

AthensMBA

**ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ
ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ «Athens MBA»**

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ (ΟΠΑ)

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ (ΕΜΠ)

Μηχανουργείο CNC Solutions



Μεταπτυχιακή Εργασία στα πλαίσια του Athens MBA

**“Ανάπτυξη και επικύρωση μεθόδων μέτρησης υψηλής
ακριβείας με CMM σε μηχανουργείο CNC”**

Μπιτσάνης Ηλίας

Επιβλέποντες Καθηγητές: Β. Ι. Λεώπουλος – Γ. Χατζηστέλιος

Ιανουάριος 2019

Αθήνα

Ευχαριστίες

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εκπονήθηκε σε συνεργασία του Μετροτεχνικού Εργαστηρίου του Τομέα Βιομηχανικής Διοίκησης και Επιχειρησιακής Έρευνας της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (ΕΜΠ) με το μηχανουργείο CNC Solutions, υπό την επίβλεψη του Καθηγητή κ. Λεώπουλου Βρασίδα και Δόκτορα κ. Χατζηστελίου Γεώργιου.

Εκ προοιμίου θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλους όσους συνέβαλλαν και βοήθησαν στην πραγματοποίησή της.

Καταρχάς στους επιβλέποντες καθηγητές μου, κ. Λεώπουλο Βρασίδα και κ. Γεώργιο Χατζηστελίο για την προθυμία τους να με βοηθήσουν και να συζητήσουν μαζί μου κάθε απορία και προβληματισμό που μου προέκυψε κατά τη διεξαγωγή της Μεταπτυχιακής μου Εργασίας, καθώς επίσης και για το ευχάριστο και φιλικό κλίμα που κατάφεραν να δημιουργήσουν κατά τη συνεργασία τους. Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Γεώργιο Καϊσαρλή, για την πολύτιμη βοήθεια του στη διεξαγωγή μετρήσεων στο Εργαστήριο Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων – Εργαλείων & Αντίστροφου Μηχανολογικού Σχεδιασμού του Ε.Μ.Π..

Ιδιαίτερες ευχαριστίες αποδίδονται στην ανώτατη διοίκηση της εταιρείας – μηχανουργείου CNC Solutions που εδρεύει στο 19^ο χλμ Αθηνών Λαυρίου στην Παιανία Αττικής και ειδικότερα στον Τεχνικό Διευθυντή κ. Κωνσταντίνο Ένεζλη και στον Εμπορικό Διευθυντή κ. Παναγιώτη Γούνα για τη άψογη συνεργασία τους και το ενδιαφέρον που έδειξαν κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της μεταπτυχιακής εργασίας. Επίσης, θερμά ευχαριστώ στην Υπεύθυνη Ποιοτικού Ελέγχου κ. Καλλιόπη Γούνα που μου μετάδωσε τις απαραίτητες γνώσεις χειρισμού και προγραμματισμού μετρητικών μηχανημάτων συντεταγμένων (CMM), καθώς και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε από την αρχή.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και ιδιαίτερα τον δίδυμο αδερφό μου Στάθη για όλα αυτά τα χρόνια που επιχορηγούν αδιαμαρτύρητα τα όνειρα μου και με στηρίζουν σε όλους τους τομείς της ζωής μου.

Περίληψη

Στο πεδίο της βιομηχανικής μετρολογίας διαστάσεων και γεωμετρικών ανοχών η αυξανόμενη χρήση των Μηχανών Μέτρησης Συντεταγμένων (ΜΜΣ), που έχουν καθιερωθεί διεθνώς ως το καταλληλότερο μετρητικό μέσο για τον ολοκληρωμένο ποιοτικό έλεγχο στη βιομηχανική παραγωγή, συνδέεται άμεσα με τις σύγχρονες απαιτήσεις υψηλής ακρίβειας σε συνδυασμό με τη μείωση του κόστους και του χρόνου παραγωγής των μηχανολογικών κατασκευών. Στην εργασία παρουσιάζεται η αρχική φάση της διαδικασίας σχεδίασης, υλοποίησης και αξιολόγησης διεργαστηριακής σύγκρισης που αφορά διαδικασίες μέτρησης διαστάσεων οι οποίες εκτελούνται με τη χρήση ΜΜΣ.

Η διεργαστηριακή σύγκριση έγινε μεταξύ: του Μετροτεχνικού Εργαστηρίου (ΜΕ) Δοκιμών του Τομέα Βιομηχανικής Διοίκησης & Επιχειρησιακής Έρευνας της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του Ε.Μ.Π, του Εργαστηρίου Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων & Εργαλείων – Αντίστροφου Σχεδιασμού (ΤΚΠ-Ε&ΑΣ) του Τομέα Μηχανολογικών Κατασκευών και Αυτομάτου Ελέγχου της ίδιας Σχολής και του εργαστηρίου Ποιοτικού Ελέγχου του μηχανουργείου CNC Solutions, το οποίο εξειδικεύεται στην παραγωγή εξαρτημάτων υψηλής ακρίβειας. Επομένως πρόκειται για μια σύγκριση που αφορά μία ΜΜΣ που λειτουργεί σε βιομηχανικό περιβάλλον και δυο ΜΜΣ που λειτουργούν για ερευνητικούς σκοπούς. Η εν λόγω διεργαστηριακή σύγκριση έχει στόχο τη διερεύνηση των επιδόσεων των εργαστηρίων, τη συγκριτική αντιπαραβολή εφαρμοζόμενων τεχνικών, μεθόδων και πρακτικών και την επικύρωση μεθόδων μέτρησης υψηλής ακριβείας με CMM σε μηχανουργείο CNC. Δημιουργήθηκε ένα αυτόματο πρόγραμμα λήψης των γεωμετρικών στοιχείων της πλάκας αλουμινίου, για να περιοριστεί στο ελάχιστο το ανθρώπινο σφάλμα και επιλέχθηκαν 2 διαφορετικά συστήματα συντεταγμένων (επίπεδο αναφοράς για τον ορισμό του άξονα z, γραμμή για τον ορισμό του άξονα x, γραμμή για τον ορισμό του άξονα y).

Επιπλέον για κάθε εργαστήριο υπολογίστηκαν οι πηγές αβεβαιότητας και καταστρώθηκε ένα ισοζύγιο. Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της διεργαστηριακής σύγκρισης υπολογίστηκαν οι τιμές των κριτήριων: z-score, z'-score και το κανονικοποιημένο σφάλμα E_n -value, σύμφωνα με το πρότυπο ISO 13528. Από τα αποτελέσματα της δοκιμής προκύπτει ικανοποιητική συμφωνία μεταξύ των μετρήσεων των τριών εργαστηρίων.

Abstract

In the field of industrial dimensional metrology and geometric tolerances, the recognition of Coordinate Measurement Machines (CMM), as the most appropriate universal tool for highly accurate and rapid measurement operations and integrated quality control in today's industrial environment, is directly linked to modern high precision requirements combined with the reduction of inspection cost and time. The paper presents the initial phase of design, implementation and evaluation of inter laboratorial comparison study that concerns dimensional measurement procedures which are carried out by the use of the CMM.

The laboratories involved in the comparison study are: the Metrotechnics Laboratory of the Mechanical Engineering School in NTUA, the Rapid Prototyping & Tooling – Reverse Engineering Laboratory of the same NTUA School and the Quality Control Laboratory of the CNC Solutions, which is an CNC machine shop specialized in the production of high precision components and spare parts. Therefore the comparison was designed between an CMM, which operates in industrial environment and two CMM, which operate for scientific targets. This inter laboratorial comparison aims to investigate the performance of the two laboratories, compare the applied techniques, methods and practices and validate the high precision measurement methods with CMM in a CNC machine shop. An automated program was created for the measurement of an aluminum plate in order to minimize the human error and two different coordinate systems were selected (reference plane for the definition of the z axis, line for the definition of the x axis, line for the definition of the axis y).

In addition, the sources of uncertainty were calculated for each laboratory. For the evaluation of the results of the inter laboratorial comparison the criteria z-score, z'-score and the normalized E_n -value error were calculated according to ISO 13528. The results of the experiment arise satisfactory agreement between the measurements of three laboratories.

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1 Άξονες σε μια Μηχανή Μέτρησης Συντεταγμένων (CMM)	22
Εικόνα 2 Δομή αισθητήρα επαφής (Μανσούρ & Καραχάλιου,2007).....	23
Εικόνα 3 Διάφοροι τύποι Στυλίσκων.....	24
Εικόνα 4 Διαφορετικές συνδεσμολογίες σώματος, στυλίσκου, επαφέα	24
Εικόνα 5 Οι πέντε βασικοί τύποι μετρητικών μηχανών CMM (Μανσούρ & Καραχάλιου,2007)	26
Εικόνα 6 Πρότυπη σφαίρα κατά την διάρκεια της διακρίβωσης της κεφαλής (Μανσούρ & Καραχάλιου,2007).....	27
Εικόνα 7 Σφάλμα που οφείλεται στην απόκλιση του άξονα του αισθητήρα από την κάθετο στην επιφάνεια μέτρησης (Μανσούρ & Καραχάλιου,2007)	28
Εικόνα 8 Καθορισμός γεωμετρικών στοιχείων (Μανσούρ & Καραχάλιου,2007).....	31
Εικόνα 9 Τρόποι Ορισμού Σημείου (Μανσούρ & Καραχάλιου,2007).....	32
Εικόνα 10 Τρόποι Ορισμού Κύκλου (Μανσούρ & Καραχάλιου,2007).....	32
Εικόνα 11 Τρόποι Ορισμού Ευθείας (Μανσούρ & Καραχάλιου,2007)	33
Εικόνα 12 Δυνατές επιλογές δισδιάστατης επιλογής (Μανσούρ & Καραχάλιου,2007)	34
Εικόνα 13 Τρισδιάστατη διαστασιολόγηση απόστασης σημείου από επίπεδο (Μανσούρ & Καραχάλιου,2007).....	35
Εικόνα 14 Χώρος μετρήσεων του εργαστηρίου και διδασκαλίας των φοιτητών.(Φωτογραφία από το site του εργαστηρίου)	37
Εικόνα 15 Μονάδα κλιματισμού για τη διατήρηση των επιθυμητών συνθηκών εντός της αίθουσας ελεγχόμενων συνθηκών. (Φωτογραφία από το site του εργαστηρίου)	38
Εικόνα 16 Κεντρική στήλη αισθητήρων. Αντίστοιχες στήλες και αισθητήρες υπάρχουν περιμετρικά του χώρου. (Φωτογραφία από το site του εργαστηρίου)	38
Εικόνα 17 Η αίθουσα ελεγχόμενων συνθηκών. Διακρίνονται ορισμένες από τις συσκευές μέτρησης και τον υπόλοιπο εξοπλισμό (ηλεκτρονικοί υπολογιστές, αισθητήρες, κασετίνες με πρότυπα, κ.α.). (Φωτογραφία από το site του εργαστηρίου)	40
Εικόνα 18 Μηχανή Μέτρησης Συντεταγμένων CMM στο ΤΚΠ/ΤΚΕ	41
Εικόνα 20 Φορητό όργανο μέτρησης τραχύτητας	42
Εικόνα 19 Φορητή Μηχανή Μέτρησης Συντεταγμένων τύπου αρθρωτού βραχίονα	42
Εικόνα 21 Αυτόματη Μηχανή Μέτρησης Συντεταγμένων CMM DEA	45
Εικόνα 22 Σταθερό Σκληρόμετρο Rockwell της Innovatest	46
Εικόνα 23 Τραχύμετρο TESA	47
Εικόνα 24 Ψηφιακό Παχύμετρο	48
Εικόνα 25 Ψηφιακό μικρόμετρο μέτρησης εξωτερικών διαστάσεων	48
Εικόνα 26 Μικρόμετρο τριών σημείων για μέτρηση οπών	49
Εικόνα 27 Ελεγκτήρας ορίων διαμέτρου 15H7	49
Εικόνα 28 Ελεγκτήρας ορίου διάστασης 27h6.....	49
Εικόνα 29 Συλλογή πρότυπων πλακιδίων.....	50
Εικόνα 30 Συνδυασμός πρότυπων πλακιδίων	50
Εικόνα 31 Πιστοποιητικό διακρίβωσης CMM DEA – CNC Solutions.....	61
Εικόνα 32 Πιστοποιητικό διακρίβωσης CMM DEA – Μετροτεχνικό Εργαστήριο ΕΜΠ	62
Εικόνα 33 Ελαστική παραμόρφωση σφαίρας σε επαφή με επίπεδο	63
Εικόνα 34 Ελαστική παραμόρφωση σφαίρας σε επαφή με εσωτερικό κύλινδρο	63

Εικόνα 35 Γεωμετρικά σφάλματα CMM	66
Εικόνα 36 Στιγμιότυπο από το αυτόματο πρόγραμμα λήψης των γεωμετριών της πλάκας .	73
Εικόνα 37 Πρώτο τοπικό σύστημα συντεταγμένων.....	73
Εικόνα 38 Δεύτερο τοπικό σύστημα συντεταγμένων	74

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1 Ανοχές Μορφής.....	19
Πίνακας 2 Ανοχές Θέσης	20
Πίνακας 3 Συντελεστής θερμικής διαστολής ανάλογα με το υλικό	59
Πίνακας 4 Συγκεντρωτικός πίνακας των αποτελεσμάτων σύμφωνα με το κανονικοποιημένο σφάλμα $E_n - 1^\circ$ Σύστημα Συντεταγμένων	104
Πίνακας 5 Συγκεντρωτικός πίνακας των αποτελεσμάτων σύμφωνα με το κανονικοποιημένο σφάλμα $- 2^\circ$ Σύστημα Συντεταγμένων	104
Πίνακας 6 Συγκεντρωτικός πίνακας των αποτελεσμάτων – Συνολικές Μετρήσεις.....	104
Πίνακας 7 Συγκεντρωτικός πίνακας των αποτελεσμάτων σύμφωνα με το z & z' score $- 1^\circ$ Σύστημα Συντεταγμένων.....	105
Πίνακας 8 Συγκεντρωτικός πίνακας των αποτελεσμάτων σύμφωνα με το z & z' score $- 1^\circ$ Σύστημα Συντεταγμένων.....	105

Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1 Κανονικοποιημένο Σφάλμα E_n Αποστάσεων Επιπέδου από Επίπεδο (2D) – 1 ^ο Σύστημα Συνταγμένων	75
Διάγραμμα 2 Κανονικοποιημένο Σφάλμα E_n Αποστάσεων Οπής από Επίπεδο (2D) – 1 ^ο Σύστημα Συνταγμένων	76
Διάγραμμα 3 Κανονικοποιημένο Σφάλμα E_n Αποστάσεων Οπής από Επίπεδο (3D) – 1 ^ο Σύστημα Συνταγμένων	76
Διάγραμμα 4 Κανονικοποιημένο Σφάλμα E_n Αποστάσεων Επιπέδου από Επίπεδο (3D) – 1 ^ο Σύστημα Συνταγμένων	77
Διάγραμμα 5 Κανονικοποιημένο Σφάλμα E_n - Επιτεδότητα Επιφανειών – 1 ^ο Σύστημα Συνταγμένων	78
Διάγραμμα 6 Κανονικοποιημένο Σφάλμα E_n – Διάμετροι Οπών – 1 ^ο Σύστημα Συνταγμένων	78
Διάγραμμα 7 Κανονικοποιημένο Σφάλμα E_n Αποστάσεων Οπής από Επίπεδο (2D) – 2 ^ο Σύστημα Συνταγμένων	79
Διάγραμμα 8 Κανονικοποιημένο Σφάλμα E_n Αποστάσεων Επίπεδο από Επίπεδο (2D) – 2 ^ο Σύστημα Συνταγμένων	79
Διάγραμμα 9 Κανονικοποιημένο Σφάλμα E_n Αποστάσεων Οπής από Επίπεδο (3D) – 2 ^ο Σύστημα Συνταγμένων	80
Διάγραμμα 10 Κανονικοποιημένο Σφάλμα E_n Αποστάσεων Επίπεδο από Επίπεδο (3D) – 2 ^ο Σύστημα Συνταγμένων	80
Διάγραμμα 11 Κανονικοποιημένο Σφάλμα E_n – Διάμετροι Οπών – 2 ^ο Σύστημα Συνταγμένων	81
Διάγραμμα 12 Κανονικοποιημένο Σφάλμα E_n - Επιτεδότητα Επιφανειών – 2 ^ο Σύστημα Συνταγμένων	81
Διάγραμμα 13 Κανονικοποιημένο Σφάλμα E_n Αποστάσεων από Επίπεδο (3D) – Συνολικές Μετρήσεις	82
Διάγραμμα 14 Κανονικοποιημένο Σφάλμα E_n Αποστάσεων Οπής από Επίπεδο (3D) – Συνολικές Μετρήσεις	82
Διάγραμμα 15 Κανονικοποιημένο Σφάλμα E_n – Διάμετροι Οπών – Συνολικές Μετρήσεις....	83
Διάγραμμα 16 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score – Αποστάσεις Οπής από Επίπεδο (2D) – 1 ^ο Σύστημα Συντεταγμένων – Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου CNC Solutions	84
Διάγραμμα 17 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score – Αποστάσεις Επιπέδου από Επίπεδο (2D) – 1 ^ο Σύστημα Συντεταγμένων - Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου CNC Solutions	84
Διάγραμμα 18 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score – Αποστάσεις Οπής από Επίπεδο (3D) – 1 ^ο Σύστημα Συντεταγμένων - Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου CNC Solutions.....	85
Διάγραμμα 19 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score – Αποστάσεις Επιπέδου από Επίπεδο (3D) – 1 ^ο Σύστημα Συντεταγμένων - Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου CNC Solutions	85
Διάγραμμα 20 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score – Διάμετροι Οπών – 1 ^ο Σύστημα Συντεταγμένων - Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου CNC Solutions.....	86
Διάγραμμα 21 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score –Επιτεδότητα επιφανειών – 1 ^ο Σύστημα Συντεταγμένων - Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου CNC Solutions.....	86
Διάγραμμα 22 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score – Αποστάσεις Οπής από Επίπεδο (2D) – 1 ^ο Σύστημα Συντεταγμένων – Μετροτεχνικό Εργαστήριο Ε.Μ.Π.	87

Διάγραμμα 23 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score – Αποστάσεις Επιπέδου από Επίπεδο (2D) – 1 ^ο Σύστημα Συντεταγμένων – Μετροτεχνικό Εργαστήριο Ε.Μ.Π.	88
Διάγραμμα 24 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score – Αποστάσεις Οπής από Επίπεδο (3D) – 1 ^ο Σύστημα Συντεταγμένων – Μετροτεχνικό Εργαστήριο Ε.Μ.Π.	88
Διάγραμμα 25 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score – Αποστάσεις Επιπέδου από Επίπεδο (3D) – 1 ^ο Σύστημα Συντεταγμένων – Μετροτεχνικό Εργαστήριο Ε.Μ.Π.	89
Διάγραμμα 26 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score – Διάμετροι Οπών – 1 ^ο Σύστημα Συντεταγμένων – Μετροτεχνικό Εργαστήριο Ε.Μ.Π.	89
Διάγραμμα 27 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score – Επιπεδότητα επιφανειών – 1 ^ο Σύστημα Συντεταγμένων – Μετροτεχνικό Εργαστήριο Ε.Μ.Π.	90
Διάγραμμα 28 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score – Αποστάσεις Οπής από Επίπεδο (2D) – 1 ^ο Σύστημα Συντεταγμένων - Εργαστήριο Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων Καλουπιών & Αντίστροφου Σχεδιασμού	91
Διάγραμμα 29 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score – Αποστάσεις Επιπέδου από Επίπεδο (2D) – 1 ^ο Σύστημα Συντεταγμένων - Εργαστήριο Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων Καλουπιών & Αντίστροφου Σχεδιασμού	91
Διάγραμμα 30 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score - Αποστάσεις Οπής από Επίπεδο (3D) – 1 ^ο Σύστημα Συντεταγμένων - Εργαστήριο Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων Καλουπιών & Αντίστροφου Σχεδιασμού	92
Διάγραμμα 31 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score - Αποστάσεις Επιπέδου από Επίπεδο (3D) – 1 ^ο Σύστημα Συντεταγμένων - Εργαστήριο Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων Καλουπιών & Αντίστροφου Σχεδιασμού	92
Διάγραμμα 32 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score – Διάμετροι Οπών – 1 ^ο Σύστημα Συντεταγμένων - Εργαστήριο Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων Καλουπιών & Αντίστροφου Σχεδιασμού.....	93
Διάγραμμα 33 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score – Επιπεδότητα Επιφανειών – 1 ^ο Σύστημα Συντεταγμένων - Εργαστήριο Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων Καλουπιών & Αντίστροφου Σχεδιασμού.....	93
Διάγραμμα 34 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score – Αποστάσεις Οπής από Επίπεδο (2D) – 2 ^ο Σύστημα Συντεταγμένων – Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου CNC Solutions	94
Διάγραμμα 35 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score – Αποστάσεις Επιπέδου από Επίπεδο (2D) – 2 ^ο Σύστημα Συντεταγμένων – Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου CNC Solutions	94
Διάγραμμα 36 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score – Αποστάσεις Οπής από Επίπεδο (3D) – 2 ^ο Σύστημα Συντεταγμένων – Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου CNC Solutions	95
Διάγραμμα 37 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score – Αποστάσεις Επιπέδου από Επίπεδο (3D) – 2 ^ο Σύστημα Συντεταγμένων – Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου CNC Solutions	95
Διάγραμμα 38 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score – Διάμετροι Οπών – 2 ^ο Σύστημα Συντεταγμένων – Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου CNC Solutions.....	96
Διάγραμμα 39 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score – Επιπεδότητα Επιφανειών– 2 ^ο Σύστημα Συντεταγμένων – Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου CNC Solutions.....	96
Διάγραμμα 40 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score – Αποστάσεις Οπής από Επίπεδο (2D) – 2 ^ο Σύστημα Συντεταγμένων – Μετροτεχνικό Εργαστήριο Ε.Μ.Π.....	97
Διάγραμμα 41 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score – Αποστάσεις Επιπέδου από Επίπεδο (2D) – 2 ^ο Σύστημα Συντεταγμένων – Μετροτεχνικό Εργαστήριο Ε.Μ.Π.	97

Διάγραμμα 42 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score – Αποστάσεις Οπής από Επίπεδο (3D) – 2 ^ο Σύστημα Συντεταγμένων – Μετροτεχνικό Εργαστήριο Ε.Μ.Π.	98
Διάγραμμα 43 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score – Αποστάσεις Επιπέδου από Επίπεδο (3D) – 2 ^ο Σύστημα Συντεταγμένων – Μετροτεχνικό Εργαστήριο Ε.Μ.Π.	98
Διάγραμμα 44 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score – Διάμετροι οπών – 2 ^ο Σύστημα Συντεταγμένων – Μετροτεχνικό Εργαστήριο Ε.Μ.Π.	99
Διάγραμμα 45 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score –Επιπεδότητα Επιφανειών – 2 ^ο Σύστημα Συντεταγμένων – Μετροτεχνικό Εργαστήριο Ε.Μ.Π.	99
Διάγραμμα 46 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score - Αποστάσεις Οπής από Επίπεδο (2D) – 2 ^ο Σύστημα Συντεταγμένων - Εργαστήριο Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων Καλουπιών & Αντίστροφου Σχεδιασμού	100
Διάγραμμα 47 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score - Αποστάσεις Επιπέδου από Επίπεδο (2D) – 2 ^ο Σύστημα Συντεταγμένων - Εργαστήριο Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων Καλουπιών & Αντίστροφου Σχεδιασμού	100
Διάγραμμα 48 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score - Αποστάσεις Οπής από Επίπεδο (3D) – 2 ^ο Σύστημα Συντεταγμένων - Εργαστήριο Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων Καλουπιών & Αντίστροφου Σχεδιασμού	101
Διάγραμμα 49 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score - Αποστάσεις Επιπέδου από Επίπεδο (3D) – 2 ^ο Σύστημα Συντεταγμένων - Εργαστήριο Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων Καλουπιών & Αντίστροφου Σχεδιασμού	101
Διάγραμμα 50 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score – Διάμετροι Οπών – 2 ^ο Σύστημα Συντεταγμένων - Εργαστήριο Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων Καλουπιών & Αντίστροφου Σχεδιασμού.....	102
Διάγραμμα 51 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score – Επιπεδότητα Επιφανειών– 2 ^ο Σύστημα Συντεταγμένων - Εργαστήριο Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων Καλουπιών & Αντίστροφου Σχεδιασμού.....	102

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	2
Περίληψη	3
Abstract	4
Κατάλογος Εικόνων	5
Κατάλογος Πινάκων	6
Κατάλογος Διαγραμμάτων.....	7
Εισαγωγή.....	12
1.1 Ποιότητα	13
1.2 Προδιαγραφές	14
1.3 Ποιοτικός έλεγχος - Έλεγχος Παραγωγής	15
1.4 Γεωμετρικές και Διαστασιολογικές Προδιαγραφές Ακρίβειας στις Μηχανολογικές Κατασκευές	18
2 Μηχανές Μέτρησης Συντεταγμένων (Coordinate Measuring Machine – CMM).....	21
2.1 Γενικά	21
2.2 Κατηγοριοποίηση ΜΜΣ.....	23
2.3 Διακρίβωση κεφαλής αισθητήρα	27
2.4 Σύστημα Έδρασης (Bearing System)	28
2.5 Σύστημα συλλογής, ελέγχου και επεξεργασίας δεδομένων	29
3. Λογισμικό της CMM.....	30
3.1 Γενικά	30
3.2 Διαμόρφωση Λογισμικού.....	30
3.3 Συστήματα Συντεταγμένων	34
3.4 Διαστασιολόγηση	34
3.4.1 Δισδιάστατη Διαστασιολόγηση	34
3.4.2 Τρισδιάστατη Διαστασιολόγηση (3D)	34
3.5 Υπολογισμός διαμέτρου οπής ή εξωτερικού άξονα.....	35
4. Μετροτεχνικό Εργαστήριο Ε.Μ.Π.	36
4.1 Γενικά	36
4.2 Αίθουσα ελεγχόμενων συνθηκών	37
5. Εργαστήριο Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων -Εργαλείων & Αντίστροφου Μηχανολογικού Σχεδιασμού του Ε.Μ.Π.	41
5.1 Γενικά	41
6. Μηχανουργείο CNC Solutions.....	43

6.1 Γενικά	43
6.2 Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου	44
6.3 Αρχές Διαχείρισης της Ποιότητας της CNC Solutions	51
6.4 Πολιτική Ποιότητας της CNC Solutions.....	54
7. Αβεβαιότητα	56
7.1 Έννοιες και Ορισμοί.....	56
7.2 Προσδιορισμός πηγών αβεβαιότητας CMM	57
7.3 Ποσοτικοποίηση των πηγών αβεβαιότητας	57
7.4 Συνδυασμένη Αβεβαιότητα	64
7.5 Διευρυμένη αβεβαιότητα.....	64
8. Σχεδίαση Πειράματος.....	65
8.1 Παράγοντες που επηρεάζουν το αποτέλεσμα μέτρησης με CMM.....	65
8.2 Παράγοντες που επηρεάζουν τη διαδικασία μέτρησης	65
8.3 Σχεδίαση διεργαστηριακής σύγκρισης.....	69
9. Ανάλυση – Παρουσίαση Αποτελεσμάτων.....	75
9.1 Διαγράμματα Κανονικοποιημένου Σφάλματος E_n – 1 ^ο Σύστημα Συντεταγμένων	75
9.2 Διαγράμματα Κανονικοποιημένου Σφάλματος E_n – 2 ^ο Σύστημα Συντεταγμένων	79
9.3 Διαγράμματα Κανονικοποιημένου Σφάλματος E_n – Συνολικές Μετρήσεις	82
9.4 Διαγράμματα z & z' score – Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου της CNC Solutions - 1 ^ο Σύστημα Συντεταγμένων	84
9.5 Διαγράμματα z & z' score – Μετροτεχνικό Εργαστήριο του Ε.Μ.Π - 1 ^ο Σύστημα Συντεταγμένων	87
9.6 Διαγράμματα z & z' score – Εργαστήριο Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων Καλουπιών του Ε.Μ.Π.- 1 ^ο Σύστημα Συντεταγμένων.....	90
9.7 Διαγράμματα z & z' score – Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου της CNC Solutions - 2 ^ο Σύστημα Συντεταγμένων.....	94
9.8 Διαγράμματα z & z' score – Μετροτεχνικό Εργαστήριο του Ε.Μ.Π - 2 ^ο Σύστημα Συντεταγμένων	97
9.9 Διαγράμματα z & z' score – Εργαστήριο Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων Καλουπιών του Ε.Μ.Π. - 2 ^ο Σύστημα Συντεταγμένων.....	100
10. Συμπεράσματα & Μελλοντική Έρευνα	104
Βιβλιογραφικές Αναφορές	107
Παράρτημα – Οδηγία Εργασίας CMM - CNC Solutions	1

Εισαγωγή

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η επικύρωση μεθόδων μέτρησης υψηλής ακριβείας με Μηχανή Μέτρησης Συντεταγμένων (CMM) σε μηχανουργείο με εργαλειομηχανές CNC και η διερεύνηση της ικανότητας του εργαστηρίου Ποιοτικού Έλεγχου να παρέχει μετρήσεις υψηλής ακριβείας στους πελάτες. Για αυτό το λόγο πραγματοποιήθηκε μια διεργαστηριακή σύγκριση όπου συμμετείχαν για αρχή το Μετροτεχνικό εργαστήριο Δοκιμών του Τομέα Βιομηχανικής Διοίκησης & Επιχειρησιακής Έρευνας της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του Ε.Μ.Π και το εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου του μηχανουργείου CNC Solutions.

Για να υλοποιηθεί το παραπάνω ζητούμενο είναι απαραίτητο να προηγηθεί ανάλυση της διεργαστηριακής σύγκρισης και κατανόηση της διαδικασίας. Καταρχήν καθορίζονται οι βασικές έννοιες της ποιότητας, των προδιαγραφών αλλά αναφέρονται οι λόγοι για τους οποίους είναι απαραίτητος ο έλεγχος ποιότητας. Επιπλέον γίνεται ανάλυση των στοιχείων της μηχανής CMM, καθώς και των παραγόντων οι οποίοι επιδρούν στη μέτρηση και διερευνάται ο βαθμός επίδρασης τους, σύμφωνα με την υπάρχουσα βιβλιογραφία. Εφόσον καθορίζονται οι παράγοντες αβεβαιότητας σε κάθε εργαστήριο καταστρώνεται ένα ισοζύγιο αβεβαιότητας και υπολογίζεται η τυπική αβεβαιότητα σε κάθε εργαστήριο.

Επιλέχτηκε να μετρηθεί μια πλάκα αλουμινίου με διαμπερείς οπές, η οποία κατεργάστηκε σε CNC φρέζα. Δημιουργήθηκε ένα αυτόματο πρόγραμμα λήψης της γεωμετρίας της πλάκας στη ΜΜΣ, με το οποίο πραγματοποιηθήκαν 6 set μετρήσεων σε κάθε εργαστήριο. Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της διεργαστηριακής σύγκρισης υπολογίστηκαν οι τιμές του κανονικοποιημένου σφάλματος E_n -value, λαμβάνοντας υπόψη την συνδυασμένη αβεβαιότητα του κάθε εργαστηρίου. Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων προέκυψε ικανοποιητική συμφωνία μεταξύ των δύο εργαστηρίων του Μετροτεχνικού Εργαστηρίου του Ε.Μ.Π. και του εργαστηρίου Ποιοτικού Ελέγχου του μηχανουργείου CNC Solutions, αλλά υπήρχαν και κάποιες μετρήσεις που ξεπέρασαν τα αποδεκτά όρια του κριτηρίου.

Για περαιτέρω διερεύνηση αποφασίστηκε να υπολογιστούν και άλλα κριτήρια αξιολόγησης όπως το z score και z' score που εφαρμόζονται ευρέως σε παρόμοιες διεργαστηριακές δοκιμές. Για αυτό το λόγο στη διεργαστηριακή σύγκριση συμμετείχε και το εργαστήριο Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων & Εργαλείων – Αντίστροφου Σχεδιασμού που ανήκει στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Ε.Μ.Π., το οποίο διαθέτει ΜΜΣ όπου έγιναν οι μετρήσεις με το ίδιο πρόγραμμα μέτρησης. Στη συνέχεια υπολογίστηκε η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση των τριών εργαστηρίων και κατά συνέπεια υπολογίστηκαν τα κριτήρια z score και z' score για κάθε εργαστήριο. Σύμφωνα με τα κριτήρια z score και z' score διαπιστώθηκε 100% συμφωνία και των τριών εργαστηρίων μεταξύ τους, καθώς καμία τιμή δεν ξεπέρασε τα αποδεκτά όρια των κριτηρίων. Επομένως, επαληθεύθηκε η τεχνική ικανότητα του Εργαστηρίου Ποιοτικού Ελέγχου της CNC Solutions να παρέχει μετρήσεις υψηλής ακριβείας.

Ποιότητα – Προδιαγραφές – Έλεγχος Ποιότητας

1.1 Ποιότητα

Τα άτομα αγοράζουν διάφορα αγαθά (προϊόντα) για να τα χρησιμοποιήσουν και να ικανοποιήσουν με αυτά τις ανάγκες τους, κανένα αγαθό (προϊόν) δεν πρόκειται να πωληθεί, εάν δεν είναι κατασκευασμένο για να ικανοποιεί μια συγκεκριμένη ανάγκη. Οι παραγωγοί λοιπόν δεν έχουν παρά να κατασκευάζουν τα διάφορα αγαθά (προϊόντα) με βάση τις επιθυμίες των υποψηφίων πελατών, γιατί τότε είναι δυνατό να πουλήσουν τα προϊόντα τους και συνεπώς να κερδίσουν.

Ο καταναλωτής δέχεται να πληρώσει για να ικανοποιήσει την ανάγκη του και μάλιστα να πληρώσει τόσο περισσότερο, όσο περισσότερο ικανοποιείται η ανάγκη του. Οι παραγωγοί δαπανάνε χρήματα και υλικά, την κατεργασία και την πώληση και λαμβάνουν το αντίτιμο που καταβάλλει ο καταναλωτής.

Ο καταναλωτής καταβάλλει περισσότερα ανάλογα με την εξυπηρέτηση την οποία απολαμβάνει από το προϊόν και αφού 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 τρόπο.

Με την λέξη ποιότητα εννοούμε το χαρακτηριστικό ή τα χαρακτηριστικά που καθιστούν το προϊόν κατάλληλο για το σκοπό για το οποίο προορίζεται. Η τελική προτίμηση του πελάτη θα εξαρτηθεί ίσως και από το χρόνο παράδοσης. Ο όρος ποιότητα προκαλεί συχνά σύγχυση, διότι ερμηνεύεται με διαφορετικούς τρόπους ανάλογα με τη σκοπιά από την οποία εξετάζεται. Σύμφωνα με τον Πλάτωνα, η ποιότητα ήταν συνδεδεμένη με την αρετή, την ηθική, πνευματική και φυσική υπεροχή του ανθρώπου.

Σήμερα, ως ποιότητα θεωρείται η αίσθηση της υπεροχής (excellence) που προσδίδει η απόκτηση ενός αγαθού, απόλυτα αναγνωρίσιμου, για τα εξαιρετικά χαρακτηριστικά του. Οι Abbot και Feigenbaum όρισαν την ποιότητα ως αξία (value - based criteria). Η αξία αυτή καθορίζεται από την ποιότητα του παρεχόμενου προϊόντος ή της υπηρεσίας και της τιμής που προσφέρεται, τα οποία αποτελούν κριτήριο αποδοχής ή απόρριψης για τον πελάτη (Βασταρδή 2005).

Σύμφωνα με τον Gilmore, ποιότητα είναι η συμμόρφωση προς τις προδιαγραφές. Αυτή η έννοια της ποιότητας αναφέρεται στο κατά πόσο ικανοποιούνται οι τεχνικές προδιαγραφές ενός προϊόντος, έτσι ώστε να αποφύγουμε οποιαδήποτε απώλεια, προκειμένου να πετύχουμε καλύτερη ποιότητα με χαμηλότερο κόστος. Αντίστοιχα, ο Crosby καθορίζει την ποιότητα σύμφωνα με το βαθμό ικανοποίησης των απαιτήσεων του πελάτη.

Τέλος, ο Deming θεωρεί την ποιότητα ως έναν ατελείωτο κύκλο συνεχούς βελτίωσης. Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο, πριν εφαρμοστεί μία διαδικασία, σχεδιάζεται, εκτελείται,

μελετούνται τα αποτελέσματα και γίνονται ανάλογες ενέργειες προς έναν νέο κύκλο βελτίωσης.

Σύμφωνα με τον ορισμό που περιέχεται στο πρότυπο ISO 9000, ποιότητα είναι το σύνολο των χαρακτηριστικών ενός προϊόντος ή μίας υπηρεσίας που αναφέρεται στην ικανότητά του να ικανοποιεί τόσο τις δεδομένες όσο και τις και τις αναμενόμενες ανάγκες.

1.2 Προδιαγραφές

Για να μπορέσει όμως το τμήμα παραγωγής να κατασκευάσει προϊόντα κατάλληλα για το σκοπό για τον οποίο προορίζονται σε ποιότητα και σε τιμή που θα προσελκύσουν τον καταναλωτή, πρέπει να μελετήσει τα χαρακτηριστικά που συνθέτουν την ποιότητα, να τα καταγράψει και να καθορίσει τις επιτρεπόμενες διακυμάνσεις σε κάθε ένα από αυτά. Δηλαδή να κατανοήσει τις προδιαγραφές. Οι προδιαγραφές αφορούν τα τεχνικά, λειτουργικά και εργονομικά χαρακτηριστικά του προϊόντος, τα οποία έχουν οριστεί από το τμήμα σχεδιασμού.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά αναφέρονται στις κατασκευαστικές λεπτομέρειες, π.χ. το πάχος ενός τεμαχίου που έχει κατεργαστεί σε CNC εργαλειομηχανή, τα λειτουργικά χαρακτηριστικά αφορούν την απρόσκοπτη λειτουργία του προϊόντος, π.χ. το μοτέρ να μην υπερθερμαίνεται σε συνεχή λειτουργία και τα εργονομικά χαρακτηριστικά αφορούν θέματα χρήσης, π.χ. η πλάτη της καρέκλας να έχει εργονομική καμπυλωτή διαμόρφωση ώστε να μιμείται την καμπυλότητα της σπονδυλικής στήλης και να στηρίζει επαρκώς το τη μέση και το άνω μέρος του κορμού.

Στην κατάσταση των προδιαγραφών ο σχεδιαστής θα κατευθυνθεί από τις επιθυμίες και τις απαιτήσεις των καταναλωτών. Κρίνεται απαραίτητο να λάβει χώρα μια μελέτη αγοράς. Μάλιστα η μελέτη της αγοράς πρέπει να είναι συνεχής, δηλαδή να επαναλαμβάνεται κατά συχνότερα ή αραιότερα χρονικά διαστήματα, ώστε η παραγωγή να προσαρμόζεται στις νέες ή μεταβαλλόμενες απαιτήσεις ή επιθυμίες των πελατών του. Έτσι θα διατηρήσει η εταιρεία τους πελάτες του και θα προσελκύσει και νέους πελάτες.

Οι προδιαγραφές λοιπόν προκύπτουν από την μελέτη της αγοράς και καθοδηγούν την παραγωγή κατά την διάρκεια της μορφοποίησης του προϊόντος. Η επιτυχία μίας 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 διαθέσιμα μέσα παραγωγής καθορίζονται οι προδιαγραφές κατασκευής ή εσωτερικές προδιαγραφές. Οι προδιαγραφές κατασκευής είναι αυστηρότερες και πιο λεπτομερείς σε σχέση με τις εξωτερικές προδιαγραφές, ώστε τα προϊόντα να κατασκευαστούν σύμφωνα με αυτές 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 ανταποκρίνονται, δεν θα πωληθούν τα προϊόντα και θα παραμείνουν στις αποθήκες της εταιρείας, με αποτέλεσμα να επιβαρυνθεί η εταιρεία με το κόστος των υλικών και το κόστος παράγωγης. Για αυτό το λόγο κρίνεται, απαραίτητο να διασφαλίζεται σε κάθε στάδιο παραγωγής, ότι το παραγόμενο προϊόν ανταποκρίνεται στις προδιαγραφές του.

1.3 Ποιοτικός έλεγχος - Έλεγχος Παραγωγής

Παραγωγική διαδικασία, είναι εκείνη η διαδικασία κατά την οποία μηχανήματα (κεφαλαιουχικός εξοπλισμός πάσης φύσεως) χρησιμοποιούνται από ανθρώπους (εργαζόμενοι), μεταβάλλουν την μορφή και τις ιδιότητες των πρώτων υλών με αποτέλεσμα την παραγωγή προϊόντων. Κατά την διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας διάφοροι παράγοντες επιδρούν, έτσι ώστε μεταβάλλεται η μορφή και οι ιδιότητες των παραγόμενων προϊόντων. Επιβάλλεται λοιπόν η γνώση των παραγόντων αυτών και η επίδραση τους στα προϊόντα, ώστε με κατάλληλες ενέργειες να αποτρέπονται, αν είναι δυνατό, οι ανεπιθύμητες επιδράσεις τους. Στη παραγωγική διαδικασία το προϊόν μπορεί να είναι και υπηρεσία.

Οι παράγοντες που επιδρούν στην μορφή και στις ιδιότητες των παραγόμενων προϊόντων είναι:

- ❖ Οι πρώτες ύλες: Η σύνθεση και εν γένει οι ιδιότητες των πρώτων υλών
- ❖ Οι μηχανές: Το είδος των μηχανών, το είδος των εργαλείων, η κατάσταση και η εν γένει η λειτουργική ικανότητα των μηχανών, η συντήρηση τους και η ρύθμιση των μηχανών.
- ❖ Οι εργαζόμενοι: Η ικανότητα, η επιμέλεια, η ηλικία, η εμπειρία, η γενική και τεχνική εκπαίδευση των εργαζομένων, η τυποποίηση της κάθε εργασίας.
- ❖ Οι συνθήκες της εργασίας: Οι κλιματολογικές συνθήκες, οι διαπροσωπικές σχέσεις, τα παρεχόμενα κίνητρα, η ώρα και η διάρκεια της εργασίας κ.α.

Τα παραγόμενα προϊόντα πάντοτε διαφέρουν μεταξύ τους, επειδή είναι αδύνατο οι άνω παράγοντες να μείνουν σταθεροί. Οι πρώτες ύλες διαφέρουν από παρτίδα σε παρτίδα και από προμηθευτή σε προμηθευτή, 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 και στη μέθοδο κατεργασίας κ.α.) και οι συνθήκες εργασίας συνεχώς μεταβάλλονται (αλλαγή θερμοκρασίας, θόρυβοι, συμπεριφορά προϊσταμένου – διευθυντή, συμπεριφορά συναδέλφων).

Επειδή οι συνθήκες παραγωγής δεν παραμένουν αμετάβλητες και υπάρχει πάντα ο κίνδυνος απορρύθμισης της χρησιμοποιούμενης μηχανής με συνέπεια να παραχθούν

σκάρτα περισσότερο από τα προβλεπόμενα σύμφωνα με τις προδιαγραφές πρέπει να προβαίνουμε κατά διαστήματα σε έλεγχο των συνθηκών παραγωγής. Σε περίπτωση που παρατηρήσουμε αλλαγή στις συνθήκες παραγωγής πρέπει να επέμβουμε άμεσα και να αποκαταστήσουμε την ρύθμιση, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η ποιότητα που επιθυμούμε.

Βέβαια το πόσο συχνά θα κάνουμε τον έλεγχο της ρύθμισης της μηχανής ή των κοπτικών εργαλείων εξαρτάται όχι μόνο από την σταθερότητα των συνθηκών παραγωγής, αλλά και από την ακρίβεια των προδιαγραφών.

Σε μια φάση παραγωγής είναι δυνατόν να μη μεταβάλλονται οι συνθήκες παραγωγής και συνεπώς να μη χρειάζεται έλεγχος των παραγόμενων προϊόντων 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 με τον οποίο ικανοποιούνται οι προδιαγραφές των προϊόντων καλείται σύστημα προληπτικού ελέγχου ποιότητας. Εξ' άλλου σε μια παραγωγική διαδικασία ενδέχεται να παράγονται και σκάρτα, τα οποία πρέπει να διαχωριστούν και να απομακρυνθούν άμεσα από τα καλά κομμάτια όσο το δυνατόν συντομότερα. Αυτό είναι ο λόγος για τον οποίο καθορίζονται ενδιάμεσοι έλεγχοι παραδοχής των ημικατεργασμένων προϊόντων.

Τέλος, όταν τελειώσει η παραγωγή, πρέπει να πραγματοποιηθεί τελικός έλεγχος ποιότητας ώστε να εντοπιστούν μη συμμορφώσεις, να διαχωριστούν τα προϊόντα που θα διοχετευθούν στην κατανάλωση από εκείνα που χαρακτηρίζονται σκάρτα και τα οποία κατά συνέπεια δεν θα είναι σκόπιμο να αποσταλούν στον πελάτη.

Για την εύρυθμη λειτουργία της παραγωγικής διαδικασίας και για τη διασφάλιση των προδιαγραφών του πελάτη, απαιτείται η εφαρμογή ενός εκτεταμένου συστήματος ποιοτικού ελέγχου που θα περιλαμβάνει ελέγχους πρώτων υλών, προληπτικούς ελέγχους σε κάθε φάση κατεργασίας, ενδιάμεσους ελέγχους και τελικούς ελέγχους ποιότητας. Το εκτεταμένο αυτό σύστημα ελέγχων είναι βέβαιο ότι θα εξασφαλίσει προϊόντα υψηλής ποιότητας, το κόστος των ελέγχων αυτών ενδεχομένως να έχει επιβαρύνει τόσο πολύ το κόστος των προϊόντων ώστε να μην είναι πλέον δυνατό τα προϊόντα να πωληθούν με το αναμενόμενο κέρδος.

Η επιτυχία της κάθε βιομηχανίας δεν εξαρτάται μόνο από το να βρει ένα σύστημα παραγωγής που θα κοστίζει όσο το δυνατό λιγότερο σε πρώτες ύλες, εγκαταστάσεις, εξοπλισμό και εργατικά, αλλά και από το να καθορίσει ένα σύστημα ποιοτικού ελέγχου τέτοιο, ώστε οι 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 ακόμα και αύξηση της αποτελεσματικότητας του δειγματοληπτικού ελέγχου σε σύγκριση με τον 100% έλεγχο ποιότητας. Ο 100% έλεγχος ποιότητας δεν είναι, όσο φαίνεται ασφαλής, γιατί προϋποθέτει προσωπικό που εργάζεται με προσοχή, ευσυνειδησία και ικανότητα.

Ο δειγματοληπτικός έλεγχος είναι δυνατό να είναι πιο αποτελεσματικός επειδή:

- ✓ Η δειγματοληψία και τα κριτήρια παραδοχής βασίζονται σε επιστημονικές βάσεις
- ✓ Εξασφαλίζεται ότι το προσωπικό που θα ελέγχει τα προϊόντα δεν θα αισθάνεται μονοτονία ή νευρική κόπωση.

Σε μερικές περιπτώσεις κατ' ανάγκην χρησιμοποιούμε δειγματοληπτικό έλεγχο όπως όταν πρέπει να εφαρμόσουμε καταστροφικό έλεγχο στα προϊόντα ή όταν χρειάζεται να τα δοκιμάσουμε για να ελέγχει η ποιότητα τους 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 παρτίδα. Από τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εξέταση του μικρού δείγματος εξάγονται ασφαλή συμπεράσματα που αφορούν ολόκληρη τη παρτίδα του προϊόντος από την οποία έχει ληφθεί το δείγμα.

Για να πετύχει όμως η εφαρμογή ενός δειγματοληπτικού σχεδίου ελέγχου απαιτούνται γνώσεις Στατιστικής Ανάλυσης.

Επομένως προκύπτει ότι ο έλεγχος ποιότητας σε ένα βιομηχανικό περιβάλλον είναι απαραίτητος επειδή πετυχαίνει τα παρακάτω:

- ✓ Εντοπίζονται λάθη και αστοχίες στη παραγωγική διαδικασία των προϊόντων
- ✓ Διασφαλίζεται ότι η παραγωγή των προϊόντων ανταποκρίνεται στις προδιαγραφές του πελάτη
- ✓ Εξασφαλίζονται τα ζητούμενα από τον πελάτη ποιοτικά χαρακτηριστικά των προϊόντων
- ✓ Εξοικονομείται κόστος και χρόνος
- ✓ Ενισχύεται η ικανοποίηση των πελατών
- ✓ Βελτιώνεται η καλή φήμη της εταιρείας
- ✓ Δημιουργούνται πιστοί πελάτες

Ενισχύεται η ικανότητα της εταιρείας να δημιουργεί εμπιστοσύνη στα ενδιαφερόμενη μέρη όσον αφορά τη συνέπεια, την αποτελεσματικότητα και την αποδοτικότητα της .

1.4 Γεωμετρικές και Διαστασιολογικές Προδιαγραφές Ακρίβειας στις Μηχανολογικές Κατασκευές

Οι γεωμετρικές και διαστασιολογικές ανοχές (Γ&ΔΑ) είναι μια γλώσσα συμβόλων που διέπεται από αυστηρά θεσμοθετημένους κανόνες και χρησιμοποιείται για να καθορίζεται πλήρως το μέγεθος, το σχήμα, η μορφή, ο προσανατολισμός και η θέση όλων των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του προς κατασκευή αντικειμένου.

Μέσω των Γ&ΔΑ αντικατοπτρίζεται κατά κύριο λόγο η πραγματική σχέση και δυνατότητα συνδεσιμότητας μεταξύ τμημάτων που αποτελούν ζεύγος εξαρτημάτων που πρόκειται να συναρμολογηθούν.

Μηχανολογικά σχέδια με κατάλληλο καθορισμό αλλά και ορθή σήμανση των γεωμετρικών ανοχών παρέχουν την δυνατότητα για μονοσήμαντη ερμηνεία και αποδοτική εφαρμογή των ανοχών και συναρμογών της κατασκευής.

Το σύστημα των Γ&ΔΑ δημιουργήθηκε και εξελίχθηκε για να εξασφαλίσει την πλήρη εναλλαξιμότητα κατά τη συναρμολόγηση (Εναλλαξιμότητα είναι η δυνατότητα αντικατάστασης ενός τεμαχίου από ένα άλλο με την ίδια λειτουργική συμπεριφορά) και κατ' επέκταση τη βελτίωση της ποιότητας και τη μείωση του κόστους κατασκευής. Αποτελεί ένα εργαλείο το οποίο όταν εφαρμόζεται σωστά εξασφαλίζει ότι κάθε μέρος ενός συναρμολογήματος θα συνδεθεί και θα λειτουργεί σωστά και σύμφωνα με τις προδιαγραφές σχεδιασμού του. Έτσι, μέσω των Γ&ΔΑ αντικατοπτρίζονται όλες οι μηχανολογικές απαιτήσεις του σχεδιασμού και εντοπίζονται όλα τα χαρακτηριστικά που ισχύουν στα στοιχεία αναφοράς (datum). Με αυτόν τον τρόπο, τα μηχανολογικά σχέδια με Γ&ΔΑ δεν σκιαγραφούν μόνο το μέγεθος και το σχήμα του τμήματος, αλλά υποδηλώνουν και τις σχέσεις μεταξύ των χαρακτηριστικών ανοχής.

Το Σύστημα Ανοχών – Συναρμογών από τη συνεχή ανάπτυξη κι εξέλιξη στην μαζική βιομηχανική παραγωγή και τον διεθνή ανταγωνισμό που δημιουργήθηκε μεταξύ των προηγμένων βιομηχανικών κρατών διαπιστώθηκε ότι:






- ✓ Η μαζική ή εν σειρά παραγωγή είναι απολύτως αναγκαία τόσο για την μείωση του κατασκευαστικού κόστους όσο και για την βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων, λειτουργώντας παράλληλα θετικά στη ανταγωνιστικότητα.
- ✓ Η κατασκευή των προς συναρμολόγηση κομματιών είναι πρακτικά αδύνατο να πραγματοποιηθεί με «απόλυτη» -μαθηματική ακρίβεια, κυρίως λόγω σφαλμάτων των εργαλειομηχανών κατά την διαδικασία της κατεργασίας, διακύμανσης των περιβαλλοντικών συνθηκών (θερμοκρασία, δονήσεις κ.α.), σφαλμάτων μετρήσεων από τα όργανα μέτρησης και την ανομοιογενή «απρόβλεπτη» συμπεριφορά των υλικών.
- ✓ Κάθε εξάρτημα πρέπει να είναι συναρμολογήσιμο, δηλαδή να μπορεί να συνδεθεί και να συνεργαστεί με άλλα κομμάτια έστω και αν κατασκευάζονται σε διαφορετικά εργοστάσια. Γι' αυτό το λόγο κατασκευάζονται και συναρμολογούνται με προκαθορισμένο βαθμό ελευθερίας ο οποίος καθορίζεται απόλυτα από τις Γ&ΔΑ.

Για την πλήρη αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων έχουν καθοριστεί σχετικοί κανονισμοί και έχουν κωδικοποιηθεί σε σειρές σχετικών προτύπων, π.χ. το πρότυπο ISO-286.


Οι γεωμετρικές ανοχές χωρίζονται σε ανοχές μορφής και ανοχές θέσης:








- **Ανοχές Μορφής:** Οι ανοχές μορφής καθορίζουν την ακρίβεια κατασκευής μιας συγκεκριμένης γεωμετρικής μορφής. Ορίζεται οριακή τιμή ελέγχου σύμφωνα με την οποία το εξάρτημα γίνεται αποδεκτό ή όχι. Ουσιαστικά οι ανοχές μορφής ορίζουν τις επιτρεπόμενες αποκλίσεις μιας διαμόρφωσης από την τέλεια γεωμετρική μορφή. Παραδείγματα: επιπεδότητα, κυκλικότητα, κυλινδρικότητα.
- **Ανοχές Θέσης:** Οι ανοχές θέσης καθορίζουν την ακρίβεια κατασκευής σύμφωνα με την οποία δεν πρέπει να αποκλίνει μια γεωμετρική θέση από μια τιμή ελέγχου. Αφορά πάντα δύο γεωμετρικά στοιχεία που μπορεί να είναι γραμμές, επιφάνειες ή άξονες συμμετρίας για τα οποία η σχετική τους θέση δεν πρέπει να αποκλίνει από την προβλεπόμενη ιδανική γεωμετρική θέση. Το ένα από τα δύο γεωμετρικά στοιχεία είναι το στοιχείο αναφοράς σύμφωνα με το οποίο προσδιορίζεται η προαναφερόμενη ιδανική γεωμετρική θέση. Παραδείγματα: παραλληλότητα, καθετότητα, ομοκεντρία, θέση.

Στη συνέχεια παρατίθενται οι πίνακες με τις ανοχές μορφής και τις ανοχές θέσης

Ανοχές μορφής	Σύμβολο	Περιγραφή
Ευθύτητα		Ορίζει την ανοχή βάσει της οποίας μια γραμμή ή ακμή γίνεται αποδεκτή ως ευθεία γραμμή.
Επιπεδότητα		Ορίζει την ανοχή βάσει της οποίας μια επιφάνεια γίνεται αποδεκτή ως επίπεδη επιφάνεια.
Κυκλικότητα		Ορίζει την ανοχή βάσει της οποίας μια κυκλική γραμμή, μια περιφέρεια ή ένα τόξο γίνεται αποδεκτά ως κύκλος ή τόξο κύκλου.
Κυλινδρικότητα		Ορίζει την ανοχή βάσει της οποίας μια επιφάνεια γίνεται αποδεκτή ως κυλινδρική.
Μορφή επιφάνειας		Ορίζει την ανοχή βάσει της οποίας μια επιφάνεια γίνεται αποδεκτή σύμφωνα με προκαθορισμένη γεωμετρικά ιδανική επιφάνεια.

Πίνακας 1 Ανοχές Μορφής

Ανοχές μορφής	Σύμβολο	Περιγραφή
Παραλληλότητα		Ορίζει την ανοχή βάσει της οποίας μια γραμμή, ένας άξονας ή επιφάνεια γίνονται αποδεκτά ως παράλληλα με μία γραμμή ή επιφάνεια αναφοράς.

Καθετότητα		Ορίζει την ανοχή βάσει της οποίας μια γραμμή, ένας άξονας ή επιφάνεια γίνονται αποδεκτά ως κάθετα με μία γραμμή ή επιφάνεια αναφοράς.
Κλίση		Ορίζει την ανοχή βάσει της οποίας μια γραμμή, ένας άξονας ή επιφάνεια γίνονται αποδεκτά έχοντας συγκεκριμένη κλίση με μία γραμμή ή επιφάνεια αναφοράς.
Θέση True Position		Ορίζει την ανοχή βάσει της οποίας ένας άξονας ή επίπεδη επιφάνεια γίνονται αποδεκτά έχοντας συγκεκριμένη θέση ως προς μία γραμμή ή επιφάνεια αναφοράς.
Ομοκεντρία & Ομοαξονικότητα		Ορίζει την ανοχή βάσει της οποίας ένας άξονας γίνεται αποδεκτός ως ομοαξονικός με έναν άξονα αναφοράς.
Συμμετρία		Ορίζει την ανοχή βάσει της οποίας ένας άξονας ή επίπεδο συμμετρίας γίνονται αποδεκτά ως συμμετρικά με άλλο επίπεδο αναφοράς ή συμμετρίας.
Run Out		Ορίζει την μέγιστη απόκλιση που μπορεί να έχει ο ωρολογιακός μετρητής όταν ακουμπά σε μια μόνο περιφέρεια του υπό εξέταση κυλίνδρου, όταν αυτός ο κύλινδρος περιστρέφεται. Ο εν λόγω έλεγχος πρέπει να γίνει για όλες τις περιφέρειες μία προς μία.
Total Run Out		Ορίζει την μέγιστη απόκλιση που μπορεί να έχει ο ωρολογιακός μετρητής όταν κινείται στον υπό εξέταση κύλινδρο, που περιστρέφεται.

Πίνακας 2 Ανοχές Θέσης

2 Μηχανές Μέτρησης Συντεταγμένων (Coordinate Measuring Machine – CMM)

2.1 Γενικά

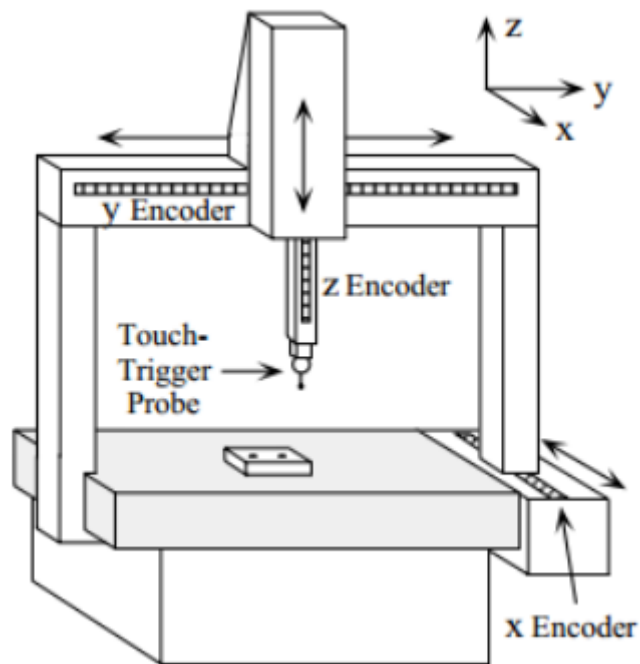
Οι Μηχανές Μέτρησης Συντεταγμένων (Coordinate Measuring Machine – CMM), μέσω μιας διαδικασίας συνεχούς βελτίωσης και ανάπτυξης, έχουν ήδη καθιερωθεί ευρέως ως το κύριο και καταλληλότερο εργαλείο για την αξιόπιστη, ακριβή και γρήγορη εκτέλεση εργασιών μέτρησης σε ολόκληρη την περιοχή του GD& T (Quality Control), καθώς και για την ψηφιακή σάρωση και αναπαράσταση σε περιβάλλον 3D CAD (Reverse Engineering). Η μέτρηση με χρήση ΜΜΣ δεν απαιτεί την ύπαρξη του μοντέλου του τεμαχίου σε CAD. Το πρόγραμμα μέτρησης εφαρμόζεται στο φυσικό κομμάτι υπό μέτρηση μέσω του χειρισμού της μηχανής. Ωστόσο, παρέχεται και η δυνατότητα δημιουργίας προγραμμάτων μέτρησης αποκλειστικά με το μοντέλο CAD του τεμαχίου.

Η αυξανόμενη χρήση της ΜΜΣ στη βιομηχανική διάσταση της μετρολογίας συνδέεται άμεσα με τις σύγχρονες απαιτήσεις υψηλής ακρίβειας σε συνδυασμό με τη μείωση του κόστους και του χρόνου κατασκευής. Οι Μηχανές Μέτρησης Συντεταγμένων (CMM) αποτελούν απαραίτητο εργαλείο στον τομέα της κατασκευής και παραγωγής εξαρτημάτων υψηλής ακρίβειας και πολυπλοκότητας με εργαλειομηχανές CNC. Προϋπόθεση για την κατασκευή αποτελεί πάντοτε η παραδοχή ότι τόσο οι διαστάσεις όσο και οι γεωμετρικές μορφές είναι ανεκτό να βρεθούν τελικά εντός καθορισμένων αριθμητικών ορίων. Αυτά ακριβώς τα όρια χαρακτηρίζονται ως «διαστασιολογικές και γεωμετρικές ανοχές», ενώ εξαρτήματα που κατασκευάζονται εκτός των συγκεκριμένων αυτών ορίων θεωρούνται απαράδεκτα και απορρίπτονται κατά τον ποιοτικό έλεγχο ως ακατάλληλα.

Η πιο συνηθισμένη εφαρμογή των ΜΜΣ είναι για τον έλεγχο και τη μέτρηση των προϊόντων μιας μεθόδου κατεργασίας, συνήθως μεταλλικών. Ειδικά για τις κατεργασίες κοπής είναι αρκετά συνηθισμένο να ελέγχεται το πρώτο προϊόν μιας παρτίδας, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί ότι δεν υπάρχουν σφάλματα που θα επαναληφθούν και στα επόμενα κομμάτια. Για μεγάλους όγκους παραγωγής, όπου η μέτρηση κάθε προϊόντος είναι εξαιρετικά χρονοβόρα και ακριβή, οι ΜΜΣ χρησιμοποιούνται για το δειγματοληπτικό έλεγχο κομματιών και τη παρακολούθηση της διαδικασίας μέσω διαγραμμάτων ελέγχου (control charts). Μια άλλη εφαρμογή των ΜΜΣ αφορά στην εξέταση/επιθεώρηση (audit/inspection) εξαρτημάτων που παράγονται από υπερβολικά από άλλο κατασκευαστή/προμηθευτή, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί ότι είναι σύμφωνα με τις προδιαγραφές για συναρμολόγηση.

Εκτός από το γεγονός ότι οι Μηχανές Μέτρησης Συντεταγμένων (CMM) αποτελούν το καταλληλότερο εργαλείο για έναν ολοκληρωμένο γεωμετρικό και διαστασιολογικό έλεγχο της ποιότητας στη βιομηχανική παραγωγή, οι ΜΜΣ βρίσκουν πλέον εφαρμογή στο μεγαλύτερο μέρος του συνολικού κύκλου ζωής του προϊόντος, όπως η ψηφιοποίηση πρωτοτύπων, η επαλήθευση των εργαλείων και η παρακολούθηση της φθοράς των εργαλείων παραγωγής, καλούπια κλπ.). Σε όλες αυτές τις εφαρμογές οι αποφάσεις που βασίζονται στα αποτελέσματα μετρήσεων από της ΜΜΣ είναι ιδιαίτερα κρίσιμες (αποδοχή ή απόρριψη ενός εξαρτήματος από τον τελικό ποιοτικό έλεγχο, επισκευή ή αντικατάσταση

του εργαλείου κατασκευής κλπ.) και επηρεάζουν κριτικά την ποιότητα και το τελικό κόστος του προϊόντος.



Εικόνα 1 Άξονες σε μια Μηχανή Μέτρησης Συντεταγμένων (CMM)

Τα εξαρτήματα / προϊόντα / μηχανολογικές κατασκευές στη συνήθη βιομηχανική παραγωγή περιγράφονται από απλές γεωμετρικές μορφές οι οποίες προκύπτουν από τη σύνθεση βασικών στερεών, όπως είναι ο κύλινδρος, η σφαίρα, το παραλληλεπίπεδο. Οι προδιαγραφές ακρίβειας που αφορούν στις διαστάσεις, στη μορφή, στη θέση και στον προσανατολισμό των επιμέρους γεωμετρικών αυτών στοιχείων που συνθέτουν ένα εξάρτημα έχουν άμεσο αντίκτυπο στη δυνατότητα κατασκευής και συναρμολόγησης, στις επιδόσεις, στο κόστος και στην ποιότητα τόσο του ίδιου του εξαρτήματος όσο και του συναρμολογημένου συνόλου στο οποίο αυτό εντάσσεται. Ο μετροτεχνικός έλεγχος των αναπόφευκτων κατασκευαστικών αποκλίσεων των εν λόγω προδιαγραφών ακρίβειας με σύγχρονες μεθόδους και εργαλεία αποτελεί το αντικείμενο της *βιομηχανικής μετρολογίας διαστάσεων και γεωμετρίας*.

Η λειτουργία μιας ΜΜΣ στηρίζεται στη μέτρηση των στοιχείων επιφάνειας (surface elements) του προς μέτρηση τεμαχίου. Οι μετρούμενες διαστάσεις αποτυπώνονται σε καρτεσιανό, πολικό ή σφαιρικό σύστημα συντεταγμένων, δηλαδή ως ευθείες, σημεία ή επίπεδα. Η ΜΜΣ δίνει τη δυνατότητα λήψης σημείων σε τρεις διαστάσεις στο χώρο (3D). Η πολυπλοκότητα της μηχανής και οι ευρείες δυνατότητές της καθιστούν το σχεδιασμό ενός προγράμματος μέτρησης σε μια ΜΜΣ σύνθετη διαδικασία. Η εύρεση και η εφαρμογή του καταλληλότερου προγράμματος μέτρησης είναι κριτικής σημασίας για την καλύτερη αποδοτικότητα της μηχανής. Η επιλογή του πλήθους και της θέσης των σημείων μέτρησης, η εκτίμηση της προσβασιμότητας των σημείων αυτών, η αποφυγή των συγκρούσεων τεμαχίου μηχανής, η ακολουθία των μετρούμενων σημείων είναι μόνο μερικά από τα σημεία τα οποία πρέπει να διερευνηθούν. Εκτός αυτού, πρέπει να διερευνηθεί η θέση και ο προσανατολισμός του τεμαχίου.

2.2 Κατηγοριοποίηση ΜΜΣ

Οι ΜΜΣ κατασκευάζονται σε πολλές διαφορετικές διαμορφώσεις, κάθε μια από τις οποίες προσφέρει διαφορετικά πλεονεκτήματα. Όπως είναι αναμενόμενο όλοι οι τύποι ΜΜΣ έχουν βασικά κοινά δομικά στοιχεία. Αυτά είναι ο αισθητήρας (probe), η μηχανολογική κατασκευή, το σύστημα διαχείρισης δεδομένων και ελέγχου (controller) και το μετρητικό λογισμικό. Η κατηγοριοποίηση των διαθέσιμων τύπων ΜΜΣ γίνεται με βάση: (Χατζηστέλιος, και συν., 2012)

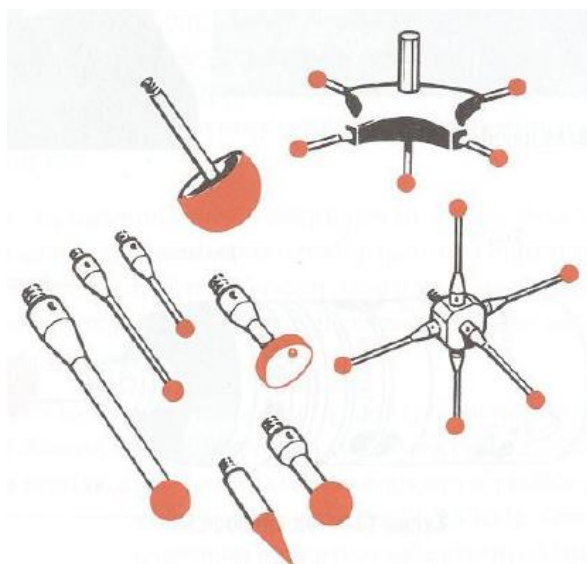
Την αρχή λειτουργίας του αισθητήρα λήψης σημείων: Οι αισθητήρες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε μηχανικούς αισθητήρες συνεχούς ή σημειακής επαφής (contact probes) οι οποίοι έρχονται σε επαφή με το μετρούμενο εξάρτημα, σε οπτικούς ή λέιζερ αισθητήρες μη-επαφής (non - contact probes) κ.α. Η λειτουργία του αισθητήρα επαφής περιορίζεται από τη δύναμη που αυτός ασκεί στο μετρούμενο εξάρτημα στο σημείο επαφής. Εύκαμπτα ή εύθραυστα τεμάχια πρέπει να μετρώνται με αισθητήρες χωρίς επαφή, αφού οι αισθητήρες επαφής μπορεί να τους προκαλέσουν παραμόρφωση. Η ΜΜΣ του Μετροτεχνικού Εργαστηρίου Ε.Μ.Π., του εργαστηρίου Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων & Εργαλείων – Αντίστροφου Σχεδιασμού του Ε.Μ.Π. και η ΜΜΣ του Εργαστηρίου Ποιοτικού Ελέγχου της CNC Solutions που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία φέρουν αισθητήρα επαφής.

Αισθητήρες με επαφή (contact probes): Αποτελούν τον πιο διαδεδομένο τύπο αισθητήρα και διακρίνονται σε αισθητήρες στιγμιαίας επαφής (touch trigger probe) και σε αισθητήρες συνεχούς επαφής ή αισθητήρες σάρωσης (scan probe). Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται αναλυτικά τα δομικά μέρη του αισθητήρα, δηλαδή το σώμα (body), ο στυλίσκος (stylus) και η κεφαλή (sensor). Το σώμα αποτελείται από το στέλεχος και το προσάρτημα (module) το οποίο συνδέεται με το στυλίσκο του επαφέα με το σύνδεσμο στήριξης επαφέα (stylus holder).

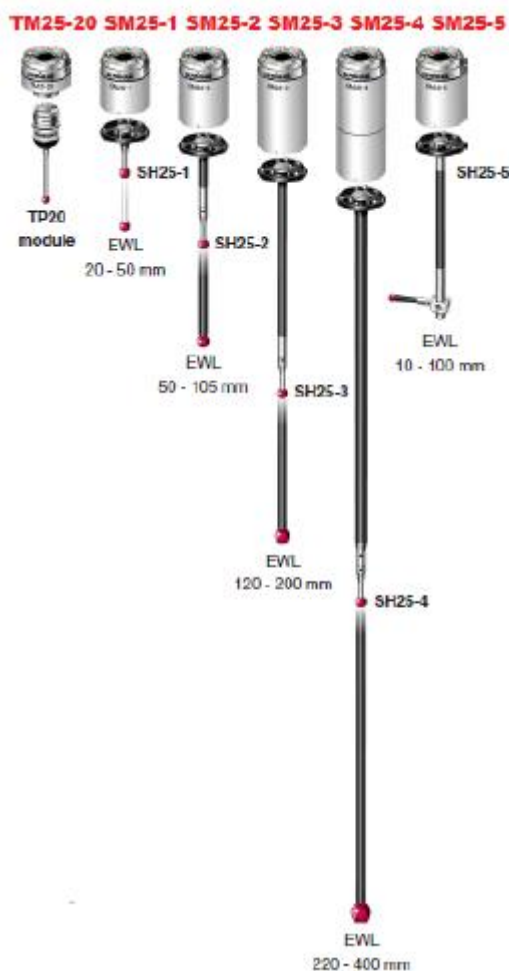


Εικόνα 2 Δομή αισθητήρα επαφής (Μανσούρ & Καραχάλιου, 2007)

Διάφοροι τύποι στυλίσκων παρουσιάζονται παρακάτω. Για την επέκταση της θέσης της κεφαλής προστίθενται προεκτάσεις. Υπάρχει και η δυνατότητα περιστροφής της κεφαλής – αισθητήρα, που επιτρέπει στο χειριστή να μετρήσει χαρακτηριστικά επιφάνειας εκτός επιπέδου χγ. Η επιλογή στυλίσκου και κεφαλής γίνεται με βάση τις απαιτήσεις της εκάστοτε μέτρησης, ενώ πολλές διαφορετικές συνδεσμολογίες είναι δυνατές. Σωστή επιλογή στυλίσκου μπορεί να αυξήσει την ακρίβεια μέτρησης.



Εικόνα 3 Διάφοροι τύποι Στυλίσκων



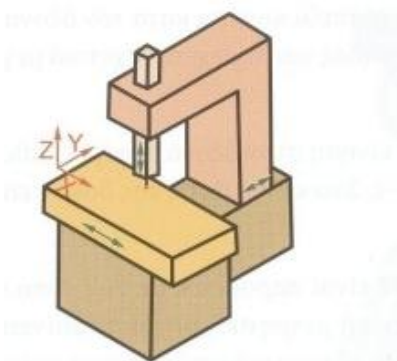
Εικόνα 4 Διαφορετικές συνδεσμολογίες σώματος, στυλίσκου, επαφεία

Ο αισθητήρας στιγμιαίας επαφής (*touch trigger probe*) αποτελεί τον πιο συχνά χρησιμοποιούμενο αισθητήρα. Η λειτουργία του βασίζεται στην εκτροπή του στυλίσκου καθώς η διάταξη του επαφέα ακουμπά την επιφάνεια του τεμαχίου. Αυτό ανιχνεύεται από τον αισθητήρα ο οποίος ενεργοποιεί τη μηχανή να διαβάσει τη θέση των αξόνων. Ένα LED και ένα ηχητικό σήμα υποδεικνύουν την επαφή του στοιχείου ανίχνευσης με το τεμάχιο. Η θέση του μετρούμενου σημείου υπολογίζεται εύκολα λαμβάνοντας υπόψη και τη διάμετρο του σφαιρικού στοιχείου ανίχνευσης.

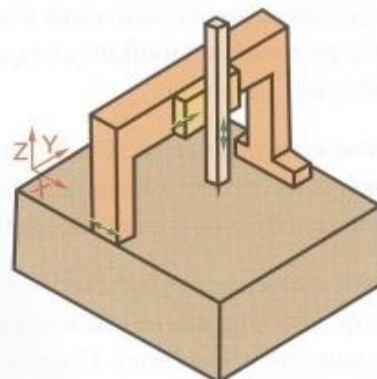
Η σάρωση συνεχούς επαφής (*scan probe*) μπορεί να είναι λιγότερο ακριβής λόγω επιταχύνσεων και ολισθήσεων του στυλίσκου, αλλά λαμβάνει περισσότερα σημεία σε λιγότερο χρόνο. Τέτοιοι αισθητήρες χρησιμοποιούνται για τη σάρωση πολύπλοκων επιφανειών, όπως κελύφη τουρμπίνων και στροφαλοφόρους άξονες.

✓ Την κατασκευαστική διαμόρφωση και το μέγεθος του «ωφέλιμου χώρου μέτρησης» της μηχανής: Στους πιο διαδεδομένους τύπους ΜΜΣ ανήκουν, μεταξύ άλλων:

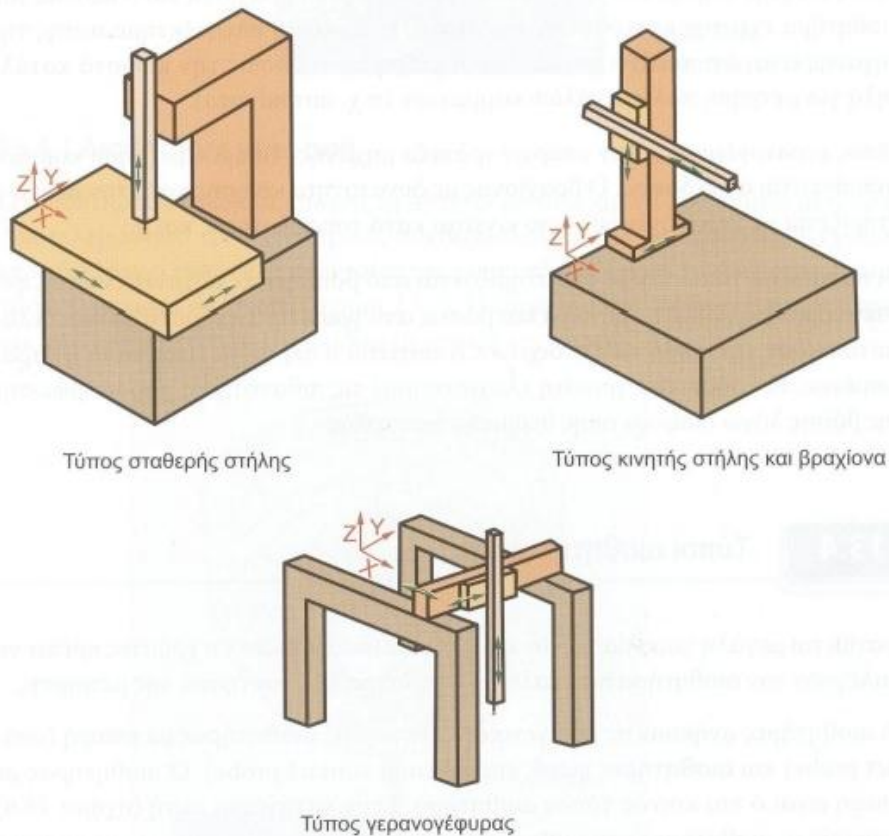
- μηχανές τύπου γέφυρας (*bridge type*) οι οποίες έχουν τη δυνατότητα κίνησης σε έναν άξονα και φέρουν κάθετη δοκό με κίνηση στους άλλους δύο και είναι προσαρμοσμένες σε σταθερή τράπεζα.
- τύπου ικριώματος – γερανογέφυρας (*gantry type*), όπου η κίνηση γίνεται σε σταθερές οριζόντιες δοκούς στηριγμένες σε κάθετες στήλες, ενώ δεν υπάρχει τράπεζα μέτρησης και το προς μέτρηση τεμάχιο τοποθετείται στο έδαφος.
- μονού ή διπλού οριζόντιου βραχίονα (*single, dual horizontal arm*)
- φορητές χειροκίνητες μηχανές αρθρωτού βραχίονα (*articulating arm*)



Τύπος κινητής τράπεζας και στήλης



Τύπος κινητής γέφυρας



Εικόνα 5 Οι πέντε βασικοί τύποι μετρητικών μηχανών CMM (Μανσούρ & Καραχάλιου, 2007)

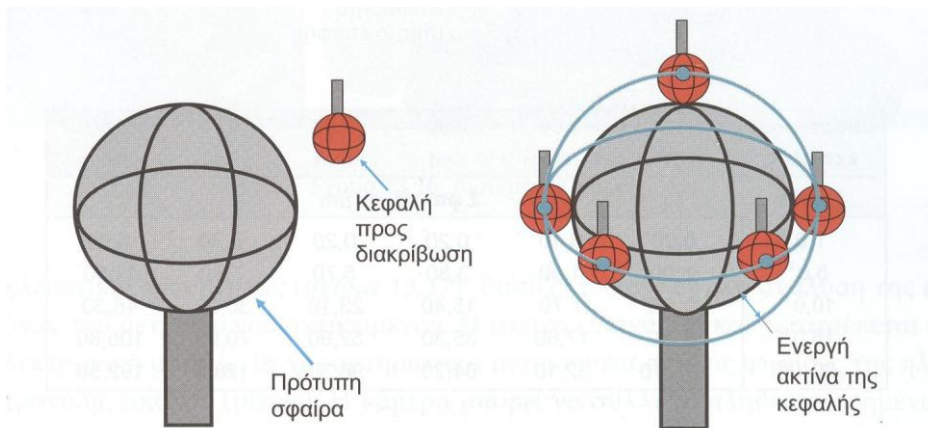
Ο ωφέλιμος χώρος μέτρησης μπορεί να είναι ένα παραλληλεπίπεδο με διαστάσεις που ξεκινούν από 500 x 500 x 400 mm και φτάνουν, σε ειδικές περιπτώσεις μέτρησης εξαρτημάτων μεγάλου μεγέθους, σε δεκάδες μέτρα.

- ✓ **Τα χαρακτηριστικά του controller:** Χειροκίνητες, ημιαυτόματες και ελεγχόμενες πλήρως από ηλεκτρονικό υπολογιστή (Direct Computer Control – DCC) μηχανές με ενσωματωμένο σύστημα αντιστάθμισης θερμοκρασιακών μεταβολών σε πραγματικό χρόνο, με δυνατότητα διαχείρισης δεδομένων από ψηφιακή σάρωση (scanning – ready). Οι ΜΜΣ του Μετροτεχνικού Εργαστηρίου Ε.Μ.Π., η ΜΜΣ του εργαστηρίου Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων & Εργαλείων – Αντίστροφου Σχεδιασμού του Ε.Μ.Π. και η ΜΜΣ του Εργαστηρίου Ποιοτικού Ελέγχου της CNC Solutions είναι και οι τρεις ελεγχόμενες από ηλεκτρονικό υπολογιστή (DCC).
- ✓ **Τα χαρακτηριστικά του μετρητικού λογισμικού:** Υπάρχουν πολλές δυνατότητες όπως εισαγωγή τρισδιάστατου ηλεκτρονικού μοντέλου (3D CAD model) του ελεγχόμενου εξαρτήματος ώστε να αυτοματοποιηθεί η παραγωγή των μετρητικών προγραμμάτων, ενσωμάτωση αλγορίθμων ψηφιακής σάρωσης, αυτοτελείς λογισμικές μονάδες (modules) για εξειδικευμένες μετρολογικές εφαρμογές π.χ. για έλεγχο οδοντωτών τροχών κ.α. Η ΜΜΣ του Μετροτεχνικού Εργαστηρίου Ε.Μ.Π., η ΜΜΣ του εργαστηρίου Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων & Εργαλείων – Αντίστροφου Σχεδιασμού του Ε.Μ.Π. και η ΜΜΣ του Εργαστηρίου Ποιοτικού

Ελέγχου της CNC Solutions παρέχουν τέτοιου είδους δυνατότητες, με την εξαίρεση ότι η ΜΜΣ του μηχανουργείου CNC Solutions δεν διαθέτει δυνατότητα ψηφιακής σάρωσης.

2.3 Διακρίβωση κεφαλής αισθητήρα

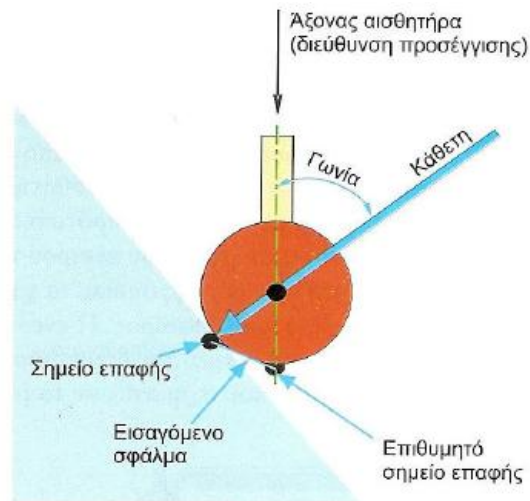
Τα πλεονεκτήματα των CMM είναι ότι ακόμη και αν αλλάξει η κατεύθυνση της κεφαλής του αισθητήρα δεν μειώνεται η ακρίβεια της μέτρησης. Για να επιτευχθεί αυτό, πρέπει να γίνεται διακρίβωση της κεφαλής του αισθητήρα κατά τακτά χρονικά διαστήματα. Η ακρίβεια της μέτρησης εξαρτάται από την ακρίβεια της διακρίβωσης. Κατά τη διακρίβωση της κεφαλής του αισθητήρα καθορίζεται το κέντρο και η ακτίνα του αισθητήρα με τη βοήθεια πρότυπης σφαίρας που συνοδεύει τη μηχανή, της οποίας οι διαστάσεις είναι επακριβώς γνωστές, και η οποία παρουσιάζει πολύ μικρή απόκλιση μορφής. Επιλέγεται σφαιρικό σχήμα πρότυπου τεμαχίου καθώς αυτό μπορεί να κατασκευαστεί και να μετρηθεί με μεγάλη ακρίβεια. Οι μετρημένες συντεταγμένες του κέντρου της κεφαλής σχηματίζουν μια νοητή σφαίρα, της οποίας τα χαρακτηριστικά συγκρίνονται με τα αντίστοιχα της πρότυπης σφαίρας. Η ενεργή διάμετρος υπολογίζεται από τη διαφορά μεταξύ της διαμέτρου της πρότυπης σφαίρας και της διαμέτρου της σφαίρας που σχηματίζουν τα μετρημένα σημεία.



Εικόνα 6 Πρότυπη σφαίρα κατά την διάρκεια της διακρίβωσης της κεφαλής (Μανουσούρ & Καραχάλιου,2007)

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

- Να χρησιμοποιείται κοντός δύσκαμπτος στυλίσκος
- Να εφαρμόζεται η μικρότερη δύναμη επαφής ώστε να μην προκαλείται ψεύτικη επαφή
- Η απόκλιση του άξονα του αισθητήρα από την κάθετο στην μετρούμενη επιφάνεια, να είναι ελάχιστη προς αποφυγή σφαλμάτων μέτρησης



Εικόνα 7 Σφάλμα που οφείλεται στην απόκλιση του άξονα του αισθητήρα από την κάθετο στην επιφάνεια μέτρησης (Μανσούρ & Καραχάλιου, 2007)

- Να ελέγχεται η σταθερότητα του στυλίσκου
- Να έρχεται σε επαφή με το σημείο μέτρησης η κεφαλή του αισθητήρα και όχι η προέκταση της.

2.4 Σύστημα Έδρασης (Bearing System)

Η έδραση της ΜΜΣ αποτελεί πολύ σημαντικό δομικό στοιχείο καθώς επηρεάζει άμεσα την ακρίβεια των μετρήσεων αλλά και τα χαρακτηριστικά των συστημάτων οδήγησης. Σημαντικά κριτήρια για το σχεδιασμό τους είναι η ικανότητα μεταφοράς φορτίου, η ικανότητα απόσβεσης και οι τριβές. Συνήθως στις ΜΜΣ χρησιμοποιούνται δύο τύποι εδράνων, τα αεροέδρανα και τα μηχανικά έδρανα επαφής.

Τα αεροέδρανα προσφέρουν τη στήριξη μέσω ενός λεπτού στρώματος αέρα υπό πίεση. Στις ΜΜΣ χρησιμοποιούνται ακόμα σκληρά έδρανα επαφής, όπως ένσφαιρα και κυλινδρικά έδρανα ακριβείας αλλά και οδηγοί ολίσθησης. Τα έδρανα αυτά μπορούν να μεταφέρουν μεγαλύτερα φορτία σε σχέση με τα αεροέδρανα και χρησιμοποιούνται σε πιο σκληρά εργοστασιακά περιβάλλοντα, όπως χυτήρια.

Οποιοδήποτε είδους έδρανο και να χρησιμοποιηθεί απαιτεί συντήρηση. Τα σκληρά έδρανα απαιτούν λίπανση, ενώ στα αεροέδρανα οι επιφάνειες των οδηγών πρέπει να διατηρούνται καθαρές. Στα αεροέδρανα επίσης απαιτείται σύστημα φιλτραρίσματος ώστε να μη διεισδύει νερό ή λάδι από την παροχή συμπιεσμένου αέρα. Γενικά τα αεροέδρανα έχουν μεγαλύτερη αντοχή μακροπρόθεσμα, καθώς δεν υπάρχει σε αυτή μηχανική επαφή. Η παροχή πεπιεσμένου αέρα πρέπει να είναι επαρκής, καθώς κάποια μεταβολή της πίεσης μπορεί να αλλάξει τα γεωμετρικά σφάλματα της ΜΜΣ και η ξαφνική απώλεια της πίεσης του αέρα μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφική βλάβη καταστρέφοντας τους οδηγούς και τα έδρανα. (Hocken, και συν., 2012)

2.5 Σύστημα συλλογής, ελέγχου και επεξεργασίας δεδομένων

Κάθε μηχανή CMM διαθέτει *χειριστήριο ελέγχου (Jog Box)*, το οποίο επιτρέπει στο χειριστή μεταξύ άλλων τη μετακίνηση του αισθητήρα, τη χειροκίνητη λήψη των συντεταγμένων των μετρούμενων σημείων, τη διακρίβωση του αισθητήρα με χρήση της πρότυπης σφαίρας. Επίσης κάθε μηχανή συνοδεύεται από έναν *ελεγκτή (controller)* που μετατρέπει την τάση σε ψηφιακό σήμα. Κάθε ΜΜΣ συνοδεύεται ακόμα από έναν επιτραπέζιο *υπολογιστή* ή κάποιο άλλο σύστημα επεξεργασίας δεδομένων που διαθέτει εγκατεστημένο το απαραίτητο λογισμικό για τη λειτουργία της μηχανής. Επιπλέον απαιτείται και ο *ελεγκτής κεφαλής αισθητήρα (probe head controller)*, ο οποίος ελέγχει την κίνηση του αισθητήρα καθώς ελέγχει και αναφέρει τη θέση της κεφαλής, αλλά και σφάλματα που παρουσιάζονται κατά την κίνηση, και συνδέεται με τη μηχανή μέσω του ελεγκτή.

Καθώς υπάρχει απαίτηση υψηλής αποδοτικότητας της μηχανής και συνεχής χρήση της σε περιπτώσεις μεγάλου όγκου παραγωγής, προκύπτει η ανάγκη για δημιουργία προγραμμάτων μέτρησης εκτός σύνδεσης με χρήση μόνο ενός αρχείου CAD. Ιδανικά θα μπορούσε ο ενδιαφερόμενος να ανεβάσει το πρόγραμμα στη ΜΜΣ σε κατάσταση εκτός σύνδεσης και να τρέξει χωρίς ή με λίγη επεξεργασία. (Flack, 2001)

Το λογισμικό της ΜΜΣ παρέχει πολλές δυνατότητες, όπως μετατροπή από πολικό σε καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων και αντιστρόφως, σύγκριση μετρούμενων τεμαχίων με τα CAD μοντέλα τους, εισαγωγή ανοχών, δημιουργία νέφους σημείων επιφανειών, υπολογισμό σφαλμάτων και μοντελοποίηση γεωμετρικών στοιχείων.

3. Λογισμικό της CMM

3.1 Γενικά

Το λογισμικό μέτρησης με CMM και επεξεργασίας δεδομένων, PC-DMIS, είναι ίσως το περισσότερο χρησιμοποιούμενο και παγκοσμίως αναγνωρίσιμο λογισμικό για CMM. Πρόκειται για ένα DCC λογισμικό, το οποίο προσφέρει και τη δυνατότητα της χειροκίνητης μέτρησης. Η εταιρεία που το δημιούργησε, Wilcox Associates, προμηθεύει το λογισμικό σε όλες τις θυγατρικές της εταιρείες, οι οποίες κατασκευάζουν CMM, όπως η DEA, η Hexagon Metrology και η TESA. Το συγκεκριμένο λογισμικό ήταν το πρώτο που εισήγαγε πολύ χρήσιμες καινοτομίες, όπως η χρησιμοποίηση μοντέλων CAD στον έλεγχο ποιότητας, η απευθείας σύνδεση συστημάτων CAD με το λογισμικό μέτρησης, η δημιουργία ολοκληρωμένου συστήματος ρουτίνων μέτρησης εξαρτημάτων για την αυτοκινητοβιομηχανία, κ.α.

Το Μετροτεχνικό Εργαστήριο και το τμήμα Ποιοτικού Έλεγχου χρησιμοποιούν το λογισμικό PC-DMIS. Το περιβάλλον του λογισμικού είναι φιλικό προς το χρήστη, ενώ η εξοικείωση με το πρόγραμμα είναι αρκετά εύκολη. Προσφέρει πολλές αυτοματοποιημένες λειτουργίες, όπως η αυτόματη λήψη γεωμετριών, όπου ο χρήστης καταχωρεί μόνο τις απαραίτητες επιθυμητές παραμέτρους για τη μέτρηση, ενώ κάθε κίνηση του αισθητήρα της CMM αποτυπώνεται στο παράθυρο γραφικών (Graphics Display Window). Επίσης, κατά την επεξεργασία των μετρήσεων προσφέρει πολλά χρήσιμα εργαλεία, όπως η αντιστοίχιση νέφους σημείων σε γεωμετρικό σχήμα, με επιλογή μεθόδου αντιστοίχισης και δυνατότητα εφαρμογής φίλτρων, ο άμεσος υπολογισμός διαστάσεων και σφαλμάτων μορφής και η εξαγωγή αποτελεσμάτων τόσο σε μορφή αναφοράς, όσο και σε γραφική μορφή. Συνοψίζοντας, το λογισμικό PC-DMIS είναι σε θέση να προσφέρει εύκολο και γρήγορο καθορισμό της διαδικασίας μέτρησης (για απλές εφαρμογές μετρήσεων), όσο και πλήρη παραμετροποίηση της διαδικασίας και των παραγόντων της μέτρησης, για χρήση σε πολύπλοκα εξαρτήματα ή σε ερευνητικά προγράμματα.

3.2 Διαμόρφωση Λογισμικού

Το λογισμικό των μηχανών CMM διαμορφώνεται με δύο τρόπους: on-line και off-line. Υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν και οι δύο τρόποι για να δημιουργηθεί ένα πλήρες πρόγραμμα μέτρησης – ανάλυσης και συστήματος ανίστροφου σχεδιασμού.

On-line προγραμματισμός: Ο έλεγχος των τεμαχίων και η λήψη των γεωμετριών γίνεται χειροκίνητα και δημιουργούνται απευθείας προγράμματα στη CMM. Είναι απαραίτητη η σύνδεση με τη CMM για την on-line λειτουργία.

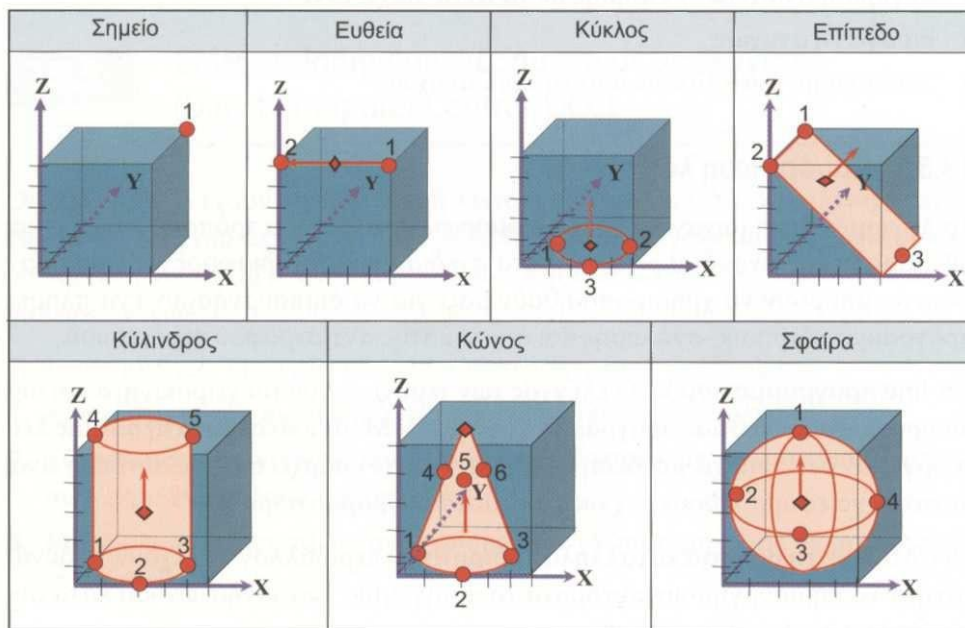
Το πρώτο βήμα του προγράμματος είναι ο ορισμός των κατάλληλων αισθητήρων (probes) και η διακρίβωση τους. Επίσης καθορίζεται η ταχύτητα μετακίνησης του αισθητήρα (move speed) στο φάσμα 1-100%, καθώς και η ταχύτητα του κατά την επαφή του στο σημείο μέτρησης (touch speed).

Το δεύτερο βήμα είναι ο ορισμός των συστημάτων συντεταγμένων (alignment). Το σύστημα συντεταγμένων ορίζει τους τοπικούς άξονες x,y,z του αντικειμένου προς μέτρηση. Οι συνήθεις επιλογές για τον ορισμό του συστήματος συντεταγμένων αποτελούν η λήψη των παρακάτω γεωμετριών:

- ✓ Επίπεδο, γραμμή, γραμμή
- ✓ Επίπεδο, κύκλος, γραμμή
- ✓ Επίπεδο, γραμμή, γραμμή

Στην ουσία στο στάδιο αυτό συνήθως οριοθετούνται τα όρια του αντικείμενου μέτρησης και δημιουργείται ένα σύνολο σημείων ασφαλείας ώστε να μην υπάρχουν συγκρούσεις του αισθητήρα.

Το επόμενο βήμα είναι η χειροκίνητη λήψη των γεωμετριών και ο καθορισμός της διαδρομής του αισθητήρα από γεωμετρία σε γεωμετρία. Για τον προσδιορισμό των μετρούμενων χαρακτηριστικών απαιτείται ένας ελάχιστος αριθμός σημείων μέτρησης ανάλογα με τη μορφή της γεωμετρίας. Φυσικά, σε κάθε περίπτωση προτείνεται να λαμβάνονται περισσότερα σημεία για μεγαλύτερη ακρίβεια και εντοπισμό τυχόν αστοχιών του μετρούμενου αντικειμένου.

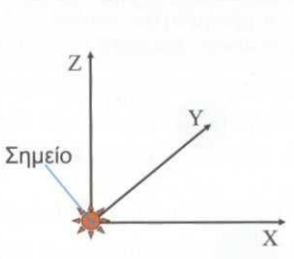
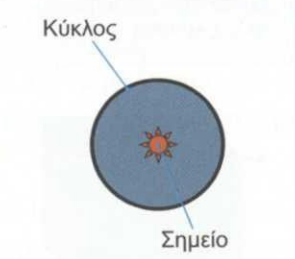
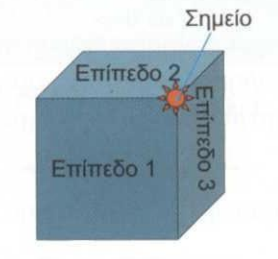
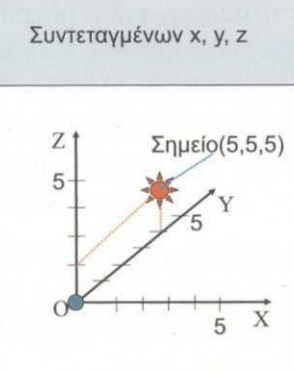
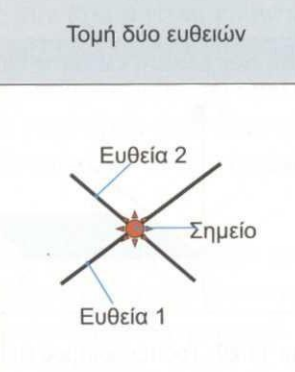
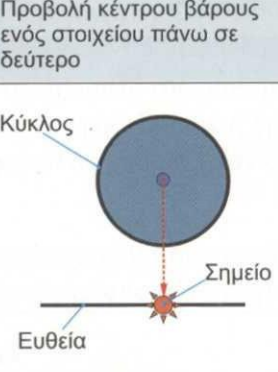
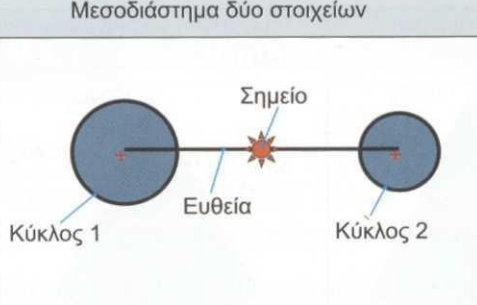
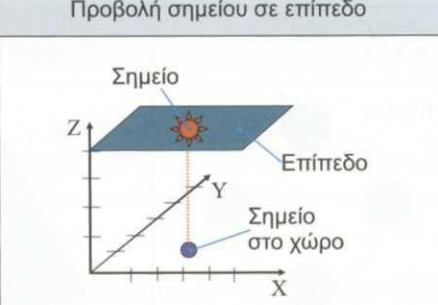


Εικόνα 8 Καθορισμός γεωμετρικών στοιχείων (Μανσούρ & Καραχάλιου,2007)

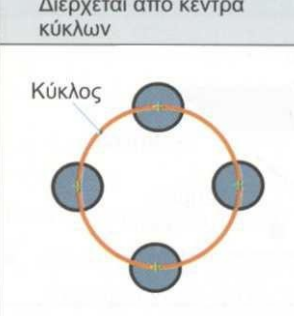

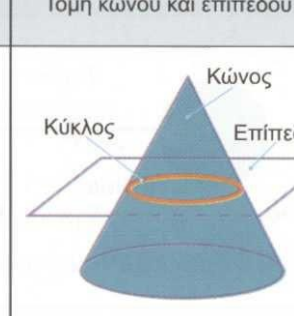
Για την αποφυγή λαθών στην εκτίμηση των μετρήσεων πρέπει:

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

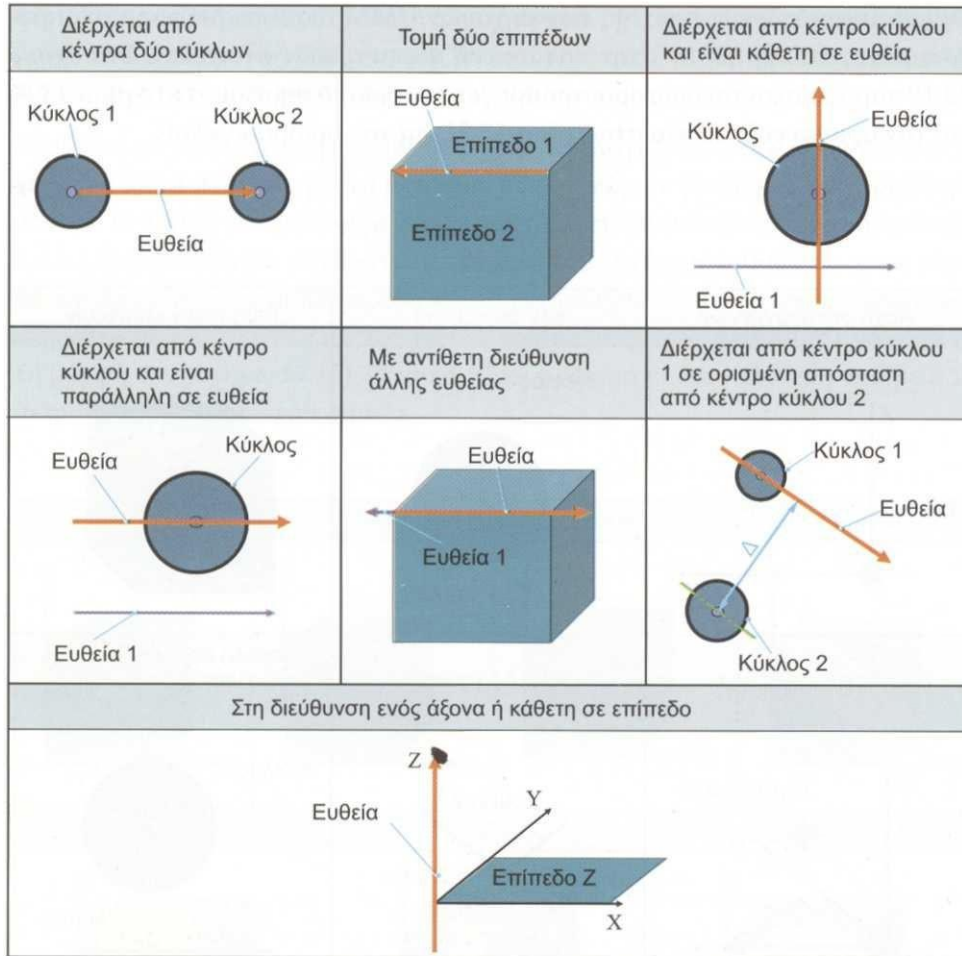
Ο επεξεργαστής των μηχανών CMM διαθέτει διάφορες ρουτίνες – υποπρογράμματα, που βοηθούν στην κατασκευή γεωμετρικών στοιχείων. Παρακάτω παρουσιάζονται διάφοροι χρήσιμοι τρόποι για τον ορισμό ή τη δημιουργία σημείου, για τον ορισμό ή τη δημιουργία μίας ευθείας και για τον ορισμό ή τη δημιουργία κύκλου.

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

Εικόνα 9 Τρόποι Ορισμού Σημείου (Μανσούρ & Καραχάλιου,2007)

<p>Διέρχεται από κέντρα κύκλων</p> 	<p>Ορισμένης διαμέτρου εσωτερικά κώνου</p> 	<p>Τομή κώνου και επιπέδου</p> 
--	--	---

Εικόνα 10 Τρόποι Ορισμού Κύκλου (Μανσούρ & Καραχάλιου,2007)



Εικόνα 11 Τρόποι Ορισμού Ευθείας (Μανσούρ & Καραχάλιου,2007)

Off – line προγραμματισμός: Η off – line διαδικασία επιτρέπει στο χρήστη να δημιουργεί πρόγραμμα μέτρησης ή να διορθώνει πρόγραμμα μέτρησης, χωρίς χειροκίνητη λήψη των γεωμετρικών. Αρχικά γίνεται ο σχεδιασμός του αντικειμένου, ο οποίος μπορεί να επιτευχθεί με τις εξής μεθόδους:

- Με εισαγωγή του αρχείου CAD σε μορφή .step ή .iges
- Με τον ορισμό των θεωρητικών τιμών των συντεταγμένων του τεμαχίου
- Με τις πρώτες μετρημένες τιμές όταν έχει προηγηθεί ο on-line προγραμματισμός

Έπειτα είναι απαραίτητο να γίνει η ταύτιση του φυσικού αντικειμένου με το CAD ,δηλαδή η ταύτιση του συστήματος συντεταγμένων του αντικειμένου προς μέτρησης με το σύστημα συντεταγμένων του CAD. Στη συνέχεια πρέπει να οριστούν οι αυτοματοποιημένες ρουτίνες που διαθέτουν το λογισμικό για την καταγραφή των γεωμετρικών του αντικειμένου, έτσι ώστε ο ανθρώπινος παράγοντας να μην επηρεάζει τις μετρήσεις. Ο προγραμματιστής πρέπει να προβλέψει τυχόν συγκρούσεις του αισθητήρα και να ρυθμίσει σωστά τις κινήσεις του αισθητήρα, χρησιμοποιώντας μικρές ταχύτητες μετατόπισης και επαφής. Η γραφική προσομοίωση της διαδρομής του αισθητήρα είναι πολύ χρήσιμη στον off – line προγραμματισμό για την αποφυγή των συγκρούσεων του αισθητήρα.

3.3 Συστήματα Συντεταγμένων

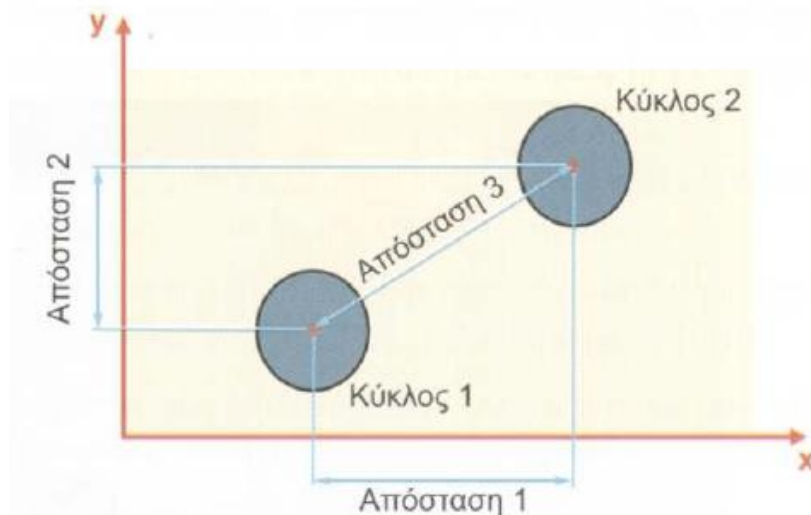
Κάθε μηχανή CMM έχει ένα δικό της σύστημα συντεταγμένων, ένα μηδενικό σημείο και τρεις άξονες x, y, z που προσδιορίζουν τη θέση της κεφαλής του αισθητήρα.

Σε κάθε προς μέτρηση τεμάχιο ορίζεται ένα σύστημα συντεταγμένων και ορίζεται αντίστοιχα ένα μηδενικό σημείο πάνω στο αντικείμενο π.χ. η άκρη μιας ακμής ή το κέντρο μιας οπής.

3.4 Διαστασιολόγηση

3.4.1 Δισδιάστατη Διαστασιολόγηση

Η δισδιάστατη καθορίζει τις αποστάσεις μεταξύ γεωμετρικών στοιχείων με βάση το σύστημα συντεταγμένων x, y, z που έχει οριστεί στο αντικείμενο προς μέτρηση. Για να μετρηθεί η ορθή διάσταση πρέπει να οριστεί το επίπεδο προβολής ή ο άξονας συντεταγμένων. Στο παράδειγμα του σχήματος που ακολουθεί η απόσταση των κύκλων 1 και 2 μπορεί να υπολογιστεί με τρεις τρόπους: απόσταση 1 με προβολή στο επίπεδο y ή με άξονα συντεταγμένων το x , η απόσταση 2 με προβολή στο επίπεδο x ή άξονα συντεταγμένων το y και απόσταση 3 με προβολή στο επίπεδο z .

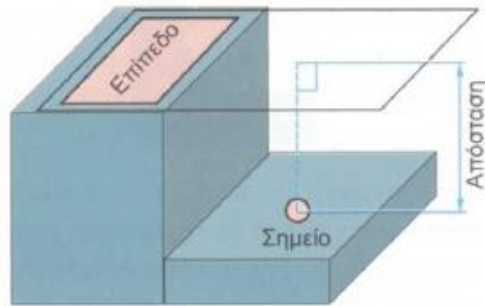


Εικόνα 12 Δυνατές επιλογές δισδιάστατης επιλογής (Μανσούρ & Καραχάλιου, 2007)

Η επιλογή του σωστού επιπέδου προβολής ή του άξονα συντεταγμένων είναι ιδιαίτερη σημαντική όταν οι μετρήσεις πραγματοποιούνται σε πολικό σύστημα συντεταγμένων, γιατί το λογισμικό της μετρητικής μηχανής CMM χρησιμοποιεί το σύστημα συντεταγμένων για τον ορισμό της διάστασης.

3.4.2 Τρισδιάστατη Διαστασιολόγηση (3D)

Η τρισδιάστατη διαστασιολόγηση υπολογίζεται η μικρότερη απόσταση μεταξύ δύο γεωμετρικών στοιχείων στο χώρο. Τυπική περίπτωση 3D διαστασιολόγησης είναι: απόσταση σημείου από επίπεδο, απόσταση επίπεδου από επίπεδο, απόσταση κυλίνδρου από απόσταση.



Εικόνα 13 Τριδιάστατη διαστασιολόγηση απόστασης σημείου από επίπεδο (Μανουσούρ & Καραχάλιου, 2007)

3.5 Υπολογισμός διαμέτρου οπής ή εξωτερικού άξονα

Κάθε σάρωση με CMM δίνει ένα νέφος σημείων το οποίο πρέπει έπειτα να επεξεργαστεί μέσω του λογισμικού της μηχανής, ώστε να προκύψουν οι βασικές διαστάσεις του αντικειμένου. Για κυκλικά τεμάχια είναι απαραίτητος ο ορισμός του κύκλου αναφοράς, δηλαδή τον τέλειο κύκλο που θεωρούμε ότι αναπαριστά με τη μέγιστη ακρίβεια την επιφάνεια.

Η μέθοδος υπολογισμός διαμέτρου κύκλου ή κυλίνδρου που χρησιμοποιεί το λογισμικό είναι η μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων, η οποία υπολογίζει κύκλο αναφοράς, με βάση το άθροισμα των τετραγώνων των αποκλίσεων των μετρημένων σημείων να είναι το ελάχιστο δυνατό. Γενικά, η Μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων δίνει αποτέλεσμα το οποίο είναι μοναδικό και λαμβάνει υπόψη την επίδραση όλων των σημείων του συνόλου, δηλαδή είναι η βέλτιστη προσαρμογή σε οποιοδήποτε λογικό σύνολο δεδομένων. Συγκεκριμένα, είναι σημαντικό να λάβουμε επαρκή αριθμό σημείων. Επίσης πρέπει η δειγματοληψία των σημείων στο αντικείμενο να γίνεται με σωστό τρόπο, δηλαδή για την μέτρηση ενός κύκλου δεν θα πρέπει να κινηθεί ο αισθητήρας στον άξονα z, ενώ για την μέτρηση ενός κυλίνδρου προτείνεται να λάβουμε σημεία σε τουλάχιστον δύο διαφορετικά ύψη της οπής ή του άξονα, δηλαδή να κινηθεί ο αισθητήρας στον άξονα z.

Στην περίπτωση των κύκλων, κυλίνδρων και σφαιρών έχουν εφαρμογή οι μέθοδοι του μέγιστου εγγεγραμμένου και του ελάχιστου περιγεγραμμένου κύκλου. Η Μέθοδος μέγιστου εγγεγραμμένου κύκλου δίνει σαν αποτέλεσμα τον κύκλο με τη μέγιστη διάμετρο περικυκλωμένη. Είναι πιο ασταθής από τη Μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων, καθώς ένα σύνολο σημείων δεν δίνει μόνο ένα μέγιστο εγγεγραμμένο κύκλο αλλά μπορεί να δίνει περισσότερους από ένα μέγιστους εγγεγραμμένους κύκλους. Η μέθοδος αυτή πρέπει να εντοπίσει τη συνολικά βέλτιστη προσαρμογή ανάμεσα στα τοπικά βέλτιστα, επομένως υπάρχει κίνδυνος ο αλγόριθμος να σταματήσει προτού εντοπίσει τον καθολικά βέλτιστο κύκλο.

Η Μέθοδος ελάχιστου περιγεγραμμένου κύκλου δίνει σαν αποτέλεσμα τον κύκλο με την ελάχιστη διάμετρο. Ο αλγόριθμος σε κάθε περίπτωση θα δώσει αποτέλεσμα, όμως πρέπει να κριθεί η αξία του σε κάθε περίπτωση καθώς δεν έχει πάντα ουσιαστικό νόημα. Το αποτέλεσμα είναι συνήθως μοναδικό.

4. Μετροτεχνικό Εργαστήριο Ε.Μ.Π.

4.1 Γενικά

Το Μετροτεχνικό Εργαστήριο (ΜΕ) αποτελεί οργανωτική μονάδα του ΕΜΠ από το 1962, οπότε και ιδρύθηκε. 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. Παράλληλα, το Μετροτεχνικό Εργαστήριο δραστηριοποιήθηκε από την ίδρυσή του στην διεξαγωγή ερευνητικού έργου και στην παροχή υπηρεσιών σε επιχειρήσεις και οργανισμούς του ιδιωτικού και του δημόσιου τομέα.

Τα μέλη του Μετροτεχνικού Εργαστηρίου ασχολούνται με τα Συστήματα Διαχείρισης Ποιότητας. Συγκεκριμένα καλύπτονται οι περιοχές του Ελέγχου Ποιότητας, με έμφαση στους μη καταστροφικούς ελέγχους και σε μετρήσεις υψηλής ποιότητας.

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

Η υποδομή του Μετροτεχνικού Εργαστηρίου ενισχύθηκε σημαντικά το 2007 με την κατασκευή αίθουσας ελεγχόμενων συνθηκών. Το εργαστήριο διαπιστεύθηκε κατά το πρότυπο EN ISO/IEC 17025:2005. Το έργο αυτό έχει ενταχθεί στο Επιχειρησιακό Πρόγραμμα «ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ» (Μέτρο 1.2 “Εθνικό Σύστημα Ποιότητας”, Δράση 1.2.2 “Πιστοποίηση”) με τίτλο: «Ενίσχυση της υφισταμένης υποδομής του Μετροτεχνικού Εργαστηρίου του Τομέα Βιομηχανικής Διοίκησης και Επιχειρησιακής Έρευνας της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου για την παροχή υπηρεσιών δοκιμών». Σκοπός του έργου είναι να αναβαθμιστούν οι προσφερόμενες στην ελληνική βιομηχανία υπηρεσίες ελέγχου ποιότητας του εργαστηρίου, με τον έλεγχο του συνόλου των διαστασιακών και γεωμετρικών ανοχών, σε κάθε τύπο και μορφή βιομηχανικών και μηχανουργικών προϊόντων.

Με τη διαπίστευση, το Μετροτεχνικό εργαστήριο φιλοδοξεί να αποτελέσει κομβικό σημείο υποστήριξης των επιχειρήσεων, ιδιαίτερα εκείνων που εφαρμόζουν πιστοποιημένα συστήματα ποιότητας κατά τα πρότυπα της σειράς ISO 9000:2000 και απαιτούν υψηλή ποιότητα και ακρίβεια σε θέματα διαστασιακών ελέγχων-δοκιμών αλλά και διακριβώσεων. Παρακάτω ακολουθεί φωτογραφία του χώρου μετρήσεων του Μετροτεχνικού Εργαστηρίου, καθώς και πίνακας με το επίσημο πεδίο εφαρμογής της διαπίστευσης του μέχρι στιγμής.



Εικόνα 14 Χώρος μετρήσεων του εργαστηρίου και διδασκαλίας των φοιτητών.(Φωτογραφία από το site του εργαστηρίου)

4.2 Αίθουσα ελεγχόμενων συνθηκών

Η ενίσχυση της κτιριακής δομής έγινε με βάση τη Γερμανική Προδιαγραφή για χώρους μετρήσεων VDI/VDE 2627 Blatt 1, που είναι η μοναδική προδιαγραφή για χώρους μετρήσεων στον κόσμο. Ιδιαίτερο βάρος στο έργο δόθηκε στον έλεγχο των δύο βασικότερων περιβαλλοντικών παραμέτρων που επηρεάζουν τις διαστασιακές μετρήσεις, τη θερμοκρασία και τις ταλαντώσεις, ενώ οι απαιτούμενες συνθήκες που προέκυψαν είναι:

- ✓ **Σταθερή θερμοκρασία:** Η ρύθμιση της θερμοκρασίας είναι αυτόματη από σύστημα κλιματισμού. Η θερμοκρασία διατηρείται σε όριο δυνατών αποκλίσεων ± 0.5 °C από την κανονική θερμοκρασία των 20 °C (που είναι ακριβώς ίση με 68 F), ενώ οι τοίχοι, τα δάπεδα και η οροφή είναι κατάλληλα θερμομονωμένα. Η εισαγωγή και εξαγωγή θερμού ή ψυχρού αέρα γίνεται από το δάπεδο και την οροφή με πολύ μικρή ταχύτητα για την αποφυγή στροβιλισμών που συνεπάγεται την ανομοιόμορφη κατανομή της θερμοκρασίας στο χώρο. Ακριβή θερμόμετρα έχουν τοποθετηθεί σε διάφορα σημεία του χώρου μετρήσεων για έλεγχο του αυτόματου συστήματος ρύθμισης της θερμοκρασίας. Τέλος υπάρχει προθάλαμος εισόδου με σύστημα air lock στην αίθουσα (πρέπει πρώτα να κλείσει η εξωτερική πόρτα του προθαλάμου για να ανοίξει η πόρτα της αίθουσα ελεγχόμενων συνθηκών), με σκοπό την διατήρηση των ελεγχόμενων συνθηκών μετρήσεων.



Εικόνα 15 Μονάδα κλιματισμού για τη διατήρηση των επιθυμητών συνθηκών εντός της αίθουσας ελεγχόμενων συνθηκών. (Φωτογραφία από το site του εργαστηρίου)



Εικόνα 16 Κεντρική στήλη αισθητήρων. Αντίστοιχες στήλες και αισθητήρες υπάρχουν περιμετρικά του χώρου. (Φωτογραφία από το site του εργαστηρίου)

- ✓ *Απαλλαγή από δονήσεις:* Τοποθετήθηκε αντικραδασμικό δάπεδο 4*4m, το οποίο είναι ανεξάρτητο από το υπόλοιπο κτίριο. Πάνω στο αντικραδασμικό δάπεδο τοποθετήθηκαν πάγκοι από γρανίτη (3*1*0,3m), πάνω στους οποίους τοποθετήθηκαν οι συσκευές μέτρησης, για πρόσθετη σταθερότητα. Περιμετρικά του αντικραδασμικού δαπέδου υπάρχει διάδρομος, ώστε να εξασφαλίζεται η άνετη εργασία των ερευνητών, χωρίς να δημιουργούνται επιπλέον δονήσεις στις συσκευές.
- ✓ *Ελεγχόμενη υγρασία αέρα:* Αν η σχέση υγρασίας αέρος υπερβαίνει το $50 \pm 2 \%$ τότε τα μηχανήματα θα διαβρωθούν. Γι' αυτό το σύστημα κλιματισμού ρυθμίζει αυτόματα τα επίπεδα υγρασίας στα επιθυμητά.
- ✓ *Καθαριότητα και απαλλαγή από σκόνη:* Το σύστημα κλιματισμού έχει ενσωματωμένα φίλτρα καθαρισμού του αέρα ώστε να αφαιρείται η σκόνη. Επίσης στην είσοδο έχει τοποθετηθεί αντιστατικό πατάκι, έτσι ώστε να μη εισέρχεται πρόσθετη σκόνη με την είσοδο των ερευνητών, ενώ τηρείται συχνός καθαρισμός των τεμαχίων και των προτύπων από τους ερευνητές.
- ✓ *Ικανοποιητικός χώρος για άνετη εργασία:* Περιμετρικά του αντικραδασμικού δαπέδου υπάρχει διάδρομος, ώστε να εξασφαλίζεται η άνετη εργασία των ερευνητών, ενώ υπάρχουν επιπλέον πάγκοι και αποθηκευτικός χώρος για τα εξαρτήματα των συσκευών, τα πρότυπα και τα προς μέτρηση τεμάχια.

Επιπλέον, για να επαληθεύεται η τήρηση των παραπάνω συνθηκών, αλλά και για ερευνητικούς σκοπούς, λειτουργεί πλήρες σύστημα καταγραφής και επεξεργασίας δεδομένων, το οποίο τροφοδοτείται από:

- ✓ Τρία επιταχυνσιόμετρα μεγάλης ευαισθησίας, τοποθετημένα επί της πλάκας εφαρμογής, ένα σε κάθε μία από τις τρεις διαστάσεις, για τον έλεγχο των ταλαντώσεων.
- ✓ Δέκα θερμόμετρα ακριβείας τύπου θερμοαντίστασης, τοποθετημένα κοντά στο πάτωμα και την οροφή του θαλάμου, για τον έλεγχο της κατανομής της θερμοκρασίας στο χώρο και την οδήγηση του συστήματος κλιματισμού.
- ✓ Ένα σύστημα θερμομέτρου μεγάλης ακρίβειας τύπου θερμοαντίστασης, τοποθετημένο στο κέντρο του χώρου, για τον έλεγχο και την οδήγηση του συστήματος κλιματισμού και το μηδενισμό (ρύθμιση) των λουπών αισθητήρων θερμοκρασίας χώρου.
- ✓ Έναν αισθητήρα μέτρησης της ταχύτητας του εισερχόμενου αέρα.
- ✓ Έναν αισθητήρα ατμοσφαιρικής σχετικής υγρασίας.
- ✓ Έναν αισθητήρα ατμοσφαιρικής πίεσης.

Το σύστημα καταγραφής δεδομένων είναι παράλληλης και υψηλού ρυθμού καταγραφής και συνδέεται με ηλεκτρονικό υπολογιστή (τύπου server), ώστε να είναι δυνατή η αποθήκευση και η επεξεργασία των περιβαλλοντικών συνθηκών κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.

Συγκεκριμένα, στην αίθουσα ελεγχόμενων συνθηκών, υπάρχουν οι παρακάτω συσκευές μέτρησης:

Athens MBA ΟΠΑ & ΕΜΠ

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



Εικόνα 17 Η αίθουσα ελεγχόμενων συνθηκών. Διακρίνονται ορισμένες από τις συσκευές μέτρησης και τον υπόλοιπο εξοπλισμό (ηλεκτρονικοί υπολογιστές, αισθητήρες, κασετίνες με πρότυπα, κ.α.). (Φωτογραφία από το site του εργαστηρίου)

5. Εργαστήριο Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων - Εργαλείων & Αντίστροφου Μηχανολογικού Σχεδιασμού του Ε.Μ.Π.

5.1 Γενικά

Το Εργαστήριο Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων & Εργαλείων – Αντίστροφου Σχεδιασμού (ΤΚΠ-Ε&ΑΣ) του Τομέα Μηχανολογικών Κατασκευών και Αυτομάτου Ελέγχου της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του Ε.Μ.Π., δραστηριοποιείται κυρίως στην επιστημονική περιοχή του σχεδιασμού μηχανολογικών κατασκευών. Το Εργαστήριο ΤΚΠ-Ε&ΑΣ διαθέτει πιστοποίηση ISO 9001:2000 για την παροχή υπηρεσιών ποιοτικού ελέγχου διαστάσεων και γεωμετρίας μηχανολογικών κατασκευών με χρήση ΜΜΣ. Η δημιουργία του ξεκίνησε το 1996 στα πλαίσια του ΕΠΕΤ II της ΓΓΕΤ. Από το έτος 2001 αποτελεί θεσμοθετημένο εργαστήριο του Ε.Μ.Π. Το μόνιμο προσωπικό του εργαστηρίου αποτελείται από καθηγητές Ε.Μ.Π. και Διπλωματούχους Μηχανολόγους Μηχανικούς.

Το Εργαστήριο Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων & Εργαλείων (ΤΚΠ/ΤΚΕ) – Αντίστροφου Σχεδιασμού(ΑΣ) δραστηριοποιείται εκπαιδευτικά, ερευνητικά με παροχή υπηρεσιών στις παρακάτω επιστημονικές περιοχές:

- του Σχεδιασμού Μηχανολογικών Κατασκευών και Προϊόντων με γνώμονα την Ποιότητα, το Κόστος και το περιβάλλον,
- της Διαστασιολόγησης και Γεωμετρικής Ακρίβειας των Μηχανολογικών Κατασκευών,
- της Ανάλυσης και Σύνθεσης Ανοχών,
- της Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων και Εργαλείων,
- του Αντίστροφου Μηχανολογικού Σχεδιασμού.

Το Εργαστήριο διαθέτει δυνατότητα παροχής υπηρεσιών που αφορούν σε:

- Μηχανολογικές Κατασκευές σε περιβάλλον CAD/CAM/CAE
- Σχεδιασμό και ανάπτυξη ενδιάμεσων και τελικών Εργαλείων Παραγωγής (καλουπιών) για μεθόδους παραγωγής όπως Χύτευση άμμου, Χύτευση με τη μέθοδο του Χαμένου Κεριού, Χύτευση Κενού κλπ.
- Κατασκευή Πρωτοτύπων με τη μέθοδο LOM (Laminated Object Manufacturing)
- Διαστασιολογικό και Γεωμετρικό Μετροτεχνικό Έλεγχο Μηχανολογικών Αντικειμένων (προϊόντων, ιδιοσυσκευών, εργαλείων, καλουπιών κ.α.) με διατάξεις CMM (Coordinate Measuring Machines)
- Αποτύπωση και Ψηφιοποίηση Επιφανειών

Το εργαστήριο διαθέτει σταθερή αυτόματη Μηχανή Μέτρησης Συντεταγμένων τύπου γέφυρας (*Brigde type CMM DCC*) - *Mistral 070705* της DEA – Hexagon, πέντε βαθμών ελευθερίας, με ωφέλιμο χώρο μέτρησης 700x700x500 mm. Η μηχανή συνεργάζεται με αυτόματο σύστημα λήψης σημείων με ακίδα επαφής τύπου *PH10M/TP200* της Renishaw. Επιπλέον η μηχανή διαθέτει σύστημα κατασκευής ευέλικτων ιδιοσυσκευών



Εικόνα 18 Μηχανή Μέτρησης
Συντεταγμένων CMM στο
ΤΚΠ/ΤΚΕ

πρόσδεσης EASY-FIX του οίκου Mod-Eng (Modular Engineering). Υποστηρίζεται από κατάλληλο λογισμικό μετροτεχνικού ελέγχου/ψηφιακής αποτύπωσης (PC-DMIS).



Εικόνα 19 Φορητή Μηχανή Μέτρησης Συντεταγμένων τύπου αρθρωτού βραχίονα

Επιπλέον, το εργαστήριο διαθέτει Φορητή Μηχανή Μέτρησης Συντεταγμένων τύπου αρθρωτού βραχίονα (CMM-Articulated Arm / 3D digitizer) - FARO PLATINUM ARM της FARO Technologies, επτά βαθμών ελευθερίας, με εργόσφαιρα μέτρησης 2400 mm. Ο βραχίονας συνεργάζεται επίσης με ψηφιακό σαρωτή λέιζερ (laser scanner) τύπου FARO LASER LINE PROBE και ακρίβεια μέτρησης (με σαρωτή λέιζερ) $\pm 0.050\text{mm}$. Υποστηρίζεται από κατάλληλο λογισμικό μετροτεχνικού ελέγχου/ψηφιακής αποτύπωσης (Geomagic Studio + Geomagic Qualify).

Οι δυνατότητες των Μετρητικών Μηχανών Συντεταγμένων αφορούν τον:

- Ποιοτικό Έλεγχο Διαστάσεων και Γεωμετρίας: Διεξαγωγή μετρητικών εργασιών υψηλής ακρίβειας σε ολόκληρο το εύρος των γεωμετρικών και διαστασιολογικών ανοχών.
- Αντίστροφο Μηχανολογικό Σχεδιασμό: ψηφιακή σάρωση και αποτύπωση σε περιβάλλον 3D-CAD.

Επίσης, το εργαστήριο διαθέτει φορητό όργανο μέτρησης τραχύτητας επιφανειών με αισθητήρα επαφής τύπου στυλίσκου - SURTRONIC 3+ του οίκου Taylor & Hobson Ltd. Το τραχύμετρο προσφέρει τη δυνατότητα μέτρησης παραμέτρων τραχύτητας του προφίλ επιφάνειας (Ra, Rz, Rt κ.α.) σύμφωνα με τα ισχύοντα σχετικά πρότυπα ISO 4287, ISO 4288.



Εικόνα 20 Φορητό όργανο μέτρησης τραχύτητας

6. Μηχανουργείο CNC Solutions

6.1 Γενικά

Η CNC Solutions ιδρύθηκε το έτος 2003 και δραστηριοποιείται στον τομέα κατασκευών μεταλλικών εξαρτημάτων ακριβείας. Η εταιρεία έχει εξοπλιστεί με εργαλειομηχανές CNC τελευταίας τεχνολογίας, που σε συνδυασμό με την κατασκευαστική εμπειρία που διαθέτει από το 1980 σε κατασκευές εξαρτημάτων ακριβείας, ανταλλακτικών και ολοκληρωμένων προϊόντων μπορούν να δώσουν λύση σε οποιαδήποτε απαίτηση. Αναλαμβάνει την κατασκευή μοναδικών τεμαχίων, δειγμάτων ή μικρών και μεγάλων σειρών παραγωγής.

Η CNC SOLUTIONS δραστηριοποιείται στον κλάδο μηχανουργικών κατεργασιών και κατασκευής μηχανολογικών εξαρτημάτων. Σκοπός της είναι η τροφοδοσία άλλων παραγωγικών μονάδων, με μεμονωμένα εξαρτήματα ή συναρμολογήματα, τα οποία χρησιμοποιούνται ως μέρη μηχανών, μέρη προϊόντων ή ως ολοκληρωμένα προϊόντα. Προσηλωμένη στην ποιότητα, με υψηλούς μελλοντικούς στόχους και όραμα, η εταιρεία μεγεθύνει σε ετήσια βάση τους δείκτες ανάπτυξής της.

Η άμεση ανταπόκριση στα αιτήματα των πελατών, η αμοιβαία σχέση συνεργασίας με τους προμηθευτές, το εξειδικευμένο προσωπικό, ο σύγχρονος εξοπλισμός, οι ευέλικτες παραγωγικές διαδικασίες, η συμμόρφωση με τις αρχές του ISO 9001:2015, αλλά πάνω απ' όλα η αγάπη για τα προϊόντα που παράγει, έχουν όλα συμβάλει στην καταξίωση της εταιρείας στο χώρο και στην απολαβή υψηλής εκτίμησης από τους πελάτες.

Η εταιρεία παράγει κυρίως μεταλλικά αντικείμενα και προϊόντα με βασική πρώτη ύλη επίπεδες πλάκες, ράβδους και μπάρες χάλυβα, ανοξείδωτου χάλυβα και αλουμινίου και χαλκού. Τα προϊόντα που κατασκευάζει η εταιρεία, ποικίλουν από πελάτη σε πελάτη και συνήθως δεν είναι επαναλαμβανόμενα. Ως εκ τούτου, δεν υπάρχουν συγκεκριμένα μεγέθη πρώτων υλών που χρησιμοποιεί.

Επιπλέον πρώτες ή βοηθητικές ύλες που χρησιμοποιούνται είναι: κοχλίες, περικόχλια κλπ είδη σύνδεσης, πλαστικά προφίλ, προφίλ αλουμινίου, κόλλες, σακούλες συσκευασίας, χαρτοκιβώτια. Υλικά που χρησιμοποιούνται κατά την παραγωγική διαδικασία, ως αναλώσιμα των χρησιμοποιούμενων διεργασιών και που δεν ενσωματώνονται στα προϊόντα είναι: λιπαντικά και υδραυλικά έλαια, κοπτικά και ψυκτικά υγρά μηχανών CNC.

Η εταιρεία προμηθεύεται τις πρώτες και βοηθητικές ύλες της κυρίως από προμηθευτές στην Ελλάδα. Σε περίπτωση που πρόκειται για μεγάλη παραγγελία και διαπιστώνεται ότι η προμήθεια από το εξωτερικό θα δώσει καλύτερες τιμές, η προμήθεια γίνεται από εξωτερικό. Βέβαια, πριν από όλα λαμβάνονται υπόψη οι εκάστοτε απαιτήσεις και προδιαγραφές του πελάτη και η διαθεσιμότητα των εκάστοτε πρώτων υλών στην εγχώρια αγορά.

Οι παραγωγικές Διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στην εταιρεία είναι οι παρακάτω:

✓ **Τεμαχισμός πρώτων υλών**

Η πρώτη ύλη (μπάρες, ράβδοι, πλάκες, κοιλοδοκοί, στραντζαριστά, μασίφ, μπάρες, γωνίες κλπ) τεμαχίζεται αρχικά στην πριονοκορδέλα. Στην περίπτωση που κάποιες μορφές πρώτης ύλης δεν είναι δυνατόν να τεμαχιστούν στην πριονοκορδέλα, δίνονται σε εξωτερικούς υποκατασκευαστές ή ζητούνται από τον προμηθευτή να έλθουν τεμαχισμένα σε ζητούμενες διαστάσεις.

✓ **Κατεργασία σε εργαλειομηχανές**

Η κατεργασία των τεμαχίων πραγματοποιείται σε φρέζες και τόνους CNC που διαθέτει η εταιρεία .

Ο κοινός παρονομαστής όλων των παραγωγικών διεργασιών είναι η ικανοποίηση του πελάτη, όπως αυτή προδιαγράφεται στις απαιτήσεις του για το προϊόν, μετράται μέσω των εργαλείων συνεχούς βελτίωσης, αποτυπώνεται σε τυχόν παράπονά του και τελικά αποδεικνύεται με την εμπιστοσύνη του πελάτη.

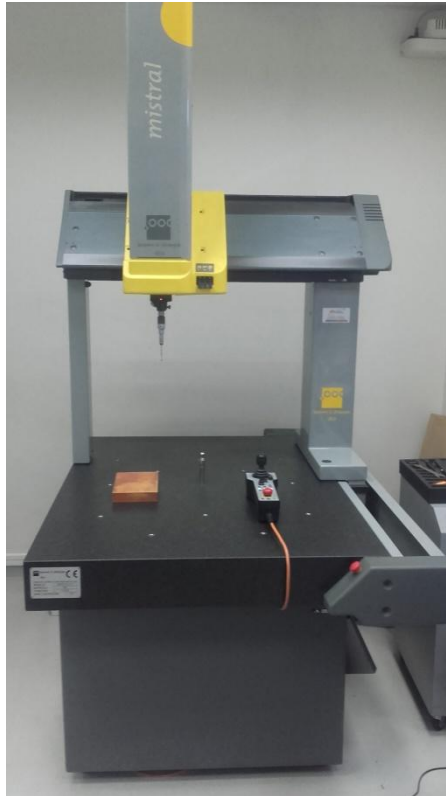
Οι πελάτες της εταιρείας καλύπτουν ένα τεράστιο εύρος τομέων της ελληνικής βιομηχανικής παραγωγής, αφού στρατηγική των ιδρυτών της εταιρείας, όταν ακόμη αυτή ήταν νεοσύστατη, με στόχο να μπουν στην αγορά, ήταν να καλύψουν κάθε ανάγκη, από τη μικρότερη στη μεγαλύτερη. Έτσι μέσα από αυτή την προσπάθεια δημιούργησαν σχέσεις συνεργασίας με μεγάλες βιομηχανίες (π.χ. BIC). Από την περίοδο που ξεκίνησε η κρίση και μετά τα πράγματα δυσκόλεψαν πάρα πολύ και η εταιρεία αναγκάστηκε να ακολουθήσει δρόμους που με διάφορους τρόπους θα την καθιστούσαν και εξαγωγική. Ο προσανατολισμός της πλέον είναι κατά μεγάλο μέρος εξαγωγικός, θεωρώντας αυτό σαν τον τρόπο να αντιπαρέλθει στα προβλήματα της κρίσης. Η παρακολούθηση κάθε τεχνολογικής εξέλιξης, η δημιουργία του εκπαιδευτικού κέντρου για CNC, η δημιουργία δορυφορικών εμπορικών εταιρειών καθιστά την εταιρεία σοβαρό παίκτη στον τομέα και δυνητικό ρυθμιστή στο εγγύς μέλλον. Οι τάσεις ως προς το πελατολόγιο είναι αυξητικές.

6.2 Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου

Για τη διασφάλιση των υψηλών ποιοτικών προδιαγραφών των πελατών της σε Ελλάδα και εξωτερικό, η CNC Solutions δημιούργησε και λειτουργεί ένα ανεξάρτητο και πλήρως εξοπλισμένο εργαστήριο ποιοτικού ελέγχου. Στο εργαστήριο ποιοτικού ελέγχου του μηχανουργείου CNC Solutions υπάρχουν οι παρακάτω συσκευές- όργανα μέτρησης:

- ✚ Μια χειροκίνητη Μηχανή Μέτρησης Συντεταγμένων (CMM) Mitytoyo
- ✚ Μια αυτόματη Μηχανή Μέτρησης Συντεταγμένων (CMM) DEA
- ✚ Σταθερό Σκληρόμετρο Rockwell της Innovatest
- ✚ Φορητό Τραχύμετρο Rugosurf TESA
- ✚ Παχύμετρα, Μικρόμετρα, Μικρόμετρα Οπής, Πλακίδια Johansson (Πρότυπα Πλακίδια Μήκους), Πρότυποι Δακτύλιοι, Ελεγκτήρες Ορίων (Άξονες Οπής Go/No Go, ελεγκτήρες σπειρωμάτων), Πρότυπες Γωνιές

Επίσης έχει ενσωματώσει ένα αναγνωρισμένο ολοκληρωμένο σύστημα ποιότητας για την κατασκευή μερών και εξαρτημάτων ακριβείας μεταλλικών προϊόντων, το οποίο είναι διαμορφωμένο σύμφωνα με το ISO 9001, ISO 14001 και το OHSAS 18001 υποστηρίζοντας τους απαιτητικούς στόχους ποιότητας που έχει θέσει. Για τις μετρήσεις στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η αυτόματη Μηχανή Μέτρησης Συντεταγμένων DEA, το μοντέλο της οποίας είναι MISTRAL 07 07 05 και έτος κατασκευής το 2001.



Εικόνα 21 Αυτόματη Μηχανή Μέτρησης Συντεταγμένων CMM DEA

Η σκληρομέτρηση δίνει αξιόπιστα συμπεράσματα σχετικά με τον έλεγχο των εισερχομένων, των πρώτων υλών, των ενδιάμεσων όπως και των τελικών προϊόντων και έτσι συμβάλει ουσιαστικά στον ολοκληρωμένο Ποιοτικό Έλεγχο και την Διασφάλιση Ποιότητας.

Τα αποτελέσματα της σκληρομέτρησης παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με διάφορα θέματα που χαρακτηρίζουν τα υλικά όπως για παράδειγμα:

- Προσδιορισμός υλικού.
- Έλεγχος ορθής διαδικασίας θερμικής κατεργασίας.
- Έλεγχος ποιότητας επιφανειακών κατεργασιών.
- Συμπεριφορά και αντοχή του υλικού κατά τη διάρκεια του χρόνου.
- Συμπεριφορά του υλικού σε συνθήκες φθοράς και καταπόνησης.
- Έλεγχος μείωσης αντοχής μετά από θερμική κατεργασία.
- Πληροφορίες σχετικά με αντοχή σε εφελκυσμό

Η χρήση των σταθερών σκληρομέτρων προσφέρει στον χρήστη αποτελέσματα που χαρακτηρίζονται από ακρίβεια και ανεπηρέαστα από τον λάθος του ανθρώπινου παράγοντα. Η σκληρότητα ενός υλικού είναι η αντίσταση που εμφανίζει το υλικό στη

διείσδυση ενός ξένου σώματος. Η μέτρηση της σκληρότητας σε συγκεκριμένη κλίμακα μεταφράζεται με πίνακες στην αντοχή εφελκυσμού του μετρούμενου υλικού.



Εικόνα 22 Σταθερό Σκληρόμετρο Rockwell της Innovatest

Για να μετρηθεί η σκληρότητα πιέζεται το υλικό στην επιφάνεια του με συγκεκριμένη δύναμη και για συγκεκριμένη χρονική διάρκεια. Το σώμα που επιχειρεί να διεισδύσει στο προς εξέταση υλικό ονομάζεται διεισδυτής. Η δύναμη δίνεται χειροκίνητα από το χερούλι, που διαθέτει το σκληρόμετρο. Το αποτέλεσμα της σκληρομέτρησης εμφανίζεται αναλογικά ως ένδειξη στις κλίμακες HRA, HRB, HRC. Η αρχή λειτουργίας των περισσότερων δοκιμών σκληρότητας βασίζεται στη μέτρηση των διαστάσεων του αποτυπώματος που δημιουργεί ο διεισδυτής αυτός. Εάν το αποτύπωμα αυτό είναι μικρό, σημαίνει ότι το υλικό αντιστέκεται στη διείσδυση και επομένως είναι σκληρό, ενώ εάν το αποτύπωμα είναι μεγάλο, το υλικό αντιστέκεται λιγότερο και επομένως είναι λιγότερο σκληρό.

Το καθοριστικό στοιχείο της ποιότητας της επιφανείας είναι η τραχύτητα. Η ποιότητα επιφανείας κατεργασμένων τεμαχίων εξαρτάται από την μέθοδο κατεργασίας. Για τις συνήθεις μηχανολογικές επιφάνειες είναι της τάξης του δέκατου του χιλιοστού (2,0-100μm) και οφείλεται:

- ✓ Στην κινηματική της κατεργασίας (σχετική κίνηση κοπτικού εργαλείου – τεμαχίου)
- ✓ Στο υλικό του κατεργαζόμενου τεμαχίου
- ✓ Στη γεωμετρική μορφή του κοπτικού εργαλείου που προκαλεί την αφαίρεση υλικού, στην τραχύτητα των κοπτικών ακμών και στη φθορά τους
- ✓ Στις παραμέτρους της κατεργασίας (ταχύτητα κοπής, πρόωση, βάθος κοπής)
- ✓ Στην παρουσία ή έλλειψη του υγρού κοπής
- ✓ Στην κατάσταση και τη συντήρηση της εργαλειομηχανής
- ✓ Στις ταλαντώσεις του συστήματος

Η τραχύτητα είναι πολύ σημαντική για την πρόβλεψη της διάρκειας ζωής μιας κατασκευής και για το μη καταστροφικό έλεγχο της κατά την διάρκεια λειτουργίας της. Είναι γνωστό ότι οι βυθίσεις του επιφανειακού ανάγλυφου αποτελούν σημεία έναρξης ρηγμάτων, στην περίπτωση που η κατασκευή εργάζεται κάτω από την εφαρμογή εναλλασσομένων μηχανικών φορτίων ή και διάβρωσης.

Το όργανο μέτρησης της τραχύτητας είναι το τραχύμετρο στυλίσκου, το οποίο βρίσκει τις ανομοιομορφίες (αποκλίσεις) της επιφάνειας με τη βοήθεια αδαμάντινης ακίδας, η οποία σαρώνει σε ένα δειγματοληπτικό μήκος. Ανάλογα με τις ανομοιομορφίες της επιφάνειας εμφανίζονται αλλαγές στην κίνηση της ακίδας. Οι αλλαγές αυτές μετατρέπονται σε αλλαγές τάσης ή έντασης, οι οποίες ηλεκτρονικά ενισχυμένες παρουσιάζονται ως οι αποκλίσεις της επιφάνειας από την κεντρική γραμμή.

Το τραχύμετρο που διαθέτει το Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου είναι το TESA RUGOSURF 20, το οποίο είναι ιδιαίτερα ανθεκτικό και εύκολο στην χρήση με αισθητήρα επαφής τύπου στυλίσκου. Διαθέτει εξωτερική ακίδα για μέτρηση σε:

- Εξωτερικές Επιφάνειες (επίπεδες & άξονες)
- Εσωτερικές επιφάνειες (ακόμη και σε πολύ μικρές οπές)
- Επιφάνειες δυσπρόσιτες και αυλακώσεις
- Επιφάνειες πολύ μικρών διαστάσεων



Εικόνα 23 Τραχύμετρο TESA

Τα τεχνικά Χαρακτηριστικά του είναι:

- Εύρος μέτρησης: Ra: 0μm έως 100μm / Rt: 0,05μm έως 400μm
- Αναγνωσιμότητα: 0.001μm
- Εύρος κίνησης: X:16mm και Z:±200μm
- Μέτρησης 15 διαφορετικών παραμέτρων τραχύτητας
- Δυνατότητα μελλοντικής σύνδεσης σε Η/Υ για μεταφορά και επεξεργασία των δεδομένων

Το σετ περιλαμβάνει:

1. Κυρίως συσκευή
2. Πρότυπο πλακίδιο τραχύτητας
3. Φορτιστή

4. Βαλίτσα μεταφοράς

5. Δύο προσθήκες για τοποθέτηση του τραχυμέτρου σε μαγνητικές Βάσεις ή άξονες

Το εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου της CNC Solutions, διαθέτει παχύμετρα είτε ψηφιακά είτε με ρολόι για την μέτρηση εσωτερικών και εξωτερικών διαστάσεων, οπών, αυλακιών, βαθών. Το παχύμετρο έχει πολλές δυνατότητες χρήσης, είναι μια απλή κατασκευή και η χρήση του αρκετά εύκολη. Το παχύμετρο παρέχει τη δυνατότητα μέτρησης σε ίντσες και χιλιοστά και αποτελείται από τον κανόνα με υποδιαίρεσεις και ένα σταθερό ράμφος, το οποίο σχηματίζει ορθή γωνία με τον κανόνα.



Εικόνα 24 Ψηφιακό Παχύμετρο

Τα παχύμετρα κατασκευάζονται από χάλυβα υψηλής αντοχής μη οξειδωμένου. Ιδιαίτερη σημασία καταβάλλεται στην συναρμογή και την καθετότητα ράβδων και κανόνων του οργάνου. Για σωστή μέτρηση πρέπει, η γραμμή μέτρησης να είναι η συντομότερη απόσταση του σημείου αναφοράς και του μετρούμενου σημείου. Η γραμμή μέτρησης πρέπει να βρίσκεται στο επίπεδο του οργάνου, να είναι παράλληλη με την κλίμακα του οργάνου και υπό μέτρηση αντικείμενο να βρίσκεται όσο δυνατόν πιο κοντά στον κανόνα.

Επιπλέον το εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου του μηχανουργείου διαθέτει μικρόμετρα είτε αναλογικά είτε ψηφιακά για την μέτρηση εξωτερικών και εσωτερικών διαστάσεων με ακρίβεια μεγαλύτερα από εκείνη που μπορεί να δώσει το παχύμετρο. Λόγω της κατασκευής τους για κάθε διαφορετική μέτρηση χρειάζεται και διαφορετικό μικρόμετρο (0-25mm, 25-50mm, 50-75mm κλπ). Λόγω της ευκολίας χρήσης του, του μεγέθους του, αλλά και της ακρίβειας που προσφέρει το μικρόμετρο χρησιμοποιείται ευρέως στις μετρήσεις.



Εικόνα 25 Ψηφιακό μικρόμετρο μέτρησης εξωτερικών διαστάσεων

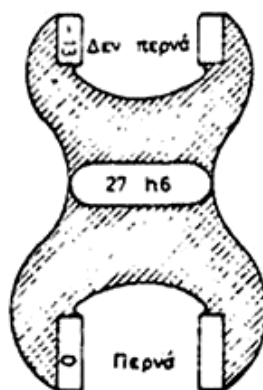


Εικόνα 26 Μικρόμετρο τριών σημείων για μέτρηση οπών

Σημαντικό εργαλείο για τον έλεγχο ποιότητας των παραγόμενων τεμαχίων – εξαρτημάτων αποτελούν οι ελεγκτήρες ορίων GO/NO GO διαστάσεων, διαμέτρων και σπειρωμάτων, καθώς εξοικονομείται κόστος και χρόνος. Οι ελεγκτήρες ορίων αντικαθιστούν με ακρίβεια τις οριακές τιμές μιας διάστασης (ανοχής). Επομένως για τον έλεγχο στοιχείου απαιτούνται δύο πρότυπα φτιαγμένα στις προδιαγραφές των οριακών τιμών του στοιχείου. Ανάλογα εάν το εξεταζόμενο τεμάχιο περάσει ή όχι μέσα από τον ελεγκτήρα, δίνεται το αντίστοιχο αποτέλεσμα «Περνά- GO» ή «Δεν Περνά-NO GO» ανάλογα με τις εκάστοτε απαιτήσεις και με αυτό τον τρόπο κρίνεται η καταλληλότητα του τεμαχίου.



Εικόνα 27 Ελεγκτήρας ορίων διαμέτρου 15H7



Εικόνα 28 Ελεγκτήρας ορίου διάστασης 27h6

Αν και οι ελεγκτήρες ορίων δεν παράγουν σαφές αποτέλεσμα η χρησιμότητά τους είναι πολύ μεγάλη στο βιομηχανικό τομέα. Με τη χρήση τους, και ενώ έχουν ρυθμιστεί ανάλογα με τις επιθυμητές ανοχές, γίνεται εύκολος και πολύ γρήγορος έλεγχος και απόρριψη των προϊόντων που δεν πληρούν τις προδιαγραφές.

Για τον έλεγχο των μετρητικών οργάνων απαιτείται χρήση πρότυπων πλακιδίων. Τα πρότυπα, ανάλογα με τον τύπο τους, χρησιμοποιούνται κυρίως για ρύθμιση των μετρητικών οργάνων, καθώς κατασκευάζονται με πολύ μεγάλη ακρίβεια και ποιότητα, αλλά χρησιμοποιούνται εξίσου και για ποιοτικούς ελέγχους σε παραγόμενα βιομηχανικά τεμάχια, μέσω των μετρητών ορίων, ώστε να εξετάζεται αν βρίσκονται μέσα στις απαιτούμενες ανοχές.



Εικόνα 29 Συλλογή πρότυπων πλακιδίων.

Τα πρότυπα πλακίδια είναι ορθογώνια παραλληλεπίπεδα (υπάρχουν και τετραγωνικά πλακίδια), των οποίων δύο επιφάνειες, αυτές που αντιστοιχούν στα όρια της διάστασης του ονομαστικού μήκους του πλακιδίου, είναι τελείως λείες, επίπεδες και παράλληλες. Συνήθως κατασκευάζονται από χάλυβα υψηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα, ώστε να αντέχουν στη φθορά, όμως χρησιμοποιούνται και άλλα υλικά (καρβίδια του βολφραμίου και χρωμίου, κεραμικά πλακίδια κ.α.). Για την ποιότητα των επιφανειών τους ακολουθούνται ειδικές κατεργασίες (θερμικές κατεργασίες, σκλήρυνση, λείανση, κ.α.). Τα πλακίδια, λόγω της πολύ καλής ποιότητας των επιφανειών τους, παρουσιάζουν κατά το συνδυασμό τους πολύ ισχυρή πρόσφυση. Η τεχνική που ακολουθείται για το συνδυασμό των πλακιδίων ονομάζεται συστροφή.



Εικόνα 30 Συνδυασμός πρότυπων πλακιδίων

Τα πρότυπα πλακίδια κατασκευάζονται σε διάφορες ποιότητες, ανάλογα με τη χρήση τους και τις απαιτήσεις σε ακρίβεια. Ο έλεγχος των πλακιδίων γίνεται με τη χρήση άλλων,

ανώτερης ποιότητας, ενώ τα πλακίδια της ανώτατης ποιότητας διακριβώνονται με συμβολόμετρο.

6.3 Αρχές Διαχείρισης της Ποιότητας της CNC Solutions

Οι αρχές της ποιότητας που εφαρμόζει η διοίκηση της εταιρείας στοχεύουν στη μακρόχρονη και συνεχή βελτίωση της επίδοσης, επικεντρώνοντας την προσοχή στους πελάτες και συγχρόνως καλύπτοντας τις ανάγκες των άλλων ενδιαφερόμενων μερών. Οι αρχές της ποιότητας για τη CNC Solutions είναι:

ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΣΤΟΝ ΠΕΛΑΤΗ

Η εταιρεία στηρίζεται στους πελάτες της και για το λόγο αυτό πρέπει να κατανοεί τις τρέχουσες και μελλοντικές ανάγκες τους, να ικανοποιεί τις απαιτήσεις τους και να προσπαθεί να υπερβεί τις προσδοκίες τους.

Εφαρμόζοντας την αρχή επικέντρωσης στον πελάτη, η εταιρεία :

- Κατανοεί το σύνολο των αναγκών και προσδοκιών του πελάτη για το προϊόν, το χρονοδιάγραμμα, τις τιμές, την ποιότητα κατασκευής, τα υλικά, την αξιοπιστία κλπ.
- Κοινοποιεί τις ανάγκες και τις προσδοκίες των πελατών σε όλο το προσωπικό.
- Εξασφαλίζει μια ισορροπημένη προσέγγιση μεταξύ των αναγκών και των προσδοκιών των πελατών και των άλλων ενδιαφερομένων (μέτοχοι, ανθρώπινο δυναμικό, προμηθευτές και η κοινωνία γενικότερα).
- Μετρά την ικανοποίηση του πελάτη και αξιοποιεί τα αποτελέσματα των μετρήσεων.

ΗΓΕΣΙΑ

Η Διοίκηση της εταιρείας εξασφαλίζει αρμονία, κοινή κατεύθυνση και το κατάλληλο περιβάλλον, μέσα στο οποίο όλα τα άτομα μπορούν να συμμετάσχουν πλήρως στην επίτευξη των αντικειμενικών σκοπών της.

Η εφαρμογή της αρχής της ηγεσίας οδηγεί της παρακάτω ενέργειες :

- Υποδειγματική καθοδήγηση και έγκαιρη δράση.
- Κατανόηση και ανταπόκριση στις αλλαγές του εξωτερικού περιβάλλοντος.
- Αντιμετώπιση των αναγκών όλων των εμπλεκόμενων, συμπεριλαμβανομένων των πελατών, μετόχων, εργαζομένων, προμηθευτών και της κοινωνίας γενικότερα.
- Δημιουργία ξεκάθαρου οράματος για το μέλλον της εταιρείας.
- Έμπνευση, ενθάρρυνση και αναγνώριση της συνεισφοράς των εργαζομένων.
- Καθορισμό προκλητικών αντικειμενικών σκοπών και στόχων.
- Εφαρμογή στρατηγικής για την επίτευξη των σκοπών και των στόχων αυτών.

ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΤΩΝ ΑΤΟΜΩΝ

Τα άτομα σε όλα τα επίπεδα είναι η πεμπτουσία της εταιρείας και η πλήρης συμμετοχή τους επιτρέπει να αξιοποιούνται οι ικανότητές τους προς όφελός της.

Η εφαρμογή της αρχής της ενεργούς συμμετοχής ατόμων οδηγεί στις παρακάτω ενέργειες από το προσωπικό :

- Αποδοχή δικαιοδοσίας και υπευθυνότητας στην επίλυση προβλημάτων.
- Ενεργό συμμετοχή στην αναζήτηση ευκαιριών για βελτίωση.
- Καινοτομία και δημιουργικότητα στην επίτευξη των αντικειμενικών σκοπών και στόχων.
- Άντληση ικανοποίησης από την εργασία, ενθουσιασμός και υπερηφάνεια για την συμμετοχή στην εταιρεία.

ΔΙΕΡΓΑΣΙΟ-ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

Ένα επιθυμητό αποτέλεσμα επιτυγχάνεται πιο αποδοτικά όταν οι σχετικοί πόροι και δραστηριότητες διαχειρίζονται ως μία διεργασία.

Κάθε δραστηριότητα η οποία λαμβάνει εισερχόμενα και τα μετατρέπει σε εξερχόμενα θεωρείται ως διεργασία. Η συστηματική αναγνώριση και διαχείριση των διεργασιών που εκτελούνται στην εταιρεία και η αλληλεπίδραση μεταξύ αυτών των διεργασιών αναφέρεται ως διεργασιο-κεντρική προσέγγιση.

Η εφαρμογή της αρχής της διεργασιο-κεντρικής προσέγγισης οδηγεί στις παρακάτω ενέργειες:

- Καθορισμός διεργασίας για την επίτευξη του επιθυμητού αποτελέσματος.
- Προσδιορισμός και μέτρηση των εισερχομένων και των εξερχομένων της διεργασίας.
- Αποτίμηση πιθανών ρίσκων, συνεπειών και επιδράσεων των διεργασιών στους πελάτες, προμηθευτές και τους άλλους εμπλεκόμενους στη διεργασία.
- Καθορισμός υπευθυνοτήτων, αρμοδιοτήτων και εξουσιοδοτήσεων για τη διαχείριση των διεργασιών.

ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ

Προσδιορισμός, κατανόηση και διαχείριση ενός συνόλου αλληλένδετων διεργασιών ως ένα σύστημα, συμβάλλει στην αποτελεσματικότητα και αποδοτικότητα της εταιρείας κατά την επίτευξη των αντικειμενικών σκοπών και στόχων της.

Η εφαρμογή της αρχής της προσέγγισης Συστήματος στη Διαχείριση οδηγεί στις παρακάτω ενέργειες:

- Καθορισμός του Συστήματος μέσω της αναγνώρισης ή ανάπτυξης της διεργασίας που επηρεάζει ένα δεδομένο αντικειμενικό σκοπό.
- Δομή του Συστήματος κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να επιτευχθεί ο αντικειμενικός σκοπός με τον πιο αποδοτικό τρόπο.
- Κατανόηση των αλληλεξαρτήσεων μεταξύ των διεργασιών του Συστήματος.
- Συνεχής βελτίωση του Συστήματος μέσα από μέτρηση και αξιολόγηση.
- Καθορισμός-περιορισμός χρήσης πόρων από κάθε δράση.

ΣΥΝΕΧΗΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗ

Η συνεχής βελτίωση της συνολικής επίδοσης της εταιρείας αποτελεί ένα μόνιμο αντικειμενικό σκοπό της.

Η εφαρμογή της αρχής της συνεχούς βελτίωσης οδηγεί στις παρακάτω ενέργειες:

- Η συνεχής βελτίωση των προϊόντων, των διεργασιών και των συστημάτων αποτελεί κοινό στόχο για όλο το προσωπικό της εταιρείας.
- Εφαρμογή των βασικών αρχών βελτίωσης για τη σταδιακή βελτίωση με μικρά βήματα ή τη στρατηγική-ριζοσπαστική βελτίωση.
- Χρήση τακτικών αξιολόγησης έναντι καθιερωμένων κριτηρίων υπεροχής (μελέτη ανταγωνισμού), για την αναγνώριση περιοχών πιθανής βελτίωσης.
- Προώθηση προληπτικών ενεργειών.
- Παροχή κατάλληλης επιμόρφωσης και εκπαίδευσης προσωπικού, σε μεθόδους και εργαλεία συνεχούς βελτίωσης.
- Καθιέρωση μετρήσεων και στόχων για την καθοδήγηση και την παρακολούθηση βελτιώσεων.

ΣΤΟΙΧΕΙΟΘΕΤΗΜΕΝΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΣΤΗ ΛΗΨΗ ΑΠΟΦΑΣΗΣ

Οι αποτελεσματικές αποφάσεις βασίζονται στη λογική ή στη διαισθητική ανάλυση των δεδομένων.

Η εφαρμογή της αρχής της στοιχειοθετημένης προσέγγισης στη λήψη απόφασης οδηγεί στις παρακάτω ενέργειες :

- Λήψη μετρήσεων και συλλογή δεδομένων και πληροφοριών σχετικών με τους αντικειμενικούς σκοπούς και στόχους της εταιρείας.
- Εξασφάλιση ότι τα δεδομένα και οι πληροφορίες είναι επαρκώς ακριβή, αξιόπιστα και προσιτά.
- Ανάλυση των δεδομένων και των πληροφοριών με τη χρήση αξιόπιστων μεθόδων.
- Κατανόηση της αξίας των κατάλληλων στατιστικών τεχνικών.
- Λήψη αποφάσεων και δράσεων βασιζόμενων στα αποτελέσματα της λογικής ανάλυσης σε ισορροπία με την εμπειρία και τη διαίσθηση.

ΣΧΕΣΕΙΣ ΑΜΟΙΒΑΙΟΥ ΟΦΕΛΟΥΣ ΜΕ ΠΡΟΜΗΘΕΥΤΕΣ

Υπάρχει αλληλεξάρτηση ανάμεσα στην εταιρεία και στους προμηθευτές της. Η καλλιέργεια σχέσεων αμοιβαίου οφέλους βοηθά και τα δύο μέρη να αυξήσουν την ικανότητα τους να προσθέτουν αξία στην επιχείρηση.

Η εφαρμογή της αρχής των σχέσεων αμοιβαίου οφέλους με προμηθευτές οδηγεί στις παρακάτω ενέργειες :

- Αναγνώριση και επιλογή των σημαντικών προμηθευτών.
- Επίτευξη ξεκάθαρης και ανοικτής επικοινωνίας.
- Έναρξη από κοινού ανάπτυξης και βελτίωσης προϊόντων, υλικών και διεργασιών.
- Δημιουργία σχέσεων οι οποίες εξισορροπούν τις βραχυπρόθεσμες απολαβές με μια μακροπρόθεσμη θεώρηση για την εταιρεία και για την κοινωνία γενικότερα.
- Από κοινού καθορισμός ξεκάθαρης εικόνας των αναγκών του πελάτη.
- Ανταλλαγή πληροφοριών και μελλοντικών σχεδίων.
- Αναγνώριση των βελτιώσεων και επιτευγμάτων του προμηθευτή.

Οι παραπάνω οκτώ αρχές ελήφθησαν υπόψη κατά την ανάπτυξη του Συστήματος Διαχείρισης Ποιότητας της εταιρείας μας και βρίσκονται κάθε στιγμή στο νου των εσωτερικών επιθεωρητών που το αξιολογούν και το βελτιώνουν συστηματικά.

6.4 Πολιτική Ποιότητας της CNC Solutions

Αναγνωρισμένο σύστημα ποιότητας: Το σύστημα ποιότητας, το οποίο είναι διεθνές, διαμορφωμένο σύμφωνα με το EN ISO 9001, να υποστηρίζει τους απαιτητικούς στόχους ποιότητας που έχουμε θέσει.

Εξασφάλιση επιβίωσης: Να επενδύουμε στις πλέον σύγχρονες μεθόδους παραγωγής με στόχο τη μείωση του κόστους παραγωγής και άρα του κόστους των προϊόντων μας και ως εκ τούτου τη διατήρηση και επαύξηση του κεκτημένου μεριδίου της αγοράς.

Ικανοποίηση πελατών: Να προσβλέπουμε διαρκώς στην ικανοποίηση των πελατών μας, μέσα από την παροχή ποιοτικών προϊόντων και υπηρεσιών.

Εξασφάλιση αρμονίας, κοινής κατεύθυνσης και κατάλληλου περιβάλλοντος εργασίας: Να εξασφαλίζουμε τις δομές μέσα από τις οποίες όλο το προσωπικό να μπορεί να συμμετάσχει πλήρως στην επίτευξη των αντικειμενικών σκοπών της εταιρείας, με την υποδειγματική καθοδήγηση και έγκαιρη δράση από τη Διοίκηση καθώς και την έμπνευση, ενθάρρυνση και αναγνώριση της συνεισφοράς του.

Ασφάλεια και συμβατικότητα με το περιβάλλον: Να παράγουμε προϊόντα και να χρησιμοποιούμε μεθόδους παραγωγής που να είναι αξιόπιστα, ασφαλή και συμβατά με το περιβάλλον.

Αντιμετώπιση εξόδων και λαθών: Να προσπαθούμε πάντα να μειώνουμε την παραγωγή ελαττωματικών προϊόντων και να ενεργούμε διαρκώς έχοντας ως γνώμονα την ποιότητα των προϊόντων της εταιρείας.

Εκπαίδευση και μετεκπαίδευση: Να εκπαιδεύουμε καταλλήλως το προσωπικό, ώστε να δημιουργούνται οι βάσεις για την αναβάθμιση της ποιότητας των παραγομένων προϊόντων και υπηρεσιών και την ανάπτυξη των συνεργατών, δημιουργώντας τις προϋποθέσεις για την ενεργό συμμετοχή των συνεργατών στη λειτουργία της εταιρείας.

Ανταπόκριση των προμηθευτών στις απαιτήσεις της ποιότητας: Να συνεργαζόμαστε με προμηθευτές που μπορούν να υποστηρίξουν ανεπιφύλακτα τους στόχους ποιότητας που έχουμε θέσει.

Συνεχής Βελτίωση: Να συλλέγουμε και αναλύουμε τα απαραίτητα δεδομένα και πληροφορίες τα οποία θα μας βοηθούν στην λήψη καθημερινών αλλά και στρατηγικών αποφάσεων που θα αποσκοπούν στην επίτευξη των στόχων μας και στη διαρκή βελτίωσή μας σαν Οργανισμού.

7. Αβεβαιότητα

7.1 Έννοιες και Ορισμοί

Σύμφωνα με τον VIM (International Vocabulary of Metrology), *αβεβαιότητα μέτρησης (measurement uncertainty)* είναι «μη αρνητική παράμετρος που χαρακτηρίζει τη διασπορά των τιμών ποσότητας που αποδίδονται σε ένα μετρούμενο μέγεθος, με βάση τις πληροφορίες που χρησιμοποιούνται».

Κάθε είδους μετρητική διαδικασία περιλαμβάνει ένα ποσοστό αβεβαιότητας. Καθώς δεν υπάρχει τέλεια μέτρηση, στο αποτέλεσμα των μετρήσεων πρέπει να αναφέρεται και η αβεβαιότητα που σχετίζεται με τη μέτρηση. Η αβεβαιότητα του αποτελέσματος της μέτρησης αντανακλά την έλλειψη γνώσης της ακριβούς τιμής του μετρούμενου μεγέθους. Αποτελεί μια ποσοτική έκφραση της ποιότητας της μέτρησης επιτρέποντας της σύγκριση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων με άλλα αποτελέσματα, αναφορές, προδιαγραφές ή πρότυπα. Ο υπολογισμός της αβεβαιότητας πραγματοποιείται λαμβάνοντας υπόψη το σύνολο των παραγόντων που επηρεάζουν την ποιότητα της μέτρησης, τις αλληλεπιδράσεις και το συσχετισμό αυτών.

Ο οδηγός ISO, GUM – Guide for the Uncertainty of Measurement (Οδηγός Υπολογισμού της Αβεβαιότητας των Μετρήσεων) περιλαμβάνει την επιστημονική προσέγγιση για την εκτίμηση της αβεβαιότητας με βάση τις σύγχρονες αντιλήψεις στην ευρύτερη επιστημονική περιοχή της μετρολογίας.

Το *σφάλμα μέτρησης (measurement error)* ορίζεται ως η διαφορά μεταξύ της μετρούμενης τιμής μιας ποσότητας και της «αληθούς» αλλά άγνωστης τιμής αυτής της ποσότητας. Με βάση την πηγή τους, τα σφάλματα χωρίζονται σε *συστηματικά σφάλματα (systematic measurement errors)* και σε *τυχαία σφάλματα (random measurement errors)*. Το συστηματικό σφάλμα είναι το συστατικό του σφάλματος που παραμένει σταθερό ή μεταβάλλεται με προβλέψιμο τρόπο καθώς αναπαράγουμε τις μετρήσεις. Το τυχαίο σφάλμα μεταβάλλεται με μη προβλέψιμο τρόπο κατά την αναπαραγωγή των μετρήσεων.

Όλες οι μετρητικές διαδικασίες υπόκεινται σε σφάλμα. Σε περίπτωση ύπαρξης χρόνου και πόρων, οι περισσότερες πηγές σφάλματος μπορούν να ποσοτικοποιηθούν και η επίδρασή τους να μειωθεί, για παράδειγμα μέσω διακρίβωσης (calibration). Παρόλα αυτά, σπάνια υπάρχει ο απαραίτητος χρόνος και είναι διαθέσιμοι οι απαραίτητοι πόροι για να γίνει αυτό. Παράλληλα, το διορθωμένο αποτέλεσμα της μέτρησης ύστερα από την αναγνώριση και (ει δυνατόν) εξάλειψη των πηγών των συστηματικών σφαλμάτων είναι και πάλι απλά μια εκτίμηση της πραγματικής τιμής του μετρούμενου μεγέθους λόγω της αβεβαιότητας που προκύπτει από τυχαίους παράγοντες και από την ατελή διόρθωση των συστηματικών παραγόντων.

7.2 Προσδιορισμός πηγών αβεβαιότητας CMM

Αβεβαιότητα (U) είναι «η παράμετρος εκείνη που σχετίζεται με το αποτέλεσμα μιας μέτρησης, και χαρακτηρίζει τη διασπορά των τιμών που οφείλεται στην συγκεκριμένη διαδικασία μέτρησης». Η αβεβαιότητα συνήθως εκφράζεται ως μια τυπική απόκλιση (u: τυπική αβεβαιότητα) ή ως εύρος ενός διαστήματος εμπιστοσύνης (U: διευρυμένη αβεβαιότητα). (Χατζηστέλιος)

Οι πηγές αβεβαιότητας που εμπλέκονται αφορούν τον εξοπλισμό, την διαδικασία και τις συνθήκες μέτρησης και παρουσιάζονται αναλυτικά παρακάτω:

1. Αναπαραγωγικότητα (l_R)- Τύπου A
2. Πιστοποιητικό διακρίβωσης μηχανής – MPEE (δl_m)- Τύπου B
3. Επιδράσεις θερμοκρασίας (δl_T)- Τύπου B
4. Αβεβαιότητα διαμέτρου του ball tip της κεφαλής (δl_b) – Τύπου A
5. Αβεβαιότητα διαμέτρου της πρότυπης σφαίρας (δl_s) – Τύπου B
6. Γεωμετρία δοκιμίου και στρατηγική μέτρησης (δl_g)- Τύπου B
7. Ελαστική παραμόρφωση κατά τη μέτρηση (δl_e)- Τύπου B

Η συνολική αβεβαιότητα λοιπόν υπολογίζεται από τη σχέση:

$$l_x = l_R + \delta l_m + \delta l_T + \delta l_b + \delta l_s + \delta l_g + \delta l_e$$

7.3 Ποσοτικοποίηση των πηγών αβεβαιότητας

Αναπαραγωγικότητα (l_R)- Τύπου A

Η στατιστική αβεβαιότητα λαμβάνεται με τον υπολογισμό της τυπικής απόκλισης των 6 σετ παρατηρήσεων που λάβαμε. Για κάθε μέτρηση υπολογίζεται η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους:

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

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

Με συνεισφορά στην συνολική αβεβαιότητα $u_1(l_x) = |c_{l_R}| \cdot u(l_R)$

Πιστοποιητικό διακρίβωσης μηχανής – MPEE (δl_m)- Τύπου B

Από το πιστοποιητικό διακρίβωσης της μηχανής λαμβάνουμε την αβεβαιότητα από την διακριβωμένη τιμή για το maximum permissible error (volumetric accuracy).

Για την Μηχανή Μέτρησης Συντεταγμένων του Μετροτεχνικού Εργαστηρίου του Ε.Μ.Π. η αβεβαιότητα είναι: $MPE_E = 1.5 + \frac{1}{333} \mu m = 1500 + 3L nm$

Η αβεβαιότητα u_2 για την Μηχανή Μέτρησης Συντεταγμένων του Μετροτεχνικού Εργαστηρίου του Ε.Μ.Π. υπολογίζεται: $u(\delta l_m) = \frac{MPE_E}{\sqrt{3}} = 866 + 1,732 \cdot L$

Για την Μηχανή Μέτρησης Συντεταγμένων του Εργαστηρίου Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων & Εργαλείων – Αντίστροφου Σχεδιασμού του Ε.Μ.Π. η αβεβαιότητα είναι:

$$MPE_E = 3.5 + \frac{1}{250} \mu m = 3500 + 4L nm$$

Η αβεβαιότητα u_2 για την Μηχανή Μέτρησης Συντεταγμένων του Εργαστηρίου Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων & Εργαλείων – Αντίστροφου Σχεδιασμού του Ε.Μ.Π.

υπολογίζεται: $u(\delta l_m) = \frac{MPE_E}{\sqrt{3}} = 2020 + 2,3094 \cdot L$

Για την Μηχανή Μέτρησης Συντεταγμένων που υπάρχει στο Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου του μηχανουργείου CNC Solutions η αβεβαιότητα είναι:

$$MPE_E = 3 + \frac{1}{250} \mu m = 3000 + 4L nm$$

Η αβεβαιότητα u_2 για την Μηχανή Μέτρησης Συντεταγμένων του μηχανουργείου

υπολογίζεται: $u(\delta l_m) = \frac{MPE_E}{\sqrt{3}} = 1732 + 2,3094 \cdot L$

Με βάση το μήκος της διάστασης υπολογίζεται η αβεβαιότητα $u(\delta l_m)$ θεωρώντας άπειρους βαθμούς ελευθερίας $\nu_2 = \infty$.

Επιδράσεις θερμοκρασίας (δl_T) – Τύπου Β

Δεχόμαστε ότι η θερμοκρασία στο χώρο μέτρησης παρουσιάζει διακύμανση $\Delta T = \pm 0,5$ °C. Επιπρόσθετα δεχόμαστε ότι η μέση θερμοκρασία του μετρούμενου τεμαχίου και της οπτικής κλίμακας αποκλίνει έως $\pm 0,3$ °C από τη θερμοκρασία αναφοράς ($\Delta t_w = \Delta t_g = \pm 0,3$). Τέλος δεχόμαστε ότι ο συντελεστής θερμικής διαστολής δοκιμίου και της οπτικής κλίμακας αποκλίνει έως $\pm 2 \times 10^{-6}$ °C⁻¹ από τη θεωρητική του τιμή ($\delta \alpha_g = \delta \alpha_w = \pm 2 \times 10^{-6}$). Από τις παραδοχές αυτές και για την περίπτωση που εξετάζουμε, υπολογίζουμε τις επιδράσεις στην αβεβαιότητα.

- ✓ Αβεβαιότητα μέτρησης θερμοκρασίας στην οπτική κλίμακα

Δεχόμενοι ορθογωνική κατανομή προκύπτει:

$$u_1(\delta l_T) = \frac{\alpha_g \cdot \Delta T \cdot L}{\sqrt{3}} = \frac{10 \cdot 0,5}{\sqrt{3}} \cdot L = 2,887 \cdot L (nm)$$

Όπου $\alpha_g = 10 \times 10^{-6} / ^\circ C$ είναι ο συντελεστής θερμικής διαστολής της οπτικής κλίμακας της μηχανής (steel scale της Heidenhain)

- ✓ Αβεβαιότητα θερμικής διαστολής στην οπτική κλίμακα

Δεχόμενοι ορθογωνική κατανομή προκύπτει:

$$u_2(\delta l_T) = \frac{\delta a_g \cdot \Delta t_g \cdot L}{\sqrt{3}} = \frac{1 \cdot 0,3}{\sqrt{3}} \cdot L = 0,173 \cdot L \text{ (nm)}$$

✓ Αβεβαιότητα μέτρησης θερμοκρασίας στο δοκίμιο

Δεχόμενοι ορθογωνική κατανομή προκύπτει:

$$u_3(\delta l_T) = \frac{a_w \cdot \Delta T \cdot L}{\sqrt{3}} = \frac{24 \cdot 0,5}{\sqrt{3}} \cdot L = 6,93 \cdot L \text{ (nm)}$$

Όπου $\alpha_w = 24 \times 10^{-6} / ^\circ C$ είναι ο συντελεστής θερμικής διαστολής για δοκίμιο από αλουμίνιο.

Ο συντελεστής θερμικής διαστολής επιλέγεται ανάλογα με το υλικό του δοκιμίου όπως αναφέρεται ενδεικτικά στον παρακάτω πίνακα.

Υλικό	α ($\times 10^{-6} / ^\circ C$)
Hardened Steel	11.5
Brass	21
Aluminium	24
Copper	16.5
Titanium	8.6
Tungsten carbide	4.3
Alumina	5.4

Πίνακας 3 Συντελεστής θερμικής διαστολής ανάλογα με το υλικό

✓ Αβεβαιότητα θερμικής διαστολής στο δοκίμιο

Δεχόμενοι ορθογωνική κατανομή προκύπτει:

$$u_4(\delta l_T) = \frac{\delta a_w \cdot \Delta t_w \cdot L}{\sqrt{3}} = \frac{1 \cdot 0,3}{\sqrt{3}} \cdot L = 0,173 \cdot L \text{ (nm)}$$

Η συνολική τυπική αβεβαιότητα των θερμοκρασιακών επιδράσεων υπολογίζεται:

$$u(\delta l_T) = \sqrt{\sum_{i=1}^4 u_i^2(\delta l_T)} = 7,51 \cdot L \text{ (nm)}$$

Με συνεισφορά στην συνολική αβεβαιότητα $u_3(l_x) = |c_{\delta l_T}| \cdot u(\delta l_T)$

Με βάση το μήκος της διάστασης υπολογίζεται η αβεβαιότητα $u_3(l_x)$ θεωρώντας άπειρους βαθμούς ελευθερίας $\nu_3 = \infty$.

Αβεβαιότητα διαμέτρου του ball tip της κεφαλής (δl_b) – Τύπου A

Από τα αποτελέσματα της διαδικασίας του calibration της κεφαλής (calibration results) υπολογίζεται από το λογισμικό (PC-DMIS) η τυπική απόκλιση (stdev) μετά από τη αυτόματη

λήψη σημείων πάνω στην πρότυπη σφαίρα. Η τυπική απόκλιση αυτή λαμβάνεται ως η στατιστική αβεβαιότητα της διαμέτρου του ball tip της κεφαλής. Οπότε προκύπτει:

$$u(\delta l_b) = stdev_b = 0.00069mm = 690 \text{ nm}$$

Με συνεισφορά στην συνολική αβεβαιότητα $u_4(l_x) = |c_{\delta l_b}| \cdot u(\delta l_b) = 690mm$ θεωρώντας άπειρους βαθμούς ελευθερίας $\nu_4 = \infty$.

Αβεβαιότητα διαμέτρου της πρότυπης σφαίρας (δl_s) – Τύπου Β

Από το πιστοποιητικό διακρίβωσης της πρότυπης σφαίρας της Μηχανής Μέτρησης Συντεταγμένων του Μετροτεχνικού Εργαστηρίου του Ε.Μ.Π. και της Μηχανής Μέτρησης του Εργαστηρίου Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων & Εργαλείων – Αντίστροφου Σχεδιασμού του Ε.Μ.Π. λαμβάνεται η αβεβαιότητα μέτρησης της διαμέτρου. Θεωρώντας ορθογωνική κατανομή προκύπτει:

$$u(\delta l_s) = \frac{U}{\sqrt{3}} = \frac{0,5}{\sqrt{3}} = 0,289 \text{ } \mu m = 289 \text{ nm}$$

Με συνεισφορά στην συνολική αβεβαιότητα: $u_5(l_x) = |c_{\delta l_s}| \cdot u(\delta l_s) = 289 \text{ nm}$

Κα βαθμούς ελευθερίας: $\nu_5 = \infty$

Όσον αφορά την Μηχανή Μέτρησης Συντεταγμένων που υπάρχει στο Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου του μηχανουργείου CNC Solutions από το πιστοποιητικό διακρίβωσης της πρότυπης σφαίρας λαμβάνεται η αβεβαιότητα μέτρησης της διαμέτρου. Θεωρώντας ορθογωνική κατανομή προκύπτει:

$$u(\delta l_s) = \frac{U}{\sqrt{3}} = \frac{0,5}{\sqrt{3}} = 0,289 \text{ } \mu m = 289 \text{ nm}$$

Με συνεισφορά στην συνολική αβεβαιότητα: $u_5(l_x) = |c_{\delta l_s}| \cdot u(\delta l_s) = 289 \text{ nm}$

Κα βαθμούς ελευθερίας: $\nu_5 = \infty$

Γεωμετρία δοκιμίου και στρατηγική μέτρησης (δl_g) – Τύπου Β

Όσον αφορά τη συγκεκριμένη πηγή αβεβαιότητας, λαμβάνουμε την μεγαλύτερη απόκλιση της μηχανής, που προτείνει ο κατασκευαστής, την οποία παίρνουμε από το πιστοποιητικό διακρίβωσης της κάθε μηχανής. Ο υπολογισμός της τιμής της αβεβαιότητας για τη συγκεκριμένη πηγή αβεβαιότητας αποτελεί σύνθετη διαδικασία, η οποία απαιτεί περαιτέρω διερεύνηση, όμως θεωρούμε ότι είναι αρκετή για μια πρώτη εκτίμηση του μοντέλου αβεβαιότητας της μεθόδου.

Παρακάτω παρατίθεται εικόνα από το πιστοποιητικό διακρίβωσης από το εργαστήριο ποιοτικού ελέγχου του μηχανουργείου CNC Solutions.

Gauge position and Probe orientation					
X [mm]:	-7.5736	X [cos]:	1.0	Roll position [g]:	0.0
Y [mm]:	-391.4379	Y [cos]:	-0.0022	Pitch position [g]:	0.0
Z [mm]:	-307.6682	Z [cos]:	-0.004		

Environment		Before	After
Air temperature [°C]:		20.0	20.0
Air humidity [%]:		37.0	37.0

Results			
Nominal [mm]	Measured [mm]	Tolerance [μm]	Deviation [μm]
124.99980	124.99840	±3.50	-1.40
150.00000	149.99790	±3.60	-2.10
199.99970	199.99660	±3.80	-3.10
300.00000	299.99700	±4.20	-3.00
400.00000	399.99740	±4.60	-2.60
124.99980	124.99840	±3.50	-1.40
150.00000	149.99790	±3.60	-2.10
199.99970	199.99660	±3.80	-3.10
300.00000	299.99700	±4.20	-3.00
400.00000	399.99720	±4.60	-2.80
124.99980	124.99960	±3.50	-0.20
150.00000	149.99830	±3.60	-1.70
199.99970	199.99660	±3.80	-3.10
300.00000	299.99720	±4.20	-2.80
400.00000	399.99720	±4.60	-2.80

Εικόνα 31 Πιστοποιητικό διακρίβωσης CMM DEA – CNC Solutions

Δεδομένου ότι η πλάκα μέτρησης έχει συνολικό μήκος 205mm, προκύπτει από το παραπάνω πιστοποιητικό διακρίβωσης ότι η επιτρεπόμενη απόκλιση της μηχανής στα 200mm είναι 3,8μm. Με την τιμή αυτή υπολογίζουμε την τυπική αβεβαιότητα για το Εργαστήριο του ποιοτικού ελέγχου του μηχανουργείου CNC Solutions. :

$$u(\delta l_g) = \frac{U}{\sqrt{3}} = \frac{3,8}{\sqrt{3}} = 2.1939 \mu m = 2194 \text{ nm}$$

Με συνεισφορά στη συνολική αβεβαιότητα: $u_6(l_x) = |c_{\delta l_g}| \cdot u(\delta l_g) = 2194 \text{ nm}$

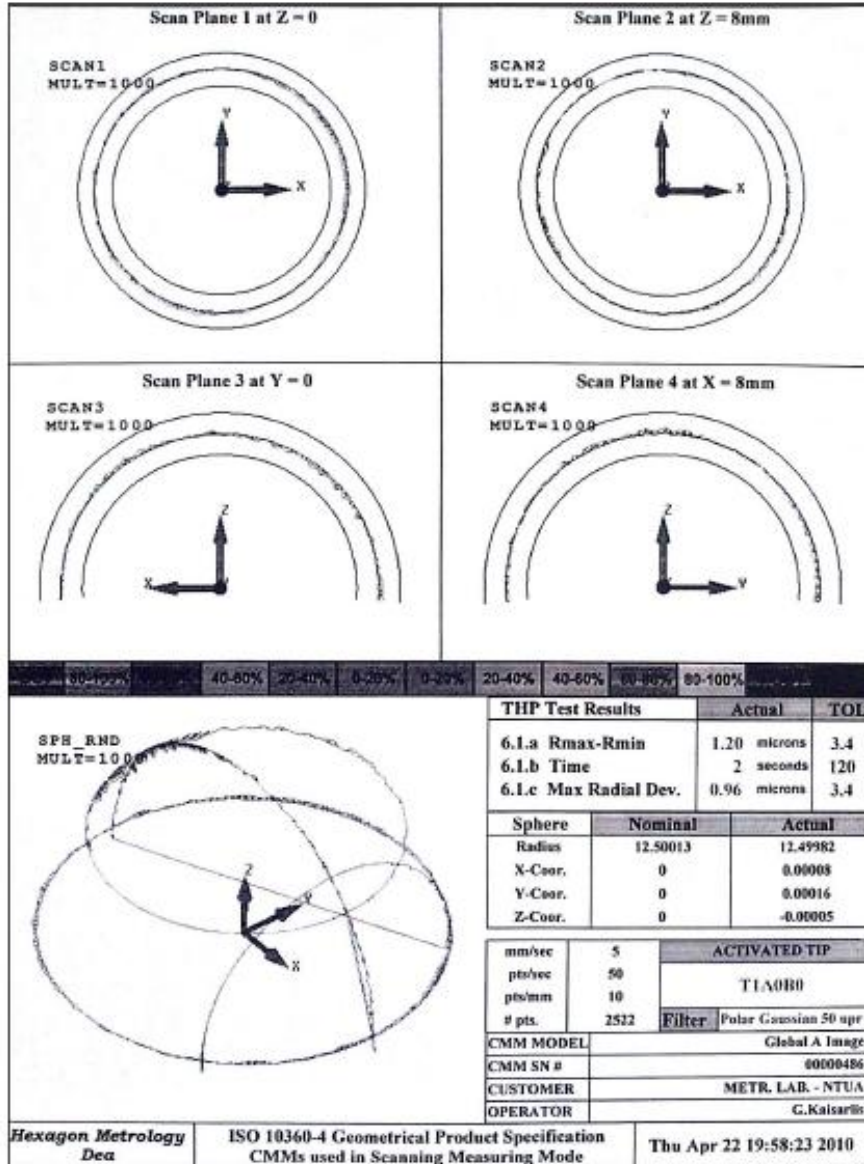
Ενώ οι βαθμοί ελευθερίας είναι: $\nu_6 = \infty$. Η μηχανή του Εργαστηρίου Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων – Εργαλείων & Αντίστροφου Μηχανολογικού Σχεδιασμού του Ε.Μ.Π. είναι ίδιο μοντέλο με τη μηχανή του εργαστηρίου Ποιοτικού Ελέγχου της CNC Solutions, οπότε λαμβάνεται η ίδια τυπική αβεβαιότητα.

Όσο αφορά την μηχανή του Μετροτεχνικού Εργαστηρίου του Ε.Μ.Π. η τιμή που παίρνουμε από το πιστοποιητικό βρίσκεται στον πίνακα THP Test Results, στη γραμμή με τίτλο 6.1.a Rmax-Rmin και στη στήλη με τίτλο TOL, και είναι 3,4μm. Με την τιμή αυτή υπολογίζουμε την τυπική αβεβαιότητα για το Μετροτεχνικό Εργαστήριο του Ε.Μ.Π. :

$$u(\delta l_g) = \frac{U}{\sqrt{3}} = \frac{3,4}{\sqrt{3}} = 1.963 \mu m = 1963 \text{ nm}$$

Με συνεισφορά στη συνολική αβεβαιότητα: $u_6(l_x) = |c_{\delta l_g}| \cdot u(\delta l_g) = 1963 \text{ nm}$

Ενώ οι βαθμοί ελευθερίας είναι: $\nu_6 = \infty$

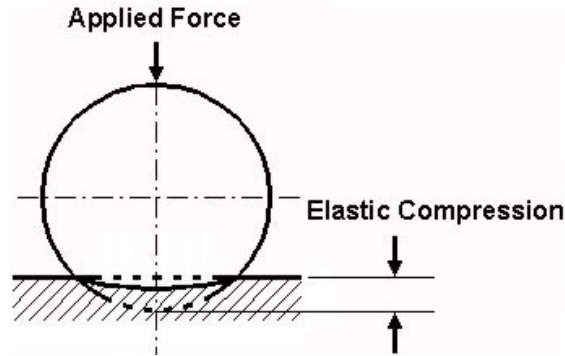


Εικόνα 32 Πιστοποιητικό διακρίβωσης CMM DEa – Μετροτεχνικό Εργαστήριο ΕΜΠ

Ελαστική παραμόρφωση κατά τη μέτρηση (δl_g) - Τύπου Β

Κατά τη μέτρηση της πλάκας η ακίδα συλλέγει σημεία εφαρμόζοντας δύναμη (trigger force) από 0,06 έως 0,2 Nt. Κατά συνέπεια τα ball tips προκαλούν ελαστική παραμόρφωση κατά την επαφή τους με το δοκίμιο. Το μέγεθος της παραμόρφωσης μπορεί να υπολογιστεί, κατά αναλογία με την επαφή σφαίρας με επίπεδη επιφάνεια, με τη βοήθεια των εξισώσεων των M. J. Puttock και E. G. Thwaite (*Elastic Compression of Spheres and Cylinders at Point and Line Contact*, 1969).

Η ελαστική παραμόρφωση στο παρών πείραμα προκύπτει από την επαφή της ακίδας στα επίπεδα της πλάκας (όπως παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα). Η παραμόρφωση από την επαφή της πλάκας αλουμινίου με το ruby ball tip διαμέτρου 4 mm, υπολογίζεται παραμόρφωση έως 135 nm σε κάθε πλευρά της πλάκας. Οπότε προκύπτει: $\delta l_e = 135 \text{ nm} = 0,000135 \text{ mm}$



Εικόνα 33 Ελαστική παραμόρφωση σφαίρας σε επαφή με επίπεδο

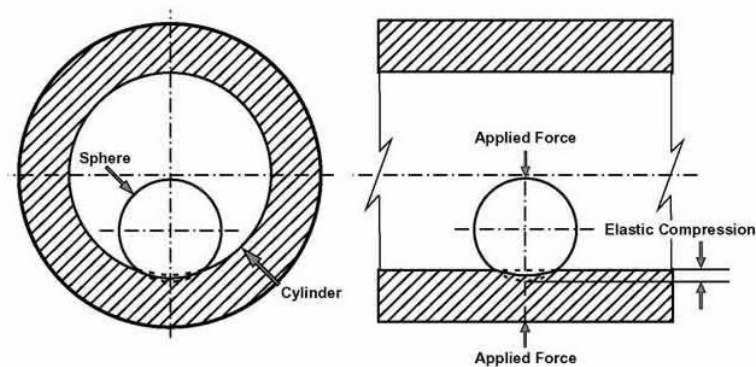
Υποθέτοντας ορθογωνική κατανομή στο half width της μέγιστης παραμόρφωσης ($\pm 135 \text{ nm}$) προκύπτει:

$$u(\delta l_e) = \frac{135}{\sqrt{3}} = 77.94 \text{ nm}$$

Με συνεισφορά στην συνολική αβεβαιότητα: $u_7(l_x) = |c_{\delta l_e}| \cdot u(\delta l_e) = 77.94 \text{ nm}$

Και βαθμούς ελευθερίας: $\nu_7 = \infty$

Επιπλέον στο παρών πείραμα υπάρχει ελαστική παραμόρφωση από την επαφή της ακίδας διαμέτρου 4mm με τον εσωτερικό κύλινδρο (τρύπα). Η παραμόρφωση από την επαφή του ruby ball tip διαμέτρου 4 mm με μία τρύπα διαμέτρου 30mm, υπολογίζεται έως 131 nm για κάθε τρύπα. Η παραμόρφωση στην περίπτωση αυτή είναι μικρότερη σε σχέση με την παραμόρφωση της επαφής της ακίδας με επίπεδο, οπότε δεν την λαμβάνουμε υπόψη στον υπολογισμό της αβεβαιότητας.



Εικόνα 34 Ελαστική παραμόρφωση σφαίρας σε επαφή με εσωτερικό κύλινδρο

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

7.4 Συνδυασμένη Αβεβαιότητα

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

$$u_c(l) = \sqrt{\sum_{i=1}^7 u_i^2(l_x)} \quad \text{όπου } u_i(l_x) \text{ η συνεισφορά της κάθε παραμέτρου}$$

Για κάθε μέτρηση υπολογίζεται η συνδυασμένη αβεβαιότητα. Οι συνολικοί βαθμοί ελευθερίας της μέτρησης υπολογίζονται:

$$\nu = \frac{u_c^4(l_x)}{\sum_{i=1}^7 \frac{u_i^4(l_x)}{\nu_i}}$$

7.5 Διευρυμένη αβεβαιότητα

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

$$U = k_p \cdot u_c(l)$$

Όπου $u_c(l)$ είναι η συνδυασμένη τυπική αβεβαιότητα.

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

8. Σχεδίαση Πειράματος

8.1 Παράγοντες που επηρεάζουν το αποτέλεσμα μέτρησης με CMM

Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της CMM έχουν μεγάλη σημασία όσον αφορά τη βελτιστοποίηση της στρατηγικής μέτρησης με βάση πάντα τη μέγιστη επιτρεπόμενη αβεβαιότητα. Οι (Schmitt, και συν., 2009) κατηγοριοποιούν τους παράγοντες που προκύπτουν από την ίδια τη CMM στις παρακάτω κατηγορίες:

- ✓ Μη ρυθμίσιμοι παράγοντες (Non-adjustable parameters): Τέτοιοι παράγοντες είναι η ακρίβεια των κλιμάκων μέτρησης, ο μέγιστος αριθμός λαμβανομένων σημείων ανά δευτερόλεπτο, ειδικά κινηματικά χαρακτηριστικά της μηχανής. Ο χρήστης δε μπορεί να επηρεάσει αυτούς τους παράγοντες, καθώς αυτοί προκύπτουν από την κατασκευή της CMM και αναγράφονται στο πιστοποιητικό κατασκευής της.
- ✓ Παράγοντες περιορισμένης ρύθμισης (Limited adjustable parameters): Είναι παράγοντες όπως η διαμόρφωση του αισθητήρα και η κατεύθυνση της μέτρησης κατά τη διάρκεια του προγράμματος μέτρησης. Οι παράγοντες αυτοί μπορούν να λάβουν περιορισμένο αριθμό τιμών καθώς εξαρτώνται από το εκάστοτε μετρητικό έργο με τις εκάστοτε συνθήκες μέτρησης.
- ✓ Μεταβλητοί παράγοντες (Variable parameters): Παραδείγματα αποτελούν ο αριθμός ληφθέντων σημείων, η ταχύτητα της μέτρησης, η δύναμη μέτρησης. Οι παράγοντες αυτοί ρυθμίζονται τελευταίοι λόγω των ιδιαίτερων δυναμικών χαρακτηριστικών της CMM που δημιουργούν ισχυρές συσχετίσεις.

Στην πραγματικότητα, οι CMM μετρούν μεμονωμένα σημεία στο χώρο, τα οποία έπειτα από μαθηματική επεξεργασία προσαρμόζονται στη γεωμετρία που μετράμε. Η πραγματική φυσική γεωμετρία του αντικειμένου είναι διαφορετική από την «υποκατάστατη» γεωμετρία που προκύπτει από τη μαθηματική προσαρμογή των δεδομένων.

8.2 Παράγοντες που επηρεάζουν τη διαδικασία μέτρησης

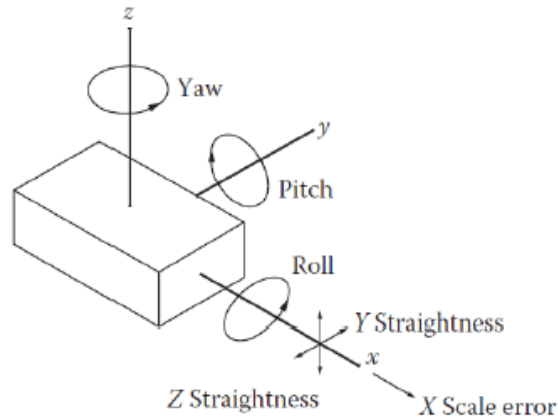
Γενικά, οι παράγοντες που επηρεάζουν τις 3D μετρήσεις σε εργαλειομηχανές μπορούν να χωριστούν σε τέσσερις κατηγορίες (Schmitt, et al., 2011): σφάλματα της εργαλειομηχανής, σφάλματα του συστήματος ανίχνευσης της μηχανής, σφάλματα στρατηγική μέτρησης, περιβαλλοντικοί παράγοντες.

■ Σφάλματα από την εργαλειομηχανή

Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν τα σφάλματα λόγω γεωμετρικών ατελειών και απορυθμίσεων, τα σφάλματα που οφείλονται στο φορτίο λειτουργίας, και τα σφάλματα που οφείλονται στην κατανομή της θερμοκρασίας. (Βοσνιάκος)

Τα γεωμετρικά σφάλματα που αποτελούν σφάλματα καθετότητας και παραλληλίας μεταξύ των κινούμενων τμημάτων της CMM οφείλονται στις μηχανολογικές ατέλειες της δομής της

εργαλειομηχανής και την απορύθμιση των συστημάτων οδήγησης. Μια CMM έχει έξι βαθμούς ελευθερίας κίνησης, που περιλαμβάνουν τρεις γραμμικές κινήσεις (κίνηση οδηγών στον ένα άξονα και κινήσεις στους δύο άλλους κάθετους μεταξύ τους άξονες) και τρεις περιστροφικές κινήσεις (roll, pitch και yaw) γύρω από τον x, y και z άξονα αντίστοιχα.



Εικόνα 35 Γεωμετρικά σφάλματα CMM

Η επίδραση των γεωμετρικών σφαλμάτων αφορά τη δημιουργία σφαλμάτων καθετότητας και παραλληλίας μεταξύ των κινούμενων τμημάτων της μηχανής, τα οποία εντοπίζονται στους λεγόμενους παράγοντες γεωμετρικού σφάλματος και περιγράφουν το σφάλμα θέσης του στυλίσκου της CMM.

Καθώς η CMM έχει τρεις ανεξάρτητους άξονες προκύπτουν 21 παράγοντες γεωμετρικών σφαλμάτων ως εξής:

Τύπος σφάλματος	Παράγοντες γεωμετρικού σφάλματος
Γραμμικά σφάλματα θέσεως (σφάλματα κλίμακας)	3
Σφάλματα ευθύτητας	6
Γωνιακά σφάλματα	9
Ορθογώνια σφάλματα αξόνων	3
Σύνολο	21

Η αντιστάθμιση αυτού του τύπου σφαλμάτων γίνεται μετά τη μέτρηση των σφαλμάτων και μέσω μαθηματικής επεξεργασίας τους.

Η CMM πρέπει να διατηρεί τη δομική της ακεραιότητα, ώστε να παρέχει αξιόπιστες μετρήσεις. Μια πηγή δομικής παραμόρφωσης της CMM είναι η υπερφόρτωση των μηχανικών συστημάτων. Παράλληλα, αν μετρώνται αντικείμενα μεγάλου βάρους, πρέπει να διερευνηθούν οι επιπτώσεις της φόρτωσής του στην τράπεζα της μηχανής. Ανάλογα με τον τύπο της CMM διαφέρει και το ποσοστό της υποβάθμισής της που οφείλεται στη φόρτισή της.

Η δυναμική της μηχανής εισάγει επιπρόσθετους τύπους γεωμετρικών σφαλμάτων που μπορεί να οφείλονται στην ταχύτητα και την κατεύθυνση σάρωσης, τις ρυθμίσεις επιτάχυνσης, την απόσταση από την οποία προσεγγίζει ο αισθητήρας το τεμαχίο κ.α. Η επίδραση των ταλαντώσεων που δημιουργούνται αυξάνεται όταν είναι μικρή η απόσταση μεταξύ των σημείων μέτρησης ή είναι μικρή η απόσταση προσέγγισης του τεμαχίου από τον αισθητήρα. Μια λύση σε αυτό το πρόβλημα μπορεί να είναι η ενσωμάτωση μιας μικρής παύσης ενός δευτερολέπτου πριν την κίνηση προσέγγισης του τεμαχίου από τον αισθητήρα.

Τα θερμοκρασιακά σφάλματα οφείλονται στην αναπτυσσόμενη θερμότητα λόγω τριβών στα έδρανα ολίσθησης και στις διάφορες συσκευές μετάδοσης κίνησης ή στους κινητήρες του συστήματος οδήγησης. Αποτέλεσμα είναι να υφίσταται η CMM παραμόρφωση και διαστολή της κατασκευαστικής της δομής. Είναι απαραίτητη η διερεύνηση των θερμικά προκαλούμενων σφαλμάτων, για παράδειγμα με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων, αλλά και με διαγνωστικά τεστ (Drift Test) που εξετάζουν την επίδραση της μεταβολής της θερμοκρασίας σε κάθε είδους μηχανή.

■ Σφάλματα από το σύστημα ανίχνευσης της μηχανής

Η διάμετρος ακίδας επαφής όπως επίσης και η δύναμη με την οποία αυτή ακουμπά το τεμαχίο υπό μέτρηση είναι παράγοντες που επηρεάζουν τη μέτρηση. Όσον αφορά τη διάμετρο της ακίδας, όταν γίνεται η επαφή μεταξύ ακίδας και τεμαχίου, το κέντρο της ακίδας βρίσκεται μακριά από την επιφάνεια του τεμαχίου σε απόσταση ίση με την ακτίνα της. Η διόρθωση του σφάλματος αυτού γίνεται μέσω του λογισμικού της CMM, όπου για απλά γεωμετρικά σχήματα όπως η σφαίρα το σφάλμα αυτό διορθώνεται μετά τη συλλογή και την επεξεργασία των δεδομένων με μια απλή αφαίρεση από τη διάμετρο. (Hocken, και συν., 2012)

Επιπλέον μεγάλη σημασία έχει το φαινόμενο του μηχανικού φιλτραρίσματος (mechanical filtering). Ειδικότερα, αν η επιφάνεια έχει αιχμηρές ακμές, κορυφές ή κοιλότητες, μπορούμε να λάβουμε ακριβείς και σωστές πληροφορίες για αυτή μόνο αν η ακτίνα της ακίδας επαφής είναι μικρότερη από τη μικρότερη τοπική ακτίνα καμπυλότητας της επιφάνειας. Επίσης, το γεγονός ότι συνήθως οι επιφάνειες παρουσιάζουν τραχύτητα, έχει σαν αποτέλεσμα την υπέρθεση του μετρούμενου στοιχείου και της ακίδας επαφής. (Probing systems in dimensional metrology)

Συνήθεις τιμές διαμέτρου ακίδας επαφής είναι 1 έως 8mm ενώ για τις δυνάμεις επαφής μεταξύ 50 και 200mN. Ιδανικά θα θέλαμε όσο το δυνατό μικρότερες τιμές και για τις δύο παραμέτρους (0,5mm και 0N). Στην επιλογή της τιμής της δύναμης ακολουθούνται οι οδηγίες του κατασκευαστή ώστε να μην υποστεί βλάβη ο εξοπλισμός. Η επιλογή της διαμέτρου της ακίδας επαφής μπορεί να γίνει με βάση άλλα κριτήρια, όπως τη διάμετρο του εξεταζόμενου τεμαχίου ή τον αριθμό κυματισμών ανά περιστροφή (Undulations per rotation-UPR). (Κάλαττας)

■ Στρατηγική μέτρησης

Η διαμόρφωση της καταλληλότερης στρατηγικής μέτρησης με την επιλογή της πυκνότητας και της θέσης των σημείων μέτρησης επί του τεμαχίου, της ταχύτητας σάρωσης αισθητήρα, αλλά και του προσανατολισμού και της θέσης του δοκιμίου είναι μια σύνθετη διαδικασία. Καθώς δεν υπάρχουν συγκεκριμένες οδηγίες για τη βέλτιστη επιλογή του κάθε παράγοντα, εναπόκειται στο χειριστή της μηχανής να εντοπίσει την καταλληλότερη στρατηγική.

Όσον αφορά την πυκνότητα των σημείων μέτρησης (point density), προφανώς αυτή πρέπει να είναι μεγαλύτερη σε επιφάνειες με μεγάλες αποκλίσεις μορφής σε σχέση με απλούστερες επιφάνειες. Η μεγαλύτερη πυκνότητα σημείων αποδίδει καλύτερα τη μετρούμενη επιφάνεια. Το γεγονός όμως ότι μια CMM έχει δυνατότητα να εντοπίσει χιλιάδες σημεία σε πολύ λίγο χρόνο δεν πρέπει όμως να καθοδηγεί το χειριστή να λαμβάνει κάθε φορά όσο το δυνατό περισσότερα σημεία. Οι λόγοι για τους οποίους πρέπει να δοθεί προσοχή στην επιλογή της πυκνότητας των σημείων αφορούν αφενός την ανάγκη για ένα διαχειρίσιμο σύνολο δεδομένων, και αφετέρου την ανάγκη για ομοιόμορφη κατανομή της πυκνότητας στα διάφορα σημεία της επιφάνειας. (Hocken, και συν., 2012).

Στην επιλογή της τιμής της ταχύτητας σάρωσης πρέπει να ληφθούν υπόψη οι δυναμικές αντιδράσεις που προκαλούνται από τις επιταχυνόμενες κινήσεις. Ο συλίσκος του συστήματος ανίχνευσης είναι δυνατό να υφίσταται δυναμική καταπόνηση με αποτέλεσμα την παραμόρφωσή του. Ο κίνδυνος ταλαντώσεων του συστήματος ανίχνευσης αυξάνεται όσο αυξάνονται οι αποκλίσεις μορφής του τεμαχίου. Σε τεμάχια με μικρές αποκλίσεις μορφής και κυματώσεις με μεγάλο μήκος κύματος όπου δεν απαιτείται συνεχής αλλαγή της κατεύθυνσης της ανίχνευσης μειώνεται ο παραπάνω κίνδυνος. Με λίγα λόγια, η μορφή της επιφάνειας επηρεάζει άμεσα την προκύπτουσα στρατηγική μέτρησης και κατά συνέπεια την επιλογή της ταχύτητας σάρωσης.

Η ταχύτητα σάρωσης συσχετίζεται όμως και με άλλους παράγοντες. Αρχικά, περιορίζεται από την πυκνότητα των σημείων μέτρησης. Για παράδειγμα, αν θέλουμε να μετρήσουμε 450 σημεία η μέγιστη ταχύτητα που θα μπορούσαμε να έχουμε είναι 45mm/s με απόσταση 0,1mm μεταξύ των σημείων. Επίσης, με την αύξηση της ταχύτητας σάρωσης αυξάνεται και η επίδραση του παράγοντα της θέσης και του προσανατολισμού του τεμαχίου στην τράπεζα της μηχανής. (Schmitt, και συν., 2009).

Ο προσανατολισμός και η θέση του τεμαχίου στην τράπεζα μέτρησης πρέπει να γίνονται με τέτοιο τρόπο ώστε να μην υπάρχει κίνηση και στους τρεις άξονες κατά τη διαδικασία μέτρησης με στόχο την ελαχιστοποίηση του σφάλματος μέτρησης.

■ Περιβαλλοντικοί παράγοντες

Είναι δυνατό περιβαλλοντικοί παράγοντες να επηρεάσουν τα μετρητικά αποτελέσματα. Παράγοντες όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, η ατμοσφαιρική πίεση, οι ενδεχόμενες δονήσεις, η σκόνη αλλά και η μη καθαρότητα του τεμαχίου (π.χ. λόγω της εφαρμογής σε αυτά λιπαντικών μέσων) πρέπει να ληφθούν υπόψη στη διεξαγωγή μετρητικών εργασιών.

Για την ελαχιστοποίηση της επίδρασης των παραπάνω παραγόντων οι μετρήσεις γίνονται σε ειδικές αίθουσες ελεγχόμενων συνθηκών όπου οι παραπάνω παράγοντες είναι ελεγχόμενοι.

Η μεγαλύτερη πηγή ανακρίβειας και μη επαναληψιμότητας στις εφαρμογές με CMM οι θερμικές επιδράσεις. Συγκεκριμένα, η μεταβολή από τη θερμοκρασία αναφοράς των 20°C έχει σαν αποτέλεσμα τη θερμική διαστολή ή συστολή του τεμαχίου και του μετρητικού συστήματος που οδηγεί σε αποκλίσεις των μετρητικών αποτελεσμάτων. Όταν ένα τεμάχιο εισέρχεται σε αίθουσα ελεγχόμενων συνθηκών ώστε να μετρηθεί, πρέπει να αφήνεται να σταθεροποιηθεί στη θερμοκρασία του εν λόγω δωματίου πριν γίνουν οι μετρήσεις. Αλλιώς στις μετρήσεις θα υπεισέρχεται και ένα σφάλμα λόγω της συνεχούς αλλαγής του τεμαχίου μέχρι αυτό να εξισορροπήσει τη θερμοκρασία του με αυτή του χώρου στο οποίο βρίσκεται και το οποίο είναι πολύ δύσκολο να αντισταθμιστεί.

Τα μετρολογικά εργαστήρια έχουν ποσοστά σχετικής υγρασίας (relative humidity) της τάξης των 40-60%. Σε σχέση με άλλους περιβαλλοντικούς παράγοντες, η υγρασία δεν αποτελεί μεγάλο πρόβλημα όσον αφορά τις μετρήσεις.

Πολλές CMM περιλαμβάνουν αεροέδρανα, τα οποία απαιτούν πεπιεσμένο αέρα για να λειτουργήσουν, ενώ πρέπει να δοθεί προσοχή σε αποκλίσεις από την απαιτούμενη πίεση αέρα ή σε ενδεχόμενη απότομη απώλεια πίεσης αέρα.

Η σκόνη που συσσωρεύεται στις επιφάνειες της CMM και ειδικά στις επιφάνειες των εδράνων πρέπει να απομακρύνεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Αν η μηχανή βρίσκεται σε ελεγχόμενο περιβάλλον μετρολογικού εργαστηρίου οι ανάγκες καθαρισμού της είναι μειωμένες. Ταυτόχρονα απαιτείται καθαρισμός και του τεμαχίου πριν τη μέτρηση ώστε να μην προσκολληθούν ανεπιθύμητα σωματίδια στην ακίδα επαφής του αισθητήρα και να μη λάβουμε λανθασμένες μετρήσεις.

8.3 Σχεδίαση διεργαστηριακής σύγκρισης

Ο όρος διεργαστηριακή σύγκριση αναφέρεται στη διαδικασία με την οποία εξετάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων των συμμετεχόντων σε αυτή εργαστηρίων ως προς το βαθμό της ισοδυναμίας και της συμβατότητάς τους. Η διεργαστηριακή συγκριτική δοκιμή (ή διεργαστηριακή σύγκριση) είναι ένα καθιερωμένο εργαλείο σε όλους τους τομείς της σύγχρονης μετρολογίας. Ο κύριος στόχος μιας διεργαστηριακής σύγκρισης είναι η επαλήθευση της ικανότητας των διαπιστευμένων ή μη διαπιστευμένων εργαστηρίων, συμπεριλαμβανομένης της επαλήθευσης των αναφερόμενων αβεβαιοτήτων μέτρησης. Πρακτικά, η συμμετοχή σε μια διεργαστηριακή σύγκριση παρέχει μια τεκμηριωμένη απάντηση στο ερώτημα εάν τα εργαστήρια μπορούν να μετρήσουν μέσα στις αναφερθείσες αβεβαιότητες. Τυπικές μέθοδοι αξιολόγησης των αποτελεσμάτων σε μια διεργαστηριακή σύγκριση περιγράφονται στο πρότυπο ISO 13528 και εστιάζουν (ενδεικτικά) στον υπολογισμό τιμών για τα ακόλουθα κριτήρια: z-score, z'-score και E_n-value.

Το z-score αποτελεί ένα από τα συχνότερα χρησιμοποιούμενα κριτήρια αξιολόγησης σε διεργαστηριακή σύγκριση. Παρουσιάζει την απόσταση της μέτρησης του ενός εργαστηρίου από τον άλλο ως αριθμό τυπικών αποκλίσεων. Η τιμή του κριτηρίου αξιολόγησης δίνεται από τον τύπο:

$$z \text{ score} = \frac{x_{lab} - \bar{x}}{\sigma}$$

Όπου:

x_{lab} : Η μέση τιμή των μετρήσεων του εκάστοτε εργαστηρίου

\bar{x} : Η μέση τιμή των μετρήσεων των τριών εργαστηρίων

σ : Η τυπική απόκλιση των μετρήσεων των τριών εργαστηρίων

Αναλόγως της τιμής του z score διακρίνουμε τις ακόλουθες περιπτώσεις:

- ❖ $|z| \leq 2$, τότε η επίδοση των δύο εργαστηρίων κρίνεται ικανοποιητική
- ❖ $|z| \geq 3$, τότε η επίδοση των δύο εργαστηρίων κρίνεται μη ικανοποιητική. Ο δείκτης επίδοσης αποτελεί σήμα δράσης (action signal).
- ❖ $2 < |z| < 3$, τότε η ορθότητα της μέτρησης των εργαστηρίων μπορεί να θεωρηθεί αμφισβητήσιμη (questionable) και τα εργαστήρια οφείλουν να ενεργήσουν διορθωτικές /προληπτικές ενέργειες. Ο δείκτης επίδοσης αποτελεί προειδοποιητικό σήμα (warning signal).

Κάθε μεμονωμένο «σήμα δράσης» χρήζει έρευνας για την εύρεση των πηγών του σφάλματος που υπεισέρχονται στην μέτρηση. Ένα «προειδοποιητικό σήμα» θεωρείται ένδειξη προβληματικής συμπεριφοράς των δύο εργαστηρίων, όταν εμφανίζεται σε διάφορα επίπεδα δοκιμών (ή και σε διαδοχικούς κύκλους εκτέλεσης της διεργαστηριακής σύγκρισης).

Το z' αποτελεί μικρή παραλλαγή του z-score, προκειμένου να μπορεί να ληφθεί υπόψη στους υπολογισμούς και η τυπική αβεβαιότητα $u^2(X)$. Αξιολογείται με όμοιο τρόπο. Το z' score υπολογίζεται σύμφωνα με τον τύπο:

$$z' \text{ score} = \frac{x_{lab} - \bar{x}}{\sqrt{\sigma^2 + u_{lab}^2}}$$

Όπου:

x_{lab} : Η μέση τιμή των μετρήσεων του εκάστοτε εργαστηρίου

\bar{x} : Η μέση τιμή των μετρήσεων των τριών εργαστηρίων

u_{lab} : Η τυπική αβεβαιότητα του εκάστοτε εργαστηρίου

Ένας από τους πλέον κατάλληλους και ευρέως αποδεκτός τρόπος εκτίμησης του βαθμού ισοδυναμίας και συμβατότητας δύο εργαστηρίων είναι ο υπολογισμός του κανονικοποιημένου σφάλματος (normalized error) E_n -value, ο οποίος υπολογίζεται:

$$E_n = \frac{V_{lab1} - V_{lab2}}{\sqrt{U_{lab1}^2 + U_{lab2}^2}}$$

Όπου:

V_{lab1} : το αποτέλεσμα της μέτρησης του ενός εργαστηρίου

V_{lab2} : το αποτέλεσμα της μέτρησης του δεύτερου εργαστηρίου






U_{lab1} : η διευρυμένη αβεβαιότητα για τη μέτρηση του πρώτου εργαστηρίου (με χρήση $k=2$ ή περίπου 95% διάστημα εμπιστοσύνης)

U_{lab2} : η διευρυμένη αβεβαιότητα για τη μέτρηση του δεύτερου εργαστηρίου (με χρήση $k=2$ ή περίπου 95% διάστημα εμπιστοσύνης)

Εφόσον η τιμή E_n κινείται στο διάστημα -1 έως και +1. Τότε υπάρχει συμβατότητα μεταξύ του αποτελέσματος μέτρησης του πρώτου εργαστηρίου και της μέτρησης του δεύτερου εργαστηρίου εντός του διαστήματος εμπιστοσύνης του. Σε διαφορετική περίπτωση που η τιμή E_n βρεθεί εκτός του διαστήματος αυτού, τότε δεν υπάρχει συμβατότητα μεταξύ του αποτελέσματος μέτρησης των δυο εργαστηρίων λαμβανόμενης υπόψη της εκφρασμένης αβεβαιότητας των μετρήσεων. (Beissner 2002, Nielsen 2002).

Το αποτέλεσμα της μέτρησης και η αβεβαιότητα αυτής μπορούν να υπολογίζονται με διάφορους τρόπους. Συνήθως, η μέτρηση λαμβάνεται ως ο αριθμητικός ή ο σταθμισμένος μέσος όρος των αντίστοιχων τιμών μέτρησης για τα συμμετέχοντα εργαστήρια.

Τυπικά η συμμετοχή σε μια διεργαστηριακή σύγκριση δίνει σε ένα εργαστήριο τεκμηριωμένη απάντηση για το κατά πόσο μπορεί να μετρά ικανοποιητικά. Βιβλιογραφικά αναφέρεται ότι μια καλά σχεδιασμένη διεργαστηριακή σύγκριση μπορεί όχι μόνο να δώσει απάντησης για την ικανότητα των συμμετεχόντων εργαστηρίων, αλλά να αναδείξει και τυχόν προβλήματα που αντιμετωπίζουν τα εργαστήρια που θα λάβουν αρνητική απάντηση. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί κατά το σχεδιασμό της διεργαστηριακής σύγκρισης εφόσον ληφθούν υπόψη οι ιδιαίτερες ανάγκες των μετρήσεων που τα εργαστήρια πραγματοποιούν, με έμφαση στα σημεία όπου αναμένεται να εντοπίζονται προβλήματα. Για την περίπτωση των Μηχανών Μέτρησης Συντεταγμένων (ΜΜΣ) κατά το σχεδιασμό διεργαστηριακών συγκρίσεων συστήνεται να λαμβάνεται υπόψη:

-  Η ακρίβεια της ΜΜΣ
-  Η επίδραση του περιβάλλοντος
-  Η επίδραση του συγκροτήματος κεφαλής – ακίδας
-  Η αλλαγή προσανατολισμού της κεφαλής, καθώς και η χρήση μηχανισμών αλλαγής ακίδας
-  Η επίδραση της στρατηγικής μέτρησης και των ληφθέντων σημείων

Για παράδειγμα η συμμετοχή σε διεργαστηριακή σύγκριση όπου έχουν πλήρως καθοριστεί οι θέσεις λήψης σημείων χωρίς να απαιτείται η αλλαγή προσανατολισμού της κεφαλής, είναι δυνατόν να δώσει απάντηση για το κατά πόσο το εργαστήριο που συμμετέχει έχει ικανοποιητικά ενσωματώσει τις αβεβαιότητες που προέρχονται από την ίδια μηχανή και το περιβάλλον. Εφόσον για τη λήψη των καθορισμένων σημείων, απαιτείται η αλλαγή

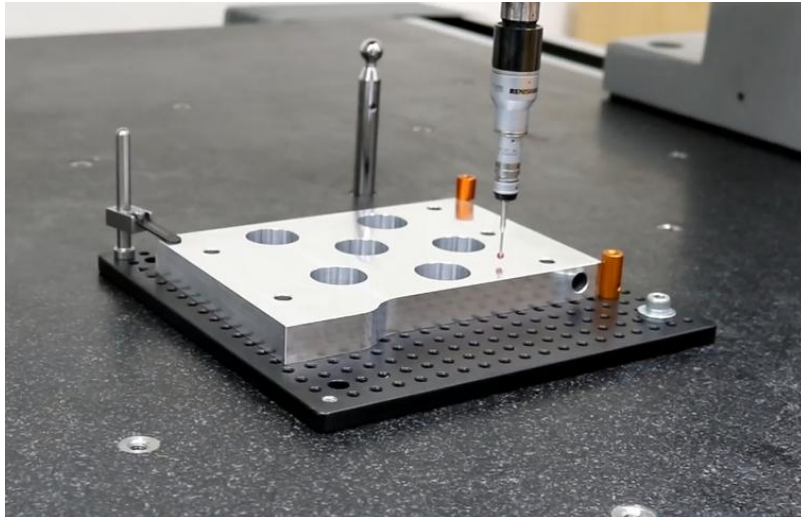
προσανατολισμού της κεφαλής ή /και η χρήση μηχανισμών αλλαγής ακίδας, και το εργαστήριο συμμετέχει επιτυχώς, τότε έχει ενσωματώσει με επιτυχία και την αβεβαιότητα που προέρχεται από αλλαγές στην κεφαλή και την ακίδα. Τέλος στην περίπτωση που καθορίζονται μόνο τα προς μέτρηση χαρακτηριστικά και δεν καθορίζονται επακριβώς τα σημεία που πρέπει να ληφθούν, ενώ απαιτείται και η αλλαγή προσανατολισμού της κεφαλής ή / και η χρήση μηχανισμών αλλαγής ακίδας και το εργαστήριο συμμετέχει επιτυχώς, τότε έχει ενσωματώσει με επιτυχία και την αβεβαιότητα που προέρχεται από την στρατηγική μέτρησης (επιλογή θέσεων και αριθμού σημείων). Σημειώνεται ότι η τελευταία περίπτωση προσομοιάζει περισσότερο την καθημερινότητα, καθώς συνήθως ζητείται από τα εργαστήρια να μετρήσουν κάποια χαρακτηριστικά χωρίς να τους υποδεικνύεται παράλληλα η στρατηγική μέτρησης.

Στη παρούσα εργασία επιλέχτηκε να υλοποιηθεί εργαστηριακή σύγκριση του πρώτου τύπου με καθορισμένα σημεία μέτρησης στο δοκίμιο, καθορισμένο προσανατολισμό επί της τράπεζας εργασίας, ενώ τέλος δεν απαιτήθηκε αλλαγή προσανατολισμού της κεφαλής ή αλλαγή της ακίδας για να ληφθούν τα καθορισμένα σημεία. Συγκριμένα επιλέχτηκε να μετρηθεί μια πλάκα αλουμινίου με μήκος 205mm, πλάτος 150mm και πάχος 20mm με διαμπερείς τρύπες (5 τρύπες με διάμετρο 9mm και 6 τρύπες με διάμετρο 30mm), η οποία κατεργάστηκε σε CNC φρέζα της HAAS στο μηχανουργείο CNC Solutions και η οποία τοποθετήθηκε κάθε φορά με τις προς μέτρηση επιφάνειες προσανατολισμένες κατά το δυνατόν παράλληλα με το σύστημα συντεταγμένων έकाστης μηχανής. Οι μετρήσεις οι οποίες έγιναν αφορούν απόσταση επιπέδου με επίπεδο στους δύο άξονες x και y, αποστάσεις των οπών από επίπεδο στους δύο άξονες x και y, τις διαμέτρους των οπών και την επιπεδότητα των επιφανειών της πλάκας. Τα συμμετέχοντα στην διεργαστηριακή σύγκριση εργαστήρια ήταν:

- i. Το Μετροτεχνικό Εργαστήριο (ΜΕ) Δοκιμών του Τομέα Βιομηχανικής Διοίκησης & Επιχειρησιακής Έρευνας της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του Ε.Μ.Π.. Το ΜΕ δραστηριοποιείται στο χώρο των μετρήσεων ακρίβειας από το 1962 και είναι πρόσφατα διαπιστευμένο από το ΕΣΥΔ με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN ISO/ IEC 17025:2005 για σειρά διαστασιολογικών δοκιμών. Στο Επίσημο Πεδίο Εφαρμογής της Διαπίστευσης (ΕΠΕΔ) του ΜΕ εντάσσονται μετρήσεις μηχανουργικών δοκιμών σε τρεις διαστάσεις με χρήση ΜΜΣ.
- ii. Το Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου του μηχανουργείου CNC Solutions, το οποίο εξειδικεύεται στην παραγωγή εξαρτημάτων υψηλής ακρίβειας.
- iii. Το Εργαστήριο Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων & Εργαλείων – Αντίστροφου Σχεδιασμού (ΤΚΠ-Ε&ΑΣ) του Τομέα Μηχανολογικών Κατασκευών και Αυτομάτου Ελέγχου της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του Ε.Μ.Π

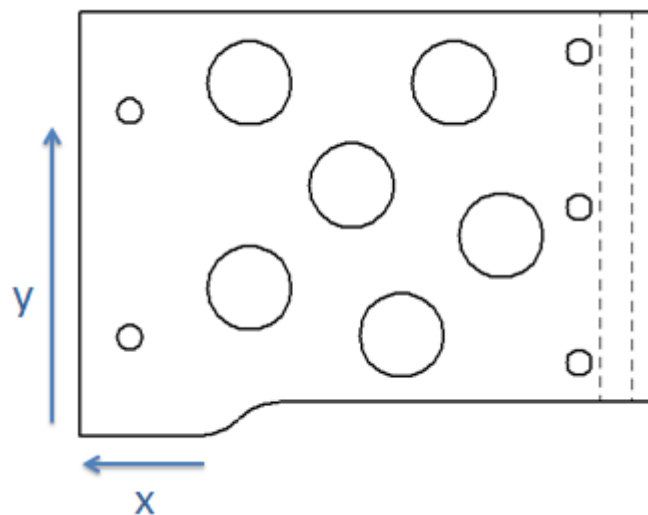
Δημιουργήθηκε ένα αυτόματο πρόγραμμα λήψης των γεωμετρικών στοιχείων της πλάκας αλουμινίου και επιλέχτηκαν 2 διαφορετικά συστήματα συντεταγμένων (επίπεδο αναφοράς για τον ορισμό του άξονα z, γραμμή για τον ορισμό του άξονα x, γραμμή για τον ορισμό του άξονα y). Σε κάθε εργαστήριο πραγματοποιήθηκαν έξι σετ μετρήσεων για κάθε σύστημα συντεταγμένων (δηλαδή σύνολο 12 σετ μετρήσεων) στην πλάκα με κοινή

στρατηγική μέτρησης και κοινό πρόγραμμα μέτρησης. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η λήψη του συστήματος συντεταγμένων έγινε χειροκίνητα, για να οριστεί το σημείο 0 στην πλάκα και να ξεκινήσει το πρόγραμμα μέτρησης. Η ακίδα επαφής που χρησιμοποιήθηκε στις μετρήσεις και στα δύο πειράματα ήταν διαμέτρου 4mm. Για την εξασφάλιση της απαιτούμενης σταθερότητας και επαναληψιμότητας κατά την ψηφιακή αποτύπωση, η τοποθέτηση, στήριξη και πρόσδεση του εξαρτήματος στην τράπεζα εργασίας της μηχανής CMM και στα τρία εργαστήρια έγινε με ειδικά διαμορφωμένη πλάκα.

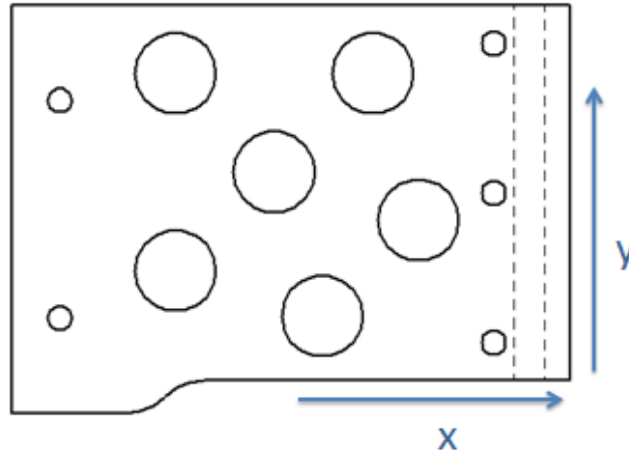


Εικόνα 36 Στιγμιότυπο από το αυτόματο πρόγραμμα λήψης των γεωμετριών της πλάκας

Παρακάτω παρουσιάζονται εικόνες με τα συστήματα συντεταγμένων (το επίπεδο αναφοράς και στα δύο συστήματα συντεταγμένων είναι κοινό, ορίστηκε το πάνω επίπεδο της πλάκας όπως φαίνεται στην εικόνα).



Εικόνα 37 Πρώτο τοπικό σύστημα συντεταγμένων



Εικόνα 38 Δεύτερο τοπικό σύστημα συντεταγμένων

Συγκεκριμένα τα τρία εργαστήρια μέτρησαν την πλάκα προσανατολισμένη κάθε φορά παράλληλα σε ένα από τους άξονες συντεταγμένων της μηχανής. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε χειροκίνητη λήψη των γεωμετριών για τον ορισμό του εκάστοτε συστήματος συντεταγμένων για να ξεκινήσει το αυτόματο πρόγραμμα μέτρησης και να αποτυπωθεί στο λογισμικό όλη η γεωμετρία της πλάκας.

Κατά την πορεία υλοποίησης της διεργαστηριακής άσκησης επιλέχτηκε η πραγματοποίηση των μετρήσεων της πλάκας να γίνει πρώτα στο Μετροτεχνικό Εργαστήριο του Ε.Μ.Π. κατόπιν στο εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου του μηχανουργείου CNC Solutions και στο τέλος στο Εργαστήριο Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων & Εργαλείων – Αντίστροφου Σχεδιασμού του Ε.Μ.Π.. Οι μετρήσεις των διαστάσεων επιπέδου από επίπεδο και επιπέδου από τρύπα υπολογίστηκαν ως αποστάσεις χρησιμοποιώντας το εκάστοτε σύστημα συντεταγμένων (2D αποστάσεις) αλλά και ως αποστάσεις στο χώρο (3D αποστάσεις). Μετά την ολοκλήρωση της σειράς των μετρήσεων και από τα τρία εργαστήρια πραγματοποιήθηκε ανάλυση των αναφερόμενων αποτελεσμάτων και αξιολόγηση της συμμετοχής τους στη διεργαστηριακή σύγκριση.

Για κάθε εργαστήριο υπολογίστηκαν οι πηγές αβεβαιότητας και καταστρώθηκε ένα ισοζύγιο. Οι λαμβανόμενες από τα εργαστήρια υπόψη πηγές αβεβαιότητας αφορούν:

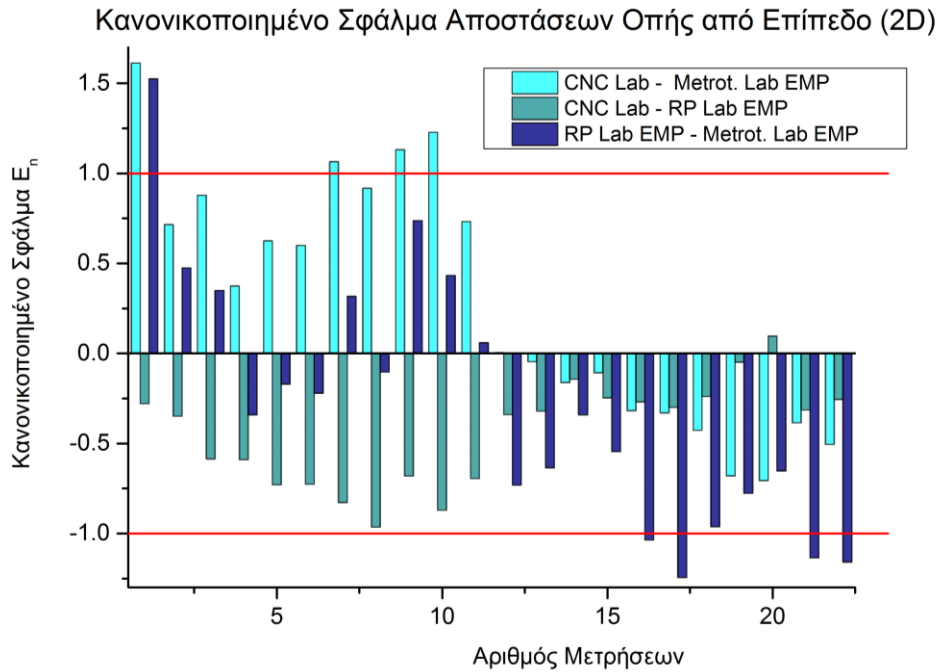
- ❖ Την αναπαραγωγικότητα των μετρήσεων
- ❖ Το Maximum permissible error (MPE) κατά ISO 10360- 2 της ΜΜΣ
- ❖ Τη μέτρησης της θερμοκρασίας στην οπτική κλίμακα και στην πλάκα
- ❖ Τους συντελεστές θερμικής διαστολής της οπτικής κλίμακας της πλάκας
- ❖ Την αβεβαιότητα στον υπολογισμό της διαμέτρου της πρότυπης σφαίρας
- ❖ Την αβεβαιότητα της χρησιμοποιούμενης ακίδας
- ❖ Τη γεωμετρία της πλάκας
- ❖ Τον υπολογισμό της ελαστικής παραμόρφωσης κατά της λήψη σημείων
- ❖ Τη στρατηγική μέτρησης

9. Ανάλυση – Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

9.1 Διαγράμματα Κανονικοποιημένου Σφάλματος E_n – 1^ο Σύστημα Συντεταγμένων

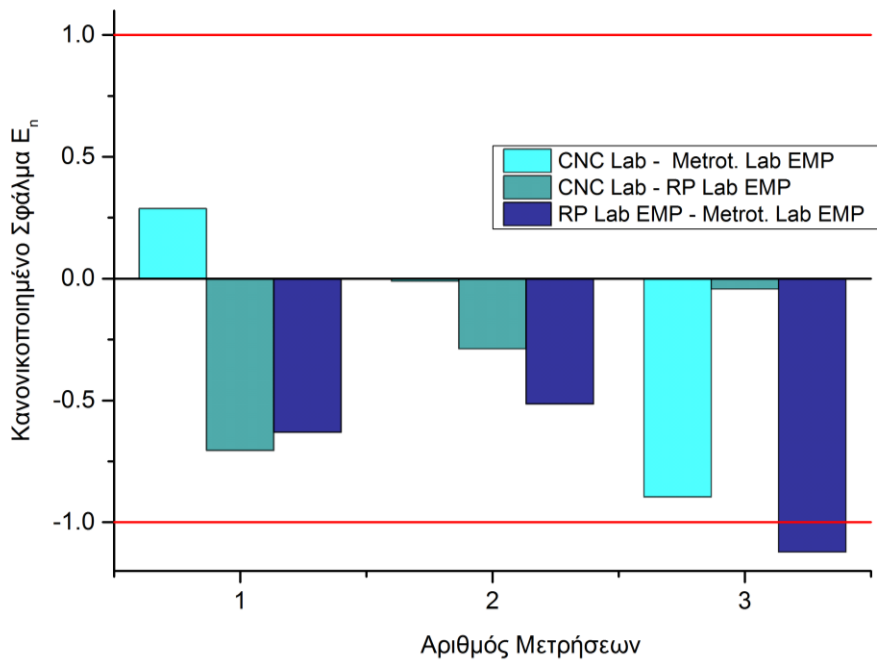
Η ανάλυση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων πραγματοποιήθηκε υπολογίζοντας τις τιμές των διαφόρων κριτηρίων z score, z' score και το κανονικοποιημένο σφάλμα E_n για κάθε μια από τις πραγματοποιημένες μετρήσεις. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν για δύο συστήματα συντεταγμένων έξι φορές και υπολογίστηκαν τα διάφορα κριτήρια για τις αποστάσεις επιπέδου με επίπεδο (2D & 3D), τις αποστάσεις οπής από επίπεδο (2D & 3D), τις διαμέτρους οπών και την επιπεδότητα των επιφανειών.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του κανονικοποιημένου σφάλματος E_n των μετρήσεων για το πρώτο σύστημα συντεταγμένων. Το κανονικοποιημένο σφάλμα E_n υπολογίστηκε ανά δυο εργαστήρια δημιουργώντας τρεις συνδυασμούς.



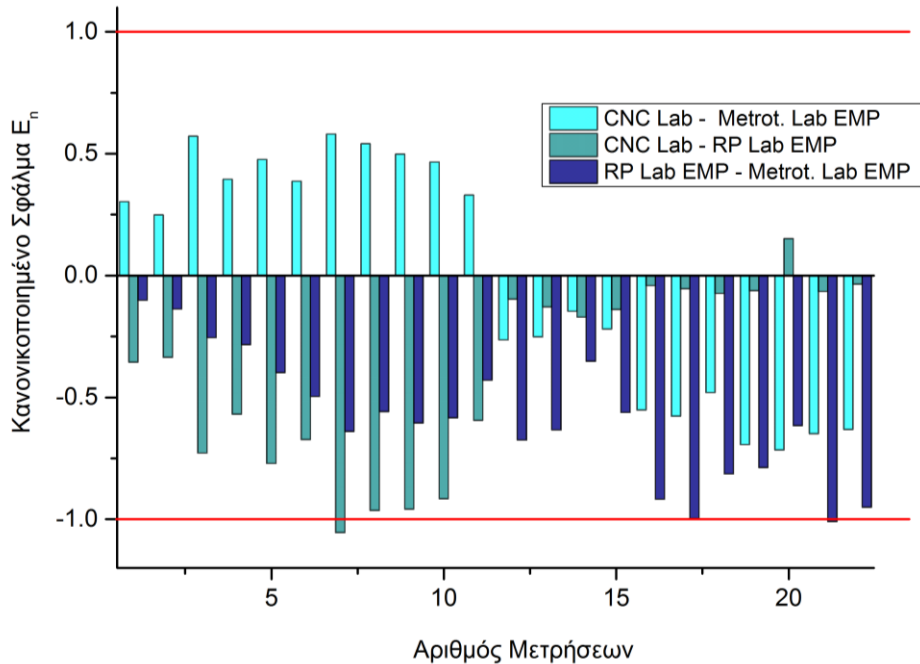
Διάγραμμα 1 Κανονικοποιημένο Σφάλμα E_n Αποστάσεων Επιπέδου από Επίπεδο (2D) – 1^ο Σύστημα Συντεταγμένων

Κανονικοποιημένο Σφάλμα Αποστάσεων Επιπέδου από Επίπεδο (2D)



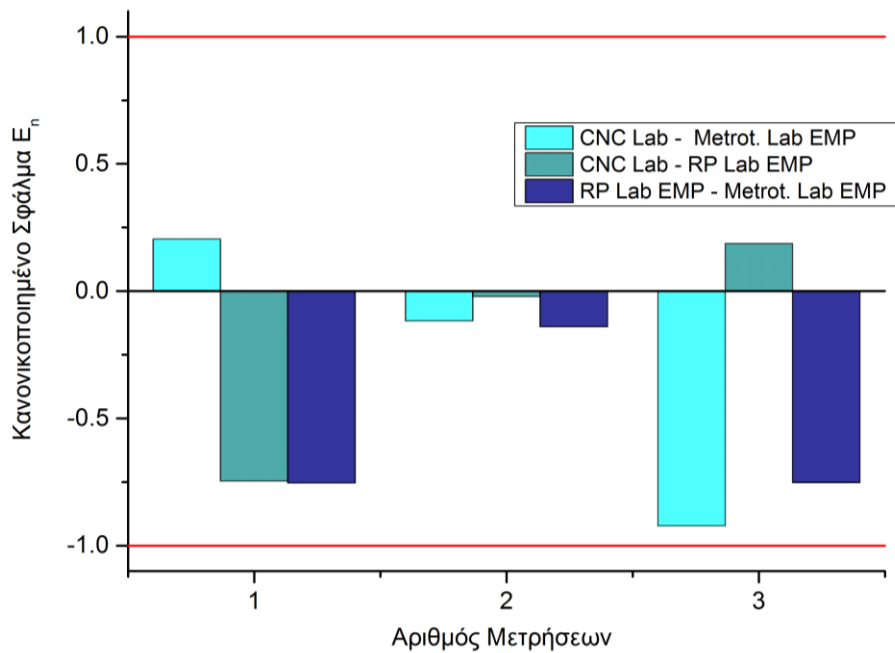
Διάγραμμα 2 Κανονικοποιημένο Σφάλμα E_n Αποστάσεων Οπής από Επίπεδο (2D) – 1^ο Σύστημα Συνταγμένων

Κανονικοποιημένο Σφάλμα Αποστάσεων Οπής από Επίπεδο (3D)



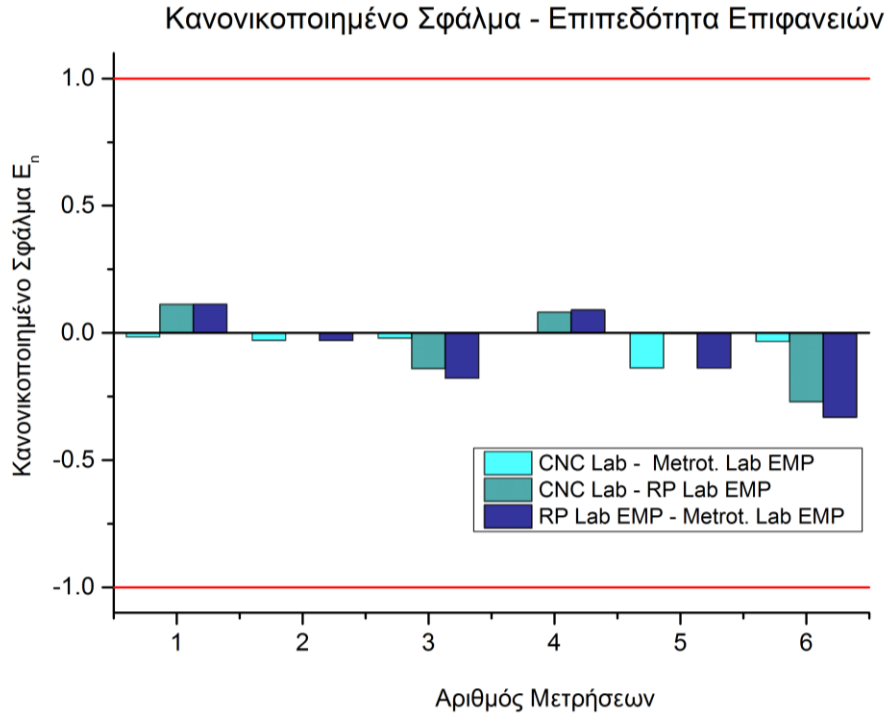
Διάγραμμα 3 Κανονικοποιημένο Σφάλμα E_n Αποστάσεων Οπής από Επίπεδο (3D) – 1^ο Σύστημα Συνταγμένων

Κανονικοποιημένο Σφάλμα Αποστάσεων Επιπέδου από Επίπεδο (3D)

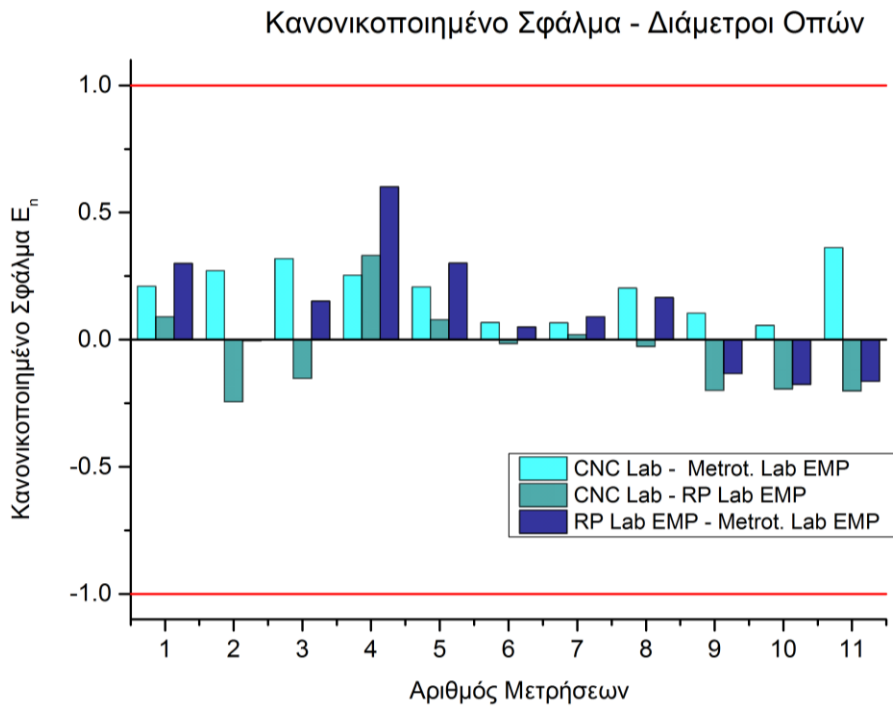


Διάγραμμα 4 Κανονικοποιημένο Σφάλμα E_n Αποστάσεων Επιπέδου από Επίπεδο (3D) – 1^ο Σύστημα Συντεταγμένων

Όπως προέκυψε από την ανάλυση των αποτελεσμάτων των αποστάσεων η τιμή του E_n κινήθηκε τις περισσότερες φορές στο διάστημα $[-1,1]$. Μάλιστα για τις περισσότερες μετρήσεις βρέθηκε να κινείται πολύ κοντά στο μηδέν και επομένως τα αποτελέσματα των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν κρίνονται αρκετά ικανοποιητικά. Στην περίπτωση των αποστάσεων 2D οπής από επίπεδο εντοπίστηκαν κάποιες μετρήσεις να ξεπερνάν την τιμή 1. Φαίνεται δηλαδή ότι τα αποτελέσματα δεν είναι 100% συμβατά μεταξύ τους όταν λαμβάνουμε τις αποστάσεις με βάση το σύστημα συντεταγμένων (2D). Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι ότι το σύστημα συντεταγμένων που δημιουργείται δεν σχηματίζει ακριβώς 90°, επειδή η κατεργασία της πλάκας έχει πραγματοποιηθεί με εργαλειομηχανές CNC και δεν έχει υποστεί ρεκτιφιέ. Επιπλέον οι γεωμετρίες της πλάκας αποκλίνουν από τις τέλειες γεωμετρικές μορφές, το οποίο σημαίνει ότι η επιπεδότητα των επιφανειών και η κυλινδρική των οπών δεν είναι οι καλύτερες δυνατές όπως σε πρότυπο πλακίδιο Johansson ή σε ένα πρότυπο δακτύλιο, πράγμα που σημαίνει ότι επηρεάζεται η αβεβαιότητα της μέτρησης και πιθανόν να οφείλονται οι τυχόν αποκλίσεις. Η καλύτερη απόκριση προκύπτει μεταξύ του Εργαστηρίου Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων & Εργαλείων – Αντίστροφου Σχεδιασμού του ΕΜΠ και του Εργαστηρίου Ποιοτικού Ελέγχου της CNC Solutions.



Διάγραμμα 5 Κανονικοποιημένο Σφάλμα E_n - Επιπεδότητα Επιφανειών – 1^ο Σύστημα Συνταγμένων

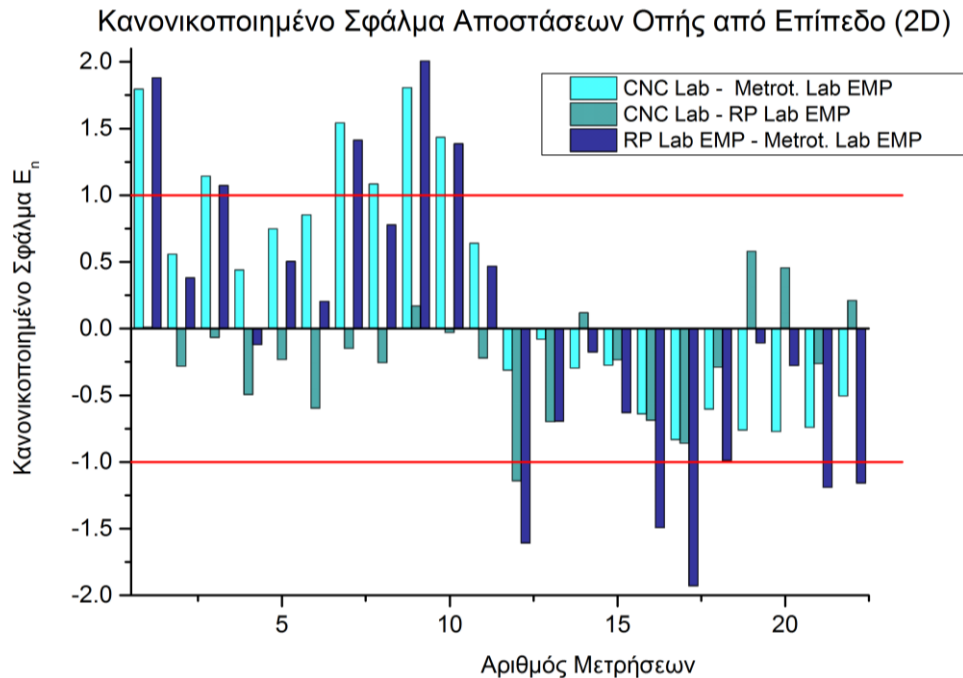


Διάγραμμα 6 Κανονικοποιημένο Σφάλμα E_n – Διάμετροι Οπών – 1^ο Σύστημα Συνταγμένων

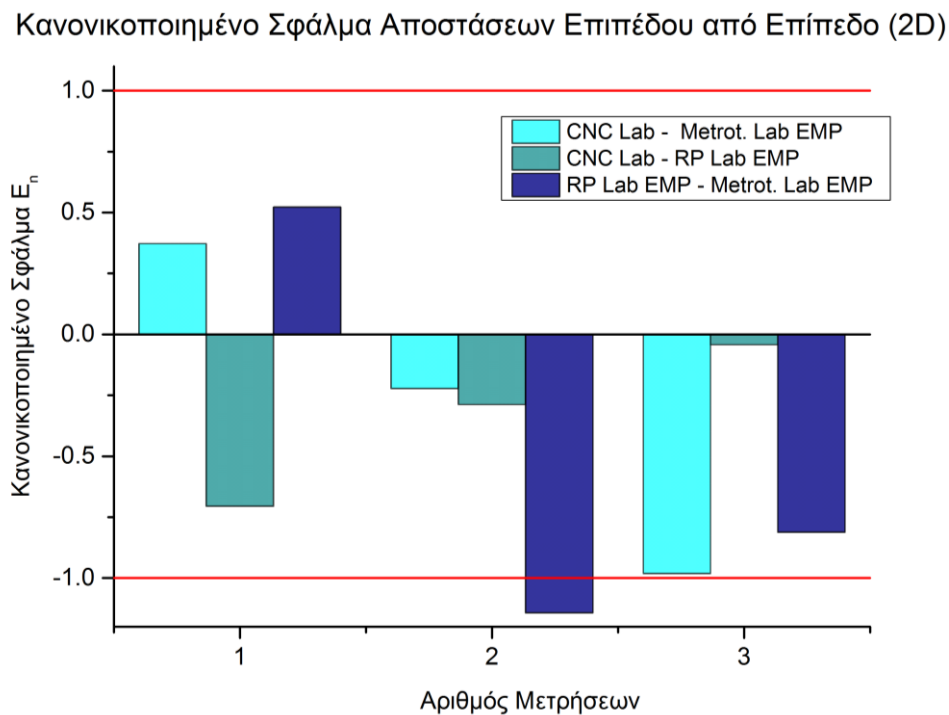
Όπως προέκυψε από την ανάλυση των αποτελεσμάτων που αφορούν τις διαμέτρους οπών και την επιπεδότητα των επιφανειών η τιμή του E_n κινήθηκε στο διάστημα [-1,1] για όλους τους συνδυασμούς των τριών εργαστηρίων. Μάλιστα για τις περισσότερες μετρήσεις βρέθηκε να κινείται πολύ κοντά στο μηδέν και επομένως τα αποτελέσματα των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν κρίνονται αρκετά ικανοποιητικά. Προκύπτει 100% συμβατότητα μεταξύ των τριών εργαστηρίων.

9.2 Διαγράμματα Κανονικοποιημένου Σφάλματος E_n – 2^ο Σύστημα Συντεταγμένων

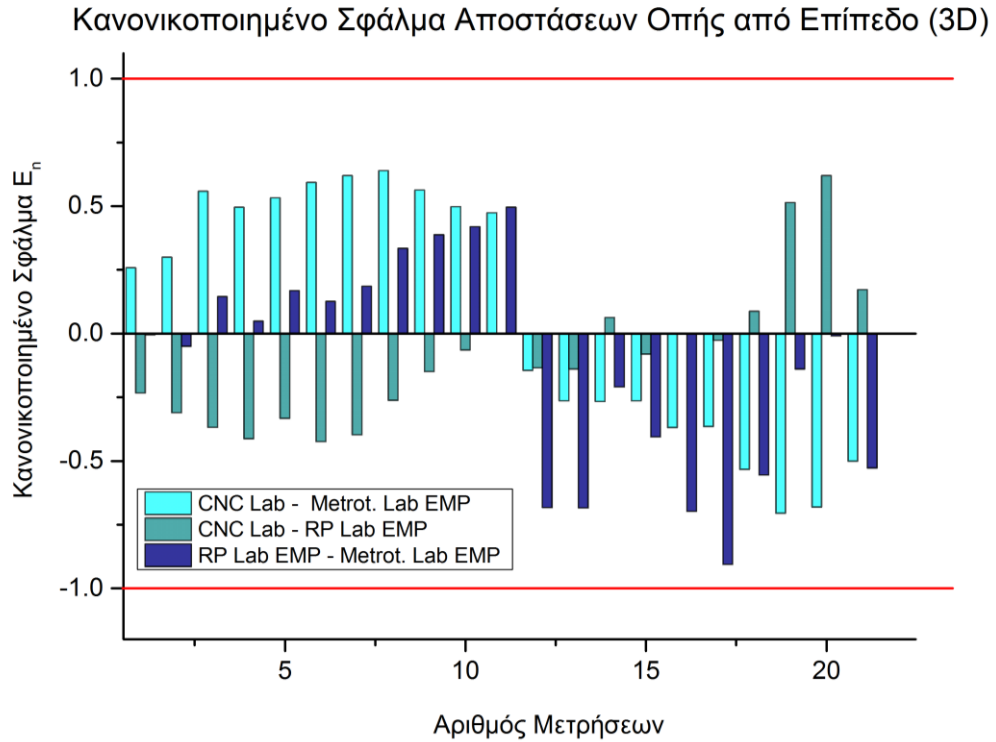
Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του κανονικοποιημένου σφάλματος E_n των μετρήσεων του δεύτερου συστήματος συντεταγμένων. Το κανονικοποιημένο σφάλμα E_n υπολογίστηκε ανά δυο εργαστήρια δημιουργώντας τρεις συνδυασμούς.



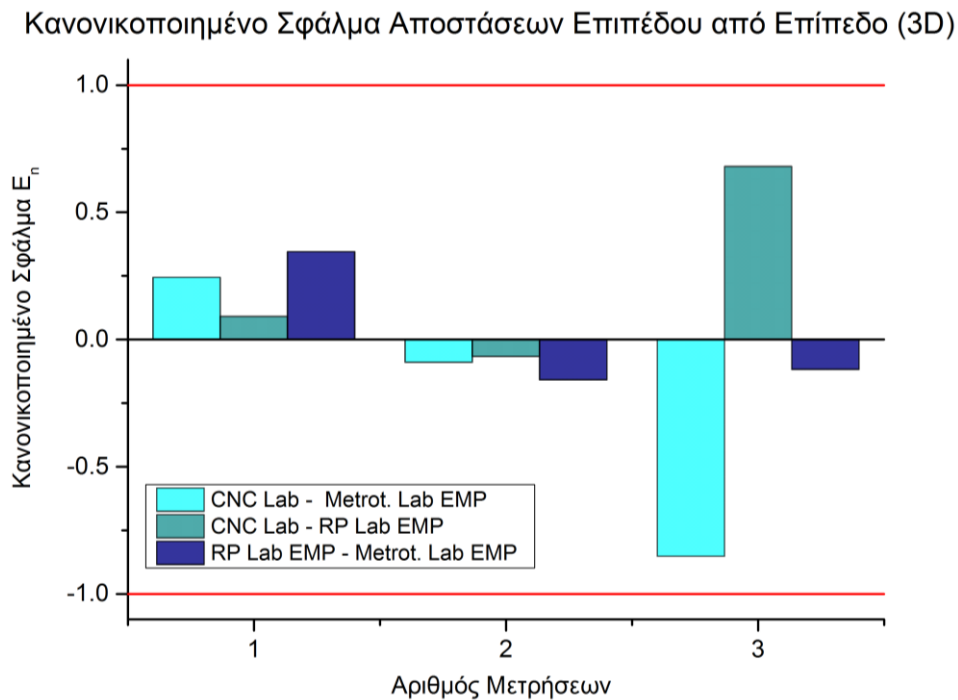
Διάγραμμα 7 Κανονικοποιημένο Σφάλμα E_n Αποστάσεων Οπής από Επίπεδο (2D) – 2^ο Σύστημα Συντεταγμένων



Διάγραμμα 8 Κανονικοποιημένο Σφάλμα E_n Αποστάσεων Επίπεδο από Επίπεδο (2D) – 2^ο Σύστημα Συντεταγμένων



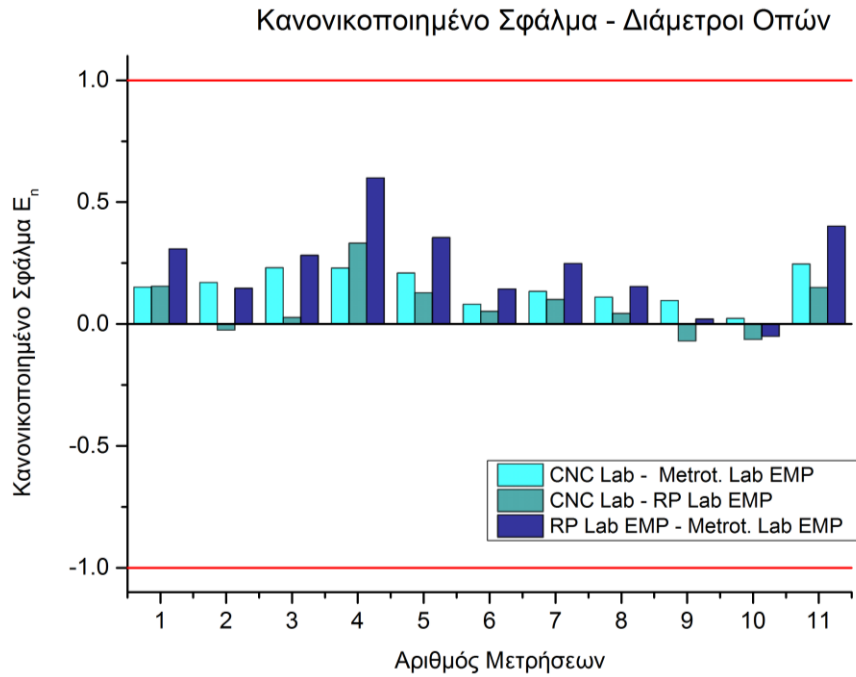
Διάγραμμα 9 Κανονικοποιημένο Σφάλμα E_n Αποστάσεων Οπής από Επίπεδο (3D) – 2^ο Σύστημα Συνταγμένων



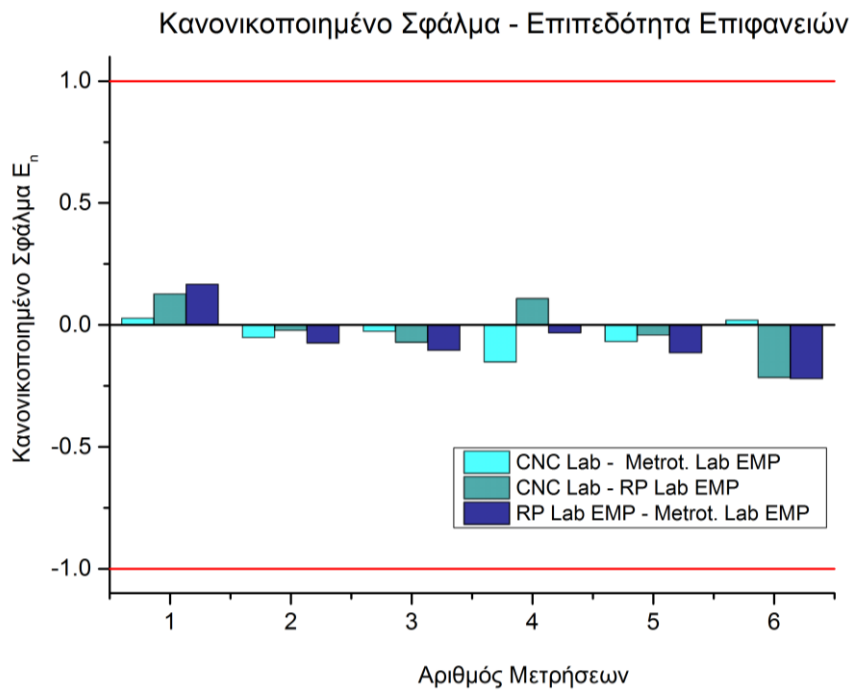
Διάγραμμα 10 Κανονικοποιημένο Σφάλμα E_n Αποστάσεων Επίπεδο από Επίπεδο (3D) – 2^ο Σύστημα Συνταγμένων

Παρόμοια είναι τα αποτελέσματα που προέκυψαν και για το δεύτερο σύστημα συντεταγμένων. Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων των αποστάσεων η τιμή του E_n κινήθηκε τις περισσότερες φορές στο διάστημα $[-1,1]$. Οι μετρήσεις των αποστάσεων

χρησιμοποιώντας το σύστημα συντεταγμένων (2D) οδήγησαν σε χειρότερα αποτελέσματα σε σύγκριση με τις μετρήσεις ως 3D αποστάσεις.



Διάγραμμα 11 Κανονικοποιημένο Σφάλμα E_n – Διάμετροι Οπών – 2^ο Σύστημα Συνταγμένων

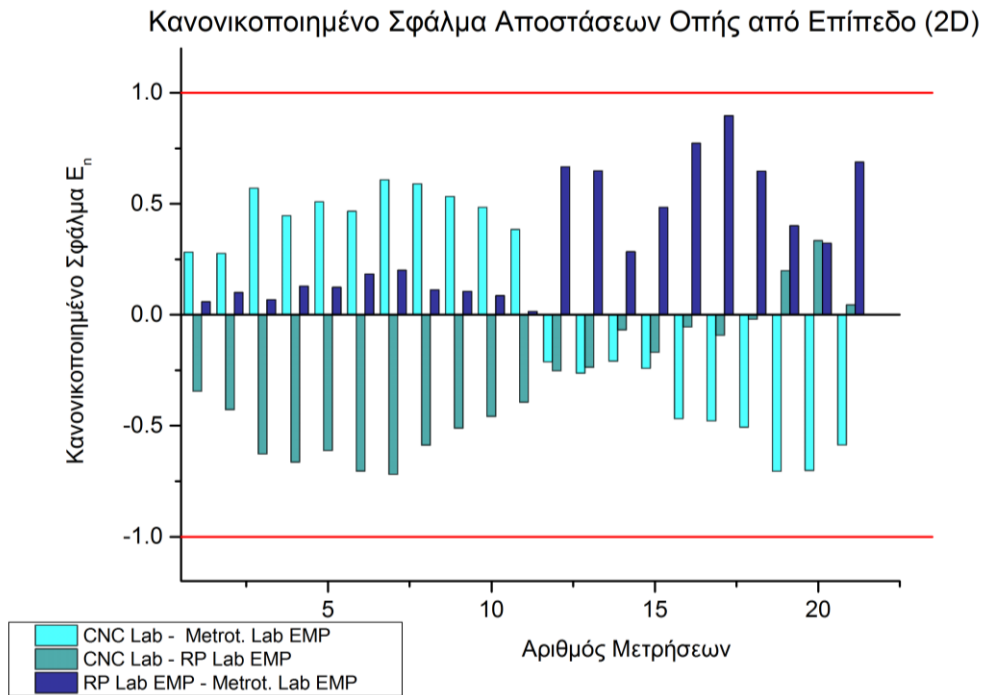


Διάγραμμα 12 Κανονικοποιημένο Σφάλμα E_n - Επιπεδότητα Επιφανειών – 2^ο Σύστημα Συνταγμένων

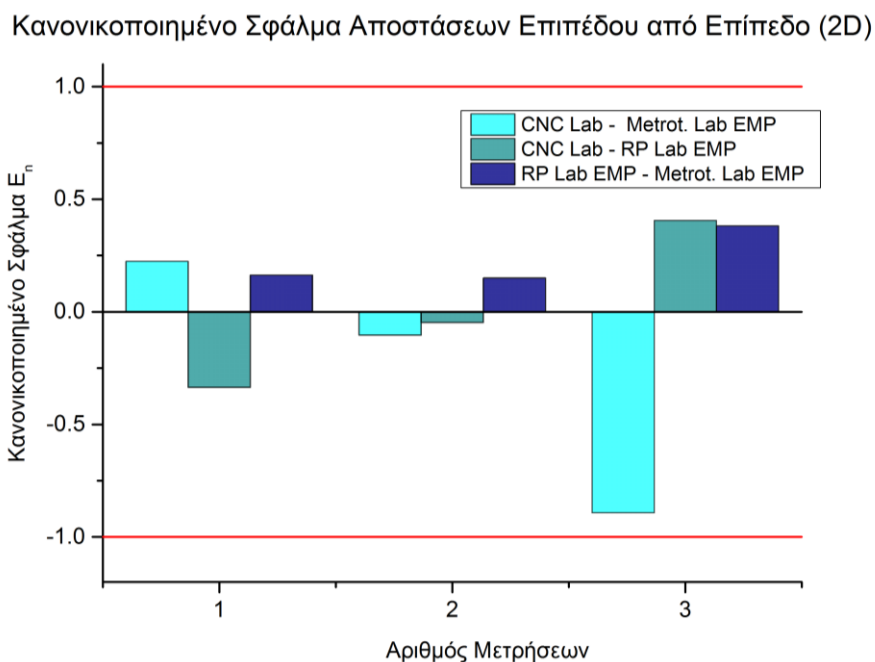
Όπως προέκυψε από την ανάλυση των αποτελεσμάτων που αφορούν τις διαμέτρους οπών και την επιπεδότητα των επιφανειών η τιμή του E_n κινήθηκε στο διάστημα [-1,1]. Μάλιστα για τις περισσότερες μετρήσεις βρέθηκε να κινείται πολύ κοντά στο μηδέν και επομένως τα αποτελέσματα των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν κρίνονται αρκετά ικανοποιητικά.

9.3 Διαγράμματα Κανονικοποιημένου Σφάλματος E_n – Συνολικές Μετρήσεις

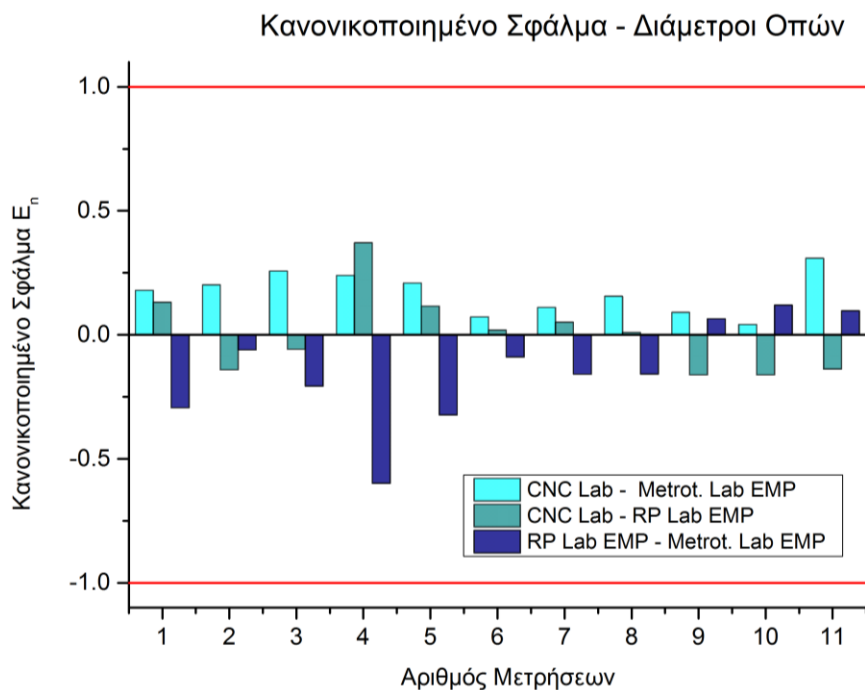
Στη συνέχεια ενοποιήσαμε και τα 6 set μετρήσεων του κάθε συστήματος συντεταγμένων (σύνολο 12 set) και αναλύσαμε τα αποτελέσματα των μετρήσεων υπολογίζοντας την τιμή E_n ανά δυο εργαστήρια δημιουργώντας τρεις συνδυασμούς. Τα συνολικά αποτελέσματα λαμβάνοντας υπόψη και τα 12 set μετρήσεων παρουσιάζονται παρακάτω:



Διάγραμμα 13 Κανονικοποιημένο Σφάλμα E_n Αποστάσεων από Επίπεδο (3D) – Συνολικές Μετρήσεις



Διάγραμμα 14 Κανονικοποιημένο Σφάλμα E_n Αποστάσεων Οπής από Επίπεδο (3D) – Συνολικές Μετρήσεις

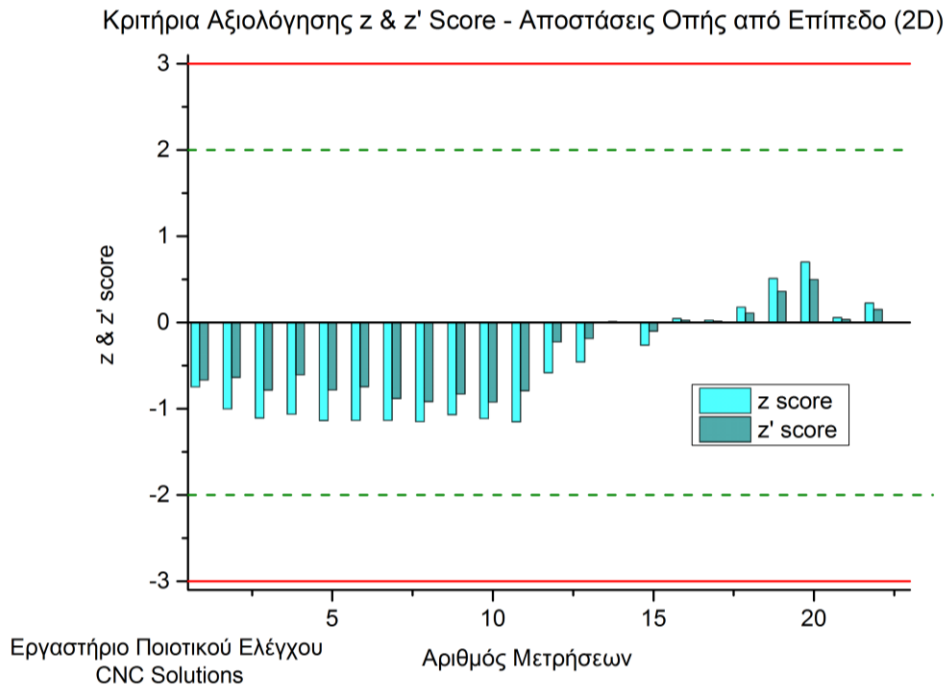


Διάγραμμα 15 Κανονικοποιημένο Σφάλμα E_n – Διάμετροι Οπών – Συνολικές Μετρήσεις

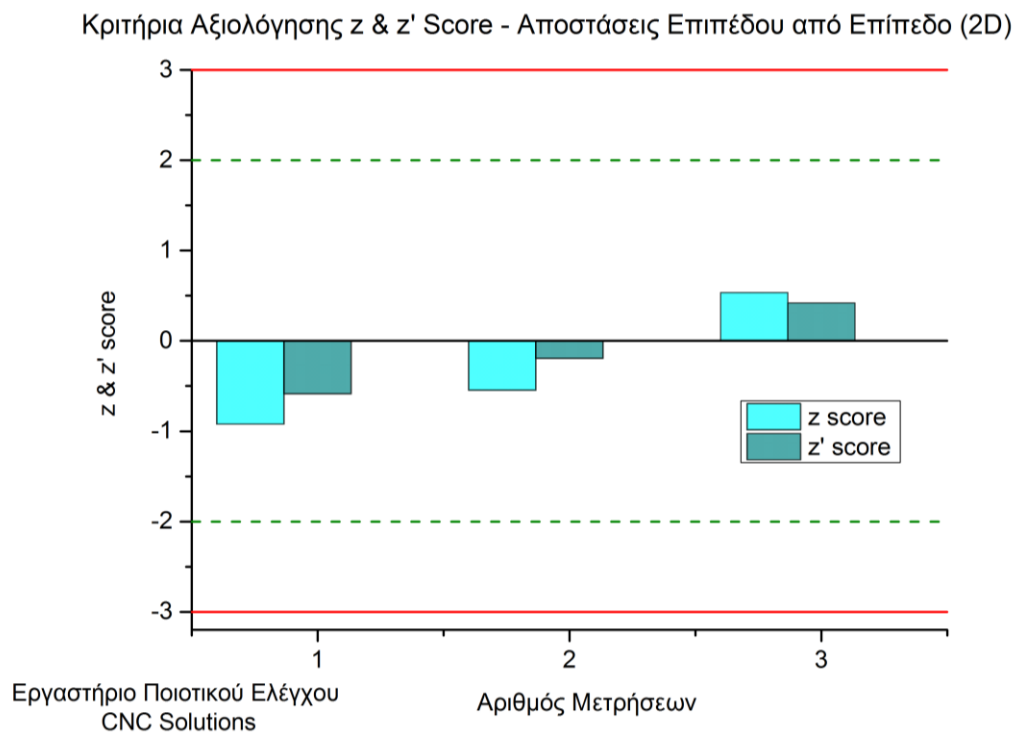
Όπως προέκυψε από την ανάλυση των αποτελεσμάτων η τιμή του E_n κινήθηκε στο διάστημα $[-1,1]$. Από τα αποτελέσματα της εργαστηριακής σύγκρισης προκύπτει ικανοποιητική συμφωνία μεταξύ και των τριών εργαστηρίων. Για τη διενέργεια των μετρήσεων δεν χρειάστηκε να πραγματοποιηθεί αλλαγή ακίδας ή θέσης της κεφαλής των μηχανών και έχει καθοριστεί πλήρως η στρατηγική μέτρησης. Σημειώνεται ότι τα αποτελέσματα των μετρήσεων προέκυψαν με την παραδοχή ότι όλες οι πηγές αβεβαιότητας συνεισφέρουν εξίσου στην τελική αβεβαιότητα.

9.4 Διαγράμματα z & z' score – Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου της CNC Solutions - 1^ο Σύστημα Συντεταγμένων

Στη συνέχεια παρατίθενται τα διαγράμματα με τις τιμές των z και z' score για το Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου της CNC Solutions για το πρώτο σύστημα συντεταγμένων:

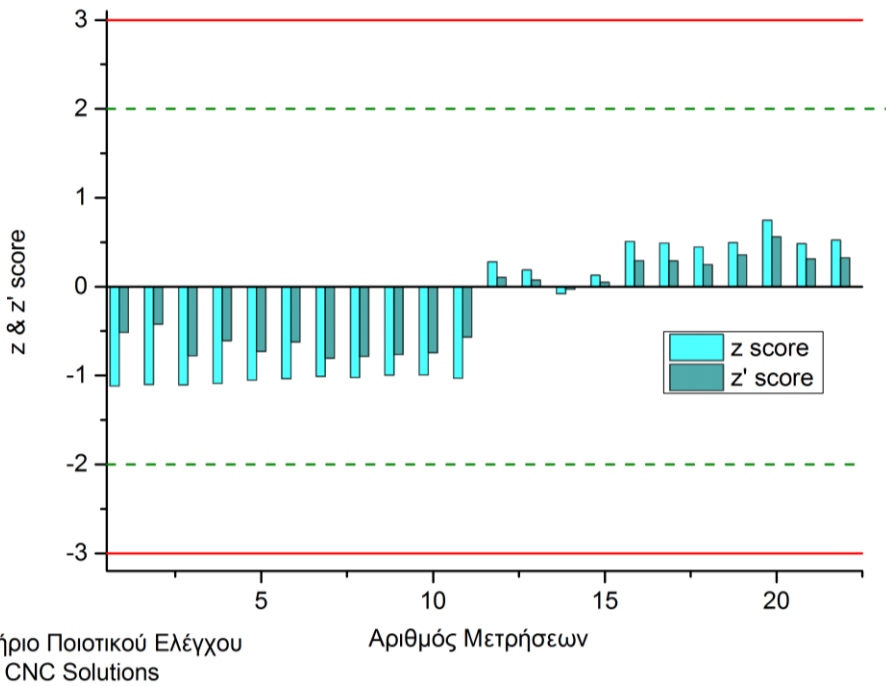


Διάγραμμα 16 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score – Αποστάσεις Οπής από Επίπεδο (2D) – 1^ο Σύστημα Συντεταγμένων – Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου CNC Solutions



Διάγραμμα 17 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score – Αποστάσεις Επιπέδου από Επίπεδο (2D) – 1^ο Σύστημα Συντεταγμένων - Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου CNC Solutions

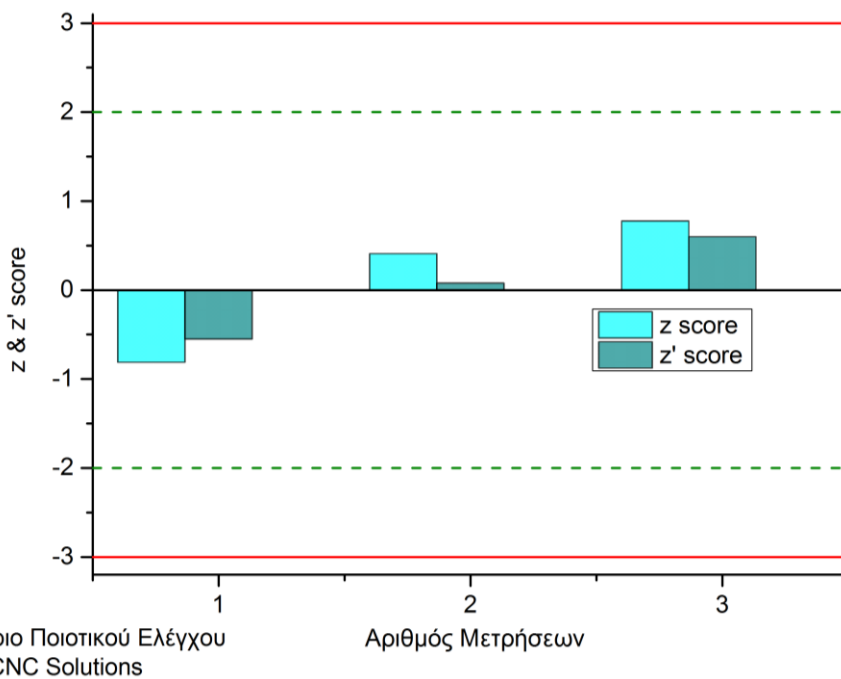
Κριτήρια Αξιολόγησης z & z' Score - Αποστάσεις Οπής από Επίπεδο (3D)



Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου
CNC Solutions

Διάγραμμα 18 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score – Αποστάσεις Οπής από Επίπεδο (3D) – 1^ο Σύστημα Συντεταγμένων - Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου CNC Solutions

Κριτήρια Αξιολόγησης z & z' Score - Αποστάσεις Επιπέδου από Επίπεδο (3D)

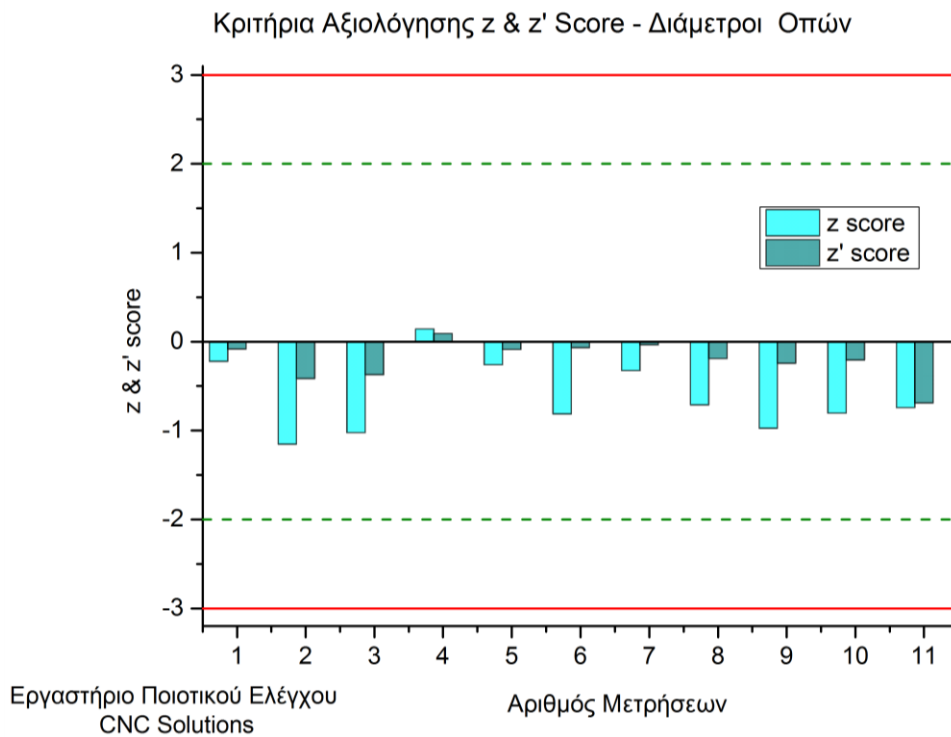


Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου
CNC Solutions

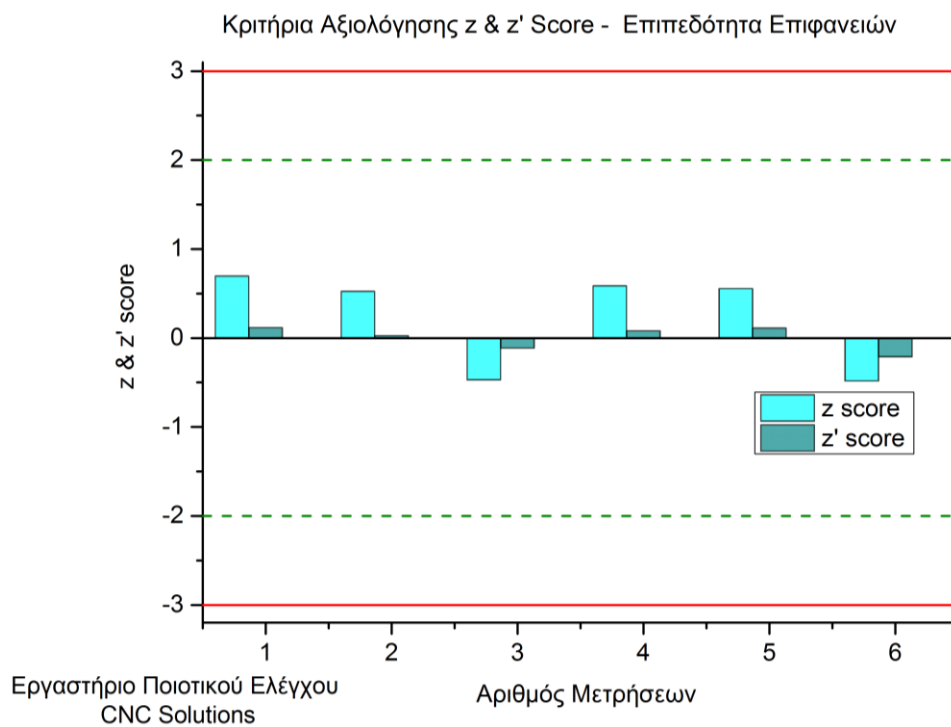
Διάγραμμα 19 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score – Αποστάσεις Επιπέδου από Επίπεδο (3D) – 1^ο Σύστημα Συντεταγμένων - Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου CNC Solutions

Όπως προέκυψε από την ανάλυση των αποτελεσμάτων οι τιμές των z score και z' score κυμαίνονται σε όλες τις μετρήσεις από το 2 μέχρι το -2. Αυτό σημαίνει ότι για το εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου της CNC Solutions προκύπτει απόλυτη συμφωνία με τα άλλα

δύο εργαστήρια του ΕΜΠ. Το κριτήριο z' score δίνει καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με το κριτήριο z score, γιατί το κριτήριο z' score λαμβάνει υπόψη την τυπική αβεβαιότητα των εργαστηρίων ενώ το z score λαμβάνει υπόψη μόνο την τυπική απόκλιση των μετρήσεων.



Διάγραμμα 20 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score – Διάμετροι Οπών – 1° Σύστημα Συντεταγμένων - Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου CNC Solutions

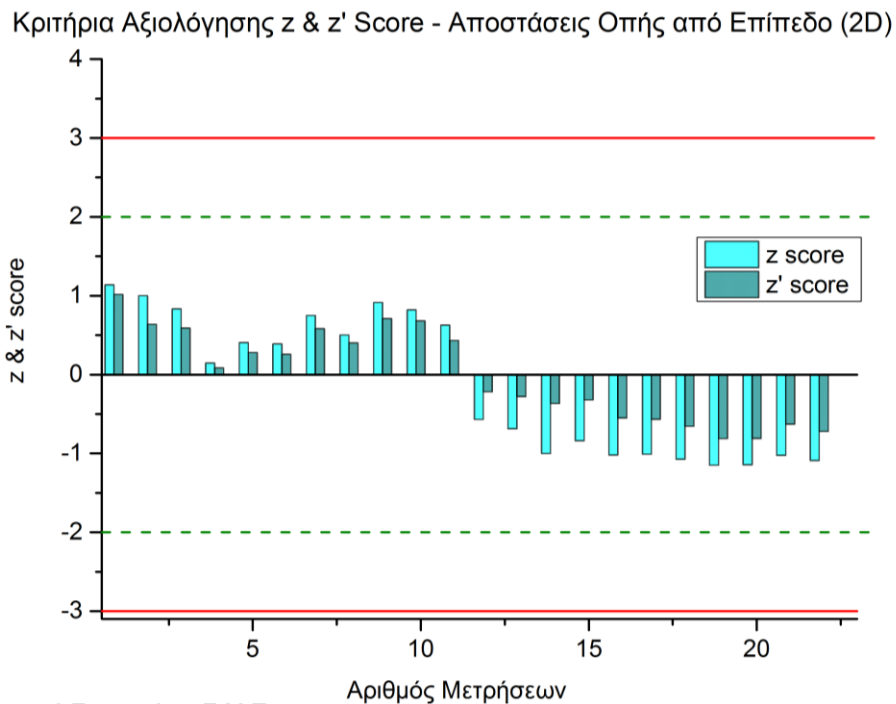


Διάγραμμα 21 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score –Επιπεδότητα επιφανειών – 1° Σύστημα Συντεταγμένων - - Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου CNC Solutions

Όπως προέκυψε από την ανάλυση των αποτελεσμάτων που αφορούν τις διαμέτρους οπών και την επιπεδότητα των επιφανειών η τιμή των κριτηρίων z και z' score κινήθηκε στο διάστημα $[-2,2]$. Μάλιστα για τις περισσότερες μετρήσεις βρέθηκε να κινείται πολύ κοντά στο μηδέν και επομένως τα αποτελέσματα των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν κρίνονται αρκετά ικανοποιητικά. Επομένως προκύπτει 100% συμφωνία του Εργαστηρίου Ποιοτικού Ελέγχου της CNC Solutions με τα άλλα δύο εργαστήρια.

9.5 Διαγράμματα z & z' score – Μετροτεχνικό Εργαστήριο του Ε.Μ.Π - 1^ο Σύστημα Συντεταγμένων

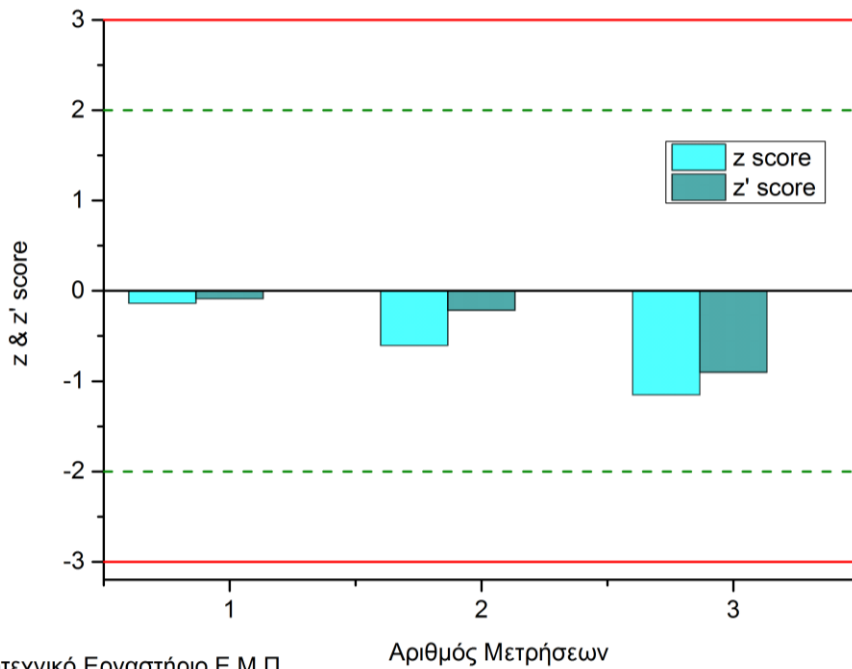
Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των κριτηρίων z και z' score για το Μετροτεχνικό Εργαστήριο του Ε.Μ.Π. για το πρώτο σύστημα συντεταγμένων:



Μετροτεχνικό Εργαστήριο Ε.Μ.Π.

Διάγραμμα 22 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score – Αποστάσεις Οπής από Επίπεδο (2D) – 1^ο Σύστημα Συντεταγμένων – Μετροτεχνικό Εργαστήριο Ε.Μ.Π.

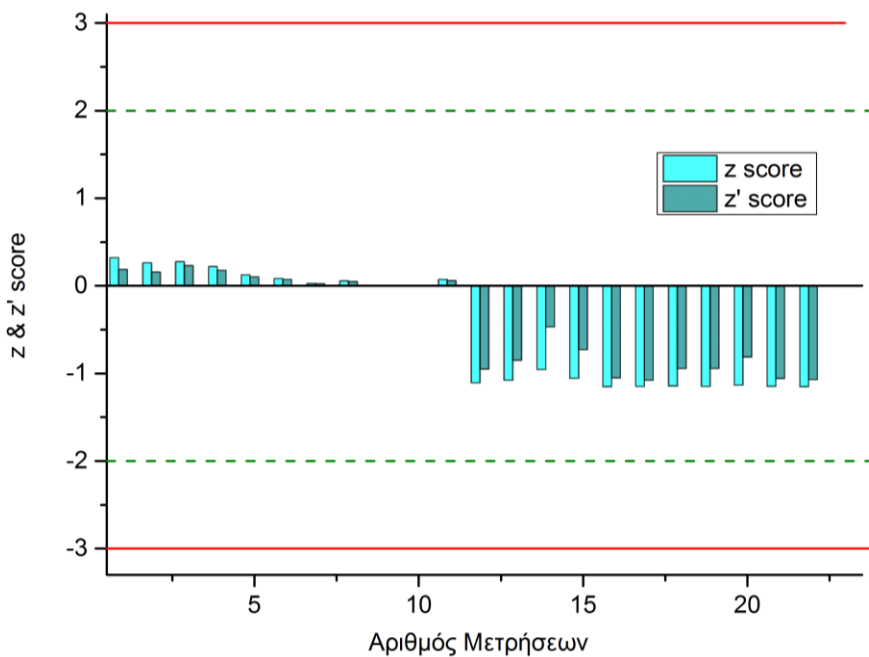
Κριτήρια Αξιολόγησης z & z' Score - Αποστάσεις Επιπέδου από Επίπεδο (2D)



Μετροτεχνικό Εργαστήριο Ε.Μ.Π.

Διάγραμμα 23 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score – Αποστάσεις Επιπέδου από Επίπεδο (2D) – 1^ο Σύστημα Συντεταγμένων – Μετροτεχνικό Εργαστήριο Ε.Μ.Π.

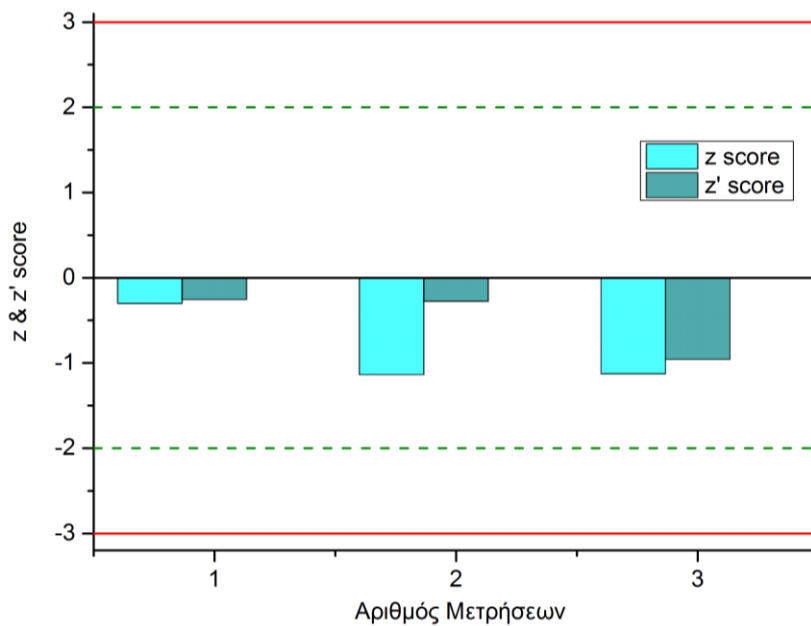
Κριτήρια Αξιολόγησης z & z' Score - Αποστάσεις Οπής από Επίπεδο (3D)



Μετροτεχνικό Εργαστήριο Ε.Μ.Π.

Διάγραμμα 24 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score – Αποστάσεις Οπής από Επίπεδο (3D) – 1^ο Σύστημα Συντεταγμένων – Μετροτεχνικό Εργαστήριο Ε.Μ.Π.

Κριτήρια Αξιολόγησης z & z' Score - Αποστάσεις Επιπέδου από Επίπεδο (3D)

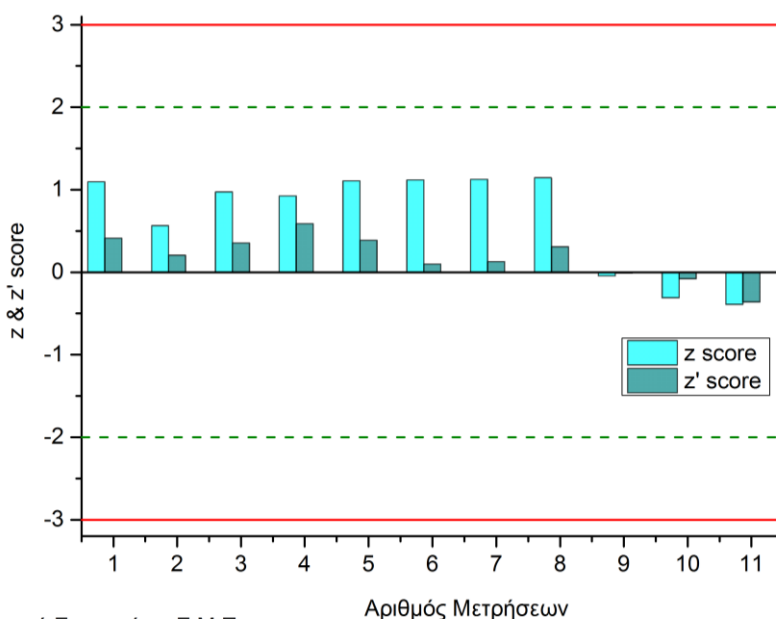


Μετροτεχνικό Εργαστήριο Ε.Μ.Π.

Διάγραμμα 25 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score – Αποστάσεις Επιπέδου από Επίπεδο (3D) – 1^ο Σύστημα Συντεταγμένων – Μετροτεχνικό Εργαστήριο Ε.Μ.Π.

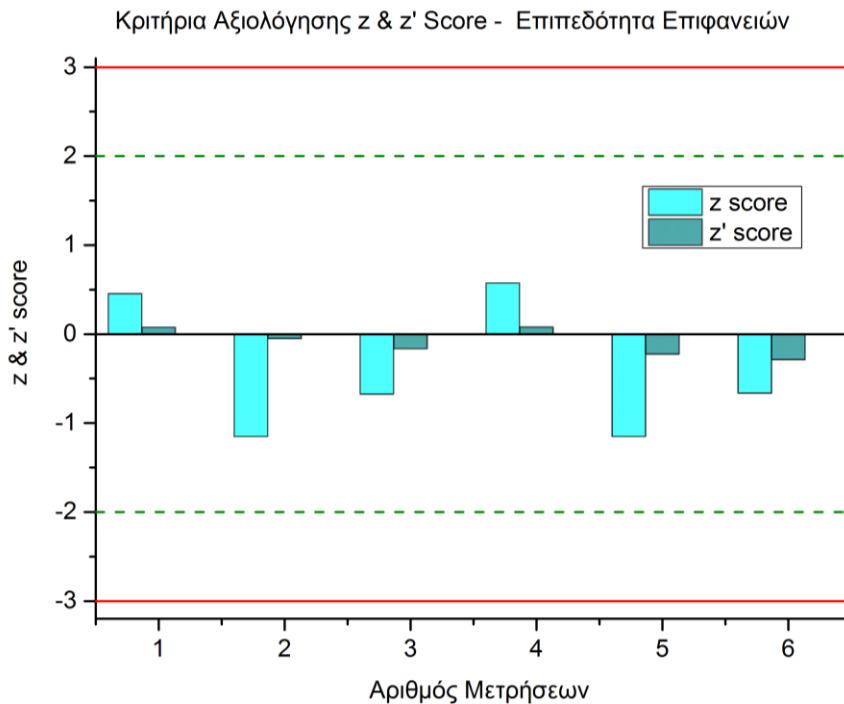
Παρόμοια είναι τα αποτελέσματα που προέκυψαν και για το Μετροτεχνικό Εργαστήριο του Ε.Μ.Π.. Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων των αποστάσεων η τιμή των κριτηρίων z και z' score κινήθηκε στο διάστημα [-2,2]. Επιπλέον το κριτήριο z' score έδωσε καλύτερα αποτελέσματα σε σύγκριση με το z score. Προκύπτει απόλυτη συμφωνία του Μετροτεχνικού Εργαστηρίου με τα άλλα δύο εργαστήρια, που συμμετέχουν στην διεργαστηρική σύγκριση.

Κριτήρια Αξιολόγησης z & z' Score - Διάμετροι Οπών



Μετροτεχνικό Εργαστήριο Ε.Μ.Π.

Διάγραμμα 26 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score – Διάμετροι Οπών – 1^ο Σύστημα Συντεταγμένων – Μετροτεχνικό Εργαστήριο Ε.Μ.Π.



Μετροτεχνικό Εργαστήριο Ε.Μ.Π.

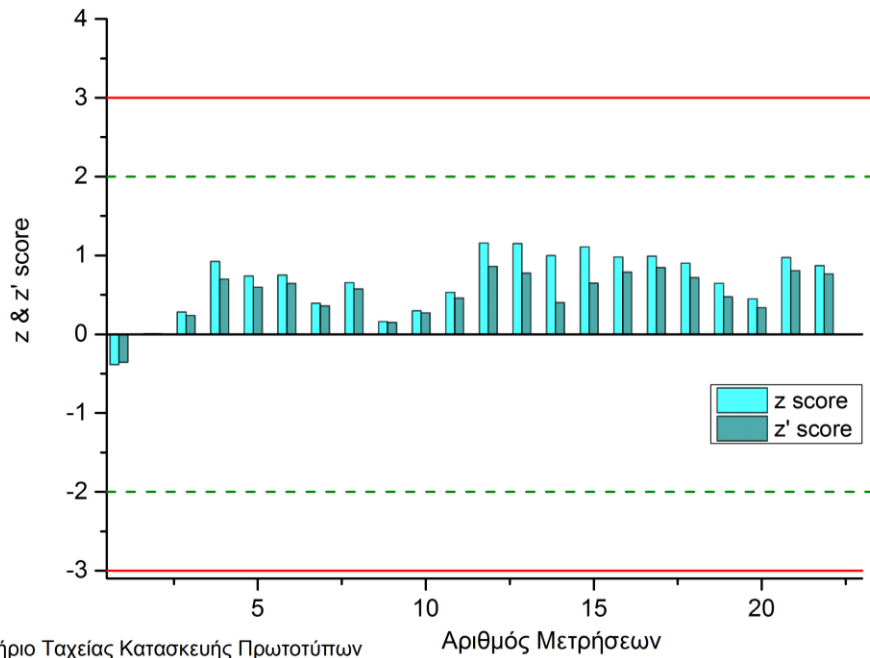
Διάγραμμα 27 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score – Επιπεδότητα επιφανειών – 1^ο Σύστημα Συντεταγμένων – Μετροτεχνικό Εργαστήριο Ε.Μ.Π.

Όπως προέκυψε από την ανάλυση των αποτελεσμάτων που αφορούν τις διαμέτρους οπών και την επιπεδότητα των επιφανειών οι τιμές των κριτηρίων z και z' score κινήθηκαν στο διάστημα [-2,2]. Μάλιστα για τις περισσότερες μετρήσεις βρέθηκε να κινείται πολύ κοντά στο μηδέν και επομένως τα αποτελέσματα των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν κρίνονται αρκετά ικανοποιητικά.

9.6 Διαγράμματα z & z' score – Εργαστήριο Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων Καλουπιών Αντίστροφου Σχεδιασμού του Ε.Μ.Π - 1^ο Σύστημα Συντεταγμένων

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των κριτηρίων z και z' score για το Εργαστήριο Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων Καλουπιών – Αντίστροφου Σχεδιασμού του Ε.Μ.Π. για το πρώτο σύστημα συντεταγμένων:

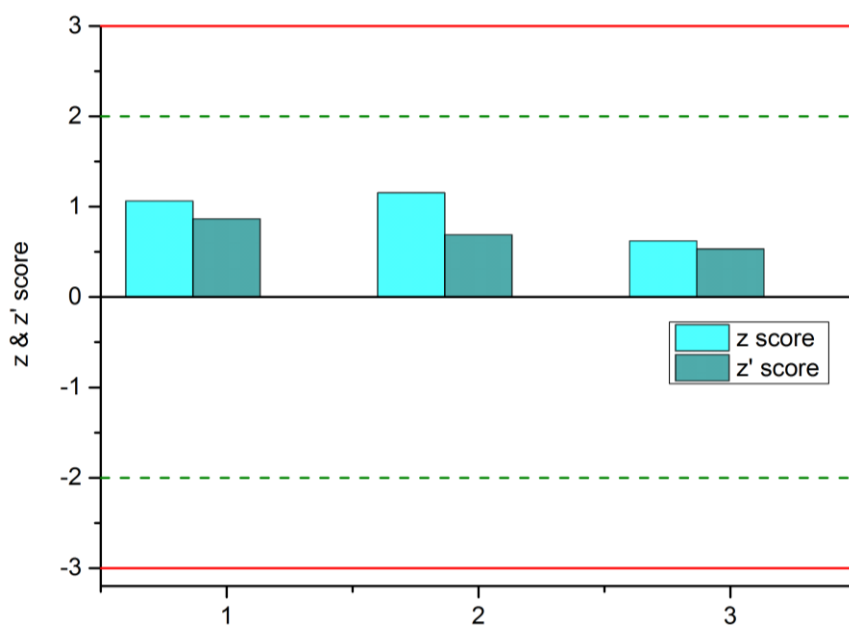
Κριτήρια Αξιολόγησης z & z' Score - Αποστάσεις Οπής από Επίπεδο (2D)



Εργαστήριο Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων Καλουπιών & Αντίστροφου Σχεδιασμού Ε.Μ.Π.

Διάγραμμα 28 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score – Αποστάσεις Οπής από Επίπεδο (2D) – 1^ο Σύστημα Συντεταγμένων - Εργαστήριο Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων Καλουπιών & Αντίστροφου Σχεδιασμού

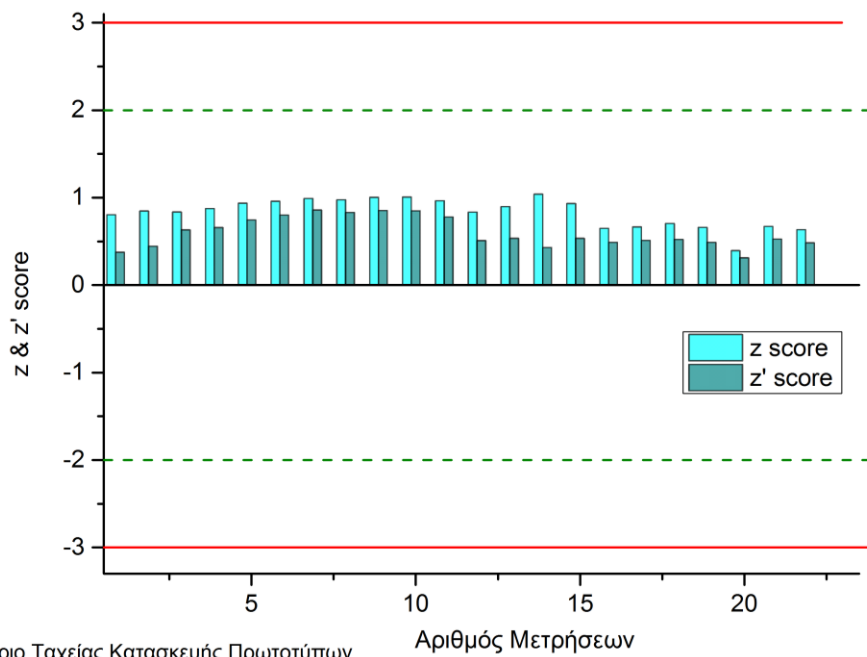
Κριτήρια Αξιολόγησης z & z' Score - Αποστάσεις Επιπέδου από Επίπεδο (2D)



Εργαστήριο Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων Καλουπιών & Αντίστροφου Σχεδιασμού Ε.Μ.Π.

Διάγραμμα 29 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score – Αποστάσεις Επιπέδου από Επίπεδο (2D) – 1^ο Σύστημα Συντεταγμένων - Εργαστήριο Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων Καλουπιών & Αντίστροφου Σχεδιασμού

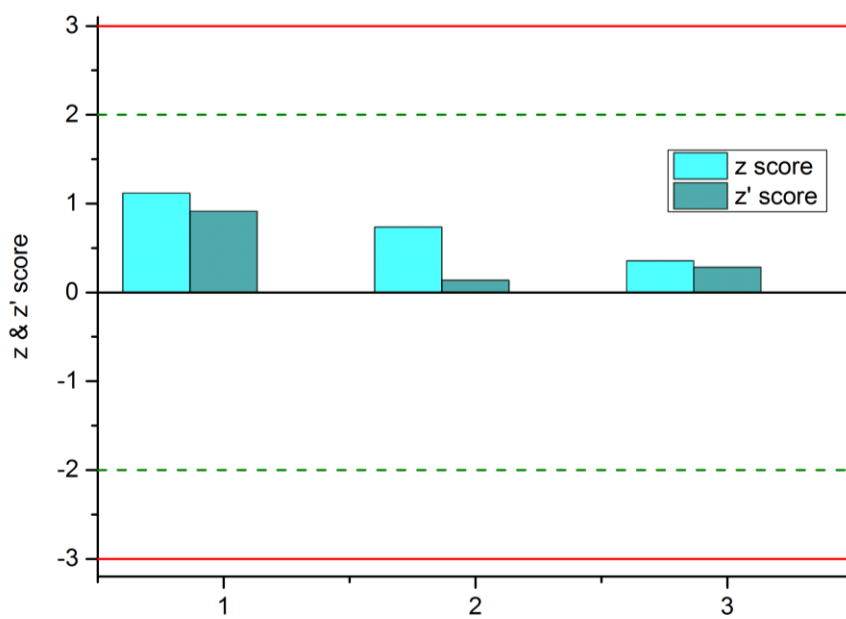
Κριτήρια Αξιολόγησης z & z' Score - Αποστάσεις Οπής από Επίπεδο (3D)



Εργαστήριο Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων Καλουπιών & Αντίστροφου Σχεδιασμού Ε.Μ.Π.

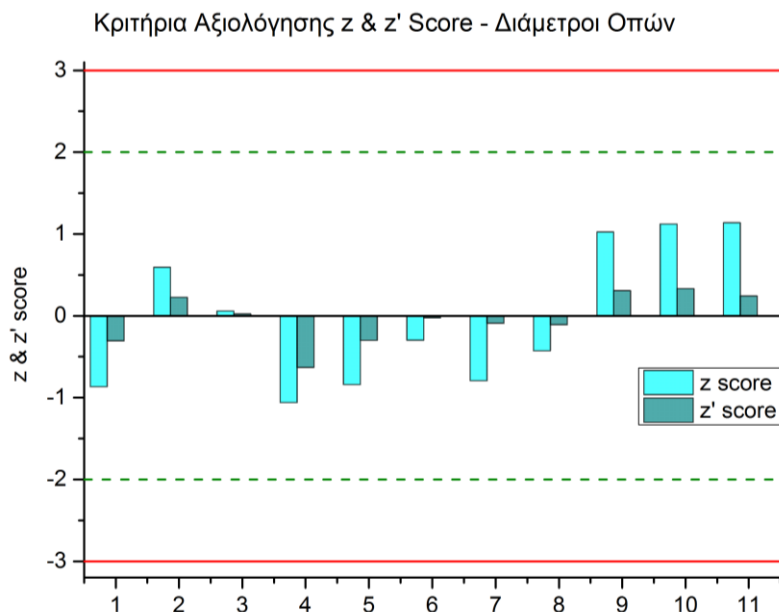
Διάγραμμα 30 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score - Αποστάσεις Οπής από Επίπεδο (3D) – 1^ο Σύστημα Συντεταγμένων - Εργαστήριο Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων Καλουπιών & Αντίστροφου Σχεδιασμού

Κριτήρια Αξιολόγησης z & z' Score - Αποστάσεις Επιπέδου από Επίπεδο (3D)



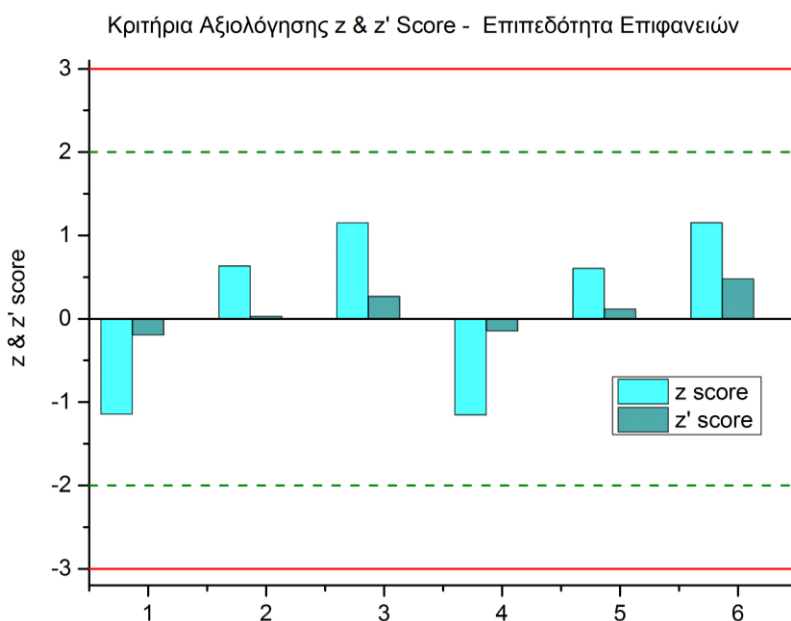
Εργαστήριο Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων Καλουπιών & Αντίστροφου Σχεδιασμού Ε.Μ.Π.

Διάγραμμα 31 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score - Αποστάσεις Επιπέδου από Επίπεδο (3D) – 1^ο Σύστημα Συντεταγμένων - Εργαστήριο Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων Καλουπιών & Αντίστροφου Σχεδιασμού



Εργαστήριο Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων Καλουπιών & Αντίστροφου Σχεδιασμού Ε.Μ.Π. Αριθμός Μετρήσεων

Διάγραμμα 32 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score –Διάμετροι Οπών – 1^ο Σύστημα Συντεταγμένων - Εργαστήριο Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων Καλουπιών & Αντίστροφου Σχεδιασμού



Εργαστήριο Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων Καλουπιών & Αντίστροφου Σχεδιασμού Ε.Μ.Π. Αριθμός Μετρήσεων

Διάγραμμα 33 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score – Επιπεδότητα Επιφανειών – 1^ο Σύστημα Συντεταγμένων - Εργαστήριο Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων Καλουπιών & Αντίστροφου Σχεδιασμού

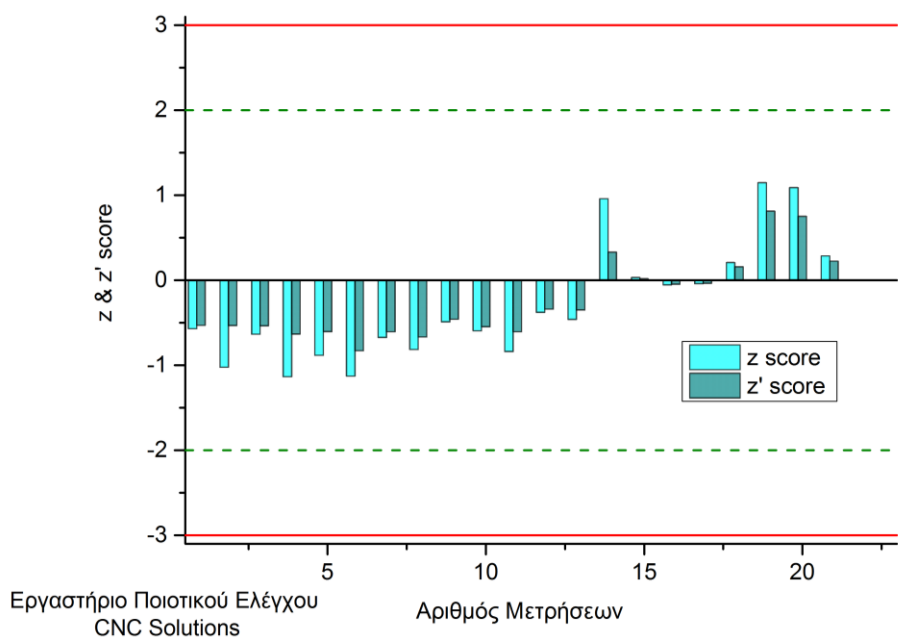
Όπως προέκυψε από την ανάλυση των αποτελεσμάτων η τιμή οι τιμές των κριτηρίων z και z' score κινήθηκαν στο διάστημα [-2,2]. Μάλιστα για τις περισσότερες μετρήσεις βρέθηκε να κινείται πολύ κοντά στο μηδέν και επομένως τα αποτελέσματα των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν κρίνονται αρκετά ικανοποιητικά. Προκύπτει απόλυτη συμφωνία του

Εργαστηρίου Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων Καλουπιών – Αντίστροφου Σχεδιασμού του Ε.Μ.Π. με τα άλλα δύο εργαστήρια, που συμμετέχουν στην διεργαστηρική σύγκριση.

9.7 Διαγράμματα z & z' score – Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου της CNC Solutions - 2^ο Σύστημα Συντεταγμένων

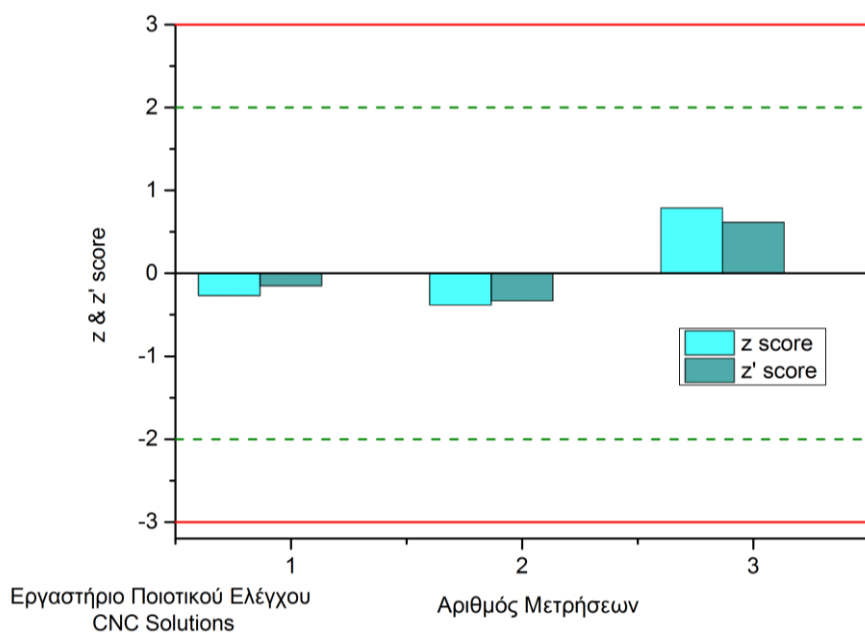
Στη συνέχεια παρατίθενται τα διαγράμματα με τις τιμές των z και z' score για το Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου της CNC Solutions για το δεύτερο σύστημα συντεταγμένων.

Κριτήρια Αξιολόγησης z & z' Score - Αποστάσεις Οπής από Επίπεδο (2D)



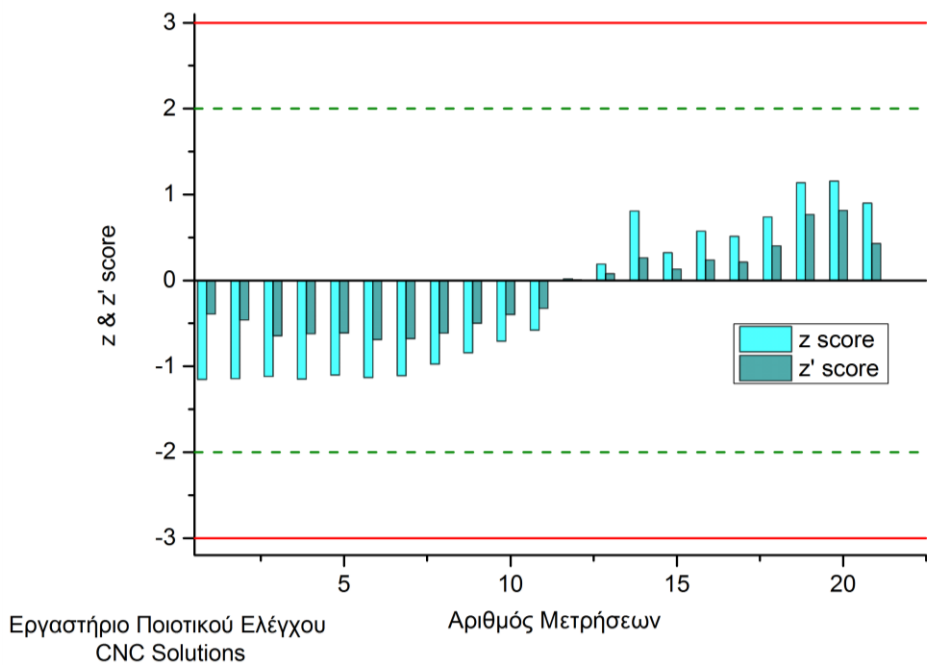
Διάγραμμα 34 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score – Αποστάσεις Οπής από Επίπεδο (2D) – 2^ο Σύστημα Συντεταγμένων – Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου CNC Solutions

Κριτήρια Αξιολόγησης z & z' Score - Αποστάσεις Επιπέδου από Επίπεδο (2D)



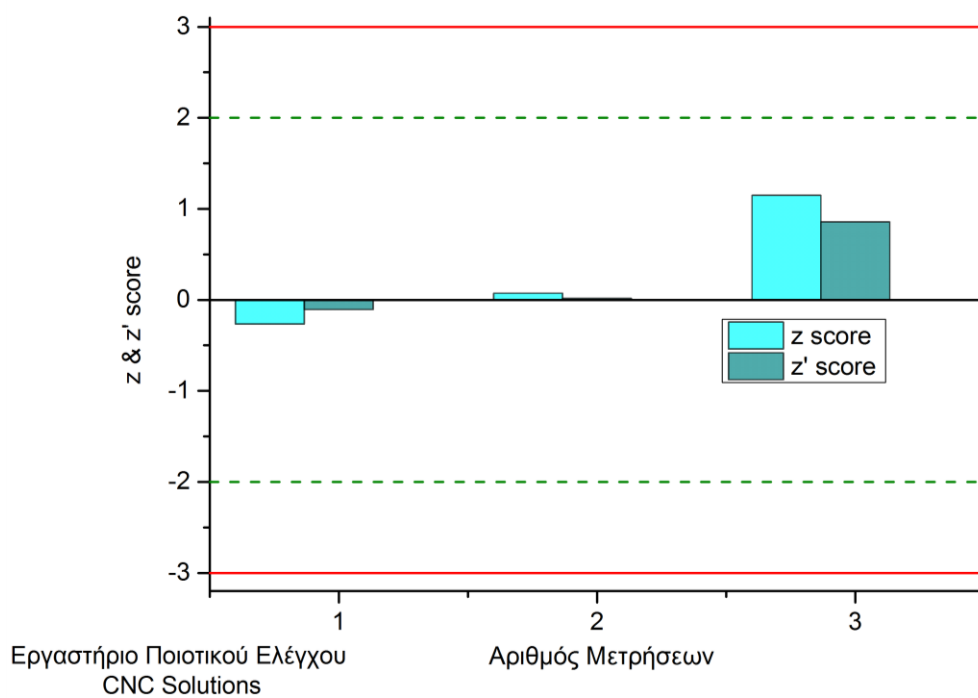
Διάγραμμα 35 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score – Αποστάσεις Επιπέδου από Επίπεδο (2D) – 2^ο Σύστημα Συντεταγμένων – Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου CNC Solutions

Κριτήρια Αξιολόγησης z & z' Score - Αποστάσεις Οπής από Επίπεδο (3D)

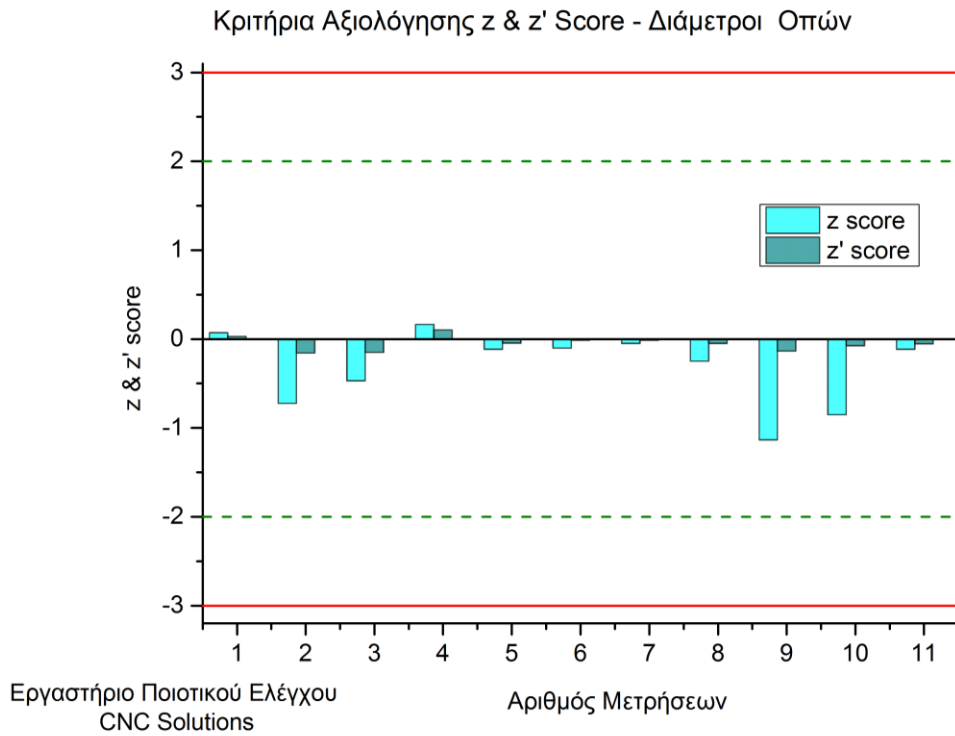


Διάγραμμα 36 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score – Αποστάσεις Οπής από Επίπεδο (3D) – 2^ο Σύστημα Συντεταγμένων – Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου CNC Solutions

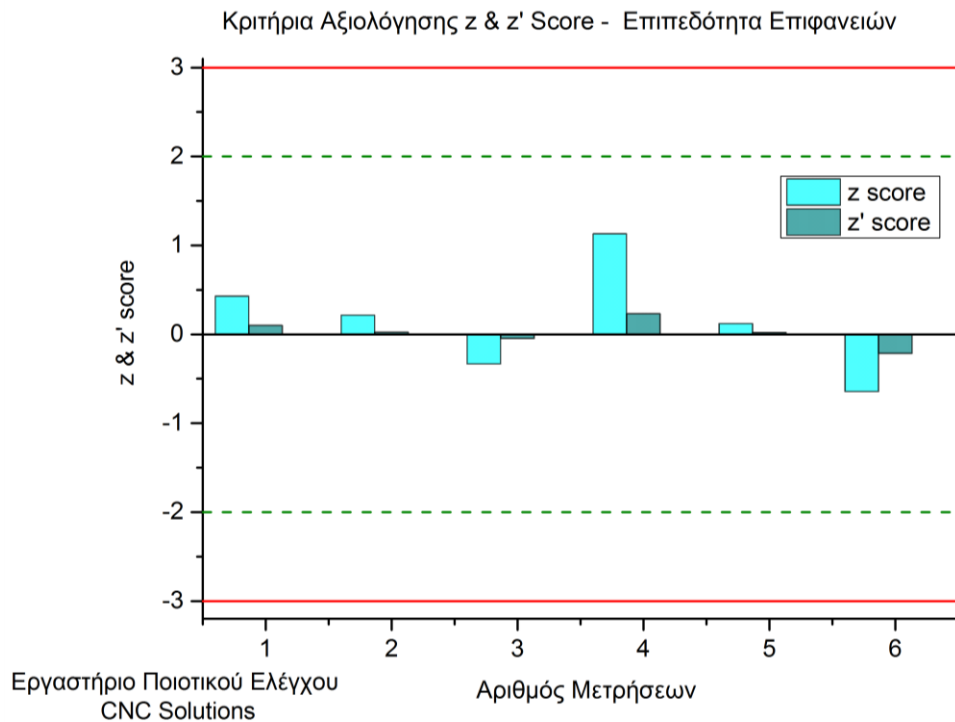
Κριτήρια Αξιολόγησης z & z' Score - Αποστάσεις Επιπέδου από Επίπεδο (3D)



Διάγραμμα 37 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score – Αποστάσεις Επιπέδου από Επίπεδο (3D) – 2^ο Σύστημα Συντεταγμένων – Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου CNC Solutions



Διάγραμμα 38 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score – Διάμετροι Οπών – 2^ο Σύστημα Συντεταγμένων – Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου CNC Solutions

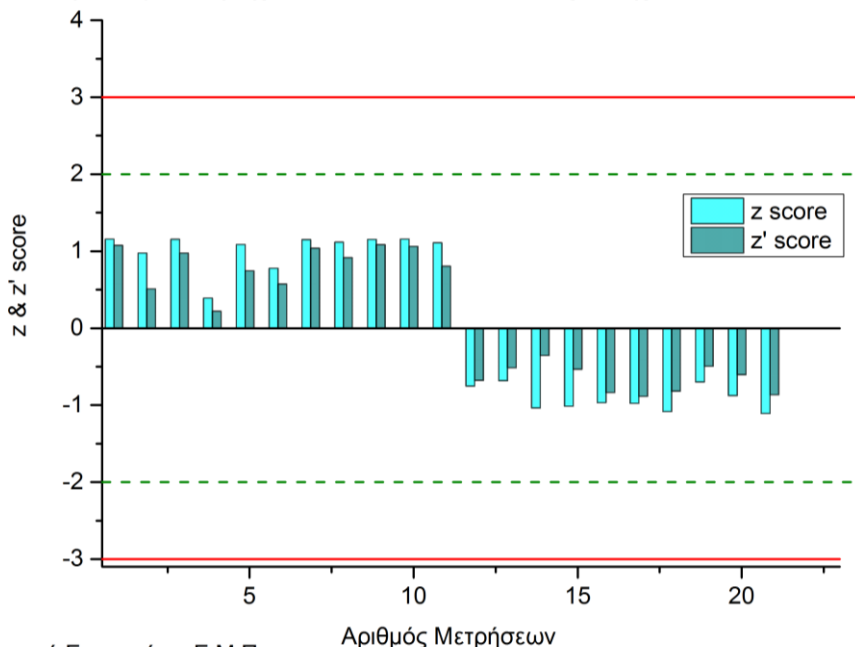


Διάγραμμα 39 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score – Επιπεδότητα Επιφανειών– 2^ο Σύστημα Συντεταγμένων – Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου CNC Solutions

9.8 Διαγράμματα z & z' score – Μετροτεχνικό Εργαστήριο του Ε.Μ.Π - 2^ο Σύστημα Συντεταγμένων

Στη συνέχεια παρατίθενται τα διαγράμματα με τις τιμές των z και z' score για το Μετροτεχνικό Εργαστήριο του Ε.Μ.Π. για το δεύτερο σύστημα συντεταγμένων.

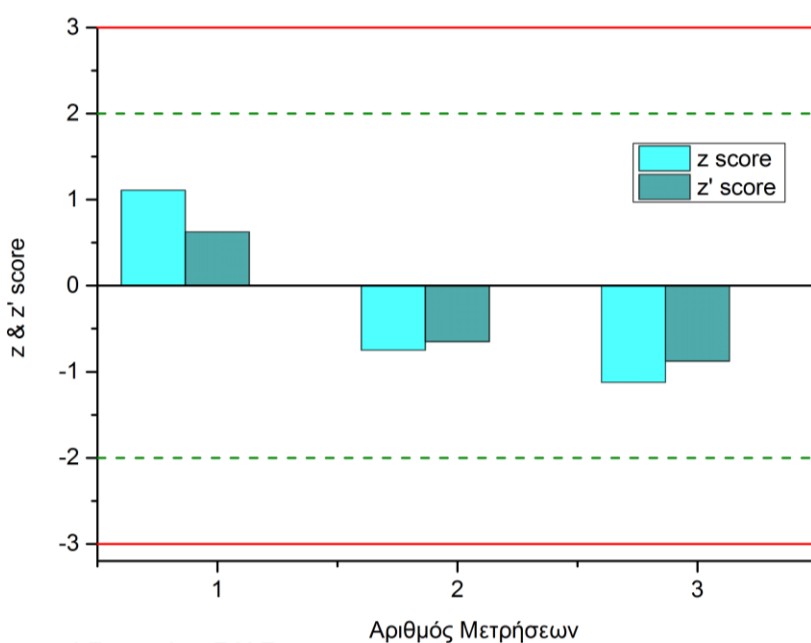
Κριτήρια Αξιολόγησης z & z' Score - Αποστάσεις Οπής από Επίπεδο (2D)



Μετροτεχνικό Εργαστήριο Ε.Μ.Π.

Διάγραμμα 40 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score – Αποστάσεις Οπής από Επίπεδο (2D) – 2^ο Σύστημα Συντεταγμένων – Μετροτεχνικό Εργαστήριο Ε.Μ.Π.

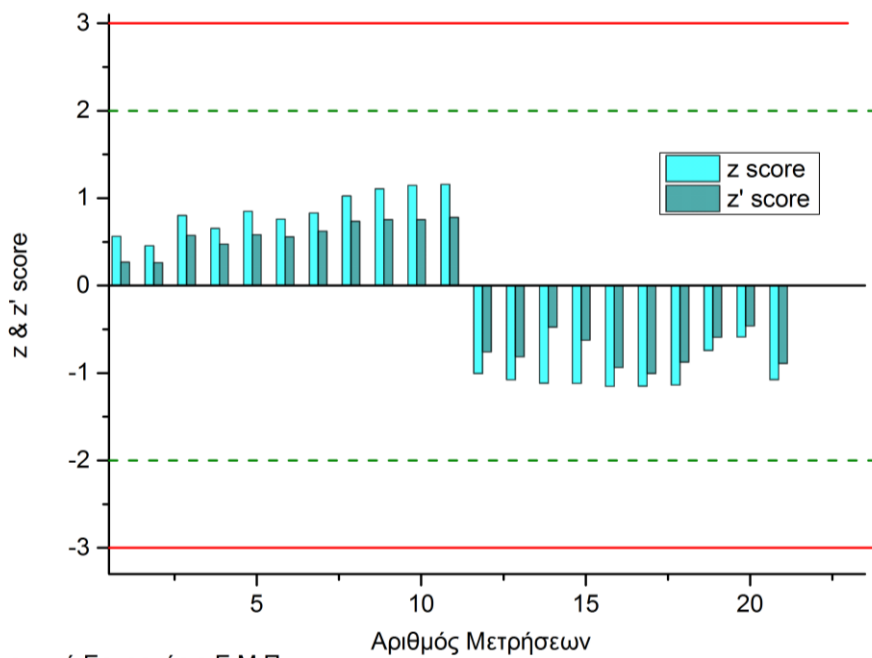
Κριτήρια Αξιολόγησης z & z' Score - Αποστάσεις Επιπέδου από Επίπεδο (2D)



Μετροτεχνικό Εργαστήριο Ε.Μ.Π.

Διάγραμμα 41 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score – Αποστάσεις Επιπέδου από Επίπεδο (2D) – 2^ο Σύστημα Συντεταγμένων – Μετροτεχνικό Εργαστήριο Ε.Μ.Π.

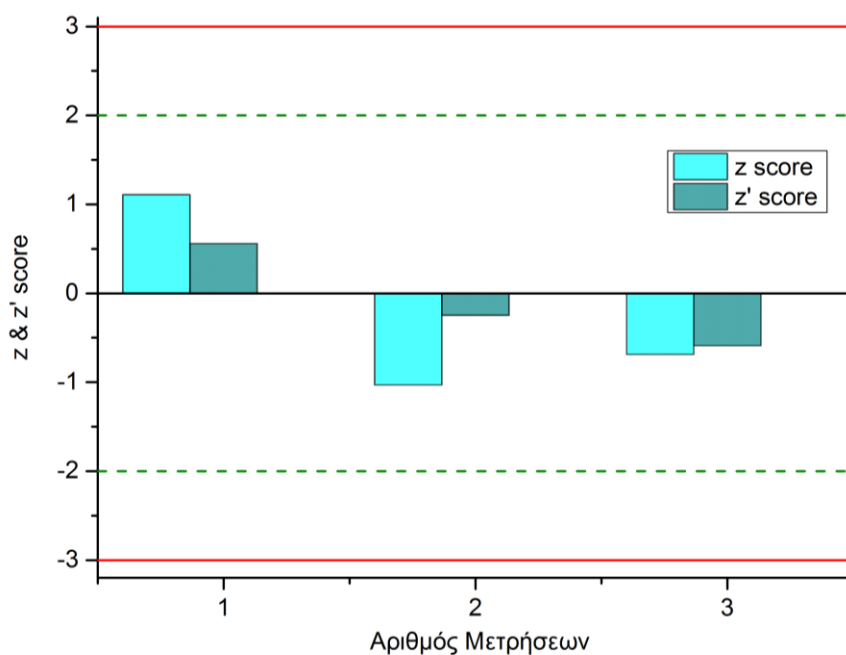
Κριτήρια Αξιολόγησης z & z' Score - Αποστάσεις Οπής από Επίπεδο (3D)



Μετροτεχνικό Εργαστήριο Ε.Μ.Π.

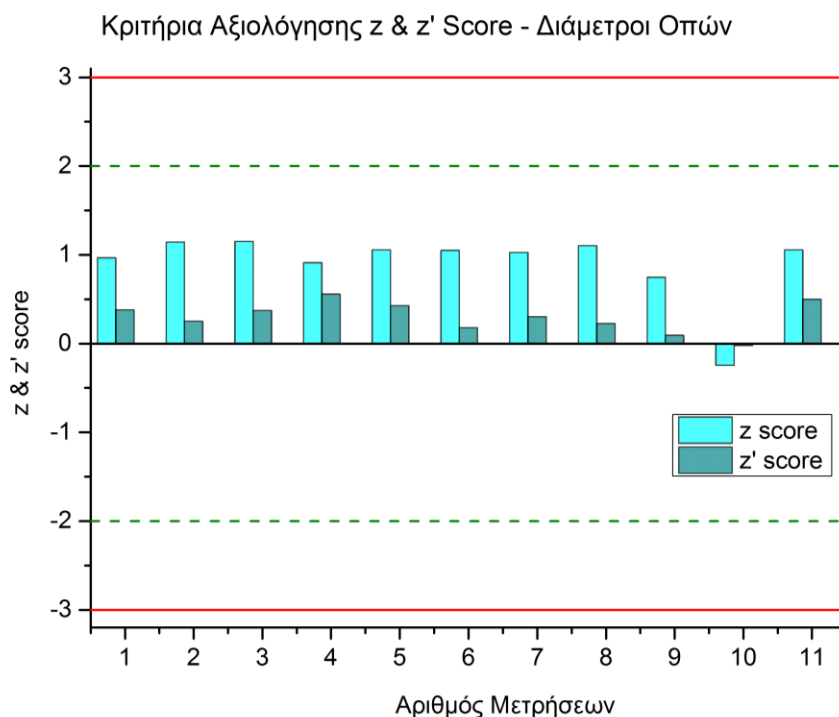
Διάγραμμα 42 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score – Αποστάσεις Οπής από Επίπεδο (3D) – 2^ο Σύστημα Συντεταγμένων – Μετροτεχνικό Εργαστήριο Ε.Μ.Π.

Κριτήρια Αξιολόγησης z & z' Score - Αποστάσεις Επιπέδου από Επίπεδο (3D)

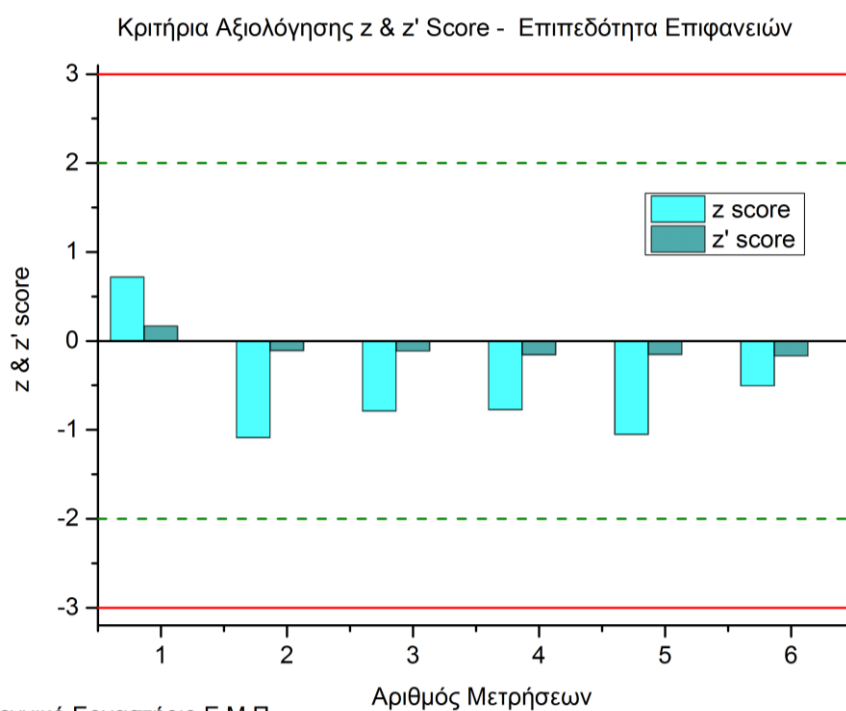


Μετροτεχνικό Εργαστήριο Ε.Μ.Π.

Διάγραμμα 43 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score – Αποστάσεις Επιπέδου από Επίπεδο (3D) – 2^ο Σύστημα Συντεταγμένων – Μετροτεχνικό Εργαστήριο Ε.Μ.Π.



Διάγραμμα 44 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score – Διάμετροι οπών – 2^ο Σύστημα Συντεταγμένων – Μετροτεχνικό Εργαστήριο Ε.Μ.Π.

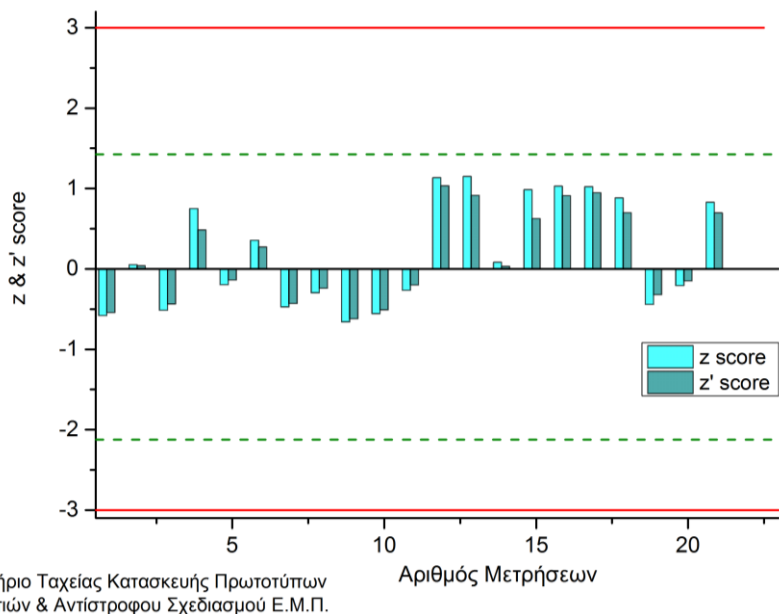


Διάγραμμα 45 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score –Επιπεδότητα Επιφανειών – 2^ο Σύστημα Συντεταγμένων – Μετροτεχνικό Εργαστήριο Ε.Μ.Π.

9.9 Διαγράμματα z & z' score – Εργαστήριο Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων Καλουπιών & Αντίστροφου Σχεδιασμού του Ε.Μ.Π - 2^ο Σύστημα Συντεταγμένων

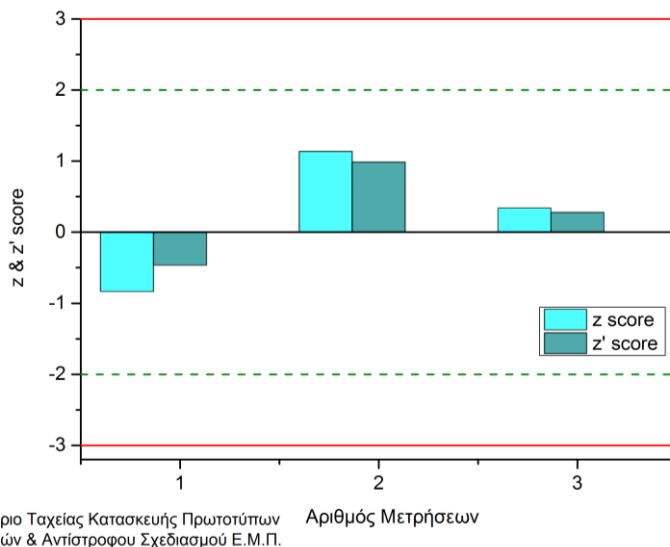
Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των κριτηρίων z και z' score για το Εργαστήριο Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων Καλουπιών – Αντίστροφου Σχεδιασμού του Ε.Μ.Π. για το δεύτερο σύστημα συντεταγμένων.

Κριτήρια Αξιολόγησης z & z' Score - Αποστάσεις Οπής από Επίπεδο (2D)



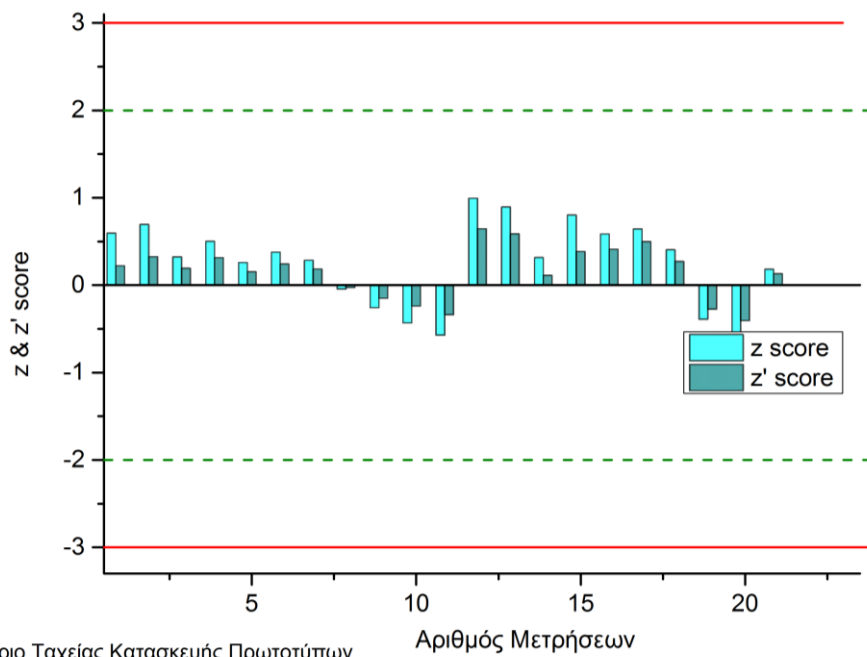
Διάγραμμα 46 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score - Αποστάσεις Οπής από Επίπεδο (2D) – 2^ο Σύστημα Συντεταγμένων - Εργαστήριο Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων Καλουπιών & Αντίστροφου Σχεδιασμού

Κριτήρια Αξιολόγησης z & z' Score - Αποστάσεις Επιπέδου από Επίπεδο (2D)



Διάγραμμα 47 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score - Αποστάσεις Επιπέδου από Επίπεδο (2D) – 2^ο Σύστημα Συντεταγμένων - Εργαστήριο Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων Καλουπιών & Αντίστροφου Σχεδιασμού

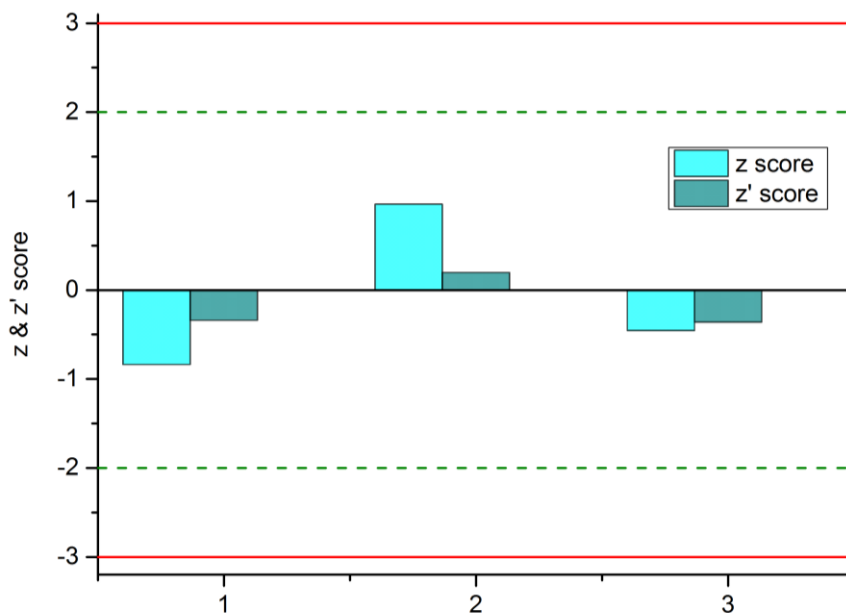
Κριτήρια Αξιολόγησης z & z' Score - Αποστάσεις Οπής από Επίπεδο (3D)



Εργαστήριο Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων Καλουπιών & Αντίστροφου Σχεδιασμού Ε.Μ.Π.

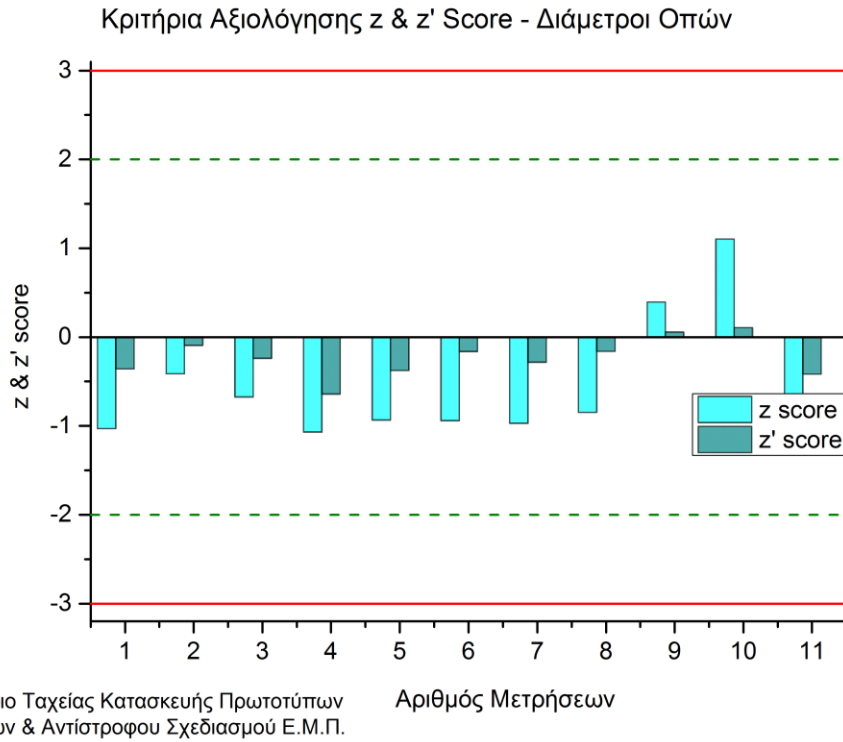
Διάγραμμα 48 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score - Αποστάσεις Οπής από Επίπεδο (3D) – 2^ο Σύστημα Συντεταγμένων - Εργαστήριο Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων Καλουπιών & Αντίστροφου Σχεδιασμού

Κριτήρια Αξιολόγησης z & z' Score - Αποστάσεις Επιπέδου από Επίπεδο (3D)

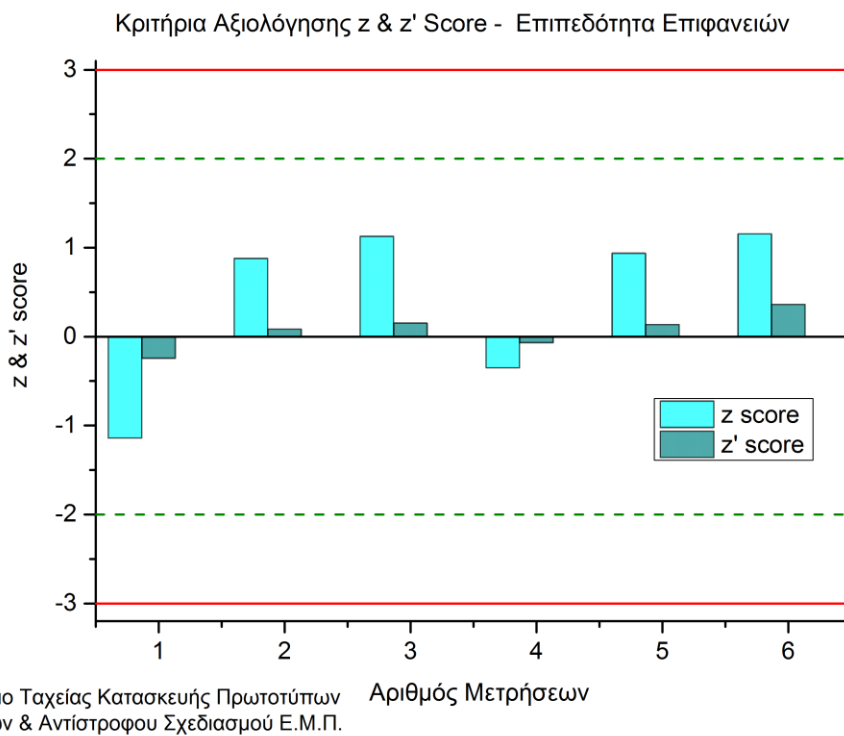


Εργαστήριο Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων Καλουπιών & Αντίστροφου Σχεδιασμού Ε.Μ.Π.

Διάγραμμα 49 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score - Αποστάσεις Επιπέδου από Επίπεδο (3D) – 2^ο Σύστημα Συντεταγμένων - Εργαστήριο Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων Καλουπιών & Αντίστροφου Σχεδιασμού



Διάγραμμα 50 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score – Διάμετροι Οπών – 2^ο Σύστημα Συντεταγμένων - Εργαστήριο Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων Καλουπιών & Αντίστροφου Σχεδιασμού



Διάγραμμα 51 Κριτήρια Αξιολόγησης z και z' score – Επιπεδότητα Επιφανειών– 2^ο Σύστημα Συντεταγμένων - Εργαστήριο Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων Καλουπιών & Αντίστροφου Σχεδιασμού

Athens MBA ΟΠΑ & ΕΜΠ

Παρόμοια είναι τα αποτελέσματα που προέκυψαν και για το δεύτερο σύστημα συντεταγμένων. Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων η τιμή των κριτηρίων z και z' score κινήθηκε στο διάστημα $[-2,2]$. Ωστόσο το κριτήριο z' score έδωσε καλύτερα αποτελέσματα σε σύγκριση με το z score, καθώς στον υπολογισμό του z' score λαμβάνεται υπόψη και η τυπική αβεβαιότητα του κάθε εργαστηρίου. Προκύπτει απόλυτη συμφωνία μεταξύ των τριών εργαστηρίων που συμμετέχουν στην διεργαστηριακή σύγκριση, καθώς καμία μέτρηση δεν ξεπέρασε τα αποδεκτά όρια των κριτηρίων.

10. Συμπεράσματα & Μελλοντική Έρευνα

Παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα με το ποσοστό συμβατότητας για όλες τις μετρήσεις ξεχωριστά για κάθε σύστημα συντεταγμένων σύμφωνα με το κανονικοποιημένο σφάλμα E_n για όλους τους δυνατούς συνδυασμούς εργαστηρίων. Το ποσοστό συμβατότητας προκύπτει ως το ποσοστό των μετρήσεων που είναι εντός των επιτρεπτών ορίων για το εκάστοτε κριτήριο.

Ποσοστό συμβατότητας των δυο εργαστηρίων - Κανονικοποιημένο Σφάλμα E_n	Ποιοτικός Έλεγχος CNC / Μετροτ. Εργ ΕΜΠ	Ποιοτικός Έλεγχος CNC / ΤΚΠ - Ε&ΑΣ ΕΜΠ	Μετροτ. Εργ ΕΜΠ / ΤΚΠ - Ε&ΑΣ ΕΜΠ
Αποστάσεις Οπής από επίπεδο 2D	82%	100%	77%
Αποστάσεις Επιπέδου από επίπεδο 2D	100%	100%	67%
Αποστάσεις Οπής από επίπεδο 3D	100%	95%	95%
Αποστάσεις Επιπέδου από επίπεδο 3D	100%	100%	100%
Διάμετροι Οπής	100%	100%	100%
Επιπεδότητα επιφανειών	100%	100%	100%

Πίνακας 4 Συγκεντρωτικός πίνακας των αποτελεσμάτων σύμφωνα με το κανονικοποιημένο σφάλμα E_n – 1^ο Σύστημα Συντεταγμένων

Ποσοστό συμβατότητας των δυο εργαστηρίων - Κανονικοποιημένο Σφάλμα E_n	Ποιοτικός Έλεγχος CNC / Μετροτ. Εργ ΕΜΠ	Ποιοτικός Έλεγχος CNC / ΤΚΠ - Ε&ΑΣ ΕΜΠ	Μετροτ. Εργ ΕΜΠ / ΤΚΠ - Ε&ΑΣ ΕΜΠ
Αποστάσεις Οπής από επίπεδο 2D	71%	95%	57%
Αποστάσεις Επιπέδου από επίπεδο 2D	100%	100%	67%
Αποστάσεις Οπής από επίπεδο 3D	100%	100%	100%
Αποστάσεις Επιπέδου από επίπεδο 3D	100%	100%	100%
Διάμετροι Οπής	100%	100%	100%
Επιπεδότητα επιφανειών	100%	100%	100%

Πίνακας 5 Συγκεντρωτικός πίνακας των αποτελεσμάτων σύμφωνα με το κανονικοποιημένο σφάλμα – 2^ο Σύστημα Συντεταγμένων

Τέλος παρατίθεται ένας συγκεντρωτικός πίνακας με τις συνολικές μετρήσεις, λαμβάνοντας υπόψη και τα 6 set μετρήσεων του κάθε συστήματος συντεταγμένων, δηλαδή και τα 12 set μετρήσεων.

Ποσοστό συμβατότητας των δυο εργαστηρίων - Κανονικοποιημένο Σφάλμα E_n	Ποιοτικός Έλεγχος CNC / Μετροτ. Εργ ΕΜΠ	Ποιοτικός Έλεγχος CNC / ΤΚΠ - Ε&ΑΣ ΕΜΠ	Μετροτ. Εργ ΕΜΠ / ΤΚΠ - Ε&ΑΣ ΕΜΠ
Αποστάσεις Οπής από επίπεδο 3D	100%	100%	100%
Αποστάσεις Επιπέδου από επίπεδο 3D	100%	100%	100%
Διάμετροι Οπής	100%	100%	100%

Πίνακας 6 Συγκεντρωτικός πίνακας των αποτελεσμάτων – Συνολικές Μετρήσεις

Athens MBA ΟΠΑ & ΕΜΠ

Στην συνέχεια παρατίθενται πίνακες με το ποσοστό συμβατότητας για κάθε σύστημα συντεταγμένων σύμφωνα με το κριτήριο z και z' score για κάθε εργαστήριο, που συμμετείχε στη διεργαστηριακή σύγκριση. (για το κριτήριο z' score η επίδοση των δύο εργαστηρίων κρίνεται μη ικανοποιητική όταν $|z| \geq 3$)

Ποσοστό συμβατότητας των δυο εργαστηρίων – z & z' score	Ποιοτικός Έλεγχος CNC	Μετροτεχνικό Εργ. ΕΜΠ	ΤΚΠ - Ε&ΑΣ ΕΜΠ
Αποστάσεις Οπής από επίπεδο 2D	100%	100%	100%
Αποστάσεις Επιπέδου από επίπεδο 2D	100%	100%	100%
Αποστάσεις Οπής από επίπεδο 3D	100%	100%	100%
Αποστάσεις Επιπέδου από επίπεδο 3D	100%	100%	100%
Διάμετροι Οπής	100%	100%	100%
Επιπεδότητα επιφανειών	100%	100%	100%

Πίνακας 7 Συγκεντρικός πίνακας των αποτελεσμάτων σύμφωνα με το z & z' score – 1^ο Σύστημα Συντεταγμένων

Ποσοστό συμβατότητας των δυο εργαστηρίων – z & z' score	Ποιοτικός Έλεγχος CNC	Μετροτεχνικό Εργ. ΕΜΠ	ΤΚΠ - Ε&ΑΣ ΕΜΠ
Αποστάσεις Οπής από επίπεδο 2D	100%	100%	100%
Αποστάσεις Επιπέδου από επίπεδο 2D	100%	100%	100%
Αποστάσεις Οπής από επίπεδο 3D	100%	100%	100%
Αποστάσεις Επιπέδου από επίπεδο 3D	100%	100%	100%
Διάμετροι Οπής	100%	100%	100%
Επιπεδότητα επιφανειών	100%	100%	100%

Πίνακας 8 Συγκεντρικός πίνακας των αποτελεσμάτων σύμφωνα με το z & z' score – 1^ο Σύστημα Συντεταγμένων

Τα αποτελέσματα της διεργαστηριακής σύγκρισης οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η συμβατότητα μεταξύ των τριών εργαστηρίων είναι αρκετά ικανοποιητική. Σύμφωνα με κριτήριο z' και z score προκύπτει απόλυτη συμφωνία στις μετρήσεις μεταξύ των τριών εργαστηρίων σε σύγκριση με το κανονικοποιημένο σφάλμα E_n . Τα καλύτερα αποτελέσματα δίνει το z' score, διότι το κριτήριο λαμβάνει υπόψη εξ ορισμού την τυπική απόκλιση των μετρήσεων και την αβεβαιότητα του κάθε εργαστηρίου. Όσο αφορά τις διαστάσεις των αποστάσεων παρατηρήθηκε ότι υπάρχει ομοιομορφία των αποτελεσμάτων ανά άξονα x και y, καθώς οι τιμές των κριτηρίων z και z' score κινούνται συστηματικά είτε πάνω είτε κάτω από το μέσο όρο.

Σύμφωνα με το κανονικοποιημένο σφάλμα E_n προέκυψε απόλυτη συμφωνία των μετρήσεων μεταξύ του Εργαστηρίου Ποιοτικού Ελέγχου της CNC Solutions με το Εργαστήριο Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων Καλουπιών & Αντίστροφου Σχεδιασμού του Ε.Μ.Π. Ωστόσο παρατηρήθηκαν κάποιες αποκλίσεις στις μετρήσεις των αποστάσεων σύμφωνα με το κριτήριο E_n μεταξύ του Μετροτεχνικού Εργαστηρίου του Ε.Μ.Π. με το Εργαστήριο

Ποιοτικού Ελέγχου της CNC Solutions κα με το Εργαστήριο Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων Καλουπιών & Αντίστροφου Σχεδιασμού του Ε.Μ.Π.. Οι αποκλίσεις για τις διαστάσεις των αποστάσεων οφείλονται στο γεγονός ότι η υπό εξέταση πλάκα κατεργάστηκε σε CNC εργαλειομηχανή, οι επιφάνειες φινιρίστηκαν με κονδύλι δεδομένου ότι το πάχος ήταν έτοιμο στην επιθυμητή διάσταση κατόπιν συνεννόησης με τον προμηθευτή και η διάνοιξη των οπών πραγματοποιήθηκε με τρυπάνι και στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε φινίρισμα με κονδύλι. Επομένως, δεν χρησιμοποιήθηκε ρεκτιφέ για την κατεργασία της πλάκας, πράγμα που σημαίνει ότι οι γεωμετρικές αποκλίνουν από τις τέλειες γεωμετρικές μορφές και δεν μπορούν να συγκριθούν με πρότυπα Johansson ή πρότυπους δακτυλίου. Επιπλέον, το εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου της εταιρείας CNC Solutions και το Εργαστήριο Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων Καλουπιών & Αντίστροφου Σχεδιασμού του Ε.Μ.Π. δεν διαθέτουν ακριβή θερμομέτρα στο χώρο μετρήσεων για έλεγχο του συστήματος ρύθμισης της θερμοκρασίας, όπως διαθέτει το Μετροτεχνικό Εργαστήριο του Ε.Μ.Π., το οποίο μπορεί να επιφέρει επιπλέον σφάλμα στην αβεβαιότητα του εργαστηρίου. Οι μετρήσεις των αποστάσεων χρησιμοποιώντας το σύστημα συντεταγμένων (2D) οδήγησαν σε χειρότερα αποτελέσματα σε σύγκριση με τις μετρήσεις ως 3D αποστάσεις σύμφωνα με το κριτήριο αξιολόγησης E_n . Οι αποκλίσεις αυτές πιθανόν να οφείλονται στην χειροκίνητη λήψη του συστήματος συντεταγμένων, ειδικά για τις αποστάσεις (2D) σύμφωνα με το σύστημα συντεταγμένων. Γι αυτό λόγο κρίνεται σκόπιμο να επαναληφθεί η διαδικασία των μετρήσεων με αυτόματη λήψη του συστήματος συντεταγμένων και να υπολογιστούν ξανά τα κριτήρια αξιολόγησης.

Τα κριτήριο z score δίνει πιο αξιόπιστα αποτελέσματα σε σύγκριση με το κανονικοποιημένο σφάλμα E_n , καθώς δεν λαμβάνεται υπόψη η αβεβαιότητα του κάθε εργαστηρίου, που ενδέχεται να έχει υπερεκτιμηθεί κατά τον υπολογισμό της. Σύμφωνα με την ανάλυση των αποτελεσμάτων επαληθεύεται η ικανότητα του εργαστηρίου Ποιοτικού Ελέγχου του μηχανουργείου CNC Solutions να παρέχει μετρήσεις υψηλής ακρίβειας στους πελάτες.

Άμεσο μελλοντικό στόχο αποτελεί η επανάληψη της διεργαστηριακής σύγκρισης με τα εργαστήρια να επιλέγουν μόνο τους όλες τις παραμέτρους της μέτρησης που θα ζητείται. Επίσης είναι ενδιαφέρον να συγκριθούν ξανά οι αποστάσεις επίπεδο με επίπεδο και οπής με επίπεδο χρησιμοποιώντας το σύστημα συντεταγμένων, ως 2D αποστάσεις και ως αποστάσεις στο χώρο (3D αποστάσεις). Ακόμα, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων μπορεί να επιλεγεί να πραγματοποιηθεί αλλαγή της ακίδας ή θέσης της κεφαλής, να υπολογιστούν τα κριτήρια αξιολόγησης μιας διεργαστηριακής σύγκρισης (το z score, z' score και το κανονικοποιημένο σφάλμα - normalized error - E_n value) και να υπολογιστεί ο βαθμός συμβατότητας των τριών εργαστηρίων.

Επίσης, μελλοντικό στόχο αποτελεί η διεύρυνση του αριθμού των συμμετεχόντων εργαστηρίων με την ένταξη στην διεργαστηριακή σύγκριση εγχώριων ή/ και αλλοδαπών εργαστηριακών μονάδων που προέρχονται τόσο από τον ακαδημαϊκό χώρο όσο και από τον χώρο της βιομηχανίας μηχανολογικών και μηχανουργικών κατασκευών.

Τέλος είναι ενδιαφέρον να διερευνηθεί η επίδραση της θερμοκρασίας στις μετρήσεις σε μια Μηχανή Μέτρηση Συντεταγμένων (CMM) και στην αβεβαιότητα ενός εργαστηρίου.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

[1] Καϊσαρλής Γ., Διπλάρης Σ. και Σφαντζικόπουλος Μ., “Πειραματική μέθοδος εκτίμησης της αβεβαιότητας μηχανών μέτρησης συντεταγμένων σε βιομηχανικό περιβάλλον”, 2^ο Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας, Θεσσαλονίκη, 19 – 20 Οκτωβρίου 2007.

[2] Γ. Χατζηστελίου, Γ. Λούντζης, Γ. Καϊσαρλής, Β. Λεώπουλος, Χ. Προβατίδης, “Διεξαγωγή διεργαστηριακής σύγκρισης σε μετρήσεις μήκους πρότυπων πλακιδίων με χρήση Μηχανών Μέτρησης Συντεταγμένων”, 4^ο Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας, Αθήνα, 3-4 Φεβρουαρίου 2014.

[3] Καϊσαρλής Γ., Διπλάρης Σ. και Σφαντζικόπουλος Μ., “Συμβολή των μετρητικών μηχανών συντεταγμένων στη μετρολογία διαστάσεων: σημερινή πραγματικότητα και προοπτικές”, Πρακτικά του 1^{ου} Τακτικού Εθνικού Συνεδρίου Μετρολογίας, Αθήνα, 11 – 12 Νοεμβρίου, σελ.55 – 61, 2005.

[4] Μαθιουλάκης Μ. Ε., “Μέτρηση, Ποιότητα Μέτρησης και Αβεβαιότητα”, Έκδοση Ελληνικής Ένωσης Εργαστηρίων, Αθήνα, 2004.

[5] ΔΙΑΣΤΑΤΙΚΗ ΜΕΤΡΟΛΟΓΙΑ Χαρίκλεια Καραχάλιου & Γκαμπριέλ Μανσούρ, Εκδόσεις ΖΗΤΗ Θεσσαλονίκη, 2007

[6] Vrassidas I. N. Leopoulos, G. Kaisarlis, G. Chatzistelios, C. Provatidis, G. Lountzis, “ Design and implementation of an interlaboratory comparison process for task – specific CMM measurements “, *International Review of Mechanical Engineering IREME*, Vol. 08, n. 3, January 2014

[7] Beissner K., “On a measure of consistency in comparison measurements”, *Metrologia* 39, 59, 2002.

[8] Caterina Poustourli, Vrassidas I. Leopoulos, (2011), Process Robustness in a Dimensional Testing Laboratory, *International Review of Mechanical Engineering IREME* Vol. 5 n. 5, pp. 979-986

[9] Hocken, Robert J. και Pereira, Paulo H. 2012. *Coordinate Measuring Machines and Systems*. Florida : CRC Press, 2012.

[10] EAL-G17, “Coordinate measuring machine calibration”, European Corporation for Accreditation of Laboratories (EAL), 1995.

[11] ISO 10360-2, “Geometrical product specifications (GPS) – acceptance and reverification test for coordinate measuring machines (CMMs) – Part 2: CMMs used for measuring size”, ISO, Geneva, 2001.

[12] Kruth, J., Van Gestel, N., Bleys, P., Welkenhuyzen, F., “Uncertainty determination for CMMs by Monte Carlo simulation integrating feature form deviations”, *CIRP Annals*, 58(1), pp. 463-466, 2009.

[13] ISO: “*Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*”, ISO, Geneva, 1995.

[14] Beissner, K., On a measure of consistency in comparison measurements. *Metrologia* (2002) 39:59.

[15] Ratel ,G., Evaluation of the uncertainty of the degree of equivalence. *Metrologia* (2005) 42:140.

[16] Szewczak, E. & Bondarzewski, A., 2016. Is the assessment of interlaboratory comparison results for a small number of tests and limited number of participants reliable and rational? *Accreditation and Quality Assurance*, 21(2), pp.91–100. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00769-016-1195-y>.

[17] JCGM 100:2008. Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM). Joint Committee for Guides in Metrology.

[18] EA-4/21 INF:2018 (2018) Guidelines for the assessment of the appropriateness of small

[19] Interlaboratory comparisons within the process of laboratory accreditation. <https://european-accreditation.org/wp-content/uploads/2018/10/ea-4-21-inf-rev00-march-18.pdf>

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	Κωδικός ΟΕ-04	Διεξαγωγή Μέτρησης αντικειμένων σε τρεις διαστάσεις με τη μηχανή DEA CMM		
		Αρ. Έκδοσης 1.1	Ημερομηνία Έκδοσης 08/09/2018	Σελίδα 1/14

Παράρτημα – Οδηγία Εργασίας CMM - CNC Solutions

1. Σκοπός

Η οδηγία εργασίας αυτή περιγράφει τον τρόπο προσδιορισμού μήκους δοκιμίων με παραλληλεπίπεδες επιφάνειες σε τρεις διαστάσεις με τη μηχανή DEA CMM αλλά και τον προσδιορισμό γεωμετρικών ανοχών, επιπεδότητα των δύο επιφανειών και την παραλληλότητα των δύο επιφανειών. Τα δοκίμια τοποθετούνται με την(τις) προς μέτρηση επιφάνεια(ες) προσανατολισμένη(ες) κατά το δυνατόν παράλληλα ως προς το σύστημα συντεταγμένων της μηχανής.

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 μετρούμενη διάσταση του δοκιμίου δεν μπορεί να υπερβαίνει τα 600 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.

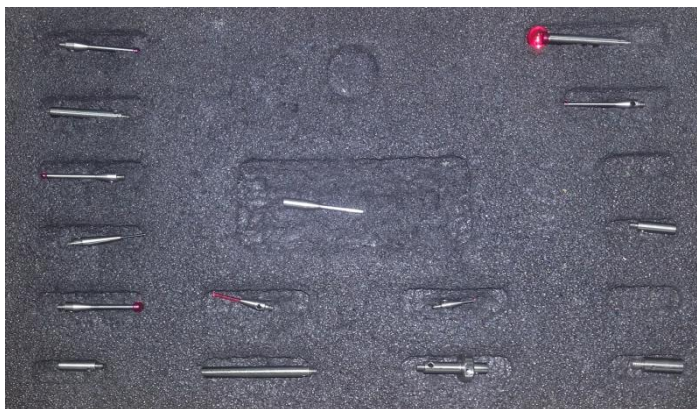
ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	Κωδικός OE-04	Διεξαγωγή Μέτρησης αντικειμένων σε τρεις διαστάσεις με τη μηχανή DEA CMM		
		Αρ. Έκδοσης 1.1	Ημερομηνία Έκδοσης 08/09/2018	Σελίδα 2/14

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

1. Renishaw Probe PH6AD
2. Διαμόρφωση της Renishaw που μετατρέπει το M30 σε M8 (CONVERT30MM TO M8 THRD)
3. Ακίδες επαφής
4. Πρότυπη σφαίρα: Για σετάρισμα των εργαλείων μέτρησης της μηχανής σε δυναμική κατάσταση (tip qualification)
5. Set ιδιοσυσκευών συγκράτησης



Σχήμα 1: Προεκτάσεις, ακίδες, πρότυπη σφαίρα



Σχήμα 2: Συγκρότημα κεφαλής – διαμόρφωσης – ακίδας

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	Κωδικός ΟΕ-04	Διεξαγωγή Μέτρησης αντικειμένων σε τρεις διαστάσεις με τη μηχανή DEA CMM		
		Αρ. Έκδοσης 1.1	Ημερομηνία Έκδοσης 08/09/2018	Σελίδα 3/14

3.3 Προετοιμασία μηχανής

3.3.1 Βήμα 1^ο

Εκκινούμε το αεροσυμπιεστή που βρίσκεται στον έξω χώρο του μηχανουργείου.

3.3.2 Βήμα 2^ο

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

3.3.3 Βήμα 3^ο

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



Σχήμα 3: Διακόπτης παροχής αέρα & διακόπτης On/Off

3.3.4 Βήμα 4^ο

Ελέγχουμε ότι η πίεση στο μανόμετρο στο πίσω μέρος της μηχανής να βρίσκεται περίπου στα 0.5 MPa.

3.3.5 Βήμα 5^ο

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



Machine Start

Σχήμα 4: Jog Box

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	Κωδικός ΟΕ-04	Διεξαγωγή Μέτρησης αντικειμένων σε τρεις διαστάσεις με τη μηχανή DEA CMM		
		Αρ. Έκδοσης 1.1	Ημερομηνία Έκδοσης 08/09/2018	Σελίδα 4/14

3.4 Αρχικές Ενέργειες

3.4.1 Βήμα 6^ο

Πατούμε **OK** από την επιφάνεια εργασίας το λογισμικό **PC-DMIS**.

3.4.2 Βήμα 7^ο

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 8^ο

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 9^ο

Σε περίπτωση που εμφανιστεί προτροπή για άνοιγμα αποθηκευμένου προγράμματος μέτρησης στο παράθυρο που ανοίγει αυτόματα, πατούμε **cancel**.

3.4.5 Βήμα 10^ο

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
- **units:** mm
- **interface:** Machine1

Πατούμε **OK** για να ολοκληρώσουμε.

New Measurement Routine

Part name:	<input type="text"/>		
Revision number:	<input type="text"/>	Units:	mm <input type="button" value="v"/>
Serial number:	<input type="text"/>	Interface:	Machine1 <input type="button" value="v"/>
		<input type="button" value="OK"/>	<input type="button" value="Cancel"/>

Σχήμα 6: Παράθυρο New Part Program

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	Κωδικός OE-04	Διεξαγωγή Μέτρησης αντικειμένων σε τρεις διαστάσεις με τη μηχανή DEA CMM		
		Αρ. Έκδοσης 1.1	Ημερομηνία Έκδοσης 08/09/2018	Σελίδα 5/14

3.5 Καθορισμός εργαλείων

3.5.1 Βήμα 11^ο

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

3.5.2 Βήμα 12^ο

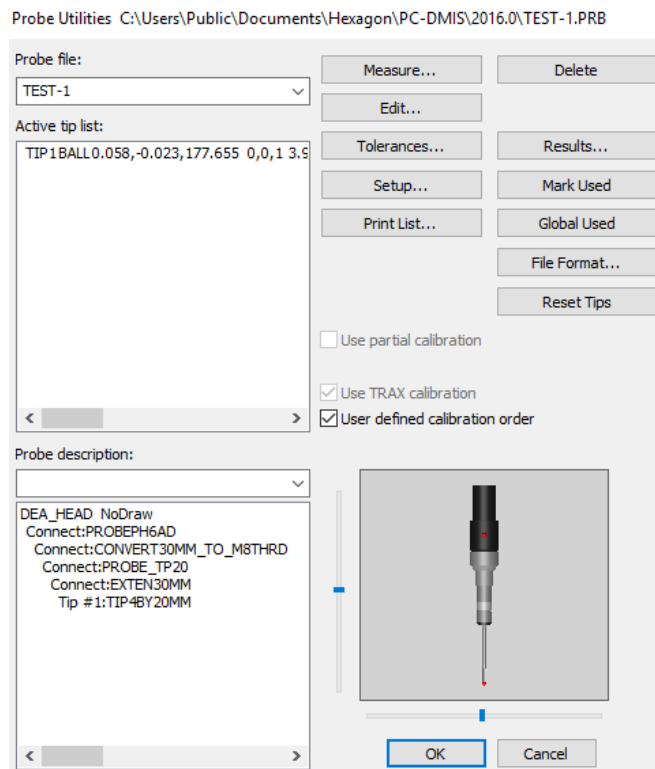
Εφόσον έχει εμφανιστεί αυτόματα το παράθυρο **Probe Utilities** επιλέγω **cancel**.

3.5.3 Βήμα 13^ο

Από το **operation** επιλέγουμε **Calibrate/edit** και μετά **Activate Probe** για να εισέλθουμε στο παράθυρο **Probe Utilities**.

3.5.4 Βήμα 14^ο

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



Σχήμα 7: Παράθυρο Probe Utilities

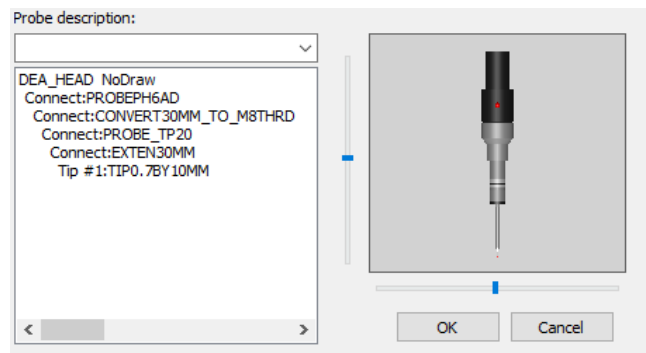
ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	Κωδικός OE-04	Διεξαγωγή Μέτρησης αντικειμένων σε τρεις διαστάσεις με τη μηχανή DEA CMM		
		Αρ. Έκδοσης 1.1	Ημερομηνία Έκδοσης 08/09/2018	Σελίδα 6/14

3.5.5 Βήμα 15^ο

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

3.5.6 Βήμα 16^ο

Στο πεδίο **probe description** επιλέγουμε με τη σειρά από την κυλιόμενη λίστα τα αντίστοιχα εργαλεία που έχουμε προσαρμόσει στην κεφαλή (πχ. PROBEPH6AD / CONVERT30MM_TO_M8THRD/ RPROBE_TIP20/EXTEN30MM/ TIP4BY20MM). Παρατηρούμε ότι στο διπλανό παράθυρο σχηματίζεται εικονικά το εργαλείο που δημιουργούμε. Για οποιοδήποτε διόρθωση μπορούμε να αναιρέσουμε κάθε εισαγωγή με **delete**.



Σχήμα 8: Παράθυρο Probe Utilities (Probe Description)

3.5.7 Βήμα 17^ο

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. 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 18^ο

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 19^ο

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

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	Κωδικός ΟΕ-04	Διεξαγωγή Μέτρησης αντικειμένων σε τρεις διαστάσεις με τη μηχανή DEA CMM		
		Αρ. Έκδοσης 1.1	Ημερομηνία Έκδοσης 08/09/2018	Σελίδα 7/14

Σχήμα 9: Παράθυρο Measure Probe

3.6.3 Βήμα 20^ο

Αφού συμπληρώσουμε τα απαιτούμενα πεδία επιλέγουμε **Measure** για να ξεκινήσει η διαδικασία του **calibration**. Στο μήνυμα που εμφανίζεται επιλέγουμε **YES** και στο επόμενο μήνυμα πατάμε **OK** (αναφορικά με τα εργαλεία που θέλουμε να σετάρουμε), στην περίπτωση που έχουμε αλλάξει θέση της πρότυπης σφαίρας στο γρανίτη. Στην περίπτωση που δεν έχει αλλάξει η θέση της πρότυπης σφαίρας στο γρανίτη επιλέγουμε **NO**.

Σχήμα 10: Παράθυρο Qualification Tool Measured

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	Κωδικός OE-04	Διεξαγωγή Μέτρησης αντικειμένων σε τρεις διαστάσεις με τη μηχανή DEA CMM		
		Αρ. Έκδοσης 1.1	Ημερομηνία Έκδοσης 08/09/2018	Σελίδα 8/14

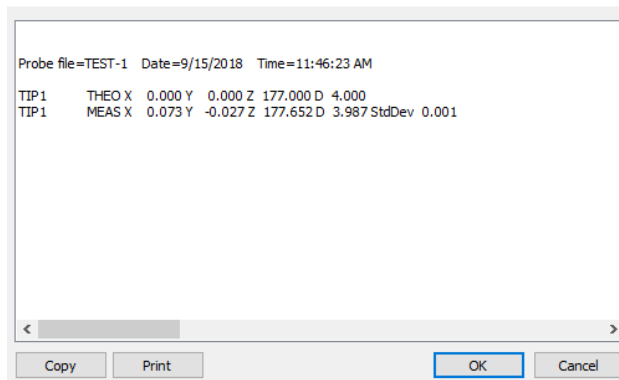
3.6.4 Βήμα 21°

Στην περίπτωση που έχουμε επιλέξει **YES** 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 πατάμε το κουμπί **done** από το **Jog Box** ή το **continue** από την οθόνη του λογισμικού. Η διαδικασία του calibration ξεκινά αυτόματα. Στην περίπτωση που έχουμε πατήσει **NO** η διαδικασία του calibration ξεκινά αυτόματα.

3.6.5 Βήμα 22°

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 την παράμετρο **Std Dev**, να αποκλίνει το μέγιστο 0.002. Σε κάθε άλλη περίπτωση επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία 3.6.

Calibration Results



Σχήμα 11: Παράθυρο Calibration Results

3.6.6 Βήμα 23°

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 24°

Επιλέγω mode DCC (από το εικονίδιο της γραμμής εργαλείων **Probe Mode** όπως φαίνεται στο Σχήμα 5)

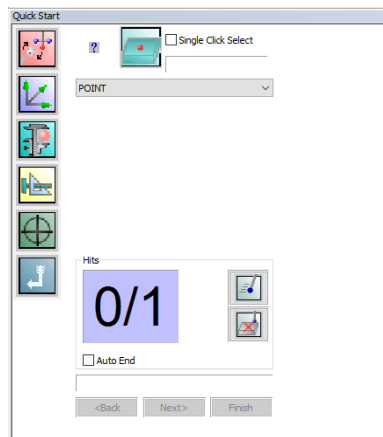


Σχήμα 5: Γραμμή Εργαλείων Probe Mode. Πλήκτρο επιλογής Mode DCC

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	Κωδικός OE-04	Διεξαγωγή Μέτρησης αντικειμένων σε τρεις διαστάσεις με τη μηχανή DEA CMM		
		Αρ. Έκδοσης 1.1	Ημερομηνία Έκδοσης 08/09/2018	Σελίδα 9/14

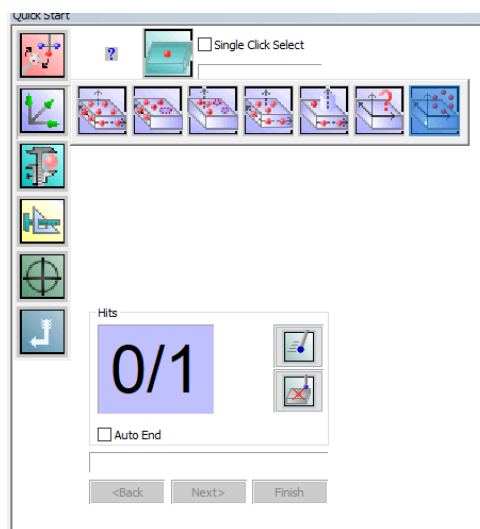
3.7.2 Βήμα 25^ο Ορισμός συστήματος συντεταγμένων

Για τον ορισμό συστήματος συντεταγμένων επιλέγουμε **View / Other Windows / Quick Start** και εμφανίζεται το παράθυρο **Quick Start**.



Σχήμα 13: Παράθυρο Quick Start

Πατώντας στο σύμβολο **Alignments** εμφανίζονται οι δυνατές επιλογές για τα συστήματα συντεταγμένων. Επιλέγουμε το πρώτο εικονίδιο **Plane / Line / Line**. Επιλέγουμε κατάλληλο επίπεδο αναφοράς για να ορισθεί ο άξονας z (τουλάχιστον 3 σημεία) και στη συνέχεια επιλέγουμε δύο γραμμές (η μία γραμμή θα ορίσει τον άξονα x και η άλλη γραμμή θα ορίσει τον άξονα y, τουλάχιστον 2 σημεία για τον ορισμό των γραμμών). Η επιλογή των γεωμετριών γίνεται με χειροκίνητη λήψη με χρήση του **Jog Box**. Αφού επιλέξουμε σημεία για μια γεωμετρία πατούμε **Done** από το **Jog Box**.



Σχήμα 14: Παράθυρο Quick Start

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	Κωδικός ΟΕ-04	Διεξαγωγή Μέτρησης αντικειμένων σε τρεις διαστάσεις με τη μηχανή DEA CMM		
		Αρ. Έκδοσης 1.1	Ημερομηνία Έκδοσης 08/09/2018	Σελίδα 10/14

3.7.3 Βήμα 26^ο

Επιλέγουμε τα επίπεδα προς μέτρηση. Η επιλογή των γεωμετριών 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. 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.

Προσοχή: Η λήψη των σημείων κάθε γεωμετρίας γίνεται έχοντας προηγουμένα 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 με το δοκίμιο. Η Μηχανή Μέτρησης Συντεταγμένων κινείται από σημείο σε σημείο σε ευθεία γραμμή λαμβάνοντας υπόψη τη συντομότερη διαδρομή. 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 27^ο

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

3.7.5 Διαστασιολόγηση

3.7.5.1 Βήμα 28^ο

Επιλέγουμε από την εργαλειοθήκη **Dimension** το **Distance Dimension**.



Σχήμα 6: Εργαλειοθήκη Dimension

3.7.5.2 Βήμα 29^ο

Στο παράθυρο που ανοίγει (**Distance**) επιλέγουμε τα ζητούμενα επίπεδα, ανάμεσα στα οποία θα υπολογίσουμε την απόσταση στο χώρο. Στο πεδίο **Distance Type** επιλέγουμε **2 Dimensional** και στο πεδίο **Relationship** επιλέγουμε τον άξονα μέτρησης των επιπέδων. Στην προκειμένη περίπτωση επιλέγουμε **To x axis**. Πατούμε το πλήκτρο **Create**.

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	Κωδικός ΟΕ-04	Διεξαγωγή Μέτρησης αντικειμένων σε τρεις διαστάσεις με τη μηχανή DEA CMM		
		Αρ. Έκδοσης 1.1	Ημερομηνία Έκδοσης 08/09/2018	Σελίδα 11/14

Distance

Σχήμα 7: Οθόνη Διαστασιολόγησης (Distance)

3.7.5.3 Βήμα 30^ο

Επιλέγουμε από την εργαλειοθήκη **Dimension** το **Flatness Dimension**. Ανοίγει το παράθυρο, επιλέγουμε τα επίπεδα στο πεδίο **Features** που θέλουμε να εξετάσουμε την επιπεδότητα και στην συνέχεια πατάμε **Create**.

XactMeasure GD&T - Flatness Dimension

Σχήμα 17: Παράθυρο υπολογισμού επιπεδότητας

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	Κωδικός ΟΕ-04	Διεξαγωγή Μέτρησης αντικειμένων σε τρεις διαστάσεις με τη μηχανή DEA CMM		
		Αρ. Έκδοσης 1.1	Ημερομηνία Έκδοσης 08/09/2018	Σελίδα 12/14

3.7.5.4 Βήμα 31^ο

Έπειτα επιλέγουμε το εικονίδιο **Report Window**, όπου έχουν προκύψει τα αποτελέσματα.

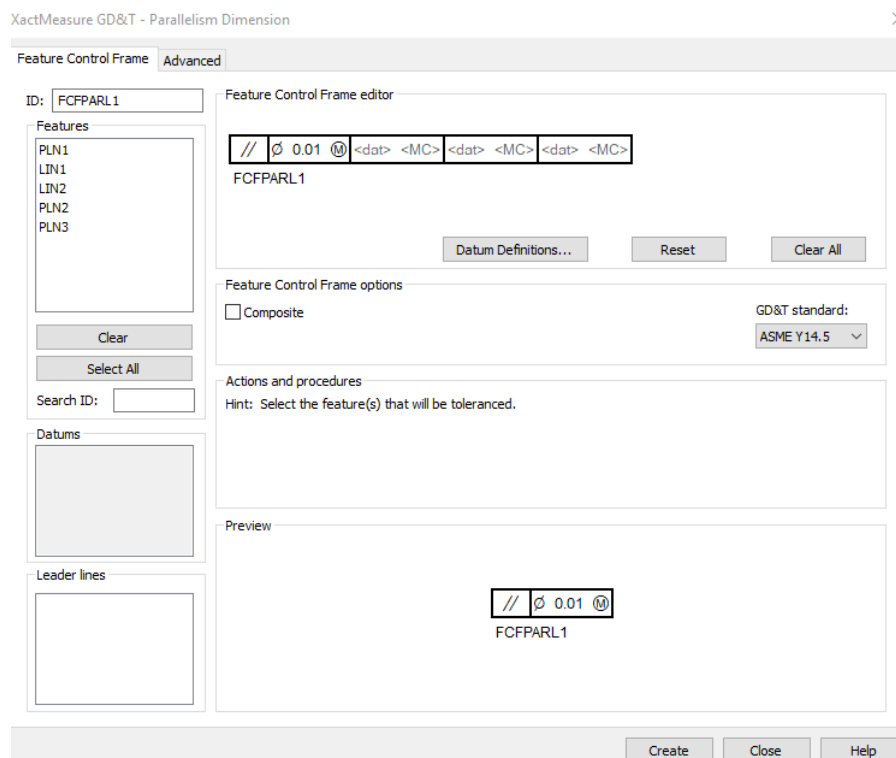


FCFPLAT1	MM	0.01							
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	MAX	MIN	BONUS
PLN2	0.000	0.010		0.006	0.006	0.000	0.003	-0.003	
PLN3	0.000	0.010		0.005	0.005	0.000	0.002	-0.002	

Σχήμα 18: Παράθυρο Report Window

3.7.5.5 Βήμα 32^ο

Επιλέγουμε από την εργαλειοθήκη **Dimension** το **Parallelism Dimension**. Ανοίγει το παράθυρο, πατάμε στο πεδίο **Datum**, επιλέγουμε το επίπεδο που θέλουμε να ορίσουμε ως επίπεδο αναφοράς και έπειτα πατάμε **Create**.



Σχήμα 19: Παράθυρο υπολογισμού παραλληλότητας

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	Κωδικός ΟΕ-04	Διεξαγωγή Μέτρησης αντικειμένων σε τρεις διαστάσεις με τη μηχανή DEA CMM		
		Αρ. Έκδοσης 1.1	Ημερομηνία Έκδοσης 08/09/2018	Σελίδα 13/14

Datum Definition

Datum: A = List of Features: Sort: Program ↑

Search ID:

Select last #:

PNT1
 PLN2
 PLN3

Σχήμα 20: Παράθυρο ορισμού επιπέδου αναφοράς

3.7.5.6 Βήμα 33^ο

Στο πεδίο **Feature Control Frame Editor** επιλέγουμε στο πεδίο **<dat>** το επίπεδο αναφοράς και στο πεδίο **Features** επιλέγουμε το δεύτερο επίπεδο για το οποίο ζητάμε την παραλληλότητα. Στη συνέχεια πατάμε **Create**.

XactMeasure GD&T - Parallelism Dimension

Feature Control Frame Advanced

ID: FCFPARL1

Features

- PLN1
- LIN1
- LIN2
- PLN2 (A)
- PLN3 (B) 1

Clear

Select All

Search ID:

Datums

A : PLN2
B : PLN3

Leader lines

- PLN3 (B) 1

Feature Control Frame editor

// 0.01 <PZ> <len> A <dat> <dat>

FCFPARL1

Feature Control Frame options

Composite

GD&T standard: ASME Y14.5

Actions and procedures

Hint: This represents a geometric tolerance for an individual feature. It is divided into compartments containing geometric symbols, tolerances, or datums.

Hint: Enter a value for the Primary Datum field.

Preview

// 0.01 A

FCFPARL1

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	Κωδικός OE-04	Διεξαγωγή Μέτρησης αντικειμένων σε τρεις διαστάσεις με τη μηχανή DEA CMM		
		Αρ. Έκδοσης 1.1	Ημερομηνία Έκδοσης 08/09/2018	Σελίδα 14/14

Σχήμα 21: Παράθυρο υπολογισμού παραλληλότητας

3.7.5.7 Βήμα 34°

Έπειτα επιλέγουμε το εικονίδιο **Report Window**, όπου έχουν προκύψει τα αποτελέσματα.

FCFPARL1	MM	// 0.01 A							
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	MAX	MIN	BONUS
PLN3	0.000	0.010	0.000	0.008	0.008	0.000	0.002	-0.003	0.000
FCFPARL2	MM	// 0.01 B							
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	MAX	MIN	BONUS
PLN2	0.000	0.010	0.000	0.008	0.008	0.000	0.003	-0.003	0.000

Σχήμα 22: Παράθυρο Report Window

Προσοχή: Κατά την χειροκίνητη λήψη των γεωμετριών 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 8: Εργαλειοθήκη Jog Box

3.7.6 Βήμα 35°

Εκτυπώνουμε από το **Report Window** τις μετρήσεις και υπογράφουμε το φύλλο το οποίο και παραδίδεται στον Τεχνικό Υπεύθυνο.

4 Ιστορικό Τροποποιήσεων

ΕΚΔΟΣΗ	ΗΜ/ΝΙΑ	ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΙΤΙΑΣ ΑΛΛΑΓΗΣ
1.1	08/09/2018	Αρχική Έκδοση