



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ-
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ

ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΦΟΡΗΤΟΥ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ
ΥΨΗΛΗΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΣΤΟΝ ΤΡΙΔΙΑΣΤΑΤΟ ΧΩΡΟ

Διπλωματική Εργασία

της

Μαρίας Ψευδού

Επιβλέπων:
Γεώργιος Πανταζής
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα Οκτώβριος 2023



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ-
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ

ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΦΟΡΗΤΟΥ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ
ΥΨΗΛΗΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΣΤΟΝ ΤΡΙΔΙΑΣΤΑΤΟ ΧΩΡΟ

Διπλωματική Εργασία

της

Μαρίας Ψευδού

Επιβλέπων:
Γεώργιος Πανταζής
Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή:

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

.....

.....

.....

Γεώργιος Πανταζής

Ορθοδοξία Αραμπατζή

Μαρία Τσακίρη

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Επικ. Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

(Υπογραφή)

.....

ΜΑΡΙΑ ΨΕΥΔΟΥ

Διπλωματούχος Αγρονόμος και Τοπογράφος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Copyright © Μαρία Ψευδού, 2023

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας διπλωματικής εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν στη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τη συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ολοκληρώνοντας τη διπλωματική μου εργασία, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. **Γεώργιο Πανταζή**, καθηγητή της ΣΑΤΜ – ΜΓ, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντας μου το θέμα της παρούσας εργασίας, αλλά και για την καθοδήγηση και υποστήριξη που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησής της.

Επίσης, ευχαριστώ θερμά τη **Στεφανία Ιωαννίδου**, διδακτορική φοιτήτρια της ΣΑΤΜ – ΜΓ, που ήταν πάντα παρούσα κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, με διευκόλυνε σημαντικά εξηγώντας μου λεπτομερώς τη λειτουργία του FARO Edge και ήταν πάντα πρόθυμη να μου επιλύσει οποιαδήποτε απορία.

Σημαντική ήταν και η συμβολή του κ. **Κωνσταντίνου Νικολίτσα**, επίκουρου καθηγητή της ΣΑΤΜ – ΜΓ, που παρείχε ουσιαστική βοήθεια για την αντιμετώπιση προβλημάτων που παρουσιάζονταν κατά τη διάρκεια των μετρήσεων με τον αρθρωτό βραχίονα.

Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. **Γεώργιο Χατζηστέλιο**, Υπεύθυνο Διαχείρισης Ποιότητας και Τεχνικό Υπεύθυνο στο Μετροτεχνικό Εργαστήριο Δοκιμών του Τομέα Βιομηχανική Διοίκησης & Επιχειρησιακής Έρευνας της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του ΕΜΠ, για την παραχώρηση των διακριβωμένων πλακιδίων για όσο διάστημα απαιτούνταν μέχρι την ολοκλήρωση της εργασίας μου.

Επιπλέον, ευχαριστώ πολύ τον αδερφό μου Χρήστο που με βοήθησε με τον κώδικα της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια και τους φίλους μου που με στήριζαν με κάθε τρόπο καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το φάσμα των εργασιών στις οποίες μπορεί να απασχοληθεί ένας ATM – ΜΓ, διαρκώς διευρύνεται. Ο σύγχρονος γεωδαίτης συγκεκριμένα δεν περιορίζεται μόνο στην κλασσική τοπογραφία και στις μετρήσεις πεδίου. Οι κλάδοι της γεωδαισίας αναπτύσσονται διαρκώς και μαζί με αυτούς εξελίσσεται και ο μετρητικός εξοπλισμός για την ικανοποίηση της συνεχώς αυξανόμενης ανάγκης για μετρήσεις υψηλής ακριβείας.

Ο κλάδος της γεωδαισίας που χαρακτηρίζεται για τις μετρήσεις πολύ υψηλής ακρίβειας είναι αυτός της βιομηχανικής γεωδαισίας. Η βιομηχανική γεωδαισία απομάκρυνε το γεωδαίτη από το πεδίο και τον τοποθέτησε σε βιομηχανίες και αίθουσες εργαστηρίων. Ο ATM – ΜΓ πλέον δεν αποτυπώνει μόνο επιφάνειες γης και δεν προσδιορίζει μόνο την ύπαρξη μικρομετακινήσεων σε μεγάλες κατασκευές. Ο συνδυασμός ενός κλειστού χωρού σταθερών περιβαλλοντικών συνθηκών και του σύγχρονου εξοπλισμού μέτρησης που χρησιμοποιείται στη βιομηχανική γεωδαισία δίνει τη δυνατότητα αποτύπωσης μικρών αντικειμένων και του εντοπισμού μικρομετακινήσεων πάνω σε αυτά με μεγάλη ακρίβεια.

Μπορεί, πράγματι τα όργανα μέτρησης που χρησιμοποιούνται σε εργασίες βιομηχανικής γεωδαισίας να παρέχουν πολύ υψηλή ακρίβεια μετρήσεων, όμως κάτω από ποιες συνθήκες μπορεί στην πραγματικότητα να προσεγγιστεί η μέγιστη ακρίβεια ενός τέτοιου οργάνου. Οι ιδανικές περιβαλλοντικές συνθήκες λειτουργίας του οργάνου αναγράφονται από την εταιρεία κατασκευής, όπως επίσης και οι έλεγχοι στους οποίους πρέπει να υποβάλλονται τα όργανα πριν την έναρξη των μετρήσεων.

Η μελέτη της μεταβολής της ακρίβειας τέτοιων οργάνων υψηλής ακρίβειας, ανάλογα με τη μεταβολή των περιβαλλοντικών συνθηκών και την ορθότητα των υποβληθέντων ελέγχων τους, έχει ιδιαίτερο επιστημονικό ενδιαφέρον.

Ουσιαστικά, η μελέτη αυτή αποτελεί και το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας και εξετάζεται συγκεκριμένα ένα όργανο τελευταίας τεχνολογίας, ο αρθρωτός βραχίονας FARO Edge and Faro Laser ScanArm, που μετρά τρισδιάστατες συντεταγμένες με μέγιστη ακρίβεια $\pm 0.029mm$.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	III
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	V
ΕΙΚΟΝΕΣ	X
ΣΧΗΜΑΤΑ.....	XI
ΠΙΝΑΚΕΣ.....	XIII
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	XVI
ABSTRACT.....	XVIII
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Η ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΤΗΣ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ ΚΑΙ ΟΙ ΚΛΑΔΟΙ ΤΗΣ.....	2
1.1. Γενικά	2
1.2. Βιομηχανική Γεωδαισία	4
1.2.1. Ορισμός.....	4
1.2.2. Ιστορική Αναδρομή	4
1.3. Αντικείμενο της Εργασίας.....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΗΧΑΝΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ (CMM)	10
2.1. Γενικά	10
2.2. Τύποι μετρητικών μηχανών CMM.....	14
2.2.1. Σταθερές μηχανές CMM.....	14
2.2.2. Φορητές μηχανές CMM.....	18
2.2.2.1. Αρθρωτός βραχίονας FARO Edge and FARO Laser ScanArm Edge.....	21
2.3. Μηχανές CMM σε βιομηχανικές εφαρμογές.....	25
2.4. Πηγές σφαλμάτων	27
2.4.1. Σφάλματα χρήστη οργάνου.....	27
2.4.2. Σφάλματα περιβάλλοντος	27
2.4.3. Σφάλματα μηχανών CMM.....	28

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗ ΦΟΡΗΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ FARO EDGE LASER SCANARM.....	29
3.1. Γενικά	29
3.2. Διαφορά εννοιών διακρίβωσης και βαθμονόμησης.....	29
3.2.1. Διακρίβωση του FARO Edge Laser ScanArm	30
3.2.2. Βαθμονόμηση του FARO Edge Laser ScanArm	31
3.2.2.1. Έλεγχος σταθερότητας του Edge.....	31
3.2.2.1.1. Έλεγχος μετακίνησης της βάσης του Edge.....	32
3.2.2.1.2. Έλεγχος κλίσης της βάσης του Edge	33
3.2.2.2. Έλεγχος επαναληψιμότητας του Edge.....	34
3.2.2.3. Έλεγχος θερμοκρασίας Edge	36
3.2.2.4. Έλεγχος κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.....	37
3.3. Διακρίβωση των αισθητήρων μέτρησης	38
3.3.1. Γενικά.....	38
3.3.2. Διακρίβωση των αισθητήρων αφής με τη μέθοδο της οπής	39
3.3.3. Διακρίβωση των αισθητήρων αφής με τη μέθοδο της σφαίρας ..	40
3.3.4. Διακρίβωση του αισθητήρα λειζερ	43
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	49
4.1. Εξοικείωση με τον εξοπλισμό.....	49
4.1.1. Παρελκόμενα του FARO Edge.....	51
4.2. Διεξαγωγή μετρήσεων.....	52
4.2.1. Προβλήματα κατά τη διεξαγωγή μετρήσεων.....	58
4.2.2. Επίλυση προβλημάτων που προέκυψαν κατά τη διεξαγωγή μετρήσεων.....	59
4.3. Επεξεργασία μετρήσεων	60
4.3.1. Γενική μέθοδος συνόρθωσης	61
4.3.2. Υπολογισμός μηκών δοκιμίων.....	64
4.3.3. Ακρίβεια υπολογισμένων μηκών	69
4.4. Αποτελέσματα μετρήσεων	72

4.4.1. Στατιστική σημαντικότητα διαφορών υπολογισμένων και πραγματικών τιμών δοκιμίων	79
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	87
5.1. Συμπεράσματα	87
5.2. Προτάσεις	91
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	93
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΣΤΙΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ	95
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ: ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΚΑΙ ΣΗΜΕΙΑ ΤΟΜΗΣ ΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ	160
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ: ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ ΤΟΜΗΣ ΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ D_{AB} & $D_{ΓΔ}$	183

EΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 1.1: Εφαρμογή βιομηχανικής γεωδαισίας για την κατασκευή σκάφους (www.faro.com).....	7
Εικόνα 1.2: Εφαρμογή βιομηχανικής γεωδαισίας στην αυτοκινητοβιομηχανία (www.faro.com)	8
Εικόνα 2.1 : Σταθερή CMM Zenith 3 CNC της εταιρείας Aberlink (αριστερά) (https://fts.gr) & probes της εταιρείας Renishaw (δεξιά) (https://willrich.com)	13
Εικόνα 2.2 : Τύπος στήλης CMM (https://gaugehow.com)	16
Εικόνα 2.3 : Τύπος οριζόντιου βραχίονα CMM (https://gaugehow.com)	17
Εικόνα 2.4 : Τύπος γερανογέφυρας CMM (https://gaugehow.com).....	17
Εικόνα 2.5 : Φορητή μηχανή τύπου αρθρωτού βραχίονα (αριστερά) (https://www.iqlaser.co.za) & Κεφαλή σάρωσης laser (δεξιά) (https://www.faro.com).....	18
Εικόνα 2.6 : Τα κουμπιά και οι δείκτες LED επάνω στη λαβή του βραχίονα (αριστερά) και επάνω στο αποσπώμενο χερούλι (δεξιά) (https://www.faro.com).....	21
Εικόνα 2.7 : Περιγραφή των τμημάτων του εμπρόσθιου μέρους του βραχίονα Edge (https://www.faro.com)	22
Εικόνα 2.8 : Περιγραφή των τμημάτων του οπίσθιου μέρους του βραχίονα Edge (https://www.faro.com)	23
Εικόνα 2.9 : Αισθητήρας Laser του βραχίονα FARO Edge (https://www.faro.com).....	24
Εικόνα 2.10 : Χρήση CMM αρθρωτού βραχίονα στην αεροναυπηγική βιομηχανία (πάνω) και στην αυτοκινητοβιομηχανία (κάτω)(https://www.faro.com).....	26
Εικόνα 3.1 : Διεύθυνση μετακίνησης των αρθρώσεων του βραχίονα κατά το Base Deflection (αριστερά) (https://www.faro.com) και το γράφημα που υποδεικνύει την αποτυχία του Base Deflection, εφόσον δε βρίσκονται όλα τα σημεία εντός του κύκλου (δεξιά) (προσωπικό αρχείο)	32
Εικόνα 3.2: Μετακίνηση των αρθρώσεων του βραχίονα κατά το Base Deflection (αριστερά & δεξιά) (προσωπικό αρχείο)	33
Εικόνα 3.3: Μενού επιλογής ελέγχων σταθερότητας (αριστερά) (προσωπικό αρχείο) και διευθύνσεις μετακίνησης των αρθρώσεων του βραχίονα κατά τον έλεγχο Tilt (δεξιά) (https://www.faro.com)	33
Εικόνα 3.4 : Μετακίνηση των αρθρώσεων του βραχίονα κατά τον έλεγχο Tilt (αριστερά) (προσωπικό αρχείο) και το γράφημα που υποδεικνύει την	

επιτυχία του Tilt, εφόσον όλα τα σημεία βρίσκονται εντός του κύκλου (δεξιά)(προσωπικό αρχείο).....	34
Εικόνα 3.5 : Μετακίνηση του «αγκώνα» του βραχίονα κατά τον έλεγχο επαναληψιμότητας (αριστερά) (https://www.faro.com) και η σημειακή και ογκομετρική ακρίβεια του Edge (δεξιά) (https://www.faro.com).....	35
Εικόνα 3.6 : Περιπτώσεις μετακίνησης του βραχίονα που επιφέρουν απώλεια ενός βαθμού ελευθερίας («κλείδωμα» αρθρώσεων) (https://www.faro.com).....	37
Εικόνα 3.7 : Η ειδική σφαίρα βαθμονόμησης τοποθετημένη πάνω στη λευκή επίπεδη επιφάνεια μέτρησης (προσωπικό αρχείο).....	41
Εικόνα 3.8 : Λευκή επιφάνεια μέτρησης (αριστερά) (προσωπικό αρχείο) και οι θέσεις των οκτώ σημείων που μετρώνται επάνω στη λευκή επιφάνεια (δεξιά)(https://www.faro.com	44
Εικόνα 4.1 : Το Edge τοποθετημένο στη βάση του πάνω στο βάθρο (αριστερά) και η βιδωμένη βάση επί του βάθρου (δεξιά) (προσωπικό αρχείο).....	49
Εικόνα 4.2: Βαθμονομημένα δοκίμια (προσωπικό αρχείο)	50
Εικόνα 4.3 : Το κτισμένο βάθρο πάνω στο οποίο έχουν τοποθετηθεί η βάση (πάνω στην οποία σταθεροποιείται το Edge) και η λευκή επιφάνεια μέτρησης (προσωπικό αρχείο).....	51
Εικόνα 4.4: Η ειδική σφαίρα διακρίβωσης πάνω στη λευκή επιφάνεια μέτρησης και ο συνδεδεμένος φορητός υπολογιστής (προσωπικό αρχείο)	52
Εικόνα 4.5 : Μέτρηση σημείων στην πρώτη επιφάνειας του δοκιμίου των 30mm με σφαιρικό αισθητήρα διαμέτρου 3mm (προσωπικό αρχείο)	55
Εικόνα 4.6 : Το βάθρο στο οποίο τοποθετούνταν ο βραχίονας και το τραπέζι όπου τοποθετούνταν τα δοκίμια στα τρία πρώτα σετ μετρήσεων (προσωπικό αρχείο)	59

ΣΧΗΜΑΤΑ

Σχήμα 1.1: Διάγραμμα ιστορικής αναδρομής βιομηχανικής γεωδαισίας ..	5
Σχήμα 2.1 : Διάγραμμα εξέλιξης των μηχανών μέτρησης συντεταγμένων	11
Σχήμα 2.2 : Μορφή σταθερής CMM τύπου κινητής γέφυρας (https://www.keyence.co.in).....	14
Σχήμα 2.3 : Αρθρωτός βραχίονας με 6 άξονες (www.researchgate.net) .	19
Σχήμα 2.4 : Αρθρωτός βραχίονας με 7 άξονες και προσαρμοσμένο χερούλι στον έβδομο άξονα (www.researchgate.net)	20

Σχήμα 2.5: Οι έξι βαθμοί ελευθερίας ενός βραχίονα έξι αξόνων (Santolaria J. & Aguilar J., 2010)	20
Σχήμα 3.1: Τοποθέτηση του Edge στον ειδικό κώνο διακρίβωσης (αριστερά) και οι τέσσερις θέσεις σύμφωνα με τις οποίες πρέπει να μετακινηθεί η λαβή του Edge για την πραγματοποίηση της διακρίβωσης (δεξιά)(https://www.faro.com).....	40
Σχήμα 3.2 : Οι βασικές διευθύνσεις στις οποίες τοποθετείται ο τρίτος άξονας του Edge κατά τη διάρκεια της σφαιρικής διακρίβωσης.(https://www.faro.com)	41
Σχήμα 3.3: Πρώτο βήμα σφαιρικής διακρίβωσης.	42
Σχήμα 3.4 : Δεύτερο βήμα σφαιρικής διακρίβωσης (https://www.faro.com).....	42
Σχήμα 3.5 : Τρίτο βήμα σφαιρικής διακρίβωσης(https://www.faro.com)	43
Σχήμα 3.6 : Τέταρτο βήμα σφαιρικής διακρίβωσης (https://www.faro.com).....	43
Σχήμα 3.7: Θέση και κίνηση του αισθητήρα κατά το πρώτο στάδιο ψηφιοποίησης (https://www.faro.com).....	46
Σχήμα 3.8: Θέση και κίνηση του αισθητήρα κατά το δεύτερο στάδιο ψηφιοποίησης (https://www.faro.com).....	47
Σχήμα 3.9 : Θέση και κίνηση του αισθητήρα κατά το τρίτο στάδιο ψηφιοποίησης (https://www.faro.com).....	47
Σχήμα 4.1 : Οι επιφάνειες των δοκιμίων. Οι κόκκινες κουκκίδες αναπαριστούν τα έξι σημεία που μετρώνται σε κάθε επιφάνεια (προσωπικό αρχείο)	54
Σχήμα 4.2 : Παράδειγμα συμπλήρωσης εντύπου για τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν με το σφαιρικό αισθητήρα διαμέτρου 2mm (προσωπικό αρχείο)	56
Σχήμα 4.3 : Τα τέσσερα σημεία τομής μεταξύ των επιφανειών των δοκιμίων που προσδιορίστηκαν από την επίλυση των τεσσάρων συστημάτων (προσωπικό αρχείο).....	66
Σχήμα 4.4 : Οι τέσσερις ακμές των δοκιμίων που προδιορίστηκαν από τις συντεταγμένες των σημείων τομής (προσωπικό αρχείο)	67
Σχήμα 5.1: Στατιστικός έλεγχος για τις μετρήσεις των επιτυχώς διακριβωμένων αισθητήρων	89
Σχήμα 5.2: Στατιστικός έλεγχος για τις μετρήσεις των ανεπιτυχώς διακριβωμένων αισθητήρων.....	72

ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 4.1: Μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν με αισθητήρες επιτυχώς διακριβωμένους, ανεπιτυχώς διακριβωμένους ή καθόλου διακριβωμένους (επιλογή παλαιότερης διακρίβωσης)	57
Πίνακας 4.2: Αποτελέσματα μετρήσεων του επιτυχώς διακριβωμένου σφαιρικού αισθητήρα διαμέτρου 2mm.....	72
Πίνακας 4.3: Αποτελέσματα μετρήσεων του μη διακριβωμένου σφαιρικού αισθητήρα διαμέτρου 2mm.....	73
Πίνακας 4.4: Αποτελέσματα μετρήσεων του ανεπιτυχώς διακριβωμένου σφαιρικού αισθητήρα διαμέτρου 3mm.....	74
Πίνακας 4.5: Αποτελέσματα μετρήσεων του ανεπιτυχώς διακριβωμένου σφαιρικού αισθητήρα διαμέτρου 4mm.....	74
Πίνακας 4.6: Αποτελέσματα μετρήσεων του ανεπιτυχώς διακριβωμένου σφαιρικού αισθητήρα διαμέτρου 5mm.....	75
Πίνακας 4.7: Αποτελέσματα μετρήσεων του επιτυχώς διακριβωμένου σφαιρικού αισθητήρα διαμέτρου 6mm.....	76
Πίνακας 4.8: Αποτελέσματα μετρήσεων του ανεπιτυχώς διακριβωμένου σφαιρικού αισθητήρα διαμέτρου 6mm.....	76
Πίνακας 4.9: Αποτελέσματα μετρήσεων του επιτυχώς διακριβωμένου σημειακού αισθητήρα	77
Πίνακας 4.10: Αποτελέσματα μετρήσεων του μη διακριβωμένου σημειακού αισθητήρα	77
Πίνακας 4.11: Στατιστικός έλεγχος των αποτελεσμάτων των μετρήσεων του επιτυχώς διακριβωμένου σφαιρικού αισθητήρα διαμέτρου 2mm	80
Πίνακας 4.12: Στατιστικός έλεγχος των αποτελεσμάτων των μετρήσεων του ανεπιτυχώς διακριβωμένου σφαιρικού αισθητήρα διαμέτρου 3mm	81
Πίνακας 4.13: Στατιστικός έλεγχος των αποτελεσμάτων των μετρήσεων του ανεπιτυχώς διακριβωμένου σφαιρικού αισθητήρα διαμέτρου 4mm	82
Πίνακας 4.14: Στατιστικός έλεγχος των αποτελεσμάτων των μετρήσεων του ανεπιτυχώς διακριβωμένου σφαιρικού αισθητήρα διαμέτρου 5mm	83
Πίνακας 4.15: Στατιστικός έλεγχος των αποτελεσμάτων των μετρήσεων του επιτυχώς διακριβωμένου σφαιρικού αισθητήρα διαμέτρου 6mm	83
Πίνακας 4.16: Στατιστικός έλεγχος των αποτελεσμάτων των μετρήσεων του ανεπιτυχώς διακριβωμένου σφαιρικού αισθητήρα διαμέτρου 6mm	84
Πίνακας 4.17: Στατιστικός έλεγχος των αποτελεσμάτων των μετρήσεων του επιτυχώς διακριβωμένου σημειακού αισθητήρα	85
Πίνακας 5.1: Αποτελέσματα των μηκών των πλακιδίων όπως προέκυψαν από τις μετρήσεις με απλή τοποθέτηση του αισθητήρα στο βραχίονα και η σύγκριση τους με τα πραγματικά μήκη των δοκιμίων	87

Πίνακας 5.2: Αποτελέσματα των μηκών των πλακιδίων όπως προέκυψαν από τις μετρήσεις με απλή τοποθέτηση του αισθητήρα στο βραχίονα και η σύγκριση τους με τα πραγματικά μήκη των δοκιμίων91

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά στον έλεγχο και τη βαθμονόμηση φορητού συστήματος μέτρησης συντεταγμένων υψηλής ακρίβειας στον τρισδιάστατο χώρο. Το φορητό σύστημα μέτρησης συντεταγμένων που χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας ήταν ο αρθρωτός βραχίονας FARO Edge and Faro Laser ScanArm. Το συγκεκριμένο σύστημα μπορεί να πραγματοποιεί σημειακές μετρήσεις εξ επαφής με χρήση αισθητήρων αφής αλλά και μετρήσεις νέφων σημείων εξ αποστάσεως με χρήση του αισθητήρα laser. Η ακρίβεια που παρέχει το συγκεκριμένο όργανο στις σημειακές μετρήσεις είναι $\pm 0.029mm$, ενώ η ακρίβεια των μετρήσεων που πραγματοποιούνται με τον αισθητήρα laser είναι $\pm 0.041mm$. Σύμφωνα με την εταιρεία κατασκευής του οργάνου για να πραγματοποιηθούν μετρήσεις με τη μέγιστη παρεχόμενη ακρίβεια του οργάνου, θα πρέπει πρωτίστως να βαθμονομηθεί ο βραχίονας και να διακριβωθεί ο αισθητήρας μέτρησης.

Σκοπός της εργασίας είναι ο προσδιορισμός της διαφοράς στην ακρίβεια των μετρήσεων ανάλογα με τη διεξαγωγή ή μη διεξαγωγή των διαδικασιών βαθμονόμησης του βραχίονα και διακρίβωσης του αισθητήρα μέτρησης. Για τις ανάγκες της εργασίας πραγματοποιήθηκαν μόνο εξ επαφής σημειακές μετρήσεις με αισθητήρες αφής. Η δομή της εργασίας είναι η ακόλουθη:

1. Στο πρώτο κεφάλαιο, γίνεται αναφορά στην επιστήμη της γεωδαισίας και τους κλάδους της με έμφαση κυρίως στον κλάδο της βιομηχανικής γεωδαισίας. Οι αρθρωτοί βραχίονες, χρησιμοποιούνται ευρέως σε εφαρμογές βιομηχανικής γεωδαισίας.
2. Στο δεύτερο κεφάλαιο, αναλύεται η εξέλιξη των μηχανών μέτρησης συντεταγμένων στο χρόνο. Οι μηχανές μέτρησης συντεταγμένων διαχωρίζονται σε σταθερές και φορητές. Σημειώνονται οι διαφορές στη λειτουργία των διαφορετικών ειδών μηχανών, καθώς και οι παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν την ακρίβεια τους. Τέλος, περιγράφονται τα μέρη και η λειτουργία του αρθρωτού βραχίονα FARO Edge and Faro Laser ScanArm, που αποτελεί μία απ' τις πιο σύγχρονες φορητές μηχανές μέτρησης συντεταγμένων και χρησιμοποιείται για τις μετρήσεις της διπλωματικής εργασίας.
3. Στο τρίτο κεφάλαιο, εξηγούνται οι διαφορές μεταξύ των εννοιών βαθμονόμησης και διακρίβωσης του FARO Edge and Faro Laser ScanArm και στη συνέχεια περιγράφονται αναλυτικά οι

διαδικασίες βαθμονόμησης του FARO Edge and Faro Laser ScanArm και διακρίβωσης των αισθητήρων του.

4. Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για την πραγματοποίηση των μετρήσεων και ο τρόπος που διεξήχθησαν οι μετρήσεις. Μετρήθηκαν σημεία σε επιφάνειες διακριβωμένων πλακιδίων, με σκοπό να προσδιοριστούν τα μήκη τους και να συγκριθούν με τα πραγματικά μήκη των πλακιδίων. Έπειτα αναλύεται η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό των μηκών (γενική μέθοδος συνόρθωσης για τον προσδιορισμό των παραμέτρων των επιφανειών, επίλυση συστημάτων για τον υπολογισμό των σημείων τομής, σχέση απόστασης). Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με επιτυχώς και ανεπιτυχώς βαθμονομημένο σύστημα βραχίονα και με επιτυχώς ή ανεπιτυχώς διακριβωμένους αισθητήρες, για να συγκριθούν τα αποτελέσματα.
5. Στο πέμπτο κεφάλαιο, αναφέρονται τα συμπεράσματα μετά τη σύγκριση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν στο τέταρτο κεφάλαιο και παρατίθενται προτάσεις για την επίτευξη μετρήσεων μεγάλης ακρίβειας με τον αρθρωτό βραχίονα FARO Edge and Faro Laser ScanArm.

TESTING AND CALIBRATING A PORTABLE HIGH – PRECISION COORDINATE MEASURING MACHINE IN THREE – DIMENSIONAL SPACE

ABSTRACT

The present thesis concerns testing and calibrating a high accuracy portable coordinate measuring machine in the three – dimensional space. The portable coordinate measurement system used in the context of the thesis was the articulated arm FARO Edge and Faro Laser ScanArm. This particular system can perform point measurements through contact using touch probes, as well as non-contact cloud point measurements using a laser probe. The accuracy provided by this instrument for point measurements is $\pm 0.029\text{mm}$, while the accuracy of measurements made with the laser sensor is $\pm 0.041\text{mm}$. According to the manufacturer of the instrument, in order to achieve measurements with the maximum provided accuracy, the arm should first be calibrated, and the measurement probe should be compensated.

The purpose of the thesis is to determine the difference in measurement accuracy depending on whether the calibration of the arm and the compensation of the measurement probe are performed or not. For the needs of the thesis, only contact point measurements were performed using touch probes. The structure of the thesis is as follows:

1. In the first chapter, there is a reference to the science of geodesy and its fields, with a focus mainly on the field of industrial geodesy. Articulated arms are widely used in industrial geodesy applications.
2. In the second chapter, the evolution of coordinate measuring machines over time is analyzed. Coordinate measuring machines are divided into fixed and portable ones. The differences in the operation of different types of machines are noted, as well as the factors that may affect their accuracy. Finally, the parts and operation of the FARO Edge and Faro Laser ScanArm articulated arm, which is one of the most modern portable coordinate measuring machines and is used for the measurements in the thesis, are described.

3. In the third chapter, the differences between the concepts of calibration and compensation of the FARO Edge and Faro Laser ScanArm are explained, and then the calibration and compensation processes of the probes are described in detail.
4. In the fourth chapter, the equipment used for the measurements is presented, and the method used to determine the lengths is analyzed (general correction method for surface parameter determination, solving systems for intersection points, distance equation). The measurements were performed with successfully and unsuccessfully calibrated arm and with successfully or unsuccessfully compensated probes in order to compare the results.
5. In the fifth chapter, the conclusions are mentioned after comparing the results obtained in the fourth chapter, and suggestions are made for achieving high-precision measurements with the articulated arm FARO Edge and Faro Laser ScanArm.

A total of nine measurement series were conducted with the zircon ball probes 2mm, 3mm, 4mm, 5mm & 6mm and with a point probe and the measured objects were ten compensated parallelepiped specimen.

After processing the measurements, some useful conclusions were drawn:

1. The measurements carried out by simply placing the probe on the arm and selecting a previous saved calibration, without conducting the calibration procedure, are highly inaccurate.
2. The measurements conducted with an unsuccessful calibration of the arm and an unsuccessful compensation of the probe are quite precise, and based on statistical analysis, they appear to be even more accurate than the measurements made with the successfully calibrated instrument and the successfully compensated probes. A successfully compensated probe allows for measurements with greater accuracy than the typical accuracy of the instrument, i.e., 0.029mm. In this case, the errors introduced into the measurements with successfully compensated probes were much smaller than the 0.029mm error introduced in the measurements with unsuccessfully compensated probes. This, in itself, makes the statistical analysis more stringent for measurements made with successfully compensated probes.

3. The large differences between the actual and calculated lengths of specimens found in the tables of all probes, regardless of whether they were successfully compensated or not, are due to gross errors introduced into the measurements. Particularly in this diploma thesis, primary measurements were used to determine the parameters of the surfaces of the specimens and, consequently, to determine the lengths of the specimens. Each calculation depends on the initial measurements, and if even one measurement contains a gross error that has not been detected, then the error affects the calculated lengths of the specimens.
4. It is observed that with small-sized probes (spherical probes with diameters of 2mm & 3mm and point probe), the difference between the actual and calculated length of the 10mm specimen is very large. Generally, measurements with small-sized probes are more challenging for the user, especially when measuring smaller surfaces.

Based on the conclusions drawn, there are some recommendations for achieving high-precision measurements using the FARO Edge and Faro Laser ScanArm articulated arm:

1. Measurements should never be performed without prior probe compensation. It is preferable to perform measurements with a probe that has been unsuccessfully compensated rather than using a probe that was simply placed on the arm and a previous stored compensation was selected from the FaroArm Manager program.
2. When conducting measurements with a successfully compensated probe, the user should have significant experience and be very careful to approach the maximum accuracy provided by the compensated probe. Additionally, it is recommended to ensure that the measured objects are well stabilized to prevent their movement during measurements.
3. In cases where very high accuracy is not required, it is possible to use an unsuccessfully compensated probe. The same applies to the calibration of the arm. In other words, when the stability and repeatability test of the arm show very good results (but they still don't pass), and indeed the arm is securely placed on a stable base, it can be used for

measurements where high accuracy is not needed and can provide reliable results.

4. If the user lacks experience, it is preferable to perform measurements with spherical probes of relatively larger diameters ($\geq 4\text{mm}$), as point probes and spherical probes with smaller diameters ($\leq 3\text{mm}$) are more difficult to use and require expertise, especially when measuring small-sized objects.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η επιστήμη της Γεωδασίας είναι άμεσα συνυφασμένη με την έννοια της ακρίβειας των μετρήσεων. Κάθε μέτρηση που πραγματοποιείται σε γεωδαιτικά πλαίσια πρέπει να συνοδεύεται από την αβεβαιότητα της. Διαφορετικά, δεν μπορεί να διεξαχθεί κάποιο ασφαλές συμπέρασμα για την αξιοπιστία της.

Ο κλάδος της Γεωδασίας, όπου η αβεβαιότητα των μετρήσεων έχει καθοριστικό ρόλο είναι η βιομηχανική γεωδασία. Οι εφαρμογές της βιομηχανικής γεωδασίας πραγματοποιούνται σε εσωτερικούς χώρους με συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες και αφορούν στη μέτρηση αντικειμένων διαφόρων μεγεθών είτε για την αποτύπωσή τους είτε για το έλεγχο τυχόν μικρομεταβολών τους. Τα όργανα που χρησιμοποιούνται στον τομέα της βιομηχανικής γεωδασίας για τις μετρήσεις αντικειμένων είναι οι μηχανές μέτρησης συντεταγμένων. Η πρώτη μηχανή μέτρησης συντεταγμένων κατασκευάστηκε τη δεκαετία του 1960 και ήταν σταθερή. Από τότε, οι μηχανές μέτρησης συντεταγμένων έχουν εξελιχθεί τεχνολογικά με την εμφάνιση διάφορων τύπων και μοντέλων που παρέχουν τη δυνατότητα μετρήσεων πολύ υψηλής ακρίβειας. Ωστόσο για την προσέγγιση των πολύ υψηλών ακριβειών μέτρησης, οι μηχανές αυτές υποβάλλονται πρώτα σε διαδικασίες βαθμονόμησης και διακρίβωσης.

Η μέγιστη τεχνολογική εξέλιξη των μηχανών μέτρησης συντεταγμένων είναι οι φορητές μηχανές τύπου αρθρωτού βραχίονα. Ο αρθρωτός βραχίονας FARO Edge Laser ScanArm είναι μια φορητή μηχανή μέτρησης συντεταγμένων ακρίβειας $\pm 0.029mm$, την οποία παραχώρησε το εργαστήριο γεωδασίας για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας είναι η διεξαγωγή συμπερασμάτων για τις διαδικασίες βαθμονόμησης και διακρίβωσης του αρθρωτού βραχίονα FARO Edge Laser ScanArm, μέσα από μετρήσεις που θα πραγματοποιηθούν σε διακριβωμένα πλακίδια με γνωστές διαστάσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Η ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΤΗΣ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ ΚΑΙ ΟΙ ΚΛΑΔΟΙ ΤΗΣ

1.1. Γενικά

Η γεωδαισία είναι η επιστήμη που αφορά κατά κύριο λόγο στον προσδιορισμό του σχήματος, του μεγέθους και του πεδίου βαρύτητας όλης της Γήινης επιφάνειας ή ορισμένων τμημάτων της, καθώς και τις μεταβολές τους στο χρόνο.

Για τον προσδιορισμό των παραπάνω παραμέτρων εκτελούνται μετρήσεις, υπολογισμοί και απεικονίσεις. Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται με χρήση του κατάλληλου γεωδαιτικού εξοπλισμού, ο οποίος συνεχώς εξελίσσεται και εκσυγχρονίζεται εξασφαλίζοντας αποτελέσματα μεγάλης ακρίβειας χωρίς την ανάγκη να δαπανάται πολύς χρόνος στο πεδίο.

Σήμερα και ανάλογα και με τις εκτάσεις γης που πρέπει να μετρηθούν επιλέγεται η χρήση σύγχρονων ψηφιακών οργάνων, όπως είναι οι ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί, οι ψηφιακοί χωροβάτες, οι δέκτες του δορυφορικού συστήματος εντοπισμού, οι σαρωτές laser, κ.ά. Η ακρίβεια των παραπάνω οργάνων, η δυνατότητά τους να καταγράφουν και να αποθηκεύουν αρχεία με μεγάλο όγκο μετρήσεων, καθώς επίσης και η άμεση σύνδεση που διαθέτουν με άλλα ψηφιακά μέσα (ηλεκτρονικός υπολογιστής) για άμεση επεξεργασία των μετρήσεων, τα καθιστά πλήρως ανταγωνιστικά έναντι των οπτικομηχανικών μέσων (θεοδόλιχα, χωροβάτες) που χρησιμοποιούνταν ευρέως στις γεωδαιτικές μετρήσεις παλιότερα.

Η εξέλιξη της τεχνολογίας έχει ενισχύσει σημαντικά την επιστήμη της γεωδαισίας, αφού όπως αναφέρθηκε και στην παραπάνω παράγραφο, διατίθενται πλέον εξοπλισμός για μετρήσεις πολύ υψηλής ακρίβειας. Η δυνατότητα μετρήσεων τόσο υψηλής ακρίβειας έχει ως αποτέλεσμα την εφαρμογή γεωδαιτικών μετρήσεων όχι μόνο για τη μελέτη της Γήινης επιφάνειας, αλλά και για τη μελέτη τεχνικών έργων, κατασκευών, βιομηχανικών προϊόντων κ.α.

Επομένως η επιστήμη της γεωδαισίας διαχωρίζεται σε κλάδους ανάλογα με το αντικείμενο που μελετάται κάθε φορά, καθώς επίσης και από το μετρητικό εξοπλισμό που χρησιμοποιείται. Οι κλάδοι της γεωδαισίας είναι οι εξής:

- Φυσική γεωδαισία
- Γεωδαιτική αστρονομία
- Διαστημική γεωδαισία
- Δορυφορική γεωδαισία
- Τοπογραφία
- Τεχνική γεωδαισία

Η φυσική γεωδαισία μελετά τις φυσικές ιδιότητες του πεδίου βαρύτητας της Γης και τις μεταβολές του.

Η γεωδαιτική αστρονομία προσδιορίζει διευθύνσεις στο χώρο από σημεία πάνω ή κοντά στη Φυσική Γήινη Επιφάνεια, χρησιμοποιώντας ουράνια σώματα ως στόχους.

Η διαστημική γεωδαισία χρησιμοποιεί ακτίνες laser για τη μέτρηση αποστάσεων από τη Γη προς σημεία της σελήνης, όπου υπάρχουν τοποθετημένοι ανακλαστήρες.

Η δορυφορική γεωδαισία με την ανάπτυξη των δορυφορικών συστημάτων εντοπισμού και τη χρήση των τεχνητών δορυφόρων σε επίγειες γεωδαιτικές εργασίες δίνει τη δυνατότητα μετρήσεων και υπολογισμών σε μεγάλες εκτάσεις γης.

Η τοπογραφία έχει ως αντικείμενο τη λεπτομερή απεικόνιση περιορισμένης έκτασης επιφάνειας της Γης, ακτίνας μέχρι 10km περίπου.

Η τεχνική γεωδαισία μελετά ποιες μέθοδοι και ποιος εξοπλισμός κρίνονται καταλληλότεροι για να δώσουν λύση σε ειδικές εφαρμογές συγκεκριμένης ακρίβειας. Τέτοιες εφαρμογές αφορούν κυρίως στον εντοπισμό μικρομετακινήσεων και παραμορφώσεων σημαντικών κατασκευών. Μέρος της τεχνικής γεωδαισίας αποτελεί η βιομηχανική γεωδαισία, η οποία θα αναλυθεί στο υποκεφάλαιο που ακολουθεί.

1.2. Βιομηχανική Γεωδαισία

1.2.1. Ορισμός

Η βιομηχανική γεωδαισία αποτελεί τον κλάδο της τεχνικής γεωδαισίας που έχει ως αντικείμενο τον έλεγχο της ορθής κατασκευής αλλά και τον προσδιορισμό των παραμορφώσεων λόγω χρήσης και λειτουργίας βιομηχανικών παραγώγων [Λάμπρου Ε. & Πανταζής Γ., 2010].

Οι μετρήσεις που απαιτούνται στη βιομηχανική γεωδαισία είναι υψηλής ακρίβειας και πραγματοποιούνται κυρίως σε εσωτερικούς χώρους.

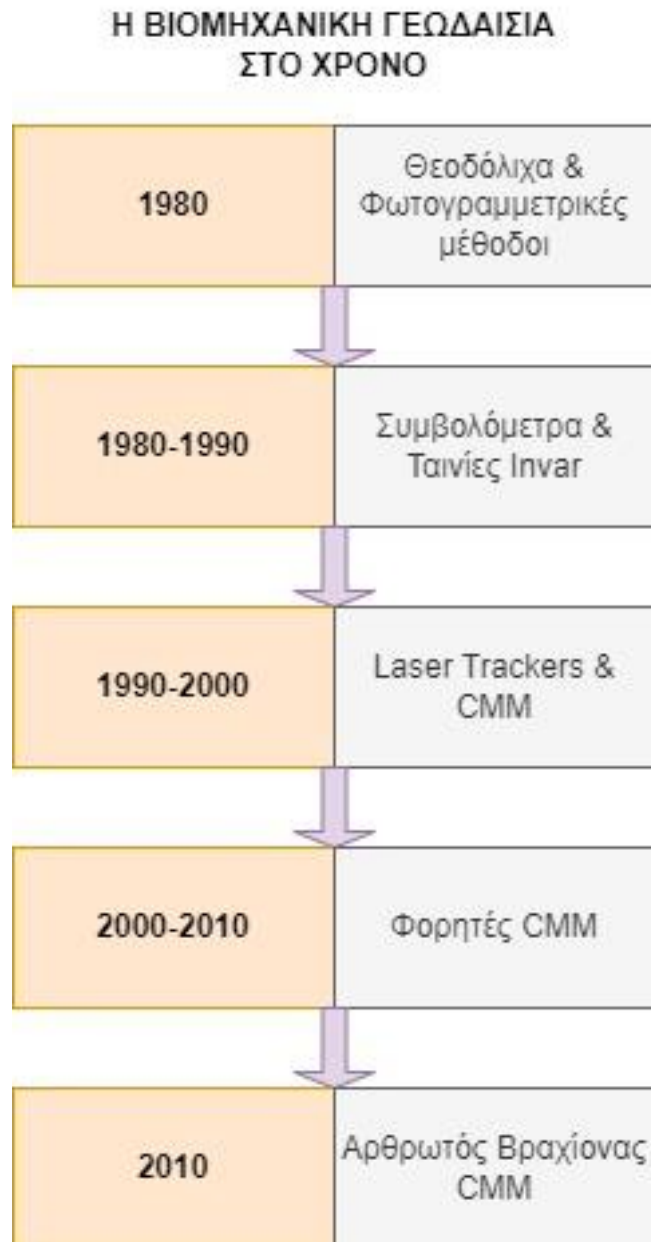
1.2.2. Ιστορική Αναδρομή

Ο κλάδος της βιομηχανικής γεωδαισίας εμφανίστηκε γύρω στο 1980. Τα όργανα που υπήρχαν εκείνη την περίοδο δεν μπορούσαν να προσδιορίσουν αποστάσεις με την υψηλή ακρίβεια που απαιτούνταν και έτσι πραγματοποιούνταν κυρίως μετρήσεις γωνιών με θεοδόλιχα και μετρούνταν μόνο τα απαραίτητα μήκη ώστε να μπορεί να δοθεί κλίμακα στο δίκτυο των μετρήσεων. Ακόμα, εκείνη την περίοδο, για την επίτευξη μετρήσεων υψηλής ακρίβειας εφαρμόζονταν φωτογραμμετρικές μέθοδοι. Πιο αναλυτικά, πραγματοποιώντας συνόρθωση κατά δέσμες, υπολογιζόταν η θέση και ο προσανατολισμός ορισμένων σημείων σε ένα καρτεσιανό τρισδιάστατο οριζοντιωμένο σύστημα συντεταγμένων. Έτσι προσδιορίζονταν οι τριδιάστατες συντεταγμένες και μπορούσε να γίνει εκτίμηση των αβεβαιοτήτων.

Τα συστήματα που περιγράφονται παραπάνω ήταν τα πρώτα που μπορούσαν να επιτύχουν μετρήσεις ικανοποιητικής ακρίβειας, ωστόσο απαιτούνταν πολύς χρόνος για την εφαρμογή τους και ήταν αρκετά δαπανηρά. Για τη μείωση του χρόνου και του κόστους των μετρήσεων βιομηχανικής γεωδαισίας άρχισαν να χρησιμοποιούνται κάποια πειραματικά συμβολόμετρα και ταινίες invar.

Η πραγματική άνθιση του κλάδου της βιομηχανικής γεωδαισίας σημειώθηκε κάποια χρόνια αργότερα με την ανάπτυξη των Laser Trackers και των Μηχανών Μέτρησης Συντεταγμένων (CMM) που παρείχαν τη

δυνατότητα μέτρησης αποστάσεων με πολύ μεγάλη ακρίβεια. Το πρώτο εμπορικό laser tracker, που διέθετε τέτοια τεχνολογία παραδόθηκε στο εμπόριο το 1991 από τη Leica και ονομαζόταν SMART 310. Το συγκεκριμένο όργανο μετρούσε απευθείας ένα σημείο καθορίζοντας μια γωνία και μία απόσταση μετρημένη με συμβολόμετρο σε έναν ανακλαστικό στόχο, ο οποίος τοποθετούνταν πάνω στο σημείο ενδιαφέροντος.



Σχήμα 1.1: Διάγραμμα ιστορικής αναδρομής βιομηχανικής γεωδαισίας

Το 2000 δημιουργήθηκαν οι πρώτες φορητές μηχανές μέτρησης συντεταγμένων. Μέχρι τότε οι μηχανές μέτρησης συντεταγμένων δεν είχαν τη δυνατότητα μετακίνησης αφού χιτίζονταν σε μια βάση από γρανίτη έτσι ώστε να παραμένουν σε ένα συγκεκριμένο μέρος, επάνω στο δάπεδο της βιομηχανίας.

Σήμερα, πάνω από 6000 καινούριες μηχανές μέτρησης συντεταγμένων παράγονται ετησίως και ως πιο καινοτόμο μοντέλο χαρακτηρίζεται ο φορητός αρθρωτός βραχίονας που προσφέρει πολύ μεγάλη ευελιξία και παρέχει τη δυνατότητα μετρήσεων σε δυσπρόσιτα σημεία.

Στο σχήμα 1.1 φαίνεται επιγραμματικά η εξέλιξη του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται στη βιομηχανική γεωδαισία ανά τα χρόνια.

1.2.3. Βασικά Χαρακτηριστικά Βιομηχανικής Γεωδαισίας

Σκοπός της βιομηχανικής γεωδαισίας είναι ο προσδιορισμός των τριδιάστατων συντεταγμένων ενός αντικειμένου έτσι ώστε να καθοριστεί το σχήμα και οι διαστάσεις του. Για τον υπολογισμό των συντεταγμένων χρησιμοποιείται ένα τοπικό αυθαίρετο σύστημα μεταφοράς, το οποίο μπορεί να μετασχηματιστεί και στο σύστημα αναφοράς του αντικειμένου, το οποίο μελετάται. Οι συντεταγμένες που προκύπτουν από τις μετρήσεις συγκρίνονται με τα πρότυπα του κατασκευαστή και έτσι εξετάζεται η ύπαρξη τυχόν μεταβολών ή παραμορφώσεων του αντικειμένου.

Η βιομηχανική γεωδαισία διαφέρει αρκετά συγκριτικά με τους υπόλοιπους κλάδους της γεωδαισίας τόσο ως προς το πεδίο εργασίας όσο και ως προς τις απαιτούμενες ακρίβειες και τις εφαρμογές της.

Πιο συγκεκριμένα, το πεδίο εργασίας είναι χαρακτηριστικά μικρότερο, από μερικές δεκάδες cm έως και μερικά m. Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται κυρίως σε κλειστούς βιομηχανικούς χώρους, όπου οι συνθήκες είναι συνήθως πιο αντίξοες λόγω της μικρής έκτασης του χώρου ή της παράλληλης εκτέλεσης άλλων βιομηχανικών εργασιών, γεγονός το οποίο μπορεί να δημιουργεί την ανάγκη εφαρμογής πιο εξειδικευμένων γεωδαιτικών μεθόδων.

Οι μετρήσεις βιομηχανικής γεωδαισίας πραγματοποιούνται ως επί το πλείστον σε κλειστούς χώρους, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, με

ελεγχόμενες συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας, έτσι ώστε να δοθούν αποτελέσματα υψηλής ακρίβειας. Η απαιτούμενη ακρίβεια στον προσδιορισμό συντεταγμένων είναι η υψηλότερη από όλους σχεδόν τους υπόλοιπους κλάδους της Γεωδαισίας, φθάνοντας έως και το εκατοστό του mm.

Οι μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των συντεταγμένων στη βιομηχανική γεωδαισία είναι α) η μέθοδος των πολικών συντεταγμένων και β) η μέθοδος της εμπροσθοτομίας.

1.2.4. Περιοχές Εφαρμογών

Η διαρκής εξέλιξη του εξοπλισμού και των μεθοδολογιών που χρησιμοποιεί η βιομηχανική γεωδαισία διευρύνει διαρκώς το φάσμα των εφαρμογών της.



Εικόνα 1.1: Εφαρμογή βιομηχανικής γεωδαισίας για την κατασκευή σκάφους (www.faro.com)

Ενδεικτικά, κάποιοι τομείς στους οποίους χρησιμοποιούνται ευρέως οι εφαρμογές της βιομηχανικής γεωδαισίας είναι:

- Αεροναυπηγική Τεχνολογία
- Διαστημική Τεχνολογία

- Ναυπηγική (εικόνα 1.1)
- Σιδηροδρομική
- Αυτοκινητοβιομηχανία (εικόνα 1.2)
- Πυρηνική Βιομηχανία
- Ρομποτική
- Χαλυβουργία
- Τηλεπικοινωνίες
- Μοντελισμός / Σχεδιασμός
- Μοριακοί επιταχυντές



Εικόνα 1.2: Εφαρμογή βιομηχανικής γεωδαισίας στην αυτοκινητοβιομηχανία (www.faro.com)

1.3. Αντικείμενο της Εργασίας

Βασικό αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας είναι ο έλεγχος και η βαθμονόμηση του αρθρωτού βραχίονα FARO Edge και FARO Laser ScanArm Edge, ένα όργανο που χρησιμοποιείται ευρέως σε εφαρμογές της βιομηχανικής γεωδαισίας και ανήκει στην κατηγορία των μηχανών μέτρησης συντεταγμένων.

Για το σκοπό αυτό χρειάζεται να μελετηθεί αρχικά ο τρόπος λειτουργίας των μηχανών μέτρησης συντεταγμένων και των παρελκόμενων τους και μετά να αναλυθεί λεπτομερώς ο εξοπλισμός που εξετάζεται στην παρούσα διπλωματική.

Στη συνέχεια χρειάζεται να διαχωριστούν οι έννοιες της βαθμονόμησης και της διακρίβωσης του αρθρωτού βραχίονα και των παρελκομένων του, που πολλές φορές συγχέονται και να ελεγχθεί σε ποιες συνθήκες τελικά επιτυγχάνονται αυτές οι δύο διαδικασίες.

Η βαθμονόμηση και η διακρίβωση του μετρητικού εξοπλισμού αποτελούν απαραίτητες ενέργειες, έτσι ώστε τα αποτελέσματα των μετρήσεων να βρίσκονται εντός της αβεβαιότητας του οργάνου που δίνει ο κατασκευαστής. Πρόκειται δηλαδή για διαδικασίες που εξασφαλίζουν μετρήσεις πολύ υψηλής ακρίβειας.

Για την ανάγκη της διπλωματικής εργασίας έχουν παραχωρηθεί από τη Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών του ΕΜΠ, πρότυπα βαθμονομημένα δοκίμια με γνωστές διαστάσεις. Πάνω στα συγκεκριμένα δοκίμια θα πραγματοποιηθούν μετρήσεις με το διακριβωμένο εξοπλισμό για να προκύψουν τελικά έπειτα από συνόρθωση οι διαστάσεις των πλακιδίων. Για να ελεγχθούν τα αποτελέσματα που θα προκύψουν από τις μετρήσεις με τον αρθρωτό βραχίονα, θα συγκριθούν με τις γνωστές διαστάσεις των δοκιμίων. Η παραπάνω σύγκριση θα συντελέσει στη διεξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την ορθότητα της διακρίβωσης του εξοπλισμού και σε προτάσεις για την επίτευξη καλύτερων αποτελεσμάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΜΗΧΑΝΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ (CMM)

2.1. Γενικά

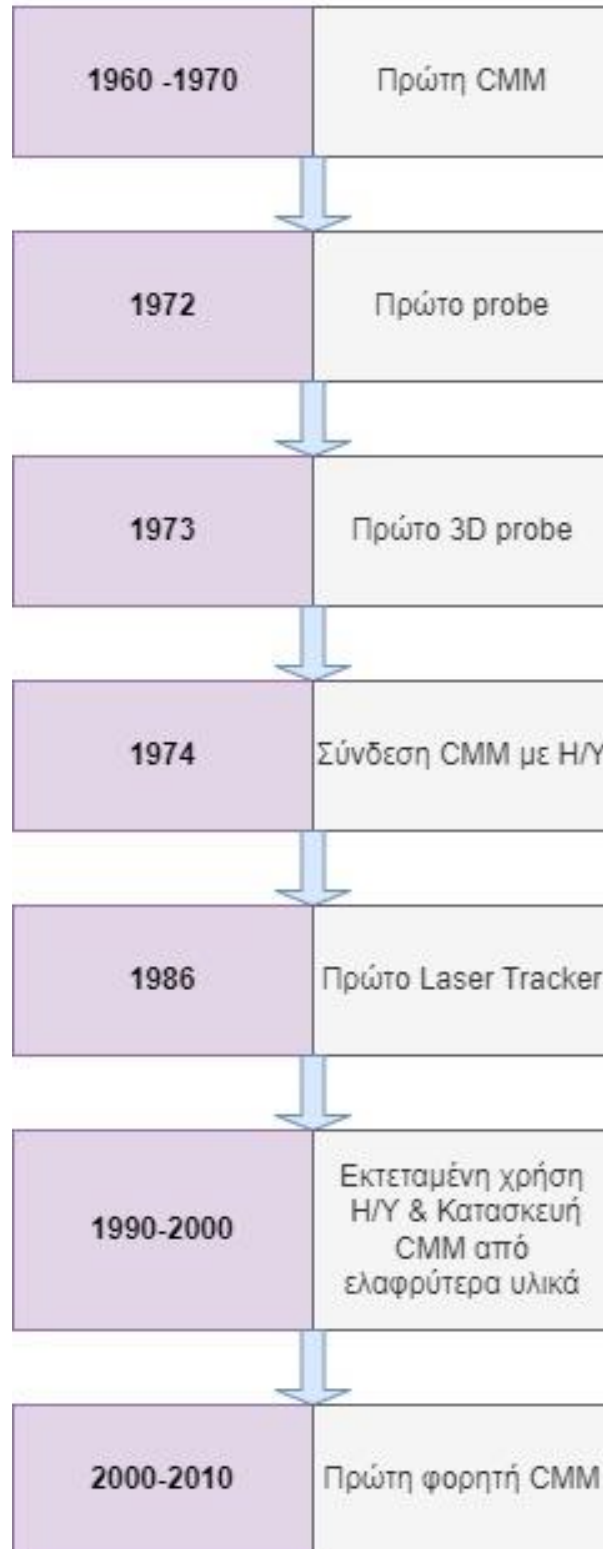
Για κάθε βιομηχανική διαδικασία είναι σημαντικός ο υπολογισμός ακριβείας των γεωμετρικών και φυσικών διαστάσεων των βιομηχανικών προϊόντων. Για τον υπολογισμό αυτό χρησιμοποιούνται δύο μέθοδοι. Η πρώτη συμβατική μέθοδος περιλαμβάνει τη χρήση εργαλείων και οπτικών συγκριτών (profile projector), τα οποία απαιτούν εξειδίκευση και συχνά παρουσιάζουν μεγάλες αβεβαιότητες. Η δεύτερη μέθοδος είναι η χρήση μιας μηχανής μέτρησης συντεταγμένων (Coordinate Measuring Machine).

Οι μηχανές μέτρησης συντεταγμένων, χάριν συντομίας CMM, παρέχουν τη δυνατότητα μέτρησης των διαστάσεων ενός αντικειμένου, δηλαδή του ύψους, του πλάτους και του βάθους του στους άξονες X, Y και Z. Ανάλογα και με το πόσο εξελιγμένο είναι το μοντέλο της CMM που χρησιμοποιείται, υπάρχει η δυνατότητα μέτρησης του ζητούμενου στόχου και η άμεση καταγραφή και αποθήκευση των μετρημένων δεδομένων.

Η μέθοδος μέτρησης διαστάσεων με CMM προτιμάται συγκριτικά με τη συμβατική μέθοδο, καθώς είναι ταχύτερη και ακριβέστερη. Παράλληλα, συμβάλλει στη μείωση των σφαλμάτων που μπορεί να προκληθούν κατά τη διάρκεια της μετρητικής διαδικασίας.

Μια CMM έχει συνήθως δύο τρόπους λήψης μετρήσεων. Ο πρώτος τρόπος είναι με την επαφή της CMM απευθείας πάνω σε σημεία του μετρούμενου αντικειμένου, με τη χρήση των αντίστοιχων παρελκομένων (touch probes), ενώ ο δεύτερος τρόπος μετρήσεων είναι αυτός κατά τον οποίον δεν υπάρχει επαφή μεταξύ της CMM και του μετρούμενου αντικειμένου, αλλά λαμβάνονται μετρήσεις από απόσταση συνήθως με τη χρήση κάμερας ή ακτινών laser.

**ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ
ΜΕΤΡΗΣΗΣ
ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ
(CMM)**



Σχήμα 2.1 : Διάγραμμα εξέλιξης των μηχανών μέτρησης συντεταγμένων

Η πρώτη μηχανή μέτρησης συντεταγμένων αποτελούνταν από δύο άξονες και κατασκευάστηκε τη δεκαετία του 1960 από τη βρετανική εταιρεία Ferranti με σκοπό τη μέτρηση της γεωμετρίας μικρών στρατιωτικών εξαρτημάτων.

Υπήρχαν αντίστοιχες τριαξονικές μηχανές μέτρησης συντεταγμένων ήδη από τη δεκαετία του 1940, οι οποίες ονομάζονταν γενικές μετρητικές μηχανές (Universal Measuring Machines). Το πρόβλημα με τις συγκεκριμένες μηχανές ωστόσο ήταν ότι λειτουργούσαν μόνο χειροκίνητα, ενώ για τις μετρήσεις χρησιμοποιούνταν η μικρομετρική κλίμακα του Βερνιέρου (Vernier scale).

Η πρώτη τριαξονική CMM δημιουργήθηκε κι αυτή τη δεκαετία του 1960, λίγο αργότερα από την αρχική σύλληψη της τεχνολογίας με το μοντέλο CMM των δύο αξόνων. Δεν έχει διευκρινιστεί ποια από τις δύο εταιρείες Ferranti (Βρετανία) και DEA (Ιταλία) σχεδίασε και κατασκεύασε το πρώτο τριαξονικό μοντέλο CMM.

Το 1972, αποτέλεσε το έτος που σημειώθηκε επανάσταση στην τεχνολογία των CMM, καθώς η γερμανική εταιρεία Zeiss παρουσίασε το πρώτο της μηχανικό probe. Τα probes (εικόνα 2.1) είναι εξαρτήματα, τα οποία λειτουργούν σαν αισθητήρες αφής. Τοποθετούνται επάνω στο μετρούμενο αντικείμενο και λαμβάνουν διαδοχικές μετρήσεις. Ουσιαστικά, η βασική τους τεχνολογία είναι η μετατροπή των φυσικών μετρήσεων σε ηλεκτρικά σήματα μέσω των πολυάριθμων μετρητικών συστημάτων που εντοπίζονται στη δομή ενός probe. Τα μηχανικά probes τοποθετούνταν σε ειδικές θήκες έτσι ώστε να παραμένουν σταθερά και να χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση συγκεκριμένων σημείων των αντικειμένων. Έτσι πραγματοποιούνταν εύκολα οι μετρήσεις σε επίπεδες, κυλινδρικές και κυκλικές επιφάνειες. Χάρη σε αυτήν την τεχνολογία, οι μηχανές των αεροσκάφων Concorde κατάφεραν να πληρούν τις προϋποθέσεις που έπρεπε.

Ένα χρόνο αργότερα, το 1973, πάλι η εταιρεία Zeiss, παρουσίασε την τεχνολογία του τριδιάστατου μετρητικού probe, στην οποία μετά προστέθηκε και η μηχανοκίνηση. Αυτό ουσιαστικά συνέβαλε στο να μη χρειάζεται η αλλαγή και η προσαρμογή των probes από τον χρηστή κάθε φορά που το σχήμα του μετρούμενου αντικειμένου άλλαζε. Η τεχνολογία

αυτή οδήγησε στη δημιουργία και άλλων μοντέλων probes που διευκόλυναν και έδωσαν λύσεις στη μέτρηση πολύπλοκων αντικειμένων.

Το 1974, η γερμανική εταιρεία Wild Leitz G.m.b.H. κατασκεύασε την πρώτη CMM που μπορούσε να συνδέεται με ηλεκτρονικό υπολογιστή.



Εικόνα 2.1 : Σταθερή CMM Zenith 3 CNC της εταιρείας Aberlink (αριστερά) (<https://fts.gr>) & probes της εταιρείας Renishaw (δεξιά) (<https://willrich.com>)

Μερικά χρόνια αργότερα, το 1986, αναπτύχθηκε από τον Kam Lau το laser tracker, ένα όργανο που επανακαθόρισε την τεχνολογία του εντοπισμού ενός μετρούμενου σημείου.

Τη δεκαετία του 1990 αναπτύχθηκε συγκεκριμένο λογισμικό για την εξυπηρέτηση των αναγκών των CMM, ενώ η συνεχώς αυξανόμενη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, αλλά και κατά την επεξεργασία τους, συντέλεσε σε σημαντική αύξηση της ακρίβειας των αποτελεσμάτων. Οι υπολογιστές έδωσαν τη δυνατότητα στους χρήστες των CMM να μετακινούν τα probes σύμφωνα με τα δεδομένα που θέλουν να αντλήσουν, ενώ παλιότερα τα probes έπρεπε να βρίσκονται σταθερά σε μία θέση. Την ίδια περίοδο, σημειώθηκαν και αλλαγές στα υλικά κατασκευής των CMM, με αποτέλεσμα να μειωθεί σημαντικά το βάρος τους και να γίνουν πολύ πιο εύκολα και άνετα στη χρήση τους.

Τη δεκαετία του 2000 δημιουργήθηκαν οι πρώτες φορητές CMM, γεγονός που απλοποίησε σημαντικά τη διαδικασία των μετρήσεων και έδωσε τη δυνατότητα μέτρησης δυσπρόσιτων σημείων.

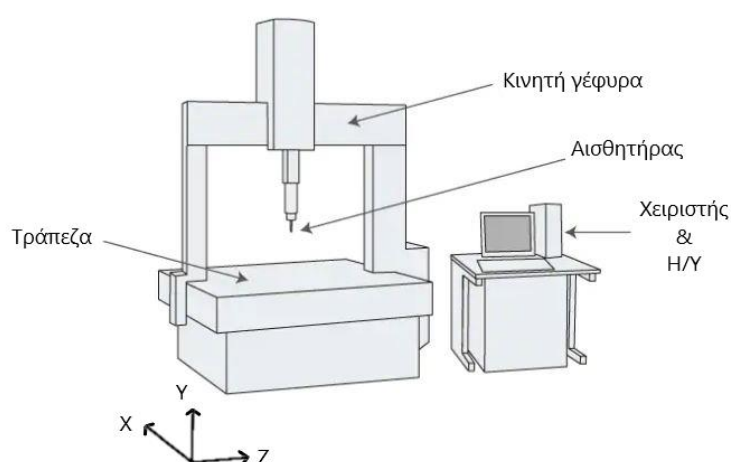
Στο σχήμα 2.1 φαίνεται επιγραμματικά η τεχνολογική εξέλιξη των CMM από το 1960 έως και σήμερα.

2.2. Τύποι μετρητικών μηχανών CMM

Οι δύο βασικοί τύποι μηχανών CMM είναι οι σταθερές και οι φορητές. Οι φορητές μηχανές αποτελούν την εξέλιξη των σταθερών και η δυνατότητα μετακίνησης τους διευκολύνει τη διαδικασία των μετρήσεων και δίνει πρόσβαση σε σημεία, τα οποία δε θα μπορούσαν να μετρηθούν με τη χρήση μιας σταθερής μηχανής. Ωστόσο αξίζει να σημειωθεί ότι οι σταθερές μηχανές λόγω της μόνιμης εγκατάστασής τους σε σταθερό και ελεγχόμενο περιβάλλον, παρέχουν μεγαλύτερη ακρίβεια μετρήσεων συγκριτικά με τις φορητές.

2.2.1. Σταθερές μηχανές CMM

Οι σταθερές μηχανές CMM αποτελούν βαριές κατασκευές, οι οποίες βρίσκονται μόνιμα τοποθετημένες στο δάπεδο ελεγχόμενων βιομηχανικών χώρων.



Σχήμα 2.2 : Μορφή σταθερής CMM τύπου κινητής γέφυρας (<https://www.keyence.co.in>)

Στους συγκεκριμένους χώρους επικρατούν συγκεκριμένες συνθήκες (θερμοκρασία, υγρασία, κ.λπ), έτσι ώστε να προστατεύονται οι μηχανές CMM από εξωτερικούς παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την ορθή λειτουργία τους. Γενικά, μια σταθερή μηχανή CMM αποτελείται από τρεις άξονες X, Y, και Z, ενώ τα βασικά της μέλη είναι μια τράπεζα από γρανίτη πάνω στην οποία τοποθετείται το προς μέτρηση αντικείμενο, ένας χειριστής, ένας H/Y για τη συλλογή και ανάλυση των δεδομένων, καθώς επίσης και το σύστημα του αισθητήρα, από το οποίο λαμβάνεται η μέτρηση (σχήμα 2.2). Ο αισθητήρας που πραγματοποιεί τη μέτρηση είναι τοποθετημένος στον άξονα Z του οργάνου.

Τα υπόλοιπα μέλη από τα οποία μπορεί να αποτελείται μια μηχανή μέτρησης εξαρτώνται από τον τύπο της. Υπάρχουν τέσσερις βασικοί τύποι σταθερών μηχανών μέτρησης CMM:

- ο τύπος της γέφυρας CMM (bridge) (σχήμα 2.2). Αποτελεί τον πιο συνηθισμένο τύπο σταθερής CMM και το βασικό της χαρακτηριστικό είναι η οριζόντια γέφυρα που μπορεί να κινείται κατά τον άξονα X του οργάνου. Επάνω στη γέφυρα βρίσκεται μια κάθετη δοκός, με τη βοήθεια της οποίας πραγματοποιούνται οι κινήσεις στους άξονες Y και Z. Στο κάτω μέρος της δοκού βρίσκεται ο αισθητήρας από τον οποίον λαμβάνονται οι μετρήσεις. Ο συγκεκριμένος τύπος CMM παρέχει μια μετρίου βαθμού ευελιξία και επιλέγεται όταν απαιτούνται μετρήσεις μεγάλης ακρίβειας σε μετρίου μεγέθους αντικείμενα.
- ο τύπος της στήλης CMM (cantilever) (εικόνα 2.2), στον οποίον αντί για οριζόντια γέφυρα συναντάται μια στήλη κινούμενη κατά τον άξονα των X. Επάνω στη στήλη είναι τοποθετημένη η κάθετη δοκός με τον αισθητήρα που πραγματοποιεί τις μετρήσεις, όπως ακριβώς και στον τύπο CMM της κινητής γέφυρας. Ο τύπος CMM της κινητής στήλης δεν είναι ιδιαίτερα ευέλικτος και χρησιμοποιείται για μετρήσεις υψηλής ακρίβειας σε μικρού μεγέθους αντικείμενα.
- ο τύπος του οριζόντιου βραχίονα CMM (horizontal arm) (εικόνα 2.3), ο οποίος αποτελείται από μια στήλη που κινείται κατά τον άξονα X και έναν οριζόντιο βραχίονα ο οποίος είναι τοποθετημένος επάνω στη στήλη παράλληλα ως προς τον άξονα των X. Στο βραχίονα βρίσκεται τοποθετημένος και ο αισθητήρας για τις μετρήσεις. Λόγω του σχεδιασμού του, ο συγκεκριμένος

τύπος CMM παρέχει μεγάλη ευελιξία αλλά δίνει αποτελέσματα μικρότερης ακρίβειας συγκριτικά με τους υπόλοιπους τύπους σταθερών CMM και για αυτό χρησιμοποιείται για μετρήσεις χαμηλότερης ακρίβειας σε μεγάλου μεγέθους αντικείμενα.

- Ο τύπος της γερανογέφυρας CMM (gantry) (εικόνα 2.4), ο οποίος έχει παρόμοιο σχεδιασμό και λειτουργία με τον τύπο της γέφυρας, αλλά είναι κατασκευασμένος σε πολύ μεγαλύτερες διαστάσεις. Μια χαρακτηριστική διαφορά του συγκεκριμένου τύπου CMM είναι ότι δε διαθέτει την τράπεζα από γρανίτη που διαθέτουν όλες οι υπόλοιπες σταθερές CMM, αλλά σε αυτή την περίπτωση τα προς μέτρηση αντικείμενα τοποθετούνται στο δάπεδο. Ο συγκεκριμένος τύπος CMM παρέχει μια μετρίου βαθμού ευελιξία και επιλέγεται όταν απαιτούνται μετρήσεις μεγάλης ακρίβειας σε αντικείμενα πολύ μεγάλου μεγέθους.



Εικόνα 2.2 : Τύπος στήλης CMM (<https://gaugehow.com>)



Εικόνα 2.3 : Τύπος οριζόντιου βραχίονα CMM (https://gaugehow.com)



Εικόνα 2.4 : Τύπος γερανογέφυρας CMM (https://gaugehow.com)

2.2.2. Φορητές μηχανές CMM

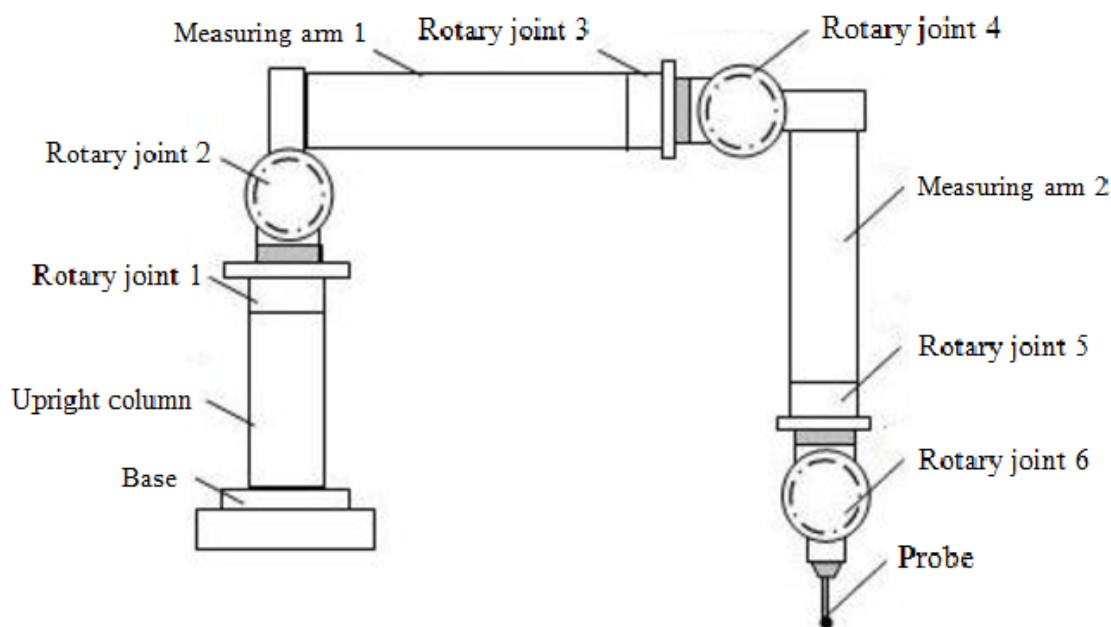
Οι φορητές μηχανές CMM αποτελούν την εξέλιξη των σταθερών μηχανών CMM και έχουν φέρει την επανάσταση στον τρόπο με τον οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί η επιστήμη της μετρολογίας σε κατασκευαστικές και βιομηχανικές εφαρμογές. Η φορητότητα αυτών των μηχανών δίνει τη δυνατότητα της μετακίνησης τους και της πραγματοποίησης μετρήσεων απευθείας σε οποιαδήποτε εργοστασιακή μονάδα.

Βασικό τεχνικό χαρακτηριστικό των φορητών μηχανών μέτρησης συντεταγμένων είναι ο αρθρωτός τους βραχίονας (εικόνα 2.5). Το σύστημα του αρθρωτού βραχίονα αποτελείται από τρία στελέχη και μιμείται ως ένα βαθμό τον τρόπο που κινείται το ανθρώπινο χέρι με τις αρθρώσεις του. Ωστόσο, ο αρθρωτός βραχίονας δίνει τη δυνατότητα μεγαλύτερης ευλυγισίας και περιστροφής γύρω από τις αρθρώσεις του συγκριτικά με αυτές του ανθρώπινου χεριού. Οι αρθρώσεις του βραχίονα είναι κατασκευασμένες έτσι ώστε να διασφαλίζεται η περιστροφή 360° γύρω από τον άξονά τους. Για την ορθή του λειτουργία, ο βραχίονας πρέπει να τοποθετείται σε σταθερή βάση, όπως κάποιο βάθρο ή ένας βιομηχανικός τρίποδας. Ο αισθητήρας, με τη βοήθεια του οποίου λαμβάνονται οι μετρήσεις εντοπίζεται στην άκρη του τρίτου στελέχους του βραχίονα. Ανάλογα με το είδος του αισθητήρα, ο βραχίονας παρέχει τη δυνατότητα λήψης μετρήσεων είτε εξ επαφής είτε εξ αποστάσεως. Πιο συγκεκριμένα, για μετρήσεις εξ επαφής, θα πρέπει στη θέση του αισθητήρα να τοποθετηθεί μια κεφαλή σημειακών μετρήσεων (π.χ. ακίδα επαφής), ενώ για μετρήσεις εξ αποστάσεως θα επιλεγθεί η κεφαλή σάρωσης laser (εικόνα 2.5).

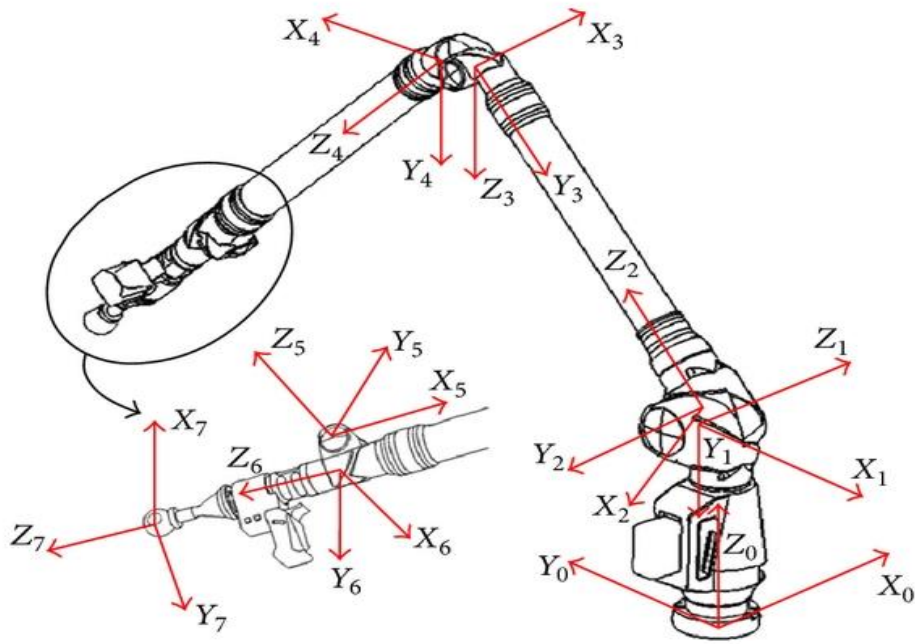


Εικόνα 2.5 : Φορητή μηχανή τύπου αρθρωτού βραχίονα (αριστερά) (<https://www.iglaser.co.za>) & Κεφαλή σάρωσης laser (δεξιά) (<https://www.faro.com>)

Για τη λειτουργία του αρθρωτού βραχίονα χρειάζεται ένας χειριστής, ο οποίος είτε μετακινεί την κεφαλή σημειακών μετρήσεων πάνω στα σημεία που πρέπει μετρηθούν είτε σαρώνει τις επιφάνειες ενός αντικειμένου με την κεφαλή σάρωσης laser. Στη συνέχεια μέσω ενός Η/Υ και με τη βοήθεια ενός λογισμικού γίνεται η διαχείριση των δεδομένων και αποδίδεται η θέση του μετρούμενου σημείου στο τριδιάστατο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων. Τα δεδομένα θέσης συλλέγονται από τους κωδικοποιητές που βρίσκονται στις αρθρώσεις του βραχίονα. Πρόκειται για γωνιακούς κωδικοποιητές υψηλής ακριβείας που υπολογίζουν την απόλυτη γωνία, την οποία σχηματίζουν μεταξύ τους οι άξονες του βραχίονα. Οι φορητές CMM διαθέτουν 6 ή 7 άξονες. Ο έβδομος άξονας εντοπίζεται στον αισθητήρα μετρήσεων και ουσιαστικά του δίνει τη δυνατότητα της περιστροφής. Οι περισσότερες μηχανές που έχουν 7 άξονες διαθέτουν και ένα ειδικό χερούλι, το οποίο μπορεί να προσαρμόζεται στον έβδομο άξονα και να διευκολύνει την περιστροφή. Γενικά, οι βραχίονες 6 αξόνων (σχήμα 2.3) είναι πιο κατάλληλοι για εξ επαφής μετρήσεις με τη βοήθεια του αισθητήρα, ενώ τα συστήματα 7 αξόνων (σχήμα 2.4) προσφέρουν μεγαλύτερη κινητικότητα σε βραχίονες που διαθέτουν και χρησιμοποιούν κεφαλή σάρωσης laser.

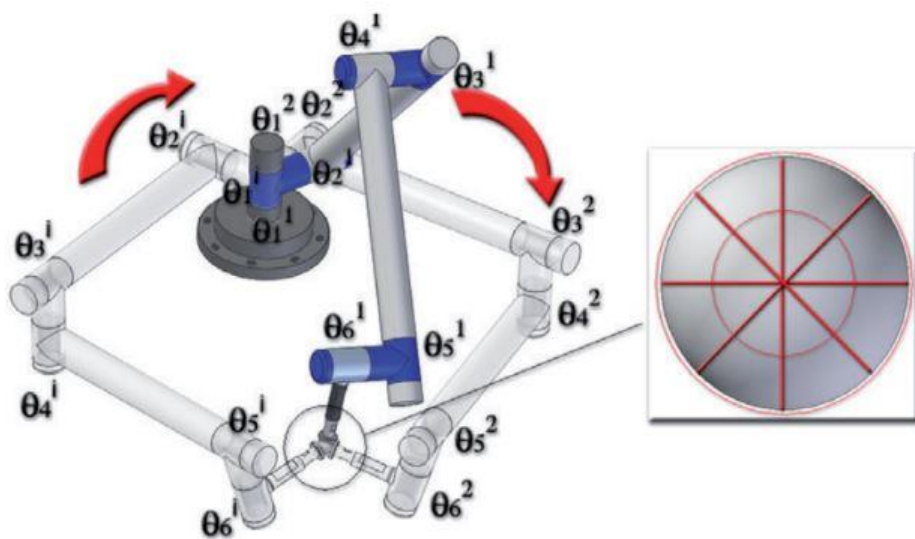


Σχήμα 2.3 : Αρθρωτός βραχίονας με 6 άξονες (www.researchgate.net)



Σχήμα 2.4 : Αρθρωτός βραχίονας με 7 άξονες και προσαρμοσμένο χερούλι στον έβδομο άξονα (www.researchgate.net)

Οι γωνίες που σχηματίζουν οι αρθρώσεις του βραχίονα, καθώς και η περιστροφή των στελεχών του, καθορίζουν τους βαθμούς ελευθερίας του. Επομένως, ένας φορητός βραχίονας με 6 άξονες έχει έξι βαθμούς



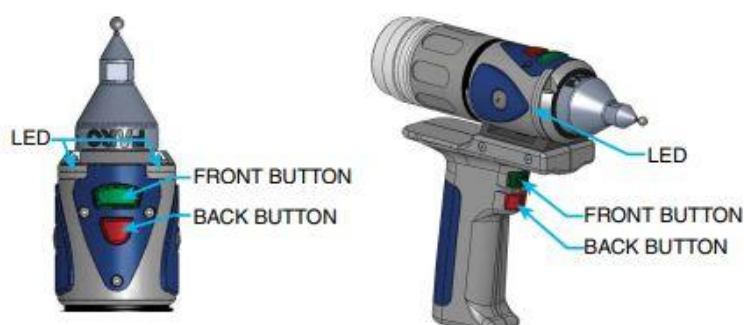
Σχήμα 2.5: Οι έξι βαθμοί ελευθερίας ενός βραχίονα έξι αξόνων (Santolaria J. & Aguilar J., 2010)

ελευθερίας (σχήμα 2.5), ενώ ένα σύστημα 7 αξόνων έχει επτά βαθμούς ελευθερίας.

Οι φορητές μηχανές CMM αποτελούν το βασικό αντικείμενο της ΔΕ, η οποία εξετάζει τον έλεγχο και τη βαθμονόμηση του αρθρωτού βραχίονα FARO Edge and FARO Laser ScanArm Edge.

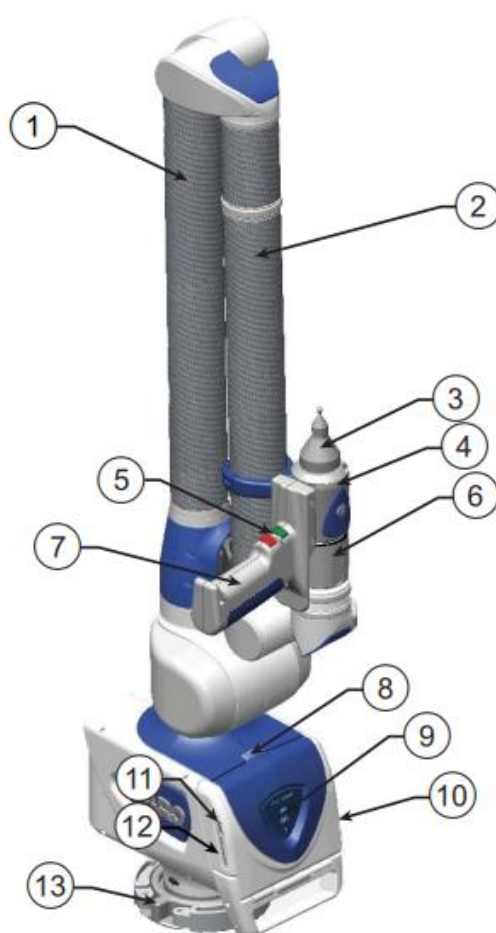
2.2.2.1. Αρθρωτός βραχίονας FARO Edge and FARO Laser ScanArm Edge

Ο FARO Edge and FARO Laser ScanArm Edge είναι ένας αρθρωτός βραχίονας 7 αξόνων. Τα τμήματα του Edge φαίνονται αναλυτικά στα σχήματα 15 & 16. Σε κάθε άρθρωση του εντοπίζεται ένας περιστρεφόμενος οπτικός κωδικοποιητής. Τα σήματα που λαμβάνουν οι κωδικοποιητές κατά τη διάρκεια των μετρήσεων επεξεργάζονται και τα δεδομένα θέσης αποστέλλονται σε έναν Η/Υ, που συνδέεται μέσω κάποιου καλωδίου ή ασύρματα με το βραχίονα. Το Edge δε διατηρεί στη μνήμη του μετρητικά δεδομένα οποιουδήποτε τύπου. Τα μόνα δυναμικά δεδομένα, τα οποία έχει τη δυνατότητα να αποθηκεύει είναι κάποιες ρυθμίσεις που σχετίζονται άμεσα με τη λειτουργία του βραχίονα, όπως είναι κάποια δεδομένα βαθμονόμησης, οι ρυθμίσεις σύνδεσης με τον Η/Υ, η θέση XYZ του αισθητήρα μέτρησης, κ.λπ. Η μονάδα, στην οποία τοποθετείται ο αισθητήρας μέτρησης βρίσκεται στο πιο μακρινό σημείο από τη βάση του βραχίονα και έχει τη δυνατότητα περιστροφής, ενώ διαθέτει δύο κουμπιά ελέγχου (πράσινου και κόκκινου χρώματος) καθώς επίσης και δύο κυκλικούς LED δείκτες που παρέχουν οπτική ενημέρωση στο χρήστη (εικόνα 2.6). Ακόμα, στη συγκεκριμένη μονάδα του βραχίονα, πέρα από τους διάφορους αισθητήρες μέτρησης, μπορεί να τοποθετηθεί και ένα ειδικό χερούλι (7-axis handle), για τη διευκόλυνση της περιστροφής του.



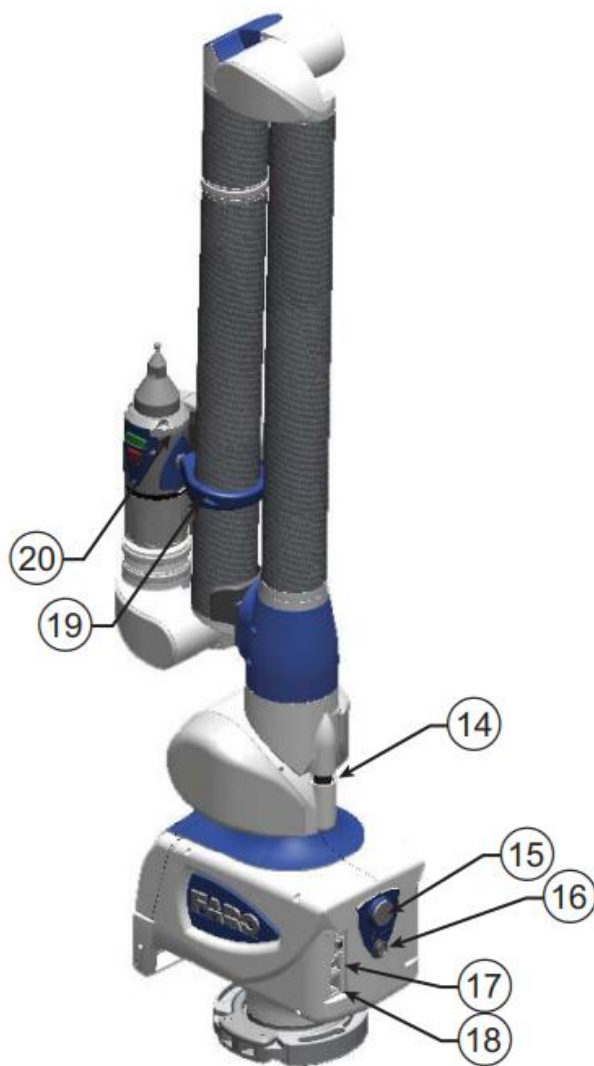
Εικόνα 2.6 : Τα κουμπιά και οι δείκτες LED επάνω στη λαβή του βραχίονα (αριστερά) και επάνω στο αποσπώμενο χερούλι (δεξιά) (<https://www.faro.com>)

Το πράσινο κουμπί (front button) χρησιμοποιείται για τη συλλογή παρατηρήσεων και την αποδοχή μιας μέτρησης, ενώ το κόκκινο κουμπί (back button) χρησιμοποιείται είτε για την καταγραφή της βαθμονόμησης του αισθητήρα μέτρησης είτε για την απόρριψη μιας μέτρησης. Όταν πιέζεται ένα από τα δύο αυτά κουμπιά, τότε ανάβει ο δείκτης LED (πράσινο φως για αποδεκτή μέτρηση και κόκκινο φως όταν υπάρχει κάποιο σφάλμα και δεν επιτρέπεται η πραγματοποίηση μιας μέτρησης) και παράλληλα παραγέται ήχος από τον συνδεδεμένο Η/Υ ή από την αναδιπλωμένη οθόνη αφής του βραχίονα.



- | | |
|-----------------------|-------------------------------|
| ① Σωλήνας 1 | ⑧ Μαγνητικό κουμπί |
| ② Σωλήνας 2 | ⑨ Ένδειξη κατάστασης βραχίονα |
| ③ Αισθητήρας μέτρησης | ⑩ Αναδιπλώμενη οθόνη αφής |
| ④ Δείκτες LED | ⑪ Θύρα USB |
| ⑤ Κουμπιά ελέγχου | ⑫ Θύρα κάρτας SD RAM |
| ⑥ Λαβή | ⑬ Κολάρο βάσης |
| ⑦ Αποσπώμενη λαβή | |

Εικόνα 2.7 : Περιγραφή των τμημάτων του εμπρόσθιου μέρους του βραχίονα Edge (<https://www.faro.com>)



- | | |
|-----------------------------|----------------------------|
| ⑭ Προφυλακτήρας | ⑱ Θύρα Ethernet |
| ⑮ Διακόπτης On/Off | ⑲ Λαβή μαγνητικού κουμπιού |
| ⑯ Θύρα τροφοδοσίας ρεύματος | ⑳ Δείκτης LED |
| ⑰ Θύρα USB | |

Εικόνα 2.8 : Περιγραφή των τμημάτων του οπίσθιου μέρους του βραχίονα Edge (<https://www.faro.com>)

Ο βραχίονας Edge διαθέτει δύο ειδών αισθητήρες μέτρησης για μετρήσεις εξ επαφής, καθώς επίσης και έναν αισθητήρα laser για μετρήσεις εξ αποστάσεως. Τα δύο είδη αισθητήρων μέτρησης εξ επαφής είναι οι σφαιρικοί (ball probes) και οι σημειακοί αισθητήρες (point probes). Τόσο οι σφαιρικοί όσο και οι σημειακοί αισθητήρες κατασκευάζονται σε διάφορα μεγέθη και το είδος και το μέγεθος τους επιλέγεται ανάλογα με τις ανάγκες των μετρήσεων. Το σημείο μέτρησης

των σφαιρικών αισθητήρων είναι το κέντρο της σφαίρας. Ουσιαστικά, η διακριβώση των σφαιρικών αισθητήρων πραγματοποιείται για να προσδιοριστεί το μέγεθος της ακτίνας τους και κατά συνέπεια το κέντρο τους. Γενικά, οι μετρήσεις με σφαιρικούς αισθητήρες είναι πιο ακριβείς από αυτές με τους σημειακούς αισθητήρες. Οι σημειακοί αισθητήρες επιλέγονται μόνο στην περίπτωση που το μέγεθος της διάμετρου του σφαιρικού αισθητήρα δεν επιτρέπει τη διακριβώση του. Η χρήση σημειακών αισθητήρων επιδρά αρνητικά στη μετρούμενη ακρίβεια. Το μέγεθος της επίδρασης εξαρτάται από το πλάτος του σημειακού αισθητήρα καθώς επίσης και από την τοποθέτηση του επάνω στο μετρούμενο αντικείμενο. Ο χειρισμός ενός σημειακού αισθητήρα είναι χαρακτηριστικά δυσκολότερος και απαιτεί προσοχή και εμπειρία από το χρήστη.

Ακόμα το Edge παρέχει τη δυνατότητα χρήσης ενός ειδικού αισθητήρα (i-Probe), ο οποίος αφού εφαρμοστεί στο βραχίονα μπορεί αυτόματα να ενημερώνει το λογισμικό για την ακριβή διάμετρο του, ενώ επίσης μπορεί να παρακολουθεί τη θερμοκρασία του και να την ισορροπεί στις ιδανικότερες τιμές για την πραγματοποίηση των μετρήσεων.

Ο αισθητήρας laser του Edge (εικόνα 2.9) συλλέγει σημεία με τη χρήση της τεχνολογίας laser και μιας κάμερας, χωρίς να υπάρχει επαφή με το μετρούμενο αντικείμενο. Αρχικά το laser προβάλλεται σαν μια γραμμή κόκκινου χρώματος πάνω στο αντικείμενο, έπειτα η κάμερα φωτογραφίζει το σχήμα και τη θέση της γραμμής και στη συνέχεια ένα πλήθος σημείων αποθηκεύεται στον Η/Υ που συνδέεται με το βραχίονα. Αυτή η διαδικασία πραγματοποιείται πολλές φορές εντός ενός δευτερολέπτου, έτσι ώστε να μετρηθούν γρήγορα κυρτές επιφάνειες ή επιφάνειες που δεν μπορούν να αποδοθούν με τη χρήση του συμβατικού σφαιρικού αισθητήρα. Φυσικά, όπως οι σφαιρικοί αισθητήρες, έτσι και ο αισθητήρας laser πριν αρχισεί να συλλέγει μετρήσεις πρέπει πρώτα να βαθμονομηθεί.



Εικόνα 2.9 : Αισθητήρας Laser του βραχίονα FARO Edge (<https://www.faro.com>)

2.3. Μηχανές CMM σε βιομηχανικές εφαρμογές

Οι μηχανές CMM χρησιμοποιούνται στις κατασκευαστικές διαδικασίες, καθώς επίσης και στις διαδικασίες ποιοτικού ελέγχου που πραγματοποιούνται σε διάφορες βιομηχανίες. Οι CMM στις βιομηχανικές εφαρμογές χρησιμοποιούνται για να μετρώνται οι διαστάσεις και τα διάφορα γεωμετρικά χαρακτηριστικά ορισμένων αντικειμένων ή εξαρτημάτων, έτσι ώστε να ελέγχεται και να εξασφαλίζεται η ποιότητα τους. Η παραγωγή προϊόντων υψηλής ακρίβειας, καθιστά ανταγωνιστική την εταιρεία παραγωγής, εφόσον μειώνονται τα κόστη συντήρησης και επιδιόρθωσης των προϊόντων που άλλοτε επιβάρυναν τον καταναλωτή. Βέβαια, οι CMM χρησιμοποιούνται και για τη μέτρηση εξαρτημάτων μετά την παραγωγική διαδικασία έτσι ώστε να διερευνηθεί και να βελτιωθεί η παραγωγική διαδικασία αυτή καθ' αυτή. Μια τέτοια βελτίωση μπορεί να αυξήσει το κέρδος της εταιρείας παραγωγής, καθώς η παραγωγή θα πραγματοποιείται με χαμηλότερο κόστος, υψηλότερη ταχύτητα και φυσικά υψηλότερη ποιότητα. Ακόμα μια εφαρμογή, στην οποία χρησιμοποιούνται ευρέως τα CMM είναι η αντίστροφη μηχανική, δηλαδή η μέτρηση ενός αντικειμένου για το οποίο δεν υπάρχουν επαρκείς κατασκευαστικές γνώσεις, έτσι ώστε να αποτυπωθεί σε σχεδιαστικό περιβάλλον, να εξαχθούν σχεδιαστικές πληροφορίες και να υπάρξει η δυνατότητα κατασκευής του.

Το κέρδος, η ποιότητα και η ευελιξία που παρέχει η χρήση των μηχανών CMM στην παραγωγική διαδικασία είναι οι βασικοί παραγοντές που πλέον χρησιμοποιούνται σε πληθώρα βιομηχανικών εφαρμογών. Κάποιες βιομηχανίες, στις οποίες βρίσκουν εφαρμογή οι CMM είναι οι:

- Αυτοκινητοβιομηχανία, όπου οι CMM χρησιμοποιούνται για ποιοτικό έλεγχο ορισμένων τμημάτων των αυτοκινήτων, όπως είναι τα εξαρτήματα της μηχανής, η επιφάνεια του αμαξώματος και κάποια εσωτερικά στοιχεία του αυτοκινήτου (εικόνα 2.10).
- Αεροναυπηγική, για τη μέτρηση των πολύπλοκων μερών του αεροσκάφους, όπως είναι οι λεπίδες της τουρμπίνας, τμήματα του περιβλήματος και κάποια άλλα κατασκευαστικά στοιχεία. Η υψηλή ακρίβεια μετρήσεων που παρέχουν οι CMM είναι απαραίτητοι παράγοντες για τη διατήρηση των προδιαγραφών ασφαλείας και την εξασφάλιση της βέλτιστης λειτουργίας στις αεροναυπηγικές εφαρμογές (εικόνα 2.10).

- Κατασκευαστική, για την επιβεβαίωση της ακρίβειας και του σωστού σχεδιασμού των μηχανικών εξαρτημάτων, καλουπιών και εργαλείων που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία της παραγωγής.
- Ηλεκτρονική, για τη μέτρηση πλακετών τυπωμένου κυκλώματος (printed circuit board), βυσμάτων ημιαγωγών και διάφορων άλλων ηλεκτρονικών εξαρτημάτων.
- Ιατροφαρμακευτική, για τον έλεγχο και τη μέτρηση εμφυτευμάτων, χειρουργικών εργαλείων, προσθετικών μελών και ιατροφαρμακευτικού εξοπλισμού.



Εικόνα 2.10 : Χρήση CMM αρθρωτού βραχίονα στην αεροναυπηγική βιομηχανία (πάνω) και στην αυτοκινητοβιομηχανία (κάτω)(<https://www.faro.com>)

Αυτά είναι μόνο μερικά παραδείγματα βιομηχανιών, στις οποίες χρησιμοποιούνται οι CMM. Οι μηχανές αυτές βρίσκουν εφαρμογή σε πολλές ακόμα βιομηχανίες, που η διεξαγωγή μετρήσεων ακριβείας και ο ποιοτικός έλεγχος είναι υψίστης σημασίας.

2.4. Πηγές σφαλμάτων

Η ακρίβεια μιας μέτρησης, η οποία έχει ληφθεί με μια μηχανή CMM εξαρτάται από τις ικανότητες του χειριστή του οργάνου, από τις συνθήκες και τη σταθερότητα του περιβάλλοντος, καθώς επίσης και από την ίδια την ακρίβεια του οργάνου. Ο κατασκευαστής κάθε οργάνου αναγράφει με ποιο χειρισμό και σε ποιες περιβαλλοντικές συνθήκες μπορεί να επιτευχθεί μια μέτρηση ίσης ακρίβειας με αυτήν που παρέχει το όργανο.

2.4.1. Σφάλματα χρήστη οργάνου

Πρόκειται για την αβεβαιότητα που υπεισέρχεται στις μετρήσεις λόγω λάθους του χειριστή του οργάνου. Είναι χονδροειδή σφάλματα που μπορούν να εντοπιστούν εύκολα και προέρχονται κυρίως από την απειρία ή την απροσεξία του χρήστη. Τέτοια σφάλματα μπορεί να είναι η μέτρηση λάθος σημείου ή και η εισαγωγή λανθασμένων παραμέτρων (θερμοκρασία, υγρασία, κλπ.) στο όργανο.

2.4.2. Σφάλματα περιβάλλοντος

Για τη μέγιστη και ορθή απόδοση μιας μηχανής CMM πρέπει να πληρούνται ορισμένες περιβαλλοντικές συνθήκες. Για αρχή, όπως έχει ξανααναφερθεί οι CMM εγκαθίστανται αποκλειστικά σε εσωτερικούς χώρους βιομηχανιών ή εργαστηρίων όπου δε σημειώνονται ταλαντώσεις και δονήσεις, ενώ παράλληλα τηρούνται και σταθερές τιμές θερμοκρασίας και υγρασίας. Δεν υπάρχει κάποια συγκεκριμένη τιμή θερμοκρασίας ή υγρασίας, η οποία να θεωρείται κατάλληλη για όλες τις μηχανές CMM. Οι καλύτερες συνθήκες υποδεικνύονται από τον κατασκευαστή κάθε μηχανής και ρυθμίζονται από το σύστημα κλιματισμού της βιομηχανίας ή του εργαστηριακού χώρου.

2.4.3. Σφάλματα μηχανών CMM

Γενικά, όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφαλαίο, οι μηχανές CMM είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα όργανα και παρέχουν μετρήσεις υψηλής ακρίβειας, όταν εξασφαλίζεται ο ορθός χειρισμός τους και οι ιδανικές αναγραφόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες. Φυσικά, όπως όλα τα όργανα μέτρησης συντεταγμένων, έτσι και οι CMM παρουσιάζουν μεγαλύτερες αβεβαιότητες όταν χρησιμοποιούνται εντατικά και για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Για το λόγο αυτό, τα συγκεκριμένα όργανα πρέπει να ελέγχονται και να διακριβώνονται ανά συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Αντίστοιχα, πριν από κάθε μέτρηση απαιτείται και η βαθμονόμηση της κεφαλής του αισθητήρα επαφής ή του αισθητήρα laser που θα χρησιμοποιηθεί. Η διαδικασία βαθμονόμησης της κεφαλής του αισθητήρα ονομάζεται διακρίβωση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗ ΦΟΡΗΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ FARO EDGE LASER SCANARM

3.1. Γενικά

Ο φορητός βραχίονας FARO Edge Laser ScanArm, όπως και οι υπόλοιπες μηχανές μέτρησης συντεταγμένων πρέπει να βαθμονομούνται και να διακρίβωνονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η υψηλή ακρίβεια των μετρήσεων. Οι προδιαγραφές ορθής λειτουργίας του φορητού βραχίονα Edge ορίζονται από την ASME (American Society of Mechanical Engineers) της Βόρειας Αμερικής ή από το Ευρωπαϊκό πρότυπο ISO (International Organization for Standardization). Πιο συγκεκριμένα, οι μέθοδοι ελέγχου του Edge καταγράφονται μεταξύ άλλων στο πρότυπο B89.4.22.

3.2. Διαφορά εννοιών διακρίβωσης και βαθμονόμησης

Το Edge έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να αντέχει την πίεση και τους κραδασμούς που αναπτύσσονται σε ένα βιομηχανικό περιβάλλον. Ακόμα, η κατασκευή του επιτρέπει να διατηρεί την ακρίβειά του κατά τη διάρκεια της ζωής του παρόλες τις πολλαπλές μετακινήσεις στις οποίες υπόκειται. Για να γίνει κατανοητή η έννοια της «Βαθμονόμησης εφ' όρου ζωής» χρειάζεται πρώτα να επεξηγηθούν κάποιες βασικές έννοιες του μετρητικού εξοπλισμού. Αρχικά, αξίζει να αναφερθεί ότι πολύ συχνά οι έννοιες της βαθμονόμησης και της διακρίβωσης χρησιμοποιούνται μαζί και τις περισσότερες φορές συγχέονται λανθασμένα. Αυτό συμβαίνει κυρίως λόγω του ότι οι παραδοσιακές μηχανές μέτρησης συντεταγμένων συνήθως διακρίβωνονται κάθε φορά που βαθμονομούνται. Ωστόσο, αναφορικά με το Edge, πραγματοποιούνται δύο ειδών διακρίβωσεις : η διακρίβωση του Edge και η διακρίβωση του αισθητήρα μέτρησης. Γενικά, η διακρίβωση του Edge μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο από εξειδικευμένους εργαζόμενους στη μονάδα παραγωγής της εταιρείας κατά τη διάρκεια κατασκευής του οργάνου ή μεταγενέστερα σε περίπτωση βλάβης του και

αδυναμίας παροχής ακριβών μετρήσεων. Οσον αφορά στη βαθμονόμηση του Edge, πρόκειται για μια σειρά ελέγχων που εκτελεί ο χρήστης του οργάνου κάθε φορά που μετακινείται το όργανο σε μια καινούρια επιφάνεια.

3.2.1. Διακρίβωση του FARO Edge Laser ScanArm

Η διακρίβωση είναι η διαδικασία κατά την οποία μια μετρητική μηχανή βελτιστοποιείται έτσι ώστε να πραγματοποιεί ορθές μετρήσεις. Η διαδικασία αυτή μπορεί να γίνει μέσω κάποιων μηχανικών ρυθμίσεων, καθώς επίσης και μέσω κάποιων διορθώσεων στο λογισμικό. Εξειδικευμένοι εργαζόμενοι στη μονάδα παραγωγής της εταιρείας FARO πραγματοποιούν την εργοστασιακή διακρίβωση του Edge. Κατά τη διάρκεια αυτής της διακρίβωσης χρησιμοποιούνται ειδικός εξοπλισμός και λογισμικό, τα οποία δεν είναι διαθέσιμα στο χρήστη, έτσι ώστε να καθοριστούν οι πραγματικές διαστάσεις και η κινηματική του Edge. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εργοστασιακή διακρίβωση εισάγονται στη μνήμη που τοποθετείται στα ηλεκτρονικά μέρη του Edge. Με το πέρας αυτής της διαδικασίας, το Edge είναι πια μόνιμα διακριβώμενο, έτσι ώστε να μην απαιτείται κάποια μηχανική προσαρμογή κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας του.

Η διακρίβωση του Edge μπορεί να καταστεί εκτός ισχύος, δηλαδή να σταματήσει να λειτουργεί εντός των επίσημων προτύπων της FARO, εάν προκληθεί κάποιο από τα παρακάτω:

- Κάμψη των ειδικών θηκών μεταφοράς του οργάνου
- Βλάβη σε κάποια άρθρωση του βραχίονα
- Αδυναμία του ηλεκτρονικού συστήματος, που μετατρέπει την κίνηση των αρθρώσεων του βραχίονα σε ηλεκτρονικά δεδομένα
- Ισχυρή σύγκρουση με κάποιο άλλο αντικείμενο, καθώς η σύγκρουση μπορεί να προκαλέσει την κάμψη των θηκών μεταφοράς ή και την παραμόρφωση των αρθρώσεων

Σε περίπτωση εμφάνισης κάποιου από τα παραπάνω πρόβληματα, το τμήμα της εξύπηρετησης πελατών της FARO αποσυναρμολογεί το Edge, επισκευάζει τα απαραίτητα τμήματα και πραγματοποιεί εργοστασιακή διακρίβωση. Η εργοστασιακή διακρίβωση είναι απαραίτητη από τη στιγμή που η φυσική κατάσταση του Edge έχει μεταβληθεί.

3.2.2. Βαθμονόμηση του FARO Edge Laser ScanArm

Το λογισμικό του Edge διαθέτει εντολές που επιτρέπουν στο χρήστη να πραγματοποιήσει ελέγχους που επιβεβαιώνουν την ακρίβεια και την επαναληψιμότητα του οργάνου. Οι εντολές βαθμονόμησης επιτρέπουν στο χρήστη να ελέγξει το Edge χρησιμοποιώντας ειδικά εξαρτήματα, όπως μια σφή στην οποία εφαρμόζονται οι σφαιρικοί αισθητήρες μέτρησης και μια επίπεδη επιφάνεια μέτρησης.

Τα αποτελέσματα αυτών των βαθμονομήσεων συμπεριλαμβάνουν το 100% των σημείων που μετρήθηκαν κατά τη διάρκεια των ελέγχων. Στην περίπτωση που κάποιος έλεγχος αποτύχει, τότε τυπώνονται τα αποτελέσματα και επαναλαμβάνεται η βαθμονόμηση δύο φορές ακόμα. Αν πάλι, οι έλεγχοι δεν είναι επιτυχημένοι, τότε εξάγονται όλα τα αποτελέσματα των βαθμονομήσεων και αποστέλλονται στην τεχνική υποστήριξη της FARO, έτσι ώστε να μπορέσει να εντοπιστεί και να επιλυθεί το πρόβλημα. Η επιτυχής βαθμονόμηση είναι απαραίτητη προκειμένου το Edge να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μετρήσεις.

Κάποιοι βασικοί έλεγχοι που πρέπει να γίνονται προκειμένου να εξασφαλιστεί η ακρίβεια των μετρήσεων του Edge είναι η σταθερότητα και η επαναληψιμότητα του οργάνου, οι θερμοκρασιακές συνθήκες του εργαστηριακού ή βιομηχανικού περιβάλλοντος, καθώς επίσης και ο σωστός χειρισμός του βραχίονα από το χρήστη.

3.2.2.1. Έλεγχος σταθερότητας του Edge

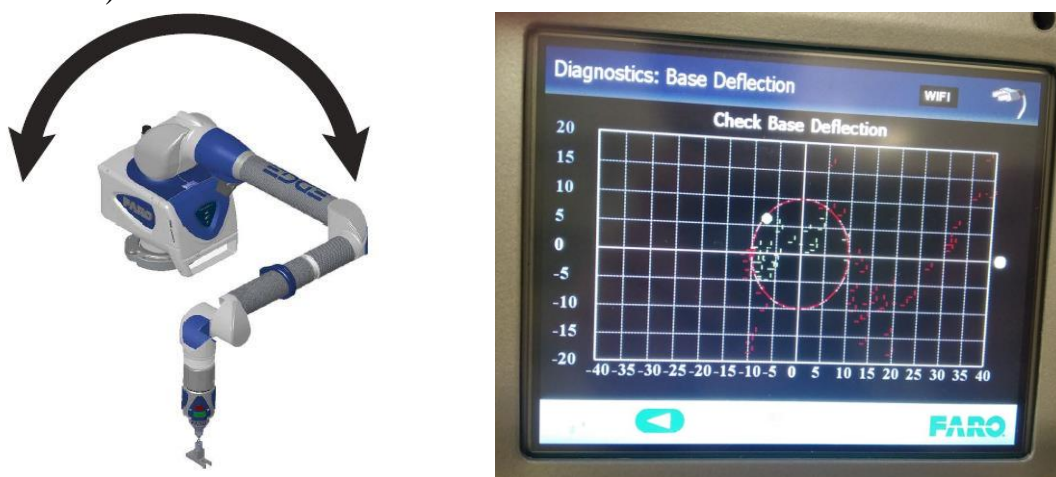
Τα περισσότερα προβλήματα ακρίβειας και επαναληψιμότητας οφειλόνται στην έλλειψη σταθερότητας του Edge. Αυτά τα προβλήματα δεν είναι πάντα προφανή. Μία εμφανώς σταθερή βάση του οργάνου, μπορεί στην πραγματικότητα να μετακινείται, επηρεάζοντας άμεσα τα αποτελέσματα και προκαλώντας υποβάθμιση της απόδοσης του συστήματος. Για εξασφάλιση της σταθερότητας της βάσης του οργάνου πραγματοποιούνται δύο έλεγχοι:

- Έλεγχος μετακίνησης της βάσης του οργάνου (Base Deflection)
- Έλεγχος κλίσης (Tilt)

3.2.2.1.1. Έλεγχος μετακίνησης της βάσης του Edge

Αναλυτικά τα βήματα για την πραγματοποίηση του ελέγχου μετακίνησης της βάσης του οργάνου είναι τα εξής:

1. Στο κεντρικό μενού του οργάνου επιλέγονται τα Diagnostics > Mount > Base Deflection.
2. Στη συνέχεια τοποθετείται η ειδική κωνική οπή διακρίβωσης στα $\frac{2}{3}$ περίπου της απόστασης που μπορεί να προσεγγίσει ο βραχίονας από τη βάση του.
3. Εφαρμόζεται στον τελευταίο άξονα του οργάνου ένας διακριβωμένος σφαιρικός αισθητήρας, ο οποίος μετά τοποθετείται στην κωνική οπή. Είναι σημαντικό ο αισθητήρας να εφαρμόζει σωστά στην οπή.
4. Έπειτα ο χρήστης πιέζει το πράσινο κουμπί της χειρολαβής και μετακινεί τις αρθρώσεις (εικόνα 3.1 & 3.2) του βραχίονα, ενώ παράλληλα ο αισθητήρας παραμένει σωστά εγκατεστημένος στην οπή.
5. Αφού μετακινηθούν οι αρθρώσεις του βραχίονα προς όποια κατεύθυνση είναι δυνατόν, ο χρήστης πιέζει το κόκκινο κουμπί του χειριστηρίου για τη λήξη του ελέγχου.
6. Οποιαδήποτε μετακίνηση της βάσης καταγράφεται και παρουσιάζεται σε γράφημα που εμφανίζεται στην οθόνη του οργάνου. Για να θεωρηθεί επιτυχημένος ο έλεγχος, θα πρέπει όλα τα σημεία να βρίσκονται εντός του κύκλου του γραφήματος (εικόνα 3.1).



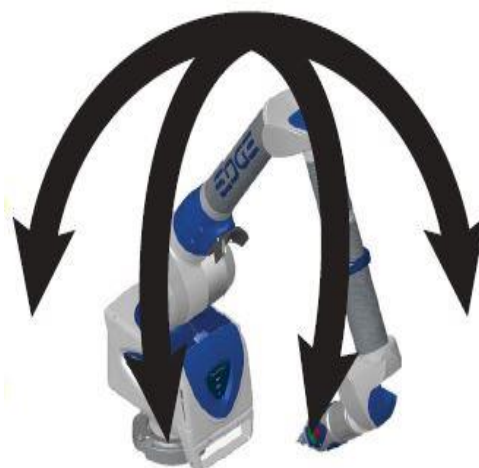
Εικόνα 3.1 : Διεύθυνση μετακίνησης των αρθρώσεων του βραχίονα κατά το Base Deflection (αριστερά) (<https://www.faro.com>) και το γράφημα που υποδεικνύει την αποτυχία του Base Deflection, εφόσον δε βρίσκονται όλα τα σημεία εντός του κύκλου (δεξιά)(προσωπικό αρχείο)



Εικόνα 3.2: Μετακίνηση των αρθρώσεων του βραχίονα κατά το Base Deflection (αριστερά & δεξιά) (προσωπικό αρχείο)

3.2.2.1.2. Έλεγχος κλίσης της βάσης του Edge

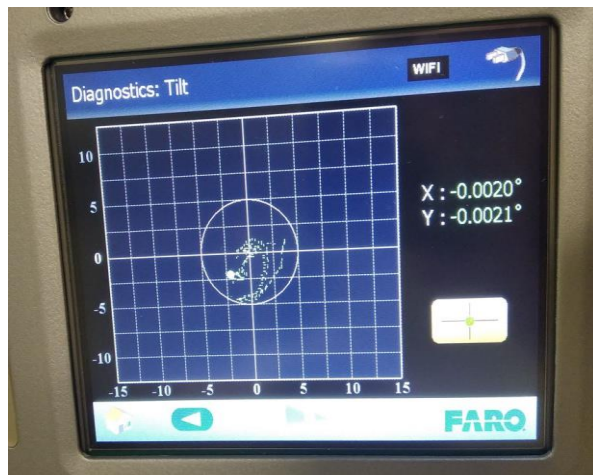
Ακολουθούν τα βήματα για την πραγματοποίηση του ελέγχου κλίσης της βάσης του οργάνου:



Εικόνα 3.3: Μενού επιλογής ελέγχων σταθερότητας (αριστερά) (προσωπικό αρχείο) και διευθύνσεις μετακίνησης των αρθρώσεων του βραχίονα κατά τον έλεγχο Tilt (δεξιά) (<https://www.faro.com>)

1. Στο κεντρικό μενού του οργάνου επιλέγονται τα Diagnostics > Mount > Tilt (Εικόνα 3.3).

2. Στη συνέχεια ο χρήστης κρατάει τη χειρολαβή του οργάνου στον αέρα, στα $\frac{2}{3}$ περίπου της απόστασης που μπορεί να προσεγγίσει ο βραχίονας από τη βάση του.
3. Έπειτα μετακινούνται οι αρθρώσεις του βραχίονα (εικόνα 3.3 & 3.4).
4. Οποιαδήποτε κλίση της βάσης καταγράφεται και παρουσιάζεται σε γράφημα που εμφανίζεται στην οθόνη του οργάνου. Για να θεωρηθεί επιτυχημένος ο έλεγχος, θα πρέπει όλα τα σημεία να βρίσκονται εντός του κύκλου του γραφήματος.



Εικόνα 3.4 : Μετακίνηση των αρθρώσεων του βραχίονα κατά τον έλεγχο Tilt (αριστερά) (προσωπικό αρχείο) και το γράφημα που υποδεικνύει την επιτυχία του Tilt, εφόσον όλα τα σημεία βρίσκονται εντός του κύκλου (δεξιά)(προσωπικό αρχείο)

3.2.2.2. Έλεγχος επαναληψιμότητας του Edge

Ο έλεγχος επαναληψιμότητας, στα αγγλικά SPAT (Single Point Articulation Test) ενός μοναδικού σημείου πραγματοποιείται με τη χρήση μιας ειδικής οπής προκειμένου να ελεγχθεί κατά πόσο μια μέτρηση ενός συγκεκριμένου σημείου δίνει τα ίδια αποτελέσματα ανεξάρτητα από τις κινήσεις των αρθρώσεων του βραχίονα. Για την πραγματοποίηση του ελέγχου πρέπει να χρησιμοποιηθεί μια οπή, η οποία θα έχει μέγεθος τουλάχιστον ένα χιλιοστό λιγότερο από το σφαιρικό αισθητήρα αφής.

Γενικά οι έλεγχοι σταθερότητας του οργάνου θα πρέπει πάντα να προηγούνται του ελέγχου επαναληψιμότητας, διότι η έλλειψη

σταθερότητας του οργάνου συνεπάγεται και την έλλειψη της επαναληψιμότητας των μετρήσεων.



Εικόνα 3.5 : Μετακίνηση του «αγκώνα» του βραχίονα κατά τον έλεγχο επαναληψιμότητας (αριστερά) (<https://www.faro.com>) και η σημειακή και ογκομετρική ακρίβεια του Edge (δεξιά) (<https://www.faro.com>)

Ακολουθεί αναλυτικά η διαδικασία εκτέλεσης του ελέγχου επαναληψιμότητας:

1. Στο κεντρικό μενού του οργάνου επιλέγονται τα Diagnostics > SPAT.
2. Στη συνέχεια τοποθετείται η ειδική κωνική οπή διακρίβωσης στα $\frac{2}{3}$ περίπου της απόστασης που μπορεί να προσεγγίσει ο βραχίονας από τη βάση του.
3. Εφαρμόζεται στον τελευταίο άξονα του οργάνου ένας διακριβωμένος σφαιρικός αισθητήρας, ο οποίος μετά τοποθετείται στην κωνική οπή. Είναι σημαντικό ο αισθητήρας να εφαρμοζεί σωστά στην οπή.
4. Αρχικά ο «αγκώνας» του βραχίονα τοποθετείται στη μία πλευρά και ο χρήστης πιέζει το πράσινο κουμπί της χειρολαβής.
5. Έπειτα με πολύ αργές κινήσεις ο «αγκώνας» του βραχίονα πραγματοποιεί μια κυκλική κίνηση (εικόνα 3.5), την οποία και ολοκληρώνει όταν προσεγγίσει την αντίθετη πλευρά από αυτή στην οποία είχε αρχικά τοποθετηθεί.
6. Ο έλεγχος επαναληψιμότητας ολοκληρώνεται αυτόματα. Οι σειρές των μετρήσεων από κάθε κίνηση του βραχίονα

συγκρίνονται και εάν δεν υπάρχει επαναληψιμότητα, θα πρέπει να ξαναγίνει ο έλεγχος.

Για την ύπαρξη επαναληψιμότητας θα πρέπει οι αποκλίσεις των συντεταγμένων X, Y, Z των διάφορων μετρήσεων να είναι μικρότερες από τη σημειακή ακρίβεια του Edge, η οποία είναι 0.029mm (εικόνα 3.5).

3.2.2.3. Έλεγχος θερμοκρασίας Edge

Η διατήρηση της ακρίβειας του Edge στα διαφορετικά περιβάλλοντα μετρήσεων απαιτεί την παρακολούθηση της θερμοκρασίας του. Για το σκοπό αυτό, το Edge διαθέτει αισθητήρες θερμοκρασίας σε κάθε μία απ' τις αρθρώσεις του.

Έτσι, η θερμοκρασία παρακολουθείται διαρκώς και οι θερμοκρασιακές μεταβολές που σημειώνονται στη διάρκεια του χρόνου, εφαρμόζονται σε μαθηματικές φόρμουλες, οι οποίες καθορίζουν τη θέση του Edge στον τρισδιάστατο χώρο. Με αυτόν τον τρόπο τα αποτελέσματα των μετρήσεων προσαρμόζονται στη μεταβαλλόμενη θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

Ωστόσο, επειδή τα διάφορα τμήματα του Edge θερμαίνονται και ψυχραίνονται με διαφορετικούς ρυθμούς, το όργανο πρέπει να έχει προσεγγίσει μια κατάσταση σταθερής θερμοκρασίας με απόκλιση $\pm 3^{\circ}\text{C}$ για τουλάχιστον πέντε λεπτά πριν αρχίσει η διαδικασία των μετρήσεων. Προς διευκόλυνση του χρήστη, το ηλεκτρονικό σύστημα του οργάνου είναι προγραμματισμένο να εμφανίζει μήνυμα λάθους όταν η θερμοκρασία ξεπεράσει την απόκλιση των $\pm 3^{\circ}\text{C}$. Υπάρχει ακόμα μία διαδικασία που παρέχει θερμοκρασιακή σταθερότητα στο σύστημα. Κατά τη διαδικασία αυτή, το όργανο παρακολουθεί μόνο του τη θερμοκρασία του για ένα διάστημα πέντε λεπτών και υποδεικνύει στο χρήστη αν είναι έτοιμο για χρήση.

Επίσης, σύμφωνα με το τεχνικό φύλλο του Edge το εύρος θερμοκρασιών στο οποίο μπορεί να είναι λειτουργικό είναι οι 10°C - 40°C , ενώ μπορεί να πραγματοποιήσει μετρήσεις με ποσοστό υγρασίας έως και 95% σε περιβάλλον με ιδανικές συνθήκες (καθαρό, χωρίς σκόνη).

3.2.2.4. Έλεγχος κατά τη διάρκεια των μετρήσεων

Στους ελέγχους σταθερότητας και επαναληψιμότητας του Edge αναφέρθηκε η κωνική υποδοχή στην οποία τοποθετείται ο σφαιρικός αισθητήρας, πρέπει ιδανικά να τοποθετείται στα $\frac{2}{3}$ περίπου της απόστασης που μπορεί να προσεγγίσει ο βραχίονας από τη βάση του. Στην ίδια περίπτωση απόσταση πρέπει να τοποθετείται και το προς μέτρηση αντικείμενο, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η ορθή μέτρηση του. Εάν το αντικείμενο που πρόκειται να μετρηθεί τοποθετηθεί σε μεγαλύτερη απόσταση των $\frac{2}{3}$, τότε υπάρχει ο κίνδυνος να τεντωθούν και να «κλειδώσουν» οι αρθρώσεις του βραχίονα. Ακριβώς το ίδιο είναι πιθανό να συμβεί στην περίπτωση τοποθέτησης του προς μέτρηση αντικειμένου σε απόσταση μικρότερη των $\frac{2}{3}$.

Αν «κλειδώσουν» οι αρθρώσεις του βραχίονα, τότε αυτό συνεπάγεται και την απώλεια ενός βαθμού ελευθερίας. Το «κλείδωμα» των αρθρώσεων προκαλεί μια προσωρινή καμψη στους σωλήνες του βραχίονα, η οποία με τη σειρά της προκαλεί μια μετακίνηση στη θέση του αισθητήρα. Η μετακίνηση αυτή δεν μπορεί να καταγραφεί από το σύστημα του Edge και για το λόγο αυτό τα αποτελέσματα των μετρήσεων που πραγματοποιούνται σε τέτοιες συνθήκες δε θεωρούνται έγκυρα.



Εικόνα 3.6 : Περιπτώσεις μετακίνησης του βραχίονα που επιφέρουν απώλεια ενός βαθμού ελευθερίας («κλείδωμα» αρθρώσεων) (<https://www.faro.com>)

Γενικά, κατά την κίνηση του βραχίονα δε θα πρέπει να καταβάλλεται ιδιαίτερη προσπάθεια και να ασκείται πολλή δύναμη ή να υπάρχει η αίσθηση κάποια αντίστασης. Αν χρειαστεί να ασκηθεί πολλή δύναμη για τη μετακίνηση του βραχίονα σε ένα σημείο μέτρησης, τότε αυτό σημαίνει πως έχει χαθεί ενάς βαθμός ελευθερίας (εικόνα 3.6).

3.3. Διακρίβωση των αισθητήρων μέτρησης

3.3.1. Γενικά

Η διακρίβωση του αισθητήρα που θα χρησιμοποιηθεί για τη λήψη μετρήσεων είναι μια στοχευμένη διαδικασία, με την οποία μια μετρητική μηχανή είναι σε θέση να πραγματοποιήσει ακριβείς μετρήσεις.

Για να γίνει κατανοητή η διακρίβωση των αισθητήρων, θα πρέπει πρωτίστως να γίνει κατανοητό το σύστημα αναφοράς του Edge. Το Edge είναι εργοστασιακά διακριβωμένο από τη βάση του έως και τον τελευταίο άξονα του βραχίονα και η θέση του άξονα αυτού καθορίζεται από το σύστημα συντεταγμένων της βάσης του οργάνου. Ο τελευταίος άξονας του Edge έχει το δικό σύστημα συντεταγμένων και η θέση του κέντρου του σφαιρικού αισθητήρα μέτρησης καταγράφεται στο σύστημα συντεταγμένων του αισθητήρα. Αφού καθοριστούν οι συντεταγμένες του αισθητήρα, μεταφέρονται στο σύστημα συντεταγμένων του Edge, δηλαδή της βάσης του οργάνου και μπορεί να αρχίσει η διαδικασία των μετρήσεων.

Η ακρίβεια των μετρήσεων βασίζεται στη διακρίβωση του αισθητήρα υπό τις βέλτιστες συνθήκες. Εάν, η διακρίβωση του αισθητήρα πραγματοποιηθεί επιτυχώς, τότε οι μετρήσεις θα είναι ακριβείς, ενώ στην περίπτωση που η διακρίβωση του αισθητήρα αποτύχει, οι μετρήσεις θα είναι μικρότερης ακρίβειας. Η ορθή τοποθέτηση του οργάνου σε σταθερή επιφάνεια και η χρήση των σωστών τεχνικών κατά τη διάρκεια της διακρίβωσης του αισθητήρα αποτελούν καθοριστικούς παράγοντες για την επιτυχία της διακρίβωσης αυτής.

Για τη βελτίωση της διακρίβωσης ενός αισθητήρα μέτρησης και τη μείωση των σφαλμάτων που υπεισέρχονται κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας, θα πρέπει το Edge να βρίσκεται τοποθετημένο σε μια θέση στην οποία ο «αγκώνας» του βραχίονα θα παραμένει σχετικά σταθερός και

δε θα συναντά εμπόδια ή περιορισμούς όσο πραγματοποιείται η διακρίβωση. Ακόμα, ο «αγκώνας» δε πρέπει να πέσει και να ακουμπήσει στην επιφάνεια επάνω στην οποία πραγματοποιείται η διακρίβωση. Καλό είναι να κινείται μόνο ο τελευταίος άξονας του βραχίονα για να μπορέσει το λογισμικό να διακριβώσει σωστά τον αισθητήρα. Γενικά, για την αύξηση της ακρίβειας κατά τη διάρκεια της διακρίβωσης του αισθητήρα, απαιτείται η μείωση της κίνησης του «αγκώνα» του βραχίονα και η έμφαση στον αισθητήρα και στην κίνηση του τελευταίου άξονα του βραχίονα.

Οι μέθοδοι διακρίβωσης των αισθητήρων για το Edge είναι δύο:

- Η μέθοδος της οπής (Hole Compensation)
- Η μέθοδος της σφαίρας (Sphere Compensation)

3.3.2. Διακρίβωση των αισθητήρων αφής με τη μέθοδο της οπής

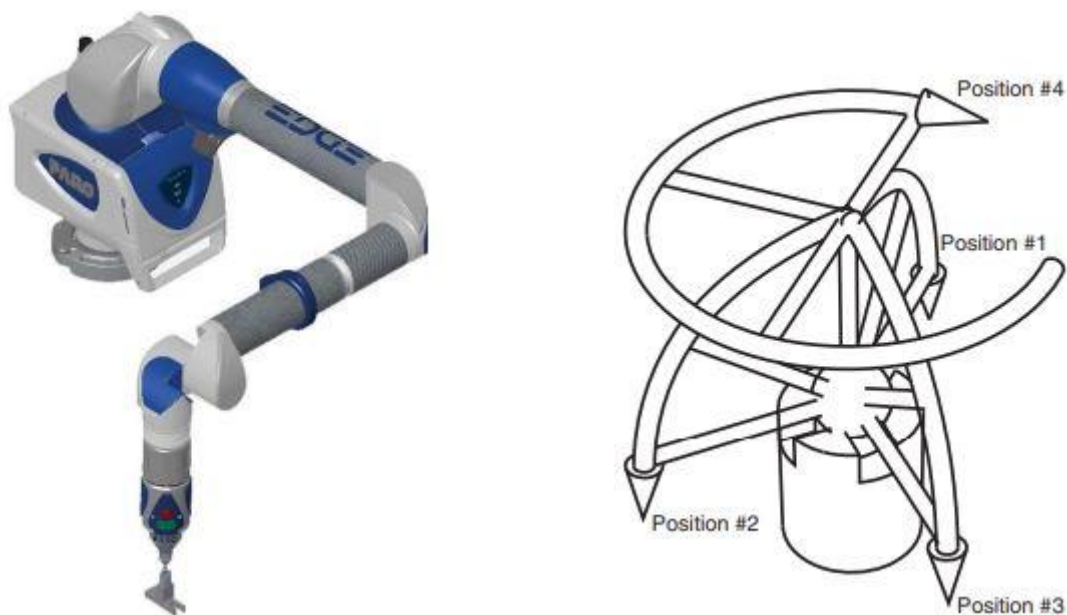
Για την πραγματοποίηση της διακρίβωσης των αισθητήρων αφής με τη μέθοδο της οπής, χρησιμοποιείται είτε ο ειδικός κώνος διακρίβωσης που παρέχεται με την αγορά του Edge είτε μια οπή διαμέτρου 5mm. Για την ακρίβεια, η οπή δε χρειάζεται να είναι ακριβώς 5mm, αλλά πρέπει να είναι μικρότερη από τη διάμετρο του αισθητήρα που πρόκειται να διακριβωθεί και να είναι λείο το σημείο τοποθέτησης του αισθητήρα. Η συγκεκριμένη μέθοδος διακρίβωσης μπορεί να εφαρμοστεί μόνο για τους σφαιρικούς αισθητήρες.

Η διαδικασία έχει ως εξής:

1. Ο σφαιρικός αισθητήρας τοποθετείται κάθετα στην οπή (σχήμα 3.1).
2. Πιέζεται το πράσινο κουμπί της λαβής του Edge και διατηρώντας το πατημένο, προσαρμόζεται η λαβή σε μία εκ των οριζόντιων θέσεων της οπής. Σε αυτό το σημείο, πρέπει να εξασφαλιστεί ότι σε κάθε κίνηση της λαβής, ο σφαιρικός αισθητήρας παραμένει καλά τοποθετημένος στην οπή.
3. Απευθερώνεται το πράσινο κουμπί και έπειτα ξαναπιέζεται για να μετακινηθεί η λαβή στην επόμενη οριζόντια θέση.

Το πράσινο κουμπί διατηρείται πατημένο στην παραπάνω διαδικασία γιατί κατ' αυτόν τον τρόπο πραγματοποιείται η συλλογή σημείων. Το Edge

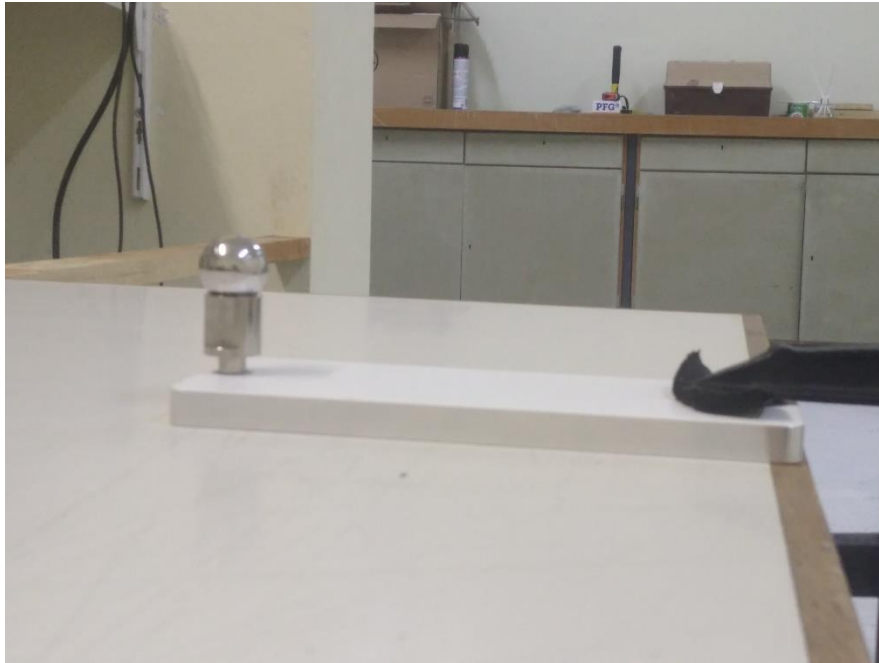
συλλέγει σημεία με μεγάλη ταχύτητα. Υπολογίζεται ότι μέχρι να απελευθερωθεί το παρατεταμένο πάτημα του πράσινου κουμπιού, το Edge έχει προλάβει να ψηφιοποιήσει τουλάχιστον 200 σημεία για κάθε μια από τις τέσσερις θέσεις της διακρίβωσης. Οι πρώτες τρεις θέσεις είναι οι εγκοπές που βρίσκονται περιμετρικά της οπής και η τέταρτη θέση είναι ουσιαστικά η περιστροφή της λαβής του Edge γύρω απ' τον άξονα της (σχήμα 3.1).



Σχήμα 3.1 : Τοποθέτηση του Edge στον ειδικό κώνο διακρίβωσης (αριστερά) και οι τέσσερις θέσεις σύμφωνα με τις οποίες πρέπει να μετακινηθεί η λαβή του Edge για την πραγματοποίηση της διακρίβωσης (δεξιά)(<https://www.faro.com>)

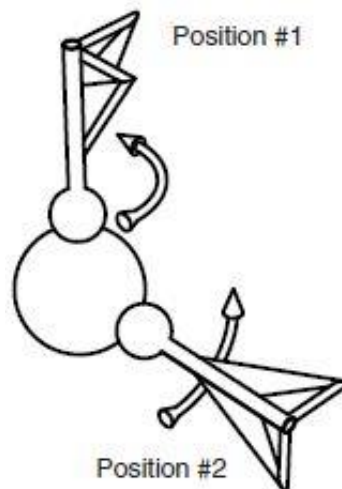
3.3.3. Διακρίβωση των αισθητήρων αφής με τη μέθοδο της σφαίρας

Για τη διακρίβωση των αισθητήρων με τη μέθοδο της σφαίρας χρειάζεται μια σφαίρα ακριβείας διαμέτρου ίσης ή μεγαλύτερης των 10mm. Η ειδική σφαίρα βαθμονόμησης διατίθεται στον εξοπλισμό του Edge και υπάρχει η δυνατότητα τοποθέτησης της σε μια ειδική επίπεδη επιφάνεια μέτρησης (white plane), έτσι ώστε να παραμένει σταθερή κατά τη διάρκεια της διακρίβωσης (εικόνα 3.7).



Εικόνα 3.7 : Η ειδική σφαίρα βαθμονόμησης τοποθετημένη πάνω στη λευκή επίπεδη επιφάνεια μέτρησης (προσωπικό αρχείο)

Με αυτή τη διαδικασία διακρίβωσης ψηφιοποιούνται συνολικά 44 μεμονωμένα σημεία σε συγκεκριμένα μέρη γύρω από τη σφαίρα. Κάθε σημείο ψηφιοποιείται πιέζοντας στιγμιαία το πράσινο κουμπί του Edge.



Σχήμα 3.2 : Οι βασικές διευθύνσεις στις οποίες τοποθετείται ο τρίτος άξονας του Edge κατά τη διάρκεια της σφαιρικής διακρίβωσης. (<https://www.faro.com>)

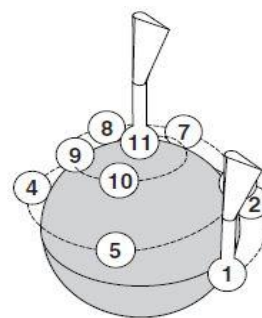
Η διακρίβωση αυτή εφαρμόζεται στους σημειακούς και στους σφαιρικούς αισθητήρες του Edge και πρέπει να εξασφαλιστεί ότι ο εκάστοτε αισθητήρας παραμένει σε επαφή με τη σφαίρα κατά τη διάρκεια της ψηφιοποίησης των σημείων. Η λανθασμένη ψηφιοποίηση έστω και ενός ή δύο σημείων μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τη διαδικασία βελτιστοποίησης, η οποία με τη σειρά της θα επηρεάσει την ακρίβεια του Edge.

Ακολουθεί αναλυτικά η διαδικασία διακρίβωσης με τη μέθοδο της σφαίρας.

Για να γίνει πιο εύκολα κατανοητή η διαδικασία πρέπει να αναφερθεί ότι ο τελευταίος άξονας του βραχίονα του Edge, επάνω στον οποίο εντοπίζεται ο αισθητήρας τοποθετείται σε δύο βασικές κάθετες διευθύνσεις επάνω στη σφαίρα κατά τη διάρκεια της διακρίβωσης (σχήμα 3.2).

Επομένως, η σφαιρική διακρίβωση έχει ως εξής:

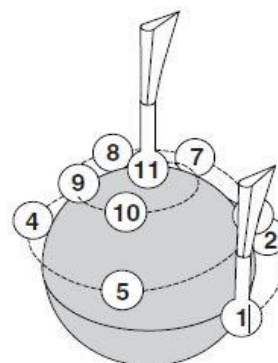
1. Ψηφιοποιούνται 11 σημεία γύρω από το πάνω ημισφαιρίο της σφαίρας, με τον αισθητήρα να βρίσκεται στη θέση 1 (Position #1), σύμφωνα με το σχήμα 3.2. Είναι σημαντικό η κατεύθυνση και ο προσανατολισμός του αισθητήρα να παραμείνουν σταθερά για κάθε ένα από τα 11 σημεία.



Σχήμα 3.3: Πρώτο βήμα σφαιρικής διακρίβωσης.

(<https://www.faro.com>)

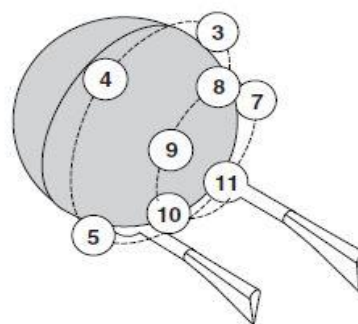
2. Στη συνέχεια περιστρέφεται ο τρίτος άξονας του βραχίονα κατά 90 μοίρες και ψηφιοποιούνται 11 σημεία γύρω από το πάνω ημισφαιρίο της σφαίρας, με τον αισθητήρα να βρίσκεται στη θέση 1 (Position #1), σύμφωνα με το σχήμα 3.2. Η κατεύθυνση και ο προσανατολισμός του αισθητήρα να παραμείνουν ως έχουν για κάθε ένα από τα 11 σημεία.



Σχήμα 3.4 : Δεύτερο βήμα σφαιρικής διακρίβωσης.

(<https://www.faro.com>)

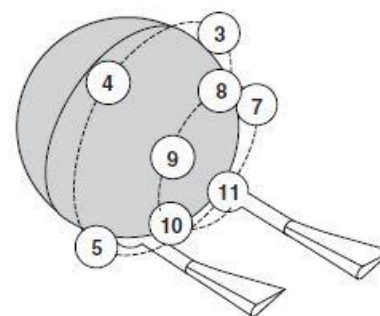
3. Ψηφιοποιούνται 11 σημεία γύρω από το μπροστινό ημισφαιρίο της σφαίρας, με τον αισθητήρα να βρίσκεται στη θέση 2 (Position #2), σύμφωνα με το σχήμα 3.2. Η κατεύθυνση και ο προσανατολισμός του αισθητήρα πρέπει να παραμένουν σταθερά για κάθε ένα από τα 11 σημεία.



Σχήμα 3.5 : Τρίτο βήμα σφαιρικής διακρίβωσης.

(<https://www.faro.com>)

4. Περιστρέφεται ο τρίτος άξονας του βραχίονα κατά 90 μοίρες και ψηφιοποιούνται 11 σημεία γύρω από το μπροστινό ημισφαιρίο της σφαίρας, με τον αισθητήρα να βρίσκεται στη θέση 2 (Position #2), σύμφωνα με το σχήμα 3.2. Η κατεύθυνση και ο προσανατολισμός του αισθητήρα να παραμένουν ως έχουν για κάθε ένα από τα 11 σημεία.



Σχήμα 3.6 : Τέταρτο βήμα σφαιρικής διακρίβωσης.

(<https://www.faro.com>)

3.3.4. Διακρίβωση του αισθητήρα λέιζερ

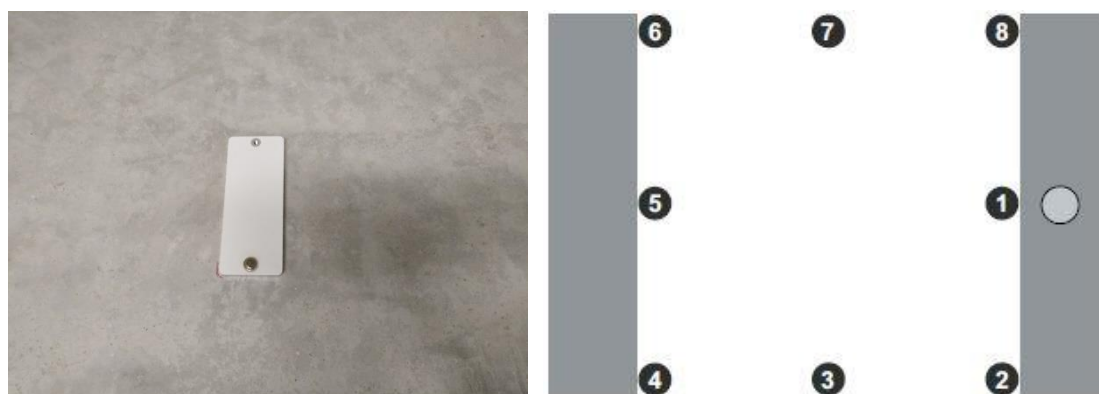
Όπως οι αισθητήρες αφής χρειάζονται διακρίβωση για να παρέχουν ακριβή αποτελέσματα, έτσι ακριβώς και ο αισθητήρας λέιζερ. Φυσικά οι διαδικασίες διαφέρουν. Είναι σημαντικό ο αισθητήρας λέιζερ, όπως και οι αισθητήρες αφής, πριν τη διαδικασία της διακρίβωσης να έχουν τοποθετηθεί στο Edge να «ζεσταθούν» τουλάχιστον για μισή ώρα. Για μέγιστη απόδοση, η FARO συνιστά το «ζέσταμα» του εξοπλισμού για μία ώρα πριν την έναρξη της διακρίβωσης.

Όταν πρόκειται να πραγματοποιηθούν μετρήσεις με τον αισθητήρα λέιζερ, είναι τοποθετημένος στο βραχίονα και ένας αισθητήρας αφής. Σε αυτήν την περίπτωση, οι αισθητήρες αφής που επιλέγονται είναι οι

σφαιρικοί διαμέτρου 6mm ή 3mm. Επομένως, πριν τη διακρίβωση του αισθητήρα λέιζερ θα πρέπει να διακριβωθεί ο σφαιρικός αισθητήρας. Σύμφωνα με το φύλλο οδηγιών του Edge, ο σφαιρικός αισθητήρας πρέπει να διακριβωθεί με τη μέθοδο της σπής (βλ. 3.3.2.).

Αφού πραγματοποιηθεί η διακρίβωση του σφαιρικού αισθητήρα, τότε μπορεί να ξεκινήσει η διαδικασία διακρίβωσης του αισθητήρα λέιζερ με τη βοήθεια της λευκής επίπεδης επιφάνειας μέτρησης (white plane) (εικόνα 3.8).

Ουσιαστικά, η διακρίβωση του αισθητήρα λέιζερ αποτελεί μια διαδικασία ψηφιοποίησης της λευκής επίπεδης επιφάνειας. Πιο συγκεκριμένα η επιφάνεια αυτή ψηφιοποιείται μία φορά με το σφαιρικό αισθητήρα και τρεις φορές με τον αισθητήρα λέιζερ. Ακολουθεί αναλυτικά η διαδικασία:



Εικόνα 3.8 : Λευκή επιφάνεια μέτρησης (αριστερά) (προσωπικό αρχείο) και οι θέσεις των οκτώ σημείων που μετρώνται επάνω στη λευκή επιφάνεια (δεξιά)(<https://www.faro.com>)

1. Ψηφιοποίηση της λευκής επιφάνειας με το σφαιρικό αισθητήρα.

- Ο χρήστης τοποθετεί το σφαιρικό αισθητήρα επάνω στη λευκή επιφάνεια και πιέζει το πράσινο κουμπί της χειρολαβής.
- Στη συνέχεια μετρώνται οκτώ σημεία επάνω στη λευκή επιφάνεια (Εικόνα 3.8). Κάθε σημείο που μετράται πρέπει να βρίσκεται κοντά σε κάποια άκρη της επιφάνειας έτσι ώστε να αποφευχθεί η φθορά του κέντρου της επιφάνειας.

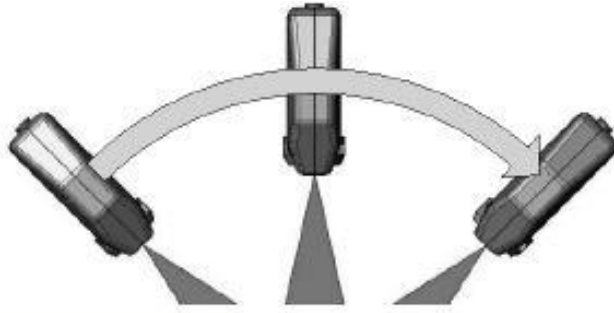
- Αφού μετρηθούν και τα οκτώ σημεία, ο αισθητήρας απομακρύνεται από την επιφάνεια και πιέζεται το κόκκινο κουμπί της χειρολαβής.

Με την πίεση του κόκκινου κουμπιού υπολογίζεται η επιπεδότητα της λευκής επιφάνειας. Σε περίπτωση που τα αποτελέσματα δεν είναι τα επιθυμητά, η ψηφιοποίηση της επιφάνειας θα πρέπει να επαναληφθεί.

2. Πρώτο στάδιο ψηφιοποίησης της λευκής επιφάνειας με τον αισθητήρα λέιζερ. Κατα τη διακρίβωση με τον αισθητήρα λέιζερ θα πρέπει να συλλεχθούν τουλάχιστον 200 γραμμές σάρωσης. Αν συλλεχθούν λιγότερες γραμμές, θα πρέπει να επαναληφθεί η σάρωση της επιφάνειας, αλλά αυτή τη φορά με πιο αργό ρυθμό σε κάθε βήμα.

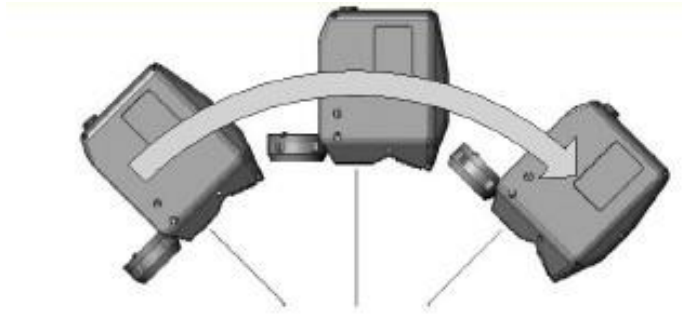
- Αρχικά ο αισθητήρας τοποθετείται στη διεύθυνση που φαίνεται το σχήμα 3.7 και στοχεύεται η γραμμή του λέιζερ στο κέντρο της λευκής επιφάνειας.
- Ο αισθητήρας λέιζερ μετακινείται κατάλληλα έως ότου οι LED λάμπες της χειρολαβής γίνουν πράσινες. Οι πράσινες λάμπες ειδοποιούν το χρήστη ότι ο αισθητήρας λέιζερ βρίσκεται στο κέντρο του εύρους μέτρησης, δηλαδή στην κατάλληλη απόσταση από το μετρούμενο αντικείμενο. Η κόκκινη ένδειξη χρώματος στις λάμπες σημαίνει ότι ο αισθητήρας βρίσκεται εκτός του εύρους μέτρησης, ενώ η κίτρινη ένδειξη σημαίνει ότι ο αισθητήρας βρίσκεται είτε σχετικά κοντά στο μετρούμενο αντικείμενο είτε σχετικά μακριά από αυτό, αλλά παραμένει εντός του εύρους μέτρησης. Τα δεδομένα μέτρησης αποστέλλονται στον Η/Υ μόνο όταν ο αισθητήρας βρίσκεται εντός του εύρους μέτρησης, δηλαδή μόνο όταν οι LED λάμπες είναι πράσινες ή κίτρινες.
- Αφού εξασφαλιστεί το πράσινο χρώμα των LED, πιέζεται το πράσινο κουμπί της χειρολαβής και ο αισθητήρας λέιζερ μετακινείται στοχεύοντας πάντα στο κέντρο της λευκής επιφάνειας. Ο αισθητήρας πρέπει να περιστραφεί όσο το δυνατόν περισσότερο γίνεται, τουλάχιστον 90°.

- Τέλος, πιέζεται το κόκκινο κουμπί της χειρολαβής.



Σχήμα 3.7: Θέση και κίνηση του αισθητήρα κατά το πρώτο στάδιο ψηφιοποίησης (<https://www.faro.com>)

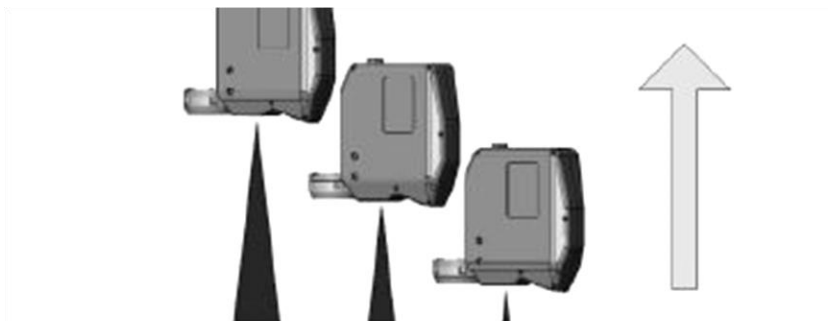
3. Δεύτερο στάδιο ψηφιοποίησης της λευκής επιφάνειας με τον αισθητήρα λέιζερ. Κατα τη διακρίβωση με τον αισθητήρα λέιζερ θα πρέπει να συλλεχθούν τουλάχιστον 200 γραμμές σάρωσης. Αν συλλεχθούν λιγότερες γραμμές, θα πρέπει να επαναληφθεί η σάρωση της επιφάνειας, αλλά αυτή τη φορά με πιο αργό ρυθμό σε κάθε βήμα.
 - Το πρώτο βήμα είναι η στρόφη του αισθητήρα 90° από την αρχική του διεύθυνση στο πρώτο στάδιο της διακρίβωσης (σχήμα 3.8).
 - Έπειτα στοχεύεται η γραμμή του λέιζερ στο κεντρο της λευκής επιφάνειας.
 - Ο αισθητήρας λέιζερ μετακινείται κατάλληλα έως ότου οι LED λάμπες της χειρολαβής γίνουν πράσινες.
 - Αφού εξασφαλιστεί το πράσινο χρώμα των LED, πιέζεται το πράσινο κουμπί της χειρολαβής και ο αισθητήρας λέιζερ μετακινείται στοχεύοντας πάντα στο κέντρο της λευκής επιφάνειας. Ο αισθητήρας πρέπει να περιστραφεί όσο το δυνατόν περισσότερο γίνεται, τουλάχιστον 90° .
 - Τέλος, πιέζεται το κόκκινο κουμπί της χειρολαβής.



Σχήμα 3.8: Θέση και κίνηση του αισθητήρα κατά το δεύτερο στάδιο ψηφιοποίησης (<https://www.faro.com>)

4. Τρίτο στάδιο ψηφιοποίησης της λευκής επιφάνειας με τον αισθητήρα λέιζερ.

- Αρχικά στοχεύεται η γραμμή του λέιζερ στο κεντρο της λευκής επιφάνειας.
- Ο αισθητήρας λέιζερ μετακινείται κοντά στη λευκή επιφάνεια έως ότου οι LED λάμπες της χειρολαβής γίνουν κίτρινες.
- Πιέζεται το πράσινο κουμπί της χειρολαβής και στη συνέχεια ο αισθητήρας μετακινείται προς τα πάνω με πολύ αργό ρυθμό έως ότου φτάσει σε σχετικά μακρινή απόσταση από τη λευκή επιφάνεια (Σχήμα 3.9). και οι LED λάμπες της χειρολαβής γίνουν πάλι κίτρινες. Να σημειωθεί ότι η μετακίνηση πραγματοποιείται με τον αισθητήρα να στοχεύει μόνιμα στο κέντρο της λευκής επιφάνειας.
- Τέλος, πιέζεται το κόκκινο κουμπί της χειρολαβής.



Σχήμα 3.9 : Θέση και κίνηση του αισθητήρα κατά το τρίτο στάδιο ψηφιοποίησης (<https://www.faro.com>)

Τα ψηφιοποιημένα σήμεια από τα τρία παραπάνω στάδια επεξεργάζονται και προκύπτει η επιτυχία ή η αποτυχία της διακρίβωσης. Αν η διακρίβωση πετύχει, τα στοιχεία της (ημερομηνία και ώρα) υπεισέρχονται στις πληροφορίες του αισθητήρα.

Αν αφαιρεθεί ο αισθητήρας λέιζερ και μετέπειτα ξανατοποθετηθεί στο βραχίονα, θα πρέπει να διακριβωθεί εξ αρχής για να εξασφαλιστεί η ακρίβεια των μετρήσεων. Δεν αρκεί να επιλεγεί απλά μια παλαιότερη επιτυχημένη διακρίβωση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

4.1. Εξοικείωση με τον εξοπλισμό

Οι μετρήσεις έλαβαν χώρα στην εργαστηριακή αίθουσα Α-101, η οποία βρίσκεται στο υπόγειο του κτιρίου Λαμπαρδαρίου της Σχολής των Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής ΕΜΠ. Στην αίθουσα τοποθετήθηκαν αισθητήρες θερμοκρασίας και υγρασίας, έτσι ώστε να ελέγχονται οι περιβαλλοντικές συνθήκες.

Το όργανο, με το οποίο πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις ήταν ο φορητός βραχίονας FARO Edge Laser ScanArm, ο οποίος τοποθετήθηκε σε βάση (εικόνα 4.1) πάνω σε βάθρο ειδικά κατασκευασμένο (κτισμένο στο δάπεδο) της αίθουσας για την εξασφάλιση της σταθερότητας του.



Εικόνα 4.1: Το Edge τοποθετημένο στη βάση του πάνω στο βάθρο (αριστερά) και η βιδωμένη βάση επί του βάθρου (δεξιά) (προσωπικό αρχείο)

Τα μετρούμενα αντικείμενα, ήταν δέκα διακριβωμένα πρότυπα πλακίδια μήκους από ατσάλι (εικόνα 4.2), τα οποία παραχωρηθήκαν για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα στο Εργαστήριο Γεωδαισίας από τη Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών του ΕΜΠ. Συγκεκριμένα, τα μήκη των δοκιμίων ήταν 10mm, 20mm, 30mm, 40mm, 50mm, 60mm, 70mm, 80mm, 90mm και 100 mm. στο βάθρο και αντίστροφα.



Εικόνα 4.2: Βαθμονομημένα δοκίμια (προσωπικό αρχείο)

Μαζί με τα πλακίδια, παραχωρήθηκε και το πιστοποιητικό διακρίβωσής τους, το οποίο επιβεβαιώνει ότι τα πλακίδια διακρίβώθηκαν στις 21/10/2011 – 2/11/2011 από το Εργαστήριο Διαστασιακών Μετρήσεων του Ελληνικού Ινστιτούτου Μετρολογίας. Σύμφωνα με το πιστοποιητικό διακρίβωσης, η διευρυμένη αβεβαιότητα των μετρήσεων δίνεται από τη σχέση:

$$U = \sqrt{50^2 + L^2} \text{ (nm)}$$

όπου L το μήκος του πλακιδίου μήκους σε mm.

Για την εξασφάλιση της ακρίβειας των δοκιμίων χρησιμοποιούνταν βαμβακερά γάντια κατά τη μεταφορά και τοποθέτηση από τη θήκη τους στο βάθρο και αντίστροφα.

4.1.1. Παρελκόμενα του FARO Edge

Για τη διεξαγωγή της πειραματικής εφαρμογής χρησιμοποιήθηκαν ορισμένοι αισθητήρες αφής. Πιο αναλυτικά, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων αξιοποιήθηκαν οι σφαιρικοί αισθητήρες (zircon ball probes) διαμέτρων 2mm, 3mm, 4mm, 5mm και 6mm καθώς και ένας σημειακός αισθητήρας (point probe).

Για τη βαθμονόμηση του Edge και τη διακρίβωση των αισθητήρων έγινε χρήση της λευκής επίπεδης επιφάνειας μέτρησης καθώς επίσης και της ειδικής σφαίρας διακρίβωσης και της κωνικής οπής διακρίβωσης, όπως αναφέρονται στο τρίτο κεφάλαιο της εργασίας. Στο κτισμένο βάθρο δημιουργήθηκαν ειδικές εσοχές, στις οποίες βιδώνεται και σταθεροποιείται η λευκή επίπεδη επιφάνεια μέτρησης (εικόνα 4.3).



Εικόνα 4.3: Το κτισμένο βάθρο πάνω στο οποίο έχουν τοποθετηθεί η βάση (πάνω στην οποία σταθεροποιείται το Edge) και η λευκή επιφάνεια μέτρησης (προσωπικό αρχείο)

Φυσικά, καθ'όλη τη διαδικασία της βαθμονόμησης του Edge, της διακρίβωσης των αισθητήρων και μετέπειτα κατά την πραγματοποίηση των μετρήσεων, το Edge ήταν συνδεδεμένο με ένα φορητό υπολογιστή (εικόνα 4.4), ο οποίος χρησιμοποιείται αποκλειστικά γι' αυτό το σκοπό. Στο συγκεκριμένο υπολογιστή είναι εγκατεστημένα τα λογισμικά

FaroArm Manager, που διευκολύνει τις διαδικασίες βαθμονόμησης του Edge και διακρίβωσης των αισθητήρων, καθώς επίσης και το Polyworks 2015, το οποίο χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια των μετρήσεων και με το πέρας αυτών για την εξαγωγή αρχείου με τις συντεταγμένες των μετρήσεων.



Εικόνα 4.4: Η ειδική σφαίρα διακρίβωσης πάνω στη λευκή επιφάνεια μέτρησης και ο συνδεδεμένος φορητός υπολογιστής (προσωπικό αρχείο)

4.2. Διεξαγωγή μετρήσεων

Απαραίτητη ενέργεια πριν την έναρξη των μετρήσεων ήταν η βαθμονόμηση του Edge. Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο υποκείμενο, το Edge τοποθετήθηκε σε ειδική βάση πακτωμένη σε βάθρο. Ωστόσο, για να εξασφαλιστεί η σταθερότητα του οργάνου, έπρεπε να πραγματοποιηθούν οι έλεγχοι σταθερότητας, όπως ορίζονται από την εταιρεία κατασκευής. Για το σκοπό αυτό τοποθετήθηκε στο βάθρο η λευκή επιφάνεια μέτρησης και επάνω σε αυτή βιδώθηκε η ειδική κωνική οπή διακρίβωσης. Ο αισθητήρας που επιλέχθηκε ήταν σφαιρικός και η διάμετρος τέτοια, ώστε να εφαρμόζει ορθά στην κωνική οπή. Έτσι πραγματοποιήθηκε ο πρώτος έλεγχος σταθερότητας, που ονομάζεται Base Deflection και ελέγχει τη μετακίνηση της βάσης του οργάνου. Εφόσον, ο Base Deflection ήταν επιτυχημένος, πραγματοποιήθηκε ο δεύτερος έλεγχος σταθερότητας που ονομάζεται Tilt και ελέγχει την κλίση της

βάσης του οργάνου. Αφού και αυτός ο έλεγχος ήταν επιτυχημένος, είχε πλέον εξασφαλιστεί η ευστάθεια του Edge. Για την ολοκλήρωση της βαθμονόμησης του οργάνου, έπρεπε να πραγματοποιηθεί ένας τελευταίος έλεγχος, ο έλεγχος επαναληψιμότητας, ή αλλιώς SPAT (Single Point Articulation Test), έτσι ώστε να ελεγχθεί κατά πόσο μια μέτρηση ενός συγκεκριμένου σημείου δίνει τα ίδια αποτελέσματα ανεξάρτητα από τις κινήσεις των αρθρώσεων του βραχίονα. Με την επιτυχία και αυτού του ελέγχου ολοκληρώθηκε η βαθμονόμηση του οργάνου και σειρά είχε η διακρίβωση των αισθητήρων που θα χρησιμοποιούνταν για τις μετρήσεις. Φυσικά δεν πραγματοποιήθηκαν όλες οι μετρήσεις την ίδια ημερομηνία. Αυτό σημαίνει ότι κάθε φορά που οι ημερήσιες μετρήσεις λάμβαναν τέλος, το όργανο αφαιρούνταν από το βάθρο και τοποθετούνταν στην ειδική θήκη του. Επομένως, κατά την επανατοποθέτηση του οργάνου στο βάθρο για τη συνέχιση των μετρήσεων, η διαδικασία της βαθμονόμησης του επαναλαμβάνόταν από την αρχή. Οι διαδικασίες των ελέγχων που αναφέρονται παραπάνω, φαίνονται αναλυτικά στο υποκεφάλαιο 3.2.2. της διπλωματικής εργασίας.

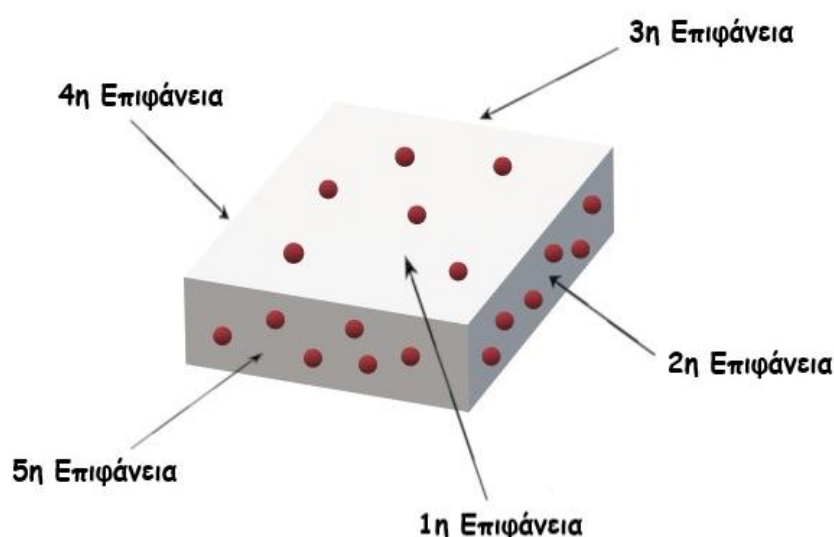
Οι αισθητήρες που χρησιμοποιήθηκαν διακρίβώνονταν κάθε φορά που τοποθετούνταν στο όργανο. Επιλέχθηκε, για τις ανάγκες της Δ.Ε. η διακρίβωση των αισθητήρων να πραγματοποιείται με τη μέθοδο της σφαίρας. Η διαδικασία της διακρίβωσης ενός αισθητήρα με τη μέθοδο της σφαίρας παρουσιάζεται αναλυτικά στο υποκεφάλαιο 3.3.2. της Δ.Ε..

Για συγκριτικούς σκοπούς σε ορισμένους αισθητήρες, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις με επιτυχημένες και αποτυχημένες διακριβώσεις. Αυτό έγινε για να προσδιοριστεί το μέγεθος της επίδρασης που μπορεί να έχει στην ακρίβεια των μετρήσεων μια αποτυχημένη διακρίβωση. Αντίστοιχα, επειδή το σύστημα έχει τη δυνατότητα να αποθηκεύει μια επιτυχημένη ή αποτυχημένη διακρίβωση ενός αισθητήρα, σε κάποιες περιπτώσεις τοποθετήθηκε ο αισθητήρας στο όργανο και απλά επιλέχθηκε μια επιτυχημένη διακρίβωση του που είχε πραγματοποιηθεί στο παρελθόν. Σκοπός αυτής της ενέργειας ήταν να παρατηρηθεί αν οι μετρήσεις που θα πραγματοποιούνταν χωρίς να έχει προηγηθεί όλη η διαδικασία της διακριβώσεως του αισθητήρα θα ήταν ίδιας ακρίβειας με αυτές στις οποίες εκτελέστηκε κανονικά η διαδικασία της διακριβώσεως αισθητήρα πριν την έναρξη των μετρήσεων.

Σκοπός των μετρήσεων είναι να προσδιοριστούν τα μήκη των δοκιμίων και τα αποτελέσματα να συγκριθούν με τα πραγματικά μήκη τους, όπως έχουν οριστεί από τη Σχολή των Μηχανολόγων Μηχανικών. Για το λόγο

αυτό επιλέχθηκαν τα συγκεκριμένα δοκίμια, τα οποία είναι διακριβωμένα και επομένως τα μήκη τους έχουν προσδιοριστεί με μεγάλη ακρίβεια. Επομένως, εάν κατά την επεξεργασία των μετρήσεων προκύψουν διαφορετικά μήκη, θα οφείλεται σε σφάλμα του Edge και όχι των δοκιμίων.

Για τον προσδιορισμό των μηκών των δοκιμίων χρειάστηκε πρώτα να προσδιοριστούν οι επιφάνειες τους, δηλαδή τα επίπεδα από τα οποία διαμορφώνονται τα δοκίμια. Όπως είναι γνωστό από τη Στερεομετρία, τρία σημεία που δεν είναι συνευθειακά ορίζουν ένα επίπεδο. Έτσι, για τον προσδιορισμό των επιφανειών των δοκιμίων χρειάστηκε να μετρηθούν τουλάχιστον τρία σημεία σε κάθε επιφάνειά τους. Τα δοκίμια είναι παραλληλέπια και έχουν έξι επιφάνειες. Ωστόσο κατά τη διάρκεια των μετρήσεων η μία επιφάνεια δεν μπορούσε να προσεγγιστεί εφόσον εφάπτονταν στο βάθρο. Άρα, οι επιφάνειες που χρειάστηκε να προσδιοριστούν για κάθε δοκίμιο ήταν ουσιαστικά πέντε. Για την εκτίμηση των καλύτερων τιμών των παραμέτρων των επιπέδων χρειάστηκε να γίνουν περισσότερες από τις απαραίτητες μετρήσεις. Επιλέχθηκε, να μετρηθούν έξι σημεία σε κάθε μία από τις πέντε επιφάνειες κάθε δοκιμίου και εφόσον οι μετρήσεις ήταν περισσότερες από τις άγνωστες καθοριστικές παραμέτρους, πραγματοποιήθηκε συνόρθωση για τον προσδιορισμό των ζητούμενων μεγεθών.



Σχήμα 4.1: Οι επιφάνειες των δοκιμίων. Οι κόκκινες κουκκίδες αναπαριστούν τα έξι σημεία που μετρώνται σε κάθε επιφάνεια (προσωπικό αρχείο)

Η μέθοδος της συνόρθωσης και η αναλυτική υπολογιστική διαδικασία παρουσιάζονται στο υποκεφάλαιο 4.3. που ακολουθεί.

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με τη σειρά από την πρώτη έως την πέμπτη επιφάνεια όπως φαίνεται στο σχήμα 4.1. Πρώτα μετρήθηκαν έξι σημεία στην πρώτη επιφάνεια του δοκιμίου των 10mm, μετά μετρήθηκαν έξι σημεία στη δεύτερη επιφάνεια του δοκιμίου των 10mm, κ.ο.κ. Αφού μετρήθηκαν σημεία σε όλες τις επιφάνειες του δοκιμίου των 10mm, σειρά είχε το δοκίμιο των 20mm. Κατά αυτόν τον τρόπο μετρήθηκαν σημεία σε όλα τα δοκίμια από 10mm – 100mm (εικόνα 4.5). Με το πέρας αυτής της διαδικασίας, αφαιρέθηκε ο αισθητήρας που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις, τοποθετήθηκε ένας άλλος, διακριβώθηκε και επαναλήφθηκε η ίδια διαδικασία μετρήσεων. Οι μετρήσεις ολοκληρώθηκαν όταν η παραπάνω διαδικασία πραγματοποιήθηκε για κάθε έναν από τους σφαιρικούς αισθητήρες (zircon ball probes) διαμέτρων 2mm, 3mm, 4mm, 5mm, 6mm και για τον ένα σημειακό αισθητήρα (point probe).



Εικόνα 4.5: Μέτρηση σημείων στην πρώτη επιφάνειας του δοκιμίου των 30mm με σφαιρικό αισθητήρα διαμέτρου 3mm (προσωπικό αρχείο)

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων συμπληρώνονται χειρόγραφα ένα έντυπο (σχήμα 4.2), στο οποίο σημειώνονται το είδος του αισθητήρα που χρησιμοποιόταν, η επιτυχία ή αποτυχία της διακρίβωσης του αισθητήρα, η ακρίβεια των μετρήσεων όπως προέκυπτε από τη διακρίβωση του αισθητήρα, το εύρος των σημείων που μετρούνταν ανά επίπεδο δοκιμίου, καθώς επίσης και η ημερομηνία διεξαγωγής των μετρήσεων.

7/8/2023

Διαδικασία: Μέτρηση με ζιγκου ball/probe λυω → επιτυχής διακρίβωση
 Σημείωση: Ακρίβεια: 0.0187

Δοκίμιο (mm)	Επίπεδο	Εύρος σημείων	Δοκίμιο (mm)	Επίπεδο	Εύρος σημείων
10	1	1-6	60	1	151-156
10	2	7-12	60	2	157-162
10	3	13-18	60	3	163-168
10	4	19-24	60	4	169-174
10	5	25-30	60	5	175-180
20	1	31-36	70	1	181-186
20	2	37-42	70	2	187-192
20	3	43-48	70	3	193-198
20	4	49-54	70	4	199-204
20	5	55-60	70	5	205-210
30	1	61-66	80	1	211-216
30	2	67-72	80	2	217-222
30	3	73-78	80	3	223-228
30	4	79-84	80	4	229-234
30	5	85-90	80	5	235-240
40	1	91-96	90	1	241-246
40	2	97-102	90	2	247-252
40	3	103-108	90	3	253-258
40	4	109-114	90	4	259-264
40	5	115-120	90	5	265-270
50	1	121-126	100	1	271-276
50	2	127-132	100	2	277-282
50	3	133-138	100	3	283-288
50	4	139-144	100	4	289-294
50	5	145-150	100	5	295-300

Σχήμα 4.2: Παράδειγμα συμπλήρωσης εντύπου για τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν με το σφαιρικό αισθητήρα διαμέτρου 2mm (προσωπικό αρχείο)

Για κάθε νέο αισθητήρα που χρησιμοποιούταν για τις μετρήσεις, συμπληρωνόταν και ένα νέο έντυπο. Τα έντυπα αυτά συμπληρώνονταν με σκοπό τη διευκόλυνση της διαδικασίας της επεξεργασίας των μετρήσεων.

Στον πίνακα 4.1 φαίνεται αναλυτικά πόσες σειρές μετρήσεων πραγματοποιήθηκαν, καθώς επίσης και η κατάσταση διακρίβωσης του εκάστοτε αισθητήρα κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Σύμφωνα με τον πίνακα 4.1, οι σφαιρικοί αισθητήρες διαμέτρων 2mm και 6mm (zircon ball probes 2mm & 6mm), καθώς επίσης και ο σημειακός αισθητήρας (point probe) χρησιμοποιήθηκαν για δύο σειρές μετρήσεων ο καθένας. Πιο συγκεκριμένα, ο zircon ball probe 2mm και ο point probe πραγματοποίησαν μία σειρά μετρήσεων έχοντας διακριβωθεί επιτυχώς, ενώ στη δεύτερη σειρά μετρήσεων τοποθετήθηκαν στο Edge και επιλέχθηκε μια παλαιότερη αποθηκευμένη διακρίβωση από το πρόγραμμα FaroArm Manager που είναι εγκατεστημένο στο φορητό υπολογιστή. Έτσι, στη δεύτερη περίπτωση ξεκίνησε η λήψη των μετρήσεων χωρίς να προηγηθεί η διαδικασία διακρίβωσης του αισθητήρα. Με το zircon ball probe 6mm πάλι πραγματοποιήθηκαν δύο σειρές μετρήσεων, μία με τον αισθητήρα να έχει διακριβωθεί επιτυχώς και μία με αποτυχημένη διακρίβωση του αισθητήρα. Με τον όρο αποτυχημένη διακρίβωση, εννοείται, ότι πραγματοποιήθηκε κανονικά η διαδικασία διακρίβωσης του αισθητήρα, αλλά απέτυχε, δηλαδή το σφάλμα των μετρήσεων θα ξεπερνάει τα 0.029mm που είναι η ακρίβεια του Edge για μετρήσεις με αισθητήρες επαφής. Οι σφαιρικοί αισθητήρες διαμέτρων 3mm, 4mm και 5mm (zircon ball probes 3mm, 4mm & 5mm) πραγματοποίησαν μόνο μια σειρά μετρήσεων έχοντας διακριβωθεί ανεπιτυχώς.

Πίνακας 4.1: Μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν με αισθητήρες επιτυχώς διακριβωμένους, ανεπιτυχώς διακριβωμένους ή καθόλου διακριβωμένους (επιλογή παλαιότερης διακρίβωσης)

Αισθητήρας	Επιτυχής Διακρίβωση	Αποτυχημένη Διακρίβωση	Επιλογή Παλαιότερης Διακρίβωσης
zircon ball probe 2mm	✓		✓

zircon ball probe 3mm		✓	
zircon ball probe 4mm		✓	
zircon ball probe 5mm		✓	
zircon ball probe 6mm	✓	✓	
point probe	✓		✓

4.2.1. Προβλήματα κατά τη διεξαγωγή μετρήσεων

Οι πρώτες σειρές μετρήσεων πραγματοποιήθηκαν στις 15/12/2022 και στις 21/12/2022 και για τις μετρήσεις αυτές χρησιμοποιήθηκαν μόνο οι σφαιρικοί αισθητήρες διαμέτρων 3mm, 4mm και 5mm (zircon ball probes 3mm, 4mm & 5mm). Εκείνη την περίοδο δεν είχε κατασκευαστεί ακόμα το βάθρο στην εργαστηριακή αίθουσα A-101 και έτσι ο βραχίονας τοποθετούνταν σε ένα μικρότερο βάθρο της αίθουσας, ενώ τα δοκίμια τοποθετούνταν σε ένα τραπέζι, το οποίο είχε βιδωθεί στο δάπεδο σε κοντινή απόσταση από το μικρό βάθρο (εικόνα 4.6). Πριν την έναρξη των συγκεκριμένων μετρήσεων πραγματοποιήθηκαν οι διαδικασίες βαθμονόμησης του βραχίονα και διακρίβωσης των αισθητήρων μέτρησης. Ωστόσο παρά το πλήθος των προσπαθειών που έγιναν, οι έλεγχοι σταθερότητας και επαναληψιμότητας, καθώς επίσης και οι διακριβώσεις των δοκιμίων (με τις μεθόδους οπής και σφαίρας) δεν ήταν επιτυχείς. Αποφασίστηκε να πραγματοποιηθούν μετρήσεις με τους συγκεκριμένους τρεις σφαιρικούς αισθητήρες, παρ'όλη την αποτυχία όλων των απαραίτητων ελέγχων που προηγούνται των μετρήσεων. Οι σειρές μετρήσεων με τους υπόλοιπους αισθητήρες πραγματοποιήθηκαν μετά την αντιμετώπιση των αδυναμιών της επιτυχούς βαθμονόμησης του Edge και διακρίβωσης των αισθητήρων.



Εικόνα 4.6: Το βάθρο στο οποίο τοποθετούνταν ο βραχίονας και το τραπέζι όπου τοποθετούνταν τα δοκίμια στα τρία πρώτα σετ μετρήσεων (προσωπικό αρχείο)

4.2.2. Επίλυση προβλημάτων που προέκυψαν κατά τη διεξαγωγή μετρήσεων

Αρχικά θεωρήθηκε ότι η αποτυχία των προσπαθειών βαθμονόμησης του Edge και διακρίβωσης των αισθητήρων οφειλόταν στην αστάθεια του τραπεζιού επάνω στο οποίο τοποθετούνταν τα δοκίμια και η λευκή επιφάνεια μέτρησης. Η λευκή επιφάνεια μέτρησης σταθεροποιούνταν, επάνω στο τραπέζι με τη βοήθεια μιας μέγγενης. Στις διαδικασίες βαθμονόμησης και διακρίβωσης χρησιμοποιείται ευρέως η λευκή επιφάνεια μέτρησης και εφόσον η επιφάνεια αυτή τοποθετούνταν επάνω στο ασταθές τραπέζι θεωρήθηκε ότι αυτός ήταν ο λόγος της αποτυχίας των διαδικασιών.

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος της αστάθειας κατασκευάστηκε το βάθρο (κεφ. 4.1.) στο οποίο πραγματοποιήθηκαν τελικά οι περισσότερες σειρές μετρήσεων. Η σταθερότητα του συγκεκριμένου βάρου εξασφαλίστηκε κατά τη διάρκεια της κατασκευής

του, ενώ επάνω σε αυτό δημιουργήθηκαν και εσοχές για τη βάση του βραχίονα και τη λευκή επιφάνεια μέτρησης για την άμεση εξασφάλιση της σταθερότητάς τους. Ωστόσο και με τη νέα συνθήκη του σταθερού βάρους, οι έλεγχοι σταθερότητας και επαναληψιμότητας και οι διακριβώσεις των αισθητήρων εξακολουθούσαν να αποτυγχάνουν και αποφασίστηκε να μην πραγματοποιηθούν μετρήσεις έως ότου να επιλυθεί το συγκεκριμένο ζήτημα. Έπειτα από επικοινωνία με το τμήμα της τεχνικής υποστήριξης της εταιρείας FARO, αποφασίστηκε ο βραχίονας να αποσταλεί στο εξωτερικό και να διακριβωθεί εργοστασιακά. Το Edge μεταφέρθηκε στο εξωτερικό τον 05/2023 και έπεστρεψε στο εργαστήριο γεωδαισίας τον 07/2023. Με την επιστροφή του, έγιναν πρωτίστως οι απαραίτητοι πειραματικοί έλεγχοι και διακριβώσεις προκειμένου να διαπιστωθεί ότι πράγματι τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν διορθώθηκαν. Οι έλεγχοι σταθερότητας και επαναληψιμότητας καθώς επίσης και οι διακριβώσεις των αισθητήρων πραγματοποιούνταν πλέον με επιτυχία.

Με την επιβεβαίωση της ορθής λειτουργίας του βραχίονα πραγματοποιήθηκαν οι σειρές μετρήσεων με τους σφαιρικούς αισθητήρες διαμέτρων 2mm και 6mm (zircon ball probes 2mm & 6mm), όπως επίσης και με ένα σημειακό αισθητήρα (point probe). Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στις 02/08/2023 και 07/08/2023. Για κάθε έναν από τους τρεις αισθητήρες διεξήχθησαν δύο σειρές μετρήσεων. Και οι τρεις αισθητήρες εκτέλεσαν μία σειρά μετρήσεων, έχοντας διακριβωθεί επιτυχώς. Η δεύτερη σειρά αφορούσε είτε αποτυχημένη διακρίβωση του αισθητήρα, είτε απευθείας τοποθέτηση του αισθητήρα στο βραχίονα και έναρξη μετρήσεων με επιλογή παλαιότερης επιτυχημένης διακρίβωσης του.

Οι μετρήσεις που διεξήχθησαν τον 12/2022 με τους αποτυχημένα διακριβωμένους σφαιρικούς αισθητήρες διαμέτρων 3mm, 4mm και 5mm δεν επαναλήφθηκαν μετά την πλήρη αποκατάσταση της λειτουργίας του βραχίονα. Οι παλιές μετρήσεις όμως δεν απορρίφθηκαν. Αντίθετα, κρίθηκε ενδιαφέρον οι συγκεκριμένες μετρήσεις να επεξεργαστούν και τα τελικά αποτελέσματα τους να συγκριθούν με τα αποτελέσματα των μετρήσεων του 08/2022.

4.3. Επεξεργασία μετρήσεων

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 4.2. οι μέτρησεις που έγιναν ανά επιφάνεια δοκιμίου ήταν περισσότερες από τις απαραίτητες για τον

προσδιορισμό της εξίσωσης του επιπέδου. Επομένως, για τον υπολογισμό των παραμέτρων της εξίσωσης του επιπέδου χρειάστηκε να πραγματοποιηθεί συνόρθωση. Εφόσον χρειάζεται να προσδιορισθούν συγκεκριμένες παράμετροι και ο συνολικός αριθμός των παραμέτρων αυξάνεται με την αύξηση των μετρήσεων (για κάθε επίπεδο πρέπει να οριστούν διαφορετικές παράμετροι), κρίθηκε η γενική μέθοδος ως η καταλληλότερη μέθοδος συνόρθωσης.

4.3.1. Γενική μέθοδος συνόρθωσης

Η εξίσωση του επιπέδου είναι:

$$x + Ay + Bz + \Gamma = 0$$

$$Ay + Bz + \Gamma = -x$$

- Ο αριθμός των μετρήσεων για κάθε επίπεδο είναι $n = 3 \cdot 6 = 18$, αφού είναι 6 σημεία με 3 μετρήσεις (x, y, z) για κάθε σημείο.
- Οι ανεξάρτητες καθοριστικές παράμετροι είναι $m = 3 + 2 \cdot 6 = 15$, αφού είναι 3 παράμετροι για το επίπεδο (A, B, Γ) και 2 παράμετροι για κάθε σημείο, δηλαδή $2 \cdot 6 = 12$.
- Οι παράμετροι που ενδιαφέρουν είναι $m_0 = 3$ με

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} A \\ B \\ \Gamma \end{bmatrix}$$

- Οι εξισώσεις συνθήκης είναι $c = r + m_0 = n - m + m_0 = 18 - 15 + 3 = 6$

Αρχικά σχηματίζεται το διάνυσμα των μετρήσεων ℓ και ο πίνακας μεταβλητοτήτων – συμμεταβλητοτήτων τους \mathbf{V}_ℓ :

$$\boldsymbol{\ell} = \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \\ x_2 \\ y_2 \\ z_2 \\ x_3 \\ y_3 \\ z_3 \\ x_4 \\ y_4 \\ z_4 \\ x_5 \\ y_5 \\ z_5 \\ x_6 \\ y_6 \\ z_6 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{V}_{\boldsymbol{\ell}} = \begin{bmatrix} \sigma_{x_1}^2 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{y_1}^2 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{z_1}^2 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{x_6}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{y_6}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{z_6}^2 \end{bmatrix}$$

Τα $\sigma_x^2 = \sigma_y^2 = \sigma_z^2$ είναι η ακρίβεια των μετρήσεων που θα παρέχει ο βραχίονας μετά τη διακρίβωση του εκάστοτε αισθητήρα διαιρεμένη με το τρία. Ισχύει:

$$\sigma_x^2 = \sigma_y^2 = \sigma_z^2 = \frac{(\text{ακρίβεια διακρίβωσης αισθητήρα})^2}{3}$$

Στις περιπτώσεις των αποτυχημένων διακριβώσεων, ως ακρίβεια διακρίβωσης αισθητήρα επιλέγεται η τιμή των 0.029 mm , που αποτελούν την ακρίβεια μέτρησης συντεταγμένων του Edge.

Για κάθε σημείο σχηματίζεται μια σχέση της μορφής:

$$x_i + Ay_i + Bz_i + \Gamma = 0$$

Η σχέση αυτή δεν είναι γραμμική ως προς παραμέτρους και μετρήσεις και γι'αυτό δίνονται προσωρινές τιμές \mathbf{x}^0 στις παραμέτρους. Η σχέση αναπτύσσεται κατά Taylor, οπότε:

$$v_{x_i} + y_i \delta A + z_i \delta B + \delta \Gamma + A^0 v_{y_i} + B^0 v_{z_i} = -(x_i + A^0 y_i + B^0 z_i + \Gamma^0)$$

Έτσι προκύπτει το σύστημα σε μορφή πινάκων:

$$\mathbf{A}_{6 \times 3} \delta \mathbf{x}_{3 \times 1} + \mathbf{B}_{6 \times 18} \mathbf{u}_{18 \times 1} = \mathbf{w}_{6 \times 1}$$

Ο πίνακας \mathbf{A} είναι της μορφής:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} y_1 & z_1 & 1 \\ y_2 & z_2 & 1 \\ y_3 & z_3 & 1 \\ y_4 & z_4 & 1 \\ y_5 & z_5 & 1 \\ y_6 & z_6 & 1 \end{bmatrix}$$

Και ο πίνακας \mathbf{B} :

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} 1 & A^0 & B^0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & A^0 & B^0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & A^0 & B^0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & A^0 & B^0 \end{bmatrix}$$

Ενώ ο πίνακας \mathbf{w} :

$$\mathbf{w} = \begin{bmatrix} -(x_1 + A^0 y_1 + B^0 z_1 + \Gamma^0) \\ -(x_2 + A^0 y_2 + B^0 z_2 + \Gamma^0) \\ -(x_3 + A^0 y_3 + B^0 z_3 + \Gamma^0) \\ -(x_4 + A^0 y_4 + B^0 z_4 + \Gamma^0) \\ -(x_5 + A^0 y_5 + B^0 z_5 + \Gamma^0) \\ -(x_6 + A^0 y_6 + B^0 z_6 + \Gamma^0) \end{bmatrix}$$

Οι διορθώσεις των προσωρινών τιμών των παραμέτρων είναι:

$$\delta \mathbf{x} = \mathbf{N}_\alpha^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{P}_\alpha \mathbf{w}$$

Όπου

$$\mathbf{P}_\alpha = \sigma_0^2 \mathbf{V}_{\ell_\alpha}^{-1} = \sigma_0^2 (\mathbf{B} \mathbf{V}_\ell \mathbf{B}^T)^{-1}$$

Θεωρήθηκε ότι $\sigma_0^2 = 1 \text{ mm}^2$

Οπότε υπολογίζεται ο πίνακας:

$$\mathbf{N}_\alpha = \mathbf{A}^T \mathbf{P}_\alpha \mathbf{A}$$

Τελικά οι καλύτερες τιμές των παραμέτρων υπολογίζονται ως εξής:

$$\mathbf{x} = \mathbf{x}^0 + \delta \mathbf{x}$$

Τα υπόλοιπα υπολογίζονται ως εξής:

$$\mathbf{v} = \mathbf{P}^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{P}_\alpha (\mathbf{w} - \mathbf{A} \delta \mathbf{x}) = \frac{1}{\sigma_0^2} \mathbf{V}_\ell \mathbf{B}^T \mathbf{P}_\alpha (\mathbf{w} - \mathbf{A} \delta \mathbf{x})$$

Το a posteriori τυπικό σφάλμα της μονάδας βάρους είναι:

$$\hat{s}_0 = \pm \sqrt{\frac{\mathbf{v}^T \mathbf{P} \mathbf{v}}{r}}$$

Τέλος προσδιορίζεται ο a posteriori πίνακας μεταβλητοτήτων – συμμεταβλητοτήτων:

$$\mathbf{V}_x = \hat{s}_0^2 \mathbf{N}_\alpha^{-1}$$

4.3.2. Υπολογισμός μηκών δοκιμίων

Η γενική μέθοδος συνόρθωσης, όπως αναλύεται στο κεφάλαιο 4.3.1. εφαρμόστηκε για την προσαρμογή κάθε επιπέδου των δοκιμίων στα έξι σημεία που μετρήθηκαν σε καθένα από αυτά τα επίπεδα.

Για τον προσδιορισμό των παραμέτρων των επιφανειών των δοκιμίων δημιουργήθηκε κώδικας σε περιβάλλον MATLAB, όπου ουσιαστικά περιέχονται όλες οι σχέσεις που περιγράφονται στο κεφάλαιο 4.3.1. μαζί με τις απαραίτητες εντολές επανάληψης για την εξασφάλιση της ταχύτητας των αποτελεσμάτων.

Στο κεφάλαιο 4.1.1. αναφέρεται ότι κατά τη διάρκεια των μετρήσεων χρησιμοποιείται το λογισμικό Polyworks 2015, στο οποίο φαίνονται τα μετρημένα σημεία στο χώρο και οι συντεταγμένες τους. Οι συντεταγμένες των σημείων που μετρήθηκαν με ένα συγκεκριμένο τύπο αισθητήρα, αποθηκεύονταν σε αρχεία τύπου txt στο πρόγραμμα και με το πέρας των μετρήσεων, εξάγονταν και αποθηκεύονταν σε εξωτερική μνήμη USB. Κάθε txt αρχείο περιείχε τις συντεταγμένες των σημείων που μετρήθηκαν στις επιφάνειες των δέκα δοκιμίων με τον ίδιο αισθητήρα. Η αρίθμηση των σημείων στο αρχείο txt συγκρινόταν με την αρίθμηση των σημείων, που είχαν συμπληρωθεί στο αντίστοιχο χειρόγραφο έντυπο και έτσι επαληθευόταν η ορθότητα τόσο του έντυπου χειρόγραφου, όσο και του ψηφιακού αρχείου. Σκοπός αυτής της σύγκρισης ήταν η αποφυγή εισαγωγής χονδροειδών σφαλμάτων στη διαδικασία επίλυσης.

Ουσιαστικά, αυτά τα αρχεία txt αποτελούσαν τα δεδομένα που εισάγονταν στον κώδικα, έτσι ώστε να προσδιοριστούν οι παράμετροι των επιφανειών των δοκιμίων.

Μετά την εφαρμογή της γενικής μεθόδου συνόρθωσης και την προσαρμογή των επιφανειών των δοκιμίων, σειρά είχε ο προσδιορισμός των σημείων στα οποία τέμνονταν ανά τρεις οι επιφάνειες των δοκιμίων. Τα σημεία αυτά στην πραγματικότητα αποτελούν τις κορυφές των παραλληλεπίπεδων δοκιμίων. Για το σκοπό αυτό έπρεπε να μελετηθεί ποια επίπεδα εκ των πέντε που προσδιορίστηκαν για κάθε δοκίμιο τέμνονται ανά τρία σε ένα σημείο. Στο συνδυασμό των τριών επιπέδων δε γινόταν να συμμετέχουν οι απέναντι μεταξύ τους επιφάνειες με κάποια τρίτη επιφάνεια, διότι λόγω της παραλληλίας των απέναντι επιφανειών είναι αδύνατη η ύπαρξη κάποιου σημείου τομής. Έτσι επιλέχθηκε να συνδυάζεται πάντα η πρώτη επιφάνεια των δοκιμίων η οποία τέμνεται με όλες τις άλλες προσαρμοσμένες επιφάνειες, μαζί με δύο διαδοχικές μη παράλληλες επιφάνειες. Επομένως οι συνδυασμοί επιφανειών που πραγματοποιήθηκαν είναι οι εξής:

- $1^n - 2^n - 3^n$
- $1^n - 3^n - 4^n$

- $1^n - 4^n - 5^n$
- $1^n - 5^n - 2^n$

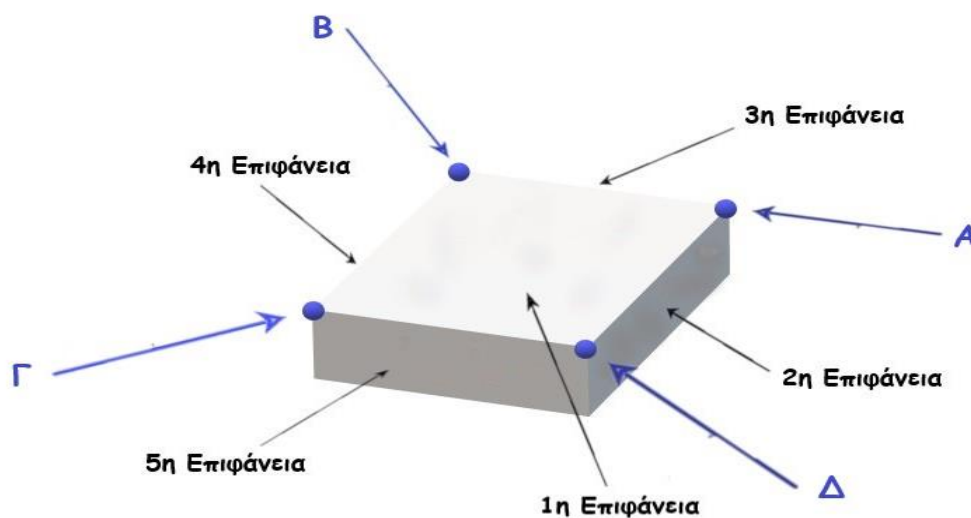
Για κάθε συνδυασμό από τους παραπάνω επιλύθηκε σύστημα τριών αγνώστων και έτσι υπολογίστηκαν τα τέσσερα σημεία τομής A, B, Γ, Δ (σχήμα 4.3). Τα συστήματα αποτελούνται από τις εξισώσεις των επιπέδων, με τις παραμέτρους που προσδιορίστηκαν για κάθε επίπεδο από τη γενική μέθοδο συνόρθωσης. Παρακάτω φαίνεται η μορφή των τεσσάρων συστημάτων που επιλύθηκαν για τον προσδιορισμό των σημείων τομής A, B, Γ, Δ:

$$\begin{cases} x_A + A_1 y_A + B_1 z_A + \Gamma_1 = 0 \\ x_A + A_2 y_A + B_2 z_A + \Gamma_2 = 0 \\ x_A + A_3 y_A + B_3 z_A + \Gamma_3 = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} x_B + A_1 y_B + B_1 z_B + \Gamma_1 = 0 \\ x_B + A_3 y_B + B_3 z_B + \Gamma_3 = 0 \\ x_B + A_4 y_B + B_4 z_B + \Gamma_4 = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} x_\Gamma + A_1 y_\Gamma + B_1 z_\Gamma + \Gamma_1 = 0 \\ x_\Gamma + A_4 y_\Gamma + B_4 z_\Gamma + \Gamma_4 = 0 \\ x_\Gamma + A_5 y_\Gamma + B_5 z_\Gamma + \Gamma_5 = 0 \end{cases}$$

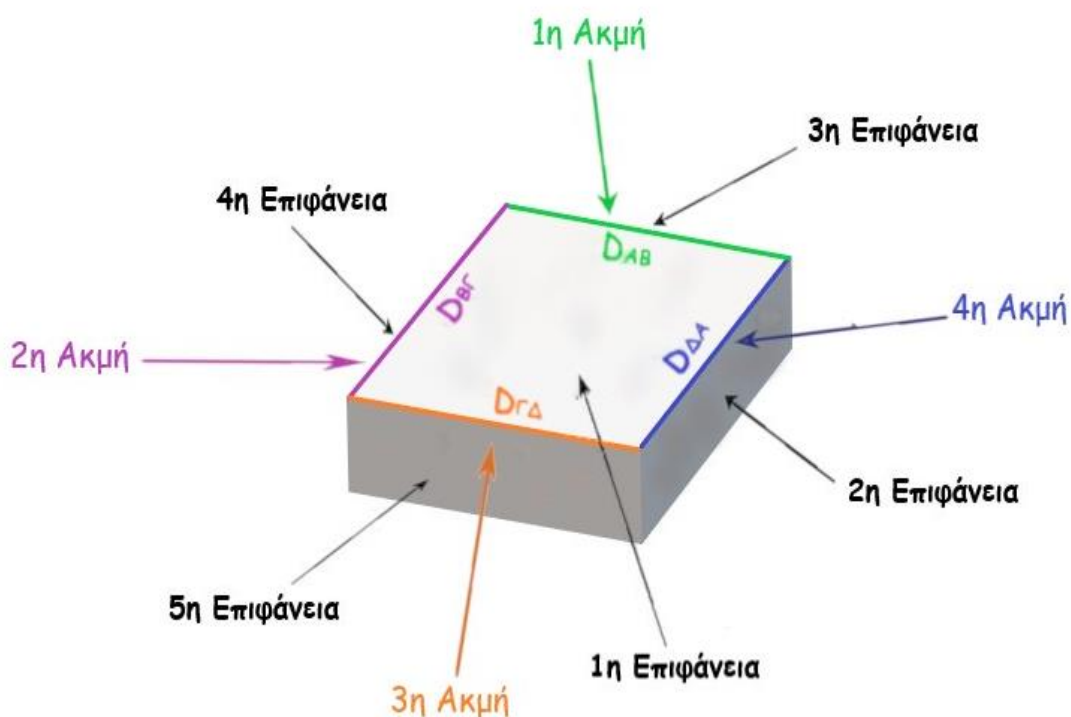
$$\begin{cases} x_\Delta + A_1 y_\Delta + B_1 z_\Delta + \Gamma_1 = 0 \\ x_\Delta + A_2 y_\Delta + B_2 z_\Delta + \Gamma_2 = 0 \\ x_\Delta + A_5 y_\Delta + B_5 z_\Delta + \Gamma_5 = 0 \end{cases}$$



Σχήμα 4.3: Τα τέσσερα σημεία τομής μεταξύ των επιφανειών των δοκιμίων που προσδιορίστηκαν από την επίλυση των τεσσάρων συστημάτων (προσωπικό αρχείο)

Με την επίλυση των συστημάτων αυτών υπολογίζονται οι συντεταγμένες ($x_A, y_A, z_A, x_B, y_B, z_B, x_G, y_G, z_G, x_D, y_D, z_D$) των σημείων τομής των τεμνόμενων επιφανειών κάθε δοκιμίου.

Εφόσον πλέον είναι γνωστές οι συντεταγμένες των τεσσάρων κορυφών των δοκιμίων μπορούν να υπολογιστούν οι μεταξύ τους αποστάσεις, δηλαδή οι τέσσερις ακμές των πλακιδίων μεταξύ των τεμνόμενων σημείων (σχήμα 4.4). Δηλαδή για κάθε δοκίμιο προσδιορίστηκαν τέσσερα μήκη. Ωστόσο, μόνο οι δύο από τις τέσσερις υπολογισμένες αποστάσεις ενδιέφεραν για την περαιτέρω επεξεργασία των μετρήσεων και την διεξαγωγή συμπερασμάτων. Έτσι, το πρώτο βήμα μετά τον υπολογισμό των τεσσάρων μηκών των ακμών των δοκιμίων ήταν η απόρριψη των δύο μηκών που δε χρειαζόνταν. Αφού παρέμειναν μόνο τα μήκη των ακμών που χρειάζονται για τη Δ.Ε., τέθηκαν σε σύγκριση με τα γνωστά αναγραφόμενα μήκη των δοκιμίων όπως δόθηκαν από τη Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών του Ε.Μ.Π..



Σχήμα 4.4: Οι τέσσερις ακμές των δοκιμίων που προσδιορίστηκαν από τις συντεταγμένες των σημείων τομής (προσωπικό αρχείο)

Για κάθε δοκίμιο υπολογίστηκαν οι αποστάσεις D_{AB} , $D_{B\Gamma}$, $D_{\Gamma\Delta}$, $D_{\Delta A}$. Οι σχέσεις που εφαρμόστηκαν για τον προσδιορισμό των αποστάσεων είναι:

$$D_{AB} = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2 + (z_B - z_A)^2}$$

$$D_{B\Gamma} = \sqrt{(x_\Gamma - x_B)^2 + (y_\Gamma - y_B)^2 + (z_\Gamma - z_B)^2}$$

$$D_{\Gamma\Delta} = \sqrt{(x_\Delta - x_\Gamma)^2 + (y_\Delta - y_\Gamma)^2 + (z_\Delta - z_\Gamma)^2}$$

$$D_{\Delta A} = \sqrt{(x_A - x_\Delta)^2 + (y_A - y_\Delta)^2 + (z_A - z_\Delta)^2}$$

Η επίλυση των συστημάτων για τον προσδιορισμό των σημείων τομής των επιφανειών των δοκιμίων, καθώς και ο υπολογισμός των αποστάσεων μεταξύ των σημείων τομής πραγματοποιήθηκαν σε υπολογιστικό περιβάλλον MATLAB.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, προσδιορίστηκαν συνολικά τέσσερα μήκη για κάθε δοκίμιο, αλλά στην πραγματικότητα χρειάζονταν μόνο οι δύο παράλληλες αποστάσεις D_{AB} , $D_{\Gamma\Delta}$, που αντιστοιχούσαν στα μήκη των διακριβωμένων δοκιμίων. Επομένως, απορρίφθηκαν τα μήκη $D_{B\Gamma}$, $D_{\Delta A}$, που δε χρειάζονταν για τη συνέχεια της εργασίας. Έτσι, προσδιορίστηκε η μέση τιμή $D_{ΥΠΟΛ}$ των δύο αυτών μηκών για κάθε δοκίμιο, ο οποίος στη συνέχεια αφαιρέθηκε από τις πραγματικές τιμές των μηκών $D_{ΠΡΑΓ}$ των διακριβωμένων δοκιμίων. Οι πραγματικές τιμές των πλακιδίων αναγράφονται στο πιστοποιητικό διακρίβωσης τους.

$$D_{ΥΠΟΛ} = \frac{D_{AB} + D_{\Gamma\Delta}}{2}$$

$$\Delta D = D_{ΠΡΑΓ} - D_{ΥΠΟΛ}$$

Μετά από αυτούς τους υπολογισμούς παρατηρήθηκαν κάποιες μεγάλες διαφορές ΔD της τάξης του $1mm - 60mm$ μεταξύ υπολογισμένου και πραγματικού μήκους σε ορισμένα δοκίμια. Δεδομένου ότι η μέγιστη ακρίβεια μετρήσεων του οργάνου είναι τα $\pm 0.029mm$, οι διαφορές αυτού

του μεγέθους θεωρούνται ιδιαίτερα σημαντικές και χρήζουν διερεύνησης. Για να ελεγχθεί εάν οι συγκεκριμένες διαφορές προέρχονται από κάποιο χονδροειδές σφάλμα, εξετάστηκαν τα υπόλοιπα κάθε επιφάνειας του δοκιμίου το οποίο εμφάνιζε το πρόβλημα. Εάν στα υπόλοιπα, τα οποία προέκυψαν από τη γενική μέθοδο συνόρθωσης, εμφανίζονταν τιμές μεγαλύτερες του σφάλματος του οργανού, δηλαδή των $\pm 0.029mm$, τότε απορρίπτονταν τα σημεία στα οποία αντιστοιχούσαν τα συγκεκριμένα υπόλοιπα και ξαναυπολογιζόταν το μήκος του δοκιμίου. Τα σημεία που μετρήθηκαν σε κάθε επιφάνεια του δοκιμίου ήταν έξι επομένως υπήρχε η δυνατότητα απόρριψης έως δύο σημείων για να είναι δυνατή η πραγματοποίηση συνόρθωσης για τον προσδιορισμό των παραμέτρων των επιφανειών των δοκιμίων. Πράγματι, τα νέα μήκη των δοκιμίων που υπολογίστηκαν μετά την αφαίρεση των κατάλληλων σημείων προσέγγιζαν πολύ περισσότερο τις πραγματικές τιμές των μηκών τους.

4.3.3. Ακρίβεια υπολογισμένων μηκών

Αφού προσδιορίστηκαν τα μήκη των δοκιμίων, χρειάζεται να υπολογιστεί και η ακρίβεια τους. Για τον υπολογισμό του $\sigma_{D_{ΥΠΟΛ}}$, εφαρμόστηκε νόμος μετάδοσης μεταβλητοτήτων, καθώς επίσης και νόμοι μετάδοσης σφαλμάτων.

Αρχικά, από την εφαρμογή της γενικής μεθόδου συνόρθωσης προέκυψε ο a posteriori πίνακας μεταβλητοτήτων – συμμεταβλητοτήτων V_x των καλύτερων τιμών των παραμέτρων $A_1, B_1, \Gamma_1, A_2, B_2, \Gamma_2, A_3, B_3, \Gamma_3, A_4, B_4, \Gamma_4, A_5, B_5, \Gamma_5$ των επιφανειών των δοκιμίων. Για τον προσδιορισμό των σημείων τομής των επιφανειών των δοκιμίων επιλύθηκαν συστήματα τριών αγνώστων με γνωστές τις παραμέτρους των επιφανειών. Το σύστημα για τον προσδιορισμό του σημείου τομής A έχει την εξής μορφή:

$$\left\{ \begin{array}{l} x_A = -A_1 y_A - B_1 z_A - \Gamma_1 \\ y_A = \frac{-x_A - B_2 z_A - \Gamma_2}{A_2} \\ z_A = \frac{-x_A - A_3 y_A - \Gamma_3}{B_3} \end{array} \right.$$

Εφαρμόζοντας το νόμο μετάδοσης μεταβλητοτήτων στις σχέσεις του συστήματος μπορούν να υπολογιστούν τα σφάλματα $\sigma_{x_A}, \sigma_{y_A}, \sigma_{z_A}$ του σημείου τομής A. Έτσι, θεωρώντας τις καλύτερες τιμές των παραμέτρων:

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} A_1 \\ B_1 \\ \Gamma_1 \\ A_2 \\ B_2 \\ \Gamma_2 \\ A_3 \\ B_3 \\ \Gamma_3 \end{bmatrix}$$

Και τις συντεταγμένες του σημείου τομής A:

$$\mathbf{y} = \begin{bmatrix} x_A \\ y_A \\ z_A \end{bmatrix}$$

Ο πίνακας μεταβλητοτήτων – συμμεταβλητοτήτων των συντεταγμένων του σημείου τομής A, σύμφωνα με το νόμο μετάδοσης μεταβλητοτήτων θα ισούται με:

$$\mathbf{V}_y = \mathbf{J}_{yx} \mathbf{V}_x \mathbf{J}_{yx}^T = \begin{bmatrix} \sigma_{x_A}^2 & \sigma_{x_A y_A} & \sigma_{x_A z_A} \\ \sigma_{x_A y_A} & \sigma_{y_A}^2 & \sigma_{y_A z_A} \\ \sigma_{x_A z_A} & \sigma_{y_A z_A} & \sigma_{z_A}^2 \end{bmatrix}$$

Όπου:

$$\mathbf{J}_{yx} = \begin{bmatrix} \frac{\partial x_A}{\partial A_1} & \frac{\partial x_A}{\partial B_1} & \frac{\partial x_A}{\partial \Gamma_1} & \dots & \frac{\partial x_A}{\partial \Gamma_3} \\ \frac{\partial y_A}{\partial A_1} & \frac{\partial y_A}{\partial B_1} & \frac{\partial y_A}{\partial \Gamma_1} & \dots & \frac{\partial y_A}{\partial \Gamma_3} \\ \frac{\partial z_A}{\partial A_1} & \frac{\partial z_A}{\partial B_1} & \frac{\partial z_A}{\partial \Gamma_1} & \dots & \frac{\partial z_A}{\partial \Gamma_3} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \frac{-y_A}{x_A + B_2 z_A + \Gamma_2} & \frac{-z_A}{-z_A} & \frac{-1}{-1} & \dots & \frac{-1}{-1} \\ \frac{A_1^2}{A_1} & \frac{A_1}{A_1} & \frac{A_1}{A_1} & \dots & \frac{A_3}{A_3} \\ \frac{-y_A}{B_1} & \frac{x_A + A_3 y_A + \Gamma_3}{B_1^2} & \frac{-1}{B_1} & \dots & \frac{-1}{B_3} \end{bmatrix}$$

Νόμος μετάδοσης μεταβλητοτήτων εφαρμόστηκε ακριβώς με τον ίδιο τρόπο και για τον προσδιορισμό των ακριβειών $\sigma_{x_B}, \sigma_{y_B}, \sigma_{z_B}, \sigma_{x_\Gamma}, \sigma_{y_\Gamma}, \sigma_{z_\Gamma}, \sigma_{x_\Delta}, \sigma_{y_\Delta}, \sigma_{z_\Delta}$ των υπόλοιπων σημείων τομής B, Γ, Δ .

Εφόσον πλέον είναι γνωστά τα σφάλματα των σημείων τομής A, B, Γ, Δ , τότε με εφαρμογή του νόμου μετάδοσης σφαλμάτων στη σχέση της απόστασης, από την οποία και υπολογίστηκαν τα μήκη $D_{AB}, D_{\Gamma\Delta}$, προσδιορίζονται και οι ακρίβειες $\sigma_{D_{AB}}$ και $\sigma_{D_{\Gamma\Delta}}$. Πιο αναλυτικά, με εφαρμογή νόμου μετάδοσης σφαλμάτων στις σχέσεις:

$$D_{AB} = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2 + (z_B - z_A)^2}$$

$$D_{\Gamma\Delta} = \sqrt{(x_\Delta - x_\Gamma)^2 + (y_\Delta - y_\Gamma)^2 + (z_\Delta - z_\Gamma)^2}$$

είναι $\sigma_{D_{AB}}$:

$$= \pm \sqrt{\left(\frac{\partial D_{AB}}{\partial x_A}\right)^2 * \sigma_{x_A}^2 + \left(\frac{\partial D_{AB}}{\partial x_B}\right)^2 * \sigma_{x_B}^2 + \left(\frac{\partial D_{AB}}{\partial y_A}\right)^2 * \sigma_{y_A}^2 + \left(\frac{\partial D_{AB}}{\partial y_B}\right)^2 * \sigma_{y_B}^2 + \left(\frac{\partial D_{AB}}{\partial z_A}\right)^2 * \sigma_{z_A}^2 + \left(\frac{\partial D_{AB}}{\partial z_B}\right)^2 * \sigma_{z_B}^2}$$

και $\sigma_{D_{\Gamma\Delta}}$:

$$= \pm \sqrt{\left(\frac{\partial D_{\Gamma\Delta}}{\partial x_\Gamma}\right)^2 * \sigma_{x_\Gamma}^2 + \left(\frac{\partial D_{\Gamma\Delta}}{\partial x_\Delta}\right)^2 * \sigma_{x_\Delta}^2 + \left(\frac{\partial D_{\Gamma\Delta}}{\partial y_\Gamma}\right)^2 * \sigma_{y_\Gamma}^2 + \left(\frac{\partial D_{\Gamma\Delta}}{\partial y_\Delta}\right)^2 * \sigma_{y_\Delta}^2 + \left(\frac{\partial D_{\Gamma\Delta}}{\partial z_\Gamma}\right)^2 * \sigma_{z_\Gamma}^2 + \left(\frac{\partial D_{\Gamma\Delta}}{\partial z_\Delta}\right)^2 * \sigma_{z_\Delta}^2}$$

Το $D_{ΥΠΟΛ}$, που αποτελεί και το τελικό μήκος που συγκρίνεται με το πραγματικό μήκος του εκάστοτε πλακιδίου, είναι ουσιαστικά η μέση τιμή

των D_{AB} και $D_{\Gamma\Delta}$. Επόμενως, με εφαρμογή του νόμου μετάδοσης σφαλμάτων στη σχέση της μέσης τιμής των μηκών, υπολογίζεται η ακρίβεια $\sigma_{D_{ΥΠΟΛ}}$:

$$D_{ΥΠΟΛ} = \frac{D_{AB} + D_{\Gamma\Delta}}{2}$$

Τελικά από νόμο μετάδοσης σφαλμάτων:

$$\begin{aligned} \sigma_{D_{ΥΠΟΛ}} &= \pm \sqrt{\left(\frac{\partial D_{ΥΠΟΛ}}{\partial D_{AB}}\right)^2 * \sigma_{D_{AB}}^2 + \left(\frac{\partial D_{ΥΠΟΛ}}{\partial D_{\Gamma\Delta}}\right)^2 * \sigma_{D_{\Gamma\Delta}}^2} \\ &= \pm \sqrt{\left(\frac{1}{2}\right)^2 * \sigma_{D_{AB}}^2 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 * \sigma_{D_{\Gamma\Delta}}^2} \end{aligned}$$

Ο υπολογισμός των σφαλμάτων των υπολογισμένων μηκών έγινε σε περιβάλλον MATLAB.

4.4. Αποτελέσματα μετρήσεων

Παρατίθενται τα μήκη των δοκιμίων και οι ακρίβειες τους για κάθε αισθητήρα, όπως προέκυψαν από τους υπολογισμούς που αναφέρονται στα υποκεφάλαια 4.3.2 και 4.3.3.

Πίνακας 4.2: Αποτελέσματα μετρήσεων του διακριβωμένου σφαιρικού αισθητήρα διαμέτρου 2mm

<p>Zircon Ball Probe 2mm Επιτύχης διακριβωση ακρίβειας 0.0187mm</p>
--

Πραγματικά μήκη δοκιμίων $D_{\text{ΠΡΑΓ}}$ (mm)	Σφάλματα Πραγματικών Μήκων δοκιμίων $\sigma D_{\text{ΠΡΑΓ}}$ (mm)	Υπολογισμένα μήκη δοκιμίων $D_{\text{ΥΠΟΛ}}$ (mm)	Σφάλματα υπολογισμένων μηκών $\sigma D_{\text{ΥΠΟΛ}}$ (mm)
10	± 0.00001	10.1319	± 0.1608
20	± 0.00001	18.0730	± 0.4174
30	± 0.00001	29.1290	± 0.4382
40	± 0.00001	39.6892	± 0.1682
50	± 0.00001	50.8364	± 1.0111
60	± 0.00001	60.6410	± 1.8607
70	± 0.00001	70.0047	± 0.5322
80	± 0.00001	87.8733	± 3.2531
90	± 0.00001	89.9479	± 0.5309
100	± 0.00001	99.1511	± 0.2106

Πίνακας 4.3: Αποτελέσματα μετρήσεων του μη διακριβωμένου σφαιρικού αισθητήρα διαμέτρου 2mm

Zircon Ball Probe 2mm Τοποθέτηση αισθητήρα χωρίς διακρίβωση (ακρίβεια 0.029mm)			
Πραγματικά μήκη δοκιμίων $D_{\text{ΠΡΑΓ}}$ (mm)	Σφάλματα Πραγματικών Μήκων δοκιμίων $\sigma D_{\text{ΠΡΑΓ}}$ (mm)	Υπολογισμένα μήκη δοκιμίων $D_{\text{ΥΠΟΛ}}$ (mm)	Σφάλματα υπολογισμένων μηκών $\sigma D_{\text{ΥΠΟΛ}}$ (mm)
10	± 0.00001	68.0540	± 0.7005
20	± 0.00001	90.2553	± 0.6707
30	± 0.00001	34.7142	± 0.1018
40	± 0.00001	97.5320	± 0.0426
50	± 0.00001	98.3318	± 0.1565
60	± 0.00001	88.8475	± 0.0264
70	± 0.00001	81.1067	± 0.0105
80	± 0.00001	167.7068	± 0.1855
90	± 0.00001	26.7691	± 0.0443

100	±0.00001	1023.0016	±3.1763
-----	----------	-----------	---------

Πίνακας 4.4: Αποτελέσματα μετρήσεων του ανεπιτυχώς διακριβωμένου σφαιρικού αισθητήρα διαμέτρου 3mm

Zircon Ball Probe 3mm Ανεπιτυχής διακρίβωση (ακρίβεια 0.029mm)			
Πραγματικά μήκη δοκιμίων $D_{\text{ΠΡΑΓ}}$ (mm)	Σφάλματα Πραγματικών Μήκων δοκιμίων $\sigma D_{\text{ΠΡΑΓ}}$ (mm)	Υπολογισμένα μήκη δοκιμίων $D_{\text{ΥΠΟΛ}}$ (mm)	Σφάλματα υπολογισμένων μηκών $\sigma D_{\text{ΥΠΟΛ}}$ (mm)
10	±0.00001	10.1501	±0.2177
20	±0.00001	20.6614	±1.5063
30	±0.00001	29.9924	±0.2546
40	±0.00001	40.2720	±0.8566
50	±0.00001	51.3314	±0.5904
60	±0.00001	59.9317	±0.9021
70	±0.00001	70.0129	±0.2728
80	±0.00001	80.2400	±1.1143
90	±0.00001	90.5165	±0.9268
100	±0.00001	100.0577	±0.4442

Πίνακας 4.5: Αποτελέσματα μετρήσεων του ανεπιτυχώς διακριβωμένου σφαιρικού αισθητήρα διαμέτρου 4mm

Zircon Ball Probe 4mm Ανεπιτυχής διακρίβωση (ακρίβεια 0.029mm)			
Πραγματικά μήκη δοκιμίων $D_{\text{ΠΡΑΓ}}$ (mm)	Σφάλματα Πραγματικών Μήκων δοκιμίων $\sigma D_{\text{ΠΡΑΓ}}$ (mm)	Υπολογισμένα μήκη δοκιμίων $D_{\text{ΥΠΟΛ}}$ (mm)	Σφάλματα υπολογισμένων μηκών $\sigma D_{\text{ΥΠΟΛ}}$ (mm)

10	±0.00001	13.4927	±0.9855
20	±0.00001	19.7399	±0.1713
30	±0.00001	30.3876	±0.4694
40	±0.00001	40.5820	±0.4485
50	±0.00001	50.2221	±0.6448
60	±0.00001	60.7438	±0.2573
70	±0.00001	70.3988	±0.2612
80	±0.00001	81.2016	±0.2405
90	±0.00001	90.1323	±0.9666
100	±0.00001	99.2243	±0.6453

Πίνακας 4.6: Αποτελέσματα μετρήσεων του ανεπιτυχώς διακριβωμένου σφαιρικού αισθητήρα διαμέτρου 5mm

Zircon Ball Probe 5mm Ανεπιτυχής διακρίβωση (ακρίβεια 0.029mm)			
Πραγματικά μήκη δοκιμίων $D_{\text{ΠΡΑΓ}}$ (mm)	Σφάλματα Πραγματικών Μήκων δοκιμίων $\sigma D_{\text{ΠΡΑΓ}}$ (mm)	Υπολογισμένα μήκη δοκιμίων $D_{\text{ΥΠΟΛ}}$ (mm)	Σφάλματα υπολογισμένων μηκών $\sigma D_{\text{ΥΠΟΛ}}$ (mm)
10	±0.00001	9.9850	±0.1625
20	±0.00001	20.0658	±0.2498
30	±0.00001	29.6567	±0.5923
40	±0.00001	39.9513	±0.3286
50	±0.00001	49.8064	±0.5716
60	±0.00001	58.0084	±0.9198
70	±0.00001	69.9573	±0.9136
80	±0.00001	80.0607	±0.5780
90	±0.00001	90.0173	±0.4685
100	±0.00001	99.9358	±0.1585

Πίνακας 4.7: Αποτελέσματα μετρήσεων του επιτυχώς διακριβωμένου σφαιρικού αισθητήρα διαμέτρου 6mm

Zircon Ball Probe 6mm Επιτύχης διακρίβωση ακρίβειας 0.0063mm			
Πραγματικά μήκη δοκιμίων $D_{\text{ΠΡΑΓ}}$ (mm)	Σφάλματα Πραγματικών Μήκων δοκιμίων $\sigma D_{\text{ΠΡΑΓ}}$ (mm)	Υπολογισμένα μήκη δοκιμίων $D_{\text{ΥΠΟΛ}}$ (mm)	Σφάλματα υπολογισμένων μηκών $\sigma D_{\text{ΥΠΟΛ}}$ (mm)
10	± 0.00001	9.8752	± 0.1763
20	± 0.00001	18.5978	± 0.3605
30	± 0.00001	29.4900	± 0.6361
40	± 0.00001	40.0241	± 0.0470
50	± 0.00001	49.5136	± 0.3384
60	± 0.00001	60.1847	± 0.1631
70	± 0.00001	70.3245	± 0.1697
80	± 0.00001	80.0046	± 0.0328
90	± 0.00001	89.9519	± 0.0919
100	± 0.00001	99.9052	± 0.0538

Πίνακας 4.8: Αποτελέσματα μετρήσεων του ανεπιτυχώς διακριβωμένου σφαιρικού αισθητήρα διαμέτρου 6mm

Zircon Ball Probe 6mm Ανεπιτυχής διακρίβωση (ακρίβεια 0.029mm)			
Πραγματικά μήκη δοκιμίων $D_{\text{ΠΡΑΓ}}$ (mm)	Σφάλματα Πραγματικών Μήκων δοκιμίων $\sigma D_{\text{ΠΡΑΓ}}$ (mm)	Υπολογισμένα μήκη δοκιμίων $D_{\text{ΥΠΟΛ}}$ (mm)	Σφάλματα υπολογισμένων μηκών $\sigma D_{\text{ΥΠΟΛ}}$ (mm)
10	± 0.00001	9.8883	± 0.7666
20	± 0.00001	20.0748	± 1.3136
30	± 0.00001	30.7670	± 2.1798
40	± 0.00001	40.0269	± 0.3684

50	±0.00001	49.9728	±0.2011
60	±0.00001	60.0778	±1.9123
70	±0.00001	69.9258	±0.3989
80	±0.00001	80.2818	±1.2119
90	±0.00001	90.2194	±2.8759
100	±0.00001	100.3191	±0.8807

Πίνακας 4.9: Αποτελέσματα μετρήσεων του επιτυχώς διακριβωμένου σημειακού αισθητήρα

Point Probe Επιτύχης διακρίβωση ακρίβειας 0.0076mm			
Πραγματικά μήκη δοκιμίων $D_{\text{ΠΡΑΓ}}$ (mm)	Σφάλματα Πραγματικών Μήκων δοκιμίων $\sigma D_{\text{ΠΡΑΓ}}$ (mm)	Υπολογισμένα μήκη δοκιμίων $D_{\text{ΥΠΟΛ}}$ (mm)	Σφάλματα υπολογισμένων μηκών $\sigma D_{\text{ΥΠΟΛ}}$ (mm)
10	±0.00001	10.3530	±0.3119
20	±0.00001	20.6305	±0.3885
30	±0.00001	29.8205	±0.2807
40	±0.00001	40.8826	±0.1191
50	±0.00001	49.1938	±0.6026
60	±0.00001	60.1228	±0.1562
70	±0.00001	70.1708	±0.1137
80	±0.00001	79.9727	±0.1619
90	±0.00001	89.7200	±0.2672
100	±0.00001	100.3043	±0.1068

Πίνακας 4.10: Αποτελέσματα μετρήσεων του μη διακριβωμένου σημειακού αισθητήρα

Point Probe Τοποθέτηση αισθητήρα χωρίς διακρίβωση (ακρίβεια 0.029mm)

Πραγματικά μήκη δοκιμίων $D_{\text{ΠΡΑΓ}}$ (mm)	Σφάλματα Πραγματικών Μήκων δοκιμίων $\sigma D_{\text{ΠΡΑΓ}}$ (mm)	Υπολογισμένα μήκη δοκιμίων $D_{\text{ΥΠΟΛ}}$ (mm)	Σφάλματα υπολογισμένων μηκών $\sigma D_{\text{ΥΠΟΛ}}$ (mm)
10	± 0.00001	46.1608	± 7.0821
20	± 0.00001	35.2670	± 0.9986
30	± 0.00001	63.7575	± 0.4597
40	± 0.00001	44.5334	± 4.7016
50	± 0.00001	59.4143	± 1.3812
60	± 0.00001	67.1746	± 2.1170
70	± 0.00001	78.1839	± 0.8753
80	± 0.00001	68.6992	± 1.8967
90	± 0.00001	70.6223	± 1.8676
100	± 0.00001	87.2152	± 1.4511

Οι τιμές των πινάκων που έχουν υπογραμμιστεί με κίτρινο χρώμα είναι τα υπολογισμένα μήκη που παρουσιάζουν διαφορά από τα πραγματικά μήκη των δοκιμίων, μεγαλύτερη του $\pm 1.5mm$. Θεωρήθηκε, ότι στις περιπτώσεις που η διαφορά μεταξύ των πραγματικών και υπολογισμένων μηκών των δοκιμίων ξεπερνάει το $\pm 1.5mm$, τότε αυτή είναι αυτομάτως στατιστικά σημαντική. Αυτή η θεώρηση δεν έγινε αυθαίρετα. Παρατηρήθηκε ότι τα σφάλματα των υπολογισμένων μηκών, που απέχουν περισσότερο από $\pm 1.5mm$ από τις τιμές των πραγματικών μηκών των δοκιμίων, είναι πολύ μεγάλα και μπορεί να επηρεάσουν τον έλεγχο της στατιστικής σημαντικότητας που θα πραγματοποιηθεί στη συνέχεια. Να σημειωθεί ότι για τις μεγάλες αποκλίσεις πραγματικών - υπολογισμένων μηκών πραγματοποιήθηκε έλεγχος των υπολοίπων των μετρήσεων, όπως προκύπτουν από τη γενική μέθοδο συνόρθωσης και όπου κρίθηκε σκόπιμο, αφαιρέθηκαν οι μετρήσεις ενός ή δύο σημείων. Στους παραπάνω πίνακες έχουν καταγραφεί τα μήκη, όπως υπολογίστηκαν μετά τον έλεγχο των υπολοίπων. Επομένως, τα μήκη που έχουν σημειωθεί με κίτρινο χρώμα είναι αυτά που είτε δε μεταβλήθηκε η τιμή τους με την αφαίρεση σημείων κατά τον έλεγχο των υπολοίπων, είτε η τιμή τους παρέμεινε ως έχει διότι οι τιμές των υπολοίπων βρισκόντουσαν εντός του επιθυμητού ορίου των $\pm 0.029mm$.

Παρατηρείται, ότι στην περίπτωση των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν με απλή τοποθέτηση του αισθητήρα στον βραχίονα και επιλογή κάποιας παλαιότερης διακρίβωσης, χωρίς τη διεξαγωγή της διαδικασίας της διακρίβωσης, τα μήκη που υπολογίστηκαν παρουσιάζουν πολύ μεγάλες διαφορές σε σύγκριση με τις πραγματικές τιμές των μηκών (πίνακας 4.3 & πίνακας 4.10). Πιο συγκεκριμένα, τα υπολογισμένα μήκη διαφέρουν σημαντικά από τα πραγματικά και δεν εμφανίζεται κάποια σταθερή απόκλιση. Οι διαφορές μεταξύ των πραγματικών μηκών και των αποτελεσμάτων των μετρήσεων και με τους δύο αισθητήρες που δε διακριβώθηκαν (zircon ball probe 2mm & point probe) θεωρούνται αυτόματα στατιστικά σημαντικές και γι' αυτό κρίθηκε σκόπιμο να μην υπολογιστούν τα σφάλματα τους.

4.4.1. Στατιστική σημαντικότητα διαφορών υπολογισμένων και πραγματικών τιμών δοκιμίων

Για να προσδιοριστεί αν οι διαφορές μεταξύ των υπολογισμένων και των πραγματικών μηκών των δοκιμίων είναι στατιστικά σημαντικές θα πρέπει να υπολογιστεί το σφάλμα της διαφοράς υπολογισμένου και πραγματικού μήκους. Το σφάλμα διαφοράς υπολογίζεται με εφαρμογή νόμου μετάδοσης σφαλμάτων στη σχέση:

$$\Delta D_{\text{ΠΡΑΓ-ΥΠΟΛ}} = D_{\text{ΠΡΑΓ}} - D_{\text{ΥΠΟΛ}}$$

Με εφαρμογή νόμου μετάδοσης σφαλμάτων στην παραπάνω σχέση:

$$\sigma_{\Delta D_{\text{ΠΡΑΓ-ΥΠΟΛ}}} = \sqrt{\left(\frac{\partial \Delta D_{\text{ΠΡΑΓ-ΥΠΟΛ}}}{\partial D_{\text{ΠΡΑΓ}}}\right)^2 * \sigma_{D_{\text{ΠΡΑΓ}}}^2 + \left(\frac{\partial \Delta D_{\text{ΠΡΑΓ-ΥΠΟΛ}}}{\partial D_{\text{ΥΠΟΛ}}}\right)^2 * \sigma_{D_{\text{ΥΠΟΛ}}}^2}$$

$$\sigma_{\Delta D_{\text{ΠΡΑΓ-ΥΠΟΛ}}} = \sqrt{\sigma_{D_{\text{ΠΡΑΓ}}}^2 + \sigma_{D_{\text{ΥΠΟΛ}}}^2}$$

Σύμφωνα, με το πιστοποιητικό διακρίβωσης των δοκιμίων, το σφάλμα των πραγματικών μηκών ισούται με:

$$\sigma_{D_{\text{ΠΡΑΓ}}} = \sqrt{50^2 + D_{\text{ΠΡΑΓ}}^2 * 10^{-6}} \text{ (mm)}$$

Όπου $D_{\text{ΠΡΑΓ}}$ το μήκος του πλακιδίου σε mm

Στη συνέχεια προσδιορίστηκε η στατιστική σημαντικότητα της διαφοράς πραγματικού – υπολογισμένου μήκους για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Για να θεωρηθεί στατιστικά σημαντική μια διαφορά πραγματικού – υπολογισμένου μήκους θα πρέπει να ισχύει:

$$|\Delta D_{\text{ΠΡΑΓ-ΥΠΟΛ}}| > \sigma_{\Delta D_{\text{ΠΡΑΓ-ΥΠΟΛ}}} * Z_{95\%}$$

Όπου $z_{95\%} = 1.96$

Στους πίνακες που ακολουθούν φαίνονται οι στατιστικά σημαντικές διαφορές για κάθε αισθητήρα με τον οποίον πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις.

Πίνακας 4.11: Στατιστικός έλεγχος των αποτελεσμάτων των μετρήσεων του επιτυχώς διακριβωμένου σφαιρικού αισθητήρα διαμέτρου 2mm

Zircon Ball Probe 2mm Επιτύχης διακρίβωση ακρίβειας 0.0187mm					
Πραγματικά μήκη δοκιμίων $D_{\text{ΠΡΑΓ}}$ (mm)	Υπολογισμένα μήκη δοκιμίων $D_{\text{ΥΠΟΛ}}$ (mm)	Διαφορά γνωστού και υπολογισμένου μήκους $\Delta D_{\text{ΠΡΑΓ-ΥΠΟΛ}}$ (mm)	Σφάλμα διαφοράς μηκών $\Sigma \Delta D_{\text{ΠΡΑΓ-ΥΠΟΛ}}$ (mm)	$\sigma_{\Delta D} * z_{95\%}$ (mm)	Στατιστικός έλεγχος $ \Delta D < \sigma_{\Delta D} * z_{95\%}$
10	10.1319	-0.1319	± 0.1608	± 0.3151	TRUE
20	18.0730	1.9270	± 0.4174	± 0.8182	FALSE
30	29.1290	0.8710	± 0.4382	± 0.8589	FALSE
40	39.6892	0.3108	± 0.1682	± 0.3297	TRUE
50	50.8364	-0.8364	± 1.0111	± 1.9819	TRUE
60	60.6410	-0.6410	± 1.8607	± 3.6470	TRUE
70	70.0047	-0.0047	± 0.5322	± 1.0430	TRUE

80	87.8733	-7.8733	±3.2531	±6.3761	FALSE
90	89.9479	0.0521	±0.5309	±1.0405	TRUE
100	99.1511	0.8489	±0.2106	±0.4127	FALSE

Στον πίνακα 4.11 αναγράφονται οι διαφορές πραγματικού και υπολογισμένου μήκους όπως προέκυψαν από τις μετρήσεις με τον επιτυχώς διακριβωμένο αισθητήρα διαμέτρου 2mm. Στον πίνακα 4.11 εντοπίζονται τέσσερις στατιστικά σημαντικές διαφορές (κόκκινο χρώμα). Με πράσινο χρώμα στον πίνακα υπογραμμίζονται οι μη στατιστικά σημαντικές διαφορές οι οποίες εδώ ισούνται με έξι.

Πίνακας 4.12: Στατιστικός έλεγχος των αποτελεσμάτων των μετρήσεων του ανεπιτυχώς διακριβωμένου σφαιρικού αισθητήρα διαμέτρου 3mm

Zircon Ball Probe 3mm Ανεπιτυχής διακρίβωση (ακρίβεια 0.029mm)					
Πραγματικά μήκη δοκιμίων $D_{\text{ΠΡΑΓ}}$ (mm)	Υπολογισμένα μήκη δοκιμίων $D_{\text{ΥΠΟΛ}}$ (mm)	Διαφορά γνωστού και υπολογισμένου μήκους $\Delta D_{\text{ΠΡΑΓ-ΥΠΟΛ}}$ (mm)	Σφάλμα διαφοράς μηκών $\Sigma \Delta D_{\text{ΠΡΑΓ-ΥΠΟΛ}}$ (mm)	$\sigma \Delta D * z_{95\%}$ (mm)	Στατιστικός έλεγχος $ \Delta D < \sigma \Delta D * z_{95\%}$
10	10.1501	-0.1501	±0.2177	±0.4267	TRUE
20	20.6614	-0.6614	±1.5063	±2.9524	TRUE
30	29.9924	0.0076	±0.2546	±0.4991	TRUE
40	40.2720	-0.2720	±0.8566	±1.6790	TRUE
50	51.3314	-1.3314	±0.5904	±1.1572	FALSE
60	59.9317	0.0683	±0.9021	±1.7681	TRUE
70	70.0129	-0.0129	±0.2728	±0.5347	TRUE
80	80.2400	-0.2400	±1.1143	±2.1840	TRUE
90	90.5165	-0.5165	±0.9268	±1.8165	TRUE
100	100.0577	-0.0577	±0.4442	±0.8706	TRUE

Στον πίνακα 4.12 αναγράφονται οι διαφορές πραγματικού και υπολογισμένου μήκους όπως προέκυψαν από τις μετρήσεις με τον ανεπιτυχώς διακριβωμένο αισθητήρα διαμέτρου 3mm. Πρόκειται για τις μέτρησεις που είχαν πραγματοποιηθεί όταν υπήρχε και η αδυναμία

βαθμονόμησης του βραχίονα και χρειάστηκε να σταλεί στην εταιρεία κατασκευής για διακρίβωση. Παρ'όλες τις αδυναμίες, φαίνεται πως οι μετρήσεις που διέξαχθηκαν ήταν αρκετά ακριβείς, εφόσον εντοπίζεται μόνο μία στατιστικά σημαντική διαφορά μηκών.

Πίνακας 4.13: Στατιστικός έλεγχος των αποτελεσμάτων των μετρήσεων του ανεπιτυχώς διακριβωμένου σφαιρικού αισθητήρα διαμέτρου 4mm

Zircon Ball Probe 4mm Ανεπιτυχής διακρίβωση (ακρίβεια 0.029mm)					
Πραγματικά μήκη δοκιμίων $D_{\text{ΠΡΑΓ}}$ (mm)	Υπολογισμένα μήκη δοκιμίων $D_{\text{ΥΠΟΛ}}$ (mm)	Διαφορά γνωστού και υπολογισμένου μήκους $\Delta D_{\text{ΠΡΑΓ-ΥΠΟΛ}}$ (mm)	Σφάλμα διαφοράς μηκών $\Sigma \Delta D_{\text{ΠΡΑΓ-ΥΠΟΛ}}$ (mm)	$\sigma_{\Delta D} * z_{95\%}$ (mm)	Στατιστικός έλεγχος $ \Delta D < \sigma_{\Delta D} * z_{95\%}$
10	13.4927	-3.4927	± 0.9855	± 1.9315	FALSE
20	19.7399	0.2601	± 0.1713	± 0.3358	TRUE
30	30.3876	-0.3876	± 0.4694	± 0.9200	TRUE
40	40.5820	-0.5820	± 0.4485	± 0.8791	TRUE
50	50.2221	-0.2221	± 0.6448	± 1.2638	TRUE
60	60.7438	-0.7438	± 0.2573	± 0.5043	FALSE
70	70.3988	-0.3988	± 0.2612	± 0.5119	TRUE
80	81.2016	-1.2016	± 0.2405	± 0.4714	FALSE
90	90.1323	-0.1323	± 0.9666	± 1.8946	TRUE
100	99.2243	0.7757	± 0.6453	± 1.2648	TRUE

Στον πίνακα 4.13 αναγράφονται οι διαφορές πραγματικού και υπολογισμένου μήκους όπως προέκυψαν από τις μετρήσεις με τον ανεπιτυχώς διακριβωμένο αισθητήρα διαμέτρου 4mm. Πρόκειται για τις μέτρησεις που είχαν πραγματοποιηθεί όταν υπήρχε και η αδυναμία βαθμονόμησης του βραχίονα και χρειάστηκε να σταλεί στην εταιρεία κατασκευής για διακρίβωση. Στον Πίνακα 4.13 εντοπίζονται τρεις στατιστικά σημαντικές διαφορές (κόκκινο χρώμα). Με πράσινο χρώμα στον πίνακα υπογραμμίζονται οι μη στατιστικά σημαντικές διαφορές οι οποίες εδώ ισούνται με επτά.

Πίνακας 4.14: Στατιστικός έλεγχος των αποτελεσμάτων των μετρήσεων του ανεπιτυχώς διακριβωμένου σφαιρικού αισθητήρα διαμέτρου 5mm

Zircon Ball Probe 5mm Ανεπιτυχής διακρίβωση (ακρίβεια 0.029mm)					
Πραγματικά μήκη δοκιμίων $D_{\text{ΠΡΑΓ}}$ (mm)	Υπολογισμένα μήκη δοκιμίων $D_{\text{ΥΠΟΛ}}$ (mm)	Διαφορά γνωστού και υπολογισμένου μήκους $\Delta D_{\text{ΠΡΑΓ-ΥΠΟΛ}}$ (mm)	Σφάλμα διαφοράς μηκών $\Sigma \Delta D_{\text{ΠΡΑΓ-ΥΠΟΛ}}$ (mm)	$\sigma_{\Delta D}$ *z95% (mm)	Στατιστικός έλεγχος $ \Delta D < \sigma_{\Delta D} * z_{95\%}$
10	9.9850	0.0150	± 0.1625	± 0.3184	TRUE
20	20.0658	-0.0658	± 0.2498	± 0.4896	TRUE
30	29.6567	0.3433	± 0.5923	± 1.1609	TRUE
40	39.9513	0.0487	± 0.3286	± 0.6440	TRUE
50	49.8064	0.1936	± 0.5716	± 1.1203	TRUE
60	58.0084	1.9916	± 0.9198	± 1.8028	FALSE
70	69.9573	0.0427	± 0.9136	± 1.7906	TRUE
80	80.0607	-0.0607	± 0.5780	± 1.1328	TRUE
90	90.0173	-0.0173	± 0.4685	± 0.9184	TRUE
100	99.9358	0.0642	± 0.1585	± 0.3107	TRUE

Στον πίνακα 4.14 αναγράφονται οι διαφορές πραγματικού και υπολογισμένου μήκους όπως προέκυψαν από τις μετρήσεις με τον ανεπιτυχώς διακριβωμένο αισθητήρα διαμέτρου 5mm. Πρόκειται για τις μετρήσεις που είχαν πραγματοποιηθεί όταν υπήρχε και η αδυναμία βαθμονόμησης του βραχίονα και χρειάστηκε να σταλεί στην εταιρεία κατασκευής για διακρίβωση. Παρ'όλες τις αδυναμίες, φαίνεται πως οι μετρήσεις που διέξαχθηκαν ήταν αρκετά ακριβείς, εφόσον εντοπίζεται μόνο μία στατιστικά σημαντική διαφορά μηκών και αυτή είναι η διαφορά μήκους του δοκιμίου των 60mm.

Πίνακας 4.15: Στατιστικός έλεγχος των αποτελεσμάτων των μετρήσεων του επιτυχώς διακριβωμένου σφαιρικού αισθητήρα διαμέτρου 6mm

Zircon Ball Probe 6mm Επιτυχής διακρίβωση ακρίβειας 0.0063mm	
---	--

Πραγματικά μήκη δοκιμίων $D_{\text{ΠΡΑΓ}}$ (mm)	Υπολογισμένα μήκη δοκιμίων $D_{\text{ΥΠΟΛ}}$ (mm)	Διαφορά γνωστού και υπολογισμένου μήκους $\Delta D_{\text{ΠΡΑΓ-ΥΠΟΛ}}$ (mm)	Σφάλμα διαφοράς μηκών $\Sigma \Delta D_{\text{ΠΡΑΓ-ΥΠΟΛ}}$ (mm)	$\sigma_{\Delta D}$ *z95% (mm)	Στατιστικός έλεγχος $ \Delta D < \sigma_{\Delta D} * z_{95\%}$
10	9.8752	0.1248	± 0.1763	± 0.3455	TRUE
20	18.5978	1.4022	± 0.3605	± 0.7065	FALSE
30	29.4900	0.5100	± 0.6361	± 1.2469	TRUE
40	40.0241	-0.0241	± 0.0470	± 0.0922	TRUE
50	49.5136	0.4864	± 0.3384	± 0.6634	TRUE
60	60.1847	-0.1847	± 0.1631	± 0.3197	TRUE
70	70.3245	-0.3245	± 0.1697	± 0.3327	TRUE
80	80.0046	-0.0046	± 0.0328	± 0.0642	TRUE
90	89.9519	0.0481	± 0.0919	± 0.1802	TRUE
100	99.9052	0.0948	± 0.0538	± 0.1054	TRUE

Στον πίνακα 4.15 αναγράφονται οι διαφορές πραγματικού και υπολογισμένου μήκους όπως προέκυψαν από τις μετρήσεις με τον επιτυχώς διακριβωμένο αισθητήρα διαμέτρου 6mm. Στον Πίνακα 4.15 εντοπίζεται μία στατιστικά σημαντική διαφορά (κόκκινο χρώμα). Με πράσινο χρώμα στον πίνακα υπογραμμίζονται οι μη στατιστικά σημαντικές διαφορές οι οποίες εδώ ισούνται με εννιά.

Πίνακας 4.16: Στατιστικός έλεγχος των αποτελεσμάτων των μετρήσεων του ανεπιτυχώς διακριβωμένου σφαιρικού αισθητήρα διαμέτρου 6mm

Zircon Ball Probe 6mm Ανεπιτυχής διακρίβωση (ακρίβεια 0.029mm)					
Πραγματικά μήκη δοκιμίων $D_{\text{ΠΡΑΓ}}$ (mm)	Υπολογισμένα μήκη δοκιμίων $D_{\text{ΥΠΟΛ}}$ (mm)	Διαφορά γνωστού και υπολογισμένου μήκους $\Delta D_{\text{ΠΡΑΓ-ΥΠΟΛ}}$ (mm)	Σφάλμα διαφοράς μηκών $\Sigma \Delta D_{\text{ΠΡΑΓ-ΥΠΟΛ}}$ (mm)	$\sigma_{\Delta D}$ *z95% (mm)	Στατιστικός έλεγχος $ \Delta D < \sigma_{\Delta D} * z_{95\%}$
10	9.8883	0.1117	± 0.7666	± 1.5026	TRUE
20	20.0748	-0.0748	± 1.3136	± 2.5746	TRUE
30	30.7670	-0.7670	± 2.1798	± 4.2724	TRUE
40	40.0269	-0.0269	± 0.3684	± 0.7221	TRUE
50	49.9728	0.0272	± 0.2011	± 0.3942	TRUE
60	60.0778	-0.0778	± 1.9123	± 3.7481	TRUE

70	69.9258	0.0742	±0.3989	±0.7818	TRUE
80	80.2818	-0.2818	±1.2119	±2.3754	TRUE
90	90.2194	-0.2194	±2.8759	±5.6367	TRUE
100	100.3191	-0.3191	±0.8807	±1.7261	TRUE

Στον πίνακα 4.16 αναγράφονται οι διαφορές πραγματικού και υπολογισμένου μήκους όπως προέκυψαν από τις μετρήσεις με τον ανεπιτυχώς διακριβωμένο αισθητήρα διαμέτρου 6mm. Εδώ είχε πραγματοποιηθεί επιτυχώς η διαδικασία της βαθμονόμησης του βραχίονα, αλλά απέτυχε η διακρίβωση του αισθητήρα. Δεν εντοπίζεται κάποια στατιστικά σημαντική διαφορά.

Πίνακας 4.17: Στατιστικός έλεγχος των αποτελεσμάτων των μετρήσεων του επιτυχώς διακριβωμένου σημειακού αισθητήρα

Point Probe Επιτύχης διακρίβωση ακρίβειας 0.0076mm					
Πραγματικά μήκη δοκιμίων $D_{\text{ΠΡΑΓ}}$ (mm)	Υπολογισμένα μήκη δοκιμίων $D_{\text{ΥΠΟΛ}}$ (mm)	Διαφορά γνωστού και υπολογισμένου μήκους $\Delta D_{\text{ΠΡΑΓ-ΥΠΟΛ}}$ (mm)	Σφάλμα διαφοράς μηκών $\Sigma \Delta D_{\text{ΠΡΑΓ-ΥΠΟΛ}}$ (mm)	$\sigma_{\Delta D}$ *z95% (mm)	Στατιστικός έλεγχος $ \Delta D < \sigma_{\Delta D} * z_{95\%}$
10	10.3530	-0.3530	±0.3119	±0.6113	TRUE
20	20.6305	-0.6305	±0.3885	±0.7615	TRUE
30	29.8205	0.1795	±0.2807	±0.5502	TRUE
40	40.8826	-0.8826	±0.1191	±0.2334	FALSE
50	49.1938	0.8062	±0.6026	±1.1811	TRUE
60	60.1228	-0.1228	±0.1562	±0.3062	TRUE
70	70.1708	-0.1708	±0.1137	±0.2229	TRUE
80	79.9727	0.0273	±0.1619	±0.3173	TRUE
90	89.7200	0.2800	±0.2672	±0.5237	TRUE
100	100.3043	-0.3043	±0.1068	±0.2093	FALSE

Στον πίνακα 4.17 αναγράφονται οι διαφορές πραγματικού και υπολογισμένου μήκους όπως προέκυψαν από τις μετρήσεις με τον επιτυχώς διακριβωμένο σημειακό αισθητήρα. Στον Πίνακα 4.17

εντοπίζονται δύο στατιστικά σημαντικές διαφορές (κόκκινο χρώμα). Με πράσινο χρώμα στον πίνακα υπογραμμίζονται οι μη στατιστικά σημαντικές διαφορές οι οποίες εδώ ισούνται με οκτώ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

5.1. Συμπεράσματα

Μετά την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, η οποία έχει ως αντικείμενο τον έλεγχο και τη βαθμονόμηση του αρθρωτού βραχίονα FARO Edge και FARO Laser ScanArm Edge μέσω της πειραματικής διεξαγωγής μετρήσεων σε διακριβωμένα πλακίδια γνωστών διαστάσεων, εξάγονται ορισμένα χρήσιμα συμπεράσματα:

- Οι μετρήσεις που πραγματοποιούνται με απλή τοποθέτηση του αισθητήρα στο βραχίονα επιλέγοντας κάποια παλαιότερη αποθηκευμένη διακρίβωση, χωρίς τη διεξαγωγή της διαδικασίας της διακρίβωσης, είναι απολύτως ανακριβείς. Τέτοιες μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν μόνο με τον σημειακό αισθητήρα (point probe) και τον σφαιρικό αισθητήρα διαμέτρου 2mm (zircon ball probe 2mm) και η απόκλιση των αποτελεσμάτων τους από τα πραγματικά μήκη των δοκιμίων φαίνεται στον πίνακα 5.1. Οι αποκλίσεις πραγματικών και υπολογισμένων μηκών κυμαίνονται μεταξύ των 4mm – 80mm, ενώ παρουσιάζεται και μία απόκλιση της τάξης των 900 mm (υπολογισμένο μήκος για το πλακίδιο των 100mm με το σφαιρικό αισθητήρα διαμέτρου 2mm), η οποία αποδίδεται σε ύπαρξη χονδροειδούς σφάλματος.

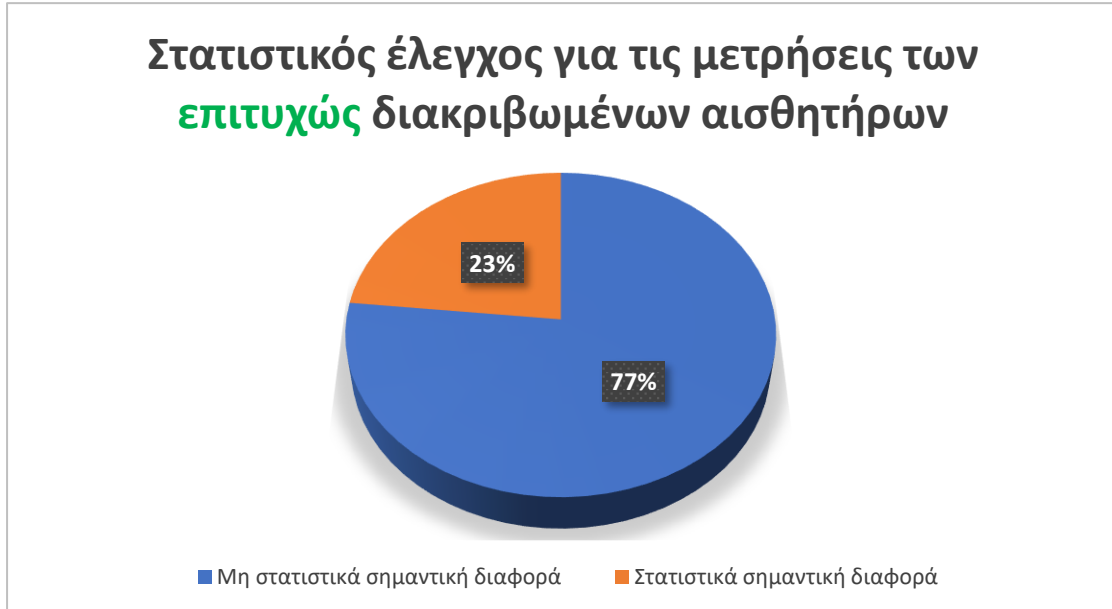
Πίνακας 5.1: Αποτελέσματα των μηκών των πλακιδίων όπως προέκυψαν από τις μετρήσεις με απλή τοποθέτηση του αισθητήρα στο βραχίονα και η σύγκριση τους με τα πραγματικά μήκη των δοκιμίων

Point Probe Τοποθέτηση αισθητήρα χωρίς διακρίβωση (ακρίβεια 0.029mm)		Zircon Ball Probe 2mm Τοποθέτηση αισθητήρα χωρίς διακρίβωση (ακρίβεια 0.029mm)	
Πραγματικά μήκη δοκιμίων (mm)	Υπολογισμένα μήκη δοκιμίων (mm)	Πραγματικά μήκη δοκιμίων (mm)	Υπολογισμένα μήκη δοκιμίων (mm)

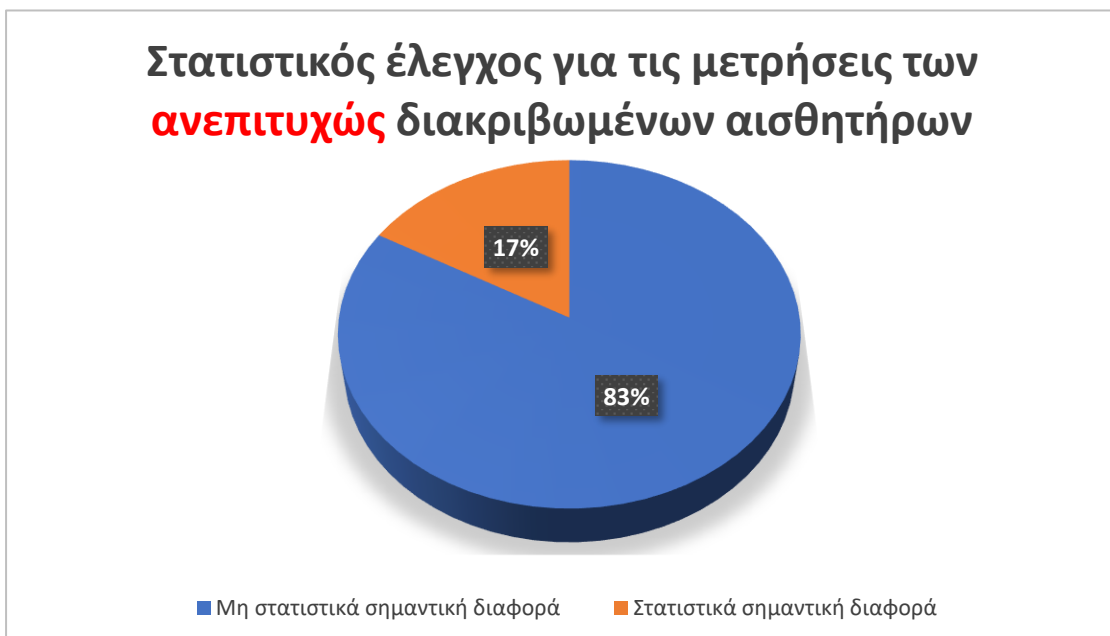
10	46.1608	10	68.0540
20	35.2670	20	90.2553
30	63.7575	30	34.7142
40	44.5334	40	97.5320
50	59.4143	50	98.3318
60	67.1746	60	88.8475
70	78.1839	70	81.1067
80	68.6992	80	167.7068
90	70.6223	90	26.7691
100	87.2152	100	1023.0016

- Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν με ανεπιτυχή βαθμονόμηση του βραχίονα και ανεπιτυχή διακρίβωση του αισθητήρα είναι αρκετά ακριβείς και με βάση το στατιστικό έλεγχο φαίνεται να είναι και πιο ακριβείς από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν με το επιτυχώς βαθμονομημένο όργανο και τους επιτυχώς διακριβωμένους αισθητήρες (βλ. διαγράμματα 5.1 & 5.2). Εκ πρώτης όψεως και πριν τον στατιστικό έλεγχο, δεν εντοπίζονται μεγάλες διαφορές πραγματικών – υπολογισμένων μηκών μεταξύ των μετρήσεων με επιτυχώς και ανεπιτυχώς διακριβωμένους αισθητήρες (βλ. πίνακες 4.2, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9). Το παράδοξο, όμως είναι πως εμφανίζονται περισσότερες στατιστικά σημαντικές διαφορές στην περίπτωση των επιτυχώς διακριβωμένων αισθητήρων. Όπως φαίνεται χαρακτηριστικά στα διαγράμματα 5.1 και 5.2 που ακολουθούν, το ποσοστό των στατιστικά σημαντικών διαφορών που προέκυψε από μετρήσεις με επιτυχώς διακριβωμένους αισθητήρες ανέρχεται στο 23%, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό για τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν με ανεπιτυχώς διακριβωμένους αισθητήρες είναι μόλις 17%. Αυτό οφείλεται στο ότι ένας επιτυχώς διακριβωμένος αισθητήρας παρέχει τη δυνατότητα μετρήσεων με μεγαλύτερη ακρίβεια από την τυπική ακρίβεια του οργάνου, δηλαδή τα $0.029mm$. Για να προσεγγιστεί όμως η μέγιστη ακρίβεια ενός διακριβωμένου αισθητήρα θα πρέπει οι μετρήσεις να γίνουν πολύ πιο προσεκτικά απ' ό τι μ' έναν ανεπιτυχώς διακριβωμένο αισθητήρα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, τα σφάλματα που τέθηκαν στις μετρήσεις με τους επιτυχώς διακριβωμένους αισθητήρες ήταν πολύ μικρότερα από το σφάλμα των $0.029mm$ που τέθηκε στις μετρήσεις των ανεπιτυχώς διακριβωμένων αισθητήρων (π.χ. το σφάλμα που τέθηκε στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν

με τον επιτυχώς διακριβωμένο σφαιρικό αισθητήρα διαμέτρου 6 mm ήταν ίσο με 0.0063mm). Αυτό από μόνο του, κάνει πιο αυστηρό το στατιστικό έλεγχο για τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν με επιτυχώς διακριβωμένους αισθητήρες.



Σχήμα 5.1: Στατιστικός έλεγχος για τις μετρήσεις των επιτυχώς διακριβωμένων αισθητήρων



Σχήμα 5.2: Στατιστικός έλεγχος για τις μετρήσεις των ανεπιτυχώς διακριβωμένων αισθητήρων

- Οι μεγάλες διαφορές μεταξύ πραγματικού και υπολογισμένου μήκους δοκιμίων που εξομαλύνθηκαν με τον έλεγχο των υπολοίπων και την αφαίρεση των προβληματικών σημείων από τη διαδικασία της γενικής μεθόδου συνόρθωσης, οφείλονται σε χονδροειδή σφάλματα κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Τέτοια χονδροειδή σφάλματα που οφείλονται σε απροσεξία του χρήστη μπορεί να είναι η μικρομετακίνηση του δοκιμίου την ώρα που πραγματοποιούνται οι μετρήσεις, η λήψη κάποιας μέτρησης στον «αέρα» αντί επάνω στην επιφάνεια του δοκιμίου ή η δυσκολία διατήρησης σταθερού του αισθητήρα επάνω στο μετρούμενο σημείο. Ιδιαίτερα, στην παρούσα διπλωματική εργασία, οι πρωτογενείς μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό των παραμέτρων των επιφανειών των δοκιμίων και κατ' επέκταση για τον προσδιορισμό των μηκών των δοκιμίων. Κάθε υπολογισμός εξαρτάται από τις αρχικές μετρήσεις και εάν υπάρχει έστω και μια μέτρηση που εμπεριέχει κάποιο χονδροειδές σφάλμα, το οποίο δεν έχει εντοπιστεί, τότε το σφάλμα υεισέρχεται και στα ζητούμενα μήκη των πλακιδίων.
- Ο μέγιστος αριθμός των σημείων που μπορεί να εξαιρεθεί από από τη διαδικασία της συνόρθωσης για κάθε επιφάνεια ενός πλακιδίου είναι δύο. Έχουν μετρηθεί συνολικά έξι σημεία σε κάθε επιφάνεια των πλακιδίων και χρειάζονται τρία σημεία για τον προσδιορισμό της εξίσωσης του επιπέδου, δηλαδή των παραμέτρων Α, Β, Γ του επιπέδου. Για την πραγματοποίηση συνόρθωσης πρέπει οι παρατηρήσεις να είναι περισσότερες από τις ανεξάρτητες καθοριστικές παραμέτρους και επομένως χρειάζονται τουλάχιστον τέσσερα μετρημένα σημεία σε κάθε επιφάνεια του δοκιμίου. Η παραπάνω επεξήγηση καταγράφεται για να σχολιαστούν οι δύο περιπτώσεις μεγάλων διαφορών μηκών οι οποίες ελαττώθηκαν μετά τον έλεγχο των υπολοίπων και την αφαίρεση σημείων αλλά εξακολουθούν να απέχουν αρκετά από την πραγματική τιμή των μηκών των πλακιδίων. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι η ύπαρξη κι άλλων σημείων των δοκιμίων αυτών που δε μετρήθηκαν σωστά, αλλά δε γινόταν να αφαιρεθούν, διότι μετά δε θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί η συνόρθωση. Οι περιπτώσεις αυτές φαίνονται στον πίνακα 5.2 που ακολουθεί.

Πίνακας 5.2: Αποτελέσματα των μετρήσεων των πλακιδίων που είχαν μεγάλη διαφορά πραγματικού – υπολογισμένου μήκους και αφαιρέθηκαν συγκεκριμένα σημεία για τη μείωση της διαφοράς.

Zircon Ball Probe 2mm Επιτυχής διακρίβωση ακρίβειας 0.0187mm			Zircon Ball Probe 4mm Ανεπιτυχής διακρίβωση (ακρίβεια 0.029mm)		
Πραγματικά μήκη δοκιμίων D _{ΠΡΑΓ} (mm)	Πριν την αφαίρεση σημείων	Μετά την αφαίρεση δύο σημείων	Πραγματικά μήκη δοκιμίων D _{ΠΡΑΓ} (mm)	Πριν την αφαίρεση σημείων	Μετά την αφαίρεση δύο σημείων
	Υπολογισμένα μήκη δοκιμίων D _{ΥΠΟΛ} (mm)	Υπολογισμένα μήκη δοκιμίων D _{ΥΠΟΛ} (mm)		Υπολογισμένα μήκη δοκιμίων D _{ΥΠΟΛ} (mm)	Υπολογισμένα μήκη δοκιμίων D _{ΥΠΟΛ} (mm)
80	14.3959	87.8733	10	15.2530	13.4927

- Στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν με τον ανεπιτυχώς διακριβωμένο σφαιρικό αισθητήρα διαμέτρου 5mm, το μήκος του πλακιδίου των 60mm, υπολογίστηκε 58.0084 mm. Πρόκειται για μια απόκλιση που θεωρείται σημαντική όταν η ακρίβεια των μετρήσεων είναι 0.029 mm. Για το λόγο αυτό, πραγματοποιήθηκε διερεύνηση των υπολοίπων της συνόρθωσης αυτού του πλακιδίου, αλλά οι τιμές όλων των υπολοίπων ήταν πολύ μικρότερες του σφάλματος των μετρήσεων. Σύμφωνα με αυτά τα στοιχεία, η απόκλιση του υπολογισμένου από το πραγματικό μήκος του δοκιμίου δεν οφείλεται σε κάποιο σφάλμα κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, αλλά εκτιμάται ότι φταίει η χρήση ενός ανεπιτυχώς διακριβωμένου αισθητήρα.

5.2. Προτάσεις

Τα συμπεράσματα μελετήθηκαν και βάσει αυτών, παρουσιάζονται ορισμένες προτάσεις για την πραγματοποίηση μετρήσεων μεγάλης ακρίβειας με χρήση του αρθρωτού βραχίονα FARO Edge and Faro Laser ScanArm:

1. Δεν πρέπει ποτέ να πραγματοποιούνται μετρήσεις χωρίς να προηγείται η διαδικασία διακρίβωσης του αισθητήρα. Ακόμα και αν υπάρχει η δυνατότητα αποθήκευσης μιας διακρίβωσης για μελλοντική χρήση, αποδείχθηκε ότι οι μετρήσεις σε μία τέτοια

περίπτωση δε θα είναι έγκυρες. Προτιμάται, λοιπόν να πραγματοποιηθούν μετρήσεις με έναν αισθητήρα που διακριβώθηκε ανεπιτυχώς, παρά με έναν αισθητήρα που απλά τοποθετήθηκε στο βραχίονα και επιλέχθηκε κάποια παλαιότερη αποθηκευμένη διακρίβωση από το πρόγραμμα FaroArm Manager.

2. Όταν πραγματοποιούνται μετρήσεις με έναν επιτυχώς διακριβωμένο αισθητήρα, θα πρέπει ο χρήστης να διαθέτει μεγάλη εμπειρία και να είναι πολύ προσεκτικός (σταθερές κινήσεις, εφαρμογή του αισθητήρα πάντα πάνω στο μετρούμενο αντικείμενο κατά τη λήψη κάποιας μέτρησης, προσοχή να μη λαμβάνονται μετρήσεις στον αέρα) κατά τη διάρκεια των μετρήσεων προκειμένου να προσεγγιστεί η μέγιστη ακρίβεια που παρέχει ο διακριβωμένος αισθητήρας. Ακόμα προτείνεται, τα μετρούμενα αντικείμενα να είναι καλά σταθεροποιημένα, έτσι ώστε να αποφεύγεται η μετακίνησή τους κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.
3. Για μετρήσεις μεγάλης ακρίβειας προτείνεται πάντα να διακριβώνεται ο αισθητήρας μέτρησης. Ωστόσο, αποδείχτηκε ότι σε περιπτώσεις διεξαγωγής μετρήσεων που δεν απαιτείται πολύ μεγάλη ακρίβεια, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας ανεπιτυχώς διακριβωμένος αισθητήρας, που βέβαια το σφάλμα του δε θα απέχει σημαντικά από το σφάλμα μετρήσεων του οργάνου. Το ίδιο ισχύει και για τη βαθμονόμηση του βραχίονα. Δηλαδή, όταν οι έλεγχοι σταθερότητας και επαναληψιμότητας του βραχίονα φαίνονται πολύ καλοί (η πλειοψηφία των σημείων κατά τη διάρκεια της βαθμονόμησης βρίσκονται εντός του κύκλου του γραφήματος) και πράγματι ο βραχίονας είναι τοποθετημένος σε απολύτως σταθερή βάση, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μετρήσεις που δεν απαιτείται μεγάλη ακρίβεια και να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

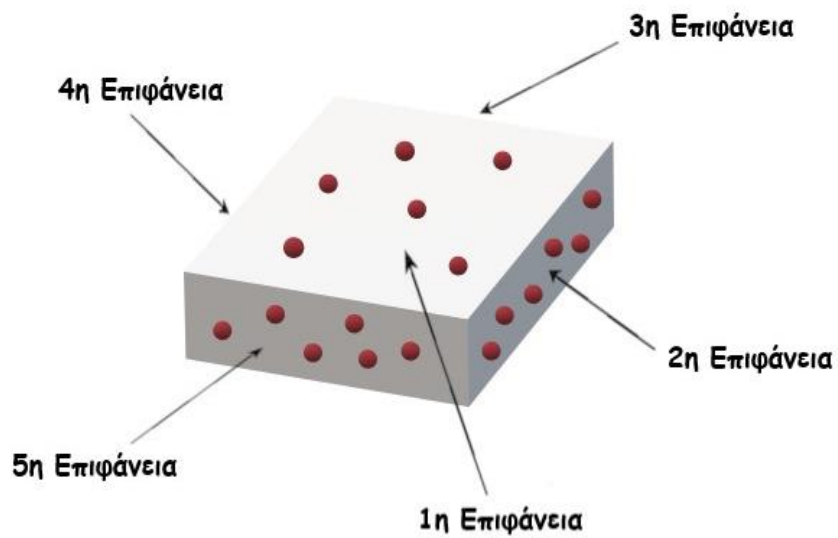
1. Αγάτζα Μπαλοδήμου Α. και Πάνου Γ., *Μέθοδος Ελαχίστων Τετραγώνων και Εφαρμογές*, Αθήνα 2018
2. Βέης Γ., Μπιλλήρης Χ. και Παπαζήση Κ., *Κεφάλαια Ανώτερης Γεωδαισίας*, Αθήνα 2011.
3. Δεληκαράογλου Δ., *Εισαγωγή στο γήινο πεδίο βαρύτητας*, Αθήνα 2007
4. Δούκας Ι., Σαββαΐδης Π. και Υφαντής Ι., *Γεωδαισία Ι. Γεωδαιτικές μετρήσεις και υπολογισμοί*, Θεσσαλονίκη 2015.
5. Καποκάκης Σ., *Γεωμετρικός Έλεγχος Παραμορφώσεων Οχήματος και Άλλες Εφαρμογές με Μεθόδους Βιομηχανικής Γεωδαισίας*, Αθήνα 2014
6. Καριώτης Γ. και Παναγιωτόπουλος Ε., *Τοπογραφία Ι*, Σέρρες 2001.
7. Κορακίτης Ρ., *Σημειώσεις Γεωδαιτικής Αστρονομίας*, Αθήνα 2006.
8. Λάμπρου Ε. και Πανταζής Γ., *Εφαρμοσμένη Γεωδαισία*, Αθήνα 2010
9. Παππάς Σ., *Διερεύνηση συνδυαστικής χρήσης γεωδαιτικών σταθμών και μηχανών μέτρησης συντεταγμένων αρθρωτού βραχίονα για εφαρμογές βιομηχανικής γεωδαισίας*, Αθήνα 2015
10. Τσίγκος Π., *Τρισδιάστατη CAD μοντελοποίηση αντικειμένων πολιτιστικής κληρονομιάς με χρήση Μηχανών Μέτρησης Συντεταγμένων τύπου Αρθρωτού Βραχίονα*, Αθήνα 2010
11. Santolaria J. και Aguilar J., *Kinematic calibration of articulated arm coordinate measuring machines and robot arms using passive and active self-centering probes and multipose optimization algorithm based in point and length constrains*, Spain 2010

ΙΣΤΟΓΡΑΦΙΑ

1. <https://www.cmmxyz.com/blog/the-history-of-coordinate-measuring-machines-cmmxyz/> (last access, 04/2023)
2. <https://www.rapiddirect.com/blog/what-is-cmm-machine/> (last access, 04/2023)
3. <https://www.keyence.co.in/ss/products/measure-sys/measurement-selection/type/3d.jsp> (last access, 05/2023)
4. <https://gaugehow.com/2019/05/19/what-is-cmm-and-types-of-coordinate-measuring-machine/> (last access, 05/2023)
5. <https://www.exactmetrology.com/3d-scanning-technology/pcmm> (last access, 05/2023)
6. <https://metrologicallyspeaking.com/cmmxyz-guide-to-portable-cmms/> (last access, 05/2023)
7. https://knowledge.faro.com/Hardware/FaroArm_and_ScanArm/FaroArm_and_ScanArm/User_Manuals_for_the_FaroArm_ScanArm_and_Gage (last access, 05/2023)
8. <https://www.wasyresearch.com/coordinate-measuring-machine-cmm-an-introduction-types-considerations-and-applications/> (last access, 05/2023)
9. <https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards/b89-4-22-methods-performance-evaluation-articulated-arm-coordinate-measuring-machines> (last access, 06/2023)
10. https://www.globalspec.com/learnmore/manufacturing_process_equipment/inspection_tools_instruments/cmm_probes (last access, 09/2023)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΣΤΙΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ



Zircon Ball Probe 2mm
Επιτύχης διακρίβωση ακρίβειας 0.0187mm

Πλακίδιο	Επιφάνεια Πλακιδίου	Αριθμός Σημείου	x (mm)	y (mm)	z (mm)
10 mm	1η	1	564.7110	-28.7720	-202.4550
		2	567.5750	-28.6110	-205.8270
		3	564.2930	-28.7390	-209.2210
		4	566.5710	-28.6520	-213.8230
		5	562.6920	-28.7990	-220.8910
		6	567.6080	-28.7050	-223.3550
	2η	1	571.5390	-32.0540	-204.2730
		2	571.2370	-31.9870	-208.5410
		3	571.4300	-32.9920	-210.8840
		4	571.2660	-32.8220	-215.6840
		5	571.2540	-34.2710	-220.9090
		6	571.1340	-33.6970	-224.7030
	3η	1	566.5310	-32.0650	-228.3280
		2	564.9140	-31.1340	-228.0210
		3	562.4210	-32.8820	-228.2110
		4	567.8640	-34.4330	-228.5440
		5	564.5040	-34.0110	-228.2560
		6	563.4050	-34.2050	-228.2640
	4η	1	559.2560	-34.8270	-223.9710
		2	559.7130	-34.4120	-216.5880
		3	559.5880	-34.6160	-212.9470
		4	559.6010	-33.2560	-208.8220
		5	559.8530	-33.4400	-204.5780
		6	559.8340	-34.2790	-199.4730
5η	1	567.9230	-33.0210	-196.3400	
	2	565.4640	-31.9310	-196.3530	
	3	563.9140	-31.8390	-196.4160	
	4	563.9090	-34.0020	-196.3200	
	5	565.6440	-34.2470	-196.3180	
	6	567.5820	-34.0440	-196.3490	
20 mm	1η	1	636.1940	-28.7040	-191.4310
		2	645.6210	-28.7900	-193.5630
		3	636.4830	-28.7140	-201.3890
		4	642.6240	-28.6670	-206.9390
		5	633.8930	-28.9850	-215.1570
		6	642.9860	-28.8090	-217.7420
	2η	1	651.1650	-32.7900	-190.4750

		2	650.9530	-33.0470	-194.9310	
		3	650.6470	-32.8230	-200.2240	
		4	650.3990	-32.5950	-204.5030	
		5	650.1300	-32.8790	-209.7860	
		6	649.8440	-32.0460	-214.9530	
		3η	1	645.1010	-31.6990	-222.9320
		2	642.6660	-31.3390	-222.3530	
		3	639.6330	-31.3930	-222.1970	
		4	637.0060	-31.1680	-222.0340	
		5	632.0170	-32.2540	-221.7730	
		6	634.7320	-34.5320	-221.9430	
		4η	1	628.1390	-31.9150	-216.9680
		2	628.3200	-32.7190	-211.3580	
		3	628.6070	-32.8310	-206.0340	
		4	628.9110	-32.6480	-200.3320	
		5	629.0970	-32.9390	-195.7680	
		6	629.4990	-33.0380	-189.3610	
		5η	1	634.1210	-32.2310	-185.0470
		2	638.7100	-32.4900	-185.3840	
		3	644.4470	-32.7860	-185.5890	
		4	647.4890	-34.5040	-185.7330	
		5	637.8800	-34.0410	-185.2160	
		6	642.6220	-33.3320	-185.4920	
	30 mm	1η	1	718.5100	-29.5600	-198.0740
2			735.8750	-28.9670	-201.6910	
3			720.7000	-29.2990	-208.6300	
4			732.9430	-28.8900	-209.8110	
5			720.4760	-29.1540	-219.2380	
6			734.4100	-28.8130	-220.4520	
2η		1	743.5630	-32.7570	-198.5720	
		2	743.5280	-32.7830	-201.7800	
		3	743.4620	-32.3600	-206.5020	
		4	743.4420	-32.9120	-210.1450	
		5	743.3470	-32.0160	-215.4990	
		6	743.2800	-32.3310	-222.3190	
3η		1	740.3210	-33.3410	-229.7810	
		2	732.8180	-33.1740	-229.6780	
		3	729.3610	-33.4440	-229.6420	
		4	724.9240	-35.0590	-229.6000	
		5	720.7400	-33.7990	-229.5410	
		6	715.8480	-34.0670	-229.4850	
4η		1	711.3800	-34.1920	-222.3960	
		2	711.7350	-32.0870	-219.3780	
		3	711.4900	-34.5600	-213.8110	
		4	711.5250	-34.4180	-209.2230	

		5	711.6500	-34.7100	-202.7450	
		6	711.7480	-34.2920	-196.8510	
	5η	1	715.3430	-32.5330	-192.6400	
		2	719.4760	-32.8910	-192.7090	
		3	723.5350	-33.2940	-192.7710	
		4	727.3720	-33.4620	-192.8150	
		5	733.2160	-33.4330	-192.8750	
		6	738.0030	-33.1720	-192.9300	
	40 mm	1η	1	804.3460	-28.6150	-199.9950
			2	823.3700	-27.8720	-203.5810
			3	808.3910	-28.3130	-209.6190
			4	824.6030	-27.7680	-211.1090
5			804.2200	-28.3690	-220.2460	
6			826.7750	-27.8170	-221.3280	
2η		1	837.3930	-30.9600	-200.6680	
		2	837.2140	-30.4850	-205.2580	
		3	837.0710	-31.0100	-209.9650	
		4	836.9210	-31.4150	-216.5290	
		5	836.6980	-31.6880	-222.1570	
		6	836.5190	-30.2950	-226.6300	
3η		1	831.2610	-30.5540	-231.3370	
		2	825.6930	-32.6610	-231.1790	
		3	819.6070	-32.5160	-231.0000	
		4	813.7740	-32.7630	-230.8310	
		5	808.1820	-33.0360	-230.6590	
		6	801.2210	-33.0520	-230.4420	
4η		1	794.6920	-31.6690	-224.4760	
		2	794.9110	-31.3990	-217.8610	
		3	795.0740	-32.3450	-213.2280	
		4	795.2220	-31.7000	-207.8020	
		5	795.3990	-32.1320	-203.1010	
		6	795.4590	-32.2130	-199.6770	
5η		1	801.8910	-31.9030	-193.6220	
		2	807.2100	-32.1360	-193.7800	
		3	813.3590	-31.4760	-193.9670	
		4	818.9630	-32.3390	-194.1410	
		5	825.5370	-31.6710	-194.3510	
		6	833.0870	-32.2500	-194.5860	
50 mm	1η	1	573.1720	-28.6030	-59.8750	
		2	584.4050	-28.6950	-59.7370	
		3	599.6950	-28.8690	-59.8440	
		4	573.6530	-29.0870	-72.1400	
		5	587.5580	-29.4060	-76.9210	
		6	604.0330	-29.5100	-75.6160	
	2η	1	612.4080	-32.8620	-56.9580	

		2	612.0050	-33.6080	-62.3850
		3	611.7240	-33.9100	-67.4910
		4	611.2480	-33.5030	-76.0480
		5	610.9690	-35.1820	-80.9230
		6	610.7270	-34.2280	-85.4350
		1	604.0630	-32.4330	-88.8120
	3η	2	597.8500	-33.7770	-88.4220
		3	590.3570	-34.8800	-88.0010
		4	582.1600	-35.0290	-87.5650
		5	573.1020	-34.8620	-87.0980
		6	565.1760	-34.5080	-86.7000
		4η	1	558.8590	-32.7440
	2		559.0320	-32.1900	-79.1940
	3		559.2910	-32.3850	-74.2020
	4		559.6960	-32.4560	-66.6400
	5		559.9960	-32.7220	-60.5650
	6		560.2420	-32.1490	-56.8970
	5η	1	565.8040	-32.0610	-49.8280
		2	571.7860	-32.6760	-50.1320
		3	580.2220	-32.5370	-50.6430
		4	588.5620	-33.6550	-51.0260
		5	597.3160	-32.9430	-51.5130
		6	606.0920	-33.3440	-51.9500
	60 mm	1η	1	765.6650	-28.3390
2			785.1880	-28.1610	-69.1780
3			804.4090	-28.1620	-69.2350
4			760.8850	-28.3570	-85.2530
5			782.4220	-28.3550	-83.9990
6			800.4840	-28.6230	-91.4220
2η		1	814.0010	-31.7790	-67.7590
		2	813.6950	-32.4670	-72.0980
		3	813.3340	-33.2110	-77.2600
		4	812.8760	-32.3760	-83.8660
		5	812.5220	-33.0590	-88.9690
		6	812.2000	-33.4290	-93.5930
3η		1	805.2470	-32.1320	-98.9050
		2	798.4900	-32.3030	-98.4230
		3	792.0710	-32.6550	-97.9780
		4	775.8470	-33.8210	-96.8300
		5	761.4380	-32.5950	-95.8280
		6	755.5500	-33.2850	-95.4120
4η		1	750.3770	-33.9770	-89.0950
		2	750.8170	-32.5090	-82.7200
		3	751.2620	-31.5150	-76.4280
		4	751.5080	-32.6050	-72.9120

		5	751.7550	-31.8820	-69.2880	
		6	752.1570	-32.1630	-63.5380	
	5 η	1	756.5170	-31.2110	-58.6140	
		2	761.6040	-30.9730	-58.9570	
		3	769.4340	-31.7360	-59.4730	
		4	776.1480	-31.9790	-59.9290	
		5	784.3120	-32.3810	-60.4930	
		6	799.0340	-32.2480	-61.5100	
	70 mm	1 η	1	1024.0580	-29.3040	-200.8690
			2	1045.5530	-29.0160	-206.3940
			3	1073.6970	-29.1530	-202.6180
			4	1024.0650	-28.6950	-218.1130
			5	1048.3370	-28.6070	-220.9650
6			1071.2050	-28.4440	-218.2150	
2 η		1	1084.2240	-30.5730	-200.6310	
		2	1083.8510	-32.7440	-210.3410	
		3	1083.5780	-32.2840	-217.2370	
		4	1083.2660	-32.2970	-225.1750	
		5	1083.8540	-33.1170	-210.2200	
		6	1084.1060	-33.2450	-203.8390	
3 η		1	1076.5790	-32.8400	-231.7410	
		2	1067.2600	-33.4730	-231.4010	
		3	1057.4910	-33.8640	-231.0440	
		4	1049.3670	-32.5330	-230.6360	
		5	1036.2400	-33.7430	-230.1920	
		6	1019.7500	-33.6320	-229.5370	
4 η		1	1011.2960	-33.3940	-223.5720	
		2	1011.4670	-33.3910	-219.2630	
		3	1011.7150	-32.6100	-212.8860	
		4	1011.8550	-32.0200	-209.2420	
		5	1012.0820	-33.1000	-203.6420	
		6	1012.3540	-33.2400	-196.7200	
5 η		1	1016.4870	-31.6560	-192.4850	
		2	1024.2760	-31.6240	-193.0330	
		3	1037.6170	-32.9990	-193.2950	
		4	1045.7630	-32.5830	-193.6510	
		5	1056.9920	-32.6590	-193.8390	
		6	1070.1460	-32.3170	-194.5780	
80 mm	1 η	1	1215.3270	-30.0980	-207.2730	
		2	1239.3330	-29.4500	-209.0050	
		3	1264.4230	-28.8790	-212.4120	
		4	1220.4190	-29.3170	-230.3780	
		5	1245.6410	-29.0040	-225.3030	
		6	1271.2640	-28.6780	-229.0010	
	2 η	1	1287.2220	-33.2960	-208.3980	

		2	1287.0410	-32.6750	-214.1280
		3	1286.5430	-32.7730	-220.0960
		4	1286.1330	-33.0110	-226.1110
		5	1285.7870	-32.8480	-232.6470
		6	1284.2920	-32.1090	-237.2300
		1	1256.8430	-30.9720	-239.2610
	3η	2	1251.3510	-32.0350	-238.9990
		3	1244.4450	-32.2460	-238.7050
		4	1239.3200	-31.3390	-238.5160
		5	1229.6930	-32.1320	-238.1650
		6	1219.5790	-32.0820	-237.7080
		1	1202.5890	-33.7390	-230.4330
	4η	2	1203.2560	-33.8950	-224.4600
		3	1203.9350	-34.0180	-219.2100
		4	1204.0500	-33.7500	-215.4170
		5	1204.2520	-34.0550	-209.1180
		6	1204.3700	-34.1280	-205.4860
		1	1211.1910	-31.8040	-201.0750
	5η	2	1219.6620	-31.6850	-201.5820
		3	1229.2430	-31.0090	-201.7830
		4	1238.0910	-31.5580	-202.0580
		5	1245.9990	-31.4770	-202.3380
		6	1254.2950	-32.4000	-202.6110
		90 mm	1η	1	1037.0050
2	1055.6790			-28.7130	-44.7950
3	1083.6920			-28.8910	-53.5320
4	1080.5330			-28.9050	-69.5910
5	1061.4520			-28.6300	-60.2510
6	1034.6530			-28.3680	-57.5030
2η	1		1110.3640	-32.6960	-46.1960
	2		1109.9790	-33.8180	-52.8670
	3		1109.7110	-32.6680	-57.8570
	4		1109.4680	-33.4870	-62.0930
	5		1109.1750	-34.1250	-67.2460
	6		1108.9130	-33.6910	-71.9030
3η	1		1095.1270	-32.7560	-77.1450
	2		1088.0600	-32.4700	-76.7310
	3		1075.3500	-34.6220	-75.9790
	4		1062.0800	-33.2760	-75.2190
	5		1051.5080	-32.4110	-74.6100
	6		1029.8850	-33.9510	-73.3740
4η	1		1017.0450	-32.8990	-67.2880
	2		1017.3950	-32.1860	-61.2680
	3		1017.7010	-32.9250	-55.7540
	4		1017.9970	-32.6230	-50.5210

		5	1018.2430	-32.3510	-46.2830	
		6	1019.4200	-31.7620	-43.5830	
		5η	1	1028.7440	-31.7880	-36.0970
			2	1038.6440	-32.0300	-36.8980
			3	1049.9660	-32.1150	-37.5820
			4	1055.0280	-31.4940	-37.9230
	5		1066.6350	-31.8800	-38.6000	
	6		1084.7610	-33.2060	-39.7130	
	100 mm	1η	1	1213.8040	-29.3880	-50.9940
			2	1234.9090	-29.3810	-49.9320
			3	1269.3900	-29.1680	-56.5800
			4	1229.5410	-29.0800	-62.9510
5			1257.7250	-28.9710	-67.0800	
6			1279.4680	-28.8460	-73.3500	
2η		1	1303.9850	-32.7340	-53.5640	
		2	1303.4580	-33.1450	-63.7720	
		3	1302.8870	-32.4130	-73.3120	
		4	1302.3680	-33.0460	-81.9800	
		5	1303.3110	-32.6610	-63.8210	
		6	1302.8000	-32.8050	-73.1790	
3η		1	1278.7500	-32.9660	-84.5880	
		2	1271.6440	-33.3660	-84.0160	
		3	1258.9000	-33.5750	-83.3270	
		4	1245.7190	-34.0650	-82.6200	
		5	1232.2670	-33.7110	-81.8870	
		6	1219.5690	-32.4820	-81.1550	
4η		1	1200.6160	-32.3870	-75.8300	
		2	1201.3510	-32.3100	-69.4170	
		3	1201.6860	-32.0810	-63.5780	
		4	1201.9080	-31.5440	-59.6280	
		5	1202.1220	-33.1240	-55.9270	
		6	1202.5600	-32.9020	-48.1970	
5η		1	1206.9970	-34.0860	-43.6300	
		2	1218.2840	-35.0740	-44.2810	
		3	1227.0140	-35.6300	-44.8020	
		4	1239.8300	-36.6230	-45.5440	
		5	1256.8830	-35.1120	-46.4640	
		6	1279.9000	-35.5860	-47.8750	

Zircon Ball Probe 3mm
Αποτυχημένη διακρίβωση 0.029mm

Πλακίδιο	Επιφάνεια Πλακιδίου	Αριθμός Σημείου	x (mm)	y (mm)	z (mm)
10 mm	1η	1	581.8303	200.5266	-464.4635
		2	577.1716	200.4314	-460.6101
		3	572.4617	200.5241	-463.9508
		4	568.8857	200.4677	-461.4467
		5	564.3132	200.5022	-463.0144
		6	562.287	200.4091	-459.2789
	2η	1	580.9757	195.8122	-469.0297
		2	578.0892	195.7604	-468.8591
		3	574.7084	196.6722	-468.6547
		4	571.5947	196.2895	-468.4909
		5	566.9161	196.3129	-468.2145
		6	561.1752	197.1845	-467.7927
	3η	1	554.1879	198.6412	-464.3098
		2	554.4541	198.6178	-459.9035
		3	554.5487	195.7114	-458.3213
		4	554.4484	195.8946	-459.9571
		5	554.3054	195.2416	-462.4639
		6	554.2236	194.3171	-463.9683
	4η	1	557.938	196.3129	-454.7003
		2	561.762	195.5889	-455.0115
		3	566.7482	194.6341	-455.3275
		4	571.7499	194.721	-455.5954
		5	576.9203	195.4785	-455.8811
		6	582.4034	195.2264	-456.2656
	5η	1	587.5603	197.8617	-459.9076
		2	587.3703	197.2061	-463.0287
		3	587.1666	196.8029	-466.2335
		4	587.2061	193.2964	-465.2962
		5	587.3051	193.823	-463.4541
		6	587.4649	193.2528	-460.2502
20 mm	1η	1	758.597	200.6797	-324.3764
		2	757.7579	200.7055	-333.9525
		3	747.9273	200.6821	-322.9664
		4	746.5004	200.7207	-334.7380
		5	732.4408	200.7042	-323.7256
		6	731.3978	200.7383	-334.5175
	2η	1	760.2342	196.1399	-341.2982

		2	755.6592	196.5873	-341.1736	
		3	748.5576	197.5918	-341.0180	
		4	742.8082	197.0313	-340.8668	
		5	736.5703	195.6759	-340.7086	
		6	729.0684	195.7161	-340.4766	
		3η	1	725.8146	196.4479	-337.1704
		2	725.8986	196.4756	-333.9507	
		3	726.0153	196.6976	-329.8797	
		4	726.1183	196.4301	-326.0311	
		5	726.1747	196.6298	-324.0402	
		6	726.232	194.2894	-321.7336	
		4η	1	730.3489	196.3197	-317.6065
			2	734.2219	196.434	-317.7176
			3	737.9183	196.2566	-317.8110
			4	742.1977	196.5766	-317.9027
			5	747.4039	196.8624	-318.0258
			6	755.1222	195.9081	-318.2329
		5η	1	764.027	193.8068	-322.1575
			2	763.9589	195.9803	-324.8599
			3	763.8686	193.1282	-328.4046
			4	763.8361	195.819	-329.7512
			5	763.7156	192.727	-334.1417
			6	763.6601	196.9135	-336.4668
	30 mm	1η	1	547.2526	201.1758	-317.2503
2			548.1878	201.1096	-299.5592	
3			535.6994	201.3361	-316.9427	
4			538.9036	201.2496	-296.8469	
5			524.5667	201.4953	-315.8276	
6			524.4477	201.4718	-296.6667	
2η		1	550.5671	195.9477	-322.8065	
		2	545.6215	197.3258	-322.6908	
		3	538.7034	198.0912	-322.5340	
		4	530.2983	197.1767	-322.3493	
		5	525.6817	197.0845	-322.2228	
		6	522.062	194.9002	-322.1162	
3η		1	518.1744	195.866	-316.5593	
		2	518.2748	197.1091	-314.1479	
		3	518.3645	196.7034	-310.0013	
		4	518.4785	196.8447	-305.3222	
		5	518.5751	196.5172	-300.9536	
		6	518.7357	196.5	-294.6868	
4η		1	525.459	199.5312	-289.2638	
		2	531.2996	197.4504	-289.3914	
		3	536.0598	197.4236	-289.4980	
		4	541.8235	197.2457	-289.6400	

		5	547.6868	196.4909	-289.8004	
		6	552.7728	196.5482	-289.9837	
		5η	1	556.6605	195.5563	-294.3526
			2	556.5699	196.3503	-298.1610
			3	556.4408	194.5856	-302.6496
			4	556.2925	195.2472	-308.7849
	5		556.2242	194.9924	-311.2436	
	6		556.0582	195.0353	-316.7959	
	40 mm	1η	1	775.3499	201.6193	-202.6679
			2	773.1365	200.8572	-226.5119
			3	765.5364	201.6507	-203.8386
			4	759.7212	200.8807	-227.4449
			5	752.3817	201.7895	-201.5556
6			744.6978	201.024	-224.5944	
2η		1	773.8101	195.6404	-235.0342	
		2	770.1415	196.0169	-234.6620	
		3	764.7638	197.0057	-234.1361	
		4	755.9062	196.9186	-233.2216	
		5	748.2181	194.3019	-232.3368	
		6	740.3873	194.1854	-231.5001	
3η		1	735.3174	196.7063	-226.2453	
		2	735.5278	196.4248	-224.2833	
		3	736.0864	196.4211	-218.9337	
		4	736.7314	195.7348	-212.7619	
		5	737.3973	195.8048	-206.3741	
		6	738.1694	196.9276	-199.1424	
4η		1	743.1892	196.953	-193.7821	
		2	751.3304	197.7173	-194.6560	
		3	757.022	196.7039	-195.2123	
		4	766.3506	196.9679	-196.1947	
		5	771.6039	196.7121	-196.7488	
		6	777.3378	195.5574	-197.3230	
5η	1	780.9383	197.7275	-203.3351		
	2	780.4651	198.1055	-207.8378		
	3	779.9245	196.9142	-212.9065		
	4	779.3386	196.1291	-218.4552		
	5	778.783	194.8875	-223.6218		
	6	778.1573	194.8971	-229.4274		
50 mm	1η	1	809.1331	200.3756	-370.5610	
		2	804.8973	200.1375	-390.9601	
		3	792.0428	200.6504	-368.0228	
		4	789.8456	200.3942	-391.7574	
		5	775.1153	200.8742	-363.9055	
		6	771.1348	200.366	-391.9247	
	2η	1	810.712	194.9615	-400.2325	

		2	805.6082	195.9634	-399.6946
		3	797.6282	194.9796	-398.9022
		4	788.5773	194.8039	-398.0339
		5	782.1743	196.0997	-397.4225
		6	771.304	195.5908	-396.2942
		1	763.7049	196.1783	-390.0305
	3η	2	764.1433	196.0891	-385.7344
		3	764.5206	195.5318	-381.9280
		4	765.0712	196.3253	-376.6034
		5	765.6675	195.5198	-370.6953
		6	766.1695	195.0798	-365.8335
		1	773.2672	195.9735	-358.3777
	4η	2	778.596	195.2953	-358.9216
		3	784.6848	194.8557	-359.5160
		4	791.4282	195.8242	-360.2077
		5	799.8043	193.7738	-361.0988
		6	809.4006	194.4448	-362.3445
		1	819.3467	198.1409	-367.4088
	5η	2	818.6696	197.3453	-373.1676
		3	817.9449	196.6896	-379.8694
		4	817.2756	195.4176	-385.9724
		5	816.7964	196.4215	-390.2691
		6	816.1915	195.2871	-395.3742
		60 mm	1η	1	812.6144
2	813.239			201.5259	-57.9502
3	797.6406			201.7259	-42.6318
4	797.7036			201.5603	-62.9855
5	773.7608			201.8275	-45.4416
6	772.7404			201.6845	-63.4037
2η	1		820.9677	197.2713	-71.9800
	2		813.8128	197.0842	-72.4289
	3		803.5906	196.1404	-73.0506
	4		791.7391	195.6788	-73.7883
	5		780.9254	195.5895	-74.4582
	6		771.0937	195.4978	-75.0627
3η	1		761.8829	196.5789	-69.5404
	2		761.5404	196.2965	-64.0335
	3		761.1478	195.5238	-57.8395
	4		760.8594	196.2993	-52.8554
	5		760.6135	195.5182	-48.8652
	6		760.2651	196.5969	-43.1340
4η	1		764.5407	197.761	-37.5269
	2		771.3938	197.7676	-37.1014
	3		783.011	197.6751	-36.3726
	4		794.525	197.0516	-35.6309

		5	802.4752	196.8441	-35.1326	
		6	814.1708	196.1227	-34.3986	
		5η	1	823.1759	197.0459	-39.9767
			2	823.446	197.9144	-44.2154
			3	823.8428	197.8926	-50.6162
			4	824.2896	196.1079	-57.9755
	5		824.4789	197.2462	-60.9312	
	6		824.8365	195.6341	-66.7859	
	70 mm	1η	1	606.7387	202.4941	96.6975
			2	605.9412	202.1179	73.9806
			3	583.1489	202.406	95.6751
			4	581.3813	202.0639	73.6810
5			556.1486	202.3631	97.2038	
6			552.3027	201.9998	73.6830	
2η		1	608.2279	198.0048	65.6004	
		2	600.0609	198.0165	65.7575	
		3	587.6956	197.4165	65.9930	
		4	574.7344	196.0471	66.2530	
		5	564.3649	196.8139	66.4337	
		6	549.9281	196.5806	66.7206	
3η		1	541.1369	198.9975	73.7886	
		2	541.2523	198.6612	79.6532	
		3	541.3409	196.5772	83.8562	
		4	541.4557	199.0839	90.0824	
		5	541.5325	197.9406	93.7961	
		6	541.6678	198.2287	100.5282	
4η		1	549.9091	199.0921	104.5867	
		2	555.2696	198.5344	104.4858	
		3	565.4241	197.8354	104.3290	
		4	574.6509	195.6482	104.2052	
		5	586.7979	196.6888	103.9741	
		6	603.2413	197.5754	103.6729	
5η	1	614.6065	198.044	98.4821		
	2	614.5037	198.4219	92.8668		
	3	614.4067	197.1978	87.4183		
	4	614.3115	198.5396	82.3267		
	5	614.23	197.0927	77.0467		
	6	614.1384	197.3588	71.8646		
80 mm	1η	1	840.7261	201.4594	145.6283	
		2	839.4945	201.0444	123.5952	
		3	820.2975	201.5272	145.6185	
		4	812.7062	201.1247	123.7744	
		5	779.6534	201.7074	150.7777	
		6	773.8278	201.2712	126.5295	
	2η	1	840.9055	195.1262	114.9012	

		2	826.9518	195.7034	115.5535	
		3	812.6067	196.2976	116.1955	
		4	799.746	196.1979	116.8082	
		5	788.0812	195.9595	117.3701	
		6	772.7974	196.5656	118.1416	
		3η	1	763.7183	196.722	122.8705
		2	763.9354	196.0729	127.3511	
		3	764.213	195.7613	133.1451	
		4	764.5352	196.7434	139.8608	
		5	764.8325	196.8362	146.0803	
		6	765.0886	196.2723	151.4597	
		4η	1	772.7578	198.8433	156.0060
			2	780.0533	198.8091	155.6534
			3	789.9214	196.8364	155.2260
			4	797.2924	196.6727	154.8780
			5	816.1799	197.8865	153.9489
			6	836.9943	197.5882	152.9360
		5η	1	847.9438	196.98	147.1185
			2	847.6846	196.5874	141.7986
			3	847.2878	197.076	133.4255
			4	847.068	197.4474	128.8029
			5	846.8235	196.5148	123.8755
			6	846.571	195.3596	118.9798
	90 mm	1η	1	622.5462	201.2032	250.8551
2			618.3092	201.2164	231.9637	
3			592.5347	201.2337	254.2295	
4			588.7609	201.2412	232.9495	
5			558.1025	201.2776	260.2092	
6			550.2097	201.4114	236.8640	
2η		1	626.6708	195.5934	222.7089	
		2	617.0948	195.6027	223.3847	
		3	601.5198	196.8874	224.4567	
		4	578.9511	196.2968	226.0221	
		5	564.9465	195.9692	226.9977	
		6	545.8185	197.1789	228.3508	
3η		1	540.1324	197.8384	234.3886	
		2	540.4293	196.1992	238.8752	
		3	540.8588	196.3591	245.2514	
		4	541.2527	196.8218	251.1027	
		5	541.5649	196.7432	255.6641	
		6	541.9086	196.2604	260.7108	
4η		1	546.0282	196.584	266.1210	
		2	553.8953	196.5075	265.5789	
	3	560.1378	195.1188	265.1421		
	4	569.1522	196.827	264.5287		

		5	589.8499	196.1532	263.0903	
		6	619.5112	194.3243	260.9986	
	5η	1	634.6901	198.106	254.8903	
		2	634.4365	197.3141	251.2380	
		3	634.0615	196.3631	245.6461	
		4	633.7892	196.0315	241.5912	
		5	633.4334	197.4798	236.2313	
		6	632.8622	196.0631	227.8019	
	100 mm	1η	1	907.447	200.9597	338.1978
			2	907.3977	201.0094	312.6669
			3	865.4103	201.0421	336.8835
			4	866.6887	201.0164	315.4300
5			821.3965	201.0256	341.0350	
6			820.0746	201.0602	315.0862	
2η		1	906.6407	195.4245	305.7254	
		2	893.0454	195.9334	306.0554	
		3	876.6891	196.9803	306.4313	
		4	859.3734	196.0696	306.8420	
		5	843.3389	195.8286	307.2417	
		6	820.944	196.0448	307.7997	
3η		1	811.6623	196.9834	313.3519	
		2	811.8272	196.5005	319.9758	
		3	811.9178	197.5605	323.5578	
		4	812.0765	195.5039	329.4233	
		5	812.2099	196.2619	334.7467	
		6	812.3611	196.6564	340.0682	
4η		1	819.7842	197.3341	345.7723	
		2	826.6403	198.4657	345.5504	
		3	843.1553	196.1052	345.1865	
		4	859.6297	195.8653	344.8015	
		5	877.7538	195.3347	344.3572	
		6	904.4868	196.2737	343.6810	
5η		1	915.3196	196.7924	339.6600	
		2	915.2438	196.6721	336.8254	
		3	915.0773	197.2392	330.2141	
		4	914.9408	196.4547	324.5564	
		5	914.7507	196.5953	317.1169	
		6	914.5696	195.28	309.7030	

Zircon Ball Probe 4mm
Αποτυχημένη διακρίβωση 0.029mm

Πλακίδιο	Επιφάνεια Πλακιδίου	Αριθμός Σημείου	x (mm)	y (mm)	z (mm)
10 mm	1η	1	950.3837	213.7742	-486.3690
		2	946.9595	213.7141	-489.3072
		3	940.1773	213.7662	-486.4342
		4	935.2888	213.6969	-490.0394
		5	930.4418	213.7272	-485.9390
		6	928.1929	213.6785	-488.6786
	2η	1	950.0341	210.5678	-495.1475
		2	944.3889	210.3472	-495.3872
		3	939.702	210.2451	-495.7596
		4	936.1619	211.1815	-495.7914
		5	931.1238	209.9347	-496.0273
		6	927.0856	208.9854	-496.3064
	3η	1	919.6069	211.3432	-491.0545
		2	919.5212	211.2461	-489.0090
		3	919.3843	210.0956	-487.2003
		4	918.8391	208.3402	-486.2904
		5	918.7078	207.4138	-487.8805
		6	918.6376	208.5596	-491.1293
	4η	1	923.8091	209.8075	-479.7556
		2	926.8032	210.8472	-479.8264
		3	930.0779	210.324	-479.8173
		4	934.4514	210.0759	-479.8050
		5	938.9209	209.6004	-479.7584
		6	944.4812	210.2078	-479.7188
5η	1	956.8915	210.4907	-483.5341	
	2	956.6834	210.5044	-488.4537	
	3	956.6707	209.2959	-486.1648	
	4	956.7535	208.2514	-483.3361	
	5	956.7994	208.5023	-484.8391	
	6	956.9	207.4896	-487.4471	
20 mm	1η	1	961.4775	213.7519	-395.8181
		2	959.4907	213.9901	-405.9697
		3	950.5262	213.6441	-395.0381
		4	948.053	213.9559	-405.1536
		5	937.1071	213.5678	-394.6699
		6	935.6229	213.8095	-404.9099
	2η	1	961.2188	210.0435	-414.0031

		2	957.3171	209.4409	-413.8940
		3	951.9025	208.2057	-413.8205
		4	945.4595	209.4126	-413.4586
		5	940.5156	209.1264	-413.0468
		6	934.8972	207.9965	-412.7741
		1	923.9758	209.0491	-406.5065
	3η	2	924.1284	209.3307	-403.7445
		3	924.199	209.7461	-400.5418
		4	924.2412	209.5621	-397.8044
		5	924.2334	207.2204	-394.0391
		6	924.2315	208.9605	-392.8381
		4η	1	929.588	208.8776
	2		933.2665	210.4385	-387.9551
	3		937.4189	210.4196	-388.2576
	4		943.0274	210.8531	-388.4415
	5		949.5902	210.7189	-388.6383
	6		957.5006	210.2734	-389.0902
	5η	1	963.3057	209.8982	-394.6832
		2	963.032	210.5643	-398.7217
		3	963.0765	210.3538	-399.6329
		4	963.0387	212.0667	-403.7042
		5	962.8893	209.9127	-405.2061
		6	962.7373	210.2793	-408.2993
	30 mm	1η	1	955.428	214.6677
2			954.6077	214.8814	-319.3570
3			944.872	214.6668	-309.4679
4			945.3746	214.7584	-322.5169
5			932.1595	214.5842	-308.2755
6			934.6841	214.5612	-326.2135
2η		1	959.5786	209.2132	-332.6163
		2	954.089	209.7481	-333.5045
		3	949.3387	209.4453	-334.2010
		4	943.8409	209.9248	-335.2216
		5	940.0139	210.1472	-335.8865
		6	934.2731	209.4397	-336.4155
3η		1	924.4262	208.6406	-331.1713
		2	923.8066	209.6368	-327.9094
		3	923.1321	209.022	-323.9329
		4	922.6281	209.6221	-319.6322
		5	921.9083	210.4606	-314.2671
		6	921.231	209.12	-309.1335
4η		1	926.766	211.2204	-301.3736
		2	934.1484	210.9939	-300.5548
		3	939.0646	209.9878	-299.9843
		4	944.3011	211.0524	-299.4320

		5	949.0518	210.2339	-298.7910	
		6	953.3711	210.7358	-298.5218	
		5 η	1	960.1104	210.6659	-302.6884
			2	960.6638	210.9296	-307.3306
			3	961.181	210.608	-312.4984
			4	961.6287	210.9981	-316.0550
	5		962.0239	210.7335	-318.6919	
	6		962.7386	210.3246	-324.5265	
	40 mm	1 η	1	958.6687	215.3162	-176.0931
			2	955.2997	215.215	-192.2785
			3	946.069	215.0963	-200.1934
			4	947.2245	215.3689	-175.1157
5			942.7293	215.2528	-187.7385	
6			932.9963	215.1199	-192.0900	
2 η		1	955.8131	211.1623	-212.4163	
		2	951.3173	210.7106	-212.1597	
		3	946.1053	210.9472	-211.7531	
		4	941.0166	210.3313	-211.2865	
		5	935.2805	210.0732	-210.8780	
		6	930.1075	208.96	-210.2198	
3 η		1	920.9501	210.2876	-201.9977	
		2	921.1024	209.2411	-197.4054	
		3	921.7061	209.2555	-191.4712	
		4	922.3937	210.0202	-184.3826	
		5	923.1479	208.9975	-177.7424	
		6	923.7068	209.6205	-171.5957	
4 η		1	930.5546	208.8368	-164.1057	
		2	936.4182	210.4161	-164.6010	
		3	941.6259	210.9961	-165.1756	
		4	947.1298	210.8451	-165.8266	
		5	952.6439	211.2294	-166.6041	
		6	959.495	211.9433	-167.2937	
5 η		1	963.623	209.9108	-173.0970	
		2	963.0287	211.6833	-177.5391	
		3	962.3396	211.557	-183.0538	
		4	961.7274	210.9431	-188.5636	
		5	960.8644	211.4727	-195.9830	
		6	960.2153	211.6017	-203.5467	
50 mm	1 η	1	966.1243	215.8712	-52.7719	
		2	962.2677	215.7964	-66.9063	
		3	961.8221	215.4327	-86.4280	
		4	947.259	215.6519	-53.1926	
		5	946.6492	215.7465	-71.0086	
		6	944.3762	215.4702	-86.6372	
	2 η	1	968.1974	209.5035	-97.7841	

		2	962.0404	209.7687	-97.6450
		3	955.7402	209.1394	-97.4838
		4	948.1887	211.5896	-97.5243
		5	945.0308	211.2897	-97.4439
		6	939.6849	210.9952	-97.2636
		1	931.6704	210.8725	-90.9326
	3η	2	931.7361	210.5048	-86.4517
		3	932.0377	211.102	-78.0153
		4	932.1788	211.4362	-70.3387
		5	932.3308	211.2177	-63.2929
		6	932.6327	212.0225	-54.5236
		4η	1	939.1885	212.0507
	2		942.927	212.4928	-42.8001
	3		948.8022	212.6577	-42.9711
	4		955.3805	213.4272	-43.2494
	5		960.7141	211.9652	-43.4524
	6		966.4099	212.691	-43.8399
	5η	1	972.2223	211.5093	-50.8690
		2	972.1492	211.9042	-56.3820
		3	972.0233	211.5757	-63.2350
		4	972.0551	211.6081	-70.7264
		5	972.0357	211.0601	-75.1192
		6	971.6508	211.6814	-85.5345
	60 mm	1η	1	963.21	216.0123
2			964.4409	216.2009	67.2520
3			967.5317	216.1113	44.1848
4			946.9533	215.8768	87.1167
5			947.3117	216.2246	68.2500
6			947.1625	215.8121	45.5717
2η		1	970.2675	211.1167	31.7166
		2	965.1478	211.2797	31.5329
		3	960.0709	210.4111	31.3242
		4	955.3011	210.5826	31.1113
		5	951.238	211.2023	30.6405
		6	945.1376	211.4241	30.5012
3η		1	933.911	211.6442	37.4784
		2	933.6204	211.3465	45.8991
		3	933.1659	211.7211	54.7810
		4	932.9038	211.4083	65.3369
		5	932.541	211.978	74.5379
		6	931.9847	211.2537	84.1199
4η		1	938.4045	210.9973	96.3038
		2	943.806	210.2821	96.3960
		3	949.3731	211.4565	96.4113
		4	954.7384	211.6636	96.5168

		5	958.7211	212.1969	96.5303	
		6	965.1138	211.9913	96.4228	
		5 η	1	972.1504	211.8078	88.3565
			2	972.5325	212.6051	81.9098
			3	972.9055	212.1808	74.4683
			4	973.3152	212.4543	65.2470
	5		973.6912	211.5771	55.5676	
	6		973.9467	212.4687	43.6795	
	70 mm	1 η	1	972.0522	215.7932	218.0922
			2	969.0929	216.057	195.0415
			3	967.0654	215.6023	166.2345
			4	953.6033	215.6284	218.0634
5			951.3054	215.9839	195.5734	
6			947.3662	215.5528	169.4018	
2 η		1	969.3041	211.3681	154.8506	
		2	962.4551	211.8091	155.2431	
		3	958.4583	210.7781	155.7073	
		4	954.0801	211.9411	156.1062	
		5	949.8626	211.24	156.4662	
		6	943.739	210.705	156.9932	
3 η		1	933.814	210.64	165.0635	
		2	934.6126	211.7263	172.5953	
		3	935.3712	210.6109	182.9670	
		4	935.9273	210.8663	192.4888	
		5	936.8968	211.57	202.5922	
		6	938.3664	211.0385	216.8297	
4 η		1	948.0521	212.8473	232.3514	
		2	954.4744	213.5779	231.6023	
		3	960.8751	213.6087	230.7906	
		4	966.761	213.5538	230.0138	
		5	969.6996	212.5529	229.6974	
		6	974.5669	212.2437	228.9817	
5 η		1	979.1106	211.5291	220.6448	
		2	978.4335	213.2926	214.5791	
		3	977.665	212.6432	204.5469	
		4	976.6616	211.544	193.8134	
		5	975.446	212.5363	181.5744	
		6	974.2122	212.3778	168.7238	
80 mm	1 η	1	984.5125	216.5538	402.4362	
		2	981.5066	216.1916	372.5584	
		3	979.3345	215.8258	342.6011	
		4	970.5392	217.0379	403.0141	
		5	966.3489	216.6889	379.3728	
		6	959.9814	216.2729	344.9186	
	2 η	1	983.4042	209.7151	324.5633	

		2	979.8273	208.9064	324.8322
		3	974.3214	209.6112	325.1734
		4	969.8615	210.3983	325.4635
		5	963.9985	211.3432	325.9408
		6	956.4869	211.1983	326.3550
		1	946.8591	212.1779	336.8820
	3η	2	947.2262	211.7302	343.7319
		3	947.9046	212.3097	354.7070
		4	948.6565	212.2806	366.0352
		5	949.6622	212.2622	380.1160
		6	950.7125	211.9917	395.4547
		4η	1	956.7683	212.5282
	2		961.1064	213.2491	412.0191
	3		967.7733	212.8495	411.5969
	4		973.6917	212.4352	411.2716
	5		979.5575	211.8501	410.6206
	6		983.6463	212.3921	410.3672
	5η	1	989.9116	211.718	404.5392
		2	989.7668	213.0885	395.7422
		3	989.3651	213.5243	386.0401
		4	988.8106	211.3529	376.8972
		5	988.4879	211.9075	368.5131
		6	987.2662	211.0789	349.0408
	90 mm	1η	1	816.9293	216.0636
2			813.0523	215.6813	-154.3157
3			814.4526	214.9196	-188.3083
4			799.0677	216.488	-124.8245
5			800.0051	216.046	-158.0484
6			797.1879	215.5112	-183.7763
2η		1	817.5771	209.5408	-203.9635
		2	812.9041	209.6979	-203.9651
		3	806.524	209.1623	-203.6871
		4	800.7584	210.4064	-203.5981
		5	795.2877	209.949	-203.3478
		6	790.3394	210.3304	-203.1856
3η		1	781.481	211.5943	-194.1171
		2	781.9254	212.6048	-184.4252
		3	781.7766	213.3082	-165.9950
		4	781.81	212.056	-151.0312
		5	782.7232	212.7097	-135.2872
		6	783.0252	212.0511	-121.0311
4η		1	790.2889	210.9474	-107.9454
		2	797.6611	210.8767	-108.3882
		3	803.0021	212.2966	-108.7648
		4	809.2933	211.5968	-109.1321

		5	812.0345	212.1198	-109.2938	
		6	818.1907	211.7132	-109.6194	
		5 η	1	823.832	211.2913	-117.3810
			2	823.4252	212.0776	-128.5790
			3	822.773	211.0974	-143.2224
			4	822.2657	211.2451	-155.1694
	5		821.5894	211.4403	-172.0158	
	6		820.8578	210.7874	-188.9934	
	100 mm	1 η	1	835.28	216.1738	175.2070
			2	829.5029	216.2275	143.0528
			3	829.5994	215.8041	99.3323
			4	818.4504	215.9347	180.9470
5			814.3234	216.2202	146.0721	
6			810.4846	216.3471	114.7434	
2 η		1	834.1287	210.3199	87.6239	
		2	825.9065	209.5632	87.9420	
		3	820.5752	210.7089	88.2765	
		4	814.913	211.3145	88.5513	
		5	810.6483	211.2324	88.6856	
		6	805.9629	212.1181	89.1686	
3 η		1	797.8968	212.3701	98.6527	
		2	797.835	211.2897	104.7386	
		3	798.9684	210.7566	121.1682	
		4	800.0173	210.9056	135.9525	
		5	800.9099	211.6381	148.7024	
		6	802.1187	211.4191	166.5111	
4 η		1	811.661	210.9645	194.0512	
		2	815.7924	211.2053	193.6075	
		3	821.661	211.0379	193.1686	
		4	827.1001	210.2052	192.5801	
		5	834.078	210.4583	192.0851	
		6	838.5763	211.3732	191.4630	
5 η		1	843.4441	211.642	181.8408	
		2	842.6834	211.7878	172.9393	
		3	841.6692	211.6019	158.4233	
		4	840.6109	212.5248	145.2434	
		5	839.2855	210.9547	127.0835	
		6	837.9335	211.8902	107.4442	

Zircon Ball Probe 5mm
Αποτυχημένη διακρίβωση 0.029mm

Πλακίδιο	Επιφάνεια Πλακιδίου	Αριθμός Σημείου	x (mm)	y (mm)	z (mm)
10 mm	1η	1	944.5352	200.2650	-486.6802
		2	941.6224	200.2264	-489.7837
		3	938.2429	200.2512	-487.0010
		4	931.5989	200.2071	-489.8480
		5	925.7285	200.2228	-486.2743
		6	924.2487	200.1722	-490.8233
	2η	1	947.1473	194.5084	-495.0347
		2	943.7596	194.3200	-495.0349
		3	938.0181	195.6408	-495.0586
		4	934.4724	195.0520	-495.0616
		5	930.2430	195.1012	-495.0581
		6	924.9998	195.7463	-495.0520
	3η	1	918.9202	194.9902	-489.8270
		2	918.9167	196.2415	-488.0469
		3	918.9142	195.1679	-486.2434
		4	918.9200	193.7473	-486.0945
		5	918.9236	193.6001	-488.0353
		6	918.9362	194.1089	-490.9433
	4η	1	923.9070	196.3763	-480.1263
		2	928.4921	196.2776	-480.1299
		3	930.6717	196.9255	-480.1360
		4	937.5031	195.9542	-480.1134
		5	942.3306	196.1038	-480.1191
		6	947.8955	196.8111	-480.1391
5η	1	953.9669	197.5624	-484.4816	
	2	953.9684	196.9901	-488.8156	
	3	953.9507	196.6682	-485.3386	
	4	953.9561	196.2774	-489.4008	
	5	953.9457	195.7866	-486.8437	
	6	953.9398	194.8549	-485.2336	
20 mm	1η	1	954.0887	200.6693	-396.1977
		2	953.2568	200.9082	-405.4384
		3	945.2928	200.6091	-395.5470
		4	944.8912	200.9550	-408.7987
		5	931.1451	200.5733	-397.2231
		6	930.4026	200.8114	-406.8073
	2η	1	957.5518	196.8307	-414.7120

		2	954.0530	196.1325	-414.5954
		3	948.8275	196.4641	-414.4020
		4	943.3428	196.1319	-414.2056
		5	937.8892	196.0485	-413.9990
		6	930.7890	194.8926	-413.7701
		1	923.1951	195.2691	-407.9651
	3η	2	923.2961	196.7397	-405.0620
		3	923.4219	195.5685	-401.7967
		4	923.5731	195.2887	-397.9851
		5	923.6586	195.1984	-395.7289
		6	923.4748	194.0311	-400.8727
		4η	1	929.7100	195.3584
	2		934.1403	196.9870	-388.8492
	3		939.7955	195.1906	-389.0984
	4		944.2813	196.6251	-389.2290
	5		949.7747	195.7071	-389.4609
	6		958.4709	195.7145	-389.7980
	5η	1	963.5261	195.3377	-396.7143
		2	963.3987	196.5105	-399.9770
		3	963.3052	196.0426	-402.2916
		4	963.2180	196.2076	-404.6066
		5	963.0267	197.4071	-409.5905
		6	963.2907	194.7039	-402.7931
	30 mm	1η	1	953.5175	200.9310
2			955.9076	201.1584	-324.1981
3			944.4664	200.9314	-308.0276
4			944.5942	201.0059	-322.8318
5			930.3414	200.8157	-309.8847
6			931.4213	200.8106	-326.8784
2η		1	957.3466	195.1995	-332.6048
		2	953.0766	195.4230	-333.1291
		3	948.2239	195.0025	-333.7480
		4	941.5796	194.7052	-334.5958
		5	935.9946	194.3648	-335.2736
		6	930.4150	195.3708	-335.9195
3η		1	923.9525	193.9184	-331.8943
		2	923.3188	196.3651	-327.0688
		3	922.7473	196.5110	-322.4678
		4	922.3130	196.4441	-318.9443
		5	921.6804	196.8903	-313.8782
		6	921.2219	195.2822	-309.8902
4η		1	929.1937	195.9077	-300.9004
		2	931.2158	197.1289	-300.6730
		3	935.1003	196.3029	-300.1794
		4	940.0636	196.8685	-299.5576

		5	946.0206	196.6169	-298.8219	
		6	953.9118	196.0060	-297.9055	
		5 η	1	960.4423	197.3313	-302.9926
			2	960.7684	197.2036	-305.7599
			3	961.2267	197.0941	-309.3672
			4	961.7986	197.4133	-313.9601
	5		962.2415	197.2505	-317.4461	
	6		963.0250	197.2856	-323.8816	
	40 mm	1 η	1	954.3502	201.8117	-178.8728
			2	951.6181	201.5799	-199.1163
			3	944.0183	201.7980	-178.2493
			4	941.7243	201.5541	-199.9225
5			931.6761	201.7925	-175.4750	
6			930.4038	201.5323	-200.5673	
2 η		1	950.8461	197.5155	-211.1057	
		2	947.5417	197.6474	-210.7632	
		3	943.1805	196.3263	-210.3021	
		4	938.0633	196.7000	-209.7841	
		5	932.9089	197.4669	-209.2581	
		6	926.4003	196.5275	-208.5511	
3 η		1	920.7902	195.2220	-202.2285	
		2	921.2482	195.9566	-197.7862	
		3	921.7717	196.5120	-192.7191	
		4	922.4841	196.6954	-185.6505	
		5	923.1644	196.4259	-178.9530	
		6	923.8890	196.2325	-171.8800	
4 η		1	931.5462	196.2557	-163.8894	
		2	937.1249	196.0107	-164.4565	
		3	943.5541	197.4726	-165.1210	
		4	947.5632	196.8308	-165.5282	
		5	952.0750	196.6393	-165.9887	
		6	959.2533	197.2690	-166.7313	
5 η		1	963.8039	198.1928	-173.1260	
		2	963.3824	197.9480	-177.2114	
		3	962.7229	197.8181	-183.7686	
		4	962.1600	197.1888	-189.3513	
		5	961.5903	197.4539	-194.9120	
		6	960.9240	197.3172	-201.4596	
50 mm	1 η	1	962.4857	202.3160	-52.9751	
		2	961.9252	202.0780	-85.2702	
		3	954.7969	202.3077	-59.8394	
		4	949.3985	202.1045	-84.7746	
		5	942.9805	202.3014	-54.1734	
		6	939.3242	202.1414	-83.3093	
	2 η	1	964.7264	196.4951	-97.6259	

		2	957.1472	197.2310	-97.3760
		3	953.4102	197.2268	-97.2509
		4	948.5737	197.3783	-97.0955
		5	944.0062	197.8092	-96.9451
		6	937.9622	197.1753	-96.7217
		1	930.4201	196.8721	-90.2642
	3η	2	930.5905	196.9226	-84.9136
		3	930.7786	197.9259	-79.0507
		4	930.9871	198.0285	-72.5315
		5	931.2276	197.2527	-64.8132
		6	931.5979	197.6841	-53.4452
		4η	1	938.3254	198.2202
	2		943.8901	198.7456	-41.9326
	3		948.9391	198.3460	-42.0940
	4		953.2397	198.7305	-42.2448
	5		959.5934	198.1649	-42.4481
	6		964.7052	197.5625	-42.6349
	5η	1	971.6352	198.2089	-49.6890
		2	971.4417	198.7697	-55.8890
		3	971.2477	199.3799	-62.1720
		4	971.0389	199.0276	-68.8260
		5	970.8605	198.3185	-74.2825
		6	970.5144	198.1779	-84.3693
	60 mm	1η	1	962.3638	202.2584
2			965.5053	202.7518	45.7675
3			951.2311	202.3374	82.5530
4			954.9780	202.7759	46.6586
5			939.8401	202.3960	80.9557
6			944.0138	202.7554	51.4154
2η		1	967.4496	197.7392	32.1688
		2	961.6769	197.9534	32.0423
		3	956.2111	198.0201	31.9022
		4	954.3497	197.6956	31.8738
		5	948.0162	198.4124	31.7143
		6	941.6348	197.0504	31.5541
3η		1	933.9504	198.0911	38.5255
		2	933.7948	197.5851	44.5269
		3	933.5952	198.4580	51.5221
		4	933.3430	197.9662	60.4424
		5	933.0671	197.9383	70.8414
		6	932.7323	197.4676	83.9298
4η		1	938.2723	197.6728	96.4453
		2	941.3560	198.3454	96.5161
		3	948.1270	198.5933	96.7133
		4	953.4058	198.4530	96.8562

		5	958.1387	198.2506	96.9849	
		6	964.9896	198.3352	97.1352	
	5η	1	972.3663	198.2012	90.3935	
		2	972.4590	198.6366	86.1764	
		3	972.7365	198.9366	76.4506	
		4	973.0520	197.6979	66.2685	
		5	973.2945	198.3411	57.7398	
		6	973.5622	198.1546	46.1957	
	70 mm	1η	1	970.5220	202.4294	217.7143
			2	968.0715	202.4712	196.3656
			3	965.4615	202.0636	167.5095
			4	949.4034	202.1459	218.6003
			5	946.9379	202.5188	195.1298
6			944.4188	202.1806	172.8230	
2η		1	967.0450	197.2610	155.4993	
		2	961.0325	197.5671	156.0922	
		3	956.0414	197.4477	156.5907	
		4	950.4482	198.0706	157.1351	
		5	944.5856	197.8642	157.7140	
		6	938.7089	197.7508	158.3075	
3η		1	933.3634	197.8342	167.2337	
		2	934.0558	198.1318	174.1641	
		3	934.9998	197.8156	183.9451	
		4	935.7891	197.9058	192.1179	
		5	937.0852	197.9080	205.3414	
		6	938.6356	197.2039	220.8601	
4η		1	947.0873	198.8164	232.8449	
		2	951.3846	198.9653	232.4074	
		3	954.2194	197.6346	232.1417	
		4	963.1542	197.5234	231.2729	
		5	967.3091	198.6659	230.8390	
		6	973.7752	198.1687	230.1794	
5η		1	978.8623	198.5594	222.9027	
		2	978.2177	199.8657	216.6342	
		3	977.4436	199.3481	208.8035	
		4	976.6360	199.0905	200.3128	
		5	975.2318	198.1490	185.5474	
		6	973.5437	198.4072	168.5776	
80 mm	1η	1	981.7997	203.0588	398.2070	
		2	979.0717	202.7434	370.8193	
		3	976.8197	202.4465	345.1651	
		4	963.7565	203.4746	394.7115	
		5	961.2375	203.2244	370.9336	
		6	959.8412	202.9211	343.9395	
	2η	1	979.0410	197.4622	325.0548	

		2	972.7388	198.0521	325.4526
		3	969.1994	197.8164	325.6862
		4	964.8641	198.0780	325.9621
		5	960.0847	198.0336	326.2640
		6	953.4127	197.2630	326.6931
		1	947.0729	197.3925	333.8741
	3η	2	947.5131	197.5665	340.7573
		3	948.4868	198.1948	355.7053
		4	949.1935	198.2974	366.7987
		5	949.9328	198.2650	378.5103
		6	951.2536	198.6620	398.8578
		4η	1	957.8724	196.9979
	2		962.8226	197.2858	411.2816
	3		967.9240	198.2054	410.9419
	4		972.7274	197.7612	410.6364
	5		978.2549	197.8442	410.2863
	6		985.3401	197.8934	409.8324
	5η	1	991.3723	198.3236	401.5092
		2	990.8652	198.2834	393.6247
		3	990.1422	198.3812	382.2392
		4	989.4098	196.7996	371.5082
		5	988.6409	197.6863	359.0365
		6	987.5189	196.8149	341.9386
	90 mm	1η	1	815.3140	202.4194
2			813.8773	202.0530	-156.2897
3			810.2670	201.6535	-190.7746
4			798.3400	202.8203	-126.1089
5			799.5642	202.3629	-158.3958
6			791.6808	202.1112	-190.0419
2η		1	814.1967	195.1863	-203.9356
		2	809.1964	197.0308	-203.7229
		3	803.5326	196.3512	-203.4624
		4	798.3094	197.1749	-203.2315
		5	793.3076	197.2140	-203.0125
		6	787.4353	197.3168	-202.7514
3η		1	780.2088	197.1844	-196.2230
		2	780.6697	196.5874	-186.1551
		3	781.4932	197.2691	-169.0584
		4	782.0131	196.8097	-157.6319
		5	782.8101	197.0439	-140.7909
		6	783.7813	197.9024	-120.3817
4η		1	789.7736	199.0828	-107.7685
		2	794.0037	198.9166	-107.9568
		3	799.5528	199.2019	-108.2073
		4	805.0953	198.0012	-108.4422

		5	809.6561	198.2841	-108.6483	
		6	817.5323	198.0138	-108.9972	
	5η	1	823.7853	198.4010	-115.0579	
		2	823.3264	198.9481	-125.0171	
		3	822.6563	198.4532	-139.0784	
		4	822.0020	196.7336	-152.2409	
		5	821.3127	197.1431	-166.9824	
		6	820.4818	196.7570	-184.5097	
	100 mm	1η	1	832.2232	202.7935	176.8917
			2	826.6080	202.6599	137.9209
			3	828.3915	202.3070	97.8758
			4	813.0096	202.7573	179.7711
5			812.3566	202.6594	145.8935	
6			812.0053	202.6993	106.6492	
2η		1	828.8890	197.2325	87.7898	
		2	824.3912	198.8180	88.1574	
		3	818.4854	198.4040	88.6253	
		4	813.9343	198.3111	88.9841	
		5	809.1614	198.1321	89.3635	
		6	801.7853	197.6927	89.9446	
3η		1	796.3015	197.5441	96.1487	
		2	796.9879	196.8865	104.9488	
		3	798.4233	198.1025	123.2593	
		4	799.6134	198.1754	138.4592	
		5	800.7032	198.4558	152.4716	
		6	802.6840	198.2041	177.6685	
4η		1	810.4788	198.6897	194.5837	
		2	814.0086	199.4051	194.2986	
		3	820.8525	198.3172	193.7629	
		4	827.8591	198.1452	193.2076	
		5	832.3170	198.1522	192.8557	
		6	837.3917	197.7463	192.4460	
5η		1	843.0295	198.3045	182.1934	
		2	842.1956	198.8764	171.5497	
		3	840.6864	198.4200	152.2156	
		4	839.5624	199.5175	137.7622	
		5	838.5870	198.1274	125.4437	
		6	836.9871	198.3685	105.5597	

Zircon Ball Probe 6mm
Επιτύχης διακρίβωση ακρίβειας 0.0063mm

Πλακίδιο	Επιφάνεια Πλακιδίου	Αριθμός Σημείου	x (mm)	y (mm)	z (mm)
10 mm	1η	1	-618.3940	-25.1460	181.4920
		2	-612.3660	-24.9300	182.6370
		3	-608.8370	-25.0550	178.3490
		4	-606.2810	-24.8580	180.7920
		5	-601.4900	-24.8210	178.9040
		6	-595.8650	-24.6460	179.6470
	2η	1	-618.0440	-29.2060	190.4490
		2	-614.6080	-29.0290	189.9610
		3	-611.4290	-27.8040	189.4560
		4	-606.8930	-28.9810	188.9340
		5	-601.7340	-29.0750	188.2660
		6	-594.7470	-29.8930	187.3590
	3η	1	-588.6900	-28.6700	180.9030
		2	-588.8840	-28.4920	179.4790
		3	-589.2450	-28.4630	176.7940
		4	-588.6450	-31.3440	180.8460
		5	-588.9150	-30.8150	178.8940
		6	-589.2760	-31.4780	176.1120
	4η	1	-595.0910	-30.1970	171.2860
		2	-598.6920	-30.0380	171.7520
		3	-602.4730	-29.5520	172.2280
		4	-607.1370	-30.2230	172.8810
		5	-610.7600	-29.6620	173.3300
		6	-616.7670	-30.3920	174.1680
5η	1	-625.3130	-29.0670	178.9600	
	2	-624.9690	-28.7690	181.5320	
	3	-624.5500	-28.7630	184.6180	
	4	-624.3920	-30.6740	185.4580	
	5	-624.5750	-31.2950	183.9210	
	6	-624.9550	-31.4220	181.0520	
20 mm	1η	1	-624.2160	-25.4970	122.9680
		2	-621.6090	-25.2890	132.2520
		3	-614.6120	-25.5150	121.8900
		4	-609.7390	-25.3180	130.3740
		5	-600.8390	-25.5430	120.5240
		6	-597.8030	-25.3320	130.1370
	2η	1	-622.5820	-28.4050	141.6670

		2	-619.6040	-28.6310	141.2550
		3	-613.3050	-29.3660	140.5220
		4	-606.9060	-29.7170	139.7540
		5	-602.5950	-29.6110	139.2050
		6	-595.6830	-30.5130	138.2990
		1	-589.1200	-30.0820	132.2380
	3η	2	-589.4840	-31.0090	129.4970
		3	-590.1720	-30.2800	123.9920
		4	-590.7330	-29.4000	119.7510
		5	-590.7260	-32.9820	119.8030
		6	-589.8180	-33.3560	126.9140
		1	-597.1530	-31.8870	112.3670
	4η	2	-603.0110	-31.3940	113.1150
		3	-610.2600	-31.7010	114.0330
		4	-613.9320	-30.6880	114.4840
		5	-620.2010	-30.6260	115.3330
		6	-625.9040	-31.2460	116.1630
		1	-631.5970	-29.0670	122.6330
	5η	2	-631.1470	-28.0630	125.5010
		3	-630.2260	-28.5420	132.9510
		4	-630.0230	-30.5740	134.4310
		5	-630.6630	-31.3410	129.6010
		6	-631.3290	-31.5780	124.4370
		30 mm	1η	1	-510.1440
2	-506.5570			-25.2150	185.9960
3	-499.8760			-24.9820	168.6230
4	-493.1150			-24.9280	186.6520
5	-487.4050			-24.7240	168.2320
6	-486.1390			-24.7720	182.0810
2η	1		-508.3700	-29.8450	195.7870
	2		-504.4840	-31.0690	195.3260
	3		-497.5200	-30.6110	194.4970
	4		-494.6430	-30.0990	194.1460
	5		-488.5130	-29.4060	193.4130
	6		-482.6810	-30.2340	192.7070
3η	1		-475.2410	-32.3390	185.7970
	2		-475.6510	-32.1070	182.4240
	3		-476.2010	-32.8320	177.7310
	4		-476.6090	-32.8230	174.3090
	5		-477.2860	-33.1320	168.6110
	6		-477.7930	-32.3730	164.5880
4η	1		-485.6530	-30.6840	156.8040
	2		-491.5660	-30.8970	157.5010
	3		-498.0580	-30.9850	158.2800
	4		-504.7950	-31.1990	159.0890

		5	-511.5110	-31.6830	159.9110	
		6	-514.4650	-31.7480	160.2840	
		5 η	1	-518.7720	-30.9580	166.3700
			2	-518.2270	-30.8520	171.1950
			3	-517.7240	-30.0190	175.1800
			4	-517.2610	-29.3520	179.1310
	5		-516.8900	-30.5030	182.0130	
	6		-516.1170	-29.8400	188.4660	
	40 mm	1 η	1	-652.0440	-26.2670	-225.1330
			2	-646.6940	-26.4200	-205.4580
			3	-636.1590	-26.4470	-225.0890
			4	-632.8270	-26.5750	-206.7600
5			-624.8250	-26.5400	-230.1090	
6			-619.2390	-26.7170	-207.7530	
2 η		1	-645.6850	-33.3730	-192.3650	
		2	-639.6140	-33.5630	-194.0000	
		3	-633.0480	-32.3580	-195.7530	
		4	-627.1460	-32.1600	-197.3390	
		5	-622.2990	-32.6480	-198.6510	
		6	-613.5860	-31.9510	-200.9930	
3 η		1	-607.8640	-33.7690	-209.0070	
		2	-609.1730	-32.8080	-213.8860	
		3	-610.2580	-34.1480	-217.8500	
		4	-611.6630	-32.5870	-223.1150	
		5	-613.2200	-33.0690	-228.8740	
		6	-614.4550	-33.7470	-233.4200	
4 η		1	-624.4780	-31.5490	-240.3720	
		2	-633.3080	-32.0240	-238.0010	
		3	-639.2630	-31.2020	-236.3920	
		4	-645.0020	-31.9360	-234.8550	
		5	-650.3840	-30.8770	-233.3980	
		6	-655.8030	-32.1300	-231.9400	
5 η		1	-659.5690	-30.4780	-224.1790	
		2	-658.0850	-31.0160	-218.6750	
		3	-656.8150	-29.8680	-213.9930	
		4	-656.1280	-32.5620	-211.3490	
		5	-655.1360	-31.5750	-207.7040	
		6	-652.6520	-32.0050	-198.4980	
50 mm	1 η	1	-511.0650	-24.1040	42.6710	
		2	-508.2770	-24.3390	62.5310	
		3	-499.3170	-24.2280	43.1860	
		4	-492.5700	-24.5410	63.3220	
		5	-480.3580	-24.4250	41.0620	
		6	-474.3140	-24.7490	60.5190	
	2 η	1	-510.1970	-28.8440	75.2920	

		2	-504.0210	-29.2370	74.4650
		3	-497.4760	-28.6610	73.6040
		4	-490.3790	-29.3930	72.6520
		5	-482.7040	-29.4990	71.6200
		6	-472.8910	-30.7140	70.2590
		1	-462.4780	-31.8440	64.0380
	3η	2	-463.0180	-31.2010	60.0750
		3	-463.6340	-30.6910	55.4930
		4	-464.3780	-29.5270	49.8710
		5	-465.1380	-30.6540	44.3260
		6	-465.9890	-31.1030	38.1170
		4η	1	-476.3350	-30.1430
	2		-483.2600	-30.1050	30.4200
	3		-489.5180	-29.5230	31.2530
	4		-496.4790	-30.7940	32.1620
	5		-506.0480	-31.2680	33.4360
	6		-518.2610	-29.9910	35.1240
	5η	1	-521.9750	-30.3230	41.8620
		2	-521.3650	-29.0620	46.3070
		3	-520.5520	-28.7890	52.3190
		4	-519.8360	-29.0440	57.6540
		5	-519.3680	-27.8580	61.0340
		6	-518.4410	-29.1380	67.9690
	60 mm	1η	1	-618.6560	-26.9520
2			-613.3230	-26.5120	-311.7720
3			-604.6820	-26.8760	-331.8900
4			-595.9160	-26.4750	-314.8130
5			-581.2510	-26.7780	-333.3840
6			-574.3630	-26.4460	-316.7820
2η		1	-618.2520	-32.1630	-300.2790
		2	-611.2870	-32.9600	-301.0650
		3	-601.9640	-33.9310	-302.0940
		4	-590.2340	-33.7560	-303.4000
		5	-581.9500	-33.9520	-304.3350
		6	-570.9450	-32.4680	-305.6340
3η		1	-560.0610	-32.6770	-312.8520
		2	-560.3970	-33.3830	-315.7820
		3	-561.0180	-32.7220	-321.3440
		4	-561.5340	-33.4790	-325.9630
		5	-562.3270	-32.8660	-332.9610
		6	-563.0740	-32.8340	-339.5410
4η		1	-569.9850	-31.6380	-346.8380
		2	-578.0960	-32.1440	-345.9110
		3	-587.6490	-31.6520	-344.8510
		4	-597.8370	-31.9930	-343.7030

		5	-611.2940	-32.8350	-342.1690	
		6	-621.6310	-32.1750	-340.9060	
		5 η	1	-628.9130	-31.1570	-334.1950
			2	-628.5100	-32.2920	-330.8560
			3	-627.8280	-31.0890	-324.8520
			4	-627.2360	-31.9140	-319.6740
	5		-626.6530	-31.3340	-314.5210	
	6		-625.9210	-30.5780	-308.1060	
	70 mm	1 η	1	-586.1040	-26.0220	-92.0560
			2	-580.9230	-26.0450	-71.8330
			3	-566.1900	-25.9940	-94.1530
			4	-562.9890	-25.9990	-71.4790
5			-538.0570	-25.9850	-97.3300	
6			-533.3710	-26.0460	-77.4280	
2 η		1	-584.7720	-29.3200	-59.7420	
		2	-578.5290	-31.0750	-60.4830	
		3	-567.9970	-30.3910	-61.6360	
		4	-557.5550	-31.9490	-62.7520	
		5	-542.9460	-32.5030	-64.3360	
		6	-529.1910	-32.7790	-65.8940	
3 η		1	-517.2370	-33.3230	-73.7520	
		2	-517.8170	-33.5030	-78.8390	
		3	-518.3520	-32.8540	-83.7430	
		4	-518.7350	-33.2470	-87.2350	
		5	-519.3180	-33.4230	-92.4640	
		6	-520.1220	-29.8240	-99.7320	
4 η		1	-529.9250	-32.0840	-106.8960	
		2	-536.7660	-31.7440	-106.1460	
		3	-546.8160	-30.9940	-105.0540	
		4	-556.9960	-31.1220	-103.9390	
		5	-563.0440	-31.7660	-103.2640	
		6	-578.9310	-31.0990	-101.4350	
5 η		1	-595.7520	-30.0330	-92.3750	
		2	-595.2280	-30.3140	-87.6500	
		3	-594.7790	-31.0790	-83.5670	
		4	-594.1070	-30.9180	-77.5410	
		5	-593.4760	-29.8270	-71.9310	
		6	-592.8300	-29.8630	-66.2030	
80 mm	1 η	1	-531.9400	-27.1920	-199.2370	
		2	-531.5060	-26.7940	-189.5540	
		3	-529.5360	-26.3280	-176.4550	
		4	-508.0280	-27.0340	-196.8260	
		5	-484.5660	-26.5920	-186.3950	
		6	-473.0050	-27.3030	-204.5990	
	2 η	1	-530.8130	-31.0040	-166.2690	

		2	-518.9030	-33.0890	-167.8690
		3	-508.9180	-32.8040	-169.2900
		4	-494.9490	-34.0590	-171.2120
		5	-480.1150	-34.0880	-173.3160
		6	-464.1670	-34.2170	-175.6010
		1	-452.9890	-32.8890	-183.1110
	3η	2	-453.9270	-33.2380	-189.7600
		3	-454.9380	-33.6050	-196.8840
		4	-455.6710	-32.1700	-202.0980
		5	-456.2040	-32.1540	-205.8580
		6	-456.8550	-33.5430	-210.3860
		1	-467.1010	-35.0870	-216.4780
	4η	2	-477.1970	-33.4600	-215.0900
		3	-492.5140	-34.1840	-212.8850
		4	-507.3010	-32.5870	-210.8540
		5	-518.2740	-33.3570	-209.2440
		6	-534.2000	-33.2060	-206.9320
		1	-541.9400	-32.3050	-197.9050
	5η	2	-541.3120	-32.4290	-193.5030
		3	-540.5480	-32.5470	-188.1200
		4	-539.6400	-30.9550	-181.7520
		5	-539.1750	-30.6700	-178.4720
		6	-538.3990	-31.3030	-172.9720
		90 mm	1η	1	-457.2340
2	-453.0340			-27.5880	-308.0880
3	-432.0170			-26.9510	-328.9090
4	-422.5520			-27.5750	-312.9080
5	-400.0270			-26.9130	-335.0090
6	-385.1690			-27.5630	-319.1340
2η	1		-459.3230	-31.5950	-297.1680
	2		-448.0870	-34.8760	-298.6280
	3		-436.9770	-33.5380	-299.8940
	4		-425.1410	-35.2500	-301.3630
	5		-410.2780	-34.4520	-303.1050
	6		-390.1750	-32.9430	-305.4750
3η	1		-371.7560	-32.3420	-317.5200
	2		-372.2050	-31.7130	-321.3250
	3		-372.9980	-32.8470	-328.0620
	4		-373.3620	-32.1560	-331.2120
	5		-373.9260	-34.0030	-335.9140
	6		-374.4700	-30.9680	-340.5800
4η	1		-384.0740	-33.2170	-347.1610
	2		-392.2650	-32.0550	-346.1350
	3		-402.8210	-33.9660	-344.9560
	4		-413.6900	-33.4300	-343.6470

		5	-429.1260	-33.2220	-341.8070	
		6	-451.3010	-33.6900	-339.1620	
	5η	1	-469.9750	-35.0490	-330.7860	
		2	-469.3310	-35.2130	-325.2680	
		3	-468.2330	-34.1360	-315.8940	
		4	-467.8140	-34.4530	-312.3070	
		5	-467.3080	-34.5780	-307.9780	
		6	-466.6980	-34.5620	-302.7710	
	100 mm	1η	1	-358.5920	-26.5210	-485.3320
			2	-361.4680	-26.9260	-504.0180
			3	-330.0510	-26.3250	-491.5400
			4	-331.0080	-26.6600	-508.8470
5			-295.2900	-26.1660	-498.3190	
6			-296.9220	-26.5080	-518.4340	
2η		1	-364.4090	-33.8930	-473.2140	
		2	-351.7870	-33.0810	-475.4020	
		3	-332.7150	-33.9610	-478.4940	
		4	-321.9520	-34.0260	-480.2630	
		5	-307.3230	-35.4770	-482.6770	
		6	-287.8760	-35.4380	-486.1070	
3η		1	-269.9080	-32.1700	-497.3520	
		2	-270.6660	-31.0570	-501.7470	
		3	-271.4150	-32.5720	-506.2440	
		4	-272.2430	-32.5920	-511.1420	
		5	-273.0680	-32.9470	-516.0500	
		6	-274.0080	-32.0910	-521.5850	
4η		1	-282.0890	-31.5640	-528.4690	
		2	-291.0570	-31.5250	-526.8940	
		3	-298.9200	-32.6350	-525.5250	
		4	-311.2970	-32.7210	-523.4370	
		5	-330.3020	-33.1600	-520.2850	
		6	-352.5600	-33.5020	-516.5350	
5η	1	-378.6670	-32.0040	-504.9430		
	2	-378.1300	-31.1970	-501.7540		
	3	-377.3110	-32.3270	-496.9830		
	4	-376.6550	-32.5790	-493.1970		
	5	-375.7540	-33.4350	-487.8750		
	6	-374.4200	-33.1250	-480.0110		

Zircon Ball Probe 6mm διακρίβωση 0.029mm					
Αποτυχημένη					
Πλακίδιο	Επιφάνεια Πλακιδίου	Αριθμός Σημείου	x (mm)	y (mm)	z (mm)
10 mm	1η	1	-616.9860	-25.2520	181.6600
		2	-613.2660	-25.0710	183.2330
		3	-608.1640	-25.1320	179.1580
		4	-603.6080	-24.8690	182.0080
		5	-598.2470	-24.9210	178.1380
		6	-595.6610	-24.7890	180.2500
	2η	1	-618.2940	-29.9020	190.4070
		2	-614.9330	-30.4710	189.9970
		3	-611.3650	-29.9630	189.5030
		4	-606.8470	-29.4870	188.9070
		5	-601.1350	-30.3540	188.2310
		6	-595.0340	-30.4710	187.3980
	3η	1	-588.4220	-29.3870	182.5260
		2	-588.8600	-29.1530	179.3020
		3	-589.1220	-28.9890	177.3020
		4	-588.6110	-31.4560	180.8810
		5	-588.8610	-32.2140	178.8600
		6	-589.1030	-32.2560	177.0360
	4η	1	-596.3920	-31.9390	171.5760
		2	-600.7050	-30.6740	172.0740
		3	-603.4260	-30.5050	172.4190
		4	-608.0490	-31.4150	173.0720
		5	-611.1780	-31.8880	173.5330
		6	-617.7790	-31.4760	174.4590
5η	1	-624.9950	-30.0110	180.8630	
	2	-624.3700	-29.5110	185.4400	
	3	-624.3870	-30.8920	185.0030	
	4	-624.5620	-31.3180	183.5890	
	5	-624.8610	-31.7710	181.2010	
	6	-624.4860	-32.1150	183.9110	
20 mm	1η	1	-623.3140	-25.8200	122.0900
		2	-617.1220	-25.4840	132.2190
		3	-614.0860	-25.6860	122.1240
		4	-607.1700	-25.4980	130.4200
		5	-600.5410	-25.6930	121.2260
		6	-597.3480	-25.5870	128.2390
	2η	1	-623.0580	-29.2570	141.7580

		2	-619.4210	-29.6930	141.1910
		3	-614.5610	-29.8900	140.6020
		4	-607.2170	-29.1960	139.6900
		5	-600.7890	-30.1010	138.8940
		6	-595.7410	-31.3630	138.1580
		1	-589.0770	-31.7410	131.9400
	3η	2	-589.4460	-31.3130	129.2700
		3	-589.9040	-30.8420	125.7670
		4	-590.3390	-30.8720	122.4480
		5	-590.8090	-31.6280	118.9540
		6	-590.2010	-33.5410	123.6530
		1	-597.3130	-30.8990	112.2430
	4η	2	-601.1740	-30.8760	112.8200
		3	-605.3020	-31.4840	113.3790
		4	-611.3060	-31.0330	114.1470
		5	-616.2210	-30.4860	114.8220
		6	-624.3710	-30.9360	116.1450
		1	-631.5280	-29.4180	122.6160
	5η	2	-630.6660	-29.7490	129.1450
		3	-629.6410	-30.2600	136.4950
		4	-629.6810	-32.0780	136.1240
		5	-630.3790	-32.8270	131.1780
		6	-631.1660	-32.6650	125.1750
		30 mm	1η	1	-511.0180
2	-508.1970			-25.4190	187.9980
3	-500.6520			-25.1480	166.8240
4	-495.8070			-25.1410	185.5430
5	-488.6130			-24.8930	163.9160
6	-484.4440			-24.9240	185.3380
2η	1		-509.3870	-30.7450	195.8720
	2		-504.4690	-30.6200	195.2830
	3		-499.1360	-30.4640	194.6460
	4		-494.3460	-30.7330	194.0740
	5		-489.9200	-30.2700	193.5390
	6		-482.5150	-30.5000	192.6320
3η	1		-475.2450	-31.6010	185.6180
	2		-475.8600	-30.7700	180.6810
	3		-476.3980	-31.5100	176.1010
	4		-476.9310	-31.0330	171.7640
	5		-477.2900	-30.6930	168.8660
	6		-477.8190	-31.7510	164.4320
4η	1		-486.9610	-31.2230	156.9480
	2		-491.2320	-30.0680	157.4590
	3		-495.7900	-29.4670	158.0000
	4		-500.0410	-30.6980	158.5020

		5	-506.1900	-30.6060	159.2430	
		6	-513.4940	-30.4790	160.1500	
	5 η	1	-518.3970	-32.2370	168.9510	
		2	-517.6530	-31.7500	175.2020	
		3	-517.0040	-31.2590	180.7240	
		4	-516.0140	-30.3720	188.9610	
		5	-516.8180	-29.4160	182.3930	
		6	-517.8550	-29.2530	173.7710	
	40 mm	1 η	1	-651.3880	-26.4350	-224.0630
			2	-644.9180	-26.6070	-205.1720
			3	-639.7980	-26.5630	-222.9590
			4	-633.4950	-26.7150	-209.0750
5			-625.6080	-26.6810	-230.3780	
6			-620.3270	-26.8280	-213.0080	
2 η		1	-643.1580	-30.3420	-193.0490	
		2	-637.1620	-30.8030	-194.6710	
		3	-630.9890	-31.7040	-196.3390	
		4	-624.4900	-31.6830	-198.0890	
		5	-618.3090	-32.0080	-199.7680	
		6	-613.1200	-32.6020	-201.1800	
3 η		1	-607.8610	-32.8430	-209.2260	
		2	-609.5090	-34.1880	-215.2740	
		3	-611.1730	-33.7630	-221.4620	
		4	-612.6400	-33.5480	-226.8840	
		5	-613.5290	-33.9130	-230.1680	
		6	-614.8390	-33.4550	-235.0320	
4 η		1	-622.7420	-31.3820	-240.8900	
		2	-627.7210	-31.6110	-239.5400	
		3	-636.2530	-31.7000	-237.2450	
		4	-642.5450	-31.9270	-235.5510	
		5	-650.1190	-31.9460	-233.5120	
		6	-656.3320	-32.1580	-231.8250	
5 η	1	-659.3620	-31.5510	-223.5500		
	2	-658.0080	-31.4510	-218.5440		
	3	-656.7330	-32.5710	-213.7810		
	4	-655.6330	-33.5020	-209.6570		
	5	-654.7510	-31.4630	-206.4710		
	6	-652.9880	-31.3060	-199.9630		
50 mm	1 η	1	-513.6950	-24.2750	44.3530	
		2	-508.6070	-24.4930	63.3360	
		3	-498.7930	-24.3890	42.0530	
		4	-493.3340	-24.6540	60.8900	
		5	-479.9820	-24.5810	39.7960	
		6	-475.1860	-24.8850	59.2870	
	2 η	1	-511.8830	-28.5560	75.4860	

		2	-505.1130	-28.3600	74.5810
		3	-498.1770	-29.7440	73.6500
		4	-490.3860	-30.2820	72.6090
		5	-483.4990	-30.2390	71.6770
		6	-475.4540	-29.2710	70.5870
		3η	1	-462.6320	-29.8030
	2		-463.0860	-32.0090	59.4470
	3		-463.6960	-28.6180	54.7210
	4		-464.4300	-29.1140	49.2930
	5		-465.2910	-29.2000	42.8990
	6		-466.1840	-31.2730	36.5110
	4η	1	-475.1340	-29.9760	29.2940
		2	-481.6210	-31.0450	30.1540
		3	-489.1670	-32.0460	31.1380
		4	-496.6420	-29.7580	32.1660
		5	-502.4030	-30.3680	32.9320
		6	-512.1960	-30.1020	34.2680
	5η	1	-521.8360	-28.5030	42.3390
		2	-520.9430	-31.8420	49.2590
		3	-520.1720	-31.6280	55.0030
		4	-519.5870	-30.3740	59.2450
		5	-519.0670	-30.4640	63.1340
		6	-518.5530	-31.0750	66.8950
	60 mm	1η	1	-618.9770	-27.0940
2			-615.9480	-26.6870	-310.9590
3			-605.9840	-27.0220	-331.0090
4			-602.7150	-26.6820	-312.8730
5			-583.3810	-27.0160	-336.3910
6			-569.9710	-26.6490	-316.4620
2η		1	-615.4100	-32.3950	-300.5890
		2	-608.2780	-31.9720	-301.4490
		3	-598.0350	-32.2730	-302.5980
		4	-588.0960	-31.7710	-303.7350
		5	-577.5010	-32.1240	-304.9700
		6	-567.6830	-31.6720	-306.1630
3η		1	-560.2180	-33.6200	-314.9620
		2	-560.7720	-32.2380	-319.6180
		3	-561.4590	-31.7620	-325.5860
		4	-562.0320	-32.9870	-330.5520
		5	-562.7140	-33.7420	-336.4320
		6	-563.1610	-33.7030	-340.2020
4η		1	-569.9720	-32.3550	-346.9580
		2	-576.9400	-30.8560	-346.1590
		3	-588.7110	-31.8660	-344.7840
		4	-601.1680	-32.4990	-343.3410

		5	-614.5550	-31.9240	-341.7470	
		6	-624.2360	-32.6700	-340.5140	
		5 η	1	-628.8100	-32.5430	-333.3880
			2	-628.1890	-32.6390	-328.2350
			3	-627.6640	-32.6970	-323.7790
			4	-627.3630	-32.8040	-321.1880
	5		-626.7460	-33.2130	-315.9260	
	6		-625.9320	-33.7330	-308.9990	
	70 mm	1 η	1	-585.8760	-26.0860	-90.6500
			2	-582.6830	-26.1180	-71.7120
			3	-567.2730	-26.1420	-93.7880
			4	-564.3720	-26.1480	-72.2190
			5	-539.3950	-26.2210	-98.5530
6			-532.1010	-26.2210	-75.5500	
2 η		1	-585.1560	-29.4440	-59.7980	
		2	-575.7600	-29.5550	-60.8730	
		3	-562.7280	-31.5450	-62.2610	
		4	-551.4360	-32.9470	-63.4720	
		5	-538.6160	-34.0100	-64.8760	
		6	-527.8220	-33.4110	-66.1220	
3 η		1	-517.1590	-32.7850	-73.2530	
		2	-517.6770	-33.7560	-77.8870	
		3	-518.1020	-30.8640	-81.6900	
		4	-518.8620	-32.9760	-88.6120	
		5	-519.3760	-32.0860	-93.2980	
		6	-520.0160	-33.3630	-99.1150	
4 η		1	-527.4940	-32.0340	-107.2520	
		2	-535.0440	-31.5280	-106.4120	
		3	-545.5490	-31.7230	-105.2740	
		4	-559.6570	-30.5840	-103.7320	
		5	-574.6590	-32.2260	-102.0580	
		6	-589.7120	-33.1490	-100.3450	
5 η		1	-595.7880	-30.0400	-92.9250	
		2	-594.8900	-31.3710	-84.8370	
		3	-594.1920	-33.5610	-78.4890	
		4	-593.8170	-31.2510	-75.2780	
		5	-593.2880	-31.5660	-70.5660	
		6	-592.8170	-33.4730	-66.5170	
80 mm	1 η	1	-532.4730	-27.3330	-199.1640	
		2	-521.3130	-26.5520	-178.9850	
		3	-508.9240	-27.3920	-201.7260	
		4	-502.9210	-26.5340	-179.0980	
		5	-474.7150	-27.5130	-206.5020	
		6	-465.3660	-26.7060	-186.0370	
	2 η	1	-529.7750	-30.0160	-166.4820	

		2	-518.3660	-30.7430	-168.0820	
		3	-506.7750	-32.6280	-169.6500	
		4	-494.6030	-32.1100	-171.3930	
		5	-482.0000	-33.1440	-173.1470	
		6	-466.0880	-32.7800	-175.4580	
		3 η	1	-452.8010	-31.5220	-182.3620
		2	-453.2040	-30.7760	-185.2270	
		3	-453.6470	-31.9160	-188.2780	
		4	-454.3680	-32.5830	-193.3580	
		5	-455.3210	-33.0350	-200.0250	
		6	-456.3930	-32.0240	-207.6150	
		4 η	1	-467.9250	-32.8880	-216.5050
			2	-480.3050	-32.7040	-214.7410
			3	-494.0960	-33.7630	-212.7370
			4	-505.8160	-32.9940	-211.0900
			5	-520.2420	-33.6190	-208.9970
			6	-535.2480	-33.1240	-206.8350
		5 η	1	-541.9080	-33.0080	-198.1440
			2	-541.2990	-33.0380	-193.9050
			3	-540.3970	-32.7260	-187.5740
			4	-540.0220	-32.1390	-184.9580
			5	-539.3900	-32.9610	-180.4890
			6	-538.5200	-31.3950	-174.4330
	90 mm	1 η	1	-457.2650	-27.0370	-326.6160
2			-456.3800	-27.6740	-309.0530	
3			-440.6020	-27.0330	-329.3110	
4			-429.9520	-27.7600	-310.1100	
5			-401.6160	-26.9540	-336.7780	
6			-389.9670	-27.6960	-317.5830	
2 η		1	-458.1340	-33.8530	-297.4160	
		2	-444.7350	-35.1660	-299.0690	
		3	-429.3120	-34.7080	-300.8900	
		4	-416.4480	-33.5770	-302.3810	
		5	-403.1480	-33.6970	-303.9820	
		6	-385.7740	-34.1370	-306.0990	
3 η		1	-371.3270	-32.5550	-314.2400	
		2	-371.8420	-32.9090	-318.6010	
		3	-372.3940	-33.1570	-323.2880	
		4	-373.1640	-29.9330	-329.2770	
		5	-373.6480	-33.8570	-334.0280	
		6	-374.5080	-33.3000	-341.3650	
4 η		1	-384.3890	-32.6480	-347.1150	
		2	-393.1220	-33.8260	-346.1040	
		3	-408.0170	-33.4570	-344.3200	
		4	-421.1710	-33.6090	-342.7670	

		5	-436.1700	-33.9130	-340.9980	
		6	-459.3430	-33.4300	-338.2060	
		5η	1	-469.8210	-29.9860	-330.1370
			2	-469.3030	-33.2900	-325.6890
			3	-468.6390	-33.7000	-320.0180
			4	-467.9540	-34.5550	-314.1890
	5		-467.4900	-33.3850	-310.2720	
	6		-466.8750	-34.3560	-305.0680	
	100 mm	1η	1	-363.6890	-26.6920	-485.6550
			2	-365.8750	-27.2930	-507.1280
			3	-332.1140	-26.5130	-492.0800
			4	-332.2860	-27.0110	-512.8600
5			-299.8800	-26.4100	-494.1600	
6			-292.9310	-26.8130	-518.9780	
2η		1	-362.5890	-32.1850	-473.5710	
		2	-351.0060	-32.7280	-475.5650	
		3	-328.3150	-33.0930	-479.2630	
		4	-310.8740	-33.7780	-482.1000	
		5	-299.6790	-30.8930	-484.0340	
		6	-277.4450	-32.7800	-487.8440	
3η		1	-269.7550	-31.4400	-496.2760	
		2	-270.8890	-33.1780	-502.9730	
		3	-271.6260	-34.0370	-507.3490	
		4	-272.6290	-33.4630	-513.2520	
		5	-273.9090	-35.3330	-520.9130	
		6	-273.0520	-32.3410	-515.6160	
4η		1	-283.2700	-32.6810	-528.2210	
		2	-292.4180	-34.3580	-526.5900	
		3	-305.9940	-34.9690	-524.3050	
		4	-316.7330	-32.9820	-522.5350	
		5	-331.8760	-35.5140	-519.9670	
		6	-353.1470	-34.1720	-516.3220	
5η		1	-378.3010	-30.8420	-502.5620	
		2	-377.4180	-30.6730	-497.3900	
		3	-376.6520	-33.5360	-493.0050	
		4	-375.7600	-34.4530	-487.7800	
		5	-375.1720	-32.5470	-484.3060	
		6	-374.1580	-32.6290	-478.4260	

Point Probe
Επιτύχης διακρίβωση ακρίβειας 0.0076mm

Πλακίδιο	Επιφάνεια Πλακιδίου	Αριθμός Σημείου	x (mm)	y (mm)	z (mm)
10 mm	1η	1	380.6420	-30.1250	-564.2260
		2	374.1810	-30.1750	-569.3630
		3	378.4340	-30.0400	-573.1940
		4	373.8470	-30.0960	-575.6170
		5	377.7350	-29.9610	-580.5090
		6	371.2750	-29.9940	-587.4340
	2η	1	369.4020	-33.2770	-585.5520
		2	369.8540	-33.6170	-582.6390
		3	370.4710	-34.1150	-578.2550
		4	371.0740	-33.3160	-573.6290
		5	371.7110	-32.7050	-568.8440
		6	372.2510	-33.1290	-564.9830
	3η	1	375.9370	-31.3200	-560.4640
		2	378.4950	-31.9250	-560.8090
		3	381.3120	-33.7710	-561.2200
		4	378.7730	-36.3510	-560.9090
		5	375.5060	-36.0480	-560.4650
		6	378.7620	-34.5510	-560.8920
	4η	1	379.2460	-33.8300	-588.1630
		2	379.7380	-33.3500	-584.4240
		3	380.3230	-33.4780	-580.2510
		4	380.8420	-33.8400	-576.4850
		5	381.2970	-33.6950	-573.0230
		6	382.3020	-34.4120	-565.3550
5η	1	377.2910	-32.8830	-591.0610	
	2	373.4670	-33.2070	-590.5360	
	3	370.2370	-34.1970	-590.0830	
	4	372.4580	-37.3730	-590.4230	
	5	376.2070	-36.9510	-590.9280	
	6	374.3330	-33.8030	-590.6300	
20 mm	1η	1	497.3970	-29.8110	-617.0550
		2	489.5850	-29.6750	-606.9960
		3	498.7740	-29.5390	-606.1460
		4	489.0300	-29.5560	-597.3910
		5	499.3140	-29.3370	-596.3290
		6	489.7150	-29.5080	-591.4830
	2η	1	482.4270	-32.7240	-616.8730

		2	482.6500	-32.7910	-613.3940
		3	482.8900	-32.6800	-609.0530
		4	483.1390	-32.4230	-604.5170
		5	483.3470	-32.2680	-601.1610
		6	483.5740	-32.5610	-597.3020
		1	488.3010	-30.2240	-587.5000
	3η	2	490.2960	-31.4790	-587.5720
		3	492.5210	-32.6490	-587.6720
		4	495.2480	-32.5570	-587.8350
		5	496.9070	-32.3670	-587.9420
		6	500.4650	-31.8650	-588.1780
		1	503.7210	-32.9560	-595.1600
	4η	2	503.4410	-32.1880	-598.3940
		3	503.1780	-32.1100	-602.1520
		4	502.9170	-32.1460	-605.0460
		5	502.6170	-32.2890	-608.4660
		6	502.0750	-32.0580	-615.5970
		1	499.5780	-33.2310	-623.0480
	5η	2	497.1040	-33.2150	-622.8150
		3	494.7900	-32.6480	-622.6680
		4	491.9700	-32.5060	-622.4850
		5	489.1790	-31.8080	-622.2950
		6	485.6070	-32.1720	-622.0080
		30 mm	1η	1	622.4690
2	634.6600			-16.5600	-486.5080
3	636.4040			-16.4290	-477.6580
4	625.3080			-16.9130	-478.6930
5	637.3870			-16.3480	-468.0030
6	624.7890			-16.8810	-465.4400
2η	1		615.0520	-21.4830	-488.0090
	2		615.3880	-21.7100	-484.2350
	3		615.8380	-21.7320	-479.0010
	4		616.2100	-21.6010	-474.7130
	5		616.5960	-22.0070	-470.5080
	6		617.0430	-21.4280	-465.1330
3η	1		623.0400	-19.4420	-457.7720
	2		625.9870	-19.4430	-458.0300
	3		630.1760	-19.0890	-458.3800
	4		634.3280	-19.4180	-458.7230
	5		639.1660	-18.7290	-459.1600
	6		644.7580	-18.9460	-459.6950
4η	1		644.7320	-20.0200	-491.9340
	2		645.0370	-19.3760	-488.3940
	3		645.6570	-19.6970	-482.2480
	4		646.1250	-19.5060	-477.1130

		5	646.4930	-19.5240	-472.0780	
		6	646.9620	-19.5490	-464.6900	
		5 η	1	642.3520	-19.4830	-494.3730
			2	638.4600	-20.1820	-494.0480
			3	632.8650	-20.5880	-493.6220
			4	629.1530	-20.2240	-493.3460
	5		625.5690	-20.5070	-493.0650	
	6		619.5550	-21.2940	-492.5720	
	40 mm	1 η	1	621.6290	-16.4760	-479.0090
			2	625.9170	-16.1540	-459.0530
			3	635.6550	-16.8790	-482.7810
			4	633.4360	-16.3740	-461.3460
5			642.7460	-17.0140	-481.0630	
6			645.5440	-16.6470	-460.1760	
2 η		1	627.0120	-18.6050	-446.8290	
		2	631.4900	-19.7080	-447.5940	
		3	635.1800	-19.9500	-448.2130	
		4	638.5650	-20.2320	-448.7920	
		5	643.0470	-20.3140	-449.6020	
		6	649.5270	-19.8680	-450.9600	
3 η		1	655.9140	-20.8910	-458.8670	
		2	655.3150	-19.8370	-462.3310	
		3	654.3680	-19.5350	-467.6910	
		4	653.1190	-20.2620	-474.5930	
		5	652.1910	-20.3980	-479.7170	
		6	650.9420	-20.5200	-486.5780	
4 η		1	646.7190	-21.6600	-491.0240	
		2	643.7760	-22.2800	-490.4710	
		3	638.9290	-22.0560	-489.6050	
		4	633.6260	-21.9410	-488.6680	
		5	627.0410	-21.6850	-487.4950	
		6	620.4020	-21.4950	-486.3120	
5 η		1	616.3410	-21.2040	-481.5260	
		2	617.0940	-21.5710	-477.2970	
		3	617.8490	-21.7420	-473.0580	
		4	618.7810	-21.5460	-467.7720	
		5	620.0250	-20.1850	-460.9720	
		6	621.5690	-20.7700	-452.2670	
50 mm	1 η	1	648.0600	-16.5850	-475.7860	
		2	613.8500	-17.0710	-473.8530	
		3	613.8040	-17.0390	-463.2250	
		4	634.4460	-16.7380	-472.4420	
		5	649.1780	-16.5390	-463.0410	
		6	635.1090	-16.7270	-457.3560	
	2 η	1	607.7120	-21.1050	-475.9910	

		2	608.0740	-21.1510	-472.5600	
		3	608.5020	-21.3540	-468.4000	
		4	608.8290	-21.4390	-465.3030	
		5	609.3850	-21.8480	-460.1430	
		6	609.9650	-22.7480	-455.1010	
		3η	1	617.6780	-18.8550	-446.9610
		2	626.5260	-19.4640	-447.8800	
		3	635.8740	-20.9400	-448.8420	
		4	641.4380	-20.6950	-449.4170	
		5	647.1510	-20.5070	-450.0220	
		6	654.5160	-20.1630	-450.8340	
		4η	1	659.9830	-18.9970	-457.5000
			2	659.5450	-18.5400	-461.5980
			3	658.9520	-18.1570	-467.1910
			4	658.5100	-19.2310	-471.5550
			5	657.9230	-21.1890	-477.3850
			6	657.4690	-21.4970	-481.6590
		5η	1	649.9980	-21.6700	-485.5220
			2	641.7890	-21.3920	-484.6950
			3	631.6130	-20.3950	-483.6400
			4	625.7460	-19.2310	-483.0270
			5	617.6070	-19.8460	-482.1720
			6	611.6480	-20.0720	-481.5360
	60 mm	1η	1	652.4570	-16.9430	-477.0060
2			629.7930	-16.9530	-475.4370	
3			614.5680	-16.9990	-469.6160	
4			652.1770	-16.6260	-462.1030	
5			636.7290	-16.7010	-461.1720	
6			616.7180	-16.7550	-455.1970	
2η		1	605.0550	-20.3080	-476.2670	
		2	605.3560	-20.7990	-472.5170	
		3	605.6910	-20.6090	-468.4040	
		4	605.9560	-20.5510	-465.1350	
		5	606.2890	-21.0340	-461.0920	
		6	606.8670	-21.3050	-454.0790	
3η		1	617.1310	-18.0500	-447.2940	
		2	630.6020	-18.3910	-448.3980	
		3	635.9230	-18.8770	-448.8060	
		4	642.1590	-19.3540	-449.3010	
		5	649.2540	-19.2990	-449.8800	
		6	659.4090	-20.0590	-450.8640	
4η		1	666.7810	-18.3830	-458.4470	
		2	666.4750	-19.2160	-461.8850	
		3	666.1430	-19.6460	-465.7810	
		4	665.8430	-20.3860	-469.3340	

		5	665.5400	-20.3320	-472.9070	
		6	665.0300	-20.8680	-478.7600	
		5 η	1	656.5650	-20.7980	-485.5790
			2	650.7960	-18.9560	-485.1270
			3	640.9060	-18.7520	-484.3290
			4	630.9030	-22.0710	-483.4610
	5		623.8010	-21.9670	-482.8480	
	6		612.4940	-20.4710	-481.7520	
	70 mm	1 η	1	658.5650	-17.0270	-471.1290
			2	631.3870	-16.8660	-470.6710
			3	609.0890	-16.8110	-467.3340
			4	658.5570	-17.1080	-455.7240
5			638.2750	-17.0070	-455.1210	
6			610.9420	-17.0250	-446.6830	
2 η		1	600.5690	-22.3640	-472.4490	
		2	601.1440	-22.1140	-465.6170	
		3	601.8920	-22.6520	-456.7210	
		4	602.3160	-22.4670	-451.8020	
		5	602.9260	-23.1690	-444.5690	
		6	601.6390	-21.4030	-459.8770	
3 η		1	609.7950	-19.7550	-440.9450	
		2	614.5870	-19.9370	-441.3740	
		3	624.2450	-19.8940	-442.1650	
		4	635.5120	-19.6120	-443.0860	
		5	648.7400	-20.4080	-444.1750	
		6	662.6800	-20.2590	-445.3840	
4 η		1	672.5920	-18.8420	-452.6320	
		2	672.1850	-18.6430	-457.5920	
		3	671.5730	-19.9620	-464.8750	
		4	671.2210	-19.5330	-469.0520	
		5	670.8320	-20.5360	-473.5920	
		6	670.4400	-22.2090	-477.9500	
5 η		1	665.6820	-20.7950	-480.7430	
		2	660.4140	-21.0450	-480.2720	
		3	649.5650	-21.2350	-479.4050	
		4	640.3820	-21.1720	-478.6590	
		5	626.5970	-20.9680	-477.5200	
		6	610.0820	-21.2970	-476.0980	
80 mm	1 η	1	651.9390	-17.2260	-478.1520	
		2	631.5870	-17.1140	-476.7220	
		3	608.7010	-17.0480	-476.5500	
		4	657.8230	-16.9250	-468.9090	
		5	638.8670	-16.8110	-467.2250	
		6	612.4740	-16.5310	-460.7020	
	2 η	1	595.8410	-21.5490	-479.7050	

		2	596.1130	-21.3380	-476.3160
		3	596.5410	-20.5510	-471.0400
		4	596.8500	-20.2240	-467.1740
		5	597.0990	-20.9570	-463.9600
		6	597.6340	-20.4320	-457.2800
		1	606.4540	-18.5400	-448.2250
	3η	2	612.9370	-19.0800	-448.6810
		3	622.1480	-18.5470	-449.3940
		4	631.2130	-18.5010	-450.0850
		5	647.2040	-18.2440	-451.3270
		6	661.9750	-19.3520	-452.5050
		1	678.0010	-21.4820	-456.4080
	4η	2	677.5740	-20.6860	-461.9890
		3	677.1810	-21.0390	-467.2000
		4	676.7090	-21.6600	-473.3350
		5	676.3030	-21.5550	-478.4420
		6	675.7570	-21.9580	-484.9850
		1	668.2480	-22.8120	-487.8560
	5η	2	657.4970	-21.9110	-487.0660
		3	644.7640	-21.6550	-486.1410
		4	633.7930	-21.0260	-485.3290
		5	620.9730	-21.4050	-484.3120
		6	605.9340	-20.3630	-483.0630
		90 mm	1η	1	658.4190
2	635.7850			-17.0080	-473.1360
3	606.5670			-16.6310	-470.4000
4	660.8600			-17.1870	-464.3760
5	637.0500			-16.7950	-462.3490
6	618.9760			-16.3930	-453.2430
2η	1		590.9840	-21.0390	-473.9140
	2		591.2390	-20.8250	-469.9440
	3		591.5860	-20.1180	-464.8410
	4		591.8970	-19.7370	-460.3200
	5		592.1990	-19.6590	-455.9010
	6		592.6970	-19.9980	-448.8390
3η	1		603.2710	-19.8230	-443.7770
	2		613.5000	-19.5560	-444.4430
	3		629.2380	-20.1570	-445.4620
	4		640.6310	-19.7530	-446.2170
	5		652.1660	-20.6950	-446.9870
	6		668.2430	-20.1310	-448.1540
4η	1		682.6860	-19.5620	-452.7920
	2		682.4050	-19.9450	-457.0820
	3		682.0920	-21.1200	-461.6690
	4		681.7770	-21.1580	-466.5240

		5	681.4600	-21.7240	-471.1960	
		6	680.9440	-21.2810	-479.0840	
		5 η	1	674.0440	-20.2090	-483.2280
			2	663.6360	-20.3910	-482.5750
			3	652.4820	-22.0610	-481.8080
			4	639.4220	-19.9480	-481.0090
	5		630.5900	-21.3450	-480.3970	
	6		613.8720	-21.1470	-479.2340	
	100 mm	1 η	1	655.3830	-17.0710	-474.1470
			2	638.5600	-17.0100	-471.8160
			3	604.4930	-17.1290	-472.1650
			4	660.2400	-16.7320	-458.7910
5			639.1300	-16.6810	-458.2480	
6			610.4630	-16.5520	-450.3540	
2 η		1	585.6540	-21.0100	-472.1680	
		2	586.0700	-20.1800	-468.1510	
		3	586.5100	-21.5610	-463.8560	
		4	587.0550	-21.2580	-458.6110	
		5	587.4890	-20.3880	-454.4640	
		6	588.3070	-19.6600	-446.6830	
3 η		1	602.3380	-21.5880	-443.7400	
		2	621.5180	-20.6990	-445.7210	
		3	639.7440	-20.4320	-447.5910	
		4	652.4390	-19.9840	-448.9160	
		5	669.8990	-19.3000	-450.7380	
		6	679.6560	-20.1920	-451.8620	
4 η		1	687.8940	-21.3350	-456.5620	
		2	687.5060	-21.6330	-460.1550	
		3	687.0840	-21.2580	-464.2920	
		4	686.4080	-21.4170	-470.8700	
		5	685.8470	-21.1230	-476.3520	
		6	685.2410	-20.6200	-482.2400	
5 η		1	665.4740	-21.5370	-485.3320	
		2	657.0050	-22.5970	-484.4570	
		3	644.9920	-21.4300	-483.2990	
		4	632.1640	-21.8270	-482.0130	
		5	618.3370	-21.8670	-480.6050	
		6	602.9950	-20.7300	-479.0300	

Zircon Ball Probe 2mm Τοποθέτηση αισθητήρα χωρίς διακρίβωση (ακρίβεια 0.029mm)					
Πλακίδιο	Επιφάνεια Πλακιδίου	Αριθμός Σημείου	x (mm)	y (mm)	z (mm)
10 mm	1η	1	-661.7030	115.1640	178.8270
		2	-656.3570	115.5670	181.3260
		3	-651.2500	115.6680	176.8360
		4	-646.8940	115.8150	180.6290
		5	-643.6380	115.1310	177.9510
		6	-640.3500	115.3580	180.3780
	2η	1	-647.4610	114.6560	205.0360
		2	-643.1840	114.1950	204.7270
		3	-641.0500	114.1440	206.6540
		4	-637.8590	113.1790	208.8890
		5	-632.9690	112.7700	209.4560
		6	-631.2500	112.7610	210.4390
	3η	1	-596.5620	115.8440	200.5710
		2	-595.7150	115.5630	197.4060
		3	-592.4700	116.8850	197.8300
		4	-589.5070	118.1670	199.1110
		5	-586.4240	117.2060	195.7180
		6	-578.2640	115.9210	197.1860
	4η	1	-598.1980	116.9000	158.2220
		2	-599.7620	116.3400	157.6060
		3	-606.0120	116.8670	158.5180
		4	-612.7060	116.5600	159.6520
		5	-617.3660	116.8640	161.6550
		6	-622.9420	115.8600	162.9260
5η	1	-633.9990	118.5410	176.9490	
	2	-632.1840	118.8230	180.4660	
	3	-631.3280	116.6770	181.2360	
	4	-632.4070	117.6240	179.8670	
	5	-632.7130	116.1410	178.7040	
	6	-632.5750	116.7040	180.4490	
20 mm	1η	1	-664.5680	114.9920	138.0180
		2	-656.3860	115.5780	146.3890
		3	-651.6560	115.8410	138.7220
		4	-645.0290	116.1190	144.2120
		5	-642.1870	115.8740	134.5470
		6	-636.5570	116.3290	139.8610
	2η	1	-646.6440	112.4850	168.3860

		2	-641.8060	111.9610	167.7190	
		3	-636.4090	112.1620	167.3380	
		4	-631.6630	111.1400	165.9000	
		5	-628.8240	111.4210	167.2860	
		6	-624.6460	110.8080	170.2780	
		3 η	1	-598.3180	116.5830	143.2860
		2	-596.4910	116.7160	141.0660	
		3	-596.1470	116.5190	138.7590	
		4	-596.9040	115.3780	134.8020	
		5	-596.4500	114.6080	137.9920	
		6	-594.5920	115.7550	143.9450	
		4 η	1	-613.9130	116.4280	127.0080
			2	-615.3840	115.7180	127.7840
			3	-622.1640	116.1370	128.3790
			4	-624.0490	115.7420	127.7030
			5	-632.5130	116.1430	121.4580
			6	-638.3940	116.0640	119.6040
		5 η	1	-650.1920	116.0020	137.2510
			2	-648.6740	116.2040	138.5110
			3	-647.6090	116.3220	140.9700
			4	-646.0670	117.1890	144.1370
			5	-645.7340	117.3780	145.9410
			6	-644.2800	116.4800	147.5720
	30 mm	1 η	1	-534.0110	118.7220	185.7690
2			-528.1490	119.4370	198.6000	
3			-524.2610	118.6600	182.6120	
4			-522.8530	118.7680	195.2670	
5			-523.7640	116.4120	188.0130	
6			-517.6290	117.4450	196.9720	
2 η		1	-528.5310	114.7900	217.3500	
		2	-526.3950	114.2480	216.0430	
		3	-520.3190	115.7740	212.6740	
		4	-515.3440	114.7500	213.1280	
		5	-512.8090	114.2400	214.1040	
		6	-509.9280	115.1730	213.1600	
3 η		1	-496.7500	115.9890	203.5470	
		2	-494.2420	115.6360	198.9710	
		3	-492.1260	116.0670	197.3060	
		4	-491.4760	116.9780	194.8220	
		5	-490.1790	115.7420	191.4870	
		6	-487.8810	113.9800	188.2740	
4 η		1	-523.1640	113.5410	162.8830	
		2	-528.2030	115.2170	165.0960	
	3	-531.6770	113.7070	164.6530		
	4	-535.8810	113.9650	165.3610		

		5	-541.9090	114.0070	166.4750	
		6	-546.9510	114.6000	166.7360	
		5 η	1	-557.9990	112.3020	169.9080
			2	-557.5960	111.9420	172.2380
			3	-557.0870	111.7750	177.2280
			4	-556.5940	112.6080	180.9380
	5		-554.3790	110.0510	183.7420	
	6		-555.8930	112.4140	187.4840	
	40 mm	1 η	1	-713.2080	106.2540	-219.7340
			2	-706.3180	107.3180	-207.0710
			3	-703.3060	106.6550	-214.1180
			4	-699.6110	106.7960	-204.4130
5			-692.5050	104.9660	-217.7560	
6			-685.6360	104.2060	-205.0780	
2 η		1	-700.2130	105.4910	-189.4750	
		2	-692.7590	107.3260	-182.3400	
		3	-690.2410	105.9590	-181.5190	
		4	-685.8310	105.4740	-180.1520	
		5	-678.1400	102.7410	-175.7330	
		6	-669.9850	101.4490	-173.4020	
3 η		1	-620.8390	113.5930	-214.9640	
		2	-616.5220	114.8240	-221.4260	
		3	-615.7800	114.7770	-228.4130	
		4	-617.1410	115.2170	-234.7470	
		5	-617.2170	114.5980	-236.5170	
		6	-617.8500	115.6260	-238.9170	
4 η		1	-646.7630	113.3600	-242.4490	
		2	-654.5790	114.4150	-241.8960	
		3	-664.0470	114.0720	-240.3100	
		4	-673.5770	113.6850	-239.7100	
		5	-680.5780	113.0090	-237.0990	
		6	-685.7470	113.3650	-238.3220	
5 η		1	-688.6650	113.5340	-232.5040	
		2	-686.5080	113.9100	-228.2350	
		3	-683.2450	111.0270	-221.6450	
		4	-682.9770	112.7890	-219.3420	
		5	-684.3690	113.0440	-212.4510	
		6	-682.9680	112.9450	-205.2290	
50 mm	1 η	1	-571.9330	109.8530	63.4260	
		2	-563.7590	110.2640	72.3930	
		3	-552.2760	112.4170	54.8540	
		4	-541.0420	112.1850	71.6710	
		5	-538.1590	111.5330	55.4340	
		6	-528.5820	111.7230	70.1050	
	2 η	1	-552.7290	111.2640	104.6670	

		2	-546.2760	108.5060	107.3290	
		3	-541.1900	107.3930	108.4050	
		4	-531.7900	107.0950	107.0840	
		5	-525.1030	105.5540	106.5200	
		6	-517.9860	104.1010	105.9960	
		3 η	1	-469.2020	116.5640	77.7320
		2	-468.6330	115.0150	73.4610	
		3	-467.8040	116.5220	70.9190	
		4	-466.5900	115.5030	65.8340	
		5	-467.3260	114.7770	61.8910	
		6	-467.9860	114.7370	58.9650	
		4 η	1	-519.2410	110.4760	25.0290
			2	-523.6130	110.4720	26.7010
			3	-529.2660	111.4070	25.3240
			4	-538.2770	111.7020	28.7250
			5	-546.4830	111.1990	30.8980
			6	-557.4160	112.3760	29.5910
		5 η	1	-568.0600	111.0650	48.4080
			2	-568.3100	112.0070	52.0220
			3	-568.8490	110.4280	58.2660
			4	-569.1030	109.9740	60.8910
			5	-566.7400	110.2290	66.4690
			6	-565.3120	109.1100	70.7360
	60 mm	1 η	1	-690.8440	101.4950	-323.8100
2			-698.4780	93.1880	-293.9550	
3			-687.9310	91.0710	-309.4100	
4			-682.0240	92.4520	-292.3180	
5			-663.8720	89.9830	-304.8830	
6			-657.7550	90.5430	-288.9550	
2 η		1	-693.2720	90.9410	-266.3600	
		2	-682.2660	90.2290	-265.1310	
		3	-672.0610	93.8310	-267.4430	
		4	-659.3250	93.4050	-266.7700	
		5	-649.3750	92.5450	-267.6930	
		6	-636.7460	91.7400	-269.1970	
3 η		1	-570.2140	116.1460	-309.5410	
		2	-567.7760	114.3680	-312.7460	
		3	-569.0500	114.9310	-318.8930	
		4	-568.7990	114.4490	-322.1140	
		5	-567.9630	114.0260	-327.3190	
		6	-568.2590	114.2890	-332.0560	
4 η		1	-621.4770	106.7300	-357.3990	
		2	-627.9910	106.2730	-354.1190	
	3	-636.7700	106.7670	-353.3100		
	4	-646.1360	107.3780	-351.2840		

		5	-653.1810	107.3950	-352.2130	
		6	-666.7720	108.6930	-348.4770	
		5 η	1	-671.6590	109.8800	-338.8610
			2	-673.4340	110.3140	-332.1650
			3	-672.6810	109.3490	-329.2760
			4	-672.0680	108.4160	-324.8850
	5		-671.9820	109.0520	-317.7570	
	6		-670.7430	108.9030	-312.9680	
	70 mm	1 η	1	-649.1500	103.3640	-62.2620
			2	-644.8690	104.8780	-47.3480
			3	-633.4570	103.4030	-65.5510
			4	-624.4600	103.2960	-48.1530
			5	-606.9810	101.6210	-71.9310
6			-600.3230	102.3330	-54.8710	
2 η		1	-643.7540	104.0580	-39.1870	
		2	-638.2050	102.5930	-38.7070	
		3	-625.2760	101.5160	-36.8080	
		4	-611.2860	101.4040	-37.1470	
		5	-601.1720	99.1950	-36.8970	
		6	-588.7010	98.8230	-37.6470	
3 η		1	-528.9170	114.6480	-60.4310	
		2	-529.5490	114.8940	-63.7980	
		3	-529.3670	113.8720	-67.2040	
		4	-527.4660	115.6190	-71.5230	
		5	-526.0140	114.9780	-77.0190	
		6	-528.7730	115.0140	-82.4870	
4 η		1	-579.3850	107.6790	-114.4320	
		2	-585.0120	109.0880	-114.2350	
		3	-588.7870	108.4120	-114.9460	
		4	-598.0520	109.9020	-114.1620	
		5	-604.1040	110.4190	-117.3540	
		6	-612.6990	111.2390	-115.5080	
5 η		1	-641.1270	109.8750	-84.9500	
		2	-640.4350	110.0210	-80.6550	
		3	-639.1200	108.9340	-75.4930	
		4	-640.5730	108.6160	-72.2750	
		5	-639.8410	108.2870	-67.2320	
		6	-639.0820	108.9090	-63.3610	
80 mm	1 η	1	-560.3290	116.1070	-195.6300	
		2	-551.1820	116.6100	-182.2200	
		3	-541.3910	115.4940	-196.4780	
		4	-528.8590	114.5960	-188.4040	
		5	-517.6170	112.1290	-200.0160	
		6	-509.9470	113.8880	-184.4940	
	2 η	1	-533.4150	108.6440	-136.2440	

		2	-527.9710	108.3030	-136.1260
		3	-521.5700	110.7350	-134.6810
		4	-514.3310	110.3480	-135.7380
		5	-507.9080	108.1700	-138.0510
		6	-499.1160	107.4560	-140.7900
		1	-455.9920	115.5970	-168.4630
	3η	2	-454.7230	114.5420	-173.0740
		3	-455.3830	113.7120	-178.7200
		4	-456.2730	114.2810	-184.6410
		5	-453.3210	115.2430	-191.3880
		6	-453.3290	115.1570	-197.3300
		1	-510.1950	106.8870	-234.9410
	4η	2	-517.4960	108.3780	-235.5750
		3	-524.6020	109.2570	-234.1670
		4	-532.0600	109.7200	-232.7030
		5	-538.8770	110.2550	-231.0690
		6	-548.0950	111.3250	-229.3580
		1	-554.6100	115.2510	-219.5870
	5η	2	-553.5970	114.3210	-214.4020
		3	-550.6200	114.0350	-209.8320
		4	-549.2310	114.7690	-206.1760
		5	-547.6670	114.0730	-201.4610
		6	-545.4190	114.3570	-198.3360
		90 mm	1η	1	-490.4370
2	-478.2080			113.6260	-303.7190
3	-468.6640			113.9850	-316.4540
4	-456.5550			112.1900	-306.3880
5	-445.9900			111.1400	-322.3270
6	-441.7430			108.6920	-317.1130
2η	1		-501.3370	109.3750	-287.2480
	2		-492.4610	107.9000	-285.7880
	3		-484.4440	103.9860	-283.9930
	4		-473.0650	102.5620	-281.6570
	5		-461.5050	103.9790	-283.4340
	6		-442.2660	100.8590	-280.9410
3η	1		-368.0440	110.9030	-285.3220
	2		-367.3630	112.4320	-294.9430
	3		-367.4070	111.0400	-299.2540
	4		-367.4930	113.5370	-302.4240
	5		-367.4360	112.2440	-309.6360
	6		-365.7670	112.6450	-311.5950
4η	1		-388.7340	114.4820	-326.2130
	2		-393.7090	115.0880	-330.9680
	3		-407.4080	115.8660	-338.2330
	4		-421.6280	115.7960	-343.4840

		5	-427.9050	114.2480	-345.2340	
		6	-438.5950	113.0790	-348.2990	
	5η	1	-466.7440	115.6790	-326.2910	
		2	-463.7600	114.9910	-325.6940	
		3	-463.8750	115.7760	-323.5000	
		4	-463.4510	114.7820	-320.3980	
		5	-461.6600	113.8310	-316.6640	
		6	-461.2540	114.1040	-312.1720	
	100 mm	1η	1	-276.5170	96.6950	-479.0710
			2	-274.1010	96.4810	-489.7830
			3	-264.2600	102.1600	-488.7170
			4	-261.1320	100.6510	-494.6650
5			-228.6940	101.6240	-472.5660	
6			-227.6750	101.6300	-480.3730	
2η		1	-287.0560	81.8840	-415.3080	
		2	-279.8840	84.3180	-413.7180	
		3	-270.2090	83.3470	-406.8770	
		4	-265.9950	83.8650	-402.7140	
		5	-251.9560	75.3130	-396.5400	
		6	-240.3380	72.9870	-397.5990	
3η		1	-201.1290	92.4770	-455.4620	
		2	-201.6950	92.4150	-458.8630	
		3	-201.0900	91.8820	-463.1400	
		4	-201.4840	91.8820	-469.3910	
		5	-203.4660	90.7860	-474.1100	
		6	-204.3400	89.8370	-477.7720	
4η		1	-277.9430	101.2070	-591.4870	
		2	-280.8820	99.6450	-590.8130	
		3	-284.7990	99.8640	-589.1690	
		4	-295.0110	99.8460	-582.7270	
		5	-310.3170	101.3060	-569.1400	
		6	-320.7970	100.8410	-562.5450	
5η		1	-398.4040	111.6420	-538.6700	
		2	-399.5950	112.2840	-534.0730	
		3	-402.7600	112.4950	-524.4620	
		4	-404.3180	110.9390	-519.6700	
		5	-406.6010	109.1580	-514.9430	
		6	-410.1690	107.6320	-505.0760	

Point Probe
Τοποθέτηση αισθητήρα χωρίς διακρίβωση
(ακρίβεια 0.029mm)

Πλακίδιο	Επιφάνεια Πλακιδίου	Αριθμός Σημείου	x (mm)	y (mm)	z (mm)
10 mm	1η	1	-625.3150	-5.6640	184.4420
		2	-621.9350	-5.3770	187.0720
		3	-619.3740	-5.5020	183.5890
		4	-612.9100	-5.0790	187.7720
		5	-608.3260	-5.4110	180.8820
		6	-604.4950	-5.2220	184.5290
	2η	1	-616.2570	-11.8190	202.9060
		2	-611.6730	-13.1300	202.4000
		3	-607.2730	-12.9270	201.7770
		4	-602.7810	-13.3770	201.0710
		5	-597.7410	-13.3320	200.0070
		6	-595.5270	-13.7640	199.6510
	3η	1	-586.7980	-10.7880	190.1540
		2	-587.1400	-9.9310	187.1250
		3	-587.0060	-10.5350	185.2300
		4	-577.9580	-13.9590	187.1490
		5	-578.1240	-15.4080	184.9280
		6	-578.4890	-15.6910	183.3670
	4η	1	-605.9790	-13.8490	163.5580
		2	-610.4900	-14.4400	164.2950
		3	-615.0650	-15.3020	165.0960
		4	-623.4790	-14.8430	165.1960
		5	-629.2220	-15.9350	166.2270
		6	-631.3250	-16.7940	166.5800
5η	1	-641.9950	-17.3470	182.2860	
	2	-641.2730	-17.3580	186.7120	
	3	-640.6380	-21.3840	189.0070	
	4	-640.9610	-20.0620	186.2900	
	5	-641.0170	-21.0110	185.1650	
	6	-641.1860	-21.1650	183.2760	
20 mm	1η	1	-638.4080	-8.7310	124.4210
		2	-635.9160	-8.2450	130.2830
		3	-627.4590	-8.1960	133.9070
		4	-626.0590	-8.4240	125.3580
		5	-615.5940	-8.3260	122.8700
		6	-611.4500	-8.2780	129.1740
	2η	1	-636.1220	-19.8440	153.2530

		2	-627.8130	-19.9190	152.0460
		3	-623.3130	-19.3180	151.2500
		4	-615.9750	-20.3980	150.2790
		5	-611.1610	-18.3720	149.6760
		6	-607.6620	-19.9260	149.2350
		1	-575.6030	-13.5880	130.7960
	3η	2	-575.8020	-15.4090	129.1550
		3	-576.2020	-16.7930	126.4860
		4	-576.7700	-18.1470	123.9170
		5	-577.5290	-17.7760	120.6210
		6	-577.0520	-15.6170	117.8230
		4η	1	-640.0600	-16.1150
	2		-633.1990	-15.8580	108.5330
	3		-623.7740	-18.4530	107.5040
	4		-615.1180	-18.3720	106.3940
	5		-625.4830	-17.2750	107.9560
	6		-628.2330	-18.4040	108.3940
	5η	1	-648.9080	-20.4680	128.2230
		2	-648.3490	-20.0540	131.7980
		3	-647.3980	-19.4220	138.5830
		4	-647.0470	-23.5880	140.3350
		5	-647.8800	-23.6930	134.9080
		6	-648.9550	-24.6340	127.6490
	30 mm	1η	1	-527.5860	-10.8340
2			-521.6790	-11.0060	181.3630
3			-520.4460	-11.0490	187.9520
4			-505.8770	-11.3810	173.8910
5			-503.6180	-11.3380	185.6550
6			-515.1200	-11.3670	173.6120
2η		1	-515.5380	-22.3640	213.8230
		2	-510.8660	-21.1870	213.2120
		3	-507.0970	-21.5180	212.5870
		4	-504.0080	-22.1300	212.1590
		5	-499.6290	-22.6890	211.5440
		6	-492.0880	-22.9980	210.4920
3η		1	-463.5550	-19.8730	202.1440
		2	-464.0790	-21.8150	198.3480
		3	-464.7800	-24.0270	193.2400
		4	-464.8140	-23.1910	189.9860
		5	-465.6450	-24.3240	187.0630
		6	-466.7830	-23.7590	180.8580
4η		1	-501.7090	-21.9700	146.4550
		2	-509.3720	-24.2630	147.2420
		3	-514.0710	-23.2620	147.6730
		4	-519.4380	-23.0620	148.4220

		5	-523.8580	-23.3560	148.8260	
		6	-528.8740	-22.6770	149.2040	
		5 η	1	-537.6770	-21.4570	163.1060
			2	-536.5680	-22.8050	169.9040
			3	-535.9460	-22.2720	173.2090
			4	-535.1750	-22.6990	176.6540
	5		-534.1430	-24.2680	181.4280	
	6		-533.7570	-24.4740	182.8510	
	40 mm	1 η	1	-663.2820	-9.8850	-218.7060
			2	-655.6430	-9.8940	-206.5770
			3	-654.0660	-9.8300	-223.7450
			4	-646.3970	-9.9370	-207.1560
5			-638.0230	-10.1200	-230.5490	
6			-632.7560	-10.4180	-213.5180	
2 η		1	-659.0860	-23.6180	-179.7270	
		2	-655.0070	-23.6790	-181.0140	
		3	-648.2700	-24.5510	-182.7060	
		4	-641.9590	-24.0090	-184.5570	
		5	-635.7930	-24.6790	-186.4750	
		6	-629.4290	-24.6720	-188.4050	
3 η		1	-591.2660	-19.3750	-214.6810	
		2	-592.5380	-21.9430	-219.5530	
		3	-593.9820	-21.2490	-225.8160	
		4	-595.1810	-20.5820	-231.6700	
		5	-596.0770	-23.7880	-235.1270	
		6	-596.9340	-23.2090	-238.0780	
4 η		1	-622.9650	-23.2220	-259.4980	
		2	-627.9650	-23.1880	-258.1820	
		3	-635.0170	-22.6110	-256.2710	
		4	-639.8580	-24.6490	-254.8920	
		5	-647.0570	-23.9120	-253.1550	
		6	-652.7480	-24.3770	-251.4070	
5 η		1	-679.5650	-25.8970	-222.2690	
		2	-677.7840	-27.2370	-215.5720	
		3	-675.8070	-27.2590	-208.7720	
		4	-673.0870	-27.2560	-199.2770	
		5	-676.2480	-27.8340	-210.4970	
		6	-677.3470	-30.3220	-214.4150	
50 mm	1 η	1	-517.7410	-8.4970	36.0810	
		2	-515.4100	-8.2140	54.1110	
		3	-509.5050	-7.3100	37.6950	
		4	-506.6440	-7.9140	60.7110	
		5	-495.4130	-7.2290	40.6830	
		6	-490.2620	-7.8100	57.9200	
	2 η	1	-520.7680	-10.7910	81.4660	

		2	-514.1120	-12.8510	80.6590
		3	-498.1500	-20.9560	91.4970
		4	-490.6480	-21.0010	90.5520
		5	-483.0070	-21.5120	89.4400
		6	-473.3760	-22.2430	87.8120
		1	-447.3110	-14.6990	62.6950
	3η	2	-447.8840	-14.8300	57.9450
		3	-448.3580	-16.2080	53.1310
		4	-448.4530	-16.0870	49.9520
		5	-449.2860	-17.1490	46.6980
		6	-450.1360	-16.6510	39.8770
		4η	1	-489.0770	-19.6490
	2		-495.5160	-20.8110	19.5830
	3		-504.5900	-20.2280	20.5900
	4		-512.4290	-20.0740	21.6550
	5		-520.3210	-20.5510	22.7060
	6		-527.2160	-20.7280	23.5160
	5η	1	-540.8560	-20.9080	38.7200
		2	-539.8550	-21.6340	44.7350
		3	-538.9960	-21.8830	49.0620
		4	-538.0400	-22.5580	54.4390
		5	-537.1600	-22.5390	58.8100
		6	-536.0310	-23.7790	64.9790
	60 mm	1η	1	-626.3330	-8.2790
2			-621.6010	-7.9040	-308.7850
3			-614.6600	-8.2600	-326.2700
4			-607.3740	-8.0710	-312.8020
5			-594.9910	-8.5110	-329.4480
6			-591.6820	-8.4180	-316.8010
2η		1	-626.3360	-19.1910	-286.4640
		2	-622.6380	-19.3460	-286.8170
		3	-612.9120	-20.6120	-287.9260
		4	-605.4790	-20.7930	-288.8140
		5	-596.2270	-21.0720	-289.9260
		6	-586.2770	-21.1690	-291.1730
3η		1	-542.3610	-22.7810	-320.3810
		2	-543.1290	-24.0480	-326.0520
		3	-544.0240	-23.9900	-332.9490
		4	-544.6820	-24.5910	-338.6250
		5	-545.2740	-22.1860	-344.6760
		6	-545.4420	-24.9590	-347.4560
4η		1	-568.0030	-21.2550	-364.3170
		2	-575.7570	-21.8350	-363.4250
		3	-584.0640	-24.7920	-362.8800
		4	-591.9460	-24.9790	-362.4570

		5	-601.8910	-24.9450	-361.2190	
		6	-613.9490	-24.5410	-359.9350	
	5 η	1	-645.6570	-26.8920	-308.6990	
		2	-646.3740	-25.3510	-313.4390	
		3	-647.0840	-24.6620	-318.5660	
		4	-647.5640	-26.2310	-323.0360	
		5	-647.9150	-26.6530	-326.4600	
		6	-648.3680	-26.2880	-330.2560	
	70 mm	1 η	1	-593.3340	-6.6960	-88.9810
			2	-591.0880	-6.5390	-70.2860
			3	-579.1920	-6.8270	-87.6300
			4	-563.1630	-6.9280	-71.9330
			5	-552.3900	-7.2120	-92.3250
6			-541.7240	-7.2570	-74.3450	
2 η		1	-593.0370	-19.6240	-43.5380	
		2	-582.7820	-20.0730	-45.0390	
		3	-574.6420	-19.1530	-46.1570	
		4	-566.4750	-20.9330	-47.1400	
		5	-557.9290	-21.1800	-48.4480	
		6	-542.4050	-20.6440	-50.7600	
3 η		1	-498.2360	-20.6270	-75.3850	
		2	-499.1410	-22.4760	-85.5150	
		3	-499.5690	-22.9280	-89.6710	
		4	-500.0360	-22.5480	-94.4190	
		5	-500.3090	-22.4240	-97.1040	
		6	-500.8000	-23.9610	-101.9680	
4 η		1	-522.2240	-22.5670	-125.0660	
		2	-531.8410	-21.5120	-124.1130	
		3	-544.7700	-22.2100	-122.3040	
		4	-553.5470	-20.8820	-121.2260	
		5	-563.2580	-22.5280	-119.9800	
		6	-575.4670	-23.0690	-118.1240	
5 η		1	-612.6180	-21.1060	-88.0850	
		2	-612.4310	-19.8260	-85.2550	
		3	-611.7210	-20.6830	-79.1950	
		4	-610.9860	-21.4270	-73.3430	
		5	-610.4180	-21.0660	-68.7310	
		6	-610.0510	-20.9170	-65.0310	
80 mm	1 η	1	-539.8790	-9.0130	-189.5410	
		2	-533.0420	-8.2540	-174.2180	
		3	-522.8760	-9.2160	-190.9770	
		4	-510.3060	-8.3240	-172.9150	
		5	-498.3700	-9.5520	-195.5330	
		6	-480.1620	-9.0200	-181.1490	
	2 η	1	-539.3970	-18.2170	-150.4830	

		2	-525.7700	-19.7960	-152.5610
		3	-514.0160	-20.6870	-154.4390
		4	-504.0180	-20.7890	-155.8990
		5	-492.3120	-21.4010	-157.7570
		6	-475.5100	-22.0770	-160.5660
		1	-438.9930	-20.0690	-175.3020
	3η	2	-440.0620	-20.6340	-179.7810
		3	-440.7510	-21.1820	-185.0950
		4	-441.2400	-21.4400	-191.3650
		5	-441.9980	-21.9870	-196.1900
		6	-442.7070	-21.8550	-201.1430
		1	-466.0030	-23.3060	-234.5190
	4η	2	-475.3820	-22.7440	-233.1730
		3	-486.9900	-23.3300	-231.7620
		4	-501.6150	-23.4510	-229.8060
		5	-513.1850	-23.3120	-228.2140
		6	-529.2200	-23.6260	-225.9870
		1	-561.0430	-25.3550	-194.2020
	5η	2	-560.6410	-25.3980	-190.8180
		3	-560.1740	-24.6850	-186.8060
		4	-559.6120	-25.0270	-182.8440
		5	-558.8640	-24.9070	-177.4360
		6	-558.1160	-25.0360	-172.0730
		90 mm	1η	1	-467.4600
2	-467.8440			-9.4570	-307.3630
3	-452.9490			-9.3090	-325.9330
4	-437.2250			-10.0790	-310.5020
5	-417.8250			-10.2870	-329.0180
6	-401.3650			-11.2010	-313.8430
2η	1		-466.9540	-21.4060	-283.6580
	2		-449.0420	-22.8800	-285.8530
	3		-436.2180	-23.4790	-287.4680
	4		-424.5280	-24.0640	-289.0290
	5		-412.2980	-22.7770	-290.4730
	6		-397.7540	-24.7920	-292.6040
3η	1		-355.6780	-21.0520	-308.5470
	2		-356.0970	-19.2440	-311.7930
	3		-356.4750	-20.5450	-316.2470
	4		-357.0340	-20.7510	-325.0440
	5		-357.0620	-21.1340	-329.7580
	6		-357.7870	-22.7510	-333.7390
4η	1		-390.1610	-17.0660	-361.0280
	2		-397.9470	-18.1190	-360.2890
	3		-415.5530	-16.7780	-358.8120
	4		-431.2980	-19.1430	-357.3270

		5	-449.5980	-19.5230	-355.3850	
		6	-463.0740	-18.3340	-353.5950	
	5η	1	-487.2540	-24.1260	-321.3940	
		2	-486.8850	-24.7550	-317.9540	
		3	-486.4750	-24.7950	-314.2190	
		4	-486.0600	-25.6630	-310.3780	
		5	-485.5060	-25.6920	-305.2830	
		6	-485.0690	-25.0980	-301.0740	
	100 mm	1η	1	-338.3950	-11.0200	-486.5160
			2	-343.9980	-11.6390	-503.9360
			3	-301.0920	-9.8520	-495.3380
			4	-295.6960	-10.1100	-512.4980
			5	-267.0630	-8.9120	-497.1830
6			-268.5050	-9.4250	-519.4690	
2η		1	-349.4000	-22.6860	-461.5660	
		2	-337.1210	-23.3070	-463.1390	
		3	-323.7600	-25.2040	-465.0180	
		4	-305.7720	-22.6310	-467.6230	
		5	-294.5860	-22.0360	-469.1910	
		6	-277.1810	-22.4870	-471.6930	
3η		1	-250.2680	-23.6550	-498.8040	
		2	-251.1390	-23.9380	-504.4580	
		3	-252.1650	-22.8120	-511.0090	
		4	-253.1610	-23.8170	-516.4840	
		5	-253.9520	-25.3620	-519.7060	
		6	-254.4750	-24.6530	-523.1300	
4η		1	-290.9810	-23.9200	-545.7210	
		2	-301.4230	-23.2130	-544.5220	
		3	-311.6820	-24.6240	-542.7740	
		4	-321.0600	-24.3370	-541.0870	
		5	-337.7170	-24.9170	-538.4990	
		6	-362.1400	-25.2600	-534.1450	
5η	1	-397.5620	-23.5830	-502.4910		
	2	-396.8360	-23.4340	-497.0430		
	3	-396.1040	-24.1190	-492.4260		
	4	-395.3990	-22.4860	-487.2820		
	5	-394.1920	-21.8450	-483.5720		
	6	-393.9910	-24.2240	-478.7390		

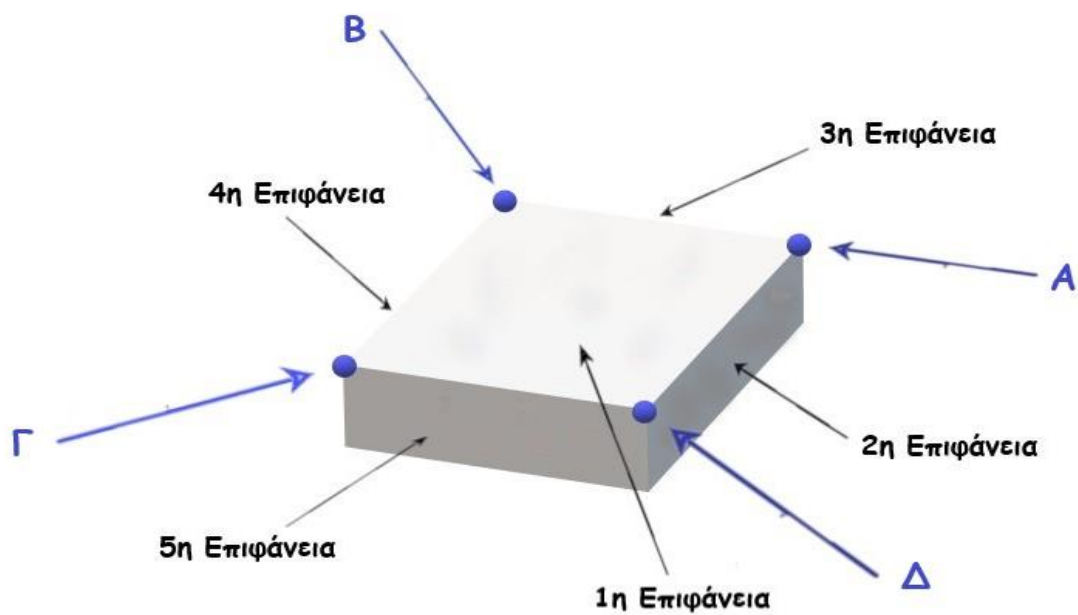
*Με κόκκινο χρώμα έχουν σημειωθεί τα σημεία που αφαιρέθηκαν στη δεύτερη φάση επεξεργασίας των μετρήσεων, μετά τον έλεγχο των υπολοιπών που προέκυψαν από τη μέθοδο γενικής συνόρθωσης

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

&

ΣΗΜΕΙΑ ΤΟΜΗΣ ΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ



Zircon Ball Probe 2mm
Επιτύχης διακρίβωση ακρίβειας 0.0187mm

Πλακίδιο	Επιφάνεια Πλακιδίου	Παράμετροι Επιφανειών			Σφάλμα Προσαρμογής (mm)
		A	B	Γ	
10mm	1η	-17.9074	-0.3668	-1155.1522	5.4980
	2η	0.5346	-0.0997	-574.8238	6.7437
	3η	-4.8388	15.0908	2724.3321	9.2595
	4η	-1.7079	-0.0063	-620.0310	10.2892
	5η	3.8358	-33.4889	-7018.5954	9.0739
20mm	1η	239.9385	-0.2265	6211.5295	4.7214
	2η	0.1801	-0.0532	-655.3809	1.2060
	3η	-30.8079	17.4324	2265.9083	8.2336
	4η	-0.2089	-0.0610	-648.0550	2.8480
	5η	41.8529	-23.3940	-3614.6061	3.6155
30mm	1η	-32.5122	-0.7629	-1831.7267	5.0223
	2η	0.0255	-0.0111	-744.9291	0.1880
	3η	-4.4147	72.4062	15750.4259	0.4324
	4η	-0.1449	-0.0226	-721.3554	2.9420
	5η	11.7164	-11.6843	-2585.4135	1.3358
40mm	1η	-24.9781	-0.7473	-1670.8775	10.2959
	2η	0.0402	-0.0371	-843.6087	2.1903
	3η	0.0537	35.0484	7278.3610	0.5113
	4η	-0.0033	-0.0359	-802.8461	1.9996
	5η	0.3353	34.5954	5907.4183	0.4806
50mm	1η	93.5741	-28.3997	403.0509	0.8790
	2η	-0.4674	-0.0243	-629.1943	3.3540
	3η	3.7537	28.2350	2025.3683	0.4621
	4η	0.0118	-0.0520	-562.7622	1.1171
	5η	2.1848	15.1651	259.5928	2.8909
60mm	1η	8274.8480	529.1711	268847.3613	0.5078
	2η	-0.0786	-0.0586	-820.4719	0.1665
	3η	-1.9523	13.1121	428.9103	0.3332
	4η	0.0470	-0.0792	-755.8356	0.3334
	5η	-0.0792	15.3803	142.6664	0.8283
70mm	1η	-1270.5841	-61.0971	-50516.5494	2.4552
	2η	0.0052	-0.0394	-1091.9700	0.1098
	3η	1.4405	29.3515	5772.8109	0.4235
	4η	0.0085	-0.0400	-1019.9438	0.0824
	5η	9.9553	3.2928	-70.4831	22.6082
80mm	1η	-10.7385	5.2283	-460.2033	23.5335
	2η	-1.6320	-0.0824	-1358.3398	33.5593

	3η	0.9511	23.2924	4345.8712	2.6250
	4η	-13.0786	-0.4962	-1757.9333	3.9040
	5η	-20.5910	-0.2295	-1914.3494	14.1988
90mm	1η	-5.1452	5.3309	-955.4061	42.8044
	2η	-0.0118	-0.0560	-1113.3388	0.2143
	3η	0.0168	16.7580	198.3751	1.0311
	4η	0.5928	-0.0489	-1001.0405	31.5568
	5η	-48.0910	23.5468	-1708.8412	3.6817
100mm	1η	-824.7311	-22.0314	-26574.6151	2.2156
	2η	0.0803	-0.0517	-1304.1406	6.3325
	3η	30.0963	28.6874	2141.3410	4.2276
	4η	4.2856	-0.2105	-1077.6357	5.2294
	5η	2.8292	13.4236	-524.6652	3.4298

Zircon Ball Probe 3mm Αποτυχημένη διακρίβωση 0.029mm					
Πλακίδιο	Επιφάνεια Πλακιδίου	Παράμετροι Επιφανειών			Σφάλμα Προσαρμογής (mm)
		A	B	Γ	
10mm	1η	875.4475	22.6450	-165615.2133	0.3160
	2η	0.5347	16.8699	7226.5595	1.6445
	3η	-0.0028	-0.0620	-582.4267	0.2598
	4η	10.7551	-15.2935	-9623.5163	5.9137
	5η	0.0755	-0.0783	-638.5207	0.8710
20mm	1η	2576.4953	6.5267	-515694.4326	0.0704
	2η	5.8017	11.9621	2184.4587	1.6586
	3η	-0.1099	-0.0237	-712.2222	0.1278
	4η	3.9285	32.4846	8815.3158	0.5568
	5η	0.0005	-0.0248	-772.1252	0.1526
30mm	1η	76.2733	0.2949	-15798.6676	0.4923
	2η	-0.7334	47.7192	14997.3705	0.6043
	3η	-0.0332	-0.0251	-519.5996	0.2287
	4η	-0.9371	54.7776	15506.7226	1.1697
	5η	-0.0113	-0.0246	-561.6735	0.6186
40mm	1η	70.1351	-2.0804	-15334.2537	1.5915
	2η	0.5200	9.2315	1294.1928	0.5285
	3η	0.0464	-0.1038	-767.9375	0.2092
	4η	0.4544	9.6625	1039.7527	0.4941
	5η	-0.0087	-0.1046	-800.4898	0.3473
50mm	1η	57.2062	-0.7443	-12546.5225	7.2627
	2η	-0.4106	9.5862	3106.2084	1.7102

	3η	-0.0420	-0.1031	-795.6829	0.3038
	4η	-2.1372	12.7363	4210.4751	5.0138
	5η	-0.4663	-0.0588	-748.5826	1.2655
60mm	1η	205.6654	-1.6194	-42354.3809	0.1144
	2η	-0.8253	-15.3656	-1764.1334	0.2407
	3η	-0.0220	0.0617	-753.2664	0.3646
	4η	-2.1598	-16.2552	-947.3847	0.3708
	5η	-0.0110	0.0619	-818.5236	0.0820
70mm	1η	-255.4525	4.5418	50685.6047	0.7436
	2η	-0.8865	51.0883	-3784.0978	0.3181
	3η	0.0037	-0.0192	-540.4594	0.1054
	4η	-22.7023	169.2708	-13733.9732	0.2044
	5η	-0.0017	-0.0187	-612.4429	0.2660
80mm	1η	205.7959	-3.9643	-41721.5424	0.7495
	2η	46.1308	-19.5492	-7596.2158	1.5674
	3η	0.0111	-0.0473	-760.0958	0.0879
	4η	0.5635	20.5148	-4085.2351	0.4574
	5η	-0.0082	-0.0479	-839.2790	0.1049
90mm	1η	1524.8581	0.0934	-307470.0830	1.0660
	2η	0.6662	13.9585	-3865.6688	0.6901
	3η	-0.0029	-0.0670	-523.8604	0.2163
	4η	0.0065	14.6382	-4442.7260	0.5239
	5η	-0.0992	-0.0495	-602.4268	0.1501
100mm	1η	84.6903	1.0806	-18288.8844	3.2157
	2η	3.2645	35.2784	-12330.1851	0.8788
	3η	-0.0025	-0.0238	-803.7143	0.4097
	4η	1.6422	34.2286	-12979.8857	0.9637
	5η	-0.0284	-0.0273	-900.4555	0.1428

Zircon Ball Probe 4mm Αποτυχημένη διακρίβωση 0.029mm					
Πλακίδιο	Επιφάνεια Πλακιδίου	Παράμετροι Επιφανειών			Σφάλμα Προσαρμογής (mm)
		A	B	Γ	
10mm	1η	-2716.7740	55.0806	606612.1120	0.2032
	2η	-34.5434	4.7487	8675.0028	4.6695
	3η	0.1618	0.1276	-891.2222	7.3761
	4η	21.0070	481.0906	225486.1476	2.6586
	5η	-0.2052	-0.0720	-948.6113	6.9414
20mm	1η	-106.0996	-2.3582	20783.5236	2.1545
	2η	-4.7716	16.3916	6825.5679	7.7791

	3η	2.4275	-0.3352	-1567.6417	2.1880
	4η	-2.5038	5.2649	1635.3359	6.5319
	5η	0.6322	-0.0006	-1096.2976	4.0237
30mm	1η	-228.8761	-4.0501	46934.4666	2.7990
	2η	1.2607	-6.4354	-3364.1634	3.9374
	3η	0.0478	0.2124	-864.1536	6.6610
	4η	0.2056	-8.9786	-3676.0847	4.2973
	5η	-0.3972	0.1012	-845.8035	3.5690
40mm	1η	-112.4222	0.2214	23276.3639	5.2884
	2η	-6.7681	13.7429	3391.5470	4.1079
	3η	-0.4879	-0.1055	-839.7878	6.8480
	4η	-1.2248	7.8022	605.6347	3.2302
	5η	-0.0223	-0.1403	-983.2672	6.0311
50mm	1η	66.5520	-0.8797	-15386.7667	36.4871
	2η	-2.2981	40.5032	3473.9709	1.3072
	3η	-0.1603	-0.0297	-900.5622	1.7696
	4η	-2.3909	41.7900	1354.1524	3.7958
	5η	-0.3046	-0.0176	-908.6453	5.1502
60mm	1η	36.8803	0.1626	-8953.0311	129.0256
	2η	3.9384	-35.2477	-684.7802	4.2538
	3η	0.5154	0.0445	-1044.6332	5.4444
	4η	1.7138	-139.1831	12108.9434	4.5630
	5η	-0.1247	0.0654	-951.3757	8.2338
70mm	1η	17.9412	-0.1527	-4820.6499	324.8513
	2η	4.8001	17.3395	-4669.7938	3.7678
	3η	-0.1907	-0.0901	-878.7810	10.9135
	4η	-1.2000	7.7663	-2496.9765	2.6838
	5η	0.1372	-0.0726	-992.0731	3.8307
80mm	1η	582.9662	-7.1157	124362.7705	0.4458
	2η	1.3983	14.7825	-6074.2226	2.4837
	3η	-0.2062	-0.0498	-886.4182	4.0914
	4η	3.3482	15.1108	-7900.2155	5.3913
	5η	-0.3176	-0.0577	-899.2529	7.3725
90mm	1η	-2.3334	-0.0083	-313.6538	12.5858
	2η	58.5247	133.7629	14199.1235	1.3970
	3η	-1.6395	0.0975	-415.6660	16.8499
	4η	0.4672	16.1717	856.6785	1.1487
	5η	-0.0633	-0.0398	-815.1337	0.6310
100mm	1η	14.2679	-0.2472	-3887.7716	43.5071
	2η	-1.3459	22.0627	-2484.7145	4.7095
	3η	-0.8398	-0.1067	-609.0860	5.4813
	4η	7.9277	12.6935	-4947.3661	4.3727
	5η	1.0553	-0.0794	-1052.4274	3.6902

Zircon Ball Probe 5mm
Αποτυχημένη διακρίβωση 0.029mm

Πλακίδιο	Επιφάνεια Πλακιδίου	Παράμετροι Επιφανειών			Σφάλμα Προσαρμογής (mm)
		A	B	Γ	
10mm	1η	-825.2963	9.3458	168880.9327	0.1494
	2η	-41.6498	-2163.2139	-1063715.1118	0.3265
	3η	-0.0031	0.0003	-918.1695	0.2426
	4η	16.5483	2250.5647	1076392.8599	0.6420
	5η	-0.0313	0.0048	-945.4647	0.2928
20mm	1η	-231.5468	-6.1271	43081.9682	0.2696
	2η	-0.1510	28.2788	10799.7391	0.2565
	3η	0.0008	-0.0362	-938.1031	0.1829
	4η	-0.5731	27.6835	9943.5513	0.4083
	5η	-0.0054	-0.0411	-978.7800	0.1413
30mm	1η	-571.2485	-7.2724	111598.8681	1.0009
	2η	0.1481	-7.9385	-3626.5788	0.7384
	3η	0.0122	0.1243	-885.0480	0.1485
	4η	-0.3469	-8.0403	-3280.5284	1.4163
	5η	-1.1463	0.1653	-684.1744	0.4992
40mm	1η	-536.7667	6.1999	108481.3272	0.3799
	2η	-0.0018	9.6046	1077.0465	0.6544
	3η	0.0149	-0.1058	-945.0918	0.2500
	4η	0.0760	9.8519	668.1790	0.1551
	5η	-0.1386	-0.0968	-953.0994	0.2125
50mm	1η	183.4792	-1.3808	-38163.8263	3.7477
	2η	-0.3161	30.4838	2073.4527	0.2546
	3η	-0.0007	-0.0318	-933.1528	0.1736
	4η	0.9459	30.5758	150.3880	0.4188
	5η	-0.0841	-0.0392	-956.9103	0.5705
60mm	1η	105.6596	1.5612	-22461.4113	0.8024
	2η	10.7256	-30.7472	-2099.4510	0.5890
	3η	0.0068	0.0268	-936.3402	0.5641
	4η	-2.4323	-27.9477	2238.0036	1.0836
	5η	0.1532	0.0350	-1005.8960	1.4494
70mm	1η	12.0766	-0.1762	-3387.6134	489.3213
	2η	0.1477	10.0366	-2556.8516	0.2201
	3η	-0.1217	-0.0982	-892.8467	0.8041
	4η	0.1569	9.7265	-3243.0700	0.7768
	5η	-0.0053	-0.1017	-955.1490	0.7551
80mm	1η	407.2045	-4.8136	-81752.0186	0.1709
	2η	0.5163	15.2167	-6027.2465	0.1949

	3η	-0.1099	-0.0606	-905.1281	0.3325
	4η	0.2889	15.7858	-7512.2492	0.1445
	5η	-0.0872	-0.0641	-948.3291	0.1030
90mm	1η	189.3991	-2.3177	-39445.1391	0.1814
	2η	0.1940	21.9424	3622.7883	0.1681
	3η	-0.0281	-0.0475	-783.9823	0.2486
	4η	0.0756	22.2597	1594.0578	0.0325
	5η	-0.0157	-0.0470	-826.0692	0.0900
100mm	1η	34.8139	-0.3896	-7834.9896	18.3642
	2η	-0.0597	12.5172	-1915.9920	0.0659
	3η	-0.0069	-0.0781	-787.4220	0.2308
	4η	0.1024	12.6181	-3286.0784	0.2246
	5η	0.0204	-0.0776	-832.9250	1.0813

Zircon Ball Probe 6mm					Επιτύχης
διακρίβωση ακρίβειας 0.0063mm					
Πλακίδιο	Επιφάνεια Πλακιδίου	Παράμετροι Επιφανειών			Σφάλμα Προσαρμογής (mm)
		A	B	Γ	
10mm	1η	-38.6625	1.9752	-712.2699	1.5144
	2η	0.2145	6.8806	-686.1419	3.7916
	3η	0.0113	-0.1346	613.3616	0.2531
	4η	0.2139	7.6887	-715.4171	0.3821
	5η	0.0070	-0.1367	649.9838	1.4827
20mm	1η	-2016.2052	44.6516	-56267.5839	1.9458
	2η	5.9549	3.1140	350.5228	12.6406
	3η	-0.0306	-0.1258	604.8366	2.4212
	4η	-0.6726	8.2520	-351.6903	9.7516
	5η	-0.1560	-0.1267	642.6377	8.3066
30mm	1η	-38.1801	-0.1517	-427.7945	3.3965
	2η	0.0039	8.4681	-1149.4328	1.4168
	3η	0.0125	-0.1201	497.9559	0.6366
	4η	-2.2186	8.0029	-837.3751	2.9622
	5η	-0.1525	-0.1015	530.9168	4.6400
40mm	1η	86.6437	0.3810	3013.7357	1.2462
	2η	-0.0317	3.7232	1360.8527	0.6332
	3η	-0.0102	-0.2706	550.9530	0.4316
	4η	-0.0491	3.7209	1517.3183	0.9941
	5η	0.0002	-0.2703	598.9696	0.7483
50mm	1η	115.2976	1.1130	3244.2145	3.8563
	2η	0.0559	7.5244	-54.6815	2.6737

	3η	0.0809	-0.1255	473.0838	1.4545
	4η	0.3840	7.4526	268.0598	3.6163
	5η	-0.0092	-0.1347	527.3349	0.4101
60mm	1η	-94.1477	2.1535	-1209.4748	8.6206
	2η	-5.8977	14.6075	4814.7860	2.8900
	3η	-0.0180	-0.1126	524.2538	1.3570
	4η	0.8177	9.0710	3741.8831	10.3953
	5η	0.0160	-0.1178	590.0552	1.7968
70mm	1η	-1472.8339	-2.3602	-37933.0117	9.5043
	2η	-0.4191	8.8540	1101.2237	9.0407
	3η	-0.0577	-0.1150	506.8255	1.8770
	4η	0.5497	8.9455	1503.6539	9.4058
	5η	-0.0064	-0.1112	585.2893	0.8816
80mm	1η	514.0081	-20.0681	10511.2879	175.0339
	2η	0.1905	7.1394	1723.7671	3.1296
	3η	1.7330	-0.2312	467.6527	0.6262
	4η	0.0858	7.0591	1998.2617	5.7711
	5η	0.2379	-0.1368	522.5501	0.6721
90mm	1η	239.4575	8.4046	9648.5477	1.7874
	2η	-0.3865	8.4825	2967.8343	3.0022
	3η	0.0035	-0.1180	334.4087	1.0111
	4η	-0.3670	8.3718	3278.2287	2.7038
	5η	-0.0047	-0.1166	431.2260	0.1780
100mm	1η	-79.0559	1.7254	-900.1954	10.4255
	2η	0.9021	6.0649	3265.1846	22.6120
	3η	0.0122	-0.1708	185.3689	0.9684
	4η	-0.5701	5.3910	3113.3803	11.5265
	5η	0.0054	-0.1702	292.9143	1.4924

Zircon Ball Probe 6mm Αποτυχημένη διακρίβωση 0.029mm					
Πλακίδιο	Επιφάνεια Πλακιδίου	Παράμετροι Επιφανειών			Σφάλμα Προσαρμογής (mm)
		A	B	Γ	
10mm	1η	-32.9332	1.7424	-531.5451	1.1947
	2η	0.4590	7.5670	-808.7801	1.2115
	3η	-1.0480	-0.2141	596.7029	0.1940
	4η	0.3182	8.0231	-770.1632	1.8401
	5η	0.0237	-0.1422	651.4279	0.5204
20mm	1η	-26.9502	0.8069	-168.9244	8.9535
	2η	-8.0730	11.4136	-1231.4568	1.9336

	3η	0.5835	-0.0509	614.3079	0.4322
	4η	-1.8046	6.4119	-178.3232	4.7290
	5η	0.7855	-0.0883	665.4514	1.0066
30mm	1η	-42.8044	-0.2096	-540.4911	0.5791
	2η	-1.2784	8.1130	-1118.9784	0.5069
	3η	0.0298	-0.1205	498.5504	0.2699
	4η	-0.1292	8.6751	-878.6712	0.8492
	5η	0.2593	-0.1391	550.2507	0.2913
40mm	1η	97.7167	0.5400	3355.5634	0.2308
	2η	0.0460	3.6844	1355.8378	0.3665
	3η	-0.0150	-0.2693	551.0190	0.1086
	4η	0.2951	3.7320	1530.9935	0.2916
	5η	-0.0105	-0.2705	598.5652	0.1235
50mm	1η	137.1949	1.1127	3797.2401	1.1935
	2η	-0.0847	7.5283	-58.7922	0.2343
	3η	-0.0120	-0.1388	470.9542	0.3546
	4η	1.2185	9.0072	247.7812	0.6333
	5η	-0.0085	-0.1331	527.2256	0.4038
60mm	1η	-179.2191	3.7110	-3009.1248	1.3271
	2η	1.1946	8.7415	3281.7577	1.7194
	3η	0.0320	-0.1110	526.3274	0.3355
	4η	-0.0039	8.7420	3602.7770	2.7510
	5η	0.9877	-0.1040	626.2949	0.2521
70mm	1η	228.3377	0.7071	6602.6752	0.9522
	2η	0.5841	8.5513	1113.6198	0.4684
	3η	-0.0022	-0.1132	508.7900	0.2660
	4η	-0.8515	9.2892	1496.5369	0.9757
	5η	-0.0079	-0.1113	585.2044	0.7425
80mm	1η	-723.9026	27.3579	-13801.6798	0.4725
	2η	0.3486	6.9476	1696.8821	0.7280
	3η	-0.0086	-0.1429	426.4626	0.1193
	4η	0.2944	7.0223	1997.9074	0.7871
	5η	0.0463	-0.1445	514.8065	0.1304
90mm	1η	155.9401	5.6957	6532.8224	0.3288
	2η	-0.3328	8.4165	2950.1481	0.6322
	3η	-0.0433	-0.1165	333.3155	0.5168
	4η	-0.1433	8.3868	3290.9153	0.5293
	5η	0.0006	-0.1165	431.3892	0.1360
100mm	1η	-74.2249	2.3882	-454.2609	5.4755
	2η	-3.8370	6.6474	3387.0916	4.2875
	3η	-0.0401	-0.1608	188.6691	0.4823
	4η	0.7831	6.2104	3589.4318	2.1074
	5η	0.0082	-0.1705	292.8546	0.2241

Point Probe
Επιτύχης διακρίβωση ακρίβειας 0.0076mm

Πλακίδιο	Επιφάνεια Πλακιδίου	Παράμετροι Επιφανειών			Σφάλμα Προσαρμογής (mm)
		A	B	Γ	
10mm	1η	-52.4156	-0.7912	-2406.3022	0.9281
	2η	9.1849	0.9067	467.1534	0.6910
	3η	-0.3105	8.1381	4175.4919	1.1476
	4η	0.1252	-0.1420	-458.5390	4.1578
	5η	0.2475	7.4811	4052.6798	3.2379
20mm	1η	-113.8423	2.8669	-2124.2247	7.9048
	2η	0.3556	-0.0619	-508.9640	2.1736
	3η	1.3205	5.6868	2892.6245	1.0904
	4η	0.1610	-0.0557	-531.5959	5.2214
	5η	1.9745	8.1772	4661.1449	5.9067
30mm	1η	-21.1570	0.1268	-923.3028	3.7990
	2η	0.0742	-0.0843	-654.6135	0.9604
	3η	-0.9761	11.5072	4625.7952	6.0197
	4η	0.1980	-0.1123	-695.9868	22.6922
	5η	1.4486	14.9411	6772.3115	1.4170
40mm	1η	44.4710	-0.9423	-340.0993	1.2479
	2η	-0.9724	6.7250	2359.7077	8.7479
	3η	-0.0036	-0.1756	-736.5588	2.0420
	4η	0.1610	5.5128	2063.6960	0.8491
	5η	0.0145	-0.1780	-701.7458	1.4070
50mm	1η	-69.3036	0.2960	-1657.4004	3.9127
	2η	-0.2212	-0.1110	-665.2257	1.0791
	3η	-0.0479	9.6694	3703.2844	2.8664
	4η	0.0270	-0.1041	-707.0992	0.8576
	5η	-1.0536	10.6139	4480.2855	3.0311
60mm	1η	15628.0340	124.8322	323670.2945	0.2107
	2η	-0.0181	-0.0808	-643.8965	0.9500
	3η	1.9358	11.8338	4711.4369	15.2921
	4η	-0.0523	-0.0789	-703.8955	1.2961
	5η	0.2694	13.2067	5761.1910	14.7791
70mm	1η	93.8719	6.3165	3921.9508	11.5683
	2η	0.0050	-0.0835	-639.9101	0.9247
	3η	-4.3456	12.1878	4678.3973	5.4218
	4η	-0.0016	-0.0820	-709.7419	1.5426
	5η	7.8837	14.8078	6616.9324	5.3775
80mm	1η	412.2307	-20.1881	-3201.7778	1.2683
	2η	-0.0096	-0.0798	-634.3481	0.1842

	3η	1.6164	13.8835	5646.9071	5.8011
	4η	0.0245	-0.0738	-711.1284	4.4959
	5η	-0.9371	14.8300	6544.8098	13.7993
90mm	1η	-129.4067	30.1854	11442.5131	18.3797
	2η	-0.1082	-0.0543	-618.9986	1.5848
	3η	-0.5115	15.9662	6472.5607	9.7032
	4η	-0.0264	-0.0622	-711.3559	0.7003
	5η	1.1838	17.1250	7624.6784	7.7811
100mm	1η	-283.9092	22.3749	5100.5204	13.2521
	2η	0.0021	-0.1025	-633.9917	0.7999
	3η	1.3270	10.1827	3944.7790	5.0150
	4η	-0.0499	-0.1067	-737.6870	1.3653
	5η	0.6032	10.1768	4286.5637	6.5919

Zircon Ball Probe 2mm Τοποθέτηση αισθητήρα χωρίς διακρίβωση (ακρίβεια 0.029mm)					
Πλακίδιο	Επιφάνεια Πλακιδίου	Παράμετροι Επιφανειών			Σφάλμα Προσαρμογής (mm)
		A	B	Γ	
10mm	1η	-34.3385	1.527208	4354.4247	34.5828
	2η	13.76856	-1.18339	-687.4753	10.8984
	3η	-4.39749	-1.1155	1330.332	155.4002
	4η	-55.983	42.04169	486.46572	5.7949
	5η	0.321799	-0.55945	694.85802	19.1742
20mm	1η	-9.43132	-0.41345	1805.8451	11.2907
	2η	-22.2229	22.91634	-710.2949	20.0566
	3η	-9.85047	1.210127	1575.1744	17.9781
	4η	18.99566	16.85853	-3742.616	34.2021
	5η	-14.0394	0.333185	2233.5562	3.8810
30mm	1η	-199.296	10.41865	22264.801	3.2326
	2η	-5.55365	-0.56758	1287.4886	146.5160
	3η	-4.2033	0.856347	810.17976	14.6131
	4η	-3.57622	3.579363	347.82186	26.0808
	5η	0.40674	-0.02656	516.69509	14.6704
40mm	1η	186.345	-16.6288	-22734.79	3.0031
	2η	0.586744	-1.19706	411.42572	42.4596
	3η	-3.89006	0.267756	1121.6707	34.5362
	4η	3.415235	5.96598	1705.4884	45.8713
	5η	-1.11497	-0.84992	618.82806	69.4463
50mm	1η	-6.03311	-0.50798	1270.459	86.7568
	2η	-2752.5	-2853.36	605458.63	0.0837

	3η	-0.03303	0.295614	450.61343	49.0354
	4η	8.796765	1.94892	-500.108	22.1516
	5η	0.13495	0.292193	537.86998	80.7740
60mm	1η	-0.06716	1.026021	1024.0545	680.4572
	2η	-26.8614	-46.2063	-9153.418	42.2470
	3η	1.642136	-0.1082	345.92704	10.1412
	4η	15.1037	3.977803	429.73114	23.7431
	5η	2.175328	0.387922	563.023	34.1170
70mm	1η	-110.184	9.574387	12648.128	14.0768
	2η	-6.72428	-11.9967	870.37785	74.9052
	3η	2.184461	-0.34062	257.69375	69.1313
	4η	2.379755	-19.7124	-1931.826	20.2838
	5η	1.005741	-0.25923	508.90563	40.8940
80mm	1η	54.74978	-2.62204	-6305.761	13.2004
	2η	27.33996	-48.4806	-9034.975	16.4198
	3η	10.12566	-1.72302	-1004.262	12.8681
	4η	5.564912	0.741639	89.450877	7.1542
	5η	-7.08684	-1.33272	1078.533	7.7994
90mm	1η	62.17594	3.328478	-5572.025	16.9048
	2η	-6.44584	-11.8481	-2199.001	98.6156
	3η	-0.36029	0.029306	416.29035	40.1867
	4η	-79.3292	-10.4751	6054.8877	2.5893
	5η	5.67262	-2.10296	-874.2024	18.0180
100mm	1η	1.980696	1.857437	985.17774	405.9173
	2η	-4.82421	-1.79753	-60.42099	119.2301
	3η	7.250255	-0.46566	-681.4529	11.0669
	4η	0.640494	3.513451	2291.3805	25.0024
	5η	-0.90282	0.369757	698.40739	8.5682

Point Probe Τοποθέτηση αισθητήρα χωρίς διακρίβωση (ακρίβεια 0.029mm)					
Πλακίδιο	Επιφάνεια Πλακιδίου	Παράμετροι Επιφανειών			Σφάλμα Προσαρμογής (mm)
		A	B	Γ	
10mm	1η	-13.9642	0.8512	387.9854	6.4240
	2η	-0.3185	9.1341	-1240.6333	5.9440
	3η	-1.2986	0.1743	541.0467	90.5047
	4η	-3.8940	-0.3898	617.3308	17.7490
	5η	-0.0089	-0.2071	679.6952	6.7778
20mm	1η	104.9516	-7.1861	2449.0025	21.4233
	2η	2.9792	6.5316	-306.1488	6.0289

	3η	0.2354	-0.2359	609.8176	15.6750
	4η	-1.1647	10.5847	-534.3728	10.8406
	5η	-1.4414	0.0020	619.1442	1.2273
30mm	1η	37.4490	0.3701	867.4444	7.6474
	2η	-1.2330	5.7418	-739.7881	2.4860
	3η	-0.0851	-0.1078	483.6805	15.9239
	4η	0.3846	11.2339	-1135.2263	5.4530
	5η	-0.2515	-0.1703	559.9255	8.1126
40mm	1η	-528.3640	-1.7350	-4929.7010	1.7720
	2η	2.8936	2.8051	1231.6257	7.0012
	3η	-0.0467	-0.2424	538.2984	5.6444
	4η	-0.9893	3.8778	1606.2598	5.0872
	5η	-0.2582	-0.2998	606.1887	3.1340
50mm	1η	1.2627	0.4006	510.6411	80.9084
	2η	-0.2401	-1.7618	657.7336	79.7657
	3η	0.1376	-0.1202	456.9460	13.1230
	4η	0.6263	9.5906	320.6214	3.9712
	5η	-0.9392	-0.2625	531.3308	2.6653
60mm	1η	-446.6638	9.7212	93.2664	3.1167
	2η	-5.8577	15.0511	4825.8439	1.5191
	3η	-0.0411	-0.1450	494.8567	8.1283
	4η	-1.4247	5.9343	2700.4680	11.9493
	5η	0.0529	-0.1341	605.6727	2.3458
70mm	1η	120.9511	-1.3174	1288.4287	1.2527
	2η	-1.4062	6.9517	868.2016	4.7495
	3η	0.3460	-0.1470	494.3150	1.8606
	4η	2.9879	8.0857	1600.2570	6.7863
	5η	0.0874	-0.0968	605.9058	2.6001
80mm	1η	129.1665	-7.0404	372.5268	2.5168
	2η	1.5721	5.3502	1373.2178	5.3643
	3η	-9.0445	0.8207	401.1986	2.6308
	4η	-1.8139	7.8113	2255.3312	3.5523
	5η	-0.1211	-0.1018	538.1606	1.8078
90mm	1η	96.6021	1.7963	1935.0824	3.6139
	2η	1.8200	7.4561	2621.7166	6.9300
	3η	0.1198	-0.1285	318.4126	12.5745
	4η	2.1897	13.0315	5130.9309	13.5724
	5η	-0.0404	-0.1126	450.0761	0.3119
100mm	1η	-24.6156	0.6000	358.6453	5.2505
	2η	-2.5358	9.3842	4623.7370	3.0922
	3η	0.1579	-0.1413	183.5530	3.5256
	4η	3.4001	8.8696	5210.7547	12.1746
	5η	0.4384	-0.1169	349.0476	13.3926

Zircon Ball Probe 2mm
Επιτύχης διακρίβωση ακρίβειας 0.0187mm

Πλακίδιο	Σημεία Τομής Επιφανειών	x (mm)	y (mm)	z (mm)	σx (mm)	σy (mm)	σz (mm)
10 mm	A	567.2497	-28.1775	-227.1538	0.2621	0.1041	0.0843
	B	570.8322	-27.9739	-227.3259	1.0135	0.1434	0.0851
	Γ	569.8328	-28.6744	-195.8483	0.7863	0.0736	0.3501
	Δ	570.6149	-28.6313	-195.8200	0.1075	0.0568	0.3674
20 mm	A	648.9712	-28.7986	-218.1052	0.4456	0.0354	0.2638
	B	628.8245	-28.7134	-216.7989	0.2357	0.0302	0.2542
	Γ	631.1461	-28.6873	-178.8536	0.5106	0.0267	0.8454
	Δ	651.0903	-28.7698	-178.1486	0.4320	0.0252	1.0670
30 mm	A	743.0994	-28.0982	-229.5047	0.4361	0.0842	0.6248
	B	711.9594	-29.0647	-229.1335	0.0416	0.0761	0.5283
	Γ	712.7093	-29.9526	-190.3097	0.4335	0.4961	21.6334
	Δ	743.5987	-29.0850	-186.7960	0.9331	1.3893	60.0927
40 mm	A	836.0744	-26.4956	-231.4802	0.2408	0.0987	0.0559
	B	794.4823	-28.1963	-230.2909	0.0819	0.0915	0.1901
	Γ	795.8009	-29.2450	-193.4770	0.1452	0.0409	0.1699
	Δ	837.4828	-27.5397	-194.6983	0.1650	0.0492	0.1693
50 mm	A	609.4637	-37.6243	-88.3159	2.8633	6.1556	1.0295
	B	558.6878	-36.5781	-86.6566	0.2345	5.8462	0.8341
	Γ	560.4442	-25.5892	-50.3875	0.3167	2.0576	0.5114
	Δ	615.1755	-27.1990	-53.7646	0.9239	1.2997	0.4952
60 mm	A	812.6275	-26.2825	-98.5997	7.8905	0.2916	1.7275
	B	749.6542	-26.5792	-93.8412	0.9633	0.2878	2.2668
	Γ	752.5705	-28.8489	-58.3552	0.1167	0.0797	0.0988
	Δ	814.5676	-28.5987	-62.3848	1.8532	0.0672	0.3084
70 mm	A	1082.9643	-27.7400	-232.2134	0.1524	0.0964	0.8189
	B	1011.0019	-27.9150	-229.7530	0.5139	0.1080	1.4548
	Γ	1012.3294	-29.4956	-196.8592	0.1776	0.0741	1.4591
	Δ	1083.3576	-28.2165	-222.2976	0.3749	0.4395	9.0401
80 mm	A	1271.6161	-41.0440	-239.4963	10.9029	6.6964	0.9220
	B	-480.9286	-165.1464	-159.1881	31888.5860	2264.9039	1461.4760
	Γ	1279.0613	-28.4561	-215.0660	335.9797	16.7059	30.0022
	Δ	1295.3721	-27.6477	-216.5254	1.3976	0.7446	1.2848
90 mm	A	1108.3701	-51.0102	-77.9262	0.3020	1.3924	0.5445
	B	1033.5534	-60.9153	-73.4517	1.4446	2.0416	0.6017
	Γ	1021.4947	-38.6072	-49.6590	1.1600	2.1367	2.6031
	Δ	1108.4153	-50.3167	-77.2654	0.4351	4.7408	4.9182
100 mm	A	1301.7306	-28.2288	-90.4051	0.1302	0.1736	0.4846
	B	1181.6619	-28.4936	-85.9418	3.2084	0.2177	0.8463

	Γ	1195.3106	-29.6049	-43.7204	1.5044	0.0370	1.0701
	Δ	1303.8061	-29.2555	-51.8764	0.2382	0.1078	3.7114

Zircon Ball Probe 2mm Τοποθέτηση αισθητήρα χωρίς διακρίβωση (ακρίβεια 0.029mm)							
Πλακίδιο	Σημεία Τομής Επιφανειών	x (mm)	y (mm)	z (mm)	σx (mm)	σy (mm)	σz (mm)
10 mm	A	-706.9695	111.5212	119.1837	19.2819	1.0893	13.7225
	B	-650.3706	114.8435	156.8250	2.2486	0.1755	0.2938
	Γ	-644.0838	115.0311	156.9252	0.3122	0.1355	0.2596
	Δ	-837.7412	93.4437	-201.6518	283.1357	30.8381	524.2131
20 mm	A	-621.9622	117.9634	172.5296	56.9913	6.0606	3.3494
	B	-849.5845	94.0988	166.3686	93.9279	9.8993	16.6587
	Γ	-672.2034	114.3689	133.0071	6.4715	0.7231	1.2000
	Δ	-592.1851	121.0466	174.2201	20.0876	1.8754	1.1077
30 mm	A	-491.4374	120.7871	220.6605	0.9770	0.0942	1.1618
	B	-440.8409	116.9737	142.8587	1.7517	0.1318	1.5137
	Γ	-560.0522	118.1796	177.3687	1.6255	0.0564	0.6953
	Δ	-560.2355	116.3664	142.7024	0.6323	0.1807	3.3384
40 mm	A	-644.6814	113.0184	-139.4603	1.4581	0.2153	1.3252
	B	-652.2127	104.4154	-236.3198	2.0962	0.1347	0.7205
	Γ	-696.4245	105.2703	-229.3985	0.6566	0.0743	0.6519
	Δ	-458.6569	126.4762	22.5368	17.7791	1.5148	16.0991
50 mm	A	-473.7391	124.3019	92.1177	0.4583	0.7611	1.3038
	B	-283.0739	209.4105	-543.3537	95.1616	42.4205	315.4148
	Γ	-558.6398	116.5321	17.2618	1.4280	0.7070	5.0719
	Δ	-584.4840	104.3265	111.3481	0.3122	0.1429	0.4820
60 mm	A	-683.2871	184.3521	-320.0574	1.1359	1.2509	0.8291
	B	-588.4689	120.2459	-416.6673	1.2872	0.6880	1.2868
	Γ	-660.5133	106.7556	-347.3331	0.3654	0.0757	0.3568
	Δ	-722.3236	124.2230	-285.9470	0.5418	0.6127	0.3963
70 mm	A	-502.9601	107.6451	-29.7097	0.9433	0.0828	0.3463
	B	-515.1307	100.3828	-112.0141	0.9574	0.0926	0.2228
	Γ	-638.8868	98.6964	-118.4958	1.1671	0.0707	0.2329
	Δ	-625.3229	105.7410	-38.8422	0.2312	0.0250	0.0625
80 mm	A	-394.6094	116.2051	-128.9701	8.4685	0.3022	0.2035
	B	-552.0084	114.1176	-232.5887	5.3667	0.3373	4.7466
	Γ	-562.6088	114.7636	-223.1427	1.4760	0.0538	1.0455
	Δ	-423.6441	116.7207	-129.2782	7.3112	0.2139	0.1914
90 mm	A	-368.4198	110.3569	-276.7336	0.0705	0.1036	0.7154
	B	-367.1298	111.7656	-303.4344	0.0967	0.1418	1.3790

	Γ	-1415.2847	149.1267	-686.4352	3013.6631	109.4663	1133.8550
	Δ	-317.3046	109.2723	-271.8293	7.2913	0.2436	1.4689
100 mm	A	-299.5013	104.4373	-480.5196	1.5559	0.9435	1.7633
	B	650.2585	-48.8985	-828.3366	104.2055	24.3901	31.5087
	Γ	-275.8289	216.9200	-613.2112	13.2873	4.2533	4.8640
	Δ	1349.8447	1220.7289	-2558.8565	2247.0119	1515.2098	2824.5766

Zircon Ball Probe 3mm Αποτυχημένη διακρίβωση 0.029mm							
Πλακίδιο	Σημεία Τομής Επιφανειών	x (mm)	y (mm)	z (mm)	σx (mm)	σy (mm)	σz (mm)
10 mm	A	553.9888	200.6394	-467.5680	0.0316	0.1134	0.1456
	B	554.9442	200.2395	-452.1506	0.1275	0.1499	0.3934
	Γ	588.1682	200.1471	-450.0432	0.2396	0.1201	1.0999
	Δ	586.6062	200.6522	-469.5018	1.3644	0.0716	0.5221
20 mm	A	726.2041	200.7346	-340.6821	2.2094	0.0838	0.6622
	B	726.7352	200.6770	-318.0100	1.7877	0.0556	1.3609
	Γ	764.0966	200.6654	-319.1587	0.0946	0.0359	1.4924
	Δ	763.4851	200.7280	-343.7955	0.2810	0.0458	7.9234
30 mm	A	518.2269	201.5830	-322.0458	0.2170	0.0794	0.0900
	B	519.0476	201.4450	-289.1145	0.1384	0.1232	0.0364
	Γ	556.8279	200.9523	-289.8126	0.0836	0.0432	0.2455
	Δ	556.0173	201.0907	-322.8453	0.2739	0.0600	0.4354
40 mm	A	734.5957	201.3094	-231.1065	0.9301	0.7241	0.2032
	B	738.4460	202.3686	-193.5479	1.3988	0.4971	0.2448
	Γ	781.5285	201.6231	-197.9715	0.1539	0.2101	0.1923
	Δ	777.5709	200.5598	-235.7195	0.2776	0.0871	1.3368
50 mm	A	763.3842	200.8363	-395.0602	0.6543	0.1953	0.2788
	B	767.3195	201.2619	-357.0645	1.2165	0.1322	0.9911
	Γ	820.7022	200.2720	-361.4220	0.5099	0.0945	1.7906
	Δ	818.1659	199.8037	-400.8190	1.8617	0.0645	0.2483
60 mm	A	762.3967	201.6327	-76.0233	0.8318	0.1966	1.2297
	B	760.0805	201.9406	-38.3547	1.5714	0.1327	4.3848
	Γ	822.8845	201.6659	-34.4546	0.4598	0.0806	4.4179
	Δ	825.2001	201.3596	-71.9214	0.1530	0.0563	0.5357
70 mm	A	540.9969	201.7237	66.9807	0.0472	0.2328	0.9815
	B	541.7276	202.4039	105.0817	0.4073	0.1475	0.4064
	Γ	614.7330	202.6827	104.6878	0.1788	0.0839	1.3261
	Δ	614.0013	201.9841	65.5562	0.3140	0.0515	0.6379
80 mm	A	763.8056	201.4456	125.8587	1.1186	0.4547	14.1788
	B	765.2378	202.0247	156.2846	1.5046	0.3078	0.1174

	Γ	848.2265	201.5438	152.2525	0.4545	0.0853	0.6132
	Δ	847.1250	201.1074	129.3228	1.3912	0.5321	27.8259
90 mm	A	539.7609	201.2705	228.6650	0.0897	0.0602	0.1302
	B	542.2861	201.2666	266.3667	0.3103	0.0492	0.2161
	Γ	635.2534	201.2060	260.0157	0.8718	0.0247	0.7721
	Δ	633.3701	201.2095	221.9617	3.7182	0.0288	0.5905
100 mm	A	811.5486	202.4407	307.7736	0.2683	1.7140	0.5303
	B	812.4536	201.9450	345.7862	0.1888	1.1306	0.1009
	Γ	915.5213	200.7657	342.8316	0.6972	0.3209	0.3551
	Δ	914.5021	201.2609	304.9644	0.4431	0.3624	1.5500

Zircon Ball Probe 4mm Αποτυχημένη διακρίβωση 0.029mm							
Πλακίδιο	Σημεία Τομής Επιφανειών	x (mm)	y (mm)	z (mm)	σx (mm)	σy (mm)	σz (mm)
10 mm	A	915.3719	214.2773	-460.8593	4.1912	0.6739	31.1270
	B	917.8706	213.8913	-479.9455	0.4369	0.0583	0.0939
	Γ	957.9577	213.9043	-480.0294	0.1288	0.0701	0.0766
	Δ	958.6145	214.0794	-471.4049	1.4403	0.4148	18.7654
20 mm	A	911.7751	213.5901	-409.8548	7.5869	0.3230	3.9668
	B	921.5009	213.1136	-384.2909	2.2253	0.1705	1.5715
	Γ	960.9912	213.6469	-391.5380	0.6258	0.0505	1.1863
	Δ	960.6833	214.1140	-412.6860	0.3547	0.0767	1.5149
30 mm	A	925.4316	215.0686	-336.8248	0.3039	0.0548	0.4696
	B	918.1196	214.4250	-302.2592	0.2473	0.0696	0.1741
	Γ	961.1336	214.5281	-297.4661	0.4940	0.0280	0.5348
	Δ	964.7380	215.1320	-330.7045	0.6018	0.0487	0.5826
40 mm	A	922.6361	214.8411	-208.1164	0.2985	0.1850	0.4878
	B	927.4884	214.9736	-162.7520	0.6515	0.4097	0.6008
	Γ	964.5748	215.2943	-167.4550	0.2118	0.0898	0.1015
	Δ	958.5238	215.1555	-210.5729	0.1551	0.1211	0.4435
50 mm	A	932.3012	215.9143	-96.5376	0.4116	0.0887	0.7966
	B	934.0186	216.6046	-42.3617	0.4072	0.1015	0.7445
	Γ	973.6672	215.9959	-43.3453	0.4505	0.0201	0.3597
	Δ	972.5016	215.2967	-97.5651	0.3801	0.0250	0.5862
60 mm	A	931.2094	217.3715	31.2794	0.7024	0.1196	0.4187
	B	928.4217	217.1602	96.3446	0.6483	0.1039	0.1612
	Γ	971.9996	215.9773	96.6432	0.2501	0.0171	0.1407
	Δ	976.2180	216.1461	32.4194	0.2124	0.0178	0.2076
70 mm	A	934.3182	217.9345	155.1016	0.1823	0.2549	0.2978
	B	941.4782	218.2069	234.0061	0.2788	0.2588	0.6827

	Γ	979.0472	216.0689	228.8383	0.1263	0.0256	0.1613
	Δ	973.6176	215.7300	153.4454	0.1624	0.0197	0.1506
80 mm	A	947.1462	215.6873	326.4308	0.3112	0.9296	0.3609
	B	951.6112	216.7219	411.8235	0.3080	0.8599	0.2999
	Γ	991.6595	216.6211	409.1956	0.4281	0.2463	0.1850
	Δ	986.4031	215.5876	323.7846	0.3802	0.1575	0.2598
90 mm	A	722.1658	175.7376	-188.4400	312.0474	185.2362	83.4084
	B	691.5892	162.3214	-100.4289	402.0026	243.0745	31.9144
	Γ	824.6185	219.3664	-110.3029	0.3517	4.1360	0.2329
	Δ	820.6573	218.0146	-207.6736	0.3447	4.5340	2.0601
100 mm	A	801.6034	217.8538	89.5777	0.5091	0.4449	0.2563
	B	812.9978	218.7786	189.0683	0.9892	0.5391	1.4856
	Γ	838.3699	216.9852	188.1896	1.6629	0.1999	1.0996
	Δ	831.7657	215.7138	88.0800	1.3555	0.1116	0.1758

Zircon Ball Probe 5mm Αποτυχημένη διακρίβωση 0.029mm							
Πλακίδιο	Σημεία Τομής Επιφανειών	x (mm)	y (mm)	z (mm)	σx (mm)	σy (mm)	σz (mm)
10 mm	A	918.9325	200.1369	-495.1576	0.1819	0.1222	0.1293
	B	918.9285	200.3067	-480.1580	0.1665	0.1124	0.2257
	Γ	954.0358	200.3491	-480.1739	0.1577	0.0914	0.1716
	Δ	954.1023	200.1797	-495.1422	0.2139	0.0822	0.0924
20 mm	A	922.9911	200.9889	-413.4679	0.1612	0.1572	0.3654
	B	923.8978	200.3298	-388.4138	0.1419	0.1022	0.0775
	Γ	963.8371	200.5404	-389.8521	0.3135	0.0777	0.1669
	Δ	962.8125	201.1981	-414.8750	0.1987	0.0571	0.2863
30 mm	A	924.4503	201.2634	-336.6279	0.3127	0.0571	0.8644
	B	920.1789	200.8179	-302.2281	0.1288	0.0512	0.1737
	Γ	963.4369	200.8252	-296.8483	6.2109	0.0292	0.8105
	Δ	969.5813	201.2700	-330.9427	9.4455	0.0353	1.3876
40 mm	A	920.0970	201.4143	-207.8996	2.1313	0.1526	0.6072
	B	924.8139	201.9388	-163.2521	0.4410	0.0798	0.2915
	Γ	964.8915	201.9664	-167.3203	1.4593	0.0828	0.1766
	Δ	960.4840	201.4409	-212.1045	1.8628	0.0468	0.2301
50 mm	A	930.2288	202.2052	-96.4370	0.5319	0.2209	0.5066
	B	931.9685	202.6079	-41.6670	0.1657	0.1987	0.3531
	Γ	972.2477	202.3785	-42.9773	9.4739	0.0726	0.4242
	Δ	970.0695	201.9782	-97.7463	1.4493	0.0526	0.9139
60 mm	A	934.0650	203.2548	32.9995	0.2899	0.3418	3.8370
	B	932.3895	202.3423	95.8305	0.1542	0.1986	0.6995

	Γ	971.5498	201.9504	97.2658	0.7860	0.1561	0.1436
	Δ	973.6209	202.8634	34.1494	0.3911	0.0841	4.3385
70 mm	A	933.4576	205.5324	158.7231	0.9239	0.7952	1.4570
	B	940.8498	206.0095	233.3725	0.9919	0.8404	0.2693
	Γ	979.5463	202.7480	229.4466	0.1706	0.0755	0.4475
	Δ	971.9681	202.2882	154.9338	0.1995	0.0387	0.9640
80 mm	A	947.1978	202.3032	326.9831	2.7463	2.1007	0.4244
	B	952.4522	203.2933	411.8297	1.5886	2.4409	0.9098
	Γ	992.2952	203.1657	409.3080	3.1626	0.6815	0.3189
	Δ	986.7633	202.1754	324.3873	2.3398	1.0002	0.5818
90 mm	A	780.0375	201.6689	-202.4369	0.2622	0.4885	0.1200
	B	784.5767	202.8061	-107.5470	0.3221	0.5404	0.7226
	Γ	824.1200	202.5756	-109.3227	0.3003	0.1196	0.5648
	Δ	819.6444	201.4377	-204.2399	0.2327	0.1715	0.1458
100 mm	A	795.8974	203.2043	90.4540	0.2376	0.3573	0.0933
	B	804.0749	204.1399	195.0462	0.1841	0.4662	0.1312
	Γ	843.6840	202.9672	191.9166	0.3320	0.0243	0.2082
	Δ	835.5802	202.0289	87.2781	0.2838	0.1050	0.1801

Zircon Ball Probe 6mm
Επιτύχης διακρίβωση ακρίβειας 0.0063mm

Πλακίδιο	Σημεία Τομής Επιφανειών	x (mm)	y (mm)	z (mm)	σx (mm)	σy (mm)	σz (mm)
10 mm	A	-588.0634	-24.1338	185.9402	0.397774	0.039909	0.069242
	B	-590.1324	-24.9762	170.4967	0.27197	0.027103	0.31731
	Γ	-625.8600	-25.6620	175.1626	0.196776	0.02519	0.107965
	Δ	-623.6823	-24.7895	191.1374	0.198574	0.015822	0.103166
20 mm	A	-589.8273	-25.4217	125.4612	0.308031	0.058291	2.401409
	B	-591.5048	-25.7162	112.2023	0.054472	0.022804	0.119003
	Γ	-631.7965	-25.6279	117.0921	0.037442	0.009065	0.114822
	Δ	-629.1261	-25.1723	137.6041	0.126932	0.022296	0.943219
30 mm	A	-474.6201	-24.3980	191.7955	0.136061	0.040032	0.073129
	B	-478.7152	-24.3697	157.6963	0.210366	0.031261	0.817504
	Γ	-518.3200	-25.4255	162.3525	0.152453	0.01672	0.801484
	Δ	-514.8569	-25.4707	196.5476	0.05766	0.012441	0.034525
40 mm	A	-606.1480	-26.8950	-202.9309	0.039474	0.027322	0.038879
	B	-616.8169	-26.5984	-242.3632	0.062181	0.018958	0.063715
	Γ	-661.2561	-26.1381	-230.4139	0.050907	0.011605	0.059736
	Δ	-650.5975	-26.4344	-190.9885	0.036554	0.010648	0.080381
50 mm	A	-462.4325	-24.7922	68.9094	0.626828	0.030465	0.101328
	B	-467.5969	-24.3528	28.0293	0.217455	0.024804	0.196408

	Γ	-522.7847	-23.9454	35.4135	0.101325	0.012254	0.129928
	Δ	-517.2950	-24.3867	76.1977	0.028615	0.010347	0.082172
60 mm	A	-558.6826	-25.6826	-301.7343	0.225497	0.105438	1.871741
	B	-563.9031	-26.7947	-347.9314	0.068225	0.068995	0.079724
	Γ	-629.7376	-27.3269	-340.6257	0.02871	0.032403	0.070952
	Δ	-624.6702	-26.2857	-297.4604	0.097062	0.024425	0.744787
70 mm	A	-516.0685	-25.9976	-67.3200	0.162713	0.014221	0.050613
	B	-520.7763	-25.9352	-108.2798	0.145596	0.011992	0.601942
	Γ	-596.5515	-26.0002	-99.8051	0.096543	0.004019	0.161358
	Δ	-591.9874	-26.0629	-58.7485	0.248888	0.006723	0.033315
80 mm	A	-462.5489	-26.4193	-175.9514	21.25976	0.157625	2.974687
	B	-469.1658	-27.9808	-216.2746	23.11696	0.173054	3.272894
	Γ	-544.1651	-27.4203	-205.6569	2.768548	0.021004	0.393662
	Δ	-539.0105	-25.8530	-165.2567	4.279258	0.032082	0.59927
90 mm	A	-370.5849	-27.9543	-307.4614	0.038726	0.030513	0.056227
	B	-375.3619	-26.5148	-347.9067	0.083399	0.021452	0.021667
	Γ	-470.6039	-26.5163	-336.5302	0.141711	0.012958	0.067179
	Δ	-465.9094	-27.9507	-296.2235	0.070006	0.008594	0.014633
100 mm	A	-268.7751	-25.4865	-490.2640	0.032457	0.028624	0.074287
	B	-275.4153	-26.4207	-529.2167	0.046807	0.039136	0.052733
	Γ	-379.5541	-27.3184	-509.9946	0.040752	0.010452	0.156083
	Δ	-373.2461	-26.4290	-472.8984	0.059923	0.015557	0.065597

Zircon Ball Probe 6mm
Αποτυχημένη διακρίβωση 0.029mm

Πλακίδιο	Σημεία Τομής Επιφανειών	x (mm)	y (mm)	z (mm)	σx (mm)	σy (mm)	σz (mm)
10 mm	A	-582.2004	-24.0160	185.2786	22.5297	0.6109	3.0460
	B	-586.4334	-24.9489	170.0758	14.1434	0.3715	1.9797
	Γ	-625.9280	-25.8857	175.0356	0.1307	0.1873	0.1085
	Δ	-623.7049	-24.9830	190.8222	0.1777	0.0961	0.3492
20 mm	A	-593.0314	-23.9951	142.8800	10.0041	0.9910	1.7279
	B	-593.9953	-24.9122	113.4392	4.4427	0.8561	1.1123
	Γ	-634.3114	-26.2311	119.3557	1.9636	0.3502	1.1798
	Δ	-632.6750	-25.3916	145.3655	3.5593	0.3152	0.6929
30 mm	A	-474.6180	-24.6581	192.5407	2.6689	0.1884	21.9984
	B	-479.0062	-24.5823	156.1365	0.3250	0.1333	1.0358
	Γ	-521.2253	-25.5924	160.9882	9.2568	0.2370	1.0814
	Δ	-516.1320	-25.6522	197.5010	6.2017	0.1416	22.5523
40 mm	A	-606.1352	-27.0142	-203.1416	0.4091	0.1488	1.3608
	B	-616.8241	-26.6854	-242.8468	0.5101	0.1257	1.3519

	Γ	-661.3108	-26.2958	-230.9571	0.5452	0.0613	1.7619
	Δ	-650.5327	-26.6264	-191.0964	0.5401	0.0544	0.5173
50 mm	A	-461.6958	-24.8709	68.8574	0.1273	0.1042	0.4095
	B	-467.4043	-24.4955	27.6966	0.2564	0.0865	1.3426
	Γ	-522.9312	-24.1403	33.8132	0.5276	0.0560	3.9451
	Δ	-517.2876	-24.5256	76.2457	0.3315	0.0398	0.1609
60 mm	A	-559.6573	-26.2865	-307.8056	0.5973	0.3421	0.5545
	B	-564.0496	-27.1353	-347.6146	0.0727	0.2269	0.1144
	Γ	-634.5713	-27.3618	-339.5476	17.0897	0.1596	1.9592
	Δ	-631.2521	-26.5157	-299.5841	22.0893	0.0965	2.5911
70 mm	A	-516.5470	-26.4435	-68.0166	0.1622	0.3633	0.4978
	B	-521.0072	-26.3019	-107.4288	0.1585	0.2118	0.6018
	Γ	-596.4553	-25.9967	-99.2787	0.1569	0.1265	0.5315
	Δ	-591.9985	-26.1403	-59.2138	0.7506	0.0704	0.1486
80 mm	A	-452.1102	-26.4112	-177.8399	0.2170	0.1155	0.8758
	B	-457.8832	-27.9420	-218.1348	0.3448	0.0988	0.2544
	Γ	-543.2942	-27.6008	-205.9862	1.6171	0.0425	0.5419
	Δ	-537.5240	-26.0652	-165.5633	1.7317	0.0450	0.3144
90 mm	A	-370.3651	-28.2818	-307.6328	2.4616	0.3535	0.4721
	B	-375.0165	-26.7725	-348.1360	5.1406	0.2600	0.6443
	Γ	-470.5914	-26.5760	-336.7367	0.0608	0.1080	0.3759
	Δ	-465.8785	-28.0840	-296.2766	0.3677	0.0545	0.2264
100 mm	A	-267.5092	-25.2938	-483.8941	0.8379	0.1588	1.5871
	B	-275.0364	-26.8883	-530.2978	3.0859	0.1768	0.5641
	Γ	-380.1500	-27.7563	-513.2628	0.1444	0.0479	0.7555
	Δ	-372.5509	-26.2177	-468.6254	0.3890	0.0749	0.9815

Point Probe Επιτύχης διακρίβωση ακρίβειας 0.0076mm							
Πλακίδιο	Σημεία Τομής Επιφανειών	x (mm)	y (mm)	z (mm)	σx (mm)	σy (mm)	σz (mm)
10 mm	A	323.3313	-31.3768	-554.0045	47.9411	1.0061	5.8721
	B	382.6085	-30.1366	-561.2410	0.0735	0.0107	0.0709
	Γ	378.2926	-29.7651	-591.3051	0.1321	0.0328	0.0755
	Δ	344.7628	-30.4728	-586.7998	23.3243	0.4940	3.1436
20 mm	A	483.0261	-29.1943	-586.8153	0.4202	0.0248	0.7459
	B	503.3729	-29.1062	-590.4137	0.2206	0.0958	3.6709
	Γ	501.6331	-29.9704	-624.1225	0.0426	0.0102	0.1857
	Δ	481.1908	-30.0863	-621.5946	0.3332	0.0147	0.0792
30 mm	A	617.3433	-17.2009	-457.0998	0.4455	0.0532	0.1918
	B	647.4915	-15.7909	-459.6002	0.0508	0.0288	0.1793

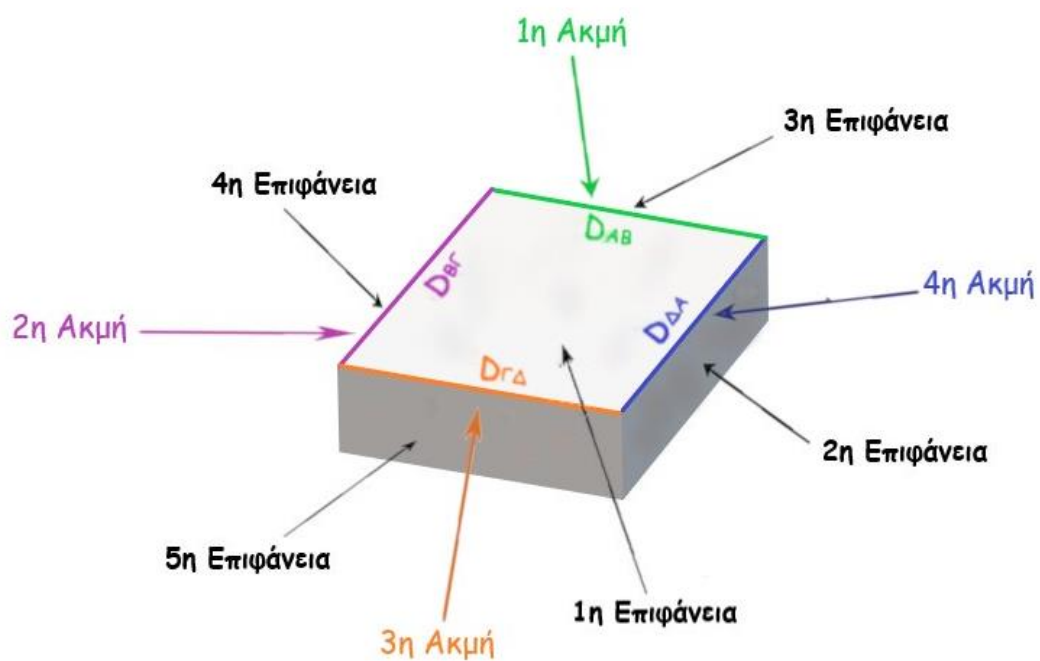
	Γ	643.6186	-16.1848	-494.7761	0.0518	0.0249	0.1232
	Δ	614.3687	-17.5548	-492.6856	0.3316	0.0196	0.2025
40 mm	A	657.3032	-16.6899	-451.0366	0.1078	0.0312	0.1655
	B	650.1483	-17.3922	-491.7711	0.0470	0.0173	0.0731
	Γ	615.5590	-16.4820	-485.5234	0.4837	0.0180	0.1658
	Δ	622.6286	-15.7982	-445.7516	0.8345	0.0242	0.1356
50 mm	A	611.9098	-16.9918	-446.3556	0.8176	0.0270	0.0883
	B	660.5472	-16.3114	-451.3822	0.3350	0.0331	0.1914
	Γ	656.9845	-16.5092	-485.6542	0.0282	0.0107	0.1916
	Δ	608.0061	-17.1965	-481.1079	0.5996	0.0179	0.0806
60 mm	A	607.5078	-17.1820	-446.6611	0.1132	0.0306	0.0248
	B	667.3789	-17.1453	-451.7264	0.0175	0.0332	0.1138
	Γ	664.6736	-16.8696	-486.2177	0.2776	0.0114	0.0466
	Δ	604.6848	-16.9021	-481.6747	0.0834	0.0142	0.0363
70 mm	A	603.2639	-18.6003	-439.9882	0.1213	0.4229	0.1752
	B	673.1456	-18.9505	-445.8469	0.0244	0.4197	0.1862
	Γ	670.0714	-16.3923	-483.3797	0.0900	0.1745	0.4102
	Δ	600.0029	-15.9483	-478.8842	0.1797	0.1957	0.6190
80 mm	A	598.4274	-15.6255	-448.0182	0.1353	0.3735	0.0720
	B	678.0623	-16.0969	-453.6992	0.0898	0.3384	0.0741
	Γ	675.5736	-17.7707	-488.0009	0.0320	0.1240	0.1292
	Δ	595.6515	-17.3115	-482.5827	0.2776	0.0918	0.0555
90 mm	A	593.8365	-10.3023	-442.9141	0.4259	0.1564	0.2243
	B	683.1774	-10.9218	-448.5296	0.2171	0.1704	0.2430
	Γ	680.7752	-19.1368	-483.6683	0.1692	0.0353	0.0128
	Δ	591.0068	-18.6161	-478.4623	0.1677	0.0574	0.1189
100 mm	A	588.6061	-14.8952	-443.2652	0.0825	0.2449	0.2299
	B	688.5772	-15.3125	-453.0286	0.1705	0.1830	0.1183
	Γ	684.7702	-18.0371	-487.4294	0.0978	0.1153	0.0347
	Δ	585.0878	-17.6182	-477.6592	0.0209	0.0538	0.0474

Point Probe Τοποθέτηση αισθητήρα χωρίς διακρίβωση (ακρίβεια 0.029mm)							
Πλακίδιο	Σημεία Τομής Επιφανειών	x (mm)	y (mm)	z (mm)	σ _x (mm)	σ _y (mm)	σ _z (mm)
10 mm	A	-577.6110	-1.4490	199.0108	2.0691	1.4823	0.5538
	B	-572.8032	-3.8991	153.1665	2.8963	1.3698	7.0700
	Γ	-671.6805	-17.9096	39.4779	153.0239	55.8264	736.5917
	Δ	-637.2127	-5.3277	205.4007	0.3521	0.5944	0.1504
20 mm	A	-575.1204	-8.3555	138.7348	0.2195	0.0761	0.9022
	B	-582.6918	-10.6366	104.3658	1.5529	0.1226	0.3486

	Г	-633.5190	-9.8174	109.2579	11.8412	0.2014	1.1490
	Δ	-629.9546	-7.2914	146.6447	10.6485	0.2261	1.9432
30 mm	A	-462.5063	-12.8554	206.6317	1.1926	1.2812	0.3845
	B	-469.2692	-12.0483	143.2391	8.4625	1.3847	0.7583
30 mm	Г	-537.0992	-10.2961	149.2171	0.4699	0.1943	0.3661
	Δ	-525.6374	-11.2817	217.9646	0.6903	0.1973	0.8053
40 mm	A	-591.6346	-9.7336	-218.1153	0.9383	0.0715	3.7751
	B	-602.1222	-9.6114	-261.3961	0.7366	0.0851	2.5770
40 mm	Г	-681.0206	-9.8273	-241.1051	1.0076	0.0384	1.7833
	Δ	-666.1284	-9.9626	-191.3222	1.3263	0.0347	2.4081
50 mm	A	-422.9536	-116.7676	149.1752	9.7957	21.1116	8.0037
	B	-447.2839	-55.5150	16.8322	2.5290	7.5616	1.1326
50 mm	Г	-522.9302	3.1045	20.8918	3.8364	3.0538	0.7485
	Δ	-524.0849	-14.0256	77.7714	1.8436	1.8620	1.2734
60 mm	A	-536.8941	-7.2565	-287.7840	0.7915	0.0878	2.3444
	B	-548.1408	-8.9589	-364.8456	1.0125	0.0752	0.3540
60 mm	Г	-651.7846	-8.8100	-347.3445	0.8029	0.0544	1.8048
	Δ	-642.9350	-7.3413	-280.7716	2.2365	0.0530	1.0737
70 mm	A	-499.8562	-7.1126	-54.4253	1.9554	0.2048	0.6454
	B	-510.9742	-7.8636	-131.8111	4.3155	0.1756	0.8179
70 mm	Г	-616.8374	-6.8498	-119.0931	0.4414	0.0922	0.6267
	Δ	-609.1049	-6.0358	-38.4921	0.3787	0.0758	0.8020
80 mm	A	-341.1897	-10.5870	-189.7832	39.7973	0.8951	9.0423
	B	-322.5301	-14.0519	-250.7004	51.0696	0.9487	6.7235
80 mm	Г	-561.7582	-10.4853	-219.2462	1.8513	0.1177	0.6213
	Δ	-554.3693	-6.8250	-151.0437	1.4312	0.1369	1.8115
90 mm	A	-355.8462	-10.7457	-301.2721	0.4642	0.2112	3.0859
	B	-364.0842	-9.4903	-364.1989	0.3064	0.1360	0.2780
90 mm	Г	-490.3660	-8.3597	-354.6984	1.6553	0.0987	0.2644
	Δ	-482.5182	-9.7458	-284.5271	2.3167	0.0644	1.8630
100 mm	A	-248.6200	-6.9404	-468.0974	1.1525	0.1141	1.4083
	B	-260.4204	-9.5252	-554.4719	0.5829	0.1937	0.3135
100 mm	Г	-405.1807	-14.9575	-536.0685	0.6411	0.1138	0.3642
	Δ	-396.5981	-12.6049	-453.8592	1.2455	0.1522	0.3134

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ

ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ ΤΟΜΗΣ ΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ D_{AB} & $D_{ΓΔ}$



Zircon Ball Probe 3mm Αποτυχημένη διακρίβωση 0.029mm			
Πλακίδιο	Αποστάσεις (mm)		Σφάλματα Αποστάσεων σD (mm)
10mm	D _{AB}	12.45218	0.420499282
	D _{ΓΔ}	16.52783	1.218738156
20mm	D _{AB}	19.67842	1.506323161
	D _{ΓΔ}	21.64447	8.068347078
30mm	D _{AB}	29.94184	0.096995337
	D _{ΓΔ}	30.04293	0.499971226
40mm	D _{AB}	40.31538	1.414681901
	D _{ΓΔ}	40.22858	0.966359402
50mm	D _{AB}	50.56942	1.315619746
	D _{ΓΔ}	52.09332	1.984278342
60mm	D _{AB}	59.92554	1.594838852
	D _{ΓΔ}	59.93788	0.843489811
70mm	D _{AB}	70.00696	0.444240608
	D _{ΓΔ}	70.01881	0.316781865
80mm	D _{AB}	80.08801	1.573317782
	D _{ΓΔ}	80.39204	1.578327356
90mm	D _{AB}	90.18409	0.926767469
	D _{ΓΔ}	90.84893	3.728742199
100mm	D _{AB}	100.1168	0.722593061
	D _{ΓΔ}	99.99853	0.516705086

Zircon Ball Probe 4mm Αποτυχημένη διακρίβωση 0.029mm			
Πλακίδιο	Αποστάσεις (mm)		Σφάλματα Αποστάσεων σD (mm)
10mm	D _{AB}	15.2530	31.3969
	D _{ΓΔ}	4.6513	18.8225
20mm	D _{AB}	23.3556	4.8827
	D _{ΓΔ}	17.1554	1.9237
30mm	D _{AB}	31.3364	0.5095
	D _{ΓΔ}	29.4387	0.7885

40mm	D _{AB}	41.6234	0.7698
	D _{ΓΔ}	39.5407	0.4606
50mm	D _{AB}	50.2074	1.0908
	D _{ΓΔ}	50.2368	0.6878
60mm	D _{AB}	61.1252	0.4489
	D _{ΓΔ}	60.3624	0.2516
70mm	D _{AB}	75.2291	0.7505
	D _{ΓΔ}	71.5889	0.2205
80mm	D _{AB}	81.5156	0.4242
	D _{ΓΔ}	81.5787	0.3136
90mm	D _{AB}	90.1323	11.2795
	D _{ΓΔ}	93.4606	1.9332
100mm	D _{AB}	96.1453	1.5179
	D _{ΓΔ}	96.3353	1.1136

Zircon Ball Probe 5mm Αποτυχημένη διακρίβωση 0.029mm			
Πλακίδιο	Αποστάσεις (mm)		Σφάλματα Αποστάσεων σD (mm)
10mm	D _{AB}	10.0006	0.2600
	D _{ΓΔ}	9.9694	0.1948
20mm	D _{AB}	20.0792	0.3738
	D _{ΓΔ}	20.0525	0.3315
30mm	D _{AB}	29.6669	0.8876
	D _{ΓΔ}	29.6466	0.7845
40mm	D _{AB}	39.8990	0.6380
	D _{ΓΔ}	40.0037	0.1576
50mm	D _{AB}	49.7991	0.6175
	D _{ΓΔ}	49.8138	0.9620
60mm	D _{AB}	57.8600	3.9027
	D _{ΓΔ}	58.1569	4.3439
70mm	D _{AB}	70.0160	1.4825
	D _{ΓΔ}	69.8986	1.0680
80mm	D _{AB}	80.0149	0.9795
	D _{ΓΔ}	80.1065	0.6138
90mm	D _{AB}	90.0052	0.7331

	D _{ΓΔ}	90.0295	0.5837
100mm	D _{AB}	99.9156	0.1597
	D _{ΓΔ}	99.9561	0.2740

Zircon Ball Probe 6mm Επιτύχης διακρίβωση ακρίβειας 0.0063mm				Zircon Ball Probe 6mm Αποτυχημένη διακρίβωση 0.029mm			
Πλακίδιο	Αποστάσεις (mm)		Σφάλματα Αποστάσεων σD (mm)	Πλακίδιο	Αποστάσεις (mm)		Σφάλματα Αποστάσεων σD (mm)
10mm	D _{AB}	9.6042	0.3210	10mm	D _{AB}	9.8086	1.4882
	D _{ΓΔ}	10.1461	0.1458		D _{ΓΔ}	9.9679	0.3687
20mm	D _{AB}	7.3678	2.4240	20mm	D _{AB}	23.4709	1.7426
	D _{ΓΔ}	14.6902	0.9583		D _{ΓΔ}	20.0748	1.3136
30mm	D _{AB}	28.3442	0.8262	30mm	D _{AB}	30.6677	22.1798
	D _{ΓΔ}	28.3700	0.8062		D _{ΓΔ}	30.8664	22.7603
40mm	D _{AB}	40.0200	0.0798	40mm	D _{AB}	40.0498	0.4618
	D _{ΓΔ}	40.0281	0.0499		D _{ΓΔ}	40.0041	0.5741
50mm	D _{AB}	49.6811	0.2401	50mm	D _{AB}	49.8640	0.1928
	D _{ΓΔ}	49.3460	0.6329		D _{ΓΔ}	50.0817	0.3531
60mm	D _{AB}	60.2408	0.0735	60mm	D _{AB}	64.9820	17.2026
	D _{ΓΔ}	60.1286	0.1027		D _{ΓΔ}	66.0657	22.2441
70mm	D _{AB}	70.2477	0.1604	70mm	D _{AB}	69.8876	0.2052
	D _{ΓΔ}	70.4012	0.2992		D _{ΓΔ}	69.9639	0.7710
80mm	D _{AB}	69.7492	23.5294	80mm	D _{AB}	80.2714	1.6682
	D _{ΓΔ}	71.2080	21.9110		D _{ΓΔ}	80.2923	1.7584
90mm	D _{AB}	89.9191	0.1654	90mm	D _{AB}	90.2525	5.1772
	D _{ΓΔ}	89.9847	0.0803		D _{ΓΔ}	90.1864	2.5059
100mm	D _{AB}	99.9018	0.0564	100mm	D _{AB}	100.4886	3.1267
	D _{ΓΔ}	99.9086	0.0670		D _{ΓΔ}	100.1496	0.8807

Point Probe Επιτύχης διακρίβωση ακρίβειας 0.0076mm		
Πλακίδιο	Αποστάσεις (mm)	Σφάλματα Αποστάσεων σD (mm)

10mm	D _{AB}	59.7302	48.3453
	D _{ΓΔ}	33.8385	23.5580
20mm	D _{AB}	20.6627	0.6995
	D _{ΓΔ}	20.5984	0.3385
30mm	D _{AB}	30.2846	0.4497
	D _{ΓΔ}	29.3565	0.3361
40mm	D _{AB}	41.3641	0.1829
	D _{ΓΔ}	40.4010	0.1526
50mm	D _{AB}	48.9012	0.8881
	D _{ΓΔ}	49.1938	0.6026
60mm	D _{AB}	60.0851	0.1146
	D _{ΓΔ}	60.1606	0.2906
70mm	D _{AB}	70.1277	0.1224
	D _{ΓΔ}	70.2140	0.1917
80mm	D _{AB}	79.8387	0.1627
	D _{ΓΔ}	80.1068	0.2799
90mm	D _{AB}	89.5193	0.4782
	D _{ΓΔ}	89.9207	0.2385
100mm	D _{AB}	100.4477	0.1886
	D _{ΓΔ}	100.1609	0.1003

Zircon Ball Probe 2mm Επιτύχης διακρίβωση ακρίβειας 0.0187mm			
Πλακίδιο	Αποστάσεις (mm)		Σφάλματα Αποστάσεων σD (mm)
10mm	D _{AB}	1.5925	1.0606
	D _{ΓΔ}	-1.2162	0.7996
20mm	D _{AB}	18.1891	0.5048
	D _{ΓΔ}	17.9569	0.6650
30mm	D _{AB}	29.1573	0.4382
	D _{ΓΔ}	29.1006	4.6789
40mm	D _{AB}	39.6439	0.2546
	D _{ΓΔ}	39.7346	0.2199
50mm	D _{AB}	48.8138	2.9754
	D _{ΓΔ}	52.8590	1.0112
60mm	D _{AB}	61.1535	7.9693

	$D_{\Gamma\Delta}$	60.1284	1.8607
70mm	D_{AB}	70.0047	0.5322
	$D_{\Gamma\Delta}$	73.4569	2.2925
80mm	D_{AB}	1756.7677	32212.2107
	$D_{\Gamma\Delta}$	14.3959	338.2027
90mm	D_{AB}	73.6020	1.4241
	$D_{\Gamma\Delta}$	89.9479	0.5309
100mm	D_{AB}	118.1519	3.2029
	$D_{\Gamma\Delta}$	106.8023	1.5136