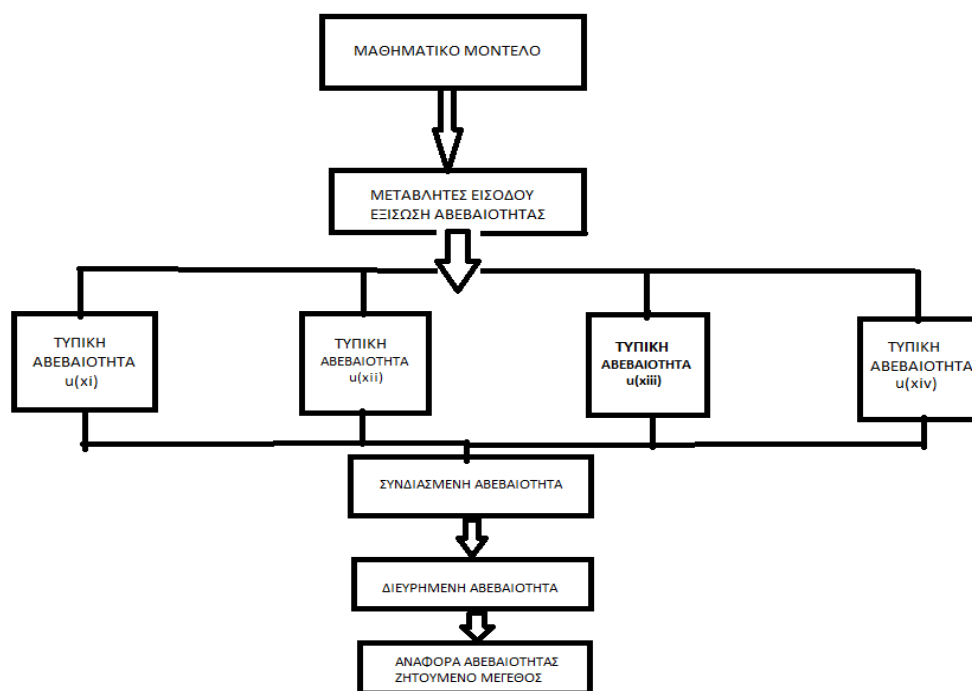
Πηγή εικόνας: JCGM 100:2008 GUM 1995 with minor corrections Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement First edition September 2008

Η επιλογή της προσομοίωσης Monte Carlo υιοθετείται όταν συντρέχουν οι παρακάτω λόγοι:

- Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας να μην είναι κανονική κατανομή.
- Να μην ισχύει ικανοποιητικά η σχέση υπολογισμού των βαθμών ελευθερίας.
- Να υπάρχει μη γραμμικότητα στο μετρητικό μοντέλο
- Να υπάρχει αμφιβολία ισχύος των προϋποθέσεων για την εφαρμογή του νόμου διάδοσης των αβεβαιοτήτων.

2.13.1 Διαδικασία μέτρησης με την χρήση του νόμου διάδοσης των αβεβαιοτήτων

Αρχικά, γίνεται καταγραφή των συσκευών και των μετρήσεων που απαιτούνται για την διεξαγωγή της διαδικασίας. Οποιαδήποτε πληροφορία και παρατήρηση καταγράφεται, πραγματοποιούνται οι μετρήσεις και υπολογίζεται η αβεβαιότητα. Κατόπιν γίνεται η αξιολόγηση τους, εάν είναι τύπου A ή B, εάν είναι εξαρτημένες ή ανεξάρτητες και γίνονται οι διορθώσεις τους. Από τον υπολογισμό των επιμέρους τυπικών αβεβαιοτήτων οδηγούμαστε στον υπολογισμό της συνδυασμένης τυπικής αβεβαιότητας και έπειτα της διευρυμένης αβεβαιότητας. Στο τέλος, εισάγεται η αβεβαιότητα αναφορικά με το συντελεστή κάλυψης και μαζί με το επίπεδο εμπιστοσύνης συμπληρώνεται το αποτέλεσμα της μέτρησης. Στα μαθηματικά όλα αυτά αποδίδονται με μια συνάρτηση η οποία μας δίνει το αποτέλεσμα της μέτρησης (μεταβλητή εξόδου) και αποτελείται από τις ποσότητες (μεταβλητές εισόδου) που εισάγονται, η κάθε μια από τις οποίες έχει την δικιά της συνεισφορά στο τελικό αποτέλεσμα.



Εικόνα 5. Διαδικασία υπολογισμού της αβεβαιότητας

2.13.2 Διαδικασία μέτρησης με την χρήση της προσομοίωσης Monte Carlo

Στην οδηγία JCGM 101:2008 Evaluation of measurement data — Supplement 1 to the “Guide to the expression of uncertainty in measurement” — Propagation of distributions using a Monte Carlo method First edition 2008 περιγράφεται η πλήρης διαδικασία και εφαρμογή της.

Θα γίνει σύντομη περιγραφή της μεθόδου. Αρχικά από τις N μεταβλητές εισόδου X_i γίνεται η παραγωγή ενός δείγματος μεγέθους N. Έπειτα γίνεται υπολογισμός της μεταβλητής εξόδου Y και ακολουθεί η επανάληψη της διαδικασίας για όσες φορές απαιτείται από την συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του εξαγόμενου μεγέθους. Τελικά, παράγεται μια προσέγγιση της κατανομής και γίνονται όλοι οι υπολογισμοί όπως της πιθανότερης τιμής, της τυπικής της απόκλισης και του διαστήματος εμπιστοσύνης.

Παρακάτω θα γίνει κατανοητή η όλη πορεία της διαδικασίας με την χρήση του νόμου διάδοσης των αβεβαιοτήτων. Η πλήρης κατανόηση γίνεται με τον πλήρη υπολογισμό κατά την διάρκεια της διακρίβωσης της μετροταινίας.

2.14 Τρόποι υπολογισμού τυπικής αβεβαιότητας.

Ο ISO GUM έχει δυο τρόπους υπολογισμού της τυπικής αβεβαιότητας: Την τύπου A και την τύπου B.

2.14.1 Αβεβαιότητα Τύπου A

Ο υπολογισμός της τυπικής αβεβαιότητας τύπου A γίνεται μέσω στατιστικής επεξεργασίας ανεξάρτητων μεταξύ τους παρατηρήσεων, όπως αναφέρεται στην παράγραφο 2.3.2 του ISO GUM. Περιλαμβάνει τον υπολογισμό της μέσης τιμής, της τυπικής απόκλισης των παρατηρήσεων και της τυπικής απόκλισης του μέσου για να εκτιμηθεί η διασπορά της κατανομής των μέσων. Χρησιμοποιείται η κανονική κατανομή.

Η μέση τιμή υπολογίζεται από τον τύπο :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Όπου n είναι οι ανεξάρτητες παρατηρήσεις $x_1, x_2, x_3, x_4, \dots, x_n$

Η τυπική απόκλιση υπολογίζεται από τον τύπο:

$$s_n = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

Η τυπική απόκλιση του μέσου υπολογίζεται από τον τύπο:

$$s(\bar{s}_n) = \frac{s_n}{\sqrt{n}}$$

2.14.2 Αβεβαιότητα Τύπου B

Η αβεβαιότητα τύπου B όπως χαρακτηριστικά λέει στην παράγραφο 2.3.3 του ISO GUM υπολογίζεται με άλλα μέσα διαφορετικά από αυτά που εφαρμόζονται στην στατιστική ανάλυση της σειράς παρατηρήσεων. Πηγή για τον υπολογισμό μπορεί να είναι:

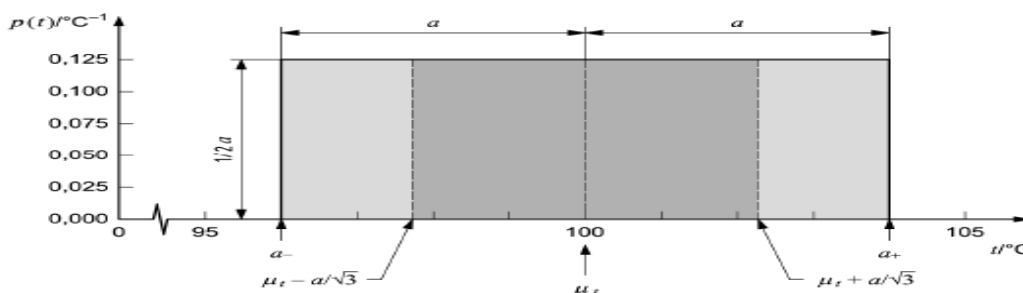
- Προηγούμενα δεδομένα μέτρησης.
- Γνώση της συμπεριφοράς και των ιδιοτήτων των σχετικών υλικών και οργάνων.
- Προδιαγραφές κατασκευαστή.

- Αποτελέσματα από πιστοποιητικά βαθμονόμησης.
- Τιμές αναφοράς από τα εγχειρίδια.
- Πηγές από την βιβλιογραφία.
- Ατέλειες μετρητικής διαδικασίας.

Η σωστή χρήση των διαθέσιμων πληροφοριών για την αβεβαιότητα τύπου Β στηρίζεται στην εμπειρία και πως αυτή αποτυπώνεται στην θεωρία πιθανοτήτων μέσω των γνωστών συναρτήσεων κατανομής πιθανοτήτων. Ακολουθούν παραδείγματα κατανομών.

2.14.2.1 Τετραγωνική κατανομή πιθανότητας

Το μετρούμενο μέγεθος είναι μεταξύ δυο τιμών α_+ και α_- . Το πλάτος του είναι $2a = \alpha_+ - \alpha_-$



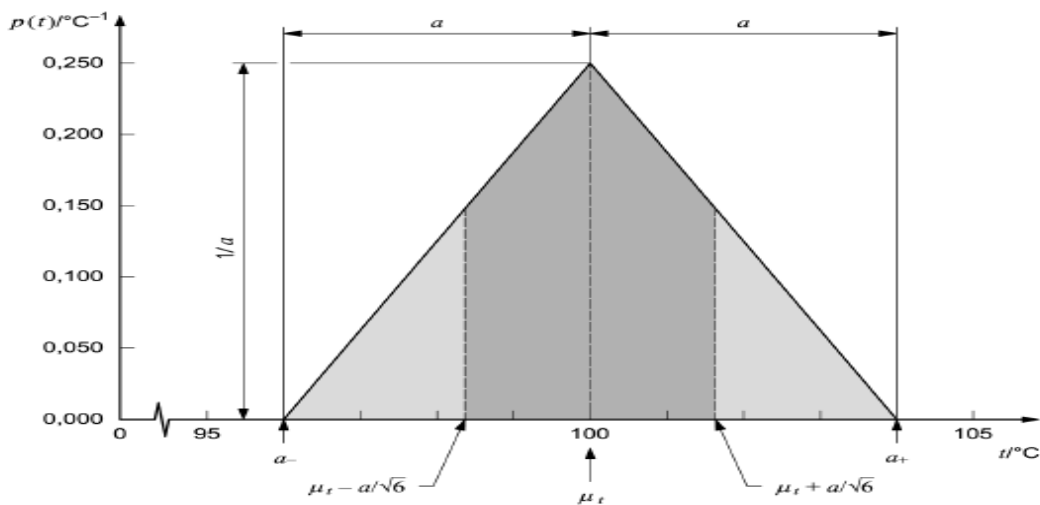
Πηγή εικόνας: JCGM 100:2008 GUM 1995 with minor corrections Evaluation of measurement data-Guide to the expression of uncertainty in measurement First edition September 2008

Εκτιμώμενη τιμή του $x_i = \frac{\alpha_+ + \alpha_-}{2}$

Διακύμανση $u_{x_i} = \frac{a}{\sqrt{3}}$

2.14.2.2 Τριγωνική κατανομή πιθανότητας

Το μετρούμενο μέγεθος βρίσκεται κοντά στο κέντρο των ορίων των δυο τιμών α_+ και α_- .



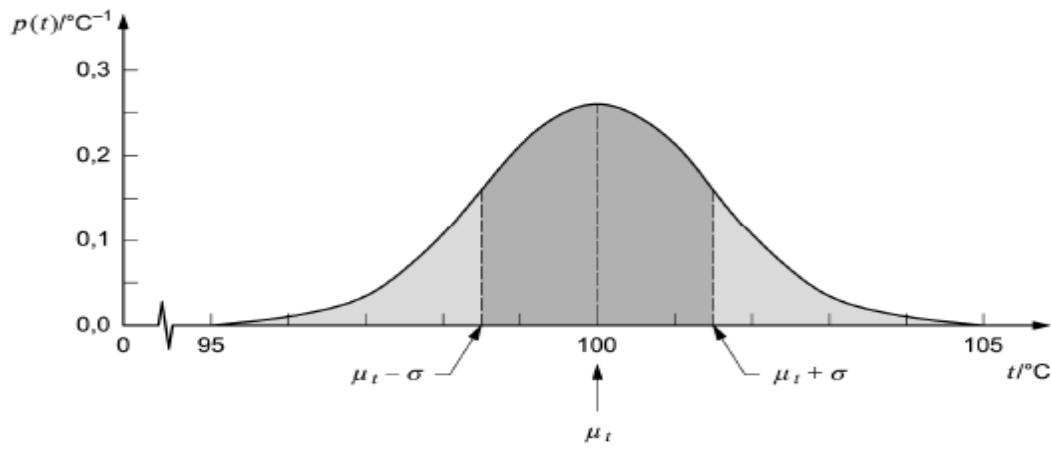
Πηγή εικόνας: JCGM 100:2008 GUM 1995 with minor corrections Evaluation of measurement data-Guide to the expression of uncertainty in measurement First edition September 2008

$$\text{Εκτιμώμενη τιμή του } x_i = \frac{\alpha_+ + \alpha_-}{2}$$

$$\text{Διακύμανση } u_{x_i} = \frac{a}{16}$$

2.14.2.3 Κανονική Κατανομή πιθανότητας

Έχει μέση τιμή μ και τυπική απόκλιση σ



Πηγή εικόνας: JCGM 100:2008 GUM 1995 with minor corrections Evaluation of measurement data-Guide to the expression of uncertainty in measurement First edition September 2008

Εκτιμώμενη τιμή του $x_i = \mu$

$$\text{Διακύμανση } u_{x_i} = \sigma^2$$

2.14.2.4 Ασύμμετρη Κατανομή πιθανότητας

Όταν δεν μπορεί να τυποποιηθεί με κάποια γνωστή κατανομή (δεν υπάρχουν αρκετές πληροφορίες) και το μετρούμενο μέγεθος ορίζεται $\alpha_+ = x_i - b_+$ και $\alpha_- = x_i - b_-$, με $b_+ \neq b_-$. Τότε η διακύμανση είναι

$$\text{Διακύμανση } u_{x_i} = \frac{b_+ + b_-}{\sqrt{12}} = \frac{\alpha_+ + \alpha_-}{\sqrt{12}}$$

Σε περίπτωση που η εκτιμώμενη τιμή δίνεται από το πιστοποιητικό διακρίβωσης, τεχνικά εγχειρίδια ή από τις προδιαγραφές των κατασκευαστών όπως αναφέρεται στην παράγραφο 4.3.3 του GUM η διακύμανση θα είναι η εκτιμώμενη τιμή διαιρούμενη με μια συγκεκριμένη τιμή για το συγκεκριμένο επίπεδο εμπιστοσύνης.

2.15 Συνδυασμένη Τυπική Αβεβαιότητα

Αποτελείται από την τετραγωνική ρίζα των επιμέρους αβεβαιοτήτων όπως έχουν υπολογιστεί παραπάνω αναλυτικά. Επιπλέον πρέπει να τονισθεί ότι υπάρχουν δυο ειδών ποσότητες: οι συσχετισμένες μεταβλητές και οι ασυσχέτιστες μεταβλητές οι οποίες καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο επιδρούν οι εισερχόμενες ποσότητες.

Όταν οι ποσότητες είναι συσχετισμένες η εξίσωση που δίνει την συνδυασμένη τυπική αβεβαιότητα είναι

$$u^2(y) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} u(x_i, x_j)$$

Όπου x_i, x_j είναι οι εκτιμώμενες τιμές του X_i, X_j .

$u(x_i, x_j)$ είναι η εκτιμώμενη διακύμανση μεταξύ των x_i, x_j .

Όταν οι ποσότητες είναι ασυσχέτιστες η εξίσωση που δίνει την συνδυασμένη τυπική αβεβαιότητα είναι

$$u^2(y) = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i)$$

2.16 Διευρυμένη Αβεβαιότητα

Η διευρυμένη αβεβαιότητα προκύπτει από το γινόμενο της συνδυασμένης τυπικής αβεβαιότητας με ένα συντελεστή κάλυψης k που σχετίζεται με το επίπεδο εμπιστοσύνης. Αποτελεί έκφραση για τη συνολική αβεβαιότητα της διαδικασίας της μέτρησης μας. Ο συντελεστής κάλυψης k προκύπτει από κατανομή t-student για συγκεκριμένο αριθμό βαθμών ελευθερίας .

$$U = k u_{Lc}$$

Για περίπου κανονική κατανομή ισχύει:

Για $k=1$ επίπεδο εμπιστοσύνης της τάξης 68% (σ).

Για $k=2$ επίπεδο εμπιστοσύνης της τάξης 95% (2σ).

Για $k=3$ επίπεδο εμπιστοσύνης της τάξης 99% (3σ).

Ο υπολογισμός των ενεργών βαθμών ελευθερίας προκύπτει από την σχέση Welch – Satterhwaite όπως φαίνεται παρακάτω:

$$v_{\text{eff}} = \frac{u_c^4}{\sum_i \frac{c_i^4 u_i^4(y)}{v_i}}$$

2.17 Αποτέλεσμα μέτρησης

Δίνεται με την μορφή $Y = y \pm U$.

Όπου y το αποτέλεσμα της μέτρησης και U είναι η διευρυμένη αβεβαιότητα.

3. Διαδικασία επαναδιακρίβωσης των οργάνων , το κόστος διακρίβωσης. Οδηγίες επιλογής αξιόπιστου εργαστηρίου διακρίβωσης. Χαρακτηριστικά των μετροταινιών.

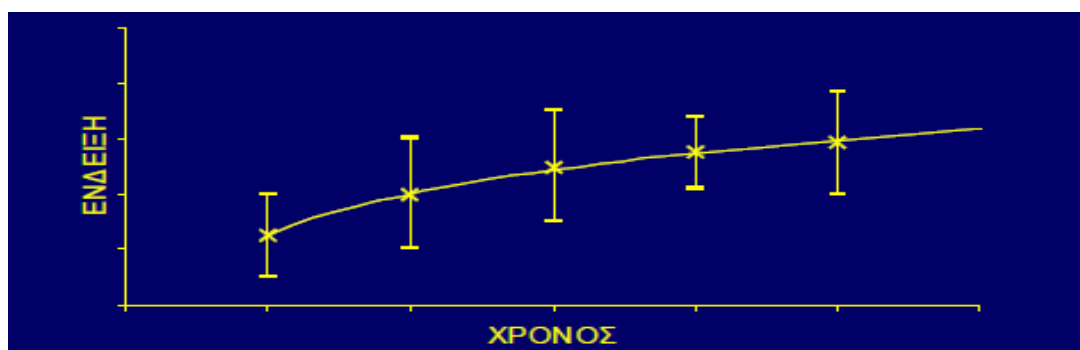
3.1 Ανάγκη διακρίβωσης των οργάνων

Στην επιστήμη της μετρολογίας, διακρίβωση, όπως αναφέρεται στο διεθνές λεξικό βασικών και γενικών όρων μετρολογίας (VIM) στην παράγραφο 2.39, είναι μια διαδικασία που ,υπό συγκεκριμένες συνθήκες και προϋποθέσεις, συγκρίνει τις μετρήσεις μιας πρότυπης συσκευής με αυτές μιας άλλης συσκευής μέτρησης προκειμένου να διορθωθεί η να πιστοποιηθεί η ακρίβεια και αξιοπιστία τις τελευταίας. Δηλαδή, με απλά λόγια θέλουμε να δούμε και να εξαλείψουμε κατά την διαδικασία της διακρίβωσης ,την διαφορά της τιμής ανάμεσα σε μια συσκευή και της πρότυπής της.

Όλες οι συσκευές, ανεξάρτητα από την παλαιότητά τους, χρειάζονται διακρίβωση. Απαιτείται να υπάρχει αξιοπιστία και ακρίβεια στα αποτελέσματα των μετρήσεων από το όργανο της μέτρησης. Ακόμα και αν εφαρμόζονται πλήρως από τον κάθε χειριστή οι οδηγίες του κατασκευαστή, πρέπει να τονισθεί ότι τα χαρακτηριστικά ενός οργάνου δεν παραμένουν σταθερά κατά την διάρκεια της ζωής του και μεταβάλλονται από πολλούς παράγοντες .Αυτοί είναι:

- Φυσιολογικές φθορές λόγω χρόνου.
- Καταπονήσεις από τον χειριστή κατά την διάρκεια της χρήσης του.
- Περιβάλλον χώρος (όχι ελεγχόμενες συνθήκες λειτουργίας)
- Καθαριότητα συσκευής και χώρου εργασίας.
- Τρόπος αποθήκευσης και συντήρησης.
- Υστέρηση (η ένδειξη του επηρεάζεται από την προϊστορία των μετρήσεων)
- Οξείδωση και αντίδραση επιφάνειας με ουσίες του περιβάλλοντος.
- Τρόπος χρήσης και λειτουργίας.

Έτσι, παρατηρείται απόκλιση στην τιμή του οργάνου σε σχέση με την πρώτη σύγκριση του με το πρότυπο αναφοράς και την αντίστοιχη τιμή αβεβαιότητας .Το γεγονός αυτό της μεταβολής της ένδειξης του οργάνου, χωρίς να μεταβάλλεται η μετρούμενη ποσότητα και οποιαδήποτε άλλη μεταβλητή, ονομάζεται ολίσθηση και είναι πολύ δύσκολο να εκτιμηθεί ποσοτικά ακόμα κι αν ο χειριστής είναι έμπειρος.



Πηγή διαγράμματος Αβεβαιότητας μέτρησης: Βασικές αρχές και εφαρμογές του Δρ. Δ. Γ. Κυριακίδη: Διάγραμμα για τον ρυθμό της ολίσθησης ένδειξης / τιμής μετρητικών οργάνων / προτύπων σχετικά με αυθαίρετες ενδείξεις .

Όλα τα παραπάνω έχουν σαν αποτέλεσμα να επηρεάζουν την εγγύτητα των μετρήσεων της ίδιας ποσότητας όταν διαφοροποιούνται οι συνθήκες (χειριστή ,τοποθεσία ,μετρητικό σύστημα). Το παραπάνω καλείται στην μετρολογία αναπαραγωγιμότητα. Επισημαίνεται ότι τα εγχειρίδια χρήσης μετρητικών οργάνων αναφέρουν μια τιμή για την αναπαραγωγιμότητα τους.

3.1.1 Επαναδιακρίβωση των οργάνων

Κάθε ένα όργανο είναι διαφορετικό και γι' αυτόν τον λόγο απαιτείται η επαναδιακρίβωση του σε διαφορετικό χρόνο απ' ότι τα άλλα όργανα. Αν το όργανο αυτό χρησιμοποιείται σπάνια τότε θα πρέπει πριν την χρήση του να διακριβώνεται, σε αντίθεση με αλλά τα οποία χρησιμοποιούνται πιο συχνά .Όταν ένα μετρητικό όργανο διακριβώνεται για πρώτη φορά, ορίζεται ένα αρχικό διάστημα επαναδιακρίβωσης το οποίο βασίζεται στις συστάσεις του κατασκευαστή του οργάνου .Το χρονικό αυτό διάστημα δεν είναι απαραίτητα δεσμευτικό, μιας και θα πρέπει να ληφθούν υπόψη και άλλοι παράγοντες, όπως είναι οι περιβαλλοντικές συνθήκες χρήσεως και αποθήκευσης ,ο ρυθμός ολίσθησης ,το ιστορικό βλαβών του , οποιαδήποτε γνωστή ή παραχωρηθείσα τάση του εξοπλισμού να παρουσιάζει φθορά ή να παρεκκλίνει στην επίδοση , η ακρίβεια των μετρήσεων και τέλος η συχνότητα χρήσεως. Τα διαστήματα που γίνονται όλα αυτά εγκρίνονται από το Ε.ΣΥ.Δ.

Συγκεκριμένα, ένα εργαστήριο διακριβώσεων προσδιορίζει το διάστημα επαναδιακρίβωσης του εξοπλισμού με βάση τα παρακάτω κριτήρια και παράγοντες (όπως αναφέρονται και στην κατευθυντήρια οδηγία για την εφαρμογή των κριτηρίων διαπίστευσης εργαστηρίων-ΕΣΥΔ ΚΟ1-ΚΡΙΤΕ/01/06/20-06-2007):

- Τις συστάσεις του κατασκευαστή.
- Το πρότυπο όργανο μέτρησης πρέπει να έχει ακρίβεια τουλάχιστον 3 φορές καλύτερη από το όργανο (ή συσκευή ή σύστημα) που ελέγχεται με επίπεδο εμπιστοσύνης 95 % ($k = 2$).
- Διεθνής Βιβλιογραφία.
- Μέθοδοι στατιστικής ανάλυσης.
- Την προΐστορία του οργάνου.
- Τον τρόπο αποθήκευσης και χειρισμού του οργάνου.

Θα πρέπει να τονισθεί πως κάθε φορά που παρατηρείται παρέκκλιση των μετρήσεων από τις προδιαγραμμένες απαιτήσεις ο εξοπλισμός αυτός θα πρέπει να μην χρησιμοποιηθεί μέχρι να αρθεί η μη συμμόρφωση.

Για να μπορεί να γίνεται έλεγχος σε καθένα ένα από τα διαστήματα επαναδιακρίβωσης και να μειωθούν το ετήσιο κόστος διακρίβωσης και το κόστος χρησιμοποίησης μη αξιόπιστων συσκευών, έχουν αναπτυχθεί συγκεκριμένες μέθοδοι .Οι μέθοδοι εκτίμησης περιόδου επαναδιακρίβωσης διαφέρουν ως προς τα παρακάτω :

- Τα όργανα αντιμετωπίζονται μεμονωμένα
- Τα όργανα παρουσιάζουν διαφορετικούς τύπους ασταθειών
- Τα όργανα υφίστανται ρυθμίσεις

- Υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα για την ολίσθηση ,την χρήση και την συντήρηση των οργάνων

Επιγραμματικά και χωρίς να αναλυθούν οι μέθοδοι αυτοί είναι:

- Αυθαίρετος Προσδιορισμός (Automatic adjustment or staircase).
- Έλεγχος Ολίσθησης (Control chart).
- Χρόνος Χρήσεως (In-use time).
- Έλεγχος Τήρησης Προδιαγραφών (In service checking, or black-box).
- Στατιστική Προσέγγιση (Other statistical approaches).

Καμία μέθοδος δεν είναι ιδανική για όλο το φάσμα των μέσων που συναντώνται.

	Method 1 "staircase"	Method 2 control chart	Method 3 "in-use" time	Method 4 "black box"	Method 5 ¹⁾ other statistical approaches
Reliability	medium	high	medium	high	medium
Effort of application	low	high	medium	low	high
Work-load balanced	medium	medium	bad	medium	bad
Applicability with respect to particular devices	medium	low	high	high	low
Availability of instruments	medium	medium	medium	high	medium

Πηγή πίνακα ILAC-G24:2007/OIML D 10:2007(E):Σύγκριση μεθόδων εκτίμησης περιόδου επαναδιακρίβωσης.

3.1.2 Κόστος Διακρίβωσης

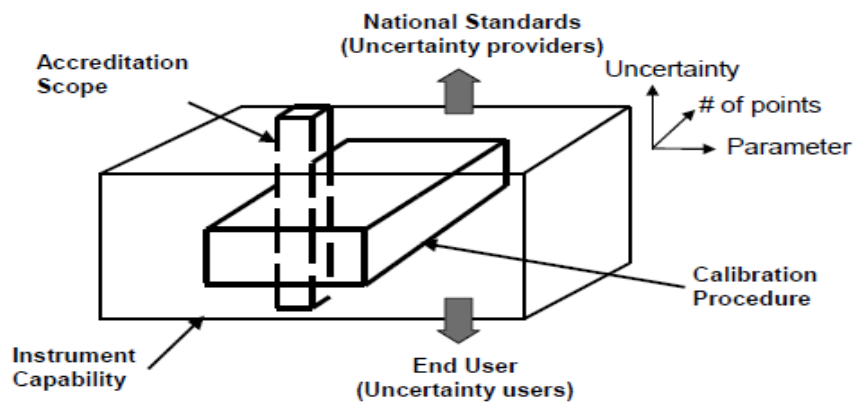
Η πρώτη φορά που διακρίβώνεται μια μετρητική συσκευή είναι κατά την στιγμή της κατασκευής της, αφού λαμβάνονται υπόψη όλα τα πρότυπα, προκειμένου να παρέχει ακριβείς μετρήσεις .Ο κατασκευαστής της καθορίζει στον χειριστή με απολυτή σαφήνεια τους τρόπους και τις μεθόδους χειρισμού ,αποθήκευσης και συντήρησης της συσκευής για να εξασφαλιστεί η λειτουργία της. Παρόλα αυτά η συσκευή όπως αναφέρθηκε και παραπάνω θα πρέπει να διακρίβώνεται .Τίποτα όμως δεν γίνεται χωρίς κόπο και κόστος.

Κάθε μια συσκευή έχει και τον διακριβωτή της, μιας και είναι αδύνατον ένας μόνο άνθρωπος να εκτελεί διακριβώσεις σε πολλά πεδία (πίεση ,θερμοκρασία, μάζα, αντίσταση). Όσο πιο πολύπλοκη τεχνολογικά είναι η συσκευή που διακρίβώνεται, τόσο εξελιγμένος πρέπει να είναι και ο εξοπλισμός με τον οποίο θα ελεγχθεί η ακρίβεια και η αβεβαιότητα των μετρήσεων .Έτσι, δημιουργείται επιπλέον κόστος για την προμήθεια και τη συντήρηση των μέσων που χρειάζονται διακρίβωση .Επιπλέον, θα πρέπει να επισημανθεί ότι το κόστος εκτοξεύεται όταν παρουσιάζεται βλάβη ή χρειάζεται κάποια επιπλέον ρύθμιση η συσκευή υπό διακρίβωση. Αυτό γίνεται με την βοήθεια εξειδικευμένου προσωπικού και με εξελιγμένο εξοπλισμό. Ένας άλλος παράγοντας που ανεβάζει το κόστος της διακρίβωσης είναι το κόστος διατήρησης σταθερών περιβαλλοντικών συνθηκών (πίεση, θερμοκρασία, υγρασία), το οποίο είναι απαραίτητο για όλες τις διακριβώσεις.

3.1.3 Οδηγίες επιλογής αξιόπιστου εργαστηρίου διακρίβωσης

Στις μέρες μας και λόγω των δυσμενών οικονομικών συνθηκών υπάρχει αυξημένος ανταγωνισμός μεταξύ των εργαστηρίων που παρέχουν υπηρεσίες διακρίβωσης, με αποτέλεσμα να μειώνονται οι τιμές αλλά και η ποιότητα των εργασιών τους. Γι αυτό τον λόγο, ο κάθε υποψήφιος πελάτης, για να είναι κατοχυρωμένος και σίγουρος για το αποτέλεσμα της διακρίβωσης, θα πρέπει να επιλέξει το κατάλληλο εργαστήριο διακρίβωσης με βάση τα παρακάτω κριτήρια.

- Να είναι το εργαστήριο διαπιστευμένο κατά ΕΛΟΤ EN ISO/IEC 17025
- Να είναι το ίδιο πιστοποιημένο από το ΕΣΥΔ
- Το πιστοποιητικό διακρίβωσης για τις συσκευές να είναι αναγνωρισμένο με βάση τα εθνικά και διεθνή πρότυπα. (αποδεικτικά στοιχεία σχετικά με την ιχνηλασιμότητα ως προς τα εθνικά ή διεθνή πρότυπα μέτρησης και τα εθνικά ή διεθνή πρότυπα υλικά αναφοράς)
- Η τιμή να είναι ανάλογη των ελέγχων και των διεργασιών που γίνονται
- Ποια μέθοδος χρησιμοποιείται για τη διακρίβωση (αναφορά στην μεθοδολογία).
- Εγγύηση για κάθε βλάβη ή ρύθμιση που θα χρειαστεί η συσκευή.
- Να είναι οι παράμετροι μέτρησης που χρήζουν βαθμονόμησης εισηγμένες στο πεδίο εφαρμογής του εργαστηρίου της διαπίστευσης.
- Τα πιστοποιητικά που θα ληφθούν από το εργαστήριο να έχουν τον λογότυπο από τον φορέα διαπίστευσης.
- Να είναι το προσωπικό και συγκεκριμένα ο τεχνίτης που θα κάνει την διακρίβωση εξουσιοδοτημένος να υπογράψει και πιστοποιημένος στο παρακάτω πεδίο.
- Να είναι τα μετρητικά όργανα και οι περιβαλλοντικές συνθήκες του εργαστηρίου όπως προβλέπονται στα πρότυπα.
- Ύπαρξη ενός πλήρους και ενημερωμένου ιστορικού της διακρίβωσης του εξοπλισμού/ υλικού αναφοράς.
- Το πιστοποιητικό διακρίβωσης που θα εκδοθεί να παρέχει μια δήλωση σχετικά με την ιχνηλασιμότητα των μετρήσεων και το επίπεδο εμπιστοσύνης.



Πηγή εικόνας: Meeting ISO 17025 Requirements for Complex Electronic Test Equipment των Dave Abell και Moens, Agilent Technologies, Inc. που δείχνει ότι για να ελεγχθεί ένα

πολύπλοκο όργανο, όπως προβλέπουν οι προδιαγραφές του κατασκευαστή, το διαπιστευμένο εργαστήριο πρέπει να διαθέτει όλες τις απαραίτητες παραμέτρους για τον πλήρη προσδιορισμό της αβεβαιότητας της μέτρησης στο πεδίο εφαρμογής της διαπίστευσής τους.

Υπηρεσίες Διακρίβωσης Εργαστηρίου Μάζας (CAL-MAS)

Πίνακας 1 Προσδιορισμός Μάζας και Συμβατικής Μάζας¹ Προτύπων Βαρών με Αβεβαιότητα 1ση του 1/3με της Τάξης Ακρίβειας E1, OIML R111 (2005) (χωρίς προσδιορισμό όγκου)

Κωδικός	Περιγραφή/ Εύρος	Τιμή (€)
CAL-MAS-100	Σταθερό τέλος διακρίβωσης μεμονωμένων προτύπων βαρών	100
CAL-MAS-101	Μεμονωμένα πρότυπα βάρη 1 kg	100 /τεμ
CAL-MAS-102	Μεμονωμένα πρότυπα βάρη τιμής διαφορετικής του 1 kg	Ανασκόπηση
CAL-MAS-111	Σετ 13 τεμ. προτύπων βαρών 1 g – 1 kg	900 /σετ
CAL-MAS-112	Σετ 25 τεμ. προτύπων βαρών 1 mg – 1 kg	2.200 /σετ
CAL-MAS-113	Σετ 29 τεμ. προτύπων βαρών 1 mg – 10 kg	2.700 /σετ

Μέθοδος Διακρίβωσης: Αυτόματη σύγκριση με πρότυπα αναφοράς από ανοξείδωτο χάλυβα βάσει σχήματος ζύγισης (Η διάδοση της κλίμακας της μάζας στις τιμές 1mg ...1 kg στο EIM), με την προϋπόθεση ότι η πυκνότητα των υπό διακρίβωση προτύπων βαρών είναι γνωστή.

Πηγή πίνακα :Κατάλογος Υπηρεσιών και Τελών του E.I.M(Αρχική έκδοση: 9 Ιανουαρίου2008 Επικαιροποίηση : 24 Απριλίου2015). Φαίνεται ο κωδικός μαζί με την τιμή για την υπηρεσία διακρίβωσης που παρέχεται.

3.2 Χαρακτηριστικά των μετροταινιών

3.2.1 Μετροταινίες

Ο Διεθνής Οργανισμός Μετρολογίας OIML (International Organization of Legal Metrology) έχει εκδώσει την οδηγία OIML R 35-1, η οποία αφορά στις μετροταινίες γενικής χρήσης καθώς και τις τεχνικές και μετρολογικές προδιαγραφές τους . Θα πρέπει να τονισθεί ότι όσα αναφερθούν παρακάτω δεν ισχύουν στο πεδίο της μηχανικής, ούτε και στην γεωδαισία.

3.2.2 Ονομαστικό μήκος

Το ονομαστικό μήκος των μέτρων πρέπει να είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του 0,5 m έως 15 m. Οποιαδήποτε ονομαστικό μήκος μεταξύ 15 m και 100 m, πρέπει να είναι ακέραιο πολλαπλάσιο των 5 m.

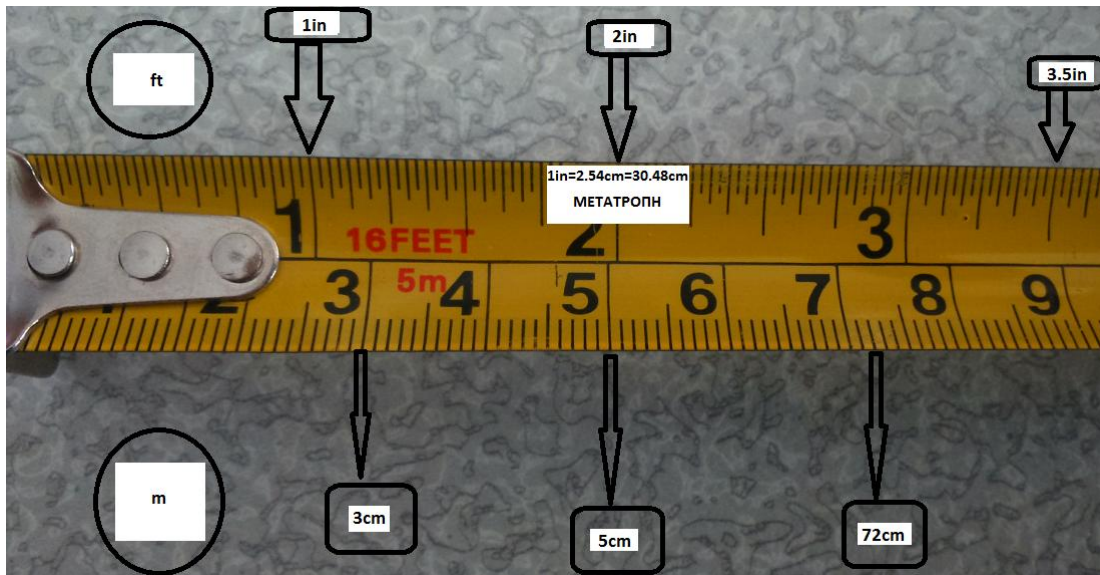
3.2.3 Υλικό Κατασκευής-Τρόπος Χρήσης

Οι μετροταινίες κατασκευάζονται με υλικά ανθεκτικά που δεν επηρεάζονται από τις επιδράσεις του περιβάλλοντος. Οποιαδήποτε άλλη περίπτωση πρέπει να αναφέρεται από τον κατασκευαστή και δεν πρέπει να ξεπερνά το μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα για την αντίστοιχη κλάση ακρίβειας. Πρέπει να είναι προστατευμένες από τις καιρικές συνθήκες ώστε να μην αλλοιώνονται τα χαρακτηριστικά τους. Επιπλέον, πρέπει να είναι στεγνές και σε περίπτωση που βραχούν θα πρέπει να καθαρίζονται προκειμένου η υγρασία να μην προκαλέσει διαβρώσεις. Οι πτώσεις μειώνουν τον χρόνο ζωής τους και πρέπει να αποφεύγονται .

3.2.4 Βαθμολογική Κλίμακα- ενδείξεις

Η βαθμολογική κλίμακα πρέπει να μας εξασφαλίζει εύκολη ανάγνωση και να μην προκαλεί καμία ασάφεια. Όταν αποτελείται από γραμμές, αυτές πρέπει να είναι ευθείες, να έχουν το ίδιο μήκος και πάχος και να μην εμποδίζεται η ανάγνωση του αποτελέσματος. Η αρίθμηση πρέπει να είναι και αυτή εύκολη και ανεξίτηλη. Οι αριθμοί πρέπει να είναι σε χιλιοστά, εκατοστά, δεκατόμετρα, ή μέτρα και θα πρέπει να συνοδεύονται από τα αντίστοιχα σύμβολα παράδειγμα 8 m ή 26 ft (ονομαστικό μήκος της μετροταινίας)

Το διάστημα της κλίμακας έχει τη μορφή: $1 \times 10n$, $2 \times 10n$ ή $5 \times 10n$ μέτρα, ή είναι ένας θετικός ή αρνητικός αριθμός ή μηδέν.



Η εμπορική επωνυμία του κατασκευαστή, καθώς και η κλάση ακρίβειας αναγράφονται πάνω στην ταινία μέσα σε ωοειδές σχήμα (Υπάρχουν τρεις κλάσεις ακρίβειας που χαρακτηρίζονται από τους αριθμούς I, II, και III) Θα πρέπει να αναγράφεται επί της μετροταινίας, παράδειγμα Stanley κατασκευαστής, κλάσης II.

Η θερμοκρασία αναφοράς είναι $20^\circ \text{C} \pm 2$ και σε διαφορετική περίπτωση αναγράφεται επί της μετροταινίας. Σε περίπτωση που υπάρχει συντελεστής θερμικής διαστολής, πρέπει να αναγράφεται από τον κατασκευαστή και ο υπολογισμός της θερμοκρασίας γίνεται βάσει αυτού.

Διαφημιστικά μηνύματα σε μερικές μετροταινίες είναι δυνατόν να υπάρχουν, τα οποία όμως δεν πρέπει να επηρεάζουν το διάβασμα της μέτρησης.

Το έτος κατασκευής της μετροταινίας δηλώνεται μέσα σε ένα μικρό κόκκινο ορθογώνιο σχήμα μαζί με το γράμμα M. Π.χ. M10 σημαίνει μια μετροταινία που πιθανόν κατασκευάστηκε το 2010.

Ο αρμόδιος οργανισμός για την έκδοση της πιστοποίησης δηλώνεται με έναν τετραψήφιο αριθμό.

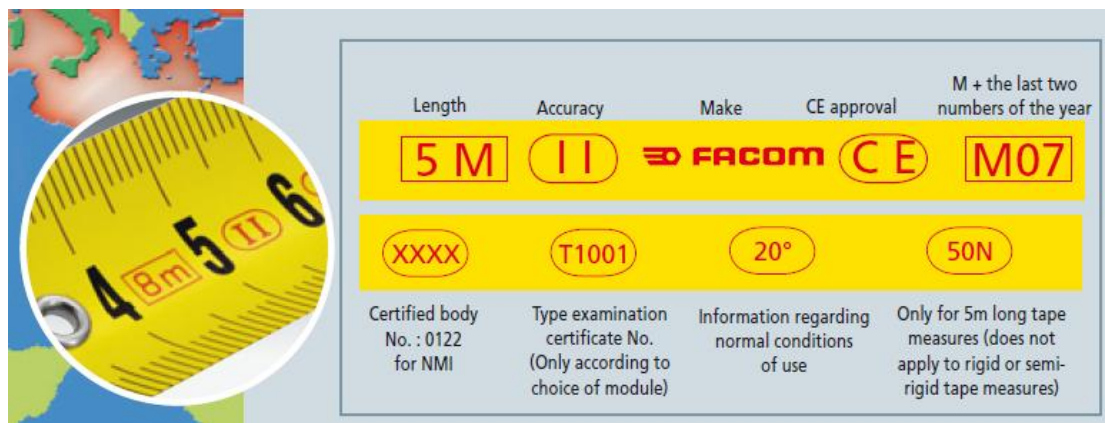
Η δύναμη εφελκυσμού αναγράφεται επί της μετροταινίας μαζί με το γράμμα N. Π.χ. όταν αναγράφεται 50N πρέπει να εφαρμοστεί δύναμη εφελκυσμού 50N.

Η ύπαρξη του σήματος CE υποδεικνύει ότι η μετροταινία συμμορφώνεται με όλους τους κανονισμούς της Ευρωπαϊκής Ένωσης και ειδικότερα με την οδηγία Measuring Instruments

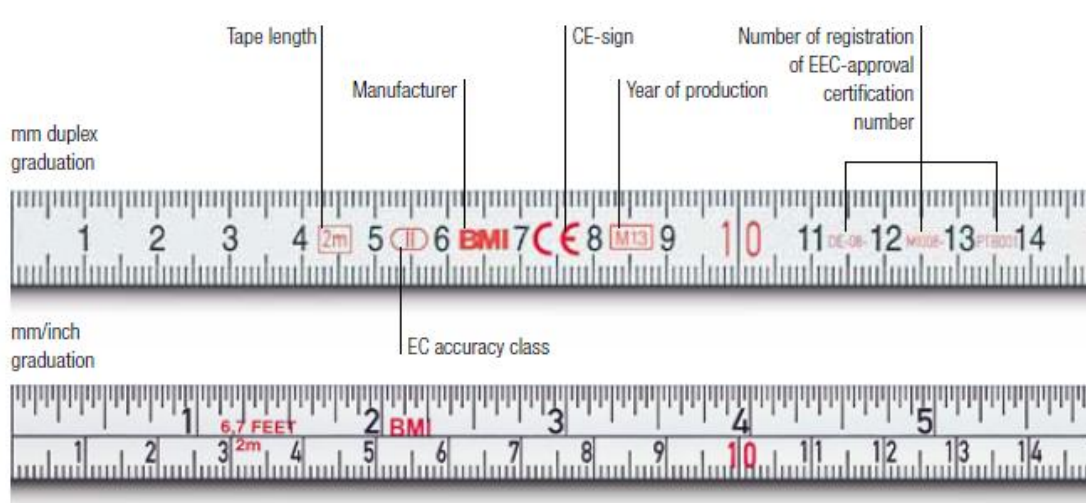
Directive (MID 2004/22/EC). Σε περίπτωση που δεν υπάρχει η ένδειξη CE δεν σημαίνει ότι η μετροταινία δεν είναι καλής ποιότητας και ακρίβειας.

Ο αριθμός πιστοποιητικού δηλώνεται με ένα κεφαλαίο αγγλικό γράμμα και τέσσερις αριθμούς, π.χ. T1001.

Ένδειξη πολύ υψηλής ακρίβειας μετροταινίας έχουμε με την ύπαρξη του ελληνικού γράμματος έψιλον (ε). Το ε σχηματίζεται από δύο ημικύκλια: Στο πάνω ημικύκλιο αναγράφεται ένας λατινικός χαρακτήρας συνοδευόμενος από δύο νούμερα και στο κάτω αναγράφεται ένας εξαψήφιος αριθμός. Οι ενδείξεις αυτές δηλώνουν το Registration number pattern approval. Π.χ. (F97.(211004 δηλώνει Registration number pattern approval που έχει πάρει η εταιρεία Stanley για την μετροταινία Stanley Powerlock 3m



Πηγή κατάλογος facom : Περιγράφονται οι αντίστοιχες ενδείξεις που υπάρχουν πάνω στις μετροταινίες.



Πηγή κατάλογος BMI 2014 : Περιγράφονται οι αντίστοιχες ενδείξεις που υπάρχουν πάνω στις μετροταινίες.

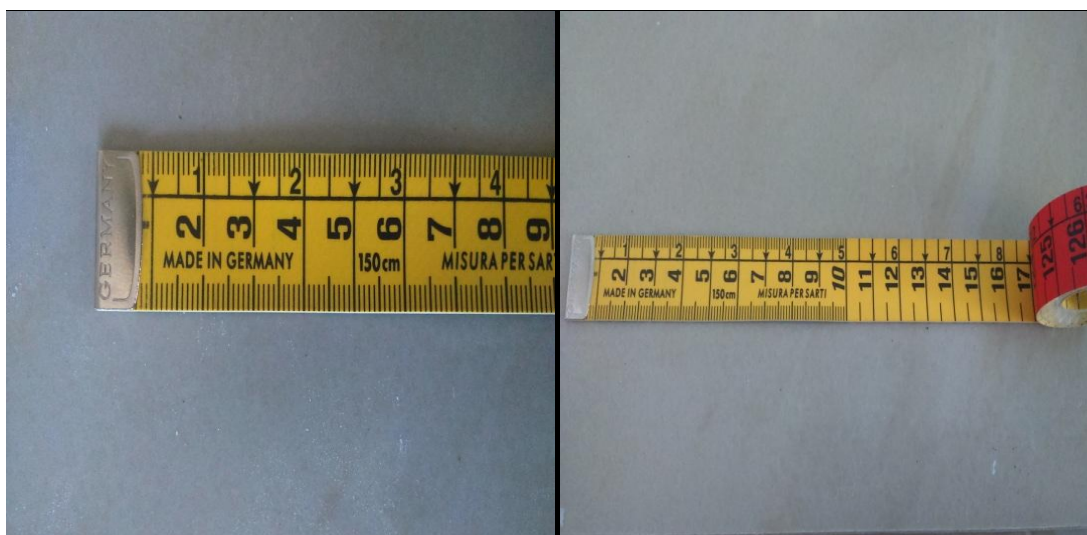
Ακολουθούν φωτογραφίες με διάφορες μετροταινίες καθώς και η περιγραφή τους.



Εικόνα 6. Σπαστή μετροταινία από ξύλο σημύδας



Εικόνα 7. Μετροταινία 30m κλειστού κελύφους από fiberglass κλάσης III



Εικόνα 8. Εύκαμπτη μετροταινία (μεζούρα) 1.5m κατασκευής στην Γερμανία



Εικόνα 9. Μετροταινία 25 m κλειστού κελύφους από fiberglass διπλής όψης

Ημιεύκαμπτη μετροταινία Stanley Powerlock 3m, με μεταλλικό Κέλυφος 13mm,C25 επιχρωμωμένο μεταλλικό κέλυφος υψηλής αντοχής, κατηγορία ακριβείας II ,γάντζος σε θέση μηδέν ,Γαλλικής κατασκευής ,εμπορική επωνυμία του κατασκευαστή Stanley,(F97.(211004 Registration number pattern approval , θερμοκρασία αναφοράς 20°C,33-218 (33 δείχνει τον τύπο του προϊόντος ότι δηλαδή είναι μετροταινία και ο αριθμός 218 δείχνει τον μοναδικό κωδικό του προϊόντος).



4. Πειραματικό κομμάτι της διαδικασίας διακρίβωσης της 5 m μετροταινίας



Στην παραπάνω 5m μετροταινία παρατηρούμε την χαρακτηριστική ετικέτα που τοποθετήθηκε κατά την εισαγωγή της στην Υπηρεσία Διακρίβωσης και στην οποία αναγράφονται τα στοιχεία της. Το σύμβολο 4m πάνω στη συσκευασία της μετροταινίας δηλώνει το μήκος που μπορεί να παραμείνει η μετροταινία τεντωμένη χωρίς να λυγίσει. Αυτό οφείλεται στο χαλύβδινο έλασμα, το οποίο λόγω της καμπυλωτής διατομής του μπορεί να παραμείνει τεντωμένο σε μήκος 4m διευκολύνοντας τη μέτρηση. Η μετροταινία επανατυλίσσεται μέσω ενός μηχανισμού επαναφοράς.

4.1 Περιγραφή Διακρίβωσης

Πεδίο εφαρμογής: Θα περιγραφεί η διαδικασία διακρίβωσης της μετροταινίας γενικής χρήσης, με κλάση ακριβείας II, σύμφωνα με το πρότυπο OIML R35. Η παρακάτω διακρίβωση είναι έγκυρη μόνο για τους ακόλουθους ελέγχους: Έλεγχος ακριβείας σύμφωνα με την παράγραφο 26.2 του OIML R35-1 και έλεγχος ακριβείας για συσκευές σύμφωνα με την παράγραφο 27.2 του OIML R35-1.

Στον πίνακα 1 που ακολουθεί φαίνονται τα εξής: τεχνικά χαρακτηριστικά της μέτρησης, το εύρος, το μήκος της μετροταινίας καθώς και η μέθοδος με την οποία θα διεξαχθεί η διακρίβωση.

Πίνακας 1

Test Instrument (TI)	Performance	Test
Characteristics	Specifications Method	
Μήκος	Range: 0 - 5m Accuracy: class II	σύγκριση με μήκος κύματος laser

4.2. Απαιτήσεις εξοπλισμού

Στον Πίνακα 2 που ακολουθεί φαίνονται οι απαιτήσεις που υπάρχουν σε εξοπλισμό ,περιγράφεται η συσκευή ,οι προδιαγραφές της και τέλος το μοντέλο της.

Πίνακας 2

Noun	Minimum Use Specifications Item	Calibration Sub-Equipment
2.1 LASER SYSTEM	Range: 0to 40 m 5529A Accuracy: 0.02 ppm in vacuum	AGILENT
2.2 ANGULAR OPTICS	Range: 0to 40 m 55281A Accuracy: 10 nm	AGILENT
2.3 V BLOCK (2EA)	Range: N/A Accuracy: N/A	TAFT PEIRCE 9130
2.4 ALIGNMENT TELESCOPE	Range 0 to: infinity Accuracy: N/A	BRUNSON 81
2.5 SURFACE PLATE	Range: 48 × 72 in Accuracy: not to exceed 0.00035 in TIR over entire measurement area	STANDRIDGE GGG-P-463
2.6 PLUG GAGE SET	Range: 0.250 to 0.500 in 1.0 in diameter Accuracy: Class D (±0.0005in)	VAN KEUREN M2
2.7 STRAIGHT EDGE	Range: 60MICROFLAT Accuracy: 0.001in	661SE60
2.8 THERMO- HYGROMETER	Range: 18-26 °C Accuracy: 0.25 °C, 2%RH	FLUKE 1620A with 2626H
2.9 CLAMPS	Range: N/A Accuracy: N/A	Local purchase
2.10 PARALLEL BAR SET	Range: N/A Accuracy: N/A	SPI 98-450-0
2.11 HANGER	Range: ½ lb Accuracy: 1mg from stated value	CDI 2000-301

Noun	Minimum Use Calibration Specifications Item	Sub- Equipment
2.12 WEIGHTS	Range: ½ to 5lb Accuracy: 2mg from stated value	CDI 2000-300 series
2.13 WEIGHTS	Range: 0.2 to 8oz Accuracy: 1mg from stated value	CDI 2000-310 series
2.14 ALCOHOL 200 PROOF	Range: - Accuracy: -	Local purchase
2.15 ISOPROPYL ALCOHOL	Range: - Accuracy: -	Local purchase
2.16 BAROMETRIC PRESSURE MONITOR	Range: 0 to 15 psi Accuracy: 0.012%	DHI RPM3A0015
2.17 TEMPERATURE SENSOR (2EA) A611	Range: 15 – 25 °C Accuracy: 0.05 °C	AHLBORN ALMEMO 2590 with(2EA)
2.18 CALIPER	Range: 0 – 6 in(0-150mm) Accuracy: 0.001 in (0.025mm)	BROWN & SHARPE 579-1

Ακολουθούν φωτογραφίες των συσκευών με τα απαραίτητα σχόλια για την κατανόηση της διαδικασίας της διακρίβωση της μετροταινίας .



Αριστερά παρατηρούμε την επιφάνεια τραπεζιού (SURFACE TABLE) τύπος STANDRIDGE GGG-P-463 και δεξιά το STRAIGHT EDGE τύπος MICROFLAT 661SE60. Το STRAIGHT EDGE έχει μήκος 1.5 m γεγονός που μας αναγκάζει να κάνουμε την διακρίβωση της μετροταινίας σε βήματα. Απλώνουμε την μετροταινία από 0-1.5m, 1.5m-3m, 3m-4.5m και τέλος 4.5m-5m.



Στην αριστερή φωτογραφία φαίνεται η κεφαλή laser AGILENT πάνω στον τρίποδα καθώς και η σύνδεση της με τον υπολογιστή. Επίσης, υπάρχει η κεντρική μονάδα και η οθόνη του υπολογιστή.



Αριστερά παρατηρούμε το συμβολόμετρο (INTERFEROMETER) και δεξιά τον ανακλαστήρα (RETROREFLECTOR). Ο ανακλαστήρας θα πρέπει κατά την διεξαγωγή της διακρίβωσης να

είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στο συμβολόμετρο, για την εξάλειψη του death path. Deadpath ονομάζεται η απόσταση που διανύει η ακτίνα λέιζερ, μεταξύ συμβολόμετρου-ανακλαστήρα, όταν ο ανακλαστήρας βρίσκεται στη θέση μηδέν (reset point).



Αριστερά παρατηρούμε το τηλεσκόπιο (ALIGNMENT TELESCOPE BRUNSON 81) και δεξιά τα δυο V BLOCK πάνω στα οποία συγκρατείται το τηλεσκόπιο.



Αριστερά παρατηρούμε τον θερμο-υδρογράφο FLUKE 1620A with 2626H, ο οποίος μετρά θερμοκρασία και υγρασία .Δεξιά υπάρχει το όργανο μέτρησης της βαρομετρικής πίεσης DHI RPM3A0015.Μέσω των οργάνων αυτών έγινε δυνατή η συνεχής καταγραφή των περιβαλλοντικών συνθηκών που επικρατούσαν κατά την διάρκεια των μετρήσεων.

4.3 Προκαταρτικές εργασίες

1. Πριν την υλοποίηση της παρούσας διαδικασίας απαιτείται εξοικείωση με τον εξοπλισμό και τις συσκευές μετρήσεως.
2. Χρήση γαντιών καθ' όλη την διάρκεια διακρίβωσης.
3. Τοποθέτηση της μετροταινίας 5m στην περιοχή διακρίβωσης δώδεκα (12) ώρες πριν από την έναρξη της διακρίβωσης (συνήθως για όλη τη νύχτα). Παρακολούθηση της

θερμοκρασίας του περιβάλλοντος, της υγρασίας και της βαρομετρικής πίεσης, κατά τη διάρκεια της διακρίβωσης. Στο τέλος της διακρίβωσης, καταγραφή της ελάχιστης και της μέγιστης τιμής αυτών των συνθηκών περιβάλλοντος. Συμπλήρωση των αναφερόμενων τιμών στα αντίστοιχα κελιά του φύλλου εργασίας WS-DIMENSIONAL-09-1.

4. Επιπλέον, συμπλήρωση του φύλλου εργασίας WS-DIMENSIONAL-09-1 με τις ακόλουθες πληροφορίες: όνομα πελάτη, τύπο της μετροταινίας (2.2.3, σύμφωνα με τον πίνακα 2), κατηγορία (14 σύμφωνα με τον πίνακα 3), σειριακό αριθμό, μοντέλο (part number), αριθμός αναγνώρισης, το ονομαστικό μήκος, διακριτική ικανότητα (υποδιαίρεση της κλίμακας), το πλάτος της λάμας της μετροταινίας, και εφόσον συντρέχει περίπτωση, την θερμοκρασία αναφοράς του μέτρου (εάν είναι διαφορετική από 20 ° C, θα πρέπει να υποδεικνύεται επί του μέτρου), κλάση ακριβείας, το υλικό της λάμας της μετροταινίας, γραμμικό συντελεστή διαστολής, δύναμη εφελκυσμού, προδιαγραφές περιβάλλοντος, συμπληρωματικές συσκευές και ειδικευμένη χρήση.

Πίνακας 3

Τύπος (σύμφωνα με OIMC R 35-1 όρος 2.2)	Περιγραφή
2.2.1 Τέλος μονάδας μέτρησης	Μετροταινία η οποία έχει τα βασικά στοιχεία της κλίμακας σχηματισμένα από 2 επιφάνειες ή άκρα της μονάδας μέτρησης.
2.2.2 Γραμμή μονάδας μέτρησης	Μετροταινία η οποία έχει τα βασικά στοιχεία της κλίμακας σχηματισμένα από 2 γραμμές, τρύπες ή σημάδια.
2.2.3 Σύνθετη μονάδας μέτρησης	Μετροταινία η οποία έχει τα βασικά στοιχεία της κλίμακας σχηματισμένα από μια τελική επιφάνεια ή άκρο(-η) και το άλλο από μια γραμμή, τρύπα ή σημάδι.
2.2.4 Συμπληρωματικές συσκευές	Συσκευές όπως ένα ή περισσότερα κινούμενα άγκιστρα, δακτύλιοι, λαβές, αιχμές, κοχλιοστρόφια και βερνιέρους που σκοπό έχουν να διευκολύνουν και να επεκτείνουν τη χρησιμότητα της μονάδας μέτρησης.
2.2.5 Διάταξη ένδειξης	Μέρος της μετροταινίας το οποίο απεικονίζει το αποτέλεσμα της μέτρησης είτε συνεχόμενα είτε κατόπιν εντολής. Μια ηλεκτρονική διάταξη ένδειξης θα αποτελείται από τον αισθητήρα, τον μετατροπέα, τον υπολογιστή και έναν ενδείκτη.
2.2.6 Βοηθητική συσκευή	Συσκευή προορισμένη να εκτελεί μια συγκεκριμένη λειτουργία που αποσκοπεί ευθέως στην επεξήγηση, μετάδοση ή απεικόνιση των αποτελεσμάτων.

Πίνακας 4

	Κατηγορία σύμφωνα με την ΟΙΜC R 35-1 τμήμα V	Εύρος	Κλάση ακριβείας	Διάστημα κλίμακας
A- Μονάδες μέτρησης για μικρά μήκη	14 Ημι-άκαμπτης ατσάλινης μετροταινία σε θήκη.	0.5-15m	I,II	≤1 cm
	15 Ημι-άκαμπτης ατσάλινης μετροταινία με ψηφιακή ανάγνωση.	0.5-15m	I,II	≤1 cm
	16 Μονοκόμματατες άκαμπτες ή ημι-άκαμπτες μετροταινίες	0.5-5m	I,II	-
	17 Εύκαμπτες μετροταινίες κατασκευασμένες από υαλόνημα και πλαστικό ή άλλα κατάλληλα μη μεταλλικά υλικά, όχι σε θήκη.	0.5-5m	I,II,III	-
	18 Αναδιπλούμενες μετροταινίες κατασκευασμένες από μέταλλο ή άλλα υλικά.	0.5-5m	I,II,III	-
	19 Τηλεσκοπικές μετροταινίες κατασκευασμένες από μέταλλο ή άλλα υλικά.	0.5-5m	II,III	-
	20 Τηλεσκοπικές μετροταινίες κατασκευασμένες από μέταλλο ή άλλα υλικά με ψηφιακή ανάγνωση.	0.5-5m	II,III	-
B- Μονάδες μέτρησης για μεγάλα μήκη	21 Εύκαμπτη ατσάλινης μετροταινία με μηχανισμό εκτύλιξης μη σχεδιασμένο για μετρούμενα μεγέθη μεγαλύτερα από το βαθμονομημένο μήκος τους μέσω επαναλαμβανόμενης χρήσης της ίδιας μετροταινίας.	5-200 m	I,II	-
	22 Εύκαμπτη ατσάλινης μετροταινία με βάρος τάσης ή ζυγό.	5-50m	I,II	1m m
	23 Εύκαμπτη ατσάλινης μετροταινία με βάρος τάσης ή ζυγό εφοδιασμένο με ηλεκτρονικό αισθητήρα.	5-50m	I,II	1m m
	24 Εύκαμπτες ατσάλινες μετροταινίες τοπογράφου σχεδιασμένες για μετρούμενα μεγέθη μεγαλύτερα του βαθμονομημένου τους μήκους μέσω επαναλαμβανόμενης χρήσης της ίδιας μετροταινίας.	5-200 m	I,II	-
	25 Εύκαμπτες ατσάλινες μετροταινίες κατασκευασμένες από υαλόνημα και πλαστικό ή άλλα κατάλληλα μη μεταλλικά υλικά.	5-100 m	I,II,III	-

- Καθαρισμός όλων των κρίσιμων επιφανειών της μετροταινίας (TI) προς διακρίβωση. Βεβαιωθείτε ότι η κλίμακα και η αρίθμηση είναι καθαρή και ευανάγνωστη ώστε να μην επιδέχεται αμφισβήτηση. Σε περίπτωση ζημίας η οποία εμποδίζει τη διαδικασία και δεν μπορεί να επιδιορθωθεί, η μετροταινία πρέπει να απορριφθεί ως μη έχοντας την δυνατότητα διακρίβωσης. Σημειώστε P(PASS) για επιτυχία, ή F(FAIL) για να αποτυχία στο βήμα 3.5 του φύλλου εργασίας WS-DIMENSIONAL-09-1
- Στο βήμα 3.6 του φύλλου εργασίας WS-DIMENSIONAL-09-1 σημειώνεται: με

P(επιτυχία) όταν η μετροταινία είναι I κατηγορίας και έχει γίνει σωστή η αρίθμηση της, όταν το άκρο της είναι εφοδιασμένο με λαβή ή δακτύλιο, με F(αποτυχία) όταν η μετροταινία είναι κατηγορίας I και δεν έχει γίνει σωστή η αρίθμηση της, όταν το άκρο της είναι εφοδιασμένο με λαβή ή δακτύλιο και με (-)(μη εφαρμοστέα) όταν η μετροταινία δεν είναι κατηγορίας I. Η μετροταινία 5m δεν είναι κατηγορίας I.

7. Οι μετροταινίες μπορεί να είναι δύο όψεων και να έχουν κλίμακα σε κάθε μία από τις δύο όψεις. Εάν πρέπει να διακριβωθούν και οι δύο όψεις, τότε θα πρέπει να εκτελεστούν δύο ανεξάρτητες διαδικασίες διακρίβωσης. Η μετροταινία 5m είναι μιας μόνο όψης.
8. Σε μια μετροταινία με πολλές κλίμακες (αν είναι σε m και σε ft), η βαθμονόμηση της κλίμακας μπορεί να αυξηθεί είτε προς την ίδια κατεύθυνση είτε προς την αντίθετη. Για κάθε κλίμακα πρέπει να εκτελεστεί ανεξάρτητη διακρίβωση. Η μετροταινία 5 m έχει μόνο μια κλίμακα. Εάν οι υποδιαίρεσεις της κλίμακας είναι γραμμές, αυτές πρέπει να είναι ευθείες, κάθετες προς τον άξονα της μετροταινίας, και το μέγιστο επιτρεπόμενο πλάτος των γραμμών που σχετίζονται με την κλάση ακρίβειας και την υποδιαίρεση κλίμακας του μέτρου δίνεται στον πίνακα 5. Καταγράψτε το πλάτος της γραμμής στο βήμα 03.09 έως 03.10 του φύλλου εργασίας WS-DIMENSIONAL-09-1. (Συμπληρώθηκε 0.2mm για την μετροταινία 5m)

Πίνακας 5

ΔΙΑΣΤΗΜΑ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΜΕΓΙΣΤΟ ΠΛΑΤΟΣ ΤΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΛΑΣΗ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ	
	ΚΛΑΣΗ I	ΚΛΑΣΗ II ΚΑΙ III
$L \leq 2 \text{ mm}$	0.2 mm	0.2 mm
$2 \text{ mm} < L \leq 2 \text{ cm}$	0.2 mm	10% του διαστήματος της κλίμακας
$L \geq 2 \text{ cm}$	0.2 mm	2 mm

9. Οι μετροταινίες πρέπει να ελέγχονται κατά τέτοιο τρόπο ώστε όταν απλώνονται σε ένα επίπεδο πάτωμα, οι ακμές τους να είναι ευθύγραμμες και παράλληλες. Σημειώστε P=PASS για επιτυχία, ή F=FAIL για αποτυχία στο βήμα 3.11 του φύλλου εργασίας WS-DIMENSIONAL-09-1 (Συμπληρώθηκε P(PASS) για την μετροταινία 5m.)
10. Οι κατηγορίες 17, 25 σύμφωνα με τον πίνακα 4, χρειάζονται μια δύναμη εφελκυσμού 10 έως 20N, όπως αναγράφεται επί της μετροταινίας. Εάν η δύναμη δεν αναγράφεται εφαρμόστε δύναμη 20N για τις κατηγορίες αυτές.
11. Οι κατηγορίες 21, 24 σύμφωνα με τον πίνακα 4, χρειάζονται μια δύναμη εφελκυσμού 50N ή μεγαλύτερη, όπως αναγράφεται επί του μέτρου. Εάν η δύναμη δεν αναγράφεται εφαρμόστε δύναμη 50N για τις κατηγορίες αυτές.
12. Οι κατηγορίες 22, 23 σύμφωνα με τον πίνακα 4, χρειάζονται μια δύναμη εφελκυσμού ίση με το βάρος του βαριδιού στον αέρα. Για τα μέτρα αυτά η κλίμακα ξεκινά σε μια

επίπεδη επιφάνεια του βαριδιού.

13. Όλες οι άλλες κατηγορίες δεν χρειάζονται την δύναμη εφελκυσμού (κατηγορίες 14, 15, 16, 18, 19 και 20). (Κατηγορία 14 η μετροταινία 5m).
14. Ο περιβάλλον χώρος και η θερμοκρασία υλικού πρέπει να είναι $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, και η υγρασία του περιβάλλοντος πρέπει να είναι 45% έως 75% και να μην μεταβάλλεται περισσότερο από 10% κατά τη διάρκεια της διακρίβωσης.

4.4. Διαδικασία μετρήσεων

4.4.1 Δοκιμή ακριβείας

ΣΗΜΕΙΩΣΗ

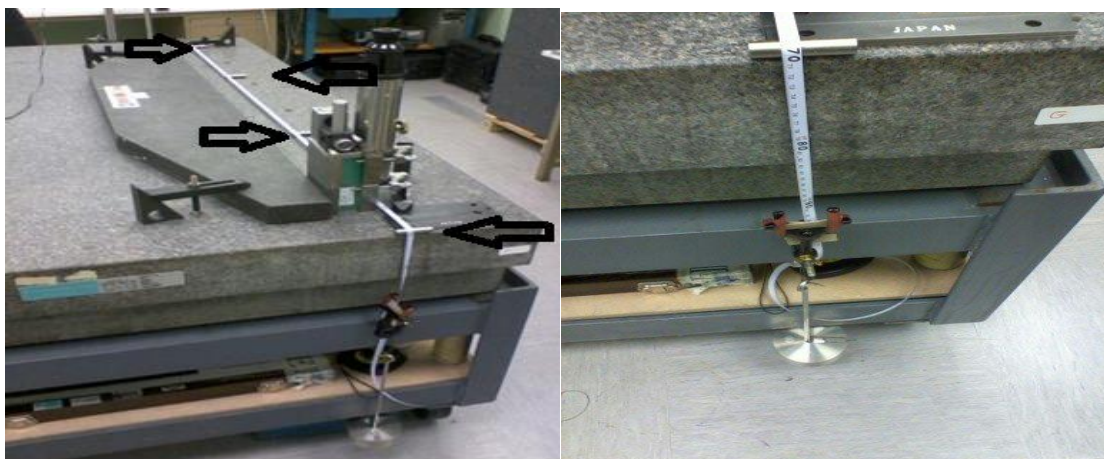
Το αντικείμενο της δοκιμής αυτής είναι να προσδιοριστεί εάν το μέτρο είναι γραμμικό και ακριβές σε όλο το μήκος του.

1. Ασφαλίστε τον εξοπλισμό STRAIGHT EDGE και την μετροταινία στην επιφάνεια του τραπεζιού (SURFACE TABLE), όπως φαίνεται στο σχήμα 1

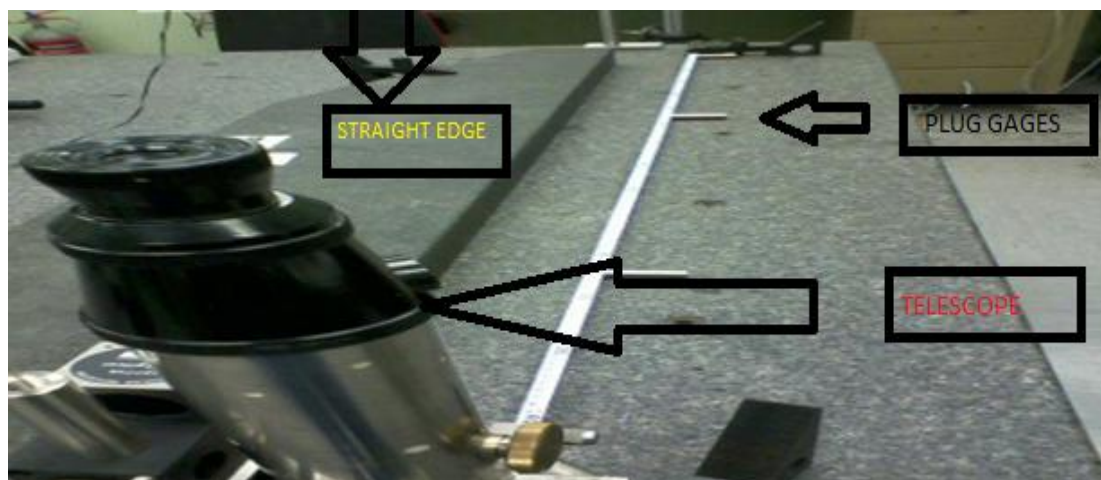
Σχήμα 1



2. Η μετροταινία πρέπει να απλώνεται παράλληλα με το STRAIGHT EDGE και κάτω από το τηλεσκόπιο (TELESCOPE), σχεδόν χωρίς τριβή (με τη χρήση των PLUG GAGES), υπό την καθορισμένη δύναμη εφελκυσμού .



Δυο φωτογραφίες όπου φαίνεται χαρακτηριστικά η μετροταινία ,το STRAIGHT EDGE ,το τηλεσκόπιο (TELESCOPE), το βαρίδιο. Με τα βέλη φαίνονται τα PLUG GAGES.



Παρατηρούμε το πρώτο 1.5m της μετροταινίας που είναι απλωμένο. το STRAIGHT EDGE, το τηλεσκόπιο (TELESCOPE) και τα PLUG GAGES.

3. Ευθυγραμμίζουμε την κεφαλή laser με το συμβολόμετρο (INTERFEROMETER) και τον ανακλαστήρα (RETROREFLECTOR), παράλληλα με την μετροταινία και το STRAIGHT EDGE. Ο ανακλαστήρας στην αρχή της διαδρομής θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στο συμβολόμετρο.



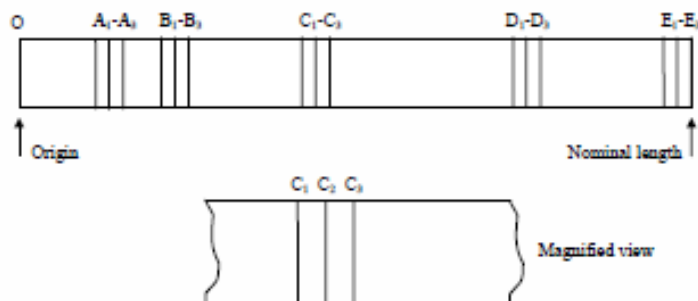
Απεικονίζεται η όλη διαδικασία της μέτρησης . Ένα έμπειρο μάτι μπορεί να παρατηρήσει την ευθυγράμμιση της κεφαλής λέιζερ με το συμβολόμετρο (INTERFEROMETER) και τον ανακλαστήρα (RETROREFLECTOR), παράλληλα με την μετροταινία και το STRAIGHT EDGE.

4. Οι αισθητήρες θερμοκρασίας θα πρέπει να τοποθετούνται στην μετροταινία σε κατάλληλα διαστήματα σε όλο το μήκος της (περίπου στο 1/3 και 2/3 του μήκους της μετροταινίας που απλώνεται στην επιφάνεια του τραπεζιού) .Καταγράφονται οι μετρήσεις στο φύλλο εργασίας WS-DIMENSIONAL-09-1.



Πάνω στην μετροταινία παρατηρούμε την ύπαρξη ενός αισθητήρα θερμοκρασίας (TEMPERATURE SENSOR) που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας της μετροταινίας.

5. Ζητούμενο στα παρακάτω βήματα 4.1.6 να 4.1.15, είναι να προσδιοριστούν οι αποστάσεις των A1, A2, A3, B1, B2, B3, C1, C2, C3, D1, D2, D3, D4, E1 , E2 και E3 από το σημείο αναφοράς 0 όπως φαίνεται στο σχήμα 2



Σχήμα 2

6. Λαμβάνουμε υπόψη ότι ισχύει:
- 0 είναι η αρχή μέτρησης της μετροταινίας.
 - A1 είναι 500 χιλιοστά του ονομαστικού μήκος της μετροταινίας
 - B1 είναι 1500 χιλιοστά του ονομαστικού μήκος της μετροταινίας,
 - C2 είναι 3.000 χιλιοστά του ονομαστικού μήκος της μετροταινίας,
 - D3 είναι 4500 χιλιοστά του ονομαστικού μήκος της μετροταινίας,
 - Οι ενδείκτες 1, 2 και 3 αντιπροσωπεύουν διαδοχικές υποδιαιρέσεις της κλίμακας.
 - E3 είναι το ονομαστικό μήκος 5.000 χιλιοστά.
7. Ευθυγραμμίζουμε το τηλεσκόπιο με το σημείο μηδέν και ρυθμίζουμε το λέιζερ να δείχνει μηδέν.

8. Ορίζουμε τα σημεία μέτρησης σύμφωνα με τον πίνακα 6 και συμπληρώνουμε τη στήλη "Reading on EUT blade", στο πίνακα του φύλλου εργασίας WS- DIMENSIONAL-09-1.
9. Απομακρύνουμε λίγο τον ανακλαστήρα από το σημείο μηδέν, χωρίς να τμήσουμε την ακτίνα λέιζερ και τον επαναφέρουμε τον ξανά στο σημείο 0. Καταγράφουμε τις μετρήσεις στα αντίστοιχα κελιά στο φύλλο εργασίας WS- DIMENSIONAL -09-1. Πραγματοποιούμε τρεις μετρήσεις συνολικά.
10. Ευθυγραμμίζουμε το τηλεσκόπιο με το σημείο A1 και μετράμε με το λέιζερ. Συμπληρώνουμε τα αντίστοιχα κελιά στον πίνακα του φύλλου εργασίας WS- DIMENSIONAL -09-1 για τρεις μετρήσεις της A1.
11. Επαναλαμβάνουμε το βήμα 10 για όλα τα σημεία του βήματος 8. Εάν το σημείο χαρακτηρίζεται ως "reset point" (σημείο επαναφοράς), μετά την καταγραφή των ενδείξεων, απλώνουμε τη μετροταινία για την επόμενη σειρά 1.5m, και τοποθετούμε το σημείο "reset point", της μετροταινίας, στη θέση του σημείου 0. Ευθυγραμμίζουμε το τηλεσκόπιο με "reset point" και επαναφέρουμε την ένδειξη λέιζερ στο μηδέν.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6

A1	500
A2	501
A3	502
B1	1500 (reset point)
B2	1501
B3	1502
C1	2999
C2	3000 (reset point)
C3	3001
D1	4498
D2	4499
D3	4500 (reset point)
E1	4998
E2	4999
E3	5000

reference conditions of measure T= 20 RH=	accuracy class :II	Scale (Inch or/and Metric):Metric					
environment specification:-	specific use:-	Last calibration date:-					
supplementary devices:-							
Step 3.5 scale damage:	P	Step 3.6 class I free end:	-	Step 3.9-3.10 Line width:(mm):	0.2	Step 3.11 edge parallelism:	P

Φύλλο εργασίας σημειώσεων αποτελεσμάτων

Position	Reading on EUT blade	Reading on test equipment			Material temperature	
		1 st measurement	2 nd measurement	3 rd measurement	1	2
	a (mm)	b (mm)	b (mm)	b (mm)	1 (°C)	2 (°C)
0		0				
A ₁	500					
A ₂	501					
A ₃	502					
B ₁	1500(reset point)					
B ₂	1501					
B ₃	1502					
C ₁	2999					
C ₂	3000(reset point)					
C ₃	3001					
D ₁	4498					
D ₂	4499					
D ₃	4500 (reset point)					
E ₁	4498					
E ₂	4499					
E ₃	5000					

Χρησιμοποιηθέντα Πρότυπα / Standards Used:

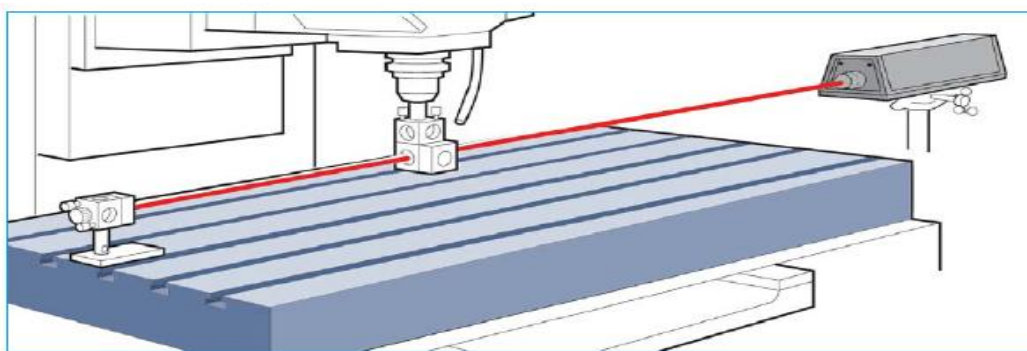
Εξοπλισμός <i>Equipment:</i>	Μοντέλο <i>P/N:</i>	Αριθμός Σειράς <i>Serial Number:</i>	Αρ. Πιστοποιητικού/ <i>Certificate Number :</i>
LASER SYSTEM	5529A	US41111243	DIM-13-042A
SURFACE PLATE	GGG-P-463	48X72	2013ΥΔ04085
STRAIGHT EDGE	661SE60	106896	2014ΥΔ00177
THERMO-HYGROMETER	2626H	A93048	TEM-14-003A
BAROMETRIC PRESSURE MONITOR	RPM3A0015	2083	PRE-14-003A
TEMPERATURE SENSOR	A611	11020004	2014ΥΔ06990
TEMPERATURE SENSOR	A611	10110184	2014ΥΔ06988

4.6 LASER AGILENT 5529A -Περιγραφή δυνατοτήτων και βημάτων μέτρησης

Τεχνικά χαρακτηριστικά όπως αναφέρθηκαν παραπάνω: Εύρος: 0 to 40 m και Ακρίβεια : 0.02ppm στο κενό.

Ο χειρισμός του προγράμματος στον υπολογιστή καθ' όλη την διάρκεια της διακρίβωσης κρίνεται ιδιαίτερα εύκολος και χωρίς καμία δυσκολία. Το λογισμικό παρέχεται σε οχτώ γλώσσες ,όχι όμως στα ελληνικά .Υπάρχει η δυνατότητα μετατροπής δεδομένων ανάμεσα σε χιλιοστά και ίντσες χωρίς απώλεια της ακεραιότητας .Τα δεδομένα μπορούν να μεταφερθούν σε φύλλα excel για περαιτέρω επεξεργασία. Δεν απαιτείται κάποια ιδιαίτερη γνώση πάρα μόνο η πιστή τήρηση των βημάτων και οδηγιών.

Μπορεί να γίνει ανάλυση των δεδομένων επιλέγοντας ένα από τα διεθνή πρότυπα βαθμονόμησης (NMTBA, VDI 3441/2617, ANSI B5.54/B5.57, BSI 3800, ISO 230-2 1997, JIS 136192, GB 10931-89).Οι εντολές είναι πολύ απλές. Κατά την διάρκεια τις διαδικασίας μπορείτε να βλέπετε την γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων.

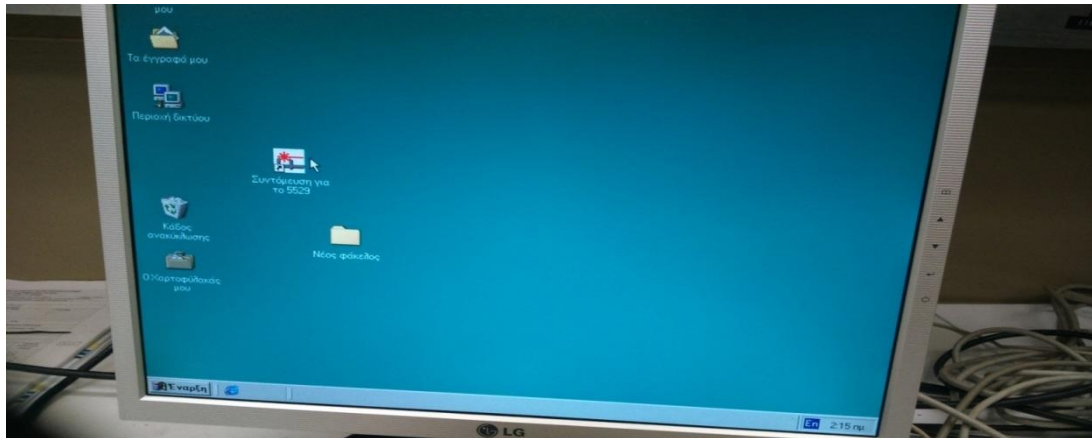


Optical setup for linear measurements

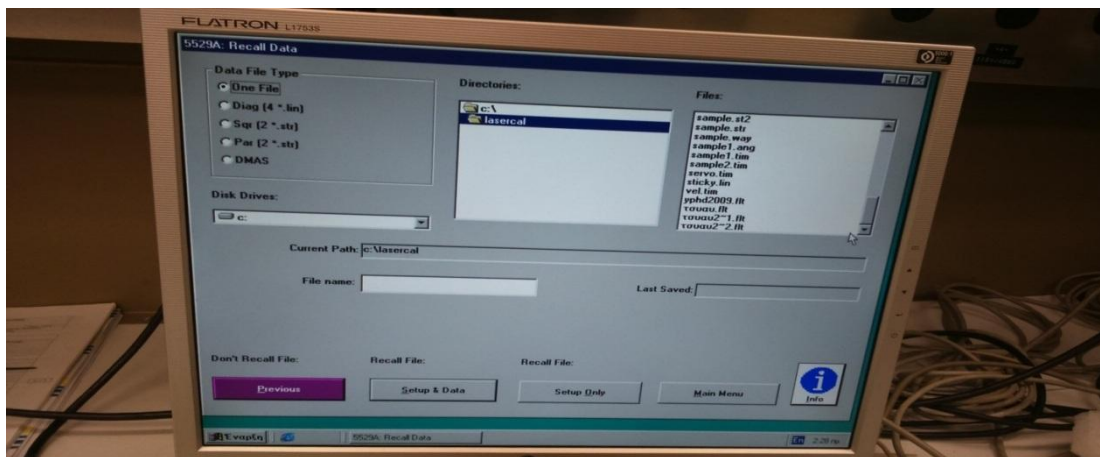


Παρατηρούμε το LASER AGILENT 5529A,την οθόνη του υπολογιστή καθώς και την κεντρική μονάδα του.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα βήματα προκειμένου να γίνει η διακρίβωση και ο χειρισμός του προγράμματος.

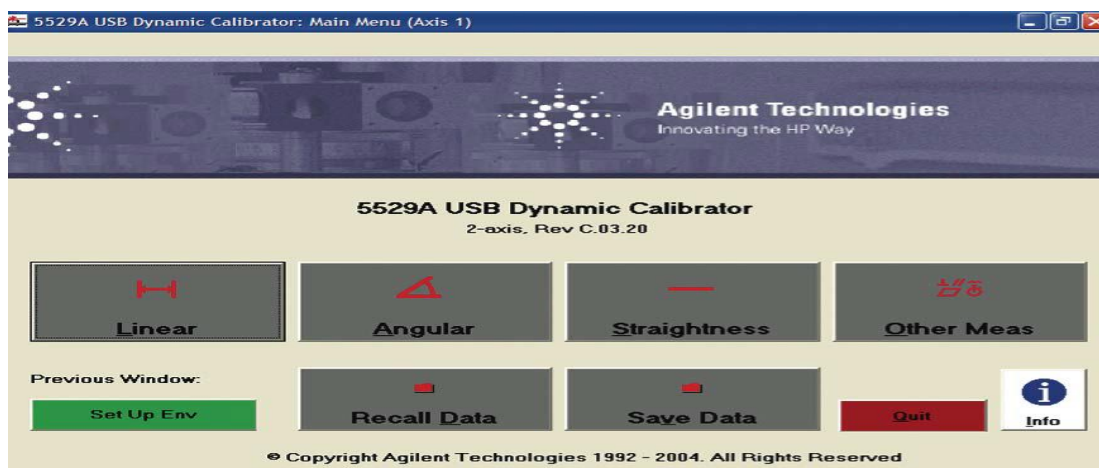


Στην αρχική οθόνη του υπολογιστή υπάρχει η συντόμευση για την εφαρμογή του LASER AGILENT 5529A



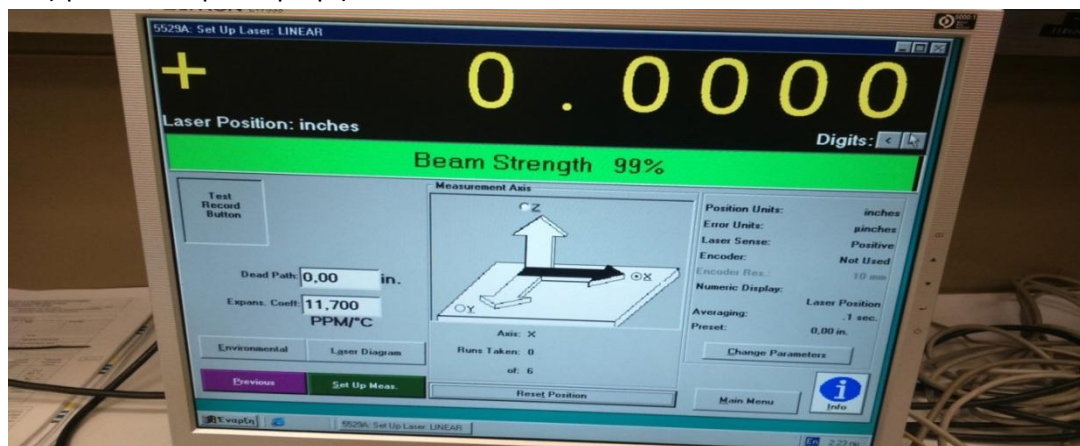
Υπάρχει η δυνατότητα αποθήκευσης των μετρήσεων σε φάκελο και αρχείο για εύκολη αναζήτηση.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα βήματα προκειμένου να γίνει η διακρίβωση και ο χειρισμός του προγράμματος.

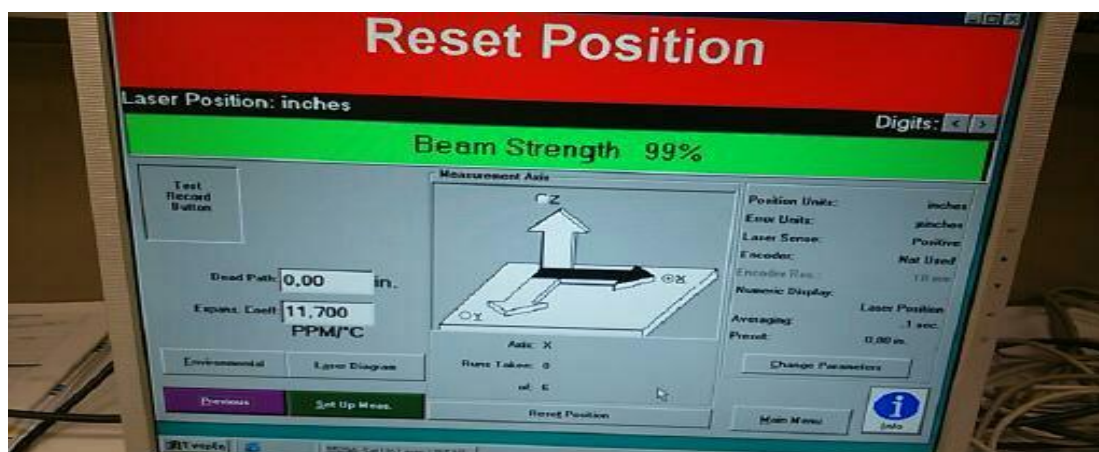


Βημα 1. Παρατηρούμε την κύρια οθόνη και τις λειτουργίες της, επιλέγουμε ποια μέτρηση θέλουμε να κάνουμε (στην περίπτωση μας linear) και πάμε στην επόμενη οθόνη. Επιπλέον υπάρχει η επιλογή recall data που σημαίνει ότι μπορούμε να ανακαλέσουμε δεδομένα από παλιότερες μετρήσεις μας και με την επιλογή save data (όπως αποδίδει και η μετάφραση των λέξεων) σώζει τα δεδομένα μας. Χρησιμοποιούμε το πράσινο κουμπί για να μεταβούμε στο επόμενο βήμα, ή το κόκκινο για να βγούμε από την εφαρμογή.

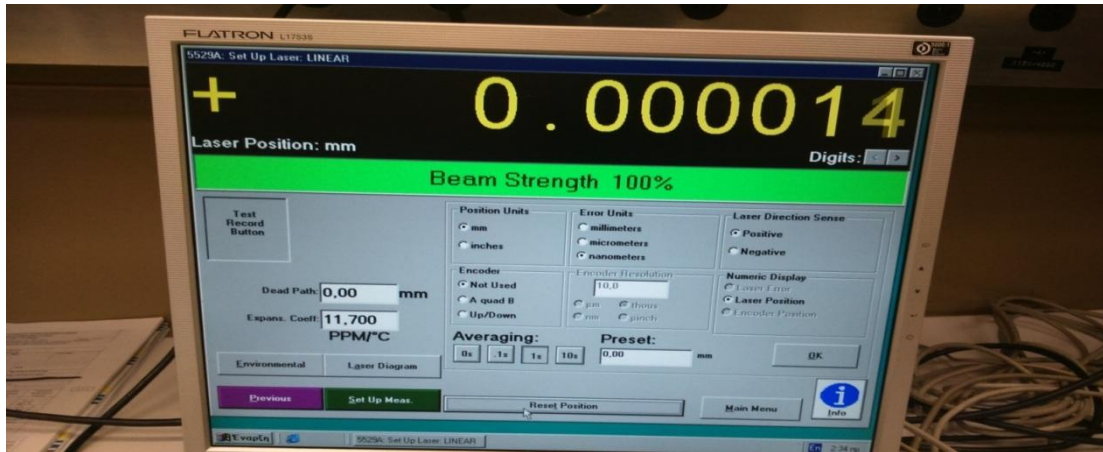
Με το που γίνει η ευθυγράμμιση της κεφαλής laser με το συμβολόμετρο (INTERFEROMETER) και τον ανακλαστήρα (RETROREFLECTOR), παράλληλα με την μετροταινία και το STRAIGHT EDGE, παρατηρούμε στην οθόνη πράσινη ένδειξη και το λέιζερ είναι έτοιμο να μετρήσει.



Σε περίπτωση που κάτι παρεμβληθεί μπροστά στην ακτίνα του λέιζερ ή του συμβολόμετρου ή του ανακλαστήρα εμφανίζεται κόκκινο χρώμα στο πάνω μέρος της οθόνης και η ένδειξη Reset Position. Σε αυτή την περίπτωση πρέπει να ξαναγίνει ευθυγράμμιση και να είμαστε πιο προσεκτικοί στις κινήσεις μας.



Βημα 2. Επιλέγουμε τον άξονα μέτρησης. Επίσης επιλέγουμε τον αριθμό των ψηφίων που θέλουμε να μας δίνει η οθόνη κατά την διάρκεια των μετρήσεων. Χρησιμοποιούμε το πράσινο κουμπί για να μεταβούμε στο επόμενο βήμα ή την μωβ ένδειξη για να πάμε στην προηγούμενη οθόνη.



Βήμα 3. Εισάγουμε τα δεδομένα μας έχοντας ως μετρητικό σύστημα τα mm και συμπληρώνουμε όπως στην παραπάνω εικόνα. Χρησιμοποιούμε το πράσινο κουμπί για να μεταβούμε στο επόμενο βήμα η το μωβ για να πάμε στην προηγούμενη οθόνη.

Βήμα 4. Εισάγουμε τις περιβαλλοντικές συνθήκες με το κουμπί environmental. Κάνουμε τις μετρήσεις χειροκίνητα και καταγράφουμε τα αποτελέσματα στο φύλλο εργασίας WS-DIMENSIONAL -09-2.

5. Υπολογισμός των επιμέρους αβεβαιοτήτων που επηρεάζουν το αποτέλεσμα της μέτρησης

5.1 Υπολογισμός μήκους μετροταινίας

Το μοντέλο που δίνει το διορθωμένο μήκος για την θερμοκρασία αναφοράς της μετροταινίας είναι:

$$L_c = L_m^{air} (1 + a_m (T_r - T_m)) + \delta L_{ab} + \delta L_{cos} + \delta L_{dp} + \delta L_{lat} + \delta L_{tur} + \delta L_{for} + \delta L_{dop} + \delta L_o + \delta L_i \quad (1)$$

Παρακάτω ακολουθούν οι συμβολισμοί που χρησιμοποιούνται

L_c Το διορθωμένο μήκος για την θερμοκρασία αναφοράς

L_m^{air} Το μετρούμενο μήκος από το laser διορθωμένο για τον δείκτη διάθλασης

L_m Το μετρούμενο μήκος από το laser θεωρώντας δείκτη διάθλασης $n_{vac} = 1$

a_m Γραμμικός συντελεστής διαστολής της μετροταινίας

T_r Θερμοκρασία αναφοράς της μετροταινίας (αν δεν αναγράφεται είναι 20°C)

T_m Η μέση τιμή της θερμοκρασίας της μετροταινίας κατά την διακρίβωση

δL_{ab} Διόρθωση μήκους λόγω σφάλματος abbe (εκτιμάται ότι είναι 0)

δL_{cos} Διόρθωση μήκους λόγω σφάλματος cosine (εκτιμάται ότι είναι 0)

δL_{dp} Διόρθωση μήκους λόγω σφάλματος deadpath (εκτιμάται ότι είναι 0)

δL_{lat} Διόρθωση μήκους λόγω σφάλματος lateral (εκτιμάται ότι είναι 0)

δL_{tur} Διόρθωση μήκους λόγω σφάλματος turbulence (εκτιμάται ότι είναι 0)

δL_{for} Διόρθωση μήκους λόγω σφάλματος force (δύναμης εφελκυσμού μετροταινίας) (θεωρείται ότι είναι 0)

δL_{dop} Διόρθωση μήκους λόγω σφάλματος φαινομένου Doppler (εκτιμάται ότι είναι 0)

δL_o Διόρθωση μήκους λόγω σφάλματος repeatability (0) (επαναληψιμότητα στη θέση 0 ή του σημείου reset). Αυτή η διόρθωση υπολογίζεται ως εξής:

$$\delta L_o = -Average(reset\ point\ 1,2,3)$$

Δηλαδή αφαιρείται ο μέσος όρος των ενδείξεων στο σημείο μηδενισμού

δL_i Διόρθωση μήκους λόγω σφάλματος repeatability (i) (επαναληψιμότητα στη θέση i)

(εκτιμάται ότι είναι 0)

Ισχύει ότι το πλήθος των μηκών κύματος είναι

$$N = \frac{L_m}{\lambda_{vac}} = \frac{L_m^{air}}{\lambda_{air}} \quad (2)$$

Αλλά

$$\lambda_{air} = \frac{\lambda_{vac}}{n_{air}} \Rightarrow L_m^{air} = \frac{L_m}{n_{air}} \quad (3)$$

Όπου

n_{air} Δείκτης διάθλασης στον αέρα

n_{vac} Δείκτης διάθλασης στον κενό $n_{vac} = 1$

λ_{air} Μήκος κύματος στον αέρα

λ_{vac} Μήκος κύματος στο κενό

N Πλήθος μηκών κύματος

Έτσι με αντικατάσταση του τύπου (3) στο παραπάνω μοντέλο (1), το διορθωμένο μήκος γίνεται

$$L_c = \frac{L_m}{n_{air}} (1 + a_m(T_r - T_m)) + \delta L_{ab} + \delta L_{cos} + \delta L_{dp} + \delta L_{lat} + \delta L_{tur} + \delta L_{for} + \delta L_{dop} + \delta L_o + \delta L_i \quad (4)$$

Και με τις παραδοχές για τους όρους που εκτιμώνται ότι είναι 0 προκύπτει

$$L_c = \frac{L_m}{n_{air}} (1 + a_m(T_r - T_m)) + \delta L_o \Rightarrow L_c = \frac{L_m}{n_{air}} + \frac{L_m}{n_{air}} a_m(T_r - T_m) + \delta L_o$$
$$\Rightarrow L_c = \frac{L_m}{n_{air}} + \delta L_{Tm} + \delta L_o \Rightarrow L_c = L_m - L_m \left(1 - \frac{1}{n_{air}}\right) + \delta L_{Tm} + \delta L_o \Rightarrow$$

$$L_c = L_m + \delta L_{nair} + \delta L_{Tm} + \delta L_o \quad (4\alpha)$$

Όπου

$$\delta L_{nair} = -L_m \left(1 - \frac{1}{n_{air}}\right)$$

$$\delta L_{Tm} = \frac{L_m}{n_{air}} a_m(T_r - T_m)$$

$$\delta L_o = -Average(reset\ point\ 1,2,3)$$

5.2 Αβεβαιότητα των μετρήσεων

Το μοντέλο που δίνει το διορθωμένο μήκος για την θερμοκρασία αναφοράς της μετροταινίας είναι:

$$L_c = \frac{L_m}{n_{air}} (1 + a_m(T_r - T_m)) + \delta L_{ab} + \delta L_{cos} + \delta L_{dp} + \delta L_{lat} + \delta L_{tur} + \delta L_{for} + \delta L_{dop} + \delta L_o + \delta L_i \quad (4)$$

Οπότε η συνδυασμένη (τυπική) αβεβαιότητα είναι

$$u^2_{Lc} = (c_{Lm}u_{Lm})^2 + (c_{nair}u_{nair})^2 + (c_{am}u_{am})^2 + (c_{Tm}u_{Tm})^2 + (c_{Lab}u_{Lab})^2 + (c_{cos}u_{cos})^2 + (c_{Ldp}u_{Ldp})^2 + (c_{Llat}u_{Llat})^2 + (c_{Ltur}u_{Ltur})^2 + (c_{Lfor}u_{Lfor})^2 + (c_{Ldop}u_{Ldop})^2 + (c_{Lo}u_{Lo})^2 + (c_{Li}u_{Li})^2 \quad (5)$$

Όπου οι Συντελεστές ευαισθησίας είναι

$$c_{Lm} = \frac{\partial L_c}{\partial L_m} = \frac{1}{n_{air}} \approx 1 \quad (6)$$

$$c_{nair} = \frac{\partial L_c}{\partial n_{air}} = -\frac{L_m}{(n_{air})^2} \approx -L_m \quad (7)$$

$$c_{am} = \frac{\partial L_c}{\partial a_m} = \frac{L_m}{n_{air}} (T_r - T_m) \approx L_m * (T_r - T_m) \quad (8)$$

$$c_{Tm} = \frac{\partial L_c}{\partial T_m} = -\frac{L_m}{n_{air}} a_m \approx -L_m * a_m \quad (9)$$

$$c_{ab} = c_{Ldp} = c_{cos} = c_{Llat} = c_{Ltur} = c_{Lfor} = c_{Ldop} = c_{Lo} = c_{Li} = 1 \quad (10)$$

5.2.1 Υπολογισμός αβεβαιότητας u_{Lm}

Ισχύει

$$L_m = N\lambda_{vac} \quad (11)$$

οπότε

$$u^2_{Lm} = (c_N u_N)^2 + (c_{\lambda vac} u_{\lambda vac})^2 \quad (12)$$

Υπολογισμός του γινομένου $c_N u_N$ που αποτελεί τον πρώτο παράγοντα του u_{Lm}

Για τον υπολογισμό του resolution ακολουθείται η εξής διαδικασία :

Γίνεται προσέγγιση του συμβολόμετρου όσο το δυνατόν κοντύτερα στον τον ανακλαστήρα ο οποίος βρίσκεται πάνω από το πρώτο σημείο της μετροταινίας (αρχικό σημείο) και έπειτα μηδενίζεται η ένδειξη του laser. Παρατηρήθηκε η ελάχιστη και η μέγιστη ένδειξη για χρόνο ενός λεπτού (1 min) με τα εξής αποτελέσματα

$$L_{min} = -9nm$$

$$L_{max} = +11nm$$

Ισχύει

$$L_{min} = N_{min}\lambda_{vac} \Rightarrow N_{min} = \frac{L_{min}}{\lambda_{vac}}$$

$$L_{max} = N_{max}\lambda_{vac} \Rightarrow N_{max} = \frac{L_{max}}{\lambda_{vac}}$$

Οπότε για την αβεβαιότητα του u_N ισχύει

$$u_N = \frac{N_{max} - N_{min}}{2\sqrt{3}} = \frac{\frac{L_{max}}{\lambda_{vac}} - \frac{L_{min}}{\lambda_{vac}}}{2\sqrt{3}} = \frac{L_{max} - L_{min}}{2\sqrt{3}\lambda_{vac}} = \frac{5,8 * 10^{-3}}{\lambda_{vac}} \mu m$$

Άρα

$$u_N = \frac{5,8 * 10^{-3}}{\lambda_{vac}} \mu m \quad (13)$$

Με συντελεστή ευαισθησίας

$$c_N = \frac{\partial L_m}{\partial N} = \lambda_{vac} \quad (14)$$

Οπότε

$$c_N u_N = \frac{5,8 * 10^{-3}}{\lambda_{vac}} \lambda_{vac} = 5,8 * 10^{-3} \mu m \quad (15)$$

Υπολογισμός του γινομένου $c_{\lambda_{vac}} u_{\lambda_{vac}}$ που αποτελεί τον δεύτερο παράγοντα του u_{L_m}

Συντελεστής ευαισθησίας $c_{\lambda_{vac}}$

$$c_{\lambda_{vac}} = \frac{\partial L_m}{\partial \lambda_{vac}} = N \Rightarrow c_{\lambda_{vac}} = \frac{L_m}{\lambda_{vac}} \quad (16)$$

Όμως είναι

$$u_{\lambda_{vac}}^2 = u_{pol}^2 + u_{cal}^2 + u_{drift}^2 \Rightarrow$$

$$u_{\lambda_{vac}} = \sqrt{u_{pol}^2 + u_{cal}^2 + u_{drift}^2}$$

Όπου

u_{pol} η αβεβαιότητα λόγω της διαφοράς μήκους κύματος της οριζόντιας από την κατακόρυφη συνιστώσα της δέσμης laser.

u_{cal} η αβεβαιότητα από το πιστοποιητικό του laser.

u_{drift} η αβεβαιότητα λόγω ολίσθησης του μήκους κύματος συναρτήσει του χρόνου.

Αναλυτικά οι υπολογισμοί

$$u_{pol} = \frac{\lambda_{high} - \lambda_{low}}{2\sqrt{3}} = 0,0016 * 0,633 * 10^{-6} = 1,01 * 10^{-9} \mu m$$

$$u_{cal} = \frac{U}{2} = 6,7 * 10^{-11} \mu m$$

$$u_{drift} = \frac{\lambda_{now} - \lambda_{before}}{\sqrt{3}} = 7,5 * 10^{-10} \mu m$$

Όπου

λ_{now} το μήκος κύματος του παρόντος πιστοποιητικού

λ_{before} το μήκος κύματος του προηγούμενου πιστοποιητικού

Άρα

$$u_{\lambda_{vac}} = \sqrt{u_{pol}^2 + u_{cal}^2 + u_{drift}^2} \Rightarrow u_{\lambda_{vac}} = 1,26 * 10^{-9} \mu m \quad (17)$$

Οπότε

$$c_{\lambda_{vac}} u_{\lambda_{vac}} = L_m \frac{1,26 * 10^{-9}}{0,633} = 2,0 * 10^{-9} * L_m \quad (18)$$

Όποτε

$$u_{Lm} = \sqrt{(5,8 * 10^{-3} \mu m)^2 + (2.0 * 10^{-9} * L_m)^2} \quad (19)$$

5.2.2 Υπολογισμός αβεβαιότητας για u_{nair}

Έχει υπολογιστεί στο κεφάλαιο υπολογισμού αβεβαιότητας του δείκτη διάθλασης . Ο υπολογισμός έγινε με την βοήθεια του τύπου

$$u^2_{nair} = c^2_p u^2_p + c^2_{\lambda vac} u^2_{\lambda vac} + c^2_t u^2_t + c^2_{RH} u^2_{RH} \quad (20)$$

Αναλυτικότερα

$$u^2_{nair} = \left[\left(\frac{\partial n_{tp}}{\partial p} \right)^2 + \left(\frac{\partial n_{tp}}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial p} \right)^2 \right] * u^2_p + \left[\left(\frac{\partial n_{tp}}{\partial ns} \frac{\partial ns}{\partial s} \frac{\partial s}{\partial \lambda} \right)^2 + \left(\frac{\partial n}{\partial S} \frac{\partial S}{\partial \lambda} \right)^2 \right] u^2_{\lambda vac} + \left[\left(\frac{\partial n_{tp}}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial t} \right)^2 + \left(\frac{\partial n}{\partial P_{sv}} \frac{\partial P_{sv}}{\partial \Omega} \frac{\partial \Omega}{\partial t} \right)^2 + \left(\frac{\partial n}{\partial t} \right)^2 \right] u^2_t + \left(\frac{\partial n}{\partial RH} \right)^2 u^2_{RH} \quad (21)$$

Όπου

$$c^2_p = \left[\left(\frac{\partial n_{tp}}{\partial p} \right)^2 + \left(\frac{\partial n_{tp}}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial p} \right)^2 \right]$$

$$c^2_{\lambda vac} = \left[\left(\frac{\partial n_{tp}}{\partial ns} \frac{\partial ns}{\partial s} \frac{\partial s}{\partial \lambda} \right)^2 + \left(\frac{\partial n}{\partial S} \frac{\partial S}{\partial \lambda} \right)^2 \right]$$

$$c^2_t = \left[\left(\frac{\partial n_{tp}}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial t} \right)^2 + \left(\frac{\partial n}{\partial P_{sv}} \frac{\partial P_{sv}}{\partial \Omega} \frac{\partial \Omega}{\partial t} \right)^2 + \left(\frac{\partial n}{\partial t} \right)^2 \right]$$

$$c^2_{RH} = \left(\frac{\partial n}{\partial RH} \right)^2$$

5.2.3 Υπολογισμός αβεβαιότητας για u_{am}

u_{am} είναι η αβεβαιότητα της θερμικής διαστολής της μετροταινίας. Το μέγιστο σφάλμα είναι $\pm 4 * 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}$ σύμφωνα με Druzovec et al., (2008) όπως αναφέρουν οι GODINA, A. & ACKO, B.

Η αβεβαιότητα θεωρούμε ότι έχει ορθογωνική κατανομή . Ως εκ τούτου:

$$u_{am} = \frac{4 * 10^{-6}}{\sqrt{3}} \Rightarrow u_{am} = 2.3 * 10^{-6} \mu m \quad (22)$$

5.2.4 Υπολογισμός αβεβαιότητας για u_{Tm}

u_{Tm} είναι η αβεβαιότητα της θερμοκρασίας μετροταινίας. Τα όρια αυτά είναι μεταξύ T_{max} και T_{min} που έχουν ορθογωνική κατανομή. Ως εκ τούτου

$$u^2_{Tm} = \left(\frac{T_{mmax} - T_{mmin}}{2\sqrt{3}} \right)^2 + u^2_{TI}$$

Με

$$u^2_{TI} = u^2_{cal} + u^2_{drift}$$

Και

$$u_{cal} = \frac{|error|}{\sqrt{3}} + \frac{U}{2} = 0.05^\circ C$$

Όπου το σφάλμα του οργάνου (error) προστέθηκε ως ορθογωνική κατανομή για να μην γίνεται διόρθωση τις ένδειξης του θερμομέτρου

$$u_{drift} \frac{error_{now} - error_{before}}{\sqrt{3}} = 0.02^\circ C$$

Όπου

$error_{now}$ το σφάλμα ένδειξης στο πρόσφατο πιστοποιητικό

$error_{before}$ το σφάλμα ένδειξης στο προηγούμενο πιστοποιητικό

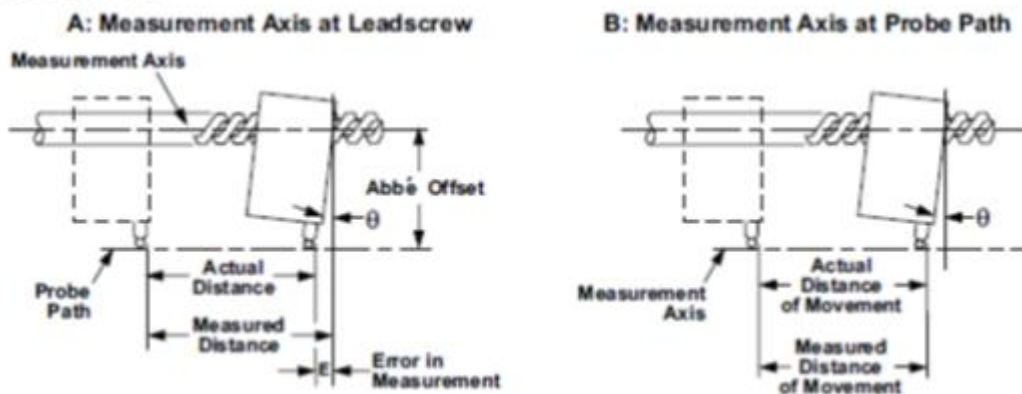
Άρα

$$u_{Tm} = \sqrt{\left(\frac{T_{mmax} - T_{mmin}}{2\sqrt{3}}\right)^2 + (0,054^\circ C)^2} \quad (23)$$

5.2.5 Υπολογισμός αβεβαιότητας για u_{ab}

u_{ab} είναι η αβεβαιότητα λόγω του σφάλματος abbe. Το Abbe σφάλμα περιγράφηκε για πρώτη φορά από τον Δρ. Ernst Abbe και παρουσιάζεται όταν το σημείο μέτρησης μετατοπίζεται από την πραγματική του θέση και λαμβάνει ανεπιθύμητη γωνιακή κίνηση. Το Abbe σφάλμα κάνει την υποδεικνυόμενη θέση να είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη από ότι είναι η πραγματική θέση ανάλογα με τη γωνιακή offset.

ABBE OFFSET



Παράδειγμα Abbe error

Σε γενικές γραμμές, η μείωση του μήκους Abbe offset θα μειώσει το σφάλμα σε γωνιακές κινήσεις.

Το σφάλμα είναι:

$$e_{abbe} = h * \tan\theta$$

Όπου h το abbe offset

Το σφάλμα είναι πιθανόν να έχει ορθογωνική κατανομή. Οπότε

$$u_{abbe} = \frac{e_{abbe}}{\sqrt{3}}$$

Για $\theta=10\text{arc sec}$ η οποία βρέθηκε μετρώντας κατά τους άξονες z και y την μεγίστη και την ελαχίστη γωνιά στη διαδρομή του 1,5m θα είναι:

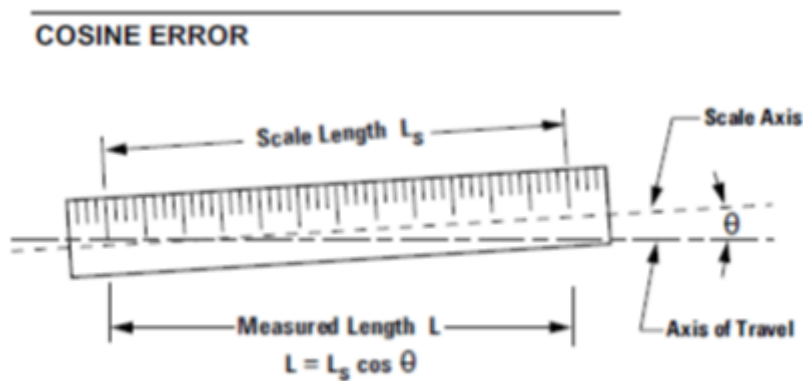
$$u_{abbe} = \frac{e_{abbe}}{\sqrt{3}} \Rightarrow u_{abbe} = \frac{h \cdot 4,85 \cdot 10^{-05}}{\sqrt{3}} \Rightarrow u_{abbe} = 2.8 \cdot 10^{-05} * h \quad (24)$$

Και για $h = 10\text{cm}$

$$u_{abbe} = 2.8\mu\text{m} \quad (25)$$

5.2.6 Υπολογισμός αβεβαιότητας για u_{cos}

u_{cos} είναι η αβεβαιότητα λόγω του σφάλματος συνημίτονου. Το σφάλμα συνημίτονου προκύπτει από την μη πλήρη ευθυγράμμιση μεταξύ του άξονα κίνησης του συγκροτήματος συμβολόμετρου-μικροσκοπίου και του άξονα της μετροταινίας. Αυτό το σφάλμα ονομάζεται σφάλμα συνημίτονου, επειδή το μέγεθος του είναι ανάλογο με το συνημίτονο της γωνίας των δύο αξόνων.



Παράδειγμα Cosine error

Η παραπάνω εικόνα απεικονίζει το σφάλμα συνημίτονου, χρησιμοποιώντας ένα χάρακα ως κλίμακα, με γωνία θ μεταξύ του άξονα μέτρησης και του άξονα της κλίμακας. Το σφάλμα είναι

$$e_{Lcos} = L_m(1 - \cos\theta) \quad \text{με} \quad \theta = \arcsin \frac{d}{L} \quad \text{οπότε}$$

$$e_{Lcos} = L_m(1 - \cos \arcsin \frac{d}{L})$$

Η ευθυγράμμιση που μπορεί να επιτευχθεί, στη χειρότερη περίπτωση είναι $d = 0.5\text{mm}$ για $L = 1.5\text{m}$. Το σφάλμα είναι πιθανόν να έχει ορθογωνική κατανομή. Ως εκ τούτου

$$u_{cos} = \frac{e_{Lcos}}{\sqrt{3}} = 4.8 \cdot 10^{-02} \mu\text{m} \Rightarrow u_{cos} = 4.8 \cdot 10^{-02} \mu\text{m} \quad (26)$$

5.2.7 Υπολογισμός αβεβαιότητας για u_{dp}

u_{dp} είναι η αβεβαιότητα λόγω του σφάλματος του deadpath. Η απόσταση deadpath είναι η διαφορά στην οπτική διαδρομή της ακτίνας λέιζερ, μεταξύ συμβολόμετρου-ανακλαστήρα, όταν ο ανακλαστήρας βρίσκεται στη θέση μηδέν (reset point). Για να μειωθεί το παραπάνω σφάλμα το συμβολόμετρο και ο ανακλαστήρας πρέπει να βρίσκονται όσο το δυνατόν πλησιέστερα στο σημείο μηδενισμού.

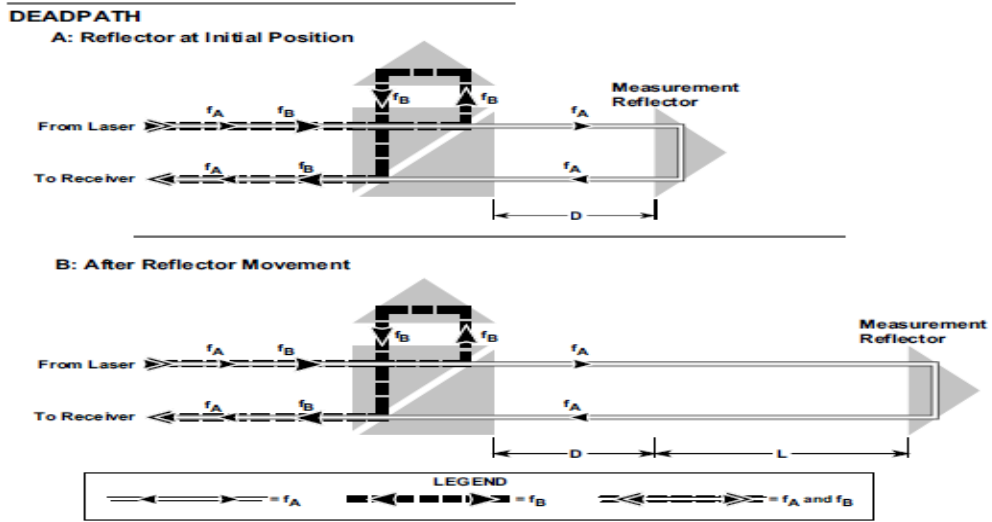


Figure 15-5. Deadpath caused by unequal lengths from initial point

Το παραπάνω σχήμα δείχνει το άνισο μήκος διαδρομής για ένα συμβατικό γραμμικό συμβολόμετρο. Το μήκος deadpath έχει οριστεί ως "D".

OPTICAL CONFIGURATION WITH AND WITHOUT DEADPATH

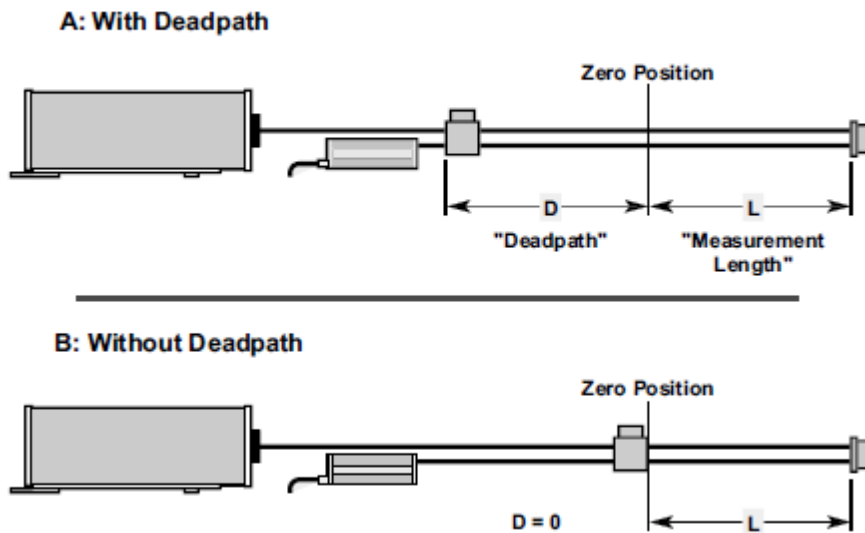


Figure 15-6. Optical configuration with and without deadpath

Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται καθαρά η οπτική διαδρομή με την παρουσία ή την απουσία του deadpath.

Το σφάλμα deadpath προκύπτει λόγω της μεταβολής του μήκους κύματος εξαιτίας μεταβολής του δείκτη διάθλασης, οπότε

$$L_{dp}^{air} = \frac{L_{dp}^{vac}}{n_{air}}$$

άρα

$$u_{Ldp}^2 = \left(\frac{\partial L_{dp}^{air}}{\partial n_{air}} u_{nair} \right)^2 + \left(\frac{\partial L_{dp}^{air}}{\partial L_{dp}^{vac}} u_{L_{dp}^{vac}} \right)^2$$

Επειδή L_{dp}^{vac} είναι αμετάβλητο, $u_{L_{dp}^{vac}} = 0$

Και για $L_{dp} = 50mm = 50 * 10^3 \mu m$ (27)

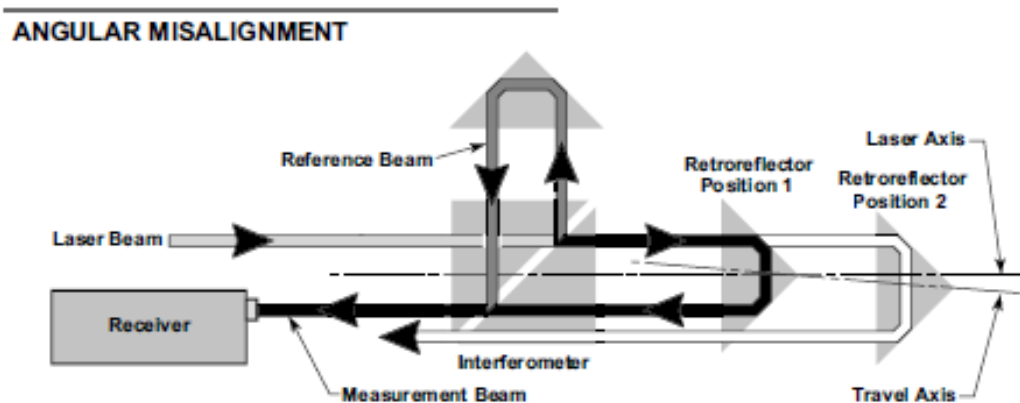
$$u_{Ldp}^2 = \left(-\frac{L_{dp}^{vac}}{n_{air}^2} u_{nair} \right)^2 \Rightarrow u_{Ldp} \approx L_{dp}^{vac} u_{nair} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow u_{Ldp} = 50 * 10^3 u_{nair} \quad (28)$$

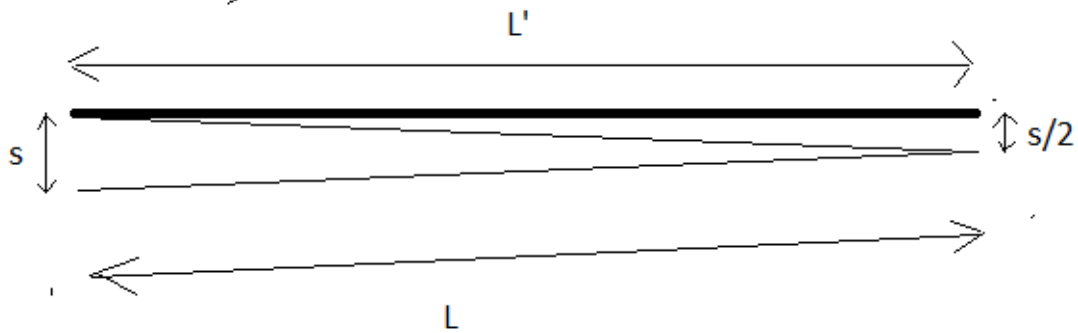
5.2.8 Υπολογισμός αβεβαιότητας για u_{Llat}

u_{Llat} είναι η αβεβαιότητα λόγω του σφάλματος lateral. Αυτό είναι δυνατό να προέρθει από οποιαδήποτε μη γωνιακή ευθυγράμμιση και προκαλεί στην δέσμη του laser μια μετατόπιση όταν υπάρχει κίνηση μεταξύ του συμβολόμετρου και του ανακλαστήρα στην μετρούμενη διαδρομή. Δηλαδή όταν η δέσμη laser δεν είναι ευθυγραμμισμένη παράλληλα προς την κατεύθυνση του ανακλαστήρα, και υπάρχει γωνιακή απόκλιση, η κίνηση του ανακλαστήρα προκαλεί μια πλευρική μετατόπιση της δέσμης laser όταν αυτή επιστρέφει στον δέκτη, με αποτέλεσμα να έχουμε σφάλμα.

Το παρακάτω σχήμα απεικονίζει το αποτέλεσμα της γωνιακής μετατόπισης



Ακολουθεί ο υπολογισμός του σφάλματος ο οποίος είναι



$$e = L - L'$$

ισχύουν:

$$\left(\frac{s}{2}\right)^2 + (L')^2 = (L)^2 \Rightarrow \left(\frac{s}{2}\right)^2 = (L)^2 - (L')^2 \Rightarrow$$

$$\left(\frac{s}{2}\right)^2 = (L - L')(L + L') \Rightarrow \left(\frac{s}{2}\right)^2 = e(L + L') \Rightarrow$$

$$\left(\frac{s}{2}\right)^2 \approx e2L \Rightarrow e = \frac{s^2}{8L}$$

Το σφάλμα είναι πιθανόν να έχει ορθογωνική κατανομή οπότε

$$u_{Llat} = \frac{s^2}{8L\sqrt{3}} \quad (29)$$

Για $s=1\text{mm}$ lateral offset της επιστρεφόμενης δέσμης και για $L = 1500\text{mm}$ μετρούμενη απόσταση, ισχύει

$$u_{Llat} = \frac{s^2}{8L\sqrt{3}} = 1.9 * 10^{-1} \mu\text{m} \quad (30)$$

5.2.9 Υπολογισμός αβεβαιότητας για u_{Ltur}

u_{Ltur} είναι η αβεβαιότητα λόγω του στροβιλισμού του αέρα. Ο υπολογισμός έγινε ως εξής: Από μετρήσεις διάρκειας ενός λεπτού για απόσταση συμβολόμετρου- ανακλαστήρα 1,5 m, η διακύμανση ήταν 1 μm . Η διακύμανση είναι πιθανόν να έχει ορθογωνική κατανομή. Ως εκ τούτου ισχύει:

$$u_{Ltur} = \left(\frac{1\mu\text{m}}{\sqrt{3}}\right)^2 = 0.577\mu\text{m} \quad (31)$$

5.2.10 Υπολογισμός αβεβαιότητας για u_{Lfor}

u_{Lfor} είναι η αβεβαιότητα λόγω της εφαρμοζόμενης δύναμης. Το μήκος της μετροταινίας όταν εφελκείται με μια δύναμη, δίνεται από τον τύπο:

$$L_{for} = L_n(1 + F * a_{el}) \quad (32)$$

όπου

F η εφαρμοζόμενη δύναμη

a_{el} ο συντελεστής ελαστικής παραμόρφωσης

$L_n = 1.5\text{m}$ το μήκος της μετροταινίας όπου εφαρμόζεται η δύναμη. Οπότε

$$u_{Lfor} = \frac{\partial L_{for}}{\partial F} u_f$$

Όμως

$$\frac{\partial L_{for}}{\partial F} = L_n * a_{el} = 1.5 * 10^6 \mu m * a_{el}$$

Λόγω τριβών και αβεβαιότητας μάζας η δύναμη έχει διακύμανση $\pm 0,3\%$ άρα για ορθογωνική κατανομή θα ισχύει

$$u_f = \frac{0,3}{100\sqrt{3}} F$$

άρα

$$u_{L_{for}} = 2.6 * 10^3 * a_{el} * F \quad (33)$$

5.2.11 Υπολογισμός αβεβαιότητας για $u_{L_{dop}}$

$u_{L_{dop}}$ είναι το σφάλμα λόγω του φαινομένου Doppler.

Από τη θεωρία της σχετικότητας για το φαινόμενο Doppler ισχύει

$$\frac{\lambda_{πηγής}}{\lambda_{ανακλαστήρα}} = \sqrt{\frac{1-\beta}{1+\beta}} \quad (34)$$

με $\beta = \frac{v}{c}$ όπου $v=0.7m/sec$ (μεγίστη σχετική ταχύτητα ανακλαστήρα –συμβολόμετρου).

Στον ανακλαστήρα η δέσμη επανεκπέμπεται οπότε στον δέκτη λαμβάνεται μήκος κύματος

$$\frac{\lambda_{ανακλαστήρα}}{\lambda_{δέκτη}} = \sqrt{\frac{1-\beta}{1+\beta}} \quad (35)$$

οπότε

$$\frac{\lambda_{πηγής}}{\lambda_{δέκτη}} = \frac{1-\beta}{1+\beta} \quad (36)$$

και

$$\delta\lambda = \lambda_{δέκτη} - \lambda_{πηγής} = \lambda_{πηγής} \left(\frac{1+\beta}{1-\beta} - 1 \right) = \lambda_{πηγής} \left(\frac{1+\beta}{1-\beta} - \frac{1-\beta}{1-\beta} \right) = \lambda_{πηγής} \left(\frac{1+\beta-1+\beta}{1-\beta} \right) = \lambda_{πηγής} \left(\frac{2\beta}{1-\beta} \right) \approx 2\beta\lambda_{πηγής} \text{ για } v \ll c$$

και το σφάλμα Ντόπλερ θα είναι

$$e_{dop} = N\delta\lambda = \frac{L}{\lambda_{vac}} 2\beta\lambda_{πηγής} \approx 2\beta L = \frac{2L}{c} v \quad (37)$$

Θεωρούμε ότι το σφάλμα έχει ορθογωνική κατανομή οπότε

$$u_{dop} = \frac{e_{dop}}{\sqrt{3}} = \frac{2L}{c\sqrt{3}} v \Rightarrow u_{dop} = 2,7 * 10^{-09} L \quad (38)$$

5.2.12 Υπολογισμός αβεβαιότητας για u_{L_0} (επαναληψιμότητα στο σημείο 0)

Γενικά η επαναληψιμότητα είναι μια ενδιάμεση κατάσταση ακρίβειας των συνθηκών της μέτρησης, από ένα σύνολο προϋποθέσεων που περιλαμβάνουν: ίδια διαδικασία μέτρησης, ίδιος παρατηρητής, ίδια τοποθεσία, ίδια μετρητική συσκευή και επανειλημμένες μετρήσεις για τα ίδια ή παρόμοια αντικείμενα πάνω από μια παρατεταμένη χρονική περίοδο, αλλά μπορεί να περιλαμβάνουν και άλλες συνθήκες που συνεπάγονται αλλαγές.

Οι επαναλήψεις πραγματοποιούνται μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα .Είναι δηλαδή η συνάφεια που παρουσιάζουν επαναλαμβανόμενες μετρήσεις του ίδιου μεγέθους, όταν αυτές ικανοποιούν τις παραπάνω προϋποθέσεις.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ 1 Οι αλλαγές μπορεί να περιλαμβάνουν νέες βαθμονομήσεις, φορείς και συστήματα μέτρησης.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ 2 Η προδιαγραφή για τις συνθήκες θα πρέπει να περιέχουν τις συνθήκες που άλλαξαν και όσες έμειναν αμετάβλητες. Έτσι θα είναι

$$u_{Lo} = \frac{S_{reset_k}}{\sqrt{3}} \quad (39)$$

Όπου

S_{reset_k} είναι η τυπική απόκλιση (Standard Deviation) που προκύπτει από τρεις μετρήσεις στο σημείο k μετά την μεταφορά του στο σημείο 0 και τον μηδενισμό του laser.

5.2.13 Υπολογισμός αβεβαιότητας για u_{Li} (επαναληψιμότητα στο σημείο i)

Ισχύει

$$u_{Li} = \frac{S_{rep_i}}{\sqrt{3}} \quad (40)$$

Όπου S_{rep_i} είναι η τυπική απόκλιση (Standard Deviation) του σημείου k πριν μεταφερθεί στο σημείο μηδέν και αντιστοιχεί στο $i=k$.

5.3 Υπολογισμός συνδυασμένης τυπικής αβεβαιότητας

Η σχέση που ακολουθεί αποτελεί την συνδυασμένη (τυπική) αβεβαιότητα όπως προκύπτει από την (5) και την αντικατάσταση μερικών όρων

$$u^2_{Lc} = c^2_{Lm}((c_N u_N)^2 + (c_{\lambda vac} u_{\lambda vac})^2) + c^2_{nair}(c^2_p u^2_p + c^2_{\lambda vac} u^2_{\lambda vac} + c^2_t u^2_t + c^2_{RH} u^2_{RH}) + (c_{am} u_{am})^2 + (c_{Tm} u_{Tm})^2 + (c_{Lab} u_{Lab})^2 + (c_{cos} u_{cos})^2 + (c_{Ldp} u_{Ldp})^2 + (c_{Llat} u_{Llat})^2 + (c_{Ltur} u_{Ltur})^2 + (c_{Lfor} u_{Lfor})^2 + (c_{Ldop} u_{Ldop})^2 + (c_{Lo} u_{Lo})^2 + (c_{Li} u_{Li})^2 \quad (41)$$

Για μετροταινίες μεγαλύτερες από 1,5 m, θα πρέπει να γίνει επανατοποθέτηση της μετροταινίας στην πρότυπη διάταξη. Έτσι στο νέο σημείο μηδενισμού πρέπει να προστίθεται και αβεβαιότητα από την προηγούμενη μέτρηση. Θεωρούμε ότι το σφάλμα πριν μεταφέρουμε τη μετροταινία στο νέο σημείο μηδενισμού, είναι ίσο με την αβεβαιότητα U του σημείου πριν τη μεταφορά του. Επειδή η κατανομή είναι κανονική θα συνεισφέρει στην αβεβαιότητα ως

$$\frac{U}{k} = \frac{U}{2} = \frac{|e|}{2}$$

Θεωρώντας ότι τα σφάλματα που έχουν εισαχθεί λόγω της αλλαγής του σημείου μηδενισμού είναι συσχετισμένα, (στη χειρότερη περίπτωση 100%), θα έχουμε

$$u_c = \frac{|e|}{2} + u'_c$$

Όπου

u'_c η συνδυασμένη αβεβαιότητα που προκύπτει μόνο από τις μετρήσεις που έγιναν μετά τη μεταφορά του σημείου στη νέα θέση αναφοράς.

5.4 Υπολογισμός διευρυμένης αβεβαιότητας

Η σχέση που ακολουθεί αποτελεί την διευρυμένη αβεβαιότητα όπως προκύπτει από το γινόμενο της συνδυασμένης τυπικής αβεβαιότητας με ένα συντελεστή κάλυψης k . Όπου k προκύπτει από την κατανομή t-student για συγκεκριμένο αριθμό βαθμών ελευθερίας .

$$U = k u_c \quad (42)$$

Όπου

k ο συντελεστής κάλυψης

u_c η συνδυασμένη τυπική αβεβαιότητα

Ο προσδιορισμός των ενεργών βαθμών ελευθερίας γίνεται από την σχέση Welch – Satterhwaite όπως φαίνεται παρακάτω

$$v_{eff} = \frac{u_c^4}{\sum_i \frac{c_i^4 u_i^4(y)}{v_i}}$$

Όπου

v_{eff} οι ενεργοί βαθμοί ελευθερίας

v_i οι βαθμοί ελευθερίας της συνιστώσας $u_i(y)$ της συνδυασμένης τυπικής αβεβαιότητας u_c

Ο συντελεστής k θα βρεθεί από τον παρακάτω πίνακα για 95.45% επίπεδο εμπιστοσύνης. Αν v_{eff} δεν είναι ακριβώς όπως στον πίνακα, γίνεται χρήση της προηγούμενης τιμής v_{eff} του πίνακα.

v_{eff}	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	50	100	∞
k	13.97	4.53	3.31	2.87	2.65	2.52	2.43	2.37	2.32	2.28	2.13	2.05	2.025	2

5.5 Αποτέλεσμα μέτρησης

Το αποτέλεσμα της μέτρησης εκφράζεται σαν $Y = y \pm U$ δηλαδή σαν ένα διάστημα πιθανοτήτων εκατέρωθεν της εξαγόμενης εκτίμησης y . Μπορεί να εκφραστεί ως

$$y - U \leq Y \leq y + U$$

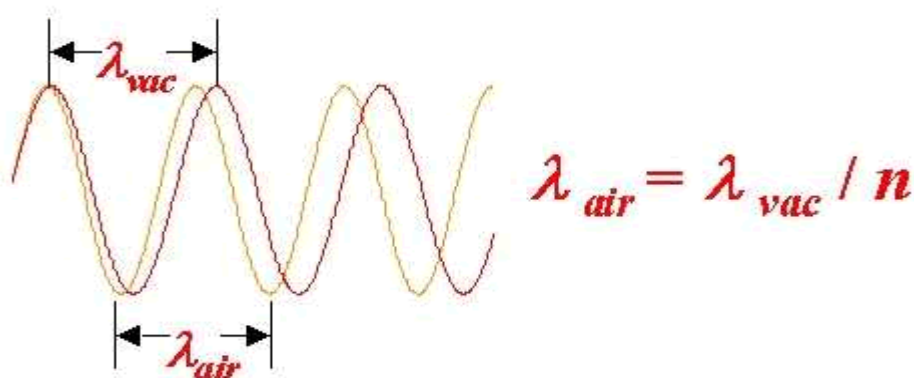
6. Υπολογισμός δείκτη διάθλασης

6.1 Δείκτης διάθλασης

Στον ιστότοπο της Wikipedia αναφέρεται ως ορισμός για το δείκτη διάθλασης ότι ο δείκτης διάθλασης ενός μέσου αποτυπώνει και συσχετίζει τη σχέση μεταξύ της ταχύτητας που έχει το φως όταν διασχίζει το μέσο, και της ταχύτητας που έχει το φως που διαδίδεται στο κενό. Όταν το φως αλλάζει μέσο διάδοσης αλλάζει και ταχύτητα, κι αυτό έχει επίδραση στην πορεία διάδοσης του φωτός. Καθώς επιβραδύνει ή επιταχύνει, το φως στρίβει, αν πέφτει υπό γωνία (όχι κάθετα) στην επιφάνεια που χωρίζει τα δύο μέσα. Έτσι ο δείκτης διάθλασης καθορίζει και τη γωνία κατά την οποία αλλάζει η διεύθυνση της διάδοσης του φωτός καθώς

αυτό μεταβαίνει από μέσο σε μέσο. Είναι δηλαδή το μήκος κύματος στον αέρα, που καθορίζει τη βασική κλίμακα μήκους των μετρήσεων που εκτελούνται με συμβολόμετρα λέιζερ.

Ο δείκτης διάθλασης δεν εξαρτάται μόνο από το μέσο αλλά πολλές φορές και από τον προσανατολισμό του μέσου σε σχέση με τη διεύθυνση που το διαπερνά το φως. Ο δείκτης διάθλασης είναι διαφορετικός για διαφορετικές συχνότητες (ή μήκη κύματος) του φωτός. Επίσης είναι αναγκαίο και πρέπει να τονισθεί ότι για τον αέρα, εξαρτάται από την πίεση, την θερμοκρασία, την υγρασία και το μήκος κύματος. Μέσω της ιστοσελίδας του ENGINEERING METROLOGY TOOLBOX που έχει δημιουργηθεί από το NIST, είναι δυνατόν να γίνει έλεγχος για τους υπολογισμούς του δείκτη διάθλασης που χρησιμοποιήσαμε αφού δίνεται η δυνατότητα να υπολογιστεί ο δείκτης διάθλασης για ένα δεδομένο μήκος κύματος του φωτός με δεδομένο τις ατμοσφαιρικές συνθήκες (θερμοκρασία αέρα, πίεση και υγρασία).



Όπου

λ_{vac} μήκος κύματος κενού

λ_{air} μήκος κύματος στον αέρα

$$n \text{ δείκτης διαθλάσεως } n = \frac{\lambda_{vac}}{\lambda_{air}}$$

Για τον υπολογισμό του δείκτη διάθλασης του αέρα και το μήκος κύματος του φωτός στον αέρα ως συνάρτηση των παραμέτρων εισόδου που αναφέρθηκαν παραπάνω γίνεται χρησιμοποίηση της εξίσωσης Ciddor και μιας τροποποιημένης έκδοσης της εξίσωσης Edlen όπως τροποποιήθηκε από Birch and Downs και επιπλέον από το προσωπικό του NIST.

Υπάρχουν μικρές διαφορές μεταξύ των εξισώσεων αυτών. Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα χρησιμοποιηθεί η έκδοχή των Birch and Downs της εξίσωσης Edlen διότι χρησιμοποιούνται για μετρήσεις ακριβείας σε θερμοκρασίες κοντά στους 20° C (68 ° F) που επικρατούν στο εργαστήριο. Η εξίσωση Ciddor παρέχει πιο ακριβή αποτελέσματα κάτω από τις πιο ακραίες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας και παρουσιάζουν ενδιαφέρον για γεωδαιτικά τοπογραφικά για αυτό και έχει υιοθετηθεί από τη Διεθνή Ένωση Γεωδαισίας (IAG). Στην πραγματικότητα, η εξίσωση Edlen περιλαμβάνει προσεγγίσεις για τον όρο υδρατμούς που είναι ακριβείς μόνο κοντά στους 20 ° C, και κατά συνέπεια, η εξίσωση μπορεί να είναι λάθος σε υψηλή θερμοκρασία και υγρασία. Όταν οι θερμοκρασίες

πλησιάζουν τους 35 ° C και υψηλή υγρασία τότε πρέπει να χρησιμοποιούμε την εξίσωση Ciddor.

Η εμπειρική εξίσωση που παράγει εκτιμήσεις αβεβαιότητας για την εξίσωση Ciddor, αντικατοπτρίζει την πειραματική απόδειξη κοντά σε κανονικές ατμοσφαιρικές συνθήκες και είναι συνεπής με την αναμενόμενη αβεβαιότητα του όρου υδρατμών:

$$u_{ciddor} =$$

$$10^{-8} \sqrt{\left[0.003 \frac{p}{(t+273)}\right]^2 [4 + 6x10^{-8}(p - 10^5)^2 + 0.006(t - 20)^2] + p_v^2 \left[(8x10^{-4})^2 + \left(\frac{6x10^{-6}}{\lambda^4}\right)^2\right]} \quad (1)$$

Στην αβεβαιότητα της εξίσωσης Edlen, υπάρχουν τρεις όροι: πρώτος όρος η αβεβαιότητα της εξίσωσης Ciddor, δεύτερος η αβεβαιότητα των 2×10^{-8} για να λαμβάνονται υπόψη ενδεχόμενες διακυμάνσεις των περίπου ± 150 $\mu\text{mol} / \text{mol}$ της συγκέντρωσης του CO₂ από την συνήθη τιμή των 450 $\mu\text{mol} / \text{mol}$, και τρίτος ένας επιπλέον όρος που είναι περίπου ίσος με τη διαφορά μεταξύ των Ciddor και Edlen για αποκλίσεις από την κανονική θερμοκρασία και πίεση του εργαστηρίου. Η αβεβαιότητα στη συνέχεια δίδεται από τον παρακάτω τύπο

$$u_{Edlen} = \sqrt{u_{ciddor}^2 + (2x10^{-8})^2 + \left\{1.6x10^{-16} \left[\frac{(t-20)p}{(t+273)}\right]^2\right\}} \quad (2)$$

6.1.1 Υπολογισμός δείκτη Διάθλασης

Υπολογισμός του τελικού αποτελέσματος για το δείκτη διάθλασης n , χρησιμοποιώντας παραλλαγή του όρου υδρατμών:

$$n = n_{tp} - 10^{-10} \left((292.75|t + 273.15) * (3.7345 - 0.0401 * S) * p_v \right) \quad (3)$$

Υπολογισμός των ενδιάμεσων αποτελεσμάτων πίεση του αέρα p , μερική πίεση p_v και θερμοκρασία t : είναι εφικτός με την χρησιμοποίηση των σχέσεων (2),(3),(4)

$$n_{tp} = 1 + \frac{p * (n_s - 1) * Y}{D} \quad (4)$$

$$Y = \frac{[1 + 10^{-8} * (E - F * t) * p]}{1 + Gt} \quad (5)$$

$$n_s = 1 + 10^{-8} * \left[A + \frac{B}{130 - S} + \frac{C}{38.9 - S} \right] \quad (6)$$

Μετατροπή του μήκους κύματος λ του λέιζερ σε μικρόμετρα μέσω της σχέσης (7)

$$S = \frac{1}{\lambda^2} \quad (7)$$

Προσδιορισμός υγρασίας γίνεται με την βοήθεια των παρακάτω σχέσεων

$$P_{sv} = 10^6 * \left(\frac{2 * C}{X} \right)^4 \quad (8)$$

$$p_v = \left(\frac{RH}{100} \right) * p_{sv(t)} \quad (9)$$

$$p_v = p_{sv}(t_d) \quad (10)$$

$$T = t + 273.15 \quad (11)$$

$$\Omega = T + \frac{K_9}{(T - K_{10})} \quad (12)$$

$$A = \Omega^2 + K_1\Omega + K_2 \quad (13)$$

$$B = K_3\Omega^2 + K_4\Omega + K_5 \quad (14)$$

$$C = K_6\Omega^2 + K_7\Omega + K_8 \quad (15)$$

$$X = -B + \sqrt{B^2 - 4AC} \quad (16)$$

Σταθερές τιμές για τους συντελεστές όπως φαίνονται στους δυο πίνακες που ακολουθούν

Πίνακας 1

K1	1,1670521*10 ³
K2	-7,2421317*10 ⁵
K3	-1,7073847*10 ¹
K4	1,2020825*10 ⁴
K5	-3,2325550*10 ⁶
K6	1,4915109*10 ¹
K7	-4,8232657*10 ³
K8	4,0511341*10 ⁵
K9	-2,3855560*10 ¹
K10	6,5017535*10 ³

Πίνακας 2

A	8342.54
B	2406147
C	15998
D	96095.43
E	0.601
F	0.00972

G	0.003661
---	----------

Όπου

p_v μερική πίεση αέρα

p πίεση αέρα

t θερμοκρασία

n δείκτης διάθλασης

λ μήκος κύματος του λέιζερ

P_{sv} πίεση κορεσμένων ατμών πάνω από το νερό

RH σχετική υγρασία

$p_{sv(t)}$ πίεση κορεσμένων ατμών

$p_{sv(t_d)}$ μερική πίεση στο σημείο πάγου

6.1.2 Υπολογισμός αβεβαιότητας δείκτη διάθλασης

Υπολογισμός u^2_s

Μέσω της σχέσης $S = \frac{1}{\lambda^2}$ (7)

Προκύπτει

$$u^2_s = \left(\frac{\partial s}{\partial \lambda} u_{\lambda vac} \right)^2 = \left(-\frac{2}{\lambda^3} u_{\lambda vac} \right)^2 \quad (17)$$

Υπολογισμός u^2_n

Αντικαθιστώντας στην εξίσωση (3) την εξίσωση (9)

$$n = n_{tp} - 10^{-10} \left((292.75|t + 273.15) * (3.7345 - 0.0401 * S) * p_v \right) \quad (3)$$

$$p_v = \left(\frac{RH}{100} \right) * p_{sv(t)} \quad (9)$$

Προκύπτει η σχέση (18)

$$n = n_{tp} - \frac{1093.274075 * 10^{-10} * RH * P_{sv}}{(t + 273.15) * 100} + \frac{11.739275 * 10^{-10} * RH * P_{sv} * S}{(t + 273.15) * 100} \quad (18)$$

Άπ' όπου προκύπτει

$$u_n^2 = \left(\frac{\partial n}{\partial n_{tp}} * u_{n_{tp}} \right)^2 + \left(\frac{\partial n}{\partial RH} * u_{RH} \right)^2 + \left(\frac{\partial n}{\partial P_{sv}} * u_{P_{sv}} \right)^2 + \left(\frac{\partial n}{\partial S} * u_S \right)^2 + \left(\frac{\partial n}{\partial t} * u_t \right)^2 \quad (19)$$

Ακολουθεί ο υπολογισμός των επιμέρους μερικών παραγώγων

$$\frac{\partial n}{\partial n_{tp}} = 1 \quad (20)$$

$$\frac{\partial n}{\partial RH} = -\frac{1093.274075 * 10^{-10} * P_{sv}}{(t + 273.15) * 100} + \frac{11.739275 * 10^{-10} * P_{sv} * S}{(t + 273.15) * 100} \quad (21)$$

$$\frac{\partial n}{\partial P_{sv}} = -\frac{1093.274075 * 10^{-10} * RH}{(t + 273.15) * 100} + \frac{11.739275 * 10^{-10} * RH}{(t + 273.15) * 100} \quad (22)$$

$$\frac{\partial n}{\partial S} = +\frac{11.739275 * 10^{-10} * RH}{(t + 273.15) * 100} * P_{sv} \quad (23)$$

$$\frac{\partial n}{\partial t} = -100 \left(-\frac{1093.274075 * 10^{-10} * RH * P_{sv}}{(t + 273.15)^2 * 100^2} + \frac{11.739275 * 10^{-10} * P_{sv} * S * RH}{(t + 273.15)^2 * 100^2} \right) \quad (24)$$

Μετα από αντικατάσταση στην (19) των σχέσεων (20), (21), (22), (23), (24), προκύπτει η εξίσωση (25)

$$u_n^2 = \left(u_{n_{tp}} \right)^2 + \left(\left(\begin{array}{c} -\frac{1093.274075 * 10^{-10} * P_{sv}}{(t + 273.15) * 100} \\ +\frac{11.739275 * 10^{-10} * P_{sv} * S}{(t + 273.15) * 100} \end{array} \right) (u_{RH}) \right)^2 + \left(\left(-\frac{1093.274075 * 10^{-10} * RH}{(t + 273.15) * 100} + \frac{11.739275 * 10^{-10} * RH}{(t + 273.15) * 100} \right) (u_{P_{sv}}) \right)^2 + \left(\left(+\frac{11.739275 * 10^{-10} * RH}{(t + 273.15) * 100} * P_{sv} \right) (u_S) \right)^2 + \left(\left(-100 \left(\begin{array}{c} -\frac{1093.274075 * 10^{-10} * RH * P_{sv}}{(t + 273.15)^2 * 100^2} \\ +\frac{11.739275 * 10^{-10} * P_{sv} * S * RH}{(t + 273.15)^2 * 100^2} \end{array} \right) \right) (u_t) \right)^2 \quad (25)$$

Υπολογισμός $u_{n_{tp}}^2$

Από την σχέση (4)

$$n_{tp} = 1 + \frac{p * (n_s - 1) * Y}{D} \quad (4)$$

Προκύπτει

$$u^2_{n_{tp}} = \left(\frac{\partial n_{tp}}{\partial p} * u_p \right)^2 + \left(\frac{\partial n_{tp}}{\partial n_s} * u_{n_s} \right)^2 + \left(\frac{\partial n_{tp}}{\partial Y} * u_Y \right)^2 \quad (26)$$

Ακολουθεί ο υπολογισμός των επιμέρους μερικών παραγώγων

$$\frac{\partial n_{tp}}{\partial p} = (n_s - 1) * \frac{Y}{D} \quad (27)$$

$$\frac{\partial n_{tp}}{\partial n_s} = p * \frac{Y}{D} \quad (28)$$

$$\frac{\partial n_{tp}}{\partial Y} = (n_s - 1) * \frac{p}{D} \quad (29)$$

Μετά από αντικατάσταση στην (25) των σχέσεων (26), (27), (28) προκύπτει η εξίσωση (29)

$$u^2_{n_{tp}} = \left(\left((n_s - 1) * \frac{Y}{D} \right) (u_p) \right)^2 + \left(\left(p * \frac{Y}{D} \right) (u_{n_s}) \right)^2 + \left((n_s - 1) * \frac{Y}{D} (u_x) \right)^2 \quad (30)$$

Υπολογισμός $u^2_{n_s}$

Από την σχέση (6)

$$n_s = 1 + 10^{-8} * \left[A + \frac{B}{130 - S} + \frac{C}{38.9 - S} \right] \quad (6)$$

Προκύπτει

$$u^2_{n_s} = \left(\frac{\partial n_s}{\partial S} * u_S \right)^2 \quad (31)$$

Επιπλέον λόγω της σχέσης (17) με αντικατάσταση στην (30) προκύπτει

$$u^2_{n_s} = \left(\frac{\partial n_s}{\partial S} * \frac{\partial S}{\partial \lambda} u_{\lambda vac} \right)^2 \quad (32)$$

Επιπλέον υπολογίζεται η μερική παράγωγος του $\frac{\partial n_s}{\partial S}$ και έπειτα αντικαθίσταται στην εξίσωση (31)

$$\frac{\partial n_s}{\partial S} = \left(\frac{B}{(130 - S)^2} + \frac{C}{(38.9 - S)^2} \right) * 10^{-8} \quad (33) \Rightarrow$$

$$u^2_{n_s} = \left(\left(\left(\frac{B}{(130 - S)^2} + \frac{C}{(38.9 - S)^2} \right) * 10^{-8} \right) (u_S) \right)^2 \quad (34)$$

Υπολογισμός u^2_x

Από την εξίσωση (5)

$$Y = \frac{[1 + 10^{-8} * (E - F * t) * p]}{1 + Gt} \quad (5)$$

Προκύπτει

$$u^2_Y = \left(\frac{\partial Y}{\partial t} * u_t \right)^2 + \left(\frac{\partial Y}{\partial p} * u_p \right)^2 \quad (35)$$

Υπολογίζοντας τις επιμέρους μερικές παράγωγους $\frac{\partial Y}{\partial t}$ και $\frac{\partial Y}{\partial p}$ προκύπτουν

$$\frac{\partial Y}{\partial t} = - \frac{0.003661}{(1+0.003661*t)^2} - \frac{2.20026*10^{-11}*p}{(1+0.003661*t)^2} + \left(\frac{(-3.30872*10^{-24}*t-7.251215*10^{-6})}{(t+273.15)^2} \right) * p \quad (36)$$

$$\frac{\partial Y}{\partial p} = + \frac{0.601 * 10^{-8}}{1 + 0.003661 * t} - \frac{0.00972 * t * 10^{-8}}{1 + 0.003661 * t} \quad (37)$$

Ακολουθεί η αντικατάσταση στην u^2_Y όπου και προκύπτει η εξίσωση (38)

$$\begin{aligned} u^2_Y &= \left(\frac{\partial Y}{\partial t} * u_t \right)^2 + \left(\frac{\partial Y}{\partial p} * u_p \right)^2 = \\ &= \left(\left(\left(- \frac{0.003661}{(1 + 0.003661 * t)^2} - \frac{2.20026 * 10^{-11} * p}{(1 + 0.003661 * t)^2} \right) + \left(- \frac{3.30872 * 10^{-24} * t + 7.251215 * 10^{-6}}{(t + 273.15)^2} \right) * P \right) * (u_t) \right)^2 \\ &\quad + \left(\left(+ \frac{0.601 * 10^{-8}}{1 + 0.003661 * t} - \frac{0.00972 * t * 10^{-8}}{1 + 0.003661 * t} \right) * (u_p) \right)^2 \quad (38) \end{aligned}$$

Υπολογισμός u^2_{Psv}

Από την σχέση (8) προκύπτει

$$P_{sv} = 10^6 * \left(\frac{2 * C}{X} \right)^4 \quad (8) \Rightarrow u^2_{Psv} = \left(\frac{\partial n_{Psv}}{\partial \Omega} * u_\Omega \right)^2 \quad (39)$$

Έπειτα από αντικατάσταση της σχέσης (14) στην σχέση (8)

$$P_{sv} = 10^6 * \left(\frac{2 * C}{X} \right)^4 \quad (8)$$

$$X = -B + \sqrt{B^2 - 4AC} \quad (16)$$

$$P_{sv} = 10^6 * \left(\frac{2 * C}{X} \right)^4 \quad (8) \Rightarrow P_{sv} = 10^6 * \left(\frac{2 * C}{-B + \sqrt{B^2 - 4AC}} \right)^4 \quad (40)$$

Ακολουθεί η αντικατάσταση των σχέσεων (13),(14),(15) στην σχέση (40)

$$A = \Omega^2 + K_1\Omega + K_2 \quad (13)$$

$$B = K_3\Omega^2 + K_4\Omega + K_5 \quad (14)$$

$$C = K_6\Omega^2 + K_7\Omega + K_8 \quad (15)$$

$$\begin{aligned} P_{sv} &= \\ &= 10^6 \left(\frac{2 * (K_6\Omega^2 + K_7\Omega + K_8)}{- (K_3\Omega^2 + K_4\Omega + K_5) + \sqrt{(K_3\Omega^2 + K_4\Omega + K_5)^2 - 4(\Omega^2 + K_1\Omega + K_2)(K_6\Omega^2 + K_7\Omega + K_8)}} \right)^4 \\ &= 10^6 \left(\frac{2K_6\Omega^2 + 2K_7\Omega + 2K_8}{-K_3\Omega^2 - K_4\Omega - K_5 + \sqrt{(K_3\Omega^2 + K_4\Omega + K_5)^2 - 4(\Omega^2 + K_1\Omega + K_2)(K_6\Omega^2 + K_7\Omega + K_8)}} \right)^4 \quad (41) \end{aligned}$$

Υπολογισμός της υπόριζας ποσότητας του παρονομαστή

$$\begin{aligned} &-K_3^2\Omega^4 + K_4^2\Omega^2 + K_5^2 + 2K_3\Omega^3K_4 + 2K_3\Omega^2K_5 + 2K_4K_5\Omega - 4K_6\Omega^4 - 4K_7\Omega^3 - 4K_8\Omega^2 \\ &\quad - 4K_1K_6\Omega^3 - 4K_1K_7\Omega^2 - K_1K_8\Omega - 4K_2K_6\Omega^2 - 4K_2K_7\Omega - 4K_2K_8 \end{aligned}$$

Τελικά ο παρονομαστής προκύπτει να είναι

$$\begin{aligned} X &= -K_3\Omega^2 - K_4\Omega - K_5 + \sqrt{(K_3\Omega^2 + K_4\Omega + K_5)^2 - 4(\Omega^2 + K_1\Omega + K_2)(K_6\Omega^2 + K_7\Omega + K_8)} \\ &= \\ &= \frac{-K_3\Omega^2 - K_4\Omega - K_5 + \sqrt{K_3^2\Omega^4 + K_4^2\Omega^2 + K_5^2 + 2K_3\Omega^3K_4 + 2K_3\Omega^2K_5 + 2K_4K_5\Omega - 4K_6\Omega^4 - 4K_7\Omega^3 - 4K_8\Omega^2 - 4K_1K_6\Omega^3 - 4K_1K_7\Omega^2 - K_1K_8\Omega - 4K_2K_6\Omega^2 - 4K_2K_7\Omega - 4K_2K_8}}{\sqrt{K_3^2\Omega^4 + K_4^2\Omega^2 + K_5^2 + 2K_3\Omega^3K_4 + 2K_3\Omega^2K_5 + 2K_4K_5\Omega - 4K_6\Omega^4 - 4K_7\Omega^3 - 4K_8\Omega^2 - 4K_1K_6\Omega^3 - 4K_1K_7\Omega^2 - K_1K_8\Omega - 4K_2K_6\Omega^2 - 4K_2K_7\Omega - 4K_2K_8}} \end{aligned}$$

από την (38) και (14) αντίστοιχα ισχύουν οι παρακάτω σχέσεις (κανόνας αλυσίδας για μερικές παραγώγους)

$$\frac{dP_{SV}}{d\Omega} = \frac{\partial P_{SV}}{\partial X} \frac{dX}{d\Omega} + \frac{\partial P_{SV}}{\partial C} \frac{dC}{d\Omega} \quad (42) \quad \frac{dX}{d\Omega} = \frac{\partial X}{\partial B} \frac{dB}{d\Omega} + \frac{\partial X}{\partial C} \frac{dC}{d\Omega} + \frac{\partial X}{\partial A} \frac{dA}{d\Omega} \quad (43)$$

Υπολογισμός των επιμέρους μερικών παραγόντων

Αρχικά για την σχέση (42):

$$\frac{2 * C}{X} = \frac{2 * C}{-B + \sqrt{B^2 - 4AC}} \Rightarrow \frac{\partial X}{\partial B} = -1 + \frac{B}{\sqrt{B^2 - 4 * A * C}} \quad (44)$$

$$B = K_3\Omega^2 + K_4\Omega + K_5 \quad (14) \Rightarrow \frac{dB}{d\Omega} = 2 * K_3 * \Omega + K_4 \quad (45)$$

$$\frac{2 * C}{X} = \frac{2 * C}{-B + \sqrt{B^2 - 4AC}} \Rightarrow \frac{\partial X}{\partial C} = -\frac{2 * A}{\sqrt{B^2 - 4 * A * C}} \quad (46)$$

$$C = K_6\Omega^2 + K_7\Omega + K_8 \quad (15) \Rightarrow \frac{dC}{d\Omega} = 2 * K_6 * \Omega + K_7 \quad (47)$$

$$\frac{2 * C}{X} = \frac{2 * C}{-B + \sqrt{B^2 - 4AC}} \Rightarrow \frac{\partial X}{\partial A} = -\frac{2 * C}{\sqrt{B^2 - 4 * A * C}} \quad (48)$$

$$A = \Omega^2 + K_1\Omega + K_2(13) \quad \Rightarrow \quad \frac{dA}{d\Omega} = 2 * \Omega + K_1(49)$$

Έπειτα από την σχέση (8):

$$P_{sv} = 10^6 * \left(\frac{2 * C}{X}\right)^4 (8) \quad \Rightarrow \quad \frac{\partial P_{sv}}{\partial X} = -4 * 10^6 * \frac{(2C)^4}{X^5} (50)$$

$$P_{sv} = 10^6 * \left(\frac{2 * C}{X}\right)^4 (8) \quad \Rightarrow \quad \frac{\partial P_{sv}}{\partial C} = 8 * 10^6 * \frac{(2C)^3}{X^4} (51)$$

Από τις σχέσεις (12) και (11) προκύπτει με αντικατάσταση η σχέση (52)

$$\Omega = T + \frac{K_9}{(T - K_{10})^2} (12) \quad T = t + 273.15 (11)$$

$$\Omega = t + 273.15 + \frac{K_9}{(t + 273.15 - K_{10})^2} (52)$$

Από την παραπάνω σχέση (52) υπολογίζεται η αβεβαιότητα u^2_{Ω}

$$u^2_{\Omega} = \left(\frac{\partial \Omega}{\partial t} u_t\right)^2 (53)$$

Από την (53) προκύπτει

$$\frac{\partial \Omega}{\partial t} = 1 - \frac{2 * K_9}{(t + 273.15 - K_{10})^3} (54)$$

Γίνεται αντικατάσταση της (53) στην (39) και προκύπτει :

$$u^2_{Psv} = \left(\frac{\partial n_{Psv}}{\partial \Omega} * u_{\Omega}\right)^2 = \left(\frac{\partial n_{Psv}}{\partial \Omega} * \frac{\partial \Omega}{\partial t} u_t\right)^2 (55)$$

Για τους τελικούς υπολογισμούς υπάρχουν οι έξι αβεβαιότητες που ακόμα δεν έχουν υπολογιστεί u^2_t , $u^2_{\lambda vac}$, u^2_p , u^2_{RH} που βρίσκονται στις σχέσεις (55), (30), (38), (25).

Όμως τα u^2_t , $u^2_{\lambda vac}$, u^2_p και u^2_{RH} , οι αβεβαιότητες αυτές υπολογίζονται όπως παρακάτω

Υπολογισμός u^2_t

$$u^2_t = \left(\frac{t_{max} - t_{min}}{2\sqrt{3}}\right)^2 + u^2_{TI(t)} (56)$$

Υπολογισμός $u^2_{\lambda vac}$

$$u^2_{\lambda vac} = \left(\frac{\lambda_{max} - \lambda_{min}}{2\sqrt{3}}\right)^2 + u^2_{TI(\lambda vac)} (57)$$

Υπολογισμός u^2_p

$$u^2_p = \left(\frac{P_{max} - P_{min}}{2\sqrt{3}} \right)^2 + u^2_{Tl(p)} \quad (58)$$

Υπολογισμός u^2_{RH}

$$u^2_{RH} = \left(\frac{RH_{max} - RH_{min}}{2\sqrt{3}} \right)^2 + u^2_{Tl(RH)} \quad (59)$$

Όπου max και min οι μέγιστες και ελάχιστες των t, p, RH αντίστοιχα και u_{Tl} η αβεβαιότητα του κάθε μετρητή t, p, RH (συμπεριλαμβάνουν σφάλμα, ολίσθηση, αβεβαιότητα πιστοποιητικού) .

Στην εξίσωση (19)

$$u^2_n = \left(\frac{\partial n}{\partial n_{tp}} * u_{n_{tp}} \right)^2 + \left(\frac{\partial n}{\partial RH} * u_{RH} \right)^2 + \left(\frac{\partial n}{\partial P_{sv}} * u_{P_{sv}} \right)^2 + \left(\frac{\partial n}{\partial t} * u_t \right)^2 + \left(\frac{\partial n}{\partial s} * u_s \right)^2 \quad (19)$$

μετά από αντικατάσταση των εξισώσεων (17),(20),(26),(55) προκύπτει η σχέση (60)

$$\begin{aligned} u^2_n = & \left(\frac{\partial n_{tp}}{\partial p} * u_p \right)^2 + \left(\frac{\partial n_{tp}}{\partial ns} * u_{ns} \right)^2 \\ & + \left(\frac{\partial n_{tp}}{\partial Y} * u_Y \right)^2 + \left(\frac{\partial n}{\partial RH} * u_{RH} \right)^2 + \left(\frac{\partial n}{\partial P_{sv}} \frac{\partial P_{sv}}{\partial \Omega} \frac{\partial \Omega}{\partial t} * u_t \right)^2 + \left(\frac{\partial n}{\partial t} * u_t \right)^2 \\ & + \left(\frac{\partial n}{\partial S} \frac{\partial S}{\partial \lambda} * u_{\lambda vac} \right)^2 \quad (60) \end{aligned}$$

Περαιτέρω αντικατάσταση της (60) λόγω των εξισώσεων (32),(34) θα μας δώσει την εξίσωση (61)

$$\begin{aligned} u^2_n = & \left(\frac{\partial n_{tp}}{\partial p} * u_p \right)^2 + \left(\frac{\partial n_{tp}}{\partial ns} \frac{\partial ns}{\partial s} \frac{\partial s}{\partial \lambda} * u_\lambda \right)^2 + \left(\frac{\partial n_{tp}}{\partial Y} \frac{\partial Y}{\partial t} * u_t \right)^2 \\ & + \left(\frac{\partial n_{tp}}{\partial Y} \frac{\partial Y}{\partial p} * u_p \right)^2 + \left(\frac{\partial n}{\partial RH} * u_{RH} \right)^2 + \left(\frac{\partial n}{\partial P_{sv}} \frac{\partial P_{sv}}{\partial \Omega} \frac{\partial \Omega}{\partial t} * u_t \right)^2 + \left(\frac{\partial n}{\partial t} * u_t \right)^2 \\ & + \left(\frac{\partial n}{\partial S} \frac{\partial s}{\partial \lambda} * u_{\lambda vac} \right)^2 \quad (61) \end{aligned}$$

Πλέον όλες οι αντικαταστάσεις έχουν ολοκληρωθεί .Το μονό που απομένει ακόμα είναι μερικές παραγοντοποιήσεις προκειμένου να υπολογιστούν οι συντελεστές πίεσης, θερμοκρασίας, υγρασίας και μήκους κύματος μαζί με τις αντίστοιχες αβεβαιότητες.

$$\begin{aligned} u^2_n = & \left[\left(\frac{\partial n_{tp}}{\partial p} \right)^2 + \left(\frac{\partial n_{tp}}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial p} \right)^2 \right] * u^2_p + \left[\left(\frac{\partial n_{tp}}{\partial ns} \frac{\partial ns}{\partial s} \frac{\partial s}{\partial \lambda} \right)^2 + \left(\frac{\partial n}{\partial S} \frac{\partial s}{\partial \lambda} \right)^2 \right] u^2_{\lambda vac} \\ & + \left[\left(\frac{\partial n_{tp}}{\partial Y} \frac{\partial Y}{\partial t} \right)^2 + \left(\frac{\partial n}{\partial P_{sv}} \frac{\partial P_{sv}}{\partial \Omega} \frac{\partial \Omega}{\partial t} \right)^2 + \left(\frac{\partial n}{\partial t} \right)^2 \right] u^2_t + \left(\frac{\partial n}{\partial RH} \right)^2 u^2_{RH} \quad (62) \end{aligned}$$

$$u_n^2 = c_p^2 u_p^2 + c_{\lambda vac}^2 u_{\lambda vac}^2 + c_t^2 u_t^2 + c_{RH}^2 u_{RH}^2 \quad (63)$$

Στην αβεβαιότητα αυτή θα πρέπει να προστεθεί και ο όρος από την αβεβαιότητα της ίδιας της εξίσωσης Edlen, οπότε

$$u_n^2 = c_p^2 u_p^2 + c_{\lambda vac}^2 u_{\lambda vac}^2 + c_t^2 u_t^2 + c_{RH}^2 u_{RH}^2 + u_{edlen}^2 \quad (64)$$

Όπου

Συντελεστές Ευαισθησίες	
Πίεσης C_p	$\left(\frac{\partial n}{\partial p}\right)^2 = \left(\frac{\partial n_{tp}}{\partial p}\right)^2 + \left(\frac{\partial n_{tp}}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial p}\right)^2$
Μήκους κύματος $C_{\lambda vac}$	$\left(\frac{\partial n}{\partial \lambda}\right)^2 = \left(\frac{\partial n_{tp}}{\partial ns} \frac{\partial ns}{\partial s} \frac{\partial s}{\partial \lambda}\right)^2 + \left(\frac{\partial n}{\partial S} \frac{\partial S}{\partial \lambda}\right)^2$
Θερμοκρασίας C_t	$\left(\frac{\partial n}{\partial t}\right)^2 = \left(\frac{\partial n_{tp}}{\partial Y} \frac{\partial Y}{\partial t}\right)^2 + \left(\frac{\partial n}{\partial Psv} \frac{\partial Psv}{\partial \Omega} \frac{\partial \Omega}{\partial t}\right)^2 + \left(\frac{\partial n}{\partial t}\right)^2$
Υγρασίας C_{RH}	$\left(\frac{\partial n}{\partial RH}\right)^2 = \left(\frac{\partial n}{\partial RH}\right)^2$

6.2 Αριθμητικός υπολογισμός δείκτη διάθλασης και συνδυασμένης τυπικής αβεβαιότητας

Πίνακας 1

	min	max	average
t(°C)	19.5	20	19.75
RH(%)	45	55	50.00
p(hPa)	98500	99000	98750
λ(μm)			0.632991378

Για τις συγκεκριμένες συνθήκες θερμοκρασίας, υγρασίας, πίεσης που επικρατούσαν στο εργαστήριο και για το μήκος κύματος του laser κατά την διάρκεια των μετρήσεων (φαίνονται και στον Πίνακα 1) προκύπτει να είναι μέσω των εξισώσεων που αναφερθήκαν παραπάνω τα παρακάτω αποτελέσματα :

Δείκτης διάθλασης	$n = 1,00026470$
Συνδυασμένη αβεβαιότητα	$u_n = 4.2 * 10^{-07}$

Τα παραπάνω νούμερα επαληθεύονται και μέσω της ιστοσελίδας
ENGINEERING METROLOGY TOOLBOX

Παρακάτω ακολουθεί ο αναλυτικός υπολογισμός του δείκτη διάθλασης και της
συνδυασμένης αβεβαιότητας.

Υπολογισμός Δείκτης διάθλασης

Ο υπολογισμός θα γίνει μέσω της παρακάτω σχέσης

$$n = n_{tp} - 10^{-10}((292.75|t + 273.15) * (3.7345 - 0.0401 * S) * p_v) \quad (3)$$

Από την σχέση $\Omega = t + 273.15 + \frac{K_9}{(t+273.15-K_{10})^2}$ (52) προκύπτει $\Omega = 292,9006677$ (65)

Από την σχέση $A = \Omega^2 + K_1\Omega + K_2$ (13) και για $K_1 = 1.1670521 * 10^3$

$K_2 = -7.2421317 * 10^5$ και $\Omega = 292.9006677$ προκύπτει $A = -2.9659203 * 10^5$ (66)

Από την σχέση $B = K_3\Omega^2 + K_4\Omega + K_5$ (14) και για $K_3 = -1.7073847 * 10^1$,

$K_4 = 1.2020825 * 10^4$, $K_5 = -3.2325550 * 10^6$ και $\Omega = 292.9006677$ προκύπτει

$B = -1.1764263 * 10^6$ (67)

Από την σχέση $C = K_6\Omega^2 + K_7\Omega + K_8$ (15) και για $K_6 = 1.4915109E * 10^1$,

$K_7 = -4.8232657 * 10^3$, $K_8 = 4.0511341 * 10^5$ και $\Omega = 292.9006677$
προκύπτει $C = -2.9659203 * 10^5$ (68)

Από την σχέση $X = -B + \sqrt{B^2 - 4AC}$ (16) και για $B = -1.1764263 * 10^6$

$A = -2.9659203 * 10^5$ και $C = -2.9659203 * 10^5$ προκύπτει $X = -2.9659203 * 10^5$ (69)

Από την σχέση $S = \frac{1}{\lambda^2}$ (7) αντικαθιστώντας την τιμή του $\lambda = 0,632991378 \mu\text{m}$ προκύπτει

$S = 2.495769147$ (70)

Από την σχέση $P_{sv} = 10^6 * \left(\frac{2 * C}{X}\right)^4$ (8) και για $X = -2.9659203 * 10^5$, $C = -2.9659203 * 10^5$

προκύπτει $P_{sv} = 2303.2369768$ (71)

Από την σχέση $p_{v=} \left(\frac{RH}{100}\right) * p_{sv(t)}$ (9) και για $P_{sv} = 2303.2369768$, $RH = 50$ προκύπτει

$p_{v=} = 1151.6184884$ (72)

Από την σχέση $n_s = 1 + 10^{-8} * \left[A + \frac{B}{130-S} + \frac{C}{38.9-S}\right]$ (6) και για $A = -2.9659203 * 10^5$,

$$B = -1.1764263 * 10^6, C = 2.7195482 * 10^5 \text{ προκύπτει } n_s - 1 = 2.77 * 10^3 \text{ (73)}$$

$$\text{Από την σχέση } Y = \frac{[1+10^{-8}*(E-F*t)*p]}{1+Gt} \text{ (5) και για } E = 0.601, F = 0.00972, G = 0.003661, \\ t = 19,75 \text{ και } p = 98750 \text{ προκύπτει } Y = 0.932947389 \text{ (74)}$$

$$\text{Από την σχέση } n_{tp} = 1 + \frac{p*(n_s-1)*Y}{D} \text{ (4) και για } p = 98750, n_s - 1 = 2.77 * 10^4,$$

$$Y = 0.932947389 \text{ και } D = 96095,43 \text{ προκύπτει } n_{tp} = 1.00026512 \text{ (75)}$$

$$\text{Από } n = n_{tp} - 10^{-10}((292.75|t + 273.15) * (3.7345 - 0.0401 * S) * p_v) \text{ (3) και για}$$

$$p_v = 1151.6184884, t = 19.75, n_{tp} = 1.00026512 \text{ και } S = 2.495769147 \text{ προκύπτει ο} \\ \text{δείκτης διάθλασης να είναι } n = 1.00026470 \text{ (76)}$$

Υπολογισμός συνδυασμένης τυπικής αβεβαιότητας

$$\text{Ισχύει για την σχέση } \frac{\partial n}{\partial n_{tp}} = 1 \text{ (20)}$$

$$\text{Από την σχέση } \frac{\partial n}{\partial RH} = -\frac{1093.274075*10^{-10}*P_{sv}}{(t+273.15)*100} + \frac{11.739275*10^{-10}*P_{sv}*S}{(t+273.15)*100} \text{ (21) και για}$$

$$P_{sv} = 2303.2369768, t = 19.75 \text{ και } S = 2.495769147 \text{ προκύπτει } \frac{\partial n}{\partial RH} = -8.4 * 10^{-9} \text{ (77)}$$

$$\text{Από την σχέση } \frac{\partial n}{\partial P_{sv}} = -\frac{1093.274075*10^{-10}*RH}{(t+273.15)*100} + \frac{11.739275*10^{-10}*RH}{(t+273.15)*100} \text{ (22) και για}$$

$$RH = 50 \text{ και } t = 19.75, \text{ προκύπτει } \frac{\partial n}{\partial P_{sv}} = -1. * 10^{-10} \text{ (78)}$$

$$\text{Από την σχέση } \frac{\partial n}{\partial S} = +\frac{11.739275*10^{-10}*RH}{(t+273.15)*100} * P_{sv} \text{ (23) και για } RH = 50 \text{ και}$$

$$P_{sv} = 2303.2369768 \text{ προκύπτει } \frac{\partial n}{\partial S} = 1.15195 * 10^{-8} \text{ (79)}$$

$$\text{Από την σχέση } u^2_s = \left(\frac{\partial s}{\partial \lambda} u_{\lambda vac}\right)^2 = \left(-\frac{2}{\lambda^3} u_{\lambda vac}\right)^2 \text{ (17) } \frac{\partial s}{\partial \lambda} = -\frac{2}{\lambda^3} \text{ και για } \lambda = 0.632991378$$

$$\text{Προκύπτει } \frac{\partial s}{\partial \lambda} = -7.885633947 \text{ (80)}$$

$$\text{Από την σχέση } \frac{\partial n}{\partial t} = -100 \left(-\frac{1093.274075*10^{-10}*RH*P_{sv}}{(t+273.15)^2*100^2} + \frac{11.739275*10^{-10}*P_{sv}*S*RH}{(t+273.15)^2*100^2} \right) \text{ (24)}$$

$$\text{και για } P_{sv} = 2303.2369768, t = 19.75, RH = 50 \text{ και } S = 2.495769147 \text{ προκύπτει}$$

$$\frac{\partial n}{\partial t} = 6.20102 * 10^{-13} \text{ (81)}$$

$$\text{Από την σχέση } \frac{\partial n_{tp}}{\partial p} = (n_s - 1) * \frac{Y}{D} \text{ (27) και για } n_s - 1 = 2,77 * 10^{-04}, Y =$$

$$0.932947389 \text{ και } D = 96095.43 \text{ προκύπτει } \frac{\partial n_{tp}}{\partial p} = 2.68 * 10^{-9} \text{ (82)}$$

$$\text{Από την σχέση } \frac{\partial n_{tp}}{\partial n_s} = p * \frac{Y}{D} \text{ (28) και για } p = 98750, Y = 0.932947389 \text{ και } D = 96095.43$$

προκύπτει $\frac{\partial n_{tp}}{\partial ns} = 0.958719418$ (83)

Από την σχέση $\frac{\partial n_{tp}}{\partial Y} = (n_s - 1) * \frac{p}{D}$ (29) και για $n_s - 1 = 2.77 * 10^{-4}$, $p = 98750$ και $D = 96095.43$ προκύπτει $\frac{\partial n_{tp}}{\partial Y} = 2.84 * 10^{-4}$ (84)

Από την σχέση $\frac{\partial n_s}{\partial S} = \left(\frac{B}{(130-S)^2} + \frac{C}{(38.9-S)^2} \right) * 10^{-8}$ (33) και για $B = -1.1764263 * 10^6$,

$C = 2.7195482 * 10^5$ και $S = 2.495769147$ προκύπτει $\frac{\partial n_s}{\partial S} = 1.60075 * 10^{-6}$ (85)

Από την σχέση

$$\frac{\partial Y}{\partial t} = -\frac{0.003661}{(1+0.003661*t)^2} - \frac{2.20026*10^{-11}*p}{(1+0.003661*t)^2} + \left(\frac{-3.30872*10^{-24}*t-7.251215*10^{-6}}{(t+273.15)^2} \right) * p$$
 (36)

και για $t = 19.75$ και $p = 98750$ προκύπτει $\frac{\partial Y}{\partial t} = -0.003194164$ (86)

Από την σχέση $\frac{\partial Y}{\partial p} = +\frac{0.601*10^{-8}}{1+0.003661*t} - \frac{0.00972*t*10^{-8}}{1+0.003661*t}$ (37) και για $t = 19.75$ προκύπτει

$$\frac{\partial Y}{\partial p} = 3.81449 * 10^{-9}$$
 (87)

$$\frac{dP_{SV}}{d\Omega} = \frac{\partial P_{SV}}{\partial X} \frac{dX}{d\Omega} + \frac{\partial P_{SV}}{\partial C} \frac{dC}{d\Omega} \quad (42) \quad \frac{dX}{d\Omega} = \frac{\partial X}{\partial B} \frac{dB}{d\Omega} + \frac{\partial X}{\partial C} \frac{dC}{d\Omega} + \frac{\partial X}{\partial A} \frac{dA}{d\Omega} \quad (43)$$

Από την σχέση $\frac{\partial P_{SV}}{\partial X} = -4 * 10^6 * \frac{(2C)^4}{X^5}$ (50) προκύπτει $\frac{\partial P_{SV}}{\partial X} = -3.7107058 * 10^{-3}$ (88)

Από την σχέση $\frac{\partial P_{SV}}{\partial C} = 8 * 10^6 * \frac{(2C)^3}{X^4}$ (51) προκύπτει $\frac{\partial P_{SV}}{\partial C} = 3.3876760 * 10^{-2}$ (89)

Από την σχέση $\frac{dC}{d\Omega} = 2 * K_6 * \Omega + K_7$ (47) προκύπτει $\frac{dC}{d\Omega} = 3.9140251 * 10^3$ (90)

Από την σχέση $\frac{\partial X}{\partial B} = -1 + \frac{B}{\sqrt{B^2-4*A*C}}$ (44) προκύπτει $\frac{\partial X}{\partial B} = -1.9005268$ (91)

Από την σχέση $\frac{dB}{d\Omega} = 2 * K_3 * \Omega + K_4$ (45) προκύπτει $\frac{dB}{d\Omega} = 2.0189426 * 10^3$ (92)

Από την σχέση $\frac{\partial X}{\partial C} = -\frac{2*A}{\sqrt{B^2-4*A*C}}$ (46) προκύπτει $\frac{\partial X}{\partial C} = 4.5406850 * 10^{-1}$ (93)

Από την σχέση $\frac{\partial X}{\partial A} = -\frac{2*C}{\sqrt{B^2-4*A*C}}$ (48) προκύπτει $\frac{\partial X}{\partial A} = -4.1635008 * 10^{-1}$ (94)

Από την σχέση $\frac{dA}{d\Omega} = 2\Omega + K_1$ (49) προκύπτει $\frac{dA}{d\Omega} = 1.7528534 * 10^3$ (95)

Από την σχέση $\frac{\partial \Omega}{\partial t} = 1 - \frac{2*K_9}{(t+273.15-K_{10})^3}$ (54) προκύπτει $\frac{\partial \Omega}{\partial t} = 1.0000000$ (96)

Από την σχέση $\frac{dP_{SV}}{d\Omega} = \frac{\partial P_{SV}}{\partial X} \frac{dX}{d\Omega} + \frac{\partial P_{SV}}{\partial C} \frac{dC}{d\Omega}$ (42) και με αντικατάσταση από τις (88), (43)

,(93),(90),(94) και (95) προκύπτει $\frac{dP_{SV}}{d\Omega} = 1.4294594 * 10^2$ (97)

Από την σχέση $\frac{dX}{d\Omega} = \frac{\partial X}{\partial B} \frac{dB}{d\Omega} + \frac{\partial X}{\partial C} \frac{dC}{d\Omega} + \frac{\partial X}{\partial A} \frac{dA}{d\Omega}$ (43) και με αντικατάσταση από τις (91), (92)

(93),(90),(94) και (95) προκύπτει $\frac{dX}{d\Omega} = -2.7896198 * 10^3$ (98)

Ο υπολογισμός της συνδυασμένης τυπικής αβεβαιότητας θα γίνει μέσω της παρακάτω σχέσης

$$u_n^2 = c_p^2 u_p^2 + c_{\lambda vac}^2 u_{\lambda}^2 + c_t^2 u_t^2 + c_{RH}^2 u_{RH}^2 + u_{edlen}^2 \quad (64)$$

Υπολογισμός των συντελεστών ευαισθησίας πίεσης C_p , μήκους κύματος C_{λ} , θερμοκρασίας C_t και υγρασίας C_{RH} ,

$$C_p = \sqrt{\left(\frac{\partial n_{tp}}{\partial p}\right)^2 + \left(\frac{\partial n_{tp}}{\partial Y} \frac{\partial Y}{\partial p}\right)^2} \text{ και με αντικατάσταση από τις (82), (84) και (87) προκύπτει } C_p = 2.68472 * 10^{-09} \quad (99)$$

$$C_{\lambda vac} = \sqrt{\left(\frac{\partial n_{tp}}{\partial ns} \frac{\partial ns}{\partial s} \frac{\partial s}{\partial \lambda}\right)^2 + \left(\frac{\partial n}{\partial s} \frac{\partial s}{\partial \lambda}\right)^2} \text{ και με αντικατάσταση από τις (79),(80), (83) και (85) προκύπτει } C_{\lambda} = 1.21022 * 10^{-05} \quad (100)$$

$$C_t = \sqrt{\left(\frac{\partial n_{tp}}{\partial Y} \frac{\partial Y}{\partial t}\right)^2 + \left(\frac{\partial n}{\partial P_{sv}} \frac{\partial P_{sv}}{\partial \Omega} \frac{\partial \Omega}{\partial t}\right)^2 + \left(\frac{\partial n}{\partial t}\right)^2} \text{ και με αντικατάσταση από τις (42),(78), (84), (86) και (96) προκύπτει } C_t = 9.08057 * 10^{-07} \quad (101)$$

$$C_{RH} = \sqrt{\frac{\partial n}{\partial RH}} \text{ και με αντικατάσταση από την (77) προκύπτει } C_{RH} = -8.4 * 10^{-09} \quad (102)$$

$$\text{Από την σχέση } u_t^2 = \left(\frac{t_{max} - t_{min}}{2\sqrt{3}}\right)^2 + u_{TI(t)}^2 \quad (56) \text{ και για } u_{TI(t)} = 0.1, t_{min} = 19.5 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ και } t_{max} = 20 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ προκύπτει } u_t = 0.175594229 \quad (103)$$

$$\text{Από την σχέση } u_{\lambda vac}^2 = \left(\frac{\lambda_{max} - \lambda_{min}}{2\sqrt{3}}\right)^2 + u_{TI(\lambda)}^2 \quad (57) \text{ και για } u_{TI(\lambda vac)} = 0.001, \lambda_{max} = 0.6329913792 \mu\text{m} \text{ και } \lambda_{min} = 0.6329913757 \mu\text{m} \text{ προκύπτει } u_{\lambda vac} = 1.26 * 10^{-09} \quad (104)$$

$$\text{Από την σχέση } u_p^2 = \left(\frac{P_{max} - P_{min}}{2\sqrt{3}}\right)^2 + u_{TI(p)}^2 \quad (58) \text{ και για } u_{TI(p)} = 4, P_{max} = 99000 \text{ hPa} \text{ και } P_{min} = 98500 \text{ hPa} \text{ προκύπτει } u_p = 144.3929823 \quad (105)$$

$$\text{Από την σχέση } u_{RH}^2 = \left(\frac{RH_{max} - RH_{min}}{2\sqrt{3}}\right)^2 + u_{TI(RH)}^2 \quad (59) \text{ και για } u_{TI(RH)} = 3, RH_{max} = 55\% \text{ και } RH_{min} = 45\% \text{ προκύπτει } u_{RH} = 4.163331999 \quad (106)$$

Από την σχέση

$$u_{ciddor} =$$

$$10^{-8} \sqrt{\left[0.003 \frac{p}{(t+273)}\right]^2 \left[4 + 6x10^{-8}(p - 10^5)^2 + 0.006(t - 20)^2\right] + p_v^2 \left[(8x10^{-4})^2 + \left(\frac{6x10^{-6}}{\lambda^4}\right)^2\right]} \quad (1)$$

και για $\lambda = 0.632991378$, $p_v = 1151.6184884$, $t = 19.75$ και $p = 98750$ προκύπτει

$$u_{ciddor} = 2.24572 * 10^{-08} \quad (107)$$

Από την σχέση

$$u_{Edlen} = \sqrt{u_{ciddor}^2 + (2x10^{-8})^2 + \left\{1.6x10^{-16} \left[\frac{(t-20)p}{(t+273)}\right]^2\right\}} \quad (2)$$

και για $u_{ciddor} = 2.24572 * 10^{-08}$, $t = 19.75$ και $p = 98750$ προκύπτει $u_{Edlen} = 3.0072 * 10^{-08}$ (108)

Τελικά μετά από αντικατάσταση στην

$$u_n^2 = c_p^2 u_p^2 + c_{\lambda vac}^2 u_{\lambda}^2 + c_t^2 u_t^2 + c_{RH}^2 u_{RH}^2 + u_{edlen}^2 \quad (64)$$

$$u_n = \sqrt{3.9 * 10^{-07} + 1.5 * 10^{-14} + 1.6 * 10^{-07} + -3.5 * 10^{-08} + 3.0072 * 10^{-08}}$$

$$u_n = 4.2 * 10^{-07}$$

7. Υπολογισμός ισοζυγίου αβεβαιότητας της συγκεκριμένης μεθόδου για τα 500mm

7.1 Ποσοτικοποίηση των πηγών αβεβαιότητας

7.1.1 Μήκος κύματος στο κενό λvac

Εκτίμηση πηγής αβεβαιότητας : $\lambda = 0.632991378$

Τυπική Αβεβαιότητα (μm) :

$$u_{\lambda vac} = \sqrt{u_{pol}^2 + u_{cal}^2 + u_{drift}^2}$$

Αναλυτικά οι υπολογισμοί

$$u_{pol} = \frac{\lambda_{high} - \lambda_{low}}{2\sqrt{3}} = 0,0016 * 0,633 * 10^{-6} = 1.01 * 10^{-9} \mu m$$

$$u_{cal} = \frac{U}{2} = 6.7 * 10^{-11} \mu m$$

$$u_{drift} = \frac{\lambda_{now} - \lambda_{before}}{\sqrt{3}} = 7.5 * 10^{-10} \mu m$$

$$u_{\lambda vac} = \sqrt{u_{pol}^2 + u_{cal}^2 + u_{drift}^2} \Rightarrow u_{\lambda vac} = 1.26 * 10^{-9} \mu m$$

$$\text{Συντελεστής ευαισθησίας : } c_{\lambda vac} = \frac{Lm}{\lambda vac} = N$$

Συνδυασμένη τυπική αβεβαιότητα $u_{i(Lc)}$:

$$c_{\lambda vac} u_{\lambda vac} = Lm \frac{1.26 * 10^{-9}}{0.6329914} = 500.136 * 10^{-3} * \frac{1.26 * 10^{-9}}{0.6329914} = 0.001 \mu m$$

Βαθμοί ελευθερίας : ∞

Κατανομή : Κανονική

7.1.2 N(πλήθος μηκών κύματος)

Εκτίμηση πηγής αβεβαιότητας : N

Τυπική Αβεβαιότητα (μm) :

Παρατηρήθηκε η ελάχιστη και η μέγιστη ένδειξη για χρόνο ενός λεπτού (1 min) με τα εξής αποτελέσματα

$$L_{min} = -9nm$$

$$L_{max} = +11nm$$

$$u_N = \frac{N_{max} - N_{min}}{2\sqrt{3}} = \frac{L_{max} - L_{min}}{2\sqrt{3}} = \frac{L_{max} - L_{min}}{2\sqrt{3} \lambda vac} = \frac{6 * 10^{-3}}{\lambda vac} \mu m$$

$$u_N = \frac{6 * 10^{-3}}{0.6329914} = 0.009 \mu m$$

Συντελεστής ευαισθησίας :

$$c_N = \frac{\partial Lm}{\partial N} = \lambda vac = 0.6329914 \mu m$$

Συνδυασμένη τυπική αβεβαιότητα $u_{i(Lc)}$:

$$c_N u_N = \frac{6 * 10^{-3}}{\lambda vac} \lambda vac = 6 * 10^{-3} \mu m$$

Κατανομή : Ορθογωνική

Βαθμοί ελευθερίας : ∞

7.1.3 Δείκτη διάθλασης n_{air}

Εκτίμηση πηγής αβεβαιότητας : δείκτης διάθλασης $n=1.00026470$

Τυπική Αβεβαιότητα (μm) :

$$u_{n_{air}}^2 = \left[\left(\frac{\partial n_{tp}}{\partial p} \right)^2 + \left(\frac{\partial n_{tp}}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial p} \right)^2 \right] * u_p^2 + \left[\left(\frac{\partial n_{tp}}{\partial ns} \frac{\partial ns}{\partial s} \frac{\partial s}{\partial \lambda} \right)^2 + \left(\frac{\partial n}{\partial s} \frac{\partial s}{\partial \lambda} \right)^2 \right] u_{\lambda vac}^2 + \left[\left(\frac{\partial n_{tp}}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial t} \right)^2 + \left(\frac{\partial n}{\partial P_{sv}} \frac{\partial P_{sv}}{\partial \Omega} \frac{\partial \Omega}{\partial t} \right)^2 + \left(\frac{\partial n}{\partial t} \right)^2 \right] u_t^2 + \left(\frac{\partial n}{\partial RH} \right)^2 u_{RH}^2 + u_{edlen}^2$$

$$u_n^2 = c_p^2 u_p^2 + c_{\lambda vac}^2 u_{\lambda}^2 + c_t^2 u_t^2 + c_{RH}^2 u_{RH}^2 + u_{edlen}^2$$

$$u_n = \sqrt{3.9 * 10^{-07} + 1.5 * 10^{-14} + 1.6 * 10^{-07} + -3.5 * 10^{-08} + 3.0072 * 10^{-08}}$$

$$u_{n_{air}} = 4.2 * 10^{-07}$$

Όπως αναλυτικά υπολογίστηκε στο κεφάλαιο του δείκτη διάθλασης

$$\text{Συντελεστής ευαισθησίας : } c_{n_{air}} = \frac{\partial Lc}{\partial n_{air}} = - \frac{Lm}{(n_{air})^2} \approx -Lm$$

Συνδυασμένη τυπική αβεβαιότητα $u_{i(Lc)}$:

$$c_{n_{air}} u_{n_{air}} = 0.210 \mu m$$

Κατανομή : Ορθογωνική

Βαθμοί ελευθερίας: ∞

7.1.4 Αβεβαιότητα θερμικής διαστολής της μετροταινίας α_m

Εκτίμηση πηγής αβεβαιότητας : $\alpha_m = 1.15 * 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

Τυπική Αβεβαιότητα (μm) :

$$u_{\alpha m} = \frac{4 * 10^{-06}}{\sqrt{3}} \Rightarrow u_{\alpha m} = 2.3 * 10^{-6} \mu m$$

Συντελεστής ευαισθησίας :

$$c_{\alpha m} = \frac{\partial Lc}{\partial \alpha m} = \frac{Lm}{n_{air}} (T_r - T_m) = \frac{500.136 * 1000}{1.00026470} (20 - 20.1) = -5.000.038$$

Συνδυασμένη τυπική αβεβαιότητα $u_{i(Lc)}$:

$$u_{\alpha m} c_{\alpha m} = 0.0115 \mu m$$

Κατανομή : Ορθογωνική

Βαθμοί ελευθερίας: ∞

7.1.5 $\delta T = (T_r - T_m)$ διαφορά θερμοκρασίας από την πρότυπη

Εκτίμηση πηγής αβεβαιότητας : $\delta T = T_r - T_m = 20 - 20.01 = 0.01^\circ\text{C}$

Τυπική Αβεβαιότητα (μm) :

$$u^2_{Tm} = \left(\frac{T_{mmax} - T_{mmin}}{2\sqrt{3}} \right)^2 + u^2_{TI}$$

Με

$$u^2_{TI} = u^2_{cal} + u^2_{drift}$$

Και

$$u_{cal} = \frac{|error|}{\sqrt{3}} + \frac{U}{2} = 0.05^\circ C$$

Όπου το σφάλμα του οργάνου (error) προστέθηκε ως ορθογωνική κατανομή για να μην γίνεται διόρθωση τις ένδειξης του θερμομέτρου

$$u_{drift} \frac{error_{now} - error_{before}}{\sqrt{3}} = 0.02^\circ C$$

Άρα

$$u_{Tm} = \sqrt{\left(\frac{20.01 - 20}{2\sqrt{3}} \right)^2 + (0.054^\circ C)^2} = 4.96^\circ C$$

Συντελεστής ευαισθησίας :

$$c_{Tm} = \frac{\partial Lc}{\partial Tm} = - \frac{Lm}{n_{air}} a_m = - \frac{500.136 * 1000}{1.00026470} * 1.15 * 10^{-05} = 0.058 \mu m$$

Συνδυασμένη τυπική αβεβαιότητα $u_{i(Lc)}$:

$$u_{Tm} c_{Tm} = 0.288 \mu m$$

Κατανομή : Ορθογωνική

Βαθμοί ελευθερίας: ∞

7.1.6 dL_{ab} Διόρθωση μήκους λόγω σφάλματος abbe

Εκτίμηση πηγής αβεβαιότητας : $h * \tan\theta$

Τυπική Αβεβαιότητα (μm) :

Για $\theta = 10 \text{ arc sec}$ η οποία βρέθηκε μετρώντας κατά τους άξονες z και y την μεγίστη και την ελαχίστη γωνιά στη διαδρομή του 1,5m θα είναι:

$$u_{abbe} = \frac{e_{abbe}}{\sqrt{3}} \Rightarrow u_{abbe} = \frac{h * 4,85 * 10^{-05}}{\sqrt{3}} \Rightarrow u_{abbe} = 2.8 * 10^{-05} * h$$

$$\text{Και για } h = 10 \text{ cm } u_{abbe} = 2.8 \mu m$$

Συντελεστής ευαισθησίας : $c_{abbe} = 1$

Συνδυασμένη τυπική αβεβαιότητα $u_{i(Lc)}$:

$$u_{abbe} c_{abbe} = 2.8 * 1 = 2.8 \mu m$$

Κατανομή : Ορθογωνική

Βαθμοί ελευθερίας: ∞

7.1.7 dL_{cos} Διόρθωση μήκους λόγω σφάλματος cosine

Εκτίμηση πηγής αβεβαιότητας : $8.3 * 10^{-02} \mu m$

Η ευθυγράμμιση που μπορεί να επιτευχθεί, στη χειρότερη περίπτωση είναι $d = 0.5 \text{ mm}$ για $L = 1.5 \text{ m}$ Το σφάλμα είναι πιθανόν να έχει ορθογωνική κατανομή. Ως εκ τούτου

$$u_{cos} = \frac{e_{Lcos}}{\sqrt{3}} = 4.8 * 10^{-02} \mu m \Rightarrow u_{cos} = 4.8 * 10^{-02} \mu m$$

Συντελεστής ευαισθησίας : $c_{cos} = 1$

Συνδυασμένη τυπική αβεβαιότητα $u_{i(Lc)}$:

$$u_{cos}c_{cos} = 4.8 * 10^{-02} * 1 = 4.8 * 10^{-02} \mu m$$

Κατανομή : Ορθογωνική

Βαθμοί ελευθερίας: ∞

7.1.8 dL_{dp} Διόρθωση μήκους λόγω σφάλματος deadpath

Εκτίμηση πηγής αβεβαιότητας : $L_{dp} = 50mm = 50 * 10^3 \mu m$

Τυπική Αβεβαιότητα (μm) :

$$u^2_{L_{dp}} = \left(-\frac{L_{dp}^{vac}}{n_{air}^2} u_{nair} \right)^2 \Rightarrow u_{L_{dp}} \approx L_{dp}^{vac} u_{nair} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow u_{L_{dp}} = 50 * 10^3 u_{nair} = 50 * 10^3 * 4.2 * 10^{-7} = 0.021 \mu m$$

Συντελεστής ευαισθησίας : $c_{L_{dp}} = 1$

Συνδυασμένη τυπική αβεβαιότητα $u_{i(Lc)}$:

$$u_{L_{dp}}c_{L_{dp}} = 0.021 * 1 = 0.021 \mu m$$

Κατανομή : Ορθογωνική

Βαθμοί ελευθερίας: ∞

7.1.9 dL_{lat} Διόρθωση μήκους λόγω σφάλματος lateral

Εκτίμηση πηγής αβεβαιότητας : $s=2mm$

Τυπική Αβεβαιότητα (μm) :

$$u_{L_{lat}} = \frac{s^2}{8L\sqrt{3}}$$

Για $s=2mm$ lateral offset της επιστρεφόμενης δέσμης και για $L = 1500mm$ μετρούμενη απόσταση, ισχύει

$$u_{L_{lat}} = \frac{s^2}{8L\sqrt{3}} = 1.9 * 10^{-1} \mu m$$

Συντελεστής ευαισθησίας : $c_{L_{lat}} = 1$

Συνδυασμένη τυπική αβεβαιότητα $u_{i(Lc)}$:

$$u_{L_{lat}}c_{L_{lat}} = 1.9 * 10^{-1} * 1 = 1.9 * 10^{-1} \mu m$$

Κατανομή : Ορθογωνική

Βαθμοί ελευθερίας: ∞

7.1.10 dL_{tur} Διόρθωση μήκους λόγω σφάλματος turbulence

Εκτίμηση πηγής αβεβαιότητας : Από μετρήσεις διάρκειας ενός λεπτού για απόσταση συμβολόμετρου- ανακλαστήρα 1,5 m, η διακύμανση ήταν $1\mu m$.

Τυπική Αβεβαιότητα (μm) :

$$u_{L_{tur}} = \left(\frac{1\mu m}{\sqrt{3}} \right)^2 = 0.577 \mu m$$

Συντελεστής ευαισθησίας : $c_{L_{tur}} = 1$

Συνεισφορά τυπικής αβεβαιότητας $u_{i(Lc)}$:

$$u_{L_{tur}}c_{L_{tur}} = 0.577 * 1 = 0.577 \mu m$$

Κατανομή : Ορθογωνική

Βαθμοί ελευθερίας: ∞

7.1.11 dL_{for} Διόρθωση μήκους λόγω σφάλματος force

Εκτίμηση πηγής αβεβαιότητας : F εφαρμοζόμενη δύναμη ισοδύναμη με 20N

Τυπική Αβεβαιότητα (μm) :

Το μήκος της μετροταινίας όταν εφελκείται με μια δύναμη, δίνεται από τον τύπο:

$$L_{for} = L_n (1 + F * a_{el}) \quad (32)$$

όπου

F η εφαρμοζόμενη δύναμη

a_{el} ο συντελεστής ελαστικής παραμόρφωσης

$L_n = 1.5m$ το μήκος της μετροταινίας όπου εφαρμόζεται η δύναμη. Οπότε

$$u_{Lfor} = \frac{\partial L_{for}}{\partial F} u_f$$

Όμως

$$\frac{\partial L_{for}}{\partial F} = L_n * a_{el} = 1.5 * 10^6 \mu m * a_{el}$$

Λόγω τριβών και αβεβαιότητας μάζας η δύναμη έχει διακύμανση $\pm 0,3\%$ άρα για ορθογωνική κατανομή θα ισχύει

$$u_f = \frac{0,3}{100\sqrt{3}} F$$

άρα

$$u_{Lfor} = 2.6 * 10^3 * a_{el} * F = 2.6 * 10^3 * 1.5 * 10^{-6} * 20 = 0.078 \mu m$$

Συντελεστής ευαισθησίας : $c_{Lfor} = 1$

Συνδυασμένη τυπική αβεβαιότητα $u_{i(Lc)}$:

$$u_{Lfor} c_{Lfor} = 0.078 * 1 = 0.078 \mu m$$

Κατανομή : Ορθογωνική

Βαθμοί ελευθερίας: ∞

7.1.12 dL_{dop} Διόρθωση μήκους λόγω φαινόμενου Doppler

Εκτίμηση πηγής αβεβαιότητας : $0.7m/sec$

Τυπική Αβεβαιότητα (μm) :

και το σφάλμα Doppler θα είναι

$$e_{dop} = N \delta \lambda = \frac{L}{\lambda_{vac}} 2\beta \lambda_{πηγης} \approx 2\beta L = \frac{2L}{c} v$$

Θεωρούμε ότι το σφάλμα έχει ορθογωνική κατανομή οπότε

$$u_{dop} = \frac{e_{dop}}{\sqrt{3}} = \frac{2L}{c\sqrt{3}} v \Rightarrow u_{dop} = 2,7 * 10^{-9} Lm = 1.4 * 10^{-6} \mu m$$

Συντελεστής ευαισθησίας : $c_{Ldop} = 1$

Συνδυασμένη τυπική αβεβαιότητα $u_{i(Lc)}$:

$$u_{dop} c_{Ldop} = 1.4 * 10^{-6} * 1 = 1.4 * 10^{-6} \mu m$$

Κατανομή : Ορθογωνική

Βαθμοί ελευθερίας: ∞

7.1.13 dL_o Διόρθωση μήκους λόγω σφάλματος repeatability(0)

Εκτίμηση πηγής αβεβαιότητας : 0.003 τυπική απόκλιση

Τυπική Αβεβαιότητα (μm) :

$$u_{Lo} = \frac{S_{reset\kappa}}{\sqrt{3}} = \frac{0.003}{\sqrt{3}} = 1.9\mu m$$

0.003 είναι η τυπική απόκλιση (Standard Deviation) που προκύπτει από τρεις μετρήσεις (0, 0.006414, 000273) στο σημείο 500mm μετά την μεταφορά του στο σημείο 0 και τον μηδενισμό του laser.

Συντελεστής ευαισθησίας : $c_{Lo} = 1$

Συνδυασμένη τυπική αβεβαιότητα $u_{i(Lc)}$:

$$u_{Lo}c_{Lo} = 1.9 * 1 = 1.9\mu m$$

Βαθμοί ελευθερίας : $3-1=2$

Κατανομή : Κανονική

7.1.14 dLi Διόρθωση μήκους λόγω σφάλματος repeatability(i)

Εκτίμηση πηγής αβεβαιότητας : ίση με μηδέν

Τυπική Αβεβαιότητα (μm) :

Ισχύει

$$u_{Li} = \frac{S_{rep_i}}{\sqrt{3}} = \frac{0.003}{\sqrt{3}} = 1.8\mu m$$

Όπου 0.003 είναι η τυπική απόκλιση (Standard Deviation) του σημείου 500mm πριν μεταφερθεί στο σημείο μηδέν και προκύπτει από τρεις μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν (500.1366 , 500.139067 , 500.133).

Συνδυασμένη τυπική αβεβαιότητα $u_{i(Lc)}$:

$$u_{Lo}c_{Lo} = 1.8 * 1 = 1.8\mu m$$

Συντελεστής ευαισθησίας : $c_{Li} = 1$

Κατανομή : Κανονική

Βαθμοί ελευθερίας : $3-1=2$

7.2 Υπολογισμός συνδυασμένης τυπικής αβεβαιότητας

Η σχέση που ακολουθεί αποτελεί την συνδυασμένη (τυπική) αβεβαιότητα

$$u_{Lc}^2 = c_{Lm}^2((c_{N}u_{N})^2 + (c_{\lambda vac}u_{\lambda vac})^2) + c_{\lambda air}^2(c_{p}^2u_{p}^2 + c_{\lambda vac}^2u_{\lambda vac}^2 + c_{t}^2u_{t}^2 + c_{RH}^2u_{RH}^2) + (c_{am}u_{am})^2 + (c_{Tm}u_{Tm})^2 + (c_{Lab}u_{Lab})^2 + (c_{cos}u_{cos})^2 + (c_{Ldp}u_{Ldp})^2 + (c_{Llat}u_{Llat})^2 + (c_{Ltur}u_{Ltur})^2 + (c_{Lfor}u_{Lfor})^2 + (c_{Ldop}u_{Ldop})^2 + (c_{Lo}u_{Lo})^2 + (c_{Li}u_{Li})^2$$

Αποτελείται από την τετραγωνική ρίζα των επιμέρους αβεβαιοτήτων όπως έχουν υπολογιστεί παραπάνω αναλυτικά. Κάνοντας τις αντικαταστάσεις προκύπτει να είναι η συνδυασμένη τυπική αβεβαιότητα ίση με $u_{Lc} = 3.9\mu m$

7.3 Υπολογισμός διευρυμένης αβεβαιότητας -Αποτέλεσμα μέτρησης

Η σχέση που ακολουθεί αποτελεί την διευρυμένη αβεβαιότητα όπως προκύπτει από το γινόμενο της συνδυασμένης τυπικής αβεβαιότητας με ένα συντελεστή κάλυψης k που την συσχετίζει για 95.45% επίπεδο εμπιστοσύνης. Αποτελεί έκφραση για τη συνολική αβεβαιότητα της διαδικασίας της μέτρησης μας. Ο συντελεστής κάλυψης k προκύπτει από

κατανομή t-student για συγκεκριμένο αριθμό βαθμών ελευθερίας .

$$U = ku_{Lc}$$

Αρχικά γίνεται ο υπολογισμός των ενεργών βαθμών ελευθερίας από την σχέση Welch – Satterhwaite όπως φαίνεται παρακάτω

$$v_{eff} = \frac{u_c^4}{\sum_i \frac{c_i^4 u_i^4(y)}{v_i}} = 20.5$$

Ο συντελεστής k θα βρεθεί από τον παρακάτω πίνακα για 95.45% επίπεδο εμπιστοσύνης. Αν v_{eff} δεν είναι ακριβώς όπως στον πίνακα, γίνεται χρήση της προηγούμενης τιμής v_{eff} του πίνακα.

Πίνακας G.2 του «Guide for the Expression of Uncertainty in Measurement” (GUM), ISO 1995».

v_{eff}	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	50	100	∞
k	13.97	4.53	3.31	2.87	2.65	2.52	2.43	2.37	2.32	2.28	2.13	2.05	2.025	2

Οπότε έχουμε $k = 2.13$

$$\text{Άρα } U = ku_{Lc} = 2.13 * 3,9 = 8.2\mu m \Rightarrow U = 8.2\mu m$$

Παρακάτω ακολουθούν οι συμβολισμοί που χρησιμοποιούνται

Παράμετρος - Πηγή αβεβαιότητας :Οι μεταβλητές των παραμέτρων που χρησιμοποιούνται για τους υπολογισμούς.

Εκτίμηση : Οι τιμές των παραμέτρων του μοντέλου όπως προέκυψαν κατά την διαδικασία που ακολουθήθηκε.

Εκτίμηση πηγής αβεβαιότητας(xi) :Ο υπολογισμός του σφάλματος.

Αβεβαιότητα u(xi) :Οι αντίστοιχες αβεβαιότητες των εκτιμήσεων.

Συντελεστής ευαισθησίας c_i :Οι παράγωγοι της του μοντέλου που δίνει το διορθωμένο μήκος για την θερμοκρασία αναφοράς της μετροταινίας ως προς τις αντίστοιχες μεταβλητές.

Συνδυασμένη τυπική αβεβαιότητα $u_{i(Lc)}$: Προκύπτει από το γινόμενο των αντίστοιχων αβεβαιοτήτων εκτιμήσεων με τον συντελεστή ευαισθησίας.

Κατανομή: Οι αντίστοιχες αβεβαιότητες των εκτιμήσεων.

Βαθμοί ελευθερίας :Ο προσδιορισμός των αντίστοιχων ενεργών βαθμών ελευθερίας που έγινε με την χρησιμοποίηση της σχέση Welch –Satterhwaite

Διευρυμένη αβεβαιότητα : Προκύπτει από το γινόμενο της συνδυασμένης τυπικής αβεβαιότητας με τον αντίστοιχο συντελεστή κάλυψης k.

8. Υπολογισμός Μετρητική Ικανότητα Διακρίβωσης (Calibration and Measurement Capability) της μετροταινίας

Τα διαπιστευμένα εργαστήρια διακρίβωσης χρησιμοποιούσαν τον όρο Βέλτιστη Ικανότητα Διακρίβωσης (Best Measurement Capability), για να περιγράψουν και να αποδώσουν με τον καλύτερο τρόπο την ακρίβεια που μπορούσαν να πετύχουν στις μετρήσεις τους. Ενώ τα Εθνικά Ινστιτούτα Μετρολογίας περιγράφουν τις ίδιες ακριβώς υπηρεσίες με τον όρο Μετρητική Ικανότητα Διακρίβωσης (Calibration and Measurement Capability).

Το 2010 για να μην υπάρχει αυτή η δυσαρμονία μιας και απέδιδαν την ίδια έννοια για τον ίδιο λόγο το Διεθνές Εργαστήριο Συνεργασίας για τη Διαπίστευση και οι Περιφερειακοί Οργανισμοί Μετρολογίας συμφώνησαν στα παρακάτω :

Η Μετρητική Ικανότητα Διακριβώσεων (CMC) αποτελεί δήλωση της ικανότητας διακριβώσεων και μετρήσεων η οποία είναι διαθέσιμη στους πελάτες υπό κανονικές συνθήκες:

(α) όπως δημοσιεύεται στη συγκριτική βάση δεδομένων (Key Comparison Database- KCDB) του CIPM MRA ή

(β) όπως περιγράφεται στο επίσημο πεδίο εφαρμογής της Διαπίστευσης που χορηγείται από μέλος της Συμφωνίας της ILAC

Για τον υπολογισμό της CMC της συγκεκριμένης διακρίβωσης για μετροταινία ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία :

Οι συνθήκες που αντιπροσωπεύουν το εργαστήριο περιγράφονται στον πίνακα που ακολουθεί

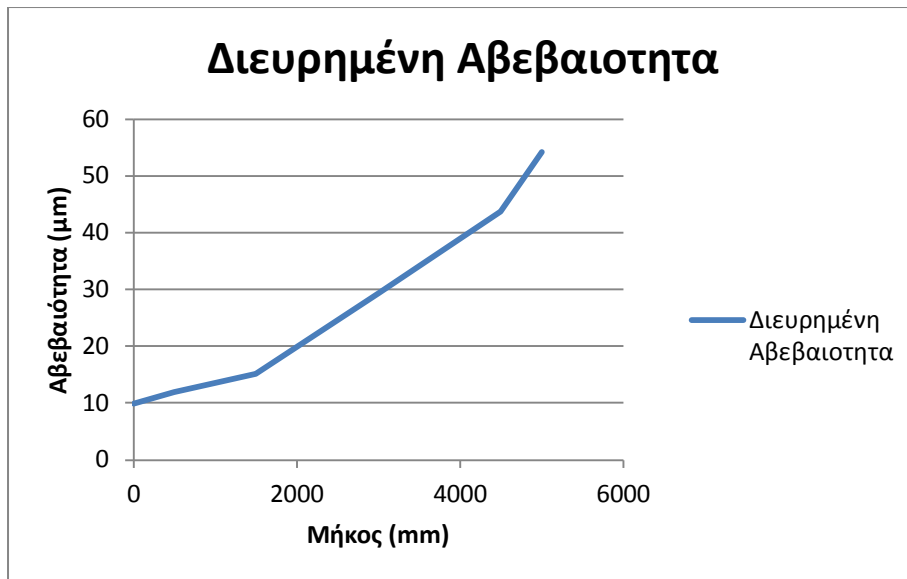
	Ελάχιστη	Μέγιστη
Θερμοκρασία Αέρα	19,5 °C	20,5 °C
Βαρομετρική Πίεση	989 hPa	991 hPa
Υγρασία	45%	50%
Θερμοκρασία Μετροταινίας	19,8 °C	20,6 °C

Με βάση αυτές τις τιμές υπολογίζουμε την CMC (Calibration and Measurement Capability): Μετρητική Ικανότητα Διακριβώσεων) . Για τυπική απόκλιση (standard deviation) που μπορεί να επιτευχθεί για μια καλή γραμμή μετροταινίας ίση με 5μm, προκύπτει ο παρακάτω πίνακας για τα σημεία 0mm,500mm,1500mm,3000mm,4500mm και 5000mm.

Position	Reading on EUT blade (Nominal Length) L_n	Total Corrected Measured Length L_c	error $a=(L_n-L_c)$	μ	u (rep)	u (rep)	c^+u (N)	c^+u (vac)	c^+u (nair)	c^+u (am)	c^+u (Tm)	u (abb)	u (cos)	u (dp)	u (lat)	u (tur)	u (Lfor)	u (dop)	u combined	degrees of freedom	K	U
	a	b	a																	v_{eff}		
0	0	0	0	1	2,9	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2,800	0,048	0,021	0,048	0,577	0,078	8E-12	4,1	7,9	2,43	10
A ₁	500	500,001	-0,001	1	2,9	2,9	0,006	0,001	0,209	0,000	1,685	2,800	0,048	0,021	0,048	0,577	0,078	1E-06	5,3	11,1	2,28	12
B ₁	1500	1500,032	-0,032	1	2,9	2,9	0,006	0,003	0,626	0,000	5,054	2,800	0,048	0,021	0,048	0,577	0,078	4E-06	7,1	37,1	2,13	15
C ₂	3000	2999,967	0,033	2	2,9	2,9	0,006	0,003	0,626	0,000	5,054	2,800	0,048	0,021	0,048	0,577	0,078	4E-06	14,7	675,3	2,00	29
D ₃	4500	4499,605	0,395	3	2,9	2,9	0,006	0,003	0,626	0,000	5,053	2,800	0,048	0,021	0,048	0,577	0,078	4E-06	21,8	3276,9	2,00	44
E ₃	5000	4999,678	0,322	4	2,9	2,9	0,006	0,001	0,209	0,000	1,685	2,800	0,048	0,021	0,048	0,577	0,078	1E-06	27,1	7775,2	2,00	54

Με αυτές τις παραδοχές παρατηρώντας τα αποτελέσματα των μετρήσεων της στήλης U όπου υπολογίζεται η διευρυμένη αβεβαιότητα προκύπτει η εξίσωση για το CMC :

$$U = \mu * 10\mu m + 3,1 * 10^{-6} L(m)$$



Όπου μ οι φορές που έχει γίνει μηδενισμός (1 για το σημείο 0, 2 για το σημείο B₁, κ.ο.κ.).

Η εξίσωση επαληθεύει πλήρως τη στήλη U η οποία προκύπτει από τις μετρήσεις.

9.Ισοζύγιο αβεβαιότητας για τα 500mm -Πιστοποιητικό διακρίβωσης της μετροταινίας

9.1 Ισοζύγιο αβεβαιότητας για τα 500mm

Παράμετρος - Πηγή αβεβαιότητας	Εκτίμηση (mm)	Εκτίμηση πηγής αβεβαιότητας (xi)	u(xi)	Συντελεστής ευαισθησίας c _i	Συνδυασμένη τυπική αβεβαιότητα U _i (Lc)	Κατανομή	Βαθμοί ελευθερίας
Μετρούμενο μήκος από το laser L _m =Nλ _{vac}	500,13622	-	-	-	-	-	-
Μήκος κύματος στο κενό λ _{vac}	0	0,632991378	1,26 * 10 ⁻⁹ μm	L _m /λ _{vac}	0.001μm	Κανονική	∞
N (πλήθος μηκών κύματος)	0	N	$\frac{1,26 * 10^{-9} \mu\text{m}}{\lambda_{\text{vac}}}$	λ _{vac}	0.006μm	ορθογωνική	∞
Δείκτη διάθλασης n _{air}	$-L_m \left(1 - \frac{1}{n_{\text{air}}}\right) = -0,132350$	1,00026470	4.2*10 ⁻⁷	-L _m	0.210μm	ορθογωνική	∞
Αβεβαιότητα θερμικής διαστολής της μετροταινίας α _m	0	1.15*10 ⁻⁵ °C ⁻¹	$\frac{4 * 10^{-6} \mu\text{m}}{\sqrt{3}} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	L _m (Tr-T _m)	0.012μm	ορθογωνική	∞

$\Delta T=(T_r-T_m)$ διαφορά θερμοκρασίας από την πρότυπη	0,0575	-0,01°C	0.05 °C	- Lm* α_m	0.288μm	ορθογωνική	∞
dL_{ab} Διόρθωση μήκους λόγω σφάλματος abbe	0	h*tanθ	2.8μm	1	2.8μm	ορθογωνική	∞
dL_{cos} Διόρθωση μήκους λόγω σφάλματος cosine	0	$8.3 * 10^{-2} \mu\text{m}$	$4.8*10^{-2} \mu\text{m}$	1	0.048μm	ορθογωνική	∞
dL_{dp} Διόρθωση μήκους λόγω σφάλματος deadpath	0	50mm	$1,0*10^{-3} \mu\text{m}$	1	0.021μm	ορθογωνική	∞
dL_{lat} Διόρθωση μήκους λόγω σφάλματος lateral	0	2mm	$4.8*10^{-2} \mu\text{m}$	1	0.048μm	ορθογωνική	∞
dL_{tur} Διόρθωση μήκους λόγω σφάλματος turbulence	0	1μm	0.577 μm	1	0.577μm	ορθογωνική	∞
dL_{for} Διόρθωση μήκους λόγω σφάλματος force	0	20N	$2,6*10^3 * \alpha_{el} * F$	1	0.078μm	ορθογωνική	∞
dL_{dop} Διόρθωση μήκους λόγω φαινομένου doppler	0	0.7m/sec	$2,7*10^{-9} \text{ Lm}$	1	$1.4*10^{-6} \mu\text{m}$	ορθογωνική	∞
dL_o Διόρθωση μήκους λόγω σφάλματος repeatability(0)	-0,003051	0.003		1	1.9μm		2
dL_i Διόρθωση μήκους λόγω σφάλματος repeatability(i)	0	0			1.8μm		2

Lc	500,00077	Συνδυασμένη Τυπική Αβεβαιότητα	3.9 μm	20.5
	Διευρυμένη Αβεβαιότητα		8,2 μm	
	Αποτέλεσμα		Lc =(500001±8,2) μm Lc =500,001mm±8,2 μm	

9.2 Πιστοποιητικό διακρίβωσης της μετροταινίας

ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΟ ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗΣ CERTIFICATE OF CALIBRATION

Αριθμός πιστοποιητικού / Certificate number: 2015ΜΕ03574



Εκδόθηκε από / Issued by:
ΓΕΝΙΚΟ ΕΠΙΤΕΛΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΑΜΥΝΑΣ
ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΕΩΝ ΕΝΟΠΛΙΩΝ
ΔΥΝΑΜΕΩΝ (ΥΠΗΑ) /
Hellenic General Staff Calibration Agency

ΣΤΡΑΤΟΠΕΔΟ ΑΕΡΟΝΟΜΙΑΣ
ΒΥΡΩΝΑΣ-ΑΤΤΙΚΗΣ/VIRONAS-ATTIKI
Τ.Κ. 16233
Τηλ./Tel: +30 2109795301 +30 2109795360
Fax: +30 2109795318
Α.Φ.Μ.: 090153025, ΔΟΥ: Ν. ΨΥΧΙΚΟΥ

Πελάτης / Μονάδα: Customer / Military Unit:	301 ΕΒ
Διεύθυνση Πελάτη: Customer Address:	ΑΓΙΟΙ ΑΝΑΓΥΡΟΙ
Κατασκευαστής: Manufacturer:	STANLEY
Περιγραφή: Description:	ΜΕΤΡΟΤΑΙΝΙΑ Measuring Tape
Μοντέλο Model P/N:	FatMax
Αριθμός Σειράς: Serial Number:	YA2252
Καταχώριση Register:	B241123
Ημερομηνία Παραλαβής: Date of receipt:	31/03/2015
Ημερομηνία Διακρίβωσης: Date of Calibration:	25-26/05/2015
Τόπος Εκτέλεσης Διακρίβωσης: Location where calibration was performed:	ΥΠΗΑ
Ημερμ. Έκδοσης Πιστοποιητικού: Date of Issue:	3/06/2015



Υπογραφή / Signature	Τεχνικός Διακρίβωσης / Technician	Τεχνικός Υπεύθυνος / Technical Supervisor	Διεύθυνση Διασφάλισης Ποιότητας / Quality Assurance
ΟΥΤΕΠΙΣΤΑΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΑΡΧΗΣ	ΑΡΧΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΑΡΧΗΣ	ΑΡΧΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΑΡΧΗΣ	ΑΡΧΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΑΡΧΗΣ
Μ.Υ.Τ.Κ. 16233	Μ.Υ.Τ.Κ. 16233	Μ.Υ.Τ.Κ. 16233	Μ.Υ.Τ.Κ. 16233

Απαγορεύεται η αναπαραγωγή των πιστοποιητικών διακρίβωσης παρά μόνο με πλήρη μορφή, χωρίς τη γραπτή άδεια της Υπηρεσίας Διακρίβωσης. Πιστοποιητικά Διακρίβωσης μη φέροντα σφραγίδα και υπογραφή δεν έχουν ισχύ. Αντίγραφο του παρόντος πιστοποιητικού θα διατηρηθεί στην Υπηρεσία Διακρίβωσης και το εκδίδει για δύο (2) έτη, τα αποτελέσματα των μετρήσεων αφορούν μόνο τα αντικείμενα που έχουν διακριβωθεί.
This certificate may not be reproduced other than in full form, except with the prior written approval of the Calibration Agency. Calibration Certificates without seal and signature are not valid. A copy of this certificate will be kept at Calibration Agency for the period of two (2) years. The results of the measurements concern only the calibrated items.

Σελίδα / Page 1 από / of 4

ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΟ ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗΣ
CERTIFICATE OF CALIBRATION

Αριθμός πιστοποιητικού / Certificate number : 2015ΜΩ.03374

Συνθήκες Διακρίβωσης / Ambient Conditions	Ελάχιστη Τιμή / Min Value	Μέγιστη Τιμή / Max Value	Αβεβαιότητα / Uncertainty
Θερμοκρασία – Temperature [°C]:	19,5	20,0	0,25
Σχετική Υγρασία – Relative Humidity [%]:	45	55	2
Βαρομετρική Πίεση / Barometric Pressure	985,0	990,0	0,1
Χρόνος Εγκλιματισμού / Acclimation Time (hours)	12		

Κατάσταση και χαρακτηριστικά αντικειμένου προς διακρίβωση /
Condition and characteristics of object to be calibrated:

Η συσκευή βρέθηκε σε καλή κατάσταση.
The device was found in good condition.

Χαρακτηριστικά Συσκευής / Device Characteristics:

Εύρος / Range:	0m έως/to 5m
Αναγωσιμότητα / Resolution	1mm
Συντελεστής θερμικής διαστολής / Thermal expansion coefficient:	$11,5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
Συνθήκες χρήσης / Use conditions	-
Φάρδος ταινίας / Tape width:	32mm
Πάχος ταινίας / Tape thickness:	-
Δύναμη τρέκωσης / Tension force	-

Αποδοκσία Διακρίβωσης / Calibration Procedure:

Η διακρίβωση πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με την διαδικασία διακρίβωσης "CP – DIMENSIONAL – 09" με σύγκριση της συσκευής με πρότυπο μήκος κίματος laser.
The calibration was performed according to calibration procedure "CP – DIMENSIONAL – 09". The device was compared against reference laser wire length.

Ιχνηλασιμότητα / Traceability:

Ιχνηλασιμότητα στα Εθνικά Πρότυπα της ΕΙΜ. / Traceability to the National Standards of EIM.



Απαγορεύεται η αναπαραγωγή του πιστοποιητικού διακρίβωσης κατά μόνο με κλήρη μορφή, χωρίς τη γραπτή άδεια της Υπηρεσίας Διακρίβωσης. Πιστοποιητικό Διακρίβωσης μη φέροντα σφραγίδα και υπογραφή δεν έχουν ισχύ. Αντίγραφο του παρόντος πιστοποιητικού θα διατηρηθεί στην Υπηρεσία Διακρίβωσης που το εκδίδει για δύο (2) έτη. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων αφορούν μόνο τα αντικείμενα που έχουν διακριθεί.
This certificate may not be reproduced other than in full form, except with the prior written approval of the Calibration Agency. Calibration Certificates without seal and signature are not valid. A copy of this certificate will be kept at Calibration Agency for the period of two (2) years. The results of the measurements concern only the calibrated items.

Σελίδα / Page 2 out of 4

ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΟ ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗΣ CERTIFICATE OF CALIBRATION

Αριθμός πιστοποιητικού / Certificate number : 2015ΜΣ03574

Σταθμισμένα/Χρησιμοποιούμενα Πρότυπα / Standards Used:

Εξοπλισμός Equipment:	Μοντέλο P/N:	Αριθμός Σειράς Serial Number:	Αρ.Πιστοποιητικού/ Certificate Number :
LASER SYSTEM	5529A	US4111243	DIM-13-042A
SURFACE PLATE	GCG-P-463	48X72	2013ΥΔ04085
STRAIGHT EDGE	661SE60	106896	2014ΥΔ00177
THERMO-HYGROMETER	2626H	A93048	TEM-14-003A
BAROMETRIC PRESSURE MUNIHUM	RPM3A0015	2083	PRE-14-003A
TEMPERATURE SENSOR	A611	11020004	2014ΥΔ06990
TEMPERATURE SENSOR	A611	10110184	2014ΥΔ06988

Αβεβαιότητα / Uncertainty:

Η διεσπασμένη αβεβαιότητα που αναφέρεται είναι το γινόμενο της συνδυασμένης τοπικής αβεβαιότητας (u_c) με τον συντελεστή κάλυψης $k = 2$ και προσδιορίζεται σύμφωνα με το έντυπο «Guide to the Expression of Uncertainty in Measurements» (ISO, Geneva 1995). Γενικά, η τιμή της μετρούμενης ποσότητας παρέχεται στο προσδιοριζόμενο εύρος με πιθανότητα 95,45%. Η εκτίμηση της αναφερόμενης αβεβαιότητας δεν συμπεριλαμβάνει ενδεχόμενες μακροπρόθεσμες μεταβολές.

Reported is the expanded uncertainty which results from the combined standard uncertainty (u_c) by multiplication with the coverage factor $k = 2$. It has been evaluated according to the «Guide to the Expression of Uncertainty in Measurements» (ISO, Geneva 1995). Generally, the value of the measuring quantity is found within the attributed interval with a probability of 95.45%. The reported uncertainty does not include an estimate of long-term variations.



Απαγορεύεται η αναπαραγωγή του πιστοποιητικού διακρίβωσης παρά μόνο με πλήρη μορφή, χωρίς τη γραπτή άδεια της Υπηρεσίας Διακρίβωσης. Πιστοποιητικά Διακρίβωσης μη φέροντα σφραγίδα και υπογραφή δεν έχουν ισχύ. Αντίγραφο του αυθεντικού πιστοποιητικού θα διατίθεται στην Υπηρεσία Διακρίβωσης που το εκδίδει για δύο (2) έτη. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων αφορούν μόνο τα αντικείμενα που έχουν διακριβωθεί.
This certificate may not be reproduced other than in full form, except with the prior written approval of the Calibration Agency. Calibration Certificates without seal and signature are not valid. A copy of this certificate will be kept at Calibration Agency for the period of two (2) years. The results of the measurements concern only the calibrated items.

Σελίδα / Page 3 από / of 4

ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΟ ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗΣ
CERTIFICATE OF CALIBRATION

Αριθμός πιστοποιητικού / Certificate number : 2015ΜΣ03574

Αποτελέσματα Διακρίβωσης / Calibration Results

Position	Reading on EUT blade (Nominal Length) L_n	Total Corrected Measured Length L_m	error $u=(L_n-L_c)$	U Expanded Uncertainty (μm)
	a	b	a	
	(mm)	(mm)	(mm)	
0	0	0,00	0,00	0,08
A ₁	500	500,00	0,00	0,08
A ₂	501	501,00	0,00	0,09
A ₃	502	502,01	-0,01	0,08
B ₁	1500	1500,03	-0,03	0,11
B ₂	1501	1501,06	-0,06	0,08
B ₃	1502	1502,07	-0,07	0,08
C ₁	2999	2999,00	0,00	0,13
C ₂	3000	2999,97	0,03	0,12
C ₃	3001	3000,96	0,04	0,12
D ₁	4498	4497,62	0,38	0,14
D ₂	4499	4498,64	0,36	0,14
D ₃	4500	4499,61	0,39	0,14
E ₁	4998	4997,77	0,23	0,16
E ₂	4999	4998,76	0,24	0,16
E ₃	5000	4999,68	0,32	0,16



Απαγορεύεται η αναπαραγωγή του πιστοποιητικού διακρίβωσης, παρά μόνο με πλήρη μορφή, χωρίς τη γραπτή άδεια της Υπηρεσίας Διακρίβωσης. Πιστοποιητικά Διακρίβωσης, μη φέροντα σφραγίδα και υπογραφή δεν έχουν ισχύ. Αντίγραφο του παρόντος πιστοποιητικού θα διατηρηθεί στην Υπηρεσία Διακρίβωσης που το εκδίδει για δύο (2) έτη. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων αφορούν μόνο τα αντικείμενα που έχουν διακριβωθεί.
This certificate may not be reproduced other than in full form, except with the prior written approval of the Calibration Agency. Calibration Certificates without seal and signature are not valid. A copy of this certificate will be kept at Calibration Agency for the period of two (2) years. The results of the measurements concern only the calibrated items.

Σελίδα / Page 4 από / of 4

Βιβλιογραφία

ISO 3650. *Geometrical Product Specifications(GPS) — Length standards — Gauge blocks.* Second edition.1998-12-15

ISO/IEC 17025.*General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories.* Second edition 2005-05-15

ISO 9001.*Quality management systems — Requirements .*Fourth edition.2008-11-15

OIML R 35-1 *Material measures of length for general use Part 1: Metrological and technical requirements* Edition 2007 (E) Including Amendment 2014

OIML R 35-2 *Material measures of length for general use. Part 2: Test methods* Edition 2011 (E)

OIML R 35-3. *Material measures of length for general use. Part 3: Test report format* Edition 2011 (E)

OIML G 1-100 . *Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement .*Edition 2008 (E). Corrected version 2010

OIML G 1-104. *Evaluation of measurement data – An introduction to the “Guide to the expression of uncertainty in measurement” and related documents.* Edition 2009 (E)

OIML D10 ILAC-G24 International Document *Guidelines for the Determination of Recalibration Intervals of Measuring Equipment,* Edition 2007(E).

OIML *Guidelines for the Determination of Recalibration Intervals of Measuring Equipment used in Testing Laboratorie”s,* International Document No.10, 1st Edition 1984.

JCGM 100:2008 GUM 1995 with minor corrections Evaluation of measurement data-Guide to the expression of uncertainty in measurement First edition September 2008

JCGM 104:2009 Evaluation of measurement data - An introduction to the “Guide to the expression of uncertainty in measurement” and related documents First edition July 2009

JCGM 101:2008 Evaluation of measurement data - Supplement 1 to the “Guide to the expression of uncertainty in measurement” - Propagation of distributions using a Monte Carlo method First edition 2008

JCGM 102:2011 Evaluation of measurement data - Supplement 2 to the “Guide to the expression of uncertainty in measurement” - Extension to any number of output quantities October 2011

JCGM 200:2012 International vocabulary of metrology - Basic and general concepts and associated terms (VIM) 3rd edition 2008 version with minor corrections

EA-4/02 Publication Reference Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration December 1999

EA-4/02 M2013: *Evaluation of the uncertainty of measurement in calibration.* September 2013 rev01

ILAC-G5:1994 Guidelines for Calibration and Maintenance of Test and Measuring Equipment 1996

ILAC-P10:01/2013 .ILAC Policy on Traceability of Measurement Results

MIL-STD-45662. *Calibration system requirements* .MIL-STD-4566ZA1 August 1988
SUPERSEDING MIL-STD-4566210 June 1980

E.I.M. *Κατάλογος Υπηρεσιών και τελών μετρολογίας. 09 Ιανουαρίου 2008*

E.I.M. Όσα θέλετε να μάθετε αλλά διστάσετε να ρωτήσετε για την μετρολογία .pdf

E.I.M. *Αβεβαιότητας μέτρησης: Βασικές αρχές και εφαρμογές* Δρ.Δ.Γ.Κυριακίδη.

E.I.M *Αβεβαιότητα μετρήσεων-εκτίμηση υπολογισμός-έκφραση* Γ. Ναβροζίδης, Χ. Μήτσας, Ε. Φλουδά, Μ. Αναγνώστου, Φ. Στρέλε Ενημερωτικό Φυλλάδιο EIM-01 Θεσσαλονίκη, Δεκέμβριος 1999

E.I.M *Η εκτίμηση της αβεβαιότητας σε μετρήσεις μηχανικών μεγεθών* Χ. Μήτσας Ζ. Μεταξιώτου, Α. Λευκόπουλος και Γ. Ναβροζίδης .Διεύθυνση Μηχανικών Μεγεθών. Τεχνική Οδηγία EIM-MM-01. Θεσσαλονίκη, Δεκέμβριος 2004

E.I.M *Βασικές έννοιες μετρολογίας* Γ. Ναβροζίδης, Δ. Κυριακίδη, Γ. Λουκάς Ενημερωτικό Φυλλάδιο EIM-02 Θεσσαλονίκη, Ιούνιος 2003

Εθνικό Σύστημα Διαπίστευσης Α.Ε. *Διαδικασίες Διαπίστευσης* ΕΣΥΔ ΔΔ/02/01/14-02-2012
Έκδοση: 02 Αναθεώρηση: 01 Ημερομηνία αρχικής έκδοσης: 15-02-1999
Ημερομηνία αναθεώρησης: 14-02-2012

Εθνικό Σύστημα Διαπίστευσης Α.Ε. *Συστήματα μέτρησης και διακρίβωσης .Κατευθυντήρια οδηγία για την εφαρμογή των κριτήριων διαπίστευσης εργαστηρίων- -ΕΣΥΔ ΚΟ1-ΚΡΙΤΕ/01/06/20-06-2007*

Εθνικό Σύστημα Διαπίστευσης Α.Ε. *Ιχνηλασιμότητα των μετρήσεων .Κατευθυντήρια οδηγία για την εφαρμογή των κριτήριων διαπίστευσης εργαστηρίων- -ΕΣΥΔ ΚΟ2-ΚΡΙΤΕ/01/04/8-1-2009*

Εθνικό Σύστημα Διαπίστευσης Α.Ε. Πολιτική του ΕΣΥΔ σχετική με την συμμετοχή των εργαστηρίων σε προγράμματα δοκιμών ικανότητας και σε διεργασηριακές συγκριτικές δοκιμές. ΕΣΥΔ ΠΔΙ/02/02/16-01-2014 Έκδοση: 02 Αναθεώρηση: 02 Ημερομηνία αρχικής έκδοσης: 10-10-2002 Ημερομηνία αναθεώρησης: 16-01-2014

Εθνικό Σύστημα Διαπίστευσης Α.Ε Μετάβαση σε «Μετρητική Ικανότητα Διακριβώσεων» (CALIBRATION AND MEASUREMENT CAPABILITY – CMC) Τι σημαίνει για τα διαπιστευμένα εργαστήρια. Παντελής Βαρλάμος Τμήμα Διαπίστευσης Εργαστηρίων Μηχανικών και Λοιπών Δοκιμών

Εθνικό Σύστημα Διαπίστευσης Α.Ε. Έντυπο ενημέρωσης . ΕΣΥΔ ΔΕΝΗΜΕΡ/01/04/12-11-2014

Εθνικό Σύστημα Διαπίστευσης Α.Ε. Οι διαδικασίες διαπίστευσης . ΕΣΥΔ ΔΔ/02/03/21-07-2015

Ε.ΣΥ.Δ. Παράρτημα F2/1 του Πιστοποιητικού Αρ. 966 Επίσημο Πεδίο Εφαρμογής της Διαπίστευσης του Εργαστηρίου Διακριβώσεων ΥΠΗΔ. Αθήνα 23 Ιανουαρίου 2003.

Ε.ΣΥ .Π- Ε.Ι.Μ. Δραστηριότητες και επιδόσεις του ΕΣΥΠ/ΕΙΜ – Συνεργασία με τις Ένοπλες Δυνάμεις. Εισηγητής: Δρ. Γεώργιος Μπαμόπουλος Δ/ση Προβολής και Πληροφόρησης ΕΣΥΠ/ΕΛΟΤ εκ μέρους του: Δρ. Διονύσιου Γ. Κυριακίδη Δ/ντή Ποιότητας & Επιστ. Υποστήριξης ΕΣΥΠ/ΕΙΜ

Ελληνική Ένωση Εργαστηρίων .Σχετικά με τη σωστή εφαρμογή των απαιτήσεων της σειράς προτύπων ISO 9000 για τη διακρίβωση των οργάνων .Αθήνα Ιανουάριος 2003.

Agilent Technologies. Chapter 15 .Accuracy and Repeatability . User's Manual .2002 Printed in U.S.A. 07/02 Laser and Optics User's Manual

Agilent Technologies. Agilent Laser and Optics User's Manual, Volume I Printed in U.S.A, September 2007

Agilent Technologies. Agilent 5529A Dynamic Calibrator Verify Machine Performance with the World Standard for Laser Metrology .Printed in U.S.A, January 19, 2006

Agilent Technologies. Chapter 7A. Agilent 10702A and 10766A linear interferometers and Agilent 10703A and 10767A retroreflectors. User's Manual .2002 Printed in U.S.A. 07/02 Laser and Optics User's Manual

Agilent Technologies. Chapter 4. System installation and alignment. User's Manual .2002 Printed in U.S.A. 07/02 Laser and Optics User's Manual

Agilent Technologies. Chapter 7V. Agilent 10770A angular interferometer with agilent 10771A angular retroreflector. User's Manual .2002 Printed in U.S.A. 07/02 Laser and Optics User's Manual

Keysight Technologies. 5530 *Dynamic Calibrator .Data Sheet.* Published in U.S.A. 04 August 2014

NIST .*Guidelines for evaluating and expressing the uncertainty of NIST Measurement Results.* Technical Note 1297 1994 Edition. Barry N. Taylor and Chris E. Kuyatt.

UKAS. *The expression of uncertainty and confidence in measurement .M 3033.* Edition 1 December 1997

METAS. *EUROMET Supplementary Comparison, Project 875. Stel tape measure .Final Report.* Wabern, June 2006, R. Thalmann.

US. Department of commerce .*Traceability of Laser Interferometric Length Measurements* NBS TECHNICAL NOTE 1248 Howard P. Layer and W. Tyler Estler

Λεώπουλος Βρασίδης. *Συστήματα Διαχείρισης Ποιότητας.* Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τομέας Βιομηχανικής Διοίκησης και Επιχειρησιακής Έρευνας. Αθήνα 2012

Κατζηστέλιος, Γεώργιος. *Μετροτεχνικό Εργαστήριο, Άσκηση 6η.* s.l. : Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τομέας Βιομηχανικής Διοίκησης και Επιχειρησιακής Έρευνας.

Καραγάλιου, Χαρίκλεια και Μανσούρ, Γκαμπριέλ. 2007. *Διαστατική Μετρολογία.* Θεσσαλονίκη : Εκδόσεις Ζήτη, 2007. ISBN 978-960-456-074-5.

Πανεπιστήμιο Κρήτης Τμήμα Φυσικής *Μετρήσεις και Σφάλματα Φ-108:* Εργαστήριο Φυσικής Ι Εργαστηριακός Οδηγός

Μανάρας Τάσος .*Μελέτη του προτύπου ISO/IEC 17025 :Εξελεγκτική πορεία και καθετοποίηση σε ειδικούς τεχνικούς τομείς.* ALGOSYSTEMS S.A-Τομέας Μετρολογίας Πρώτο Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας.

ΜΕ-ΤΠΔΠ ΤΕΕ, 2008 . *Διακρίβωση.* Τυποποίηση και ποιότητα στη σύγχρονη κοινωνία

Τμήμα Αυτοματισμού .*Μετρολογία Ι*

Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων Οδηγία του συμβουλίου της 19ης Νοέμβριου 1973 περί προσεγγίσεως των νομοθεσιών των Κρατών μελών των σχετικών με το «υλοποιημένα» μέτρα μήκους(73/362/ΕΟΚ)

Keith Bennett Calibrate with confidence. 17025 Accreditation White Paper. **Transcat Calibration Services .** July 2003/Revised July 2007

James C. Owens *Optical Refractive Index of Air: Dependence on Pressure, Temperature and Composition.* January 1967 / Vol. 6, No. 1 / APPLIED OPTICS 59

Mark Integrity Program. *UL Calibration Requirements: Equipment Used for UL/C-UL/ULC Mark Follow-Up Services*

Dave Abell and Jon Moens. *Meeting ISO 17025 Requirements for Complex Electronic Test Equipment.* Agilent Technologies, Inc Presented at 2002 NCSL International Workshop and Symposium

J. Michalska. *Quality costs in the production process* Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering VOLUME 17 ISSUE 1-2 July-August 2006

GODINA,A and ACKO,B. *Calibration of tape measures with small measurement uncertainty.* DAAAM International Scientific Book 2012 pp.187-196 Chapter 16.

Jack A. Stone and Jay H. Zimmerman *Index of Refraction of Air* ENGINEERING METROLOGY TOOLBOX

Κατάλογοι των κατασκευαστικών εταιρειών για εργαλεία χειρός: Stanley, BMI, Fisco, Silverline

<http://www.esyd.gr>

<http://www.eim.gr>

<http://www.elot.gr>

<http://library.tee.gr>

<http://www.geetha.mil.gr/el/>

<http://www.thetapestore.co.uk>

<http://www.gnomikologikon.gr>

<http://emtoolbox.nist.gov/Wavelength/Documentation.asp>

<http://www.haf.gr/el/structure/units/day/units/yphd.asp>

http://el.wikiversity.org/wiki/Διεθνές_Σύστημα_Μονάδων

http://el.wikipedia.org/wiki/Διεθνές_Γραφείο_Μέτρων_και_Σταθμών

http://www.geetha.mil.gr/media/1.typopoihsh2/20141119-course-Greece/Tuesday,%2011%20Nov%2014/apostolh_kai_drasthriothtes_YPHD.pdf