



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ**

Διακρίβωση Πλακιδίων, Στατιστική Επεξεργασία των
Μετρήσεων και υπολογισμός αβεβαιότητας της μεθόδου.
Ανάπτυξη Οδηγίας Μέτρησης σε Μηχανή Σύγκρισης
Πλακιδίων (Tesa Urc)

Επιμέλεια διπλωματικής εργασίας:

Αριφάκος Θεόδωρος , Σταθόπουλος Φώτιος

Επιβλέπων:

Β. Λεώπουλος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2012

Ευχαριστίες

Η παρούσα εργασία αποτελεί τη Διπλωματική μας Εργασία στα πλαίσια των σπουδών μας στο τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του ΕΜΠ υπό την επίβλεψη του κ. Βρασίδα Λεώπουλο, καθηγητή του τομέα Βιομηχανικής Διοίκησης και Επιχειρησιακής Έρευνας του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, στον οποίο οφείλουμε ιδιαίτερες ευχαριστίες τόσο για την ανάθεση της εργασίας όσο και για την άριστη συνεργασία καθ'όλη τη διάρκεια της συγγραφής της.

Επίσης, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον κ. Γεώργιο Χατζηστέλιο, μεταδιδακτορικό συνεργάτη και διπλωματούχο Μηχανολόγο Μηχανικό του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, για την συνεχή βοήθειά που μας προσέφερε αλλά και την ηθική στήριξη καθ'όλη τη διάρκεια της εργασίας.

Θερμές ευχαριστίες εκφράζουμε επίσης στον κ. Αρίστο Γεωργίου, διπλωματούχο Μηχανολόγο Μηχανικό για τη συμβολή στην εκπλήρωση και επεξεργασία των μετρήσεων.

Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους φίλους μας, τους γονείς μας και τα αδέρφια μας που μας στήριζαν και μας συμβούλευαν σε κάθε βήμα της φοιτητικής μας ζωής.

1	Εισαγωγή	7
2	Μετροτεχνία – Μετρολογία	8
2.1	Βασικές Έννοιες	8
2.1.1	Είδη Ελέγχων	8
2.1.2	Μέσα Έλεγχου.....	9
2.2	Συστήματα μονάδων	9
2.2.1	Μετρικό σύστημα	9
2.2.2	Αγγλοσαξονικό σύστημα	9
2.2.3	Διεθνές Σύστημα Μονάδων SI.....	10
2.3	Πρωτότυπα και πρότυπα μέτρησης	11
2.4	Ελληνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας	12
2.5	Ορολογία - Μετρολογικές έννοιες.....	13
2.5.1	Αρχή Abbe.....	14
2.5.2	Πρότυπο ISO 17025	14
2.5.3	Πρότυπο ISO 9001	16
2.6	Μετροτεχνικό εργαστήριο ΕΜΠ.....	17
2.6.1	Μετροτεχνικό Εργαστήριο.....	17
2.6.2	Γενικά στοιχεία	17
2.6.3	Στελέχωση.....	18
2.6.4	Εξοπλισμός.....	19
2.6.5	Χώροι	19
2.6.6	Χώρος Ελεγχόμενων Συνθηκών.....	20
2.6.7	Κύριος εξοπλισμός.....	21
2.6.8	Βοηθητικός εξοπλισμός	24
2.6.8.1	Αισθητήρες	24
2.6.8.2	Καταγραφέας δεδομένων (data logger)	25
2.6.8.3	Συσκευή πολλαπλών χρήσεων Allmemo.....	26
3	Μέτρηση Μήκους.....	27
3.1	Βιομηχανικά πρότυπα μέτρησης μήκους	27
3.1.1	Πρότυπα πλακίδια (gage block ή slip gage).....	27

3.1.2 Διεθνή πρότυπα	29
3.1.3 Πρότυποι κανόνες	30
3.1.4 Ειδικά πρότυπα	30
3.1.5 Πρότυπα ορίου	30
3.2 Συνήθη όργανα μέτρησης μηκών.....	30
3.2.1 Μετρητικοί κανόνες (rules)	30
3.2.2 Όργανα αρχής βερνιέρου	31
3.2.3 Μικρόμετρο	33
3.3 Όργανα σύγκρισης μηκών	34
4 Ποιότητα και Στατιστική στην Παραγωγή	36
4.1 Ποιότητα	36
4.2 Προδιαγραφές	37
4.3 Έλεγχος παραγωγής.....	38
4.4 Στατιστική στην παραγωγή.....	40
4.5 Μέση τιμή και τυπική απόκλιση δείγματος στοχαστικού μεγέθους	42
4.5.1 Αριθμητική μέση τιμή.....	43
4.5.2 Τυπική απόκλιση s_n	44
4.5.3 Εύρος R	44
4.6 Κανονική κατανομή	44
4.7 Δείκτης Επαναληψιμότητας και Αναπαραγωγής μέτρησης.....	47
4.7.1 Σκοπός Μεθόδου Gage R&R	47
4.7.2 Υπολογισμοί μεθόδου	47
4.7.3 Ανάλυση αποτελεσμάτων μεθόδου	50
5 Αβεβαιότητα και Σφάλμα μέτρησης	52
5.1 Ακρίβεια και Αξιοπιστία	53
5.2 Πρότυπη αβεβαιότητα.....	54
5.3 Σημαντικά ψηφία και ακρίβεια οργάνων.....	54
5.4 Υπολογισμός Αβεβαιότητας	54
5.4.1 Αβεβαιότητες Τύπου A (στατιστικού χαρακτήρα)	55
5.4.2 Αβεβαιότητες Τύπου B (συστηματικές αβεβαιότητες)	56

5.4.3 Συνδυασμός πρότυπων αβεβαιοτήτων.....	57
5.4.4 Συντελεστής κάλυψης k	57
6 Μηχανές μέτρησης μήκους πρότυπων πλακιδίων με τη μέθοδο της σύγκρισης ..	59
7 Τρόπος διεξαγωγής των μετρήσεων και αποτελέσματα της επεξεργασίας τους. .	62
7.1 Προετοιμασία για τη διαδικασία των μετρήσεων	62
7.2 Μετρήσεις και επεξεργασία τους.....	62
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	67
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.....	92
8 Βιβλιογραφία.....	108
8.1 Βιβλία.....	108
8.2 Διαδίκτυο.....	108

1 Εισαγωγή

Σκοπός της διπλωματικής αυτής εργασίας με τίτλο «Διακρίβωση Πλακιδίων, Στατιστική Επεξεργασία των Μετρήσεων και εύρεση της αβεβαιότητας μεθόδου και Ανάπτυξη Σχετικής Οδηγίας Μέτρησης σε Μηχανή Σύγκρισης πλακιδίων (Tesa Urc)», είναι η ανάπτυξη οδηγίας εργασίας για την διακρίβωση πλακιδίων με την μηχανή Tesa Urc, αλλά και η επεξεργασία των μετρήσεων ώστε να βρεθεί η μέθοδος που θα υπολογίζουμε την αβεβαιότητα για μετρήσεις σε αυτή τη μηχανή. Πιο συγκεκριμένα στο κάθε κεφάλαιο αυτής της διπλωματικής εργασίας αναφέρονται τα ακόλουθα:

Στο 2^ο Κεφάλαιο γίνεται αναφορά για την Μετροτεχνία, τις βασικές έννοιες και αρχές, απαραίτητες για την κατανόηση πιο σύνθετων εννοιών αργότερα. Γίνεται ακόμα μια σύντομη ανάλυση των δύο βασικών συστημάτων μονάδων, αλλά και του Διεθνούς Συστήματος Μονάδων που αφομοιώνει τα δύο παλιότερα και επίσης μια σύντομη αναφορά στο Ελληνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας και το έργο του και στο Μετροτεχνικό Εργαστήριο δηλαδή στον χώρο όπου έγιναν οι μετρήσεις των πλακιδίων. Καταγράφονται ο εξοπλισμός και οι χώροι του εργαστηρίου και γίνεται μια λεπτομερή αναφορά στο Χώρο Ελεγχόμενων Συνθηκών.

Στο 3^ο Κεφάλαιο γίνεται σαφής ο διαχωρισμός ανάμεσα σε πρωτότυπα και πρότυπα μετρήσεων, γίνεται αναφορά στα πρότυπα και πως τα χρησιμοποιούμε αλλά και στα όργανα μέτρησης που υπάρχουν γύρω μας, σε εργαστήρια και βιομηχανικούς χώρους.

Στο 4^ο Κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην ποιότητα, στην έννοια της προδιαγραφής και του ελέγχου των παραγόμενων προϊόντων. Επίσης μετά από μια γρήγορη εισαγωγή στην στατιστική, θα γίνει καταγραφή των βασικών εννοιών της. Τέλος θα ασχοληθούμε με την αξιολόγηση των συστημάτων μετρήσεων και συγκεκριμένα με την μέθοδο Gage R&R.

Στο 5^ο Κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην έννοια της αβεβαιότητας και του σφάλματος της μέτρησης και κάποιες βασικές έννοιες και αρχές, απαραίτητες για την κατανόηση πιο σύνθετων εννοιών αργότερα.

Στο 6^ο Κεφάλαιο γίνεται αναφορά στις μηχανές μέτρησης μήκους πρότυπων πλακιδίων με τη μέθοδο της σύγκρισης καθώς επίσης και στο τρόπο λειτουργίας τους. Επίσης γίνεται μια μικρή αναφορά στη μηχανή TESA UPC.

Στο 7^ο Κεφάλαιο γίνεται αναφορά στο τρόπο διεξαγωγής των μετρήσεων στο εργαστήριο, παρατίθενται οι μετρήσεις καθώς και τα αποτελέσματα της επεξεργασίας τους.

2 Μετροτεχνία – Μετρολογία

2.1 Βασικές Έννοιες

Μετρολογία ή μετροτεχνία είναι η επιστήμη των μετρήσεων. Το κύριο αντικείμενο με το οποίο ασχολείται η μετρολογία είναι η συστηματική προσέγγιση της ποσοτικοποίησης συγκεκριμένων ποιοτικών χαρακτηριστικών. Γενικότερα αν θέλαμε να δώσουμε μία διαδικασία που να περιγράφει αυτή τη προσέγγιση θα λέγαμε τα παρακάτω:

- 1^ο βήμα: Ορισμός πρότυπων μονάδων (ή μονάδων μέτρησης), οι οποίες επιτρέπουν τη μετατροπή γενικών εννοιών, για παράδειγμα μήκος, σε μια μορφή ποσότητας η οποία προσδιορίζεται, για παράδειγμα μέτρο.
- 2^ο βήμα: Χρήση οργάνων, τα οποία βαθμονομούνται με τις κατάλληλες μονάδες μέτρησης.
- 3^ο βήμα: Η διαδικασία της μέτρησης. Δηλαδή η χρήση αυτών των οργάνων για την εύρεση του κατά πόσο το συγκεκριμένο προϊόν ή η διαδικασία κατέχει κάποιο χαρακτηριστικό το οποίο θέλουμε να μελετήσουμε.

Όταν χρειάζεται να πούμε κάτι σε κάποιον για θέματα σχετικά με το μέγεθος, την ποσότητα, τη θέση, τις συνθήκες, το χρόνο τότε χρησιμοποιούμε τις μετρήσεις ώστε να γίνουμε κατανοητοί. Αυτό γίνεται για τους εξής βασικούς λόγους.

Πρώτον γιατί έτσι δίνεται μία σωστή επιστημονική περιγραφή. Έπειτα οι μετρήσεις χρειάζονται γιατί με αυτές κατασκευάζονται διάφορα τεμάχια/πράγματα τα οποία πρέπει να είναι εντός κάποιων δοσμένων ορίων και τέλος οι μετρήσεις χρειάζονται για να ελεγχθούν τα όρια που δόθηκαν πριν την κατασκευή. Αυτός είναι ο ρόλος του επιθεωρητή ή τεχνικού ποιότητας και του ποιοτικού ελέγχου. Για να γίνει αυτό απαιτούνται όργανα μέτρησης και ειδικοί επιστήμονες/τεχνίτες.

Στον έλεγχο, συγκρίνονται τα υπάρχοντα χαρακτηριστικά των προϊόντων που μας ενδιαφέρουν να ελέγξουμε με τα προδιαγεγραμμένα χαρακτηριστικά. Τι σημαίνει όμως έλεγχος;

Έλεγχος σημαίνει κατά πόσο το προς εξέταση αντικείμενο παρουσιάζει τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά (προδιαγραφές).

2.1.1 Είδη Ελέγχων

Υπάρχουν ο υποκειμενικός και ο αντικειμενικός έλεγχος. Ο υποκειμενικός έλεγχος γίνεται με την αντίληψη διά των αισθήσεων του ελεγκτή, χωρίς βοηθητικά όργανα. Εξακριβώνει με τις αισθήσεις του, κυρίως όραση και αφή αν κάποια συγκεκριμένα

χαρακτηριστικά του αντικειμένου είναι παραδεκτά, το αποτέλεσμα του έλεγχου αυτού είναι αν είναι αποδεκτό ή μη αποδεκτό το αντικείμενο.

Ο αντικειμενικός έλεγχος γίνεται με μετρητικά όργανα και ελεγκτήρες. Γίνεται μία σύγκριση μεταξύ της ποσότητας του χαρακτηριστικού του αντικειμένου και των προδιαγεγραμμένων ορίων. Στην προκειμένη περίπτωση δεν παίρνουμε κάποια αριθμητική τιμή, αλλά εξακριβώνουμε αν το αντικείμενο είναι αποδεκτό ή μη αποδεκτό. Δηλαδή συγκρίνουμε ένα μέγεθος σχετικά με όμοιο του, το οποίο λαμβάνεται ως πρότυπο. Το αποτέλεσμα είναι η τιμή μέτρησης.

2.1.2 Μέσα Έλεγχου

Τα μέσα ελέγχου υποδιαιρούνται σε τρεις ομάδες: μετρητικά όργανα, ελεγκτήρες και βοηθητικά μέσα. Όλα τα μετρητικά όργανα και οι ελεγκτήρες βασίζονται στη μέτρηση της διάστασης ενός μεγέθους. Τα όργανα μετρήσεως με ένδειξη έχουν κινητά μέρη, κινητές κλίμακες ή απαριθμητές.

Η μετρούμενη τιμή διαβάζεται άμεσα από τον τεχνικό. Οι ελεγκτήρες μετρούν τη διάσταση του εξεταζόμενου αντικείμενου. Βοηθητικά μέσα είναι μέσα τα οποία χρησιμοποιούνται για τα μετρητικά όργανα ή τους ελεγκτήρες πχ στηρίξεις.

2.2 Συστήματα μονάδων

Είναι παγκόσμια αρχή να ορίζεται η κατάλληλη μονάδα μέτρησης πριν από οποιαδήποτε μέτρηση για οποιοδήποτε αντικείμενο. Αποδεκτά διεθνώς είναι δύο συστήματα μονάδων: το Μετρικό και το Αγγλοσαξονικό.

Με κάποιες εξαιρέσεις, υιοθετήθηκε ένα νέο απλό σύστημα σε όλες τις χώρες, γνωστό ως "International System of Units" ή "SI". Οι μονάδες του "SI" βασίζονται στις μετρικές μονάδες.

2.2.1 Μετρικό σύστημα

Το μετρικό σύστημα (δεκαδικό ή γαλλικό) χρησιμοποιεί ως μονάδα το μέτρο [m] με τις υποδιαιρέσεις του. Κάθε μονάδα του μετρικού συστήματος είναι πολλαπλάσιο ή υποπολλαπλάσιο του 10 και για αυτό το σύστημα λέγεται και δεκαδικό. Αυτή η ιδιότητα το κάνει αρκετά εύχρηστο. Κάθε μονάδα του μετατρέπεται σε μικρότερη ή μεγαλύτερη του πολλαπλασιαζόμενη με μια δύναμη του 10.

2.2.2 Αγγλοσαξονικό σύστημα

Το σύστημα αυτό εφαρμόζεται ακόμα σε κάποιες αγγλοσαξονικές χώρες και χρησιμοποιεί ως μονάδα μετρήσεως τη γιάρδα (yard) και τις υποδιαιρέσεις της. Η

γiάρδα είναι ίση με 0,9144 m και διαιρείται σε τρία πόδια. Κάθε πόδι ισούται με 0,3048 m και διαιρείται σε δώδεκα ίντσες. Η ίντσα ισούται με 0,0254 m ή 2,54 cm ή 25,4 mm και συμβολίζεται με [in] ή με ["]]. Εκτός από τις ακέραιες υποδιαιρέσεις της ίντσας υπάρχουν και οι κλασματικές.

2.2.3 Διεθνές Σύστημα Μονάδων SI

Το Διεθνές Σύστημα Μονάδων SI (η συντομογραφία SI παράγεται από το αντίστοιχο στην γαλλική le Systeme International d'unites) αποτελεί ένα σύστημα έκφρασης συμβατικών μονάδων μέτρησης φυσικών μεγεθών.

Το SI έχει αντικαταστήσει τα παλιότερα συστήματα μονάδων της φυσικής MKS και CGS. Επιπλέον, χρησιμοποιείται και σε τεχνικές εφαρμογές σε μεγάλο ποσοστό του κόσμου έναντι παλαιότερων συστημάτων.

Το σύστημα αυτό αποτελείται από:

- Επτά βασικές μονάδες μέτρησης (πίνακας 2.1)
- Δύο συμπληρωματικές μονάδες για γωνίες (πίνακας 2.2)
- Ένα σύνολο μονάδων που προέρχονται από τις βασικές και συμπληρωματικές
- Προτυποποιημένη ορολογία δεκαδικών πολλαπλασίων και υποπολλαπλασίων όλων των μονάδων μέτρησης

Πίνακας 2.1: Βασικές μονάδες Συστήματος SI

Μέγεθος	Σύμβολο	Μονάδα
Μήκος	l	Meter
Μάζα	m	Kilogram
Χρόνος	t	Second
Θερμοκρασία	θ ή T	°C ή Kelvin
Ένταση ρεύματος	I	Ampere
Φωτεινή ισχύς	-	Candela
Ποσόν ύλης	-	Mole

Πίνακας 2.2: Συμπληρωματικές μονάδες Συστήματος SI

Μέγεθος	Σύμβολο	Μονάδα
Επίπεδη γωνία	ακτίνιο	Rad
Στερεά γωνία	στερακτίνιο	Sr

2.3 Πρωτότυπα και πρότυπα μέτρησης

Οι επτά βασικές μονάδες μέτρησης και δύο συμπληρωματικές του SI συστήματος ορίζονται παρακάτω(DIN1301 Part 1) και αποτελούν πρωτότυπα μέτρησης. Όλες οι μονάδες ορίζονται με βάση φυσικά φαινόμενα και επομένως μπορούν να αναπαραχθούν και εγκατασταθούν τοπικά, όπου απαιτείται. Εξαιρέση αποτελεί το χιλιόγραμμα που ορίζεται ως η μάζα ενός ειδικού αντικειμένου.

Πίνακας 2.3: Βασικές και Συμπληρωματικές μονάδες του συστήματος SI

Μονάδα	Σύμβολο	Μονάδα
Χιλιόγραμμα	kg	Το Χιλιόγραμμα είναι η μάζα του πρότυπου χιλιόγραμμου, ενός κυλίνδρου από ιριδιούχο λευκόχρυσο που φυλάσσεται στο Διεθνές Γραφείο Μέτρων και Σταθμών των Σεβρών στη Γαλλία.
Μέτρο	m	Το Μέτρο είναι η απόσταση την οποία διανύει το φως στο κενό σε χρονικό διάστημα ίσο με $1/299.792.458$ δευτερόλεπτα.
Δευτερόλεπτο	s	Το Δευτερόλεπτο είναι η χρονική διάρκεια $9.192.631.770$ περιόδων της ακτινοβολίας που αντιστοιχεί στην μετάβαση δύο υπέρλεπτων ενεργειακών σταθμών της κατάστασης ελάχιστης ενέργειας του ατόμου του καϊσίου-133 (^{133}Cs) σε θερμοκρασία 0 K.
Ampere	A	Το Ampere είναι το σταθερό ηλεκτρικό ρεύμα το οποίο όταν διατηρείται σε δύο ευθύγραμμους παράλληλους αγωγούς απείρου μήκους και αμελητέας διατομής, τοποθετημένους σε απόσταση 1 μέτρου στο κενό, θα παρήγαγε μεταξύ αυτών των αγωγών μία δύναμη ίση με 2×10^{-7} Newton ανά μέτρο μήκους.
Βαθμός Kelvin	K	Το Kelvin είναι το κλάσμα $1/273,16$ της απόλυτης θερμοκρασίας του τριπλού σημείου του νερού.
Mole	mol	Το Mole είναι η ποσότητα μίας ουσίας που περιέχει τόσες στοιχειώδεις οντότητες όσα είναι τα άτομα σε $0,012$ χιλιόγραμμα καθαρού άνθρακα-12 (^{12}C).
Candela	cd	Η Candela είναι η φωτεινή ένταση, σε μία δεδομένη διεύθυνση, μίας πηγής που εκπέμπει μονοχρωματική ακτινοβολία με συχνότητα 540×10^{12} Hz και έχει ένταση ακτινοβολίας στην κατεύθυνση αυτή ίση με $1/683$ Watt ανά στερακτίνο.
Ακτίνιο	rad	Το Ακτίνιο είναι εκείνη η επίπεδη γωνία η οποία όταν γίνει επίκεντρη ορίζει τόξο, σε οποιοδήποτε

		κύκλο, με μήκος ίσο με την ακτίνα του.
Στερακτίσιο	sr	Το Στερακτίσιο είναι εκείνη η στερεά γωνία η οποία όταν γίνει επίκεντρη ορίζει σφαιρική περιοχή, σε οποιαδήποτε σφαίρα, με εμβαδόν ίσο με το τετράγωνο της ακτίνας της.

Σε όλες τις βιομηχανικά ανεπτυγμένες χώρες υπάρχει ένα Γραφείο Προτύπων, το οποίο είναι υπεύθυνο για τη δημιουργία και συντήρηση προτύπων αναφοράς. Στη συνέχεια, τα διάφορα εθνικά γραφεία προτύπων όπως και άλλα εργαστήρια ανέπτυξαν πρωτεύοντα πρότυπα αναφοράς που ενσωματώνουν τις μονάδες μέτρησης, που αντιστοιχούν σ' αυτές τις πρότυπες μεθόδους μέτρησης.

Το πρωτεύον πρότυπο έχει τις υψηλότερες μετρολογικές ιδιότητες και η τιμή του είναι αποδεκτή χωρίς να γίνεται αναφορά σε άλλα πρότυπα του ίδιου μεγέθους. Επειδή στην πράξη δεν είναι δυνατόν για τα εθνικά Γραφεία Προτύπων να διακρίβωνουν και να πιστοποιούν την ακρίβεια πελώριου όγκου εξαρτημάτων μέτρησης και ελέγχου, κατέφυγαν σε ιεράρχηση δευτερευόντων προτύπων και εργαστηρίων με τη βοήθεια ενός συστήματος αποδεικτικών πιστοποίησης ακριβείας. Τα πρωτεύοντα πρότυπα αναφοράς αποτελούν την κορυφή ενός συνόλου ιεραρχημένων προτύπων αναφοράς.

Ο όρος μετρητικός εξοπλισμός βιομηχανίας περιέχει όλα τα όργανα που χρησιμοποιούνται από τεχνικούς εργαστηρίων, τεχνίτες και ελεγκτές για τη ρύθμιση διεργασιών παραγωγής προϊόντων καθώς και για τη μέτρηση χαρακτηριστικών προϊόντων κατά τον ποιοτικό έλεγχο. Τα όργανα αυτά διακρίβωνονται με τα πρότυπα εργασίας. Με την σειρά τους, τα πρότυπα εργασίας συγκρίνονται με τα πρωτεύοντα πρότυπα αναφοράς μέσω ενός ή περισσότερων ενδιάμεσων δευτερευόντων προτύπων αναφοράς.

2.4 Ελληνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας

Το Ελληνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας (Ε.Ι.Μ.) 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 τη βασική υποδομή ποιότητας για την Ελλάδα.

Ο ΕΛ.Ο.Τ. ως φορέας τυποποίησης, εκδίδει τα σχετικά πρότυπα και τις προδιαγραφές που αφορούν στην παραγωγή και τον έλεγχο προϊόντων και υλικών.

Το Ε.ΣΥ.Δ. είναι ο φορέας, ο οποίος παρέχει διαπίστευση σε φορείς πιστοποίησης και εργαστήρια διακριβώσεων και δοκιμών.

Τέλος το Ε.Ι.Μ. είναι ο ανώτατος φορέας του κράτους σε θέματα μετρολογίας και είναι ο αντιπρόσωπος της χώρας στους διεθνείς οργανισμούς μετρολογίας. Βασικός σκοπός του είναι η στήριξη των υπαρχόντων μετρολογικών εργαστηρίων της

χώρας, κάνοντας διακριβώσεις των προτύπων στα Εθνικά Εργαστήρια Μεγεθών του Ε.Ι.Μ.

2.5 Ορολογία - Μετρολογικές έννοιες

- Μετρούμενο μέγεθος (M) στη διαστατική μετρολογία είναι το μήκος ή η γωνία που πρόκειται να μετρηθεί.
- Ανάγνωση ή Ένδειξη είναι η πληροφορία που σχετίζεται με τη μετρημένη τιμή και γίνεται απευθείας αντιληπτή οπτικά, ακουστικά ή με άλλο μέσο. Στα όργανα μέτρησης με ένδειξη, γίνεται διάκριση μεταξύ αναλογικής, ψηφιακής ή άλλου τύπου ένδειξης. Επίσης, η ένδειξη μπορεί να καταγραφεί με τη βοήθεια κατάλληλης καταγραφικής συσκευής. Αναλογική είναι η ένδειξη μιας γραμμικής κλίμακας. Ψηφιακή είναι η ένδειξη υπό μορφή σειριακών ψηφίων (μικρότερη συγκέντρωση του παρατηρητή από την περίπτωση αναλογικής και δεν απαιτούνται εκτιμήσεις παρεμβολών). Η άλλου τύπου ένδειξη βοηθά απλώς να προσδιοριστεί το εύρος της μετρημένης τιμής χωρίς να είναι δυνατή η ανάγνωση της ακριβούς τιμής.
- Ρύθμιση σημείου αναφοράς είναι η ρύθμιση μιας συσκευής μέτρησης σε μία ορισμένη θέση (θέση αναφοράς) βάσει προτύπων αναφοράς. Πολλές φορές η θέση αυτή είναι η μηδενική.
- Μετρημένη τιμή (measured value) είναι η τιμή του μήκους ή της γωνίας που προκύπτει μετά από μία μέτρηση. Έχει αριθμητική τιμή και μονάδα και σε ειδικές περιπτώσεις και πρόσημο. Σε κάθε μετρημένη τιμή υπάρχει αβεβαιότητα μέτρησης (DIN 2257 Part 2).
- Αποτέλεσμα μέτρησης προκύπτει από μία ή περισσότερες μετρημένες τιμές σύμφωνα με ορισμένη εκ των προτέρων σχέση και αντιπροσωπεύει την πραγματική διάσταση, λαμβάνοντας υπόψη και την αβεβαιότητα της μέτρησης.
- Ευαισθησία: Στην περίπτωση των οργάνων με αναλογική ένδειξη, η ευαισθησία (E) ισούται με το λόγο της διαφοράς της ένδειξης (ΔL) προς τη μεταβολή της ποσότητας που μετρείται (και που προκάλεσε τη συγκεκριμένη διαφορά ένδειξης ΔM) : $E = \Delta L / \Delta M$.
- Στα όργανα μέτρησης μήκους, μερικές φορές χρησιμοποιείται ο όρος μεγέθυνση (V) αντί της ευαισθησίας (E). Στα όργανα με ψηφιακή ένδειξη, η ευαισθησία (E) ισούται με το λόγο της μεταβολής (ΔZ) των ψηφιακών διαιρέσεων προς τη μεταβολή της μετρούμενης ποσότητας (ΔM), που προκάλεσε την εν λόγω μεταβολή (ΔZ) : $E = \Delta Z / \Delta M$.
- Εύρος ανάγνωσης ή εύρος ένδειξης οργάνου είναι η διαφορά μεταξύ της υψηλότερης και χαμηλότερης δυνατότητας ένδειξης που έχει το όργανο μέτρησης.
- Εύρος μετρήσεων είναι η διαφορά μεταξύ μεγαλύτερης και μικρότερης μετρημένης τιμής κατά τη μέτρηση μιας συγκεκριμένης ποσότητας. Το εύρος μέτρησης είναι μέρος του εύρους ή σπανίως όλο το εύρος ανάγνωσης-ένδειξης του οργάνου μέτρησης.

- Δύναμη μέτρησης είναι η δύναμη, που ασκείται στο υπο-μέτρηση αντικείμενο από εξάρτημα της συσκευής μέτρησης κατά τη διάρκεια της μέτρησης.
- Σφάλμα υστέρησης συσκευής μέτρησης με ένδειξη είναι η διαφορά ένδειξης για τη τιμή της ποσότητας που μετριέται, όταν η μέτρηση διεξάγεται με αυξανόμενες τιμές ένδειξης και με ελαττούμενες τιμές ένδειξης. Για την εκτίμηση του σφάλματος υστέρησης απαιτούνται οδηγίες.
- Οδηγίες μέτρησης: εξειδικεύουν τις συνθήκες μέτρησης καθώς και την πορεία της μετρητικής διαδικασίας.

2.5.1 Αρχή Abbe

Θα μπορούσε να ονομαστεί και αρχή σύγκρισης αφού όλες οι μετρήσεις δεν είναι τίποτε άλλο παρά η σύγκριση μιας άγνωστης ποσότητας με μία γνωστή. Οι μέθοδοι σύγκρισης ποικίλουν, όμως η αρχή λέει ότι μέγιστη ακρίβεια επιτυγχάνεται μόνο όταν το πρότυπο το οποίο είναι γνωστή ποσότητα βρίσκεται στην ίδια ευθεία με τον άξονα ,δηλαδή τη γραμμή μέτρησης του υπό μέτρηση αντικειμένου.

2.5.2 Πρότυπο ISO 17025

Το πρότυπο ISO 17025 χρησιμοποιείται για τη δημιουργία, οργάνωση και διαπίστευση εργαστηρίων μετρήσεων, δοκιμών διακριβώσεων. Διαπίστευση ενός εργαστηρίου από έναν ανεξάρτητο επίσημο φορέα (που στην Ελλάδα συνηθίζεται να είναι το Ε.ΣΥ.Δ. – Εθνικό Συμβούλιο Διαπίστευσης) σύμφωνα με το πρότυπο ISO 17025 σημαίνει ότι το εργαστήριο έχει τις τεχνικές και διοικητικές ικανότητες να διεξάγει συγκεκριμένες δοκιμές, μετρήσεις και διακριβώσεις σύμφωνα με συγκεκριμένες πρότυπες ή ενδο-εργαστηριακές μεθόδους, με συγκεκριμένο εξοπλισμό και εντός συγκεκριμένων και δηλωμένων ορίων ακρίβειας.

Η διαπίστευση ενός εργαστηρίου αποτελεί την επίσημη αναγνώριση της τεχνικής επάρκειας και της αξιοπιστίας του, χαρακτηριστικά ιδιαίτερα σημαντικά για τη διεξαγωγή δοκιμών που σχετίζονται με δημόσιες και ιδιωτικές επιχειρήσεις και προϊόντα ή κατασκευές.

Αυτό το γεγονός συνεπάγεται ότι η παροχή των υπηρεσιών του σε επίπεδο αναλύσεων είναι τόσο αναγνωρίσιμη και αξιόπιστη που τα αποτελέσματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους πελάτες του σε οποιαδήποτε διαφωνία, αμφισβήτηση ή διατροφική κρίση. Κάτι τέτοιο είναι ομολογουμένως η ειδοποιός διαφορά έναντι του ανταγωνισμού και το κίνητρο των επιχειρήσεων με αποτέλεσμα την αύξηση του πελατειακού εύρους. Τα οφέλη από την εφαρμογή ενός τέτοιου συστήματος είναι:

- Αύξηση του κύρους του εργαστηρίου σε εθνικό και διεθνές επίπεδο
- Έγκυρα αποτελέσματα, τα οποία μπορεί ο πελάτης – εσωτερικός και εξωτερικός – να εμπιστευθεί

- Καλύτερη οργάνωση του εργαστηρίου
- Αναγνώριση της ικανότητας του προσωπικού
- Αναγνώριση των δυνατοτήτων του εξοπλισμού του εργαστηρίου
- Διερεύνηση των δυνατοτήτων βελτίωσης των παρεχόμενων υπηρεσιών
- Αύξηση του πελατολογίου λόγω της συγκριτικής διαφοράς με τον ανταγωνισμό (διαπιστευμένο εργαστήριο σε σχέση με τα συμβατικά)
- Ανάληψη εξειδικευμένων εργασιών για φορείς (Κρατικούς ελεγκτικούς φορείς-Ιδιωτικές επιχειρήσεις), ιδιαίτερα σε περιοχές που απουσιάζουν κρατικά εργαστήρια ελέγχων.

Οι τομείς που καλύπτονται κατά την εγκατάσταση ενός Συστήματος σύμφωνα με το πρότυπο ISO 17025 παρατίθενται παρακάτω στον Πίνακα 9.1 :

Πίνακας 2.4: Τομείς κάλυψης του προτύπου ISO 17025

ΤΟΜΕΑΣ	ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ
Ανεξαρτησία, αμεροληψία, ακεραιότητα και εμπιστευτικότητα	Εφαρμογή Διαδικασιών για τη διασφάλιση των διενεργούμενων εξετάσεων και δοκιμών από εξωτερικούς παράγοντες, καθώς και διασφάλιση αμερόληπτου τρόπου διενέργειάς τους. Εξασφάλιση της εμπιστευτικότητας των πληροφοριών, που λαμβάνονται κατά τη διάρκεια των δοκιμών.
Διαχείριση και οργάνωση	Καθορισμός ευθυνών και αρμοδιοτήτων τεχνικού υπευθύνου εργαστηρίου, επιβλεπόντων και γενικότερα προσωπικού.
Προσωπικό	Επάρκεια μόνιμου έμπειρου προσωπικού, με κατάλληλα προσόντα, εγκατάσταση τεκμηριωμένου συστήματος κατάρτισης προσωπικού. Εκπαίδευση προσωπικού στα ανατιθέμενα αντικείμενα εργασίας.
Εγκαταστάσεις και εξοπλισμός	Καταλληλότητα περιβάλλοντος για τη διενέργεια δοκιμών, εισαγωγή κανόνων πρόσβασης και προστασίας εγκαταστάσεων και εξοπλισμού. Καθορισμός αρχείων εξοπλισμού, οδηγίες προληπτικής συντήρησης εξοπλισμού, πρόγραμμα διακρίβωσης εξοπλισμού και υλικών αναφοράς, διαδικασίες για χειρισμό ελαττωματικού εξοπλισμού.
Διαδικασίες και μέθοδοι εργασίας	Ορισμός οδηγιών χρήσης και λειτουργίας εξοπλισμού, μέθοδοι και τεχνικές προδιαγραφές δοκιμών και χειρισμού δοκιμών. Τεκμηρίωση μη προτύπων μεθόδων και διαδικασιών δοκιμών. Διασφάλιση τεχνικών ηλεκτρονικής επεξεργασίας δεδομένων.
Καθορισμός Σφαλμάτων λόγω Συνθηκών	Διαδικασίες για την περιγραφή της μεθοδολογίας καθορισμού του σφάλματος, που υπεισέρχεται στις δοκιμές, λόγω των περιβαλλοντικών συνθηκών.
Εκθέσεις δοκιμών	Δημιουργία μεθοδολογίας σύνταξης εκθέσεων αποτελεσμάτων δοκιμών. Καθορισμός περιεχομένων εκθέσεων και διαδικασία διορθώσεων ή προσθηκών στις

	εκθέσεις.
Αρχεία	Καθορισμός περιεχομένων και μεθόδου αρχειοθέτησης των αρχείων, που να επιτρέπει την επανάληψη των δοκιμών. Τρόπος φύλαξης των αρχείων.
Χειρισμός δειγμάτων και αντικειμένων προς δοκιμή	Μονοσήμαντη ταυτοποίηση των προς δοκιμή ή διακρίβωση δειγμάτων και αντικειμένων, εισαγωγή διαδικασιών για την αποφυγή αλλοιώσεων ελεγχόμενων δειγμάτων ή αντικειμένων και για την ελεγχόμενη αποθήκευση δειγμάτων.
Υπεργολαβία	Διασφάλιση και απόδειξη της ικανότητας του υπεργολάβου να εκτελέσει ικανοποιητικά την ανατιθέμενη εργασία, τήρηση καταλόγου υπεργολάβων.
Συνεργασία	Καθορισμός τρόπου συνεργασίας του εργαστηρίου με τους πελάτες του, με τους φορείς χορήγησης της διαπίστευσης, καθώς και με άλλα εργαστήρια, που εκπονούν πρότυπα και κανονισμούς για την ανταλλαγή πληροφοριών.

2.5.3 Πρότυπο ISO 9001

Το ISO 9001:2008 είναι ένα Σύστημα Διαχείρισης της Ποιότητας από τον Διεθνή Οργανισμό Προτύπων, το οποίο αναφέρεται στο σχεδιασμό, ανάπτυξη, παραγωγή και εγκατάσταση ενός προϊόντος ή υπηρεσίας, καλύπτοντας παράλληλα και το στάδιο της εξυπηρέτησης και υποστήριξης. Εστιάζει στην Διοικητική και Οργανωτική πλευρά μιας επιχείρησης ή ενός εργαστηρίου.

Το Σύστημα Διασφάλισης Ποιότητας αποτελεί μια υγιή μορφή διοίκησης και διαχείρισης που μπορεί να συντελέσει σημαντικά στη αύξηση της παραγωγικότητας και αποτελεί το καλύτερο εργαλείο για να παραχθεί το προϊόν σωστά από την πρώτη φορά, κατανέμοντας ομοιόμορφα και με σαφή τρόπο τις αρμοδιότητες στους υπεύθυνους και εξασφαλίζοντας ικανοποιητική απόδοση από τους εργαζόμενους.

Η εφαρμογή ενός Συστήματος Διασφάλισης Ποιότητας συμβάλει στη βελτίωση της ποιότητας του παραγόμενου προϊόντος και εξασφαλίζει τη σταθερότητα της ήδη υπάρχουσας ποιότητας και την αξιοπιστία των προϊόντων και υπηρεσιών του εργαστηρίου, γεγονός που έχει σημασία τόσο για τα στελέχη και τους εργαζομένους, όσο και για τους άλλους φορείς που συνεργάζονται με αυτό. Η επιτυχία των παραπάνω απαιτεί την καθοδήγηση της Διοίκησης, τη σωστή και συνεχή εκπαίδευση του προσωπικού και τη συστηματική εφαρμογή των εσωτερικών επιθεωρήσεων.

Η εφαρμογή των προτύπων της σειράς ISO 9001:2008 προσκομίζει σημαντικά οφέλη στο εργαστήριο, τα ακόλουθα:

- Κατοχύρωση της εμπιστοσύνης των πελατών στο εργαστήριο ότι αυτό μπορεί να διατηρήσει σταθερή την ποιότητα των προσφερόμενων προϊόντων και υπηρεσιών.
- Διασφάλιση της ποιότητας σε όλα τα επίπεδα λειτουργίας του, με αποτέλεσμα την άμεση αύξηση της αποδοτικότητας, ελαχιστοποίηση των απωλειών και του κόστους, ελάττωση του χρόνου και του κόστους εργασίας και αποφυγή επανάληψης των λανθασμένων κινήσεων, μέσω των διαδικασιών τεκμηρίωσης.
- Ανάπτυξη, ενίσχυση και βελτίωση των προμηθειών, της παραγωγικής διαδικασίας, και των υπηρεσιών και πληρέστερη ικανοποίηση των πελατών.
- Αύξηση της ανταγωνιστικότητας του.

2.6 Μετροτεχνικό εργαστήριο ΕΜΠ

2.6.1 Μετροτεχνικό Εργαστήριο

Το Μετροτεχνικό Εργαστήριο αποτελεί οργανωτική μονάδα του ΕΜΠ από το 1962 οπότε και ιδρύθηκε (ΦΕΚ αριθμός φύλλου 32, Τεύχος 1, 22/02/1962, Διάταγμα 132). Αρχικά εγκαταστάθηκε στα Κτίρια του ΕΜΠ στην Πατησίων, ενώ το 1997 μετεγκαταστάθηκε στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου.

Το Μετροτεχνικό Εργαστήριο αποτελεί επί σειρά ετών το σύνδεσμο μεταξύ της ακαδημαϊκής διδασκαλίας και της πρακτικής εφαρμογής των όσων διδάσκονται στα μαθήματα του Κύκλου Σπουδών του Μηχανικού Παραγωγής της Σχολής των Μηχανολόγων Μηχανικών του ΕΜΠ.

2.6.2 Γενικά στοιχεία

Το Μετροτεχνικό Εργαστήριο έχει υπολογίσιμη παρουσία στον χώρο των μετρήσεων ακριβείας και μεγάλο ερευνητικό έργο. Με την ολοκλήρωση του χώρου ελεγχόμενων συνθηκών και τον εξοπλισμό του χώρου αυτού το εργαστήριο έχει διαπιστευθεί κατά το πρότυπο ΕΛΟΤ EN ISO/IEC 17025 : 2005 ώστε να παρέχει υπηρεσίες δοκιμών στην βιομηχανία.

Τα στελέχη του εργαστηρίου έχουν μεγάλη πείρα σε θέματα μη καταστροφικών ελέγχων ποιότητας και παρέχουν υπηρεσίες:

- Σε ερευνητικά έργα όπου απαιτούνται μετρήσεις χαρακτηριστικών μεγάλης ακριβείας.
- Σε επιχειρήσεις για την εκτέλεση μετρήσεων ακριβείας και τη δημιουργία εργαστηρίων μετρήσεων και ελέγχου των κατασκευών τους.
- Σε κρατικούς οργανισμούς και ιδιωτικές επιχειρήσεις με διενέργεια μετρήσεων ακριβείας, παροχή υποδείξεων και συμβουλών επί σχετικών θεμάτων ώστε να γίνεται δυνατή η μέτρηση και η βελτίωση της ποιότητας των μηχανουργικών και άλλων κατασκευών.

Ειδικότερα, το Μετροτεχνικό Εργαστήριο παρέχει τις εξής μετρήσεις:

- Μετρήσεις ακριβείας μήκους και γωνιών,
- Έλεγχο επιπεδότητας και παραλληλότητας επιφανειών,
- Έλεγχο κυκλικότητας, ομοαξονικότητας και κυλινδρικότητας αξόνων,
- Μετρήσεις τραχύτητας επιφανειών,
- Ανάστροφο σχεδιασμό εξαρτημάτων (reverse engineering)
- Έλεγχο οδοντωτών τροχών και σπειρωμάτων,
- Έλεγχο αξόνων και τρυμάτων,
- Έλεγχο συνέχειας των υλικών με υπερήχους,,
- Παραγωγή προτύπου μήκους με συμβολή μονοχρωματικού φωτός,
- Μετρήσεις εξωτερικών διαστάσεων 0 x 600 mm,
- Μετρήσεις εσωτερικών διαστάσεων 0,5 x 450 mm,
- Μετρήσεις εσωτερικών και εξωτερικών σπειρωμάτων σύμφωνα με το ISO 286,
- Μετρήσειςελεγκτήρωναξόνων,
- Μετρήσειςελεγκτήρωντριμμάτων,
- Μετρήσειςελεγκτήρωνσπειρωμάτωνσύμφωνα με ANSI/ASME B1.2, BS 84, BS 919, DIN 13, ISO 228-1, DIN 40431.

Ταυτόχρονα, το ερευνητικό προσωπικό του Μετροτεχνικού Εργαστηρίου δραστηριοποιείται σε ερευνητικά έργα ή έργα παροχής υπηρεσιών, στους τομείς:

- Ανάπτυξη και εφαρμογή μεθοδολογιών προγραμματισμού έργων (Project Management).
- Εκπόνηση μελετών Διαχείρισης Κινδύνων (Risk Management) στο πλαίσιο της υλοποίησης στρατηγικών επιχειρησιακών αποφάσεων.
- Ανάπτυξη και εφαρμογή μεθοδολογιών Διαχείρισης Κινδύνων στον τομέα των Έργων (Project Risk Management)
- Ανάπτυξη και εφαρμογή μεθοδολογιών Διαχείρισης Κινδύνων στον τομέα των Συστημάτων Διαχείρισης Επιχειρησιακών Πόρων (ERP Systems).σε συνεργασία με τη Μονάδα Βιομηχανικού Λογισμικού του Εργαστηρίου Οργάνωσης Παραγωγής)

Το Μετροτεχνικό Εργαστήριο βρίσκεται στις εγκαταστάσεις της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών στο Κτήριο Ν της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου.

2.6.3 Στελέχωση

Η στελέχωση του Μετροτεχνικού Εργαστηρίου αποτελείται από τα παρακάτω μέλη:

Μόνιμο προσωπικό:

- Παππάς Ιωάννης - Ομ. Καθηγητής
- Λεώπουλος Βρασίδης (Διευθυντής του Εργαστηρίου) - Επ. Καθηγητής
- Γεωργίου Αρίστος – ΕΕΔΙΠ
- Τσόγκας Χαράλαμπος - ΙΔΑΧ - Διοικητικοί

- Χαμηλομάτης Ευάγγελος – ΙΔΑΧ – Διοικητικοί
- Χατζηστέλιος Γεώργιος – ΙΔΑΧ - Διοικητικοί
- Λούτζης Γεράσιμος

Διδάσκοντες / Μεταδιδακτορικοί Συνεργάτες

- Βουλγαρίδου Δήμητρα - Μεταδιδακτορικός Συνεργάτης
- Κηρυττόπουλος Κωνσταντίνος - Μεταδιδακτορικός Συνεργάτης
- Διαμάντας Βίκτωρ–Υποψήφιος Διδάκτορας
- Πουστουρλή Αικατερίνη–Υποψήφια Διδάκτορας

2.6.4 Εξοπλισμός

Το εργαστήριο διαθέτει όργανα και μηχανές ακριβείας μετρήσεως μηκών, γωνιών, ελέγχου επιπεδότητας και παραλληλότητας επιφανειών, συσκευή μετρήσεως τραχύτητας επιφανειών, όργανα ελέγχου κωδάκων, οδοντωτών τροχών και σπειρωμάτων, σειράς ελεγκτήρων και αντελεγκτήρων, συσκευή ελέγχου της συνέχειας των υλικών με υπερήχους, συσκευή παραγωγής προτύπου μήκους με συμβολή μονοχρωματικού φωτός, κ.α.

Ειδικότερα, εκτός του υπάρχοντος εξοπλισμού, με την πραγματοποίηση της παρούσας αναβάθμισης εξοπλίστηκε επιπρόσθετα με:

- Μετρητική μηχανή τύπου Universal Μεγάλης Ακρίβειας (0-100)mm Απόλυτη μέτρηση (absolute measurement)
(100-640)mm Συγκριτική μέτρηση(differential measurement)
- Μηχανή Μέτρησης Συντεταγμένων (CMM) Ακρίβειας (700X700X500)mm
- TESA UPC Gage Block Comparator
- TESAVISIO 300 vision μετρητικό σύστημα (300x200)mm (X-Y), 150mm (Z)
- TESA-Hite 600 (0-600)mm measuring range, 0.020mm accuracy

2.6.5 Χώροι

Οι χώροι που διαθέτει το εργαστήριο είναι οι ακόλουθοι:

- X1:Γραφείο Διευθυντή Εργαστηρίου (Κτήριο Ε, 1^{ος} όροφος)
- X2: Γραφείου Υπευθύνου Ποιότητας (Κτήριο Ε, 1^{ος} όροφος)
- X3: Γραφείου Τεχνικού Υπευθύνου & Υπευθύνου Διαχείρισης Εξοπλισμού (Κτήριο Ν, 1^{ος} όροφος)
- X4: Γραφείο Υπευθύνου Εξυπηρέτησης Πελατών και Υπευθύνου Προμηθειών (Κτήριο Ν, ισόγειο)
- X5: Χώρος Ελεγχόμενων Συνθηκών (Κτήριο Ν, υπόγειο)
- X6 Βοηθητικός Χώρος Αίθουσας Ελεγχόμενων Συνθηκών (Κτήριο Ν, υπόγειο)
- X7: Χώρος Εργαστηριακών Ασκήσεων (Κτήριο Ν, υπόγειο)

2.6.6 Χώρος Ελεγχόμενων Συνθηκών

Για την δημιουργία ελεγχόμενων συνθηκών για διαστασιακές μετρήσεις ακριβείας και την έκδοση πιστοποιητικών διακρίβωσης με καταγεγραμμένη την ακρίβεια των μετρήσεων και υπολογισμένη την αβεβαιότητά τους έχει δημιουργηθεί χώρος ελεγχόμενων συνθηκών. Οι δυνατότητες του χώρου αυτού πληρούν τις πιο κάτω συνθήκες:

- Σταθερή θερμοκρασία
- Απαλλαγή από δονήσεις
- Ελεγχόμενη υγρασία αέρα
- Καθαριότητα και απαλλαγή από σκόνη
- Ικανοποιητικός χώρος για άνετη εργασία

Ειδικότερα η ρύθμιση της θερμοκρασίας γίνεται αυτόματα από σύστημα κλιματισμού. Η θερμοκρασία διατηρείται σε όριο δυνατών αποκλίσεων ± 0.5 °C από την κανονική θερμοκρασία των 20 °C. Οι τοίχοι τα δάπεδα και η οροφή είναι κατάλληλα θερμικά μονωμένα. Η εισαγωγή του θερμού ή του ψυχρού αέρα γίνεται από την οροφή ή το δάπεδο με μικρή ταχύτητα για την αποφυγή στροβιλισμών που έχουν ως αποτέλεσμα την ανομοιόμορφη κατανομή της θερμοκρασίας στο χώρο. Έχουν τοποθετηθεί θερμομέτρα ακριβείας σε διάφορα σημεία του εργαστηρίου για έλεγχο του αυτόματου συστήματος ρύθμισης της θερμοκρασίας. Αν η σχέση υγρασίας αέρος υπερβαίνει το 50 ± 2 % τότε τα μηχανήματα θα διαβρωθούν. Προβλέπεται αυτόματη ρύθμιση υγρασίας από το σύστημα του κλιματισμού. Το σύστημα κλιματισμού έχει ενσωματωμένα φίλτρα ώστε να αφαιρείται η σκόνη από τον αέρα. Υπάρχει προθάλαμος εισόδου με σύστημα "air lock" με σκοπό την διατήρηση των ελεγχόμενων συνθηκών μετρήσεων στην αίθουσα του εργαστηρίου. Ο χώρος είναι απαλλαγμένος από δονήσεις, συνθήκη πολύ σημαντική για ακριβείς μετρήσεις. Η τοποθέτηση των μηχανημάτων είναι σε μονομπλόκ από τσιμέντο. Ελαφρές δονήσεις από το κτίριο στο πάτωμα με εύρος 1Hz - 100 Hz αποσβένονται από μονωτικά ISOLATOR μαξιλάρια κατασκευασμένα από μαλακό λάστιχο. Το αντικραδασμικό δάπεδο έχει διαστάσεις 4x4 m και είναι ανεξάρτητο από το υπόλοιπο κτίριο. Ο χώρος ελέγχεται για δονήσεις με επιταχυνσιόμετρα.

Επίσης στο χώρο επικρατεί καθαριότητα και απαλλαγή από σκόνη για να μη φθείρονται τα μηχανικά μέρη και δημιουργούνται ορατές γρατσουνιές. Τοποθετήθηκε αντιστατικό δάπεδο ώστε να αποφεύγεται η δημιουργία σκόνης. Πάτωμα και οροφή είναι βαμμένα λευκά. Το δάπεδο έχει επίστρωση από αγωγίμο εποξειδικό σύστημα.

Υπάρχει ικανοποιητικός χώρος για άνετη εργασία και διαθέσιμος χώρος για τα προς μέτρηση κομμάτια και όλα τα αντικείμενα που πρέπει να τοποθετούνται για ορισμένες ώρες στο χώρο ελεγχόμενων συνθηκών ώστε να επιτευχθεί εξίσωση θερμοκρασίας. Έχουν τοποθετηθεί δύο πάγκοι από γρανίτη βαρέως τύπου διαστάσεων 3x1x3 m.

Σαν οδηγός έχει χρησιμοποιηθεί η Γερμανική Προδιαγραφή VDI/VDE 2627 Blatt 1, που είναι η μοναδική προδιαγραφή για χώρους μετρήσεων στον κόσμο.

Ιδιαίτερη προσοχή έχει δοθεί στον έλεγχο των δύο βασικότερων περιβαλλοντικών παραμέτρων που επηρεάζουν τις διαστασιακές μετρήσεις: τη ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ και τις ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΙΣ.

2.6.7 Κύριος εξοπλισμός

Είναι τα μηχανήματα που πραγματοποιούν μετρήσεις. Αυτά είναι η Mahr ULM OPAL 600, η μηχανή τρισδιάστατων μετρήσεων DEA CMM, η TESA VISIO 300 και η TESAUPC.

Φωτογραφίες μηχανημάτων εργαστηρίου:



Εικόνα 2.1: Mahr ULM OPAL 600



Εικόνα 2.2: DEA CMM



Εικόνα 2.3: TESA VISIO 300



Εικόνα 2.4: TESA UPC

2.6.8 Βοηθητικός εξοπλισμός

Είναι ο εξοπλισμός που δεν λαμβάνει άμεσα μέρος στις μετρήσεις. Τέτοιος εξοπλισμός είναι αισθητήρες θερμοκρασίας και υγρασίας, Η/Υ του εργαστήριου, καταγραφής συνθηκών, επιταχυνσιόμετρα, συμπιεστές αέρα.

2.6.8.1 Αισθητήρες

Ο χώρος είναι εξοπλισμένος με εννέα αισθητήρες θερμοκρασίας. Οι 8 από αυτούς βρίσκονται στις τέσσερις γωνίες του χώρου, τέσσερις ψηλά και 4 χαμηλά. Ο ένατος βρίσκεται στο κέντρο του εργαστήριου πάνω στην κεντρική στήλη αισθητήρων. Στο εργαστήριο υπάρχει και ένας αισθητήρας υγρασίας που βρίσκεται και αυτός στην κεντρική στήλη αισθητήρων.



Εικόνα 2.5: Αισθητήρας θερμοκρασίας

2.6.8.2 Καταγραφέας δεδομένων (data logger)

Όλοι οι αισθητήρες είναι συνδεδεμένοι με τον καταγραφέα δεδομένων, ο οποίος έχει δέκα κανάλια εισόδου. Τα σήματα των αισθητήρων που εισέρχονται στο data logger αποκωδικοποιούνται και με την βοήθεια Η/Υ καταγράφονται.



Εικόνα 2.6: Καταγραφικό

2.6.8.3 Συσκευή πολλαπλών χρήσεων Allmemo

Η πολλαπλών εφαρμογών συσκευή Allmemo έχει τρία ηλεκτρικά μονωμένες εισόδους, κατάλληλες για όλους τους αισθητήρες Allmemo. Υπάρχουν δώδεκα κανάλια στις εισόδους των αισθητήρων και 4 κανάλια εσωτερικά στη συσκευή.

Η συσκευή μπορεί να μετρήσει πάνω από εβδομήντα διαφορετικές μετρήσεις. Πλήθος συσκευών μπορεί να συνδεθεί στο Allmemo με καλώδιο δικτύου. Η συσκευή μέτρησης είναι εφοδιασμένη με ένα πληκτρολόγιο και μια οθόνη υγρών κρύσταλλων 8½ χαρακτήρων. Η συσκευή διαθέτει τη δυνατότητα να λειτουργήσει και ως καταγραφέας δεδομένων (data logger) με εσωτερική μνήμη 32KB ενώ επιπλέον μπορούμε να προσθέσουμε εξωτερική μνήμη έως 256KB (χωρητικότητα που αντιστοιχεί σε 50000 μετρήσεις).

Ένα μεγάλο εύρος δυνατοτήτων μπορεί να ενεργοποιηθεί είτε αυτόματα είτε μεμονωμένα.

- Όρια τιμών και ειδοποίησης: Για κάθε κανάλι μέτρησης μπορούμε να θέσουμε ένα μέγιστο και ένα ελάχιστο όριο. Σε περίπτωση που κάποια μέτρηση υπερβεί το αντίστοιχο όριο διατίθεται η δυνατότητα ειδοποίησης. Η υπέρβαση ενός ορίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την έναρξη ή τον τερματισμό της καταγραφής μετρήσεων κατά την διαδικασία καταγραφής δεδομένων.
- Μέτρηση: Για κάθε μετατροπέα Allmemo διατίθενται μέχρι και έξι κανάλια μετρήσεων. Είναι δυνατόν να εναλλάσσονται τα κανάλια με την χρήση του πληκτρολογίου. Το επιλεγμένο σημείο σαρώνεται με 2,5 ή 10 μετρήσεις το δευτερόλεπτο και στη συνέχεια η μετρημένη τιμή υπολογίζεται και εμφανίζεται στην οθόνη ή σε μια αναλογική έξοδο. Η τιμή που έχει μετρηθεί για το επιλεγμένο σημείο μέτρησης επιδεικνύεται συνεχώς και κατ' επιλογή με διόρθωση της τιμής ή κλιμάκωση της. Στους αισθητήρες η θραύση ή καταστροφή του αισθητήρα αναγνωρίζεται αυτόματα, με αποτέλεσμα την άμεση ενημέρωση του χειριστή.

Στο χώρο ελεγχόμενων συνθηκών χρησιμοποιείται ως θερμομέτρο. Καταγράφει τη θερμοκρασία στη βάση της μηχανής, την θερμοκρασία του δοκιμίου ή της τράπεζας (ανάλογα που είναι προσκολλημένος ο μαγνητικός αισθητήρας).

3 Μέτρηση Μήκους

3.1 Βιομηχανικά πρότυπα μέτρησης μήκους

Τα πρότυπα αυτά είναι μικρότερης ακριβείας από τα πρότυπα αναφοράς και έχουν συνήθως μορφή χαραγμένης κλίμακας ή μεταλλικών πλακιδίων ή κυλίνδρων ορισμένου μήκους.

Βασικόμειονέκτημά τους είναι ότι επηρεάζονται από τη θερμοκρασία, γι' αυτό και το ονομαστικό τους μήκος αναφέρεται στη θερμοκρασία ορισμού των 20 °C. Διακρίνονται σε πρότυπα χαραγών, όταν το οριζόμενο μήκος καθορίζεται μεταξύ χαραγών (οι χαραγές μπορεί να είναι δύο ακραίες χαραγές ή κλίμακα χαραγών) και σε πρότυπα άκρων, όταν το οριζόμενο μήκος είναι το μήκος μεταξύ των δύο ακραίων επιφανειών του προτύπου.

Διαστατικός έλεγχος ρουτίνας σε τμήματα παραγωγής γίνεται με πρότυπα άκρων και χρήση συγκριτικών οργάνων, για παράδειγμα, όργανα που μετρούν διάσταση συγκρίνοντάς τη με μήκος προτύπου.

3.1.1 Πρότυπα πλακίδια (*gage block* ή *slip gage*)

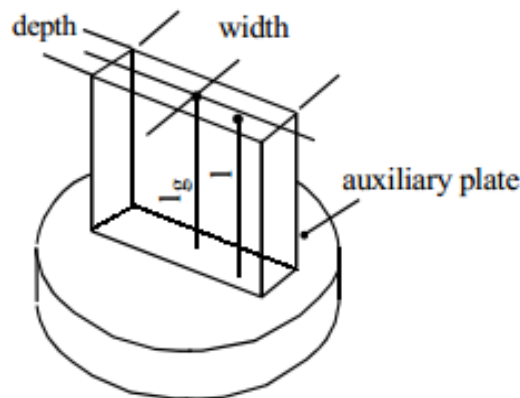
Είναι επινόηση του Σουηδού Carl Johansson. Είναι πρότυπα άκρων μήκους έως 200mm. Είναι ορθογώνια παραλληλεπίπεδα, των οποίων δύο επιφάνειες είναι τελείως λείες (υψηλή ποιότητα τραχύτητας επιφάνειας), επίπεδες και παράλληλες. Η μεταξύ τους απόσταση είναι το ονομαστικό μήκος του κάθε πλακιδίου. Τα ονομαστικά τους μήκη ορίζονται είτε στο μετρικό σύστημα (mm) ή στο αγγλικό σύστημα (1 ίντσα = 25,4 mm).

Το μήκος των πλακιδίων είναι ορισμένο στις συνθήκες αναφοράς;

- Θερμοκρασία: 20 °C (68 °F)
- Βαρομετρική πίεση: 101.325 Pa (1 atm)
- Πίεση υδρατμών: 1,333 Pa
- Περιεκτικότητα αέρα σε CO₂: 0,03%

Από αυτές τις συνθήκες μόνο η θερμοκρασία επηρεάζει τη μέτρηση του φυσικού μήκους του πλακιδίου. Οι υπόλοιπες συνθήκες χρειάζονται λόγω του ότι οι αρχική μέτρηση του μήκους ενός πρότυπου πλακιδίου είναι μια σύγκριση με το μήκος κύματος του φωτός. Για πρότυπες πηγές φωτός η συχνότητα του φωτός είναι σταθερή, αλλά το μήκος κύματος εξαρτάται από τη θερμοκρασία, την πίεση, την υγρασία και την περιεκτικότητα σε CO₂ του αέρα.

Το μήκος ενός πλακιδίου είναι η κάθετη απόσταση από το σημείο μέτρησης στο ένα άκρο του πλακιδίου ως το αντίστοιχο σημείο μέτρησης στο άλλο άκρο του όπως φαίνεται στην εικόνα.



Σχήμα 3.1: Μήκος L_g πρότυπου πλακιδίου

Συνήθως κατασκευάζονται από χάλυβα υψηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα για να αντέχουν στη φθορά. Διατίθενται σε συλλογές κασετίνες και είναι δυνατή η δημιουργία διάστασης από συνδυασμό προτύπων πλακιδίων διαφόρων ονομαστικών μηκών. Τα πρότυπα πλακίδια κατασκευάζονται σε διάφορες ποιότητες, ανάλογα με τη χρήση τους. Η κύρια διαφορά μεταξύ των διαφόρων βαθμών ποιότητας βρίσκεται στις ανοχές μήκους, παραλληλότητας και επιπεδότητας.

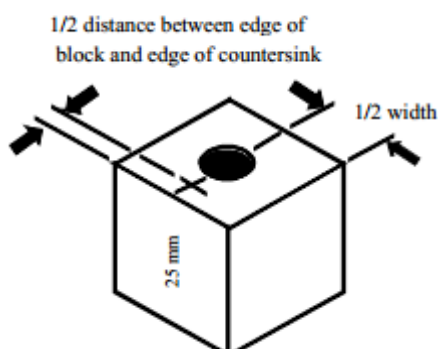


Σχήμα 3.2: Κασετίνα με πλακίδια

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα πρότυπα πλακίδια δεν μετρώνται ποτέ στις συνθήκες αναφοράς και αυτό γιατί η κανονική πίεση των ατμών του νερού των 10 mm του υδραργύρου είναι σχεδόν 60% σχετική υγρασία, κάτι που θα μπορούσε να κάνει το χάλυβα να σκουριάσει. Έτσι οι κανονικές συνθήκες είναι φασματοσκοπικές κανονικές συνθήκες, δηλαδή οι συνθήκες στις οποίες οι φασματοσκοπιστές ορίζουν τα μήκη κύματος του φωτός.

Το μηχανικό μήκος ενός πλακιδίου είναι το μήκος που καθορίζεται μέσω της μεθόδου μέτρησης με σύγκριση ενός πλακιδίου με ένα άλλο πλακιδίου γνωστού μήκους. Η μηχανική σύγκριση αυτή πρέπει να είναι μια μέτρηση που χρησιμοποιεί δύο καθορισμένα σημεία, ένα σε κάθε άκρο του πλακιδίου.

Τα σημεία αναφοράς για τα ορθογωνικά πλακίδια είναι τα κεντρικά σημεία κάθε επιφάνειας. Ενώ στα τετράγωνα πλακίδια τα σημεία αναφοράς φαίνονται στο Σχήμα 3.3.



Σχήμα 3.3: Προσδιορισμός του σημείου μέτρησης στα τετράγωνα πλακίδια

Ο κανονισμός DIN861 καθορίζει για τα πρότυπα πλακίδια τις ακόλουθες ποιότητες μετα αντίστοιχα μέγιστα σφάλματα. Απαιτείται περιοδικός έλεγχος των χρησιμοποιούμενων πλακιδίων με πλακίδια υψηλότερης ποιότητας.

3.1.2 Διεθνή πρότυπα

Τα πρότυπα πλακίδια καθορίζονται διεθνώς από το πρότυπο ISO 3650. Υπάρχουν τέσσερις ορισμένοι βαθμοί ανοχών στο πρότυπο ISO 3650

- Grade 00
- Grade 0
- Grade 1
- Grade 2

Ο αλγόριθμος για τις ανοχές του μήκους φαίνεται στον Πίνακα 3.4 και υπάρχουν κανόνες για την στρογγυλοποίησή τους που βρίσκονται στο πρότυπο.

Πίνακας 3.4: Απόκλιση από το ονομαστικό μήκος ανάλογα με το βαθμό

Βαθμός	Απόκλιση από το ονομαστικό μήκος (μm)
00	$(0.05 + 0.0001L)$
0	$(0.10 + 0.0002L)$
1	$(0.20 + 0.0004L)$
2	$(0.40 + 0.0008L)$

Όπου L είναι το ονομαστικό μήκος του πλακιδίου σε χιλιοστά (mm)

3.1.3 Πρότυποι κανόνες

Για μήκη μεγαλύτερα των 200 mm ο συνδυασμός των προτύπων πλακιδίων είναι δύσχρηστος, για το λόγο αυτό, κατασκευάστηκαν πρότυποι κυλινδρικοί κανόνες σε διάφορους βαθμούς ποιότητας.

Μια τυπική συλλογή αποτελείται από ένδεκα πρότυπους κυλινδρικούς κανόνες με ονομαστικά μήκη από 25 mm έως 200 mm και βήμα 25 mm και κανόνες 375, 575, και 775 mm αντίστοιχα. Όταν απαιτείται μήκος μη πολλαπλάσιο του 25 γίνεται συνδυασμός προτύπων κανόνων και προτύπων πλακιδίων.

3.1.4 Ειδικά πρότυπα

Είναι φυσικά πανομοιότυπα των αντικειμένων που πρόκειται να ελέγξουν, αλλά με τα χαρακτηριστικά τους στις πρότυπες διαστάσεις και αποτελούν μία μορφή προτύπων αναφοράς για ρύθμιση, έλεγχο και διακρίβωση διαφόρων τύπων μετρητικών οργάνων. Για τον λόγο αυτό, απαιτείται να βρίσκονται σε υψηλό βαθμό ποιότητας, εξαρτώμενο από την εφαρμογή.

3.1.5 Πρότυπα ορίου

Χρησιμοποιούνται στην επιθεώρηση προϊόντων είτε αυτή διενεργείται σε διάφορες φάσεις κατεργασίας είτε σε έτοιμα προϊόντα. Η κοινή τους ονομασία είναι ελεγκτήρες ορίου.

3.2 Συνήθη όργανα μέτρησης μηκών

3.2.1 Μετρητικοί κανόνες (rules)

Είναι βαθμονομημένοι, χαλύβδινοι κανόνες ορθογωνικής διατομής, μήκους έως 5 m και με υποδιαίρεσεις το πολύ ανά 0,5 mm. Μετρητικοί κανόνες του αγγλοσαξονικού συστήματος έχουν ποικίλα μήκη από κλάσματα της ίντσας έως αρκετά πόδια και με κλασματικές υποδιαίρεσεις της ίντσας. Είναι από τα περισσότερο χρησιμοποιούμενα όργανα στην κατασκευή αλλά δεν συνιστώνται στον έλεγχο παραγωγής. Κατασκευάζονται σε δύο ποιότητες (DIN866).

Τρεις είναι οι κυριότερες πηγές σφάλματος κατά τη χρήση των μετρητικών κανόνων: το ενσωματωμένο σφάλμα του οργάνου, το σφάλμα του παρατηρητή και το σφάλμα που προκύπτει από κακή χρήση. Το σφάλμα του οργάνου απλώς το λαμβάνει κανείς υπόψη ή χρησιμοποιεί κανόνα καλύτερης ποιότητας. Στο σφάλμα του παρατηρητή τη μεγαλύτερη βαρύτητα έχει το σφάλμα παράλλαξης, το οποίο ελαχιστοποιείται αν η ακμή του κανόνα βρίσκεται όσο γίνεται πιο κοντά στο μετρούμενο μέγεθος, γι' αυτό το λόγο προτιμώνται οι λεπτοί κανόνες και όταν η

οπτική ακτίνα είναι κάθετη στη γραμμή μέτρησης στο μετρούμενο σημείο. Οι αιτίες που μπορούν να προκαλέσουν σφάλμα από κακή χρήση είναι πολλές.

3.2.2 Όργανα αρχής βερνιέρου

Είναι απλά όργανα με κανόνα, για τη μέτρηση εσωτερικών-εξωτερικών διαστάσεων, ύψους-βάθους, γωνιών, πάχους οδόντος οδοντωτών τροχών, που αυξάνουν τη διακριτική τους ικανότητα και επομένως την ακρίβεια μέτρησης με την προσθήκη μια επιπλέον κλίμακας αυτής του βερνιέρου.

Η κλίμακα αυτή ολισθαίνει σε μία διαδρομή παράλληλη της γραμμής μέτρησης, ώστε οι δύο κλίμακες αφενός να παρατηρούνται συγχρόνως και αφετέρου να ελαχιστοποιούν το σφάλμα παράλλαξης. Η απόσταση των χαραγών της κλίμακας του βερνιέρου είναι μικρότερη από την απόσταση των χαραγών της κύριας κλίμακας. Κύρια κλίμακα είναι η πάνω κλίμακα με υποδιαίρεσεις ανά 1 mm. Η κλίμακα του βερνιέρου έχει μήκος 9 mm και χωρίζεται σε 10 ίσες υποδιαίρεσεις. Η απόσταση δύο διαδοχικών χαραγών της κλίμακας του βερνιέρου είναι κατά 1/10 μικρότερη της αντίστοιχης απόστασης της κύριας κλίμακας.

Με τον τρόπο αυτό, ο βερνιέρος επιτρέπει να διακρίνεται απόσταση ίση με το 1/10 της υποδιαίρεσης της κύριας κλίμακας. Αυτή η απόσταση δείχνει την ακρίβεια μέτρησης του οργάνου αρχής βερνιέρου. Η αρχή αυτή ισχύει για οποιαδήποτε κύρια κλίμακα μήκους υποδιαίρεσης δ_k . Τομήκος υποδιαίρεσης δ_β του βερνιέρου προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$\delta_\beta = (n-1) \times \delta_k / n$$

όπου n το πλήθος υποδιαίρεσεων της κλίμακας βερνιέρου. Η ελάχιστη απόσταση που μπορεί να διαβαστεί και επομένως η ακρίβεια του οργάνου αρχής βερνιέρου είναι:

$$\alpha = \delta_k - \delta_\beta = \delta_k / n$$

Όργανο, που βασίζεται στην αρχή του βερνιέρου και χρησιμοποιείται ευρέως, είναι το παχύμετρο. Υπάρχουν παχύμετρα με αναλογική κλίμακα δυνατότητας μέτρησης μήκους από 0 έως 2000 mm και ακρίβεια μέτρησης 0,1-0,05-0,02 mm.

Η αναλογική ένδειξη μπορεί να γίνεται είτε με γραμμική κλίμακα, είτε με κυκλική. Επίσης υπάρχουν παχύμετρα με ψηφιακή ένδειξη και δυνατότητα μέτρησης μήκους από 0 έως 1000 mm και ακρίβεια μέτρησης 0,01 mm.



Σχήμα 3.2: Παχύμετρο με αναλογική ένδειξη και με γραμμική κλίμακα



Σχήμα 3.3: Παχύμετρο με αναλογική ένδειξη με κυκλική κλίμακα



Σχήμα 3.4: Παχύμετρο με ψηφιακή ένδειξη

Το μέγιστο επιτρεπτό σφάλμα (εκφράζει την ποιότητα των χαρακτηριστικών του οργάνου) αναλογικών παχυμέτρων (γραμμική, κυκλική κλίμακα) ακριβείας 0,1 ή 0,05 mm είναι:

$$G = 20 + (L/10) \mu\text{m} > 50 \mu\text{m}$$

Ενώ των αναλογικών με ακρίβεια 0,02 καθώς και των ψηφιακών είναι:

$$G = 22 + (L/50) \mu\text{m}$$

όπου L το μετρούμενο μέγεθος σε mm.

Κύριες αιτίες πηγής σφαλμάτων είναι η απόκλιση από την παραλληλότητα και την επιπεδότητα των ακμών επαφής των ραμφών από την παραλληλότητα και την επιπεδότητα των ακμών επαφής των ραμφών των παχυμέτρων, συνήθως λόγω φθοράς.

Μηδενική ρύθμιση του οργάνου πριν από κάθε μέτρηση θεωρείται αναγκαία. Επίσης, σωστή χρήση του παχυμέτρου απαιτεί ευθύγραμμη συσχέτιση του οργάνου με το υπό μέτρηση τεμάχιο.

3.2.3 Μικρόμετρο

Είναι όργανο μέτρησης διαστάσεων εξωτερικών, εσωτερικών και βάθους με αναλογική και ψηφιακή ένδειξη. Κατασκευάζεται από χάλυβα ή ελατό χυτοσίδηρο, ενώ οι δύο επαφείς του από κράμα χάλυβα ή άλλου σκληρού υλικού. Τα μικρόμετρα μετρούν διαστάσεις έως 500 mm ή 20 in, με εύρος μέτρησης ανά 25 mm ή 1 in και ακρίβεια μέτρησης 0,01 mm και 0,001 in, εκτός αν είναι εφοδιασμένα με βερνιέρο οπότε η ακρίβειά μεγαλώνει.

Υπάρχουν μικρόμετρα με επαφείς ειδικής μορφής κατάλληλα για μέτρηση πολυωνυμικών καμπυλών (splines), χαρακτηριστικών οδοντωτών τροχών, σπειρωμάτων, πάχους σωλήνων και άλλα.

Η λειτουργία του μικρομέτρου βασίζεται στην αξονική μετατόπιση του κοχλία κατά την περιστροφή του. Μία πλήρης περιστροφή του κοχλία με σταθερό περικόχλιο μετατοπίζει αξονικά τον κοχλία κατά το βήμα του σπειρώματός του (για σπείρωμα μια αρχής), μισή περιστροφή μετατοπίζει τον κοχλία κατά το μισό βήμα του σπειρώματος και 1/50 της περιστροφής του κατά 1/50 του βήματός του. Δηλαδή, η αξονική μετατόπιση του κοχλία είναι ανάλογη της γωνίας στροφής και του βήματος του σπειρώματός του. Αν το βήμα του σπειρώματος είναι 1 mm η μετατόπιση του κοχλία θα είναι 1 mm, 0,5 mm και 1/50 mm = 0,02 mm αντίστοιχα. Η ακρίβεια που επιτυγχάνεται με μικρόμετρο μετρικού συστήματος είναι:

Ακρίβεια $\alpha=0,01$ mm

- όταν το βήμα του σπειρώματος του κοχλία είναι 1 mm και ο κάλυκας του κοχλία έχει 100 υποδιαίρεσεις ($\alpha = \delta_k/n = 1/100 = 0,01 \text{ mm}$)
- ή όταν το βήμα του σπειρώματος του κοχλία είναι 0,5 mm και ο κάλυκας του κοχλία έχει 50 υποδιαίρεσεις ($\alpha = \delta_k/n = 0,5/50 = 0,01 \text{ mm}$)

Όταν το μικρόμετρο είναι εφοδιασμένο και με βερνιέρο μεγαλώνει η ακρίβειά του σε 0,001 mm.

Στο αγγλοσαξονικό σύστημα ισχύει:

Ακρίβεια $\alpha=0,001 \text{ in}$

- όταν το βήμα του σπειρώματος του κοχλία είναι $1/40 \text{ in} = 0,025 \text{ in}$ και ο κάλυκας του κοχλία έχει 25 υποδιαίρεσεις ($\alpha = \delta_k/n = 1/(40 \times 25) = 0,001 \text{ in}$)

Επίσης όταν υπάρχει βερνιέρος η ακρίβεια μέτρησης γίνεται 0,0001 in.

Ο έλεγχος του σφάλματος ανάγνωσης των μικρομέτρων γίνεται με τη χρήση προτύπων πλακιδίων.

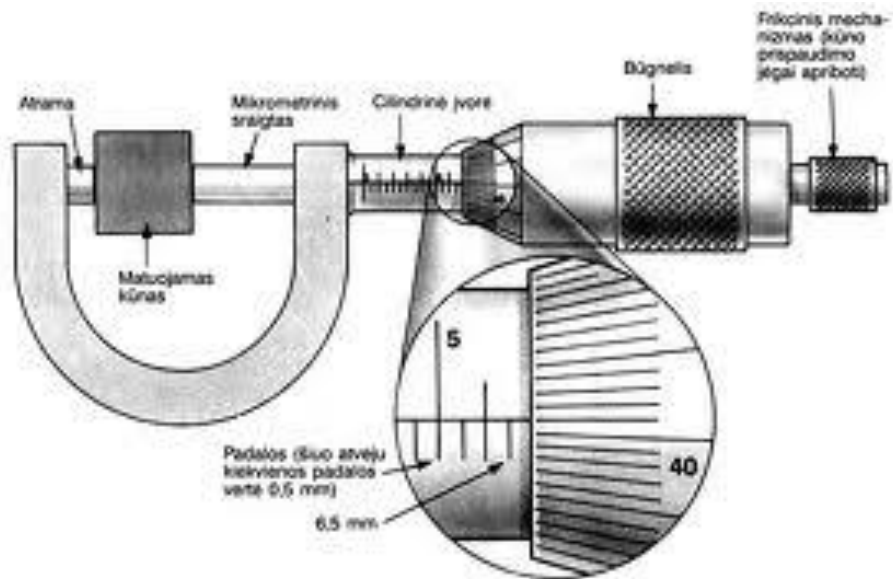
Ο κανονισμός DIN 863 τυποποιεί δύο ποιότητες μικρομέτρων με μέγιστο επιτρεπτό σφάλμα $\pm(5 + L/50) \text{ }\mu\text{m}$ και $\pm(2 + L/100) \text{ }\mu\text{m}$ αντίστοιχα, όπου L το μετρούμενο μήκος σε mm.

3.3 Όργανα σύγκρισης μηκών

Είναι όργανα, με τα οποία δεν γίνεται κατευθείαν μέτρηση μιας διάστασης, όπως με τα όργανα που αναφέρθηκαν παραπάνω, αλλά γίνεται σύγκριση της άγνωστης διάστασης με μία άλλη γνωστή, η οποία συνήθως λαμβάνεται ως πρότυπο.

Υπάρχουν διάφορα όργανα μηχανικά, ηλεκτρικά, οπτικά, πνευματικά για τη σύγκριση μηκών καθώς και μορφών.

Τέτοια όργανα είναι το μετρητικό ρολόι, ο μετρητικός βραχίονας, ο ηλεκτρομηχανικός και ηλεκτρικός συγκριτής μηκών, ο οπτικός συγκριτής και οι πνευματικοί συγκριτές.



Σχῆμα 3.5: Αναλογικὸ μικρόμετρο



Σχῆμα 3.6: Ψηφιακὸ μικρόμετρο



Σχῆμα 3.7: Μικρόμετρα για μέτρηση εξωτερικῆς διάστασης, εσωτερικῆς και βάθους

4 Ποιότητα και Στατιστική στην Παραγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα ασχοληθούμε με τις έννοιες της ποιότητας και των προδιαγραφών. Και οι δύο έννοιες αποτελούν την αφετηρία στην προσπάθεια όχι μόνο να παράγουμε καλύτερα και φθηνότερα προϊόντα, αλλά και για να βεβαιωθούμε ότι τελικά έχουμε πράγματι πετύχει αυτό που επιθυμούμε. Επίσης θα ασχοληθούμε με την στατιστική που μελετά τις μετρήσεις και την αξιολόγηση των μεθόδων διαδικασιών μέτρησης.

4.1 Ποιότητα

Συχνά μιλάμε για την ποιότητα και λέμε ότι ένα προϊόν είναι καλής ποιότητας ή ότι συγκρινόμενο με ένα άλλα είναι καλύτερης ποιότητας. Η κρίση μας αυτή είναι ορθή μόνο όταν έχουμε καθορίσει το σκοπό για τον οποίο προορίζεται το προϊόν. Αυτός ο παράγοντας καθορίζει την ποιότητα σε κάθε είδους προϊόν/έργο. Από ένα αυτοκίνητο ως κάποιο οδικό άξονα που κατασκευάζεται.

Λέγεται συνήθως και συχνά ακούμε ότι η παραγωγή αρχίζει από τη ζήτηση, από την πώληση δηλαδή. Με αυτό εννοούμε ότι επειδή τα άτομα αγοράζουν τα διάφορα αγαθά/προϊόντα για να τα χρησιμοποιήσουν και να ικανοποιήσουν με αυτά τις ανάγκες τους, κανένα αγαθό/προϊόν δεν πρόκειται να πωληθεί, εάν δεν είναι κατασκευασμένο για να ικανοποιεί μια συγκεκριμένη ανάγκη.

Οι παραγωγοί λοιπόν δεν έχουν παρά να κατασκευάζουν τα διάφορα αγαθά/προϊόντα με βάση τις επιθυμίες των υποψηφίων πελατών, γιατί μόνο τότε είναι δυνατό να πουλήσουν τα προϊόντα τους και συνεπώς να κερδίσουν.

Οι επιθυμίες όμως των διαφόρων πελατών είναι διάφορες και οι επιθυμίες του ιδίου αγοραστή πολλές φορές αντικρουόμενες. Ο ένας καταναλωτής ζητά γρήγορο αυτοκίνητο και με μικρό χώρο αποσκευών, ενώ ο άλλος αυτοκίνητο μέσης ταχύτητας και με μεγάλο χώρο αποσκευών. Εξάλλου είναι κατασκευαστικά αδύνατο ένα αυτοκίνητο να είναι και ευρύχωρο και ταχύ και οικονομικό.

Έτσι, όταν το προϊόν είναι καινούργιο ανταποκρίνεται ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του λιγότερο ή περισσότερο στις απαιτήσεις και επιθυμίες του πελάτη. Εξάλλου, τα προϊόντα φθείρονται και συνεπώς όσο περνά ο καιρός όλο και λιγότερο καλύπτουν την ανάγκη ή τις ανάγκες για την κάλυψη των οποίων προορίζονται.

Αυτά αποτελούν την μία πλευρά του ζητήματος, γιατί εκτός από αυτά για τον πελάτη υπάρχει και εκείνο που σε κάθε αγορά καλούμε τιμή, τιμή του αγαθού, τιμή του προϊόντος. Ο καταναλωτής δέχεται να πληρώσει για να ικανοποιήσει την ανάγκη του και μάλιστα να πληρώσει τόσο περισσότερο, όσο περισσότερο ικανοποιείται η ανάγκη του αυτή. Ο παραγωγός δαπανά χρήματα για τα υλικά, την κατεργασία και την πώληση και αντί αυτών λαμβάνει το αντίτιμο που καταβάλλει ο καταναλωτής.

Ο καταναλωτής καταβάλλει περισσότερα ανάλογα με την εξυπηρέτηση την οποία απολαμβάνει από το προϊόν και αφού πρώτα συγκρίνει τα χαρακτηριστικά και τις τιμές άλλων όμοιων προϊόντων στην αγορά. Έτσι ο καταναλωτής προτιμά εκείνο το προϊόν, για το οποίο βεβαιώνεται ότι σε συνδυασμό με την τιμή που καταβάλλει ικανοποιεί τις ανάγκες του κατά τον καλύτερο, που μπορεί να καταφέρει, τρόπο.

Τα προϊόντα που διατίθενται στην αγορά έχουν δύο κύρια χαρακτηριστικά την ποιότητα και την τιμή πώλησης. Τα δυο αυτά χαρακτηριστικά είναι ανάλογα δηλαδή όσο αυξάνεται η ποιότητα του προϊόντος τόσο αυξάνετε και το κόστος παραγωγής και αυτό με την σειρά του προστίθεται στην τιμή πώλησης.

Με την λέξη “ποιότητα” εννοούμε το χαρακτηριστικό ή τα χαρακτηριστικά που καθιστούν το προϊόν περισσότερο ή λιγότερο κατάλληλο για τον σκοπό για τον οποίο προορίζεται.

Η τελική προτίμηση του πελάτη θα εξαρτηθεί ίσως και από το χρόνο παράδοσης. Προϊόντα ετοιμοπαράδοτα προτιμώνται από άλλα όμοια που κατασκευάζονται επί παραγγελία.

4.2 Προδιαγραφές

Για να μπορέσει όμως ο παραγωγός να κατασκευάσει προϊόντα κατάλληλα για το σκοπό για τον οποίο προορίζονται και σε ποιότητα και σε τιμή που θα προσελκύσουν τον καταναλωτή και θα τον κάνουν δικό του πελάτη, πρέπει ο ίδιος ή το επιτελείο του από ειδικούς να μελετήσει τα χαρακτηριστικά που συνθέτουν την ποιότητα, να τα καταγράψει και να καθορίσει τις επιτρεπόμενες διακυμάνσεις σε κάθε ένα από αυτά. Δηλαδή να καταστρώσει τις προδιαγραφές.

Σ' αυτές πρέπει να περιγράψει, με όση χρειάζεται ακρίβεια και λεπτομέρεια τα τεχνικά, λειτουργικά και εργονομικά χαρακτηριστικά του προϊόντος που επιθυμεί να κατασκευάσει.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά αναφέρονται στις κατασκευαστικές λεπτομέρειες, για παράδειγμα:

- το πάχος επιψευδαργυρώσεως,
- το μοτέρ να μην υπερθερμαίνεται σε συνεχή λειτουργία
- η λαβίδα ενός αναμικτήρα χεριού πρέπει να είναι στο κέντρο της συσκευής ώστε να είναι δυνατό να κρατιέται με το ένα χέρι.

Στην κατάστρωση των προδιαγραφών, όπως είδαμε πιο πάνω, ο παραγωγός θα κατευθυνθεί από τις επιθυμίες και τις απαιτήσεις των καταναλωτών που θέλει να κάνει δικούς του πελάτες. Συγκεκριμένα ο παραγωγός θα κατευθυνθεί από τα πορίσματα της μελέτης της αγοράς.

Μάλιστα η μελέτη της αγοράς πρέπει να είναι συνεχής, δηλαδή να επαναλαμβάνεται κατά συχνά ή αραιά χρονικά διαστήματα (ανάλογα με το προϊόν

και την αγορά στην οποία απευθύνεται), ώστε ο παραγωγός να προσαρμόζει την παραγωγή του στις νέες ή μεταβαλλόμενες απαιτήσεις ή επιθυμίες των πελατών του. Έτσι θα διατηρήσει τους πελάτες του και θα προσελκύσει και νέους πελάτες.

Οι προδιαγραφές λοιπόν βγαίνουν από αυτόν που τελικά θα αποφασίσει (την αγορά ή την μη αγορά του προϊόντος), δηλαδή τον υποψήφιο αγοραστή και καθοδηγούν τον παραγωγό κατά την διάρκεια του σχεδιασμού και της μορφοποίησης του προϊόντος. Η επιτυχία μιας επιχείρησης συνίσταται στο να διαθέτει προϊόντα σε χαμηλότερη τιμή από τους συναγωνιστές της και σε καλύτερη ποιότητα, δηλαδή προϊόντα σύμφωνα με τις προδιαγραφές, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του πελάτη.

Οι προδιαγραφές που καθορίζονται πρώτα περιγράφουν τα χαρακτηριστικά του προϊόντος και ονομάζονται εξωτερικές προδιαγραφές. Με βάση τις εξωτερικές προδιαγραφές, την μελέτη της παραγωγικής διαδικασίας και τα διατιθέμενα μέσα καθορίζονται οι προδιαγραφές κατασκευής ή εσωτερικές προδιαγραφές.

Οι προδιαγραφές κατασκευής είναι αυστηρότερες και λεπτομερέστερες από τις εξωτερικές προδιαγραφές, ώστε τα προϊόντα που θα κατασκευαστούν σύμφωνα με αυτές να είναι σύμφωνα με τις εξωτερικές προδιαγραφές και μάλιστα με κάποιο "περιθώριο" ή συντελεστή ασφάλειας. Όταν συνταχθούν οι προδιαγραφές κατασκευής τότε είναι γνωστό το τι θα κατασκευασθεί και το πώς θα κατασκευασθεί. Μένει λοιπόν να εξασφαλισθεί ότι τα προϊόντα που θα παραχθούν θα ανταποκρίνονται στις προδιαγραφές κατασκευής. Αν δεν συμφωνούν, δεν θα πωληθούν και συνεπώς ο παραγωγός όχι μόνον δεν θα κερδίσει την διαφορά τιμής πωλήσεως και κόστους, αλλά και θα ζημιωθεί κατά το ποσό που στοίχισε η παραγωγή τους, αφού τα προϊόντα θα παραμείνουν απόλυτα στις αποθήκες του.

Στα επόμενα θα εξετάσουμε τον τρόπο με τον οποίο θα εξασφαλισθεί ο παραγωγός ότι τα προϊόντα που θα παραχθούν συμφωνούν με τις προδιαγραφές, δηλαδή ότι είναι αυτά που πρέπει να παραχθούν.

4.3 Έλεγχος παραγωγής

Είναι γνωστό πως κάθε μηχανή, κάθε παραγωγική διαδικασία, για να παράγει ορισμένα προϊόντα πρέπει να λειτουργεί με κατάλληλες συνθήκες παραγωγής, παραδείγματος χάρη με σωστή ρύθμιση της μηχανής ή των μηχανών. Όταν η ρύθμιση της μηχανής και οι άλλες συνθήκες παραγωγής παραμένουν αμετάβλητοι και το υλικό με το οποίο τροφοδοτείται η μηχανή είναι καλό, τότε παράγονται προϊόντα σύμφωνα με τις προδιαγραφές.

Στην πραγματικότητα όμως οι συνθήκες παραγωγής δεν παραμένουν αμετάβλητες και υπάρχει πάντα ο κίνδυνος απορρύθμισης της χρησιμοποιούμενης μηχανής με συνέπεια να παραχθούν σκάρτα περισσότερα από τα προβλεπόμενα από τις προδιαγραφές. Αυτό σημαίνει ότι είμαστε υποχρεωμένοι να προβαίνουμε κατά διαστήματα σε έλεγχο των συνθηκών παραγωγής, έτσι ώστε σε περίπτωση που

παρατηρήσουμε αλλαγή στις συνθήκες παραγωγής να επέμβουμε αμέσως και να αποκαταστήσουμε την ρύθμιση που εξασφαλίζει την ποιότητα που επιθυμούμε.

Βέβαια το πόσο συχνά θα κάνουμε τον έλεγχο της ρύθμισης της μηχανής εξαρτάται όχι μόνο από την σταθερότητα των συνθηκών παραγωγής, αλλά και από τις επιπτώσεις που η απορρύθμιση της μηχανής έχει στο τελικό προϊόν.

Σε μια φάση παραγωγής είναι δυνατόν να μη μεταβάλλονται οι συνθήκες παραγωγής και συνεπώς να μη χρειάζεται έλεγχος των συνθηκών παραγωγής σε αυτή τη φάση.

Είναι δυνατό επίσης δύο φάσεις να είναι διαδοχικές και να γίνεται έλεγχος και για τις δύο μαζί όταν το προϊόν έχει υποστεί και τις δύο κατεργασίες.

Το σύστημα των ποιοτικών ελέγχων που μας εξασφαλίζει ότι οι μηχανές εργάζονται με τον τρόπο που προβλέπεται από τις προδιαγραφές καλείται σύστημα προληπτικού ελέγχου ποιότητας.

Εξάλλου σε μια παραγωγική διαδικασία ενδέχεται να παράγονται και σκάρτα, τα οποία αν δεν διαχωριστούν και δεν απομακρυνθούν από τα καλά κομμάτια θα υποστούν και τις επόμενες φάσεις κατεργασίας.

Είναι λοιπόν όχι μόνο λογικό, αλλά και συμφέρον, τα σκάρτα να απομακρύνονται από την παραγωγική διαδικασία και μάλιστα όσο το δυνατόν συντομότερα. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο καθορίζονται ενδιάμεσοι έλεγχοι παραδοχής των ημικατεργασμένων προϊόντων.

Τελικά, όταν τελειώσει η παραγωγή, πρέπει πάλι να διαχωριστούν τα προϊόντα που θα διοχετευθούν στην κατανάλωση από εκείνα που χαρακτηρίζονται σκάρτα και τα οποία κατά συνέπεια δεν θα είναι σκόπιμο να έχουν σαν προορισμό τους τον πελάτη. Ο έλεγχος που γίνεται, σε αυτό το στάδιο ονομάζεται τελικός έλεγχος παραγωγής.

Μέχρι τώρα έχουμε μιλήσει για όλα τα είδη των ελέγχων και φαίνεται σαν η λύση του προβλήματος που τίθεται σχετικά με το πώς θα εξασφαλισθεί ο παραγωγός πως πράγματι κατασκευάζει προϊόντα που ανταποκρίνονται στις προδιαγραφές κατασκευής τις οποίες έχει υιοθετήσει, να είναι η εφαρμογή ενός εκτεταμένου συστήματος ποιοτικού ελέγχου που θα περιλαμβάνει ελέγχους πρώτων υλών, προληπτικούς ελέγχους, ενδιάμεσους ελέγχους παραδοχής και τελικούς ελέγχους παραδοχής. Το εκτεταμένο αυτό σύστημα ελέγχων είναι βέβαιο ότι θα του εξασφαλίσει προϊόντα υψηλής ποιοτικής στάθμης, το κόστος όμως των ελέγχων αυτών είναι ενδεχόμενο να έχει επιβαρύνει τόσο πολύ το κόστος των προϊόντων ώστε να μην είναι πλέον δυνατό τα προϊόντα να πωληθούν με κέρδος για τον επιχειρηματία/παραγωγό.

Η επιτυχία του παραγωγού δεν εξαρτάται μόνο από το να βρει ένα σύστημα παραγωγής που θα κοστίζει όσο το δυνατό λιγότερο σε υλικά, εγκαταστάσεις και εργατικά, αλλά και από το να καθορίσει ένα σύστημα ποιοτικού ελέγχου τέτοιο, ώστε, οι πραγματοποιούμενοι αναγκαίοι έλεγχοι να εξασφαλίζουν την επιθυμητή

ποιότητα που έχει οριστεί από τις προδιαγραφές και να έχουν την μικρότερη συνολική επιβάρυνση των προϊόντων.

Η καθιέρωση Δειγματολογικού Ελέγχου, αντί του Ελέγχου-100% συνήθως έχει σαν συνέπεια την μείωση του κόστους διεξαγωγής του ελέγχου και μάλιστα χωρίς αυτό να σημαίνει και ταυτόχρονη αντίστοιχη μείωση της αποτελεσματικότητας. Πολλές φορές παρατηρήθηκε ακόμη και αύξηση της αποτελεσματικότητας του δειγματοληπτικού ελέγχου σε σύγκριση με τον Έλεγχο-100%.

Ο Έλεγχος-100% δεν είναι, όσο φαίνεται ασφαλής γιατί προϋποθέτει προσωπικό που εργάζεται με προσοχή, ευσυνειδησία και ικανότητα. Τέτοιο προσωπικό διατίθεται σήμερα δύσκολα όταν μάλιστα ληφθεί υπόψη η μονοτονία και η νευρική κόπωση από την εργασία του Ελέγχου-100%.

Ο δειγματοληπτικός έλεγχος είναι δυνατό να είναι πιο αποτελεσματικός επειδή:

- Η δειγματοληψία και τα κριτήρια παραδοχής βασίζονται σε επιστημονικές βάσεις,
- οι ελεγχόμενες μονάδες είναι πολύ λιγότερες και συνεπώς είναι δυνατό να εξευρεθεί ικανό και εξασκημένο προσωπικό για τον έλεγχο, ο οποίος λόγω του μικρού αριθμού των τεμαχίων που ελέγχονται θα γίνει από ελεγκτές που δεν θα αισθάνονται μονοτονία ή νευρική κόπωση.

Σε μερικές περιπτώσεις κατ' ανάγκη χρησιμοποιούμε δειγματοληπτικό έλεγχο όπως όταν έχουμε να δοκιμάσουμε προϊόντα που καταστρέφονται ή καταναλίσκονται κατά την δοκιμή π.χ. πολεμοφόδια, φιάλες υγραερίου σε αντοχή, τρόφιμα, προϊόντα καπνού κ.α.

Ο δειγματοληπτικός έλεγχος στηρίζεται στην εξέταση ενός μικρού δείγματος που λαμβάνεται από μια μεγαλύτερη ποσότητα, την μερίδα. Από τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εξέταση του μικρού δείγματος συνάγουμε ασφαλή συμπεράσματα που αφορούν ολόκληρη τη μερίδα του προϊόντος από την οποία έχει ληφθεί το δείγμα.

Για να πετύχει όμως η εφαρμογή ενός δειγματοληπτικού σχεδίου ελέγχου, πρέπει αυτός που το χρησιμοποιεί και προβαίνει στην εφαρμογή του, να έχει γνώσεις Στατιστικής Ανάλυσης.

4.4 Στατιστική στην παραγωγή

Η Στατιστική είναι μια βασική εφαρμοσμένη επιστήμη, χρήσιμη και βοηθητική στην περιγραφή πολλών φαινομένων μεταξύ των οποίων και των φαινομένων της παραγωγής. Πριν όμως εξετασθούν διάφορες εφαρμογές της Στατιστικής που έχουν σχέση με την Παραγωγή πρέπει να καθορισθεί η έννοια της Παραγωγής ή ακριβέστερα της Παραγωγικής Διαδικασίας.

“Παραγωγική Διαδικασία, είναι εκείνη η διαδικασία κατά την οποία μηχανήματα (κεφαλαιουχικός εξοπλισμός πάσης φύσεως) χρησιμοποιούμενα από ανθρώπους (εργαζόμενοι) μεταβάλλουν την μορφή και τις ιδιότητες των πρώτων υλών με αποτέλεσμα την παραγωγή προϊόντων.”

Κατά την διάρκεια της διαδικασίας αυτής διάφοροι παράγοντες επιδρούν και μεταβάλλεται η μορφή και οι ιδιότητες των παραγομένων προϊόντων. Επιβάλλεται λοιπόν η γνώση των παραγόντων αυτών και της επιδράσεως τους στα προϊόντα ώστε με κατάλληλες ενέργειες να αποτρέπονται, αν είναι δυνατό, οι ανεπιθύμητες επιδράσεις τους.

Στη παραγωγική διαδικασία ο όρος προϊόν μπορεί να σημαίνει και υπηρεσία όπου απαιτείται.

Οι παράγοντες που επιδρούν στηνμορφή και τις ιδιότητες των προϊόντωνπροέρχονται από:

- Τις πρώτες ύλες: Η σύνθεση και εν γένει οι ιδιότητες των πρώτων υλών
- Τις μηχανές: Το είδος των μηχανών, το είδος των εργαλείων, η κατάσταση και η εν γένει λειτουργική ικανότητα των μηχανών, η ηλικία, η ρύθμιση των μηχανών κ.α.
- Τους εργαζομένους: Η ικανότητα, η επιμέλεια, η ηλικία, η πείρα, η γενική και τεχνική εκπαίδευση των εργαζομένων, η ακολουθούμενη μέθοδος εργασίας κ.α.
- Τις συνθήκες της εργασίας:Οι κλιματολογικές συνθήκες, οι διανθρώπινες σχέσεις, τα παρεχόμενα κίνητρα, η ώρα και η διάρκεια της εργασίας κ.α.

Τα παραγόμενα προϊόντα, επειδή είναι αδύνατο οι άνω παράγοντες να μείνουν σταθεροί, πάντοτε διαφέρουν μεταξύ τους.

Οι πρώτες ύλες διαφέρουν από μερίδα σε μερίδα, οι συνθήκες τωνμηχανών εν γένειμεταβάλλονται(φθείρονται τα εργαλεία, απορρυθμίζονται οιμηχανές κ.α.), η συμπεριφοράτων εργαζομένων αλλάζει(μεταβάλλεται το ενδιαφέρον και η διάθεσή τους,αντικαθίσταται από άλλους, κάνουνμικρές αλλαγές στημέθοδο εργασίαςκ.α.) και οι συνθήκες εργασίας συνεχώςμεταβάλλονται(αλλαγή θερμοκρασίας, θόρυβοι, συμπεριφορά προϊσταμένου, συμπεριφορά συναδέλφων, κ.α.).

Η διαφορά συνεπώς των προϊόντων μολονότι ανεπιθύμητη είναι αναπόφευκτη και δικαιολογημένη. Η διαφορά αυτή των προϊόντων οφείλεται σε άγνωστες ή ακόμη και σε γνωστές αιτίες με πολύπλοκη επίδραση ώστε να θεωρούνται και αυτές άγνωστες.

Τα μεγέθη, των οποίων οι μεταβολές οφείλονται σε αιτίες άγνωστες, ή σε γνωστές με άγνωστη ή πολύπλοκη επίδραση ώστε να δύναται να θεωρηθούν άγνωστες, ονομάζονται στοχαστικά μεγέθη.

Τα στοχαστικά μεγέθη διακρίνονται σε ασυνεχή αυτά που παίρνουν διάφορες διακεκριμένες τιμές και σε συνεχή που παίρνουν όλες τις τιμές μέσα σε ένα διάστημα τιμών. Η Στατιστική ασχολείται με την εξέταση των ιδιοτήτων των στοχαστικών μεγεθών προς εξαγωγή των αναγκαίων συμπερασμάτων.

Στη συνέχεια αναπτύσσονται μερικές ιδιότητες των στοχαστικών μεγεθών και οι πιο απλοί τρόποι εξαγωγής συμπερασμάτων που χρησιμοποιούνται στον στατιστικό έλεγχο της ποιότητας των προϊόντων.

4.5 Μέση τιμή και τυπική απόκλιση δείγματος στοχαστικού μεγέθους

Οι παράμετροι διακρίνονται σε παραμέτρους θέσης που καθορίζουν την θέση της καμπύλης κατανομής των τιμών στον άξονα των τιμών και σε παραμέτρους διασποράς που καθορίζουν την έκταση της καμπύλης κατανομής.

- Παράμετροι θέσης είναι η Μέση τιμή, η Κεντρική τιμή και η Πιθανότερη τιμή.
- Παράμετροι διασποράς είναι Κύρια ή Μέση απόκλιση, η Τυπική απόκλιση, η Ακραία διαφορά και η Πιθανή απόκλιση.

Από τις παραμέτρους αυτές αναφέρονται οικυριότερες. Η μέση τιμή, η τυπική απόκλιση και η ακραία διαφορά. Παρακάτω αναπτύσσεται ο τρόπος υπολογισμού τους.

Οι επαναλαμβανόμενες σειρές μετρήσεων του ίδιου αντικειμένου υπό συνθήκες επαναληψιμότητας δημιουργούν τη βάση για τον υπολογισμό των τυχαίων σφαλμάτων.

Συνήθως γίνεται μία τυχαία επιλογή η πλήθους τιμών, μεταξύ 8 και 25, οι οποίες ακολουθούν κυρίως την κανονική κατανομή.

Μερικές φορές κατά τις μετρήσεις εμφανίζονται κάποιες ακραίες τιμές οι οποίες δεν ανήκουν στην κανονική κατανομή. Οι ακραίες αυτές τιμές διαγράφονται μετά από ειδικό έλεγχο τον Dixon Test, μόνον αν η τιμή τους z_B είναι μεγαλύτερη από την κρίσιμη τιμή z_T .

α/α	Τιμή z _T για P = 95%	Μετρημένο μέγεθος	
		z _{B(n)} (για τη μέγιστη τιμή)	z _{B(1)} (για την ελάχιστη τιμή)
5	0,642		
6	0,560	$\frac{X_{(n)} - X_{(n-1)}}{X_{(n)} - X_{(1)}}$	$\frac{X_{(2)} - X_{(1)}}{X_{(n)} - X_{(1)}}$
7	0,507		
8	0,554		
9	0,512	$\frac{X_{(n)} - X_{(n-1)}}{X_{(n)} - X_{(2)}}$	$\frac{X_{(2)} - X_{(1)}}{X_{(n-1)} - X_{(1)}}$
10	0,477		
11	0,576		
12	0,546	$\frac{X_{(n)} - X_{(n-2)}}{X_{(n)} - X_{(2)}}$	$\frac{X_{(3)} - X_{(1)}}{X_{(n-1)} - X_{(1)}}$
13	0,521		
14	0,546		
15	0,525		
16	0,507		
17	0,490		
18	0,475		
19	0,462	$\frac{X_{(n)} - X_{(n-2)}}{X_{(n)} - X_{(3)}}$	$\frac{X_{(3)} - X_{(1)}}{X_{(n-2)} - X_{(1)}}$
20	0,450		
21	0,440		
22	0,430		
23	0,421		
24	0,413		
25	0,406		

Σχήμα 4.1: DixonTest

Αν οι μετρημένες τιμές τοποθετηθούν με αύξουσα σειρά τότε η μέγιστη τιμή $x_{(n)}$ και η ελάχιστη $x_{(1)}$ παραλείπονται μόνον αν $z_{B(n)} > z_T$ και $z_{B(1)} > z_T$. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να απομακρυνθούν όλες οι ακραίες τιμές.

4.5.1 Αριθμητική μέση τιμή

Υπολογίζεται από τον τύπο:

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

όπου n είναι το πλήθος τιμών που προέκυψαν μετά τον έλεγχο Dixon και x_i οι υπό συνθήκες επαναληψιμότητας μετρημένες τιμές.

4.5.2 Τυπική απόκλιση s_n

Η εκτίμηση της διακύμανσης των μεμονωμένων τιμών x_i από τη μέση τους τιμή γίνεται με την τυπική απόκλιση s_n στην βιβλιογραφία συναντάτε και ως s . Υπολογίζεται από τον τύπο:

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

Το πλήθος των μετρήσεων n προσδιορίζει και την αξιοπιστία της αριθμητικής τιμής της τυπικής απόκλισης. Η τυπική απόκλιση είναι πάντα θετική και η μονάδα της είναι ίδια με αυτή του μετρούμενου μεγέθους.

4.5.3 Εύρος R

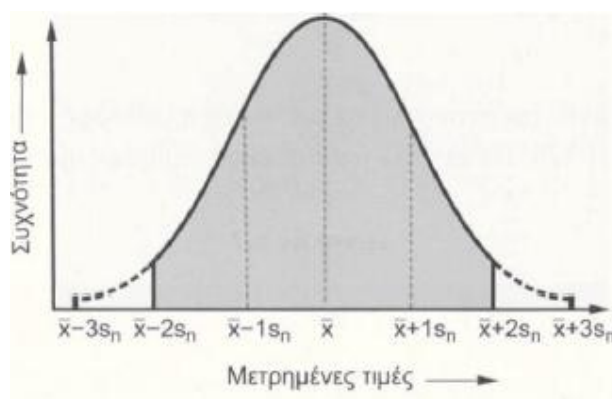
Το εύρος R είναι η διαφορά μεταξύ μέγιστης και ελάχιστης τιμής των επαναλαμβανόμενων n μετρήσεων, εφόσον έχουν παραλειφθεί οι ακραίες τιμές εάν υπήρχαν.

$$R = x_{\max} - x_{\min}$$

Στα διαγράμματα του προληπτικού ελέγχου ποιότητας όταν το δείγμα είναι μικρό, όπως συνήθως συμβαίνει, σαν μέτρο της διασποράς λαμβάνουμε την ακραία διαφορά R .

4.6 Κανονική κατανομή

Η κανονική κατανομή, όπως αυτή παρουσιάζεται στο γράφημα του σχήματος 4.2, είναι αποτέλεσμα μεγάλου αριθμού n μετρημένων τιμών.



Σχήμα 4.2: Κανονική Κατανομή

Έχει γίνει όμως παραδοχή να ισχύει και για μικρότερο πλήθος τιμών. Η συμμετρική μορφή της κατανομής οφείλεται στα τυχαία σφάλματα.

Το εύρος της κατανομής, ως πολλαπλάσιο της τυπικής απόκλισης, αποτελεί σημαντικό μέτρο των τυχαίων σφαλμάτων. Το 95,4% των μετρημένων τιμών βρίσκονται στο εύρος $-2s_n$ έως $+2s_n$.

Αυτό σημαίνει ότι οποιαδήποτε τυχαία μετρημένη τιμή θα βρίσκεται σε αυτήν την περιοχή με στατιστική βεβαιότητα 95,4%.

Για την κανονική κατανομή ισχύει ο πίνακας 4.1.

Πίνακας 4.1

Για εύρος από	$\bar{x} - 1s_n$ έως $\bar{x} + 1s_n$	$\bar{x} - 2s_n$ έως $\bar{x} + 2s_n$	$\bar{x} - 3s_n$ έως $\bar{x} + 3s_n$
Στατιστική βεβαιότητα P	68,3%	95,4%	99,7%

Το εμβαδόν της κανονικής κατανομής συναρτήσει της ανηγμένης μεταβλητής z σε μονάδες τυπικής απόκλισης $z = \frac{x_i - \bar{x}}{s_n}$ δίνεται από τον πίνακα 4.3.

Πίνακας 4.3: Εμβαδόν τυπικής κανονικής καμπύλης από 0 έως z

z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	,0000	,0040	,0080	,0120	,0160	,0199	,0239	,0279	,0319	,0359
0,1	,0398	,0438	,0478	,0517	,0557	,0596	,0636	,0675	,0714	,0754
0,2	,0793	,0832	,0871	,0910	,0948	,0987	,1026	,1064	,1103	,1141
0,3	,1179	,1217	,1255	,1293	,1331	,1368	,1406	,1443	,1480	,1517
0,4	,1554	,1591	,1628	,1664	,1700	,1736	,1772	,1808	,1844	,1879
0,5	,1915	,1950	,1985	,2019	,2054	,2088	,2123	,2157	,2190	,2224
0,6	,2258	,2291	,2324	,2357	,2389	,2422	,2454	,2486	,2518	,2549
0,7	,2580	,2612	,2642	,2673	,2704	,2734	,2764	,2794	,2823	,2852
0,8	,2881	,2910	,2939	,2967	,2996	,3023	,3051	,3078	,3106	,3133
0,9	,3159	,3186	,3212	,3238	,3264	,3289	,3315	,3340	,3365	,3389
1,0	,3413	,3438	,3461	,3485	,3508	,3531	,3554	,3577	,3599	,3621
1,1	,3643	,3665	,3686	,3708	,3729	,3749	,3770	,3790	,3810	,3830
1,2	,3849	,3869	,3888	,3907	,3925	,3944	,3962	,3980	,3997	,4015
1,3	,4032	,4049	,4066	,4082	,4099	,4115	,4131	,4147	,4162	,4177
1,4	,4192	,4207	,4222	,4236	,4251	,4265	,4279	,4292	,4306	,4319
1,5	,4332	,4345	,4357	,4370	,4382	,4394	,4406	,4418	,4429	,4441
1,6	,4452	,4463	,4474	,4484	,4495	,4505	,4515	,4525	,4535	,4545
1,7	,4554	,4564	,4573	,4582	,4591	,4599	,4608	,4616	,4625	,4633
1,8	,4641	,4649	,4656	,4664	,4671	,4678	,4686	,4693	,4699	,4706
1,9	,4713	,4719	,4726	,4732	,4738	,4744	,4750	,4756	,4761	,4767
2,0	,4772	,4778	,4783	,4788	,4793	,4798	,4803	,4808	,4812	,4817
2,1	,4821	,4826	,4830	,4834	,4838	,4842	,4846	,4850	,4854	,4857
2,2	,4861	,4864	,4868	,4871	,4875	,4878	,4881	,4884	,4887	,4890
2,3	,4893	,4896	,4898	,4901	,4904	,4906	,4909	,4911	,4913	,4916
2,4	,4918	,4920	,4922	,4925	,4927	,4929	,4931	,4932	,4934	,4936
2,5	,4938	,4940	,4941	,4943	,4945	,4946	,4948	,4949	,4951	,4952
2,6	,4953	,4955	,4956	,4957	,4959	,4960	,4961	,4962	,4963	,4964
2,7	,4965	,4966	,4967	,4968	,4969	,4970	,4971	,4972	,4973	,4974
2,8	,4974	,4975	,4976	,4977	,4977	,4978	,4979	,4979	,4980	,4981
2,9	,4981	,4982	,4982	,4983	,4984	,4984	,4985	,4985	,4986	,4986
3,0	,4987	,4987	,4987	,4988	,4988	,4989	,4989	,4989	,4990	,4990
3,1	,4990	,4991	,4991	,4991	,4992	,4992	,4992	,4992	,4993	,4993
3,2	,4993	,4993	,4994	,4994	,4994	,4994	,4994	,4995	,4995	,4995
3,3	,4995	,4995	,4995	,4996	,4996	,4996	,4996	,4996	,4996	,4997
3,4	,4997	,4997	,4997	,4997	,4997	,4997	,4997	,4997	,4997	,4998
3,5	,4998	,4998	,4998	,4998	,4998	,4998	,4998	,4998	,4998	,4998
3,6	,4998	,4998	,4999	,4999	,4999	,4999	,4999	,4999	,4999	,4999
3,7	,4999	,4999	,4999	,4999	,4999	,4999	,4999	,4999	,4999	,4999
3,8	,4999	,4999	,4999	,4999	,4999	,4999	,4999	,4999	,4999	,4999
3,9	,5000	,5000	,5000	,5000	,5000	,5000	,5000	,5000	,5000	,5000

Στη Διεθνή Μετρολογία συνηθίζεται να χρησιμοποιείται η στατιστική βεβαιότητα P=95% (αντιστοιχεί στο $1,96 s_n=2s_n$). Σε ειδικές περιπτώσεις χρησιμοποιείται η στατιστική βεβαιότητα P=99,7% που αντιστοιχεί σε εύρος μετρημένων τιμών:

$$\bar{x}_n - 3s_n \leq x \leq \bar{x}_n + 3s_n$$

4.7 Δείκτης Επαναληψιμότητας και Αναπαραγωγής μέτρησης

Στην βιβλιογραφία συναντάτε η Gauge of Repeatability & Reproducibility και ως Gauge R&R, είναι μέθοδος ανάλυσης συστήματος μετρήσεις (MSA), από τα αντίστοιχα στην αγγλική. Όταν λέμε σύστημα μετρήσεις εννοούμε τον χειριστή του μηχανήματος, το ίδιο το μηχάνημα που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις, το δείγμα των τεμαχίων που έγιναν οι μετρήσεις και τέλος την διαδικασία που ακλουθήσαμε για να κάνουμε τις μετρήσεις.

Σκοπός της μεθόδου είναι πρώτον να μελετήσουμε τι μέρος της μεταβλητότητας οφείλεται στον χειριστή, στο όργανο ή στα τεμάχια, δεύτερον ο διαχωρισμός των συνιστωσών τις μεταβλητότητας στο σύστημα μέτρησης και τέλος η αξιολόγηση της ικανότητας του οργάνου μέτρησης και του μετρητή.

4.7.1 Σκοπός Μεθόδου Gage R&R

1. Η μέθοδος κάνει εκτίμηση μόνο για το σύστημα μέτρησης και όχι για τα τεμάχια που μετρήσαμε. Η Gage R&R δεν ενδιαφέρεται για το πόσο ικανοποιητικά είναι τα τεμάχια που μελετηθήκαν. Αλλά ασχολείται μόνο με το πόσο κατάλληλο είναι το σύστημα που μετρήθηκαν.
2. Εάν το δείγμα μας ήταν ένα τεμάχιο αντιπροσωπευτικό του συνολικού πληθυσμού των 10 τεμαχίων, δεν θα μπορούσαμε να μελετήσουμε την μεταβλητότητα του δοκιμίου. Άρα, όλο το βάρος θα έπεφτε στον παράγοντα άνθρωπος και εξοπλισμός.
3. Για να αυξήσουμε την μελέτη της μεταβλητότητας του δοκιμίου χρειαζόμαστε όσο περισσότερες μετρήσεις του ίδιου τεμαχίου.
4. Με έναν μετρητή η μέθοδος δεν λειτουργεί, γιατί δεν θα μπορούσε να μελετήσει τον παράγοντα μεταβλητότητα του χειριστή. Το ιδανικότερο είναι τρεις μετρητές όπου εξάγονται και τα καλύτερα δυνατά συμπεράσματα.

4.7.2 Υπολογισμοί μεθόδου

Υπολογίζουμε το εύρος ανά τεμάχιο ανά μετρητή, αν βρούμε τον μέσο ορό των εύρων των δοκιμίων έχουμε το μέσο εύρος ανά μετρητή

$$\bar{R} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i$$

Το μέσο εύρος για το σύνολο των χειριστών υπολογίζεται

$$\bar{\bar{R}} = (\bar{R}_a + \bar{R}_b) / (Αρ. Χειρ.)$$

Το άνω όριο του εύρους κινδύνου υπολογίζεται

$$UCLR = \bar{R} \times D_4$$

και το κάτω όριο του εύρους κινδύνου υπολογίζεται

$$LCLR = \bar{R} \times D_3$$

όπου τα D_3 και D_4 είναι συντελεστές (πίνακας 4.4) που εξαρτώνται από τον αριθμό των τιμών του δείγματος(δηλαδή το πόσες μετρήσεις έγιναν στο κάθε δοκίμιο).

Πίνακας 4.4: Συντελεστές προσδιορισμού ορίων κινδύνων (N είναι ο αριθμός τιμών του δείγματος)

N	A₂	D₃	D₄
2	1,88	0	3,267
3	1,023	0	2,575
4	0,729	0	2,282
5	0,577	0	2,115
6	0,483	0	2,004
7	0,419	0,076	1,924
8	0,373	0,136	1,864
9	0,337	0,184	1,816
10	0,308	0,223	1,777

Το κάτω όριο του μέσου όρου είναι

$$(\bar{x})LCL = \bar{x} - \bar{R} \times A_2$$

Το άνω όριο του μέσου όρου είναι

$$(\bar{x})UCL = \bar{x} + \bar{R} \times A_2$$

όπου το \bar{x} είναι ο μέσος όρος των μέσων όρων των μετρήσεων ως προς τον αριθμό των χειριστών.

Η επαναληψιμότητα ή μεταβλητότητα εξοπλισμού εκφράζει την διακύμανση σε μετρήσεις που έγιναν από έναν μετρητή. Χρησιμοποιώντας πάντα τον ίδιο πρότυπο δακτύλιο, για να μετρήσει τα ίδια ακριβώς χαρακτηριστικά, των ιδίων δοκιμίων.

$$EV = \bar{R} \cdot K_1$$

όπου $K_1=1/d_2$, το d_2 είναι συντελεστής που τον επιλεγούμε από τον πίνακα 4.5.

Για την επιλογή d_2 , το Y είναι ο αριθμός των μετρήσεων που έγιναν σε κάθε τεμάχιο. Το X ισούται με τον αριθμό των χειριστών επί τον αριθμό των δοκιμών.

Πίνακας 4.5: Επιλογή συντελεστού d_2

X \ Y	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1,414	1,912	2,239	2,481	2,673	2,83	2,963	3,078	3,179
2	1,279	1,805	2,151	2,405	2,604	2,768	2,906	3,025	3,129
3	1,231	1,769	2,12	2,379	2,581	2,747	2,886	3,006	3,112
4	1,206	1,75	2,105	2,366	2,57	2,736	2,877	2,997	3,103
5	1,191	1,739	2,096	2,358	2,563	2,73	2,871	2,992	3,098
6	1,181	1,731	2,09	2,353	2,558	2,726	2,867	2,988	3,095
7	1,173	1,726	2,085	2,349	2,555	2,723	2,864	2,986	3,092
8	1,168	1,721	2,082	2,346	2,552	2,72	2,862	2,984	3,09
9	1,164	1,718	2,08	2,344	2,55	2,719	2,86	2,982	3,089
10	1,16	1,716	2,077	2,342	2,549	2,717	2,859	2,981	3,088
11	1,157	1,714	2,076	2,34	2,547	2,716	2,858	2,98	3,087
12	1,155	1,712	2,074	2,3439	2,546	2,715	2,857	2,979	3,086
13	1,153	1,71	2,073	2,338	2,545	2,714	2,856	2,978	3,085
14	1,151	1,709	2,072	2,337	2,545	2,714	2,856	2,978	3,085
15	1,15	1,708	2,071	2,337	2,544	2,713	2,855	2,977	3,084
>15	1,128	1,693	2,059	2,326	2,534	2,704	2,847	2,97	3,078

Αναπαραγωγικότητα ή μεταβλητότητα μετρητή είναι η διακύμανση των τιμών των μετρήσεων που έγιναν από διαφορετικούς μετρητές, χρησιμοποιώντας την ίδια διαδικασία, μετρώντας τα ίδια χαρακτηριστικά των ίδιων δακτυλίων.

$$AV = \sqrt{(\bar{X}_{DIFF} \cdot K_2)^2 - (EV^2 / nr)}$$

όπου το $K_2=1/d_2$, το d_2 το είναι από τον πίνακα 4.5.

Για την επιλογή d_2 το $X = 1$ και Y των αριθμό των χειριστών,

- το n είναι ο αριθμός των δοκιμών,
- το r είναι ο αριθμός των μετρήσεων.

Η Επαναληψιμότητα & Αναπαραγωγικότητα (R&R) συνδυάζονται με τον τύπο

$$R \& R = \sqrt{EV^2 + AV^2}$$

Μεταβλητότητα δοκιμίου είναι η διαφορά στη μέση τιμή των δυο τουλάχιστον σετ μετρήσεων που έγιναν με την ίδια μέθοδο, στα ίδια τεμάχια, υπό την επίδραση του χρόνου. Υπολογίζεται από τον τύπο

$$PV = R_{\text{χειρ}} \times K_3$$

όπου το $R_{\text{χειρ}}$ είναι η διαφορά εύρους των χειριστών, το $K_3=1/d_2$, το d_2 το είναι από τον πίνακα 4.5. Για την επιλογή του d_2 το Y ίσο με τον αριθμό των δοκιμών και για $X=1$

Συνολική μεταβλητότητα είναι ο συνδυασμός της μεταβλητότητας του εξοπλισμού, του μετρητή και των τεμαχίων.

$$TV = \sqrt{(R \& R)^2 + PV^2}$$

Ως ποσοστά τα παραπάνω μεγέθη μετατρέπονται από τους παρακάτω τύπους:

$$EV \% = 100 * (EV/TV)$$

$$AV \% = 100 * (AV/TV)$$

$$R\&R \% = 100 * (R\&R/TV)$$

$$PV \% = 100 * (PV/TV)$$

4.7.3 Ανάλυση αποτελεσμάτων μεθόδου

Τα κριτήρια αποδοχής της μεθόδου μέτρησης είναι:

- Για ποσοστό σφάλματος R&R μικρότερο ή ίσο με 10% γίνεται αποδέκτη η μέθοδος.
- Για ποσοστό σφάλματος R&R μεγαλύτερο από 10% και μικρότερο 30% γίνεται αποδέκτη υπό την προϋπόθεση της έκδοσης συνοδευτικού έγγραφου. Το έγγραφο θα πρέπει να περιγράφει αναλυτικά τα ευρήματα της έρευνας και να φέρει υπογραφή του Υπεύθυνου Ποιότητας.
- Για ποσοστό σφάλματος R&R μεγαλύτερο από 30% δεν γίνεται αποδεκτή η μέθοδος.

Αν η Αναπαραγωγιμότητα είναι μεγαλύτερη από την Επαναληψιμότητα τότε οι πιθανές αιτίες είναι:

- Οι μετρητές δεν είναι κατάλληλα εκπαιδευμένοι ή δεν έχουν τη κατάλληλη εμπειρία για να χρησιμοποιήσουν και να εξάγουν αποτελέσματα από την μετρητική διάταξη.

- Η διακρίβωση του οργάνου μέτρησης δεν είναι σωστή.
- Χρειάζεται αναπόσπαστη βάση πάνω στην τράπεζα μέτρησης ώστε οι μετρητές να διευκολυνθούν στις μετρήσεις τους και να γίνεται ορθότερη χρήση της διάταξης.

Αν η Επαναληψιμότητα είναι μεγαλύτερη από την Αναπαραγωγιμότητα τότε τα πιθανά αίτια είναι:

- Η μετρητική διάταξη χρειάζεται συντήρηση.
- Το πρότυπο που χρησιμοποιήθηκε στις μέτρησης πρέπει να ελέγχθη γιατί παρουσιάζει μεταβλητότητα ή χρειαζόμαστε πρότυπο μεγαλύτερης ακριβείας για τις μετρήσεις που κάνουμε.
- Το σύστημα πρόσδεσης του μετρούμενου τεμαχίου στην μετρητική διάταξη πρέπει να βελτιωθεί.
- Υπερβολική εσωτερική μεταβλητότητα δοκιμίου. Δηλαδή, υποθέτουμε ότι μετράμε διάμετρο άξονα ο οποίος από κακή επεξεργασία παρουσιάζει κωνικότητα. Οπότε τα δύο άκρα του άξονα θα έχουν διαφορετική διάμετρο. Μετρώντας διαφορετικές άκρες, θα παίρνουμε και διαφορετικές μετρήσεις κάθε φορά.

5 Αβεβαιότητα και Σφάλμα μέτρησης

Η ακρίβεια κάθε μέτρησης περιορίζεται από διάφορους παράγοντες όπως οι ατέλειες και η πεπερασμένη ικανότητα των οργάνων μέτρησης, η πεπερασμένη ικανότητα του χειριστή και οι απρόβλεπτες μεταβολές των συνθηκών μέτρησης. Το αποτέλεσμα μιας μέτρησης είναι μόνο μια προσέγγιση ή εκτίμηση της τιμής της φυσικής ποσότητας που υπόκειται σε μέτρηση. Το αποτέλεσμα είναι πλήρες μόνο όταν συνοδεύεται από μια ποσοτική έκφραση της αβεβαιότητάς του. Ως σφάλμα ορίζεται η διαφορά μεταξύ μετρούμενης και «αληθούς» ή πραγματικής αλλά άγνωστης τιμής ενός μετρούμενου μεγέθους.

$$\text{Σφάλμα} = | \text{μετρούμενη τιμή} - \text{πραγματική τιμή} |$$

Ως αβεβαιότητα ορίζεται η ποσοτική έκφραση της «αμφιβολίας» που υπάρχει σχετικά με το αποτέλεσμα της μέτρησης. Είναι δηλαδή ένα μέτρο της αξιοπιστίας της μέτρησης.

Πολλές φορές η αβεβαιότητα των μετρήσεων αναφέρεται ως "σφάλμα" (error). Στην πραγματικότητα δεν είναι σφάλμα ή λάθος με την κοινή έννοια του όρου γιατί είναι κάτι που δεν μπορεί να αποφευχθεί. Σήμερα υπάρχουν ερευνητικά κέντρα και οργανισμοί, όπως ο Παγκόσμιος Οργανισμός Μέτρων (International Organization for Standards, ISO), που αναπτύσσουν μεθοδολογίες για τον καθορισμό μέτρων και σταθμών καθώς και τον καθορισμό της αβεβαιότητας των μετρήσεων.

Ακόμα για τον ορισμό της αβεβαιότητας και του σφάλματος μιας μέτρησης χρησιμοποιείται διεθνώς ο οδηγός ISO-GUM (Guide for Uncertainty of Measurement), κάτι που λήφθηκε υπόψη και για την διαμόρφωση της οδηγίας υπολογισμού της αβεβαιότητας (της οδηγίας OE-10) που παρατίθεται σε παρακάτω κεφάλαιο.

Οι αβεβαιότητες στο αποτέλεσμα μιας μέτρησης προέρχονται από διάφορους παράγοντες και χωρίζονται σε δύο τύπους ανάλογα με τον τρόπο που υπολογίζονται.

- Τύπου Α: Οφείλονται σε τυχαία μεταβολή παραγόντων και υπολογίζονται με στατιστικές μεθόδους (Γνωστά και ως Τυχαία Σφάλματα). Τα τυχαία σφάλματα δεν επαναλαμβάνονται με το πείραμα αλλά αντιπροσωπεύουν την τυχαιότητα που χαρακτηρίζει το μέγεθος που μετράμε. Για αυτό και αυτού του τύπου τα σφάλματα δε μπορούν να απαλειφθούν. Τα τυχαία σφάλματα ορίζουν την ακρίβεια επανάληψης (precision) της μέτρησης, δηλαδή το μέγεθος της μεταβολής των τιμών μέτρησης σε κάθε επανάληψη της μέτρησης (για τις ίδιες συνθήκες του πειράματος).
- Τύπου Β: Υπολογισμός αβεβαιότητας με άλλους τρόπους. Στην κατηγορία αυτή υπάγονται τα λεγόμενα Συστηματικά σφάλματα, η αβεβαιότητα

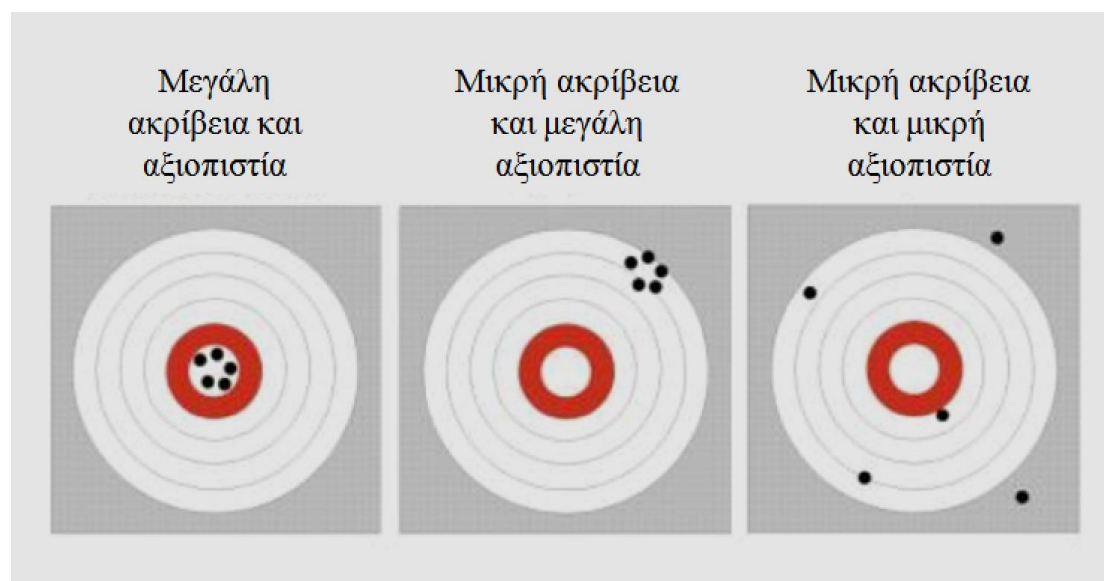
έμμεσης μέτρησης και η σύνθετη αβεβαιότητα. Τα συστηματικά σφάλματα επαναλαμβάνονται και υπάρχει κάποιο αίτιο που τα δημιουργεί. Πολλές φορές είναι δύσκολο να εντοπισθούν αλλά μπορούν να εξουδετερωθούν με κατάλληλη βαθμονόμηση (calibration), συγκρίνοντας με κάποιον τρόπο μετρήσεις και πραγματικές τιμές. Τα συστηματικά σφάλματα ορίζουν την ακρίβεια (ορθότητα/accuracy) της μέτρησης, δηλαδή κατά πόσο οι μετρήσεις είναι κοντά στις πραγματικές τιμές ή υπάρχουν συστηματικές αποκλίσεις. Με αναφορά στην εκτίμηση παραμέτρων τα συστηματικά σφάλματα συνδέονται με τη μεροληψία (bias), όπου η εκτίμηση του μεγέθους (ή παραμέτρου) δεν είναι ίδια με την πραγματική τιμή του μεγέθους.

Τις περισσότερες φορές η αβεβαιότητα είναι σύνθετη έχει δηλαδή συνιστώσα που οφείλεται σε τυχαίους παράγοντες και συνιστώσα που οφείλεται σε συστηματικά φαινόμενα.

Πριν αναφερθούμε πιο αναλυτικά στους τύπους αβεβαιότητας και τον τρόπο υπολογισμού τους, θα πρέπει να δούμε κάποια χαρακτηριστικά που σχετίζονται με την αξιοπιστία της μέτρησης.

5.1 Ακρίβεια και Αξιοπιστία

Η αξιοπιστία της μέτρησης σχετίζεται με το πόσο λεπτομερής είναι η μέτρηση και πόση επαναληπτικότητα έχει όταν γίνουν επαναλαμβανόμενες μετρήσεις του ίδιου μεγέθους κάτω από ίδιες συνθήκες μέτρησης.



Σχήμα 5.1: Ακρίβεια και αξιοπιστία

5.2 Πρότυπη αβεβαιότητα

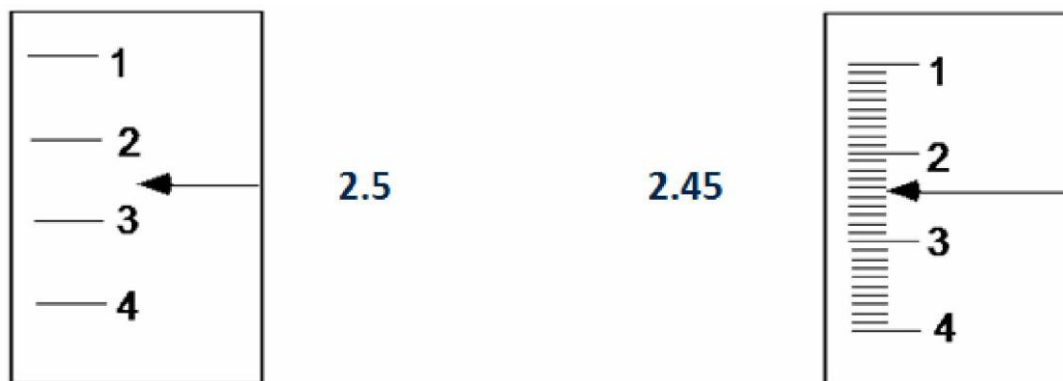
Όλες οι συνεισφέρουσες αβεβαιότητες θα πρέπει να εκφράζονται στο ίδιο επίπεδο εμπιστοσύνης, μετατρέποντάς τις σε πρότυπες αβεβαιότητες. Η πρότυπη αβεβαιότητα είναι ένα περιθώριο του οποίου το μέγεθος μπορεί να το παρομοιάσει κανείς σαν μια "συν ή πλην τυπική απόκλιση".

Η πρότυπη αβεβαιότητα μας φανερώνει την αβεβαιότητα ενός μέσου όρου (όχι μόνο τη διασπορά των τιμών). Η πρότυπη αβεβαιότητα συνήθως παριστάνεται με το σύμβολο u (μικρό u), ή $u(\gamma)$.

5.3 Σημαντικά ψηφία και ακρίβεια οργάνων

Όλα τα όργανα έχουν όριο στις μετρητικές τους δυνατότητες. Έχουν πάντα μια ελάχιστη ποσότητα μέχρι την οποία μπορούν να μετρήσουν. Σημαντικά ψηφία μιας μέτρησης θεωρούνται όλα τα ψηφία που μπορούμε να διαβάσουμε με απόλυτη βεβαιότητα συν ένα και μόνο ένα, το τελευταίο, που είναι από εκτίμηση και επομένως είναι αβέβαιο.

Η αξιοπιστία μιας μέτρησης συνδέεται με τον αριθμό των σημαντικών ψηφίων που περιέχει. Μια μέτρηση ενός μεγέθους είναι περισσότερο αξιόπιστη από μια άλλη εάν είναι πιο λεπτομερής, δηλαδή αν περιέχει περισσότερα σημαντικά ψηφία.



Σχήμα 5.2: Καταγραφή σημαντικών ψηφίων

5.4 Υπολογισμός Αβεβαιότητας

Για να υπολογιστεί η αβεβαιότητα μιας μέτρησης, αρχικά πρέπει να προσδιοριστούν οι πηγές της αβεβαιότητας στη μέτρηση. Έπειτα πρέπει να υπολογιστεί το μέγεθος της συνεισφοράς κάθε πηγής. Τελικά οι μεμονωμένες αβεβαιότητες πρέπει να συνδυαστούν για να μας δώσουν τη συνολική εικόνα.

5.4.1 Αβεβαιότητες Τύπου Α (στατιστικού χαρακτήρα)

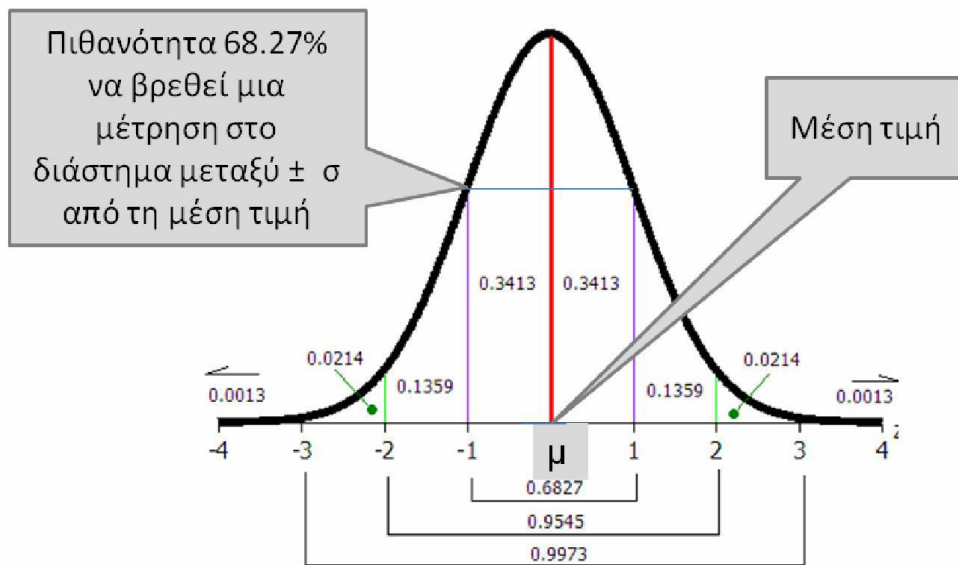
Οφείλονται σε τυχαίους παράγοντες που σχετίζονται με την επίδραση του περιβάλλοντος (θόρυβος, μεταβολή θερμοκρασίας, παρεμβολές), τις ατέλειες οργάνων, την αλληλεπίδραση οργάνου-μετρούμενου μεγέθους καθώς και σε υποκειμενικούς παράγοντες που επηρεάζουν το αποτέλεσμα των μετρήσεων. Με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις του φυσικού μεγέθους με το ίδιο όργανο κάτω από ίδιες συνθήκες, περιορίζουμε την επίδραση των αβεβαιοτήτων που οφείλονται σε τυχαίους παράγοντες.

Εάν X το μέγεθος το οποίο μετρήθηκε N φορές και X_i το αποτέλεσμα κάθε μέτρησης, η μέση τιμή του δίδεται από τη σχέση:

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i$$

Έτσι, θεωρούμε ότι η "καλύτερη" τιμή για τη μέτρηση είναι ο μέσος όρος που προέκυψε από το σύνολο των μετρήσεων.

Θεωρώντας ότι η διαφοροποίηση στις μετρήσεις οφείλεται σε τυχαίους παράγοντες, οι μετρήσεις περιγράφονται από μια κανονική κατανομή πιθανοτήτων. Στην κανονική κατανομή η μέση τιμή είναι η τιμή με την μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης. Όταν το πλάτος της κατανομής είναι μικρό σε σύγκριση με την μέση τιμή, ο μέσος όρος αντιπροσωπεύει, σχετικά καλά, ένα μεγάλο ποσοστό των μετρήσεων ενώ όταν το πλάτος της κατανομής είναι μεγάλο σε σύγκριση με την μέση τιμή, ο μέσος όρος δεν αντιπροσωπεύει καλά το σύνολο των μετρήσεων. Έτσι, το πλάτος της κατανομής των μετρήσεων μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέτρο της αβεβαιότητας των μετρήσεών μας.



Σχήμα 5.3: Κανονική κατανομή – Τυπική απόκλιση

Η αβεβαιότητα που προκύπτει από τις επαναλαμβανόμενες μετρήσεις ενός φυσικού μεγέθους, μπορεί να εκφραστεί με διάφορους τρόπους. Ως μέτρο της αβεβαιότητας χρησιμοποιούμε, τη λεγόμενη τυπική αβεβαιότητα της μέσης τιμής που συνδέεται με την τυπική απόκλιση της κανονικής κατανομής και υπολογίζεται από την σχέση:

$$u = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

όπου n είναι το πλήθος των μετρήσεων της ομάδας (Η πρότυπη αβεβαιότητα της μέσης τιμής έχει ιστορικά επίσης ονομαστεί η τυπική απόκλιση της μέσης τιμής, ή το πρότυπο σφάλμα της μέσης τιμής).

5.4.2 Αβεβαιότητες Τύπου Β (συστηματικές αβεβαιότητες)

Οι συστηματικές αβεβαιότητες (σε πολλά βιβλία αναφέρονται ως συστηματικά σφάλματα) είναι αβεβαιότητες που μπορούν να εντοπισθούν και να αποφευχθούν ή να διορθωθούν. Οφείλονται συνήθως σε μη ικανοποιητική ή λανθασμένη βαθμονόμηση οργάνων, σε λανθασμένες ενέργειες του πειραματιστή, της μεθόδου ανάλυσης κλπ.

Οι συστηματικές αβεβαιότητες δίνουν σταθερά μεγαλύτερες ή σταθερά μικρότερες τιμές από τις «πραγματικές». Εντοπίζονται δε συγκρίνοντας τις τιμές του μεγέθους που μας ενδιαφέρει με τιμές που λαμβάνονται με διαφορετική τεχνική, με άλλο πειραματιστή κλπ.

Όταν οι πληροφορίες είναι πολύ σπάνιες (σε μερικούς υπολογισμούς τύπου Β), μπορεί μόνο να υπολογιστεί το άνω και κάτω όρια της αβεβαιότητας. Τότε μπορεί μόνο να υποθεθεί ότι η τιμή της αβεβαιότητας είναι το ίδιο πιθανό να βρίσκεται οπουδήποτε μεταξύ πχ. μιας ορθογωνικής ή ομοιόμορφης κατανομής. Η πρότυπη αβεβαιότητα για μια ορθογωνική κατανομή υπολογίζεται από τη σχέση:

$$u = \frac{\alpha}{\sqrt{3}}$$

όπου α είναι το μισό εύρος (μισό πλάτος) μεταξύ του άνω και κάτω ορίου.

Η ορθογωνική ή η ομοιόμορφη κατανομές εμφανίζονται αρκετά συχνά, αλλά εάν έχεις λόγο να βασίζεσαι σε μια άλλη κατανομή, τότε θα πρέπει να βασίσεις τον υπολογισμό σου σε αυτή.

5.4.3 Συνδυασμός πρότυπων αβεβαιοτήτων

Οι μεμονωμένες πρότυπες αβεβαιότητες που υπολογίζονται με τις σχέσεις τύπου Α ή τύπου Β συνδυάζονται έγκυρα με "άθροιση των τετραγώνων" (επίσης γνωστή σαν τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος των τετραγώνων). Το αποτέλεσμα αυτό ονομάζεται η συνδυασμένη πρότυπη αβεβαιότητα και συμβολίζεται με u_c ή $u_c(y)$.

5.4.4 Συντελεστής κάλυψης k

Τοποθετούμε υπό κλίμακα τις συνιστώσες της αβεβαιότητας, για να βρούμε την συνδυασμένη πρότυπη αβεβαιότητα με συνέπεια έχοντας το αποτέλεσμα να θέλουμε να το ξανά-κλιμακώσουμε. Τη συνδυασμένη πρότυπη αβεβαιότητα μπορεί να τη θεωρήσουμε σαν ισοδύναμη με "μια τυπική απόκλιση", αλλά μπορεί να θέλουμε να έχουμε μια συνολική αβεβαιότητα η οποία να καθορίζεται σε ένα άλλο επίπεδο εμπιστοσύνης πχ. 95 %. Αυτή η ξανά-κλιμάκωση μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας ένα *συντελεστή κάλυψης*, k .

Πολλαπλασιάζοντας τη συνδυασμένη πρότυπη αβεβαιότητα, u_c , με ένα συντελεστή κάλυψης το αποτέλεσμα που παίρνουμε ονομάζεται αναπτυγμένη (εκτεταμένη;) αβεβαιότητα, που συνήθως συμβολίζεται με το σύμβολο U , όπως:

$$U = k u_c$$

Ειδικότερα μια τιμή του συντελεστή κάλυψης δίνει μια τιμή της εκτεταμένης αβεβαιότητας που αντιστοιχεί σε κάποιο επίπεδο εμπιστοσύνης.

Συνηθίζεται να κλιμακώνουμε την συνολική αβεβαιότητα χρησιμοποιώντας τον συντελεστή κάλυψης $k=2$, για να καθορίζουμε ένα επίπεδο εμπιστοσύνης περίπου

95 % (για $k=2$, αυτό είναι σωστό όταν η συνδυασμένη αβεβαιότητα ακολουθεί κανονική κατανομή)

Μερικοί άλλοι συντελεστές κάλυψης (για κανονική κατανομή) είναι:

- $K = 1$ για επίπεδο εμπιστοσύνης περίπου 68 %
- $K = 2,58$ για επίπεδο εμπιστοσύνης περίπου 99 %
- $K = 3$ για επίπεδο εμπιστοσύνης περίπου 99,7 %

6 Μηχανές μέτρησης μήκους πρότυπων πλακιδίων με τη μέθοδο της σύγκρισης

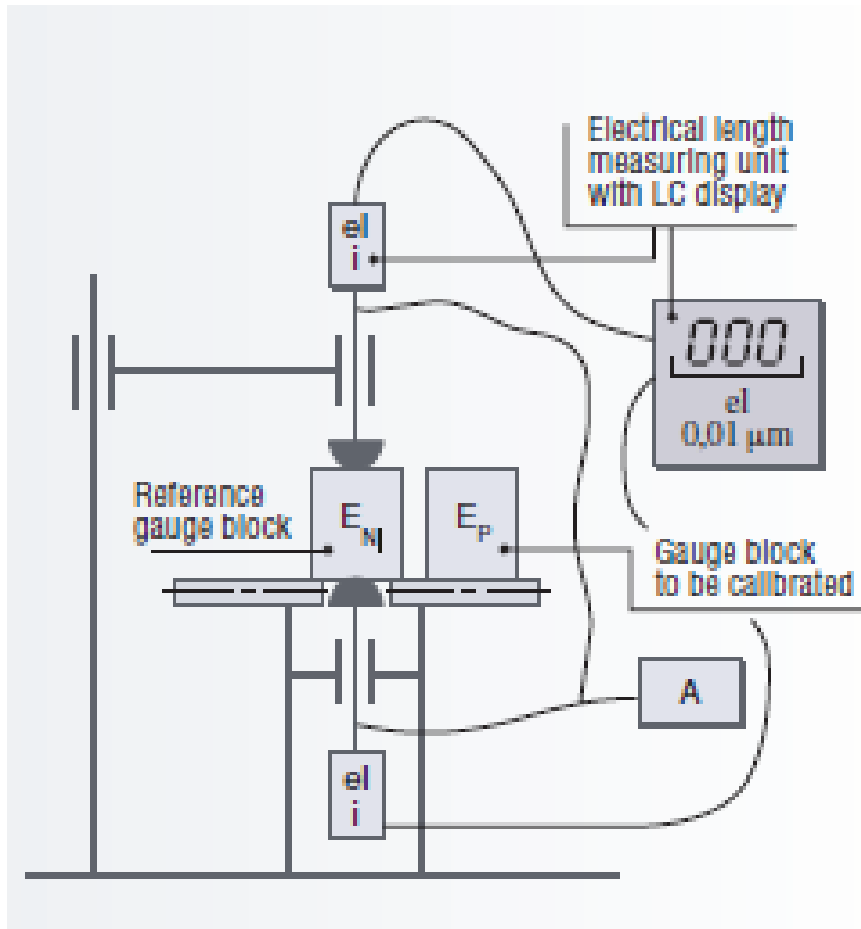
Η διακρίβωση πρότυπων πλακιδίων είναι μια από τις παλαιότερες υψηλής ακρίβειας διακριβώσεις που γίνονται στον τομέα της διαστατικής μετρολογίας. Από την εφεύρεσή τους στις αρχές του 20^{ου} αιώνα τα πρότυπα πλακίδια αποτελούν την κύρια πηγή της τυποποίησης μήκους για τη βιομηχανία. Στις περισσότερες μετρήσεις τέτοιας σημασίας θα ήταν αναμενόμενο ότι η μέτρηση θα γινόταν πολύ πιο ακριβής ύστερα από 80 χρόνια ανάπτυξης. Λόγω όμως της απλότητας των πρότυπων πλακιδίων αυτό που έχει αλλάξει μετά από τόσα χρόνια δεν είναι η μεγαλύτερη ακρίβεια των μετρήσεων, αλλά η διαδεδομένη αναγκαιότητα της ακρίβειας αυτής. Οι μετρήσεις πρότυπων πλακιδίων, που τα προηγούμενα χρόνια θα μπορούσαν να γίνουν μόνο με τον εξοπλισμό και την τεχνογνωσία ενός εθνικού εργαστηρίου μετρολογίας (E.I.M), στις μέρες μας μπορεί να γίνουν και σε ιδιωτικά βιομηχανικά εργαστήρια.

Σε περιβάλλοντα βιομηχανικής παραγωγής και εργαστηρίων υπάρχει η ανάγκη μετρήσεων από μηχανήματα μεγάλης ακρίβειας, ώστε να γίνεται ο έλεγχος των προτύπων, των οργάνων μέτρησης, ρύθμιση των οργάνων μέτρησης αλλά ακόμα και διακριβώσεις.

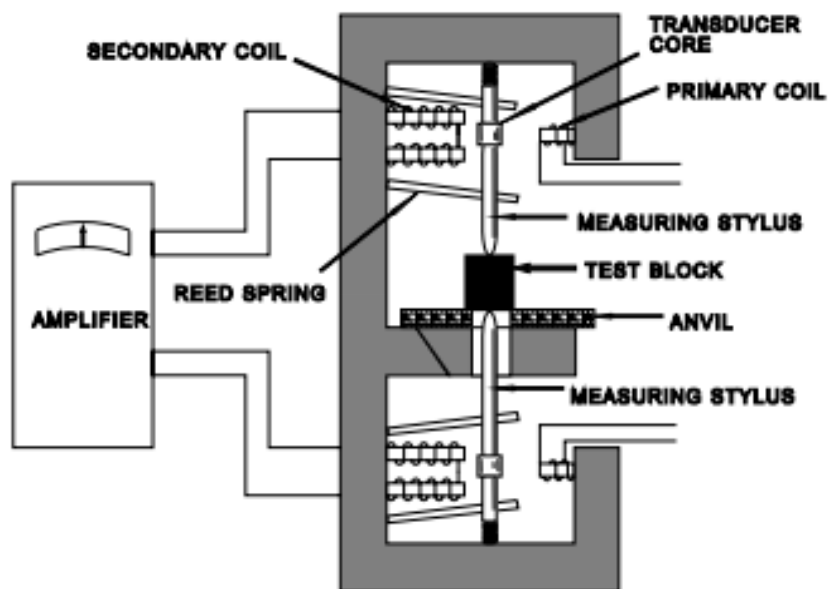
Μια τέτοια μηχανή μέτρησης πλακιδίων με τη μέθοδο της σύγκρισης βρίσκεται και στο μετροτεχνικό εργαστήριο του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (Ε.Μ.Π.) στη σχολή μηχανολόγων μηχανικών. Αυτή είναι η TESAUPC η οποία χρησιμοποιείται ευρέως σε διαπιστευμένα εργαστήρια παγκοσμίως. Η TESAUPC χρησιμοποιείται για συγκριτική μέτρηση πλακιδίων με το ίδιο ονομαστικό μήκος διαστάσεων από 0,5 mm έως 100 mm και η οποία παρέχει τις παρακάτω δυνατότητες:

- Υψηλής ακρίβειας επαγωγικούς ανιχνευτές
- Μέτρηση της θερμοκρασίας της μέτρησης με μεγάλη ακρίβεια
- Απευθείας μεταφορά των μετρήσεων μήκους και θερμοκρασίας στον υπολογιστή
- Εκτέλεση πράξεων με τη βοήθεια του υπολογιστή, συμπεριλαμβανομένων και όλων των απαραίτητων διορθώσεων που χρειάζονται
- Εκτέλεση διακριβώσεων που υπακούν στις οδηγίες των προτύπων ISO αλλά και της EAL (EAL European cooperation of Accreditation of Laboratories)
- Περιλαμβάνει μια εκτέλεση για μεγαλύτερη ακρίβεια σε συνδυασμό με ένα πιστοποιητικό διακρίβωσης

Αυτές οι μηχανές χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση πρότυπων πλακιδίων με τη συγκριτική μέθοδο με γραφίδες μέτρησης απέναντι ή μια στην άλλη. Τα πλακίδια (το πλακίδιο αναφοράς και το μετρούμενο) τοποθετούνται στην τράπεζα εργασίας της μηχανής όπως φαίνεται και στα παρακάτω σχήματα.



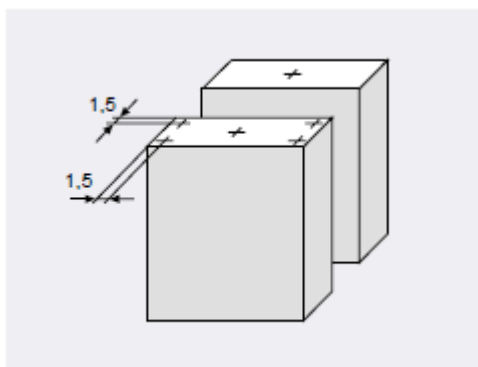
Σχήμα 6.1: Τοποθέτηση πλακιδίων στην TESAUPC



Σχήμα 6.2: Τοποθέτηση του μετρούμενου πλακιδίου (Test Block)

Μετά την τοποθέτηση του πλακιδίου παραμένει στην τράπεζα εργασία για κάποιο επαρκές χρονικό διάστημα, σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα καλής πρακτικής, έτσι ώστε να σταθεροποιηθεί η θερμοκρασία του πλακιδίου και να αποφθεχθεί οποιαδήποτε επίδρασή της στο μήκος του πλακιδίου. Με τις μηχανές αυτές μετριούνται μεταβολές του πάχους του πλακιδίου από άκρη σε άκρη και στις δύο κατευθύνσεις στο σημείο της μέτρησης. Τα εγχειρίδια των συγκριτικών μηχανών αυτών συνιστούν τη χρήση λαβίδων για το χειρισμό των πλακιδίων ώστε να ελαχιστοποιηθούν επιδράσεις της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται τα σημεία που γίνονται οι μετρήσεις πάνω στην επιφάνεια των πλακιδίων.



Σχήμα 6.3: Σημεία μετρήσεων στην επιφάνεια των πλακιδίων

Στο πρότυπο πλακίδιο (πλακίδιο αναφοράς) γίνεται μία μέτρηση ενώ στο πλακίδιο προς μέτρηση γίνονται πέντε μετρήσεις στα σημεία που φαίνονται στο σχήμα. Τα σημεία που βρίσκονται στις γωνίες απέχουν 1,5 mm από τις 2 πλευρές της γωνίας.

7 Τρόπος διεξαγωγής των μετρήσεων και αποτελέσματα της επεξεργασίας τους.

7.1 Προετοιμασία για τη διαδικασία των μετρήσεων

Καταρχάς καταλάβαμε τον τρόπο λειτουργίας της μηχανής και την γενικότερη έννοια της μεθόδου σύγκρισης με τη βοήθεια του ISO 3650.

Μετά, μελετήσαμε προσεκτικά τα εγχειρίδια της μηχανής και του λογισμικού της για να καταλάβουμε με λεπτομέρειες τον τρόπο που θα διεξάγονταν οι μετρήσεις.

Ρυθμίσαμε τις παραμέτρους του λογισμικού για 1^η φορά και περάσαμε σε αυτό όποια πληροφορία ήταν απαραίτητη έτσι ώστε να μπορέσουμε να κάνουμε τις μετρήσεις. Η διαδικασία του setup και της παραμετροποίησης του λογισμικού βρίσκεται στο παράρτημα του παραρτήματος Α με τίτλο ΑΡΧΙΚΕΣ ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ.

Στη συνέχεια κάναμε κάποιες δοκιμές μετρήσεων με air condition και χωρίς γιατί είχαμε κάποια μη κανονικά αποτελέσματα μετρήσεων. Τελικά βρέθηκε ότι αυτό γινόταν λόγω ενός προβλήματος στη λειτουργία του κλιματισμού και έτσι μετά την επισκευή του μπορέσαμε να συνεχίσουμε με σωστή θερμοκρασία ($20 \pm 5^{\circ}\text{C}$) τη διαδικασία.

Ένα άλλο ερώτημα που θέσαμε στον εαυτό μας ήταν η διάρκεια του χρόνου που έπρεπε να αφήσουμε το probe που ακουμπάει στο δοκίμιο κατά τη μέτρηση. Επειδή παρακολουθήσαμε και καταλάβαμε ότι η σταθεροποίηση της μετρούμενης τιμής χρειάζεται κάποια δευτερόλεπτα κάναμε το εξής πείραμα:

- Πραγματοποιήσαμε μετρήσεις σε 2 γύρους μετρώντας στο ίδιο σημείο του πλακιδίου. Στο πρώτο γύρο, ο χρόνος αναμονής για σταθεροποίηση ήταν 10 δευτερόλεπτα ενώ στο δεύτερο ήταν 5 δευτερόλεπτα. Αφού παρατηρήσαμε ότι η ένδειξη στην Ηλεκτρονική Μονάδα της μηχανής σταθεροποιούνταν πριν τα 5 sec και οι διαφορές μεταξύ των δύο σετ μετρήσεων ήταν αμελητέες ($\pm 1 \mu\text{m}$) αποφασίσαμε πως ο χρόνος αναμονής θα οριστεί στα 5 δευτερόλεπτα όπως έχει οριστεί και στο Παράρτημα Α, δηλαδή την οδηγία μετρήσεων.

7.2 Μετρήσεις και επεξεργασία τους

Μετά την εξοικείωση με την TESA UPC κάναμε τις μετρήσεις που δίνονται παρακάτω μαζί με την επεξεργασία τους ώστε να τις χρησιμοποιήσουμε για το Παράρτημα Β, δηλαδή την οδηγία αβεβαιότητας.

Πλακίδιο:10 mm						
Μέτρηση	2	3	4	5	6	2
1	-0,05	-0,08	-0,07	-0,13	-0,16	-0,13
	-0,13	-0,14	-0,14	-0,04	-0,08	-0,10
	-0,09	-0,11	-0,12	-0,10	-0,11	-0,11
2	0,08	0,01	-0,06	-0,06	-0,01	0,02
	0,09	0,01	0,15	0,01	0,02	0,02
	0,02	0,09	0,01	0,17	-0,01	0,01
3	0,08	0,05	0,05	0,02	0,03	0,03
	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03
	0,03	0,01	0,02	0,03	0,02	0,01

Από τις μετρήσεις αυτές βρήκαμε:

μέση τιμή	-0,01
$\Sigma(\chi-\chi_i)^2$	0,090978
τυπική απόκλιση	0,073155

Πλακίδιο:1,09 mm						
Μέτρηση	2	3	4	5	6	2
1	-0,02	0,00	0,00	-0,05	-0,06	-0,02
	0,02	-0,02	-0,01	-0,03	-0,03	0,00
	0,00	-0,03	-0,02	-0,02	-0,04	-0,03
2	0,00	-0,02	-0,01	-0,01	-0,02	0,02
	0,02	0,00	0,01	-0,01	-0,01	0,01
	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,03
3	0,07	0,05	0,06	0,07	-0,02	0,00
	0,08	0,00	0,06	0,09	0,00	0,05
	-0,01	0,03	0,01	-0,02	-0,01	0,03

Από τις μετρήσεις αυτές βρήκαμε:

μέση τιμή	0,02
$\Sigma(\chi-\chi_i)^2$	0,01505
τυπική απόκλιση	0,029754

Πλακίδιο:70 mm						
Μέτρηση	2	3	4	5	6	2
1	-0,47	-0,36	-0,07	-0,41	-0,37	-0,43
	-0,46	-0,37	-0,20	-0,42	-0,37	-0,44
	-0,45	-0,36	-0,20	-0,42	-0,38	-0,45
2	-0,50	-0,42	-0,18	-0,28	-0,45	-0,52
	-0,52	-0,43	-0,39	0,02	0,03	-0,50
	-0,51	-0,42	-0,40	-0,46	-0,05	-0,51
3	-0,52	-0,50	-0,50	-0,57	-0,39	-0,46
	-0,53	-0,51	-0,55	-0,60	-0,47	-0,55
	-0,57	-0,53	-0,56	-0,61	-0,44	-0,52

Από τις μετρήσεις αυτές βρήκαμε:

μέση τιμή	-0,50
$\Sigma(\chi-\chi_i)^2$	0,02725
τυπική απόκλιση	0,040037

Πλακίδιο:5 mm						
Μέτρηση	2	3	4	5	6	2
1	-0,05	-0,09	-0,13	-0,16	-0,15	-0,09
	-0,11	-0,07	-0,12	-0,14	-0,12	-0,09
	-0,08	-0,06	-0,10	-0,13	-0,13	-0,04
2	0,01	0,02	-0,02	-0,01	0,03	0,02
	0,12	0,20	0,13	0,10	0,07	0,04
	0,03	0,03	-0,01	0,03	0,11	0,05
3	0,13	0,02	-0,02	-0,03	0,01	0,02
	0,02	0,02	0,01	-0,01	0,01	0,03
	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,04

Από τις μετρήσεις αυτές βρήκαμε:

μέση τιμή	0,00
$\Sigma(\chi-\chi_i)^2$	0,079444
τυπική απόκλιση	0,068361

Πλακίδιο:30 mm						
Μέτρηση	2	3	4	5	6	2
1	-0,03	-0,01	-0,16	-0,12	-0,11	-0,15
	-0,12	-0,13	-0,16	-0,11	-0,09	-0,13
	-0,14	-0,11	-0,18	-0,12	-0,10	-0,14
2	-0,03	0,04	0,00	0,03	0,05	0,00
	-0,01	0,04	-0,01	0,04	0,04	0,00
	-0,01	0,05	-0,02	0,05	0,07	0,02
3	-0,02	-0,03	-0,05	0,06	0,03	0,00
	0,00	0,01	-0,01	0,03	0,00	-0,04
	-0,03	-0,04	-0,06	0,02	0,00	-0,03

Από τις μετρήσεις αυτές βρήκαμε:

μέση τιμή	-0,05
$\Sigma(\chi-\chi_i)^2$	0,058111
τυπική απόκλιση	0,058466

Πλακίδιο:90 mm						
Μέτρηση	2	3	4	5	6	2
1	-0,18	0,61	-0,16	-0,05	0,20	-0,18
	-0,20	-0,20	-0,21	-0,17	0,16	-0,17
	-0,16	-0,20	-0,19	-0,15	0,27	-0,16
2	-0,03	-0,08	-0,07	-0,01	0,18	-0,02
	-0,04	-0,08	-0,07	-0,01	0,19	-0,04
	-0,04	-0,08	-0,07	-0,01	0,20	-0,02
3	-0,15	-0,18	-0,17	-0,12	0,10	-0,11
	-0,12	-0,12	-0,12	-0,08	0,14	-0,09
	-0,09	-0,12	-0,11	-0,07	0,22	-0,08

Από τις μετρήσεις αυτές βρήκαμε:

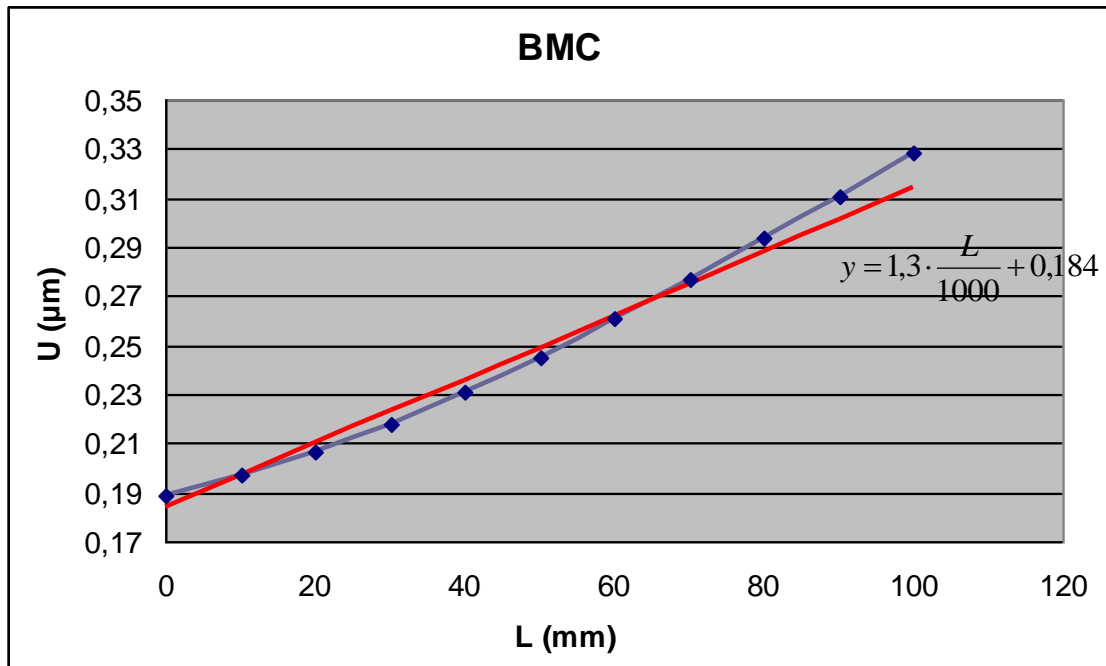
μέση τιμή	-0,10
$\Sigma(\chi-\chi_i)^2$	0,066644
τυπική απόκλιση	0,062612

Από τις παραπάνω μετρήσεις για τον παράγοντα της αβεβαιότητας λόγω αναπαραγωγιμότητας, επιλέξαμε αυτές που έχουν τη μεγαλύτερη τυπική απόκλιση. Ακόμα για το αριθμητικό παράδειγμα της οδηγίας που έχει οριστεί στο Παράρτημα Β και συγκεκριμένα για τη δημιουργία του διαγράμματος BMC , χρησιμοποιήθηκε ο τύπος :

$$U = \frac{2 \cdot \sqrt{8909,3 + 65 \cdot L + 1,158 \cdot L^2}}{1000}$$

Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του τύπου της διευρυμένης αβεβαιότητας, για πλακίδια από 0-100 mm, φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

L (mm)	0	U (μm)	0,188778
	10		0,196724
	20		0,206616
	30		0,218188
	40		0,231189
	50		0,245392
	60		0,2606
	70		0,276648
	80		0,293397
	90		0,310735
	100		0,328568



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	Κωδικός Error! Unknown document property name.	Error! Unknown document property name.		
Υπεύθυνος Έκδοσης	Υπεύθυνος Έγκρισης	Αρ. Έκδοσης 1.1	Ημερομηνία Έκδοσης Error! Unknown document property name.	Σελίδα 1/24
Υπεύθυνος Ποιότητας	Διευθυντής Εργαστηρίου			

Σκοπός

Η οδηγία εργασίας αυτή περιγράφει τον τρόπο διακρίβωσης πλακιδίων ονομαστικής διάστασης έως 100 mm σε παραλληλεπίπεδα δοκίμια μέσω σύγκρισης.

Υπεύθυνος Εφαρμογής – Εμπλεκόμενα Πρόσωπα

Σχεδίαση Οδηγίας:	Υπεύθυνος Ποιότητας
Συντονιστής Οδηγίας:	Τεχνικός Υπεύθυνος
Εμπλεκόμενοι:	Προσωπικό Εξουσιοδοτημένο για την μέτρηση αυτή

Περιγραφή

Η παρούσα οδηγία εργασίας περιγράφει τις οδηγίες μέτρησης που καθορίζει ο κατασκευαστής της μηχανής TESA UPC, προσαρμοσμένες στο μετρούμενο δοκίμιο, λαμβάνοντας υπόψη τις οδηγίες του προτύπου ISO 3650.

Δοκίμια


Η διαδικασία αφορά τη διακρίβωση πλακιδίων όπως ορίζεται στο πρότυπό ISO 3650.


Περιορισμοί διαστάσεων

Το προς μέτρηση δοκίμιο θα έχει μήκος έως 100 mm και οι προς μέτρηση επιφάνειες θα είναι επίπεδες.

Απαίτηση καθαρών επιφανειών

Θα πρέπει, προφανώς, όλες οι εμπλεκόμενες, με την μέτρηση, επιφάνειες να είναι απολύτως καθαρές. Για το λόγο αυτό, καθαρίζουμε το δοκίμιο καλά, με αιθυλική αλκοόλη και ένα λινό πανάκι.

<p>ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ</p>	<p>Κωδικός Error! Unknown document property name.</p>	<p>Error! Unknown document property name.</p> 		
		<p>Αρ. Έκδοσης 1.1</p>	<p>Ημερομηνία Έκδοσης Error! Unknown document property name.</p>	<p>Σελίδα 2/22</p>

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	Κωδικός Error! Unknown document property name.	Error! Unknown document property name. 		
		Αρ. Έκδοσης 1.1	Ημερομηνία Έκδοσης Error! Unknown document property name.	Σελίδα 2/24

Θερμοκρασιακή απαίτηση

Το δοκίμιο πρέπει να βρίσκεται στην ίδια θερμοκρασία με τη μηχανή (και συγκεκριμένα στους 20 °C) και για το λόγο αυτό θα πρέπει να βρίσκεται πάνω στην τράπεζα εργασίας της μηχανής από την προηγούμενη ημέρα. Ο Χειριστής που έχει λάβει εντολή για μέτρηση ενεργοποιεί την κλιματιστική μονάδα της Αίθουσας ελεγχόμενων Συνθηκών, τουλάχιστον 24 ώρες πριν πραγματοποίηση της μέτρησης. Ο χειρισμός του δοκιμίου γίνεται με ειδικές λαβίδες ή γάντια ώστε να μην θερμανθεί από την επαφή με τα χέρια.

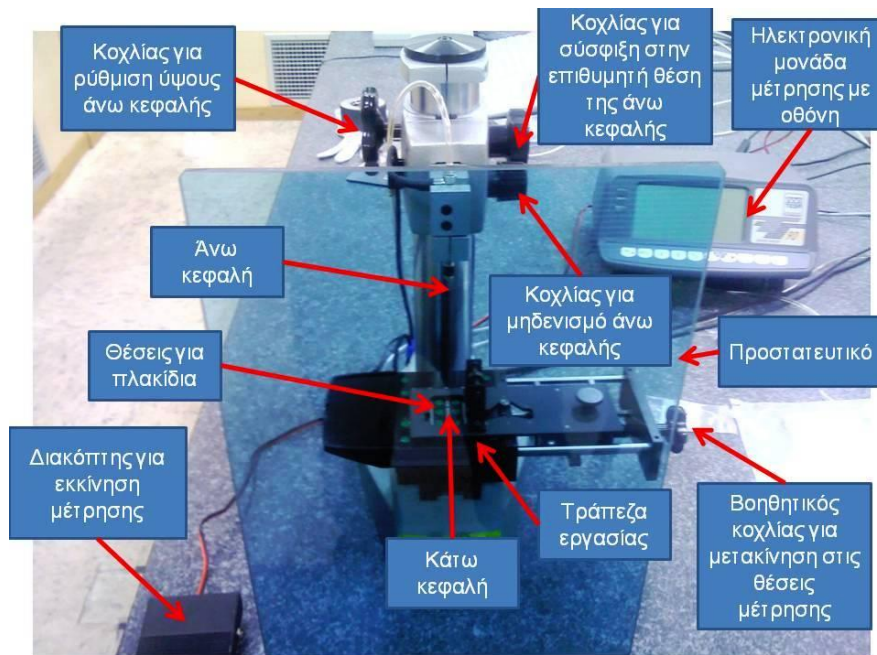
Άλλες παρατηρήσεις

Για ασφαλέστερα αποτελέσματα θα πρέπει να έχουμε καθαρίσει το δοκίμιο μια μέρα πριν τη μέτρηση, οπότε και να μείνει εντός του εργαστηρίου και πάνω στην τράπεζα εργασίας, ώστε να εξισωθεί με τη θερμοκρασία του χώρου και της μηχανής μέτρησης (20 °C).

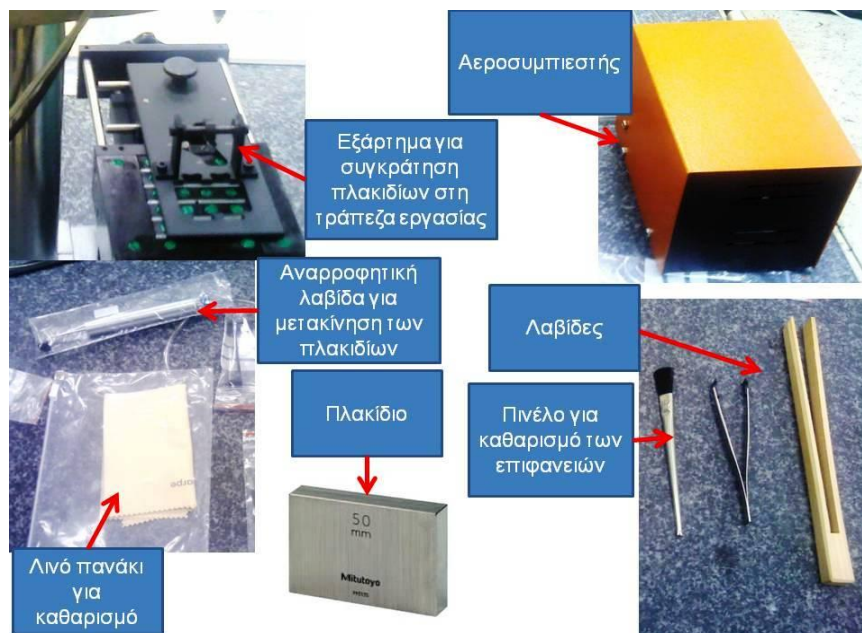
Απαιτούμενος εξοπλισμός

1. Τράπεζα εργασίας
2. Άνω κεφαλή μέτρησης
3. Κάτω κεφαλή μέτρησης
4. Ηλεκτρονική μονάδα μέτρησης με οθόνη (TT90)
5. Διακόπτης για εκκίνηση μέτρησης
6. Προστατευτικό
7. Δύο εξαρτήματα συγκράτησης του δοκιμίου
8. Αεροσυμπιεστή
9. Αναρροφητική λαβίδα για μετακίνηση των πλακιδίων
10. Πρότυπα πλακίδια αναφοράς

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	Κωδικός Error! Unknown document property name.	Error! Unknown document property name.	
		Αρ. Έκδοσης 1.1	Ημερομηνία Έκδοσης Error! Unknown document property name.
			Σελίδα 3/24



Σχήμα 1: Κύρια Μέρη Μηχανής TESA UPC



Σχήμα 2: Πρόσθετος Εξοπλισμός

<p>ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ</p>	<p>Κωδικός Error! Unknown document property name.</p>	<p>Error! Unknown document property name.</p>		
		<p>Αρ. Έκδοσης 1.1</p>	<p>Ημερομηνία Έκδοσης Error! Unknown document property name.</p>	<p>Σελίδα 4/24</p>

Προετοιμασία

Βήμα 1^ο

Εκκινούμε τον κεντρικό υπολογιστή της Αίθουσας Ελεγχόμενων Συνθηκών και το **Data Logger** για την συλλογή των περιβαλλοντικών δεδομένων. Από την επιφάνεια εργασίας επιλέγουμε το **“Project 2”** που αφορά στο πρόγραμμα συλλογής των δεδομένων.

Στην οθόνη λειτουργίας του Project ελέγχουμε ότι είναι τσεκαρισμένο το πεδίο **«Internal Table»**, ότι δεν είναι τσεκαρισμένα τα πεδία **«Start...»**, **«Stop...»** και επιλέγουμε το εικονίδιο εκκίνησης (πράσινο βέλος) για να αρχίσει η καταγραφή.

The screenshot shows the 'Long-term monitoring' software interface. Key elements include:

- Top Toolbar:** A green play button (start) is circled in blue, with a callout box labeled 'Έναρξη καταγραφής' (Start recording).
- Data acquisition settings:**
 - 'Start data acquisition at specified time' and 'Stop data acquisition at specified time' are unchecked. A callout box labeled 'Ελέγχουμε ότι δεν είναι τσεκαρισμένα' (We check that they are not checked) points to these checkboxes.
 - 'Use interval table' is checked. A callout box labeled 'Τσεκάρουμε' (We check) points to this checkbox.
 - 'Interval time' is set to 00:00:10.
 - 'Interval table' shows values: 0.01 (5s), 0.05 (5s), 0.10 (10s).
 - 'Calibrate with every interval' is unchecked.
 - 'Timeout (s)' is set to 10.
- Data backup settings:**
 - 'Automatic backup after' is set to 100 intervals.
 - 'Format' is set to 'catman binary'.
 - 'Backup file' is 'C:\backup files\temp_backup'.
- Visualization settings:**
 - 'Update graph every' is set to 1 interval(s).
 - 'Print graph every' is set to 100 interval(s).
 - 'Maximum number of rows in table view' is 500.

Σχήμα 3: Ρυθμίσεις για την καταγραφή των συνθηκών

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	Κωδικός Error! Unknown document property name.	Error! Unknown document property name.		
		Αρ. Έκδοσης 1.1	Ημερομηνία Έκδοσης Error! Unknown document property name.	Σελίδα 5/24

Αρχικές Ενέργειες Μέτρησης

Βήμα 2^ο

Ενεργοποιούμε την **Ηλεκτρονική μονάδα μέτρησης με οθόνη TT90** (Διακόπτης on/off).

Βήμα 3^ο

Ενεργοποιούμε τον **Αεροσυμπιεστή** (Διακόπτης on/off).

Βήμα 4^ο

Καθαρίζουμε με λινό πανάκι την τράπεζα εργασίας, τις κεφαλές και τις ιδιοσυσκευές που θα χρησιμοποιήσουμε, από σκόνες και ακαθαρσίες.

Βήμα 5^ο

Τοποθετούμε και βιδώνουμε το εξάρτημα συγκράτησης πλακιδίων στην τράπεζα εργασίας.



Σχήμα 4: Κατσαβίδι άλεν

Βήμα 6^ο

Καθαρίζουμε με αιθυλική αλκοόλη και το πανάκι και το πλακίδιο που θα χρησιμοποιηθεί ως αναφορά και το πλακίδιο που είναι προς διακρίβωση.

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	Κωδικός Error! Unknown document property name.	Error! Unknown document property name.		
		Αρ. Έκδοσης 1.1	Ημερομηνία Έκδοσης Error! Unknown document property name.	Σελίδα 6/24

Βήμα 7^ο

Τοποθετούμε το πρότυπο πλακίδιο ονομαστικής διάστασης που μας ενδιαφέρει στην πίσω εσοχή της τράπεζας εργασίας. Το πλακίδιο τοποθετείται με την *marked* επιφάνεια (η πλευρά που αναγράφεται το ονομαστικό μήκος του) προς τον χειριστή και την αριστερή του επιφάνεια πάνω στην τράπεζα εργασίας. Χρησιμοποιούμε την αναρροφητική λαβίδα για δοκίμια ονομαστικής διάστασης έως 10mm ενώ για δοκίμια ονομαστικής άνω των 10mm χρησιμοποιούμε τις λαβίδες.




Σχήμα 4: Τοποθέτηση πλακιδίων στην τράπεζα εργασίας

Βήμα 8^ο


Τοποθετούμε το πλακίδιο της αντίστοιχης ονομαστικής διάστασης με το πρότυπό που μας ενδιαφέρει να διακριβώσουμε, στην μπροστά εσοχή της τράπεζας εργασίας. Το πλακίδιο τοποθετείται με την *marked* επιφάνεια (η πλευρά που αναγράφεται το ονομαστικό μήκος του) προς τον χειριστή και την αριστερή του επιφάνεια πάνω στην τράπεζα εργασίας. Χρησιμοποιούμε την αναρροφητική λαβίδα για δοκίμια ονομαστικής διάστασης έως 10mm ενώ για δοκίμια ονομαστικής άνω των 10mm χρησιμοποιούμε τις λαβίδες.

Βήμα 9^ο

Τοποθετούμε τον ακροδέκτη (μαγνήτη) του **Interface Θερμοκρασιών** στη μέση του πλακιδίου αναφοράς. Θέτουμε σε λειτουργία το **Interface Θερμοκρασιών** (διακόπτης on/off) και ελέγχουμε την θερμοκρασία να βρίσκεται σε αποδεκτά πλαίσια ($20 \pm 0,5$ °C).

<p>ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ</p>	<p>Κωδικός Error! Unknown document property name.</p>	<p>Error! Unknown document property name.</p> 		
		<p>Αρ. Έκδοσης 1.1</p>	<p>Ημερομηνία Έκδοσης Error! Unknown document property name.</p>	<p>Σελίδα 5/22</p>

Ελέγχουμε ότι ο ακροδέκτης καταλήγει στην υποδοχή M2 του Interface θερμοκρασιών και πατάμε το πρώτο αριστερά κουμπί ώστε να εμφανιστεί η επιλογή

<p>ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ</p>	<p>Κωδικός Error! Unknown document property name.</p>	<p>Error! Unknown document property name.</p> 		
		<p>Αρ. Έκδοσης 1.1</p>	<p>Ημερομηνία Έκδοσης Error! Unknown document property name.</p>	<p>Σελίδα 7/24</p>

M2 στην οθόνη. Αν η θερμοκρασία βρίσκεται εκτός ορίων η μέτρηση αναβάλλεται και ενημερώνεται ο τεχνικός υπεύθυνος.



Σχήμα 5: Interface Θερμοκρασιών

Βήμα 10°


Τοποθετούμε το προστατευτικό για να μην επηρεάζεται η μέτρηση από τον χρήστη (π.χ. αναπνοή)


Βήμα 11°

Στην ηλεκτρονική μονάδα μέτρησης TT90 επιλέγουμε θετική πολικότητα για την Α πατώντας τα κουμπιά Α,Β (γιατί μπορεί να εμφανίζεται το Β) μέχρι να εμφανιστεί στην οθόνη της μονάδας μόνο η ένδειξη Α.

Βήμα 12°

Σιγουρευόμαστε ότι η θέση μέτρησης είναι η **1**. Αν δεν είναι με τον βοηθητικό κοχλία μετακινούμε την τράπεζα εργασίας στη θέση **1**.

<p>ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ</p>	<p>Κωδικός Error! Unknown document property name.</p>	<p>Error! Unknown document property name.</p> 		
		<p>Αρ. Έκδοσης 1.1</p>	<p>Ημερομηνία Έκδοσης Error! Unknown document property name.</p>	<p>Σελίδα 9/22</p>

<p>ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ</p>	<p>Κωδικός Error! Unknown document property name.</p>	<p>Error! Unknown document property name.</p> 		
		<p>Αρ. Έκδοσης 1.1</p>	<p>Ημερομηνία Έκδοσης Error! Unknown document property name.</p>	<p>Σελίδα 8/24</p>

Βήμα 13°

Κρατάμε και τους δύο κοχλίες που είναι για την ρύθμιση της θέσης της άνω κεφαλής της μηχανής. Ξεσφίγγουμε τον κοχλία για σύσφιξη της θέσης και έπειτα βιδώνοντας ή ξεβιδώνοντας τον κοχλία για τη ρύθμιση του ύψους, ρυθμίζουμε το ύψος της άνω κεφαλής φέρνοντας την όσο πιο κοντά γίνεται στο πλακίδιο αναφοράς χωρίς όμως να ακουμπήσει. Στην επιθυμητή θέση σφίγγουμε τον κοχλία για την σύσφιξη.

Βήμα 14°

Πατάμε τον διακόπτη εκκίνησης της μέτρησης ώστε να κατέβει η άνω κεφαλή.

Βήμα 15°

Με τη βοήθεια του κοχλία για μηδενισμό της άνω κεφαλής και κοιτώντας την οθόνη της TT90 προσπαθούμε να ρυθμίσουμε την κεφαλή σε τιμή **-0,1 ≤ 0 ≤ 0,1 μm**. Έπειτα μηδενίζουμε την ένδειξη πατώντας τα 2 κουμπιά της TT90 με την **ένδειξη 0** συγχρόνως για λιγότερο από **0,5 sec**.

Βήμα 16°

Στην ηλεκτρονική μονάδα μέτρησης TT90 επιλέγουμε θετική πολικότητα πατώντας τα κουμπιά A,B μέχρι να εμφανιστεί στην οθόνη της μονάδας μόνο η ένδειξη A+B. Έπειτα μηδενίζουμε την ένδειξη πατώντας τα 2 κουμπιά της TT90 με την ένδειξη 0 συγχρόνως για λιγότερο από **0,5 sec**.


Βήμα 17°

Πατάμε τον διακόπτη εκκίνησης της μέτρησης ώστε να ανέβει η άνω κεφαλή.

Μέτρηση


Βήμα 18°

Ανοίγουμε το λογισμικό της μηχανής **TESA UP** από το εικονίδιο που βρίσκεται στην επιφάνεια εργασίας.

<p>ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ</p>	<p>Κωδικός Error! Unknown document property name.</p>	<p>Error! Unknown document property name.</p> 		
		<p>Αρ. Έκδοσης 1.1</p>	<p>Ημερομηνία Έκδοσης Error! Unknown document property name.</p>	<p>Σελίδα 9/22</p>

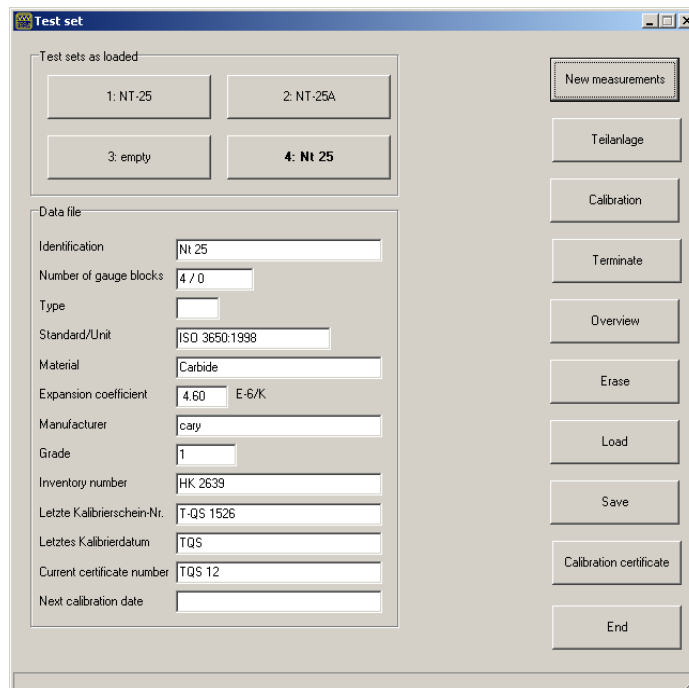
Βήμα 19^ο

Στην αρχική οθόνη του **TESA UP** επιλέγουμε την επιλογή **Test set**. Επιλέγουμε την ομάδα στην οποία βρίσκεται το πλακίδιο που θέλουμε να διακριβώσουμε. Έπειτα πατάμε την επιλογή **Calibration**. Στο υπό-μενού που ανοίγει βρίσκονται όλα τα πλακίδια της συγκεκριμένης ομάδας.

<p>ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ</p>	<p>Κωδικός Error! Unknown document property name.</p>	<p>Error! Unknown document property name.</p> 		
		<p>Αρ. Έκδοσης 1.1</p>	<p>Ημερομηνία Έκδοσης Error! Unknown document property name.</p>	<p>Σελίδα 9/24</p>

Παρατήρηση 1: Αν η ομάδα στην οποία ανήκει το συγκεκριμένο πλακίδιο δεν βρίσκεται στις 4 που εμφανίζονται διαθέσιμες αλλά η ομάδα αυτή έχει δημιουργηθεί στο παρελθόν, πατάμε την επιλογή **Load**, την βρίσκουμε και την επιλέγουμε.


Παρατήρηση 2: Αν η ομάδα στην οποία ανήκει το συγκεκριμένο πλακίδιο δεν υπάρχει ή θέλουμε να την δημιουργήσουμε τότε ακολουθούμε το Βήμα 9 του παραρτήματος.



Σχήμα 6: Test set

Βήμα 20°

Στο υπό-μενού που ανοίγει επιλέγουμε το πλακίδιο που θέλουμε να διακριβώσουμε κάνοντας κλικ επάνω στο όνομα του. Έπειτα πατάμε **Calibration**.

<p>ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ</p>	<p>Κωδικός Error! Unknown document property name.</p>	<p>Error! Unknown document property name.</p> 		
		<p>Αρ. Έκδοσης 1.1</p>	<p>Ημερομηνία Έκδοσης Error! Unknown document property name.</p>	<p>Σελίδα 10/24</p>

Calibration

Gauge blocks to be measured or replaced

No.	Ident.-No.	Nom. length [mm]
1	5369	1.0000
2	5369	2.0000
3	5368	3.0000
4	53696	4.0000

Erforderliches Normalendmaß

Ident.-No. 3L 0002
Nominal length ln 1.0000 mm
Deviation in central length 0.0400 μm

Results of measurement


Ident.-No. 5369
Nominal length ln 1.0000 mm
Material Carbide
Manufacturer cary
Expansion coefficient 4.60 10⁻⁶/K
Central length lc - mm
Deviation of central length - μm
Variation in length v - μm
Extreme deviation fo - μm
Extreme deviation fu - μm
Grade (old) 1
Grade (new)
Status **Not checked**
Uncertainty for central length lc - μm
Uncertainty for variation in length v - μm

Note
Note 1
Note 2
Complete calibration

Σχήμα 7: Υπό-μενού επιλογής πλακιδίου προς διακρίβωση

Βήμα 21^ο

Στο υπό-μενού που ανοίγει πατάμε **Start** και έπειτα περιμένουμε να τελειώσει η αντίστροφη μέτρηση του χρόνου που έχουμε θέσει **για την εξισορρόπηση της θερμοκρασίας στα πλακίδια (Measuring mode – temperature stabilisation στο Βήμα 5 του Παραρτήματος).**

<p>ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ</p>	<p>Κωδικός Error! Unknown document property name.</p>	<p>Error! Unknown document property name.</p> 		
		<p>Αρ. Έκδοσης 1.1</p>	<p>Ημερομηνία Έκδοσης Error! Unknown document property name.</p>	<p>Σελίδα 11/24</p>

The screenshot shows a software interface for calibration. At the top, there is a table for 'Measured values' with columns for 'Cycle' (1-5) and 'Probing point R' through 'Probing point 5'. Below this are input fields for 'Average' and 'Dev. of nom. length'. The interface is divided into several sections: 'Reference gauge block' (Ident.-No. 3L 0064, Nominal length 1.8000 mm, Deviation in central length 0.020 μm, Temperature at start and end), 'Test gauge block' (Ident.-No. 25GB14, Nominal length 1.8000 mm, Temperature at start and end), 'Results of measurement' (Central length lc, Deviation of central length, Variation in length v, Extreme deviation fo, Extreme deviation fu, Grade (old), Grade (new)), 'Uncertainty of measurement' (Central length lc, Variation in length v), 'Probing point' (Reference gauge block, Test gauge block), and 'Aktueller Temperaturwert' (Aktueller Temperaturwert, o.k.). At the bottom, there are buttons for 'Start', 'Outset', 'Quit', and 'ISO 3650/mm'.

Σχήμα 8: Υπό-μενού διαδικασίας Calibration

Βήμα 22°


Έπειτα στην κίτρινη περιοχή στα δεξιά του υπό-μενού μας ζητείται να γράψουμε την **αρχική θερμοκρασία** του πλακιδίου αναφοράς (Reference). Γράφουμε την θερμοκρασία που βλέπουμε στην οθόνη του Interface θερμοκρασιών. Πατάμε OK.

Βήμα 23°


Έπειτα μας ζητείται να γράψουμε στο ίδιο σημείο την **αρχική θερμοκρασία** του πλακιδίου προς διακρίβωση. Γράφουμε την θερμοκρασία που βλέπουμε στην οθόνη του Interface θερμοκρασιών. Πατάμε **OK**.

Βήμα 24°

Οι θέσεις 1,2,3,4,5,6 στην τράπεζα εργασίας αντιστοιχούν στις θέσεις R,1,2,3,4,5 του προγράμματος. Παρατήρηση: Η τιμή της τελευταίας μέτρησης της θέσης R (θέση 1 της

<p>ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ</p>	<p>Κωδικός Error! Unknown document property name.</p>	<p>Error! Unknown document property name.</p> 		
		<p>Αρ. Έκδοσης 1.1</p>	<p>Ημερομηνία Έκδοσης Error! Unknown document property name.</p>	<p>Σελίδα 12/22</p>

τράπεζας εργασίας) του κάθε κύκλου μέτρησης, μεταφέρεται αυτόματα σαν 1^η μέτρηση της θέσης R στον επόμενο κύκλο.

<p>ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ</p>	<p>Κωδικός Error! Unknown document property name.</p>	<p>Error! Unknown document property name.</p> 		
		<p>Αρ. Έκδοσης 1.1</p>	<p>Ημερομηνία Έκδοσης Error! Unknown document property name.</p>	<p>Σελίδα 12/24</p>

Βήμα 25°

Σιγουρευόμαστε ότι η θέση μέτρησης είναι η **1**. Αν δεν είναι με τον βοηθητικό κοχλία μετακινούμε την τράπεζα εργασίας στη θέση **1**.

Βήμα 26°

Πατάμε τον διακόπτη εκκίνησης της μέτρησης ώστε να κατέβει η άνω κεφαλή. Μετρούμε με το χρονόμετρο **5 sec** και έπειτα πατάμε τον διακόπτη εκκίνησης της μέτρησης ώστε να ανέβει η άνω κεφαλή.



Σχήμα 7: Μηχανικό χρονόμετρο


Βήμα 26°

Η τιμή της μέτρησης πλέον έχει περαστεί στο κελί της 1^{ης} γραμμής και 1^{ης} στήλης που φαίνεται στο υπό-μενού στη θέση R.


Παρατήρηση: Μετά την 1^η μέτρηση εμφανίζεται κάτω δεξιά η επιλογή Back. Πατώντας τη μπορούμε να επαναλάβουμε και να διορθώσουμε την μέτρηση σε περίπτωση λάθους.

Βήμα 27°

Συνεχίζουμε με τον ίδιο τρόπο όπως στο Βήμα 26 τις μετρήσεις σε κάθε θέση σύμφωνα με το πρόγραμμα μέχρι να συμπληρωθούν όλα τα κελιά. Μετράμε με τη σειρά τις θέσεις 1,2,3,4,5,6,2,1 (της τράπεζας εργασίας).

<p>ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ</p>	<p>Κωδικός Error! Unknown document property name.</p>	<p>Error! Unknown document property name.</p> 		
		<p>Αρ. Έκδοσης 1.1</p>	<p>Ημερομηνία Έκδοσης Error! Unknown document property name.</p>	<p>Σελίδα 12/22</p>

Προσοχή: η τελευταία θέση 1 της πρώτης σειράς μετρήσεων μεταφέρεται αυτόματα στη πρώτη θέση 1 της δεύτερης σειράς μετρήσεων.

<p>ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ</p>	<p>Κωδικός Error! Unknown document property name.</p>	<p>Error! Unknown document property name.</p> 		
		<p>Αρ. Έκδοσης 1.1</p>	<p>Ημερομηνία Έκδοσης Error! Unknown document property name.</p>	<p>Σελίδα 13/24</p>

Βήμα 28°

Έπειτα στην κίτρινη περιοχή στα δεξιά του υπό-μενού μας ζητείται να γράψουμε την **τελική θερμοκρασία** του πλακιδίου αναφοράς (Reference). Γράφουμε την θερμοκρασία που βλέπουμε στην οθόνη του Interface θερμοκρασιών. Πατάμε OK.

Βήμα 29°

Έπειτα μας ζητείται να γράψουμε στο ίδιο σημείο την **τελική θερμοκρασία** του πλακιδίου προς διακρίβωση. Γράφουμε την θερμοκρασία που βλέπουμε στην οθόνη του Interface θερμοκρασιών. Πατάμε **OK**.

Βήμα 30°

Το πρόγραμμα ελέγχει το εύρος της θερμοκρασίας και του μήκους των πλακιδίων στις θέσεις R και 1 και είτε κάνει αποδεκτή τη μέτρηση είτε την απορρίπτει και βγάζει μήνυμα σφάλματος (π.χ. Warning Temperature drift too high). Αν η μέτρηση απορριφθεί πρέπει να επαναληφθούν τα **Βήματα 21-30**.



Σχήμα 9: Warning Temperature drift too high

Βήμα 31°

Μετά την επιτυχή ολοκλήρωση της μέτρησης το πρόγραμμα εμφανίζει την επιλογή Continue. Πατάμε **Continue**.

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	Κωδικός Error! Unknown document property name.	Error! Unknown document property name.			
		Αρ. Έκδοσης 1.1	Ημερομηνία Έκδοσης Error! Unknown document property name.	Σελίδα 14/24	

Value capture

Measured values

Cycle	Probing point R	Probing point 1	Probing point 2	Probing point 3	Probing point 4	Probing point 5	Probing point 1	Probing point R
1	5,000,050	1,000,000	1,000,030	1,000,040	1,000,000	1,000,000	1,000,000	5,000,050
2								
3								
4								
5								

Average: 5,000,050 1,000,000 1,000,030 1,000,040 1,000,000 1,000,000 1,000,000 5,000,050

Dev. of nom. length: 0,000 0,030 0,040 0,000 0,000 0,000

Reference gauge block:

Ident.-No. 3L 0001
Nominal length ln 25,0000 mm
Deviation in central length -0,030 μm
Temperature at start 20,010 °C
Temperature at end 20,010 °C

Test gauge block:

Ident.-No. 64749
Nominal length 1,0000 mm
Temperature at start 20,010 °C
Temperature at end 20,010 °C

Results of measurement:

Central length lc 1,000000 mm
Deviation of central length 0,00 μm
Variation in length v 0,04 μm
Extreme deviation fo 0,04 μm
Extreme deviation fu 0,00 μm
Grade (old) 1
Grade (new) -

Uncertainty of measurement:

Central length lc 0,05 μm
Variation in length v 0,06 μm

Distribution (measured values):

USL = 1,00020
KGO = 1,00015
ln = 1,00000
KGU = 0,99985
LSL = 0,99980

Note:

Outset ISO 3650/mm
Quit Continue

Σχήμα 10: Calibration menu

Βήμα 32°

Μετά την ολοκληρωμένη μέτρηση για το συγκεκριμένο πλακίδιο στο υπό-μενού του Test set το συγκεκριμένο πλακίδιο έχει την ένδειξη **Checked**. Σε περίπτωση που χρειάζεται επαναληπτική μέτρηση στο συγκεκριμένο πλακίδιο πατάμε την επιλογή **Replace with Calibration**.

Βήμα 33°

Αν θέλουμε να κάνουμε διακρίβωση σε κάποιο πλακίδιο της ίδιας ομάδας το επιλέγουμε από τη λίστα και επαναλαμβάνουμε τα **Βήματα 19-31**. Όταν τελειώσουμε με την συγκεκριμένη ομάδα πατάμε την επιλογή **Complete Calibration**.

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	Κωδικός Error! Unknown document property name.	Error! Unknown document property name.		
		Αρ. Έκδοσης 1.1	Ημερομηνία Έκδοσης Error! Unknown document property name.	Σελίδα 15/24

Calibration

Gauge blocks to be measured or replaced

No.	Ident.-No.	Nom. length [mm]
1	64749	1.0000
2	4647	2.0000
3	5648	3.0000
4	213	4.0000
5	546	5.0000

Results of measurement

Ident.-No. 25GB01

Nominal length l_n 0.5000 mm

Material Carbide

Manufacturer TESLA-RSD

Expansion coefficient 7.50 $10^{-6}/K$

Central length l_c 0.499910 mm

Deviation of central length -0.09 μm

Variation in length v 0.03 μm

Extreme deviation f_u 0.00 μm

Extreme deviation f_l 0.03 μm

Grade (old) 2

Grade (new) 2

State **Checked**

Uncertainty for central length l_c 0.10 μm

Uncertainty for variation in length v 0.10 μm

Display set

from 0.5000 mm

up to 25.0000 mm

Preset with **5.000.050** mm

Note

Note 1 leichte Kratzer

Note 2

Buttons: Set display, Quick-Preset, **Calibration**, Replace with calibration, Replace without calibration, Single values, Complete calibration

Σχήμα 11: Calibration menu

Εξαγωγή αποτελεσμάτων

Βήμα 75°


Έχοντας τελειώσει με τη συγκεκριμένη ομάδα πηγαίνουμε στο μενού των Test set. **Επιλέγουμε την ομάδα που διακριβώσαμε** και έπειτα πατάμε την επιλογή **Calibration Certificate**. Στο υπό-μενού που ανοίγει βρίσκονται όλα τα πλακίδια της συγκεκριμένης ομάδας.

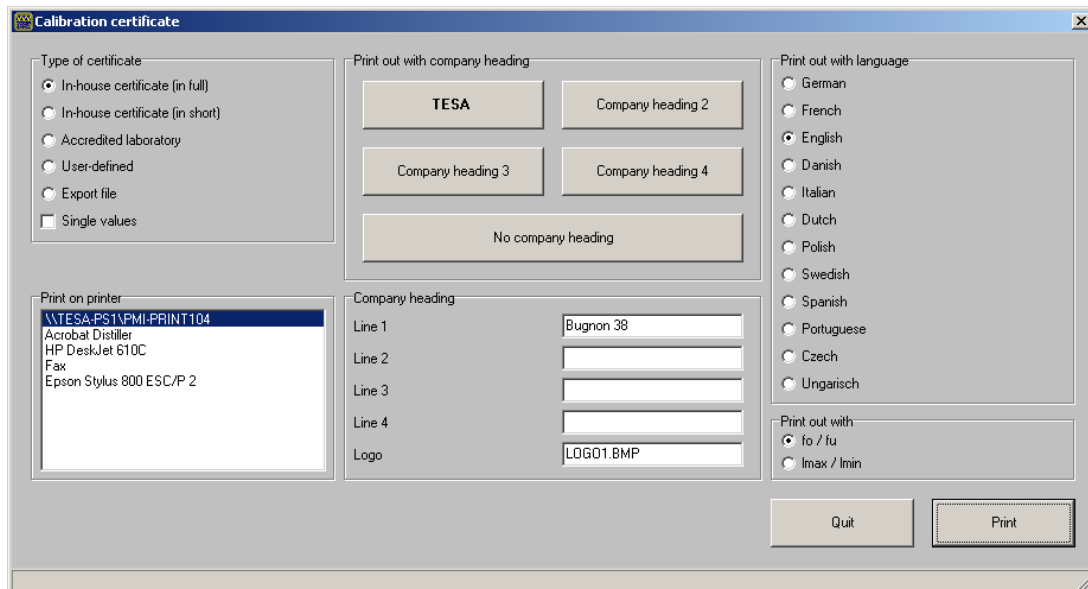
ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	Κωδικός Error! Unknown document property name.	Error! Unknown document property name.		
		Αρ. Έκδοσης 1.1	Ημερομηνία Έκδοσης Error! Unknown document property name.	Σελίδα 16/24

Σχήμα 12: Test set


Βήμα 76°

Στο υπό-μενού του Calibration Certificate κάνουμε τις επιλογές **Export file, Print out with lmax/lmin**, πατάμε **Print** και επιλέγουμε που θα αποθηκεύσουμε το αρχείο.

<p>ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ</p>	<p>Κωδικός Error! Unknown document property name.</p>	<p>Error! Unknown document property name.</p> 		
		<p>Αρ. Έκδοσης 1.1</p>	<p>Ημερομηνία Έκδοσης Error! Unknown document property name.</p>	<p>Σελίδα 17/24</p>



Σχήμα 13: Export menu

<p>ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ</p>	<p>Κωδικός Error! Unknown document property name.</p>	<p>Error! Unknown document property name.</p> 		
		<p>Αρ. Έκδοσης 1.1</p>	<p>Ημερομηνία Έκδοσης Error! Unknown document property name.</p>	<p>Σελίδα 12/22</p>

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	Κωδικός Error! Unknown document property name.	Error! Unknown document property name.		
		Αρ. Έκδοσης 1.1	Ημερομηνία Έκδοσης Error! Unknown document property name.	Σελίδα 18/24

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΑΡΧΙΚΕΣ ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ

Βήμα 1°

Εκκινούμε τον Η/Υ και το λογισμικό TESA UP της μηχανής, που βρίσκεται στη επιφάνεια εργασίας.

Στην οθόνη λειτουργίας του λογισμικού επιλέγουμε το Pre-adjustments για να ρυθμίσουμε το πρόγραμμα.

Βήμα 2°

Στην οθόνη των **Pre-adjustments** επιλέγουμε τον εκτυπωτή του συστήματος στην επιλογή **Printers**.

Βήμα 3°

Στην επιλογή **RS232** κάνουμε στη στήλη **Length measurement on-line** την εξής αλλαγή. Επιλέγουμε 4800 ως **Baud rate**.

Βήμα 4°

Στην οθόνη των **Pre-adjustments** και στο υπό-μενού **Laboratory** γράφουμε τα στοιχεία του εργαστηρίου στο οποίο γίνονται οι μετρήσεις.

Βήμα 5°

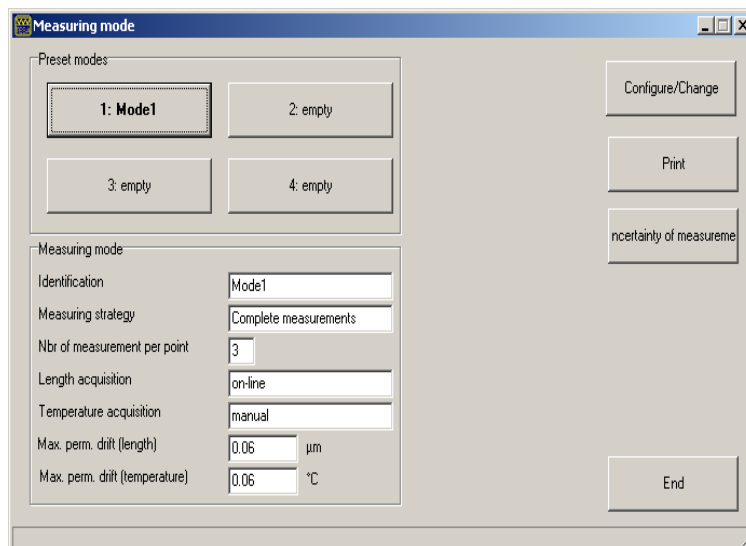
Στην οθόνη των **Pre-adjustments** και στο υπό-μενού **Measuring Mode** δημιουργούμε ένα πρότυπο για τις μετρήσεις με τον εξής τρόπο:

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	Κωδικός Error! Unknown document property name.	Error! Unknown document property name.		
		Αρ. Έκδοσης 1.1	Ημερομηνία Έκδοσης Error! Unknown document property name.	Σελίδα 19/24


Πατώντας στο **1** και μετέπειτα στο **Configure/Change** ανοίγει το υπό-μενού για το πρότυπό 1. Τα πεδία συμπληρώνονται ως εξής:

- **Identification** : Ονομάζουμε το πρότυπό μέτρησης όπως θέλουμε για να το αναγνωρίζουμε
- **Measuring strategy** : Επιλέγουμε Complete measurements
- **Length acquisition** : Επιλέγουμε On-line
- **Temperature acquisition** : Επιλέγουμε Manual
- **Max. Perm. Variation** : Δίνουμε τις τιμές Length: 0,06 και Temperature: 0,06
- **Uncertainty of measurement** : Δίνουμε τις τιμές Central length: 0,10 + 1,00 και Variation in length: 0,10
- **Declaration of conformity** : Επιλέγουμε 3: To conformity limits
- **Temperature stabilisation** : Δίνουμε τις εξής τιμές 1,30,40,60,90 min για σταθεροποίηση της θερμοκρασίας στα πλακίδια όπως φαίνεται και στην εικόνα.

Έχοντας περάσει όλες τις ρυθμίσεις που θέλουμε πατάμε το **End** για να καταχωρηθεί.



Σχήμα 4: Ρυθμίσεις για το Measuring mode (αρχικό μενού)

<p>ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ</p>	<p>Κωδικός Error! Unknown document property name.</p>	<p>Error! Unknown document property name.</p> 		
		<p>Αρ. Έκδοσης 1.1</p>	<p>Ημερομηνία Έκδοσης Error! Unknown document property name.</p>	<p>Σελίδα 20/24</p>

Measuring mode

Identification:

Measuring strategy:
 Central length only
 Complete measurements

Nbr of measurement per point:

Length acquisition:
 manual
 on-line

Temperature acquisition:
 None
 manual
 on-line

Max. perm. variation:
 Length: μm
 Temperature: °C

Declaration of conformity:
 1: None
 2: To specification limits
 3: To conformity limits

Temperature stabilisation:
 from 0.5 mm up to 2.0 mm: min
 over 2.0 mm up to 10.0 mm: min
 over 10.0 mm up to 25.0 mm: min
 over 25.0 mm up to 50.0 mm: min
 over 50.0 mm up to 100.0 mm: min

Uncertainty of measurement:
 Central length l_c : μm + * 10E-6 * L
 Variation in length v : μm


Buttons: mm -> in, Quit, End

Σχήμα 4: Ρυθμίσεις για το Measuring mode (υπό-μενού)

Βήμα 6^ο

Στην αρχική οθόνη του **TESA UP** επιλέγουμε την επιλογή **Reference set**. Επιλέγοντας το **1:empty** και πατώντας **Input** ανοίγει το υπό-μενού στο οποίο θα περάσουμε τα πλακίδια αναφοράς ως ομάδα 1. Τα πεδία συμπληρώνονται ως εξής:

- **Identification** : Δίνουμε μια ονομασία στο συγκεκριμένο set
- **Number of gauge blocks** : Δεν γράφουμε/επιλέγουμε κάτι
- **Set compositions** : Δεν γράφουμε/επιλέγουμε κάτι
- **Standard/Unit** : Επιλέγουμε ISO 3650:1998
- **Material** : Επιλέγουμε το υλικό των πλακιδίων
- **Expansion coefficient** : Γράφουμε τον συντελεστή του υλικού (11,5 για steel)
- **Manufacturer** : Γράφουμε τον κατασκευαστή των πλακιδίων
- **Calibration grade/grade** : Επιλέγουμε το μικρότερο βαθμό από όλα τα δοκίμια που θα γράψουμε σύμφωνα με την τελευταία διακρίβωση.
- **Inventory number** : Γράφουμε τον αριθμό της κασετίνας των πλακιδίων
- **Last calibration certificate Nr.** : Γράφουμε τον αριθμό του τελευταίου πιστοποιητικού διακρίβωσης των συγκεκριμένων πλακιδίων

<p>ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ</p>	<p>Κωδικός Error! Unknown document property name.</p>	<p>Error! Unknown document property name.</p> 		
		<p>Αρ. Έκδοσης 1.1</p>	<p>Ημερομηνία Έκδοσης Error! Unknown document property name.</p>	<p>Σελίδα 12/22</p>

- **Last calibration date** : Γράφουμε την ημερομηνία του τελευταίου πιστοποιητικού διακρίβωσης των συγκεκριμένων πλακιδίων

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	Κωδικός Error! Unknown document property name.	Error! Unknown document property name.		
		Αρ. Έκδοσης 1.1	Ημερομηνία Έκδοσης Error! Unknown document property name.	Σελίδα 21/24

Σχήμα 4: Ρυθμίσεις για το set αναφοράς (Reference set)


Βήμα 7^ο

Στο ίδιο μενού για το **Reference set** ενεργοποιείται η επιλογή **Enter gauge block data**.

Επιλέγοντας αυτή την επιλογή θα κάνουμε καταχώρηση κάθε δοκιμίου ξεχωριστά. Τα πεδία συμπληρώνονται ως εξής:

- **Ident.-No.** : Αριθμός του πλακιδίου
- **Nominal length** : Ονομαστική διάσταση του πλακιδίου
- **Central deviation** : Απόκλιση του πλακιδίου όπως αυτή υπολογίστηκε στην πιο πρόσφατη διακρίβωση
- **Material** : Δεν γράφουμε/επιλέγουμε κάτι
- **Expansion coefficient** : Δεν γράφουμε/επιλέγουμε κάτι
- **Manufacturer** : Δεν γράφουμε/επιλέγουμε κάτι

Έχοντας περάσει όλες τις πληροφορίες που θέλουμε για το πλακίδιο πατάμε το **Add** για να καταχωρηθεί.

<p>ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ</p>	<p>Κωδικός Error! Unknown document property name.</p>	<p>Error! Unknown document property name.</p> 		
		<p>Αρ. Έκδοσης 1.1</p>	<p>Ημερομηνία Έκδοσης Error! Unknown document property name.</p>	<p>Σελίδα 23/24</p>

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	Κωδικός Error! Unknown document property name.	Error! Unknown document property name.		
		Αρ. Έκδοσης 1.1	Ημερομηνία Έκδοσης Error! Unknown document property name.	Σελίδα 22/24

Reference set

Data file

Identification: Reference1

Number of gauge blocks: 121

Set compositions: M121

Standard/Unit: ISO 3650:1998

Material: Steel

Expansion coefficient: 11.50 E-6/K

Manufacturer: caty

Calibration grade/grade: K

Inventory number: 61207

Last calibration certificate: 161009

Last calibration date: 2001-09-10

Current gauge block

Ident.-No.: 0868

Nominal length In: 1.005 mm

Central deviation: μm

Material: Steel

Expansion coefficient: 11.50 E-6/K

Manufacturer: caty

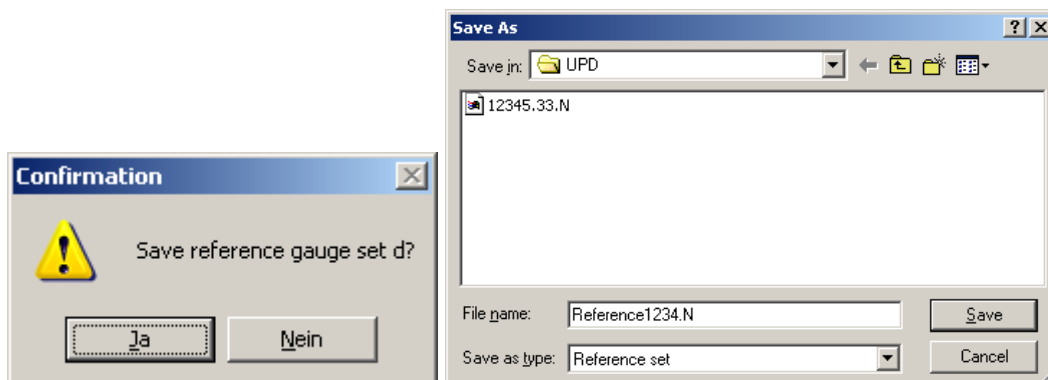
Existing gauge blocks

No.	Ident.-No.	Nominal length [mm]	Deviation in centre
2	0861	1.0000	0.060
3	0861	1.0010	0.050
4	0861	1.0020	0.060
5	0866	1.0030	0.020
6	0868	1.0040	0.010

Σχήμα 5: Το set αναφοράς με κάθε πλακίδιο (Reference set)

Βήμα 8^ο

Αφού έχουμε περάσει όλα τα πλακίδια που θέλουμε στο ίδιο μενού για το **Reference set** πατώντας **Quit** αποθηκεύουμε το συγκεκριμένο set.




ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	Κωδικός Error! Unknown document property name.	Error! Unknown document property name.		
		Αρ. Έκδοσης 1.1	Ημερομηνία Έκδοσης Error! Unknown document property name.	Σελίδα 23/24

Σχήμα 6: Αποθήκευση του set αναφοράς (Reference set)


Βήμα 9^ο

Στην αρχική οθόνη του **TESA UP** επιλέγουμε την επιλογή **Test set**. Επιλέγοντας το **1:empty** και πατώντας **New measurements** ανοίγει το υπό-μενού στο οποίο θα περάσουμε τα πλακίδια που θέλουμε να διακριβώσουμε ως ομάδα 1. Τα πεδία συμπληρώνονται ως εξής:

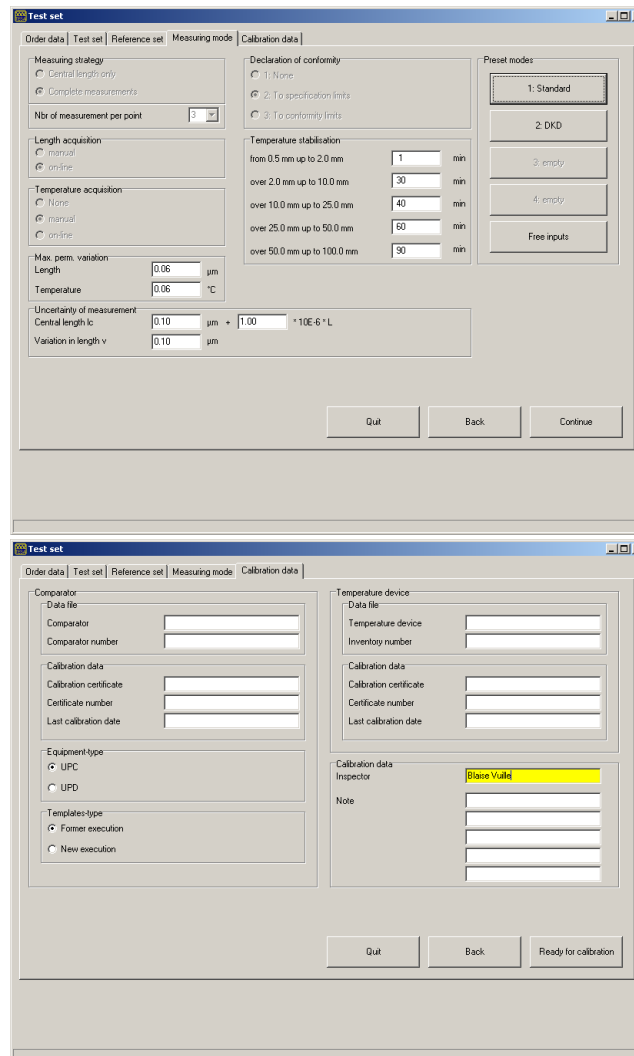
- **Order data** : Τα στοιχεία του πελάτη. Αφού συμπληρώσουμε τις πληροφορίες που θέλουμε πατάμε **Continue**
- **Test set** : Συμπληρώνουμε τα πεδία ως εξής:
 - **Identification** : Δίνουμε μια ονομασία στο συγκεκριμένο set
 - **Number of gauge blocks** : Γράφουμε το πλήθος των δοκιμίων
 - **Set compositions** : Δεν γράφουμε/επιλέγουμε κάτι
 - **Standard/Unit** : Επιλέγουμε ISO 3650:1998
 - **Material** : Επιλέγουμε το υλικό των πλακιδίων
 - **Expansion coefficient** : Γράφουμε τον συντελεστή του υλικού (11,5 για steel)
 - **Manufacturer** : Γράφουμε τον κατασκευαστή των πλακιδίων
 - **Calibration grade/grade** : Επιλέγουμε το αστέρι αν δεν έχουμε προηγούμενη διακρίβωση ή επιλέγουμε το μικρότερο βαθμό από όλα τα δοκίμια που θα γράψουμε σύμφωνα με την τελευταία διακρίβωση.
 - **Inventory number** : Γράφουμε τον αριθμό της κασετίνας των πλακιδίων
 - **Last calibration certificate Nr.** : Γράφουμε τον αριθμό του τελευταίου πιστοποιητικού διακρίβωσης των συγκεκριμένων πλακιδίων
 - **Last calibration date** : Γράφουμε την ημερομηνία του τελευταίου πιστοποιητικού διακρίβωσης των συγκεκριμένων πλακιδίων
 - **Current certificate number** : Γράφουμε τον αριθμό του παρόντος πιστοποιητικού διακρίβωσης των συγκεκριμένων πλακιδίων
 - **Next calibration date** : Γράφουμε την ημερομηνία που θα πραγματοποιηθεί η επόμενη διακρίβωση για τα συγκεκριμένα πλακίδια
- Στο ίδιο μενού για το **Test set** ενεργοποιείται η επιλογή **Test set**. Επιλέγοντας αυτή την επιλογή θα κάνουμε καταχώρηση κάθε δοκιμίου ξεχωριστά. Τα πεδία συμπληρώνονται ως εξής:
 - **Ident.-No.** : Αριθμός του πλακιδίου
 - **Nominal length** : Ονομαστική διάσταση του πλακιδίου
 - **Gauge block condition** : Κατάσταση του πλακιδίου
 - **Material** : Δεν γράφουμε/επιλέγουμε κάτι
 - **Expansion coefficient** : Δεν γράφουμε/επιλέγουμε κάτι
 - **Manufacturer** : Δεν γράφουμε/επιλέγουμε κάτι

<p>ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ</p>	<p>Κωδικός Error! Unknown document property name.</p>	<p>Error! Unknown document property name.</p> 		
		<p>Αρ. Έκδοσης 1.1</p>	<p>Ημερομηνία Έκδοσης Error! Unknown document property name.</p>	<p>Σελίδα 23/24</p>


Έχοντας περάσει όλες τις πληροφορίες που θέλουμε για το πλακίδιο πατάμε το **Transfer** για να καταχωρηθεί. Αφού έχουμε περάσει όλα τα πλακίδια που θέλουμε πατώντας **End** αποθηκεύουμε το συγκεκριμένο set. Έπειτα πατάμε **Continue**

<p>ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ</p>	<p>Κωδικός Error! Unknown document property name.</p>	<p>Error! Unknown document property name.</p> 		
		<p>Αρ. Έκδοσης 1.1</p>	<p>Ημερομηνία Έκδοσης Error! Unknown document property name.</p>	<p>Σελίδα 24/24</p>

- **Reference set** : Επιλέγουμε το **Reference set** που θέλουμε για το συγκεκριμένο **Test set**. Έπειτα πατάμε **Continue**
- **Measuring Mode** : Επιλέγουμε το πρότυπό μετρήσεων που έχουμε δημιουργήσει νωρίτερα πατώντας στο όνομα του. Έπειτα πατάμε **Continue**
- **Calibration data** : Τσεκάρουμε αν είναι τσεκαρισμένο το πεδίο **UPC**



Σχήμα 7: Υπό-μενού: Measuring mode και Calibration data

<p>ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ</p>	<p>Κωδικός Error! Unknown document property name.</p>	<p>Error! Unknown document property name.</p> 		
		<p>Αρ. Έκδοσης 1.1</p>	<p>Ημερομηνία Έκδοσης Error! Unknown document property name.</p>	<p>Σελίδα 23/24</p>

Βήμα 10^ο

Αφού έχουμε περάσει όλες τις πληροφορίες που θέλουμε στο μενού **Calibration data** πατώντας **Ready for calibration** αποθηκεύουμε το συγκεκριμένο **Test set**.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	Κωδικός Error! Unknown document property name.	Error! Unknown document property name.		
Υπεύθυνος Έκδοσης	Υπεύθυνος Έγκρισης	Αρ. Έκδοσης 1.1	Ημερομηνία Έκδοσης Error! Unknown document property name.12	Σελίδα 1/15
Υπεύθυνος Ποιότητας	Διευθυντής Εργαστηρίου			

Παράρτημα VII:

«ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΟΕ-10»

A. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Η μέτρηση πλακιδίων 0-100 mm διενεργείται σύμφωνα με τη οδηγία εργασίας ΟΕ-10 και προσδιορίζεται με τη μηχανή TESA Urc, γνωστής αβεβαιότητας. Η διαδικασία υπολογισμού που περιγράφεται σε αυτό το Παράρτημα υλοποιείται με τη βοήθεια αντίστοιχου λογιστικού φύλλου. Στο παρόν παράδειγμα, υπολογίζεται το μήκος και η αβεβαιότητα ενός πλακιδίου, Grade 0, ονομαστικού μήκους 70 mm (βλ. Αρχείο Μετρήσεων). Η μέτρηση του πλακιδίου υλοποιείται με σύγκρισή του με διακριβωμένο πρότυπο πλακίδιο αναφοράς (ΠΑ.01 – 70 mm) διακριβωμένου μήκους 70,000091 mm .

A1. Συμβολισμοί:

l_n : το ονομαστικό μήκος του προτύπου αναφοράς

l_x : το άγνωστο μήκος στη θερμοκρασία αναφοράς

α : ο συντελεστής θερμικής διαστολής

l_s : Το διακριβωμένο μήκος του προτύπου αναφοράς

L: Το ονομαστικό μήκος της μετρούμενης ποσότητας σε mm

Δt : Η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ δοκιμίου και προτύπου

ΔT : Η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της μέσης θερμοκρασίας μέτρησης και της θερμοκρασίας αναφοράς

δ : Το σύμβολο που αφορά τις διορθώσεις που απαιτούνται για την κάθε παράμετρο

ν : Οι βαθμοί ελευθερίας

u : Η τυπική αβεβαιότητα

u_c : Η συνδυασμένη τυπική αβεβαιότητα

U : Η Διευρυμένη αβεβαιότητα

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	Κωδικός Error! Unknown document property name.	Error! Unknown document property name.		
		Αρ. Έκδοσης 1.5	Ημερομηνία Έκδοσης 01/09/2012	Σελίδα 2/15

A2. Παραδοχές:

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

B. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΗΓΩΝ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ

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

Παράμετροι – Πηγές Αβεβαιότητας
1. Αναπαραγωγιμότητα μετρήσεων (l_R)
2. Πρότυπο αναφοράς (l_s)
3. Αλλαγή μήκους του προτύπου αναφοράς από την τελευταία διακρίβωση (δl_n)
4. Πιστοποιητικό διακρίβωσης μηχανής (δl_m)
5. Αποκλίσεις θερμοκρασίας (δl_τ)
6. Ελαστική παραμόρφωση κατά τη μέτρηση (δl_e)
7. Γεωμετρία ακίδων επαφής (δl_g)
8. Σφάλμα στην ένδειξη του οργάνου (δl_i)
9. Σφάλμα κατά την μετακίνηση της τράπεζας εργασίας στις θέσεις μετρήσεων (δl_w)
10. Διακύμανση του μήκους του πλακιδίου (δl_v)

Διορθώσεις

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

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	Κωδικός Error! Unknown document property name.	Error! Unknown document property name.		
		Αρ. Έκδοσης 1.5	Ημερομηνία Έκδοσης 01/09/2012	Σελίδα 2/15

$$l_x = l_s + \delta l + \delta l_n + \delta l_m + \delta l_\tau + \delta l_e + \delta l_g + \delta l_i + \delta l_w + \delta l_v$$

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

Αποτίμηση συντελεστών ευαισθησίας :

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

Γ. ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ

Γ.1. Αναπαραγωγιμότητα (l_R) - Τύπου A

Για τον υπολογισμό υλοποιούνται 3 σετ των 6 μετρήσεων (σύνολο n=18 τιμές) σε διάστημα μιας εβδομάδας. Από τις μετρήσεις υπολογίζεται η τυπική απόκλιση ως εξής:

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

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των μετρήσεων ($\sigma_l = 0,0731 \mu m$) η τυπική αβεβαιότητα υπολογίζεται τελικά:

$$u(l_R) = \sigma_l \cdot 10^3 = 74(nm)$$

με συνεισφορά στη συνολική τυπική αβεβαιότητα:

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	Κωδικός Error! Unknown document property name.	Error! Unknown document property name.		
		Αρ. Έκδοσης 1.5	Ημερομηνία Έκδοσης 01/09/2012	Σελίδα 2/15

$$u_1(l_x) = |c_{lr}| \cdot u(l_R) = 74nm$$

και βαθμούς ελευθερίας $v_1 = n - 1 = 17$

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

Από το πιστοποιητικό διακρίβωσης του προτύπου (ΠΑ.01 – 70 mm) δεχόμαστε αβεβαιότητα $U = 0.06 + 0.5 \cdot L$ μm (L σε m) με συντελεστή κάλυψης $k=2$. Οπότε η τυπική αβεβαιότητα του μήκους του προτύπου αναφοράς υπολογίζεται :

$$u(l_s) = \frac{U}{k} = \frac{0,06 + 0,0005 \cdot L}{2} = 30 + 0,25 \cdot L = 47,5nm \quad L \text{ (σε mm)}$$

με συνεισφορά στη συνολική τυπική αβεβαιότητα:

$$u_2(l_x) = |c_{ls}| \cdot u(l_s) = 47,5nm$$

και βαθμούς ελευθερίας $v_2 = \infty$

Γ.3. Αλλαγή μήκους του προτύπου αναφοράς από την τελευταία διακρίβωση (δl_n) – Τύπου Β

Από το ISO 3650 δίνεται η μέγιστη επιτρεπτή αλλαγή στο μήκος του πρότυπου πλακιδίου ανά χρόνο, σύμφωνα με την σχέση $(0,02 \mu m + 0,25 \cdot 10^6 \cdot l_n)$. Σύμφωνα όμως με μια έρευνα που είχε γίνει στο Swiss Federal Office of Metrology and Accreditation (METAS) (και συγκεκριμένα στην παράγραφο 4.1), αναφέρεται ότι για ένα πλακίδιο 70 mm αντιστοιχεί αλλαγή του μήκους του πλακιδίου της τάξης των 2,3 nm/year. Δεχόμενοι την περίπτωση ότι το μήκος του πλακιδίου των 70 mm να υφίσταται μια αλλαγή της τάξης των 5 nm/year, η αβεβαιότητα είναι $U=5nm$ με συντελεστή κάλυψης $k=2$. Την αλλαγή του μήκους για οποιοδήποτε άλλο πλακίδιο χρειάζεται τη βρίσκουμε αναλογικά από τον

$$\text{τύπο: } U = \frac{5nm \cdot L}{70} \quad (L \text{ σε mm})$$

Οπότε η αλλαγή του μήκους του προτύπου αναφοράς από την τελευταία διακρίβωση υπολογίζεται:

$$u(\delta l_n) = U \cdot \text{years} / k = 5nm \cdot 1 / 2 = 2,5nm$$

με συνεισφορά στη συνολική τυπική αβεβαιότητα: $u_3(l_x) = |c_{\delta l_n}| \cdot u(\delta l_n) = 2,5nm$

και βαθμούς ελευθερίας $v_3 = \infty$

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	Κωδικός Error! Unknown document property name.	Error! Unknown document property name.		
		Αρ. Έκδοσης 1.5	Ημερομηνία Έκδοσης 01/09/2012	Σελίδα 2/15

Γ.4. Πιστοποιητικό διακρίβωσης μηχανής (δl_m) - Τύπου Β

Από το πιστοποιητικό διακρίβωσης της μηχανής TESA Urc δίνεται αβεβαιότητα $U=0,10+1,0 \cdot L$ (μm) (το L σε m), με επίπεδο εμπιστοσύνης 95% και συντελεστή κάλυψης $k_{95}=2$:

$$u(\delta l_m) = \frac{U}{k} = \frac{(0,10 + 1,0 \cdot L) \cdot 10^3}{2} = (0,05 + 0,5 \cdot L) \cdot 10^3 = 85 \text{ nm} \quad (L \text{ σε m})$$

$$\boxed{u(\delta l_m) = (50 + 0,5 \cdot L) = 85 \text{ nm}} \quad (L \text{ σε mm})$$

Οπότε η τυπική αβεβαιότητα υπολογίζεται $u(\delta l_m) = 85 \text{ nm}$

με συνεισφορά στη συνολική τυπική αβεβαιότητα: $\boxed{u_4(l_x) = |c_{\delta l_m}| \cdot u(\delta l_m) = 85 \text{ nm}}$

και βαθμούς ελευθερίας $\nu_4 = \infty$

Γ.5. Αποκλίσεις θερμοκρασίας (δl_T) - Τύπου Β

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

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

και

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

Συνδυαζόμενες οι δυο αυτές επιδράσεις δίνουν :

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	Κωδικός Error! Unknown document property name.	Error! Unknown document property name.		
		Αρ. Έκδοσης 1.5	Ημερομηνία Έκδοσης 01/09/2012	Σελίδα 2/15

$$u(\delta l_T) = \sqrt{u_\alpha^2(\delta l_T) + u_\beta^2(\delta l_T)} = 0.88 \cdot L = 62nm$$

με συνεισφορά στη συνολική τυπική αβεβαιότητα:

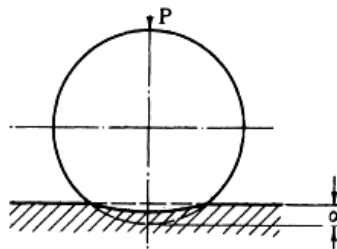
$$u_s(l_x) = |c_{\delta l_T}| \cdot u(\delta l_T) = 62nm$$

και βαθμούς ελευθερίας $\nu_s = \infty$

Γ.6. Ελαστική παραμόρφωση κατά τη μέτρηση (δl_e) - Τύπου Β

Κατά τη σύγκριση του προτύπου αναφοράς με το δοκίμιο η εφαρμοζόμενη δύναμη (1,63 Nt) από τις ακίδες επαφής προκαλεί ελαστική παραμόρφωση. Το μέγεθος της παραμόρφωσης μπορεί να υπολογιστεί, κατά αναλογία με την επαφή σφαίρας με επίπεδη επιφάνεια, με τη βοήθεια των εξισώσεων των M. J. Puttock και E. G. Thwaite (*Elastic Compression of Spheres and Cylinders at Point and Line Contact*, 1969). Στην περίπτωση που το υλικό του προτύπου αναφοράς είναι παρόμοιο με αυτό του δοκιμίου, το σφάλμα λόγω ελαστικής παραμόρφωσης απαλείφεται καθώς μεταφέρεται από το πρότυπο στο δοκίμιο και δεν επηρεάζει το αποτέλεσμα της μέτρησης.

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



Η παραμόρφωση a που δημιουργείται από τις ακίδες επαφής

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

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

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	Κωδικός Error! Unknown document property name.	Error! Unknown document property name.		
		Αρ. Έκδοσης 1.5	Ημερομηνία Έκδοσης 01/09/2012	Σελίδα 2/15

Όπου α η παραμόρφωση, P η εφαρμοζόμενη δύναμη (gf), $V = \frac{1 - \sigma^2}{\pi \cdot E}$ (mm^2/gf), σ ο λόγος Poisson (λόγος εγκάρσιας και ορθής παραμόρφωσης) για το κάθε υλικό, E το μέτρο ελαστικότητας του κάθε υλικού (gf/mm^2) και D η διάμετρος της ακίδας (mm).

Σημείωση: $1 \text{ Nt}/\text{m}^2 = 0,000102 \text{ gf}/\text{mm}^2$ και $1 \text{ Nt} = 101,97 \text{ gf}$

Για την ακίδα σφαιρικής επαφής (Tungsten carbide) ακτίνας 20 mm γνωρίζουμε από πίνακα ότι $\sigma=0,28$ και $E=704 \text{ GPa}$. Και για το πρότυπο αναφοράς (σκληρυμμένος χάλυβας) $\sigma=0,29$ και $E=205 \text{ GPa}$. Κατά συνέπεια κατά την επαφή του προτύπου με τις δυο ακίδες σφαιρικής επαφής έχουμε παραμόρφωση $2 \cdot \alpha_1 = 340 \text{ nm}$.

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

Για δοκίμιο από αλουμίνιο $2 \cdot \alpha_2 = 602 \text{ nm}$ οπότε $\delta l_e = 602 - 340 = 262(\text{nm})$.

Για κεραμικό δοκίμιο ισχύουν τα ίδια με το σκληρυμμένο χάλυβα.

Για δοκίμια χαλκού : $2 \cdot \alpha_2 = 478 \text{ nm}$ περίπου οπότε $\delta l_e = 478 - 340 = 138(\text{nm})$.

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

Πρότυπο αναφοράς	Δοκίμιο	Διόρθωση $\delta l_e = 2 \cdot (\alpha_2 - \alpha_1)$	Αβεβαιότητα $u_6(l_x) = \frac{2 \cdot (\alpha_1 - \alpha_2) \cdot 20\%}{\sqrt{3}}$
Χάλυβας	Χάλυβας	0	0
Χάλυβας	Αλουμίνιο	0,000262 mm	30 nm
Χάλυβας	Κεραμικό	0	0
Χάλυβας	Χαλκός	0,000138 mm	16 nm

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

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	Κωδικός Error! Unknown document property name.	Error! Unknown document property name.		
		Αρ. Έκδοσης 1.5	Ημερομηνία Έκδοσης 01/09/2012	Σελίδα 2/15

με βαθμούς ελευθερίας $\nu_6 = \infty$

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

Γ.7. Γεωμετρία ακίδων επαφής (δl_g) - Τύπου Β

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

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

$$u_7(l_x) = 0 \text{ με βαθμούς ελευθερίας } \nu_7 = \infty$$

Γ.8. Σφάλμα στην ένδειξη του οργάνου (δl_i)

Παρατηρήθηκε ότι κατά την διάρκεια των μετρήσεων το τελευταίο ψηφίο της ένδειξης της μηχανής μπορεί να μην είναι σταθερό και να υπάρχει απόκλιση $\pm 0,01 \mu\text{m}$. Οπότε δεχόμενοι ορθογωνική κατανομή, υπολογίζουμε τυπική αβεβαιότητα:

$$u(\delta l_i) = \frac{10}{\sqrt{3}} = 5,77 \text{ nm}$$

με συνεισφορά στη συνολική τυπική αβεβαιότητα: $u_8(l_x) = |c_{\delta l_i}| \cdot u(\delta l_i) = 5,77 \text{ nm}$

και βαθμούς ελευθερίας $\nu_8 = \infty$

Γ.9. Σφάλμα κατά την μετακίνηση της τράπεζας εργασίας στις θέσεις μετρήσεων (δl_w)

Από πειραματικά τεστ έχει αποδειχθεί ότι κατά την κίνηση της τράπεζας εργασίας στις θέσεις μετρήσεως, μπορεί να υπάρχει μικρή μετακίνηση των 2 πλακιδίων στους οδηγούς τους (θέσεις

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	Κωδικός Error! Unknown document property name.	Error! Unknown document property name.		
		Αρ. Έκδοσης 1.5	Ημερομηνία Έκδοσης 01/09/2012	Σελίδα 2/15

τοποθέτησής τους). Η μέγιστη μετακίνηση τους μέσα στις θέσεις - οδηγούς είναι 0,4 mm. Οπότε δεχόμενοι ορθογωνική κατανομή, υπολογίζεται τυπική αβεβαιότητα:

$$U(\delta_w) = \frac{0,5 \cdot 0,4}{\sqrt{3}} = 0,115 \text{ mm}$$

Με τη μέγιστη επιτρεπόμενη διακύμανση σε μήκος για πρότυπα πλακίδια βαθμού 0, σύμφωνα με το ISO 3650, η τυπική αβεβαιότητα του μετρούμενου πρότυπου πλακιδίου εξαιτίας σφαλμάτων τοποθέτησης των 2 πλακιδίων στην τράπεζα εργασίας αντιστοιχεί σε λιγότερο από 1 nm.

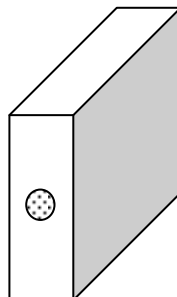
Οπότε δεχόμενοι τη χειρότερη περίπτωση: $u(\delta_w) = 1 \text{ nm}$

με συνεισφορά στη συνολική τυπική αβεβαιότητα: $u_g(l_x) = |c_{\delta_w}| \cdot u(\delta_w) = 1 \text{ nm}$

και βαθμούς ελευθερίας: $\nu_g = \infty$

Γ.10. Διακύμανση του μήκους του πλακιδίου (δl_v) - Τύπου Β

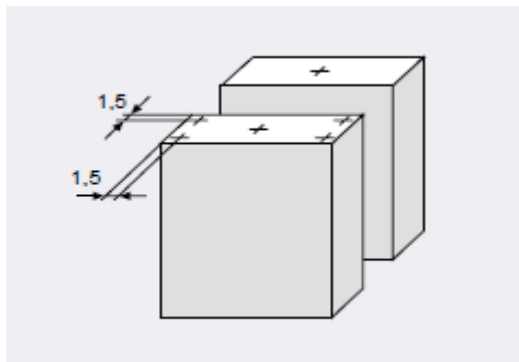
Δεχόμαστε ότι το σημείο επαφής των ακίδων πάνω στο πρότυπο αναφοράς και στο δοκίμιο μπορεί να αποκλίνει έως 0,5 mm σε σχέση με το ζητούμενο σημείο (πχ. γωνία πλακιδίου) λόγω γεωμετρικού περιορισμού στις γωνίες. Δηλαδή θεωρούμε ότι το σημείο επαφής βρίσκεται μέσα σε ένα νοητό κύκλο διαμέτρου 1 mm με κέντρο το ζητούμενο σημείο μέτρησης.



Το σημείο επαφής βρίσκεται μέσα στον κύκλο

Τα σημεία μέτρησης στις γωνίες του πλακιδίου απέχουν 1,5 mm από τις πλευρές της γωνίας όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	Κωδικός Error! Unknown document property name.	Error! Unknown document property name.		
		Αρ. Έκδοσης 1.5	Ημερομηνία Έκδοσης 01/09/2012	Σελίδα 2/15



Σημεία μέτρησης στο πρότυπο και στο προς μέτρηση πλακίδιο

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

$$\frac{1 \cdot 0,12}{9} = 0,013 \mu\text{m} = \pm 13 \text{nm}$$

Οπότε δεχόμενοι ορθογωνική κατανομή, υπολογίζουμε τυπική αβεβαιότητα:

$$u(\delta_l) = \frac{13}{\sqrt{3}} = 7,50 \text{nm}$$

με συνεισφορά στη συνολική τυπική αβεβαιότητα:

$$u_{10}(l_x) = |c_{\delta l}| \cdot u(\delta_l) = 7,50 \text{nm}$$

και βαθμούς ελευθερίας: $\nu_{10} = \infty$

Δ. ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ

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

$$u_c(l_x) = \sqrt{\sum_{i=1}^{10} u_i^2(l_x)} = 138 \text{nm}$$

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	Κωδικός Error! Unknown document property name.	Error! Unknown document property name.		
		Αρ. Έκδοσης 1.5	Ημερομηνία Έκδοσης 01/09/2012	Σελίδα 2/15

Ε. ΔΙΕΥΡΥΜΜΕΝΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ

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

$$U = k_p \cdot u_c(l_x) = 276nm$$

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

$$v_{lx} = \frac{u_c^4(l_x)}{\sum_{i=1}^{10} u_i^4(l_x)} = \frac{138^4}{\frac{74^4}{17} + 0 + \dots + 0} = 206$$

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

ΣΤ. ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ

Στον **Πίνακα 7** απεικονίζεται το ισοζύγιο αβεβαιότητας για τη μέθοδο OE-10.

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	Κωδικός Error! Unknown document property name.	Error! Unknown document property name.		
		Αρ. Έκδοσης 1.5	Ημερομηνία Έκδοσης 01/09/2012	Σελίδα 12/15

Πίνακας 7

Παράμετροι – Πηγές Αβεβαιότητας	Εκτίμηση (mm)	Τυπική Αβεβαιότητα (nm)	Συντελεστής ευσαιθησίας	Συνεισφορά τυπικής αβεβαιότητας (nm) - $u_i(l_x)$	Βαθμοί ελευθερίας
1. Αναπαραγωγιμότητα μετρήσεων (l_R)	0	74	1	74	17
2. Πρότυπο αναφοράς (l_s)	70,000091	$30+0.25 \cdot L$	1	47,5	∞
3. Αλλαγή μήκους του προτύπου αναφοράς από την τελευταία διακρίβωση (δl_n)	0	$\frac{5 \cdot L}{70}$	1	2,5	∞
4. Πιστοποιητικό διακρίβωσης μηχανής (δl_m)	0	$50+0,5 \cdot L$	1	85	∞
5. Αποκλίσεις θερμοκρασίας (δl_τ)	0	$0,88 \cdot L$	1	62	∞
6. Ελαστική παραμόρφωση κατά τη μέτρηση (δl_e)	0	0	1	0	∞
7. Γεωμετρία ακίδων επαφής (δl_g)	0	0	1	0	∞
8. Σφάλμα στην ένδειξη του οργάνου (δl_i)	0	5,77	1	5,77	∞
9. Σφάλμα κατά την μετακίνηση της τράπεζας εργασίας στις θέσεις μετρήσεων (δl_w)	0	1	1	1	∞
10. Διακύμανση του μήκους του πλακιδίου (δl_v)	0	7,50	1	7,50	∞
Συνδυασμένη Τυπική Αβεβαιότητα (σε nm)				138	206
Διευρυμένη Αβεβαιότητα (σε nm, k=2)				276	
Αναφορά	$(l_x = l_s + \delta l + \delta l_n + \delta l_m + \delta l_\tau + \delta l_e + \delta l_g + \delta l_i + \delta l_w + \delta l_v \pm U)$			$70.00009 \pm 0.00028mm$	

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	Κωδικός Error! Unknown document property name.	Error! Unknown document property name.		
		Αρ. Έκδοσης 1.5	Ημερομηνία Έκδοσης 01/09/2012	Σελίδα 13/15

Z. BEST MEASUREMENT CAPABILITY (BMC)

Διαπιστώθηκε ότι κατά τις μετρήσεις προτύπων πλακιδίων διαφόρων διαστάσεων μπορεί να επιτευχθεί αναπαραγωγιμότητα έως 150 nm (βλ. Αρχείο Μετρήσεων και Αρχείο Ποιοτικού Ελέγχου Μετρήσεων του εργαστηρίου). Το αποτέλεσμα αυτό προκύπτει όταν τα πρότυπα πλακίδια μετρώνται 3 φορές σε διαφορετικές ημέρες στο διάστημα μιας εβδομάδας όπως περιγράφεται στην παράγραφο Γ.1 του παρόντος παραρτήματος ερχόμενοι την τιμή αυτή για την αναπαραγωγιμότητα της μέτρησης σε πρότυπα δοκίμια μπορούμε να υπολογίσουμε το Best Measurement Capability της μεθόδου σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους. Διατηρώντας την μεταβλητή του μήκους στη σχέση υπολογισμού της συνδυασμένης αβεβαιότητας της μέτρησης, και απαλείφοντας την παράμετρο της διακύμανσης του μήκους που εξαρτάται από το δοκίμιο, σύμφωνα με το ισοζύγιο του **Πίνακα 7** προκύπτει:

$$u_c = \sqrt{8909,3 + 65 \cdot L + 1,158 \cdot L^2} \text{ (nm)}$$

Συνεπώς η Διευρυμένη Αβεβαιότητα της μέτρησης εκφρασμένη σε μm είναι:

$$U = \frac{2 \cdot \sqrt{8909,3 + 65 \cdot L + 1,158 \cdot L^2}}{1000} \text{ (}\mu\text{m)}$$

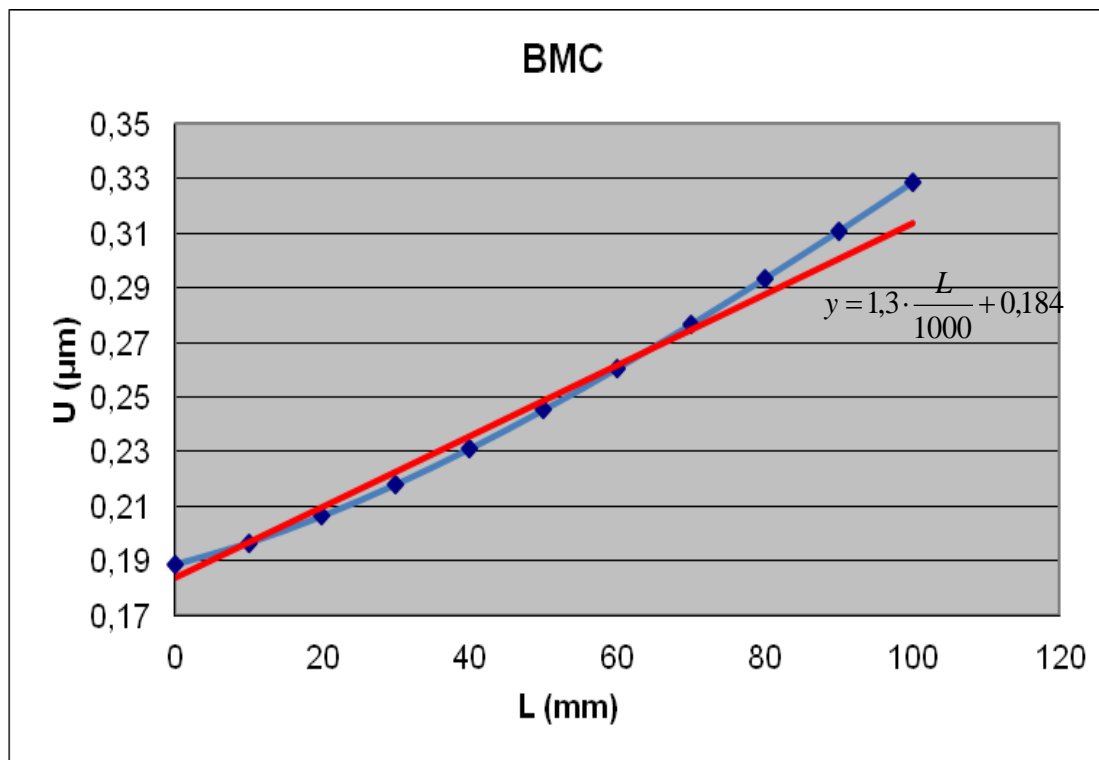
Με ικανοποιητική προσέγγιση μπορούμε να αντικαταστήσουμε την παραπάνω σχέση με εξίσωση ευθείας όπως φαίνεται στο **Διάγραμμα 7**

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

Εύρος (mm)	BMC (μm)
0-100	$y = 1,3 \cdot \frac{L}{1000} + 0,184$

<p>ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ</p>	<p>Κωδικός Error! Unknown document property name.</p>	<p>Error! Unknown document property name.</p>		
		<p>Αρ. Έκδοσης 1.5</p>	<p>Ημερομηνία Έκδοσης 01/09/2012</p>	<p>Σελίδα 14/15</p>

Διάγραμμα 7



ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	Κωδικός Error! Unknown document property name.	Error! Unknown document property name.		
		Αρ. Έκδοσης 1.5	Ημερομηνία Έκδοσης 01/09/2012	Σελίδα 15/15

Η. ΑΝΑΦΟΡΕΣ

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

8 Βιβλιογραφία

8.1 Βιβλία

1. Braun Herwing, “Μετροτεχνία”, Απόδοση στην ελληνική γλώσσα: Μελέτιος Βούλγαρης, Επιμέλεια ελληνικής έκδοσης: Γ. Εμμανουηλίδης, Ευρωπαϊκές Τεχνολογικές Εκδόσεις, 1996
2. Λάζαρου Ε. Λαζαρίδη, “Μηχανουργική Τεχνολογία”, Εκδόσεις Ιδρύματος Ευγενίδου, 1997
3. Σ.Ε. Σιμόπουλου, “Μετρήσεις Τεχνικών Μεγεθών”, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 1989
4. Αλέξης Καρμίρης, “Έλεγχος Ποιότητας”, Εκδόσεις Ε.Μ.Π.
5. Β.Ι.Ν. Λεώπουλος, “Συστήματα Διαχείρισης Ποιότητας”, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 2003
6. Δερβητσιώτη Κώστα Ν., “Ποιοτικός Έλεγχος και Παραγωγικότητα”, Τόμος Ι, Εκδόσεις Ν. Αϊβαζίδη - Ζ. Ζουμπούλη, Θεσ/νίκη (1985).
7. Τσιότρα Γεωργίου Δ., “Βελτίωση Ποιότητας”, Εκδόσεις Ε. Μπένου, Αθήνα (1995).
8. Αυλωνίτης Σταμάτης Α., “Στοιχεία Ελέγχου & Διασφάλισης Ποιότητας”, Εκδόσεις ΕΛΛΗΝ - Γ. Πάρικος & Σια Ε.Ε., Αθήνα (2003).
9. Caplen R.H., “A Practical Approach to Quality Control”, Century Business, 5th Edition (1988).
10. Stephanie Bell, “A Beginner’s Guide to Uncertainty of Measurement”, National Physical Laboratory, 1999

8.2 Διαδίκτυο

1. <http://en.wikipedia.org/wiki/Celsius>
2. http://en.wikipedia.org/wiki/International_System_of_Units
3. http://en.wikipedia.org/wiki/SI_base_unit
4. http://www1.bipm.org/en/si/base_units/
5. <http://www.eim.org.gr/>
6. http://en.wikipedia.org/wiki/Ernst_Abbe
7. <http://147.102.46.88/metrotexniko>
8. http://en.wikipedia.org/wiki/ANOVA_Gage_R%26R
9. http://en.wikipedia.org/wiki/Measurement_Systems_Analysis
10. http://en.wikipedia.org/wiki/Measurement_uncertainty
11. <http://www.europacprecision.com%2Ffiles%2Fproducts%2F477%2F1%2FK9-10.pdf>
12. <http://www.europacprecision.com/products/calibration-equipment/gauge-block-comparators/tesa-upc-gauge-block-comparator-for-comparative-measurement.html>
13. <http://emtoolbox.nist.gov/Publications/NISTMonograph180.pdf>