



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΕ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΠΟΙΟΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ**



**ΦΩΤΟΥ ΣΕΒΑΣΤΗ ANNA (Α.Μ 7684)**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ ΡΩΜΑΙΟΣ**

**ΠΑΤΡΑ 2023**



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρών τεύχος αποτελεί την Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου και αναφέρεται στην ανάλυση των διαδικασιών και μετρήσεων σε ένα εργαστήριο ποιοτικού ελέγχου βιομηχανίας. Είναι σημαντικό για μια βιομηχανία το εργαστήριο της να έχει σωστά βαθμονομημένα και αξιόπιστα μετρητικά όργανα καθώς αν υπάρχει σημαντικό σφάλμα, τότε διακινδυνεύεται η ποιότητα του τελικού προϊόντος. Η εργασία θα περιλαμβάνει την ανάλυση συγκεκριμένων διαδικασιών με την μέθοδο MSA (Measurement System Analysis) με την χρήση κατάλληλου λογισμικού για την μέτρηση μεγεθών για την σωστή βαθμονόμηση οργάνων που αφορούν τον ποιοτικό έλεγχο προϊόντων παραγωγικής διαδικασίας. Στην συνέχεια για τα μετρητικά όργανα των παραπάνω διαδικασιών θα πραγματοποιηθεί ανάλυση αβεβαιοτήτων τύπου I και II σύμφωνα με τον οδηγό JCGM 100:2008.

Ευχαριστώ θερμά τον Επιβλέποντα Καθηγητή μου κ. Αλέξανδρο Ρωμαίο , για την πολύτιμη βοήθεια του και για την υποδειγματική συνεργασία μας. Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω εγκάρδια τον Ηλία Τσιαχρήστο για την αμέριστη βοήθεια του, που σύμβαλε σημαντικά στην ολοκλήρωση της παρούσας πτυχιακής εργασίας. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια και τους φίλους μου για την ατελείωτη στήριξη τους.

Φώτου Σεβαστή Άννα

Μάιος 2023

**Υπεύθυνη Δήλωση Φοιτητή:** Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Φοιτητής έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Διπλωματικής Εργασίας, έχω δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μου όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία μου προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Ο Φοιτητής  
Φώτου Σεβαστή Άννα

.....  
(Υπογραφή)

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία μελετά την ανάλυση διαδικασιών και μετρήσεων ενός εργαστηρίου ποιοτικού ελέγχου βιομηχανίας παραγωγής υποβρύχιων καλωδίων. Με την βοήθεια κατάλληλου λογισμικού που έχει στην κατοχή του το εργαστήριο αναλύουμε το δείγμα μετρήσεων που λάβαμε ώστε να πραγματοποιηθεί η κρίση καταλληλότητας των μετρητικών οργάνων του εργαστηρίου. Η διαδικασία αυτή είναι άκρως σημαντική για το εργαστήριο καθώς αν υπάρχει σημαντικό σφάλμα στα όργανα, τότε διακινδυνεύεται η ποιότητα του τελικού καλωδίου. Θα μελετήσουμε τα μικρόμετρα που χρησιμοποιούνται για την μέτρηση διαμέτρων συρμάτων αγωγού και οπλισμού. Οι διαδικασίες ακολουθούν κάποιες συγκεκριμένες προδιαγραφές και πρότυπα. Τέλος θα βρεθούν και οι αβεβαιότητες των μετρήσεων από τρία (3) διαφορετικά μικρόμετρα του εργαστηρίου καθώς η ανάλυση MSA δεν κρίθηκε αρκετή για να αντιληφθεί η ποιότητα του μετρητικού συστήματος.

Πιο αναλυτικά στο Πρώτο Κεφάλαιο , θα παρουσιαστεί μια γενική θεωρία που είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε ώστε να γίνει κατανοητή η πειραματική διαδικασία που ακολουθεί. Αναλύεται η θεωρία της μέτρησης και των μετρητικών οργάνων, όπως επίσης και τα πρότυπα πλακίδια.

Στην συνέχεια ακολουθεί το Δεύτερο Κεφάλαιο , όπου περιλαμβάνει το θεωρητικό μέρος των σφαλμάτων και των αβεβαιοτήτων .Αναλύονται τα είδη των σφαλμάτων και παρουσιάζονται οι τύποι που προκύπτουν για την εύρεση των αβεβαιοτήτων.

Στο Τρίτο Κεφάλαιο , παρουσιάζονται πληροφορίες και θεωρίες για την MSA (Measurement System Analysis ) και την λογική αυτής της ανάλυσης.

Στο Τέταρτο Κεφάλαιο, φτάνουμε πια στην διαδικασία, όπου πραγματοποιείται η MSA ανάλυση και μέσω του λογισμικού που χρησιμοποιούμε αποφασίζεται αν το μετρητικό σύστημα του όργανο είναι κατάλληλο , αν όχι ή αν χρίζει βελτίωσης.

Τέλος στο Πέμπτο Κεφάλαιο, παρουσιάζεται η ανάλυση σφαλμάτων και αβεβαιοτήτων και καταλήγουμε στο συμπέρασμα για το αν το σύστημα μέτρησης μας γίνεται αποδεκτό.



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ .....	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	iii
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	xi
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ.....</b>	<b>13</b>
1.0 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	13
1.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ.....	14
1.2 ΜΕΤΡΗΣΗ.....	14
1.3 ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΣΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ.....	14
1.4 ΒΑΣΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ.....	16
1.5 ΜΕΤΡΗΤΙΚΟ ΌΡΓΑΝΟ .....	18
1.5.1 Διακρίβωση μετρητικού οργάνου .....	19
1.5.2 Συστήματα Βαθμονόμησης .....	20
1.5.3 Ποιότητα μέτρησης δεδομένων .....	21
1.6 ΜΕΤΡΗΤΙΚΟ ΟΡΓΑΝΟ : ΜΙΚΡΟΜΕΤΡΟ .....	21
1.7 ΠΡΟΤΥΠΑ ΠΛΑΚΙΔΙΑ .....	25
1.8 ΣΥΡΜΑΤΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΙ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΕ ΥΠΟΒΡΥΧΙΟ ΚΑΛΩΔΙΟ.....	27
1.8.1 Αγωγός .....	28
1.8.2 Μονωτικό Υλικό.....	29
1.8.3 Οπλισμός .....	30
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΕΣ.....</b>	<b>32</b>
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	32
2.1. ΕΙΔΗ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ .....	33
2.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ.....	34
2.3 ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ .....	37
2.4 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ.....	42

2.5 Εκτιμώμενη αβεβαιότητα .....	45
2.6 ΒΑΘΜΟΙ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ .....	46
2.7 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΚΑΛΥΨΗΣ $k$ .....	46
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΤΥΠΟΥ MSA</b> .....	<b>48</b>
3.0 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	48
3.1 ΌΡΟΙ ΠΟΥ ΣΧΕΤΙΖΟΝΤΑΙ ΜΕ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ .....	48
3.1.1 Ιχνηλασιμότητα.....	49
3.1.2 Βαθμονόμηση Συστημάτων.....	49
3.2 ΌΡΟΙ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΕΠΙΛΟΓΗ ΟΡΓΑΝΟΥ, ΧΕΙΡΙΣΤΗ ΚΑΙ ΔΟΚΙΜΩΝ. ....	50
3.3 ΜΕΛΕΤΗ ΓΡΑΜΜΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΠΟΛΩΣΗΣ ΜΕΤΡΗΤΙΚΟΥ ΟΡΓΑΝΟΥ. ....	53
3.4 ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ.....	53
3.5 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ, ΕΠΑΝΑΛΗΨΙΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΑΡΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ (R&R, REPEATABILITY AND REPRODUCIBILITY). ....	53
3.6 ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ MSA.....	55
3.7 ΜΕΛΕΤΗ MSA ΤΥΠΟΥ 1 .....	55
3.7.1 Πως διεξάγεται μια μελέτη Τύπου 1 για μετρητικό όργανο gage .....	57
3.7.2 Πως διεξάγεται μια μελέτη Τύπου 2 για μετρητικό όργανο gage. ....	57
3.8 ΕΠΙΠΕΔΟ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΠΟΔΟΧΗΣ (AQL).....	58
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο MSA ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ</b> .....	<b>60</b>
4.0 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	60
4.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΤΥΠΟΥ 1 .....	63
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΩΝ</b> .....	<b>70</b>
5.0 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	70
5.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ.....	72
5.2 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ.....	77
5.3 ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΕΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΕΣ.....	78
5.4 ΣΦΑΛΜΑ ΕΠΑΝΑΛΗΨΙΜΟΤΗΤΑΣ (ΤΥΧΑΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ).....	80



5.3.2	Σφάλμα ψηφιακής ανάλυσης του οργάνου.....	81
5.3.3	Πόλωση του παρατηρητή.....	81
5.3.4	Σφάλμα περιβαλλοντικών παραγόντων .....	82
5.5	ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΕΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΕΣ .....	84
5.6	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ .....	85
5.7	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΑ ΣΧΟΛΙΑ .....	106
	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>107</b>

## Εικόνες

- Εικόνα 1.1 Μικρόμετρο (α) και δαγκάνα vernier (β). Η αρχή του Abbe εφαρμόζεται στην περίπτωση του μικρομέτρου και έτσι επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ακρίβεια σε σχέση με την δαγκάνα vernier
- Εικόνα 1.2 Εξωτερικά μέρη ενός μικρομέτρου
- Εικόνα 1.3 Ψηφιακό μικρόμετρο
- Εικόνα 1.4 Κασετίνα πρότυπων πλακιδίων
- Εικόνα 1.5 Σύρμα αγωγού και σπλισμού
- Εικόνα 1.6 Κατηγοριοποίηση αγωγών Υ/Β καλωδίων
- Εικόνα 1.7 Μονωτικό υλικό υποβρύχιου καλωδίου της εταιρίας Fulgor
- Εικόνα 2.6 Σταθερή γραμμικότητα, η οποία δεν αποτελεί πρόβλημα
- Εικόνα 3.7 Γραμμικότητα η οποία αποτελεί πρόβλημα
- Εικόνα 3.8 Διακύμανση Gage R&R
- Εικόνα 5.0: Πρότυπα πλακίδια
- Εικόνα 5.1: Μικρόμετρο Α
- Εικόνα 5.2: Μικρόμετρο Β
- Εικόνα 5.3: Μικρόμετρο Γ

## Διάγραμμα

- Διάγραμμα 1.1 Διάγραμμα τριών σταδίων μετρητικού συστήματος
- Διάγραμμα 2.1 : Περιπτώσεις εύρεσης μετρήσεων
- Διάγραμμα 3.1 Ακρίβεια
- Διάγραμμα 3.3 Επαναληψιμότητα
- Διάγραμμα 3.3 Αναπαραγωγιμότητα
- Διάγραμμα 3.4 Σταθερότητα
- Διάγραμμα 3.5 Αποτελέσματα μετρήσεων
- Διάγραμμα 5.1: Διάγραμμα Κανονικής Κατανομής.
- Διάγραμμα 5.2. Διάγραμμα Pareto

## Πίνακας

- Πίνακας 1.1 Οι επτά βασικές και οι δύο συμπληρωματικές μονάδες
- Πίνακας 2.1 Διαγράμματα Κατανομών και συνάρτηση πυκνότητας
- Πίνακας 2.2 Συντελεστής κάλυψης  $k$  για διάστημα εμπιστοσύνης (κατανομή student)
- Πίνακας 4.1 Ανοχές μέτρησης διαμέτρου συρμάτων οπλισμού του καλωδίου.
- Πίνακας 4.2 Επαναληπτικές μετρήσεις για σύρμα αγωγού με ονομαστική διάμετρο πλακιδίου 5mm με την χρήση μικρομέτρου A
- Πίνακας 4.3 Δεδομένα ανάλυσης μικρομέτρου A για διάμετρο αγωγού.
- Πίνακας 4.4 Δεδομένα ανάλυσης μικρομέτρου A για διάμετρο οπλισμού
- Πίνακας 4.5 Επαναληπτικές μετρήσεις για σύρμα αγωγού με ονομαστική διάμετρο πλακιδίου 5mm με την χρήση μικρομέτρου B
- Πίνακας 4.6 Δεδομένα ανάλυσης μικρομέτρου B για διάμετρο οπλισμού
- Πίνακας 4.7 Δεδομένα ανάλυσης μικρομέτρου B για διάμετρο οπλισμού
- Πίνακας 5.0 Χαρακτηριστικά κατασκευαστή για μικρόμετρο A
- Πίνακας 5.1 Μετρήσεις πρότυπου πλακιδίου με πλάτους 1 (mm) σε 60 επαναλήψεις.
- Πίνακας 5.2 Ανοχή για μήκος, επιπεδότητα και παραλληλισμό.
- Πίνακα 5.3 Σφάλματα της διαδικασίας μέτρησης, κατανομές, αβεβαιότητες και βαθμοί ελευθερίας
- Πίνακας 5.4 Μετρήσεις πρότυπου πλακιδίου με πλάτους 5 (mm) σε 60 επαναλήψεις με το μικρόμετρο A. Πίνακας 5.5 Μετρήσεις πρότυπου πλακιδίου με πλάτους 15 (mm) σε 60 επαναλήψεις με το μικρόμετρο A
- Πίνακας 5.6 Μετρήσεις πρότυπου πλακιδίου με πλάτους 20 (mm) σε 60 επαναλήψεις με το μικρόμετρο A.
- Πίνακας 5.7 Αποτελέσματα μετρήσεων για πρότυπα δοκίμια 5mm, 15mm και 20mm
- Πίνακας 5.8 Μετρήσεις δοκιμίου 1mm, 5mm και 10mm με το μικρόμετρο B.
- Πίνακας 5.9 Αποτελέσματα μετρήσεων για πρότυπα δοκίμια 1mm, 5mm και 10mm.
- Πίνακας 5.12 Μετρήσεις δοκιμίου 1.005mm, 1.01mm, 1.4mm, 1.6mm, 2mm, 3mm και 8mm με το μικρόμετρο Γ
- Πίνακας 5.13 Αποτελέσματα μετρήσεων για πρότυπα πλακίδια 1.005mm, 1.4mm, 1.6mm, 2mm, 3mm και 8mm<sup>1</sup>

- Πίνακας 5.14 Αβεβαιότητες όλων των πλακιδίων από τις μετρήσεις των μικρομέτρων Α ,Β και Γ
- Πίνακας 5.15 Αβεβαιότητες πλακιδίων σύμφωνα με τον κατασκευαστή
- Πίνακας 5.16 Αποτελέσματα μετρήσεων του υπό διακρίβωση οργάνου σε σύγκριση με το όργανο αναφοράς.
- Πίνακας 5.17 Αποτελέσματα μετρήσεων του υπό διακρίβωση οργάνου Β σε σύγκριση με το όργανο αναφοράς για την ονομαστική διάμετρο 20 mm, 15mm, 5mm
- Πίνακας 5.18 Αποτελέσματα μετρήσεων του υπό διακρίβωση οργάνου Β σε σύγκριση με το όργανο αναφοράς για την ονομαστική διάμετρο 10 mm, 5 mm, 1 mm
- Πίνακας 5.19 Αποτελέσματα μετρήσεων του υπό διακρίβωση οργάνου Γ σε σύγκριση με το όργανο αναφοράς για την ονομαστική διάμετρο 8 mm, 3mm, 2mm, 1,6mm, 1,4mm , 1,01mm , 1,005 mm

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ασφαλής μεταφορά ενέργειας και δη ηλεκτρικής αποτελούσε από την ανακάλυψη της σημαντικό ζήτημα μελέτης στην επιστημονική κοινότητα. Σε συνδυασμό με τις ολοένα και μεγαλύτερες απαιτήσεις σε κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, επιτάχυνε δραματικά τους ρυθμούς ανάπτυξης των καλωδίων μεταφοράς ηλεκτρικής ισχύος. Η χρήση όμως Υποβρύχιων καλωδίων για τη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας, αποτελεί ένα πολυσύνθετο πρόβλημα. Το καλώδιο είναι απαραίτητο να διαθέτει χαρακτηριστικά κατάλληλα, για να καταφέρει να επιβιώσει στο διαβρωτικό υδάτινο περιβάλλον, όπως επίσης πρέπει να είναι ικανό να μεταφέρει ηλεκτρική ισχύ απρόσκοπτα, δίχως διακοπές και αστοχίες. Το καλώδιο πρέπει να είναι κατασκευασμένο με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορέσει να αντέξει τις καταπονήσεις που μπορεί να δεχθεί ώστε να αποφθεχθεί τυχόν βλάβη ή ολική καταστροφή αυτού. Σημαντικό ρόλο στην αντοχή αλλά και την αξιοπιστία του υποβρύχιου καλωδίου έχουν τα σύρματα που χρησιμοποιούνται στο τμήμα του οπλισμού και αγωγού. Υπάρχουν διάφοροι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν το αποτέλεσμα, το υλικό του σύρματος, η τύλιξη του σύρματος στο καλώδιο, ο τρόπος κατασκευής, η διάμετρος, το βάρος του σύρματος κ.α. Η λάθος επιλογή έστω και ενός από τους παραπάνω παράγοντες μπορεί να φανεί καταστροφική για το τελικό καλώδιο, δηλαδή ελαττωματικό προϊόν, δυσκολία τοποθέτησης στον υδάτινο περιβάλλον, και τέλος και πολύ σημαντικό για την εταιρία κατασκευής οικονομική ζημιά. Σκοπός της εργασίας αυτής, είναι να μελετηθούν τα όργανα του εργαστηρίου ποιοτικού ελέγχου βιομηχανίας υποβρύχιων καλωδίων, στην μέτρηση διαμέτρου των συρμάτων αγωγού και οπλισμού. Παρουσιάζεται αναλυτικά το φαινόμενο της μέτρησης, όπως επίσης και εργαλείων που είναι χρήσιμα για να επιτευχθεί η σωστή κρίση καταλληλότητας των οργάνων αυτών. Έχουν επιλεγθεί δύο (2) μικρόμετρα που χρησιμοποιούνται για να πραγματοποιηθούν αυτές οι μετρήσεις. Γίνεται μια MSA(Measurement System Analysis) Type 1 και στην συνέχεια ακολουθεί η βαθμονόμηση τριών (3) μικρομέτρων με πρότυπα πλακίδια.

Συμπερασματικά, μια εταιρία αυτό που αναζητά είναι το προϊόν της να της κοστίζει όσο το δυνατόν λιγότερο γίνεται χωρίς να χαμηλώσει την ποιότητα του αλλά ούτε να προκύψει σφάλμα στην συνέχεια. Αυτό θα είναι δυνατόν αν ακολουθεί πλήρως τις προδιαγραφές κατά την διαδικασία παραγωγής του. Στην περίπτωση της εργασίας μας θα ακολουθήσουμε τα πρότυπα που έχει η εταιρία Fulgor Hellenic Cables. Κατά την διάρκεια της μελέτης για κάθε καλώδιο που θα βγει στην παραγωγή, επιλέγεται η διάμετρος που θα έχουν τα σύρματα αγωγού και σπλισμού, σύμφωνα με τα δεδομένα κάθε περίπτωσης. Καλούμαστε λοιπόν να ελέγξουμε τα μετρητικά όργανα που αναλαμβάνουν την μέτρηση της διαμέτρου αυτών των συρμάτων και να βρούμε την καταλληλότητα τους.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ

## 1.0 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μια από τις βασικές ασχολίες του Μηχανολόγου είναι ο σχεδιασμός. Σχεδιασμός μηχανών, υδραυλικών συστημάτων, μηχανών παραγωγής ενέργειας, βιομηχανικής διεργασίας, εργοστασίων προϊόντων κτλ. Επιπλέον ασχολία του Μηχανολόγου είναι η συντήρηση και η καλή λειτουργία των μηχανών και εγκαταστάσεων. Τέλος η έρευνα και η ανάπτυξη είναι αντικείμενα ενασχόλησης του Μηχανολόγου.

Προϋπόθεση για την υλοποίηση των παραπάνω είναι οι μετρήσεις που πρέπει να συγκεντρώσει ο Μηχανολόγος προκειμένου να προχωρήσει στον σχεδιασμό. Για να είναι μια μέτρηση απόλυτα χρήσιμη όλοι οι παράγοντες που την επηρεάζουν πρέπει να γίνουν κατανοητοί. Για παράδειγμα στην πράξη μια μέτρηση σπάνια δίνει την ακριβή επιθυμητή πληροφορία. Μερικές φορές αυτό είναι ασήμαντο και μερικές φορές όχι. Επομένως είναι πολύ σημαντικό να γίνονται σωστά οι μετρήσεις, με πρότυπες διαδικασίες και σωστά βαθμονομημένα μετρητικά όργανα. Άλλωστε όπως είχε πει και ο Taguchi «Αν δεν μπορείς να μετρήσεις, δεν μπορείς να εξελιχθείς».

Οι μετρήσεις καταγράφονται σε ειδικά όργανα και διαβάζονται απ' ευθείας σε ειδικά μετρητικά όργανα ελέγχου. Στην προκείμενη πτυχιακή εργασία θα αναλύσουμε την διαδικασία μετρήσεων με την μέθοδο Measurement System analysis (MSA) με την χρήση κατάλληλου λογισμικού. Στο πέρας των μετρήσεων θα βρούμε τα σφάλματα Τύπου Α και Τύπου Β. Σύμφωνα με τις μετρήσεις θα βρούμε τις αβεβαιότητες. Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να αναλυθούν τα μετρητικά όργανα του εργαστηρίου βιομηχανίας με πραγματοποίηση βαθμονόμησης και ανάλυσης MSA TYPE 1 ώστε να κριθεί η καταλληλότητά τους.

## 1.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Στον Μηχανολογικό σχεδιασμό οι μετρήσεις παίζουν καθοριστικό ρόλο στο αποτέλεσμα που θα βγάλουμε και στις αποφάσεις που θα πρέπει να παρθούν.

Συνήθως στον μηχανολογικό σχεδιασμό ακολουθούνται 3 μέθοδοι .

1. Η εμπειρική μέθοδος που εξαρτάται από την σωστή κρίση του Μηχανικού και βασίζεται σε προηγούμενη εμπειρία .Τέτοια πληροφόρηση βρίσκεται στα Τεχνικά εγχειρίδια ή στους σχεδιαστικούς κώδικες.
2. Η ορθολογική μέθοδος που σε κάθε βήμα γίνεται εφαρμογή κάποιου επιστημονικού νόμου ή θεωρίας .
3. Η πειραματική μέθοδος θεωρείται σήμερα όχι μόνο σαν απαραίτητο βήμα στον σχεδιασμό αλλά και ο πιο πρακτικός τρόπος για την ολοκλήρωση του. Η βάση στο πειραματικό στάδιο είναι οι ακριβείς μετρήσεις όλων των φυσικών που μπαίνουν στο αντικείμενο του σχεδιασμού .

## 1.2 ΜΕΤΡΗΣΗ

Όταν κανείς μιλάει για μηχανολογικές μετρήσεις πρώτα πρέπει να απαντήσει στο ερώτημα τι είναι μέτρηση. Μέτρηση είναι η διαδικασία εμπειρικής απόδοσης μιας αριθμητικής τιμής σε διάφορες ιδιότητες ,αποσκοπώντας στην αντικειμενική ποσοτική περιγραφή τους. Μέτρηση επίσης μπορεί να αποτελεί μια σύγκριση της ποσότητας κάποιου φυσικού μεγέθους με ένα πρότυπο, δηλαδή σύγκριση με κάποια σταθερή ποσότητα του ίδιου φυσικού μεγέθους η οποία θεωρείται και ως η μονάδα μέτρησης.

## 1.3 ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΣΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ.

Υπάρχουν δύο βασικοί μέθοδοι στις μετρήσεις:

- i. Άμεση σύγκριση με ένα πρωτογενές ή δευτερογενές πρότυπο.  
Συγκρίνουμε π.χ. το μήκος μιας ξύλινης δοκού με μια μετροταινία. Αυτή είναι άμεση σύγκριση του μήκους της δοκού με ένα πρωτογενές πρότυπο, την μετροταινία.
- ii. Έμμεση σύγκριση με ένα πρότυπο μέσα από ένα επιβεβαιωμένο σύστημα.

Ένα επιβεβαιωμένο σύστημα με έμμεση σύγκριση χρησιμοποιεί κάποια μορφή μετατροπής της ποσότητας που θέλουμε να μετρήσουμε σε κάποια άλλη ποσότητα που μπορούμε να την μετρήσουμε με άμεση σύγκριση .Για παράδειγμα , μπορούμε να μετρήσουμε την τάση σε ένα βολτόμετρο και συγκρίνοντας την απόκλιση της



βελόνας με κάποια κλίμακα ,που αναγράφει το όργανο ,άμεσα δηλαδή συγκρίνοντας δύο μήκη για να μετρήσουμε μια ηλεκτρική τάση. Η μετατροπή της ποσότητας είναι συχνά απαραίτητη προκειμένου η μέτρηση να γίνει κατανοητή.

Τα περισσότερα μετρητικά συστήματα εμπίπτουν σε ένα πλαίσιο που αποτελείται από τρία βασικά στάδια:

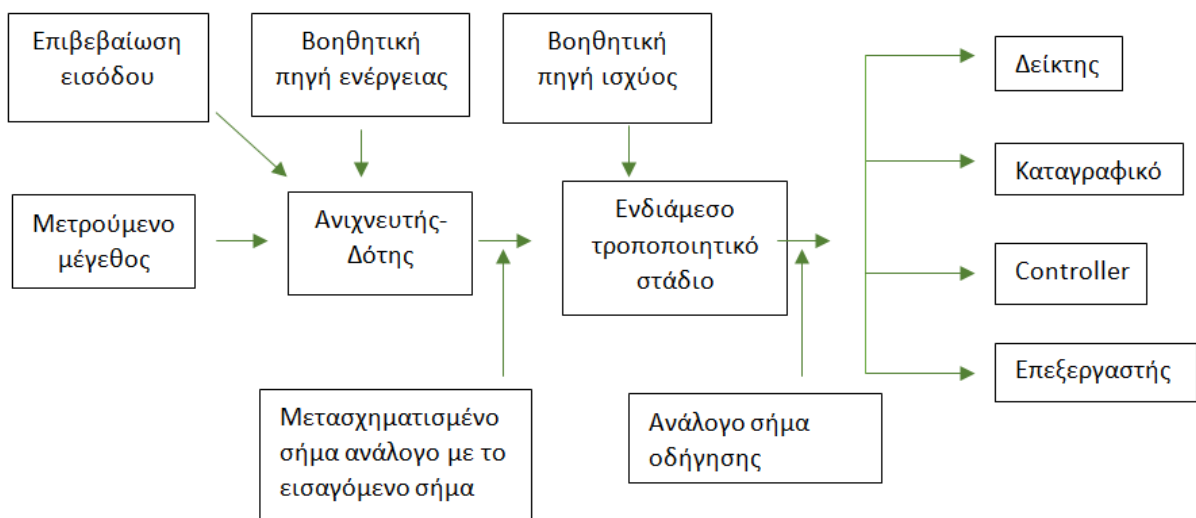
Στάδιο 1. Ανιχνευτής -Δότης

Στάδιο 2. Ενδιάμεσο τροποποιητικό στάδιο

Στάδιο 3. Τερματικό στάδιο, που καταλήγει σε μια μέτρηση με ένα ενδεικτικό όργανο , ένα καταγραφικό όργανο, ή κάποια μορφή ενός ρυθμιστή.

Κάθε στάδιο αποτελείται από ένα στοιχείο ή ομάδες στοιχείων που εκτελούν τα απαιτούμενα και προκαθορισμένα βήματα για την μέτρηση.

**Διάγραμμα 1.1** Διάγραμμα τριών σταδίων μετρητικού συστήματος



Πιο αναλυτικά το πρώτο στάδιο, ανιχνευτής-δότης (detector transducer) έχει ως βασικό σκοπό να διερευνηθεί ή να γίνει αισθητό το μετρούμενο μέγεθος. Το εξάρτημα που υλοποιεί αυτή την ενέργεια πρέπει να είναι ευαίσθητο στο μετρούμενο μέγεθος ,και να μην επηρεάζεται από άλλα μεγέθη ,όπως για παράδειγμα ο ανιχνευτής-δότης ενός θερμομέτρου δεν πρέπει να είναι ευαίσθητος στην υγρασία.

Προχωρώντας στο ενδιάμεσο στάδιο πολλές φορές ο ανιχνευτής-δότης αισθάνεται το μετρούμενο μέγεθος με ένα τρόπο που δεν είναι άμεσα συγκρίσιμος με το πρότυπο της μέτρησης επομένως είναι πιθανό να χρειαστεί η τροποποίηση του σήματος που μας δίνει με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να γίνει η σύγκριση αυτή στο

τελικό στάδιο. Χρειάζεται λοιπόν κάποιο εξάρτημα ή συσκευή που να μετατρέψει το σήμα σε κάποια άλλη μορφή. Έτσι στο στάδιο αυτό μπορούμε να κάνουμε άλλες ενέργειες όπως για παράδειγμα καθαρισμό του σήματος από παράσιτα σήματα ,ενίσχυση του σήματος εάν ο ανιχνευτής -δότης δίνει ένα πολύ μικρό σήμα για να ενεργοποιήσει το τελικό στάδιο, κτλ.

Τέλος στο τρίτο ή τελικό στάδιο μας δίνει τη ζητούμενη πληροφορία σε κάποια μορφή που να είναι άμεσα αντιληπτή από τις ανθρώπινες αισθήσεις ή κάποιο όργανο. έτσι πρέπει να μετατρέψουμε το σήμα που έρχεται από το ενδιάμεσο στάδιο σε μια από τις ακόλουθες μορφές:

1. Σαν μια σχετική μετατόπιση ,όπως στην κίνηση ενός δείκτη , την μετατόπιση σε έναν παλμογράφο ή την μετατόπιση σε ένα καταγραφικό όργανο
2. Ψηφιακή μορφή. Στην μορφή δηλαδή ενός αριθμού που γράφεται πάνω σε ένα πίνακα με κατάλληλα εξαρτήματα .

### 1.3.1 Επιβεβαίωση (calibration)

Κάθε σύστημα μέτρησης πρέπει να μετράει με αξιοπιστία. Ο έλεγχος της αξιοπιστίας αυτής λέγεται επιβεβαίωση ή διακρίβωση. Ο έλεγχος αυτός γίνεται για να προσδιοριστεί η κλίμακα του οργάνου και να βεβαιωθούμε ότι η μέτρηση γίνεται με την απαιτούμενη ακρίβεια.

Κατά την προετοιμασία του συστήματος ή του οργάνου για την λήψη μετρήσεων, το όργανο πρέπει να «επιβεβαιωθεί», δηλαδή τροφοδοτούμε στον Ανιχνευτή-δότη γνωστά μεγέθη της βασικής ποσότητας εισόδου και παρατηρούμε τη συμπεριφορά του συστήματος. Αν το σύστημα είναι αποδεδειγμένα γραμμικό μια επιβεβαίωση είναι αρκετή. Αν όμως δεν είναι γραμμικό τότε πρέπει να χρησιμοποιηθούν πολλές τιμές (γνωστά μεγέθη) και να παρατηρηθούν τα αποτελέσματα.

## 1.4 ΒΑΣΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ

Σε ένα σύστημα μέτρησης ορισμένες μονάδες αναφέρονται σαν 'βασικές' που σημαίνει ότι έχουν ορισθεί αντί να έχουν εξαχθεί από άλλες μονάδες. Ένας ορισμένος ελάχιστος αριθμός μονάδων πρέπει να ορισθεί με αυτόν τον τρόπο , αν και η επιλογή του ποιες μονάδες ορίζονται θεωρητικά παραμένει ανοιχτό. Σα βασικές μονάδες συνήθως επιλέγονται το μήκος ,η μάζα και ο χρόνος. Οι βασικές μονάδες στο σύστημα SI( System International) είναι το μέτρο , το χιλιόγραμμα και το δευτερόλεπτο αντίστοιχα. Οι απομένουσες μηχανολογικές μονάδες μπορούν να εξαχθούν από αυτές τις βασικές μονάδες. Επιπλέον οι βασικές μονάδες είναι απαραίτητες για να χειριστούμε θερμοδυναμικές, ηλεκτρικές, χημικές και οπτικές

ποσότητες. Αυτές οι βασικές μονάδες είναι ο βαθμός Kelvin (θερμοκρασία), το Ampere ( ηλεκτρικό ρεύμα) , το mole ( ποσότητα ύλης ) και η Candela ( φωτεινή ένταση).

Οι βασικές μονάδες πρέπει να ορίζονται κατά τέτοιον τρόπο ώστε να μπορούν να αναπαραχθούν με ένα αποδεκτό βαθμό ακρίβειας. Για να είμαστε σίγουροι για αυτό χρειάζεται να υπάρξει κάποιο τελικό πρότυπο για τη μονάδα στην οποία θα μπορούμε να αναφερθούμε άμεσα ή έμμεσα. Αυτό το πρότυπο είναι γνωστό σαν «κύριο πρότυπο» για την ποσότητα που μας ενδιαφέρει, για παράδειγμα το πρότυπο χιλιόγραμμα (για το μέτρημα της μάζας) είναι μια σταθερή μεταλλική μάζα που είναι διεθνώς αναγνωρισμένο ότι είναι το πρότυπο χιλιόγραμμα. Το πρότυπο μέτρο αρχικά είχε ορισθεί με ανάλογο τρόπο (δηλαδή με ένα φυσικό αντικείμενο ) αλλά τώρα ορίζεται σε σχέση με το μήκος κύματος του φωτός που εκπέμπεται από μια ορισμένη πηγή. Μπορεί κανείς να διαπιστώσει την τάση που υπάρχει τα τελευταία χρόνια ώστε τα κύρια πρότυπα να μπορούν να «αναπαραχθούν» αντί να είναι «προκαθορισμένα»

#### 1.4.1 Κατηγορίες μονάδων

Τον Ιούνιο του 1972 ο Διεθνής Οργανισμός Προτύπων (ISO) ενέκρινε τα πρότυπα των μονάδων SI όπως ισχύουν σήμερα και που συμπεριλαμβάνουν τρεις κατηγορίες μονάδων:

- 1) Βασικές μονάδες
- 2) Συμπληρωματικές μονάδες
- 3) Παράγωγες μονάδες

**Πίνακας 1.1** Οι επτά βασικές και οι δύο συμπληρωματικές μονάδες

Ποσότητα	Ονομασία και Συμβολισμός
	<b>Βασικές μονάδες</b>
Μήκος	Meter (m)
Μάζα	Kilogram (kg)
Χρόνος	Second(s)
Ένταση ηλεκτρικού ρεύματος	Ampere (A)
Θερμοδυναμική θερμοκρασία	Kelvin
Ποσότητα ύλης	Mole(mol)
Φωτεινή ένταση	Candela(cd)
	<b>Συμπληρωματικές μονάδες</b>
Επίπεδη γωνία	Radian (rad)
Στερεά γωνία	Steradian (sr)

## 1.5 ΜΕΤΡΗΤΙΚΟ ΟΡΓΑΝΟ

Οι συσκευές που μετρούν όσο γίνεται πιο αξιόπιστα και με ακρίβεια μια ποσότητα όπως είναι το μήκος, η θερμοκρασία, η ταχύτητα, η πίεση κλπ. ονομάζονται όργανα μέτρησης. Είναι μια ευαίσθητη ηλεκτρική ή μηχανική ή ψηφιακή συσκευή μέτρησης η οποία είναι συνδεδεμένη με τις διατάξεις και τα μέρη της διεργασίας μέτρησης. Τα μετρητικά όργανα χωρίζονται σε κατηγορίες ανάλογα με το είδος της μέτρησης που διενεργούν.

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό μιας συσκευής, συστήματος, υπηρεσίας κλπ., είναι η αξιοπιστία. Η αξιοπιστία είναι καλύτερη όταν υπάρχουν λιγότερες αστοχίες δηλαδή προβλήματα διαθεσιμότητας, καλής λειτουργίας και χρήσης γενικά. Η αξιοπιστία ορίζεται ως η πιθανότητα ορθής λειτουργίας ενός οργάνου, υπό προδιαγραφμένες τιμές ακρίβειας και συνθηκών λειτουργίας. Καθοριστικό ρόλο για την αξιοπιστία μιας συσκευής ή ενός συστήματος διαδραματίζουν οι βλάβες.

Οι βλάβες διακρίνονται σε:

- Τυχαίες βλάβες: προκαλούν ξαφνική αστοχία του συστήματος.
- Βλάβες ολίσθησης: προκαλούν σταδιακά την απώλεια ικανότητας αποδεκτής λειτουργίας του εξαρτήματος. Αυτές μπορεί να είναι προσωρινές ή μόνιμες, ενώ όταν δεν διορθώνονται μπορεί να οδηγήσουν αλυσιδωτά σε μεγαλύτερη έκταση βλαβών.
- Διαλείπουσες βλάβες: εμφανίζονται ξαφνικά και διαρκούν λίγο χρόνο, είναι δύσκολες στον εντοπισμό και την επιδιόρθωση λόγω της παροδικής και φευγαλέας εμφάνισης των.
- Εμφανείς ή αφανείς: οι εμφανείς βλάβες αναγγέλλονται από μόνες ενώ οι αφανείς δεν εντοπίζονται άμεσα, μέχρι να διαπιστωθούν κατά την διάρκεια λεπτομερούς εξέτασης του συστήματος ή να προκαλέσουν αλυσιδωτά άλλες εμφανείς βλάβες.

### Επιλογή και συντήρηση οργάνου.

Τα βασικότερα τεχνικά χαρακτηριστικά που επηρεάζουν τις δυνατότητες και τη μετρητική συμπεριφορά ενός οργάνου μέτρησης, επέχοντας ταυτόχρονα θέση κριτηρίων επιλογής, είναι τα εξής:

- Ακρίβεια
- Τεχνολογία μέτρηση
- Εύρος μέτρησης, ανάλογα με τις ανάγκες χρήσης
- Σταθερά χρόνου, ανάλογα με την ύπαρξη ή μη χρονικά μεταβαλλόμενων μετρούμενων μέσων
- Αξιοπιστία κατασκευής, εγγύηση καλής λειτουργίας
- Ανταγωνιστικό κόστος

Την τελική επιλογή του οργάνου και την εγκατάσταση της μετρητικής διάταξης επηρεάζουν επίσης τα παρακάτω:

- Διάφορες μετρητικές αντιξοότητες π.χ. υγρασία, κραδασμοί, υψηλές/χαμηλές θερμοκρασίες, ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές κ.α.
- Γενικότερες συνθήκες του φυσικού περιβάλλοντος μέτρησης π.χ. αδρανής, διαβρωτική, ρυπαρή ή μολυσματική ατμόσφαιρα
- Δυνατότητα εύκολης αντικατάστασης και συντήρησης
- Δυνατότητα διασύνδεσης του αισθητήρα με διάφορα συστήματα προσαρμογής και με Σύστημα Απόκτησης Δεδομένων (ΣΑΔ)

Η ορθή λειτουργία των οργάνων αναφοράς που διαθέτουν τα διάφορα διαπιστευμένα εργαστήρια Μετρολογίας ελέγχεται με βάση τα υφιστάμενα εθνικά πρότυπα και τα εθνικά εργαστήρια του Ελληνικού Ινστιτούτου Μετρολογίας (ΕΙΜ). Τα τελευταία έχουν υιοθετηθεί σε συμφωνία με τα διεθνή πρότυπα φυσικών μεγεθών, που τηρούνται ή θεσπίστηκαν υπό την εποπτεία παγκόσμιων μετρολογικών οργανισμών.

Τα NMIs (Network Management Information System) συνεργάζονται στενά με διάφορα εθνικά εργαστήρια, προμηθευτές οργάνων μέτρησης, υπερσύγχρονες κατασκευαστικές εταιρείες, ώστε να διασφαλίζεται ότι τα πρότυπα αναφοράς τους είναι κατάλληλα βαθμονομημένα και άμεσα ανιχνεύσιμα σύμφωνα με τα πρότυπα που τηρεί το NMIs. Αυτοί οι κυβερνητικοί και ιδιωτικοί βιομηχανικοί οργανισμοί θα χρησιμοποιήσουν στη συνέχεια τα πρότυπά τους για την παροχή υπηρεσιών βαθμονόμησης και μέτρησης στα εργαστήρια μετρολογίας ή των οργάνων μέτρησης των πελατών, βαθμονομημένα εργαστήρια εργασίας ή άλλα πρωτογενή πρότυπα. Αυτός ο κρίκος ή η αλυσίδα γεγονότων βρίσκει τελικά το δρόμο της και στη συνέχεια παρέχει τη βάση για τη μέτρηση ιχνηλασιμότητας.

### 1.5.1 Διακρίβωση μετρητικού οργάνου

Ανεξάρτητα από λεπτομέρειες κατασκευής και χρήσης, ιδιαίτερη σημασία για την διατήρηση της αξιοπιστίας και της ακρίβειας ενός μετρητικού εξοπλισμού έχει ο περιοδικός έλεγχος του από επιτήδεια εργαστήρια, διαδικασία που αποκαλείται διακρίβωση. Η επιστήμη της Μετρολογίας έχει ως αντικείμενο τη μέτρηση αναλυτικά τη μελέτη της αξιοπιστίας των μετρήσεων και την εφαρμογή των αρχών μέτρησης και των κανόνων ορθής πρακτικής σε διάφορους τομείς, όπως στις εμπορικές συναλλαγές, στη βιομηχανική παραγωγή, στο εργαστήριο, στον έλεγχο ποιότητας, στην ασφάλεια και στην υγεία. Υπό την εποπτεία του Ελληνικού Ινστιτούτου Μετρολογίας (ΕΙΜ) λειτουργούν διάφορα διαπιστευμένα εργαστήρια Μετρολογίας, κύριο σκοπό τη βαθμονόμηση και τον έλεγχο της ακρίβειας συγκεκριμένων οργάνων ή συνολικών μετρητικών συστημάτων που προσκομίζονται σε τακτές ή μη ημερομηνίες από τους χρήστες.

Η αποστολή ενός οργάνου μέτρησης για διακρίβωση σε ένα διαπιστευμένο εργαστήριο μετρολογίας αποτελεί βασική προϋπόθεση για την επιτυχή χρήση του

οργάνου σε σοβαρές μετρητικές εφαρμογές, όπως ενδεικτικά σε ερευνητικά εργαστήρια, στον ποιοτικό έλεγχο βιομηχανικών προϊόντων κ.ά. Για την εν λόγω διακρίβωση τα εργαστήρια Μετρολογίας διαθέτουν όργανα αναφοράς με μεγάλη ακρίβεια μέτρησης, με τις ενδείξεις των οποίων αντιπαραβάλλονται εκείνες του διακριβωμένου οργάνου.

### 1.5.2 Συστήματα Βαθμονόμησης

Το σύστημα βαθμονόμησης είναι ένα σύνολο λειτουργιών που καθορίζουν, σύμφωνα με καθορισμένες συνθήκες, τη σχέση μεταξύ συσκευής μέτρησης και ανιχνεύσιμης γνωστής τιμής αναφοράς και αβεβαιότητας. Η βαθμονόμηση μπορεί επίσης να περιλαμβάνει βήματα για τον εντοπισμό, τη συσχέτιση, την αναφορά ή την εξάλειψη με προσαρμογή οποιασδήποτε διαφοράς στην ακρίβεια της συγκρινόμενης διάταξης μέτρησης. Το σύστημα βαθμονόμησης αποτελεί μέρος της διαχείρισης ποιότητας ενός οργανισμού σύστημα και, ως εκ τούτου, θα πρέπει να περιλαμβάνεται σε οποιοσδήποτε απαιτήσεις εσωτερικού ελέγχου.

Το σύστημα βαθμονόμησης καθορίζει την ιχνηλασιμότητα των μετρήσεων στο συστήματα μέτρησης με τη χρήση μεθόδων και προτύπων βαθμονόμησης.

**Ιχνηλασιμότητα** είναι η αλυσίδα συμβάντων βαθμονόμησης που ξεκινούν με τη βαθμονόμηση προτύπων κατάλληλης μετρολογικής ικανότητας ή αβεβαιότητας μέτρησης. Κάθε συμβάν βαθμονόμησης περιλαμβάνει όλα τα απαραίτητα στοιχεία, συμπεριλαμβανομένων πρότυπα, εξοπλισμός μετρήσεων και δοκιμών υπό επαλήθευση, βαθμονόμηση μεθόδων και διαδικασίας, αρχεία και εξειδικευμένο προσωπικό.

Ένας οργανισμός μπορεί να έχει ένα εσωτερικό εργαστήριο βαθμονόμησης ή έναν οργανισμό το οποίο ελέγχει και διατηρεί τα στοιχεία των συμβάντων βαθμονόμησης. Το σύστημα βαθμονόμησης αποτελεί μέρος της διαχείρισης ποιότητας ενός οργανισμού και ως εκ τούτου, θα πρέπει να περιλαμβάνεται σε οποιοσδήποτε απαιτήσεις εσωτερικού ελέγχου.

Όταν το συμβάν βαθμονόμησης εκτελείται από εξωτερικό, εμπορικό ή ανεξάρτητο προμηθευτή υπηρεσιών βαθμονόμησης, η βαθμονόμηση του πάροχου υπηρεσιών μπορεί να επαληθευτεί μέσω διαπίστευσης κατά ISO/IEC 17025. Όταν ένα εξειδικευμένο εργαστήριο δεν είναι διαθέσιμο για ένα συγκεκριμένο κομμάτι εξοπλισμού, οι υπηρεσίες βαθμονόμησης μπορούν να εκτελούνται από τον κατασκευαστή του εξοπλισμού.

### 1.5.3 Ποιότητα μέτρησης δεδομένων

Η ποιότητα μέτρησης των δεδομένων καθορίζεται από τις στατιστικές ιδιότητες των πολλαπλών μετρήσεων που λαμβάνονται από ένα σύστημα μέτρησης που λειτουργεί με σταθερές συνθήκες. Για παράδειγμα, ας υποθέσουμε ότι ένα σύστημα μέτρησης, λειτουργεί υπό σταθερές συνθήκες, χρησιμοποιείται για τη λήψη αρκετών μετρήσεων ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό. Εάν όλες οι μετρήσεις είναι "κοντά" στην ονομαστική τιμή για το χαρακτηριστικό, τότε η ποιότητα των δεδομένων λέγεται ότι είναι "υψηλή". Ομοίως, εάν ορισμένες ή όλες οι μετρήσεις είναι "πολύ μακριά" από το ονομαστική τιμή, τότε η ποιότητα των δεδομένων λέγεται ότι είναι "χαμηλή".

Οι στατιστικές ιδιότητες που χρησιμοποιούνται συχνότερα για να χαρακτηρίσουν την ποιότητα των δεδομένων είναι η πόλωση και η διακύμανση του συστήματος μέτρησης.

### Πραγματική τιμή

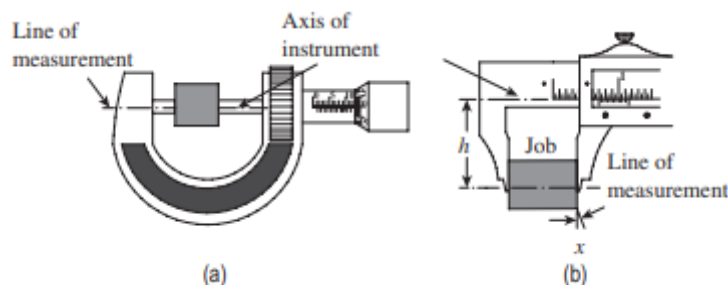
Η διαδικασία μέτρησης TARGET είναι η "πραγματική" τιμή του εξαρτήματος. Είναι η κάθε μεμονωμένη ανάγνωση να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στην πραγματική τιμή. Δυστυχώς, η πραγματική αξία δεν μπορεί ποτέ να γίνει γνωστή με βεβαιότητα. Ωστόσο, η αβεβαιότητα μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με τη χρήση μιας τιμής αναφοράς που βασίζεται στο αποτελέσματα ενός συστήματος μέτρησης που έχει διάκριση υψηλότερης τάξης και είναι ανιχνεύσιμο από το NIST.

## 1.6 ΜΕΤΡΗΤΙΚΟ ΟΡΓΑΝΟ : ΜΙΚΡΟΜΕΤΡΟ

Η λέξη «μικρόμετρο» είναι γνωστή με δύο διαφορετικές έννοιες. Το πρώτο είναι ως μονάδα μέτρησης όπου είναι ένα χιλιοστό του χιλιοστού και η δεύτερη έννοια είναι ένα φορητό όργανο μέτρησης χρησιμοποιώντας μηχανισμό με βίδα. Η λέξη μικρόμετρο πιστεύεται ότι προέρχεται από την Ελλάδα, η ελληνική σημασία για αυτή τη λέξη είναι μικρή. Η πρώτη βίδα μικρομέτρου εφευρέθηκε από τον William Gascoigne of Yorkshire στην Αγγλία, τον 17ο αιώνα και χρησιμοποιήθηκε σε τηλεσκόπια για τη μέτρηση γωνιακών αποστάσεων μεταξύ των αστεριών. Η εμπορική έκδοση του μικρομέτρου κυκλοφόρησε από την εταιρεία Browne & Sharpe το 1867. Υπήρξαν πολλές παραλλαγές του οργάνου και η σύγχρονη βιομηχανία χρησιμοποιεί εξαιρετικά εξελιγμένα μικρόμετρα, όπως ψηφιακά μικρόμετρα και μικρόμετρα σάρωσης με λέιζερ.

Ένα μικρόμετρο μπορεί να μετράει καλύτερα και με μεγαλύτερη ακρίβεια από μια δαγκάνα vernier. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι η γραμμή μέτρησης είναι σύμφωνη με τον άξονα του οργάνου, σε αντίθεση με την δαγκάνα vernier που δεν

συμμορφώνεται με αυτόν τον όρο. Αυτό το γεγονός εξηγείται καλύτερα από την αρχή του Abbe, η οποία δηλώνει ότι «μέγιστη ακρίβεια» μπορεί να επιτευχθεί μόνον όταν το πρότυπο ευθυγραμμίζεται με τον άξονα του μέρος που μετράται». Το σχήμα παρακάτω απεικονίζει τη σημασία του νόμου του Abbe για τα μικρόμετρα και δαγκάνες vernier.



**Εικόνα 5.1** Μικρόμετρο (α) και δαγκάνα vernier (β). Η αρχή του Abbe εφαρμόζεται στην περίπτωση του μικρομέτρου και έτσι επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ακρίβεια σε σχέση με την δαγκάνα vernier.

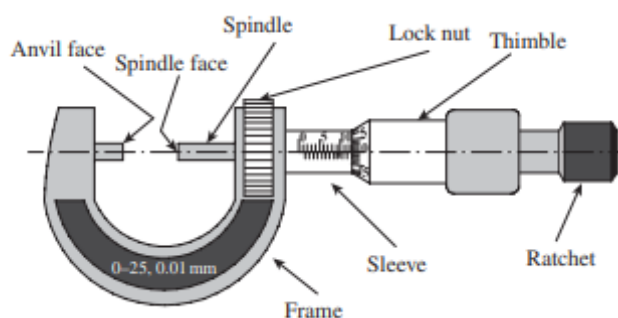
Ο άξονας της εργασίας που μετράται είναι σύμφωνος με τη γραμμή της μέτρησης του οργάνου, όπως απεικονίζεται στο (α). Σε περίπτωση δαγκάνας vernier, για να είναι ακριβής η ανάγνωση, η δέσμη θα πρέπει να είναι απόλυτα ευθεία και τα δύο σαγόνια σε  $90^\circ$  με αυτό. Ωστόσο, αυτό συμβαίνει σπάνια. Υπάρχει πάντα κάποια έλλειψη ή ευθύτητα της δέσμης και οι σιαγόνες μπορεί να μην είναι απόλυτα τετράγωνα με τη δέσμη. Με συνεχής χρήση και φθορά, τα σαγόνια θα αναπτύσσουν όλο και περισσότερο ανεξέλεγκτες κινήσεις λόγω ολίσθησης του ενός μέρους πάνω στο άλλο. Επομένως, παρουσιάζεται ορισμένο ποσό γωνιακού σφάλματος, που σημειώνεται ως  $x$  στο (β). Αυτό το γωνιακό σφάλμα εξαρτάται επίσης από το πόσο μακριά είναι η γραμμή μέτρησης από τον άξονα του μέσου. Όσο υψηλότερη είναι η τιμή αυτού του διαχωρισμού  $h$ , τόσο μεγαλύτερο θα είναι και το γωνιακό σφάλμα. Επομένως, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι ο βαθμός συμμόρφωσης ενός οργάνου στο νόμο του Abbe καθορίζει την εγγενή ακρίβειά του.

### Εξωτερικό του μικρομέτρου

Στο σχήμα απεικονίζονται οι λεπτομέρειες του εξωτερικού ενός μικρομέτρου. Αποτελείται από πλαίσιο σχήματος C με ένα ακίνητο αμόνι (anvil) και μια κινητή άτρακτο(spindle). Η κίνηση της άτρακτου ελέγχεται από μια βίδα ακριβείας. Ο άξονας κινείται καθώς περιστρέφεται σε ένα σταθερό παξιμάδι άτρακτου. Η διαβαθμισμένη κλίμακα είναι χαραγμένη στο σταθερό χιτώνιο (sleeve) και στην περιστρεφόμενη δαχτυλήθρα (thimble). Το κλειδώμα (lock nut) επιτρέπει το κλειδώμα του άξονα κατά τη λήψη μιας ανάγνωσης. Η κασάνια (ratchet) εξασφαλίζει μια «αίσθηση» κατά τη λήψη μιας ανάγνωσης και αποτρέπει την εφαρμογή υπερβολικής πίεσης κατά την



εργασία η οποία μπορεί να αλλοιώσει τη μέτρηση την ίδια αλλά και να φθείρει το όργανο με τη χρήση. Οι σειρές των μικρομέτρων είναι συνήθως 0-25, 25-50 ή 0-50mm. Το μέγιστο η εμβέλεια των μικρομέτρων περιορίζεται στα 500mm.



**Εικόνα 1.2** Εξωτερικά μέρη ενός μικρομέτρου

### Τύποι Μικρομέτρων

- Μικρόμετρο δίσκου
- Βιδωτό μικρόμετρο σπειρώματος
- Μικρόμετρο κλήσης
- Μικρόμετρο λεπίδας
- vernier Μικρόμετρο
- Ψηφιακό μικρόμετρο

### Ψηφιακό μικρόμετρο

Το «πολυλειτουργικό» ψηφιακό μικρόμετρο γίνεται πολύ δημοφιλές τον τελευταίο καιρό. Οι αναγνώσεις μπορούν να υποβληθούν σε επεξεργασία με ευκολία. Το πάτημα ενός κουμπιού μπορεί να μετατρέψει μια ένδειξη από δεκαδική σε ίντσα και αντίστροφα. Οποιαδήποτε θέση του άξονα μπορεί να ρυθμιστεί στο μηδέν και το όργανο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για επιθεωρήστε μια εργασία εντός μιας καθορισμένης ανοχής Το όργανο μπορεί να συνδεθεί με υπολογιστή ή εκτυπωτή. Τα περισσότερα μέσα μπορούν να καταγράψουν μια σειρά δεδομένων και να υπολογίσουν στατιστικές πληροφορίες όπως μέση τιμή, τυπική απόκλιση και εύρος .



**Εικόνα 1.3** Ψηφιακό μικρόμετρο

Το όργανο μπορεί να χρησιμοποιηθεί μαζί με μια βάση για μεγαλύτερη ευκολία της μέτρησης. Ο άξονας είναι κατασκευασμένος από ανοξείδωτο χάλυβα και οι επιφάνειες μέτρησης είναι από καρβίδιο για μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Ο σφιγκτήρας ασφάλισης εξασφαλίζει το κλείδωμα του άξονα σε οποιαδήποτε επιθυμητή ρύθμιση. Ο μηχανισμός των δαχτυλιδιών εξασφαλίζει την σταθερή και χαμηλή δύναμη που θα ασκηθεί στο μικρόμετρο. Μια οθόνη LCD εμφανίζει με απόλυτη γραμμική κλίμακα την μέτρηση. Το μικρόμετρο ελέγχεται εύκολα με το πάτημα μερικών κουμπιών όπου παρέχονται για την επιλογή των διαφόρων λειτουργιών του οργάνου. Τα κουμπιά που ελέγχουν διάφορες λειτουργίες όπως:

1. ON/OFF: Για να ενεργοποιήσετε ή να απενεργοποιήσετε το όργανο
2. IN / MM: Για να επιλέξετε είτε ίντσα είτε μετρικό σύστημα μέτρησης
3. ZERO: Για να ρυθμίσετε την οθόνη στο μηδέν σε οποιαδήποτε επιθυμητή θέση
4. HOLD: Για να κρατήσετε πατημένο το μέτρο μέχρι να λειτουργήσει ξανά το κουμπί
5. ORIGIN: Ορισμός ελάχιστης τιμής για το μικρόμετρο ανάλογα με το μέγεθός του. Η μέτρηση ξεκινά από αυτήν την τιμή.
6. Alarm indicator: Για να υποδείξετε σφάλμα χαμηλής τάσης.

## 1.7 ΠΡΟΤΥΠΑ ΠΛΑΚΙΔΙΑ

Μέχρι τώρα έχουμε δει όργανα που μπορούν να διευκολύνουν τη μέτρηση σε αρκετά υψηλό βαθμό ακρίβειας. Όλες αυτές οι μετρήσεις ακολουθούν κάποια πρότυπα. Η ακρίβεια αυτών των οργάνων εξαρτάται από την ακρίβεια της κατασκευής τους. Οποιαδήποτε μικρή απόκλιση ή σφάλμα ακόμα και σε μια βίδα μπορεί να οδηγήσει σε σφάλμα στο αποτέλεσμα της μέτρησης. Η επαναλαμβανόμενη χρήση μιας βίδας ή άρθρωσης έχει ως αποτέλεσμα την ταχεία φθορά, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε συσσώρευση σφαλμάτων στη μέτρηση. Τα πρότυπα πλακίδια, που ονομάζονται επίσης μπλοκ μετρητή, μπορούν να αντιμετωπίσουν ορισμένους από αυτούς τους περιορισμούς και να παρέχουν υψηλό βαθμός ακρίβειας ως τελικά πρότυπα. Στην πραγματικότητα τα πρότυπα πλακίδια, αποτελούν άμεση σύνδεση μεταξύ του μετρητή και τα διεθνή πρότυπα μήκους. Προτιμάται να κατασκευάζονται από σκληρομένο κράμα χάλυβα καθώς είναι οικονομικό και έχει τον ίδιο συντελεστή θερμικής διαστολής με την πλειονότητα των χρησιμοποιούμενων χαλύβδινων εξαρτημάτων στην παραγωγή. Είναι απαραίτητο να υποστεί σκλήρυνση για να γίνει περισσότερο ανθεκτικός στη φθορά.

Τα πρότυπα πλακίδια καρβιδίου χρησιμοποιούνται για την ανώτερη αντοχή στη φθορά και τη μεγαλύτερη διάρκεια ζωής τους. Επίσης έχουν χαμηλό συντελεστή θερμικής διαστολής. Ωστόσο, είναι αρκετά ακριβά και χρησιμοποιούνται όταν πρέπει να αποφεύγεται η ταχεία φθορά των μετρητών.

Τα πρότυπα πλακίδια διατίθενται σε τρία βασικά σχήματα: ορθογώνιο, τετράγωνο με κεντρική οπή και τετράγωνο χωρίς κεντρική οπή. Τα ορθογώνια

πρότυπα πλακίδια είναι περισσότερο χρησιμοποιούμενα αφού μπορούν να χρησιμοποιούνται άνετα όταν ο χώρος είναι περιορισμένος και πρέπει να αποφεύγεται το υπερβολικό βάρος. Επιπλέον έχουν μεγαλύτερη επιφάνεια και μικρότερο ρυθμό φθοράς λόγω της ομοιόμορφης κατανομής των τάσεων κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Τα πρότυπα πλακίδια ταξινομούνται σε ποιότητες ανάλογα με την εγγυημένη ακρίβειά τους. Τα πρότυπα πλακίδια καθορίζονται διεθνώς από το πρότυπο ISO 3650. Ο βαθμός καθορίζει τον τύπο εφαρμογής για την οποία είναι κατάλληλο ένα πλακίδιο, όπως επιθεώρηση, αναφορά, ή βαθμονόμηση. Πιο αναλυτικά υπάρχουν οι παρακάτω επιλογές βαθμών.

**Βαθμός 2:** Αυτός είναι ο βαθμός πρότυπων πλακιδίων ποιότητας εργαστηρίου. Οι τυπικές χρήσεις περιλαμβάνουν τη ρύθμιση του μηχανήματος εργαλεία, φρέζες κ.λπ. στον χώρο του εργαστηρίου.

**Βαθμός 1:** Αυτός ο βαθμός χρησιμοποιείται σε εφαρμογές για αίθουσες εργαλείων, για τη ρύθμιση ημιτονοειδών ράβδων, δεικτών κλήσης, βαθμονόμηση του vernier, των οργάνων μικρομέτρων και ούτω καθεξής.

**Βαθμός 0:** Πρόκειται για μετρητή ολίσθησης βαθμού επιθεώρησης. Περιορισμένα άτομα θα έχουν πρόσβαση σε αυτό τον μετρητή και λαμβάνεται μεγάλη προσοχή για την προστασία του από την κακή χρήση.

**Βαθμός 00:** Αυτό το σετ διατηρείται στην αίθουσα προτύπων και χρησιμοποιείται μόνο για επιθεώρηση / βαθμονόμηση υψηλής ακρίβειας. Χρησιμοποιείται επίσης για τον έλεγχο της ακρίβειας των μετρητών ολίσθησης βαθμού 1.

**Βαθμός Βαθμονόμησης:** Αυτός είναι ένας ειδικός βαθμός, με τα πραγματικά μεγέθη των μετρητών ολίσθησης που αναφέρονται σε ένα ειδικό διάγραμμα που παρέχεται με το σύνολο των μετρητών ολίσθησης. Αυτό το διάγραμμα δίνει την ακριβή διάσταση του μετρητή ολίσθησης, σε αντίθεση με τις προηγούμενες ποιότητες, οι οποίες θεωρείται ότι έχουν κατασκευαστεί σε σετ ανεκτικότητα. Είναι οι καλύτεροι μετρητές ολίσθησης επειδή παρόλο που κατασκευάζονται μετρητές ολίσθησης χρησιμοποιώντας μεθόδους κατασκευής ακριβείας, είναι δύσκολο να επιτευχθεί ακρίβεια διαστάσεων 100%. Οι μετρητές ολίσθησης ποιότητας βαθμονόμησης δεν είναι απαραίτητα διαθέσιμοι σε ένα σύνολο προτιμώμενων μεγεθών, αλλά Τα μεγέθη καθορίζονται ρητά μέχρι το τρίτο ή το τέταρτο δεκαδικό ψηφίο ενός χιλιοστού.

Πολλά άλλα πρότυπα ταξινόμησης ακολουθούνται για τους μετρητές ολίσθησης, όπως το JIS B 7506-1997 (Ιαπωνία), DIN 861-1980 (Γερμανία), ASME (ΗΠΑ) και BS 4311: Μέρος 1: 1993 (Ηνωμένο Βασίλειο). Τα περισσότερα από αυτά τα πρότυπα αποδίδουν βαθμούς όπως A, AA, AAA και B. Ενώ ένας βαθμός B μπορεί να συμμορφώνεται στον μετρητή ολίσθησης ποιότητας εργαστηρίου, οι βαθμοί AA και AAA είναι βαθμοί βαθμονόμησης και αναφοράς αντίστοιχα.

Οι μετρητές ολίσθησης διατίθενται σε τυποποιημένα σύνολα τόσο σε μετρικές μονάδες όσο και σε μονάδες ίντσας .



**Εικόνα 1.4** Κασετίνα πρότυπων πλακιδίων

### **1.8 ΣΥΡΜΑΤΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΙ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΕ ΥΠΟΒΡΥΧΙΟ ΚΑΛΩΔΙΟ.**

Στην εργασία αυτή, θα ασχοληθούμε με την ανάλυση μικρομέτρων ενός εργαστηρίου βιομηχανίας , που παράγουν υποβρύχια καλώδια. Συγκεκριμένα θα μελετήσουμε τις διαμέτρους των συρμάτων που χρησιμοποιούνται στον αγωγό και ύστερα στον οπλισμό του. Το σύρμα έρχεται έτοιμο σε μπομπίνες σε είδος στρογγυλό, flat κ.α. ανάλογα με τις προδιαγραφές που ακολουθεί ο κατασκευαστής. Πρώτο βήμα είναι να περάσει το σύρμα αγωγού. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι αρχικά να μπει το σύρμα σε μια υποβιβαστική μηχανή , όπου θα δημιουργήσει μια σταδιακή μείωση πάχους , μέχρι να φτάσει στην επιθυμητή διάμετρο. Ύστερα αφού το σύρμα είναι έτοιμο, περνά στην επόμενη μηχανή στρεπτικού αγωγού. Σε αυτό το σημείο με ελικοειδή τύλιξη τυλίγεται στον αγωγό. Την ίδια διαδικασία ακολουθούν και τα σύρματα του οπλισμού , όπου είναι απαραίτητα καθώς ενισχύουν την μηχανική προστασία του καλωδίου.

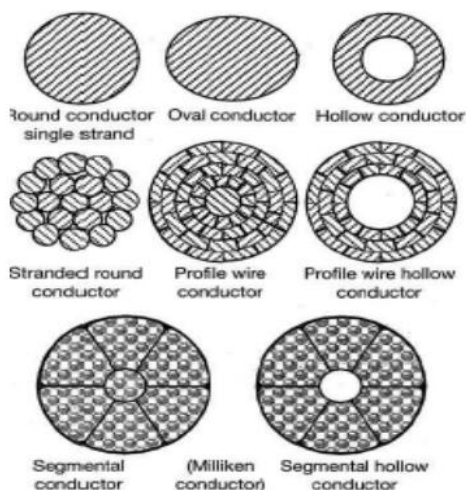


**Εικόνα 1.5** Σύρμα αγωγού και οπλισμού

Αν παρατηρήσουμε την τομή ενός υποβρυχίου καλωδίου ισχύος, από μέσα προς τα έξω, θα διαπιστώσουμε ότι υπάρχουν κάποια συγκεκριμένα τμήματα, που αποτελούν το καλώδιο. Το πρώτο τμήμα που παρατηρούμε στον πυρήνα του καλωδίου, είναι ο αγωγός, που είναι το μέσο διέλευσης του ηλεκτρικού ρεύματος από την μία άκρη στην άλλη. Στην συνέχεια, παρατηρούμε την ύπαρξη του μονωτικού μέσου του αγωγού, δηλαδή ενός συστήματος διαδοχικών στοιβάδων με μονωτικά υλικά, που αποτρέπουν την ηλεκτρική επαφή του αγωγού με το περιβάλλον. Μετά το μονωτικό υλικό, υφίσταται ένα περίβλημα υδατοστεγανότητας, που προστατεύει από την εισροή ύδατος τον αγωγό και τον μονωτή. Ακολουθεί ο οπλισμός, ο οποίος με κυριότερο σκοπό, αφενός την απορρόφηση των αναπτυσσόμενων μηχανικών τάσεων και αφετέρου την προστασία από τάσεις, που εμφανίζονται εξωτερικά του καλωδίου προστατεύει το καλώδιο από τις τάσεις που το φορτίζουν κατά την κατασκευή, μεταφορά, αποθήκευση, εγκατάσταση και λειτουργία του, ενώ μπορεί να είναι και διπλός, για επιπλέον προστασία του καλωδίου. Τελικά, παρατηρούμε το εξωτερικό περίβλημα, που δίνει την εξωτερική εικόνα του καλωδίου, ενώ προστατεύει σε ένα επίπεδο τον οπλισμό από τη δημιουργία διάβρωσης και μικρορωγμών

### 1.8.1 Αγωγός

Ο αγωγός ενός υποβρυχίου καλωδίου ισχύος, είναι κατασκευασμένος από χαλκό Cu ή αλουμίνιο Al. Παρά το υψηλότερο κόστος χρήσης του χαλκού έναντι του αλουμινίου, η πλειονότητα των υποβρυχίων καλωδίων θα μπορούσαμε να πούμε ότι είναι κατασκευασμένη από χαλκό. Ο χαλκός υπερτερεί έναντι του αλουμινίου, καθόσον επιτρέπει την κατασκευή μικρότερων διατομών αγωγών, με αποτέλεσμα την απαίτηση λιγότερου υλικού, για την κατασκευή του εξωτερικού μολύβδινου ή ατσάλινου περιβλήματος. Πολλές φορές η επιλογή του υλικού του αγωγού μεταξύ χαλκού και αλουμινίου εξαρτάται από τις διακυμάνσεις στις τιμές στο εμπόριο των μετάλλων. Οι τιμές αυτές, μπορεί να είναι ιδιαίτερα ευμετάβλητες και ως εκ τούτου, η επιλογή του υλικού εμπεριέχει και τα υποκειμενικά χαρακτηριστικά της κρίσης του κατασκευαστή. Πάντως, ένας επιπλέον παράγοντας που συνηγορεί στη χρήση του χαλκού είναι η καλύτερη συμπεριφορά του στη διάβρωση, έναντι του αλουμινίου. Γεγονός είναι πάντως, ότι αν διεισδύσει θαλασσινό νερό στον αγωγό ώστε να τον διαβρώσει, τότε αυτό σημαίνει ότι έχουν υποστεί ζημιά και οι υπόλοιπες στοιβάδες έξωθεν του αγωγού, οπότε και το καλώδιο πρέπει να αντικατασταθεί, επειδή καθίσταται άχρηστο για περαιτέρω λειτουργία. Μία τακτική που ακολουθείται από τους κατασκευαστές, για να μετριάσουν το κόστος και να βελτιώσουν την απόδοση του καλωδίου, είναι η τμηματική χρησιμοποίηση των δύο παραπάνω υλικών, καθόσον έχουν πολύ καλή μεταλλουργική συνδεσιμότητα. Είναι για παράδειγμα δυνατή η χρήση στο υποβρυχίο τμήμα του καλωδίου, αγωγού από χαλκό, ενώ στα σημεία προσαιγιάλωσης μέχρι το ηλεκτρικό δίκτυο, χρησιμοποιείται αγωγός αλουμινίου.



**Εικόνα 1.6** Κατηγοριοποίηση αγωγών Υ/Β καλωδίων

### 1.8.2 Μονωτικό Υλικό

Το σύστημα μονώσεως του αγωγού ενός υποβρυχίου καλωδίου, προσδιορίζει την ηλεκτρική αντοχή του καλωδίου σε τάση και επομένως, καθορίζει την μέγιστη ένταση ρεύματος που επιτρέπεται να το διαρρεύσει κατά τη φόρτιση του αγωγού. Με άλλη προσέγγιση, θα μπορούσε να πει κανείς ότι, προστατεύει το πυρήνα του καλωδίου δηλαδή τον αγωγό, από την δημιουργία με κάποια άλλη επιφάνεια διαφοράς δυναμικού και επομένως διαρροή ηλεκτρικού ρεύματος. Για τον παραπάνω λόγο αντιλαμβάνεται κανείς, τη σπουδαιότητα του να παραμένει ο μονωτής απολύτως καθαρός και άρτιος. Επιπλέον ο μονωτής πρέπει να διατηρεί συνέχεια, αμείωτες τις μηχανικές και χημικές του ιδιότητες καθώς επίσης, να μην επηρεάζεται από θερμοκρασιακές μεταβολές και φαινόμενα γήρανσης.

Στο παραπάνω πλαίσιο τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται μονωτές καλωδίων ΥΤ και ΜΤ με παρόμοια χαρακτηριστικά μεταξύ τους, ενώ εν γένει τα χαρακτηριστικά αυτά των υποβρυχίων 24 καλωδίων δεν διαφέρουν σε σημαντικό βαθμό από αυτά, των αντίστοιχων καλωδίων ισχύος των ηπειρωτικών περιοχών. Ένα από τα υλικά που πληρούν τις παραπάνω προϋποθέσεις, είναι το πολυαιθυλένιο του οποίου ο χημικός τύπος είναι ως γνωστόν:  $\text{CH}_2 - (\text{CH}_2)_n - \text{CH}_3$ . Αποτελείται κατ'αποκλειστικότητα από άτομα άνθρακα και υδρογόνου. Για την χρήση ως ηλεκτρικός μονωτής είναι διαθέσιμο ως LDPE (χαμηλής πυκνότητας), MDPE (μέσης πυκνότητας) και HDPE (υψηλής πυκνότητας), με τιμές από χαμηλή σε υψηλή πυκνότητα, της τάξεως 0.9 έως 0.97 g/cm<sup>3</sup>.

Οι μονωτές PE γενικά έχουν χαμηλότερο συντελεστή σκεδάσεως και διηλεκτρικών απωλειών από τον μονωτή χαρτιού. Το μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα διαρροής του αγωγού, είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας, στην οποία αντέχει το μονωτικό. Εξαιτίας του περιορισμού που έθεταν οι μονωτές PE στη θερμοκρασία του αγωγού (70-80°C), οι μονωτές PE αντικαταστάθηκαν σταδιακά από τους μονωτές

χημικά διασταυρούμενου πολυαιθυλενίου ή αλλιώς XLPE, που αντέχουν συνεχείς θερμοκρασίες 90 οC και στιγμιαίες της τάξης των 200 οC.



**Εικόνα 1.7** Μονωτικό υλικό υποβρύχιου καλωδίου της εταιρίας Fulgor

### 1.8.3 Οπλισμός

Ένα σημαντικό στοιχείο στα υποβρύχια καλώδια ισχύος, είναι ο οπλισμός που αποτελείται, είτε από χαλύβδινα επιψευδαργυρωμένα σύρματα, είτε από σύρματα από ανοξείδωτο χάλυβα ή ακόμα από σύρματα από κράμα αλουμινίου. Τα σύρματα αυτά καλύπτουν πλήρως την κυλινδρική επιφάνεια του καλωδίου. Βασικός σκοπός του οπλισμού είναι η παροχή της απαιτούμενης μηχανικής αντοχής στο καλώδιο σε δύο φάσεις. Αρχικά κατά τη διαδικασία της πόντισης, καλείται να αντισταθμίσει τάσεις οφειλόμενες αφενός στο βάρος του καλωδίου και επομένως στο βάθος της θάλασσας τη γωνία πόντισης κ.α. και αφετέρου τις δυναμικές φορτίσεις που υπόκειται το καλώδιο κατά την πόντιση, λόγω των εγκάρσιων κινήσεων του πλοίου από ρεύματα, θαλάσσιο κυματισμό, επίδραση ανέμου κ.α.

Όταν ολοκληρωθεί η διαδικασία της πόντισης και κατά την διάρκεια λειτουργίας του στο βυθό, ο οπλισμός το προστατεύει από τις δυναμικές φορτίσεις της θάλασσας οφειλόμενες σε υποθαλάσσια ρεύματα ή καθιζήσεις του βυθού ή την ανθρωπίνη δραστηριότητα (εργαλεία ψαρέματος, άγκυρες κ.α.).

Ένας ακόμη παράγοντας είναι οι τάσεις που δέχεται το καλώδιο, κατά τη διαδικασία ανέλκυσης για επισκευή. Τα μεταλλικά σύρματα που αποτελούν τον οπλισμό είναι τοποθετημένα στο καλώδιο στρεφόμενα ελικοειδώς και έχουν συγκεκριμένο μήκος επιστρώσεως. Το μήκος αυτό, στο οποίο ένα σύρμα ολοκληρώνει μια πλήρη περιστροφή γύρω από το καλώδιο, είναι συνήθως 30-40 φορές η διάμετρος του καλωδίου. Τα σύρματα του οπλισμού έχουν διάμετρο 2-8mm. Η ελικοειδής άρμωση των συρμάτων, έχει ως αποτέλεσμα την μετατροπή των αξονικών δυνάμεων σε στρεπτικές τάσεις προς την κατεύθυνση στροφής των συρμάτων. Για την αποφυγή τους σε σύρματα οπλισμού μεγάλου μήκους η άρμωση γίνεται σχεδόν παράλληλα στον διαμήκη άξονα, ώστε ενώ είναι δυνατή η παραλαβή αξονικών φορτίων να μην αναπτύσσονται ταυτόχρονα έντονες στρεπτικές τάσεις.



Παράλληλα στα καλώδια με σύρματα μεγάλου μήκους επίστρωσης, αυξάνει η δυσκαμψία του καλωδίου πράγμα που είναι ανεπιθύμητο. Στα καλώδια με σύρματα οπλισμού μικρού μήκους έχουμε και μικρότερη δυσκαμψία. Γενικά πάντως, η επιλογή της αντοχής του οπλισμού είναι συνάρτηση της επιδιωκόμενης μηχανικής αντοχής του αγωγού και των στρεπτικών τάσεων, που απαιτείται να έχουν για την εγκατάστασή τους. Πολλές φορές για αύξηση της μηχανικής προστασίας από εξωτερικές παρεμβάσεις, τα καλώδια ενισχύονται από μία δεύτερη στρώση οπλισμού (διπλός οπλισμός). Όταν οι δύο οπλισμοί αποτελούνται από σύρματα αντίθετων κατευθύνσεων τότε το καλώδιο προστατεύεται επαρκώς ακόμη και από συρόμενες 31 άγκυρες ή επαφή με βράχια.

Επειδή στα αντίθετης ελίκωσης οπλισμού καλώδια οι στρεπτικές τάσεις αλληλοεξουδετερώνονται, τα καλώδια αυτά προτιμώνται για πόντιση σε θάλασσες μεγάλου βάθους. Εκτός των καλωδίων ελικοειδούς οπλισμού, υπάρχουν υποβρύχια καλώδια επίπεδου οπλισμού. Τα καλώδια αυτά παρέχουν την απαραίτητη μηχανική αντοχή με χρήση πολύ λιγότερου υλικού. Η απαίτηση λιγότερου υλικού και λιγότερου χώρου αποθήκευσης αντισταθμίζεται από το υψηλότερο κόστος κατασκευής τους.

Στις περισσότερες περιπτώσεις ο οπλισμός κατασκευάζεται από μαλακό χάλυβα ο οποίος όμως ως μαγνητικό υλικό δημιουργεί ένα μαγνητικό πεδίο γύρω από τον αγωγό προκαλώντας ανεπιθύμητες απώλειες και επιπλέον εκπομπή θερμότητας στα καλώδια εναλλασσόμενου ρεύματος. Στα μονοπολικά καλώδια οι απώλειες αυτές μπορεί να αυξηθούν σημαντικά μειώνοντας έτσι την ικανότητα μεταφοράς ρεύματος στον αγωγό. Με σκοπό την μείωση των παραπάνω απωλειών και για την αποφυγή του φαινομένου έχει αναπτυχθεί η παραγωγή οπλισμών από άλλα μεταλλικά υλικά όπως μπρούτζος, ορείχαλκος, χαλκός ή αλουμίνιο.

Τα κράματα χαλκού γενικά, αποτελούν μία ακριβή λύση κατασκευής οπλισμού. Το αλουμίνιο είναι φθηνότερο αλλά διαβρώνεται ταχύτερα από τα κράματα χαλκού. Οπλισμοί από χαλκό συνδυάζουν χαμηλή αντίσταση με υψηλή αντίσταση διάβρωσης όμως δεν έχει μηχανική αντοχή ανάλογη με τον ανοξείδωτο χάλυβα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΕΣ

### 2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μέτρηση είναι η διαδικασία με την οποία γίνεται η εκτίμηση της τιμής ενός φυσικού μεγέθους. Το φυσικό μέγεθος του οποίου θέλουμε να εκτιμήσουμε την τιμή ονομάζεται μετρούμενο μέγεθος. Κατά την πραγματοποίηση πολλών μετρήσεων ενός μετρούμενου μεγέθους παρατηρούμε πως οι μετρήσεις μας δεν έχουν πάντοτε το ίδιο αποτέλεσμα. Αυτό συμβαίνει από διάφορους παράγοντες όπως το μετρητικό όργανο, οι περιβαλλοντικές συνθήκες καθώς και το ίδιο το άτομο που εκτελεί τη μέτρηση. Αν βελτιώσουμε τους παραπάνω παράγοντες οι τιμές που θα παίρνουμε από επαναλαμβανόμενες μετρήσεις του μετρούμενου μεγέθους θα βρίσκονται πιο κοντά η μία στην άλλη. Σε κάθε περίπτωση όσο και να προσπαθήσουμε, διαφορές θα συνεχίσουν να παρατηρούνται και αποτελούν ένδειξη αυτού που στην επιστήμη της μετρολογίας αναφέρεται ως σφάλμα της μέτρησης. Η έννοια του σφάλματος είναι ένας ορισμός που χρησιμοποιήθηκε επί μακρόν για να μπορέσει να χαρακτηριστεί η απόκλιση μιας μέτρησης από την αληθή τιμή του μετρούμενου μεγέθους. Σύμφωνα με το VIM( International vocabulary of basic and general terms in metrology 1993) , το σφάλμα ορίζεται ως:

**Η διαφορά ανάμεσα στο αποτέλεσμα μιας μέτρησης και μια αληθή τιμή του μετρούμενου μεγέθους.**

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

Το σφάλμα είναι μια μη προσδιορίσιμη έννοια που αντιπροσωπεύει τη διαφορά της μετρούμενης τιμής από την πραγματική αλλά άγνωστη τιμή. Η ελλιπής γνώση μας για την τιμή του σφάλματος ονομάζεται αβεβαιότητα της μέτρησης. Η αβεβαιότητα είναι ένα στατιστικό μέγεθος το οποίο θα πρέπει να δίνεται μαζί με την μετρούμενη τιμή ενός μεγέθους ώστε να έχουμε μια ολοκληρωμένη μέτρηση.

## 2.1. ΕΙΔΗ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ

Τα Σφάλματα χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες. Τα τυχαία και συστηματικά σφάλματα. Σύμφωνα με τον οδηγό JCGM 100:2008 GUM 1995 (Evaluation of measurement data-Guide to expression of uncertainty in measurement ) ορίζονται ως εξής :

**Τυχαίο σφάλμα :** Προκύπτει πιθανώς από απρόβλεπτες ή στοχαστικές χρονικές και χωρικές διακυμάνσεις των επιδρώντα μεγεθών. Οι επιπτώσεις των διακυμάνσεων αυτών, που στο εξής ονομάζονται τυχαίες επιδράσεις, προκαλούν διακυμάνσεις επαναλαμβανόμενες του μετρούμενου μεγέθους. Αν και δεν είναι δυνατόν να αντισταθμιστεί το τυχαίο σφάλμα ενός αποτελέσματος μέτρησης, μπορεί συνήθως όμως να μειωθεί αυξάνοντας τον αριθμό των παρατηρήσεων. την προσδοκία του ή την αναμενόμενη τιμή να είναι μηδέν. 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)

Ισχύει ότι

Για μια διακριτή τυχαία μεταβλητή  $X$  που λαμβάνει τις τιμές  $x_i$  με τις πιθανότητες  $p_i$ , η προσδοκία ή μέση τιμή, αν υπάρχει, είναι

$$\mu = E(X) = \sum p_i x_i \quad (2.1)$$

το άθροισμα εκτείνεται σε όλες τις τιμές  $x_i$  που μπορούν να ληφθούν από το  $X$ .

Για μια συνεχή τυχαία μεταβλητή  $X$  που έχει τη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας  $f(x)$ , η προσδοκία, αν υπάρχει, είναι

$$\mu = E(X) = \int x f(x) dx \quad (2.2)$$

το ολοκλήρωμα εκτείνεται κατά τη διάρκεια (των) διαστημάτων μεταβολής του  $X$ .

[ISO 3534-1:1993, definition 1.18]

Η πειραματική τυπική απόκλιση του αριθμητικού μέσου όρου ή του μέσου όρου μιας σειράς παρατηρήσεων δεν είναι το τυχαίο σφάλμα του μέσου όρου, αν και ορίζεται έτσι σε ορισμένες δημοσιεύσεις. Αντίθετα, είναι ένα μέτρο της αβεβαιότητας του μέσου όρου λόγω τυχαίων επιδράσεων. Η ακριβής τιμή του σφάλματος στον μέσο όρο που προκύπτει από αυτές τις επιδράσεις δεν μπορεί να είναι γνωστό.

**Συστηματικό σφάλμα:** Το συστηματικό σφάλμα, όπως και το τυχαίο σφάλμα, δεν μπορεί να εξαλειφθεί, αλλά μπορεί να μειωθεί. Εάν ένα συστηματικό σφάλμα

προκύπτει από αναγνωρισμένη επίδραση ενός επιδρώντος μεγέθους σε ένα αποτέλεσμα μέτρησης, εφεξής ονομάζεται συστηματική επίδραση, η επίδραση μπορεί να ποσοτικοποιηθεί και, εάν είναι σημαντική σε μέγεθος σε σχέση με την απαιτούμενη ακρίβεια της μέτρησης, η διόρθωση ή διορθωτικός συντελεστής μπορούν να εφαρμοστούν για να αντισταθμίσει το αποτέλεσμα. Θεωρείται ότι, μετά τη διόρθωση, η αναμενόμενη τιμή του σφάλματος που προκύπτει από μια συστηματική επίδραση είναι μηδέν. Τα συστηματικά σφάλματα ορίζουν την ακρίβεια (ορθότητα/accuracy) της μέτρησης, δηλαδή κατά πόσο οι μετρήσεις είναι κοντά στις πραγματικές τιμές ή υπάρχουν συστηματικές αποκλίσεις.

### **ΣΗΜΕΙΩΣΗ**

1. Η διόρθωση ισούται με το αρνητικό του εκτιμώμενου συστηματικού σφάλματος.
2. Δεδομένου ότι το συστηματικό σφάλμα δεν μπορεί να γίνει απόλυτα γνωστό. η αντιστάθμιση δεν μπορεί να είναι πλήρης.

## **2.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ**

Κατά την επεξεργασία των δεδομένων και την ανάλυση των σφαλμάτων των μετρήσεων, ακολουθούνται τα εξής βήματα.

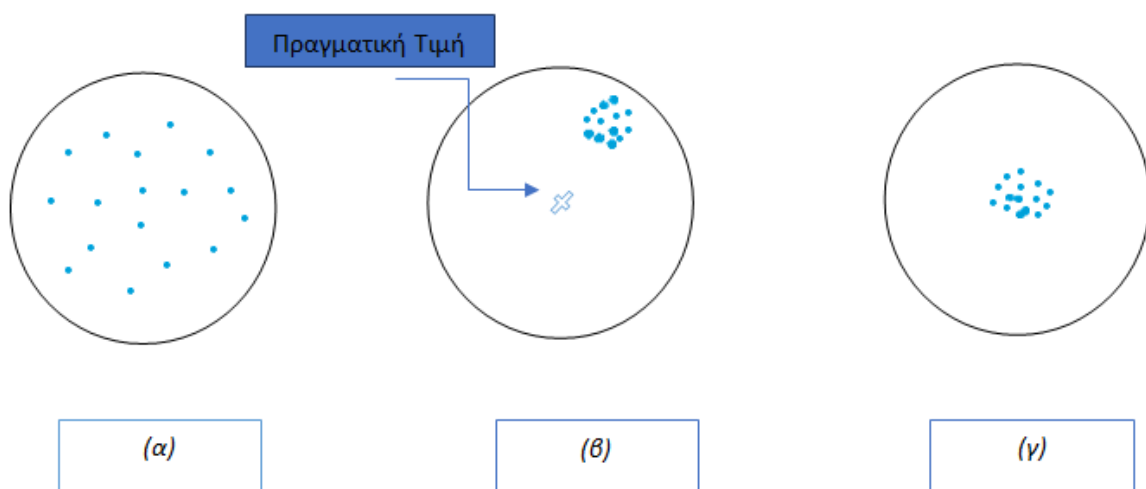
- Ανίχνευση και διόρθωση των συστηματικών σφαλμάτων μέσω λογικών εκτιμήσεων.
- Μετά την ελαχιστοποίηση των συστηματικών επιδράσεων το αποτέλεσμα θεωρείται ορθό-μόνο τυχαίες επιδράσεις λογίζονται παρούσες στο αποτέλεσμα.
- Ελαχιστοποίηση των τυχαίων σφαλμάτων με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις κάτω από πανομοιότυπες συνθήκες.
- Στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων.

(Πηγή :Σημειώσεις eclass.uop Μάθημα Μετρολογίας, Αλέξανδρος Ρωμαίος(Δρ.Μηχ)

### 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.

**Διάγραμμα 2.1 :** Περιπτώσεις εύρεσης μετρήσεων



(α) Ακριβής μέτρηση (μια σειρά μετρήσεων ακρίβειας με μέση τιμή που απέχει πολύ λίγο από την πραγματική τιμή που είναι στο κέντρο του κύκλου )

(β) Επαναλαμβανόμενη μέτρηση (μια σειρά μετρήσεων που επαναλαμβάνονται και που απέχουν πολύ λίγο μεταξύ τους αλλά απέχουν πολύ από την πραγματική τιμή)

(γ) Ακριβείς και επαναλαμβανόμενες μετρήσεις (μια σειρά επαναλαμβανόμενων μετρήσεων και που απέχουν ελάχιστα από την πραγματική τιμή).

### 2.2.1 Σφάλμα της μέτρησης

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω το σφάλμα μιας μέτρησης εκφράζει τη διαφορά μεταξύ της μετρούμενης τιμής ενός μεγέθους και της πραγματικής του τιμής, δηλαδή:

$$x = x_{true} + \varepsilon_x \quad (2.3)$$

Όπου  $x$  είναι η μετρούμενη τιμή του μεγέθους,  $x_{true}$  η πραγματική αλλά άγνωστη τιμή του μεγέθους και  $\varepsilon_x$  το σφάλμα της μέτρησης.

Το σφάλμα ακολουθεί μια στατιστική κατανομή η οποία έχει διακύμανση η οποία ορίζεται ως

$$Var(\varepsilon_x) = \int_{-\infty}^{+\infty} (\varepsilon_x - \bar{\varepsilon}_x)^2 f(\varepsilon_x) d\varepsilon_x \quad (2.4)$$

Όπου η συνάρτηση  $f(x)$  είναι η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της συνεχούς κατανομής της μεταβλητής  $\varepsilon_x$ . Προκύπτει ότι η διακύμανση της κατανομής του σφάλματος αποτελεί και την διακύμανση της μετρούμενης μεταβλητής  $x$ , δηλ  $var(\varepsilon_x) = var(x)$  και κατά συνέπεια η αβεβαιότητα.

Η τετραγωνική ρίζα της διακύμανσης της κατανομής του σφάλματος αποτελεί την αβεβαιότητα της μέτρησης και αποτελεί το ζητούμενο σε μια μετρητική διαδικασία για την ολοκληρωμένη παρουσίαση του αποτελέσματος μιας μέτρησης

$$u_x = \sqrt{var(x)} = \sqrt{var(\varepsilon_x)} = u_{\varepsilon_x} \quad (2.5)$$

Για την εκτίμηση της αβεβαιότητας μιας μέτρησης υπάρχουν δύο τρόποι προσέγγισης η εκτίμηση αβεβαιότητας τύπου A και η εκτίμηση αβεβαιότητας τύπου B.

Όλες οι συνεισφέρουσες αβεβαιότητες θα πρέπει να εκφράζονται στο ίδιο επίπεδο εμπιστοσύνης, μετατρέποντάςτες 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  $u(x)$

## 2.3 ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ

Η λέξη αβεβαιότητα σημαίνει αμφιβολία, και συνεπώς με την ευρύτερη έννοια της «αβεβαιότητα μέτρησης» σημαίνει αμφιβολία σχετικά με την εγκυρότητα του αποτελέσματος μιας μέτρησης. Είναι μια παράμετρος, που σχετίζεται με το αποτέλεσμα μιας μέτρησης, που χαρακτηρίζει τη διασπορά των τιμών που θα μπορούσε εύλογα να αποδοθεί στο μετρούμενο μέγεθος. Η παράμετρος μπορεί να είναι, για παράδειγμα, μια τυπική απόκλιση (ή ένα δεδομένο πολλαπλάσιο αυτής ή το μισό πλάτος ενός διαστήματος) έχοντας ένα δηλωμένο επίπεδο εμπιστοσύνης.

Η αβεβαιότητα μέτρησης περιλαμβάνει, γενικά, πολλές συνιστώσες. Μερικά από αυτά τα στοιχεία μπορεί να είναι η αξιολόγηση από τη στατιστική κατανομή των αποτελεσμάτων μιας σειράς μετρήσεων και μπορεί να χαρακτηριστεί από πειραματικές τυπικές αποκλίσεις. Τα άλλα συστατικά, τα οποία μπορούν επίσης να χαρακτηριστούν από τυπικές αποκλίσεις, είναι αξιολόγηση από υποθετικές κατανομές πιθανότητας με βάση την εμπειρία ή άλλες πληροφορίες.

Η αβεβαιότητα του αποτελέσματος μιας μέτρησης αντικατοπτρίζει την έλλειψη γνώσης της αξίας του μετρούμενου μέγεθους. Το αποτέλεσμα μιας μέτρησης μετά από διόρθωση για αναγνωρισμένες συστηματικές επιδράσεις εξακολουθεί να είναι μόνο μια εκτίμηση της αξίας του μετρούμενου μεγέθους λόγω της αβεβαιότητας που προκύπτει από τυχαίες επιδράσεις και από ατελή διόρθωση του αποτελέσματος για συστηματικές επιδράσεις.

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

Στην πράξη, υπάρχουν πολλές πιθανές πηγές αβεβαιότητας σε μια μέτρηση, όπως:

- Ελλιπής προσδιορισμός του μετρούμενου μεγέθους.
- Ατελής επαναφορά του ορισμού του μέτρου.
- Μη αντιπροσωπευτική δειγματοληψία, το μετρούμενο δείγμα ενδέχεται να μην αντιπροσωπεύει το καθορισμένο μετρούμενο μέγεθος.
- Ελλιπής γνώση των επιπτώσεων των περιβαλλοντικών συνθηκών στη μέτρηση ή ατελής.
- Μέτρηση των περιβαλλοντικών συνθηκών.
- Προσωπική πόλωση στην ανάγνωση αναλογικών μέσων.
- Κατώτατο όριο εξυγίανσης πεπερασμένου μέσου ή διάκρισης.
- Ανακριβείς τιμές των προτύπων μέτρησης και των υλικών αναφοράς.
- Ανακριβείς τιμές σταθερών και άλλων παραμέτρων που λαμβάνονται από εξωτερικές πηγές και χρησιμοποιούνται στην μείωση δεδομένων.
- Προσεγγίσεις και παραδοχές που ενσωματώνονται στη μέθοδο και τη διαδικασία μέτρησης.

- Διακυμάνσεις στις επαναλαμβανόμενες παρατηρήσεις του μετρούμενου μεγέθους υπό φαινομενικά πανομοιότυπες συνθήκες.

### 2.3.1 Τυπική αβεβαιότητα

Για μια τυχαία μεταβλητή, η μεταβλητότητα (variance) της κατανομής της ή η θετική τετραγωνική ρίζα της μεταβλητότητας, η οποία ονομάζεται τυπική απόκλιση (standard deviation), χρησιμοποιείται ως ένα μέτρο της διασποράς των τιμών της.

Η τυπική αβεβαιότητα της μέτρησης σχετίζεται με την εκτίμηση του αποτελέσματος της μέτρησης  $x$ , συμβολίζεται με  $u(x)$  και είναι η τυπική απόκλιση της μετρούμενης ποσότητας  $X$ .

Για τη δήλωση αβεβαιοτήτων ομαδοποιούνται οι συνιστώσες αβεβαιότητας σε δύο κατηγορίες με βάση τη μέθοδο αξιολόγησής τους, "A" και "B". Οι κατηγορίες αυτές ισχύουν για την αβεβαιότητα και δεν υποκαθιστούν τις λέξεις «τυχαία» και «συστηματική». Η αβεβαιότητα μιας διόρθωσης για μια γνωστή συστηματική επίδραση μπορεί σε ορισμένες περιπτώσεις να προκύψει από αξιολόγηση τύπου A, ενώ σε άλλες περιπτώσεις με αξιολόγηση τύπου B, όπως και η αβεβαιότητα που χαρακτηρίζει τυχαίο αποτέλεσμα.

Σκοπός της ταξινόμησης τύπου A και τύπου B είναι να υποδείξει τους δύο διαφορετικούς τρόπους αξιολόγησης αβεβαιότητας, η ταξινόμηση δεν έχει σκοπό να υποδείξει ότι υπάρχει διαφορά στη φύση των συνιστωσών που προκύπτουν από τα δύο είδη αξιολόγησης. Οι τύποι αξιολόγησης βασίζονται στις κατανομές πιθανότητας και στις συνιστώσες αβεβαιότητας που προκύπτουν από οποιονδήποτε τύπο και ποσοτικοποιούνται με διακυμάνσεις ή τυπικές αποκλίσεις.

Έτσι, μια τυπική αβεβαιότητα τύπου A λαμβάνεται από μια συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας που προκύπτει από μια παρατηρούμενη κατανομή συχνότητας, ενώ μια τυπική αβεβαιότητα τύπου B προκύπτει από μια υποθετική συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας με βάση το βαθμό πεποίθησης ότι θα συμβεί ένα γεγονός, συχνά ονομάζεται υποκειμενικό πιθανότητας και οι δύο προσεγγίσεις χρησιμοποιούν αναγνωρισμένες ερμηνείες της πιθανότητας

#### Τυπική αβεβαιότητα τύπου A

Η εκτίμηση αβεβαιότητας τύπου A ορίζεται ως εκτίμηση που λαμβάνεται από δείγμα δεδομένων. Η δειγματοληψία περιλαμβάνει την πραγματοποίηση επαναλαμβανόμενων μετρήσεων της ποσότητας που ενδιαφέρει. Είναι σημαντικό ότι κάθε επαναληπτική μέτρηση είναι ανεξάρτητη, αντιπροσωπευτική και λαμβάνεται τυχαία. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η βέλτιστη διαθέσιμη εκτίμηση της αναμενόμενης τιμής μιας ποσότητας  $x$  που ποικίλλει τυχαία και για την οποία  $n$  ανεξάρτητες παρατηρήσεις  $x_k$  λαμβάνονται υπό τις ίδιες συνθήκες μέτρησης, είναι ο αριθμητικός μέσος όρος ή ο μέσος όρος  $\bar{x}$  των παρατηρήσεων:



$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_k \quad (2.6)$$

Οι μεμονωμένες παρατηρήσεις  $x_k$  διαφέρουν ως προς την τιμή λόγω τυχαίων διακυμάνσεων. Η πειραματική μεταβλητότητα  $s^2(x)$  των τιμών, δίνεται από τον τύπο:

$$s^2(x_k) = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2 \quad (2.7)$$

Η θετική τετραγωνική ρίζα της παραπάνω ποσότητας ονομάζεται τυπική απόκλιση. Αυτή η εκτίμηση της διακύμανσης και η τυπική απόκλιση χαρακτηρίζουν τη μεταβλητότητα των παρατηρούμενων τιμών ή πιο συγκεκριμένα, τη διασπορά τους γύρω από τον μέσο όρο  $\bar{x}$ .

Όπως είπαμε και παραπάνω κατά την παρουσίαση των αποτελεσμάτων μιας μέτρησης θα πρέπει μαζί με την μετρούμενη τιμή να αναφέρεται και η αβεβαιότητα της μέτρησης η οποία στην περίπτωση που έχουμε εκτίμηση τύπου A είναι η διακύμανση των μετρήσεων μας. Συνήθως όμως ως αποτέλεσμα της μέτρησης ενός μεγέθους δίνεται η μέση τιμή των μετρήσεων μας. Η διακύμανση όμως της μέσης τιμής δεν ταυτίζεται με τη διακύμανση των μετρήσεων  $s^2(x_k)$  που ορίσαμε παραπάνω αλλά είναι δίνεται από τον τύπο:

$$s^2(\bar{x}) = \frac{s^2(x_k)}{n} \Rightarrow s(\bar{x}) = \frac{s(x_k)}{\sqrt{n}} \quad (2.8)$$

Η θετική τετραγωνική της ρίζα ονομάζεται πειραματική τυπική απόκλιση της μέσης τιμής. Η τυπική αβεβαιότητα  $u(\bar{x})$ , η οποία σχετίζεται με την εκτίμηση  $\bar{x}$  είναι ίση με την πειραματική τυπική απόκλιση της μέσης τιμής.

$$u(\bar{x}) = s(\bar{x})$$

Απόδειξη:

Εάν η εκτίμηση προορίζεται να αντιπροσωπεύει την αβεβαιότητα της μέσης τιμής λόγω επαναληψιμότητας ή τυχαίο σφάλμα, τότε αξιολογείται η διακύμανση του μέσου όρου του δείγματος.

$$\text{var}(\varepsilon_{\bar{x}, \text{ran}}) = \text{var}(\bar{x}) = \text{var}\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i\right) = \frac{1}{n^2} \text{var}(\sum_{i=1}^n x_i) \quad (2.9)$$

Ένα σημαντικό κριτήριο για την τυχαία δειγματοληψία είναι ότι κάθε μία από τις δειγματοληπτικές τιμές πρέπει να είναι στατιστικά ανεξάρτητα το ένα από το άλλο. Η διακύμανση ενός αθροίσματος ανεξάρτητων μεταβλητών είναι η άθροισμα των διακυμάνσεων. Επομένως, η εξίσωση γίνεται:

$$\text{var}(\varepsilon_{\bar{x}, \text{ran}}) = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \text{var}(x_i) \quad (2.10)$$

Δεδομένου ότι κάθε  $x_i$  λαμβάνεται δείγμα από έναν πληθυσμό με διακύμανση ίση με  $\sigma_x^2$ , τότε  $\text{var}(x_i) = \sigma_x^2$

Άρα:

$$\text{var}(\varepsilon_{\bar{x},ran}) = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sigma_x^2 = \frac{\sigma_x^2}{n}$$

(2.11)

Έχει αποδειχθεί ότι η τυπική απόκλιση πληθυσμού  $\sigma_x$  εκτιμάται με το πρότυπο δείγματος απόκλιση  $s_x$ . Ως εκ τούτου, η αβεβαιότητα στη μέση τιμή μπορεί να εκτιμηθεί ότι είναι:

$$u_{\varepsilon_{\bar{x},ran}} = \sqrt{\text{var}(\varepsilon_{\bar{x},ran})} \cong \frac{s_x}{\sqrt{n}}$$

(2.12)

### Τυπική αβεβαιότητα τύπου B

Για μια εκτίμηση  $\chi$  μιας ποσότητας εισόδου που δεν έχει ληφθεί από επανειλημμένες παρατηρήσεις, η σχετική εκτιμώμενη διακύμανση  $u^2(\bar{\chi})$  ή η τυπική αβεβαιότητα  $u(\chi)$  αξιολογείται με επιστημονική και εμπειρική κρίση του προσώπου που πραγματοποιεί την μέτρηση με βάση όλες τις διαθέσιμες πληροφορίες σχετικά με την πιθανή μεταβλητότητα του  $\chi$ . Οφείλονται δηλαδή σε μη ικανοποιητική ή λανθασμένη βαθμονόμηση οργάνων, σε λανθασμένες ενέργειες του πειραματιστή, της μεθόδου ανάλυσης κλπ. Για την εκτίμηση της χρησιμοποιούνται όλες οι διαθέσιμες σχετικές πληροφορίες, όπως :

- Προηγούμενα δεδομένα μετρήσεων.
- Εμπειρικά ή με γενική γνώση της συμπεριφοράς και των ιδιοτήτων των σχετικών υλικών και οργάνων.
- Προδιαγραφές του κατασκευαστή.
- Δεδομένα που παρέχονται σε πιστοποιητικά βαθμονόμησης και άλλα πιστοποιητικά.
- Αβεβαιότητες που αποδίδονται σε δεδομένα αναφοράς που λαμβάνονται από εγχειρίδια.

Μια σωστά υπολογισμένη τυπική αβεβαιότητα τύπου B μπορεί να είναι τόσο αξιόπιστη όσο είναι μια τύπου A.

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

Πριν προχωρήσει κανείς στον υπολογισμό της αβεβαιότητας μιας μέτρησης σύμφωνα με αυτά που περιγράψαμε παραπάνω θα πρέπει αρχικά να ορίσει αναλυτικά τη μετρητική διαδικασία. Στη μετρητική διαδικασία θα πρέπει να αναφέρονται το μετρούμενο ή τα μετρούμενα μεγέθη, οι περιβαλλοντικές συνθήκες στις οποίες γίνεται η μέτρηση καθώς και τα βήματα που ακολουθούνται κατά τη διαδικασία της μέτρησης.

Αφού έχει καθοριστεί η μετρητική διαδικασία το επόμενο βήμα είναι να αναγνωριστούν οι πηγές σφαλμάτων που αφορούν την συγκεκριμένη διαδικασία και να περιγραφούν οι στατιστικές κατανομές που ακολουθούν τα σφάλματα που αναγνωρίστηκαν.

Οι πιο συχνές πηγές σφαλμάτων είναι οι παρακάτω:

- Σφάλμα επαναληψιμότητας.  
Το Σφάλμα λόγω επαναληψιμότητας υπάρχει από το σύνολο των πολλαπλών μετρήσεων και την διαφορά που έχουν από την πραγματική τιμή.
- Σφάλμα ανάλυσης του οργάνου που χρησιμοποιείται.  
Το Σφάλμα λόγω της ανάλυσης του οργάνου περιλαμβάνεται καθώς από τον κατασκευαστή δίνεται μια αβεβαιότητα του οργάνου, καθώς δεν μπορεί να είναι με σιγουριά ακριβής το αποτέλεσμα της μέτρησης.

- Σφάλμα πόλωσης του ατόμου που εκτελεί τη μέτρηση.  
Το σφάλμα του παρατηρητή παρατηρείται καθώς ο άνθρωπος επηρεάζει το αποτέλεσμα της μέτρησης από την προσωπική του κρίση για την ένδειξη του οργάνου, την τοποθέτηση του μετρούμενου μεγέθους στο μετρητικό όργανο κ.τ.λ.
- Σφάλματα που οφείλονται στις περιβαλλοντικές συνθήκες.  
Το σφάλμα λόγω περιβαλλοντικών συνθηκών εμφανίζεται καθώς η θερμοκρασία παίζει σημαντικό ρόλο στην συστολή και διαστολή της ατράκτου ενός μετρητικού οργάνου. Επίσης μπορεί να επηρεάσει και το ίδιο το μετρητικό μέγεθος ανάλογα με το υλικό κατασκευής του.
- Σφάλματα υπολογισμού.  
Ενδεχομένως κατά τον υπολογισμό του επιθυμιτού μεγέθους να γίνουν μαθηματικοί υπολογισμοί, στρογγυλοποιήσει 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 υποτεθεί ότι η τιμή της αβεβαιότητας είναι το ίδιο πιθανό να βρίσκεται οπουδήποτε μεταξύ πχ. μιας ορθογωνικής ή ομοιόμορφης κατανομής.

## 2.4 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ

Η αβεβαιότητα μέτρησης είναι η τετραγωνική ρίζα της διακύμανσης της κατανομής σφάλματος. Για καλύτερη κατανόηση της σχέσης μεταξύ του σφάλματος μέτρησης και της αβεβαιότητας μέτρησης, οι κατανομές σφαλμάτων μέτρησης πρέπει να συζητηθούν λεπτομερώς.

Μια σημαντική πτυχή της διαδικασίας ανάλυσης αβεβαιότητας είναι το γεγονός ότι τα σφάλματα μέτρησης μπορούν να χαρακτηρίζεται από κατανομές πιθανότητας. Αυτό αναφέρεται στον παρακάτω κανόνα

**Τα σφάλματα μέτρησης είναι τυχαίες μεταβλητές που ακολουθούν κατανομές πιθανότητας.**

Η κατανομή πιθανότητας για έναν τύπο σφάλματος μέτρησης είναι μια μαθηματική περιγραφή που συσχετίζει τη συχνότητα εμφάνισης των τιμών με τις ίδιες τις τιμές. Κατανομές σφαλμάτων αποτελούνται αλλά δεν περιορίζονται από κανονική, λογαριθμική, ομοιόμορφη (ορθογώνια), τριγωνική, τετραγωνική, συνημίτονο, εκθετικό, σχήματος U και τραπεζοειδές.

Κάθε κατανομή χαρακτηρίζεται από ένα σύνολο στατιστικών στοιχείων. Τα στατιστικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται συχνότερα στην ανάλυση αβεβαιότητας είναι ο μέσος όρος ή η τυπική απόκλιση. Χρησιμοποιούμενες κατανομές πιθανότητας σε εφαρμογές μέτρησης συνοψίζονται στον Πίνακα 2-1

Το επόμενο βήμα είναι να δούμε το είδος της κατανομής που ακολουθούν τα σφάλματα που έχουν αναγνωριστεί. Η κανονική και η λογαριθμική κατανομή σχετίζονται με τις περισσότερες μετρήσεις του πραγματικού κόσμου. Άλλες κατανομές όπως η ομοιόμορφη, τριγωνική, τετραγωνική, συνημιτόνου, εκθετική και σχήματος U, έχουν περιορισμένη εφαρμογή. Για την επιλογή της κατάλληλης κατανομής για ένα συγκεκριμένο σφάλμα μέτρησης πηγή λαμβάνουμε υπόψη μας ότι:

- Η κανονική κατανομή θα πρέπει να εφαρμόζεται ως προεπιλεγμένη κατανομή, εκτός εάν υπάρχουν πληροφορίες περί του αντιθέτου.
- Εφαρμογή της κανονικής λογαριθμικής κατανομής εάν υπάρχει υποψία ότι η κατανομή είναι λοξή (δηλαδή, μη συμμετρική) και οριοθετημένη στη μία πλευρά.
- Εάν γνωρίζουμε ότι το σφάλμα μας βρίσκεται εντός συγκεκριμένων ορίων με πιθανότητα 100% και τα όρια οριοθέτησης είναι γνωστά, τότε συνιστώνται τα εξής
  - i. Η διανομή συνημίτονου εφαρμόζεται εάν το μέγεθος που μας ενδιαφέρει έχει υποβληθεί σε τυχαία χρήση και θεωρείται ότι έχει μια κεντρική τάση.
  - ii. Εφαρμόζουμε την τετραγωνική κατανομή εάν υπάρχει υποψία ότι οι τιμές είναι πιο ομοιόμορφες
  - iii. Η τριγωνική κατανομή μπορεί να εφαρμοστεί, υπό ορισμένες συνθήκες, όταν πρόκειται για παραμέτρους μετά από δοκιμές ή βαθμονόμηση. Είναι επίσης το άθροισμα δύο σφαλμάτων καθένα εκ των οποίων κατανέμεται ομοιόμορφα με ίδιες μέσες τιμές και όρια οριοθέτησης.
  - iv. Η τριγωνική κατανομή μπορεί να εφαρμοστεί, υπό ορισμένες συνθήκες, όταν πρόκειται για παραμέτρους μετά από δοκιμές ή βαθμονόμηση. Είναι επίσης το άθροισμα δύο σφαλμάτων καθένα εκ των οποίων κατανέμεται ομοιόμορφα με ίδιες μέσες τιμές και όρια οριοθέτησης.
  - v. Η κατανομή σχήματος U εφαρμόζεται σε ποσότητες που ελέγχονται με ανάδραση από ανιχνευόμενα μεγέθη, όπως αυτοματοποιημένα συστήματα περιβαλλοντικού ελέγχου.
  - vi. Η ομοιόμορφη κατανομή εφαρμόζεται εάν το μετρούμενο μέγεθος είναι η αβεβαιότητα της ανάλυσης μιας ψηφιακής ανάγνωσης. Αυτή η κατανομή ισχύει επίσης για εκτίμηση της αβεβαιότητας λόγω σφάλματος κβαντοποίησης.

**Πίνακας 2.1** Διαγράμματα Κατανομών και συνάρτηση πυκνότητας

Κατανομή	Διάγραμμα Κατανομής	Συνάρτηση πυκνότητας
Κανονική		$f(\epsilon) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-(\epsilon)^2/2\sigma^2}$
Λογαριθμική		$f(\epsilon) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\lambda} \epsilon - q } \exp \left\{ \frac{\left[ \ln \left( \frac{\epsilon - q}{(m - q)} \right) \right]^2}{2\lambda^2} \right\}$
Τετραγωνική ή		$f(\epsilon) = \begin{cases} \frac{1}{2\alpha} [1 + \cos(\pi\epsilon/\alpha)], & -\alpha \leq \epsilon \leq \alpha \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$
Ομοιόμορφη ορθογώνια		$f(\epsilon) = \begin{cases} \frac{1}{2\alpha} & -\alpha \leq \epsilon \leq \alpha \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$
Τριγωνική		$f(\epsilon) = \begin{cases} \frac{(\epsilon + \alpha)}{\alpha^2}, & -\alpha \leq \epsilon \leq 0 \\ \frac{(\alpha - \epsilon)}{\alpha^2}, & 0 \leq \epsilon \leq \alpha \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$
Τραπεζοειδής		$f(\epsilon) = \begin{cases} \frac{1}{d^2 + c^2} (d + \epsilon), & -d \leq \epsilon \leq -c \\ \frac{1}{d + c}, & -c \leq \epsilon \leq c \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$

## 2.5 Εκτιμώμενη αβεβαιότητα

Μια κατανομή σφαλμάτων μας λέει εάν ένα σφάλμα ή μια σειρά σφαλμάτων είναι πιθανό ή απίθανο να συμβεί. Παρέχει μια μαθηματική περιγραφή του πόσο πιθανό είναι να μετρήσει ορισμένες τιμές. Με βασική κατανόηση των κατανομών σφαλμάτων και των στατιστικών, μπορούμε να εκτιμήσουμε τις αβεβαιότητες. Ξεκινάμε με τη στατιστική ποσότητα που ονομάζεται διαφορά.

Η διακύμανση κατανομής ορίζεται ως η μέση τετραγωνική διασπορά της κατανομής γύρω από τη μέση τιμή της.

$\text{var}(x) =$  Μέση τετραγωνική διασπορά σε  $x$ .

Εάν μια μεταβλητή  $x$  ακολουθεί μια κατανομή πιθανότητας, που περιγράφεται από μια συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας  $f(x)$ , τότε η μέση τετραγωνική διασπορά ή διακύμανση της κατανομής δίνεται από τον τύπο:

$$\text{var}(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - \mu_x)^2 f(x) dx \quad (2.13)$$

Ισχύει ότι :

Η αβεβαιότητα σε μια μέτρηση είναι η τετραγωνική ρίζα του τη διακύμανση του σφάλματος μέτρησης.

Επομένως έχουμε:

$$u_x = \sqrt{\text{var}(x)} = \sqrt{\text{var}(\varepsilon_x)} = u_{\varepsilon_x} \quad (2.14)$$

Καταλήγουμε λοιπόν στο ότι :

**Η αβεβαιότητα σε μια μετρούμενη τιμή είναι ίση με την αβεβαιότητα στο σφάλμα μέτρησης.**

### 2.5.1 Συνδυασμένη αβεβαιότητα

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως η αβεβαιότητα στην τιμή ενός σφάλματος  $\sigma$ . Κατά συνέπεια, μπορούμε να εφαρμόσουμε τον κανόνα προσθήκης διακύμανσης για τον σωστό συνδυασμό αβεβαιοτήτων από διαφορετικές πηγές σφάλματος.

Ο κανόνας προσθήκης διακύμανσης παρέχει μια λογική προσέγγιση για τον υπολογισμό την συνολική συνδυασμένη αβεβαιότητα που εξηγεί τις συσχετίσεις μεταξύ των πηγών σφάλματος. Η συνολική αβεβαιότητα,  $u_T$ , μπορεί γενικά να εκφραστεί ως:

$$u_T = \sqrt{\sum_{r=1}^k a_r^2 u_{er}^2 + 2 \sum_{r=1}^{k-1} \sum_{q=r+1}^k a_r a_q \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m \rho_{\varepsilon_r, i \varepsilon_{qj}} u_{\varepsilon_r, i} u_{\varepsilon_{qj}}} \quad (2.15)$$

Από την παραπάνω εξίσωση, μπορεί κανείς να υποθέσει ότι οι αβεβαιότητες δεν συνδυάζονται πάντα χρησιμοποιώντας το μέθοδος τετραγωνικού αθροίσματος ρίζας .

Επομένως δημιουργείται μια συσχέτιση.

Πρέπει να εξεταστεί η ποσότητα  $\chi$  που περιλαμβάνει δύο πηγές σφάλματος  $\varepsilon_1$  και  $\varepsilon_2$ .

Από τους κανόνες που αναφέρθηκαν προηγουμένως έχουμε ότι:

$$u_x = \sqrt{\text{var}(x_{\text{true}} + \varepsilon_1 + \varepsilon_2)} = \sqrt{\text{var}(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)} = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + 2\rho_{1,2}u_1u_2} \quad (2.16)$$

Όταν τα σφάλματα είναι μεταξύ τους ανεξάρτητα τότε  $\rho_{1,2} = 0$

Άρα :

$$u_x = \sqrt{u_1^2 + u_2^2}. \quad (2.17)$$

## 2.6 ΒΑΘΜΟΙ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ

Οι βαθμοί ελευθερίας ( $v_{\text{eff}}$ ) είναι η ποσότητα πληροφοριών ή γνώσεων που οδηγεί σε μια εκτίμηση αβεβαιότητας. Επομένως, όταν συνδυάζονται αβεβαιότητες, πρέπει να γνωρίζουμε τους βαθμούς ελευθερίας για την πλήρη αβεβαιότητα. Οι βαθμοί ελευθερίας για μια συνδυασμένη εκτίμηση αβεβαιότητας δεν είναι ένα απλό άθροισμα των βαθμών ελευθερίας για κάθε συνιστώσα αβεβαιότητας.

Οι βαθμοί ελευθερία ορίζονται από τον παρακάτω τύπο:

$$v_{\text{eff}} = \frac{u_T^4}{\sum_{i=1}^n \frac{a_i^4 u_i^4}{v_i}} \quad (2.18)$$

όπου  $u_T$  είναι η συνολική ή συνδυασμένη αβεβαιότητα που υπολογίζεται υποθέτοντας ότι δεν υπάρχουν συσχετίσεις σφάλματος.

## 2.7 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΚΑΛΥΨΗΣ $k$

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,  $u$ , με ένα συντελεστή κάλυψης το αποτέλεσμα που παίρνουμε ονομάζεται αναπτυγμένη (εκτεταμένη;) αβεβαιότητα, που συνήθως συμβολίζεται με το σύμβολο  $U$ , όπως:

$$U = k \times u \quad (2.19)$$

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 %

**Πίνακας 2.2** Συντελεστής κάλυψης  $k$  για διάστημα εμπιστοσύνης (κατανομή student)

Βαθμοί ελευθερίας $v$	Πιθανότητα κάλυψης $p_{v,k}$					
	68.27	90	95	95.45	99	99.73
1	1.84	6.31	12.71	13.97	63.66	235.80
2	1.32	2.92	4.30	4.53	9.92	19.21
3	1.20	2.35	3.18	3.31	5.84	9.22
4	1.14	2.13	2.78	2.87	4.60	6.62
5	1.11	2.02	2.57	2.65	4.03	5.51
6	1.09	1.94	2.45	2.52	3.71	4.90
7	1.08	1.89	2.36	2.43	3.50	4.53
8	1.07	1.86	2.31	2.37	3.36	4.28
9	1.06	1.83	2.26	2.32	3.25	4.09
10	1.05	1.81	2.23	2.28	3.17	3.96
11	1.05	1.80	2.20	2.25	3.11	3.85
12	1.04	1.78	2.18	2.23	3.05	3.76
13	1.04	1.77	2.16	2.21	3.01	3.69
14	1.04	1.76	2.14	2.20	2.98	3.64
15	1.03	1.75	2.13	2.18	2.95	3.59
16	1.03	1.75	2.12	2.17	2.92	3.54
17	1.03	1.74	2.11	2.16	2.90	3.51
18	1.03	1.73	2.10	2.15	2.88	3.48
19	1.03	1.73	2.09	2.14	2.86	3.45
20	1.03	1.72	2.09	2.13	2.85	3.42
25	1.02	1.71	2.06	2.11	2.79	3.33
30	1.02	1.70	2.04	2.09	2.75	3.27
35	1.01	1.70	2.03	2.07	2.72	3.23
40	1.01	1.68	2.02	2.06	2.70	3.20
45	1.01	1.68	2.01	2.06	2.69	3.18
50	1.01	1.68	2.01	2.05	2.68	3.16
100	1.005	1.660	1.984	2.025	2.626	3.077
$\infty$	1.000	1.645	1.960	2.000	2.576	3.000

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΤΥΠΟΥ MSA

### 3.0 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μια ανάλυση μετρητικών συστημάτων είναι μια μέθοδος για τον προσδιορισμό του κατά πόσον ένα σύστημα μέτρησης είναι αποδεκτό. Για μια μεταβλητή συνεχούς απόκρισης, χρησιμοποιείται ένα σύστημα ανάλυσης για να προσδιοριστεί η ποσότητα της συνολικής διακύμανσης που προέρχεται από το σύστημα μέτρησης. Τα συμπεράσματα που εξάγονται από τις στατιστικές μεθόδους εξαρτώνται από την ακρίβεια των δεδομένων. Εάν το όργανο και η μέθοδος μέτρησης δεν είναι ικανά να κάνουν ακριβείς και επαναλαμβανόμενες μετρήσεις, τα δεδομένα μπορεί να έχουν σημαντικό σφάλμα μέτρησης. Στις περιπτώσεις αυτές, τα συμπεράσματα που συνάγονται από τα δεδομένα είναι ανακριβή και παραπλανητικά. Είναι κρίσιμο να αξιολογηθεί η ακρίβεια της διαδικασίας μέτρησης κατά την έναρξη της ανάλυσης.

### 3.1 ΌΡΟΙ ΠΟΥ ΣΧΕΤΙΖΟΝΤΑΙ ΜΕ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

- Συστηματικά σφάλματα (ή μετατοπίσεις) : Αυτά τα σφάλματα ορίζονται ως οι σταθερές τιμές με τις οποίες ένα όργανο μέτρησης διαβάζει μακριά από την πραγματική τιμή ή τιμή αναφοράς.
- Τυχαία σφάλματα : Πρόκειται για σφάλματα μετρήσεων που προκαλούνται από διαφορές στους εξοπλισμούς, μεταξύ των χειριστών, μεταξύ των εξοπλισμών μέτρησης, με την πάροδο του χρόνου ή διαφορές λόγω αλλαγής των περιβαλλοντικών συνθηκών.
- Όργανο μέτρησης (Gage) : είναι συσκευές για προκαθορισμένες διαστάσεις που χρησιμοποιούνται για τη σύγκριση των διαστάσεων του προϊόντος, για να ελέγξουν εάν το προϊόν πληροί ή υπερβαίνει τις προδιαγραφές.
- Πόλωση (bias) : Είναι η διαφορά μεταξύ του μέσου όρου των μετρήσεων και της πραγματικής τιμής ή της τιμής αναφοράς του εξαρτήματος. Αναφέρεται στην ικανότητα του μέσου να μετρά για το διαχωρισμό της διακύμανσης σε ξεχωριστές κατηγορίες .

Το Εθνικό Ινστιτούτο Προτύπων και Τεχνολογίας (NIST) είναι το κύριο Εθνικό Ινστιτούτο Μετρήσεων (NMI) στις Ηνωμένες Πολιτείες που υπηρετούν κάτω από το Υπουργείο Εμπορίου των ΗΠΑ (NIST), πρώην Εθνικό Γραφείο Πρότυπα (NBS), χρησιμεύει ως η αρχή υψηλότερου επιπέδου για τη μετρολογία στην Η.Π.Α. Η κύρια ευθύνη του NIST είναι η παροχή υπηρεσιών μέτρησης και διατήρηση προτύπων μέτρησης που καταστεί ανιχνεύσιμες μετρήσεις που τελικά βοηθούν στο εμπόριο προϊόντων και υπηρεσιών. Το NIST παρέχει αυτές τις υπηρεσίες απευθείας σε πολλούς τύπους βιομηχανιών, Αλλά κυρίως σε εκείνους τους κλάδους που απαιτούν το υψηλότερο επίπεδο ακρίβειας για τα προϊόντα τους και που ενσωματώνουν μετρήσεις τελευταίας τεχνολογίας .

### 3.1.1 Ιχνηλασιμότητα

Η ιχνηλασιμότητα είναι μια σημαντική έννοια στο εμπόριο αγαθών και υπηρεσιών. Οι μετρήσεις που είναι ανιχνεύσιμες σύμφωνα με τα ίδια ή παρόμοια πρότυπα θα συμφωνούν πιο κοντά από εκείνες που δεν είναι ανιχνεύσιμες. Αυτό βοηθά στη μείωση της ανάγκης για επανέλεγχο, απόρριψη καλού προϊόντος και αποδοχή κακού προϊόντος.

Η ιχνηλασιμότητα ορίζεται από το Διεθνές Λεξιλόγιο ISO Μετρολογίας (VIM) ως εξής:

**«Η ιδιότητα μιας μέτρησης ή η αξία ενός προτύπου με την οποία μπορεί να σχετίζονται με δηλωμένες αναφορές, συνήθως εθνικά ή διεθνή πρότυπα, μέσα από μια αδιάσπαστη αλυσίδα συγκρίσεων, όλες έχουν δηλώσει αβεβαιότητες»**

Η ιχνηλασιμότητα μιας μέτρησης καθορίζεται συνήθως μέσω μιας αλυσίδας συγκρίσεων στο NMI. Ωστόσο, σε πολλές περιπτώσεις στην βιομηχανία, η ιχνηλασιμότητα μιας μέτρησης μπορεί να συνδέεται με βάση την τιμή αναφοράς ή το "συναινετικό πρότυπο" μεταξύ ενός πελάτη και ενός προμηθευτή.

### 3.1.2 Βαθμονόμηση Συστημάτων

Ένα σύστημα βαθμονόμησης είναι ένα σύνολο λειτουργιών που καθορίζουν, σύμφωνα με καθορισμένες συνθήκες, τη σχέση μεταξύ συσκευής μέτρησης και ανιχνεύσιμης τιμής αναφοράς και αβεβαιότητας. Η βαθμονόμηση μπορεί επίσης να περιλαμβάνει βήματα για τον εντοπισμό, τη συσχέτιση, την αναφορά ή την εξάλειψη με προσαρμογή οποιασδήποτε διαφοράς στην ακρίβεια της συγκρινόμενης διάταξης μέτρησης. Το σύστημα βαθμονόμησης καθορίζει την ιχνηλασιμότητα των μετρήσεων στο συστήματα μέτρησης με τη χρήση μεθόδων και προτύπων βαθμονόμησης.

### 3.2 ΌΡΟΙ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΕΠΙΛΟΓΗ ΟΡΓΑΝΟΥ, ΧΕΙΡΙΣΤΗ ΚΑΙ ΔΟΚΙΜΩΝ.

Πολύ σημαντικό για την ανάλυση μετρήσεων είναι οι επιλογή οργάνου, χειριστή και δοκιμών. Επομένως θέλουν ιδιαίτερη διερεύνηση. Είναι απαραίτητο να ληφθούν τα παρακάτω υπόψη :

- Ακρίβεια.

Η ακρίβεια είναι μια γενική έννοια που σχετίζεται με την εγγύτητα μεταξύ του μέσου όρου ενός ή περισσότερων μετρούμενων αποτελεσμάτων και της τιμής αναφοράς. Η διαδικασία μέτρησης πρέπει να βρίσκεται σε κατάσταση στατιστικού ελέγχου, διαφορετικά η ακρίβεια της διαδικασίας δεν έχει νόημα.

- Επαναληψιμότητα .

Επαναληψιμότητα είναι η διακύμανση των μετρήσεων που λαμβάνονται σε ένα μετρητικό όργανο όταν χρησιμοποιείται πολλές φορές από έναν χειριστή ενώ γίνεται μέτρηση του ίδιου δοκιμίου στο ίδιο τμήμα.

- Αναπαραγωγιμότητα .

Η αναπαραγωγιμότητα ορίζεται συνήθως ως η διακύμανση του μέσου όρου των μετρήσεων που πραγματοποιούνται από διαφορετικούς εκτιμητές με το ίδιο μετρητικό όργανο και το ίδιο δοκίμιο στο ίδιο τμήμα. Αυτό ισχύει συμβαίνει συχνά για τα χειροκίνητα και αναλογικά όργανα που επηρεάζονται από την ικανότητα του χειριστή.

- Σταθερότητα .

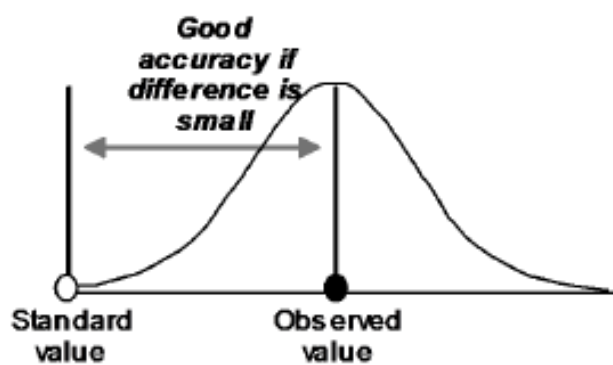
Σταθερότητα είναι η συνολική διακύμανση των μετρήσεων που λαμβάνονται με σύστημα μέτρησης στο ίδιο τμήμα κατά τη μέτρηση ενός μόνο δοκιμίου για μεγάλο χρονικό διάστημα. Δηλαδή, η σταθερότητα είναι η αλλαγή σε πόλωση με την πάροδο του χρόνου.

- Αποτέλεσμα μετρήσεων.

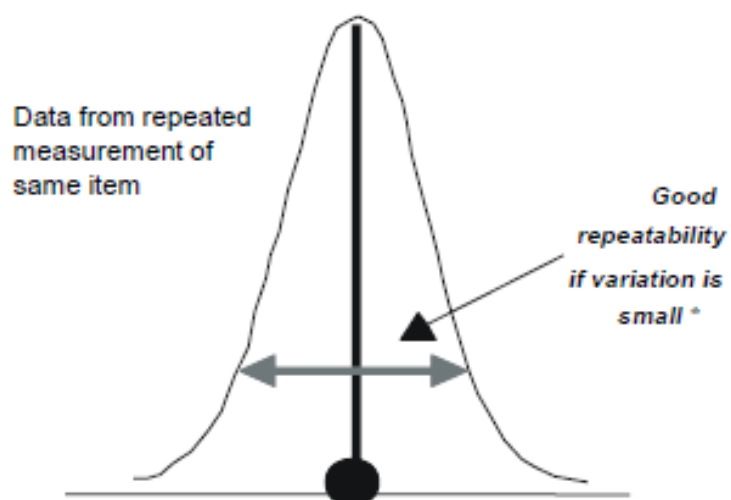
Το καθαρό αποτέλεσμα της διάκρισης, της ευαισθησίας και της επαναληψιμότητας έναντι του εύρους λειτουργίας (μέγεθος, εύρος και χρόνος) του συστήματος μέτρησης. Σε ορισμένες εταιρείες, χρησιμοποιείται εναλλαξιμότητα με επαναληψιμότητα στην πραγματικότητα, η ακρίβεια χρησιμοποιείται συχνότερα για να περιγράψει την αναμενόμενη διακύμανση των επαναλαμβανόμενων μετρήσεων στο εύρος μέτρησης, αυτό το εύρος μπορεί να είναι το μέγεθος ή ο χρόνος. Η διάταξη μέτρησης μπορεί να διαφοροποιείται μεταξύ του εύρους τιμών που μπορεί να έχει ένα προϊόν , θα πρέπει να είναι σε θέση να διακρίνει τουλάχιστον 5 διακριτές κατηγορίες. Η επίλυση καθορίζεται από τον περιορισμένο αριθμό πιθανών αποφάσεων που μπορούν να ληφθούν

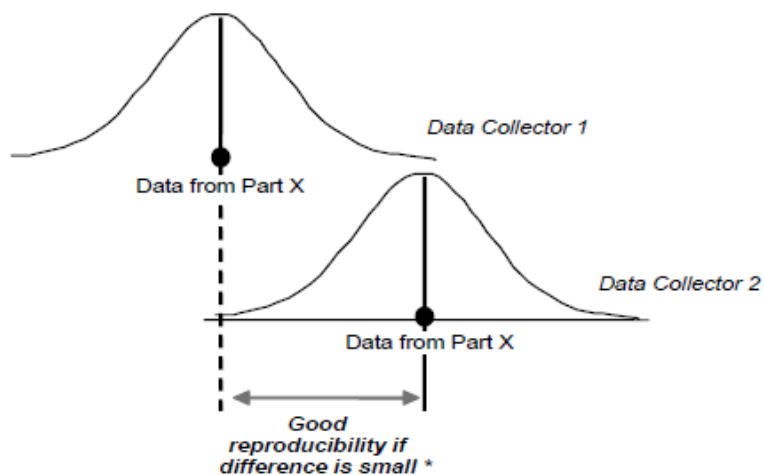
Παρακάτω φαίνονται τα διαγράμματα που απεικονίζουν τους παραπάνω όρους:

**Διάγραμμα 3.1** Ακρίβεια

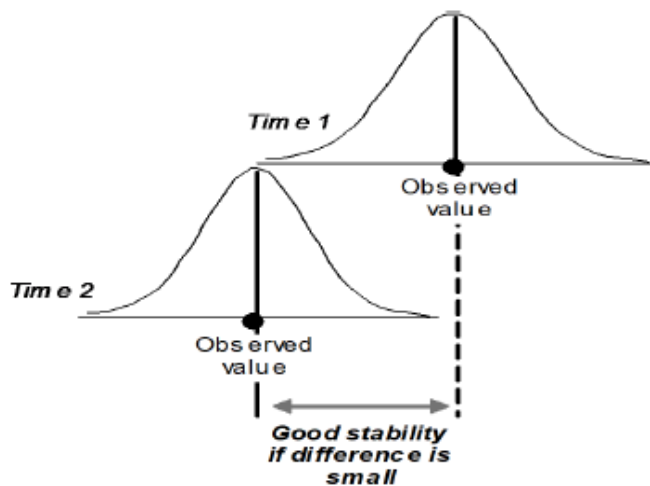


**Διάγραμμα 3.2** Επαναληψιμότητα

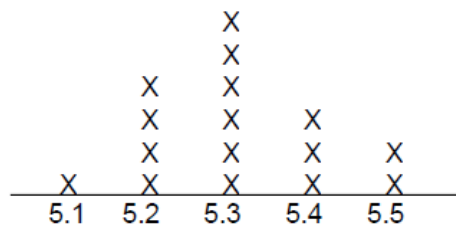




**Διάγραμμα 3.3** Αναπαραγωγιμότητα



**Διάγραμμα 3.4** Σταθερότητα



Good if 5 or more number of distinct categories are observed

**Διάγραμμα 3.5** Αποτελέσματα μετρήσεων

### 3.3 ΜΕΛΕΤΗ ΓΡΑΜΜΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΠΟΛΩΣΗΣ ΜΕΤΡΗΤΙΚΟΥ ΟΡΓΑΝΟΥ.

Ως μελέτη γραμμικότητας ενός μετρητικού οργάνου ορίζεται η διαδικασία με την οποία εκτιμάται η ακρίβεια ενός οργάνου σε όλο το εύρος στο οποίο είναι ικανό να μετρήσει. Αυτό γίνεται με την μέτρηση πρότυπων μεγεθών που αντιπροσωπεύουν το συνολικό εύρος του οργάνου.

Η γραμμικότητα του οργάνου μέτρησης (Gage) αναφέρει το πόσο ακριβείς είναι οι μετρήσεις του στο αναμενόμενο εύρος των μετρήσεων .

Η πόλωση του οργάνου μέτρησης (Gage) εξετάζει τη διαφορά μεταξύ της παρατηρούμενης μέσης μέτρησης και μιας τιμής αναφοράς ή κύριας τιμής. Αυτό επιτυγχάνεται και πάλι με τη μέτρηση πρότυπων μεγεθών. Με αυτό τον τρόπο μπορούμε να καταλάβουμε πόσο απέχει η μετρούμενη τιμή του οργάνου με την πραγματική τιμή που θα έπρεπε να μετρά.

### 3.4 ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ

Η σταθερότητα των μετρήσεων είναι η αλλαγή της πόλωσης με την πάροδο του χρόνου. Αντιπροσωπεύει τη συνολική διακύμανση των μετρήσεων του ίδιου μέρους που μετράτε με την πάροδο του χρόνου. Αυτή η διακύμανση με την πάροδο του χρόνου ονομάζεται drift .Η γνώση του εξοπλισμού και των συνθηκών μέτρησης βοηθά στον εντοπισμό ειδικών αιτιών όταν το σύστημα είναι ασταθές.

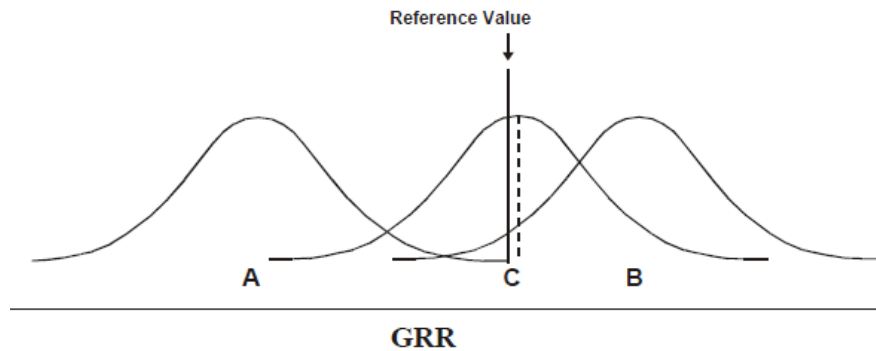
### 3.5 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ, ΕΠΑΝΑΛΗΨΙΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΑΡΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ (R&R, REPEATABILITY AND REPRODUCIBILITY).

Μια μελέτη gage R&R μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της συνέπειας και της ορθότητας των υποκειμενικών ταξινομήσεων από τους ανθρώπους. Μια τέτοια ανάλυση θα μπορούσε να είναι η απόδοση του προϊόντος ως «καλή» ή «κακή» όπως επίσης «σωστή ή «λανθασμένη». Επιπλέον μια συνεχής μελέτη R&R χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση του συστήματος μέτρησης για τη συλλογή συνεχών δεδομένων. Χρησιμοποιείται όταν χρησιμοποιούνται «gages» ή συσκευές για τη μέτρηση σημαντικών χαρακτηριστικών που είναι συνεχή όπως για παράδειγμα: πάχος , ιξώδες, αντοχή , κολλητικότητα, χρόνος.

Το Gage R&R είναι μια εκτίμηση της συνδυασμένης διακύμανσης της επαναληψιμότητας και αναπαραγωγιμότητα. Με άλλο τρόπο, το Gage R&R είναι η διακύμανση ίση με το άθροισμα των διακυμάνσεων εντός και μεταξύ συστημάτων.

$$\sigma_{GRR}^2 = \sigma_{reproducibility}^2 + \sigma_{repeatability}^2$$

(3.1)



Εικόνα 3.6 Διακύμανση Gage R&R

### Εκτιμήσεις για μια μελέτη R&R χαρακτηριστικών

- Οι σαφείς και συνοπτικοί επιχειρησιακοί ορισμοί είναι κρίσιμοι.
- Κάθε άτομο λαμβάνει μια απόφαση (επιτυχία / αποτυχία, ναι / όχι) για κάθε σενάριο επανειλημμένα .
- Οι καταστάσεις πρέπει να αντιπροσωπεύουν το εύρος των διακυμάνσεων στη διαδικασία.
- Οι άνθρωποι πρέπει να λαμβάνουν τυχαίες αποφάσεις, δεν πρέπει να γνωρίζουν ποιο σενάριο εξετάζουν όταν καταγράφουν τα αποτελέσματά τους .
- Τα δεδομένα πρέπει να είναι ισορροπημένα για κάθε άτομο και να αποφασίσει κάθε σενάριο για τον ίδιο αριθμό φορών.

### Ευαισθησία

Η ευαισθησία είναι η μικρότερη είσοδος που οδηγεί σε ανιχνεύσιμη (χρησιμοποιήσιμη) έξοδο σινιάλο. Είναι η ανταπόκριση του συστήματος μέτρησης στις αλλαγές μετρημένο χαρακτηριστικό. Η ευαισθησία καθορίζεται από το σχεδιασμό gage (διάκριση), εγγενής ποιότητα (OEM), συντήρηση εν λειτουργία και κατάσταση λειτουργίας του οργάνου και του προτύπου. Αναφέρεται πάντα ως μονάδα μέτρησης.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ευαισθησία είναι οι παρακάτω:

- Ικανότητα απόσβεσης ενός οργάνου.



- Ικανότητα χειριστή.
- Επαναληψιμότητα της συσκευής μέτρησης.
- Δυνατότητα παροχής λειτουργίας χωρίς ολίσθηση στην περίπτωση ηλεκτρονικών ή πνευματικών μετρητών .
- Συνθήκες υπό τις οποίες χρησιμοποιείται το όργανο, όπως το περιβάλλον αέρας, βρωμιά, υγρασία

### 3.6 ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ MSA

Η κύρια διαφορά μεταξύ της αβεβαιότητας και της MSA ανάλυσης είναι ότι η δεύτερη εστιάζεται στην κατανόηση της διαδικασίας μέτρησης, στον προσδιορισμό του ποσού σφάλματος στη διαδικασία και αξιολόγηση της επάρκειας της μέτρησης σύστημα ελέγχου προϊόντων και διεργασιών. Η MSA προάγει την κατανόηση και βελτίωση (μείωση διακύμανσης). Η αβεβαιότητα είναι το εύρος της μέτρησης τιμές, που ορίζονται από ένα διάστημα εμπιστοσύνης, που σχετίζεται με μια μέτρηση αποτέλεσμα και αναμένεται να περιλαμβάνει την πραγματική τιμή της μέτρησης.

### 3.7 ΜΕΛΕΤΗ MSA ΤΥΠΟΥ 1

Μια μελέτη τύπου 1 αξιολογεί μόνο την διακύμανση που προέρχεται από το μετρητικό όργανο. Συγκεκριμένα, αυτή η μελέτη αξιολογεί τις επιπτώσεις της πόλωσης και της επαναληψιμότητας του μετρητικού οργάνου. Χρησιμοποιείται στην αρχή της ανάλυσης των συστημάτων μέτρησης , για να εστιάσει μόνο στο μετρητικό όργανο και όχι σε άλλες πηγές διακύμανσης. Στην πραγματικότητα, πολλοί οργανισμοί απαιτούν μια μελέτη τύπου 1 ως το πρώτο βήμα για μια πλήρη ανάλυση του συστήματος μέτρησης. Αφού πιστοποιηθεί το μετρητικό όργανο με μια μελέτη τύπου 1 gage, θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν άλλα εργαλεία μελέτης gage για να διευρυνθεί το MSA σας και να εξεταστούν άλλες πηγές διακύμανσης της μετρητικής διαδικασίας.

Εκτός από την επαναληψιμότητα , αξιολογείται επίσης η πόλωση του μετρητικού οργάνου (gage) που είναι η διαφορά μεταξύ της μέσης τιμής των μετρήσεων του οργάνου και της πραγματικής τιμής που στοχεύει αυτό. Η ανάλυση της πόλωσης γίνεται με ένα t-test της μηδενικής υπόθεσης ότι δεν υπάρχει πόλωση. Ουσιαστικά, αυτή η δοκιμή είναι μια δοκιμή t ενός δείγματος αναφοράς για να προσδιοριστεί εάν η μέση τιμή των μετρήσεων διαφέρει σημαντικά από την τιμή αναφοράς. Εάν υπάρχει

στατιστικά σημαντική πόλωση , συμπεραίνετε ότι το μετρητικό όργανο που αναλύουμε μετρά σταθερά υψηλότερη ή χαμηλότερη από τη σωστή τιμή.

Για να αξιολογηθεί η επαναληψιμότητα ενός μετρητικού οργάνου είναι απαραίτητο να υπολογιστεί ο δείκτης  $C_g$  για να συγκριθεί η διακύμανση της του προς μελέτη μετρητικού οργάνου (την εξάπλωση των μετρήσεων του μετρητικού οργάνου) με ένα ποσοστό της ανοχής. Οι τιμές  $C_g$  μεγαλύτερες από 1,33 υποδεικνύουν ότι η εξάπλωση των μετρήσεων gages είναι επαρκώς στενή σε σχέση με το εύρος ανοχής σας

Ο δείκτης  $C_g$  ορίζεται ως :

$$C_g = \frac{L \times S}{\text{Tolerance}} \quad (3.2)$$

Όπου :

S: τυπική απόκλιση των μετρήσεων

L: αριθμός τυπικών αποκλίσεων που αντιπροσωπεύουν ολόκληρο το ανάπτυγμα (εξ ορισμού είναι 6)

Tolerance: ανεκτικότητα (USL-LSL)

Ταυτόχρονα υπολογίζεται και ο δείκτης της μέτρησης ικανότητας  $C_{gk}$  ο οποίος χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της επαναληψιμότητας και της πόλωσης μαζί. Η ικανότητα  $C_{gk}$  συγκρίνει τη διακύμανση της μελέτης με την ανοχή, αλλά εξετάζει επίσης εάν οι μετρήσεις είναι «εντός στόχου». Επιπρόσθετα μειώνεται καθώς αυξάνεται η διαφορά μεταξύ της μέσης μέτρησης και της τιμής αναφοράς και τέλος αν η τιμή του  $C_{gk}$  είναι 1,33, όπου είναι μια κοινή τιμή αναφοράς για να δηλώσει ένα ικανό μετρητικό όργανο τότε τόσο η επαναληψιμότητα όσο και η ακρίβεια είναι καλή άρα υπάρχει χαμηλή πόλωση.

$$C_{gk} = \frac{L \times S + 2 \times |\bar{x}_g - x_m|}{\text{Tolerance}} \quad (3.3)$$

Όπου :

$\bar{x}_g$  : τιμή αναφοράς

$x_m$  : μέση τιμή

S: τυπική απόκλιση των μετρήσεων

L: αριθμός τυπικών αποκλίσεων που αντιπροσωπεύουν το μισό του αναπτύγματος (εξ ορισμού είναι 3).

Tolerance: ανεκτικότητα (USL-LSL)

### 3.7.1 Πως διεξάγεται μια μελέτη Τύπου 1 για μετρητικό όργανο gage

Ο χειριστής πραγματοποιεί τουλάχιστον 30 μετρήσεις για κάθε δοκίμιο. Βασική προϋπόθεση όλες οι μετρήσεις να γίνονται στον ίδιο χρόνο με σταθερή θερμοκρασία στους 20°C.

Καταγραφή των μετρήσεων.

Εύρεση ορίων ανοχής της μέτρησης ( σύμφωνα με τον κατασκευαστή).

Αποτελέσματα ανάλυσης και αναφορά bias , %VAR(Repeatability) και %VAR(Repeatability & Bias).

Ύστερα, αν τα αποτελέσματα δεν επαρκούν και κριθεί ότι είναι απαραίτητο προχωράμε σε μια Μελέτη Τύπου 2 gage.

### 3.7.2 Πως διεξάγεται μια μελέτη Τύπου 2 για μετρητικό όργανο gage.

Η μελέτη Gage R&R είναι ένα σύνολο δοκιμών που διεξάγονται για την αξιολόγηση της επαναληψιμότητας και της αναπαραγωγιμότητας του συστήματος μέτρησης.

Πολλαπλοί χειριστές μετρούν ο καθένας ξεχωριστά τα δοκίμια σε 30 τουλάχιστον μετρήσεις.

Οι χειριστές δεν πρέπει να γνωρίζουν ποιο είδος δοκιμίου μετρούν. Καθώς και τον λόγο που γίνονται οι μετρήσεις.

Τα δοκίμια θα πρέπει να μετρούνται με διαφορετική και τυχαία σειρά για κάθε χειριστή ξεχωριστά.

Οι μετρήσεις πρέπει να γίνονται με τις ίδιες συνθήκες στο κανονικό περιβάλλον στους 20°C.

Στην συνέχεια θα πρέπει να εξετάζει η συνολική διακύμανση των στοιχείων ή των μονάδων που μετρήθηκαν.

Αν το μεγαλύτερο μέρος της διακύμανσης εξηγείται από φυσικές ή πραγματικές διαφορές μεταξύ των μονάδων (ή των σεναρίων). Αυτό που ονομάζει παραλλαγή από μέρος σε μέρος θα είναι σχετικά μεγάλο και όλες οι άλλες πηγές διακύμανσης θα είναι μικρές.

Το σύστημα μέτρησης έχει επαρκή ακρίβεια ώστε να διακρίνει τουλάχιστον πέντε ομάδες ή "κατηγορίες" μετρήσεων.

Αντίθετα αν η διακύμανση στον τρόπο λήψης των μετρήσεων είναι υψηλή και δεν είναι γνωστό αν οι διαφορές μεταξύ μονάδων (ή σεναρίων) οφείλονται στον τρόπο μέτρησης ή είναι πραγματικές διαφορές. Όπως επίσης αν δεν υπάρχει εμπιστοσύνη στα δεδομένα και επομένως μπορεί να είναι ψευδή σήματα, οι μετρήσεις εμπίπτουν σε λιγότερες από πέντε κατηγορίες.

### 3.8 ΕΠΙΠΕΔΟ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΠΟΔΟΧΗΣ (AQL)

Το AQL σημαίνει όριο ποιότητας αποδοχής και υποδεικνύει το ποσοστό ελαττωματικών μονάδων σε σύγκριση με τις συνολικές μονάδες σε μια παρτίδα, παραγγελία ή αποστολή. Στο ISO 2859-1, το AQL ορίζεται ως το επίπεδο ποιότητας που είναι το χειρότερο ανεκτό. Είναι ένα σημαντικό στατιστικό εργαλείο για τον ποιοτικό έλεγχο που αξιοποιεί τις δυνατότητες της μεθοδολογίας Six Sigma που αναπτύχθηκε από τη Motorola.

Αποδεκτό επίπεδο ποιότητας (AQL): Ο μεγαλύτερος αριθμός ελαττωμάτων ή ελαττωμάτων σε μια διαδικασία που θα εξακολουθεί να θεωρείται αποδεκτός. Συνήθως, ένα σχέδιο δειγματοληψίας έχει σχεδιαστεί για να δώσει μεγάλη πιθανότητα αποδοχής στο AQL. Πρέπει να καθορίσετε το AQL όταν δημιουργείτε ένα σχέδιο δειγματοληψίας, αλλά δεν απαιτείται για τη σύγκριση των σχεδίων δειγματοληψίας. Το AQL πρέπει να είναι συνεπές με τις μονάδες μέτρησης .για παράδειγμα, με ελαττωματικά ποσοστά  $0 < AQL < 100$  με αναλογία ελαττωματική  $0 < AQL < 1$  και με ελαττωματικά ανά εκατομμύριο  $0 < AQL < 1000000$ .

Απορριπτό επίπεδο ποιότητας (RQL ή LTPD): ο αριθμός των ελαττωμάτων ή ελαττωμάτων σε μια μεμονωμένη παρτίδα που είστε διατεθειμένοι να ανεχτείτε. Συνήθως, ένα σχέδιο δειγματοληψίας έχει σχεδιαστεί για να δίνει χαμηλή πιθανότητα αποδοχής στο RQL. Πρέπει να καθορίσετε το RQL όταν δημιουργείτε ένα σχέδιο δειγματοληψίας, αλλά δεν απαιτείται για τη σύγκριση των σχεδίων δειγματοληψίας. Το RQL πρέπει να εισάγεται σύμφωνα με τις μονάδες μέτρησης και πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το AQL. Για παράδειγμα, με ποσοστό ελαττωματικών  $AQL < RQL < 100$  με αναλογία ελαττωματικού  $AQL < RQL < 1$  και με ελαττωματικά ανά εκατομμύριο  $AQL < RQL < 1000000$ .

### Six sigma

Το Six Sigma είναι μια επιχειρηματική μεθοδολογία για τη βελτίωση της ποιότητας που μετρά πόσα ελαττώματα υπάρχουν σε μια τρέχουσα διαδικασία και επιδιώκει να

τα εξαλείψει σημαντικά. Εστιάζει στη μείωση της διακύμανσης της διαδικασίας και στη βελτίωση του ελέγχου διαδικασίας. Οι βασικές αρχές του είναι οι εξής:

1. Εστίαση στον πελάτη
2. Εκμετάλλευση δεδομένων
3. Συνεχής βελτίωση
4. Ενθάρρυνση της ανθρώπινης συμμετοχής

Για να εφαρμοστούν οι παραπάνω αρχές ακολουθούν 2 βασικές μεθοδολογίες βελτίωσης.

- Six Sigma DMAIC (Καθαρισμός-μέτρηση-ανάλυση-βελτίωση-έλεγχος) : χρησιμοποιείται για τη διόρθωση μιας διαδικασίας που ήδη υπάρχει.
- Six Sigma DMADV(Καθαρισμός-μέτρηση-ανάλυση-σχεδίαση-επικύρωση): χρησιμοποιείται για τη δημιουργία μιας νέας διαδικασίας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο MSA ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

### 4.0 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Για να είναι μια μέτρηση όσο γίνεται πιο αξιόπιστη πρέπει να βεβαιωθούμε πως το όργανο που χρησιμοποιείται στην μέτρηση είναι όσο το περισσότερο ακριβείας γίνεται. Ειδικότερα στον χώρο της βιομηχανίας όπου κάποιο τέτοιο λάθος μπορεί να κοστίζει υλική αλλά και οικονομική ζημιά. Στο κεφάλαιο αυτό λοιπόν, θα παρουσιαστεί η ανάλυση των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκε στα μικρόμετρα του εργαστηρίου της βιομηχανίας. Στο εργοστάσιο γίνονται 2 είδη καταμέτρησης διαμέτρου, μέτρηση διαμέτρου συρμάτων αγωγού και οπλισμού. Οι αγωγοί είναι συνεστραμμένου τύπου και θα πρέπει να έχουν συγκεκριμένο αριθμό συρμάτων με συγκεκριμένη διάμετρο. Μέτρηση διαμέτρου συρμάτων οπλισμού του καλωδίου ακολουθεί την προδιαγραφή EN 10257-2, η οποία μας δίνει τις ανοχές των διαμέτρων σύμφωνα με τον πίνακα 4.1. Η διαδικασία μέτρησης αυτών των δύο συρμάτων είναι άκρως σημαντική για την παραγωγή του εργοστασίου καθώς επηρεάζει την ποιότητα του καλωδίου αφού αν η διάμετρος του σύρματος οπλισμού είναι εκτός προδιαγραφών μπορεί να επηρεάσει την ποιότητα του καλωδίου ενώ η διάμετρος του αγωγού μπορεί να επηρεάσει την παροχή τάσης του καλωδίου όπου απαιτεί ο πελάτης σύμφωνα με την ανάγκη του.

Πιο συγκεκριμένα έγινε μέτρηση πρότυπων πιστοποιημένων κεραμικών πλακιδίων με μικρόμετρο για την διερεύνηση καταλληλότητας των οργάνων. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε με την βοήθεια 2 μικρομέτρων που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση διαμέτρων συρμάτων αγωγού και οπλισμού για το καλώδιο.

1. Μικρόμετρο Α με όρια ανοχής  $\pm 4\mu\text{m}$ . (Εικόνα 4.1)
2. Μικρόμετρο Β με όρια ανοχής  $\pm 1\mu\text{m}$ . (Εικόνα 4.2)



Εικόνα 4.1 Μικρόμετρο Α



Εικόνα 4.1 Μικρόμετρο Α

Θα επιλέξουμε ένα παράδειγμα εφαρμογής σε καλώδια 38/66 (72.5) kV όπου έχουμε διάμετρο σύρματος  $5\text{mm} \pm 0.1\text{ mm}$  το οποίο είναι εσωτερικό όριο για τον έλεγχο της τιμής της αντίστασης του τελικού αγωγού.

Οι διαδικασίες που ακολουθούνται για να πραγματοποιηθεί μια μέτρηση με σωστό τρόπο γίνονται με πρότυπες διαδικασίες οι οποίες αναφέρονται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 5 (5.0 Εισαγωγή, σελ. 60-61).

#### Πίνακας 4.1 Ανοχές μέτρησης διαμέτρου συρμάτων οπλισμού του καλωδίου.

Table 2 — Preferred nominal diameters, tolerances and mechanical properties of grade 34 steel wire

Nominal wire diameter	Tolerance on diameter	Minimum elongation on gauge length	Torsion test minimum number of turns <sup>a</sup> on gauge length
mm	mm	$L_0 = 250\text{ mm}$ %	$L_0 = 150\text{ mm}$
3,35	$\pm 0,07$		18
4,00	$\pm 0,07$		15
4,25	$\pm 0,08$		14
4,50	$\pm 0,08$	10	13
4,75	$\pm 0,08$		13
5,00	$\pm 0,08$		12
5,30	$\pm 0,09$		11
5,6	$\pm 0,09$		11
6,0	$\pm 0,09$		10
6,3	$\pm 0,09$	10	10
6,7	$\pm 0,10$		9
7,1	$\pm 0,10$		8
7,5	$\pm 0,10$		8
8,0	$\pm 0,10$	10	8
8,5	$\pm 0,12$		7

<sup>a</sup> Based on 40 turns in a length of 100 wire diameters.

NOTE 1 For intermediate sizes the properties to be achieved shall be those for the next larger size listed.

NOTE 2 Grade 34 steel wire may in time exhibit changes in mechanical properties after manufacture, particularly tensile strength and elongation. These changes result from a phenomenon known as strain ageing or strain age hardening, and lead to an increase in tensile strength and a decrease in elongation, compared to the wire immediately after coating with zinc.

It is customary to carry out tests immediately after manufacture. At ordinary temperatures, strain ageing may proceed slowly. Therefore, results of tests performed by the purchaser may be at variance with those reported by the supplier.



#### 4.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΤΥΠΟΥ 1

Για την μελέτη Τύπου 1 ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία.

1. Ο χειριστής πραγματοποιεί τουλάχιστον 30 μετρήσεις για κάθε δοκίμιο. Βασική προϋπόθεση όλες οι μετρήσεις να γίνονται στον ίδιο χρόνο με σταθερή θερμοκρασία στους 20°C.
2. Καταγραφή των μετρήσεων.
3. Εύρεση ορίων ανοχής της μέτρησης ( σύμφωνα με τον κατασκευαστή).
4. Αποτελέσματα ανάλυσης και αναφορά bias , %VAR(Repeatability) και %VAR(Repeatability & Bias).
5. Κρίση καταλληλότητας μετρητικού οργάνου της ανάλυσης συστήματος μετρήσεων.

Στο παρακάτω Πίνακα 4.2 αναγράφονται οι μετρήσεις που έγιναν για την ανάλυση τύπου 1 σε διάμετρο 5mm με πρότυπο πλακίδιο με όρια που αφορούν σύρμα αγωγού. Με την βοήθεια του μικρομέτρου A με όρια ανοχής  $\pm 4\mu\text{m}$ . Επιπλέον χρησιμοποιούμε ένα ειδικό λογισμικό της βιομηχανίας για την ανάλυση Type 1 και τα αποτελέσματα για την καταλληλότητα.

**Πίνακας 4.2** Επαναληπτικές μετρήσεις για σύρμα αγωγού με ονομαστική διάμετρο πλακιδίου 5mm με την χρήση μικρομέτρου A

Πρότυπο μέγεθος	5mm		
A/a	Μέτρηση(mm)	A/a	Μέτρηση(mm)
1	5,001	16	5
2	5,004	17	5,002
3	5	18	5,005
4	5,013	19	5,002
5	5,011	20	4,999
6	5,003	21	5,008
7	5,005	22	5,003
8	5,003	23	5,009
9	5,006	24	5,003
10	5,003	25	4,998
11	5,012	26	4,99
12	4,994	27	5,002
13	5,001	28	4,989
14	5,009	29	5,007
15	5,013	30	5,004

Τα δεδομένα της ανάλυσης μας για όρια του σύρματος αγωγού με την χρήση του μικρομέτρου Α παρουσιάζονται στον πίνακα 4.3

**Πίνακας 4.3** Δεδομένα ανάλυσης μικρομέτρου Α για διάμετρο αγωγού.

Τιμή Αναφοράς	5 mm
LSL	-0,1
USL	0,1
Μετρήσεις	30
Μέσος όρος	5,0033
Τυπική απόκλιση των μετρήσεων	0,0058
Αριθμός τυπικών αποκλίσεων	6
Ανεκτικότητα	0,2

Επομένως για να αξιολογηθεί η επαναληψιμότητα του μετρητικού οργάνου μικρομέτρου Α πρέπει να υπολογισθεί ο δείκτης  $C_g$ :

$$\%VAR(Repeatability) C_g = \frac{L \times S}{\text{Tolerance}} \quad (4.1)$$

Όπου :

K: ποσοστό της ανοχής (εξ ορισμού είναι 20)

S: τυπική απόκλιση των μετρήσεων

L: αριθμός τυπικών αποκλίσεων που αντιπροσωπεύουν ολόκληρο το ανάπτυγμα (εξ ορισμού είναι 6)

Επιπλέον θα πρέπει να υπολογισθεί και ο δείκτης  $C_{gk}$  για να αξιολογηθεί η επαναληψιμότητα μαζί με την πόλωση του μετρητικού οργάνου.

$$\%VAR(Repeatability \& Bias) C_{gk} = \frac{L \times S + 2 \times |\bar{x}_g - x_m|}{\text{Tolerance}} \quad (4.2)$$

Όπου

$\bar{x}_g$  : η τιμή αναφοράς

$x_m$  : η μέση τιμή

S: τυπική απόκλιση των μετρήσεων

L: αριθμός τυπικών αποκλίσεων που αντιπροσωπεύουν το μισό του αναπτύγματος (εξ ορισμού είναι 6).

Tolerance: ανεκτικότητα (USL-LSL)

Από το σύνολο των μετρήσεων μας έχουμε ότι το bias όπου είναι η πόλωση από την πραγματική τιμή είναι ίση με bias= 0.003300 που σημαίνει έχουμε αρκετά μικρό bias στην τιμή μας.

Επομένως οι σχέσεις (4.1) και (4.2)

$$\%VAR(\text{Repeatability}) C_g = \frac{L \times S}{\text{Tolerance}} = \frac{0,0058 \times 6}{0,2} \times 100\% = 17,5 \%$$

$$\begin{aligned} \%VAR(\text{Repeatability\&Bias}) C_{gk} &= \frac{L \times S + 2 \times |\bar{x}_g - x_m|}{\text{Tolerance}} \\ &= \frac{0,0058 * 6 + 2 \times |5 - 5.0033|}{0,2} \times 100\% = 20,8 \% \end{aligned}$$

Τα αποτελέσματα μας είναι πάνω από τα όρια του αποδεκτού MSA <0,15-15%. Επομένως καταλαβαίνουμε πως το όργανο χρειάζεται βελτίωση.

Για τις ίδιες μετρήσεις, θα κάνουμε ανάλυση MSA Type 1 με τα όρια διαμέτρου οπλισμού. Σύμφωνα με τον πίνακα 4.1 για διάμετρο 5mm τα όρια είναι ± 0,08mm

Τα δεδομένα της ανάλυσης μας για όρια του σύρματος οπλισμού με την χρήση του μικρομέτρου A παρουσιάζονται στον πίνακα 4.4

**Πίνακας 4.4** Δεδομένα ανάλυσης μικρομέτρου A για διάμετρο οπλισμού.

Τιμή Αναφοράς	5 mm
LSL	-0,08
USL	0,08
Μετρήσεις	30
Μέσος όρος	5,0033
Τυπική απόκλιση των μετρήσεων	0,0058
Αριθμός τυπικών αποκλίσεων	6
Ανεκτικότητα	0,16

Από το σύνολο των μετρήσεων μας έχουμε ότι το bias όπου είναι η πόλωση από την πραγματική τιμή είναι ίση με bias= 0.003300 που σημαίνει έχουμε αρκετά μικρό bias στην τιμή μας.

Επομένως οι σχέσεις (4.1) και (4.2)

$$\%VAR(\text{Repeatability}) C_g = \frac{L \times S}{\text{Tolerance}} = \frac{0,0058 \times 6}{0,16} \times 100\% = 21.9 \%$$

$$\begin{aligned} \%VAR(\text{Repeatability\&Bias}) C_{gk} &= \frac{L \times S + 2 \times |\bar{x}_g - x_m|}{\text{Tolerance}} \\ &= \frac{0,0058 * 6 + 2 \times |5 - 5,0033|}{0.16} \times 100\% = 26.0 \% \end{aligned}$$

Τα αποτελέσματα μας είναι πάνω από τα όρια του αποδεκτού MSA <0,15-15% και σε αυτή την περίπτωση.

Επομένως καταλαβαίνουμε πως το όργανο χρειάζεται βελτίωση.

Στο παρακάτω πίνακα 4.5 αναγράφονται οι μετρήσεις που έγιναν για την ανάλυση τύπου 1 σε διάμετρο 5mm για τον αγωγού του καλωδίου. Με την βοήθεια του μικρομέτρου B με όρια ανοχής  $\pm 1\mu\text{m}$ . Επιπλέον χρησιμοποιούμε ένα ειδικό λογισμικό της βιομηχανίας για την ανάλυση Type 1 και τα αποτελέσματα για την καταλληλότητα.

**Πίνακας 4.5** Επαναληπτικές μετρήσεις για σύρμα αγωγού με ονομαστική διάμετρο πλακιδίου 5mm με την χρήση μικρομέτρου B.

Πρότυπο μέγεθος	5mm			
	A/α	Μέτρηση(mm)	A/α	Μέτρηση(mm)
1		5,005	16	5,001
2		5,011	17	5,001
3		5,005	18	5,013
4		5,002	19	5,003
5		5,011	20	5,001
6		5,006	21	4,996
7		5,004	22	5,001
8		5,002	23	5,003
9		5,001	24	5,004
10		4,999	25	5,002
11		5,009	26	5,002
12		4,998	27	5
13		5,004	28	5,001
14		5,001	29	5,001
15		4,996	30	5,002

Τα δεδομένα της ανάλυσης μας για σύρμα αγωγού με την χρήση του μικρομέτρου Β παρουσιάζονται στον πίνακα 4.6

**Πίνακας 4.6** Δεδομένα ανάλυσης μικρομέτρου Β για διάμετρο αγωγού

Τιμή Αναφοράς	5 mm
LSL	-0,1
USL	0,1
Μετρήσεις	30
Μέσος όρος	5,0028
Τυπική απόκλιση των μετρήσεων	0,004
Αριθμός τυπικών αποκλίσεων	6
Ανεκτικότητα	0,2

Από το σύνολο των μετρήσεων μας έχουμε ότι το bias όπου είναι η πόλωση από την πραγματική τιμή είναι ίση με bias= 0.00283 που σημαίνει έχουμε αρκετά μικρό bias στην τιμή μας.

Επομένως οι σχέσεις (4.1) και (4.2)

$$\%VAR(\text{Repeatability}) C_g = \frac{L \times S}{\text{Tolerance}} = \frac{0,0040 \times 6}{0,2} \times 100\% = 12,1 \%$$

$$\begin{aligned} \%VAR(\text{Repeatability\&Bias}) C_{gk} &= \frac{L \times S + 2 \times |\bar{x}_g - x_m|}{\text{Tolerance}} \\ &= \frac{0,004 \times 6 + 2 \times |5 - 5,0028|}{0,2} \times 100\% = 14,9 \% \end{aligned}$$

Τα αποτελέσματα μας είναι κάτω από τα όρια του αποδεκτού MSA <0,15-15%.

Επομένως καταλαβαίνουμε πως το όργανο γίνεται αποδεκτό, αλλά χρήζει βελτίωσης.

Για τις ίδιες μετρήσεις, θα κάνουμε ανάλυση MSA Type 1 για διάμετρο οπλισμού. Σύμφωνα με τον πίνακα 4.1 για διάμετρο 5mm τα όρια είναι  $\pm 0,08\text{mm}$ .

**Πίνακας 4.7** Δεδομένα ανάλυσης μικρομέτρου Β για διάμετρο οπλισμού

Τιμή Αναφοράς	5 mm
LSL	-0,08
USL	0,08
Μετρήσεις	30
Μέσος όρος	5,0028
Τυπική απόκλιση των μετρήσεων	0,004
Αριθμός τυπικών αποκλίσεων	6
Ανεκτικότητα	0,16

Από το σύνολο των μετρήσεων μας έχουμε ότι το bias όπου είναι η πόλωση από την πραγματική τιμή είναι ίση με bias= 0.00283 που σημαίνει έχουμε αρκετά μικρό bias στην τιμή μας.

Επομένως οι σχέσεις (4.1) και (4.2)

$$\%VAR(\text{Repeatability}) C_g = \frac{L \times S}{\text{Tolerance}} = \frac{0,0040 \times 6}{0,16} \times 100\% = 15,1 \%$$

$$\begin{aligned} \%VAR(\text{Repeatability\&Bias}) C_{gk} &= \frac{L \times S + 2 \times |\bar{x}_g - x_m|}{\text{Tolerance}} \\ &= \frac{0,004 * 6 + 2 \times |5 - 5,0028|}{0.16} \times 100\% = 18,6 \% \end{aligned}$$

Τα αποτελέσματα μας είναι πάνω από τα όρια του αποδεκτού MSA <0,15-15%.

Επομένως καταλαβαίνουμε πως το όργανο χρειάζεται βελτίωση.

Συμπέρασμα: Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της Μελέτης Τύπου 1 που πραγματοποιήθηκε στα μικρόμετρα A και B του εργαστηρίου του ποιοτικού ελέγχου της βιομηχανίας βλέπουμε πως τα αποτελέσματα είναι εκτός των αποδεκτών ορίων. Παρόλα αυτά έπειτα από συνεννόηση με το εργαστήριο, η μικρή αυτή διαφορά που αποτυπώνεται στα αποτελέσματα δεν επηρεάζει δραματικά την μέτρηση τους. Ταυτόχρονα όμως επειδή αναζητάμε την καλύτερη και αξιόπιστη μέτρηση, και η ανάλυση Τύπου 1 δεν μας αρκεί, θα προχωρήσουμε σε ανάλυση εύρεση αβεβαιοτήτων όπως ακολουθεί στο επόμενο κεφάλαιο.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΩΝ

### 5.0 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν οι υπολογισμοί αβεβαιοτήτων και σφαλμάτων των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν κατά την πειραματική διαδικασία μετρητικών οργάνων για να αξιολογηθεί το μετρητικό σύστημα. Οι μετρήσεις προέρχονται από τρία (3) διαφορετικά μικρόμετρα του εργαστηρίου της βιομηχανίας. Πιο συγκεκριμένα έγινε μέτρηση πρότυπων πιστοποιημένων κεραμικών πλακιδίων (Εικόνα 5.0) με μικρόμετρο για την διερεύνηση καταλληλότητας των οργάνων όπως επίσης σφαλμάτων και αβεβαιοτήτων αυτών. Τα μικρόμετρα που χρησιμοποιήθηκαν είναι:

- a. Μικρόμετρο Α με όρια ανοχής  $\pm 4\mu\text{m}$  (Εικόνα 5.1)
- b. Μικρόμετρο Β με όρια ανοχής  $\pm 1\mu\text{m}$  (Εικόνα 5.2)
- c. Μικρόμετρο Γ με όρια ανοχής  $\pm 1\mu\text{m}$  (Εικόνα 5.3)

Στο εργοστάσιο γίνονται 2 είδη καταμέτρησης διαμέτρου, μέτρηση διαμέτρου συρμάτων αγωγού και οπλισμού. Οι αγωγοί είναι συνεστραμμένου τύπου και θα πρέπει να έχουν συγκεκριμένο αριθμό συρμάτων με συγκεκριμένη διάμετρο. Μέτρηση διαμέτρου συρμάτων οπλισμού του καλωδίου ακολουθεί την προδιαγραφή EN 10257-2.

Η διαδικασία μέτρησης αυτών των δύο συρμάτων είναι άκρως σημαντική για την παραγωγή του εργοστασίου καθώς επηρεάζει την ποιότητα του καλωδίου αφού αν η διάμετρος του σύρματος οπλισμού είναι εκτός προδιαγραφών μπορεί να επηρεάσει την ποιότητα του καλωδίου ενώ η διάμετρος του αγωγού μπορεί να επηρεάσει την παροχή τάσης του καλωδίου όπου απαιτεί ο πελάτης σύμφωνα με την ανάγκη του.

#### Πειραματική Διαδικασία

1. Τα πλακίδια και το όργανο μέτρησης τοποθετούνται στον χώρο του εργαστηρίου για 24ώρες πριν την μέτρηση ώστε να έρθουν σε θερμική ισορροπία με το περιβάλλον.
2. Στο ξεκίνημα των μετρήσεων καταγράφεται η θερμοκρασία του χώρου και σημειώνεται.
3. Ακολουθεί η διαδικασία μετρήσεων του κάθε πλακιδίου με επαναληψιμότητα, με τις πρότυπες προδιαγραφές που πρέπει να τηρούνται και σημειώνονται.



4. Στο τέλος των μετρήσεων γίνεται ξανά καταγραφή της θερμοκρασίας.

Η παρακάτω οδηγία περιγράφει τον τρόπο διεξαγωγής της μέτρησης διαμέτρων σε αγωγούς, σε καλώδια είτε σε τελικό στάδιο είτε σε ενδιάμεση φάση παραγωγής και σε σύρματα (Cu, Al κλπ.)

#### Διαδικασία δοκιμών

- Για σύρματα και για καλώδια με εξωτερική διάμετρο που δεν ξεπερνά τα 25mm οι μετρήσεις μπορεί να γίνουν με μικρόμετρο.
- Αν η εξωτερική διάμετρος των καλωδίων είναι μεγαλύτερη από 25mm μετριέται η περίμετρος του καλωδίου με ταινία μέτρησης και η διάμετρος υπολογίζεται ή εναλλακτικά με ταινία μέτρησης στην οποία έχει γίνει ο υπολογισμός και διαβάσεις απευθείας διάμετρο.

#### Αρμοδιότητες

- Ο Τεχνικός Υπεύθυνος του Εργαστηρίου είναι υπεύθυνος για την σύνταξη και αναθεώρηση της παρούσης Οδηγίας Εργασίας και του αντίστοιχου δελτίου αναφοράς (ΔΑΠΕ).
- Ο Τεχνικός Υπεύθυνος του Εργαστηρίου και ο Υπεύθυνος Ποιότητας τηρούν σε μόνιμο Αρχείο την παρούσα οδηγία Εργασίας.
- Ο Τεχνικός Υπεύθυνος του Εργαστηρίου τηρεί σε αρχείο για τουλάχιστον πέντε (5) έτη τα πρωτότυπα ΔΑΠΕ 200-4.
- Ο χειριστής, που πραγματοποιεί τη δοκιμή/μέτρηση, είναι υπεύθυνος για τη σωστή διεξαγωγή των δοκιμών και μετρήσεων καθώς και για τη συμπλήρωση των αποτελεσμάτων στο δελτίο αναφοράς (ΔΑΠΕ).
- Ο Τεχνικός Υπεύθυνος του Εργαστηρίου επιβεβαιώνει το συμπληρωμένο από τον χειριστή δελτίο αναφοράς (ΔΑΠΕ) και συμπληρώνει ορθά το αντίστοιχο πιστοποιητικό δοκιμών/μετρήσεων.

#### Σχετικά Έντυπα

- ΔΑΠΕ 200-4, Δελτίο Αναφοράς Ποιοτικού Ελέγχου – Μέτρηση διαμέτρων.
- IEC 60811-203:2012, General tests – Measurement of overall dimensions

Η ανάλυση των μετρήσεων και των αβεβαιοτήτων ακολουθούν τα παρακάτω βήματα ώστε να βρεθούν τα σφάλματα των μετρήσεων, οι κατανομές, οι αβεβαιότητες και οι βαθμοί ελευθερίας.

1. Ορισμός διαδικασίας μέτρησης
2. Ανάπτυξη του μοντέλου σφάλματος
3. Προσδιορισμός προελεύσεων και δυνάμεων σφαλμάτων
4. Εκτιμώμενες αβεβαιότητες
5. Συνδυασμένες αβεβαιότητες
6. Αποτελέσματα ανάλυσης

### 5.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Στην πρώτη περίπτωση έχουμε το μικρόμετρο IP65 (Εικόνα 5.1) εύρους 0-25 mm με επίπεδο anvil/spindle της Mitutoyo με όρια ανοχής  $\pm 4\mu\text{m}$ . Παρακάτω παρουσιάζονται όλα τα στοιχεία που δίνει ο κατασκευαστής του μικρομέτρου (Πίνακας 5.0). Το ονομαστικό πλάτος των πλακιδίων που χρησιμοποιούμε είναι 1mm, 5mm, 10mm, 15mm και 20mm. Πραγματοποιήθηκαν 60 μετρήσεις (Πίνακας 5.1). Στην συνέχεια αναφέρονται αναλυτικά οι πειραματικές πράξεις για το πρότυπο πλακίδιο πλάτους 1mm.

**Πίνακας 5.0** Χαρακτηριστικά κατασκευαστή για μικρόμετρο A

Digital/Analog	Digital
Inch-Metric	Metric
Range	0-25mm
Maximum Permissible Error	$\pm 4\mu\text{m}$
Flatness	0,6 $\mu\text{m}$
Parallelism	3 $\mu\text{m}$



Εικόνα 5.0: Πρότυπα πλακίδια



Εικόνα 5.1: Μικρόμετρο Α



**Εικόνα 5.2:** Μικρόμετρο Β



**Εικόνα 5.3:** Μικρόμετρο Γ

**Πίνακας 5.1** Μετρήσεις πρότυπου πλακιδίου με πλάτους 1 (mm) σε 60 επαναλήψεις.

Πρότυπο μέγεθος	1mm					
	A/α	Μέτρηση	A/α	Μέτρηση	A/α	Μέτρηση
1		1,001	21	1,002	41	1,004
2		1	22	1,002	42	1,002
3		1,008	23	1,003	43	1,004
4		1,004	24	1,003	44	1,002
5		1,003	25	1,001	45	1,005
6		1,003	26	1,002	46	1,001
7		1,005	27	1,002	47	1,009
8		1,005	28	1,002	48	1
9		1,006	29	1,003	49	1,001
10		1	30	1,003	50	1,001
11		1,003	31	1,006	51	1,001
12		1,001	32	1,003	52	1,001
13		1,002	33	1,002	53	1,001
14		1,006	34	1,005	54	1,002
15		1,004	35	1,002	55	1,002
16		1,006	36	1,002	56	1,002
17		1,003	37	1,003	57	1,001
18		1,003	38	1	58	1,003
19		1,003	39	1,002	59	1,003
20		1,003	40	1,001	60	1,005

Τα πρότυπα πλακίδια έχουν από τον κατασκευαστή θερμοκρασία αναφοράς στους 20°C, βαθμό ανοχής grade 1 . Τα αποτελέσματα της ανάλυσης αβεβαιότητας αποτελούν τον προσδιορισμό της ικανότητας του μικρόμετρου να ακολουθεί τις προδιαγραφές από τον κατασκευαστή ορίων ανοχής.

Υπάρχουν 4 κλάσεις ανοχής. Αυτές είναι οι 00, 0, 1 και 2. Πιο αναλυτικά οι βαθμοί ανοχής:

**Βαθμός 2:** Αυτός είναι ο μετρητής ολίσθησης ποιότητας εργαστηρίου. Οι τυπικές λειτουργίες περιλαμβάνουν τη ρύθμιση εργαλειομηχανών, κοπτικών φρεζαρίσματος κ.α. στον χώρο του εργαστηρίου.

**Βαθμός 1:** Αυτός ο βαθμός εφαρμόζεται στις αίθουσες εργαλείων για τη ρύθμιση ημιτονοειδών ράβδων, δεικτών κλήσης, βαθμονόμησης Vernier, οργάνων μικρομέτρων κ.α.

Βαθμός 0: Πρόκειται για μετρητή ολίσθησης βαθμού επιθεώρησης. Περιορισμένα άτομα θα έχουν πρόσβαση σε αυτό τον μετρητή ολίσθησης και λαμβάνεται μεγάλη μέριμνα για την προστασία του από την σκληρή χρήση.

Βαθμός 00: Αυτό το σετ διατηρείται στην αίθουσα προτύπων και χρησιμοποιείται μόνο για επιθεώρηση / βαθμονόμηση υψηλής ακρίβειας. Χρησιμοποιείται επίσης για τον έλεγχο της ακρίβειας του συνεργείου και των μετρητών ολίσθησης βαθμού 1.

Για τη βαθμονόμηση του μικρομέτρου χρησιμοποιήθηκε το σετ πρότυπων πλακιδίων κλάσης 1. Οι προδιαγραφές ανοχής για πρότυπα πλακίδια κλάσης 1 παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.2 που δημοσιεύεται από τον κατασκευαστή.

**Πίνακας 5.2** Ανοχή για μήκος, επιπεδότητα και παραλληλισμό.

Nominal length (mm)	Grade 1		
	Ανοχή μήκους	Παραλληλισμός	Επιπεδότητα
0-10 mm	±0,25μm	0.16μm	0.15μm
10-25mm	±0,30μm	0.16μm	0.15μm
25-50mm	±0,40μm	0.18μm	0.15μm
50-75mm	±0,50μm	0.18μm	0.15μm
75-100mm	±0,60μm	0.20μm	0.15μm

### 5.1.1 Προδιαγραφές μικρομέτρου

Όπως αναφέρεται από το εγχειρίδιο του μικρομέτρου οι προδιαγραφές του κατασκευαστή αναφέρει πως η ψηφιακή ανάλυση είναι 1 μm και έχει όρια σφάλματος (ανοχή) ± 4 μm.

## 5.2 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ

Πρώτο βήμα για την ανάπτυξη του μοντέλου σφάλματος είναι να υπολογιστεί η μέση τιμή μήκους. Το βασικό μετρούμενο μοντέλο μήκους  $x$  ορίζεται ως:

$$x = x_{true} + \varepsilon_x \quad (5.1)$$

Όπου

$x_{true}$ : η αληθής τιμή μήκους

$\varepsilon_x$ : το συνολικό σφάλμα μέτρησης μήκους

Τα σφάλματα της ανάλυσης μας προέρχονται από τους παρακάτω παράγοντες:

1. Πόλωση στην τιμή του μήκους του προτύπου πλακιδίου 1 mm,  $\varepsilon_{Gbias}$ .
2. Σφάλμα που σχετίζεται με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις,  $\varepsilon_{ran}$ .
3. Σφάλμα που σχετίζεται με την ψηφιακή ανάλυση του μικρομέτρου,  $\varepsilon_{Mres}$ .
4. Πόλωση χειριστή κατά τη διαδικασία μέτρησης,  $\varepsilon_{op}$ .
5. Σφάλματα που οφείλονται στη θερμική διαστολή του προτύπου πλακιδίων και του μικρομέτρου,  $\varepsilon_{env}$ .

Επομένως κάνοντας την υπόθεση πως τα παραπάνω σφάλματα είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους και με βάση τον κανόνα μετάδοσης σφαλμάτων συμπεραίνουμε πως για να βρεθεί το συνολικό σφάλμα πρέπει να υπολογιστεί η παρακάτω σχέση:

$$u_{ex} = \sqrt{u_{Gbias}^2 + u_{x,ran}^2 + u_{Mres}^2 + u_{op}^2 + u_{env}^2} \quad (5.2)$$

Γενικά, εάν μια κατανομή σφάλματος έχει κεντρική τάση και τα όρια σφάλματος είναι συμμετρικά, τότε εφαρμόζεται η κανονική κατανομή. Εάν τα όρια σφάλματος δεν είναι συμμετρικά η λογαριθμική ή άλλη ασύμμετρη κατανομή μπορεί να είναι πιο εφαρμόσιμη.

### 5.3 ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΕΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΕΣ

Η αβεβαιότητα σε κάθε πηγή σφάλματος με εξαίρεση την επαναληψιμότητα ή το τυχαίο σφάλμα εκτιμάται από τα όρια συγκράτησης,  $\pm L$ , πιθανότητα περιορισμού,  $p$  και την αντίστροφη συνάρτηση κατανομής σφαλμάτων,  $F^{-1}(p)$ , όπως φαίνεται στην εξίσωση:

$$u = \frac{L}{F^{-1}(p)} \quad (5.3)$$

Δεδομένα προδιαγραφών κατασκευαστή περιλαμβάνουν όρια  $\pm$  για πηγές σφάλματος που επηρεάζουν τις επιδόσεις των μετρήσεων και των δοκιμών του εξοπλισμού. Πληροφορίες σχετικά με το επίπεδο αξιοπιστίας που σχετίζεται με αυτά τα όρια προδιαγραφών ή την υπάρχουσα κατανομή σφαλμάτων δεν παρέχονται συχνά.

Ο κατασκευαστής θα πρέπει να είναι διαθέσιμος για πρόσθετες πληροφορίες και διευκρινίσεις. Εάν αυτές οι πληροφορίες δεν ληφθούν, τότε θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν εναλλακτικές πηγές, συμπεριλαμβανομένων την εμπειρία και καλύτερη κρίση.

Η αβεβαιότητα σε μια μέτρηση είναι η τετραγωνική ρίζα της διακύμανσης του σφάλματος μέτρησης. Θεωρούμε ότι τα σφάλματα μήκους, επιπεδότητας και παραλληλισμού είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους.

Επομένως ισχύει

$$u_{\text{Gbias}} = \sqrt{\text{var}(\varepsilon_{\text{bias}})} = \sqrt{u_{\text{length}}^2 + u_{\text{flatness}}^2 + u_{\text{parallelism}}^2 + 2 \rho_{l,f,p} \times u_l u_f u_p} \quad (5.3)$$

Τα όρια σφάλματος ανοχής μήκους για τα πρότυπα κεραμικά πλακίδια βαθμού 1 με ονομαστικό μήκος μικρότερο από 10 mm στους 20°C είναι  $\pm 0,25 \mu\text{m}$ . Της επιπεδότητας, του παραλληλισμού και του μήκους σύμφωνα με τον κατασκευαστή είναι 0,15  $\mu\text{m}$ , 0,16  $\mu\text{m}$  και 0,25  $\mu\text{m}$  αντίστοιχα.

Εμπειρικά γνωρίζουμε ότι οι προδιαγραφές των πλακιδίων αντιπροσωπεύουν συνήθως υψηλή ανοχή ή πιθανότητα περιορισμού. Στην ανάλυση μας, θα υποθέσουμε ότι μια πιθανότητα περιορισμού 99% ισχύει και για τις τρεις πηγές σφαλμάτων.

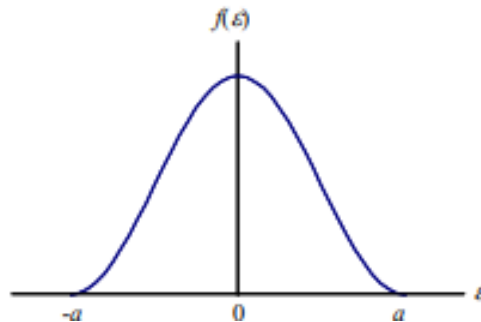


### 5.3.1 Επιμέρους σφάλματα ανοχής των πρότυπων πλακιδίων βαθμονόμησης

Τα σφάλματα ανοχής των πλακιδίων βαθμονόμησης αποτελούνται από την ανοχή του πλάτους, την ανοχή επιπεδότητας και την ανοχή επαναληψιμότητας. Για τον υπολογισμό της αβεβαιότητας στο σφάλμα ανοχής,  $u_{tol}$ , αναφερόμαστε στο διάγραμμα κανονικής λογαριθμικής κατανομής αφού τα όρια  $\pm 0,25 \mu m$  που μας δίνει ο κατασκευαστής (πίνακας 5.2) είναι συμμετρικά. πιθανότητα περιορισμού 99% έχουμε.

$$u_{Gbias} = \sqrt{u_{tol}^2 + u_f^2 + u_p^2}$$

**Διάγραμμα 5.1:** Διάγραμμα Κανονικής Κατανομής.



Επομένως:

$$u_{tol} = \frac{0,25 \mu m}{\Phi^{-1}\left(\frac{1+0,99}{2}\right)} = 0,097 \mu m \quad (5.4)$$

Ομοίως η αβεβαιότητα που οφείλεται στην επιπεδότητα σύμφωνα με τον κατασκευαστή έχει όρια ανοχής επιπεδότητας 0,15μm με πιθανότητα περιορισμού 99%, και έτσι:

$$u_f = \frac{0,15 \mu m}{\Phi^{-1}\left(\frac{1+0,99}{2}\right)} = 0,058 \mu m \quad (5.5)$$

Η αβεβαιότητα που οφείλεται στον παραλληλισμό σύμφωνα με τον κατασκευαστή έχει όρια ανοχής παραλληλισμού 0,16μm με πιθανότητα περιορισμού 99%, και άρα:

$$u_p = \frac{0,16 \mu m}{\Phi^{-1}\left(\frac{1+0,99}{2}\right)} = 0,062 \mu m \quad (5.6)$$

### Συνολικό σφάλμα ανοχής των πλακιδίων βαθμονόμησης

Τα παραπάνω σφάλματα ανοχής μήκους, επιπεδότητας και παραλληλισμού είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους και ως εκ τούτου, η πλήρης αβεβαιότητα υπολογίζεται ότι είναι:

$$u_{Gbias} = \sqrt{(0,097\mu m)^2 + (0,058\mu m)^2 + (0,062\mu m)^2} = 0,1291 \mu m \sim \mathbf{0,13 \mu m}$$

### 5.4 ΣΦΑΛΜΑ ΕΠΑΝΑΛΗΨΙΜΟΤΗΤΑΣ (ΤΥΧΑΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ)

Η αβεβαιότητα στην επαναληψιμότητα ή το τυχαίο σφάλμα στ' η μέτρηση μήκους ορίζεται από τις επαναλαμβανόμενες μετρήσεις.

$$u_{x_{ran}} = \frac{s_x}{\sqrt{n}} \quad (5.7)$$

Η αβεβαιότητα λόγω επαναληψιμότητας είναι ίση με την τυπική απόκλιση των δειγματοληπτικών δεδομένων. Είναι στην πράξη ένας υπολογισμός αβεβαιοτήτων τύπου A Ισχύει :

$$s_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (5.8)$$

Όπου το  $\bar{x}$  η μέση τιμή των μετρήσεων και  $x_i$  η κάθε  $i^{\text{th}}$  μέτρηση

$$\bar{x} = \frac{1}{n} (x_1 + x_2 + \dots + x_n) \quad (5.9)$$

Η μέση τιμή μετρήσεων του μήκους στην ανάλυση μας είναι

$$\bar{x} = 1,0028 \text{mm} = \mathbf{1003 \mu m}$$

Υπολογίζοντας τις διαφορές μεταξύ τιμών  $i$  και μέσης τιμής καταλήγουμε στην αβεβαιότητα επαναληψιμότητας και από την σχέση (5.8) έχουμε::

$$s_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \times (x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2} \rightarrow$$

$$s_x = 0,002mm = 2 \mu m$$

Η αβεβαιότητα επαναληψιμότητας είναι η τυπική απόκλιση της μέσης τιμής είναι η οποία είναι

$$(5.7) \rightarrow u_{x_{ran}} = \frac{s_x}{\sqrt{1}} = \frac{2\mu m}{\sqrt{1}} = 1,9 \mu m$$

Δεδομένου ότι η μέση τιμή είναι η ποσότητα που ενδιαφέρει αυτή την ανάλυση, το  $x_{ran}$  θα πρέπει να συμπεριληφθεί στο εκτίμηση συνολικής αβεβαιότητας.

### 5.3.2 Σφάλμα ψηφιακής ανάλυσης του οργάνου

Για να εκτιμήσουμε την αβεβαιότητα λόγω σφάλματος ανάλυσης, σημειώνουμε ότι το μικρόμετρο έχει ψηφιακή ανάγνωση με ανάλυση  $\pm 1 \mu m$ . Θεωρούμε ότι το σφάλμα ανάλυσης κατανέμεται ομοιόμορφα και έχει όρια περιορισμού  $\pm 0,5\mu m$  με 100% πιθανότητα περιορισμού. Σε αυτή την περίπτωση θα χρησιμοποιηθεί η τετραγωνική κατανομή και έτσι η αβεβαιότητα θα είναι:

$$u_{res} = \frac{0,5}{\sqrt{3}} = 0,289 \mu m \quad (5.10)$$

### 5.3.3 Πόλωση του παρατηρητή

Η αβεβαιότητα που προκύπτει από τον τρόπο που ο χειριστής χρησιμοποιεί το μικρόμετρο για να μετρήσει το μήκος του πλακιδίου λαμβάνεται υπόψιν στο σφάλμα επαναληψιμότητας που υπολογίσαμε παραπάνω. Ενδεχομένως όμως ο χειριστής λόγω του τρόπου με τον οποίο ο χειριστής τοποθετεί το πλακίδιο στο μικρόμετρο και την δύναμης σύσφιξης που ασκεί σε αυτό να προσθέτει συστηματικό σφάλμα στη μέτρηση.

Δεν μπορούμε όμως να γνωρίζουμε το μέγεθος του παραπάνω συστηματικού σφάλματος του χειριστή, οπότε θεωρούμε ότι είναι κανονικά κατανεμημένη πηγή σφάλματος. Για να εκτιμήσουμε την αβεβαιότητα στην πόλωση του χειριστή, θα υποθέσουμε όρια περιορισμού που βασίζονται στο ήμισυ της ανάλυσης του οργάνου (που είναι  $1 \mu m$ ), με πιθανότητα περιορισμού 90%.

Επομένως έχουμε:

$$u_{op} = \frac{0.5}{\phi^{-1}\left(\frac{1+0.90}{2}\right)} = 0,304 \mu m \quad (5.11)$$

### 5.3.4 Σφάλμα περιβαλλοντικών παραγόντων

Για αυτήν την πηγή σφάλματος, μας ενδιαφέρει να προσδιορίσουμε την αβεβαιότητα στη μέτρηση μήκους λόγω επιδράσεων θερμικής διαστολής. Σε αυτή την περίπτωση, πρέπει να εξετάσουμε τη θερμική διαστολή του πλακιδίου. Πρέπει επίσης να λάβουμε υπόψη την αβεβαιότητα στην ένδειξη της θερμοκρασίας και την αβεβαιότητα στους συντελεστές διαστολής. Η αλλαγή στη μέτρηση μήκους,  $\Delta x$ , λόγω της απόκλισης της θερμοκρασίας από την ονομαστική θερμοκρασία των  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , προκύπτει από τη διαστολή (ή συστολή) του πλακιδίου.

Ισχύει:

$$\Delta x = x_{nom} \times \alpha_g \times \Delta T \quad (5.12)$$

Όπου

$x_{nom}$  = το ονομαστικό μήκος μέτρησης στους  $20 \text{ }^\circ\text{C}$

$\alpha_g$  = συντελεστής διαστολής κεραμικού πλακιδίου από τον κατασκευαστή =  $9.3 \pm 0.5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

$\Delta T = 23^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} = 3^\circ\text{C}$

Επομένως η σχέση (5.12):

$$\Delta_x = 1\text{mm} \times (9,3 \times 10^{-6}) \times 3^\circ\text{C} = 0,0000279 \text{ mm} = 0,0279 \mu m$$

### Μετάδοση Σφάλματος

Στον παραπάνω υπολογισμό έχουμε σφάλματα λόγω της αβεβαιότητας στον συντελεστή διαστολής και της αβεβαιότητας στην μέτρηση της θερμοκρασίας στον περιβάλλοντα χώρο. Οι συντελεστές,  $c_g$ ,  $c_m$  και  $c_{\Delta T}$  είναι συντελεστές ευαισθησίας που καθορίζουν τη σχετική συμβολή αυτών των αβεβαιοτήτων στο συνολικό σφάλμα. Οι συντελεστές ευαισθησίας ορίζονται ως:

$$c_g = \frac{\partial \Delta x}{\partial a_g} = x_{\text{nom}} \Delta T \quad (5.13)$$

$$c_m = \frac{\partial \Delta x}{\partial \alpha_m} = -x_{\text{nom}} \Delta T \quad (5.14)$$

$$c_{\Delta T} \frac{\partial \Delta x}{\partial \Delta T} = x_{\text{nom}} (a_g) \quad (5.15)$$

Επομένως το σφάλμα αβεβαιότητας μήκους εκφράζεται ως :

$$u_{\epsilon_{\Delta x}} = \sqrt{c_g^2 u_{\epsilon_g}^2 + c_m^2 u_{\epsilon_{\alpha_m}}^2 + c_{\Delta T}^2 u_{\epsilon_{\Delta T}}^2} \quad (5.16)$$

Η κατάλληλη κατανομή πιθανότητας για το σφάλμα θερμοκρασίας και τον συντελεστή διαστολής σφάλματα είναι η κανονική κατανομή. Ως εκ τούτου, οι σχετικές αβεβαιότητες μπορούν να εκτιμηθούν από τα όρια συγκράτησης, την πιθανότητα συγκράτησης και την αντίστροφη συνάρτηση κανονικής κατανομής. Σε αυτή την ανάλυση, θα υποθέσουμε 95% πιθανότητα περιορισμού και για τις τρεις πηγές σφάλματος.

Η αβεβαιότητα στο σφάλμα θερμοκρασίας εκτιμάται από την πιθανότητα περιορισμού 95% της τιμής  $\pm 0,2^\circ\text{C}$ .

$$u_{\epsilon_{\Delta T}} = \frac{0,2^\circ\text{C}}{\Phi^{-1} \times \left( \frac{1+0,95}{2} \right)} = 0,10^\circ\text{C} \quad (5.17)$$

Η αβεβαιότητα στον συντελεστή διαστολής των πρότυπων πλακιδίων σύμφωνα με το ANSI/ASME εκτιμάται  $\pm 1 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$  όρια περιορισμού και πιθανότητα περιορισμού 95%.

$$u_{\epsilon_g} = \frac{1 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}}{\Phi^{-1} \left( \frac{1+0,95}{2} \right)} = 0,5102 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \quad (5.18)$$

Η αβεβαιότητα στον συντελεστή διαστολής του μικρομέτρου δεν χρειάζεται στην ανάλυση μας σύμφωνα με τον κατασκευαστή επομένως  $u_{\varepsilon_m} = 0$

Από τις σχέσεις (5.13),(5.14),(5.15)

Οι συντελεστές ευαισθησίας είναι:

$$c_g = 1 \text{ mm} \times 3^\circ\text{C} = 30 \text{ mm} \cdot ^\circ\text{C} = 3000 \text{ } \mu\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$c_{\Delta T} = 1 \text{ mm} \times 9,3 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C} = 0,0093 \text{ } \mu\text{m}/^\circ\text{C}$$

Άρα η αβεβαιότητα σφάλματος μήκους υπολογίζεται

$$\begin{aligned} (5.16) \rightarrow u_{\varepsilon_{\Delta x}} &= \sqrt{c_g^2 u_{\varepsilon_g}^2 + c_m^2 u_{\varepsilon_{\alpha m}}^2 + c_{\Delta T}^2 u_{\varepsilon_{\Delta T}}^2} = \\ &= \sqrt{(3 \times 10^3)^2 \times (0,5102 \times 10^{-6})^2 + (0,0093)^2 \times 0,10^2} = 0,00158 \text{ } \mu\text{m} \end{aligned}$$

Ισχύει ότι  $u_{\text{env}} = u_{\varepsilon_{\Delta x}} = 0,00158 \text{ } \mu\text{m}$

## 5.5 ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΕΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΕΣ

Δεν πρέπει να υπάρχουν συσχετισμοί μεταξύ σφαλμάτων της διαδικασίας μέτρησης, οπότε η αβεβαιότητα στη μέτρηση μήκους μπορεί να εκφραστεί ως

$$u_{\text{ex}} = \sqrt{u_{G_{\text{bias}}}^2 + u_{x,\text{ran}}^2 + u_{M_{\text{res}}}^2 + u_{op}^2 + u_{\text{env}}^2} \quad (5.19)$$

Επομένως η αβεβαιότητα στη μέτρηση του μέσου μήκους υπολογίζεται :

$$u_{\text{ex}} = \sqrt{0,1291^2 + 1,9^2 + 0,289^2 + 0,304^2 + 0,00158^2} = 1,95 \text{ } \mu\text{m}$$

Οι πραγματικοί βαθμοί ελευθερίας,  $\nu_{\text{eff}}$ , για τη συνδυασμένη αβεβαιότητα μπορούν να εκτιμηθούν με τον παρακάτω τύπο

$$v_{\text{eff}} = \frac{u_{\text{ex}}^4}{\frac{u_{\text{bias}}^4}{v_{\text{bias}}} + \frac{u_{\text{x,ran}}^4}{v_{\text{x,ran}}} + \frac{u_{\text{Mres}}^4}{v_{\text{op}}} + \frac{u_{\text{env}}^4}{v_{\text{env}}} + \frac{u_{\text{op}}^4}{v_{\text{uop}}}}$$

$$v_{\text{eff}} = \frac{u_{\text{ex}}^4}{\frac{u_{\text{bias}}^4}{\infty} + \frac{u_{\text{x,ran}}^4}{59} + \frac{u_{\text{Mres}}^4}{\infty} + \frac{u_{\text{env}}^4}{\infty} + \frac{u_{\text{op}}^4}{\infty}} = 59 \times \frac{u_{\text{ex}}^4}{u_{\text{x,ran}}^4} \quad (5.20)$$

Οι βαθμοί ελευθερίας για τη συνδυασμένη αβεβαιότητα υπολογίζονται ως

$$v_{\text{eff}} = 59 \times \frac{u_{\text{ex}}^4}{u_{\text{x,ran}}^4} = 59 \times \frac{1,95^4}{1,90^4} = 65$$

Από τον Πίνακα 2.2 του συντελεστή κάλυψης  $k$  έχουμε ότι για βαθμούς ελευθερίας 65 και για επίπεδο εμπιστοσύνης 99.7%:

$$k=3,16$$

$$\text{Επομένως } U = k \times u_{\text{ex}} = 3,16 \times 1,95 = 6,162 \mu\text{m}$$

## 5.6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Έχουν ληφθεί όλες οι αβεβαιότητες μέτρησης που σχετίζονται με τη διαδικασία βαθμονόμησης μικρομέτρων και τα αποτελέσματα της ανάλυσης μπορούν πλέον να αξιολογηθούν. Στη βαθμονόμηση, η ανάλυση αβεβαιότητας είναι σημαντικό για δύο βασικούς λόγους. Πρώτον, για τον εντοπισμό υπερβολικών αβεβαιοτήτων λόγω πηγών σφάλματος στη διαδικασία μέτρησης. Δεύτερον, για την κοινοποίηση της ποσότητας ενδιαφέροντος και των σχετικών με αυτήν αβεβαιότητα ή να αποφασίσει εάν η ποσότητα είναι ανεκτή.

Μέση μετρούμενη τιμή και συνδυασμένη αβεβαιότητα

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η ποσότητα ενδιαφέροντος είναι η μέση μέτρηση μήκους σε 20°C. Σε αυτή την ανάλυση, η μέτρηση μέσου μήκους στους 20 °C υπολογίζεται ότι είναι:

$$x = \bar{x} - \Delta_x = 1,0028 \text{ mm} - 0,0000279 \text{ mm} = 1002,8 \mu\text{m} - 0,0279 \mu\text{m} = \mathbf{1002,7 \mu\text{m}}$$

**Επομένως το αποτέλεσμα της μέτρησης αβεβαιότητας της μέτρησης που μετρήσαμε το πάχος του πλακιδίου με αναγωγή στους 20 ° C είναι:**

$$x \pm U = 1002,7 \mu\text{m} \pm 6,162 \mu\text{m} \text{ ή } 0,6\%$$

Τα σφάλματα της διαδικασίας μέτρησης, οι κατανομές, οι αβεβαιότητες και οι βαθμοί ελευθερίας συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα 5.3.

**Πίνακα 5.3** Σφάλματα της διαδικασίας μέτρησης, κατανομές, αβεβαιότητες και βαθμοί ελευθερίας.

Πηγή	Όρια	Πιθανότητα	Κατανομή	Πρότυπο Αβεβαιότητας	Τύπος	Βαθμοί ελευθερίας
Πόλωση	$\pm 0,25$	99.00	Normal	0,1291 $\mu\text{m}$	B	$\infty$
Επαναληψιμότητα				0,26 $\mu\text{m}$	A	59
Ανάλυση μικρομέτρου	$\pm 0,5$	100.00	Uniform	0,289 $\mu\text{m}$	B	$\infty$
Πόλωση χειριστή	$\pm 0,5$	90.00	Normal	0,304 $\mu\text{m}$	B	$\infty$
Περιβαλλοντικός Παράγοντας	$\pm 0,5\% \pm 0,1$	95.00	Normal	0,00865 $\mu\text{m}$	B	$\infty$

Στην συνέχεια αναγράφονται περιληπτικά οι μετρήσεις και τα αποτελέσματα ανάλυσης των υπόλοιπων πλακιδίων για το μικρόμετρο A με όρια ανοχής  $\pm 4 \mu\text{m}$  αλλά και για το μικρόμετρο B με όρια ανοχής  $\pm 1 \mu\text{m}$  και το μικρόμετρο Γ με όρια ανοχής  $\pm 1 \mu\text{m}$

Ανάλυση ψηφιακού μικρομέτρου A , 0-25 mm εύρους, με όρια ανοχής  $\pm 4 \mu\text{m}$ . Με το μικρόμετρο αυτό πραγματοποιήθηκαν 60 μετρήσεις για κάθε πρότυπο κεραμικό πλακίδιο ονομαστικού μήκους 5 mm, 15 mm και 20 mm.



**Πίνακας 5.4** Μετρήσεις πρότυπου πλακιδίου με πλάτους 5 mm σε 60 επαναλήψεις με το μικρόμετρο Α.

Πρότυπο μέγεθος	5mm				
	A/α	Μέτρηση	A/α	Μέτρηση	A/α
1	5,001	21	5,008	41	5
2	5,004	22	5,003	42	5,001
3	5	23	5,009	43	5,004
4	5,013	24	5,003	44	5,007
5	5,011	25	4,998	45	5,002
6	5,003	26	4,99	46	4,998
7	5,005	27	5,002	47	5,005
8	5,003	28	4,989	48	5,004
9	5,006	29	5,007	49	5,001
10	5,003	30	5,004	50	5,013
11	5,012	31	5,01	51	5,012
12	4,994	32	5	52	5,002
13	5,001	33	5,002	53	5,007
14	5,009	34	5,001	54	5,013
15	5,013	35	4,998	55	5,008
16	5	36	4,995	56	5,007
17	5,002	37	5,002	57	5,012
18	5,005	38	5,012	58	5,003
19	5,002	39	5,004	59	5
20	4,999	40	5,001	60	5,008

**Πίνακας 5.5** Μετρήσεις πρότυπου πλακιδίου με πλάτους 15 mm σε 60 επαναλήψεις με το μικρόμετρο Α.

Πρότυπο μέγεθος	15mm				
	A/α	Μέτρηση	A/α	Μέτρηση	A/α
1	15,005	21	15,001	41	15,005
2	15,013	22	15,009	42	15,006
3	15,013	23	14,988	43	15,003
4	15,012	24	15,004	44	15,008
5	15,011	25	15,007	45	15,004
6	15,004	26	15,01	46	15,005
7	15,008	27	15,01	47	15,005
8	15,027	28	15,006	48	15,006
9	15,02	29	15,008	49	14,998
10	15,013	30	15,009	50	15,004
11	15,007	31	15,005	51	15,006
12	15,006	32	15,007	52	15,005
13	15,006	33	15,009	53	15,007
14	15,013	34	15,005	54	15,002
15	15,006	35	15,002	55	15,011
16	14,997	36	15,008	56	15,009
17	15,013	37	15,01	57	14,999
18	15,008	38	15,012	58	15,003
19	15,008	39	15,011	59	15,005
20	15,013	40	15,006	60	15,004

**Πίνακας 5.6** Μετρήσεις πρότυπου πλακιδίου με πλάτους 20 mm σε 60 επαναλήψεις με το μικρόμετρο Α.

Πρότυπο μέγεθος	20 mm					
	A/α	Μέτρηση	A/α	Μέτρηση	A/α	Μέτρηση
1		20,002	21	20,002	41	20
2		19,999	22	20,001	42	20,001
3		20	23	20,001	43	20,002
4		20,006	24	20	44	20
5		20,005	25	20,002	45	19,997
6		20,005	26	20	46	19,992
7		20,012	27	20,001	47	19,999
8		20,011	28	20,005	48	20,005
9		20,005	29	20,001	49	19,997
10		20,006	30	20,001	50	19,999
11		20,008	31	20	51	20,007
12		20,005	32	20	52	20
13		20,006	33	20,003	53	20,004
14		20,005	34	19,996	54	20,002
15		20,001	35	20	55	20,011
16		20	36	20,004	56	20,001
17		19,999	37	20,003	57	20,002
18		19,998	38	19,999	58	20,001
19		20	39	20,005	59	20
20		19,999	40	19,998	60	20,008

Στον παρακάτω πίνακα αναγράφονται συγκεντρωτικά όλα τα αποτελέσματα των μετρήσεων για 5 mm, 15 mm, 20 mm του μικρομέτρου A.

**Πίνακας 5.7** Αποτελέσματα μετρήσεων για πρότυπα δοκίμια 5 mm, 15 mm και 20 mm.

	Πλακίδιο	Πλακίδιο	Πλακίδιο
$\mu\text{m}$	5mm	15mm	20mm
$u_{\text{tol}}$	0,097	0,097	0,097
$u_f$	0,058	0,058	0,058
$u_p$	0,062	0,062	0,062
$u_{\text{Gbias}}$	0,129	0,129	0,129
$x$	5003,8	15007,1	20002
$s_x$	5,37	5,43	3,72
$u_{x,\text{ran}}$	5,380	5,432	3,723
$u_{\text{res}}$	0,289	0,289	0,289
$u_{\text{op}}$	0,304	0,304	0,304
$\Delta x$	0,1395	0,4185	0,558
$u_{\text{E}\delta\text{T}}$	0,10	0,010	0,10
$u_{\text{E}\alpha\alpha}$	$5,102 \times 10^{-7}$	$5,102 \times 10^{-7}$	$5,102 \times 10^{-7}$
$u_{\text{E}\alpha\text{m}}$	0	0	0
$c_g$	15,000	45,000	60,000
$c_m$	-15,000	-45,000	-60,000
$c_{\Delta\text{T}}$	0,0465	0,139	0,186
$u_{\text{E}\Delta x}$	0,00385	0,02893	0,02443
$u_{\text{ex}}$	5,398	5,449	3,749
$v_{\text{eff}}$	60	60	60

Επομένως τα αποτελέσματα της ανάλυσης: **5mm**

$$x = \bar{x} - \Delta_x$$

$$x = 5,038 \text{ mm} - 0,0001395 \text{ mm} = 5003,8 \text{ } \mu\text{m} - 0,1395 \text{ } \mu\text{m} = \mathbf{5003,71 \mu\text{m}}$$

$$u_{ex} = \sqrt{u_{Gbias}^2 + u_{ran}^2 + u_{Mres}^2 + u_{op}^2 + u_{env}^2}$$

$$= \sqrt{(0,129)^2 + (5,380)^2 + (0,289)^2 + (0,304)^2 + (0,00385)^2} = 5,398 \text{ } \mu\text{m}$$

$$v_{eff} = 59 \times \frac{u_{ex}^4}{u_{x,ran}^4} = 59 \times \frac{5,398^4}{5,380^4} = 60$$

Για βαθμούς ελευθερίας  $v_{eff} = 60$  και επίπεδο εμπιστοσύνης 99,7% σύμφωνα με τον Πίνακα 2.2 ο συντελεστής κάλυψης είναι  $k=3,16$

$$\text{Άρα } U = k \times u_{ex} = 3,16 \times 5,398 = 17,057 \text{ } \mu\text{m}$$

$$\text{Επομένως : } x \pm U = 5003,71 \text{ } \mu\text{m} \pm 17,057 \text{ } \mu\text{m}$$

### 15mm

$$x = \bar{x} - \Delta_x$$

$$x = 15.0071 \text{ mm} - 0.0004185 \text{ mm} = 15007,1 \text{ } \mu\text{m} - 0,4185 \text{ } \mu\text{m} = \mathbf{15006,6 \mu\text{m}}$$

$$u_{ex} = \sqrt{u_{Gbias}^2 + u_{ran}^2 + u_{Mres}^2 + u_{op}^2 + u_{env}^2}$$

$$= \sqrt{(0,129)^2 + (5,432)^2 + (0,289)^2 + (0,304)^2 + (0,0289)^2} = 5,449 \text{ } \mu\text{m}$$

$$v_{eff} = 59 \times \frac{u_{ex}^4}{u_{x,ran}^4} = 59 \times \frac{5,449^4}{5,432^4} = 60$$

Για βαθμούς ελευθερίας  $v_{eff} = 60$  και επίπεδο εμπιστοσύνης 99,7% σύμφωνα με τον Πίνακα 2.2 ο συντελεστής κάλυψης είναι  $k=3,16$

$$\text{Άρα } U = k \times u_{ex} = 3,16 \times 5,449 = 17,218 \text{ } \mu\text{m}$$

**Επομένως :**  $x \pm U = 15006,6 \mu m \pm 17,218 \mu m$

**20mm**

$$x = \bar{x} - \Delta_x$$

$$x = 20.002\text{mm} - 0.000558 = 20002 \mu\text{m} - 0,558 \mu\text{m} = \mathbf{20001,5 \mu\text{m}}$$

$$u_{ex} = \sqrt{u_{G_{bias}}^2 + u_{ran}^2 + u_{Mres}^2 + u_{op}^2 + u_{env}^2}$$

$$= \sqrt{(0,129)^2 + (3,723)^2 + (0,289)^2 + (0,304)^2 + (0,0244)^2} = 3,749 \mu\text{m}$$

$$v_{eff} = 59 \times \frac{u_{ex}^4}{u_{x,ran}^4} = 59 \times \frac{3,749^4}{3,723^4} = 60$$

Για βαθμούς ελευθερίας  $v_{eff} = 60$  και επίπεδο εμπιστοσύνης 99,7% σύμφωνα με τον Πίνακα 2.2 ο συντελεστής κάλυψης είναι  $k=3,16$

$$\text{Άρα } U = k \times u_{ex} = 3,16 \times 3,749 = 11,846 \mu\text{m}$$

**Επομένως :**  $x \pm u_{bias} = 20001,5 \mu\text{m} \pm 11,846 \mu\text{m}$

Στην συνέχεια με την ίδια διαδικασία έχουμε τα αποτελέσματα της ανάλυσης για το μικρόμετρο B με όρια ανοχής  $\pm 1\mu\text{m}$ . Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο του εργοστασίου με θερμοκρασία  $23^\circ\text{C}$  ακολουθώντας τις πρότυπες διαδικασίες των μετρήσεων.

Έγιναν 30 επαναληπτικές μετρήσεις για κάθε πρότυπο κεραμικό πλακίδιο μήκους 1mm, 5mm και 10mm.

**Πίνακας 5.8** Μετρήσεις δοκιμίου 1mm ,5mm και 10mm με το μικρόμετρο Β.

	Πρότυπη διάμετρο ς	Πρότυπη διάμετρο ς	Πρότυπη διάμετρο ς		Πρότυπη διάμετρο ς	Πρότυπη διάμετρο ς	Πρότυπη διάμετρο ς
A/α	1mm	5mm	10mm	A/α	1mm	5mm	10mm
1	1,012	5,005	10,004	16	1,003	4,996	10,007
2	1,007	5,011	10,001	17	1,005	5,001	10,001
3	1,008	5,005	9,999	18	1,006	5,013	10,011
4	1,001	5,002	10	19	1,001	5,003	10,001
5	1,004	5,011	9,996	20	1,007	5,001	10,007
6	1,003	5,006	10,006	21	1,007	5,006	10,004
7	1,006	5,004	10,002	22	1,012	4,996	10,001
8	1,004	5,002	10	23	1,011	5	10,009
9	1,006	5,001	10,008	24	1,008	5,004	9,999
10	0,995	4,999	10,004	25	1,011	5,002	9,998
11	1,004	5,009	10,005	26	1,001	4,998	10,005
12	1,005	5,006	10,006	27	1,006	4,994	10,001
13	0,998	5,004	9,998	28	1,007	4,985	10,008
14	1,008	5,001	10,009	29	1,009	4,992	10
15	1,004	4,996	9,997	30	1,007	5,008	10

Στον παρακάτω πίνακα αναγράφονται συγκεντρωτικά όλα τα αποτελέσματα των μετρήσεων για 1mm, 5mm και 10mm από το μικρόμετρο Β.

**Πίνακας 5.9** Αποτελέσματα μετρήσεων για πρότυπα δοκίμια 1mm,5mm και 10mm.

	Πλακίδιο	Πλακίδιο	Πλακίδιο
μm	1mm	5mm	10mm
$u_{tol}$	0,097	0,097	0,097
$u_f$	0,058	0,058	0,058
$u_p$	0,062	0,062	0,062
$u_{Gbias}$	0,129	0,129	0,129
$x$	10005,5	5002,03	10002,9
$s_x$	3,883	5,991	4,03
$u_{x,ran}$	3,884	5,991	4,029
$u_{res}$	0,289	0,289	0,289
$\Delta x$	0,0279	0,1395	0,279
$u_{E\delta T}$	0,10	0,10	0,10
$u_{εaq}$	$5,102 \times 10^{-7}$	$5,102 \times 10^{-7}$	$5,102 \times 10^{-7}$
$u_{εam}$	0	0	0
$C_g$	3,000	15,000	30,000
$C_m$	-3,000	-15,000	-30,000
$C_{\Delta T}$	0,0115	0,0465	0,093
$u_{\epsilon \Delta x}$	0,00122	0,00610	0,01219
$u_{ex}$	3,909	6,007	4,053
$v_{eff}$	30	30	30
$x$	1005,50	5001,89	10002,62

Επομένως τα αποτελέσματα της ανάλυσης:

**1mm**

$$x = \bar{x} - \Delta_x$$

$$x = 1,0055 \text{ mm} - 0,0000279 \text{ mm} = 1005,5\mu\text{m} - 0,0279\mu\text{m} = \mathbf{1005,5\mu\text{m}}$$



$$u_x = \sqrt{u_{Gbias}^2 + u_{ran}^2 + u_{Mres}^2 + u_{op}^2 + u_{env}^2}$$

$$= \sqrt{(0,129)^2 + (3,884)^2 + (0,289)^2 + (0,304)^2 + (0,00122)^2} = 0,834\mu m$$

$$v_{eff} = 29 \times \frac{u_{ex}^4}{u_{x,ran}^4} = 29 \times \frac{3,909^4}{3,884^4} = 30$$

Για βαθμούς ελευθερίας  $v_{eff} = 30$  και επίπεδο εμπιστοσύνης 99.7% σύμφωνα με τον Πίνακα 2.2 ο συντελεστής κάλυψης είναι  $k=3,27$

$$\text{Άρα } U = k \times u_{ex} = 3,27 \times 3,909 = 12,782\mu m$$

**Επομένως :**  $x \pm u_{bias} = 10005,5 \mu m \pm 12,782\mu m$

**5mm**

$$x = \bar{x} - \Delta_x$$

$$x = 5,00203 \text{ mm} - 0,0001395 \text{ mm} = 5002,03\mu m - 0,1395 = \mathbf{5001,9\mu m}$$

$$u_x = \sqrt{u_{Gbias}^2 + u_{ran}^2 + u_{Mres}^2 + u_{op}^2 + u_{env}^2}$$

$$= \sqrt{(0,129)^2 + (5,991)^2 + (0,289)^2 + (0,304)^2 + (0,00610)^2} = 6,007\mu m$$

$$v_{eff} = 29 \times \frac{u_{ex}^4}{u_{x,ran}^4} = 29 \times \frac{6,007^4}{5,991^4} = 30$$

Για βαθμούς ελευθερίας  $v_{eff} = 30$  και επίπεδο εμπιστοσύνης 99.7% σύμφωνα με τον Πίνακα 2.2 ο συντελεστής κάλυψης είναι  $k=3,27$

$$\text{Άρα } U = k \times u_{ex} = 3,27 \times 6,007 = 19,642\mu m$$

**Επομένως :**  $x \pm u_{bias} = 5001,9 \mu m \pm 19,642 \mu m$

**10mm**

$$x = 10,0029 \text{ mm} - 0,000279 \text{ mm} = 10002,9\mu m - 0,279\mu m = \mathbf{10002,6\mu m}$$

$$u_x = \sqrt{u_{Gbias}^2 + u_{ran}^2 + u_{Mres}^2 + u_{op}^2 + u_{env}^2}$$

$$= \sqrt{(0,129)^2 + (4,029)^2 + (0,289)^2 + (0,304)^2 + (0,01219)^2} = 4,053$$

$$v_{eff} = 29 \times \frac{u_{ex}^4}{u_{x,ran}^4} = 29 \times \frac{4,053^4}{4,029^4} = 30$$

Για βαθμούς ελευθερίας  $v_{eff} = 30$  και επίπεδο εμπιστοσύνης 99.7% σύμφωνα με τον Πίνακα 2.2 ο συντελεστής κάλυψης είναι  $k=3,27$

$$\text{Άρα } U = k \times u_{\text{ex}} = 3,27 \times 4,053 = 13,253 \mu\text{m}$$

$$\text{Επομένως : } x \pm u_{\text{bias}} = 10002,6 \mu\text{m} \pm 13,253 \mu\text{m}$$

Τέλος, έχουμε τα αποτελέσματα της ανάλυσης μας το μικρόμετρο Γ με range 0-25mm με όρια ανοχής  $\pm 1 \mu\text{m}$ . Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο του εργοστασίου με θερμοκρασία 23°C. Έγιναν 30 επαναληπτικές μετρήσεις για κάθε πρότυπο κεραμικό πλακίδιο μήκους 1.005mm, 1.01mm, 1.4mm, 1.6mm, 2mm, 3mm και 8mm.

**Πίνακας 5.12** Μετρήσεις δοκιμίου 1.005mm,1.01mm,1.4mm,1.6mm,2mm,3mm και 8mm με το μικρόμετρο Γ.

	Πρότυπη διάμετρο ς	Πρότυπη διάμετρο ς	Πρότυπη διάμετρο ς	Πρότυπη διάμετρο ς	Πρότυπη διάμετρο ς	Πρότυπη διάμετρο ς	Πρότυπη διάμετρος
A/α	1,005mm	1,01mm	1,4mm	1,6mm	2mm	3mm	8mm
1	1,011	1,015	1,41	1,608	2,008	3,01	8,013
2	1,011	1,016	1,409	1,608	2,008	3,01	8,018
3	1,011	1,016	1,407	1,609	2,009	3,011	8,02
4	1,01	1,018	1,407	1,608	2,008	3,01	8,024
5	1,011	1,018	1,408	1,609	2,008	3,013	8,045
6	1,01	1,018	1,409	1,61	2,009	3,012	8,014
7	1,011	1,016	1,41	1,608	2,008	3,009	8,008
8	1,01	1,016	1,407	1,608	2,008	3,01	8,015
9	1,012	1,016	1,408	1,607	2,009	3,016	8,015
10	1,011	1,016	1,409	1,611	2,008	3,011	8,014
11	1,011	1,017	1,408	1,608	2,007	3,014	8,017
12	1,011	1,017	1,408	1,609	2,008	3,01	8,014
13	1,01	1,016	1,407	1,609	2,008	3,01	8,014
14	1,011	1,016	1,41	1,608	2,011	3,01	8,015
15	1,01	1,015	1,409	1,609	2,01	3,01	8,016
16	1,01	1,016	1,407	1,608	2,008	3,016	8,021
17	1,012	1,016	1,408	1,609	2,009	3,012	8,002
18	1,012	1,015	1,408	1,608	2,008	3,011	8,014
19	1,011	1,016	1,407	1,613	2,009	3,011	8,019
20	1,015	1,016	1,408	1,608	2,008	3,01	8,014
21	1,013	1,016	1,407	1,608	2,01	3,012	8,014
22	1,013	1,015	1,407	1,608	2,009	3,011	8,013
23	1,012	1,016	1,408	1,608	2,011	3,01	8,015
24	1,012	1,017	1,408	1,608	2,01	3,011	8,014
25	1,011	1,016	1,407	1,609	2,012	3,01	8,016
26	1,011	1,017	1,408	1,608	2,013	3,028	8,014
27	1,012	1,018	1,409	1,608	2,009	3,011	8,014
28	1,012	1,017	1,408	1,608	2,008	3,01	8,013
29	1,014	1,017	1,408	1,61	2,008	3,01	8,017
30	1,011	1,018	1,407	1,608	2,008	3,02	8,015

Στον παρακάτω πίνακα αναγράφονται συγκεντρωτικά όλα τα αποτελέσματα των μετρήσεων για 1.005mm, 1.01mm, 1.4mm, 1.6mm, 2mm, 3mm και 8mm.

**Πίνακας 5.13** Αποτελέσματα μετρήσεων για πρότυπα πλακίδια 1.005mm, 1.4mm, 1.6mm, 2mm, 3mm και 8mm

	Πλακίδιο	Πλακίδιο	Πλακίδιο	Πλακίδιο	Πλακίδιο	Πλακίδιο	Πλακίδιο
μm	1.005mm	1.01mm	1.4mm	1.6mm	2mm	3mm	8mm
$u_{tol}$	0,097	0,097	0,097	0,097	0,097	0,097	0,097
$u_f$	0,058	0,058	0,058	0,058	0,058	0,058	0,058
$u_p$	0,062	0,062	0,062	0,062	0,062	0,062	0,062
$u_{Gbias}$	0,129	0,129	0,129	0,129	0,129	0,129	0,129
$x$	1011,4	1016,4	1408,03	1608,6	2008,9	3011,9	8015,9
$s_x$	1,19	0,932	0,964	1,162	1,373	3,828	6,676
$u_{x,ran}$	1,192	0,932	0,964	1,163	1,373	3,828	6,676
$u_{res}$	0,289	0,289	0,289	0,289	0,289	0,289	0,289
$\Delta_x$	0,028	0,028	0,039	0,045	0,0558	0,0837	0,2232
$u_{E\delta T}$	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
$u_{\epsilon_{agg}}$	$5,10 \times 10^{-7}$	$5,10 \times 10^{-7}$	$5,10 \times 10^{-7}$	$5,10 \times 10^{-7}$	$5,10 \times 10^{-7}$	$5,10 \times 10^{-7}$	$5,10 \times 10^{-7}$
$u_{\epsilon_{am}}$	0	0	0	0	0	0	0
$c_g$	3,015	3,030	4,200	4,800	6,000	9,000	24000
$c_m$	-3,015	-3,030	-4,200	-4,800	-6,000	-9,000	-24000
$c_{\Delta T}$	0,0093	0,0094	0,013	0,0148	0,0186	0,0279	0,0744
$u_{\epsilon_{\Delta x}}$	0,00123	0,00123	0,00171	0,00195	0,00244	0,00366	0,00975
$u_{ex}$	1,270	1,030	1,059	1,243	1,442	3,853	6,691
$v_{eff}$	40	45	40	40	35	30	30
$x$	1011,37	1016,37	1407,99	1608,55	2008,84	3011,88	8015,67

Επομένως τα αποτελέσματα της ανάλυσης:

1,005 mm

$$x = 1,0114 \text{ mm} - 0,000028 \text{ mm} = 1011,4 \mu\text{m} - 0,028 \mu\text{m} = \mathbf{1011,4 \mu\text{m}}$$

$$u_x = \sqrt{u_{Gbias}^2 + u_{ran}^2 + u_{Mres}^2 + u_{op}^2 + u_{env}^2}$$

$$= \sqrt{(0,129)^2 + (1,192)^2 + (0,289)^2 + (0,304)^2 + (0,00123)^2} = 1,270 \mu\text{m}$$

$$v_{eff} = 29 \times \frac{u_{ex}^4}{u_{x,ran}^4} = 29 \times \frac{1,270^4}{1,192^4} = 40$$

Για βαθμούς ελευθερίας  $\nu_{eff} = 40$  και επίπεδο εμπιστοσύνης 99.7% σύμφωνα με τον Πίνακα 2.2 ο συντελεστής κάλυψης είναι  $k=3,20$

$$\text{Άρα } U = k \times u_{ex} = 3,20 \times 1,270 = 4,064 \mu m$$

$$\text{Επομένως : } x \pm u_{bias} = 1011,4 \mu m \pm 4,064 \mu m$$

**1,01 mm**

$$x = \bar{x} - \Delta_x$$

$$x = 1,0114 \text{ mm} - 0,000028 \text{ mm} = 1011,4 \mu m - 0,028 \mu m = \mathbf{1016,37 \mu m}$$

$$u_x = \sqrt{u_{Gbias}^2 + u_{ran}^2 + u_{Mres}^2 + u_{op}^2 + u_{env}^2}$$

$$= \sqrt{(0,129)^2 + (0,932)^2 + (0,289)^2 + (0,304)^2 + (0,00123)^2} = 1,030 \mu m$$

$$\nu_{eff} = 29 \times \frac{u_{ex}^4}{u_{x,ran}^4} = 29 \times \frac{1,030^4}{0,932^4} = 45$$

Για βαθμούς ελευθερίας  $\nu_{eff} = 45$  και επίπεδο εμπιστοσύνης 99.7% σύμφωνα με τον Πίνακα 2.2 ο συντελεστής κάλυψης είναι  $k=3,18$

$$\text{Άρα } U = k \times u_{ex} = 3,18 \times 1,030 = 3,275 \mu m$$

$$\text{Επομένως : } x \pm u_{bias} = 1016,37 \mu m \pm 3,275 \mu m$$

**1,4 mm**

$$x = \bar{x} - \Delta_x$$

$$x = 1,408 \text{ mm} - 0,000039 \text{ mm} = 1408,03 \mu m - 0,039 \mu m = \mathbf{1407,99 \mu m}$$

$$u_x = \sqrt{u_{Gbias}^2 + u_{ran}^2 + u_{Mres}^2 + u_{op}^2 + u_{env}^2}$$

$$= \sqrt{(0,129)^2 + (0,964)^2 + (0,289)^2 + (0,304)^2 + (0,00171)^2} = 1,059 \mu m$$

$$\nu_{eff} = 29 \times \frac{u_{ex}^4}{u_{x,ran}^4} = 29 \times \frac{1,059^4}{0,964^4} = 40$$

Για βαθμούς ελευθερίας  $\nu_{eff} = 40$  και επίπεδο εμπιστοσύνης 99.7% σύμφωνα με τον Πίνακα 2.2 ο συντελεστής κάλυψης είναι  $k=3,20$

$$\text{Άρα } U = k \times u_{ex} = 3,20 \times 1,059 = 3,388 \mu m$$

**Επομένως :**  $x \pm u_{bias} = 1407,99 \mu m \pm 3,388 \mu m$

**1,6 mm**

$$x = \bar{x} - \Delta_x$$

$$x = 1,6086 \text{ mm} - 0,000044 \text{ mm} = 1608,6\mu\text{m} - 0,044\mu\text{m} = \mathbf{1608,5 \mu m}$$

$$u_x = \sqrt{u_{Gbias}^2 + u_{ran}^2 + u_{Mres}^2 + u_{op}^2 + u_{env}^2}$$

$$= \sqrt{(0,129)^2 + (1,163)^2 + (0,289)^2 + (0,304)^2 + (0,00195)^2} = 1,243 \mu m$$

$$v_{eff} = 29 \times \frac{u_{ex}^4}{u_{x,ran}^4} = 29 \times \frac{1,243^4}{1,163^4} = 40$$

Για βαθμούς ελευθερίας  $v_{eff} = 40$  και επίπεδο εμπιστοσύνης 99.7% σύμφωνα με τον Πίνακα 2.2 ο συντελεστής κάλυψης είναι  $k=3,20$

$$\text{Άρα } U = k \times u_{ex} = 3,20 \times 1,243 = 3,977 \mu m$$

**Επομένως :**  $x \pm u_{bias} = 1608,5 \mu m \pm 3,977 \mu m$

**2 mm**

$$x = \bar{x} - \Delta_x$$

$$x = 2,0089 \text{ mm} - 0,000558 \text{ mm} = 2008,9\mu\text{m} - 0,0558\mu\text{m} = \mathbf{2008,8\mu m}$$

$$u_x = \sqrt{u_{Gbias}^2 + u_{ran}^2 + u_{Mres}^2 + u_{op}^2 + u_{env}^2}$$

$$= \sqrt{(0,129)^2 + (1,373)^2 + (0,289)^2 + (0,304)^2 + (0,00244)^2} = 1,442 \mu m$$

$$v_{eff} = 29 \times \frac{u_{ex}^4}{u_{x,ran}^4} = 29 \times \frac{1,442^4}{1,373^4} = 35$$

Για βαθμούς ελευθερίας  $v_{eff} = 35$  και επίπεδο εμπιστοσύνης 99.7% σύμφωνα με τον Πίνακα 2.2 ο συντελεστής κάλυψης είναι  $k=3,23$

$$\text{Άρα } U = k \times u_{ex} = 3,23 \times 1,442 = 4,657 \mu m$$

**Επομένως :**  $x \pm u_{bias} = 2008,8 \mu m \pm 4,657 \mu m$

**3 mm**

$$x = \bar{x} - \Delta_x$$

$$x = 3,0119 \text{ mm} - 0,000837 \text{ mm} = 3011,9\mu\text{m} - 0,0837\mu\text{m} = \mathbf{3011,8\mu\text{m}}$$

$$u_x = \sqrt{u_{G_{bias}}^2 + u_{ran}^2 + u_{Mres}^2 + u_{op}^2 + u_{env}^2}$$

$$= \sqrt{(0,129)^2 + (3,828)^2 + (0,289)^2 + (0,304)^2 + (0,00366)^2} = 3,853 \mu\text{m}$$

$$v_{eff} = 29 \times \frac{u_{ex}^4}{u_{x,ran}^4} = 29 \times \frac{3,853^4}{3,828^4} = \sim 30$$

Για βαθμούς ελευθερίας  $v_{eff} = \sim 30$  και επίπεδο εμπιστοσύνης 99.7% σύμφωνα με τον Πίνακα 2.2 ο συντελεστής κάλυψης είναι  $k=3,27$

$$\text{Άρα } U = k \times u_{ex} = 3,27 \times 3,853 = 12,599\mu\text{m}$$

$$\text{Επομένως : } x \pm u_{bias} = 3011,8 \mu\text{m} \pm 12,599 \mu\text{m}$$

**8 mm**

$$x = \bar{x} - \Delta_x$$

$$x = 8,0159 \text{ mm} - 0,000837 \text{ mm} = 8015,9\mu\text{m} - 0,0837\mu\text{m} = \mathbf{8015,6\mu\text{m}}$$

$$u_x = \sqrt{u_{G_{bias}}^2 + u_{ran}^2 + u_{Mres}^2 + u_{op}^2 + u_{env}^2}$$

$$= \sqrt{(0,129)^2 + (6,677)^2 + (0,289)^2 + (0,304)^2 + (0,000975)^2}$$

$$= 6,691 \mu\text{m}$$

$$v_{eff} = 29 \times \frac{u_{ex}^4}{u_{x,ran}^4} = 29 \times \frac{6,691^4}{6,677^4} = \sim 30$$

Για βαθμούς ελευθερίας  $v_{eff} = \sim 30$  και επίπεδο εμπιστοσύνης 99.7% σύμφωνα με τον Πίνακα 2.2 ο συντελεστής κάλυψης είναι  $k=3,27$

$$\text{Άρα } U = k \times u_{ex} = 3,27 \times 6,691 = 24,756\mu\text{m}$$

$$\text{Επομένως : } x \pm u_{bias} = 8015,6 \mu\text{m} \pm 24,756 \mu\text{m}$$

Στον παρακάτω πίνακα αναγράφονται συγκεντρωτικά οι αβεβαιότητες όλων των πλακιδίων από τις μετρήσεις των μικρομέτρων Α, Β και Γ.

**Πίνακας 5.14** αβεβαιότητες όλων των πλακιδίων από τις μετρήσεις των μικρομέτρων Α, Β και Γ

	Μήκος πλακιδίου	Αβεβαιότητα
Μικρόμετρο Α	1,000 mm	$x \pm U = 1002,7 \mu\text{m} \pm 6,162 \mu\text{m}$ ή 0,6%
	5,000 mm	$x \pm U = 5003,71 \mu\text{m} \pm 17,057 \mu\text{m}$ ή 0,3%
	15,000 mm	$x \pm U = 15006,6 \mu\text{m} \pm 17,218 \mu\text{m}$ ή 0,1%
	20,000 mm	$x \pm U = 20001,5 \mu\text{m} \pm 11,846 \mu\text{m}$ ή 0,06%
Μικρόμετρο Β	1,000 mm	$x \pm U = 1005,5 \mu\text{m} \pm 12,782 \mu\text{m}$ ή 1,27%
	5,000 mm	$x \pm U = 5001,9 \mu\text{m} \pm 19,642 \mu\text{m}$ ή 0,4%
	10,000 mm	$x \pm U = 10002,6 \mu\text{m} \pm 13,253 \mu\text{m}$ ή 0,13%
Μικρόμετρο Γ	1,005 mm	$x \pm U = 1011,4 \mu\text{m} \pm 4,064 \mu\text{m}$ ή 0,4%
	1,010 mm	$x \pm U = 1016,37 \mu\text{m} \pm 3,275 \mu\text{m}$ ή 0,32%
	1,400 mm	$x \pm U = 1407,99 \mu\text{m} \pm 3,388 \mu\text{m}$ ή 0,25%
	1,600 mm	$x \pm U = 1608,5 \mu\text{m} \pm 3,977 \mu\text{m}$ ή 0,25%
	2,000 mm	$x \pm U = 2008,8 \mu\text{m} \pm 4,657 \mu\text{m}$ ή 0,23%
	3,000 mm	$x \pm U = 3011,8 \mu\text{m} \pm 12,599 \mu\text{m}$ ή 0,42%
	8,000 mm	$x \pm U = 8015,6 \mu\text{m} \pm 24,756 \mu\text{m}$ ή 0,30%

Στην συνέχεια θα γίνει η σύγκριση σύμφωνα με την αβεβαιότητα που μας δίνει ο κατασκευαστής των πρότυπων πλακιδίων και των αβεβαιοτήτων που βρήκαμε προηγουμένως.

Η αβεβαιότητα της μέτρησης προκύπτει από την ακόλουθη εξίσωση, όπου  $L$  είναι το μήκος του πλακιδίου σε  $m$ .

$$U = (0.15 + 1.5 \times L) \mu\text{m}$$

Επομένως στις περιπτώσεις μας οι αβεβαιότητες είναι οι παρακάτω:



**Πίνακας 5.15** Αβεβαιότητες πλακιδίων σύμφωνα με τον κατασκευαστή

Ονοματική Τιμή (mm)	Αβεβαιότητα μέτρησης (μm)
1	0,15
1,005	0,15
1,01	0,15
1,4	0,15
1,6	0,15
2	0,15
3	0,15
5	0,16
8	0,16
10	0,17
15	0,17
20	0,18

Πιο αναλυτικά έχουμε για το πλακίδιο με ονομαστικό πάχος 1 mm

$$\Delta_m = |\bar{X}_m - \bar{X}_{cal}|$$

$$U_\Delta = 2 \times u_\Delta$$

Εάν  $\Delta_m \leq U_\Delta$  το αποτέλεσμα της μέτρησης του υπό διακρίβωση οργάνου, δε διαφέρει σημαντικά από το όργανο αναφοράς.

**Πίνακας 5.16** Αποτελέσματα μετρήσεων του υπό διακρίβωση οργάνου A σε σύγκριση με το όργανο αναφοράς για την ονομαστική διάμετρο 1mm.

Μέση Τιμή (mm)	$X_{cal}$	1
	$X_m$	1,0028
Τυπική αβεβαιότητα (mm)	$u_{(X_m)}$	0,0019
Διαφορά μέσων τιμών (mm)	$\Delta_m$	0,0028
Συνδυασμένη αβεβαιότητα (μm)	$u_\Delta$	1,952
Διευρυμένη αβεβαιότητα (μm)	$U_\Delta$	3,904

Επομένως ισχύει  $\Delta_m(0,0028) < U_\Delta(3,904)$

Άρα το όργανο μας δεν διαφέρει σημαντικά από το όργανο αναφοράς.

Πιο αναλυτικά όλες οι μετρήσεις για το μικρόμετρο Α αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 5.17** Αποτελέσματα μετρήσεων του υπό διακρίβωση οργάνου Α σε σύγκριση με το όργανο αναφοράς για την ονομαστική διάμετρο 20 mm, 15 mm, 5 mm

Μέση Τιμή	$X_{cal}$	20	15	5
		$X_m$	20,00203	15,0071
Τυπική αβεβαιότητα	$u_{(X_m)}$	0,00372	0,00543	0,00538
Διαφορά μέσων τιμών	$\Delta_m$	0,00203	0,0071	0,00385
Συνδυασμένη αβεβαιότητα	$u_\Delta$	3,749	5,449	5,398
Διερυμμένη αβεβαιότητα	$U_\Delta$	7,498	10,898	10,796

Πιο αναλυτικά όλες οι μετρήσεις για το μικρόμετρο Β αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 5.18** Αποτελέσματα μετρήσεων του υπό διακρίβωση οργάνου Β σε σύγκριση με το όργανο αναφοράς για την ονομαστική διάμετρο 10 mm, 5 mm, 1 mm

Μέση Τιμή	$X_{cal}$	10	5	1
		$X_m$	10,00290	5,00203
Τυπική αβεβαιότητα	$u_{(X_m)}$	0,00402	0,00599	0,00388
Διαφορά μέσων τιμών	$\Delta_m$	0,0029	0,00203	0,00553
Συνδυασμένη αβεβαιότητα	$u_\Delta$	5,449	6,007	3,909
Διερυμμένη αβεβαιότητα	$U_\Delta$	10,898	12,014	7,818

Πιο αναλυτικά όλες οι μετρήσεις για το μικρόμετρο Γ αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 5.19** Αποτελέσματα μετρήσεων του υπό διακρίβωση οργάνου Γ σε σύγκριση με το όργανο αναφοράς για την ονομαστική διάμετρο 8 mm, 3mm, 2mm, 1,6mm, 1,4mm , 1,01mm , 1,005 mm

Μέση Τιμή	$X_{cal}$	8	3	2	1,6	1,4	1,01	1,005
		$X_m$	8,0159	3,0120	2,0089	1,609	1,408	1,0164
Τυπική αβεβαιότητα	$U_{(X_m)}$	0,00668	0,00383	0,00137	0,00116	0,000964	0,000932	0,00119
Διαφορά μέσων τιμών	$\Delta_m$	0,0159	0,0120	0,0089	0,0086	0,00803	0,0064	0,0064
Συνδυασμένη αβεβαιότητα	$U_{\Delta}$	6,691	3,853	1,442	1,243	1,059	1,03	1,27
Διευρυμένη αβεβαιότητα	$U_{\Delta}$	13,382	7,706	2,884	2,486	2,118	2,06	2,54

## 5.7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΑ ΣΧΟΛΙΑ

Στα πλαίσια της εργασίας, μελετήθηκαν και αξιολογήθηκαν οι διαδικασίες μετρήσεων ενός εργαστηρίου ποιοτικού ελέγχου βιομηχανίας παραγωγής υποβρύχιων καλωδίων. Αρχικά, με την βοήθεια κατάλληλου λογισμικού, που είχε στην κατοχή του το εργαστήριο, αναλύσαμε δείγματα μετρήσεων που λάβαμε ώστε να πραγματοποιηθεί η κρίση καταλληλότητας των μετρητικών οργάνων του εργαστηρίου. Η διαδικασία αυτή είναι σημαντική για το εργαστήριο καθώς αν υπάρχει σημαντικό σφάλμα στα όργανα, τότε διακινδυνεύεται η ποιότητα του τελικού καλωδίου. Στη συνέχεια, μελετήθηκε και αξιολογήθηκε η διαδικασία μέτρησης μικρόμετρων που χρησιμοποιούνται για την μέτρηση διαμέτρων συρμάτων αγωγού και οπλισμού μέσω της μεθοδολογίας της ανάλυσης αβεβαιοτήτων. Οι διαδικασίες ακολουθούν συγκεκριμένες προδιαγραφές και πρότυπα.

Η αρχική ανάλυση (MSA) έδωσε σημαντικές πληροφορίες ως προς την καταλληλότητα του υπο εξέταση εξοπλισμού και τις απαραίτητες ενέργειες που πρέπει να λαμβάνουν χώρα στην αξιολόγηση των δειγμάτων. Μέσω της ανάλυσης αβεβαιοτήτων, αξιολογήθηκε τόσο ο εξοπλισμός όσο και η διαδικασία των μετρήσεων σύμφωνα με τα εθνικά και διεθνή πρότυπα και δημιουργήθηκαν πρότυπες διαδικασίες ως προς τον εσωτερικό έλεγχο ποιότητας του εργαστηρίου.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ανάλυση Συστημάτων Μετρήσεων (MSA) ([sixsigmastudyguide.com](http://sixsigmastudyguide.com))
2. MSA | | Ανάλυσης Συστήματος Μετρήσεων Ποιότητα-Ένα ([quality-one.com](http://quality-one.com))
3. Ανάλυση Συστημάτων Μετρήσεων (MSA) και Gage R&R - Δρ Τζόντι Μουελάνερ ([muelaner.com](http://muelaner.com))
4. Six Sigma - Wikipedia
5. Έξι Σίγμα Ορισμός - Τι είναι Άπαχο Έξι Σίγμα; | ΑΣΚ ([asq.org](http://asq.org))
6. Όργανο μέτρησης - Βικιπαίδεια ([wikipedia.org](http://wikipedia.org))
7. Measurement uncertainty - Wikipedia
8. Πειραματική ανάλυση αβεβαιότητας - Βικιπαίδεια ([wikipedia.org](http://wikipedia.org))
9. Διεθνές σύστημα μονάδων - Βικιπαίδεια ([wikipedia.org](http://wikipedia.org))
10. Καμπύλη βαθμονόμησης ([wblog.wiki](http://wblog.wiki))
11. 49.pdf ([uns.ac.rs](http://uns.ac.rs))
12. The Gauge Block Handbook ([nist.gov](http://nist.gov))
13. <https://organametrisis.gr/>

14. MEC\_405\_Book\_2,\_for\_Unit\_2B.pdf (nitsri.ac.in)
15. [https://organametrisis.gr/pages/diakrivoseis?gclid=CjwKCAjwge2iBhBBEiwAfXDBR7aCKAp\\_BmVFzNlabCwVA0sH-PT6uPYCI3tO3vm2I4wOaqDJQQK5mRoC-NoQAvD\\_BwE](https://organametrisis.gr/pages/diakrivoseis?gclid=CjwKCAjwge2iBhBBEiwAfXDBR7aCKAp_BmVFzNlabCwVA0sH-PT6uPYCI3tO3vm2I4wOaqDJQQK5mRoC-NoQAvD_BwE)
16. <https://en.wikipedia.org/wiki/Micrometre>
17. [https://www.youtube.com/watch?v=aQligHSGvMA&ab\\_channel=TomMentink](https://www.youtube.com/watch?v=aQligHSGvMA&ab_channel=TomMentink)
18. [https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=kwN-MkuGSQw&feature=youtu.be&fbclid=IwAR0ijukXUID0PLV-2-0YVEnAUmrYC6YelmpCSKIYc2Xbr3rCClu40khyWnU&ab\\_channel=TomMentink](https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=kwN-MkuGSQw&feature=youtu.be&fbclid=IwAR0ijukXUID0PLV-2-0YVEnAUmrYC6YelmpCSKIYc2Xbr3rCClu40khyWnU&ab_channel=TomMentink)
19. [https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=oNjDgHkVE98&feature=youtu.be&fbclid=IwAR2gj4VWa7v9IYzcOhki\\_\\_pyvw7uUD5nLmmqAO3e8ZApURdOTDPd7U7fzB4&ab\\_channel=LEARN%26APPLY%3ALeanandSixSigma](https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=oNjDgHkVE98&feature=youtu.be&fbclid=IwAR2gj4VWa7v9IYzcOhki__pyvw7uUD5nLmmqAO3e8ZApURdOTDPd7U7fzB4&ab_channel=LEARN%26APPLY%3ALeanandSixSigma)
20. <https://standards.nasa.gov/sites/default/files/standards/NASA/Baseline/0/nasa-hdbk-873919-3.pdf>
21. Σύγγραμμα Μηχανολογικές μετρήσεις του Δημοσθένη Μιχαλόπουλου
22. JCGM 100:2008 GUM 1995 with minor corrections
23. MEASUREMENT SYSTEMS ANALYSIS Reference Manual Fourth Edition
24. ENGINEERING METROLOGY AND MEASUREMENTS N.V RAGHAVEDRA –L.KRISHNAMURTHY, OXFORD UNIVERSITY
25. Eclass.uop-Μετρολογία-Αλέξανδρος Ρωμαίος