



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ**

**Μέτρηση Δακτυλίων, Στατιστική Επεξεργασία των
Μετρήσεων και Ανάπτυξη Σχετικής Οδηγίας Μέτρησης σε
Μηχανή Μέτρησης Συντεταγμένων (CMM)**

Επιμέλεια Διπλωματικής Εργασίας: Γεώργιος Ζήσος

Επιβλέπων Καθηγητής: Β.Ι.Ν. Λεώπουλος

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2009

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα	3
Ευχαριστίες	6
1 Εισαγωγή	7
2 Μετροτεχνία - Μετρολογία	9
2.1 Βασικές Έννοιες	9
2.1.1 Είδη Ελέγχων	9
2.1.2 Μέσα Έλεγχου	10
2.2 Συστήματα μονάδων	10
2.2.1 Μετρικό σύστημα	10
2.2.2 Αγγλοσαξονικό σύστημα	11
2.2.3 Σύστημα SI.....	11
2.3 Πρωτότυπα και πρότυπα μέτρησης.....	14
2.4 Ελληνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας	15
2.5 Ορολογία – Μετρολογικές έννοιες	16
2.5.1 Αρχή Abbe	17
3 Μέτρηση Μήκους	19
3.1 Βιομηχανικά πρότυπα μέτρησης μήκους	19
3.1.1 Πρότυπα πλακίδια (gage block ή slip gage)	19
3.1.2 Πρότυποι κανόνες	21
3.1.3 Ειδικά πρότυπα	21
3.1.4 Πρότυπα ορίου	21
3.2 Συνήθη όργανα μέτρησης μηκών	21
3.2.1 Μετρητικοί κανόνες (rules)	21
3.2.2 Όργανα αρχής βερνιέρου	23
3.2.3 Μικρόμετρο (micrometer)	26
3.3 Όργανα σύγκρισης μηκών	31
4 Περιγραφή Μετροτεχνικού εργαστήριου	32
4.1 Μετροτεχνικό Εργαστήριο	32
4.2 Γενικά στοιχεία	32
4.3 Στελέχωση	33
4.4 Εξοπλισμός	34
4.5 Χώροι	34
4.6 Χώρος Ελεγχομένων Συνθηκών του ΜΕ	35
4.6.1 Κύριος εξοπλισμός	36

4.6.2	Βοηθητικός εξοπλισμός.....	39
5	Μηχανές Τρισδιάστατων Μετρήσεων	43
5.1	Αρχή λειτουργίας.....	44
5.2	Τύποι μετρητικών μηχανών CMM	45
5.3	Τύποι αισθητήρων.....	47
5.3.1	Αισθητήρες με επαφή.....	47
5.3.2	Αισθητήρες χωρίς επαφή	50
5.4	CMM καθοδηγούμενες άμεσα με υπολογιστή.....	51
5.5	Λογισμικό CMM.....	52
5.5.1	Διαμόρφωση λογισμικού	52
5.6	Συστήματα Συντεταγμένων.....	56
5.7	Διαστασιολόγηση	56
5.7.1	Δισδιάστατη διαστασιολόγηση (2D).....	56
5.7.2	Τρισδιάστατη διαστασιολόγηση (3D).....	57
5.7.3	Μέτρηση ανοχών	57
5.8	Μετρολογικά χαρακτηριστικά των CMM	58
5.9	Εφαρμογές.....	59
6	Γενικού τύπου μηχανές μέτρησης μηκών	60
6.1	Κυρίες εφαρμογές της ULM είναι :	62
6.2	Χειρισμός συστήματος τράπεζας εργασίας.....	63
6.3	Δύναμη μέτρησης.....	63
6.4	Δυνατότητες ULM μηχανών.....	64
6.5	Συνοδευτικό λογισμικό μηχανής	64
7	Ποιότητα και Στατιστική στην παραγωγή	67
7.1	Ποιότητα.....	67
7.2	Προδιαγραφές.....	68
7.3	Έλεγχος παραγωγής.....	69
7.4	Στατιστική στην παραγωγή.....	71
7.5	Μέση τιμή και τυπική απόκλιση δείγματος στοχαστικού μεγέθους	72
7.5.1	Αριθμητική μέση τιμή (mean value)	73
7.5.2	Τυπική απόκλιση s_n (standard variation)	74
7.5.3	Εύρος R (Range)	74
7.6	Κανονική κατανομή (Gaussian distribution).....	74
7.7	Δείκτης Επαναληψιμότητας και Αναπαραγωγής μέτρησης	76
7.7.1	Σκοπός Μεθόδου Gage R&R	77
7.7.2	Υπολογισμοί μεθόδου	77

7.7.3	Ανάλυση αποτελεσμάτων μεθόδου	80
8	Συλλογή των δεδομένων	82
8.1	Καταγραφή της μεθόδου μέτρησης για μηχανή ULM	82
8.1.1	Προετοιμασία της διάταξης για τις μετρήσεις	84
8.1.2	Αρχικές Ενέργειες Μέτρησης.....	87
8.1.3	Ευθυγράμμιση βραχιόνων μέτρησης.....	89
8.1.4	Έλεγχος Θέσης Δοκιμίου	90
8.1.5	Καθορισμός αναφοράς μέτρησης (<i>Setting the Datum</i>)	91
8.1.6	Ευθυγράμμιση δοκιμίου – Μέτρηση (οθόνη “ <i>Contact Testpiece</i> ”).....	92
8.1.7	Εξαγωγή αποτελεσμάτων	93
8.1.8	Επαναλαμβανόμενες μετρήσεις	94
8.1.9	Εξαγωγή αποτελεσμάτων περιβαλλοντικών συνθηκών	94
8.2	Καταγραφή της μεθόδου μέτρησης για μηχανή CMM	95
8.2.1	Απαιτούμενος εξοπλισμός.....	96
8.2.2	Προετοιμασία μηχανής	97
8.2.3	Αρχικές Ενέργειες	99
8.2.4	Καθορισμός εργαλείων.....	100
8.2.5	Διακρίβωση διάταξης εργαλείου (probe calibration).....	102
8.2.6	Δημιουργία Προγράμματος Μέτρησης – Διαστασιολόγηση.....	104
8.2.7	Τρέξιμο Προγράμματος Μέτρησης	106
8.2.8	Εξαγωγή αποτελεσμάτων	107
8.2.9	Επαναλαμβανόμενες μετρήσεις	108
8.2.10	Εξαγωγή αποτελεσμάτων περιβαλλοντικών συνθηκών	108
8.3	Σειρά διαδικασίας μετρήσεων.....	109
8.4	Αποτελέσματα μετρήσεων.....	112
9	Επεξεργασία των δεδομένων	120
9.1	Υπολογισμός μέσου όρου, τυπικής απόκλισης και ακραίας διαφοράς.	120
9.2	Υπολογισμοί για την μέθοδο Gage R&R (MSA).....	121
10	Βιβλιογραφία.....	126
10.1	Βιβλία	126
10.2	Διαδίκτυο.....	127
11	Παράρτημα	128

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς ευχαριστίες μου στον κ. Β.Ι.Ν Λεώπουλο, Επίκουρο καθηγητή του τομέα Βιομηχανικής Διοίκησης και Επιχειρησιακής Έρευνας του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, για την ανάθεση της διπλωματικής εργασίας και για το άριστο κλίμα συνεργασίας καθ' όλη τη διάρκεια της συγγραφής της.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Γεώργιο Χατζηστέλιο, μεταδιδακτορικό συνεργάτη και διπλωματούχο Μηχανολόγο Μηχανικό του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, για την ουσιαστική βοήθεια που μου προσέφερε πρόθυμα και αδιάκοπα, αλλά και για την ηθική στήριξη καθ' όλη την διάρκεια της εργασίας.

Θερμές ευχαριστίες εκφράζω επίσης στο κ. Γεράσιμο Λούντζη, Δρ. Μηχανολόγο Μηχανικό ΕΜΠ, για τη σημαντική συμβολή και βοήθεια για την εκπλήρωση και επεξεργασία των μετρήσεων. Τον ευχαριστώ για το υλικό που μου παρέιχε.

Επιπλέον ευχαριστίες προς την κ. Αικατερίνη Πουστουρλή, Υποψήφια Διδάκτορα του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, για την υποστήριξη κατά την εκπόνηση των μετρήσεων της διπλωματικής μου εργασίας, και τις εύστοχες επισημάνσεις.

Τέλος, χρωστώ ένα ευχαριστώ στον συνάδελφο Αλέξανδρο Καλαττά, που στο πλαίσιο συνεργασίας, έγινε η ανταλλαγή των μετρήσεων μας. Οπότε διαθέτουμε και οι δύο μας μετρήσεις δύο μετρητών, πράγμα που μας δίνει την δυνατότητα περαιτέρω αξιοποίησης τους.

1 Εισαγωγή

Σκοπός της διπλωματικής αυτής εργασίας με τίτλο «Μέτρηση Δακτυλίων, Στατιστική Επεξεργασία των Μετρήσεων και Ανάπτυξη Σχετικής Οδηγίας Μέτρησης σε Μηχανή Μέτρησης Συντεταγμένων (CMM)», είναι η ανάπτυξη των βασικών αρχών για την λειτουργία των δύο μηχανών του Μετροτεχνικού Εργαστηρίου, καθώς επίσης και η ανάπτυξη οδηγίας εργασίας για την μέτρηση τριμμάτων με την μηχανή Μέτρησης Συντεταγμένων. Παράλληλα οι ίδιες οι μετρήσεις αξιοποιήθηκαν από άλλους μελετητές.

Η μελέτη του θέματος σχετικά με την μέτρηση δακτυλίων παρουσίασε ιδιαίτερο ενδιαφέρον και με βοήθησε να συνδυάσω και να εφαρμόσω γνώσεις τις οποίες απέκτησα κατά τη διάρκεια των σπουδών μου στη Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών του Ε.Μ.Π, καθώς επίσης και να εμβαθύνω στην πραγματικά μεγάλη εξέλιξη που παρατηρείται στο συγκεκριμένο τομέα.

Έτσι πιο συγκεκριμένα στο κάθε κεφάλαιο αυτής της διπλωματικής εργασίας αναφέρονται τα ακόλουθα:

Στο 2^ο *Κεφάλαιο* γίνεται αναφορά για την Μετροτεχνία, τις βασικές έννοιες και αρχές, που θα μας χρειαστούν αργότερα για την κατανόηση πιο σύνθετων εννοιών. Επίσης γίνεται μια σύντομη ανάλυση των δύο βασικών συστημάτων μονάδων, αλλά και του νεότερου Διεθνούς Συστήματος Μονάδων που αφομοιώνει τα δύο παλιότερα. Ακολουθεί ο διαχωρισμός ανάμεσα σε πρωτότυπα και πρότυπα μετρήσεων, αλλά και μια σύντομη αναφορά στο Ελληνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας και το έργο του.

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

Στο 4^ο *Κεφάλαιο* γίνεται περιγραφή του Μετροτεχνικού Εργαστηρίου δηλαδή στον χώρο όπου έγιναν οι μετρήσεις των δακτυλίων. Καταγράφονται ο εξοπλισμός και οι χώροι του εργαστηρίου και γίνεται μια λεπτομερή αναφορά στο Χώρο Ελεγχόμενων Συνθηκών.

Στο 5^ο *Κεφάλαιο* αναπτύσσεται ο τρόπος λειτουργίας των Μηχανών Τρισδιάστατων Μετρήσεων CMM. Αναφέρονται οι διάφοροι τύποι μηχανών και αισθητήρων, ενώ γίνεται και λεπτομερειακή ανάδειξη του τρόπου μέτρησης και επικοινωνίας με το συνοδευτικό λογισμικό της μηχανής.

Στο 6^ο *Κεφάλαιο* γίνεται αναφορά στη γενικού τύπου μηχανή μέτρησης, αναπτύσσονται οι εφαρμογές της και καταγράφονται τεχνικά χαρακτηριστικά του τρόπου μέτρησης. Επίσης, γίνεται αναφορά στις δυνατότητες της μηχανής, λόγω του μεγάλου εύρους εφαρμογών της. Τέλος, καταγράφονται τα χαρακτηριστικά της μηχανής του εργαστηρίου.

Στο 7^ο *Κεφάλαιο* γίνεται αναφορά στην ποιότητα, στην έννοια της προδιαγραφής και του ελέγχου των παραγόμενων προϊόντων. Επίσης μετά από μια γρήγορη εισαγωγή στην στατιστική, θα γίνει καταγραφή των βασικών εννοιών της. Τέλος θα ασχοληθούμε με την αξιολόγηση των συστημάτων μετρήσεων και συγκεκριμένα με την μέθοδο Gage R&R.

Στο 8^ο *Κεφάλαιο* γίνεται αναφορά στις μεθόδους μέτρησης που ακολουθήθηκαν, για τις δυο μηχανές, την CMM και την ULM. Όπου είναι αναγκαίος γίνεται σχολιασμός για την καλύτερη κατανόηση των διαδικασιών που πραγματοποιήθηκαν. Επίσης, δίνεται μέσω πινάκων η σειρά που έγιναν οι μετρήσεις, από δύο χειριστές. Τέλος, σε πίνακες φαίνονται όλες οι μετρήσεις που έγιναν και όλα όσα καταγράφηκαν κατά την διάρκειά τους.

Στο 9^ο *Κεφάλαιο* γίνεται η καταγραφή των αποτελεσμάτων της επεξεργασίας των μετρήσεων. Έπειτα, ακολουθεί παρουσίαση των αποτελεσμάτων της μελέτης του συστήματος μέτρησης, αλλά και μια γρήγορη ματιά στα στατιστικά των μετρήσεων. Τέλος, γίνεται μια αναφορά στα πιθανά αίτια των παραπάνω αποτελεσμάτων.

Στο 10^ο *Κεφάλαιο* παρουσιάζεται η νέα οδηγία εργασίας με τίτλο “Διεξαγωγή Μέτρησης Τρίμματος εσωτερικής διαμέτρου 10 mm έως 650 mm εξωτερικής διαμέτρου με τη μηχανή DEA CMM”

2 Μετροτεχνία - Μετρολογία

2.1 Βασικές Έννοιες

Μετρολογία ή μετροτεχνία είναι η επιστήμη των μετρήσεων. Η επιστήμη αυτή είναι ο θεμέλιος λίθος της συστηματικής προσέγγισης για την ποσολόγηση ποιοτικών χαρακτηριστικών. Η συστηματική αυτή προσέγγιση περιέχει:

1. Ορισμό των προτυποποιημένων μονάδων, που λέγονται μονάδες μέτρησης και οι οποίες επιτρέπουν τη μετατροπή γενικών εννοιών (π.χ. μήκος, μάζα) σε μια μορφή προσδιορισμένης ποσότητας (π.χ. μέτρο, χιλιόγραμμα).
2. Όργανα τα οποία βαθμονομούνται με τις κατάλληλες μονάδες μέτρησης.
3. Χρήση των οργάνων αυτών για την ποσολόγηση ή προσδιορισμό της έκτασης, που το προϊόν ή η διαδικασία κατέχει το υπό μελέτη χαρακτηριστικό. Η διαδικασία αυτή καλείται *μέτρηση*.

Αν μετρολογία είναι η επιστήμη των μετρήσεων, τότε η μέτρηση είναι η γλώσσα της επιστήμης αυτής. Είναι η γλώσσα που χρησιμοποιείται για επικοινωνία σε θέματα σχετικά με το μέγεθος, την ποσότητα, τη θέση, τις συνθήκες, το χρόνο.

Τρεις είναι οι λόγοι που επιβάλλουν στην επικοινωνία μας τις μετρήσεις. Πρώτον, για να μπορεί κανείς να κάνει μία επιστημονική περιγραφή. Δεύτερον, οι μετρήσεις χρειάζονται για να κατασκευάζονται πράγματα και τρίτον, χρειάζονται μετρήσεις για να ελεγχθεί ο τρόπος με τον οποίο έχουν κατασκευαστεί αυτά. Αυτός είναι ο ρόλος του επιθεωρητή και του ποιοτικού ελέγχου. Για να γίνει αυτό απαιτούνται όργανα μέτρησης-ελέγχου και ειδικοί.

Στον έλεγχο, συγκρίνονται τα υπάρχοντα χαρακτηριστικά των προϊόντων, όπως διάσταση, μορφή ή ποιότητα επιφάνειας με τα προδιαγεγραμμένα χαρακτηριστικά.

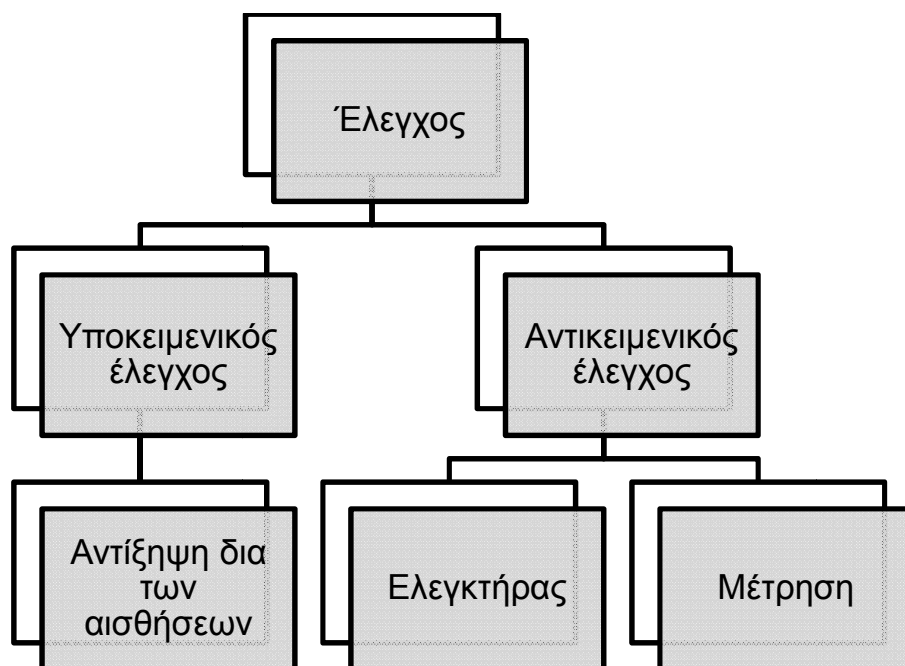
Έλεγχος σημαίνει εξακρίβωση, αν το προς εξέταση αντικείμενο παρουσιάζει τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά.

2.1.1 Είδη Ελέγχων

Ο υποκειμενικός έλεγχος γίνεται με την αντίληψη διά των αισθήσεων του ελέγχοντος, χωρίς βοηθητικά όργανα (**Σχήμα 2.1**). Εξακριβώνει, π.χ. αν τα προεκτάματα και το βάθος τραχύτητας στο αντικείμενο είναι παραδεκτά (οπτικός έλεγχος και έλεγχος με την αφή). Το αποτέλεσμα του ελέγχου είναι αν είναι αποδεκτό ή μη αποδεκτό το αντικείμενο.

Ο αντικειμενικός έλεγχος γίνεται με μέσα ελέγχου, δηλαδή με μετρητικά όργανα και ελεγκτήρες. Με τον ελεγκτήρα συγκρίνουμε το αντικείμενο, αν βρίσκεται μέσα στα προδιαγεγραμμένα όρια. Στην προκειμένη περίπτωση δεν παίρνουμε κάποια αριθμητική τιμή, αλλά εξακριβώνουμε αν το αντικείμενο είναι αποδεκτό ή μη αποδεκτό.

Μέτρηση είναι η σύγκριση ενός μεγέθους σχετικά προς άλλο ομοειδές με αυτό, που λαμβάνεται σαν μονάδα. Το αποτέλεσμα είναι η τιμή μέτρησης.



Σχήμα 2.1 : Είδη ελέγχου

2.1.2 Μέσα Έλεγχου

Τα μέσα ελέγχου υποδιαιρούνται σε τρεις ομάδες: Μετρικά όργανα, ελεγκτήρες και βοηθητικά μέσα. Όλα τα μετρητικά όργανα και οι ελεγκτήρες βασίζονται στην “υλοποίηση” της διαστάσεως. Υλοποιούν το μετρούμενο μέγεθος π.χ. με την απόσταση των χαραγών, με την απόσταση των επιφανειών (πρότυπα πλακίδια, ελεγκτήρες) ή με την κεκλιμένη θέση των επιφανειών.

Τα όργανα μετρήσεως με ένδειξη έχουν κινητά μέρη (δείκτες, χαραγές βερνιέρου), κινητές κλίμακες ή απαριθμητές. Η μετρούμενη τιμή διαβάζεται κατευθείαν.

Οι ελεγκτήρες “υλοποιούν” τη διάσταση ή τη διάσταση και τη μορφή του εξεταζόμενου αντικείμενου.

Βοηθητικά μέσα είναι, π.χ. τα πρίσματα και οι συσκευές στηρίξεως μετρητικών οργάνων.

2.2 Συστήματα μονάδων

Είναι αρχή να ορίζεται η κατάλληλη μονάδα μέτρησης πριν από οποιαδήποτε μέτρηση. Είναι αποδεκτά διεθνώς δύο συστήματα μονάδων το Μετρικό και το Αγγλοσαξονικό. Μία νέα απόφαση όλων των χωρών με κάποιες εξαιρέσεις να υιοθετήσουν ένα απλό σύστημα, γνωστό ως “International System of Units” ή “SI”, έχει απλοποιήσει πολύ την κατάσταση. Οι μονάδες του “SI” συστήματος βασίζονται στις μετρικές μονάδες.

2.2.1 Μετρικό σύστημα

Το μετρικό σύστημα (δεκαδικό ή γαλλικό) χρησιμοποιεί ως μονάδα το μέτρο [m] με τις υποδιαιρέσεις του. Όπως φαίνεται από τον **πινάκα 2.1**, κάθε μονάδα του μετρικού συστήματος είναι πολλαπλάσιο ή υποπολλαπλάσιο του 10 και για αυτό το σύστημα

λέγεται και δεκαδικό. Αυτήν η ιδιότητα το κάνει εύχρηστο . Κάθε μονάδα του μετατρέπεται σε μικρότερη ή μεγαλύτερη του πολλαπλασιαζόμενη με μια δύναμη του 10.

Πίνακας 2.1 : Οι υποδιαιρέσεις του μέτρου

Μέτρα	Δεκατόμετρα	Εκατοστόμετρα ή πόντοι	Χιλιοστόμετρα	Μικρόμετρα ή χιλιοστά του χιλιοστομέτρου	Νανόμετρα ή εκατομμυριοστά του χιλιοστομέτρου
[m]	[dm]	[cm]	[mm]	[μ m]	[nm]
1	10	10^2	10^3	10^6	10^9
-	1	10	10^2	10^5	10^8
-	-	1	10	10^4	10^6
-	-	-	1	10^3	10^6
-	-	-	-	1	10^3
-	-	-	-	-	1

2.2.2 Αγγλοσαξονικό σύστημα

Το σύστημα αυτό εφαρμόζεται ακόμα σε κάποιες αγγλοσαξονικές χώρες, χρησιμοποιεί ως μονάδα μετρήσεως τη γιάρδα (yard) με τις υποδιαιρέσεις της. Η γιάρδα είναι ίση με 0,914400 m και διαιρείται σε τρία (3) πόδια. Κάθε πόδι ισούται με 0,3048 m και διαιρείται σε δώδεκα (12) ίντσες. Η ίντσα ισούται με 0,0254 m ή 2,54 cm ή 25,4 mm και συμβολίζεται με [in] ή με ["]]. Εκτός από τις ακέραιες υποδιαιρέσεις της ίντσας υπάρχουν και οι κλασματικές φαίνονται στον **πίνακα 2.2**.

Πίνακας 2.2 : Οι υποδιαιρέσεις της Γιάρδας

Γιάρδα	Πόδι	Ίντσα	Κλασματικές διαιρέσεις της ίντσας					
[yard]	[foot]	[in]	$\frac{1}{2}$ "	$\frac{1}{4}$ "	$\frac{1}{8}$ "	$\frac{1}{16}$ "	$\frac{1}{32}$ "	$\frac{1}{64}$ "
1	3	36	72	144	288	576	1152	2304
-	1	12	24	48	96	192	384	768
-	-	1	2	4	8	16	32	64
-	-	-	1	2	4	8	16	32
-	-	-	-	1	2	4	8	16
-	-	-	-	-	1	2	4	8
-	-	-	-	-	-	1	2	4
-	-	-	-	-	-	-	1	2
-	-	-	-	-	-	-	-	1

2.2.3 Σύστημα SI

Το **Διεθνές Σύστημα Μονάδων** (το SI παράγεται από το αντίστοιχο στην γαλλική *le Système International d'unités*) αποτελεί ένα σύστημα έκφρασης συμβατικών μονάδων μέτρησης φυσικών μεγεθών. Το SI έχει αντικαταστήσει τα παλαιότερα συστήματα μονάδων της φυσικής MKS και CGS. Επιπλέον, χρησιμοποιείται και σε τεχνικές εφαρμογές σε μεγάλο ποσοστό του κόσμου έναντι παλαιότερων συστημάτων. Το σύστημα αυτό αποτελείται από:

1. Επτά βασικές μονάδες μέτρησης (**πίνακας 2.3**)
2. Δύο συμπληρωματικές μονάδες για γωνίες (**πίνακας 2.4**)

3. Ένα σύνολο μονάδων που προέρχονται από τις βασικές και συμπληρωματικές (πίνακας 2.5)
4. Προτυποποιημένη ορολογία δεκαδικών πολλαπλασίων και υποπολλαπλασίων όλων των μονάδων μέτρησης (πίνακας 2.6)

Πίνακας 2.3 : Βασικές μονάδες SI Συστήματος

α/α	Μέγεθος	Σύμβολο μεγέθους	Μονάδα	Σύμβολο μονάδας
1	Μήκος	l	meter	m
2	Μάζα	m	kilogram	kg
3	Χρόνος	t	second	s
4	Θερμοκρασία	θ, T	Kelvin	°C, K
5	Ένταση ρεύματος	I	Ampere	A
6	Φωτεινή ισχύς	-	candela	cd
7	Ποσόν ύλης	-	mole	mol

Πίνακας 2.4 : Συμπληρωματικές μονάδες SI Συστήματος

α/α	Μέγεθος	Μονάδα	Σύμβολο μονάδας
1	Επίπεδη γωνία	ακίνιο	Rad
2	Στερεά γωνία	στερακίνιο	Sr

Πίνακας 2.5 : Συμπληρωματικές μονάδες SI Συστήματος

α/α	Μέγεθος	Μονάδα	Σύμβολο μονάδας
1	Επιφάνεια	τετραγωνικό μέτρο	m ²
2	Όγκος	κυβικό μέτρο	m ³
3	Ανηγμένος όγκος	-	m ³ /kg
4	Ταχύτητα, Συντελεστής μεταφοράς μάζας	-	m/s
5	Γωνιακή ταχύτητα	-	rad/s
6	Επιτάχυνση	-	m/s ²
7	Γωνιακή επιτάχυνση	-	rad/s ²
8	Πυκνότητα	-	kg/m ³
9	Ορμή	-	kg m/s
10	Δύναμη	Newton	N=kg m/s ²
11	Συχνότητα	Hertz	Hz=1/s
12	Επιφανειακή τάση	-	N/m
13	Πίεση, Μηχανική τάση	Pascal	Pa=N/m ² =kg/ms ²
14	Ιξώδες, κινηματικό	-	m ² /s
15	Ιξώδες, δυναμικό	-	N s/m ²
16	Ενέργεια – έργο, Θερμότητα, Ενθαλπία	Joule	J=N m=W s
17	Ανηγμένη ενέργεια, Ανηγμένη θερμότητα, Ανηγμένη ενθαλπία	-	J/kg
18	Ειδική θερμότητα	-	J/kg K
19	Θερμοχωρητικότητα	-	J/K
20	Εντροπία	-	J/K

α/α	Μέγεθος	Μονάδα	Σύμβολο μονάδας
21	Ανηγμένη εντροπία	-	J/kg K
22	Ισχύς, ροή ακτινοβολίας	Watt	W=J/s=Nm/s
23	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας	-	W/m K
24	Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας	-	W/m ² K
25	Συντελεστής διάχυσης	-	m ² /s
26	Σταθερά ακτινοβολίας	-	J/m ² s K ⁴
27	Συντελεστής διαστολής	-	1/K
28	Μέτρο συμπίεστου	-	1/bar=1/10 ⁵ ·Pa
29	Ηλεκτρικό φορτίο, Ποσότητα ηλεκτρισμού	Coulomb	C=A s
30	Ηλεκτρική τάση, Διαφορά δυναμικού, Ηλεκτρεγερτική δύναμη	Volt	V=W/A
31	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου	-	V/m
32	Ηλεκτρική αντίσταση	Ohm	Ω=V/A
33	Ηλεκτρική χωρητικότητα	Farad	F=A s/V
34	Μαγνητική ροή	Weber	Wb=V s
35	Επαγωγή	Henry	H=V s/A
36	Μαγνητική πυκνότητα ροής	Tesla	T=Wb/m ²
37	Ένταση μαγνητικού πεδίου	-	A/m
38	Μαγνητρεγερτική δύναμη	Ampere	A
39	Ροή φωτός	Lumen	lm=cd sr
40	Πυκνότητα φωτισμού	-	cd/m ²
41	Φωτισμός	Lux	lx=lm/m ²
42	Απορρόφηση	Gray	Gy=J/kg=m ² /s ²
43	Ισοδύναμη δόση	Sievert	Sv=J/kg=m ² /s ²
44	Ηλεκτρική αγωγιμότητα	Siemens	S=1/ Ω=s ² A ² /m ² kg

Πίνακας 2.6 : Προθέματα και σύμβολα πολλαπλασίων και υποπολλαπλασίων μονάδων SI Συστήματος

α/α	Πρόθεμα	Σύμβολο	Συντελεστής πολλαπλασιασμού	Κλίμακα
1	yotta	Y	10 ²⁴	επτάκις εκατομμυριάδα
2	zetta	Z	10 ²¹	εξάκις εκατομμυριάδα
3	exa	E	10 ¹⁸	πεντάκις εκατομμυριάδα
4	peta	P	10 ¹⁵	τετράκις εκατομμυριάδα
5	tera	T	10 ¹²	τρισεκατομμυριάδα
6	giga	G	10 ⁹	δισεκατομμυριάδα
7	mega	M	10 ⁶	εκατομμυριάδα
8	kilo	k	10 ³	Χιλιάδα
9	hecto	h	10 ²	Εκατοντάδα
10	deca	da	10 ¹	Δεκάδα
11	-	-	10 ⁰ = 1	Μονάδα
12	deci	d	10 ⁻¹	Δέκατο
13	centi	c	10 ⁻²	Εκατοστό
14	milli	m	10 ⁻³	Χιλιοστό
15	micro	μ	10 ⁻⁶	εκατομμυριοστό
16	nano	n	10 ⁻⁹	δισεκατομμυριοστό
17	pico	p	10 ⁻¹²	τρισεκατομμυριοστό
18	femto	f	10 ⁻¹⁵	τετράκις εκατομμυριοστό

α/α	Πρόθεμα	Σύμβολο	Συντελεστής πολλαπλασιασμού	Κλίμακα
19	atto	a	10 ⁻¹⁸	πεντάκις εκατομμυριοστό
20	zepto	z	10 ⁻²¹	εξάκις εκατομμυριοστό
21	yocto	y	10 ⁻²⁴	επτάκις εκατομμυριοστό

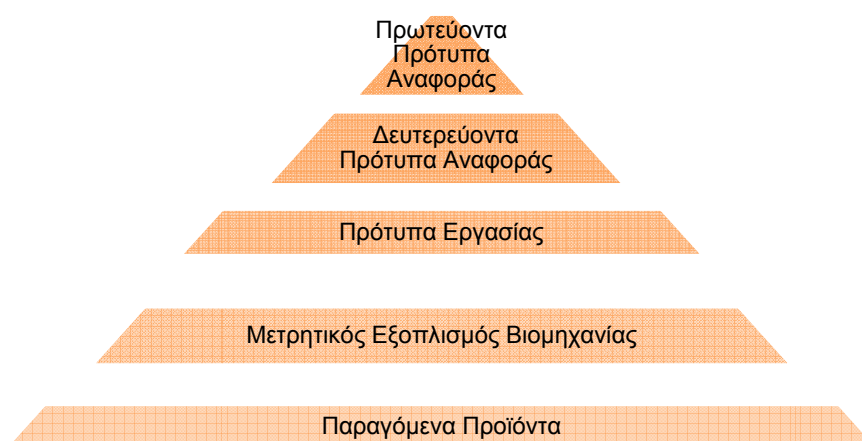
2.3 Πρωτότυπα και πρότυπα μέτρησης

Οι επτά (7) βασικές μονάδες μέτρησης και δύο (2) συμπληρωματικές του SI συστήματος ορίζονται παρακάτω (DIN1301 Part 1) και αποτελούν πρωτότυπα μέτρησης. Όλες οι μονάδες ορίζονται με βάση φυσικά φαινόμενα και επομένως μπορούν να αναπαραχθούν και εγκατασταθούν τοπικά, όπου απαιτείται. Εξάιρηση αποτελεί το χιλιόγραμμα που ορίζεται ως η μάζα ενός ειδικού αντικειμένου.

α/α	Μονάδα	Σύμβολο μονάδας	Ορισμός μονάδας
1	Χιλιόγραμμα	kg	Το Χιλιόγραμμα είναι η μάζα του πρότυπου χιλιόγραμμου, ενός κυλίνδρου από ιριδιούχο λευκόχρυσο που φυλάσσεται στο Διεθνές Γραφείο Μέτρων και Σταθμών των Σεβρών στη Γαλλία.
2	Μέτρο	m	Το Μέτρο είναι η απόσταση την οποία διανύει το φως στο κενό σε χρονικό διάστημα ίσο με 1/299.792.458 δευτερόλεπτα.
3	Δευτερόλεπτο	s	Το Δευτερόλεπτο είναι η χρονική διάρκεια 9.192.631.770 περιόδων της ακτινοβολίας που αντιστοιχεί στην μετάβαση δύο υπέρλεπτων ενεργειακών σταθμών της κατάστασης ελάχιστης ενέργειας του ατόμου του καισίου-133 (¹³³ Cs) σε θερμοκρασία 0 K.
4	Ampere	A	Το Ampere είναι το σταθερό ηλεκτρικό ρεύμα το οποίο όταν διατηρείται σε δύο ευθύγραμμους παράλληλους αγωγούς απείρου μήκους και αμελητέας διατομής, τοποθετημένους σε απόσταση 1 μέτρου στο κενό, θα παρήγαγε μεταξύ αυτών των αγωγών μία δύναμη ίση με 2X10 ⁷ Newton ανά μέτρο μήκους.
5	Βαθμός Kelvin	K	Το Kelvin είναι το κλάσμα 1/273,16 της απόλυτης θερμοκρασίας του τριπλού σημείου του νερού.
6	Mole	mol	Το Mole είναι η ποσότητα μίας ουσίας που περιέχει τόσες στοιχειώδεις οντότητες όσα είναι τα άτομα σε 0,012 χιλιόγραμμα καθαρού άνθρακα-12 (¹² C).
7	Candela	cd	Η Candela είναι η φωτεινή ένταση, σε μία δεδομένη διεύθυνση, μίας πηγής που εκπέμπει μονοχρωματική ακτινοβολία με συχνότητα 540X10 ¹² Hz και έχει ένταση ακτινοβολίας στην κατεύθυνση αυτή ίση με 1/683 Watt ανά στερακτίνο.
8	Ακτίνο	rad	Το Ακτίνο είναι εκείνη η επίπεδη γωνία η οποία όταν γίνει επίκεντρη ορίζει τόξο, σε οποιοδήποτε κύκλο, με μήκος ίσο με την ακτίνα του.
9	Στερακτίνο	sr	Το Στερακτίνο είναι εκείνη η στερεά γωνία η οποία όταν γίνει επίκεντρη ορίζει σφαιρική περιοχή, σε οποιαδήποτε σφαίρα, με εμβαδόν ίσο με το τετράγωνο της ακτίνας της.

Σε όλες τις ανεπτυγμένες βιομηχανικά χώρες υπάρχει ένα Γραφείο Προτύπων, του οποίου οι δραστηριότητες είναι η δημιουργία και συντήρηση προτύπων αναφοράς. Στη συνέχεια, τα διάφορα εθνικά Γραφεία Προτύπων όπως και άλλα εργαστήρια ανέπτυξαν πρωτεύοντα πρότυπα αναφοράς που ενσωματώνουν τις μονάδες μέτρησης, που αντιστοιχούν σ' αυτές τις πρότυπες μεθόδους μέτρησης. Το πρωτεύον πρότυπο έχει τις υψηλότερες μετρολογικές ιδιότητες και η τιμή του είναι αποδεκτή χωρίς να γίνεται αναφορά σε άλλα πρότυπα του ίδιου μεγέθους. Επειδή στην πράξη δεν είναι δυνατόν για τα εθνικά Γραφεία Προτύπων να διακριβώνουν και να πιστοποιούν την ακρίβεια πελώριου όγκου εξαρτημάτων μέτρησης και ελέγχου κ.τ.λ., κατέφυγαν σε ιεράρχηση δευτερευόντων προτύπων και εργαστηρίων με τη βοήθεια ενός συστήματος αποδεικτικών πιστοποίησης ακριβείας.

Τα πρωτεύοντα πρότυπα αναφοράς αποτελούν την κορυφή ενός συνόλου ιεραρχημένων προτύπων αναφοράς (**σχήμα 2.2**). Ο όρος μετρητικός εξοπλισμός βιομηχανίας περιέχει όλα τα όργανα που χρησιμοποιούνται από τεχνικούς εργαστηρίων, τεχνίτες και ελεγκτές για τη ρύθμιση διεργασιών παραγωγής προϊόντων καθώς και για τη μέτρηση χαρακτηριστικών προϊόντων κατά τον ποιοτικό έλεγχο. Τα όργανα αυτά διακριβώνονται με τα πρότυπα εργασίας. Με την σειρά τους, τα πρότυπα εργασίας συγκρίνονται με τα πρωτεύοντα πρότυπα αναφοράς μέσω ενός ή περισσοτέρων ενδιάμεσων δευτερευόντων προτύπων αναφοράς. Τα επίπεδα της πυραμίδας βοηθούν στο να μεταφερθεί η ακρίβεια μέτρησης στο επόμενο χαμηλότερο επίπεδο της ιεραρχίας.



Σχήμα 2.2 : Ιεράρχηση προτύπων

2.4 Ελληνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας

Το Ελληνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας (Ε.Ι.Μ.) ιδρύθηκε το 1994 και εποπτεύεται από το Υπουργείο Ανάπτυξης. Μαζί με το Εθνικό Συμβούλιο Διαπίστευσης (Ε.ΣΥ.Δ.) και τον Ελληνικό Οργανισμό Τυποποίησης (ΕΛ.Ο.Τ.) αποτελούν τη βασική υποδομή ποιότητας για την Ελλάδα. Ο ΕΛ.Ο.Τ. ως φορέας τυποποίησης, εκδίδει τα σχετικά πρότυπα και τις προδιαγραφές που αφορούν στην παραγωγή και τον έλεγχο προϊόντων και υλικών. Το Ε.ΣΥ.Δ. είναι ο φορέας, ο οποίος παρέχει διαπίστευση σε φορείς πιστοποίησης και εργαστήρια διακριβώσεων και δοκιμών. Τέλος το Ε.Ι.Μ.

είναι ο ανώτατος φορέας του κράτους σε θέματα μετρολογίας, διατηρεί και είναι ο αντιπρόσωπος της χώρας στους διεθνείς οργανισμούς μετρολογίας. Βασικός σκοπός του είναι η στήριξη των υπαρχόντων μετρολογικών εργαστηρίων της χώρας, ώστε διακριβώσεις των προτύπων τους να πραγματοποιούνται στα Εθνικά Εργαστήρια Μεγεθών του Ε.Ι.Μ.

2.5 Ορολογία – Μετρολογικές έννοιες

Μετρούμενο μέγεθος Μ στη διαστατική μετρολογία είναι το μήκος ή η γωνία που πρόκειται να μετρηθεί.

Ανάγνωση ή Ένδειξη (reading) είναι η πληροφορία που σχετίζεται με τη μετρημένη τιμή και γίνεται απευθείας αντιληπτή οπτικά, ακουστικά ή με άλλο μέσο. Στα όργανα μέτρησης με ένδειξη, γίνεται διάκριση μεταξύ αναλογικής, ψηφιακής ή άλλου τύπου ένδειξης. Επίσης, η ένδειξη μπορεί να καταγραφεί με τη βοήθεια κατάλληλης καταγραφικής συσκευής. Αναλογική (analog reading) είναι η ένδειξη μιας γραμμικής κλίμακας. Ψηφιακή (digital reading) είναι η ένδειξη υπό μορφή σειριακών ψηφίων (απαιτεί μικρότερη συγκέντρωση του παρατηρητή απ' ό,τι στην αναλογική και δεν απαιτούνται εκτιμήσεις παρεμβολών). Η άλλου τύπου ένδειξη βοηθά απλώς να προσδιοριστεί το εύρος της μετρημένης τιμής χωρίς να είναι δυνατή η ανάγνωση της ακριβούς τιμής.

Ρύθμιση σημείου αναφοράς (setting) είναι η ρύθμιση μιας συσκευής μέτρησης σε μία ορισμένη θέση (θέση αναφοράς) βάσει προτύπων αναφοράς. Πολλές φορές η θέση αυτή είναι η μηδενική (zero setting).

Μετρημένη τιμή (measured value) είναι η τιμή του μήκους ή της γωνίας που προκύπτει μετά από μία μέτρηση. Έχει αριθμητική τιμή και μονάδα και σε ειδικές περιπτώσεις και πρόσημο. Σε κάθε μετρημένη τιμή υπάρχει αβεβαιότητα μέτρησης (DIN 2257 Part 2).

Αποτέλεσμα μέτρησης (result of a measurement) προκύπτει από μία ή περισσότερες μετρημένες τιμές σύμφωνα με ορισμένη εκ των προτέρων σχέση και αντιπροσωπεύει την πραγματική διάσταση, λαμβάνοντας υπόψη και την αβεβαιότητα της μέτρησης.

Ευαισθησία (sensitivity) E. Στην περίπτωση των οργάνων με αναλογική ένδειξη, η ευαισθησία E ισούται με το λόγο της διαφοράς της ένδειξης ΔL προς τη μεταβολή της ποσότητας που μετριέται (και που προκάλεσε τη συγκεκριμένη διαφορά ένδειξης ΔM)

$$E = \frac{\Delta L}{\Delta M}$$

Στα όργανα μέτρησης μήκους, μερικές φορές, χρησιμοποιείται ο όρος **μεγέθυνση** (magnification) V αντί της ευαισθησίας (E). Στα όργανα με ψηφιακή ένδειξη, η ευαισθησία E ισούται με το λόγο της μεταβολής ΔZ των ψηφιακών διαιρέσεων προς τη μεταβολή της μετρούμενης ποσότητας ΔM , που προκάλεσε την εν λόγω μεταβολή ΔZ .

$$E = \frac{\Delta Z}{\Delta M}$$

Εύρος ανάγνωσης ή εύρος ένδειξης (reading range) οργάνου είναι η διαφορά μεταξύ της υψηλότερης και χαμηλότερης δυνατότητας ένδειξης που έχει το όργανο μέτρησης.

Εύρος μετρήσεων (measuring range) είναι η διαφορά μεταξύ μεγαλύτερης και μικρότερης μετρημένης τιμής κατά τη μέτρηση μιας συγκεκριμένης ποσότητας. Το εύρος μέτρησης είναι μέρος ή σπανίως όλο το εύρος ανάγνωσης-ένδειξης του οργάνου μέτρησης.

Δύναμη μέτρησης (measuring force) είναι η δύναμη, που ασκείται στο υπό μέτρηση αντικείμενο από εξάρτημα της συσκευής μέτρησης κατά τη διάρκεια της μέτρησης.

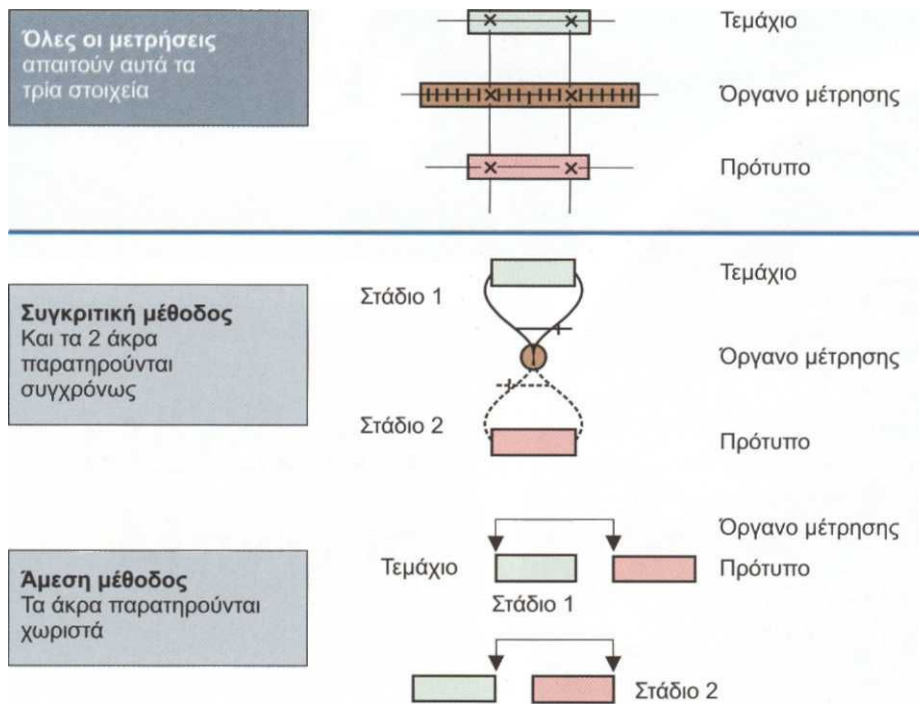
Σφάλμα υστέρησης (hysteresis error) συσκευής μέτρησης με ένδειξη είναι η διαφορά ένδειξης για μία και την αυτήν τιμή της ποσότητας που μετριέται, όταν η μέτρηση διεξάγεται αφενός με αυξανόμενες τιμές ένδειξης και αφετέρου με ελαττούμενες τιμές ένδειξης. Για την εκτίμηση του σφάλματος υστέρησης απαιτούνται οδηγίες.

Οδηγίες μέτρησης (measuring instruction) εξειδικεύουν τις συνθήκες μέτρησης καθώς και την πορεία της μετρητικής διαδικασίας.

2.5.1 Αρχή Abbe

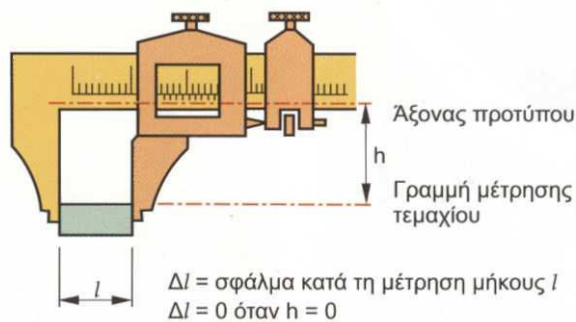
Αρχή Abbe (Abbe principle), θα μπορούσε να ονομαστεί και αρχή σύγκρισης μια και όλες οι μετρήσεις δεν είναι τίποτε άλλο παρά σύγκριση μιας άγνωστης ποσότητας με μία γνωστή. Οι μέθοδοι σύγκρισης ποικίλουν, αλλά όλες εμπίπτουν σε μία από τις δύο ομάδες του **σχήματος 2.3**.

Η αρχή λέει ότι μέγιστη ακρίβεια επιτυγχάνεται μόνον όταν το πρότυπο (γνωστή ποσότητα) βρίσκεται στην ίδια ευθεία με τον άξονα (γραμμή μέτρησης) του υπό μέτρηση αντικειμένου.



Σχήμα 2.3 : Οι δύο ομάδες μεθόδων μέτρησης

Για να γίνει αυτό κατανοητό, θεωρούμε την περίπτωση του βερνιέρου (**σχήμα 2.4**), ο οποίος δεν υπακούει στην αρχή Abbe και η απόσταση h , μεταξύ άξονα προτύπου και γραμμής μέτρησης, δεν μηδενίζεται ποτέ. Τα όργανα στα οποία ισχύει η αρχή Abbe, δηλαδή $h=0$, είναι όργανα μεγαλύτερης ακριβείας.



Σχήμα 2.4 : Σφάλμα θέσης στην περίπτωση του βερνιέρου(δεν εφαρμόζεται η αρχή Abbe)

3 Μέτρηση Μήκους

3.1 Βιομηχανικά πρότυπα μέτρησης μήκους

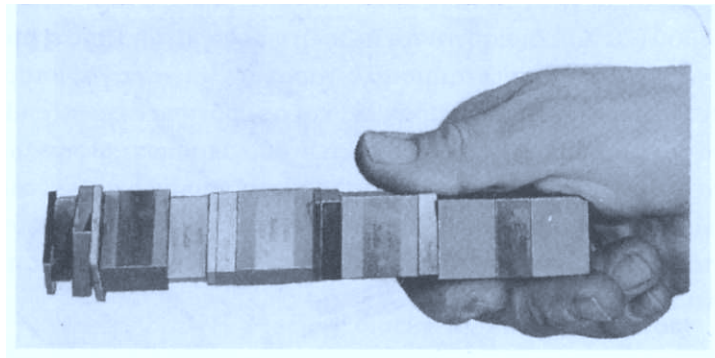
Τα πρότυπα αυτά είναι μικρότερης ακριβείας από τα πρότυπα αναφοράς και έχουν συνήθως μορφή χαραγμένης κλίμακας ή μεταλλικών πλακιδίων ή κυλίνδρων ορισμένου μήκους. Βασικό μειονέκτημά τους είναι ότι επηρεάζονται από τη θερμοκρασία, γι' αυτό το ονομαστικό τους μήκος αναφέρεται στη θερμοκρασία ορισμού τον είκοσι (20°) βαθμών Κελσίου. Διακρίνονται σε πρότυπα χαραγών, όταν το οριζόμενο μήκος καθορίζεται μεταξύ χαραγών (οι χαραγές μπορεί να είναι δύο ακραίες χαραγές ή κλίμακα χαραγών) και σε πρότυπα άκρων, όταν το οριζόμενο μήκος είναι το μεταξύ των δύο ακραίων επιφανειών του προτύπου. Διαστατικός έλεγχος ρουτίνας σε τμήματα παραγωγής γίνεται με πρότυπα άκρων και χρήση συγκριτικών οργάνων, π.χ. όργανα που μετρούν διάσταση συγκρίνοντάς τη με μήκος προτύπου.

3.1.1 Πρότυπα πλακίδια (gage block ή slip gage)

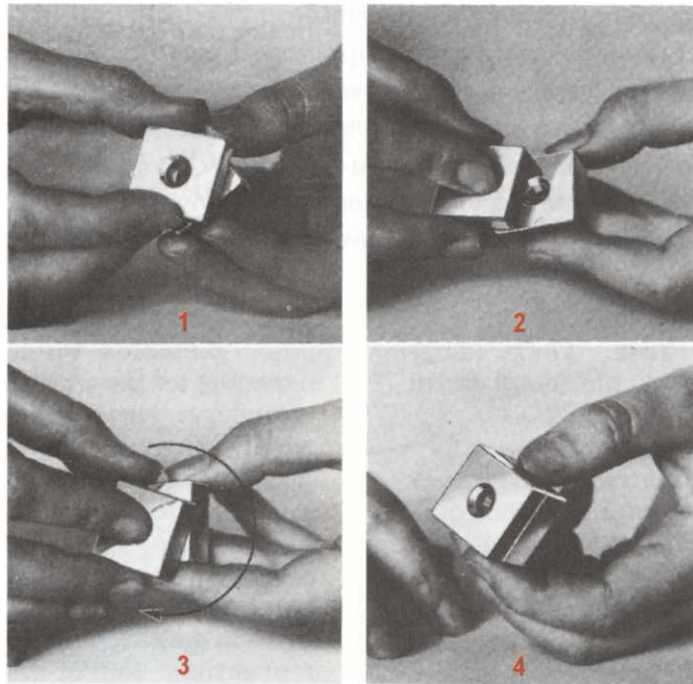
Είναι επινόηση του Σουηδού Carl Johansson. Είναι πρότυπα άκρων μήκους έως 200mm. Είναι ορθογώνια παραλληλεπίπεδα, των οποίων δύο επιφάνειες είναι τελείως λείες (υψηλή ποιότητα τραχύτητας επιφάνειας), επίπεδες και παράλληλες. Η μεταξύ τους απόσταση είναι το ονομαστικό μήκος του κάθε πλακιδίου. Συνήθως κατασκευάζονται από χάλυβα υψηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα (C) για να αντέχουν στη φθορά. Διατίθενται σε συλλογές - κασετίνες (**σχήμα 3.1**) και είναι δυνατή η δημιουργία διάστασης (**σχήματα 3.2, 3.3 και 3.4**) από συνδυασμό προτύπων πλακιδίων διαφόρων ονομαστικών μηκών.



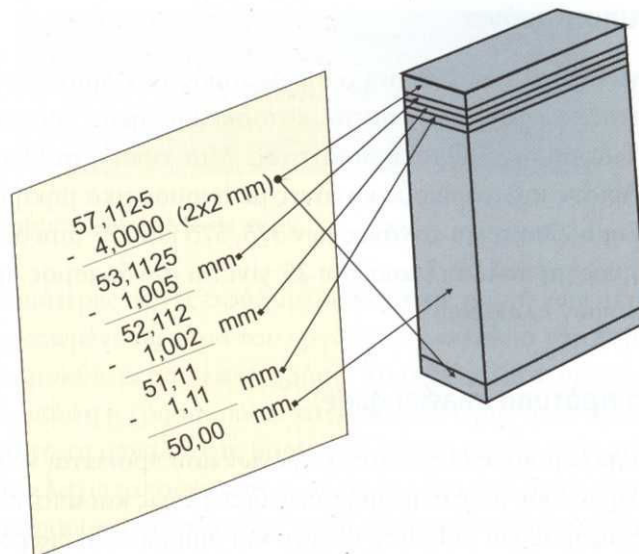
Σχήμα 3.1:Τυπική συλλογή προτύπων πλακιδίων αποτελούμενη από 112 τεμάχια



Σχήμα 3.2 : Πρόσφυση προτύπων πλακιδίων



Σχήμα 3.3 : Τεχνική πρόσφυσης προτύπων πλακιδίων



Σχήμα 3.4 : Σύνθεση ονομαστικού μήκους 57,1125mm από τη συλλογή του σχήματος

Τα πρότυπα πλακίδια κατασκευάζονται σε διάφορες ποιότητες, ανάλογα με τη χρήση τους. Η κύρια διαφορά μεταξύ των διαφόρων βαθμών ποιότητας βρίσκεται στις ανοχές μήκους, παραλληλότητας και επιπεδότητας. Ο κανονισμός DIN861 καθορίζει για τα πρότυπα πλακίδια τις ακόλουθες ποιότητες με τα αντίστοιχα μέγιστα σφάλματα:

Ποιότητα	Μέγιστο επιτρεπτό σφάλμα
0	$\pm (0,1 + L/500)\mu\text{m}$
I	$\pm (0,2 + L/200)\mu\text{m}$
II	$\pm (0,5 + L/100)\mu\text{m}$
III	$\pm (1,0 + L/50)\mu\text{m}$

όπου L είναι το ονομαστικό μήκος του πλακιδίου σε mm.

Απαιτείται περιοδικός έλεγχος των χρησιμοποιούμενων πλακιδίων με πλακίδια υψηλότερης ποιότητας.

3.1.2 Πρότυποι κανόνες

Για μήκη μεγαλύτερα των 200 mm ο συνδυασμός των προτύπων πλακιδίων είναι δύσχρηστος, για το λόγο αυτό, κατασκευάστηκαν πρότυποι κυλινδρικοί κανόνες σε διάφορους βαθμούς ποιότητας. Μια τυπική συλλογή αποτελείται από ένδεκα (11) πρότυπους κυλινδρικούς κανόνες με ονομαστικά μήκη από 25 mm έως 200 mm και βήμα 25 mm και κανόνες 375, 575, και 775 mm αντίστοιχα. Όταν απαιτείται μήκος μη πολλαπλάσιο του 25 γίνεται συνδυασμός προτύπων κανόνων και προτύπων πλακιδίων.

3.1.3 Ειδικά πρότυπα

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

3.1.4 Πρότυπα ορίου

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

3.2 Συνήθη όργανα μέτρησης μηκών

3.2.1 Μετρητικοί κανόνες (rules)

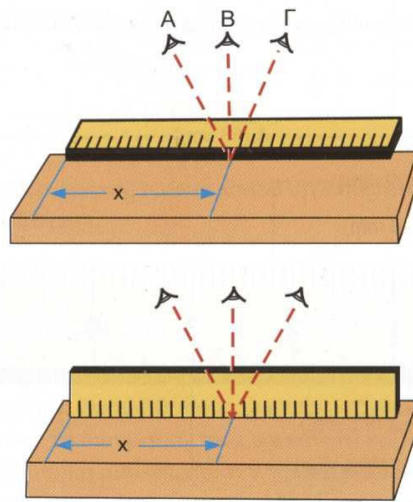
Είναι βαθμονομημένοι, χαλύβδινοι κανόνες ορθογωνικής διατομής, μήκους έως 5 m και με υποδιαίρεσεις το πολύ ανά 0,5 mm. Μετρητικοί κανόνες του αγγλοσαξονικού συστήματος έχουν ποικίλα μήκη από κλάσματα της ίντσας έως αρκετά πόδια και με κλασματικές υποδιαίρεσεις της ίντσας. Είναι από τα περισσότερο χρησιμοποιούμενα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

Ποιότητα	Μέγιστο επιτρεπτό σφάλμα
I	$\pm (20 + L/50)\mu\text{m}$
II	$\pm (20 + L/20)\mu\text{m}$

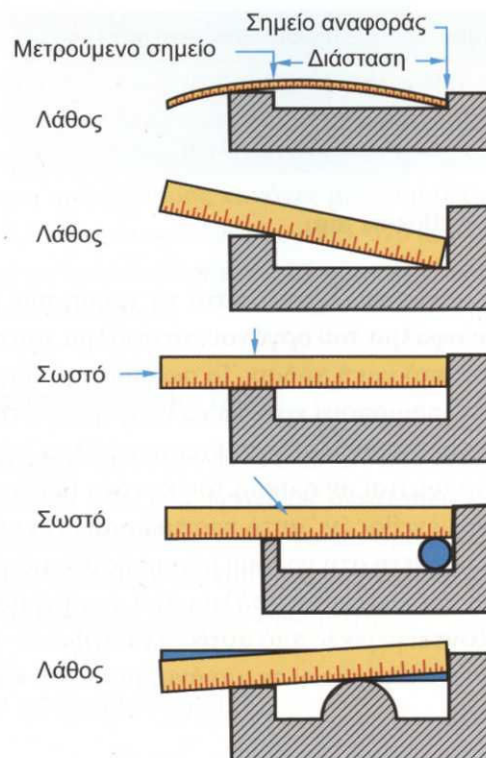
όπου L το μετρούμενο μέγεθος σε mm.

Τρεις είναι οι κυριότερες πηγές σφάλματος κατά τη χρήση των μετρητικών κανόνων: το ενσωματωμένο σφάλμα του οργάνου, το σφάλμα του παρατηρητή και το σφάλμα που προκύπτει από κακή χρήση. Το σφάλμα του οργάνου απλώς το λαμβάνει κανείς

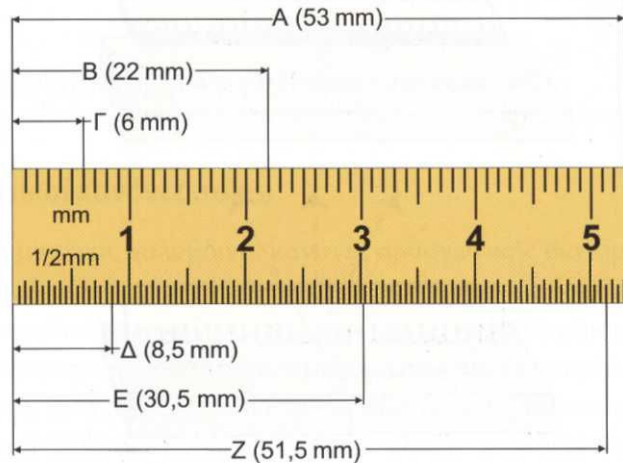
υπόψη ή χρησιμοποιεί κανόνα καλύτερης ποιότητας. Στο σφάλμα του παρατηρητή τη μεγαλύτερη βαρύτητα έχει το σφάλμα παράλληλης (**σχήμα 3.5**), το οποίο ελαχιστοποιείται αν η ακμή του κανόνα βρίσκεται όσο γίνεται πιο κοντά στο μετρούμενο μέγεθος (γι' αυτό προτιμώνται οι λεπτοί κανόνες) και όταν η οπτική ακτίνα είναι κάθετη στη γραμμή μέτρησης στο μετρούμενο σημείο. Οι αιτίες που μπορούν να προκαλέσουν σφάλμα από κακή χρήση είναι πολλές. Στο **σχήμα 3.6** παρουσιάζονται μερικές από αυτές. Στο **σχήμα 3.7** φαίνεται παράδειγμα ανάγνωσης τιμών σε κανόνα μετρικού συστήματος.



Σχήμα 3.5 : Σφάλμα παράλληλης



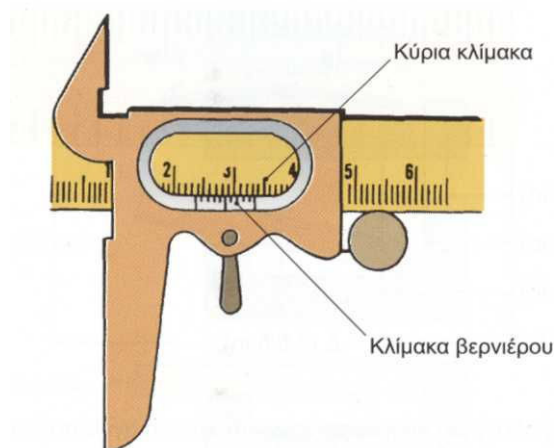
Σχήμα 3.6 : Πιθανές αιτίες κακής χρήσης μετρητικού κανόνα



Σχήμα 3.7 : Παραδείγματα ανάγνωσης τιμών σε κανόνα μετρικού συστήματος

3.2.2 Όργανα αρχής βερνιέρου

Είναι απλά όργανα με κανόνα, για τη μέτρηση εσωτερικών-εξωτερικών διαστάσεων, ύψους-βάθους, γωνιών, πάχους οδόντος οδοντωτών τροχών, που αυξάνουν τη διακριτική τους ικανότητα και επομένως την ακρίβεια μέτρησης με την προσθήκη μια επιπλέον κλίμακας αυτής του βερνιέρου. Η κλίμακα αυτή ολισθαίνει σε μία διαδρομή παράλληλη της γραμμής μέτρησης (**σχήμα 3.8**), ώστε οι δύο κλίμακες αφενός να παρατηρούνται συγχρόνως και αφετέρου να ελαχιστοποιούν το σφάλμα παράλλαξης.



Σχήμα 3.8 : Οι δύο κλίμακες οργάνου αρχής βερνιέρου

Η απόσταση των χαραγών της κλίμακας του βερνιέρου είναι μικρότερη από την απόσταση των χαραγών της κύριας κλίμακας. Αυτό γίνεται εύκολα κατανοητό με το παρακάτω παράδειγμα του **σχήματος 3.9**: Κύρια κλίμακα είναι η πάνω κλίμακα με υποδιαιρέσεις ανά 1 mm. Η κλίμακα του βερνιέρου έχει μήκος 9 mm και χωρίζεται σε 10 ίσες υποδιαιρέσεις. Η απόσταση δύο διαδοχικών χαραγών της κλίμακας του βερνιέρου είναι κατά 1/10 μικρότερη της αντίστοιχης απόστασης της κύριας κλίμακας. Με τον τρόπο αυτό, ο βερνιέρος επιτρέπει να διακρίνεται απόσταση ίση με το 1/10 της υποδιάρθρωσης της κύριας κλίμακας. Αυτή η απόσταση δείχνει την ακρίβεια μέτρησης του οργάνου αρχής βερνιέρου. Η αρχή αυτή ισχύει για οποιαδήποτε κύρια

κλίμακα μήκους υποδιαίρεσης δ_k . Το μήκος υποδιαίρεσης δ_b του βερνιέρου προσδιορίζεται από τη σχέση:

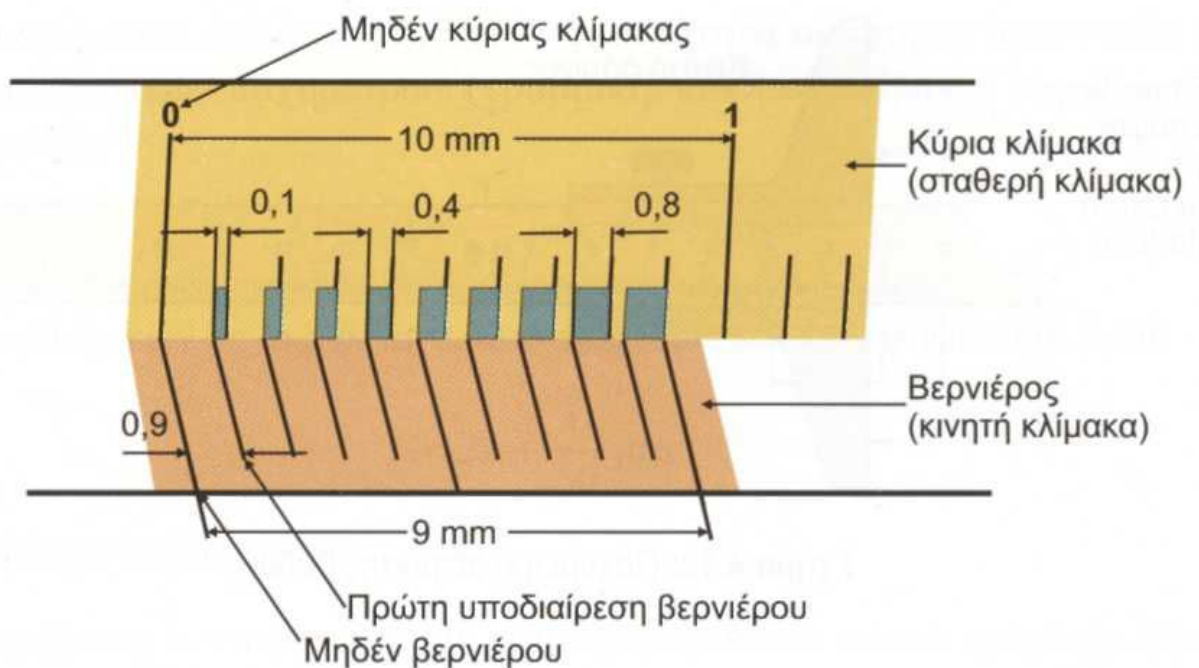
$$\delta_b = \frac{(n-1)\delta_k}{n}$$

όπου n το πλήθος υποδιαίρεσεων της κλίμακας βερνιέρου.

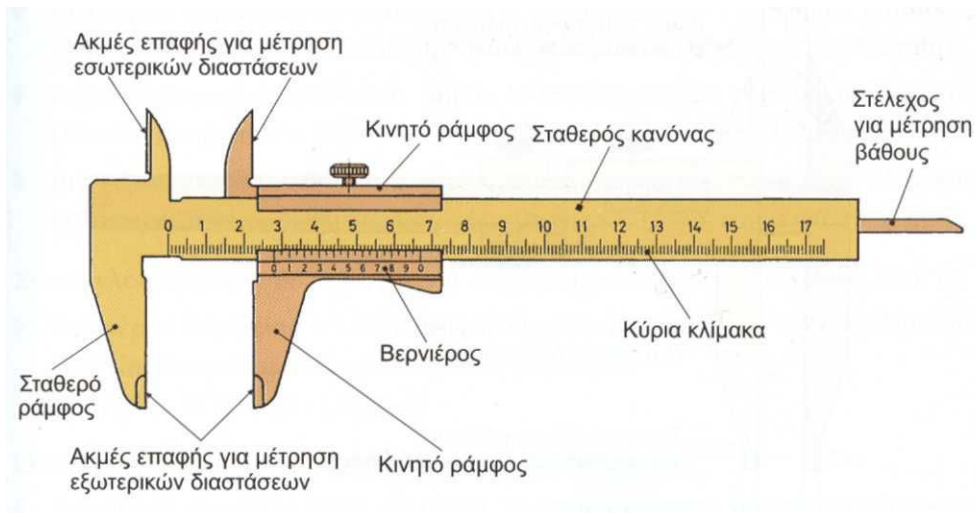
Η ελάχιστη απόσταση που μπορεί να διαβαστεί και επομένως η ακρίβεια του οργάνου αρχής βερνιέρου είναι:

$$\alpha = \delta_k - \delta_b = \delta_k - \frac{(n-1)\delta_k}{n} = \frac{\delta_k}{n}$$

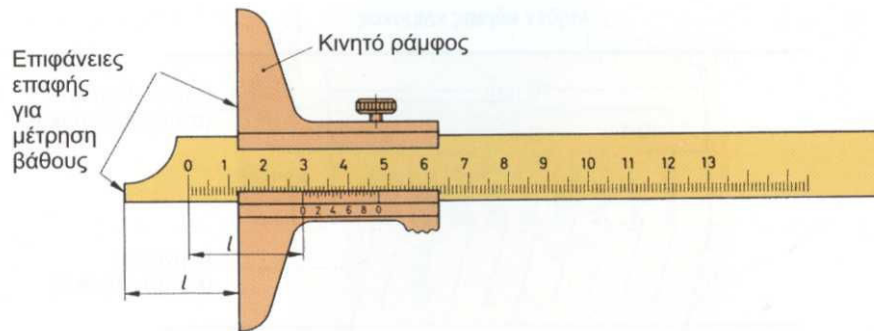
Όργανο, που βασίζεται στην αρχή του βερνιέρου και χρησιμοποιείται ευρέως, είναι το παχύμετρο. Υπάρχουν παχύμετρα με αναλογική κλίμακα δυνατότητας μέτρησης μήκους από 0 έως 2000 mm και ακρίβεια μέτρησης 0,1-0,05-0,02 mm. Στο **σχήμα 3.10** παρουσιάζεται παχύμετρο με αναλογικό βερνιέρο για μέτρηση εξωτερικών, εσωτερικών διαστάσεων και βάθους, ενώ στο **σχήμα 3.11** παρουσιάζεται παχύμετρο μέτρησης βάθους. Η αναλογική ένδειξη μπορεί να γίνεται είτε με γραμμική κλίμακα, είτε με κυκλική (**σχήμα 3.12**). Επίσης υπάρχουν παχύμετρα με ψηφιακή ένδειξη και δυνατότητα μέτρησης μήκους από 0 έως 1000 mm και ακρίβεια μέτρησης 0,01 mm. Στο **σχήμα 3.13** φαίνεται ψηφιακό παχύμετρο για μέτρηση εξωτερικών και εσωτερικών διαστάσεων.



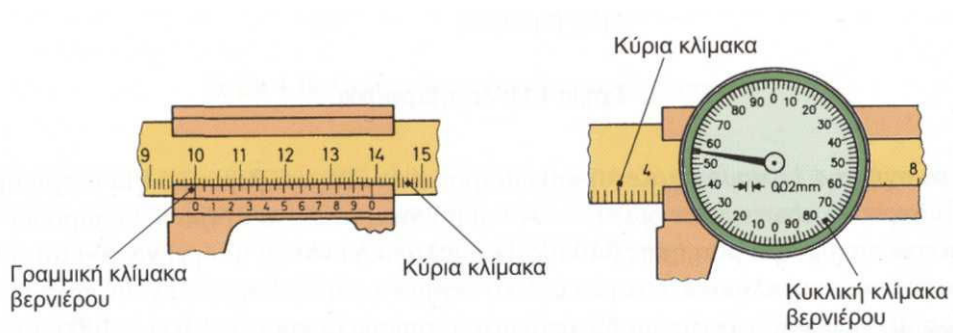
Σχήμα 3.9 : Αρχή βερνιέρου



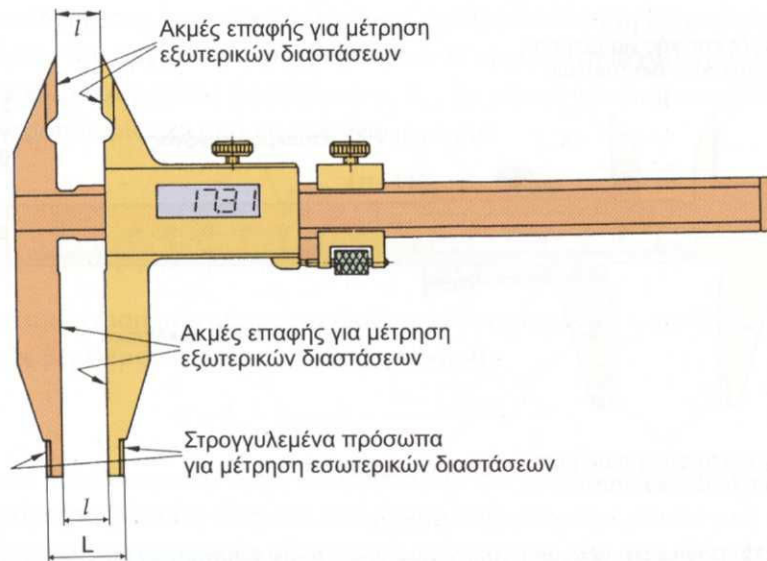
Σχήμα 3.10 : Παχύμετρο εξωτερικών, εσωτερικών διαστάσεων και βάθους, με αναλογικό βερνιέρο



Σχήμα 3.11 : Παχύμετρο μέτρησης βάθους



Σχήμα 3.12 : Αναλογική ένδειξη παχυμέτρου, γραμμική και κυκλική



Σχήμα 3.13 : Ψηφιακό παχύμετρο

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

$$G = 20 + \frac{L}{10} \mu m \geq 50 \mu m$$

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

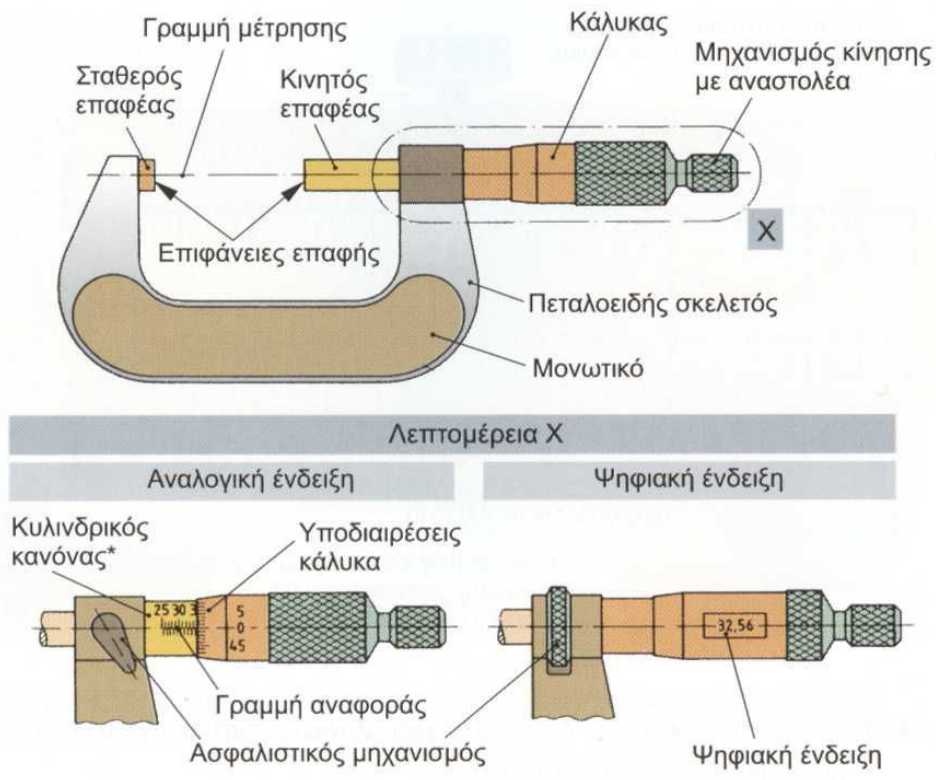
$$G = 22 + \frac{L}{50} \mu m$$

όπου L το μετρούμενο μέγεθος σε mm.

Κύριες αιτίες πηγής σφαλμάτων είναι η απόκλιση από την παραλληλότητα και την επιπεδότητα των ακμών επαφής των ραμφών από την παραλληλότητα και την επιπεδότητα των ακμών επαφής των ραμφών των παχυμέτρων, συνήθως λόγω φθοράς. Μηδενική ρύθμιση του οργάνου πριν από κάθε μέτρηση θεωρείται αναγκαία. Επίσης, σωστή χρήση του παχυμέτρου απαιτεί ευθύγραμμη συσχέτιση του οργάνου με το υπό μέτρηση τεμάχιο.

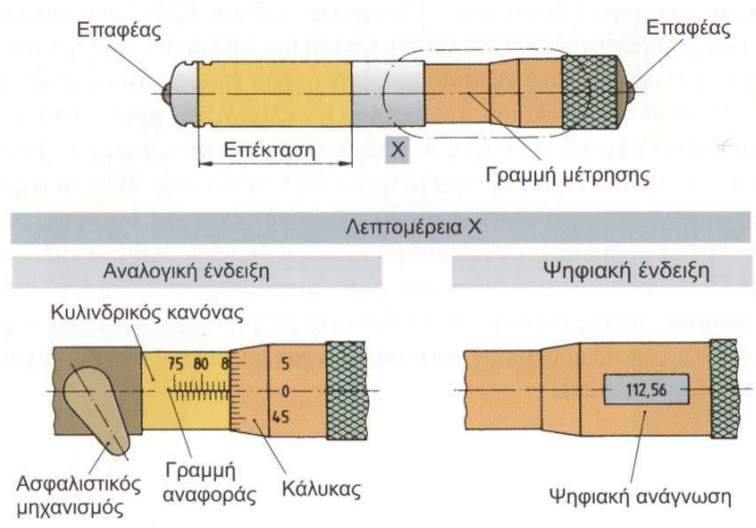
3.2.3 Μικρόμετρο (micrometer)

Είναι όργανο μέτρησης διαστάσεων εξωτερικών (**σχήμα 3.14**), εσωτερικών (**σχήμα 3.15**) και βάθους (**σχήμα 3.16**) με αναλογική και ψηφιακή ένδειξη. Κατασκευάζεται από χάλυβα ή ελατό χυτοσίδηρο, ενώ οι δύο επαφείς του από κράμα χάλυβα ή άλλου σκληρού υλικού. Τα μικρόμετρα μετρούν διαστάσεις έως 500 mm ή 20 in, με εύρος μέτρησης ανά 25 mm ή 1 in και ακρίβεια μέτρησης 0,01 mm και 0,001 in, εκτός αν είναι εφοδιασμένα με βερνιέρο οπότε η ακρίβειά μεγαλώνει. Στο **σχήμα 3.17** παρουσιάζονται διάφοροι τύποι μικρομέτρων. Υπάρχουν μικρόμετρα με επαφείς ειδικής μορφής κατάλληλα για μέτρηση πολυωνυμικών καμπυλών (splines), χαρακτηριστικών οδοντωτών τροχών, σπειρωμάτων, πάχους σωλήνων κ.α. (**σχήμα 3.18**)

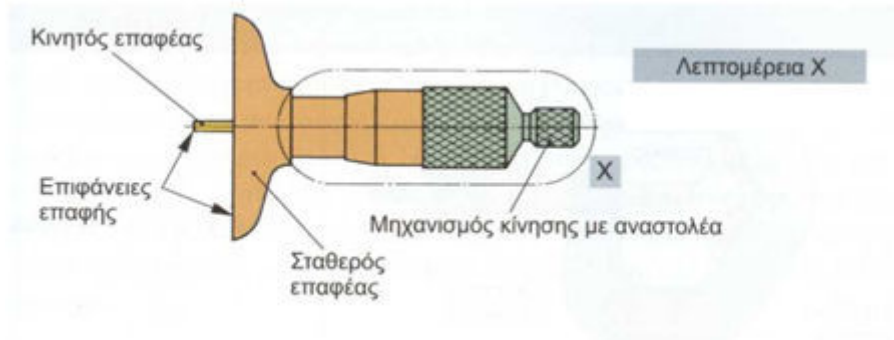


* Συνήθως η μικρότερη υποδιαίρεση του κυλινδρικού κανόνα υποδηλώνει και το βήμα του σπειρώματος

Σχήμα 3.14 : Μικρόμετρο εξωτερικών διαστάσεων



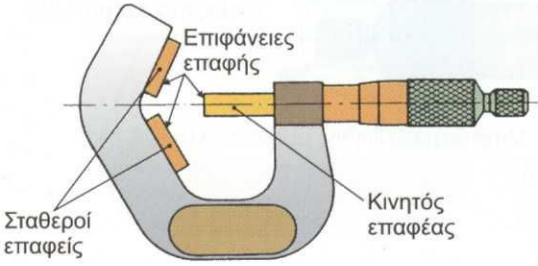
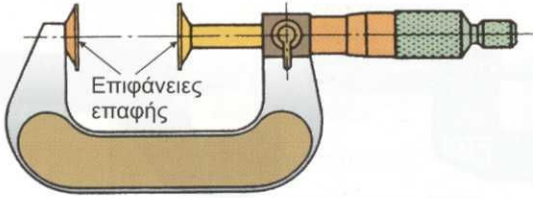
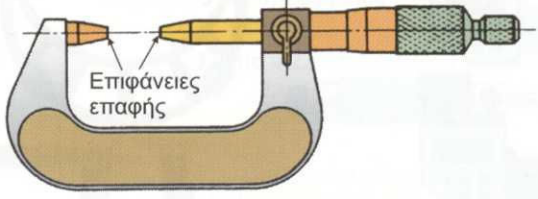
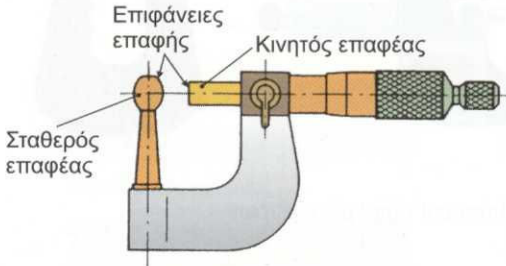
Σχήμα 3.15 : Μικρόμετρο εσωτερικών διαστάσεων



Σχήμα 3.16 : Μικρόμετρο για μέτρηση βάθους

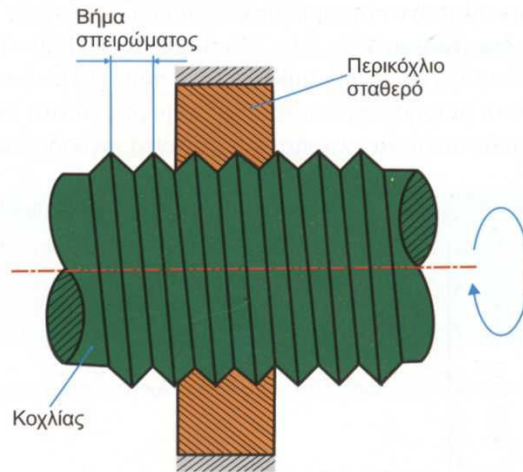


Σχήμα 3.17 : Διάφοροι τύποι μικρομέτρων

Τύποι μικρομέτρων	Εφαρμογή
	Έλεγχος κυκλικότητας
	Μέτρηση χαρακτηριστικών οδοντωτών τροχών
	Μέτρηση Splines
	Μέτρηση πάχους σωληνώσεων

Σχήμα 3.18 : Μικρόμετρα με επαφείς μορφής για ειδικές εφαρμογές

Η λειτουργία του μικρομέτρου βασίζεται στην αξονική μετατόπιση του κοχλία κατά την περιστροφή του (**σχήμα 3.19**). Μία πλήρης περιστροφή του κοχλία με σταθερό περικόχλιο μετατοπίζει αξονικά τον κοχλία κατά το βήμα του σπειρώματός του (για σπείρωμα μια αρχής), μισή περιστροφή μετατοπίζει τον κοχλία κατά το μισό βήμα του σπειρώματος και 1/50 της περιστροφής του κατά 1/50 του βήματός του. Δηλαδή, η αξονική μετατόπιση του κοχλία είναι ανάλογη της γωνίας στροφής και του βήματος του σπειρώματός του. Αν το βήμα του σπειρώματος είναι 1 mm η μετατόπιση του κοχλία θα είναι 1 mm, 0,5 mm και 1/50 mm = 0,02 mm αντίστοιχα.



Σχήμα 3.19 : Αρχή λειτουργίας μικρομέτρου

Η ακρίβεια που επιτυγχάνεται με μικρόμετρο μετρικού συστήματος είναι

Ακρίβεια $\alpha=0,01$ mm

όταν το βήμα του σπειρώματος του κοχλία είναι 1 mm και ο κάλυκας του κοχλία έχει 100 υποδιαιρέσεις ($\alpha = \delta_k/n = 1/100 = 0,01$ mm)

ή όταν το βήμα του σπειρώματος του κοχλία είναι 0,5 mm και ο κάλυκας του κοχλία έχει 50 υποδιαιρέσεις ($\alpha = \delta_k/n = 0,5/50 = 0,01$ mm)

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

Στο αγγλοσαξονικό σύστημα ισχύει

Ακρίβεια $\alpha=0,001$ in

όταν το βήμα του σπειρώματος του κοχλία είναι $1/40$ in = 0,025 in και ο κάλυκας του κοχλία έχει 25 υποδιαιρέσεις

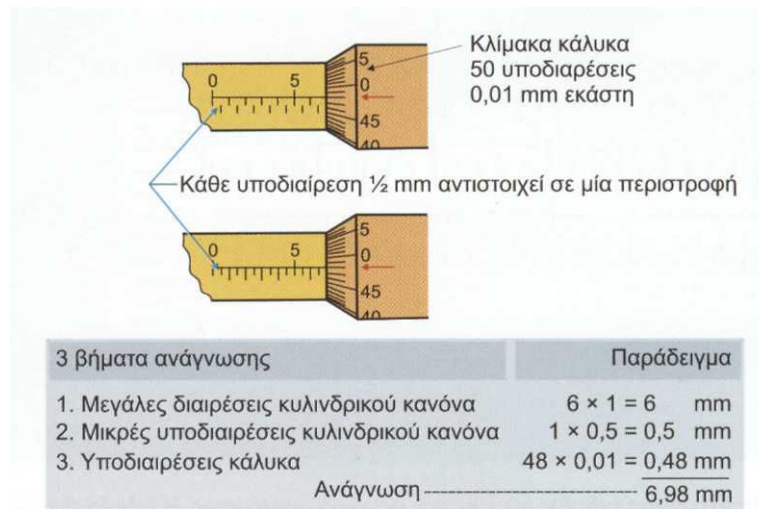
($\alpha = \delta_k/n = 1/(40 \times 25) = 0,001$ in)

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

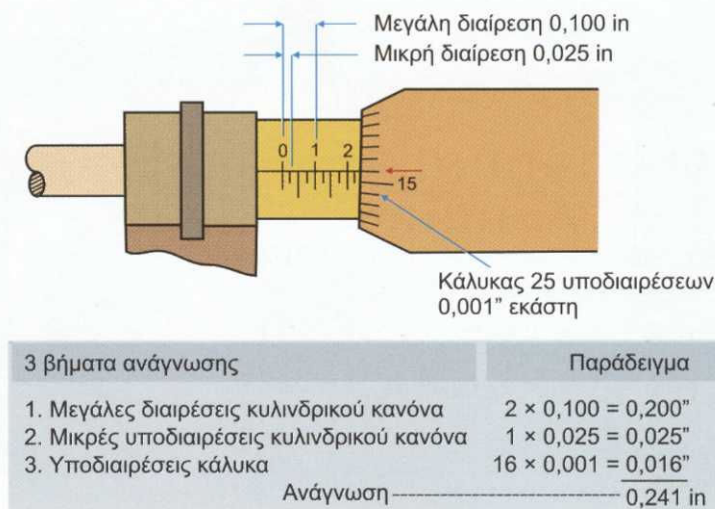
Ο έλεγχος του σφάλματος ανάγνωσης των μικρομέτρων γίνεται με τη χρήση προτύπων πλακιδίων.

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

Στο **σχήμα 3.20** παρουσιάζονται τα βήματα, που πρέπει να ακολουθεί κανείς, για να κάνει σωστή ανάγνωση ένδειξης μικρομέτρου μετρικού και στο **σχήμα 3.21** αγγλοσαξονικού συστήματος.



Σχήμα 3.20 : Ανάγνωση ένδειξης μικρομέτρου μετρικού συστήματος



Σχήμα 3.21 : Ανάγνωση ένδειξης μικρομέτρου αγγλοσαξονικού συστήματος

3.3 Όργανα σύγκρισης μηκών

Είναι όργανα, με τα οποία δεν γίνεται κατευθείαν μέτρηση μιας διάστασης, όπως π.χ. με τα όργανα που αναφέρθηκαν παραπάνω, αλλά γίνεται σύγκριση της άγνωστης διάστασης με μία άλλη γνωστή, η οποία συνήθως λαμβάνεται ως πρότυπο. Υπάρχουν διάφορα όργανα μηχανικά, ηλεκτρικά, οπτικά, πνευματικά για τη σύγκριση μηκών καθώς και μορφών.

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

4 Περιγραφή Μετροτεχνικού εργαστήριου

4.1 Μετροτεχνικό Εργαστήριο

Το Μετροτεχνικό Εργαστήριο (ΜΕ) αποτελεί οργανωτική μονάδα του ΕΜΠ από το 1962 οπότε και ιδρύθηκε (ΦΕΚ αριθμός φύλλου 32, Τεύχος 1, 22/02/1962, Διάταγμα 132). Αρχικά εγκαταστάθηκε στα Κτίρια του ΕΜΠ στην Πατησίων, ενώ το 1997 μετεγκαταστάθηκε στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου. Το Μετροτεχνικό Εργαστήριο αποτελεί επί σειρά ετών το σύνδεσμο μεταξύ της ακαδημαϊκής διδασκαλίας και της πρακτικής εφαρμογής των όσων διδάσκονται στα Μαθήματα του Κύκλου Σπουδών του Μηχανικού Παραγωγής της Σχολής των Μηχανολόγων Μηχανικών του ΕΜΠ.

4.2 Γενικά στοιχεία

Το Μετροτεχνικό Εργαστήριο έχει υπολογίσιμη παρουσία στον χώρο των μετρήσεων ακριβείας και μεγάλο ερευνητικό έργο. Με την ολοκλήρωση του χώρου ελεγχόμενων συνθηκών και τον εξοπλισμό του χώρου αυτού το εργαστήριο έχει διαπιστευθεί κατά το πρότυπο ΕΛΟΤ EN ISO/IEC 17025 : 2005 ώστε να παρέχει υπηρεσίες δοκιμών στην βιομηχανία. Τα στελέχη του εργαστηρίου έχουν μεγάλη πείρα σε θέματα μη-καταστροφικών ελέγχων ποιότητας και παρέχουν υπηρεσίες:

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

Ειδικότερα, το Μετροτεχνικό Εργαστήριο παρέχει τις εξής μετρήσεις:

Μετρήσεις εξωτερικών διαστάσεων $0 \div 600$ mm, Μετρήσεις εσωτερικών διαστάσεων $0,5 \div 450$ mm, Μετρήσεις εσωτερικών και εξωτερικών σπειρωμάτων σύμφωνα με το ISO 286, Μετρήσεις ελεγκτήρων αξόνων, Μετρήσεις ελεγκτήρων τριμμάτων, Μετρήσεις ελεγκτήρων σπειρωμάτων σύμφωνα με ANSI/ASME B1.2, BS 84, BS 919, DIN 13, ISO 228-1, DIN 40431.

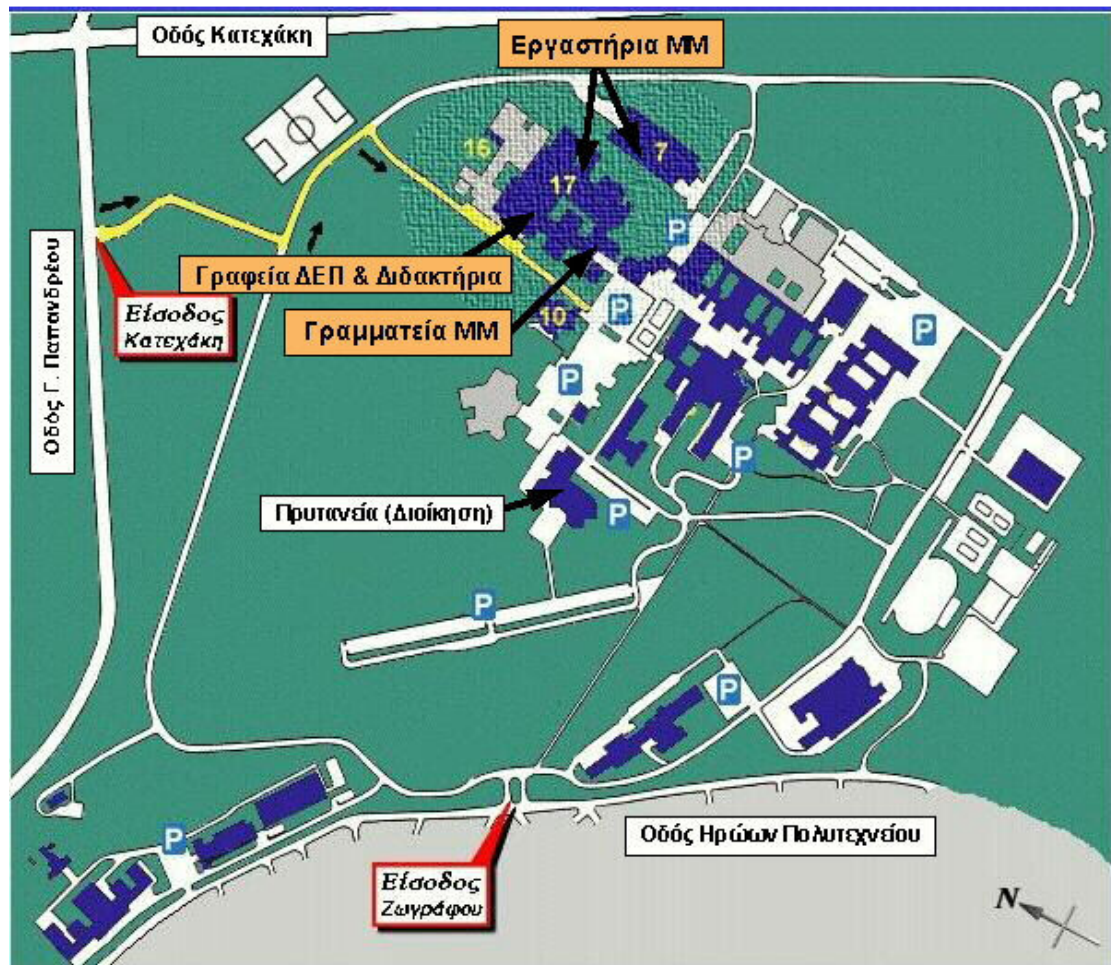
Ταυτόχρονα, το ερευνητικό προσωπικό του Μετροτεχνικού Εργαστηρίου δραστηριοποιείται σε ερευνητικά έργα ή έργα παροχής υπηρεσιών, στους τομείς:

1. Ανάπτυξη και εφαρμογή μεθοδολογιών προγραμματισμού έργων (Project Management).
2. Εκπόνηση μελετών Διαχείρισης Κινδύνων (Risk Management) στο πλαίσιο της υλοποίησης στρατηγικών επιχειρησιακών αποφάσεων.
3. Ανάπτυξη και εφαρμογή μεθοδολογιών Διαχείρισης Κινδύνων στον τομέα των Έργων (Project Risk Management)
4. Ανάπτυξη και εφαρμογή μεθοδολογιών Διαχείρισης Κινδύνων στον τομέα των Συστημάτων Διαχείρισης Επιχειρησιακών Πόρων (ERP Systems). (Σε

συνεργασία με τη Μονάδα Βιομηχανικού Λογισμικού του Εργαστηρίου Οργάνωσης Παραγωγής)

Παράλληλα, το ΜΕ δραστηριοποιήθηκε από την ίδρυσή του στην διεξαγωγή ερευνητικού έργου και στην παροχή υπηρεσιών σε επιχειρήσεις και οργανισμούς του ιδιωτικού και του δημόσιου τομέα.

Το ΜΕ βρίσκεται στις εγκαταστάσεις της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών στο Κτήριο Ν της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου. Στο χάρτη φαίνεται που βρίσκεται η Σχολή σε σχέση με τις δύο εισόδους της Πολυτεχνειούπολης.



4.3 Στελέχωση

Η στελέχωση του Μετροτεχνικού Εργαστηρίου αποτελείται από τα παρακάτω μέλη.

Μόνιμο προσωπικό

Παππάς Ιωάννης	Ομ. Καθηγητής
Λεώπουλος Βρασίδης (Διευθυντής του Εργαστηρίου)	Επ. Καθηγητής
Γεωργίου Αρίστος	ΕΕΔΙΠ
Κουλάρα Βασιλική	ΙΔΑΧ

Διδάσκοντες ΠΔ 407 - Μεταδιδακτορικοί Συνεργάτες

Βουλγαρίδου Δήμητρα	Διδάσκων ΠΔ 407
Κηρυτόπουλος Κωνσταντίνος	Διδάσκων ΠΔ 407
Μπέλλος Ευάγγελος	Μεταδιδακτορικός Συνεργάτης
Χατζηστέλιος Γεώργιος	Μεταδιδακτορικός Συνεργάτης

Υποψήφιοι Διδάκτορες

<u>Διαμάντας Βίκτωρ</u>	Μηχανολόγος Μηχανικός - Υποψήφιος Διδάκτωρ
<u>Τσόγκας Χαραλαμπος</u>	Μηχανολόγος Μηχανικός - Υποψήφιος Διδάκτωρ
<u>Χαμπηλομάτης Ευάγγελος</u>	Μηχανολόγος Μηχανικός - Υποψήφιος Διδάκτωρ
<u>Πουστουρλή Αικατερίνη</u>	Μηχανικός Παραγωγής - Υποψήφια Διδάκτωρ

4.4 Εξοπλισμός

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

4.5 Χώροι

Οι χώροι που διαθέτει το εργαστήριο είναι οι ακόλουθοι:

X1: Γραφείο Διευθυντή Εργαστηρίου (Κτήριο E, 1^{ος} όροφος)

X2: Γραφείου Υπευθύνου Ποιότητας (Κτήριο E, 1^{ος} όροφος)

X3: Γραφείου Τεχνικού Υπευθύνου & Υπευθύνου Διαχείρισης Εξοπλισμού (Κτήριο N, 1^{ος} όροφος)

X4: Γραφείο Υπευθύνου Εξυπηρέτησης Πελατών και Υπευθύνου Προμηθειών (Κτήριο N, ισόγειο)

X5: Χώρος Ελεγχόμενων Συνθηκών (Κτήριο N, υπόγειο)

X6: Βοηθητικός Χώρος Αίθουσας Ελεγχόμενων Συνθηκών (Κτήριο N, υπόγειο)

X7: Χώρος Εργαστηριακών Ασκήσεων (Κτήριο N, υπόγειο)

Περιγράφεται στη συνέχεια ο Χώρος Ελεγχόμενων Συνθηκών του Μετροτεχνικού Εργαστηρίου:

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

1. Σταθερή θερμοκρασία
2. Απαλλαγή από δονήσεις
3. Ελεγχόμενη υγρασία αέρα
4. Καθαριότητα και απαλλαγή από σκόνη
5. Ικανοποιητικός χώρος για άνετη εργασία

4.6 Χώρος Ελεγχόμενων Συνθηκών του ΜΕ



Η ρύθμιση της θερμοκρασίας είναι αυτόματη από σύστημα κλιματισμού. Η θερμοκρασία διατηρείται σε όριο δυνατών αποκλίσεων $\pm 0.5\text{ C}$ από την κανονική θερμοκρασία των 20 C (που είναι ακριβώς ίση με 68 F). Οι τοίχοι τα δάπεδα και η οροφή είναι κατάλληλα θερμομονωμένοι. Εισαγωγή θερμού ή ψυχρού αέρα από την οροφή ή το δάπεδο με πολύ μικρή ταχύτητα για την αποφυγή στροβιλισμών που συνεπάγεται την ανομοιόμορφη κατανομή της θερμοκρασίας στο χώρο. Τοποθέτηση σε μικρές αποστάσεις ισχυρών λαμπτήρων είναι αιτία μιας τοπικής διέγερσης της θερμοκρασίας. Ακριβή θερμομέτρα έχουν τοποθετηθεί σε διάφορα σημεία του χώρου μετρήσεων για έλεγχο του αυτόματου συστήματος ρύθμισης της θερμοκρασίας. Ο χώρος είναι απαλλαγμένος από δονήσεις πολύ σημαντική συνθήκη για ακριβείς μετρήσεις.

Η τοποθέτηση της μετρητικής μηχανής σε μονομπλόκ από τσιμέντο. Ελαφρές δονήσεις από το κτίριο στο πάτωμα από 1 Hz μέχρι 100 Hz θα αποσβένονται από μονωτικά ISOLATOR μαξιλάρια από μαλακό λάστιχο. Ο χώρος ελέγχεται για δονήσεις με επιταχυνσιόμετρα. Αν η σχέση υγρασίας αέρος υπερβαίνει το $50 \pm 2\%$ τότε τα μηχανήματα θα διαβρωθούν. Προβλέπεται αυτόματη ρύθμιση υγρασίας (πλήρες σύστημα κλιματισμού). Καθαριότητα και απαλλαγή από σκόνη για να μη φθείρονται τα μηχανικά μέρη και δημιουργούνται ορατές γρατσουνιές

Τοποθετήθηκε αντιστατικό δάπεδο ώστε να αποφεύγεται η δημιουργία σκόνης.

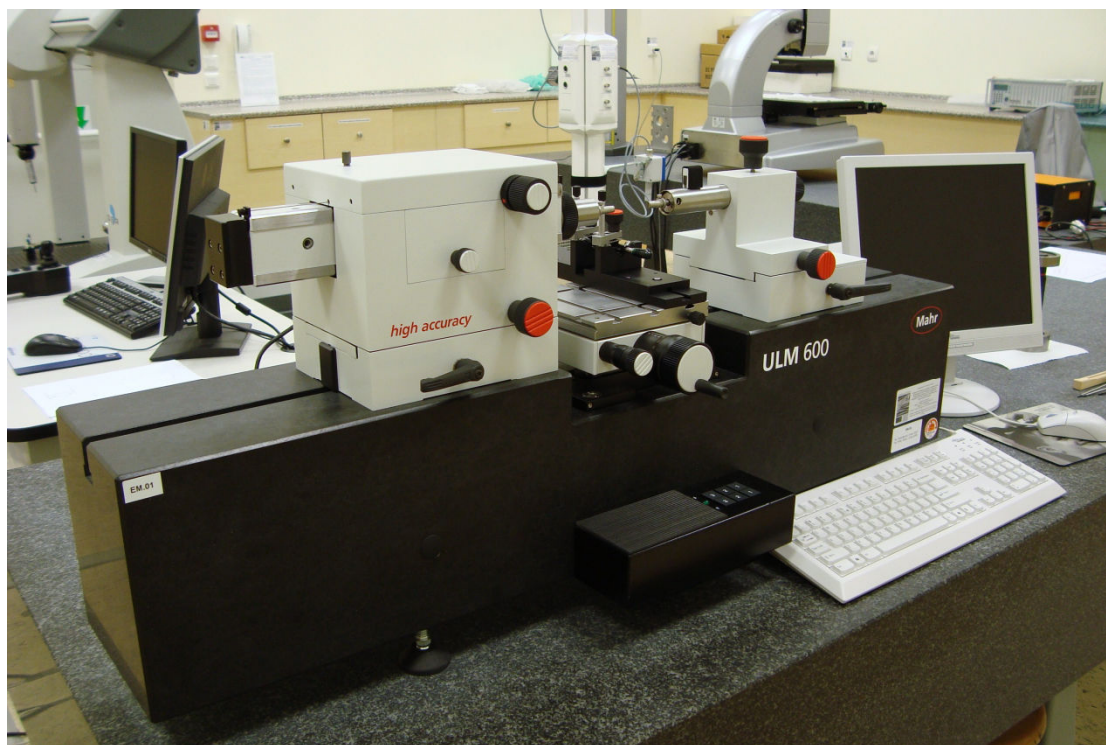
Πάτωμα και οροφή βαμμένα λευκά. Το σύστημα κλιματισμού έχει ενσωματωμένα φίλτρα καθαρισμού του αέρα ώστε να αφαιρείται η σκόνη. Ικανοποιητικός χώρος για άνετη εργασία. Διαθέσιμος χώρος για τα προς μέτρηση κομμάτια, και όλα τα αντικείμενα που πρέπει να τοποθετούνται για ορισμένες ώρες στο χώρο ελεγχόμενων συνθηκών ώστε να επιτευχθεί εξίσωση θερμοκρασίας. Όλα τα ανωτέρω προβλέπονται στις Γερμανικές προδιαγραφές VDI/VDE 2627 οι οποίες μεταφράσθηκαν στα ελληνικά από στελέχη του εργαστηρίου και οι οποίες αναμένονται σύντομα να καθιερωθούν από τον ΕΛΟΤ σαν ελληνικό πρότυπο.

Το αντικραδασμικό δάπεδο έχει διαστάσεις 4 * 4 m και είναι ανεξάρτητο από το υπόλοιπο κτίριο. Επίστρωση του δαπέδου της αίθουσας με αγωγίμο εποξειδικό σύστημα. Υπάρχει προθάλαμος εισόδου με σύστημα air lock στην αίθουσα με σκοπό την διατήρηση των ελεγχόμενων συνθηκών μετρήσεων. Έχουν τοποθετηθεί δύο πάγκοι από γρανίτη βαρέως τύπου διαστάσεων 3000*1000*300 mm.

Σαν οδηγός έχει χρησιμοποιηθεί η Γερμανική Προδιαγραφή VDI/VDE 2627 Blatt 1, που είναι η μοναδική προδιαγραφή για χώρους μετρήσεων στον κόσμο. Ιδιαίτερη προσοχή έχει δοθεί στον έλεγχο των δύο βασικότερων περιβαλλοντικών παραμέτρων που επηρεάζουν τις διαστασιακές μετρήσεις: τη θερμοκρασία και τις ταλαντώσεις.

4.6.1 Κύριος εξοπλισμός

Είναι τα μηχανήματα που πραγματοποιούν μετρήσεις. Αυτά είναι η Mahr ULM OPAL 600 (σχήμα 4.2), η μηχανή τρισδιάστατων μετρήσεων DEA CMM (σχήμα 4.3) και η TESA VISIO 300 (σχήμα 4.4).



Σχήμα 4.2 : Μηχανή Mahr ULM OPAL 600 του Μετροτεχνικό Εργαστήριο ΕΜΠ



Σχήμα 4.3 : Μηχανή DEA CMM advantage του Μετροτεχνικού Εργαστηρίου ΕΜΠ



Σχήμα 4.4 : Μηχανή TESA VISIO 300 του Μετροτεχνικού Εργαστηρίου ΕΜΠ

4.6.2 Βοηθητικός εξοπλισμός

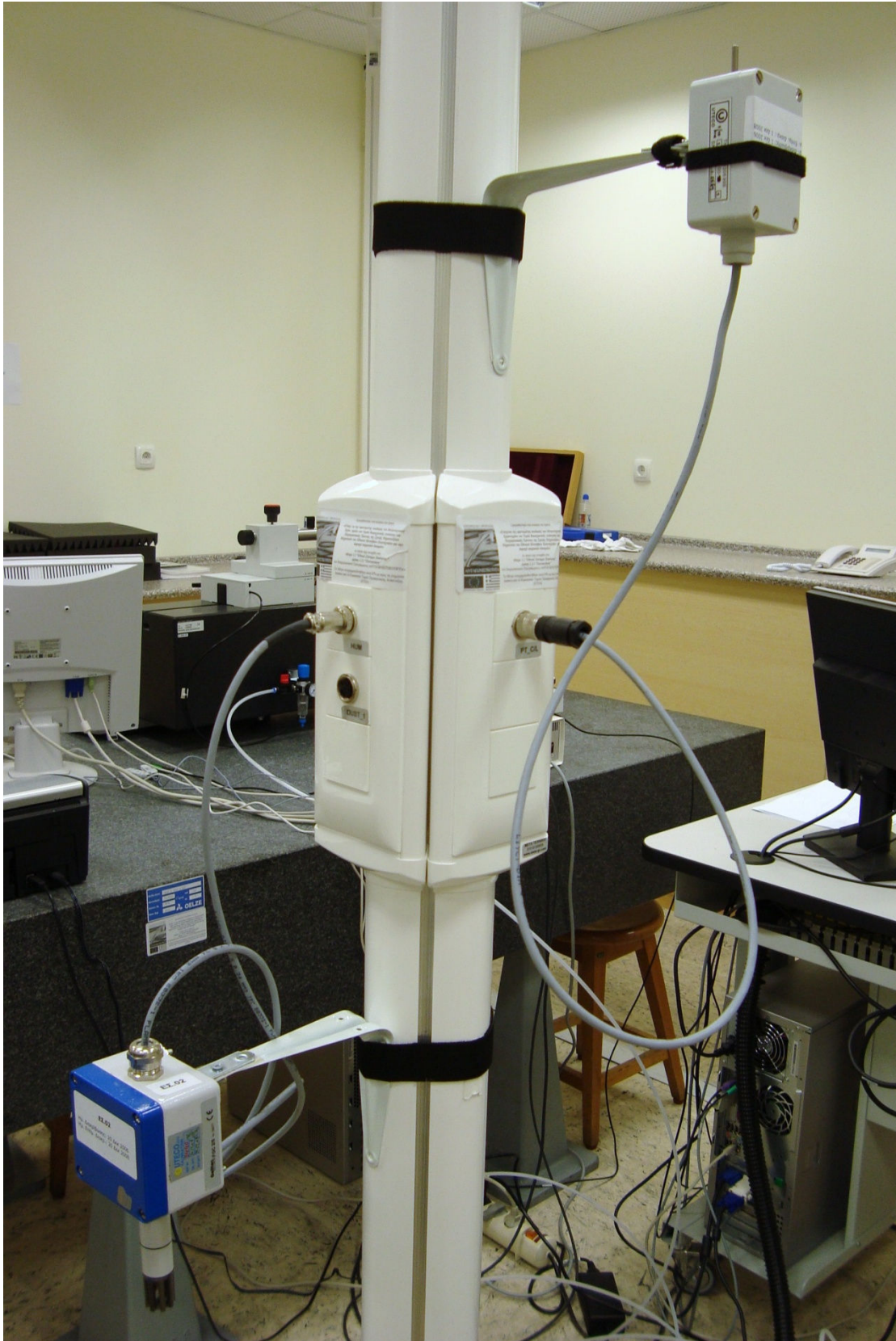
Είναι ο εξοπλισμός που δεν λαμβάνει άμεσα μέρος στην μέτρηση, τέτοιος εξοπλισμός είναι αισθητήρες θερμοκρασίας και υγρασίας, Η/Υ του εργαστήριου, καταγραφής συνθηκών, επιταχυνσιόμετρα κ.τ.λ.

4.6.2.1 Αισθητήρες

Ο χώρος είναι εξοπλισμένος με εννέα αισθητήρες θερμοκρασίας (**σχήμα 4.5**). Οι 8 από αυτούς βρίσκονται στις τέσσερις γωνίες του χώρου, τέσσερις ψηλά και 4 χαμηλά. Ο ένατος βρίσκεται στο κέντρο του εργαστήριου πάνω στην κεντρική στήλη αισθητήρων (**σχήμα 4.6**). Στο εργαστήριο υπάρχει και ένας αισθητήρας υγρασίας που βρίσκεται και αυτός στην κεντρική στήλη αισθητήρων.



Σχήμα 4.5 : Αισθητήρας μέτρησης θερμοκρασίας



Σχήμα 4.6 : Κεντρική στήλη αισθητήρων

4.6.2.2 Καταγραφέας δεδομένων (data logger)

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



Σχήμα 4.7 : Ο καταγραφέας (data logger) του ME

4.6.2.3 Συσσκευή πολλαπλών χρήσεων Allmemo

Η πολλαπλών εφαρμογών συσκευή Allmemo (σχήμα 4.8) έχει τρία ηλεκτρικά μονωμένες εισόδους, κατάλληλες για όλες τους αισθητήρες Allmemo. Υπάρχουν δώδεκα κανάλια στις εισόδους των αισθητήρων και 4 κανάλια εσωτερικά στη συσκευή. Η συσκευή μπορεί να μετρήσει πάνω από εβδομήντα διαφορετικές μετρήσεις. Πλήθος συσκευών μπορεί να συνδεθεί στο Allmemo με καλώδιο δικτύου. Η συσκευή μέτρησης είναι εφοδιασμένη με ένα πληκτρολόγιο και μια οθόνη υγρών κρύσταλλων 8½ χαρακτήρων. Η συσκευή διαθέτη τη δυνατότητα να λειτουργήσει και ως καταγραφέας δεδομένων (data logger) με εσωτερική μνήμη 32KB και επιπλέον μπορούμε να προσθέσουμε εξωτερική μνήμη έως 256KB (χωρητικότητα που αντιστοιχεί σε 50000 μετρήσεις). Ένα μεγάλο εύρος δυνατοτήτων μπορεί να ενεργοποιηθεί είτε αυτόματα είτε μεμονωμένα π.χ. για την αξιολογήσει των αισθητήρων, διαχείριση διαδικασιών.

Όρια τιμών και ειδοποίησης

Για κάθε κανάλι μέτρησης μπορούμε να θέσουμε ένα μέγιστο και ένα ελάχιστο όριο. Σε περίπτωση που κάποια μέτρηση υπερβεί το αντίστοιχο όριο διατίθεται η δυνατότητα ειδοποιήσεις. Η υπέρβαση ενός ορίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την

έναρξη ή τον τερματισμό της καταγραφής μετρήσεων κατά την διαδικασία καταγράφει δεδομένων (data logging).



Σχήμα 4.8 : Συσκευή Allmemo

Μέτρηση

Για κάθε μετατροπέα Allmemo διατίθενται μέχρι και έξι κανάλια μετρήσεων. Είναι δυνατόν να εναλλάσσονται τα κανάλια με την χρήση του πληκτρολογίου. Το επιλεγμένο σημείο σαρώνεται με 2,5 ή 10 μετρήσεις το δευτερόλεπτο και στη συνέχεια η μετρημένη τιμή υπολογίζεται και εμφανίζεται στην οθόνη ή σε μια αναλογική έξοδο. Η τιμή που έχει μετρηθεί για το επιλεγμένο σημείο μέτρησης επιδεικνύεται συνεχώς με (auto-zero) και κατ' επιλογή με διόρθωση της τιμής ή κλιμάκωση της. Στους περισσότερους αισθητήρες η θραύση ή καταστροφή του αισθητήρα αναγνωρίζεται αυτόματα, με αποτέλεσμα την άμεση ενημέρωση του χειριστή.

Στον χώρο ελεγχόμενων συνθηκών χρησιμοποιείται ως θερμομέτρο της μηχανής ULM OPAL 600, με τρεις αισθητήρες θερμοκρασίας. Καταγραφή την θερμοκρασία στη βάση της μηχανής, την θερμοκρασία του δοκιμίου ή της τράπεζας (ανάλογα που είναι προσκολλημένος ο μαγνητικός αισθητήρας) και την θερμοκρασία του Headstock (είναι κύριο μέρος της μηχανής ULM OPAL 600). Τέλος, είναι συνέχεια συνδεδεμένο το Allmemo με τον Η/Υ της μηχανής ULM OPAL 600, ώστε να καταγράφονται οι μετρήσεις των θερμοκρασιών που πραγματοποιεί.

5 Μηχανές Τρισδιάστατων Μετρήσεων

Οι Μηχανές Τρισδιάστατων Μετρήσεων ή μηχανές μέτρησης συντεταγμένων (Coordinate Measuring Machines, CMM) είναι μηχανές με τις οποίες γίνονται μετρήσεις ακριβείας και υποστηρίζουν εργασίες ποιοτικού ελέγχου και σχεδιασμού. Αποτελούν μέσον επίλυσης διαφόρων προβλημάτων μετροτεχνίας παραγωγής, ιδιαίτερα όταν απαιτείται ακρίβεια και ευελιξία. Η διαδικασία μέτρησης υπερέχει καθοριστικά των συμβατικών μεθόδων μέτρησης (παχύμετρα, μικρόμετρα, κανόνες, μετρητικά ρολόγια κ.τ.λ.) σε πολλά σημεία, αλλά κυρίως στο ότι το σφάλμα του ανθρώπινου παράγοντα κατά τη διεξαγωγή και την ανάγνωση των ενδείξεων περιορίζεται στο ελάχιστο. Επίσης, αποτελούν το κατ' εξοχή χρησιμοποιούμενο εργαλείο για την παραγωγή τεχνικών δεδομένων κατά τη διαδικασία του αντίστροφου σχεδιασμού.



Σχήμα 5.1: Μηχανή τρισδιάστατων μετρήσεων

Οι CMM (σχήμα 5.1) καταγράφουν με ακρίβεια τη μορφή και τις διαστάσεις ενός μηχανολογικού τεμαχίου. Η ακρίβεια μέτρησης με CMM είναι της τάξης του 0,001 mm (1 μm , ειδικές περιπτώσεις 0,5 μm). Οι μετρητικές μηχανές CMM βασίζονται είτε σε μηχανική επαφή (Mechanical Contact Measurement) είτε σε οπτική ανάγνωση (Non-Contact Measurement). Οι τελευταίες χρησιμοποιούν κυρίως ακτινολογία laser ή/και μονοχρωματικό φως. Επισημαίνεται επίσης ότι, λόγω υψηλών απαιτήσεων

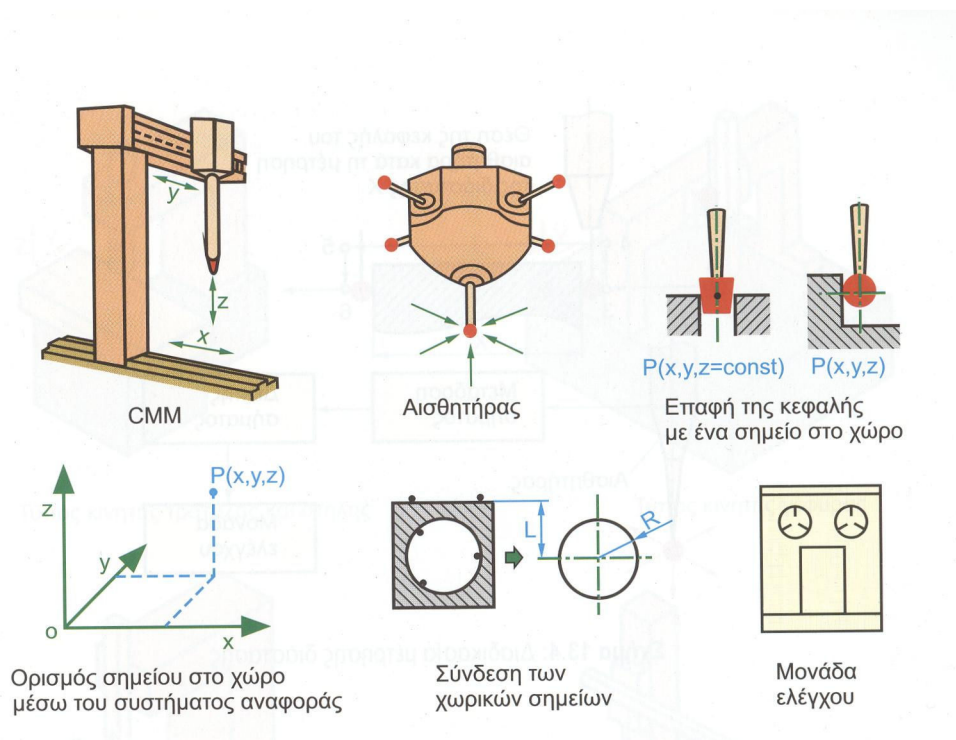
ακριβείας, προδιαγράφονται ειδικές συνθήκες χώρου εγκατάστασης, χωρίς αυτό να αποκλείει και την εγκατάστασή τους σε χώρους παραγωγής.

Τέλος, ένα σημαντικό πλεονέκτημα της χρήσης των μηχανών CMM είναι η δυνατότητα αποτύπωσης καμπύλων και γενικότερα επιφανειών και μορφών κομματιών που είναι αδύνατον με άλλο μέσο να καταγραφούν, όπως π.χ. πτερύγια ενός στροβίλου, η μορφή ενός καλουπιού κ.τ.λ.

5.1 Αρχή λειτουργίας

Η βασική αρχή λειτουργίας μετρητικής μηχανής CMM είναι η εξής:

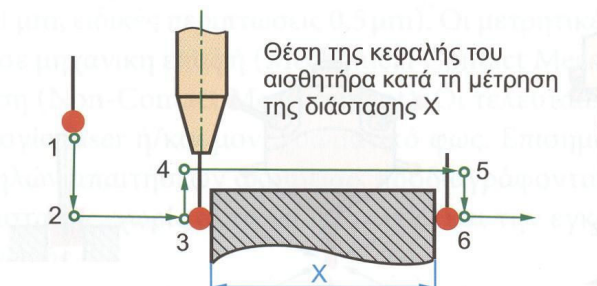
Υπερευαίσθητος επαφίας - αισθητήρα (touch probe) διατρέχει την επιφάνεια του προμέτρησι κομματιού. Η σχετική μετατόπιση της βάσης αισθητήρα ως προς σύστημα αναφοράς, που έχει προκαθοριστεί σε μεταβολή τάσης. Για κάθε σημείο επαφής του αισθητήρα με το τεμάχιο, καταγράφονται οι συντεταγμένες (καρτεσιανές, πολικές και σφαιρικές) του σημείου ως προς το σύστημα αναφοράς (**σχήμα 5.2**). Η αναλογική μεταβολή τάσης μετατρέπεται σε ψηφιακό σήμα μέσω ειδικών ηλεκτρονικών κυκλωμάτων που είναι συνδεδεμένα με το σύστημα και στη συνέχεια με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού γίνεται απεικόνιση των θέσεων των σημείων στο χώρο. Με τον τρόπο αυτό αποτυπώνεται το σχήμα και οι διαστάσεις του αντικειμένου. Οι CMM συνδέονται με ηλεκτρονικό υπολογιστή ή άλλες εξειδικευμένες μηχανές καταγραφής για λήψη, ανάλυση και επεξεργασία των δεδομένων που αντλούνται από τις μετρήσεις με τη χρήση ειδικού λογισμικού.



Σχήμα 5.2 : Αρχή λειτουργίας μετρητικής μηχανής CMM

Η μετακίνηση του αισθητήρα (προσέγγιση στο σημείο μέτρησης) με τους μετρητικούς βραχίονες από τη μία θέση στην άλλη (**σχήμα 5.3**) γίνεται αυτόματα, σύμφωνα με τον αλγόριθμο που υποστηρίζεται από τη μετρητική μηχανή. Τη στιγμή κατά την

οποία ο επαφίας – αισθητήρας αγγίζει το σημείο μέτρησης, δημιουργείται σήμα στο συγκεκριμένο άξονα μέτρησης. Ταυτόχρονα το σήμα μεταφέρεται, μέσω της μονάδας ελέγχου, στο μετρητικό σύστημα θέσης της μηχανής αναγνωρίζεται η τιμή των συντεταγμένων του σημείου μέτρησης. Τα αποτελέσματα μεταφέρονται στον υπολογιστή και υπολογίζονται τα ποιοτικά χαρακτηριστικά (π.χ. η διάσταση x του ελεγχόμενου αντικειμένου). Της διαδικασίας μέτρησης προηγείται διακρίβωση με τη βοήθεια προτύπου υψηλής ακριβείας.



Σχήμα 3 : Διαδικασία μέτρησης διάστασης

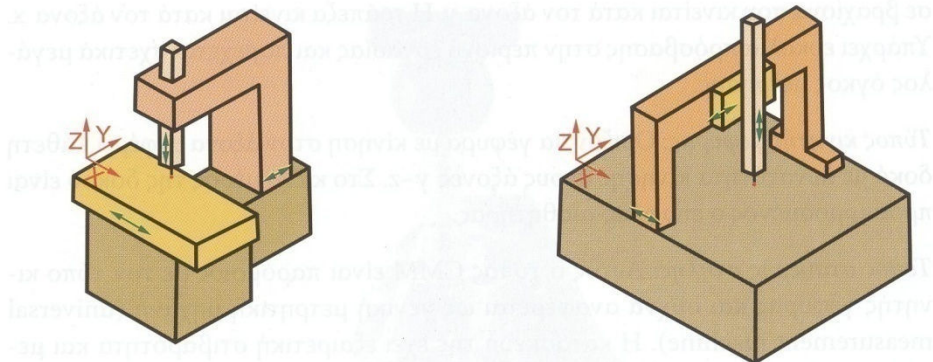
5.2 Τύποι μετρητικών μηχανών CMM

Η βασική μορφή τους καθορίζεται από τρεις κάθετους άξονες: x , y και z . Κάθε άξονας εγκαθίσταται με μια κλίμακα ακριβείας (μετρητική συσκευή).

Οι τύποι των CMM ποικίλουν, αλλά όλοι παρέχουν τη δυνατότητα να κινήσουν τον αισθητήρα στους τρεις άξονες. Σε πολλές περιπτώσεις μια μικρή άρθρωση βοηθά να γίνεται μέτρηση σε δυσπρόσιτα σημεία. Τα μέγιστα όρια μετακίνησης των αξόνων σχηματίζουν τον όγκο μέτρησης (work envelope) της μετρητικής μηχανής.

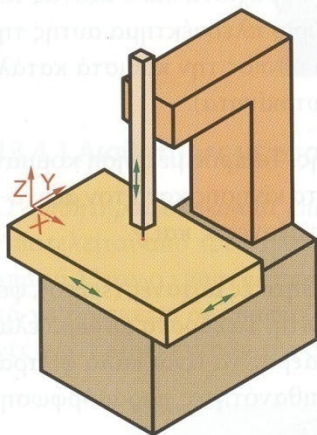
Κατά ANSI/ASME B89.1.12M υπάρχουν δέκα διαφορετικοί τυποποιημένοι τύποι CMM. Ο πιο συνήθεις είναι (**σχήμα 5.4**):

1. Τύπος κινητής τράπεζας και στήλης: Ο άξονας του αισθητήρα έχει τη κατεύθυνση z . Ο αισθητήρας, με δυνατότητα κίνησης στην κατεύθυνση αυτή, στηρίζεται σε βραχίονα που κινείται κατά τον άξονα y . Η τράπεζα κινείται κατά τον άξονα x . Υπάρχει ευκολία πρόσβασης στην περιοχή εργασίας και παρέχεται σχετικά μεγάλος όγκος μέτρησης.
2. Τύπος κινητής γέφυρας: Οριζόντια γέφυρα με κίνηση στον άξονα x φέρει κάθετη δοκό με δυνατότητα κίνησης στους άξονες $y - z$. Στο κάτω μέρος της δοκού είναι προσαρμοσμένος ο επαφίας-αισθητήρας.
3. Τύπος σταθερής στήλης: Αυτός ο τύπος CMM είναι παρόμοιος με τον τύπο κινητής γέφυρας και συχνά αναφέρεται ως γενική μετρητική μηχανή (universal measurement machine). Η κατασκευή της έχει εξαιρετική στιβαρότητα και μεγάλη ακρίβεια.

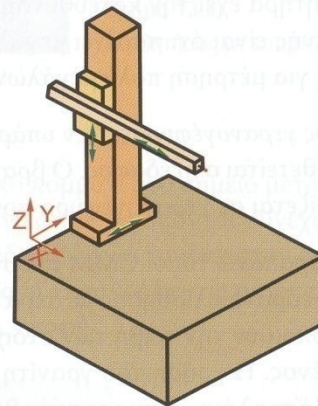


Τύπος κινητής τράπεζας και στήλης

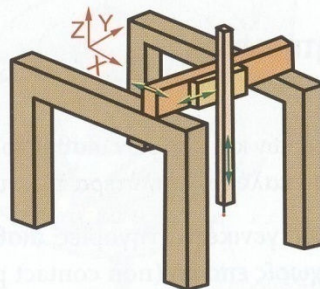
Τύπος κινητής γέφυρας



Τύπος σταθερής στήλης



Τύπος κινητής στήλης και βραχίονα



Τύπος γερανογέφυρας

Σχήμα 5.4 : Οι πέντε βασικοί τύποι μετρητικών μηχανών CMM

4. Τύπος κινητής στήλης και βραχίονα : Φέρει κινούμενο βραχίονα και ο άξονας του αισθητήρα έχει την κατεύθυνση του άξονα x. Το κύριο πλεονέκτημα αυτής της μηχανής είναι ότι παρέχει μεγάλο όγκο μέτρησης ο οποίος την καθιστά κατάλληλη για μέτρηση πολύ μεγάλων κομματιών (π.χ. αυτοκίνητα).
5. Τύπος γερανογέφυρας: Δεν υπάρχει τράπεζα μηχανής. Το προς μέτρηση κομμάτι τοποθετείται στο έδαφος. Ο βραχίονας με δυνατότητα κίνησης κατά τον άξονα z στηρίζεται σε γερανογέφυρα που κινείται κατά τους άξονες x και y.

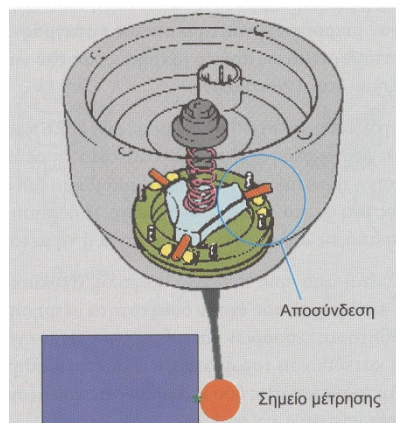
Οι παραπάνω τύποι CMM υποστηρίζονται από βοηθητικές μηχανές (servo), φέρουν έδρανα ολίσθησης με αέρα και βάσεις από γρανίτη. Τα έδρανα με αέρα ελαχιστοποιούν την τριβή των στοιχείων. Απαιτείται ο αέρας να είναι καλά φιλτραρισμένος. Η χρήση του γρανίτη ελαχιστοποιεί τις πιθανότητες παραμόρφωσης της βάσης λόγω διαφορετικής θερμικής διαστολής.

5.3 Τύποι αισθητήρων

Διατίθεται μεγάλη ποικιλία τύπων και μορφών αισθητήρων. Οι χρήστες πρέπει να επιλέγουν τον αισθητήρα που καλύπτει καλύτερα τις απαιτήσεις της μέτρησης. Οι αισθητήρες ανήκουν σε δύο γενικές κατηγορίες: *αισθητήρας με επαφή* (contact probe) και *αισθητήρες χωρίς επαφή* (non contact probe). Ο αισθητήρας με επαφή είναι ο κοινός τύπος αισθητήρα. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι αισθητήρες συνεχούς επαφής. Στην κατηγορία αισθητήρων χωρίς επαφή ανήκουν οι αισθητήρες λέιζερ (laser) και οι τηλεοπτικοί αισθητήρες (video probe).

5.3.1 Αισθητήρες με επαφή

Ο αισθητήρας στιγμιαίας επαφής εφάπτεται με το κομμάτι στο σημείο μέτρησης. Αποτελείται από τρεις ηλεκτρικές συνδεσμολογίες που βρίσκονται συνέχεια σε επαφή. Όταν ο επαφέας παρεκτρέπεται, μία συνδεσμολογία τουλάχιστον σταματά να βρίσκεται σε επαφή (**σχήμα 5.5**). Η μηχανή καταγράφει τις συντεταγμένες x, y, z του κέντρου της ακίδας τη στιγμή της επαφής.



Σχήμα 5.5 : Αισθητήρας με επαφή κατά τη μέτρηση

Ο αισθητήρας συνεχούς επαφής διατηρεί συνεχώς την επαφή του με την επιφάνεια την οποία ιχνηλατεί και παίρνει μετρήσεις ανά καθορισμένη διακριτή απόσταση. Χρησιμοποιείται για τη μέτρηση εξωτερικών πολύπλοκων επιφανειών, π.χ. κελύφη τουρμπίνων. Σε ένα ορισμένο χρονικό διάστημα ο αισθητήρας με συνεχή επαφή μπορεί να αποδώσει 10 έως 50 φορές περισσότερα στοιχεία από έναν αισθητήρα με στιγμιαία επαφή. Οι αισθητήρες συνεχούς επαφής βελτιώνουν την ταχύτητα και την ακρίβεια με την οποία τα στοιχεία μέτρησης συλλέγονται, ιδιαίτερα στις πολύπλοκες επιφάνειες. Χρησιμοποιούνται συχνά για μετρήσεις αντικειμένων που η γεωμετρία της επιφάνειάς τους είναι σύνθετη ή ανώμαλη, όπως ο στροφαλοφόρος άξονας. Χρησιμοποιούνται συνήθως στη συγκέντρωση στοιχείων στον αντίστροφο σχεδιασμό αντικειμένων.

Ένας από τους περιορισμούς των αισθητήρων με επαφή είναι η δύναμη (ένα γραμμάριο ή περισσότερο) που ασκεί ο αισθητήρας στο σημείο επαφής στο προς μέτρηση κομμάτι. Η δύναμη μπορεί να προκαλέσει ζημιά σε εύκαμπτα ή εύθραυστα στοιχεία. Σε αυτήν την περίπτωση είναι πιο κατάλληλη η χρήση ενός αισθητήρα χωρίς επαφή.

Τελευταία, έχει εξελιχθεί αισθητήρας επαφής που χρησιμοποιεί στυλίσκο υψηλής συχνότητας με δύναμη επαφής μικρότερη των 10 mg. Το στέλεχος του αισθητήρα περιέχει έναν κρύσταλλο που δημιουργεί μια δόνηση στο στυλίσκο. Ο αισθητήρας συντονίζεται σε συχνότητα 20-25 KHz. Όταν ο στυλίσκος έρθει σε επαφή με το προς μέτρηση κομμάτι, η ταλάντωση αλλάζει. Αυτή η αλλαγή ανιχνεύεται από έναν μικροεπεξεργαστή ο οποίος καταγράφει την αλλαγή ως επαφή. Η επαφή καταχωρείται ως σημείο μέτρησης προτού να εμφανιστεί οποιαδήποτε εκτροπή ή ζημιά του αντικειμένου.

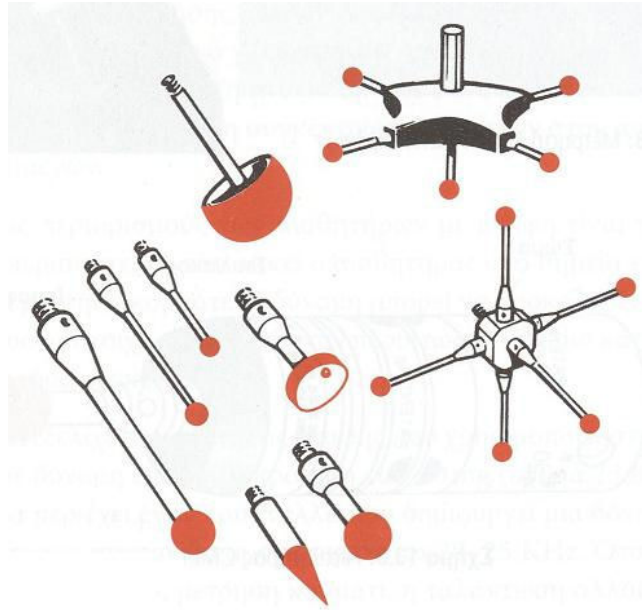
Η ταλάντωση στον αισθητήρα αυτόν περιορίζει επίσης έναν άλλο κοινό πρόβλημα των ψευτο-επαφών. Οι ψευτο-επαφές εμφανίζονται κατά τη μετακίνηση του αισθητήρα, όπου η δόνηση ή η επιτάχυνση προκαλεί μία μικρή δύναμη επαφής και αυτό καταγράφεται ως ένα ψεύτικο σημείο μέτρησης. Η δόνηση στο νέο αισθητήρα δεν επηρεάζεται από τις αλλαγές στην ταχύτητα ή τη μετακίνηση.

Ένας αισθητήρας αποτελείται από τρία στοιχεία : κεφαλές, στυλίσκο και σώμα (**σχήμα 5.6**). Οι αισθητήρες που έχουν δυνατότητα μέτρησης κατά τους άξονες x, y καλούνται αισθητήρες τεσσάρων κατευθύνσεων. Όταν έχουν δυνατότητα μέτρησης και σε μία κατεύθυνση του άξονα z καλούνται αισθητήρες πέντε κατευθύνσεων ενώ όταν μετράνε και στις δύο κατευθύνσεις του άξονα z, καλούνται αισθητήρες έξι κατευθύνσεων.

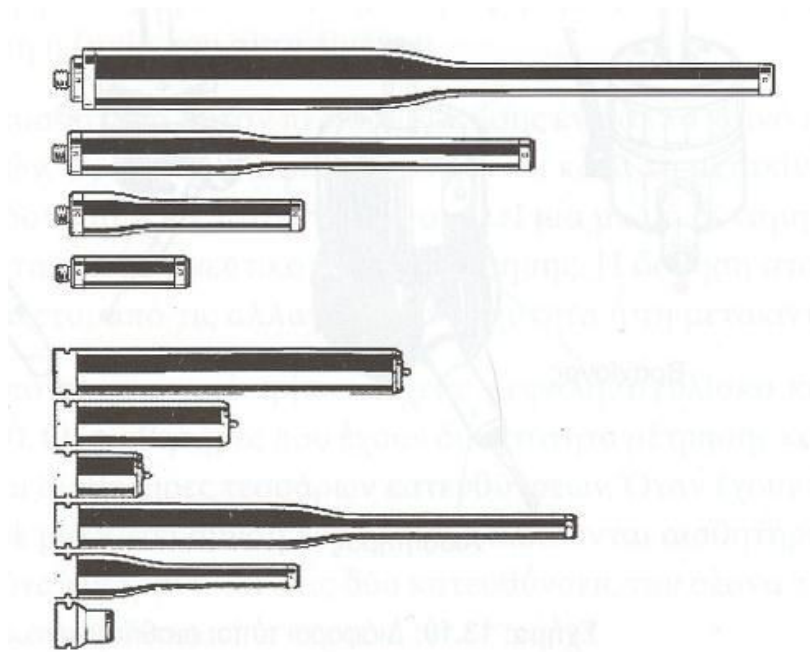


Σχήμα 5.6 : Αισθητήρας CMM

Διάφοροι τύποι στυλίσκων φαίνονται στο **σχήμα 5.7**. Για την επέκταση της θέσης της κεφαλής προστίθενται προεκτάσεις (**σχήμα 5.8**). Οι κεφαλές μπορούν να περιστραφούν χειροκίνητα ή αυτόματα. Η δυνατότητα περιστροφής του αισθητήρα επιτρέπει στο χειριστή να μετρήσει χαρακτηριστικά επιφάνειας εκτός επιπέδου xy. Ο χειριστής μπορεί να επιλέξει τον κατάλληλο στυλίσκο για κάθε τύπο μέτρησης. Σωστή επιλογή στυλίσκου μπορεί να αυξήσει την ακρίβεια μέτρησης. Η αυτοματοποίηση της διαδικασίας αυτής εξοικονομεί χρόνο.



Σχήμα 5.7 : Τύποι στυλίσκων αισθητήρα

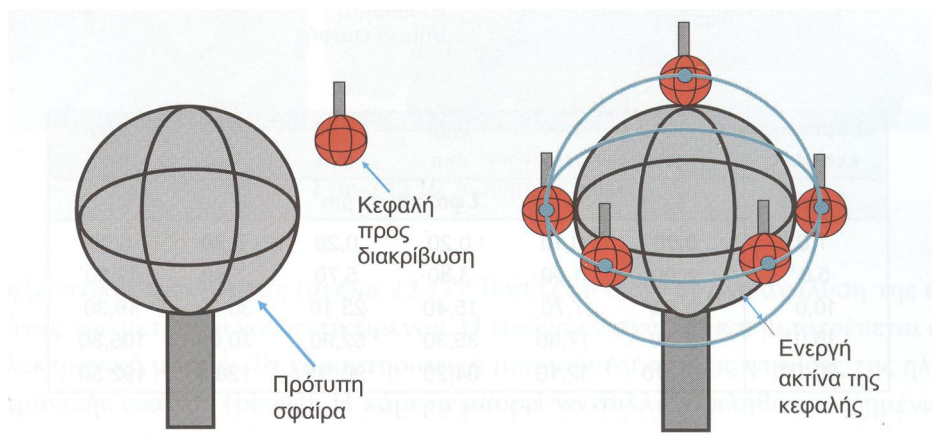


Σχήμα 5.8 : Τύποι προεκτάσεων στυλίσκων αισθητήρα

5.3.1.1 Διακρίβωση κεφαλής αισθητήρα

Ένα από τα πλεονεκτήματα των CMM είναι ότι ακόμη και όταν αλλάξει η κατεύθυνση της κεφαλής του αισθητήρα δεν μειώνεται η ακρίβεια της μέτρησης. Για να επιτευχθεί αυτό, πρέπει να γίνεται διακρίβωση της κεφαλής του αισθητήρα κατά τακτά χρονικά διαστήματα. Η ακρίβεια μέτρησης εξαρτάται από την ακρίβεια της διακρίβωσης. Κατά τη διακρίβωση της κεφαλής του αισθητήρα καθορίζεται το κέντρο και η ακτίνα του αισθητήρα με τη βοήθεια πρότυπης σφαίρας που συνοδεύει τη μηχανή. Οι μετρημένες συντεταγμένες του κέντρου της κεφαλής στα διάφορα σημεία

σχηματίζουν νοητή σφαίρα, της οποίας τα χαρακτηριστικά συγκρίνονται με τα αντίστοιχα της πρότυπης σφαίρας. Η ενεργή διάμετρος της κεφαλής υπολογίζεται από τη διαφορά μεταξύ της διαμέτρου της πρότυπης σφαίρας και της διαμέτρου της σφαίρας που σχηματίζουν τα μετρημένα σημεία (**σχήμα 5.9**).



Σχήμα 5.9 : Πρότυπη σφαίρα κατά την προσέγγιση από την κεφαλή (δεξιά) και κατά την διάρκεια της διακρίβωσης της κεφαλής (αριστερά)

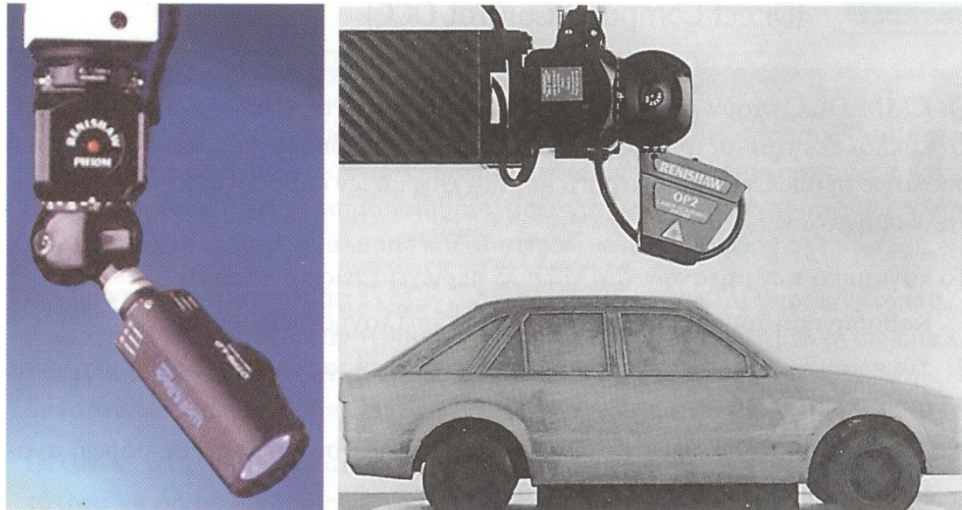
Για την αύξηση της ακριβείας των μετρήσεων πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα ακόλουθα:

1. Να χρησιμοποιείται κοντός δύσκαμπτος στυλίσκος.
2. Να εφαρμόζεται η μικρότερη δύναμη επαφής ώστε να μην προκαλείται ψεύτικη επαφή.
3. Η απόκλιση του άξονα του αισθητήρα από την κάθετο στην μετρούμενη επιφάνεια, να είναι ελάχιστη προς αποφυγή σφαλμάτων μέτρησης.
4. Να ελέγχεται η σταθερότητα του στυλίσκου.
5. Να έρχεται σε επαφή με το σημείο μέτρησης η κεφαλή του αισθητήρα και όχι η προέκτασή της.

5.3.2 Αισθητήρες χωρίς επαφή

Οι αισθητήρες χωρίς επαφή χρησιμοποιούνται στις περιπτώσεις που δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι αισθητήρες με επαφή, όπως σε λεπτά και εύκαμπτα αντικείμενα και όπου υπάρχει κίνδυνος παραμόρφωσης του αντικειμένου λόγω δύναμης επαφής της κεφαλής. Επίσης, είναι ταχύτεροι στις μετρήσεις.

1. Αισθητήρας λέιζερ (laser): Ο αισθητήρας παράγει μία έντονη φωτεινή μονοχρωματική ακτινοβολία προς την επιφάνεια του στοιχείου. Η απόσταση της κεφαλής του αισθητήρα λέιζερ (**σχήμα 5.10**) από το σημείο της μέτρησης είναι γνωστή ως δρώσα απόσταση. Κατά την πρόσπτωση της ακτίνας η θέση του σημείου μέτρησης αναγνωρίζεται τριγωνομετρικά με τη βοήθεια φακού, που είναι ενσωματωμένος στο δέκτη του αισθητήρα. Οι αισθητήρες λέιζερ (laser) έχουν υψηλό βαθμό ταχύτητας μέτρησης, δυνατότητα ανάγνωσης μέχρι 200 μετρήσεις ανά δευτερόλεπτο και ακρίβεια μέτρησης μέχρι 2,054 μm ($\pm 0,0001$ in).



Σχήμα 5.10 : Αισθητήρας λέιζερ (laser)

2. Τηλεοπτικός αισθητήρας (σχήμα 5.11) : Βασίζεται στην υψηλή ανάλυση της εικόνας του μετρούμενου αντικειμένου. Η εικόνα ενισχύεται και μετατρέπεται σε ηλεκτρονική μορφή. Τα χαρακτηριστικά μετριοούνται από τις ψηφίδες της ηλεκτρονικής εικόνας (pixels). Η κάμερα μπορεί να συλλέξει πλήθος μετρημένων σημείων με μία μόνο λήψη.



Σχήμα 5.11: Τηλεοπτικός αισθητήρας

5.4 CMM καθοδηγούμενες άμεσα με υπολογιστή

Οι CMM καθοδηγούμενες άμεσα με υπολογιστή (Direct Computer Control, DCC) έχουν την ίδια αρχή λειτουργίας με τις CNC εργαλειομηχανές. Οι κύκλοι ελέγχου μέτρησης των CMM DCC καθοδηγούνται από ηλεκτρονικό υπολογιστή όπως και στην περίπτωση των ψηφιακών καθοδηγούμενων CNC εργαλειομηχανών.

Το λογισμικό των μηχανών CMM DCC περιέχει τρεις συνιστώσες

1. Καθοδήγηση του αισθητήρα στα σημεία συλλογής δεδομένων.

2. Σύγκριση της απόστασης που διανύει ο αισθητήρας με τα πρότυπα μέτρησης συγκεκριμένου άξονα της μηχανής.
3. Μορφοποίηση των τιμών ανάγνωσης από γλώσσα μηχανής σε μορφή ανάγνωσης εξόδου.

5.5 Λογισμικό CMM

Ο προγραμματισμός της μετρητικής μηχανής CMM ή το λογισμικό της, της επιτρέπει να εξαντλήσει τις δυνατότητες ακριβείας και ταχύτητάς της. Τα σημερινά λογισμικά είναι πολύ εξελιγμένα και διαθέτουν στατιστική ανάλυση για τα συμπεράσματα των μετρήσεων. Επίσης, το λογισμικό έχει τη δυνατότητα σύγκρισης των αποτελεσμάτων μέτρησης με το πρότυπο CAD του αντικειμένου.

Γενικά, ένα πακέτο λογισμικού CMM περιέχει όλες ή μερικές από τις ακόλουθες δυνατότητες:

- Επιλογή συστήματος μέτρησης και μετατροπή μεταξύ μετρικού και αγγλοσαξονικού συστήματος.
- Μετατροπή από καρτεσιανό σε πολικό σύστημα συντεταγμένων και αντιστρόφως.
- Επιλογή βαθμού διακριτοποίησης ανά άξονα.
- Ορισμό μηδενικού σημείου στο προς μέτρηση κομμάτι.
- Επιλογή πλήθους σημείων μέτρησης για καθορισμό γεωμετρικών στοιχείων.
- Αποθήκευση και επαναφορά προηγούμενης αρχής συντεταγμένων.
- Σάρωση αντικειμένων και δημιουργία νέφους σημείων επιφανειών.
- Σύγκριση στοιχείων μέτρησης με τα αντίστοιχα CAD.
- Εισαγωγή ανοχών.
- Υπολογισμό αποκλίσεων από τα όρια ανοχών.

5.5.1 Διαμόρφωση λογισμικού

Το λογισμικό των μηχανών CMM διαμορφώνεται με δύο τρόπους: on-line και off-line. Αν και είναι διακριτά σχήματα σχεδιασμένα για διαφορετικές ανάγκες έκαστο, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μαζί για να δημιουργήσουν ένα πλήρες πρόγραμμα μέτρησης - ανάλυσης και συστήματος αντίστροφου σχεδιασμού.

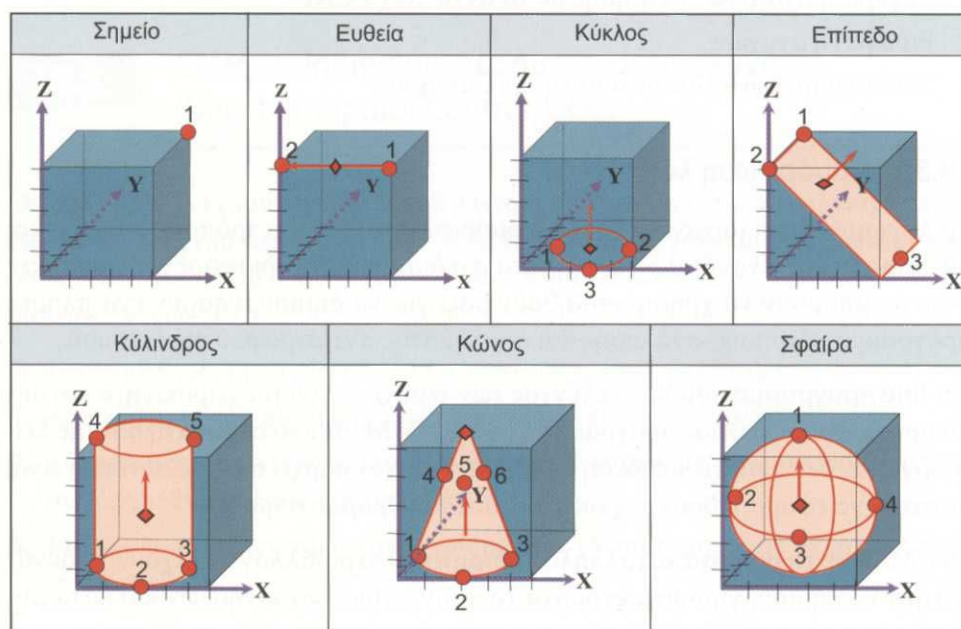
On-line προγραμματισμός: Ο έλεγχος των τεμαχίων γίνεται χειροκίνητα και δημιουργούνται απευθείας προγράμματα στην CMM. Δεν είναι δυνατή η on-line λειτουργία αν δεν υπάρχει σύνδεση με CMM, ενώ αν υπάρχει on-line σύνδεση είναι δυνατόν να εφαρμοσθούν τεχνικές off-line προγραμματισμού.

Οι CMM, με τη βοήθεια κατάλληλου μετρητικού περιβάλλοντος, έχουν τη δυνατότητα να δημιουργήσουν αυτόματα το πρόγραμμα των κινήσεων και κατά συνέπεια την αυτόματη εκτέλεσή του.

Το πρώτο βήμα του προγράμματος αυτού είναι ο ορισμός των κατάλληλων αισθητήρων (probes) και της διακρίβωσή τους. Επίσης, καθορίζεται η ταχύτητα μετακίνησης του αισθητήρα (move speed) στο φάσμα 1-100% καθώς και η ταχύτητα του κατά την επαφή του στο σημείο μέτρησης (touch speed) στο φάσμα 1-100%.

Το δεύτερο βήμα είναι ο ορισμός των συστημάτων συντεταγμένων (alignment). Στη συνέχεια είναι σημαντικός ο ορισμός ενός επιπέδου (clear plane) επιστροφής της κεφαλής μετά από κάθε μέτρηση, το οποίο ελαχιστοποιεί τα βοηθητικά σημεία κίνησης που πρέπει να ορισθούν, ώστε να μην υπάρχουν συγκρούσεις. Στην ουσία, η επιλογή αυτή δημιουργεί ένα φάκελο ασφαλείας γύρω από το τεμάχιο πάνω στον οποίο θα μετακινείται ο αισθητήρας όταν θα μετατοπίζεται από το ένα χαρακτηριστικό στο άλλο.

Σύμφωνα με τις δυνατότητες διαμόρφωσης του λογισμικού, δεν δίνονται από το χειριστή άλλα στοιχεία για τη μέτρηση των διαφόρων γεωμετρικών χαρακτηριστικών. Ο τύπος του μετρούμενου χαρακτηριστικού (κύκλος, γραμμή, επίπεδο κ.τ.λ.) προσδιορίζεται αυτόματα. Επίσης, αυτόματα αντισταθμίζεται και η ακτίνα της κεφαλής του αισθητήρα. Για τον προσδιορισμό του μετρούμενου χαρακτηριστικού απαιτείται ένας ελάχιστος αριθμός σημείων μέτρησης ανάλογα με τη μορφή του (σχήμα 5.12). Φυσικά, είναι φρόνιμο για μεγαλύτερη ακρίβεια να μετριοούνται περισσότερα σημεία.



Σχήμα 5.12 : Καθορισμός γεωμετρικών στοιχείων

Για την αποφυγή λαθών στην εκτίμηση των μετρήσεων πρέπει:

- Κατά τη μέτρηση γραμμής ή επιπέδου, η κεφαλή του αισθητήρα να πλησιάζει τα σημεία μέτρησης με την ίδια κατεύθυνση.
- κατά τη μέτρηση κύκλου ή σφαίρας, η κατεύθυνση προσέγγισης της κεφαλής του αισθητήρα στα σημεία μέτρησης να ποικίλει.

Ο μαθηματικός επεξεργαστής των μηχανών CMM διαθέτει διάφορα υποπρογράμματα, που βοηθούν στην κατασκευή γεωμετρικών στοιχείων. Στο **σχήμα 5.13** παρουσιάζονται διάφοροι τρόποι για τον ορισμό σημείου, στο **σχήμα 5.14** για τον ορισμό ευθείας και στο **σχήμα 5.15** για τον ορισμό κύκλου.

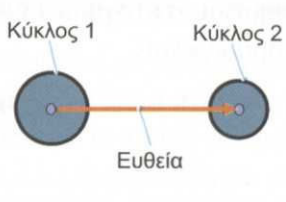
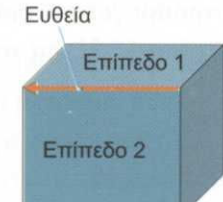
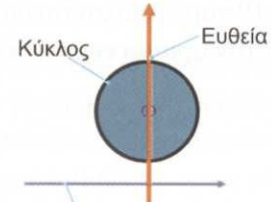
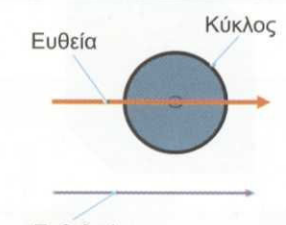
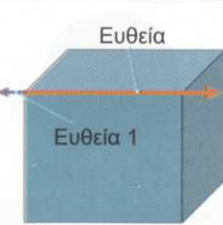
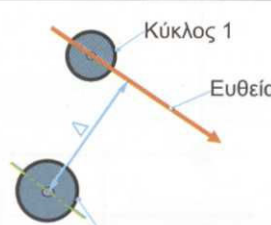
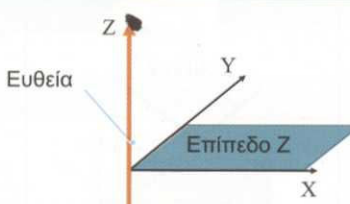
Αρχή συντεταγμένων	Κέντρο κύκλου	Τομή τριών επιπέδων
Συντεταγμένων x, y, z	Τομή δύο ευθειών	Προβολή κέντρου βάρους ενός στοιχείου πάνω σε δεύτερο
Μεσοδιάστημα δύο στοιχείων		Προβολή σημείου σε επίπεδο

Σχήμα 5.13 : Τρόποι ορισμού σημείου

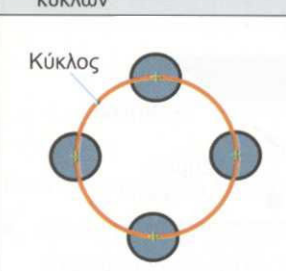
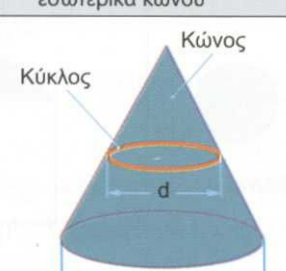
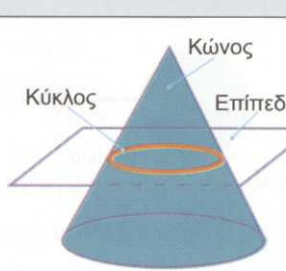
Off-line προγραμματισμός: Η off-line διαδικασία επιτρέπει στο χρήστη να δημιουργεί προγράμματα ή να διορθώνει προγράμματα χωρίς να βρίσκεται σε επαφή με την CMM. Αρχικά γίνεται ο σχεδιασμός του τεμαχίου, ο οποίος μπορεί να εισάγεται με τις εξής μεθόδους:

1. Από CAD αρχεία μορφής .iges ή .dxf
2. Από τις θεωρητικές τιμές συντεταγμένων σημείων του τεμαχίου.
3. Από τις πρώτες μετρημένες τιμές όταν έχει προηγηθεί on-line προγραμματισμός.

Η τεχνική του προγραμματισμού μοιάζει με την αντίστοιχη του on-line, ενώ η μεθοδολογία για τη διακρίβωση της κεφαλής του αισθητήρα, οι μετρήσεις και οι τυχόν διορθώσεις διαφέρουν. Για παράδειγμα, δεν μπορούν να γίνουν μετρήσεις για τη διακρίβωση της κεφαλής και γι' αυτό τα χαρακτηριστικά του αισθητήρα απλώς καταχωρούνται.

Διέρχεται από κέντρα δύο κύκλων	Τομή δύο επιπέδων	Διέρχεται από κέντρο κύκλου και είναι κάθετη σε ευθεία
		
Διέρχεται από κέντρο κύκλου και είναι παράλληλη σε ευθεία	Με αντίθετη διεύθυνση άλλης ευθείας	Διέρχεται από κέντρο κύκλου 1 σε ορισμένη απόσταση από κέντρο κύκλου 2
		
Στη διεύθυνση ενός άξονα ή κάθετη σε επίπεδο		
		

Σχήμα 5.14 : Τρόποι ορισμού ευθείας

Διέρχεται από κέντρα κύκλων	Ορισμένης διαμέτρου εσωτερικά κώνου	Τομή κώνου και επιπέδου
		

Σχήμα 5.15 : Τρόποι ορισμού κύκλου

Για να προγραμματισθούν off-line μετρήσεις πρέπει να ορισθεί η θέση της κεφαλής του αισθητήρα σε σχέση με το χώρο μετρήσεων.

Επειδή ο προγραμματιστής δεν έχει οπτική επαφή με την μηχανή CMM ούτε με το τεμάχιο, πρέπει να προβλέψει σωστά τυχόν συγκρούσεις του αισθητήρα. Γι' αυτό είναι ευθύνη του χειριστή να ρυθμίσει σωστά τις κινήσεις του αισθητήρα, χρησιμοποιώντας μικρές ταχύτητες μετατόπισης και επαφής. Επίσης η γραφική προσομοίωση της διαδρομής του αισθητήρα είναι πολύ χρήσιμη στον off-line προγραμματισμό.

Με τη μέτρηση των διαφόρων χαρακτηριστικών του τεμαχίου θα δημιουργηθεί η νέα του εικόνα. Αυτό δίνει τη δυνατότητα οπτικής σύγκρισης των πραγματικών με τα αντίστοιχα θεωρητικά χαρακτηριστικά.

5.6 Συστήματα Συντεταγμένων

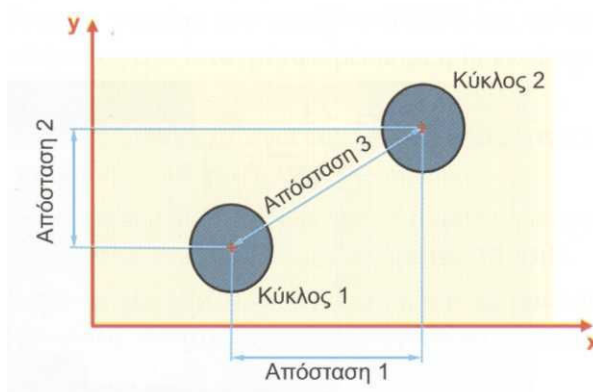
Κάθε μηχανή CMM έχει ένα δικό της Συστήματα Συντεταγμένων και ένα Μηδενικό Σημείο και τρεις άξονες x , y , z , που προσδιορίζουν τη θέση της κεφαλής του αισθητήρα.

Κάθε προς μέτρηση τεμάχιο έχει το δικό του Σύστημα Συντεταγμένων (ΣΣΤ). Σύμφωνα με το ASME Y13.5, το Μηδενικό Σημείο του Τεμαχίου ορίζεται πάνω στο τεμάχιο, π.χ. το κέντρο μιας οπής ή η άκρη μιας ακμής.

5.7 Διαστασιολόγηση

5.7.1 Δισδιάστατη διαστασιολόγηση (2D)

Η δισδιάστατη διαστασιολόγηση καθορίζει τις αποστάσεις μεταξύ γεωμετρικών στοιχείων που βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο εργασίας. Οι τυπικές περιπτώσεις δισδιάστατης διαστασιολόγησης είναι μεταξύ σημείου και ευθείας, κύκλου και κύκλου ή κύκλου και ευθείας. Για να μετρηθεί η ορθή διάσταση πρέπει να ορισθεί το επίπεδο προβολής. Στο παράδειγμα του **σχήματος 5.16** η απόσταση των κέντρων των κύκλων 1 και 2 μπορεί να υπολογιστεί με τρεις τρόπους: απόσταση 1 με προβολή στο επίπεδο y , απόσταση 2 με προβολή στο επίπεδο x , και απόσταση 3 με προβολή στο επίπεδο z .



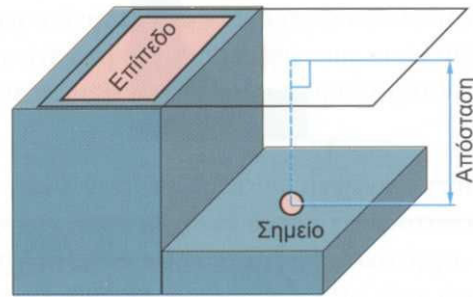
Σχήμα 5.16 : Δυνατές επιλογές δισδιάστατης διαστασιολόγησης

Το επίπεδο προβολής είναι η όψη η οποία είναι ορατή από μια αντίθετη κατεύθυνση κάποιου άξονα, για παράδειγμα το επίπεδο $z+$ ορίζεται κοιτάζοντας παράλληλα προς την αρνητική κατεύθυνση του άξονα z κ.τ.λ. Αυτή η επιλογή είναι ιδιαίτερα σημαντική όταν οι μετρήσεις πραγματοποιούνται σε πολικό σύστημα συντεταγμένων, επειδή το λογισμικό της μετρητικής μηχανής CMM χρησιμοποιεί το επίπεδο προβολής διάστασης για να αποφασίσει που είναι το μηδενικό σημείο για το συγκεκριμένο επίπεδο.

- Στο z θετικό (z+) επίπεδο: 0° στη +x διεύθυνση και 90° στη +y διεύθυνση.
- Στο x θετικό (x+) επίπεδο: 0° στη +y διεύθυνση και 90° στη +z διεύθυνση.
- Στο y θετικό (y+) επίπεδο: 0° στη -x διεύθυνση και 90° στη +z διεύθυνση.

5.7.2 Τρισδιάστατη διαστασιολόγηση (3D)

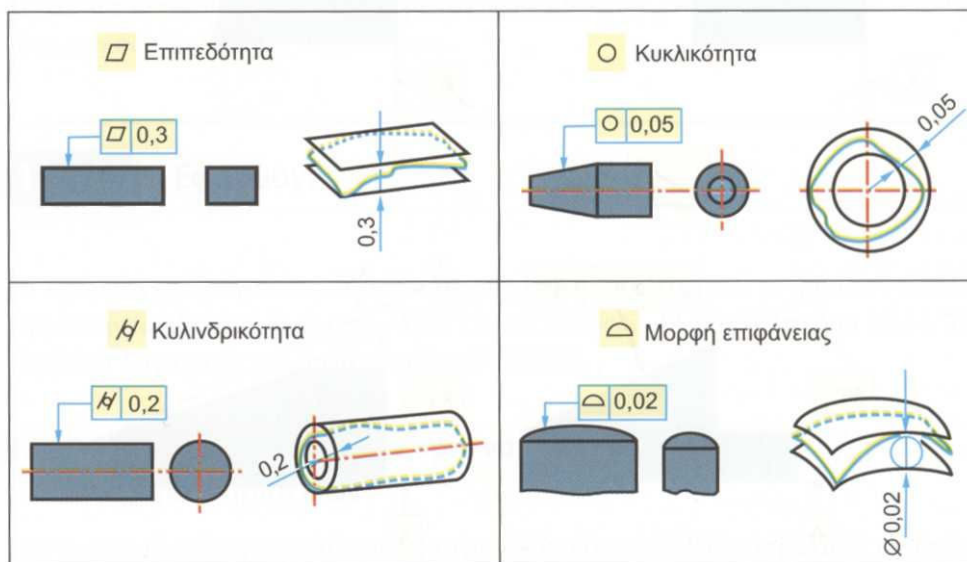
Η τρισδιάστατη διαστασιολόγηση υπολογίζεται τη μικρότερη απόσταση μεταξύ δύο γεωμετρικών στοιχείων στο χώρο. Τυπική περίπτωση 3D διαστασιολόγησης είναι απόσταση σημείου από επίπεδο (**σχήμα 5.17**)



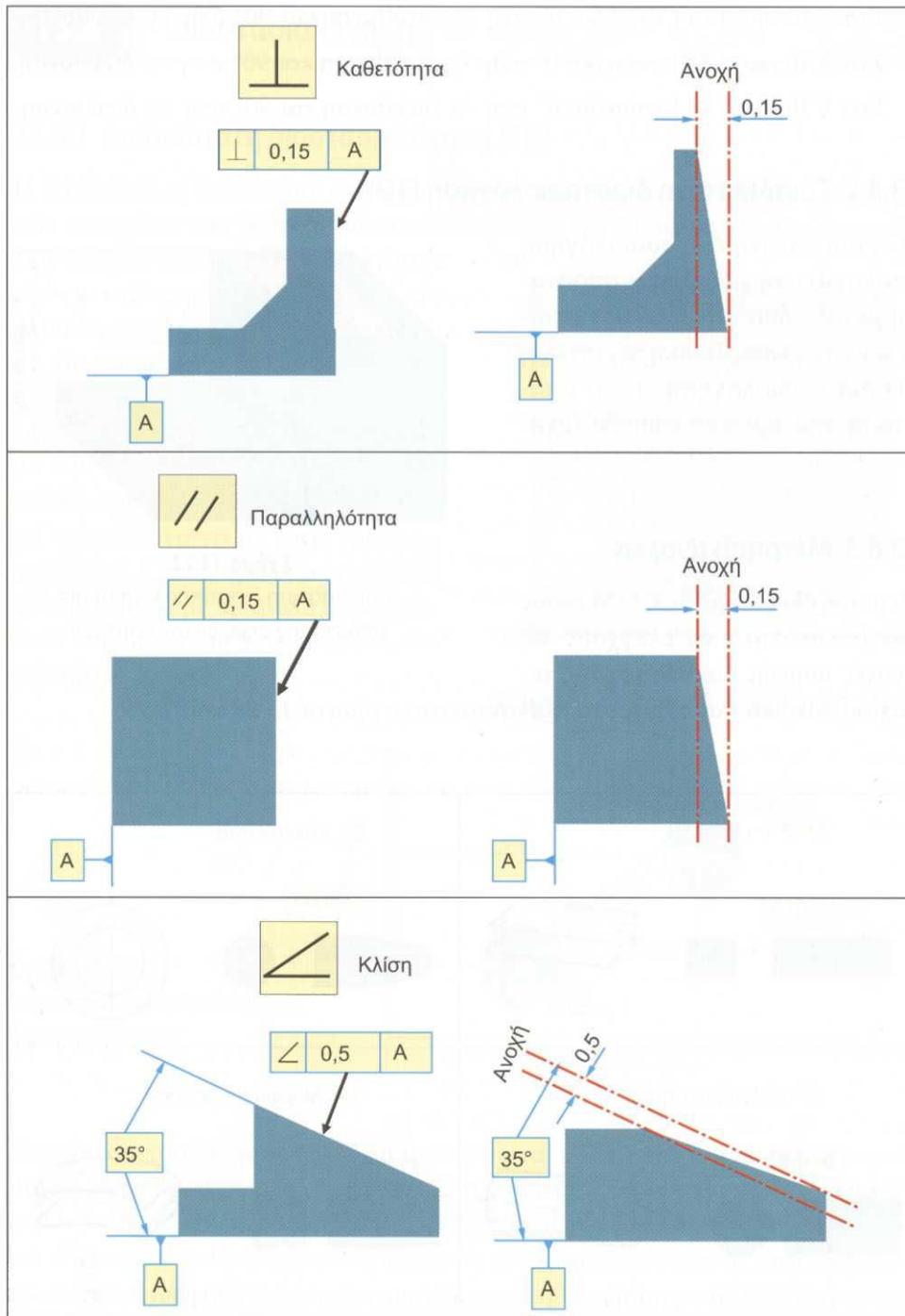
Σχήμα 5.17 : Τρισδιάστατη διαστασιολόγηση απόστασης σημείου από επίπεδο

5.7.3 Μέτρηση ανοχών

Οι μετρητικές μηχανές CMM έχουν την δυνατότητα να ελέγχουν τις ανοχές μορφής και θέσης ενός τεμαχίου. Μερικά παραδείγματα φαίνονται στα **σχήματα 5.18 και 5.19**.



Σχήμα 5.18 : Μέτρηση ανοχών μορφής



Σχήμα 5.19 : Μέτρηση ανοχών θέσης

5.8 Μετρολογικά χαρακτηριστικά των CMM

Οι μετρητικές μηχανές CMM συνήθως έχουν βαθμό επαναληψιμότητας 2,54 μm (0,1 μin) και ακρίβεια μέτρησης 1 μm (0,04 μin), εντούτοις αυτές οι τιμές μεγαλώνουν σε μηχανές μεγαλύτερων διαστάσεων.

Όταν στις CMM οι μετρήσεις γίνονται χειροκίνητα, τα συστηματικά σφάλματα αυξάνουν. Τα σφάλματα αυτά οφείλονται είτε στη δύναμη επαφής της κεφαλής με το τεμάχιο στο σημείο μέτρησης, είτε σε πρόσθετες ψεύτικες μετρήσεις λόγω μεγάλης ταχύτητας κίνησης.

Οι CMM δεν εφαρμόζουν την αρχή του Abbe γιατί πρότυπο δε βρίσκεται ποτέ στη ίδια ευθεία με τη γραμμή μέτρησης. Στις μηχανές αυτές, το πρότυπο βρίσκεται σε πολύ μεγάλη απόσταση σε σχέση με οποιοδήποτε συμβατικό όργανο. Η βασική διαφορά μεταξύ των συμβατικών οργάνων και των CMM είναι ότι στα συμβατικά ο χρήστης είναι υπεύθυνος να εξασφαλίσει ώστε η γραμμή μέτρησης να είναι ακριβώς παράλληλη με τον άξονα του προτύπου, ενώ αντίθετα αυτή η ταύτιση των γραμμών είναι ενσωματωμένη στις CMM.

Οι μετρητικές μηχανές διατηρούνται σε καθαρό χώρο (clean room) με σταθερή θερμοκρασία 18-22 °C και υγρασία που δεν ξεπερνά το 45%. Στην αντίθετη περίπτωση, υπάρχει κίνδυνος να εισαχθούν και θερμικά σφάλματα. Για τον λόγο αυτόν, η τράπεζα της μετρητικής μηχανής κατασκευάζεται από γρανίτη ο οποίος είναι κακός αγωγός της θερμότητας.

5.9 Εφαρμογές

1. Έλεγχος διαστάσεων και ανοχών γεωμετρικών χαρακτηριστικών.
2. Σάρωση αντικειμένων.

6 Γενικού τύπου μηχανές μέτρησης μηκών

Σε περιβάλλοντα βιομηχανικής παράγωγης και εργαστηρίων υπάρχει η ανάγκη από μηχανήματα μετρήσεων μεγάλης ακρίβειας, ώστε να γίνεται ο έλεγχος των προτύπων, των οργάνων μέτρησης και ακόμα η ρύθμιση των οργάνων μέτρησης. Καταλαμβάνεται επάξια αυτή η θέση, από της γενικού τύπου μηχανές μέτρησης μηκών από το **Universal Length Measuring machines (ULM)**. Οι μηχανές ULM είναι ένα μεγάλο 'μικρόμετρο' (**σχήμα 6.1**), που χρησιμοποιείται κατά κόρον για μεγάλης ακρίβειας μετρήσεις σε τεμάχια όπως: οδοντωτούς τροχούς, άξονες, ασυγκράτητες σφαιρών για ένσφαιρους τριβείς, σφαιρικούς ελεγκτήρες, ένσφαιρους τριβείς (ρουλεμάν), κώνους κ.τ.λ. Οι ULM συνδέονται με ηλεκτρονικό υπολογιστή ώστε να αναγνωρίζεται, διορθώνεται, επεξεργάζεται και αποθηκεύει την μέτρηση αλλά και της συνθήκες κάτω από της οποίες έγινε η συγκεκριμένη μέτρηση.



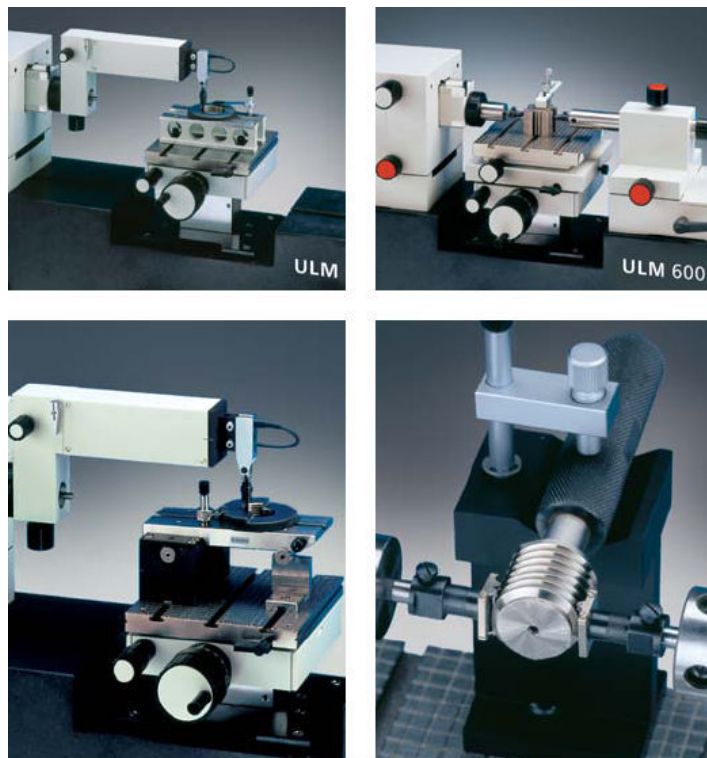
Σχήμα 6.1 : Μηχανή μέτρησης μεγάλης ακριβείας τύπου ULM

Τα μηχανήματα ULM είναι διαθέσιμα για διάφορα εύρη μετρήσεων (από 0 mm έως 1700 mm/ από 0 in έως 66,93 in), σε διάφορες διαβαθμίσεις ακριβείας (από 0,3μm έως 0,1 μm/ από 12 μin έως 4 μin) και το σύστημα μέτρησης ρυθμισμένο με διαφόρους τρόπους: μέτρηση με επαφή (**σχήμα 6.2**) ή μέτρηση με ακτίνες λέιζερ (laser). Αυτό το πολυεργαλείο (ULM) είναι πολύ ευέλικτο, με αποτέλεσμα να επιλέγεται το κατάλληλο εργαλείο μέτρησης και να μπορεί να προσαρμοστεί η μηχανή στα χαρακτηριστικά του τεμαχίου μέτρησης.

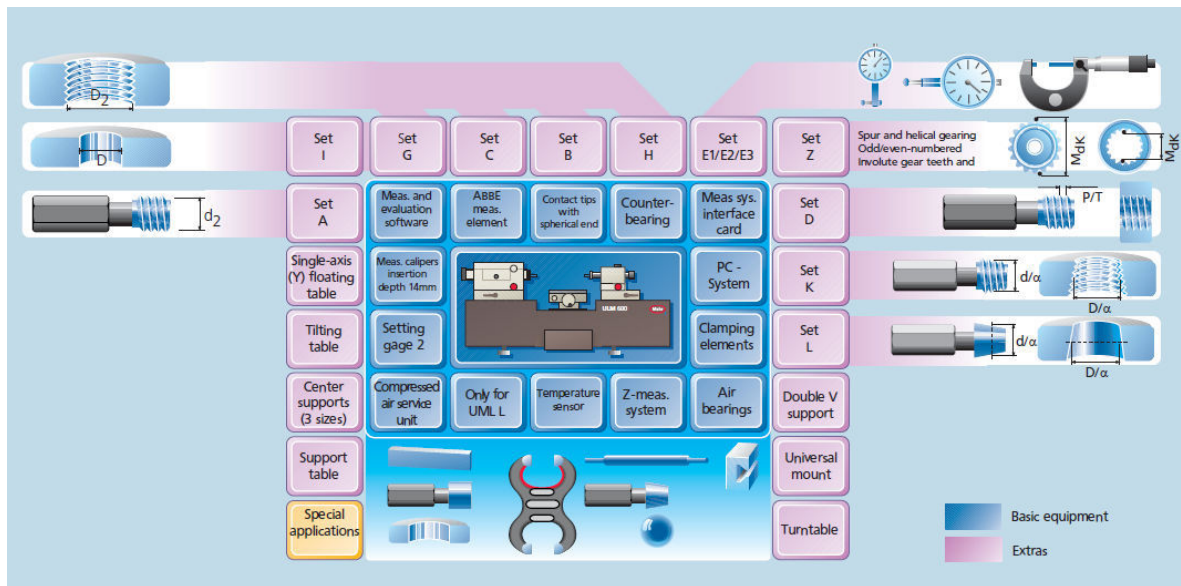
Όποτε ανάλογα με τις ανάγκες που έχουμε ή μας αρκεί ο βασικός εξοπλισμός ή προμηθευόμαστε τα κατάλληλα σετ πρόσθετων εργαλείων, τέτοιο μπορεί να είναι το set Z που όπως βλέπουμε στο **σχήμα 6.3** είναι για μέτρησης εσωτερικών και εξωτερικών οδοντωτών τροχών.



Σχήμα 6.2 : Μηχανή ULM κατά την μέτρηση με επαφή, εξάρτημα μέτρησης με ακτίνες λέιζερ



Σχήμα 6.3 : Μέτρηση-έλεγχος εσωτερικού σπειρώματος προτύπου, μέτρηση εξωτερικού μήκους, μέτρηση-έλεγχος εσωτερικού σπειρώματος προτύπου, μέτρηση-έλεγχος ελεγκτήρια εσωτερικών σπειρωμάτων. (από πάνω αριστερά προς κάτω δεξιά)



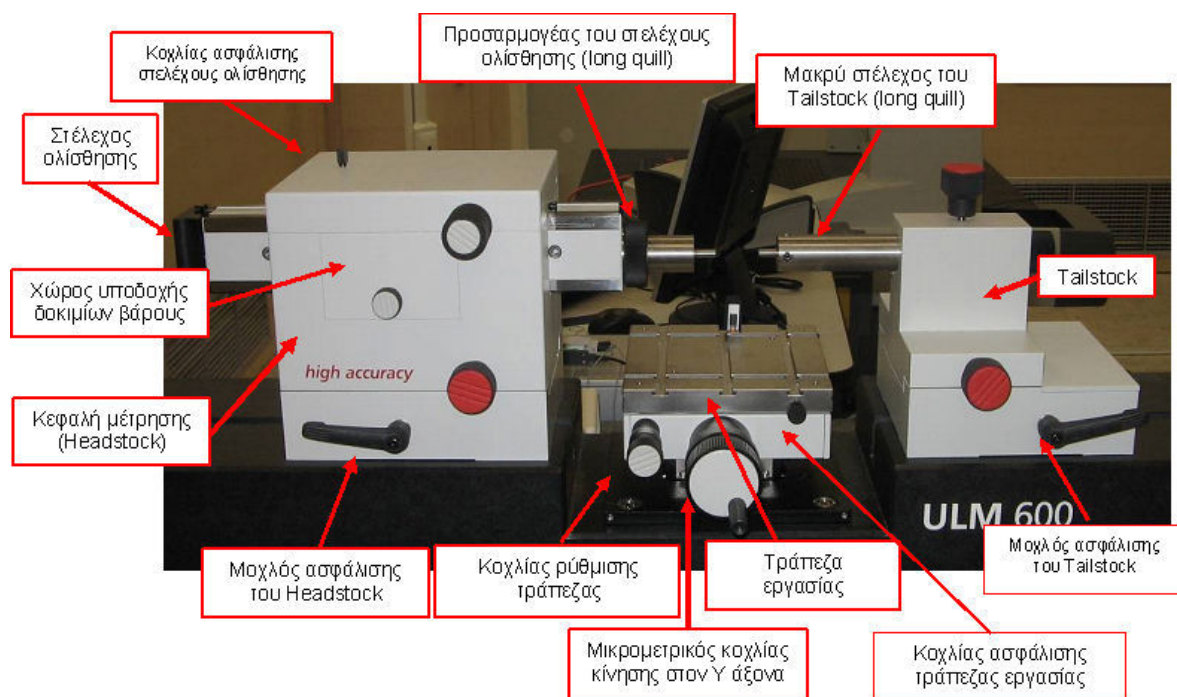
Σχήμα 6.3 : Βασικός και επιπρόσθετος εξοπλισμός έλεγχου για μηχανή ULM

6.1 Κυρίες εφαρμογές της ULM είναι :

- Έλεγχος πρότυπων δακτυλίων
- Έλεγχος ελεγκτήρων διαμέτρου
- Ρύθμιση και έλεγχο ελεγκτήρων αξόνων
- Έλεγχος πρότυπων σφαιριδίων, πρότυπων οπών
- Έλεγχος πρότυπων πλακιδίων
- Έλεγχος για πρότυπα έλεγχου σπειρωμάτων κοχλιών
- Έλεγχος πρότυπων κωνικότητας και πρότυπων κωνικών σπειρωμάτων
- Έλεγχος ελεγκτήρων οδοντωτών τροχών
- Ρύθμιση και έλεγχο μετρητικών ρολογιών
- Ρύθμιση και έλεγχο συσκευών εσωτερικών μετρήσεων δυο σημείων
- Ρύθμιση και έλεγχο μικρομέτρων

Οι μηχανές ULM έχουν βάση από υψηλής ομογενοποιησής γρανίτη που προσφέρει σταθερή θερμοκρασία και είναι άκαμπτος. Οι κίνηση των probes (Headstock και Tailstock) (σχήμα 6.4) γίνεται με μεγάλη ακρίβεια, ώστε να μην έχουμε απώλεια των κέντρων των δύο στελεχών ολίσθησης. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση πνευματικών τριβών, αυτή μας χαρίζουν μεγάλοι ταχύτητα κίνησης άρα και μεγαλύτερη παράγωγη. Ο ηλεκτρονικός υπολογιστής παρακολουθεί on-line την θερμοκρασία του γρανίτη, της μηχανής και του τεμαχίου. Οπότε έχουμε άμεση διόρθωση της μέτρησης λόγω της διαφοράς συμπεριφοράς του γρανίτη με το μέταλλο, αλλά και διόρθωση των συστηματικών σφαλμάτων από την διαφορά θερμοκρασίας της μηχανής με το μετρούμενο τεμάχιο. Μετρήσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν και στον άξονα Z αλλά και να χρησιμοποιηθούν οι μετρήσεις του άξονα X για συσχέτιση διαστάσεων. Επιπλέον, η μηχανή διαθέτει εξοπλισμό για μετρήσεις με χρήση ακτινών λέιζερ, αυτό μας δίνει την δυνατότητα άμεσων μετρήσεων αλλά αυξάνει και την ακρίβεια μέτρησης. Το συνοδευτικό λογισμικό που

εργάζεται στο λειτουργικό MS windows προσφέρει μέγιστη άνεση στον χρήστη χάρη στο απλό περιβάλλον χρήστη.



Σχήμα 6.4 : Κύρια Μέρη Μηχανής ULM 600 (Μετροτεχνικό Εργαστήριο ΕΜΠ)

6.2 Χειρισμός συστήματος τράπεζας εργασίας

Για την διευκόλυνση του μετρητή η μηχανή ULM διαθέτει κίνηση της τράπεζας εργασίας και στους τρεις άξονες αλλά και περιστροφή γύρω από τον άξονα της. Στον άξονα X η κίνηση του Headstock και του Tailstock γίνεται αν κινήσουμε τους δύο μοχλούς ασφάλισης προς το κέντρο της μηχανής. Με την βοήθεια των πνευματικών τριβών η μετακίνηση τους έχει μεγάλη ακρίβεια αλλά χρίζει μεγάλης προσοχής από τον χειριστή. Στον άξονα Y είναι εγκατεστημένο μικρόμετρο 25 mm αναλογικό ή ψηφιακό, ανάλογα με τον τύπο της μηχανής. Στον άξονα Z έχουμε μηχανοκίνητη κίνηση με την βοήθεια κινητήρα μόνιμου πεδίου, ώστε να επιτύχουμε το επιθυμητό σημείο μέτρησης στο ύψος του τεμαχίου, που είναι στερεωμένο πάνω στη τράπεζα εργασίας. Ο ηλεκτροκινητήρας κινείται με τρεις ταχύτητες 0,015 mm/s, 0,3 mm/s και 6 mm/s υπάρχει η δυνατότητα ρύθμισης από 0 έως 250 mm/s. Κατά την άνοδο της τράπεζας όταν πλησιάζει το τεμάχιο τις ακίδες μετρήσεις ή το σύστημα μέτρησης ελαττώνουμε την ταχύτητα για την αποφυγή συγκρούσεων.

6.3 Δύναμη μέτρησης

Η παραγωγή της δύναμης για την πραγματοποίηση της μέτρησης γίνεται μέσω βάρους. Τα δοκίμια βάρους τα τοποθετεί ο χειριστής, στον χώρο υποδοχής δοκιμών βάρους. Αυτά με την βοήθεια ειδικού συρματόσχοιου μεταφέρουν την δύναμη προς το στέλεχος ολίσθησης. Το οποίο με την σειρά του φέρει τον κατάλληλο βραχίονα μέτρησης π.χ. με μια ακίδα στην οποία μεταφέρεται τελικά η δύναμη. Τα δοκίμια βάρους είναι 0,2N; 0,5N; 1,0 N έως 4,5 N και 11 N.

6.4 Δυνατότητες ULM μηχανών

- Εξαιρετική ακρίβεια μέτρησης.
- Απόλυτη συμμόρφωση με την αρχή σύγκρισης του Abbe.
- On-line μέτρηση θερμοκρασίας με 2-4 αισθητήρες.
- Διόρθωση μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή συστηματικών λαθών μηχανής.
- Σταθεροποίηση κατά την ευθυγράμμιση των βραχιόνων μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή για ρύθμιση στο σημείο μηδέν.
- Διόρθωση μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή των επιρροών της θερμοκρασίας και της δύναμης της μέτρησης.
- Η δύναμη της μέτρησης παραμένει σταθερή σε όλο το εύρος της ατράκτου μέτρησης
- Μεγάλο τραπέζι αντικείμενου 25kg (55lbs) το οποίο χειριζόμαστε με μεγάλη ακρίβεια στον άξονα Z.
- Μεγάλη προσαρμοστικότητα στο εύρος εφαρμογής

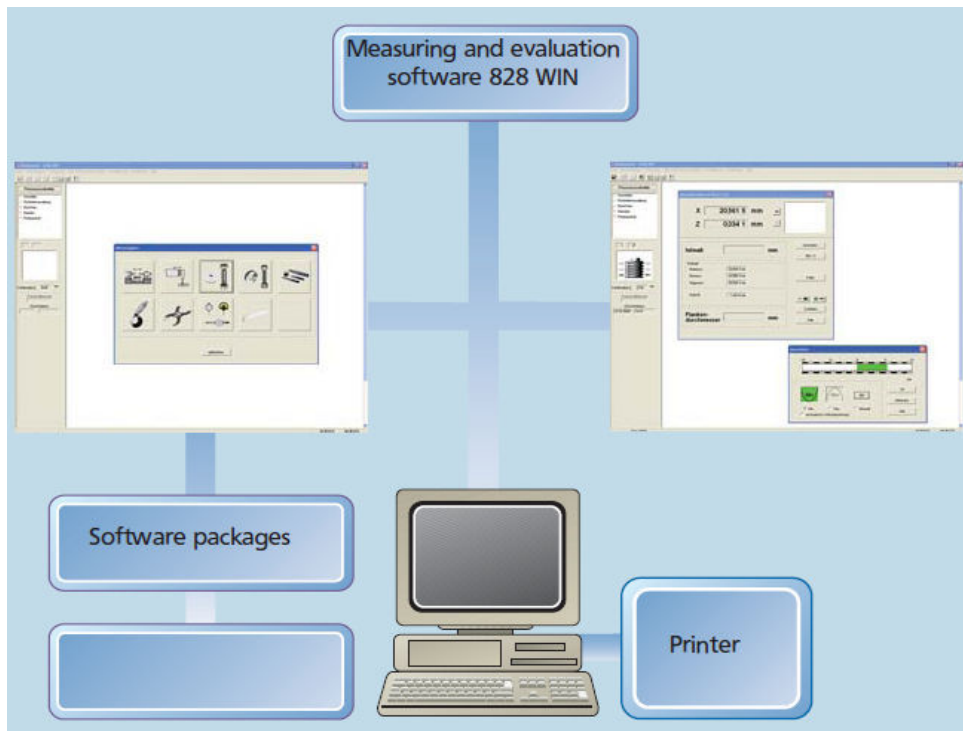
6.5 Συνοδευτικό λογισμικό μηχανής

Η μηχανή ULM συνοδεύεται από λογισμικό από την κατασκευάστρια εταιρεία, το οποίο είναι εγκατεστημένο στον υπολογιστή που συνεργάζεται η μηχανή. Έχει τις έξις βοηθητικές εργασίες:

- Αναγνώριση αντίστροφου σημείου και δυναμική καταγραφή των μετρουμένων τιμών.
- Σύστημα διόρθωσης μετρήσεων γραμμικό και μη-γραμμικό.
- Διόρθωση των λαθών επαφής όταν γίνονται μετρήσεις σπειρωμάτων.
- Δημιουργία αρχείων αποτελεσμάτων μέτρησης.

Το λογισμικό υποστηρίζει σύνδεσμο RS232(σειριακή θύρα) και ASCII για ανταλλαγή δεδομένων (**σχήμα 6.5**). Έχει πλήρη συμβατότητα με Microsoft Windows 2000/XP.

Στο Μετροτεχνικό εργαστήριο είναι εγκατεστημένη η ULM OPAL 600 (**σχήμα 6.6**). Τα τεχνικά χαρακτηριστικά περιγράφονται στον **πίνακα 6.1**.



Σχήμα 6.5 : Ροή δεδομένων κατά την μέτρηση με μηχανή ULM



Σχήμα 6.6 : Μηχανή ULM OPAL 600 (Μετροτεχνικό Εργαστήριο ΕΜΠ)

Πινάκας 6.1 : Τεχνικά χαρακτηριστήκα ULM OPAL 600

Τύπος μέτρησης	Περιγραφή μέτρησης	Ελάχιστο έως μέγιστο όριο μετρούμενου αντικείμενου [mm]
Εξωτερικές μετρήσεις	Άμεση	0 έως 1000
	Έμμεση (διαφορά)	0 έως 640
Εσωτερικές μετρήσεις		0,5 έως 485
Κωνική μέτρηση	Εξωτερική	0 έως 640
	Εσωτερική	4 έως 485
Κυλινδρικό σπείρωμα	Εξωτερικό	0,8 έως 200
	Εσωτερικό	2,6 έως 340
	Πολλαπλό βήμα σπειρώματος	0 έως 5,5
Κωνικό σπείρωμα	Εξωτερικό d2	2,6 έως 85
	Εσωτερικό D2	2,6 έως 125
Οδοντωτοί τροχοί	Εξωτερική MdK	7 έως 630
	Εσωτερική MdK	20 έως 490

Στις μετρήσεις μήκους στον άξονα-Χ η διακριτική ικανότητα της μηχανής κυμαίνεται από 0,01μm έως 0,1 μm, είναι αναλόγως του ποια εργαλεία είναι συνδεδεμένα πάνω στην μηχανή. Για μέτρηση μήκους στον άξονα-Υ η διακριτική ικανότητα της μηχανής είναι 1 μm. Μέγιστο βάρος αντικείμενου προς μέτρηση είναι τα 25 kg. Η λειτουργία της μηχανής επιβάλλεται στη θερμοκρασία των +15 °C έως +35 °C.

7 Ποιότητα και Στατιστική στην παραγωγή

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

7.1 Ποιότητα

Συχνά μιλάμε για την ποιότητα και λέμε ότι ένα προϊόν είναι καλής ποιότητας ή ότι συγκρινόμενο με ένα άλλα είναι καλύτερης ποιότητας. Η κρίση μας αυτή είναι ορθή μόνον όταν έχουμε καθορίσει το σκοπό για τον οποίο προορίζεται το προϊόν. Ένα πολυτελές επιβατικό αυτοκίνητο, μια Rolls-Royce παραδείγματος χάρη είναι άριστης ποιότητας για την εκτέλεση διαδρομών σε καλά επιστρωμένους δρόμους. Αν όμως μια κυνηγητική ομάδα θέλει ένα αυτοκίνητο για τις εκδρομές της, τότε κατάλληλο είναι ένα αυτοκίνητο τύπου SUV. Γενικά η κατασκευή ενός δρόμου, μιας γέφυρας, ενός διαδρόμου για την προσγείωση και απογείωση αεροπλάνων γίνεται για να εξυπηρετεί οχήματα ή αεροσκάφη που έχουν βάρος, πλάτος, ύψος κ.ο.κ. ορισμένα και ανάλογα επιτρέπεται ή απαγορεύεται η χρήση από τα διάφορα οχήματα ή αεροσκάφη.

Λέγεται συνήθως και συχνά ακούμε ότι η παραγωγή αρχίζει από τη ζήτηση, από την πώληση. Μ' αυτό εννοούμε ότι επειδή τα άτομα αγοράζουν τα διάφορα αγαθά (προϊόντα) για να τα χρησιμοποιήσουν και να ικανοποιήσουν μ' αυτά τις ανάγκες τους, κανένα αγαθό (προϊόν) δεν πρόκειται να πωληθεί, εάν δεν είναι κατασκευασμένο για να ικανοποιεί μια συγκεκριμένη ανάγκη. Οι παραγωγοί λοιπόν δεν έχουν παρά να κατασκευάζουν τα διάφορα αγαθά (προϊόντα) με βάση τις επιθυμίες των υποψηφίων πελατών, γιατί μόνο τότε είναι δυνατό να πουλήσουν τα προϊόντα τους και συνεπώς να κερδίσουν.

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

Έτσι, όταν το προϊόν είναι καινούργιο ανταποκρίνεται ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του λιγότερο ή περισσότερο στις απαιτήσεις και επιθυμίες του πελάτη.

Εξ' άλλου, τα προϊόντα φθείρονται και συνεπώς όσο περνά ο καιρός όλο και λιγότερο καλύπτουν την ανάγκη ή τις ανάγκες για την κάλυψη των οποίων προορίζονται.

Αυτά αποτελούν την μία πλευρά του ζητήματος, γιατί εκτός από αυτά για τον πελάτη υπάρχει και εκείνο που σε κάθε αγορά καλούμε τιμή, τιμή του αγαθού, τιμή του προϊόντος. Ο καταναλωτής δέχεται να πληρώσει για να ικανοποιήσει την ανάγκη του και μάλιστα να πληρώσει τόσο περισσότερο, όσο περισσότερο ικανοποιείται η

ανάγκη του αυτή. Ο παραγωγός δαπανά χρήματα για τα υλικά, την κατεργασία και την πώληση και αντ' αυτών λαμβάνει το αντίτιμο που καταβάλλει ο καταναλωτής.

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

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

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

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

7.2 Προδιαγραφές

Για να μπορέσει όμως ο παραγωγός να κατασκευάσει προϊόντα κατάλληλα για το σκοπό για τον οποίο προορίζονται και σε ποιότητα και σε τιμή που θα προσελκύσουν τον καταναλωτή και θα τον κάνουν δικό του πελάτη, πρέπει ο ίδιος ή το επιτελείο του από ειδικούς να μελετήσει τα χαρακτηριστικά που συνθέτουν την ποιότητα, να τα καταγράψει και να καθορίσει τις επιτρεπόμενες διακυμάνσεις σε κάθε ένα από αυτά. Δηλαδή να καταστρώσει τις προδιαγραφές. Σ' αυτές πρέπει να περιγράψει, με όση χρειάζεται ακρίβεια και λεπτομέρεια τα τεχνικά, λειτουργικά και εργονομικά χαρακτηριστικά του προϊόντος που επιθυμεί να κατασκευάσει.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά αναφέρονται στις κατασκευαστικές λεπτομέρειες, π.χ. το πάχος επιψευδαργυρώσεως, τα λειτουργικά σε θέματα λειτουργίας, π.χ. το μοτέρ να μην υπερθερμαίνεται σε συνεχή λειτουργία και τα εργονομικά σε θέματα χρήσης, π.χ. η λαβίδα ενός αναμικτήρα χειριού πρέπει να είναι στο κέντρο της συσκευής ώστε να είναι δυνατό να κρατιέται με το ένα χέρι.

Στην κατάστρωση των προδιαγραφών - όπως είδαμε πιο πάνω- ο παραγωγός θα κατευθυνθεί από τις επιθυμίες και τις απαιτήσεις των καταναλωτών που θέλει να κάνει δικούς του. Συγκεκριμένα ο παραγωγός θα κατευθυνθεί από τα πορίσματα της μελέτης της αγοράς. Μάλιστα η μελέτη της αγοράς πρέπει να είναι συνεχής, δηλαδή να επαναλαμβάνεται κατά συχνότερα ή αραιότερα χρονικά διαστήματα, ώστε ο παραγωγός να προσαρμόζει την παραγωγή του στις νέες ή μεταβαλλόμενες απαιτήσεις ή επιθυμίες των πελατών του. Έτσι θα διατηρήσει τους πελάτες του και θα προσελκύσει και νέους πελάτες.

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

Οι προδιαγραφές που καθορίζονται πρώτα περιγράφουν τα χαρακτηριστικά του προϊόντος και ονομάζονται εξωτερικές προδιαγραφές. Με βάση τις εξωτερικές προδιαγραφές, την μελέτη της παραγωγικής διαδικασίας και τα διατιθέμενα μέσα καθορίζονται οι προδιαγραφές κατασκευής ή εσωτερικές προδιαγραφές. Οι προδιαγραφές κατασκευής είναι αυστηρότερες και λεπτομερέστερες από τις εξωτερικές προδιαγραφές, ώστε τα προϊόντα που θα κατασκευαστούν σύμφωνα με σε αυτές να είναι σύμφωνα με τις εξωτερικές προδιαγραφές και μάλιστα με κάποια ασφάλεια.

Όταν συνταχθούν οι προδιαγραφές κατασκευής τότε είναι γνωστό το τι θα κατασκευασθεί και το πώς θα κατασκευασθεί. Μένει λοιπόν να εξασφαλισθεί ότι τα προϊόντα που θα παραχθούν θα ανταποκρίνονται στις προδιαγραφές κατασκευής. Αν δεν συμφωνούν, δεν θα πωληθούν και συνεπώς ο παραγωγός όχι μόνον δεν θα κερδίσει την διαφορά τιμής πωλήσεως και κόστους, αλλά και θα ζημιωθεί κατά το ποσό που στοίχισε η παραγωγή τους, αφού τα προϊόντα θα παραμείνουν απόλυτα στις αποθήκες του.

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

7.3 Έλεγχος παραγωγής

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

Στην πραγματικότητα όμως οι συνθήκες παραγωγής δεν παραμένουν αμετάβλητες και υπάρχει πάντα ο κίνδυνος απορρύθμισης της χρησιμοποιούμενης μηχανής με συνέπεια να παραχθούν σκάρτα περισσότερα από τα προβλεπόμενα από τις προδιαγραφές. Αυτό σημαίνει ότι είμαστε από τα πράγματα υποχρεωμένοι να προβαίνουμε κατά διαστήματα σε έλεγχο των συνθηκών παραγωγής, έτσι ώστε σε περίπτωση που παρατηρήσουμε αλλαγή στις συνθήκες παραγωγής να επεμβούμε αμέσως και να αποκαταστήσουμε την ρύθμιση που εξασφαλίζει την ποιότητα που επιθυμούμε.

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

Σε μια φάση παραγωγής είναι δυνατόν να μη μεταβάλλονται οι συνθήκες παραγωγής και συνεπώς να μη χρειάζεται έλεγχος των συνθηκών παραγωγής σ' αυτή τη φάση. Είναι δυνατό επίσης δύο φάσεις να είναι διαδοχικές και να γίνεται έλεγχος και για τις δύο μαζί όταν το προϊόν έχει υποστεί και τις δύο κατεργασίες.

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

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

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

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

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

Η επιτυχία του παραγωγού δεν εξαρτάται μόνο από το να βρει ένα σύστημα παραγωγής που θα κοστίζει όσο το δυνατό λιγότερο σε υλικά, εγκαταστάσεις και εργατικά, αλλά και από το να καθορίσει ένα σύστημα ποιοτικού ελέγχου τέτοιο, ώστε οι πραγματοποιούμενοι αναγκαίοι έλεγχοι να εξασφαλίζουν την επιθυμητή ποιότητα και να έχουν την μικρότερη συνολική επιβάρυνση των προϊόντων. Η καθιέρωση Δειγματολογικού Ελέγχου, αντί του Ελέγχου 100% συνήθως έχει σαν συνέπεια την μείωση του κόστους διεξαγωγής του ελέγχου και μάλιστα χωρίς αυτό να σημαίνει και ταυτόχρονη αντίστοιχη μείωση της αποτελεσματικότητας. Πολλές φορές παρατηρήθηκε ακόμη και αύξηση της αποτελεσματικότητας του δειγματοληπτικού ελέγχου σε σύγκριση με τον Έλεγχο-100%. Ο Έλεγχος-100% δεν είναι, όσο φαίνεται ασφαλής γιατί προϋποθέτει προσωπικό που εργάζεται με προσοχή, ευσυνειδησία και ικανότητα. Τέτοιο προσωπικό διατίθεται σήμερα δύσκολα όταν μάλιστα ληφθεί υπόψη η μονοτονία και η νευρική κόπωση από την εργασία του Ελέγχου -100%.

Ο δειγματοληπτικός έλεγχος είναι δυνατό να είναι πιο αποτελεσματικός επειδή:

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

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

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

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

7.4 Στατιστική στην παραγωγή

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

Παραγωγική Διαδικασία, είναι εκείνη η διαδικασία κατά την οποία μηχανήματα (κεφαλαιουχικός εξοπλισμός πάσης φύσεως) χρησιμοποιούμενα από ανθρώπους (εργαζόμενοι) μεταβάλλουν την μορφή και τις ιδιότητες των πρώτων υλών με αποτέλεσμα την παραγωγή προϊόντων. Κατά την διάρκεια της διαδικασίας αυτής διάφοροι παράγοντες επιδρούν και μεταβάλλεται η μορφή και οι ιδιότητες των παραγομένων προϊόντων. Επιβάλλεται λοιπόν η γνώση των παραγόντων αυτών και της επιδράσεως τους στα προϊόντα ώστε με κατάλληλες ενέργειες να αποτρέπονται, αν είναι δυνατό, οι ανεπιθύμητες επιδράσεις τους. Στη παραγωγική διαδικασία ο όρος προϊόν μπορεί να σημαίνει και υπηρεσία όπου απαιτείται.

Οι παράγοντες που επιδρούν στην μορφή και τις ιδιότητες των προϊόντων προέρχονται από:

- Τις πρώτες ύλες:
Η σύνθεση και εν γένει οι ιδιότητες των πρώτων υλών
- Τις μηχανές.

Το είδος των μηχανών, το είδος των εργαλείων, η κατάσταση και η εν γένει λειτουργική ικανότητα των μηχανών, η ηλικία, η ρύθμιση των μηχανών κ.α.

- Τους εργαζομένους.
Η ικανότητα, η επιμέλεια, η ηλικία, η πείρα, η γενική και τεχνική εκπαίδευση των εργαζομένων, η ακολουθούμενη μέθοδος εργασίας κ.α.
- Τις συνθήκες της εργασίας.
Οι κλιματολογικές συνθήκες, οι διανθρώπινες σχέσεις, τα παρεχόμενα κίνητρα, η ώρα και η διάρκεια της εργασίας κ.α.

Τα παραγόμενα προϊόντα, επειδή είναι αδύνατο οι άνω παράγοντες να μείνουν σταθεροί, πάντοτε διαφέρουν μεταξύ τους. Οι πρώτες ύλες διαφέρουν μερίδα από μερίδα, οι συνθήκες των μηχανών εν γένει μεταβάλλονται (φθείρονται τα εργαλεία, απορρυθμίζονται οι μηχανές κ.α.), η συμπεριφορά των εργαζομένων αλλάζει (μεταβάλλεται το ενδιαφέρον και η διάθεσή τους, αντικαθίσταται από άλλους, κάνουν μικρές αλλαγές στη μέθοδο εργασίας κ.α.) και οι συνθήκες εργασίας συνεχώς μεταβάλλονται (αλλαγή θερμοκρασίας, θόρυβοι, συμπεριφορά προϊσταμένου, συμπεριφορά συναδέλφων, κ.α.).

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

Τα μεγέθη, των οποίων οι μεταβολές οφείλονται σε αιτίες άγνωστες, ή σε γνωστές με άγνωστη ή πολύπλοκη επίδραση ώστε να δύνανται να θεωρηθούν άγνωστες, ονομάζονται **στοχαστικά μεγέθη**. Τα στοχαστικά μεγέθη διακρίνονται σε ασυνεχή αυτά που παίρνουν διάφορες διακεκριμένες τιμές και σε συνεχή που παίρνουν όλες τις τιμές μέσα σε ένα διάστημα τιμών. Η Στατιστική ασχολείται με την εξέταση των ιδιοτήτων των στοχαστικών μεγεθών προς εξαγωγή των αναγκαίων συμπερασμάτων. Στη συνέχεια αναπτύσσονται μερικές ιδιότητες των στοχαστικών μεγεθών και οι πιο απλοί τρόποι εξαγωγής συμπερασμάτων που χρησιμοποιούνται στον στατιστικό έλεγχο της ποιότητας των προϊόντων.

7.5 Μέση τιμή και τυπική απόκλιση δείγματος στοχαστικού μεγέθους

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

Παράμετροι θέσης είναι η Μέση τιμή, η Κεντρική τιμή και η Πιθανότερη τιμή.

Παράμετροι διασποράς είναι Κύρια ή Μέση απόκλιση, η Τυπική απόκλιση, η Ακραία διαφορά και η Πιθανή απόκλιση.

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

Οι επαναλαμβανόμενες σειρές μετρήσεων του ίδιου αντικειμένου υπό συνθήκες επαναληψιμότητας δημιουργούν τη βάση για τον υπολογισμό των τυχαίων σφαλμάτων. Συνήθως γίνεται μία τυχαία επιλογή n πλήθους τιμών, μεταξύ 8 και 25, οι οποίες ακολουθούν κυρίως την κανονική κατανομή. Μερικές φορές κατά τις μετρήσεις εμφανίζονται κάποιες ακραίες τιμές οι οποίες δεν ανήκουν στην κανονική κατανομή. Οι ακραίες αυτές τιμές διαγράφονται μετά από ειδικό έλεγχο τον Dixon Test, μόνον αν η τιμή τους z_B είναι μεγαλύτερη από την κρίσιμη τιμή z_T . Αν οι μετρημένες τιμές τοποθετηθούν με αύξουσα σειρά τότε η μέγιστη τιμή $x_{(n)}$ και η ελάχιστη $x_{(1)}$ παραλείπονται μόνον αν $z_{B(n)} > z_T$ και $z_{B(1)} > z_T$. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να απομακρυνθούν όλες οι ακραίες τιμές ο **πίνακας 7.1** του Dixon Test ακόλουθη.

Πίνακας 7.1: Έλεγχος Dixon

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

7.5.1 Αριθμητική μέση τιμή (mean value)

Υπολογίζεται από τον τύπο:

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

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

7.5.2 Τυπική απόκλιση s_n (standard variation)

Η εκτίμηση της διακύμανσης των μεμονωμένων τιμών x_i από τη μέση τους τιμή \bar{x} γίνεται με την τυπική απόκλιση s_n στην βιβλιογραφία συναντάτε και s

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

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

7.5.3 Εύρος R (Range)

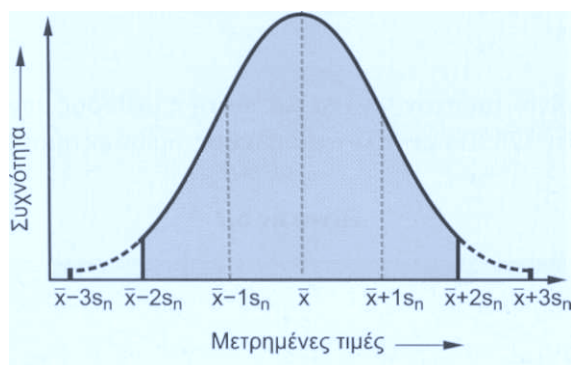
Το εύρος R είναι η διαφορά μεταξύ μέγιστης και ελάχιστης τιμής των επαναλαμβανόμενων n μετρήσεων, εφόσον έχουν παραλειφθεί οι ακραίες τιμές εάν υπήρχαν.

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

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

7.6 Κανονική κατανομή (Gaussian distribution)

Η κανονική κατανομή, όπως αυτή παρουσιάζεται στο γράφημα του **σχήματος 6.2**, είναι αποτέλεσμα μεγάλου αριθμού n μετρημένων τιμών. Έχει γίνει όμως παραδοχή να ισχύει και για μικρότερο πλήθος τιμών. Η συμμετρική μορφή της κατανομής οφείλεται στα τυχαία σφάλματα.



Σχήμα 7.2 : Καμπύλη κανονικής κατανομής

Το εύρος της κατανομής, ως πολλαπλάσιο της τυπικής απόκλισης, αποτελεί σημαντικό μέτρο των τυχαίων σφαλμάτων. Το 95,4% των μετρημένων τιμών βρίσκονται στο εύρος $\bar{x} - 2s_n$ έως $\bar{x} + 2s_n$. Αυτό σημαίνει ότι οποιαδήποτε τυχαία μετρημένη τιμή θα βρίσκεται σ' αυτήν την περιοχή με στατιστική βεβαιότητα 95,4% (statement of probability).

Για την κανονική κατανομή ισχύει ο **πίνακας 7.2**. Το εμβαδόν της κανονικής κατανομής συναρτήσει της ανηγμένης μεταβλητής z σε μονάδες τυπικής απόκλισης $z = \frac{x_i - \bar{x}}{s_n}$ δίνεται από τον **πίνακα 7.3**.

Πίνακας 7.2

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

Στη Διεθνή Μετρολογία συνηθίζεται να χρησιμοποιείται η στατιστική βεβαιότητα $P=95\%$ (αντιστοιχεί στο $1,96 s_n \approx 2s_n$). Σε ειδικές περιπτώσεις χρησιμοποιείται η στατιστική βεβαιότητα $P=99,7\%$ που αντιστοιχεί σε εύρος μετρημένων τιμών $\bar{x} - 3s_n$ έως $\bar{x} + 3s_n$.

Πίνακας 7.3 : Εμβαδόν τυπικής κανονικής καμπύλης από 0 έως z

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

7.7 Δείκτης Επαναληψιμότητας και Αναπαραγωγής μέτρησης

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

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

7.7.1 Σκοπός Μεθόδου Gage R&R

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

7.7.2 Υπολογισμοί μεθόδου

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

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

Το μέσο εύρος για το σύνολο των χειριστών υπολογίζεται

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

Το άνω όριο του εύρους κινδύνου υπολογίζεται

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

και το κάτω όριο του εύρους κινδύνου υπολογίζεται

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

όπου τα D_3 και D_4 είναι συντελεστές (**πίνακας 7.4**) που εξαρτώνται από τον αριθμό (δηλαδή το πόσες μετρήσεις έγιναν στο κάθε δοκίμιο) των τιμών του δείγματος.

Πίνακας 7.4 : Συντελεστές προσδιορισμού ορίων κινδύνου (N είναι ο αριθμός των τιμών του δείγματος).

N	A ₂	D ₃	D ₄
2	1,88	0	3,267
3	1,023	0	2,575

4	0,729	0	2,282
5	0,577	0	2,115
6	0,483	0	2,004
7	0,419	0,076	1,924
8	0,373	0,136	1,864
9	0,337	0,184	1,816
10	0,308	0,223	1,777

Το κάτω όριο του μέσου όρου είναι

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

Το άνω όριο του μέσου όρου είναι

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

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

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

$$E V = \bar{R} \cdot K_1$$

όπου $K_1=1/d_2$, το d_2 είναι συντελεστής που τον επιλεγούμε από τον **πίνακα 7.5**. Για την επιλογή d_2 , το Y είναι ο αριθμός των μετρήσεων που έγιναν σε κάθε τεμάχιο. Το X ισούται με των αριθμό των χειριστών επί των αριθμό των δοκιμίων.

Πίνακας 7.5: Επιλογή συντελεστού d₂

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

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

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

όπου το $K_2=1/d_2$, το d_2 το είναι από τον **πίνακα 7.5**. Για την επιλογή d_2 το $X = 1$ και Y των αριθμό των χειριστών,

το n είναι ο αριθμός των δοκιμών,

το r είναι ο αριθμός των μετρήσεων.

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

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

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

$$PV = R_{χειρ} \times K_3$$

όπου το $R_{χειρ}$ είναι η διαφορά εύρους των χειριστών

το $K3=1/d_2$, το d_2 το είναι από τον **πίνακα 7.5**. Για την επιλογή του d_2 το Y ίσο με τον αριθμό των δοκιμών και για $X=1$

Συνολική μεταβλητότητα - Total Variance (TV) είναι ο συνδυασμός της μεταβλητότητας του εξοπλισμού, του μετρητή και των τεμαχίων.

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

Ως ποσοστά τα παραπάνω μεγέθη μετατρέπονται από τους παρακάτω τύπους:

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

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

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

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

7.7.3 Ανάλυση αποτελεσμάτων μεθόδου

Τα κριτήρια αποδοχής της μεθόδου μέτρησης είναι

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

Αν η Αναπαραγωγιμότητα είναι μεγαλύτερη από την Επαναληψιμότητα τότε οι πιθανές αίτιες είναι

1. Οι μετρητές δεν είναι κατάλληλα εκπαιδευμένοι ή δεν έχουν τη κατάλληλη εμπειρία για να χρησιμοποιήσουν και να εξάγουν αποτελέσματα από την μετρητική διάταξη.
2. Η διακρίβωση του οργάνου μέτρησης δεν είναι σωστή.
3. Χρειάζεται αναπόσπαστη βάση πάνω στην τράπεζα μετρήσεις ώστε οι μετρητές να διευκολυνθούν στις μετρήσεις τους και να γίνεται ορθότερη χρήση της διάταξης.

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

1. Η μετρητική διάταξη χρειάζεται συντήρηση.
2. Το πρότυπο που χρησιμοποιήθηκε στις μετρήσεις πρέπει να ελέχθη γιατί παρουσιάζει μεταβλητότητα ή χρειαζόμαστε πρότυπο μεγαλύτερης ακριβείας για τις μετρήσεις που κάνουμε.
3. Το σύστημα πρόσδεσης του μετρούμενου τεμαχίου στην μετρητική διάταξη πρέπει να βελτιωθεί.

4. Υπερβολική εσωτερική μεταβλητότητα δοκιμίου. Δηλαδή, υποθέτουμε ότι μετράμε διάμετρο άξονα ο οποίος από κακή επεξεργασία παρουσιάζει κωνικότητα. Οπότε τα δύο άκρα του άξονα θα έχουν διαφορετική διάμετρο. Μετρώντας διαφορετικές άκρες, θα παίρνουμε και διαφορετικές μετρήσεις κάθε φορά.

8 Συλλογή των δεδομένων

8.1 Καταγραφή της μεθόδου μέτρησης για μηχανή ULM

Βασιζόμενη στην οδηγία εργασίας (ΟΕ) 03 του Μετροτεχνικού Εργαστηρίου (ΜΕ) πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις τρίματος (εσωτερικής διαμέτρου). Μετρηθήκαν οι πρότυποι διακριβωμένοι δακτύλιοι των 54,99900 mm και 13.99930 mm με πρότυπα αναφοράς τον πρότυπο δακτύλιο των 13.99300 mm και των 54,99900 mm αντίστοιχα. Αυτές οι μετρήσεις έγιναν στο πλαίσιο της εξάσκησης των χειριστών με την μετρητική διάταξη. Ακολούθησε η μέτρηση των δέκα δακτυλίων των 35 mm του Μετροτεχνικού Εργαστηρίου, με πρότυπο αναφοράς τον πρότυπο διακριβωμένο δακτύλιο των 54,99900 mm. Οι 10 δακτύλιοι είναι αριθμημένοι με την κωδική ονομασία 35-1 έως 35-10, όπου το πρώτο μέρος του είναι η εσωτερική διάμετρος και το δεύτερο μέρος είναι ο αύξων αριθμός που έχει αποδοθεί στα τεμάχια από τον υπεύθυνο του εργαστηρίου.

Η οδηγία εργασίας 03 περιγράφει τις οδηγίες μέτρησης που καθορίζει ο κατασκευαστής της μηχανής ULM OPAL 600, προσαρμοσμένες στο μετρούμενο δοκίμιο και σύμφωνα με όσα αναφέρονται στο πρότυπο DIN 2250 Part 1. Η μέτρηση υλοποιείται μέσω σύγκρισης με διακριβωμένο πρότυπο εργασίας (πρότυπος δακτύλιος – *ring gage*). Η μηχανή είναι εγκατεστημένη στην Αίθουσας ελεγχόμενων Συνθηκών, όπου για την καλύτερη απόδοση των μετρήσεων βρισκόταν κατά την διάρκεια των μετρήσεων μόνο ο μετρητής στην αίθουσα.

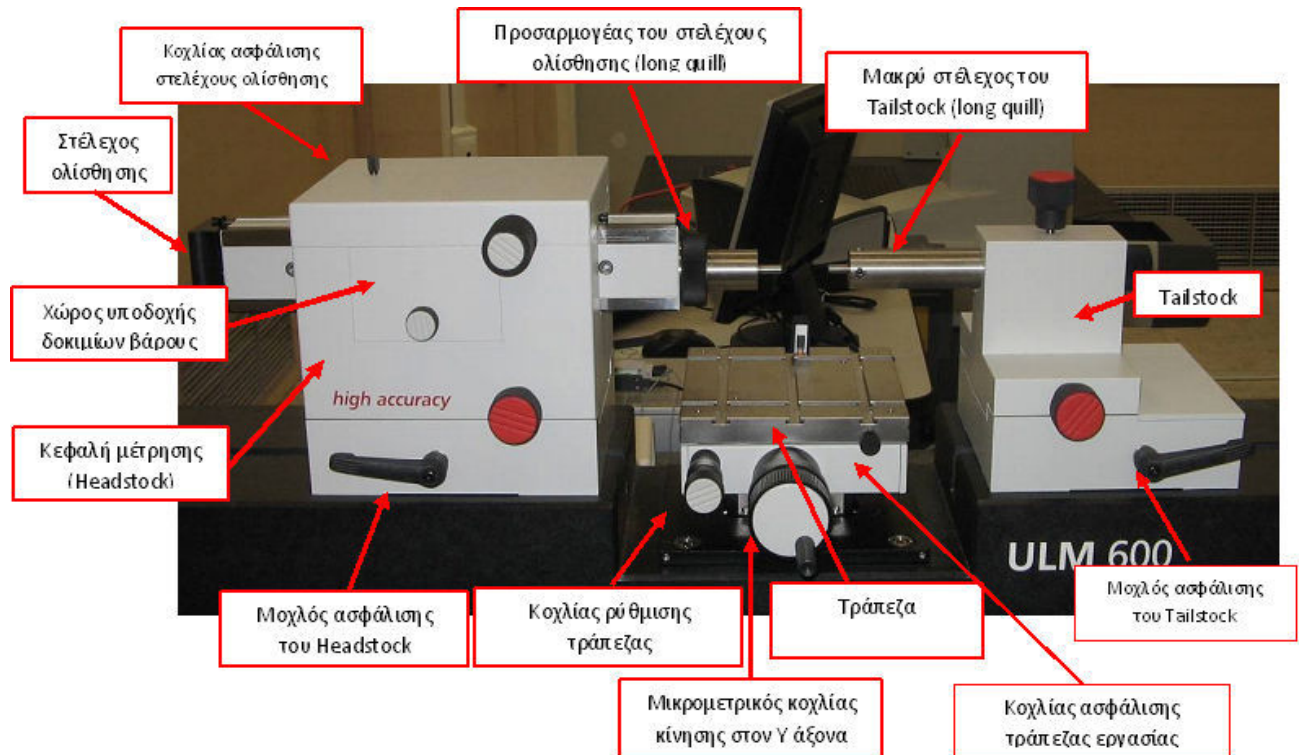
Η ΟΕ-03 θέτει κανόνες-περιορισμούς στα μετρούμενα δοκίμια.

- Τα μετρούμενα δοκίμια πρέπει να έχουν ονομαστική διάμετρο από 15 έως 150 mm και για τη μέτρηση θα χρησιμοποιηθεί ring gage 54,99900 mm.
- Θα πρέπει, προφανώς, όλες οι εμπλεκόμενες, με τη μέτρηση, επιφάνειες να είναι απολύτως καθαρές. Για το λόγο αυτό, καθαρίζουμε το δοκίμιο καλά, με αιθυλική αλκοόλη και ένα λινό πανάκι. Όλοι οι δακτύλιοι μεταφέρονται μόνο αγγίζοντας την εξωτερική τους επιφάνεια (περιοχή εξωτερικής διαμέτρου), στην συγκεκριμένη περιοχή το χρώμα του μέταλλου είναι σκούρο γκρι. Αυτό εξηγείται λόγω της ειδικής επεξεργασίας και βαφής για την αποφυγή ολίσθησης και σκουριάς.
- Το δοκίμιο έπρεπε να βρίσκεται στην ίδια θερμοκρασία με τη μηχανή (και συγκεκριμένα στους 20 °C) και για το λόγο αυτό βρισκόταν πάνω στην τράπεζα εργασίας της μηχανής από την προηγούμενη ημέρα. Ο Χειριστής που θα πραγματοποιούσε μετρήσεις είχε ενεργοποιήσει την κλιματιστική μονάδα της Αίθουσας ελεγχόμενων Συνθηκών, τουλάχιστον 24 ώρες πριν την πραγματοποίηση των μετρήσεων. Ο χειρισμός του δοκιμίου γίνεται με ειδικές λαβίδες ή γάντια ώστε να μην θερμανθεί από την επαφή με τα χέρια.
- Για ασφαλέστερα αποτελέσματα έγινε ο καθαρισμός των δοκιμίων μια μέρα πριν τη μέτρηση, οπότε και έμειναν τα δοκίμια εντός του εργαστηρίου και πάνω στην τράπεζα εργασίας, ώστε να εξισωθεί με τη θερμοκρασία του χώρου και της μηχανής μέτρησης (20 °C).

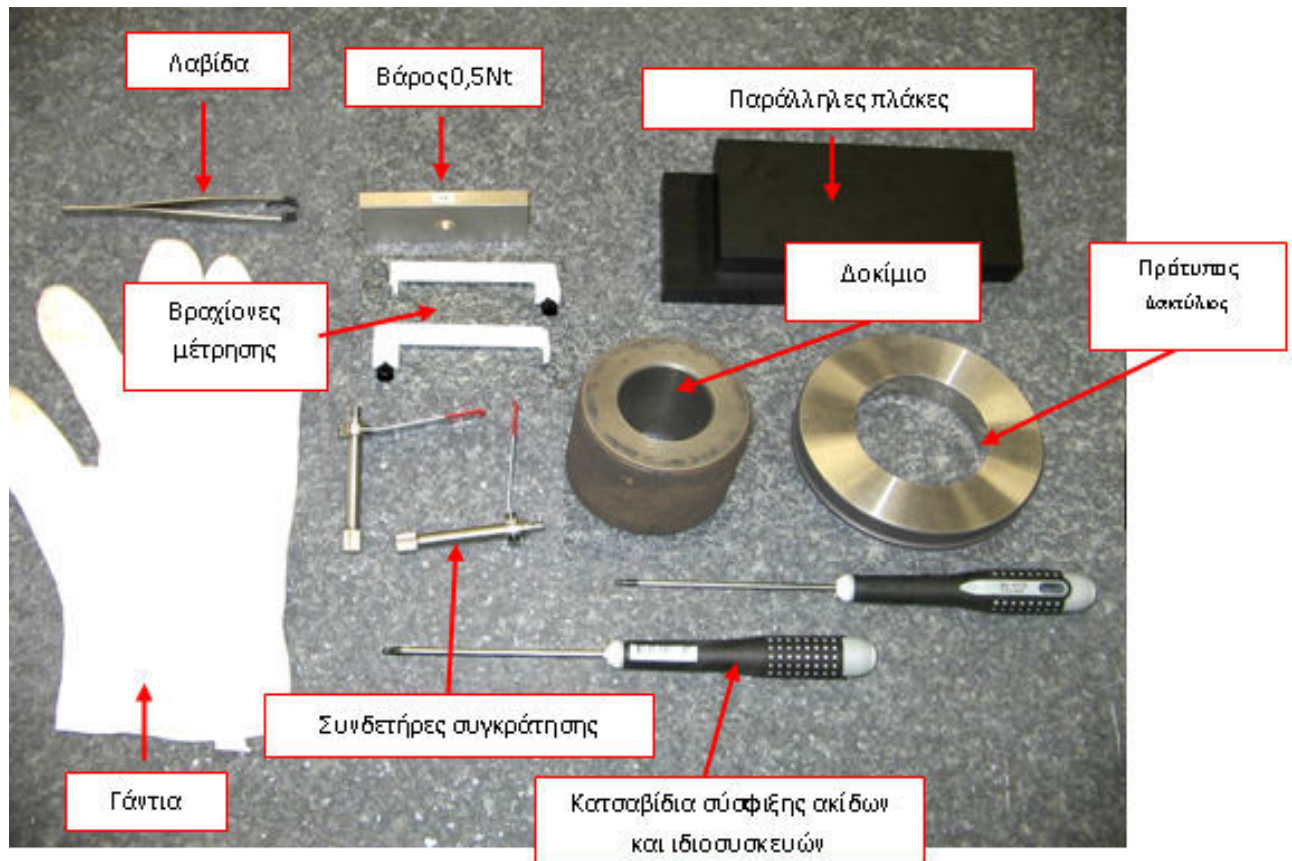
Απαιτούμενος εξοπλισμός φαίνεται στα **σχήματα 8.1 και 8.2**.

1. Τράπεζα εργασίας (worktable)

2. ABBE κεφαλή μέτρησης (Headstock)
3. Μακρύ στέλεχος για το Tailstock (long quill)
4. Προσαρμογέας για το στέλεχος ολίσθησης (long adapter for measuring slide)
5. Πλακίδιο βάρους 0,5 Nt για το Headstock (Weight pieces)
6. Δύο βραχίονες μέτρησης (small probe arms)
7. Δύο συνδετήρες συγκράτησης του δοκιμίου
8. Setting gage για την ευθυγράμμιση των βραχιόνων
9. Κατσαβίδια σύσφιξης ακίδων και ιδιοσυσκευών
10. Πρότυπο αναφοράς (δακτύλιος - ring gage 54,99900 mm)



Σχήμα 8.1 : Κύρια Μέρη Μηχανής Mahr OPAL ULM 600

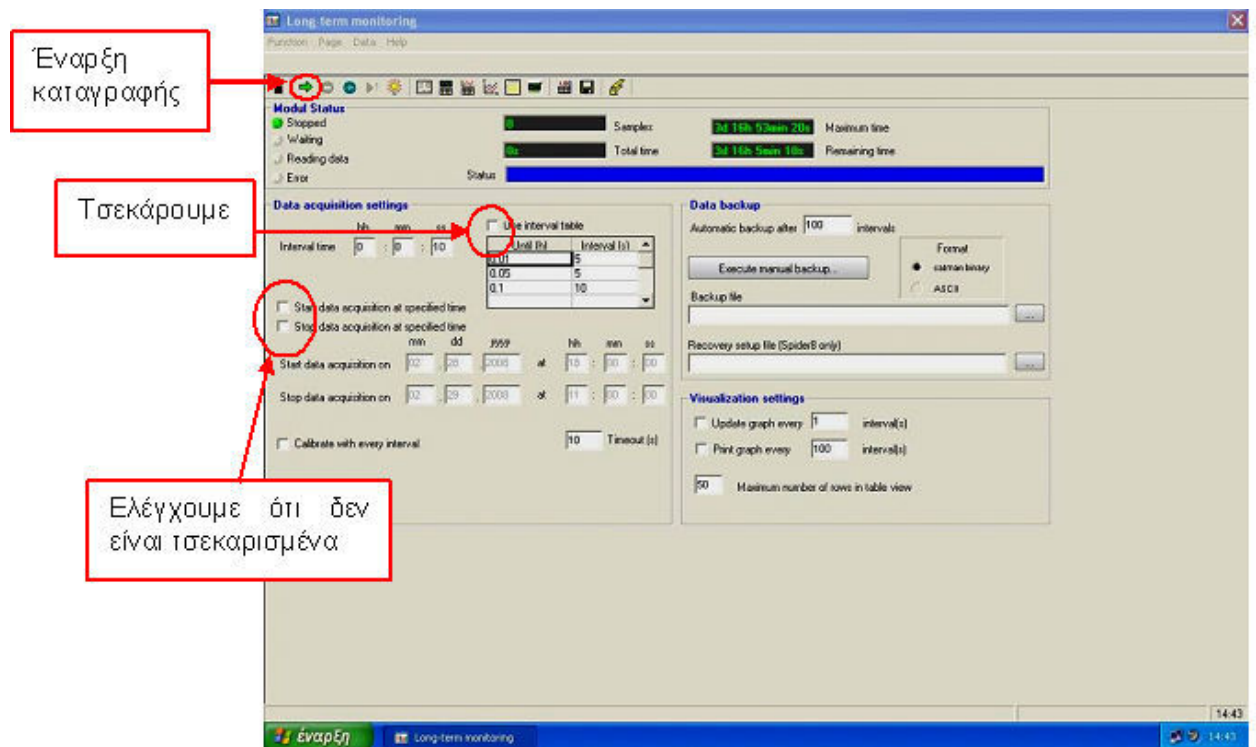


Σχήμα 8.2 : Πρόσθετος Εξοπλισμός

8.1.1 Προετοιμασία της διάταξης για τις μετρήσεις

1. Πριν την είσοδο μας στην Αίθουσα Ελεγχόμενων Συνθηκών εκκινούμε τον αεροσυμπιεστή του εργαστηρίου που βρίσκεται στο χώρο X8 πριν την κεντρική είσοδο του ΜΕ.
2. Θέτουμε σε λειτουργία τον κεντρικό υπολογιστή της Αίθουσας Ελεγχόμενων Συνθηκών και το Data Logger για τη συλλογή των περιβαλλοντικών δεδομένων.

Από την επιφάνεια εργασίας επιλέγουμε το "Project 2" που αφορά στο πρόγραμμα συλλογής των δεδομένων. Στην οθόνη λειτουργίας του Project (σχήμα 8.3), ελέγχουμε ότι είναι τσεκαρισμένο το πεδίο «Internal Table», ότι δεν είναι τσεκαρισμένα τα πεδία «Start...», «Stop...» και επιλέγουμε το εικονίδιο εκκίνησης (πράσινο βέλος) για να αρχίσει η καταγραφή.



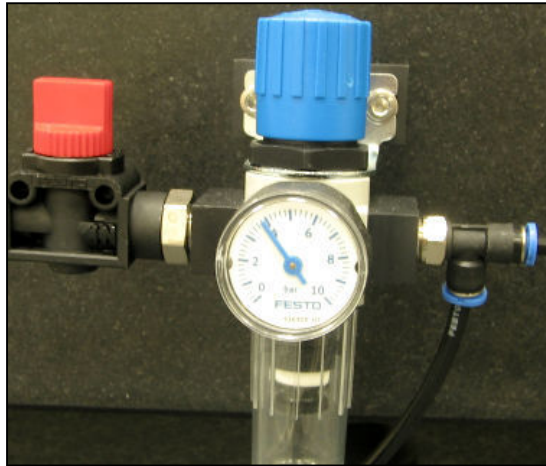
Σχήμα 8.3 : Ρυθμίσεις για την καταγραφή των συνθηκών

3. Ενεργοποιήσαμε την μηχανή ULM OPAL 600 από το Power supply motor (σχήμα 8.4).



Σχήμα 8.4 : Διακόπτης on/off στο power supply motor

4. Ο αεροσυμπιεστή του εργαστηρίου χρειάζεται κάποια λεπτά ώστε να φτάσει η κατάλληλη πίεση στο δίκτυο αέρα. Περιμένουμε λίγα λεπτά και ελέγχουμε το μανόμετρο στο πίσω μέρος της μηχανής να βρίσκεται περίπου στα 4 bar (σχήμα 8.5).



Σχήμα 8.5 : Μανόμετρο Μηχανής ULM OPAL 600

5. Καθαρίζουμε με λινό πανάκι την τράπεζα εργασίας, τις ακίδες επαφής και τις ιδιοσυσκευές που θα χρησιμοποιήσουμε, από σκόνες και ακαθαρσίες.
6. Θέτουμε σε λειτουργία το interface θερμοκρασιών (διακόπτης on/off **σχήμα 8.6**) και ελέγχουμε τις θερμοκρασίες M0 (βάση μηχανής), M1 (Headstock) και M2 (τράπεζα εργασίας) να βρίσκονται σε αποδεκτά πλαίσια ($20 \pm 0,5$ °C). Αν η θερμοκρασίες βρίσκονται εκτός ορίων η μέτρηση αναβαλλόταν και ενημερώνεται ο Τεχνικός Υπεύθυνος.



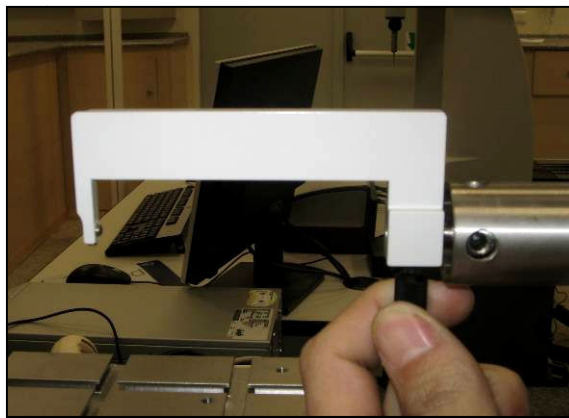
Σχήμα 8.6 : Interface Θερμοκρασιών

7. Ήταν ήδη τοποθετημένο από τον Τεχνικό Υπεύθυνο του εργαστήριου το δοκίμιο βάρους 0,5 Nt. στην αντίστοιχη υποδοχή του Headstock.

8. Τοποθετούμε και σφίγγουμε (αν δεν είναι ήδη τοποθετημένα) τον προσαρμογέα στο στέλεχος ολίσθησης και το μακρύ στέλεχος του Tailstock.
9. Εφόσον έχει προηγηθεί η εκκίνηση του Η/Υ και μετά την ενεργοποίηση του λογισμικού ΕΚΜ της μηχανής, που βρίσκεται στην επιφάνεια εργασίας.

8.1.2 Αρχικές Ενέργειες Μέτρησης

1. Τοποθετούμε τον αισθητήρα θερμοκρασίας M2 επάνω στο προς μέτρηση αντικείμενο ή πάνω στην τράπεζα εργασίας.
2. Τοποθετούμε του βραχίονες πάνω στα στελέχη του Headstock και του Tailstock, τους φέρνουμε σχεδόν σε επαφή μεταξύ τους, ελέγχουμε οπτικά ότι δε σχηματίζουν γωνία μεταξύ τους και σφίγγουμε τους αντίστοιχους κοχλίες. Στη σύσφιξη του δεξιού βραχίονα εξασφαλίζουμε ένα μικρό κενό περίπου 2-3 mm (**σχήμα 8.7**) μεταξύ της πλάτης του βραχίονα και του στελέχους του Tailstock



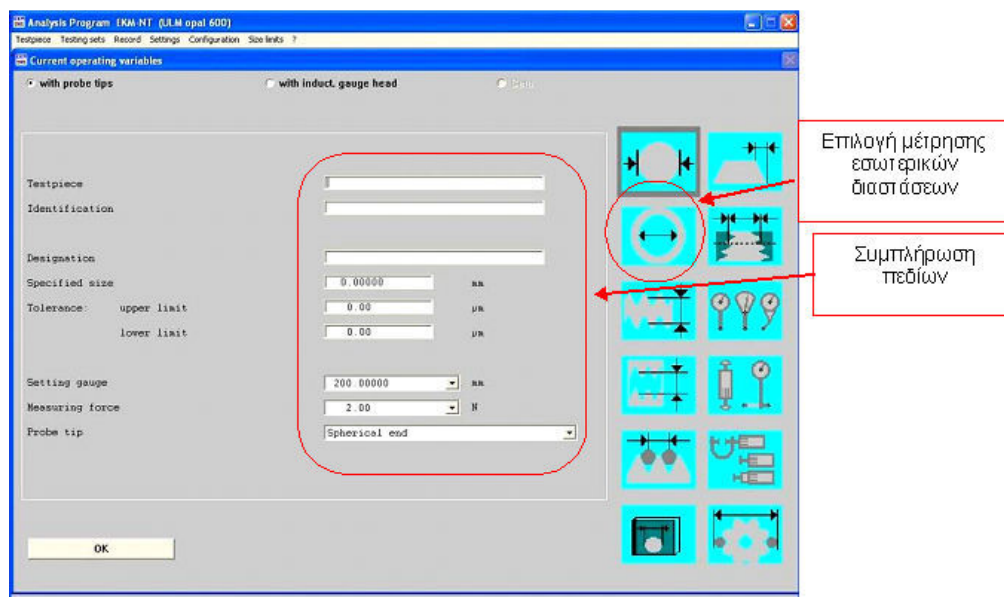
Σχήμα 8.7 : Τοποθέτηση-σύσφιξη βραχιόνων

3. Ελευθερώνουμε το αριστερό άκρο του ελατηρίου επαναφοράς και το αγκιστρώνουμε (**σχήμα 8.8**) στο δεξιό μέρος του στελέχους ολίσθησης (measuring slide), ώστε να δίνει ώθηση προς τα αριστερά. Αρά έχοντας σταθερό τον δεξιό βραχίονα και τον αριστερό να κινείται προς τα αριστερά, έχουμε δυο βραχίονες που έρχονται σε επαφή με την εσωτερική διάμετρο του δακτυλίου και απομακρύνονται μεταξύ τους.



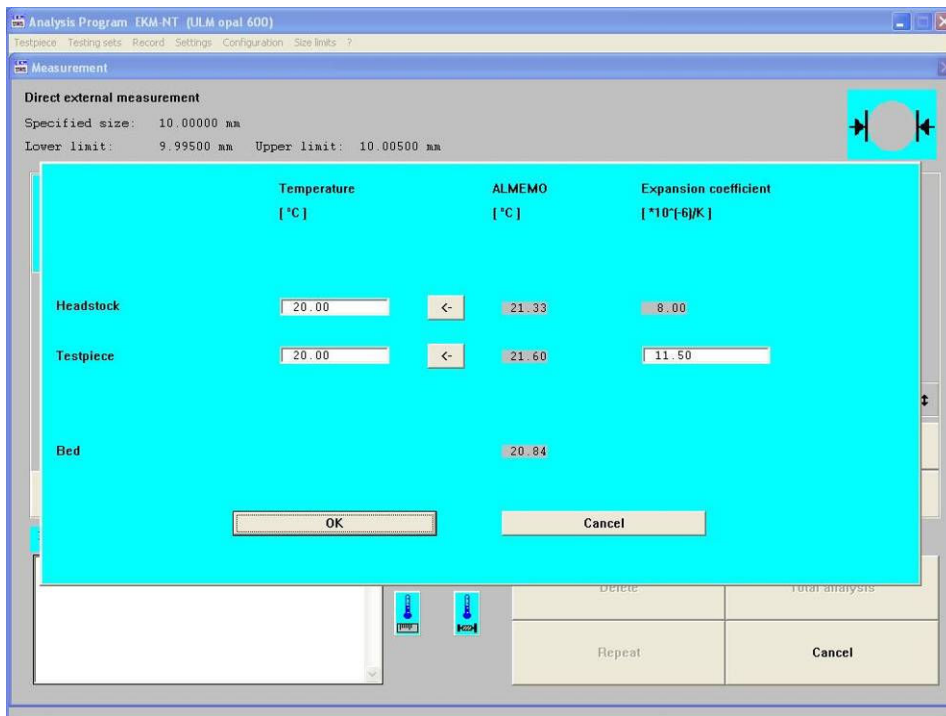
Σχήμα 8.8 : Ελατήριο επαναφοράς

- Επιλέγουμε τύπο μέτρησης από το αντίστοιχο εικονίδιο για εσωτερική διάσταση (**σχήμα 8.9**) από την αρχική οθόνη του λογισμικού, τσεκάρουμε την επιλογή «with 2 probe arms», συμπληρώνουμε τα πεδία που εμφανίζονται και πατούμε OK (παράθυρο «current operating variables»). Τα πεδία συμπληρώνονται ως εξής:
 - **Testpiece**: π.χ. daktylios35 όπου η λέξει daktylios σημαίνει ότι μετράμε δακτυλίους και το 35 ότι έχουν εσωτερική διάμετρο 35 mm
 - **Identification**: αριθμός υπόθεσης - κωδικός αντικειμένου - A/A μέτρησης (πχ. es1-stZ-d35_1-1, όπου es1 είναι από τα αρχικά ΕΣωτερική υπόθεση ένα (το εργαστήριο πραγματοποιεί μετρήσεις και για εξωτερικές υποθέσεις), το st σημαίνει student και Z το Ζήσος (επώνυμο χειριστή), d35 ότι μετράμε εσωτερική διάμετρο 35 mm , τέλος το 1-1 συναινεί πρώτη μέτρηση και το δεύτερο 1 πρώτη τιμή από τις τρεις.
 - **Designation** : περιγραφή μέτρησης - όνομα χειριστή (πχ. Internal Diameter_zisos)
 - **Specified Size**: τα δοκίμια είχαν Ονομαστικό μήκος 35 mm (Σημείωση: αν δεν υπάρχει αναγραφή στο δοκίμιο ή κατασκευαστικό σχέδιο, μετρούμε το δοκίμιο με ένα παχύμετρο και εισάγουμε μια ενδεικτική ονομαστική τιμή).
 - **Tolerance**: Καθορισμός ανοχών (Σημείωση: αν δεν υπάρχουν καθορισμένες ανοχές, πηγαίνουμε στο menu, επιλέγουμε «**Size Limits**» και τσεκάρουμε την επιλογή «**Without tolerance**».
 - **Setting Gauge**: Επιλέγουμε ως τιμή την 54,99900
 - **Measuring Force**: 1,50 N



Σχήμα 8.9 : Αρχική Οθόνη Λογισμικού Μετρήσεων

- Καταχωρούμε τις τρέχουσες τιμές (**σχήμα 8.10**) της θερμοκρασίας στον πίνακα που εμφανίζεται και πατούμε OK.



Σχήμα 8.10 : Καταχώρηση Θερμοκρασιών

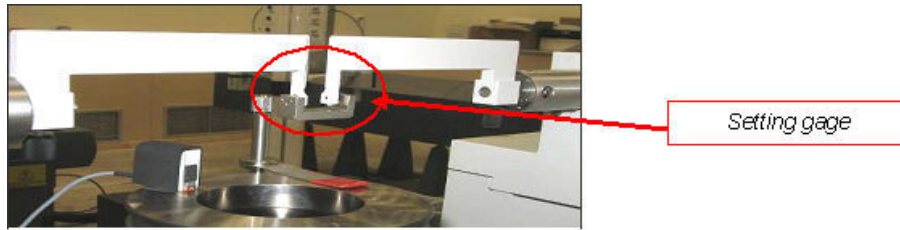
Επειδή τα δοκίμια είναι από υλικό σκληρυμένου χάλυβα δεν χρειάζεται να καταχωρήσουμε και τον αντίστοιχο συντελεστή θερμικής διαστολής (expansion coefficient). Σε περίπτωση άλλου υλικού αυτός πρέπει να δοθεί στην εντολή μέτρησης. Διαφορετικά μπορεί να επιλεγεί τιμή σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:

Material	CTE (ppm/K)
Hardened Steel	11.5
Brass	21
Aluminium	24
Copper	16.5
Titanium	8.6
Tungsten carbide	4.3
Alumina	5.4

6. Ενεργοποιούμε το κανάλι X1 (εισάγοντας το σημείο αναφοράς). Για το λόγο αυτό μετακινούμε λίγο το στέλεχος ολίσθησης του *Headstock*, μέχρι να εμφανιστεί ένδειξη τιμών στην οθόνη του λογισμικού.

8.1.3 Ευθυγράμμιση βραχιόνων μέτρησης

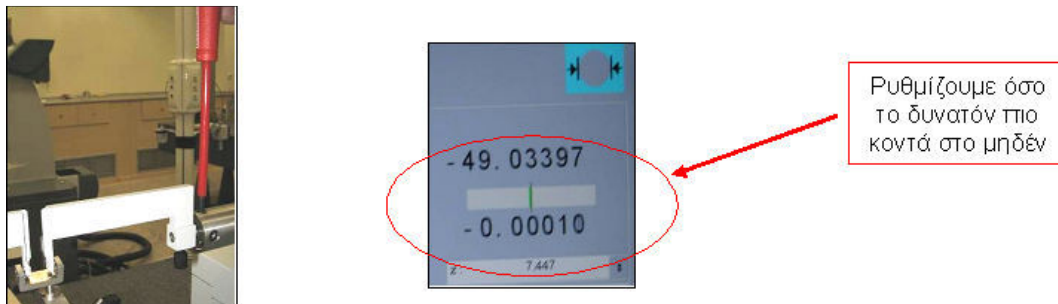
1. Μετακινούμε το *Headstock* σε τέτοια θέση ώστε οι βραχίονες μέτρησης να βρίσκονται αρκετά κοντά.
2. Απελευθερώνουμε το στέλεχος ολίσθησης του *Headstock* και με το δεξί χέρι προσπαθούμε να τοποθετήσουμε το *setting gage* ώστε οι ακίδες επαφής των βραχιόνων μέτρησης (**σχήμα 8.11**), να εισχωρήσουν (φωλιάσουν) στις μεγαλύτερες από τις υποδοχές/οπές του *setting gage*. Ελέγχουμε οπτικά ότι το *setting gage* τοποθετήθηκε σωστά.



Σχήμα 4.11 : Ευθυγράμμιση βραχιόνων

3. Εύρεση σημείου αντιστροφής (*reversal point*):

Επιλέγουμε από την οθόνη του λογισμικού *F3 max* (για επίπεδους επαφείς) και με το κατσαβίδι περιστρέφουμε τον άνω κοχλία του στελέχους του *Tailstock* ώστε να επιτύχουμε την ένδειξη κοντά στο μηδέν (0.00000) (**σχήμα 8.12**). Η πράσινη ένδειξη δηλώνει ότι στρέφουμε στη σωστή κατεύθυνση ενώ η κόκκινη δηλώνει ότι πρέπει να περιστρέψουμε αντίθετα. Όταν φτάσουμε κοντά στο μηδέν (προσέγγιση σε 5 δεκαδικό ψηφίο) ένα ηχητικό σήμα ακούγεται. Ρυθμίζουμε όσο γίνεται πιο κοντά στο μηδέν και έπειτα επιλέγουμε *F3 Off*.



Σχήμα 8.12 : Εύρεση Σημείου Αντιστροφής

4. Όταν ολοκληρώσουμε, επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία 4 ρυθμίζοντας τον άλλο κοχλία.
5. Απομακρύνουμε το *setting gage*.

8.1.4 Έλεγχος Θέσης Δοκιμίου

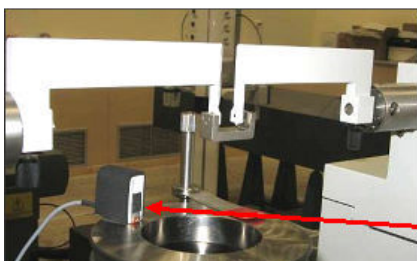
1. Μετακινούμε την τράπεζα εργασίας στο μέσο της διαδρομής του Y άξονα ρυθμίζοντας τον μικρομετρικό κοχλία κίνησης περίπου στα 12 mm.
2. Τοποθετούμε το αντικείμενο προς μέτρηση πάνω στην τράπεζα εργασίας με τη βοήθεια πρόσθετων παράλληλων πλακών (αν χρειάζεται ανύψωση), ελέγχοντας οπτικά ότι ο νοητός άξονας μέτρησης περνά από το κέντρο του δακτυλίου.
3. Σταθεροποιούμε το δοκίμιο με κατάλληλους συνδετήρες συγκράτησης.
4. Μετακινούμε το *Tailstock* και το στέλεχος του ώστε η ακίδα του δεξιού βραχίονα μέτρησης να βρίσκεται ακριβώς πάνω από το δεξιό εσωτερικό σημείο της επιφάνειας προς μέτρηση.
5. Καθορίζουμε την θέση του *Headstock* και του *Tailstock* ώστε η διαδρομή κίνησης του στελέχους ολίσθησης, να επαρκεί για τη μέτρηση του δοκιμίου και

για τον καθορισμό της αναφοράς δηλαδή την τοποθέτηση και μέτρηση προτύπου. Αυτήν την πρόβα την κάνουμε γιατί πρέπει χωρίς να αλλάξει η διάταξη στηρίξεις να μετρηθούν και τα δυο δοκίμιο. Στην αντίθετη περίπτωση είναι επικίνδυνο κατά την αλλαγή της διατάξεις να έρθουμε σε επαφή με τις ακίδες, πράγμα που απορυθμίζει την μηχανή και πρέπει να ξαναγίνει η διαδικασία Ευθυγράμμιση βραχιόνων μέτρησης από την αρχή.

6. Απομακρύνουμε το τεμάχιο προς δοκιμή από την τράπεζα εργασίας.

8.1.5 Καθορισμός αναφοράς μέτρησης (*Setting the Datum*)

1. Αφού αφαιρέσαμε το δοκίμιο από την τράπεζα εργασίας, τοποθετούμε το πρότυπο αναφοράς (*ring gage*) με την ίδια διαδικασία που περιγράφεται παραπάνω προσέχοντας έτσι ώστε η ακίδα του δεξιού βραχίονα μέτρησης να βρίσκεται ακριβώς από πάνω από το δεξιό εσωτερικό σημείο του δακτυλίου αναφοράς.
2. Τοποθετούμε πάνω στο πρότυπο αναφοράς (*ring gage*), τον αισθητήρα (σχήμα 8.13) θερμοκρασίας M2.



Αισθητήρας θερμοκρασίας M2

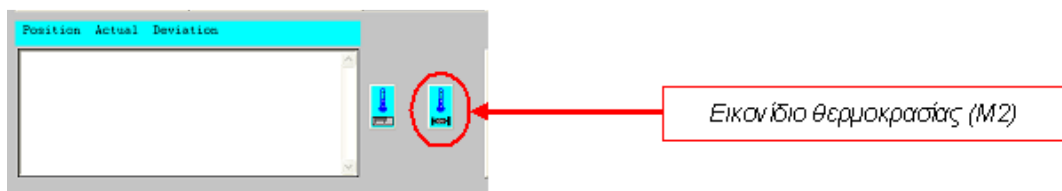
Σχήμα 8.13 : Εύρεση Σημείου Αντιστροφής

3. Μετακινώντας το στέλεχος ολίσθησης, φέρνουμε κοντά τους βραχίονες μέτρησης ώστε να χωρούν να εισέλθουν μέσα στον πρότυπο δακτύλιο (*ring gage*).
4. Ανυψώνουμε την τράπεζα εργασίας μέχρι οι ακίδες επαφής να βρίσκονται στο μέσο ύψος (βάθος) του δακτυλίου.
5. Ελευθερώνουμε την τράπεζα εργασίας και φέρνουμε προσεκτικά σε επαφή τις ακίδες των βραχιόνων μέτρησης με το πρότυπο αναφοράς.
6. Καταχωρούμε την τρέχουσα τιμή της θερμοκρασίας του προτύπου επιλέγοντας το δεξιό εικονίδιο θερμοκρασίας. Παράλληλα ελέγχουμε ότι ο συντελεστής θερμικής διαστολής για το πρότυπο δηλώνεται «11,5».
7. Επιλέγουμε *F3 MAX* από την οθόνη του λογισμικού και βρίσκουμε το σημείο αντιστροφής περιστρέφοντας τον μικρομετρικό κοχλία ρύθμισης της τράπεζας εργασίας (κίνηση στον άξονα Y). Η πράσινη ένδειξη στην οθόνη, σημαίνει ότι περιστρέφουμε σωστά και η κόκκινη ένδειξη ότι πρέπει να περιστρέψουμε στην αντίθετη κατεύθυνση. Ρυθμίζουμε τον κοχλία σε τιμή, όσο πιο κοντά στο μηδέν (0.00000).
8. Επιλέγουμε «*Statically*» και κατόπιν «*F9 Analysis*» ώστε να ορίσουμε το σημείο αναφοράς (54,99900 mm, ανάλογα με το καθορισμένο πρότυπο).
9. Απομακρύνουμε λίγα χιλιοστά την αριστερή ακίδα και ξαναφέρνουμε ξανά σε επαφή. Επαναλαμβάνουμε μια έως δυο φορές (με μια μικρή απομάκρυνση του στελέχους ολίσθησης).

10. Σε περίπτωση που έχουμε ένδειξη τιμής που αποκλίνει από την τιμή του προτύπου, επιλέγουμε με τη σειρά «*determination of ref value*», «*Statically*» και «*F9 Analysis*».
11. Μετά τον καθορισμό της αναφοράς δεν επιτρέπεται να μεταβάλλουμε τη θέση του *Headstock* και του *Tailstock*.

8.1.6 Ευθυγράμμιση δοκιμίου – Μέτρηση (οθόνη “*Contact Testpiece*”)

1. Επανατοποθετούμε το δοκίμιο και το συγκρατούμε ξανά όπως περιγράφηκε παραπάνω. Προσέχουμε έτσι ώστε η δεξιά εσωτερική επιφάνεια να βρίσκεται περίπου στο ίδιο σημείο (του Χ άξονα) με την ακίδα επαφής του δεξιού βραχίονα.
2. Μετακινώντας το στέλεχος ολίσθησης, φέρνουμε κοντά τους βραχίονες μέτρησης ώστε να χωρούν να εισέλθουν μέσα στο προς μέτρηση δοκίμιο. Αυτό είναι αναγκαίο για να αποφύγουμε σύγκρουση του δακτυλίου με τους βραχίονες, κατά την άνοδο της τράπεζας.
3. Ανυψώνουμε την τράπεζα εργασίας με μικρότερη ταχύτητα και με μεγάλη προσοχή μέχρι οι ακίδες επαφής να βρίσκονται στο μέσο ύψος (βάθος) του δακτυλίου.
4. Ελευθερώνουμε την τράπεζα εργασίας με τον κοχλία ασφάλισης και φέρνουμε προσεκτικά σε επαφή την δεξιά ακίδα με την προς μέτρηση επιφάνεια του δοκιμίου. Έπειτα ελευθερώνουμε την αριστερή ακίδα και την φέρνουμε σε επαφή με το δοκίμιο. Η επαφή πρέπει να πραγματοποιηθεί πολύ προσεκτικά και απαλά ώστε πρακτικά να μην υπάρξει κτύπημα των ακίδων επάνω στο δοκίμιο. Αν, παρατηρηθεί βίαιη επαφή ή κτύπημα στο δοκίμιο, στο τέλος της μέτρησης πρέπει οπωσδήποτε να ελέγξουμε εάν έχει μεταβληθεί το σημείο αναφοράς (*datum*). Ο έλεγχος γίνεται απομακρύνοντας το δοκίμιο και φέρνοντας ξανά σε επαφή τον πρότυπο δακτύλιο αναφοράς. Αν υπάρχει απόκλιση τάξης μεγαλύτερης του 5^{ου} δεκαδικού ψηφίου ακυρώνουμε τη μέτρηση και επαναλαμβάνουμε όλη τη διαδικασία.
5. Καταχωρούμε την τρέχουσα τιμή της θερμοκρασίας του δοκιμίου επιλέγοντας το δεξιό εικονίδιο θερμοκρασίας (**σχήμα 8.14**). Παράλληλα ελέγχουμε ότι ο συντελεστής θερμικής διαστολής για το δοκίμιο είναι αυτός που αντιστοιχεί στο υλικό κατασκευής του.



Σχήμα 8.14 : Καταχώρηση θερμοκρασίας δοκιμίου

6. Επιλέγουμε *F5 dyn MAX* από την οθόνη του λογισμικού και βρίσκουμε το σημείο αντιστροφής περιστρέφοντας το μικρομετρικό κοχλία ρύθμισης της τράπεζας εργασίας (κίνηση στον άξονα Υ). Η πράσινη ένδειξη στην οθόνη, σημαίνει ότι περιστρέφουμε σωστά και η κόκκινη ένδειξη ότι

πρέπει να περιστρέψουμε στην αντίθετη κατεύθυνση. Το λογισμικό αντιλαμβάνεται αυτόματα το σημείο αντιστροφής, το οποίο εμφανίζεται στο κεντρικό παράθυρο της οθόνης. Αυτό γίνεται με την εύρεση του μεγαλύτερου τόξου που είναι η διάμετρος του κύκλου.

7. Επιλέγουμε **F9 Analysis** και λαμβάνουμε την τιμή της μέτρησης στο παράθυρο κάτω αριστερά της οθόνης του λογισμικού.
8. Απομακρύνουμε λίγο το στέλεχος ολίσθησης του **Headstock**, χαμηλώνουμε την τράπεζα εργασίας, την σταθεροποιούμε με τον κοχλία ασφάλισης.
9. Μόλις ολοκληρώσαμε την διαδικασία μέτρησης και έχουμε μια τιμή την καταγράφουμε. Περιστρέφουμε την τράπεζα με το δοκίμιο το οποίο είναι σταθεροποιημένο πάνω της για να πάρουμε άλλες δύο τιμές. Για να περιστραφεί η τράπεζα περιστρέφουμε τον κοχλία ρύθμισης τράπεζας δεξιόστροφα ως το τέλος και παίρνουμε δεύτερη τιμή, στη συνέχεια περιστρέφουμε αριστερόστροφα προσέχοντας να μην λύσουμε τον κοχλία. Για να πάρουμε μια τελική τιμή ακολουθούμε τη διαδικασία μέτρησης άλλες 2 φορές. Άρα περνούμε τρεις τιμές και έπειτα βρίσκουμε τον μέσο όρο τους που είναι μια τελική τιμή.
10. Προχωράμε στην εξαγωγή αποτελεσμάτων, ελευθερώνοντας το δοκίμιο.

8.1.7 Εξαγωγή αποτελεσμάτων

1. Από την οθόνη του λογισμικού επιλέγουμε Total Analysis και εμφανίζεται το φύλλο πληροφοριών (σχήμα 8.15) με τα πλήρη στοιχεία της μέτρησης μας. Στο παράθυρο αυτό υποδεικνύονται: θερμοκρασία αναφοράς, ονομαστική τιμή, ανοχές (κατώτατο και ανώτατο όριο), τιμές μέτρησης, μέσο όρο μέτρησης, απόκλιση από ονομαστική τιμή και απόκλιση από τις ανοχές εφόσον ορίσαμε.

Measurement: Direct external measurement
Testpiece: aaaaaa
Designation: ffffffff
Identification: 757
Specified size: 20.00000 mm
Reference temperature: 20 °C

Results in mm:

Position	Act. size	Standard dev.	Deviation	Out of tolerance
1	20.80993	-	0.80993	
2	20.81002	-	0.81002	
3	20.81004	-	0.81004	
4	20.81006	-	0.81006	
5	20.81009	-	0.81009	
6	20.81012	-	0.81012	
7	20.81018	-	0.81018	
1- 7	20.81006	-	0.81006	

Maximum deviation: 0.81018 mm

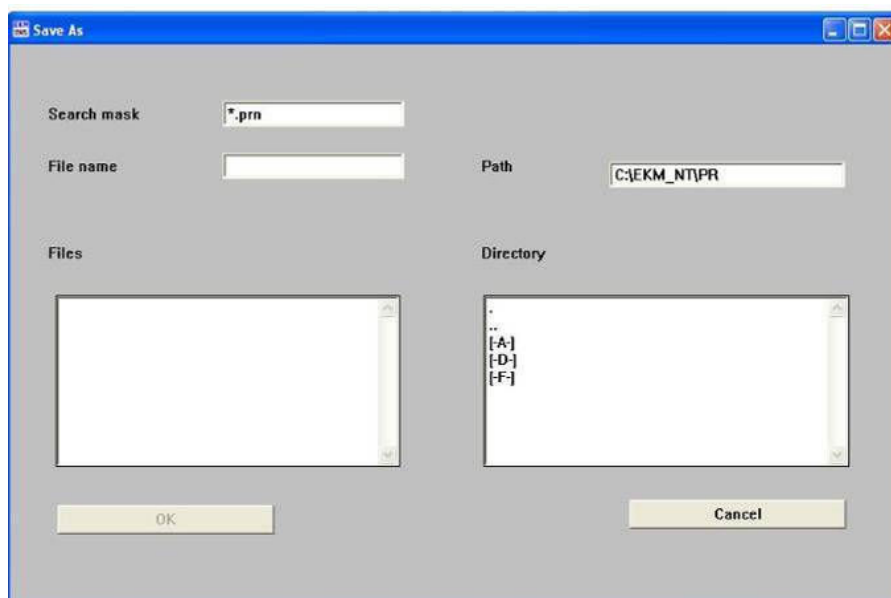
Next testpiece

Record result Open database Specified size calcul. Save

NOT GO side No spec. size calcul. Save As

Σχήμα 5: Οθόνη «Measuring Result»

2. Επιλέγουμε *Record*. Στη συνέχεια επιλέγουμε *Save* και στο παράθυρο (σχήμα 8.16) που ακολουθεί ορίζουμε όνομα αρχείου και μονοπάτι (*path*) στον οποίο θέλουμε να αποθηκευτεί. Τα αποτελέσματα της μέτρησης τα αποθηκεύουμε στον default μονοπάτι (*path*) C:\EKM_NT\PR με το εξής όνομα (*file name*) : “ [αριθμός υπόθεσης] _ [κωδικός δοκιμίου] _ [α/α μέτρησης τιμής (*trial*)] ”.π.χ. “05_1544485_01”



Σχήμα 8.16 : Οθόνη «Save As»

8.1.8 Επαναλαμβανόμενες μετρήσεις

1. Για συνεχόμενες επαναλαμβανόμενες μετρήσεις του ίδιου δοκιμίου ή επιπλέον παρόμοιων δοκιμίων, πατάμε, στη οθόνη «*Record*», με τη σειρά «*Return*», «*No spec. size calcul.*» και επιστρέφουμε έτσι στην αρχική οθόνη του λογισμικού (σχήμα 8.9).
2. Συμπληρώνουμε τα απαιτούμενα στοιχεία σύμφωνα με τις παραπάνω επεξηγήσεις και πατούμε *OK*.
3. Στη επόμενη οθόνη (*Contact Testpiece*) επιλέγουμε τα εικονίδια που απεικονίζουν τα θερμόμετρα και σε κάθε παράθυρο που ανοίγει καταχωρούμε τα νέα θερμοκρασιακά δεδομένα και πατούμε *OK*.
4. Αν η θερμοκρασία του *Headstock* έχει μεταβληθεί (εμφάνιση αντίστοιχου μηνύματος) επιλέγουμε με τη σειρά «*Statically*» και «*F9 Analysis*».
5. Επαναλαμβάνουμε τα βήματα

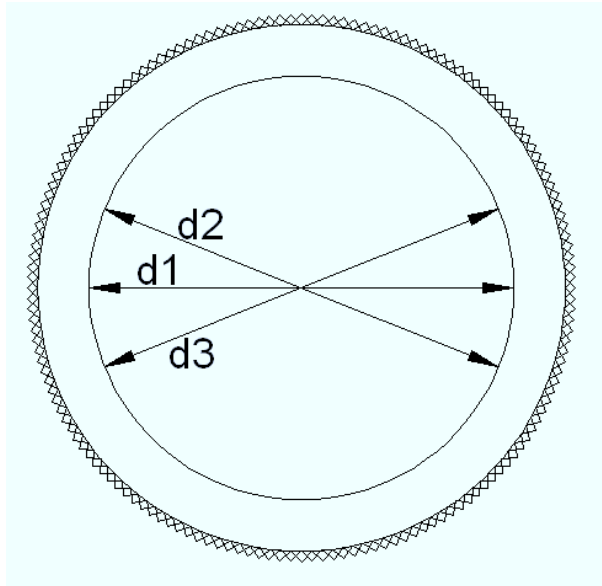
8.1.9 Εξαγωγή αποτελεσμάτων περιβαλλοντικών συνθηκών

Μετά την ολοκλήρωση της μέτρησης μεταβαίνουμε στην οθόνη του κεντρικού Η/Υ και επιλέγουμε το εικονίδιο διακοπής καταγραφής δεδομένων (κόκκινο απαγορευτικό εικονίδιο) για να σταματήσει η καταγραφή των περιβαλλοντικών συνθηκών. Επιλέγουμε το εικονίδιο αποθήκευσης και στο παράθυρο που ακολουθεί επιλέγουμε «*Select Channels Containing Data*», τσεκάρουμε «*ASCII II*», επιλέγουμε φάκελο αποθήκευσης «*C:/TEMP LOG*», δίνουμε όνομα αρχείου με τη μορφή “ [αριθμός υπόθεσης] – [α/α μέτρησης] ” και πατούμε *OK*.

8.2 Καταγραφή της μεθόδου μέτρησης για μηχανή CMM

Με την βοήθεια της ΟΕ 04 του ΜΕ που αφορά μετρήσεις αντικειμένων σε τρεις διαστάσεις με την μηχανή DEA CMM, δημιουργήθηκε μια **νέα οδηγία** για μετρήσεις τριμμάτων από 10 mm εσωτερικής διαμέτρου έως 650 mm εξωτερικής διαμέτρου με την μηχανή DEA CMM (EM.02). Η νέα οδηγία εργασίας περιγράφει τις οδηγίες μέτρησης που καθορίζει ο κατασκευαστής της μηχανής DEA CMM, προσαρμοσμένες στο μετρούμενο δοκίμιο. Βασιζόμενοι στην νέα οδηγία πραγματοποιήθηκαν μέτρησις τρίματος (εσωτερικής διαμέτρου). Μετρήθηκαν οι πρότυποι διακριβωμένοι δακτύλιοι των 54,99900 mm και 13.99930 mm. Αυτές οι μετρήσεις έγιναν στο πλαίσιο της εξάσκησης των χειρίστων με την μετρητική διάταξη. Ακλούθησε η μέτρηση των δέκα δακτυλίων των 35 mm του ΜΕ. Οι 10 δακτύλιοι είναι αριθμημένοι με την κωδική ονομασία 35-1 έως 35-10, όπου το πρώτο μέρος του είναι η εσωτερική διάμετρος και το δεύτερο μέρος είναι ο αύξων αριθμός που έχει αποδοθεί στα τεμάχια από τον υπεύθυνο του εργαστηρίου.

Η νέα οδηγία προσπαθεί να μεταφέρει την λογική μέτρησης τριών διαμέτρων (**σχήμα 8.17**) των δακτυλίων, που χρησιμοποιήσαμε στην ULM.



Σχήμα 8.17 : Δακτύλιος με τις τρεις μετρούμενες διαμέτρους με την μηχανή ULM.

Η μέτρηση υλοποιείται μέσω επαφής της ακίδας μέτρησης με το μετρούμενο αντικείμενο σε 6 σημεία. Η μέτρηση γίνεται αφού έχει προηγηθεί η διακρίβωση (calibration) της μετρητικής διάταξης σε σχέση με την πρότυπη σφαίρα (σχήμα 2). Η πρότυπη σφαίρα είναι κοχλιωμένη στην τράπεζα της μηχανής. Η μηχανή είναι εγκατεστημένη στην Αίθουσας ελεγχόμενων Συνθηκών, όπου για την καλύτερη απόδοση των μετρήσεων βρισκόταν κατά την διάρκεια των μετρήσεων μόνο ο μετρητής στην αίθουσα.

Η νέα ΟΕ θέτει κανόνες-περιορισμούς στα μετρούμενα δοκίμια:

- Τα μετρούμενα δοκίμια πρέπει να έχουν ονομαστική διάμετρο από 10 mm εσωτερικής διαμέτρου έως 650 mm εξωτερικής διαμέτρου.

- Τα δοκίμια τοποθετούνται με την(τις) προς μέτρηση επιφάνεια(ες) προσανατολισμένη(ες) κατά το δυνατόν παράλληλα ως προς το σύστημα συντεταγμένων της μηχανής.
- Θα πρέπει, προφανώς, όλες οι εμπλεκόμενες, με τη μέτρηση, επιφάνειες να είναι απολύτως καθαρές. Για το λόγο αυτό, καθαρίζουμε το δοκίμιο καλά, με αιθυλική αλκοόλη και ένα λινό πανάκι. Όλοι οι δακτύλιοι μεταφέρονται μόνο αγγίζοντας την εξωτερική τους επιφάνεια (περιοχή εξωτερικής διαμέτρου), στην συγκεκριμένη περιοχή το χρώμα του μέταλλου είναι σκούρο γκρι. Αυτό εξηγείται λόγω της ειδικής επεξεργασίας και βαφής για την αποφυγή πτώσεων και σκουριάς.
- Το δοκίμιο έπρεπε να βρίσκεται στην ίδια θερμοκρασία με τη μηχανή (και συγκεκριμένα στους 20 °C) και για το λόγο αυτό βρίσκονταν πάνω στην τράπεζα εργασίας της μηχανής από την προηγούμενη ημέρα. Ο Χειριστής που θα πραγματοποιούσε μετρήσεις είχε ενεργοποιήσει την κλιματιστική μονάδα της Αίθουσας ελεγχόμενων Συνθηκών, τουλάχιστον 24 ώρες πριν την πραγματοποίηση των μετρήσεων. Ο χειρισμός του δοκιμίου γίνεται με ειδικές λαβίδες ή γάντια ώστε να μην θερμανθεί από την επαφή με τα χέρια.
- Για ασφαλέστερα αποτελέσματα έγινε ο καθαρισμός των δοκιμίων μια μέρα πριν τη μέτρηση, οπότε και έμειναν τα δοκίμια εντός του εργαστηρίου και πάνω στην τράπεζα εργασίας, ώστε να εξισωθεί με τη θερμοκρασία του χώρου και της μηχανής μέτρησης (20 °C).

8.2.1 Απαιτούμενος εξοπλισμός

Ο παρακάτω εξοπλισμός φαίνεται στο **σχήμα 8.18** και εφόσον έχει επιλεγεί ο κατάλληλος φαίνεται στο **σχήμα 8.19** συναρμολογημένος :

1. Renishaw Probe PH10MQ

- Αυτόματη κεφαλή λήψης γωνιών

2. Διαμόρφωση (στέλεχος) SP25M και Προεκτάσεις:

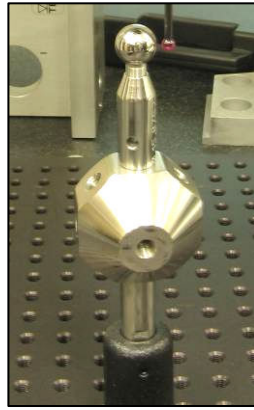
- SM25-1 με SH25-1
- SM25-2 με SH25-2
- SM25-3 με SH25-3

3. Ακίδες επαφής

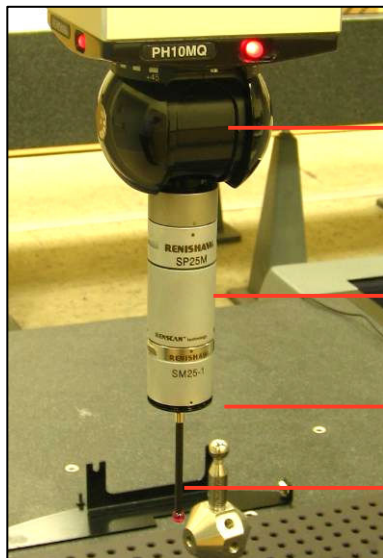
4. Πρότυπη σφαίρα

- Για σετάρισμα των εργαλείων μέτρησης της μηχανής σε δυναμική κατάσταση (tip qualification)

5. Set ιδιοσυσκευών συγκράτησης



Σχήμα 8.18 : Διαμορφώσεις, προεκτάσεις, ακίδες, πρότυπη σφαίρα, Ιδιοσυσκευές



Κεφαλή

Διαμόρφωση SP25M – SM25-1

SH25-1

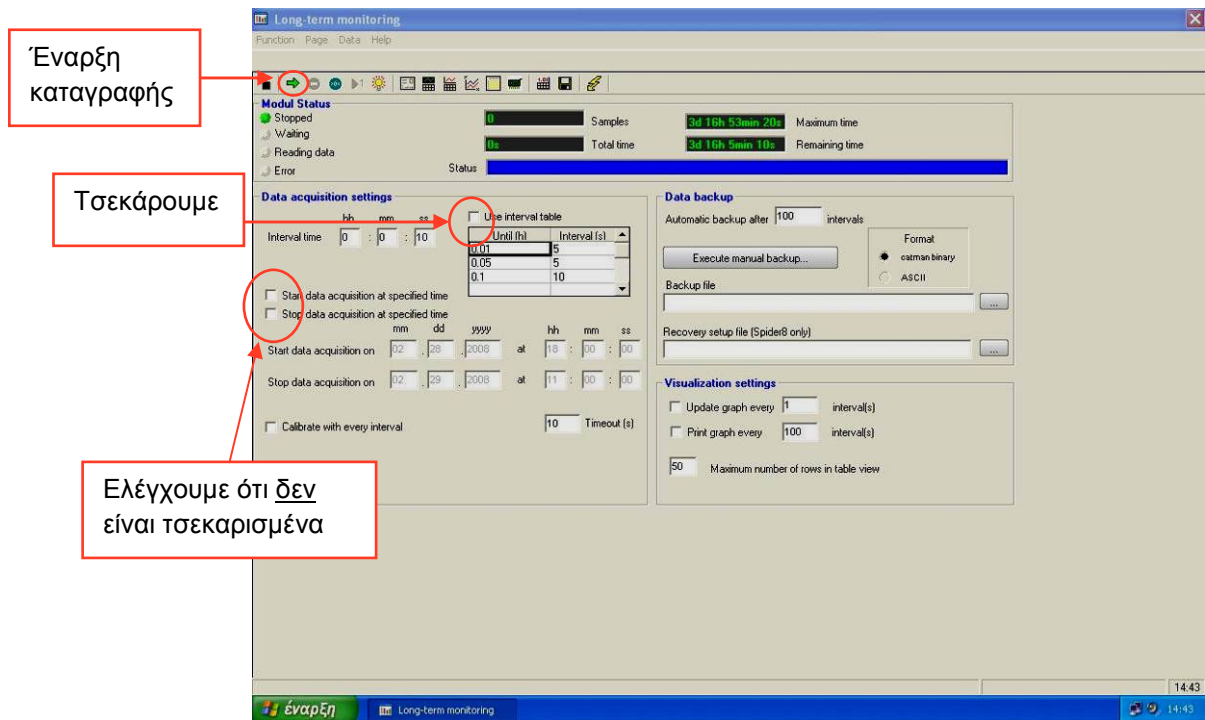
Ακίδα 5 X 50 mm

Σχήμα 8.19 : Συγκρότημα κεφαλής – διαμόρφωσης – ακίδας

8.2.2 Προετοιμασία μηχανής

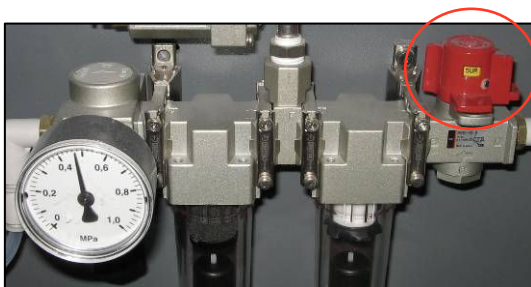
1. Εκκινούμε το αεροσυμπιεστή που βρίσκεται στο χώρο X.8 πριν την είσοδο του ME.
2. Εκκινούμε τον κεντρικό υπολογιστή της Αίθουσας Ελεγχόμενων Συνθηκών και το **Data Logger** για την συλλογή των περιβαλλοντικών δεδομένων. Από την επιφάνεια εργασίας επιλέγουμε το "**Project 2**" που αφορά το πρόγραμμα συλλογής των δεδομένων. Στην οθόνη λειτουργίας του Project (σχήμα 8.20) ελέγχουμε ότι είναι τσεκαρισμένο το πεδίο «**Internal Table**», ότι δεν είναι

τσεκαρισμένα τα πεδία «**Start...**», «**Stop...**» και επιλέγουμε το εικονίδιο εκκίνησης (πράσινο βέλος) για να αρχίσει η καταγραφή.



Σχήμα 8.20 : Ρυθμίσεις για την καταγραφή των συνθηκών

3. Εκκινούμε τον Η/Υ της μηχανής **DEA CMM**.
4. Ενεργοποιούμε την μηχανή DEA CMM ως εξής: Ανοίγουμε την παροχή αέρα στο πίσω μέρος της μηχανής στρέφουμε τον κόκκινο διακόπτη αριστερόστροφα (**σχήμα 8.21**) και στρέφουμε το διακόπτη - κλειδί **On/Off** που βρίσκεται επάνω στον **Controller**.



Σχήμα 8.21 : Διακόπτης παροχής αέρα & διακόπτης On/Off

5. Ελέγχουμε ότι η πίεση στο μανόμετρο στο πίσω μέρος της μηχανής να βρίσκεται περίπου στα 0,47 MPa.

6. Πατούμε από το *Jog Box* (από αυτό το χειριστήριο επικοινωνούμε με την μηχανή το βλέπουμε στο **σχήμα 8.22**) το πλήκτρο *machine start* (μόλις το led του μείνει σταθερά σβηστό) για 2 δευτερόλεπτα μέχρι το led να σταθεροποιηθεί στο πράσινο χρώμα.



Σχήμα 8.22 : Jog Box

7. Ελέγχουμε ότι τα led των **Controllers** της **Renishaw** και της κεφαλής είναι αναμμένα.

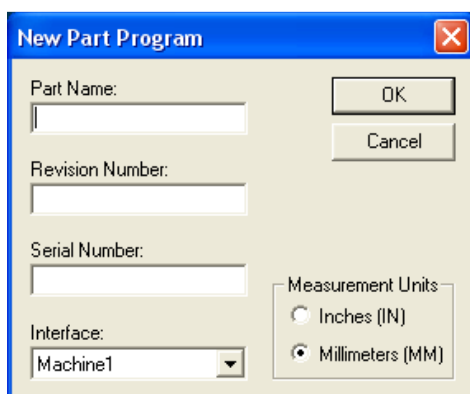


Σχήμα 8.23 : Controllers της Renishaw

8.2.3 Αρχικές Ενέργειες

1. Εκκινούμε από την επιφάνεια εργασίας το λογισμικό *PC-DMIS*.
2. Πατούμε *OK* στο μήνυμα που εμφανίζεται (αφού βεβαιωθούμε ότι η κεφαλή είναι ελεύθερη να κινηθεί στο χώρο) και ζητά να κινηθεί η μηχανή στο *Home Position* (σημείο εκκίνησης για την μηχανή).
3. Η μηχανή κινείται στο *Home Position*. Όταν ολοκληρώσει την κίνηση ελέγχουμε στο κάτω δεξιά μέρος της οθόνης του λογισμικού ότι οι συντεταγμένες X, Y, Z είναι περίπου μηδέν.
4. Σε περίπτωση που εμφανιστεί προτροπή για άνοιγμα αποθηκευμένου προγράμματος μέτρησης στο παράθυρο που ανοίγει αυτόματα, πατούμε *cancel*. Το πρόγραμμα που θα τρέξουμε για να κάνουμε τις μετρήσεις θα το δημιουργήσουμε εμείς.
5. Από το μενού του λογισμικού επιλέγουμε *file – new* και συμπληρώνουμε τα απαραίτητα πεδία (**σχήμα 8.24**) που αφορούν τη μέτρηση μας
 - **part name**: ονομασία δοκιμίου (π.χ. *daktlios_35*) όπου η λέξη *daktlios* σημαίνει ότι μετράμε δακτυλίους και το 35 ότι έχουν εσωτερική διάμετρο 35 mm
 - **revision number**: αριθμός υπόθεσης(π.χ. *en0000*, δεν υπήρχε υπόθεση όταν κάναμε τις μετρήσεις)
 - **serial number**: κωδικός δοκιμίου (π.χ. *dak_35-4*)
 - **measurement units**: mm (επιλέγουμε το μετρητικό σύστημα μονάδων)

- **interface:** Machine1
Πατούμε **OK** για να ολοκληρώσουμε.



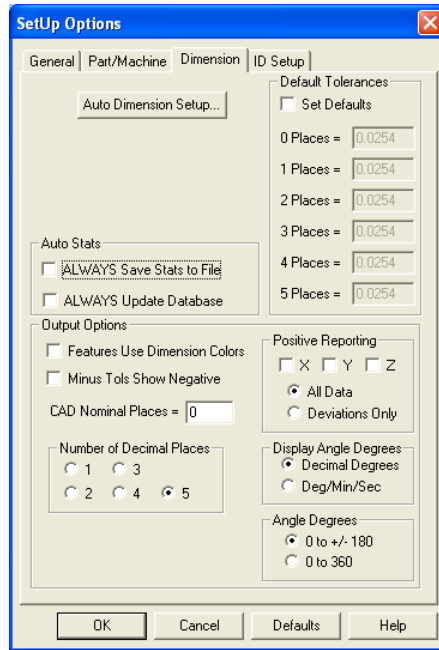
Σχήμα 8.24 : Παράθυρο New Part Program

8.2.4 Καθορισμός εργαλείων

1. Προσαρμόζουμε στην κεφαλή την προέκταση, το στέλεχος και την ακίδα που θα χρησιμοποιήσουμε ώστε να εξυπηρετεί τη μέτρησή του δοκιμίου. Γενικά προτιμούμε την μικρότερη δυνατή διαμόρφωση για την κεφαλή, την απαραίτητη για την διεξαγωγή της μέτρησης. Χρησιμοποιούμε κατά προτίμηση τους ακόλουθους συνδυασμούς

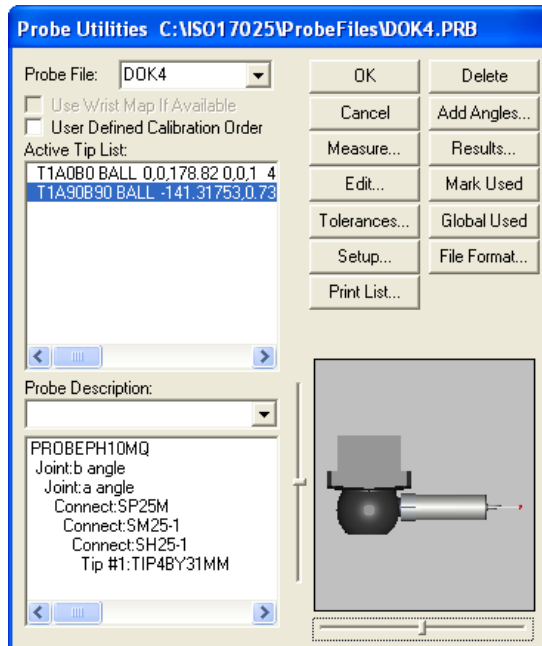
Διαμόρφωση		Ακίδα
SM25-1	SH25-1	έως 50 mm
SM25-2	SH25-2	από 50 έως 100 mm
SM25-3	SH25-3	μεγαλύτερη από 100 mm

2. Εφόσον έχει εμφανιστεί αυτόματα το παράθυρο *Probe Utilities* επιλέγω *cancel*.
3. Επιλέγω διαδοχικά από το menu: Edit – Preferences – Setup. Στην καρτέλα Dimension (**σχήμα 8.25**) επιλέγουμε στο *Number of Decimal Places* το 5 και πατούμε *OK*.



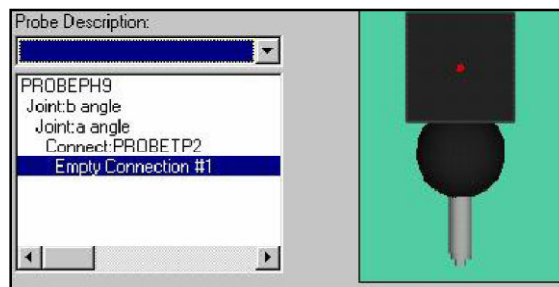
Σχήμα 6.25 : Ρύθμιση Παραμέτρων – Καρτέλα Dimension

4. Από το *menu* επιλέγουμε *Insert – Hardware definition – Probe* για να εισέλθουμε στο παράθυρο *Probe Utilities* (σχήμα 8.26).
5. Στο πεδίο *Probe File* δίνουμε όνομα στο probe (αρχείο εργαλείων – Probe file) που θα χρησιμοποιήσουμε.



Σχήμα 8.26 : Παράθυρο Probe Utilities

6. Στο πλαίσιο κάτω από το *probe description*, επιλέγουμε *Empty Connection #1*.
7. Στο πεδίο *probe description* (σχήμα 8.27) επιλέγουμε με τη σειρά από την κυλιόμενη λίστα τα αντίστοιχα εργαλεία που έχουμε προσαρμόσει στην κεφαλή *PH10MQ* (πχ. SP25M / SM25-1 / SH25-1 / TIP5BY50MM). Παρατηρούμε ότι στο διπλανό παράθυρο σχηματίζεται εικονικά το εργαλείο που δημιουργούμε. Για οποιοδήποτε διόρθωση μπορούμε να αναιρέσουμε κάθε εισαγωγή με *delete*.

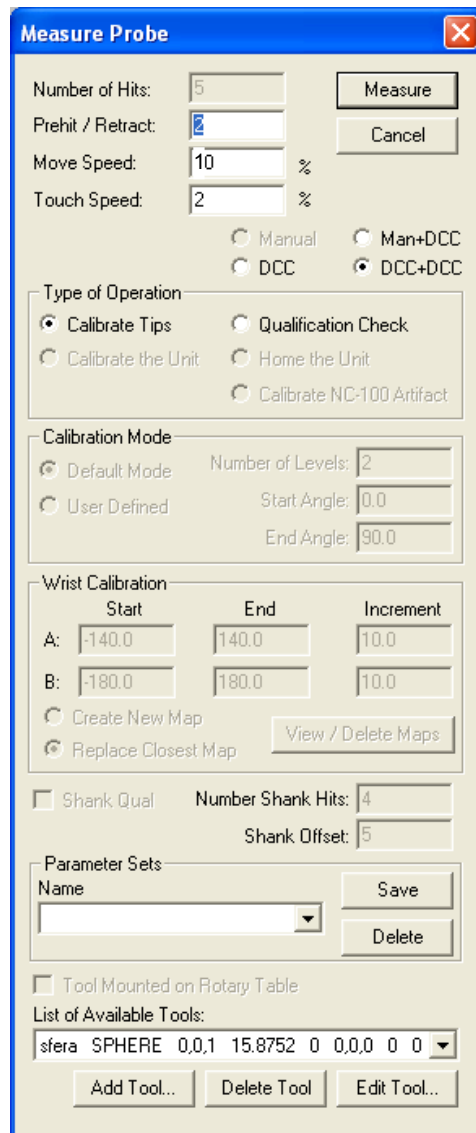


Σχήμα 8.27 : Παράθυρο Probe Utilities (Probe Description)

8. Μετά το παραπάνω βήμα εμφανίζεται συμπληρωμένη η λίστα με τα διαθέσιμα εργαλεία για μέτρηση (*active tip list*). Ο αστερίσκος μπροστά από την ονομασία δηλώνει ότι δεν έχει γίνει calibration στο συγκεκριμένο εργαλείο. Μπορούμε να προσθέσουμε επιπλέον εργαλεία μεταβάλλοντας τις γωνίες *a* και *b* της κεφαλής. Από το *active tip list* επιλέγουμε το εργαλείο που θα χρησιμοποιήσουμε.

8.2.5 Διακρίβωση διάταξης εργαλείου (probe calibration)

1. Από το παράθυρο *Probe Utilities* και εφόσον έχουμε επιλέξει το επιθυμητό εργαλείο, πατάμε το κουμπί *measure* οπότε και ανοίγει το παράθυρο *measure probe*.
2. Στο παράθυρο *measure probe* ορίζουμε τις παραμέτρους σύμφωνα με τις τιμές που δίνονται στο ακόλουθο σχήμα.

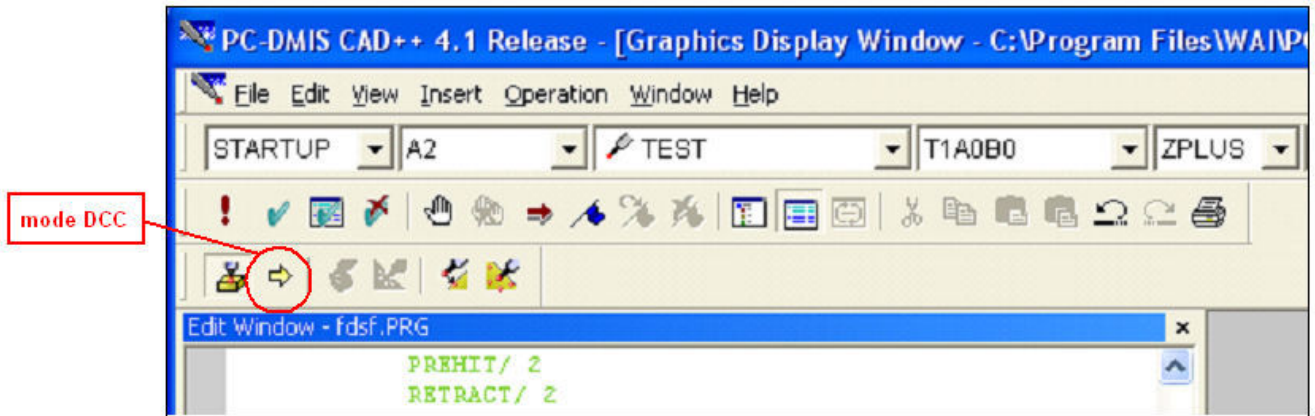


Σχήμα 8.28 : Παράθυρο Measure Probe

3. Αφού συμπληρώσουμε τα απαιτούμενα πεδία επιλέγουμε *Measure* για να ξεκινήσει η διαδικασία του *calibration* (διακρίβωση). Στο 1^ο μήνυμα που εμφανίζεται πατούμε *YES* και στο 2^ο μήνυμα πατούμε *OK* (αναφορικά με τα εργαλεία που θέλουμε να διακριβώσουμε)
4. Το λογισμικό μας ζητά να πάρουμε ένα σημείο στην κορυφή της πρότυπης σφαίρας (ανώτατο σημείο). Λαμβάνουμε χειροκίνητα με το *Jog Box* το ζητούμενο σημείο και πατούμε το κουμπί *done* από το *Jog Box* ή το *continue* από την οθόνη του λογισμικού. Η διαδικασία του *calibration* ξεκινά αυτόματα.
5. Όταν ολοκληρωθεί η αυτόματη διαδικασία του *calibration* πηγαίνουμε στο παράθυρο *probe utilities* και επιλέγουμε *results* οπότε και ανοίγει το παράθυρο με τα αποτελέσματα του *calibration*. Στο παράθυρο ελέγχουμε τις παραμέτρους *Prb Rdn* και *Std Dev* να αποκλίνουν το πολύ σε 4^ο δεκαδικό ψηφίο. Αν αποκλίνουν περισσότερο επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία §8.2.58.2.5.
6. Επιστρέφουμε στο *probe utilities* και πατούμε *OK*.

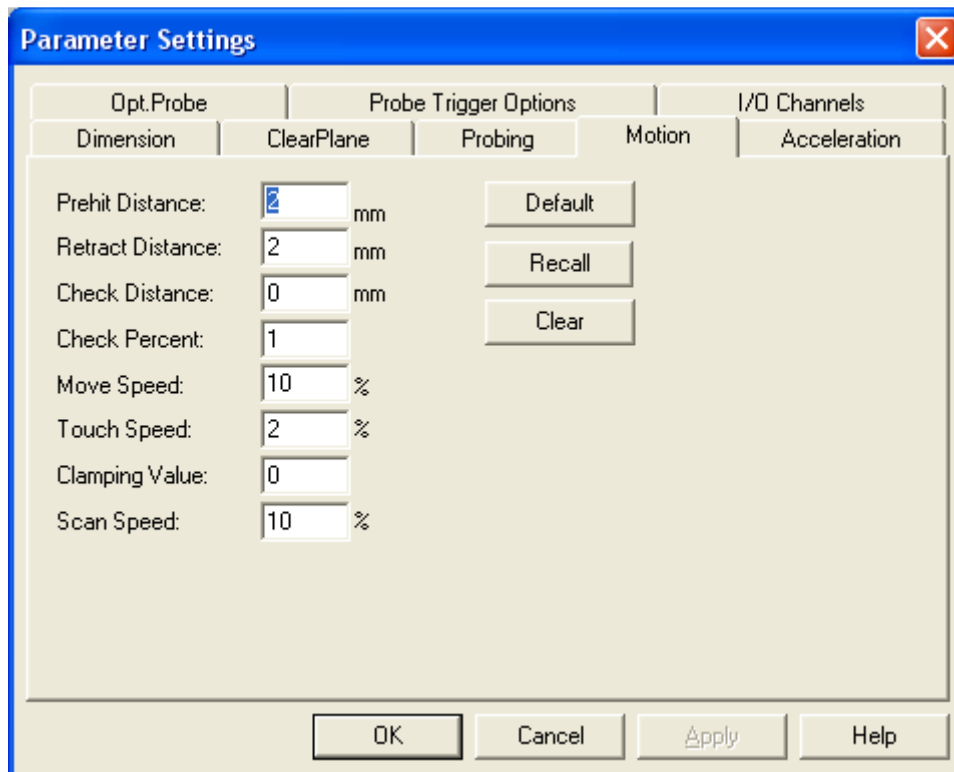
8.2.6 Δημιουργία Προγράμματος Μέτρησης – Διαστασιολόγηση

1. Επιλέγω mode DCC (από το εικονίδιο της γραμμής εργαλείων *Probe Mode* όπως φαίνεται στο **Σχήμα 78.29**)



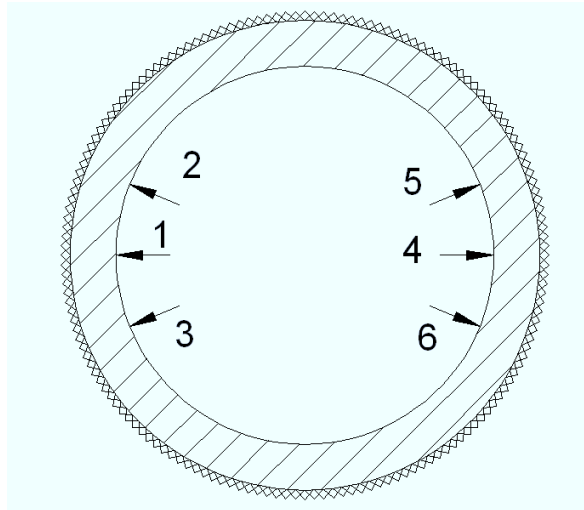
Σχήμα 7.29 : Γραμμή Εργαλείων Probe Mode. Πλήκτρο επιλογής Mode DCC

2. Κάνουμε κλικ στο παράθυρο Edit Window, στη γραμμή Mode DCC και πατούμε F10. Στην καρτέλα Motion ορίζουμε τιμές αυτές που φαίνονται στο παρακάτω **σχήμα 8.30**. Πατάμε Apply και OK.



Σχήμα 8.30 : Παράθυρο Parameter Settings – Ορισμός βασικών παραμέτρων

3. Επιλέγουμε κατάλληλο επίπεδο, ώστε να βρίσκονται τα σημεία μέτρησης στο μέσο ύψος (βάθος) του δακτυλίου. Η επιλογή των σημείων γίνεται με χειροκίνητη λήψη με χρήση του *Jog Box*. Αφού επιλέξουμε τα έξι σημεία (**σχήμα 8.31**) για μια γεωμετρία πατούμε *Done* από το *Jog Box*. Το σημείο εκτυπώνεται στην οθόνη του υπολογιστή με πράσινα γράμματα. Το *PC-DMIS* αναγνωρίζει αυτόματα την γεωμετρία του κύκλου. Αν δεν αναγνωριστεί η προσδοκώμενη γεωμετρία από το παράθυρο *Edit Window* την επιλέγουμε και τη διαγράφουμε (εναλλακτικά πατούμε *[Ctrl] + [D]*). Επαναλαμβάνουμε την επιλογή σημείων και την εκ νέου αναγνώριση της γεωμετρίας.

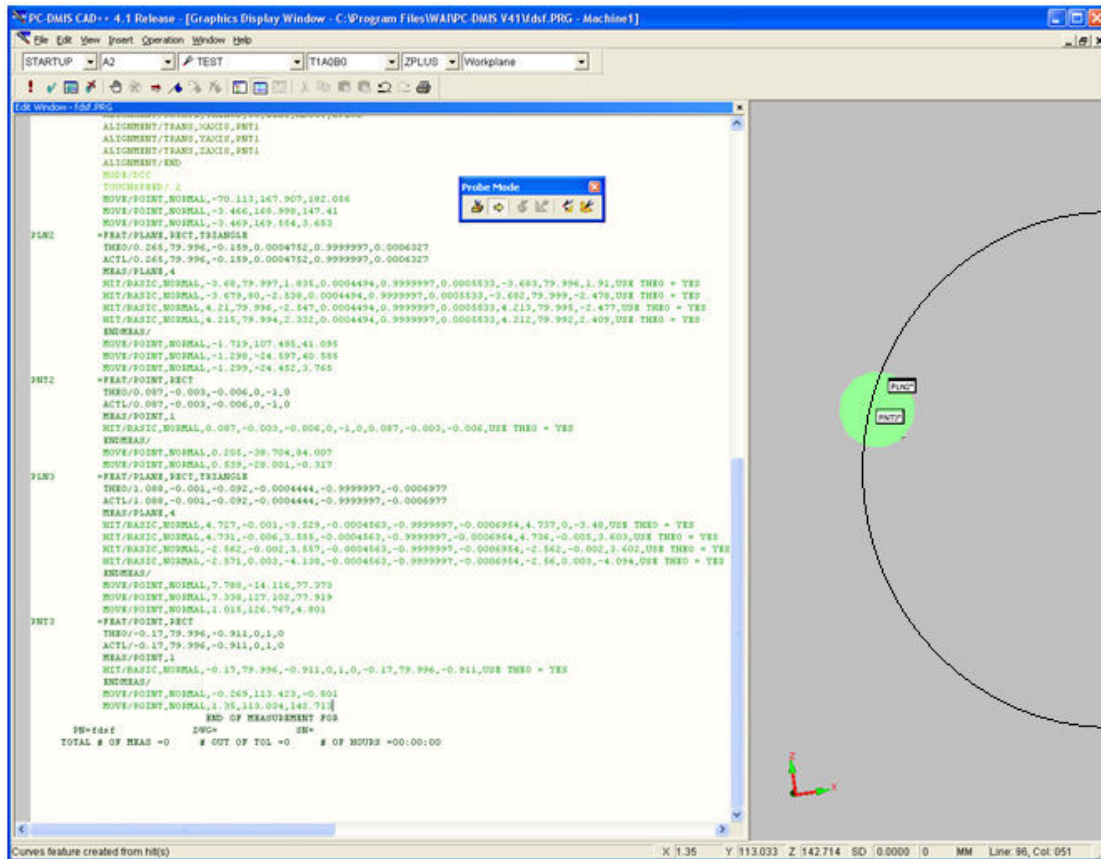


Σχήμα 8.31 : Τομή δακτυλίου – Προτεινόμενα σημεία για μέτρηση

Προσοχή: Η λήψη των σημείων κάθε γεωμετρίας γίνεται έχοντας προηγουμένα ενεργοποιήσει το πλήκτρο *Slow* στο *Jog Box*. Θέλει μεγάλη προσοχή για να μην κτυπήσουμε την ακίδα μέτρησης.

Προσοχή: Πριν, και μετά από την επιλογή σημείων για κάθε γεωμετρία ορίζουμε σημεία ασφαλείας (*Move Points*) στα οποία αναγκάζουμε την κεφαλή να κινηθεί έτσι ώστε να μην υπάρξει σύγκρουση. Πατώντας το πλήκτρο *Print* από το *Jog Box* ορίζεται αυτόματα ως *Move Point* η τρέχουσα θέση της κεφαλής και καταγράφεται στο *Edit Window* στο μέρος που αναβοσβήνει ο κέρσορας.

4. Αφού ολοκληρώσουμε την δημιουργία του προγράμματος μέτρησης, ελέγχουμε στο *Edit Window* (**σχήμα 8.32**) ώστε να έχουν καταχωρηθεί οι ζητούμενες γεωμετρίες και τα αντίστοιχα *Move Points* που παρεμβάλλονται, με λογική σειρά.



Σχήμα 8.32 : Οθόνη προγραμματισμού (Edit Window) – Έλεγχος Προγράμματος Μέτρησης

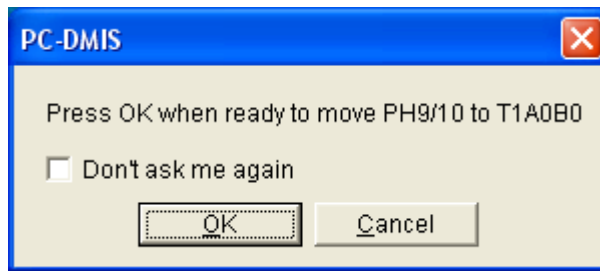
8.2.7 Τρέξιμο Προγράμματος Μέτρησης

1. Κάνουμε κλικ στο Edit Window και πατάμε [Ctrl] + [A] για να επιλεγεί το πρόγραμμα μέτρησης στο σύνολό του. Από την εργαλειοθήκη *Edit Window* επιλέγουμε *Clear Marked* (σχήμα 8.33).
2. Μαρκάρουμε στο παράθυρο Edit Window το πρόγραμμα μέτρησης από το σημείο MODE/DCC μέχρι σημείου END OF MEASUREMENT FOR. Στην εργαλειοθήκη *Edit Window* επιλέγουμε διαδοχικά: *Mark* (εναλλακτικά F3) και *Execute* (εναλλακτικά [Ctrl] + [Q]).



Σχήμα 8.33 : Εργαλειοθήκη Edit Window

Στην οθόνη (σχήμα 8.34) που ακολουθεί επιλέγουμε OK αφού πρώτα βεβαιωθούμε πως δεν θα προσκρούσει η κεφαλή κατά την κίνησή της.



Σχήμα 8.34 : Εργαλειοθήκη Dimension

Προσοχή: Κατά την πρώτη εκτέλεση του προγράμματος επιλέγουμε χαμηλές ταχύτητες κίνησης από το **Jog Box** με το αντίστοιχο περιστροφικό κομβίο (σχήμα 8.35). Επίσης είναι απαραίτητο να κρατάμε διαρκώς το **Jog Box** στα χέρια μας, ώστε να μπορούμε άμεσα να πατήσουμε το **RESET** (emergency stop) εφόσον αντιληφθούμε πιθανή πρόσκρουση της κεφαλής.



Σχήμα 8.35 : Εργαλειοθήκη Jog Box

3. Μετά την πρώτη δοκιμαστική εκτέλεση και εφόσον αυτή έχει εξελιχθεί ομαλά προχωρούμε σε εκτέλεση με κανονική ταχύτητα (ίδια με αυτή που καλιμπραρίστηκε η κεφαλή) του προγράμματος μέτρησης, διατηρώντας πάντα επαφή με το **Jog Box** για άμεση πρόσβαση στο κομβίο **RESET** (emergency stop) σε περίπτωση ανάγκης.
4. Αν η πρώτη δοκιμαστική εκτέλεση του προγράμματος μέτρησης δεν εξελιχθεί ομαλά προχωρούμε σε εκ νέου δημιουργία προγράμματος μέτρησης §8.2.6.

8.2.8 Εξαγωγή αποτελεσμάτων

Μετά το τρέξιμο του προγράμματος μέτρησης συνέχεια αντιγράφουμε (**copy-paste**) τα αποτελέσματα της μέτρησης στο φύλλο αποτελεσμάτων (**Δ-06-EN-6.xls**) που βρίσκεται στο φάκελο **Αποτελέσματα Μετρήσεων** της **Επιφάνειας Εργασίας**. Στο λογιστικό φύλλο αυτό συμπληρώνονται και τα πεδία που αφορούν τον κωδικό του δοκιμίου και την Εντολή Μέτρησης. Αποθηκεύουμε το αρχείο με τη μορφή:

[**Δ-06-EN-6**] _ [**εντολή μέτρησης**] (πχ. Δ-06-EN-6_ΕΣ5.xls).

Σημείωση: Αν πραγματοποιηθούν κι άλλες δοκιμές που προβλέπονται από την ίδια εντολή μέτρησης τότε τα αποτελέσματα συμπληρώνονται πάλι στο ίδιο λογιστικό φύλλο.

8.2.9 Επαναλαμβανόμενες μετρήσεις

Σε περίπτωση που ζητείται να μετρηθεί κάποια διάσταση περισσότερες από μια φορές, τότε τρέχουμε επαναληπτικά το πρόγραμμα μέτρησης ακολουθώντας τα βήματα της παραγράφου 8.2.7.

8.2.10 Εξαγωγή αποτελεσμάτων περιβαλλοντικών συνθηκών

1. Μετά την ολοκλήρωση της μέτρησης μεταβαίνουμε στην οθόνη του κεντρικού Η/Υ και επιλέγουμε το εικονίδιο διακοπής καταγραφής δεδομένων (κόκκινο απαγορευτικό εικονίδιο) για να σταματήσει η καταγραφή των περιβαλλοντικών συνθηκών.
2. Επιλέγουμε το εικονίδιο αποθήκευσης και στο παράθυρο που ακολουθεί επιλέγουμε «**Select Channels Containing Data**», τσεκάρουμε «**ASCII II**», επιλέγουμε φάκελο αποθήκευσης «**C:/TEMP LOG**», δίνουμε όνομα αρχείου με τη μορφή “ [αριθμός υπόθεσης] – [α/α μέτρησης] ” και πατούμε **OK**.

8.3 Σειρά διαδικασίας μετρήσεων

Για την διεξαγωγή των μετρήσεων εφαρμόστηκαν συνθήκες αναπαραγωγιμότητας όπου δύο μετρητές πραγματοποίησαν μετρήσεις σε δύο διαφορετικές μηχανές και επαναληψιμότητας οι μετρήσεις έγιναν ανά μετρητή μέσα σε μικρό χρονικό διάστημα σε διαφορετικές ημέρες.

Ο πρώτος μετρητής είναι ο φοιτητής Αλέξανδρος Καλαπτάς και ο δεύτερος είναι ο φοιτητής Γεώργιος Ζήσος που στα πλαίσια των διπλωματικών τους εργασιών πραγματοποίησαν μετρήσεις και στις 2 μηχανές ULM και CMM.

Αρχικά μετρήσεις έγιναν στα πρότυπα τεμάχια 13,99930 και 54,99900 όπου ολοκλήρωσε ο καθένας από 10 τελικές μετρήσεις και στα δύο τεμάχια.

Στα τεμάχια των 35 mm ξεκίνησε τις μετρήσεις ο πρώτος μετρητής όπου τα δέκα τεμάχια μετρήθηκαν με τυχαία σειρά (υπολογισμένη από σχετικό αλγόριθμο). Οι σειρά που τηρήθηκε φαίνεται στον **Πινάκα 8.1**, αναγράφεται στην δεύτερη και πέμπτη στήλη και αφορά τον αύξοντα αριθμό των τεμαχίων. Όλα τα τεμάχια μετρηθήκαν από τρεις φορές, ως αποτέλεσμα έχουμε εξήντα μετρήσεις.

Πίνακας 8.1 Μετρήσεις προτύπων δακτυλίων στην μηχανή CMM

RunOrder	Parts (Ring Gage 1-10 of 35 mm)	Operators	RunOrder	Parts (Ring Gage 1-10 of 35 mm)	Operators
1	10	Αλέξανδρος Καλαπτάς	31	8	Γεώργιος Ζήσος
2	8	Αλέξανδρος Καλαπτάς	32	10	Γεώργιος Ζήσος
3	7	Αλέξανδρος Καλαπτάς	33	7	Γεώργιος Ζήσος
4	3	Αλέξανδρος Καλαπτάς	34	4	Γεώργιος Ζήσος
5	4	Αλέξανδρος Καλαπτάς	35	3	Γεώργιος Ζήσος
6	6	Αλέξανδρος Καλαπτάς	36	5	Γεώργιος Ζήσος
7	5	Αλέξανδρος Καλαπτάς	37	9	Γεώργιος Ζήσος
8	2	Αλέξανδρος Καλαπτάς	38	6	Γεώργιος Ζήσος
9	1	Αλέξανδρος Καλαπτάς	39	2	Γεώργιος Ζήσος
10	9	Αλέξανδρος Καλαπτάς	40	1	Γεώργιος Ζήσος
11	1	Γεώργιος Ζήσος	41	2	Αλέξανδρος Καλαπτάς
12	2	Γεώργιος Ζήσος	42	3	Αλέξανδρος Καλαπτάς
13	8	Γεώργιος Ζήσος	43	10	Αλέξανδρος Καλαπτάς
14	3	Γεώργιος Ζήσος	44	5	Αλέξανδρος Καλαπτάς
15	6	Γεώργιος Ζήσος	45	4	Αλέξανδρος Καλαπτάς
16	10	Γεώργιος Ζήσος	46	8	Αλέξανδρος Καλαπτάς
17	5	Γεώργιος Ζήσος	47	1	Αλέξανδρος Καλαπτάς
18	7	Γεώργιος Ζήσος	48	9	Αλέξανδρος Καλαπτάς
19	9	Γεώργιος Ζήσος	49	6	Αλέξανδρος Καλαπτάς
20	4	Γεώργιος Ζήσος	50	7	Αλέξανδρος Καλαπτάς
21	6	Αλέξανδρος Καλαπτάς	51	6	Γεώργιος Ζήσος
22	3	Αλέξανδρος Καλαπτάς	52	10	Γεώργιος Ζήσος
23	5	Αλέξανδρος Καλαπτάς	53	5	Γεώργιος Ζήσος

24	4	Αλέξανδρος Καλαπτάς	54	8	Γεώργιος Ζήσος
25	9	Αλέξανδρος Καλαπτάς	55	2	Γεώργιος Ζήσος
26	2	Αλέξανδρος Καλαπτάς	56	9	Γεώργιος Ζήσος
27	1	Αλέξανδρος Καλαπτάς	57	3	Γεώργιος Ζήσος
28	7	Αλέξανδρος Καλαπτάς	58	1	Γεώργιος Ζήσος
29	8	Αλέξανδρος Καλαπτάς	59	4	Γεώργιος Ζήσος
30	10	Αλέξανδρος Καλαπτάς	60	7	Γεώργιος Ζήσος

Με την ολοκλήρωση των μετρήσεων στην ULM, ξεκίνησαν η μετρήσεις στην μηχανή CMM όπου οι δύο μετρητές ξεκίνησαν με τους πρότυπους δακτυλίους επίσης με τυχαία σειρά. Φαίνεται στον **Πίνακα 8.2** η σειρά που ακλουθήσανε.

Πίνακας 8.2 : Μετρήσεις προτύπων δακτυλίων στην μηχανή CMM

RunOrder	Parts	Operators
1	Ring Gage 55	Αλέξανδρος Καλαπτάς
2	Ring Gage 14	Αλέξανδρος Καλαπτάς
3	Ring Gage 14	Γεώργιος Ζήσος
4	Ring Gage 55	Γεώργιος Ζήσος
5	Ring Gage 55	Αλέξανδρος Καλαπτάς
6	Ring Gage 14	Αλέξανδρος Καλαπτάς
7	Ring Gage 55	Γεώργιος Ζήσος
8	Ring Gage 14	Γεώργιος Ζήσος

Με την ολοκλήρωση των μετρήσεων των προτύπων δακτυλίων μετρήθηκαν οι δέκα δακτύλιοι των 35 mm και αυτή με τυχαία σειρά, στον **Πίνακα 8.3** βλέπουμε την σειρά που τηρήθηκε. Ο πρώτος μετρητής πραγματοποίησε 30 μετρήσεις και τις κατέγραψε. Ο δεύτερος μετρήσεις πραγματοποίησε 60 μετρήσεις και τις κατέγραψε.

Πίνακας 8.3 : Μετρήσεις δακτυλίων 35 mm στην μηχανή CMM

RunOrder	Parts (Ring Gage 1-10 of 35 mm)	Operators
1	10	Αλέξανδρος Καλαπτάς
2	8	Αλέξανδρος Καλαπτάς
3	7	Αλέξανδρος Καλαπτάς
4	3	Αλέξανδρος Καλαπτάς
5	4	Αλέξανδρος Καλαπτάς
6	6	Αλέξανδρος Καλαπτάς
7	5	Αλέξανδρος Καλαπτάς
8	2	Αλέξανδρος Καλαπτάς
9	1	Αλέξανδρος Καλαπτάς
10	9	Αλέξανδρος Καλαπτάς
11	4	Γεώργιος Ζήσος
12	2	Γεώργιος Ζήσος
13	1	Γεώργιος Ζήσος

14	3	Γεώργιος Ζήσος
15	6	Γεώργιος Ζήσος
16	5	Γεώργιος Ζήσος
17	8	Γεώργιος Ζήσος
18	10	Γεώργιος Ζήσος
19	7	Γεώργιος Ζήσος
20	9	Γεώργιος Ζήσος
21	6	Αλέξανδρος Καλαπτάς
22	3	Αλέξανδρος Καλαπτάς
23	5	Αλέξανδρος Καλαπτάς
24	4	Αλέξανδρος Καλαπτάς
25	9	Αλέξανδρος Καλαπτάς
26	2	Αλέξανδρος Καλαπτάς
27	1	Αλέξανδρος Καλαπτάς
28	7	Αλέξανδρος Καλαπτάς
29	8	Αλέξανδρος Καλαπτάς
30	10	Αλέξανδρος Καλαπτάς
31	2	Γεώργιος Ζήσος
32	9	Γεώργιος Ζήσος
33	6	Γεώργιος Ζήσος
34	3	Γεώργιος Ζήσος
35	1	Γεώργιος Ζήσος
36	5	Γεώργιος Ζήσος
37	4	Γεώργιος Ζήσος
38	8	Γεώργιος Ζήσος
39	10	Γεώργιος Ζήσος
40	7	Γεώργιος Ζήσος
41	2	Αλέξανδρος Καλαπτάς
42	3	Αλέξανδρος Καλαπτάς
43	10	Αλέξανδρος Καλαπτάς
44	5	Αλέξανδρος Καλαπτάς
45	4	Αλέξανδρος Καλαπτάς
46	8	Αλέξανδρος Καλαπτάς
47	1	Αλέξανδρος Καλαπτάς
48	9	Αλέξανδρος Καλαπτάς
49	6	Αλέξανδρος Καλαπτάς
50	7	Αλέξανδρος Καλαπτάς

8.4 Αποτελέσματα μετρήσεων

Έκτος από την καταγραφή από την πλευρά του μηχανήματος, γίνεται καταγραφή και από την πλευρά του χειριστή. Ο πίνακας του **σχήματος 8.36** συμπληρώνεται από τον χειριστή. Ο κωδικός των δοκιμών είναι ο 35-x όπου x από το ένα έως το δέκα ανάλογα με πιο τεμάχιο μετράτε. Ο Αρ. μετρήσεων είναι ο αύξον αριθμός που αντιστοιχεί στην κάθε μέτρηση (τελική τιμή). Είναι αναγκαίο να καταγράψει η ημερομηνία διεξαγωγής της μέτρησης γιατί δεν γίνονται όλες οι μετρήσεις την ίδια μέρα. Η °C Mahr είναι η θερμοκρασία της βάσης της μηχανής κατά την μέτρηση του προτύπου δακτυλίου και °C RingGage η θερμοκρασία του πρότυπου αναφοράς την στιγμή μέτρησης του. Έπειτα ακολουθούν η τρεις τιμές μέτρησης των τριών διαμέτρων, °C Mahr και η °C part όπου είναι η θερμοκρασία στη βάση της μηχανής και η θερμοκρασία του δοκιμίου που μετράται. Ο μετρητής καταγράφει την ώρα έναρξης και λήξης της διαδικασίας μέτρησης ώστε να γίνει συσχέτιση με τα δεδομένα περιβαλλοντολογικών συνθηκών. Το °C εργαστήριου είναι η θερμοκρασία κατά την διάρκεια της μέτρησης που υπολογίζεται από τα δεδομένα του data logger, όπως και η υγρασία του εργαστήριου.

	A	B	C	D	E
1	Κωδικός Δοκ.				
2	Αρ. Μετρήσεων			1	
3	Ημερομηνία				
4	°C Mahr				
5	°C RingGage				
6	Τιμή	1η			
7		oC Mahr			
8		oC Part			
9		2η			
10		oC Mahr			
11		oC Part			
12		3η			
13		oC Mahr			
14		oC Part			
15	t _{start} Μέτρησης :				
16	t _{stop} Μέτρησης :				
17	oC εργαστ				
18	Υγρασ. εργ.				
19	Τελική τιμή				
20					
21					
22					
23					

Σχήμα 8.36 : Πίνακας που συμπληρώνεται κατά την διάρκεια των μετρήσεων

Ακολουθούν συγκεντρωτικοί πίνακες με τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν από της 03/04/2009 έως της 14/05/2009 από τον δεύτερο μετρητή.

Πίνακας 8.4 : Μέτρηση πρότυπου δακτυλίου 13,99930 mm στη μηχανή ULM

		ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ										
		14-1	14-2	14-3	14-4	14-5	14-6	14-7	14-8	14-9	14-10	
Ημερομηνία		3/4/2009	3/4/2009	3/4/2009	6/4/2009	6/4/2009	6/4/2009	6/4/2009	6/4/2009	6/4/2009	6/4/2009	
°C Mahr		19,83000	19,95000	19,98000	20,13000	20,24000	20,30000	20,42000	20,34000	20,43000	20,37000	
°C RingGage		20,09000	20,00000	20,05000	20,31000	20,17000	20,27000	20,28000	20,31000	20,14000	20,14000	
ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ (TRIALS)	1η	1η	13,99348	13,99910	13,99942	13,99932	13,99714	14,00218	13,99837	14,00065	13,99840	13,99871
		oC Mahr	19,93000	19,95000	20,00000	20,19000	20,25000	20,32000	20,43000	20,40000	20,41000	20,35000
	oC Part	20,02000	20,05000	20,30000	20,48000	20,21000	20,50000	20,27000	20,56000	20,19000	20,13000	
	2η	13,99816	13,99920	13,99944	13,99917	13,99715	14,00251	13,99798	14,00021	13,99842	13,99863	
	oC Mahr	19,94000	19,96000	20,02000	20,23000	20,25000	20,36000	20,42000	20,43000	20,41000	20,35000	
	oC Part	20,00000	20,03000	20,24000	20,31000	20,17000	20,50000	20,26000	20,46000	20,20000	20,14000	
	3η	13,99834	13,99924	13,99944	13,99841	13,99738	14,00228	13,99805	14,00005	13,99824	13,99859	
	oC Mahr	19,95000	19,96000	20,04000	20,26000	20,25000	20,38000	20,42000	20,43000	20,41000	20,34000	
	oC Part	20,01000	20,05000	20,23000	20,20000	20,18000	20,49000	20,25000	20,41000	20,20000	20,13000	
	t start Μέτρησης	11:37	11:56	12:15	14:43	15:21	15:41	15:50	16:30	16:50	17:18	
	t stop Μέτρησης	11:52	12:11	12:26	15:00	15:30	15:50	16:05	16:49	17:05	17:25	
	oC εργαστ	19,39	19,25	19,58	19,79	19,24	19,92	19,67	19,72	19,54	19,23	
	Υγρασ. εργ.	42,70%	41,90%	48,10%	46,40%	42,00%	47,50%	42,50%	48,30%	42,00%	41,80%	
	Τελική τιμή	13,99666	13,99918	13,99943	13,99897	13,99722	14,00232	13,99813	14,00030	13,99835	13,99864	

Πίνακας 8.5 : Μέτρηση πρότυπου δακτυλίου 54,99900 mm στη μηχανή ULM.

		ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ										
		55-1	55-2	55-3	55-4	55-5	55-6	55-7	55-8	55-9	55-10	
Ημερομηνία		7/4/2009	7/4/2009	7/4/2009	7/4/2009	7/4/2009	8/4/2009	8/4/2009	8/4/2009	8/4/2009	8/4/2009	
°C Mahr		19,87000	20,09000	20,11000	20,10000	20,17000	19,53000	19,69000	19,95000	20,02000	20,04000	
°C RingGage		20,03000	20,12000	20,05000	20,08000	20,40000	19,53000	19,95000	19,91000	19,94000	19,87000	
ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ (TRIALS)	2η Τιμή	1η	55,00085	54,99894	54,99920	55,00008	54,99947	54,99984	55,00037	54,99898	54,99914	54,99917
		oC Mahr	19,95000	20,11000	20,11000	20,10000	20,21000	19,55000	19,77000	19,97000	20,02000	20,04000
		oC Part	20,14000	20,08000	20,06000		20,37000	19,66000	20,01000	19,93000	19,91000	19,86000
		2η	55,00114	54,99869	54,99915	55,00036	54,99941	55,00023	55,00034	54,99873	54,99901	54,99926
		oC Mahr	19,98000	20,08000	20,12000	20,11000	20,22000	19,57000	19,81000	19,99000	20,03000	20,03000
		oC Part	20,16000	20,08000	20,04000	20,13000	20,34000	19,70000	20,00000	19,94000	19,92000	19,87000
		3η	55,00095	54,99857	54,99893	55,00076	54,99899	55,00059	55,00006	54,99837	54,99892	54,99899
		oC Mahr	20,01000	20,12000	20,12000	20,12000	20,24000	19,60000	19,85000	20,00000	20,03000	20,03000
		oC Part	20,15000	20,08000	20,04000	20,20000	20,31000	19,75000	19,98000	19,94000	19,93000	19,89000
	t start Μέτρησης		13:45	13:58	14:10	14:35	14:48	11:37	11:56	12:10	12:22	12:34
	t stop Μέτρησης		13:56	14:10	14:26	14:45	14:55	11:56	12:09	12:22	12:34	12:43
	oC εργαστ		20,1	19,6	19,23	19,36	20,11	19,29	20,09	19,49	19,36	19,18
	Υγρασ. εργ.		42,30%	41,70%	40,90%	46,40%	42,70%	40,80%	38,60%	39,40%	39,20%	38,90%
	Τελική τιμή		55,00098	54,99873	54,99909	55,00040	54,99929	55,00022	55,00026	54,99869	54,99902	54,99914

Πίνακας 8.6 : Μέτρηση δακτυλίου 35-1 αριστερά και δεξιά του 35-6 στη μηχανή ULM.

Κωδικός Δοκ.	35-1			Κωδικός Δοκ.	35-6				
Αρ. Μετρήσεων	1	2	3	Αρ. Μετρήσεων	1	2	3		
Ημερομηνία	8/4/2009	10/4/2009	13/4/2009	Ημερομηνία	9/4/2009	9/4/2009	10/4/2009		
°C Mahr	20,03000	19,77000	19,68000	°C Mahr	19,91000	20,05000	19,81000		
°C RingGage	20,14000	19,79000	19,58000	°C RingGage	20,11000	19,88000	19,87000		
Τιμή	1η	35,00165	35,00137	35,00157	Τιμή	1η	35,00129	35,00182	35,00127
	oC Mahr	20,05000	19,78000	19,68000		oC Mahr	19,96000	20,04000	19,82000
	oC Part	20,12000	19,80000	19,73000		oC Part	20,17000	19,89000	19,95000
	2η	35,00163	35,00134	35,00125		2η	35,00102	35,00211	35,00149
	oC Mahr	20,07000	19,78000	19,68000		oC Mahr	19,97000	20,04000	19,82000
	oC Part	20,11000	19,76000	19,70000		oC Part	20,13000	19,94000	19,97000
	3η	35,00162	35,00120	35,00129		3η	35,00094	35,00235	35,00168
	oC Mahr	20,07000	19,79000	19,69000		oC Mahr	19,99000	20,05000	19,83000
	oC Part	20,08000	19,75000	19,69000		oC Part	20,11000	19,99000	20,01000
t start Μέτρησης :	13:00	15:41	13:07	t start Μέτρησης :	16:51	20:03	15:54		
t stop Μέτρησης :	13:08	15:54	13:15	t stop Μέτρησης :	17:00	20:11	16:04		
oC εργαστ	20	19,3	19,07	oC εργαστ	19,87	19,21	19,36		
Υγρασ. εργ.	38,80%	39,30%	43,10%	Υγρασ. εργ.	39,10%	37,40%	40,90%		
Τελική τιμή	35,00163	35,00130	35,00137	Τελική τιμή	35,00108	35,00209	35,00148		

Πίνακας 8.7 : Μέτρηση δακτυλίου 35-2 αριστερά και δεξιά του 35-7 στη μηχανή ULM.

Κωδικός Δοκ.		35-2			Κωδικός Δοκ.		35-7		
Αρ.Μετρήσεων		1	2	3	Αρ.Μετρήσεων		1	2	3
Ημερομηνία		9/4/2009	10/4/2009	10/4/2009	Ημερομηνία		9/4/2009	9/4/2009	13/4/2009
°C Mahr		19,68000	19,72000	20,00000	°C Mahr		20,00000	20,04000	19,70000
°C RingGage		19,69000	19,69000	19,92000	°C RingGage		19,98000	19,98000	19,80000
Τιμή	1η	34,99997	35,00007	34,99989	Τιμή	1η	35,00222	35,00228	35,00222
	οC Mahr	19,70000	19,72000	19,99000		οC Mahr	19,99000	20,03000	19,70000
	οC Part	19,71000	19,77000	19,88000		οC Part	19,84000	19,93000	19,83000
	2η	34,99994	34,99993	34,99988		2η	35,00235	35,00221	35,00230
	οC Mahr	19,71000	19,72000	19,99000		οC Mahr	19,98000	20,03000	19,71000
	οC Part	19,69000	19,74000	19,88000		οC Part	19,90000	19,92000	19,85000
	3η	35,00169	34,99996	34,99966		3η	35,00265	35,00216	35,00278
	οC Mahr	19,73000	19,73000	19,99000		οC Mahr	19,98000	20,03000	19,71000
	οC Part	19,69000	19,73000	19,89000		οC Part	19,97000	19,93000	19,87000
	t start Μέτρησης :	16:18	15:34	16:40		t start Μέτρησης :	17:32	19:03	13:27
	t stop Μέτρησης :	16:27	15:41	16:48		t stop Μέτρησης :	17:39	19:11	13:35
	οC εργαστ	19,53	19,43	19,25		οC εργαστ	19,19	19,21	19,15
Υγρασ. εργ.	37,10%	39,90%	39,40%	Υγρασ. εργ.	39,90%	39,90%	50,20%		
Τελική τιμή	35,00053	34,99999	34,99981	Τελική τιμή	35,00241	35,00222	35,00243		

Πίνακας 8.9 : Μέτρηση δακτυλίου 35-3 αριστερά και δεξιά του 35-8 στη μηχανή ULM.

Κωδικός Δοκ.		35-3			Κωδικός Δοκ.		35-8		
Αρ.Μετρήσεων		1	2	3	Αρ.Μετρήσεων		1	2	3
Ημερομηνία		9/4/2009	9/4/2009	13/4/2009	Ημερομηνία		9/4/2009	9/4/2009	10/4/2009
°C Mahr		19,81000	20,08000	19,67000	°C Mahr		19,76000	19,99000	20,01000
°C RingGage		19,85000	20,19000	19,65000	°C RingGage		19,74000	20,10000	19,99000
Τιμή	1η	34,99853	34,99843	34,99820	Τιμή	1η	35,00101	34,99917	34,99926
	οC Mahr	19,83000	20,10000	19,67000		οC Mahr	19,77000	20,03000	20,01000
	οC Part	19,88000	20,09000	19,70000		οC Part	19,80000	20,05000	19,92000
	2η	34,99858	34,99827	34,99821		2η	35,00091	34,99883	34,99920
	οC Mahr	19,84000	20,12000	19,67000		οC Mahr	19,77000	20,04000	20,01000
	οC Part	19,91000	20,11000	19,66000		οC Part	19,77000	20,00000	19,94000
	3η	34,99885	34,99953	34,99786		3η	35,00088	34,99860	34,99911
	οC Mahr	19,85000	20,13000	19,67000		οC Mahr	19,78000	20,04000	20,01000
	οC Part	19,94000	20,11000	19,64000		οC Part	19,76000	19,99000	19,97000
	t start Μέτρησης :	16:38	19:23	12:51		t start Μέτρησης :	16:28	18:38	16:29
	t stop Μέτρησης :	16:49	19:34	13:01		t stop Μέτρησης :	16:37	18:47	16:40
	οC εργαστ	19,29	19,82	19,35		οC εργαστ	19,3	19,74	19,37
Υγρασ. εργ.	42,40%	39,00%	44,80%	Υγρασ. εργ.	37,40%	38,40%	39,60%		
Τελική τιμή	34,99865	34,99874	34,99809	Τελική τιμή	35,00093	34,99887	34,99919		

Πίνακας 8.10 : Μέτρηση δακτυλίου 35-4 αριστερά και δεξιά του 35-9 στη μηχανή ULM

Κωδικός Δοκ.	35-4			Κωδικός Δοκ.	35-9				
Αρ.Μετρήσεων	1	2	3	Αρ.Μετρήσεων	1	2	3		
Ημερομηνία	9/4/2009	9/4/2009	13/4/2009	Ημερομηνία	9/4/2009	9/4/2009	10/4/2009		
°C Mahr	20,07000	20,03000	19,69000	°C Mahr	20,00000	20,10000	19,99000		
°C RingGage	20,04000	19,98000	19,69000	°C RingGage	20,13000	19,88000	19,94000		
Τιμή	1η	35,00030	35,00117	35,00068	Τιμή	1η	34,99981	34,99902	34,99960
	οC Mahr	20,08000	20,03000	19,69000		οC Mahr	20,02000	20,08000	19,98000
	οC Part	19,93000		19,71000		οC Part	20,13000	19,85000	19,94000
	2η	35,00004	35,00130	35,00067		2η	34,99962	34,99903	34,99972
	οC Mahr	20,07000	20,03000	19,69000		οC Mahr	20,03000	20,08000	19,98000
	οC Part	19,93000	20,02000	19,70000		οC Part	20,15000	19,88000	19,99000
	3η	35,00001	35,00155	35,00057		3η	34,99947	34,99890	35,00001
	οC Mahr	20,07000	20,04000	19,69000		οC Mahr	20,04000	20,08000	19,99000
	οC Part	19,93000	20,07000	19,71000		οC Part	20,15000	19,89000	20,03000
t _{start} Μέτρησης :	17:50	19:12	13:17	t _{start} Μέτρησης :	17:39	19:44	16:51		
t _{stop} Μέτρησης :	18:00	19:21	13:25	t _{stop} Μέτρησης :	17:50	19:58	16:58		
οC εργαστ	19,59	19,3	19	οC εργαστ	19,75	19,25	19,37		
Υγρασ. εργ.	38,30%	43,00%	42,80%	Υγρασ. εργ.	39,70%	37,30%	42,20%		
Τελική τιμή	35,00012	35,00134	35,00064	Τελική τιμή	34,99963	34,99898	34,99978		

Πίνακας 8.11 : Μέτρηση δακτυλίου 35-5 αριστερά και δεξιά του 35-10 στη μηχανή ULM

Κωδικός Δοκ.	35-5			Κωδικός Δοκ.	35-10				
Αρ.Μετρήσεων	1	2	3	Αρ.Μετρήσεων	1	2	3		
Ημερομηνία	9/4/2009	9/4/2009	10/4/2009	Ημερομηνία	9/4/2009	9/4/2009	10/4/2009		
°C Mahr	20,03000	20,14000	20,02000	°C Mahr	20,03000	20,05000	19,88000		
°C RingGage	20,02000	20,03000	19,97000	°C RingGage	20,07000	19,98000	20,15000		
Τιμή	1η	35,00118	35,00218	35,00077	Τιμή	1η	35,00061	35,00119	35,00029
	οC Mahr	20,03000	20,13000	20,02000		οC Mahr	20,03000	20,04000	19,99000
	οC Part	19,94000	19,95000	19,95000		οC Part	20,00000	19,97000	20,17000
	2η	35,00115	35,00214	35,00074		2η	35,00032	35,00096	34,99991
	οC Mahr	20,02000	20,13000	20,02000		οC Mahr	20,03000	20,04000	20,00000
	οC Part	19,94000	19,97000	19,98000		οC Part	20,02000	19,98000	20,13000
	3η	35,00108	35,00191	35,00056		3η	35,00035	35,00111	34,99973
	οC Mahr	20,02000	20,13000	20,02000		οC Mahr	20,03000	20,04000	20,00000
	οC Part	19,96000	19,99000	20,00000		οC Part	20,03000	19,98000	20,09000
t _{start} Μέτρησης :	17:14	19:38	16:20	t _{start} Μέτρησης :	17:01	18:50	16:04		
t _{stop} Μέτρησης :	17:22	19:44	16:29	t _{stop} Μέτρησης :	17:11	19:01	16:20		
οC εργαστ	19,32	19,43	19,55	οC εργαστ	19,59	19,36	19,92		
Υγρασ. εργ.	37,70%	38,20%	40,10%	Υγρασ. εργ.	38,70%	37,50%	39,50%		
Τελική τιμή	35,00114	35,00208	35,00069	Τελική τιμή	35,00043	35,00109	34,99998		

Πίνακας 8.12 : Μέτρηση πρότυπου δακτυλίου 13,99930 mm στη μηχανή CMM.

Κωδικός Τεμαχ.	14		
Ημερομηνία	7/5/2009	14/5/2009	
Αρ.Μετρήσεων	1	2	
Τελική τιμή	1η	13,99838	13,99844
	2η	13,99841	13,99849
	3η	13,99832	13,99850
StdDev:	0,00035	0,00024	
t start Μέτρησης :	17:21	14:05	
t stop Μέτρησης :	17:41	14:11	
οC εργαστ	19,64	19,35	
Υγρασ. εργ.	43,40%	44,40%	

Πίνακας 8.13 : Μέτρηση πρότυπου δακτυλίου 54,99900 mm στη μηχανή CMM.

Κωδικός Τεμαχ.	55		
Ημερομηνία	14/5/2009	14/5/2009	
Αρ.Μετρήσεων	1	2	
Τιμή	1η	54,99855	54,99862
	2η	54,99860	54,99865
	3η	54,99863	54,99864
StdDev:	0,00025	0,00025	
t start Μέτρησης :	13:40	15:02	
t stop Μέτρησης :	13:53	15:05	
οC εργαστ	19,26	19,64	
Υγρασ. εργ.	46,80%	43,40%	
Τελική τιμή	54,99859	54,99864	

Πίνακας 8.14 : Μέτρηση δακτυλίου 35-1 αριστερά και δεξιά του 35-6 στη μηχανή CMM.

Κωδικός Τεμαχ.		35-1		Κωδικός Τεμαχ.		35-6	
Ημερομηνία		11/5/2009	14/5/2009	Ημερομηνία		11/5/2009	14/5/2009
Αρ.Μετρήσεων		1	2	Αρ.Μετρήσεων		1	2
Τελική τιμή	1η	35,00104	35,00161	Τελική τιμή	1η	35,00069	35,00075
	2η	35,00105	35,00163		2η	35,00062	35,00088
	3η	35,00101	35,00167		3η	35,00071	35,00094
StdDev:		0,00031	0,00026	StdDev:		0,00031	0,00026
t _{start} Μέτρησης :		16:10	14:37	t _{start} Μέτρησης :		16:22	14:29
t _{stop} Μέτρησης :		16:17	14:41	t _{stop} Μέτρησης :		16:27	14:32
οC εργαστ		19,39	19,57	οC εργαστ		19,39	19,53
Υγρασ. εργ.		43,20%	43,60%	Υγρασ. εργ.		41,80%	43,70%

Πίνακας 8.15 : Μέτρηση δακτυλίου 35-2 αριστερά και δεξιά του 35-7 στη μηχανή CMM.

Κωδικός Τεμαχ.		35-2		Κωδικός Τεμαχ.		35-7	
Ημερομηνία		8/5/2009	14/5/2009	Ημερομηνία		11/5/2009	14/5/2009
Αρ.Μετρήσεων		1	2	Αρ.Μετρήσεων		1	2
Τελική τιμή	1η	34,99955	34,99947	Τελική τιμή	1η	35,00160	35,00169
	2η	34,99958	34,99962		2η	35,00162	35,00173
	3η	34,99949	34,99957		3η	35,00174	35,00171
StdDev:		0,00028	0,00026	StdDev:		0,00026	0,00025
t _{start} Μέτρησης :		15:37	14:20	t _{start} Μέτρησης :		17:04	15:05
t _{stop} Μέτρησης :		15:42	14:25	t _{stop} Μέτρησης :		17:08	15:08
οC εργαστ		19,41	19,48	οC εργαστ		19,4	19,64
Υγρασ. εργ.		49,30%	43,90%	Υγρασ. εργ.		42,70%	43,30%

Πίνακας 8.16 : Μέτρηση δακτυλίου 35-3 αριστερά και δεξιά του 35-8 στη μηχανή CMM.

Κωδικός Τεμαχ.		35-3		Κωδικός Τεμαχ.		35-8	
Ημερομηνία		11/5/2009	14/5/2009	Ημερομηνία		11/5/2009	14/5/2009
Αρ.Μετρήσεων		1	2	Αρ.Μετρήσεων		1	2
Τελική τιμή	1η	34,99821	34,99853	Τελική τιμή	1η	34,99862	34,99892
	2η	34,99818	34,99853		2η	34,99864	34,99889
	3η	34,99817	34,99851		3η	34,99858	34,99888
StdDev:		0,00031	0,00026	StdDev:		0,00031	0,00025
t _{start} Μέτρησης :		16:18	14:33	t _{start} Μέτρησης :		16:30	14:58
t _{stop} Μέτρησης :		16:22	14:36	t _{stop} Μέτρησης :		16:35	15:01
οC εργαστ		19,38	19,55	οC εργαστ		19,5	19,63
Υγρασ. εργ.		42,50%	43,80%	Υγρασ. εργ.		47,30%	43,40%

Πίνακας 8.17 : Μέτρηση δακτυλίου 35-4 αριστερά και δεξιά του 35-9 στη μηχανή CMM.

Κωδικός Τεμαχ.	35-4		Κωδικός Τεμαχ.	35-9			
Ημερομηνία	8/5/2009	14/5/2009	Ημερομηνία	11/5/2009	14/5/2009		
Αρ.Μετρήσεων	1	2	Αρ.Μετρήσεων	1	2		
Τελική τιμή	1η	35,00008	34,99986	Τελική τιμή	1η	34,99891	34,99857
	2η	35,00001	34,99987		2η	34,99888	34,99866
	3η	35,00008	34,99989		3η	34,99894	34,99869
StdDev:	0,00029	0,00025	StdDev:	0,00026	0,00026		
t _{start} Μέτρησης :	15:14	14:53	t _{start} Μέτρησης :	17:08	14:26		
t _{stop} Μέτρησης :	15:30	14:57	t _{stop} Μέτρησης :	17:13	14:28		
οC εργαστ	19,28	19,62	οC εργαστ	19,38	19,52		
Υγρασ. εργ.	43,90%	43,50%	Υγρασ. εργ.	42,50%	43,90%		

Πίνακας 8.18 : Μέτρηση δακτυλίου 35-5 αριστερά και δεξιά του 35-10 στη μηχανή CMM.

Κωδικός Τεμαχ.	35-5		Κωδικός Τεμαχ.	35-10			
Ημερομηνία	11/5/2009	14/5/2009	Ημερομηνία	11/5/2009	14/5/2009		
Αρ.Μετρήσεων	1	2	Αρ.Μετρήσεων	1	2		
Τελική τιμή	1η	35,00017	35,00067	Τελική τιμή	1η	35,00090	35,00094
	2η	35,00026	35,00071		2η	35,00091	35,00093
	3η	35,00031	35,00074		3η	35,00092	35,00094
StdDev:	0,00031	0,00025	StdDev:	0,00026	0,00025		
t _{start} Μέτρησης :	16:27	14:49	t _{start} Μέτρησης :	16:59	15:02		
t _{stop} Μέτρησης :	16:30	14:53	t _{stop} Μέτρησης :	17:04	15:05		
οC εργαστ	19,39	19,61	οC εργαστ	19,43	19,64		
Υγρασ. εργ.	41,70%	43,60%	Υγρασ. εργ.	43,10%	43,40%		

9 Επεξεργασία των δεδομένων

9.1 Υπολογισμός μέσου όρου, τυπικής απόκλισης και ακραίας διαφοράς.

Θεωρούμε τους 10 τριανταπεντάρηδες δακτυλίους δείγμα από παρτίδα δακτυλίων 35 mm. Βάση της θεωρίας που περιγράφεται στην παράγραφο §7.5.1 υπολογίζεται η μέση τιμή και καταγράφεται στον **πίνακα 9.1**. Αυτή η υπολογισμοί γίνονται και για τους 2 μετρητές. Επίσης υπολογίζεται η τυπική απόκλιση και το εύρος των τιμών βάσει της θεωρίας των §7.5.1.

Πίνακας 9.1 : Μέση τιμή, τυπική απόκλιση και εύρος δέγματος 10 δακτυλίων.

Μηχανή μέτρησης	Μετρητής	Μέση τιμή [mm]	Τυπική απόκλιση	Εύρος
ULM	Αλέξανδρος Καλαπάς	35,00055	0,001240	0,00107
	Γεώργιος Ζήσος	35,00056	0,001209	0,00095
CMM	Αλέξανδρος Καλαπάς	34,99997	0,001187	0,00051
	Γεώργιος Ζήσος	34,99998	0,001103	0,00007

Για τους υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκε το λογιστικό φύλλο Excel της Microsoft. Ο πίνακας που έχει ρυθμιστεί για τους υπολογισμούς που καταχωρούνται στο **πίνακα 9.1** είναι στο **σχήμα 9.1**

Στον παρακάτω πίνακα καταχωρούμε τις τιμές για υπολογισμούς									
35-1	35-2	35-3	35-4	35-5	35-6	35-7	35-8	35-9	35-10
35,00163	35,00053	34,99865	35,00012	35,00114	35,00108	35,00241	35,00093	34,99963	35,00043
35,00130	34,99999	34,99874	35,00134	35,00208	35,00209	35,00222	34,99887	34,99898	35,00109
35,00137	34,99981	34,99809	35,00064	35,00069	35,00148	35,00243	34,99919	34,99978	34,99998
Μέσος όρος N μετρήσεων[mm]			35,00056						
Τυπική απόκλιση S [mm]			0,001209						
Εύρος R [mm]			0,000107						

Σχήμα 9.1 : Μέρος πίνακα του Excel που υπολογίζει μέσο όρο, τυπική απόκλιση και ακραία διαφορά.

9.2 Υπολογισμοί για την μέθοδο Gage R&R (MSA)

Περνάμε στο φύλλο του Excel τις μετρήσεις ώστε να γίνουν οι υπολογισμοί που αναλύονται στο κεφάλαιο 7. Το παρακάτω φύλλο είναι για τις μετρήσεις της μηχανής ULM OPAL 600, όπου έκαναν μετρήσεις δύο χειριστές. Οι μετρήσεις έγιναν από 31-3-2009 έως της 11-4-2009 στο ΜΕ.

ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ (MSA)													
Εξοπλισμός / Κωδικός : ULM OPAL 600										Ημερομηνία μετρήσεων 31-3-2009 έως 11-4-2009		ΟΝΟΜΑ	
Όδηγία εργασίας : ΟΕ-03										Χειριστής Α :		Καλαπάς Αλέξανδρος	
Τύπος μέτρησης : Μέτρηση Διαμέτρου										Χειριστής Β :		Ζήσος Γεώργιος	
Περιγραφή δοκιμών : Δακτύλιοι 35mm													
Χειριστής	Δοκίμιο										Μέσο όρο		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
A	35-1	35-2	35-3	35-4	35-5	35-6	35-7	35-8	35-9	35-10			
	1	35,00177	34,99948	34,99875	35,00098	35,00209	35,00143	35,00211	34,99855	34,99953	35,00029	35,00050	Χ _{A1}
	2	35,00134	35,00104	34,99948	35,00067	35,00038	35,00208	35,00229	34,99952	34,99933	35,00112	35,00073	Χ _{A2}
	3	35,00252	34,99992	34,99859	35,00004	35,00044	35,00119	35,00201	34,99928	34,99867	35,00173	35,00044	Χ _{A3}
Μέση τιμή		35,00188	35,00015	34,99894	35,00057	35,00097	35,00157	35,00214	34,99911	34,99918	35,00105	35,00055	Χ _A
Έυρος		0,00118	0,00156	0,00088	0,00094	0,00171	0,00089	0,00028	0,00097	0,00087	0,00144	0,00107	R _A
B	1	35,00163	35,00053	34,99865	35,00012	35,00114	35,00108	35,00241	35,00093	34,99963	35,00043	35,00066	Χ _{B1}
	2	35,00130	34,99999	34,99874	35,00134	35,00208	35,00209	35,00222	34,99887	34,99898	35,00109	35,00067	Χ _{B2}
	3	35,00137	34,99981	34,99809	35,00064	35,00069	35,00148	35,00243	34,99919	34,99978	34,99998	35,00035	Χ _{B3}
	Μέση τιμή		35,00144	35,00011	34,99850	35,00070	35,00130	35,00155	35,00235	34,99966	34,99946	35,00050	35,00056
Έυρος		0,00033	0,00072	0,00065	0,00122	0,00139	0,00101	0,00022	0,00207	0,00079	0,00111	0,00095	R _B
Χρ		35,00166	35,00013	34,99872	35,00063	35,00113	35,00156	35,00225	34,99939	34,99932	35,00077	35,00056	Χ _ρ
Εύρος δοκιμίου											0,00353	R _p	

Με την βοήθεια του προγράμματος Excel έγιναν όλοι οι αναγκαίοι υπολογισμοί

$$\bar{R} = 0,00101 \text{ mm}$$

$$\bar{X}_{diff} = 0,00000 \text{ mm}$$

$$UCLR = 0,00261 \text{ mm}$$

$$LCLR = 0,00000 \text{ mm}$$

$$(\bar{x})LCL = 34,99952 \text{ mm}$$

$$(\bar{x})UCL = 35,00159 \text{ mm}$$

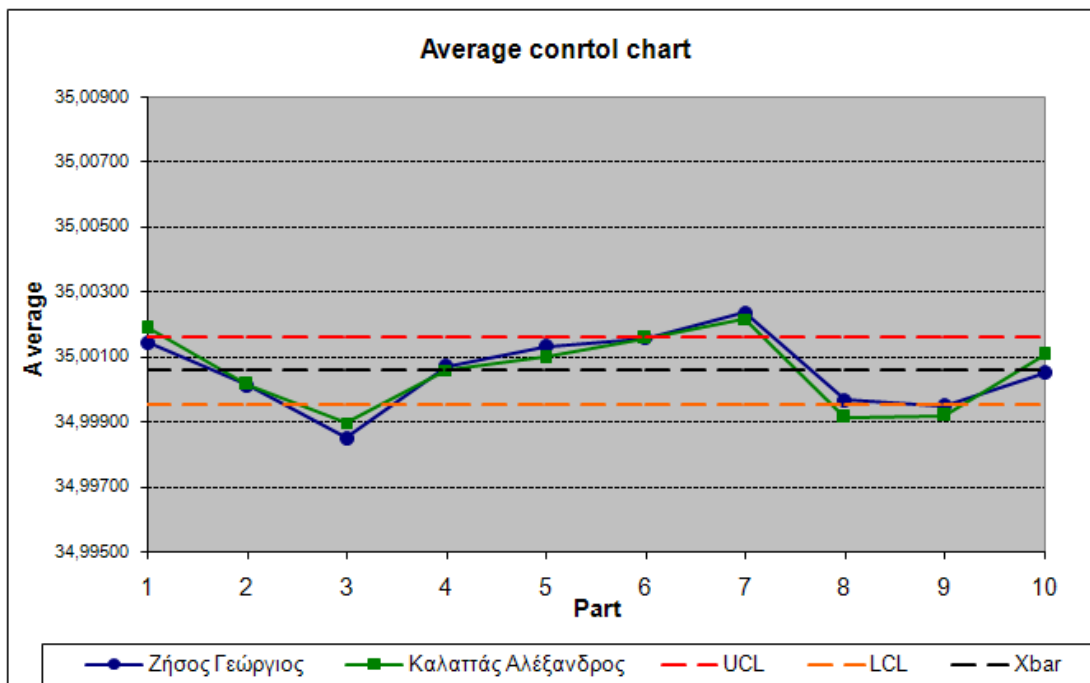
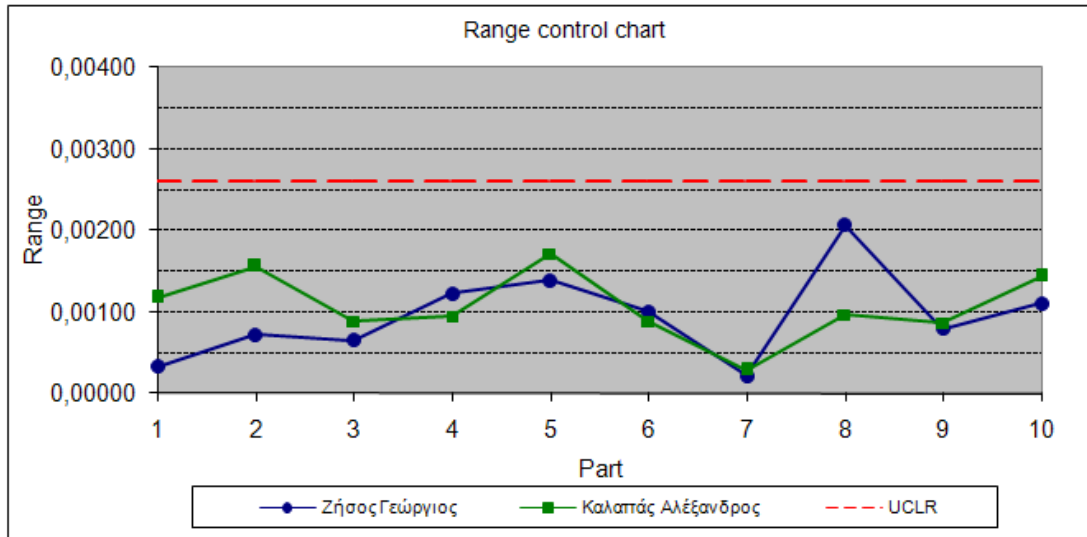
Αποτελέσματα Μεθόδου ανάλυσης συστήματος για την μηχανή ULM

Παράγοντες μελέτης	Σε ποσοστά
EV = 0,00060	EV % = 47,4%
AV = 0,0000	AV % = 0,0%
R&R = 0,00060	R&R % = 47,6%
PV = 0,00111	PV % = 88,0%
TV = 0,00126	

Παρατηρούμε ότι R&R % είναι 47,6% άρα το σύστημα μετρήσεις **απορρίπτεται**. Για αυτή την αποτυχία πιθανός να ισχύουν οι παρακάτω λόγοι

1. Οι μετρητές δεν είναι κατάλληλα εκπαιδευμένοι ή δεν έχουν τη κατάλληλη εμπειρία για να χρησιμοποιήσουν και να εξάγουν αποτελέσματα από την μετρητική διάταξη.
2. Η διακρίβωση του οργάνου μέτρησης δεν είναι σωστή.
3. Χρειάζεται αναπόσπαστη βάση πάνω στην τράπεζα μετρήσεις ώστε οι μετρητές να διευκολυνθούν στις μετρήσεις τους και να γίνεται ορθότερη χρήση της διάταξης.

Ακόλουθη το διάγραμμα έλεγχου εύρους και το διάγραμμα μέσων τιμών



Από τα δύο παραπάνω διαγράμματα συμπεραίνουμε

1. Η Μέση τιμή είναι εκτός των ορίων και το εύρος μέσα στα όρια. Έχουμε μεταβολή της μηχανής που παρήγαγε τα τεμάχια, χωρίς όμως και να αλλάξει η ομοιομορφία των παραγόμενων προϊόντων.

2. βλέπουμε ότι δεν προκύπτει κάποια αύξηση διαρκώς, άρα, δεν υπάρχει βαθμιαία απορρύθμιση της παραγωγικής διαδικασίας.

Το παρακάτω φύλλο είναι για τις μετρήσεις της μηχανής DEA CMM, όπου έκαναν μετρήσεις δύο χειριστές. Οι μετρήσεις έγιναν από 8-5-2009 έως της 14-5-2009 στο ΜΕ.

ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ (MSA)											
Εξοπλισμός / Κωδικός : DEA CMM						Ημερομηνία μετρήσεων 8/5/2009 έως 14/5/2009			ΟΝΟΜΑ Χειριστής Α : Καλαπάς Αλέξανδρος Χειριστής Β : Ζήσος Γεώργιος		
Οδηγία εργασίας : Νέα οδηγία εργασίας											
Τύπος μέτρησης : Μέτρηση Διαμέτρου											
Περιγραφή δοκιμών : Διακλις 35mm											
Χειριστής	Δοκίμιο										Μέσο όρο
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
A	35-1	35-2	35-3	35-4	35-5	35-6	35-7	35-8	35-9	35-10	
	35,00157	34,99962	34,99825	35,00002	35,00091	35,00074	35,00173	34,99886	34,99897	35,00090	35,00016 ΧΑ1
	35,00100	34,99904	34,99774	34,99954	35,00037	35,00025	35,00132	34,99848	34,99831	35,00050	34,99966 ΧΑ2
	35,00149	34,99950	34,99825	34,99995	35,00084	35,00078	35,00172	34,99890	34,99883	35,00084	35,00011 ΧΑ3
Μέση τιμή	35,00135	34,99939	34,99808	34,99984	35,00071	35,00059	35,00159	34,99875	34,99870	35,00075	34,99997 \bar{X}_A
Έυρος	0,00057	0,00058	0,00051	0,00048	0,00054	0,00053	0,00041	0,00042	0,00066	0,00040	0,00051 R_A
B	35,00104	34,99955	34,99821	35,00008	35,00017	35,00069	35,00160	34,99862	34,99891	35,00090	34,99998 ΧΒ1
	35,00105	34,99958	34,99818	35,00001	35,00026	35,00062	35,00162	34,99864	34,99888	35,00091	34,99998 ΧΒ2
	35,00101	34,99949	34,99817	35,00008	35,00031	35,00071	35,00174	34,99858	34,99894	35,00092	35,00000 ΧΒ3
	Μέση τιμή	35,00103	34,99954	34,99819	35,00006	35,00025	35,00067	35,00165	34,99861	34,99891	35,00091
Έυρος	0,00004	0,00009	0,00004	0,00007	0,00014	0,00009	0,00014	0,00006	0,00006	0,00002	0,00007 R_B
Χρ	35,00119	34,99946	34,99813	34,99995	35,00048	35,00063	35,00162	34,99868	34,99881	35,00083	34,99998 \bar{X}_P
										Εύρος δοκιμίου	0,00349 R_P

Με την βοήθεια του προγράμματος Excel έγιναν όλοι οι αναγκαίοι υπολογισμοί

$$\bar{R} = 0,00029 \text{ mm}$$

$$\bar{X}_{diff} = 0,00000083 \text{ mm}$$

$$UCLR = 0,00075 \text{ mm}$$

$$LCLR = 0,00000 \text{ mm}$$

$$(\bar{x})LCL = 34,99968 \text{ mm}$$

$$(\bar{x})UCL = 35,00028 \text{ mm}$$

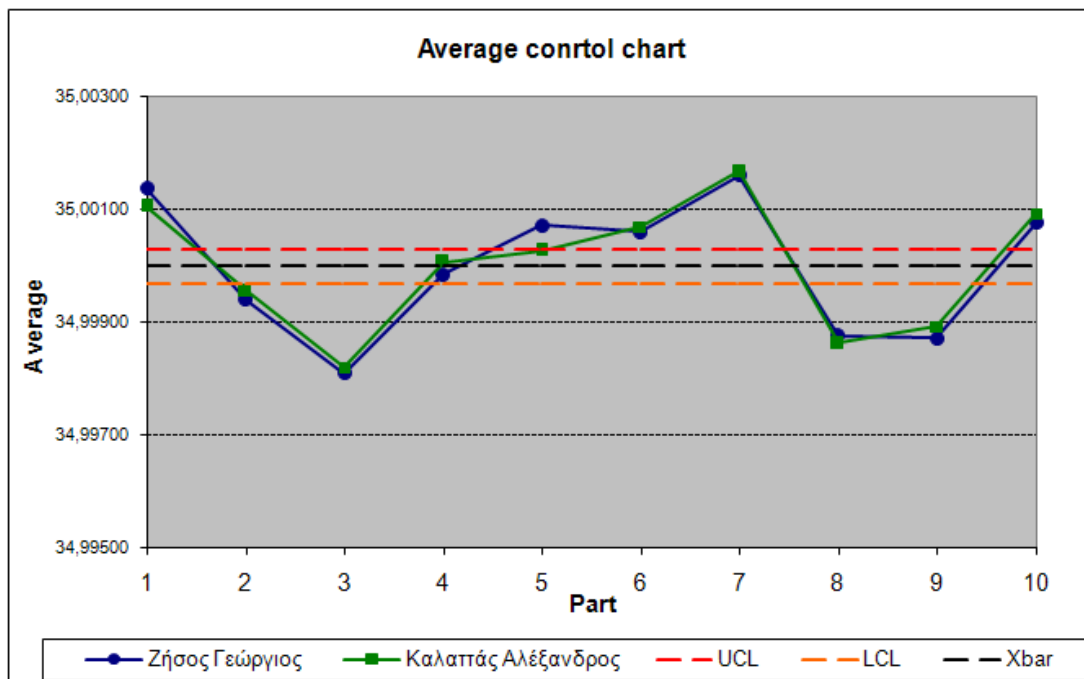
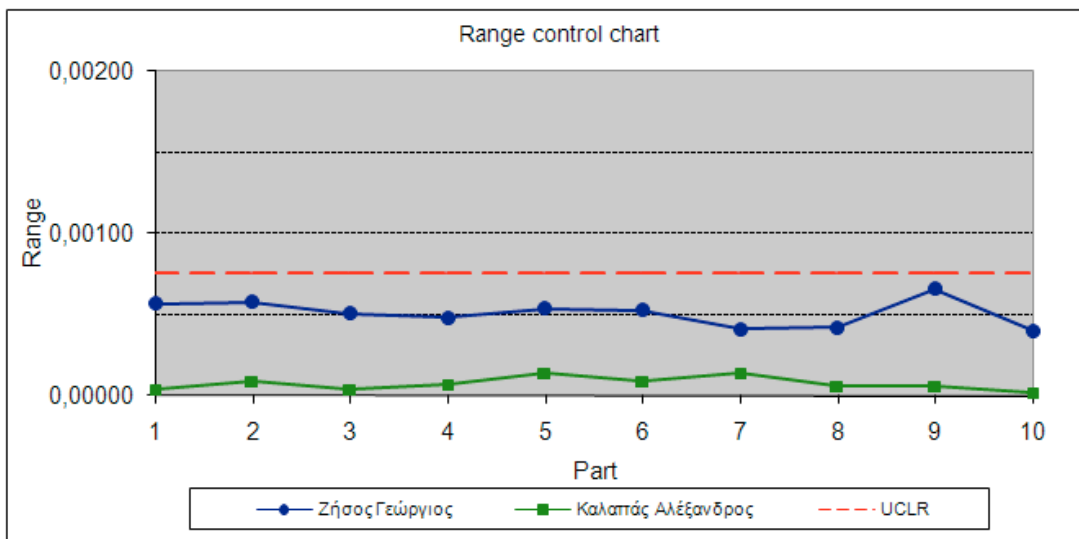
Αποτελέσματα Μεθόδου ανάλυσης συστήματος για την μηχανή CMM

Παράγοντες μελέτης	Σε ποσοστά
EV = 0,00017	EV % = 15,6%
AV = 0,0000	AV % = 0,0%
R&R = 0,00017	R&R % = 15,6%
PV = 0,00110	PV % = 98,8%
TV = 0,00111	

Παρατηρούμε ότι R&R % είναι 15,6% άρα το σύστημα μετρήσεις γίνεται αποδεκτό. Για αυτό το μεγάλο ποσοστό R&R % πιθανός να έπαιξαν σημαντικό ρόλο οι παρακάτω λόγοι

1. Οι μετρητές δεν είναι κατάλληλα εκπαιδευμένοι ή δεν έχουν τη κατάλληλη εμπειρία για να χρησιμοποιήσουν και να εξάγουν αποτελέσματα από την μετρητική διάταξη.
2. Η διακρίβωση του οργάνου μέτρησης δεν είναι σωστή.
3. Χρειάζεται αναπόσπαστη βάση πάνω στην τράπεζα μετρήσεις ώστε οι μετρητές να διευκολυνθούν στις μετρήσεις τους και να γίνεται ορθότερη χρήση της διάταξης.

Ακόλουθη το διάγραμμα έλεγχου εύρους και το διάγραμμα μέσων τιμών



Από τα δύο παραπάνω διαγράμματα συμπεραίνουμε

1. Η Μέση τιμή είναι εκτός των ορίων και το εύρος μέσα στα όρια. Έχουμε μεταβολή της μηχανής που παρήγαγε τα τεμάχια, χωρίς όμως και να αλλάξει η ομοιομορφία των παραγόμενων προϊόντων.
2. Παρατηρείται πολύ μεγαλύτερη διακύμανση στο διάγραμμα μέσων τιμών και στους δύο χειριστές σε σχέση με τις μετρήσεις της μηχανής ULM.
3. Βλέπουμε ότι δεν προκύπτει κάποια αύξηση διαρκώς ή μείωση, άρα, δεν υπάρχει βαθμιαία απορρύθμιση της παραγωγικής διαδικασίας.

Γενικές παρατηρήσεις

- Προσέξαμε τα πολύ μεγάλα ποσοστά στην μεταβλητότητα των δοκιμών, αυτό είναι λογικό γιατί γνωρίζουμε ότι τα δοκίμια διαφέρουν μεταξύ τους.

10 Βιβλιογραφία

10.1 Βιβλία

1. Braun Herwing, “Μετροτεχνία”, Απόδοση στην ελληνική γλώσσα: Μελέτιος Βούλγαρης, Επιμέλεια ελληνικής έκδοσης: Γ. Εμμανουηλίδης, Ευρωπαϊκές Τεχνολογικές Εκδόσεις , 1996
2. Dieter Brehme, “Εφαρμογές Μετροτεχνίας”, μετάφραση Μελέτιος Δ. Βούλγαρης Ευρωπαϊκές Τεχνολογικές Εκδόσεις , 1997
3. Χαρίκεια Καραχάλιου & Γκαμπριέλ Μανσούρ, “Διαστατική Μετρολογία”, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, 2007
4. Λάζαρου Ε. Λαζαρίδη, “Μηχανουργική Τεχνολογία”, Εκδόσεις Ιδρύματος Ευγενίδου, 1997
5. Γιώργου Παρίκου, “Μηχανουργική Τεχνολογία”, Εκδόσεις ΙΩΝ, 1995
6. Σ.Ε. Σιμόπουλου, “Μετρήσεις Τεχνικών Μεγεθών”, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 1989
7. Αλέξης Καρμίρης, “Έλεγχος Ποιότητας”, Εκδόσεις Ε.Μ.Π.
8. Β.Ι.Ν. Λεώπουλος, “Συστήματα Διαχείρισης Ποιότητας”, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 2003
9. Δερβητσιώτη Κώστα Ν., “Ποιοτικός Έλεγχος και Παραγωγικότητα”, Τόμος Ι, Εκδόσεις Ν. Αϊβαζίδη – Ζ. Ζουμπούλη, Θεσ/νίκη (1985).
10. Τσιότρα Γεωργίου Δ., “Βελτίωση Ποιότητας”, Εκδόσεις Ε. Μπένου, Αθήνα (1995).
11. Αυλωνίτης Σταμάτης Α., “Στοιχεία Ελέγχου & Διασφάλισης Ποιότητας”, Εκδόσεις ΕΛΛΗΝ – Γ. Πάρικος & Σια Ε.Ε., Αθήνα (2003).
12. Caplen R.H., “A Practical Approach to Quality Control”, Century Business, 5th Edition (1988).
13. Πετρίδη Βασίλειου, “Συστήματα Μετρήσεων”, University Studio Press, Θεσ/νίκη (1986).
14. Doebeli E.O., “Engineering Experimentation”, Mc.Graw-Hill Int. Ed.
15. Luftig J. & Jordan V., “Design of Experiments in Quality Engineering”, Mc.Graw-Hill Int. Ed.
16. Stephanie Bell, “A Beginner’s Guide to Uncertainty of Measurement”, National Physical Laboratory , 1999
17. David Flack and John Hannaford, “Fundamental Good Practice in Dimensional Metrology”, Crown , 2005
18. Jay L. Bucher, “The Metrology Handbook”, ASQ, 2004
http://books.google.gr/books?id=GFnjavm90EUC&printsec=frontcover&source=gbs_v2_summary_r&cad=0#v=onepage&q=&f=false

10.2 Διαδίκτυο

1. <http://en.wikipedia.org/wiki/Celsius>
2. <http://www.telecomabc.com/p/prefix.html>
3. http://en.wikipedia.org/wiki/International_System_of_Units
4. http://en.wikipedia.org/wiki/SI_base_unit
5. http://www1.bipm.org/en/si/base_units/
6. <http://www.eim.org.gr/>
7. <http://www.prattandwhitney.com/index.htm>
8. http://en.wikipedia.org/wiki/Ernst_Abbe
9. <http://147.102.46.88/metrotexniko>
10. <http://www.newwayairbearings.com/>
11. http://en.wikipedia.org/wiki/ANOVA_Gage_R%26R
12. http://en.wikipedia.org/wiki/Measurement_Systems_Analysis
13. http://en.wikipedia.org/wiki/Measurement_uncertainty
14. <http://www.qimacros.com/free-lean-six-sigma-tips/aiag-msa-gage-r&r.html>
15. <http://www.qimacros.com/free-lean-six-sigma-tips/aiag-msa-gage-r&r.html>
16. <http://www.vrecossis.gr/categories.asp?catid=41>
17. <http://www.siliconfareast.com/grr.htm>
18. <http://www.statsoft.com/TEXTBOOK/stprocan.html#qcomputational>
19. <http://atmae.org/jit/Articles/smith010407.pdf>.

11 Παράρτημα

Παρουσιάζεται η νέα οδηγία εργασίας για μετρήσεις τριμμάτων από 10 mm εσωτερικής διαμέτρου έως 650 mm εξωτερικής διαμέτρου την μηχανή DEA CMM (EM.02). Η νέα οδηγία εργασίας περιγράφει τις οδηγίες μέτρησης που καθορίζει ο κατασκευαστής της μηχανής DEA CMM, προσαρμοσμένες στο μετρούμενο δοκίμιο.

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	Κωδικός ΟΕ-00	Διεξαγωγή Μέτρησης Τρίμματος εσωτερικής διαμέτρου 10 mm έως εξωτερικής διαμέτρου 650 mm με τη μηχανή DEA CMM		
Υπεύθυνος Έκδοσης	Υπεύθυνος Έγκρισης	Αρ. Έκδοσης 1.1	Ημερομηνία Έκδοσης 1/10/2009	Σελίδα 1/14
Υπεύθυνος Ποιότητας	Διευθυντής Εργαστηρίου			

1 Σκοπός

Η οδηγία εργασίας αυτή περιγράφει τον τρόπο προσδιορισμού εσωτερικής διαμέτρου κυκλικών δοκιμίων από 10 mm εσωτερικής διαμέτρου έως 650 mm εξωτερικής διαμέτρου με τη μηχανή DEA CMM (EM.02).

2 Υπεύθυνος Εφαρμογής – Εμπλεκόμενα Πρόσωπα

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

3 Περιγραφή

Η παρούσα οδηγία εργασίας περιγράφει τις οδηγίες μέτρησης που καθορίζει ο κατασκευαστής της μηχανής DEA CMM. Τα δοκίμια τοποθετούνται με την(τις) προς μέτρηση επιφάνεια(ες) προσανατολισμένη(ες) κατά το δυνατόν παράλληλα ως προς το σύστημα συντεταγμένων της μηχανής.

3.1 Δοκίμια

3.1.1 Περιορισμοί διαστάσεων

Η εξωτερική διάμετρος του δοκιμίου δεν μπορεί να υπερβαίνει τα 650 mm.

3.1.2 Απαίτηση καθαρών επιφανειών

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

3.1.3 Θερμοκρασιακή απαίτηση

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

3.1.4 Άλλες παρατηρήσεις

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

3.2 Απαιτούμενος εξοπλισμός

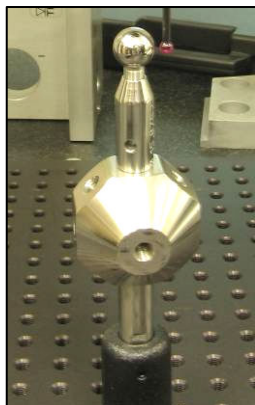
- Renishaw Probe PH10MQ
 - Αυτόματη κεφαλή λήψης γωνιών
- Διαμόρφωση (στέλεχος) SP25M και Προεκτάσεις:
 - SM25-1 με SH25-1
 - SM25-2 με SH25-2
 - SM25-3 με SH25-3
- Ακίδες επαφής

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	Κωδικός ΟΕ-00	Διεξαγωγή Μέτρησης Τρίμματος εσωτερικής διαμέτρου 10 mm έως εξωτερικής διαμέτρου 650 mm με τη μηχανή DEA CMM		
		Αρ. Έκδοσης 1.1	Ημερομηνία Έκδοσης 1/10/2009	Σελίδα 2/14

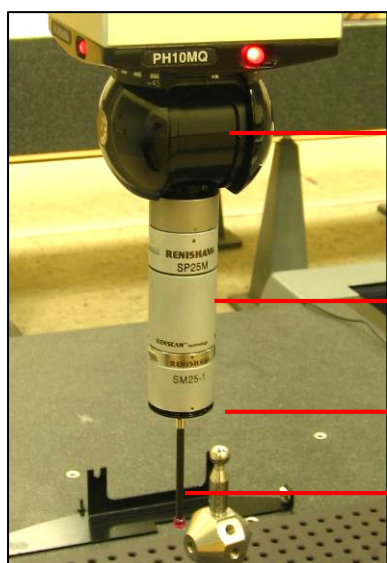
4. Πρότυπη σφαίρα

- Για σετάρισμα των εργαλείων μέτρησης της μηχανής σε δυναμική κατάσταση (tip qualification)

5. Set ιδιοσυσκευών συγκράτησης



Σχήμα 1: Διαμορφώσεις, προεκτάσεις, ακίδες, πρότυπη σφαίρα, Ιδιοσυσκευές



Κεφαλή

Διαμόρφωση SP25M – SM25-1

SH25-1

Ακίδα 5 X 50 mm

Σχήμα 2: Συγκρότημα κεφαλής – διαμόρφωσης – ακίδας

3.3 Προετοιμασία μηχανής

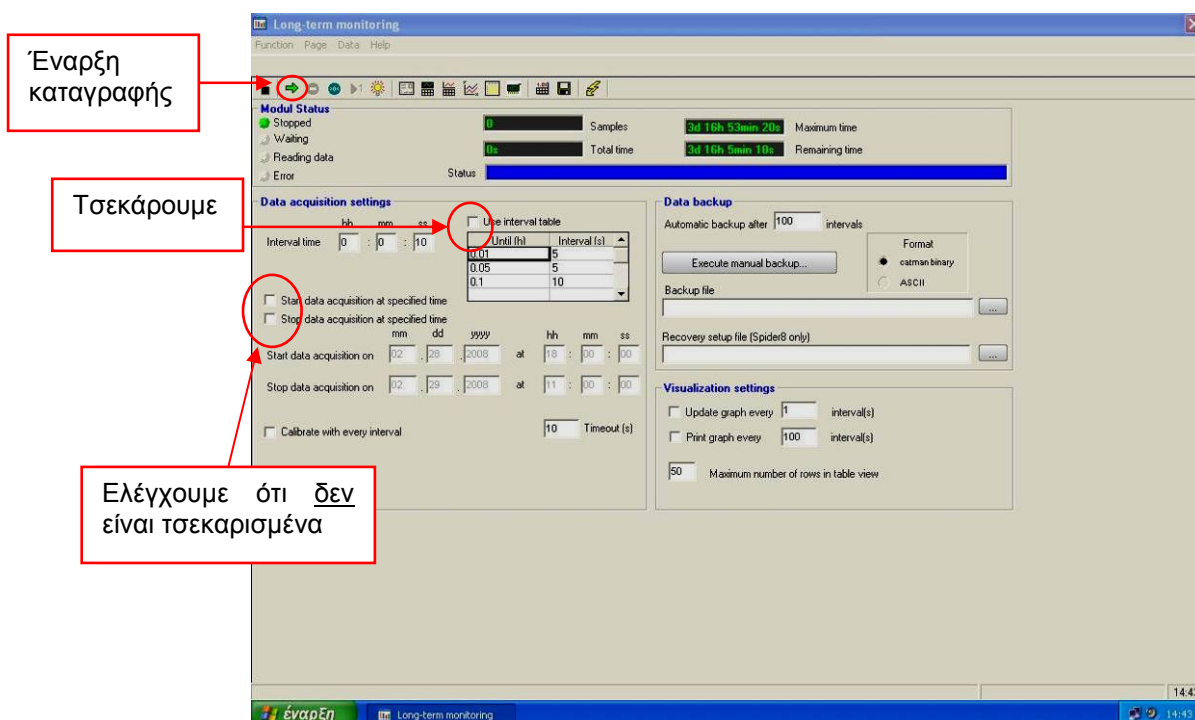
3.3.1 Βήμα 1^ο

Εκκινούμε το αεροσυμπιεστή που βρίσκεται στο χώρο X.8 πριν την είσοδο του εργαστηρίου.

3.3.2 Βήμα 2^ο

Εκκινούμε τον κεντρικό υπολογιστή της Αίθουσας Ελεγχόμενων Συνθηκών και το **Data Logger** για

την συλλογή των περιβαλλοντικών δεδομένων. Από την επιφάνεια εργασίας επιλέγουμε το **“Project 2”** που αφορά το πρόγραμμα συλλογής των δεδομένων. Στην οθόνη λειτουργίας του Project ελέγχουμε ότι είναι τσεκαρισμένο το πεδίο **«Internal Table»**, ότι δεν είναι τσεκαρισμένα τα πεδία **«Start...»**, **«Stop...»** και επιλέγουμε το εικονίδιο εκκίνησης (πράσινο βέλος) για να αρχίσει η καταγραφή.



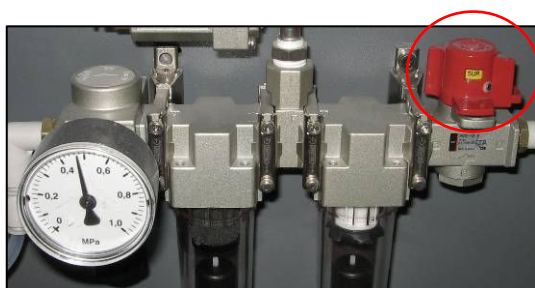
Σχήμα 3: Ρυθμίσεις για την καταγραφή των συνθηκών

3.3.3 Βήμα 3^ο

Εκκινούμε τον Η/Υ της μηχανής **DEA CMM**.

3.3.4 Βήμα 4^ο

Ενεργοποιούμε την μηχανή DEA CMM ως εξής: Ανοίγουμε την παροχή αέρα στο πίσω μέρος της μηχανής (κόκκινος διακόπτης) και στρέφουμε το διακόπτη **On/Off** που βρίσκεται επάνω στον **Controller**.



Σχήμα 4: Διακόπτης παροχής αέρα & διακόπτης On/Off

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	Κωδικός ΟΕ-00	Διεξαγωγή Μέτρησης Τρίμματος εσωτερικής διαμέτρου 10 mm έως εξωτερικής διαμέτρου 650 mm με τη μηχανή DEA CMM		
		Αρ. Έκδοσης 1.1	Ημερομηνία Έκδοσης 1/10/2009	Σελίδα 4/14

3.3.5 Βήμα 5°

Ελέγχουμε ότι η πίεση στο μανόμετρο στο πίσω μέρος της μηχανής να βρίσκεται περίπου στα 0,47 MPa.

3.3.6 Βήμα 6°

Πατούμε από το **Jog Box** το πλήκτρο **machine start** (μόλις το led του μείνει σταθερά σβηστό) για 2 δευτερόλεπτα μέχρι το led να σταθεροποιηθεί στο πράσινο χρώμα.



Σχήμα 5: Jog Box

3.3.7 Βήμα 7°

Ελέγχουμε ότι τα led των **Controllers** της **Renishaw** και της κεφαλής είναι αναμμένα.



Σχήμα 6: Controllers της Renishaw

3.4 Αρχικές Ενέργειες

3.4.1 Βήμα 8°

Εκκινούμε από την επιφάνεια εργασίας το λογισμικό **PC-DMIS**.

3.4.2 Βήμα 9°

Πατούμε **OK** στο μήνυμα που εμφανίζεται (αφού βεβαιωθούμε ότι η κεφαλή είναι ελεύθερη να κινηθεί στο χώρο) και ζητά να κινηθεί η μηχανή στο **Home Position**.

3.4.3 Βήμα 10°

Η μηχανή κινείται στο **Home Position**. Όταν ολοκληρώσει την κίνηση ελέγχουμε στο κάτω δεξιά μέρος της οθόνης του λογισμικού ότι οι συντεταγμένες X, Y, Z είναι περίπου μηδέν.

Σημείωση: Τα βήματα 3.4.2 και 3.4.3 εκτελούνται μόνο εφόσον αμέσως πριν έχει πραγματοποιηθεί εκκίνηση του **Controller**.

3.4.4 Βήμα 11°

Σε περίπτωση που εμφανιστεί προτροπή για άνοιγμα αποθηκευμένου προγράμματος μέτρησης στο

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	Κωδικός ΟΕ-00	Διεξαγωγή Μέτρησης Τρίμματος εσωτερικής διαμέτρου 10 mm έως εξωτερικής διαμέτρου 650 mm με τη μηχανή DEA CMM		
		Αρ. Έκδοσης 1.1	Ημερομηνία Έκδοσης 1/10/2009	Σελίδα 5/14

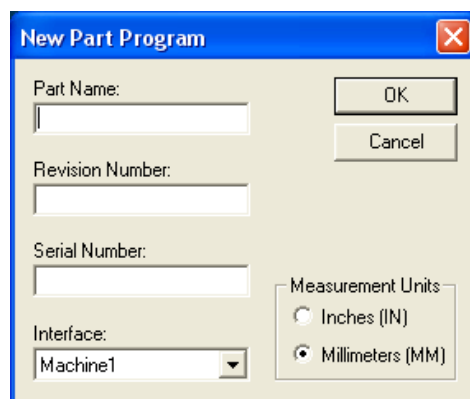
παράθυρο που ανοίγει αυτόματα, πατούμε **cancel**.

3.4.5 Βήμα 12°

Από το menu του λογισμικού επιλέγουμε file – new και συμπληρώνουμε τα απαραίτητα πεδία που αφορούν τη μέτρηση μας

- **part name:** ονομασία δοκιμίου
- **revision number:** αριθμός υπόθεσης
- **serial number:** κωδικός δοκιμίου
- **measurement units:** mm
- **interface:** Machine1

Πατούμε **OK** για να ολοκληρώσουμε.



Σχήμα 7: Παράθυρο New Part Program

3.5 Καθορισμός εργαλείων

(βλ. σχετικά *PC-DMIS 4.1 Reference Manual*, σελ 491)

3.5.1 Βήμα 13°

Προσαρμόζουμε στην κεφαλή την προέκταση, το στέλεχος και την ακίδα που θα χρησιμοποιήσουμε ώστε να εξυπηρετεί τη μέτρησή του δοκιμίου.

Υπόδειξη: Γενικά προτιμούμε την μικρότερη δυνατή διαμόρφωση για την κεφαλή, την απαραίτητη για την διεξαγωγή της μέτρησης. Χρησιμοποιούμε κατά προτίμηση τους ακόλουθους συνδυασμούς

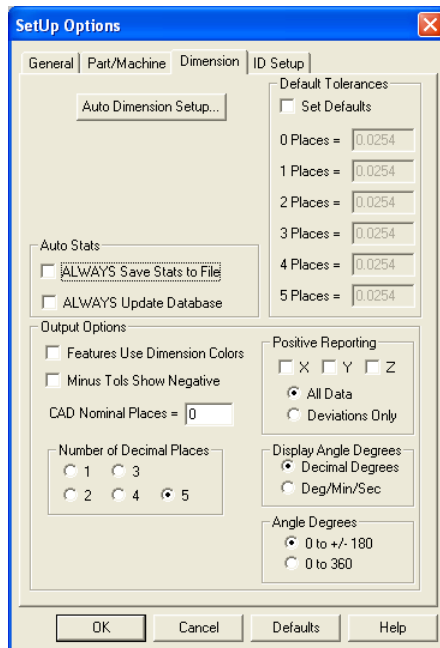
Διαμόρφωση		Ακίδα
SM25-1	SH25-1	έως 50 mm
SM25-2	SH25-2	από 50 έως 100 mm
SM25-3	SH25-3	μεγαλύτερη από 100 mm

3.5.2 Βήμα 14°

Εφόσον έχει εμφανιστεί αυτόματα το παράθυρο **Probe Utilities** επιλέγω **cancel**.

3.5.3 Βήμα 15°

Επιλέγω διαδοχικά από το menu: Edit – Preferences – Setup. Στην καρτέλα Dimension επιλέγουμε στο **Number of Decimal Places** το **5** και πατούμε **OK**.



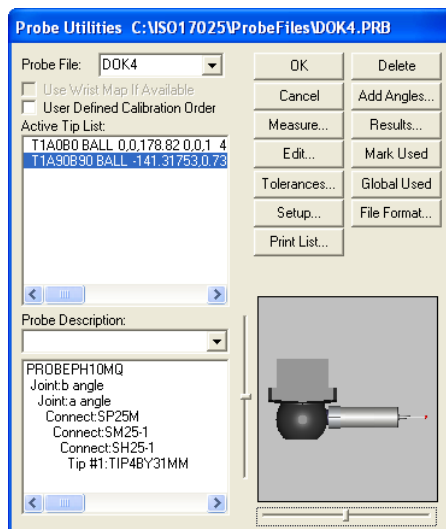
Σχήμα 8: Ρύθμιση Παραμέτρων – Καρτέλα Dimension

3.5.4 Βήμα 16°

Από το **menu** επιλέγουμε **Insert – Hardware definition – Probe** για να εισέλθουμε στο παράθυρο **Probe Utilities**.

3.5.5 Βήμα 17°

Στο πεδίο **Probe File** δίνουμε όνομα στο probe (αρχείο εργαλείων – Probe file) που θα χρησιμοποιήσουμε.



Σχήμα 9: Παράθυρο Probe Utilities

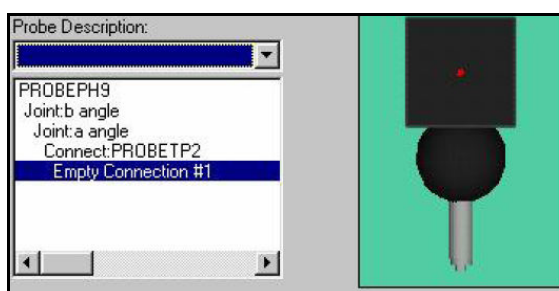
ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	Κωδικός ΟΕ-00	Διεξαγωγή Μέτρησης Τρίμματος εσωτερικής διαμέτρου 10 mm έως εξωτερικής διαμέτρου 650 mm με τη μηχανή DEA CMM		
		Αρ. Έκδοσης 1.1	Ημερομηνία Έκδοσης 1/10/2009	Σελίδα 7/14

3.5.6 Βήμα 18°

Στο πλαίσιο κάτω από το *probe description*, επιλέγουμε **Empty Connection #1**.

3.5.7 Βήμα 19°

Στο πεδίο *probe description* επιλέγουμε με τη σειρά από την κυλιόμενη λίστα τα αντίστοιχα εργαλεία που έχουμε προσαρμόσει στην κεφαλή **PH10MQ** (πχ. SP25M / SM25-1 / SH25-1 / TIP5BY50MM). Παρατηρούμε ότι στο διπλανό παράθυρο σχηματίζεται εικονικά το εργαλείο που δημιουργούμε. Για οποιοδήποτε διόρθωση μπορούμε να αναιρέσουμε κάθε εισαγωγή με **delete**.



Σχήμα 10: Παράθυρο *Probe Utilities (Probe Description)*

3.5.8 Βήμα 20°

Μετά το παραπάνω βήμα εμφανίζεται συμπληρωμένη η λίστα με τα διαθέσιμα εργαλεία για μέτρηση (**active tip list**). Ο αστερίσκος μπροστά από την ονομασία δηλώνει ότι δεν έχει γίνει calibration στο συγκεκριμένο εργαλείο. Μπορούμε να προσθέσουμε επιπλέον εργαλεία μεταβάλλοντας τις γωνίες *a* και *b* της κεφαλής. Από το **active tip list** επιλέγουμε το εργαλείο που θα χρησιμοποιήσουμε.

3.6 Calibration εργαλείου (probe)

(βλ. σχετικά *PC-DMIS 4.1 Reference Manual*, σελ 498)

3.6.1 Βήμα 21°

Από το παράθυρο *Probe Utilities* και εφόσον έχουμε επιλέξει το επιθυμητό εργαλείο, πατάμε το κουμπί **measure** οπότε και ανοίγει το παράθυρο **measure probe**.

3.6.2 Βήμα 22°

Στο παράθυρο **measure probe** ορίζουμε τις παραμέτρους σύμφωνα με τις τιμές που δίνονται στο ακόλουθο σχήμα.

Σχήμα 11: Παράθυρο Measure Probe

3.6.3 Βήμα 23°

Αφού συμπληρώσουμε τα απαιτούμενα πεδία επιλέγουμε **Measure** για να ξεκινήσει η διαδικασία του **calibration**. Στο 1^ο μήνυμα που εμφανίζεται πατούμε **YES** και στο 2^ο μήνυμα πατούμε **OK** (αναφορικά με τα εργαλεία που θέλουμε να σετάρουμε).

3.6.4 Βήμα 24°

Το λογισμικό μας ζητά να πάρουμε ένα σημείο στην κορυφή της πρότυπης σφαίρας (άνωτατο σημείο). Λαμβάνουμε χειροκίνητα με το **Jog Box** το ζητούμενο σημείο και πατούμε το κουμπί **done** από το **Jog Box** ή το **continue** από την οθόνη του λογισμικού. Η διαδικασία του calibration ξεκινά αυτόματα.

3.6.5 Βήμα 25°

Όταν ολοκληρωθεί η αυτόματη διαδικασία του calibration πηγαίνουμε στο παράθυρο **probe utilities**

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	Κωδικός ΟΕ-00	Διεξαγωγή Μέτρησης Τρίμματος εσωτερικής διαμέτρου 10 mm έως εξωτερικής διαμέτρου 650 mm με τη μηχανή DEA CMM		
		Αρ. Έκδοσης 1.1	Ημερομηνία Έκδοσης 1/10/2009	Σελίδα 9/14

και επιλέγουμε **results** οπότε και ανοίγει το παράθυρο με τα αποτελέσματα του **calibration**. Στο παράθυρο ελέγχουμε τις παραμέτρους **Prb Rdv** και **Std Dev** να αποκλίνουν το πολύ σε 4^ο δεκαδικό ψηφίο. Αν αποκλίνουν περισσότερο επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία 3.6.

3.6.6 Βήμα 26^ο

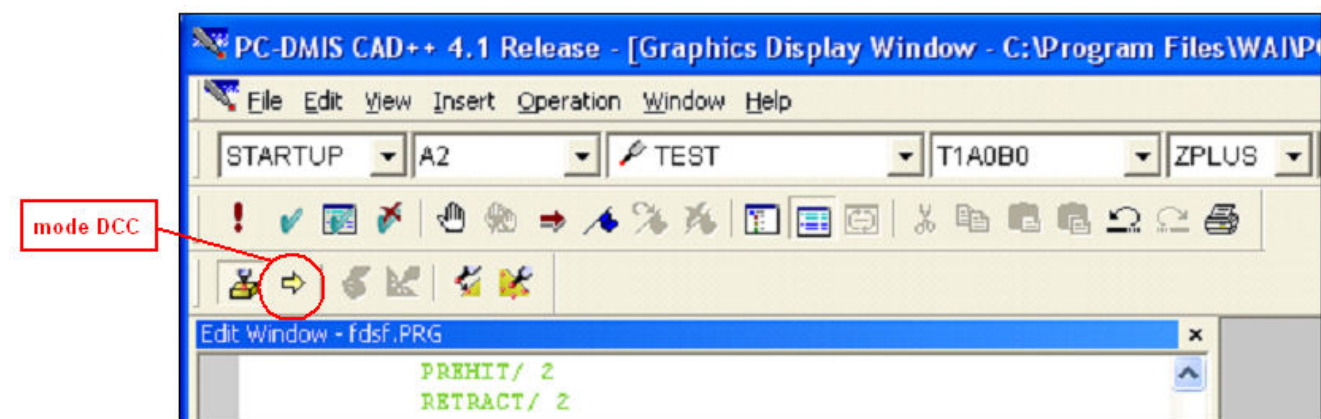
Επιστρέφουμε στο **probe utilities** και πατούμε **OK**.

3.7 Δημιουργία Προγράμματος Μέτρησης – Διαστασιολόγηση

(βλ. σχετικά **PC-DMIS 4.1 Reference Manual**, σελ 351 και 379)

3.7.1 Βήμα 27^ο

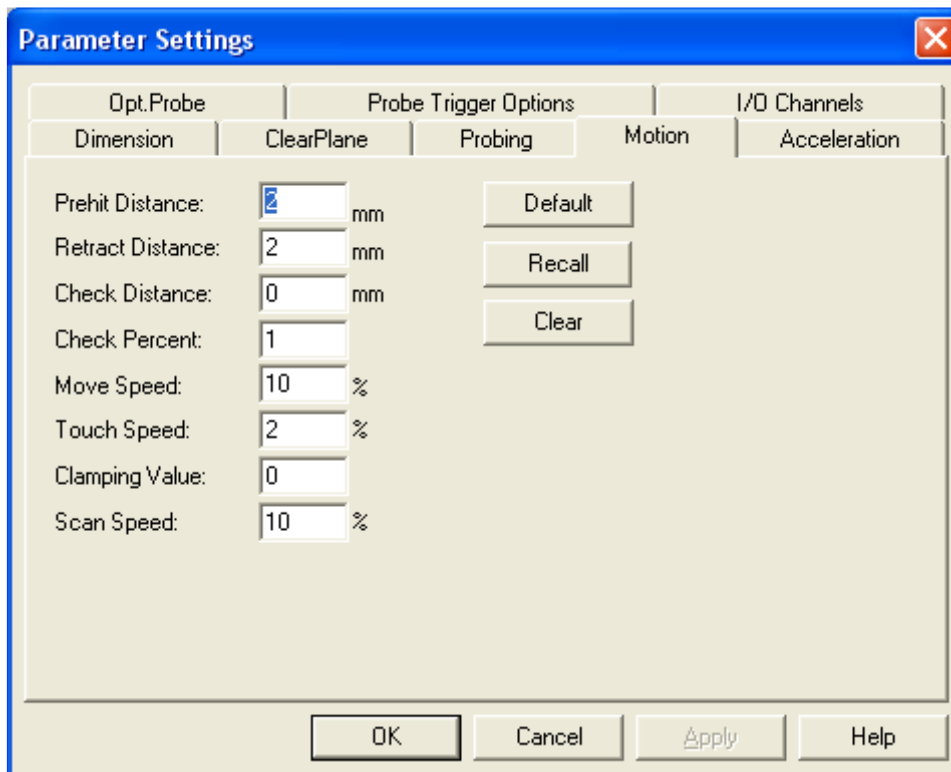
Επιλέγω mode DCC (από το εικονίδιο της γραμμής εργαλείων **Probe Mode** όπως φαίνεται στο Σχήμα 12)



Σχήμα 12: Γραμμή Εργαλείων Probe Mode. Πλήκτρο επιλογής Mode DCC

3.7.2 Βήμα 28^ο

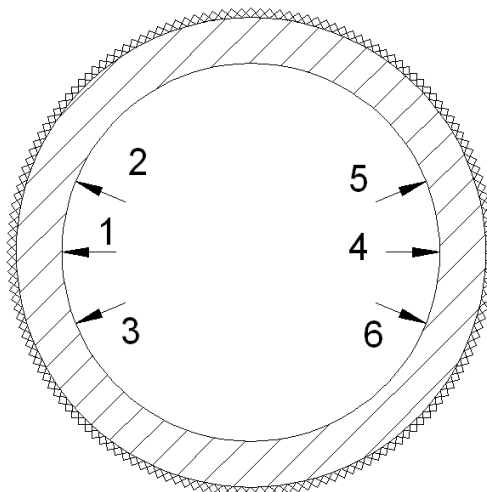
Κάνουμε κλικ στο παράθυρο Edit Window, στη γραμμή Mode DCC και πατούμε F10. Στην καρτέλα Motion ορίζουμε τιμές αυτές που φαίνονται στο παρακάτω Σχήμα 13. Πατάμε **Apply** και **OK**.



Σχήμα 13: Παράθυρο *Parameter Settings* – Ορισμός βασικών παραμέτρων

3.7.3 Βήμα 29°

Επιλέγουμε κατάλληλο επίπεδο, ώστε να βρίσκονται τα σημεία μετρήσεις στο μέσο ύψος (βάθος) του δακτυλίου. Η επιλογή των έξι (6) σημείων γίνεται με χειροκίνητη λήψη με χρήση του **Jog Box**. Αφού επιλέξουμε σημεία για μια γεωμετρία πατούμε **Done** από το **Jog Box**. Το **PC-DMIS** αναγνωρίζει αυτόματα την γεωμετρία του κύκλου. Αν δεν αναγνωρισθεί η προσδοκώμενη γεωμετρία από το παράθυρο **Edit Window** την επιλέγουμε και τη διαγράφουμε (εναλλακτικά πατούμε **[Ctrl] + [D]**). Επαναλαμβάνουμε την επιλογή σημείων και την εκ νέου αναγνώριση της γεωμετρίας.



Σχήμα 14: Τομή δακτυλίου – Προτεινόμενα σημεία για μέτρηση

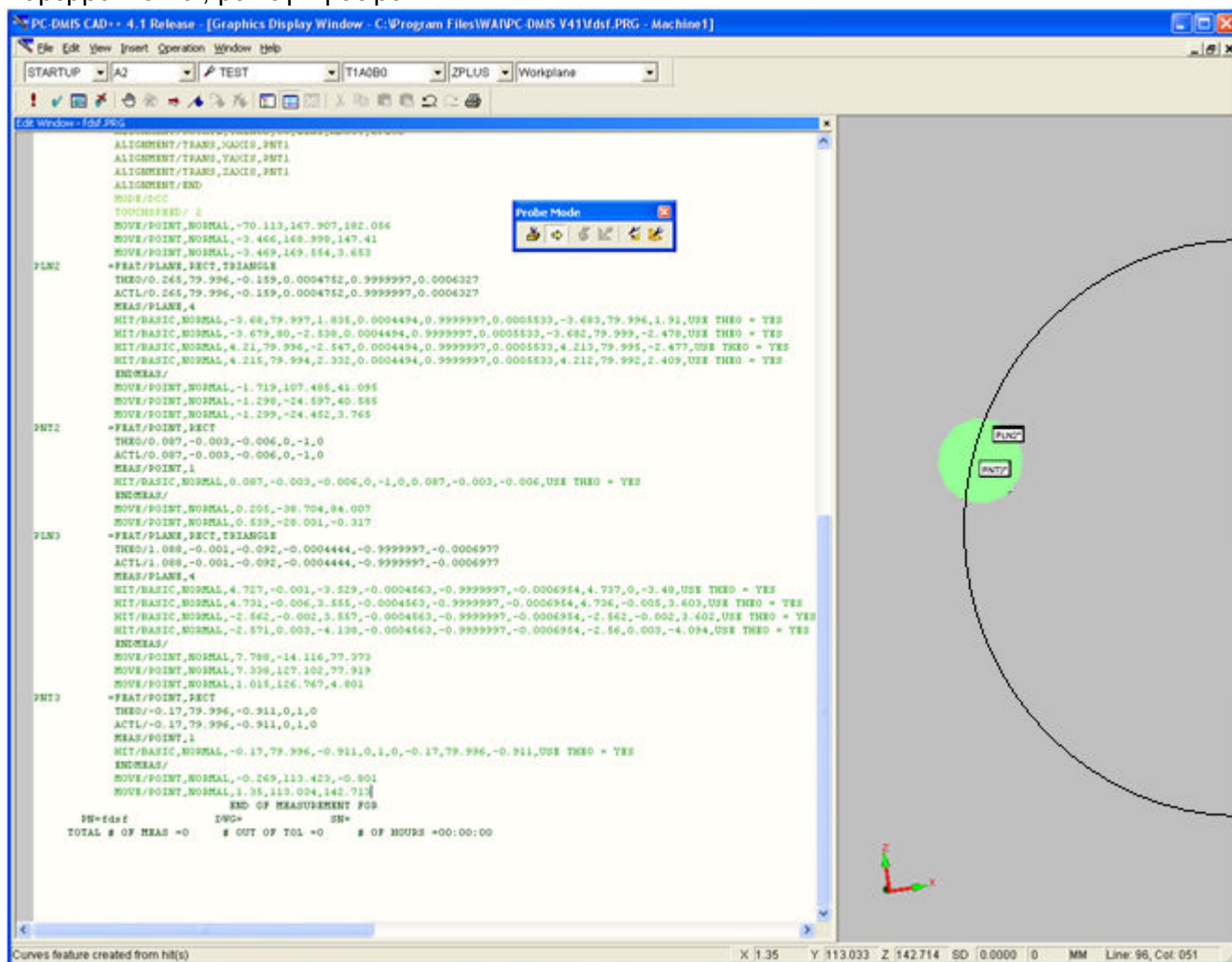
ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	Κωδικός OE-00	Διεξαγωγή Μέτρησης Τρίματος εσωτερικής διαμέτρου 10 mm έως εξωτερικής διαμέτρου 650 mm με τη μηχανή DEA CMM	
		Αρ. Έκδοσης 1.1	Ημερομηνία Έκδοσης 1/10/2009
			Σελίδα 11/14

Προσοχή: Η λήψη των σημείων κάθε γεωμετρίας γίνεται έχοντας προηγούμενα ενεργοποιήσει το πλήκτρο **Slow** στο **Jog Box**.

Προσοχή: Πριν, και μετά από την επιλογή σημείων για κάθε γεωμετρία ορίζουμε σημεία ασφαλείας (**Move Points**) στα οποία αναγκάζουμε την κεφαλή να κινηθεί έτσι ώστε να μην υπάρξει σύγκρουση. Πατώντας το πλήκτρο **Print** από το **Jog Box** ορίζεται αυτόματα ως **Move Point** η τρέχουσα θέση της κεφαλής και καταγράφεται στο **Edit Window** στο μέρος που αναβοσβήνει ο κέρσορας.

3.7.4 Βήμα 30°

Αφού ολοκληρώσουμε την δημιουργία του προγράμματος μέτρησης, ελέγχουμε στο **Edit Window** ώστε να έχουν καταχωρηθεί οι ζητούμενες γεωμετρίες και τα αντίστοιχα **Move Points** που παρεμβάλλονται, με λογική σειρά.



Σχήμα 145: Οθόνη προγραμματισμού (Edit Window) – Έλεγχος Προγράμματος Μέτρησης

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	Κωδικός ΟΕ-00	Διεξαγωγή Μέτρησης Τρίματος εσωτερικής διαμέτρου 10 mm έως εξωτερικής διαμέτρου 650 mm με τη μηχανή DEA CMM		
		Αρ. Έκδοσης 1.1	Ημερομηνία Έκδοσης 1/10/2009	Σελίδα 12/14

3.7.5 Τρέξιμο Προγράμματος Μέτρησης

Κάνουμε κλικ στο Edit Window και πατάμε **[Ctrl] + [A]** για να επιλεγεί το πρόγραμμα μέτρησης στο σύνολό του. Από την εργαλειοθήκη **Edit Window** επιλέγουμε **Clear Marked**.

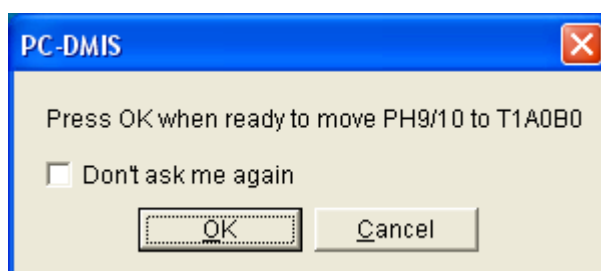
3.7.6 Βήμα 31°

Μαρκάρουμε στο παράθυρο Edit Window το πρόγραμμα μέτρησης από το σημείο **MODE/DCC** μέχρι σημείου **END OF MEASUREMENT FOR**. Στην εργαλειοθήκη **Edit Window** επιλέγουμε διαδοχικά: **Mark** (εναλλακτικά **F3**) και **Execute** (εναλλακτικά **[Ctrl] + [Q]**).



Σχήμα 15: Εργαλειοθήκη Edit Window

Στην οθόνη που ακολουθεί επιλέγουμε **OK** αφού πρώτα βεβαιωθούμε πως δεν θα προσκρούσει η κεφαλή κατά την κίνησή της.



Σχήμα 16: Εργαλειοθήκη Dimension

Προσοχή: Κατά την πρώτη εκτέλεση του προγράμματος επιλέγουμε χαμηλές ταχύτητες κίνησης από το **Jog Box** με το αντίστοιχο περιστροφικό κομβίο. Επίσης είναι απαραίτητο να κρατάμε διαρκώς το **Jog Box** στα χέρια μας, ώστε να μπορούμε άμεσα να πατήσουμε το **RESET** (emergency stop) εφόσον αντιληφθούμε πιθανή πρόσκρουση της κεφαλής.

**Περιστροφικό
κομβίο**



Reset

Σχήμα 17: Εργαλειοθήκη Jog Box

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	Κωδικός ΟΕ-00	Διεξαγωγή Μέτρησης Τρίμματος εσωτερικής διαμέτρου 10 mm έως εξωτερικής διαμέτρου 650 mm με τη μηχανή DEA CMM		
		Αρ. Έκδοσης 1.1	Ημερομηνία Έκδοσης 1/10/2009	Σελίδα 13/14

3.7.7 Βήμα 32°

Μετά την πρώτη δοκιμαστική εκτέλεση και εφόσον αυτή έχει εξελιχθεί ομαλά προχωρούμε σε εκτέλεση με κανονική ταχύτητα (*ίδια με αυτή που καλιμπραρίστηκε η κεφαλή*) του προγράμματος μέτρησης, διατηρώντας πάντα επαφή με το **Jog Box** για άμεση πρόσβαση στο κομβίο **RESET** (emergency stop) σε περίπτωση ανάγκης.

Αν η πρώτη δοκιμαστική εκτέλεση του προγράμματος μέτρησης δεν εξελιχθεί ομαλά προχωρούμε σε εκ νέου δημιουργία προγράμματος μέτρησης 3.7.

3.8 Εξαγωγή αποτελεσμάτων

3.8.1 Βήμα 33°

Μετά το τρέξιμο του προγράμματος μέτρησης συνέχεια αντιγράφουμε (**copy-paste**) τα αποτελέσματα της μέτρησης στο φύλλο αποτελεσμάτων (**Δ-06-EN-6.xls**) που βρίσκεται στο φάκελο **Αποτελέσματα Μετρήσεων της Επιφάνειας Εργασίας**. Στο λογιστικό φύλλο αυτό συμπληρώνονται και τα πεδία που αφορούν τον κωδικό του δοκιμίου και την Εντολή Μέτρησης. Αποθηκεύουμε το αρχείο με τη μορφή:

[**Δ-06-EN-6**] _ [**εντολή μέτρησης**] (πχ. Δ-06-EN-6_ΕΣ5.xls).

Σημείωση: Αν πραγματοποιηθούν κι άλλες δοκιμές που προβλέπονται από την ίδια εντολή μέτρησης τότε τα αποτελέσματα συμπληρώνονται πάλι στο ίδιο λογιστικό φύλλο.

3.8.2 Βήμα 34°

Εκτυπώνουμε και υπογράφουμε το λογιστικό φύλλο το οποίο και παραδίδεται στον Τεχνικό Υπεύθυνο.

3.9 Επαναλαμβανόμενες μετρήσεις

3.9.1 Βήμα 35°

Σε περίπτωση που ζητείται να μετρηθεί κάποια διάσταση περισσότερες από μια φορά, τότε τρέχουμε επαναληπτικά το πρόγραμμα μέτρησης ακολουθώντας τα βήματα των παραγράφων 3.7.5 έως 3.8.2.

3.10 Εξαγωγή αποτελεσμάτων περιβαλλοντικών συνθηκών

3.10.1 Βήμα 36°

Μετά την ολοκλήρωση της μέτρησης μεταβαίνουμε στην οθόνη του κεντρικού Η/Υ και επιλέγουμε το εικονίδιο διακοπής καταγραφής δεδομένων (κόκκινο απαγορευτικό εικονίδιο) για να σταματήσει η καταγραφή των περιβαλλοντικών συνθηκών.

3.10.2 Βήμα 37°

Επιλέγουμε το εικονίδιο αποθήκευσης και στο παράθυρο που ακολουθεί επιλέγουμε «**Select Channels Containing Data**», τσεκάρουμε «**ASCII II**», επιλέγουμε φάκελο αποθήκευσης «**C:/TEMP LOG**», δίνουμε όνομα αρχείου με τη μορφή “ [**αριθμός υπόθεσης**] – [**α/α μέτρησης**] ” και πατούμε **OK**.

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	Κωδικός ΟΕ-00	Διεξαγωγή Μέτρησης Τρίμματος εσωτερικής διαμέτρου 10 mm έως εξωτερικής διαμέτρου 650 mm με τη μηχανή DEA CMM		
		Αρ. Έκδοσης 1.1	Ημερομηνία Έκδοσης 1/10/2009	Σελίδα 14/14

4 Έντυπα

- 4.1 Δ-06-EN-1: «Εντολή Μέτρησης»
- 4.2 Δ-06-EN-6: «Φύλλο Αποτελεσμάτων Μετρήσεων CMM»
- 4.3 Δ-06-EN-4: «Περιβαλλοντικές Συνθήκες Μέτρησης»

5 Αρχεία

Τα ηλεκτρονικά αρχεία που τηρούνται στον Η/Υ που συνοδεύει την μηχανή DEA CMM, όπως αναφέρεται στην παράγραφο 3.8.1, αλλά και τα ηλεκτρονικά αρχεία που τηρούνται στον Η/Υ που συνοδεύει το Data Logger, όπως αναφέρεται στην παράγραφο 3.10.2, είναι μη ελεγχόμενα αρχεία.

Με το πέρας των μετρήσεων, τα εκτυπωμένα και υπογεγραμμένα από τον αρμόδιο για την μέτρηση τεχνικό Δ-06-EN-6 και Δ-06-EN-4, παραδίδονται μαζί με το Δ-06-EN-1 στον Τεχνικό Υπεύθυνο, ο οποίος και τα αρχειοθετεί όπως προβλέπεται στη σχετική διαδικασία Δ06: «Μετρήσεις & Έκδοση Αποτελεσμάτων».

6 Ιστορικό Τροποποιήσεων

ΕΚΔΟΣΗ	ΗΜ/ΝΙΑ	ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΙΤΙΑΣ ΑΛΛΑΓΗΣ
1.1	1/10/2008	Αρχική Έκδοση