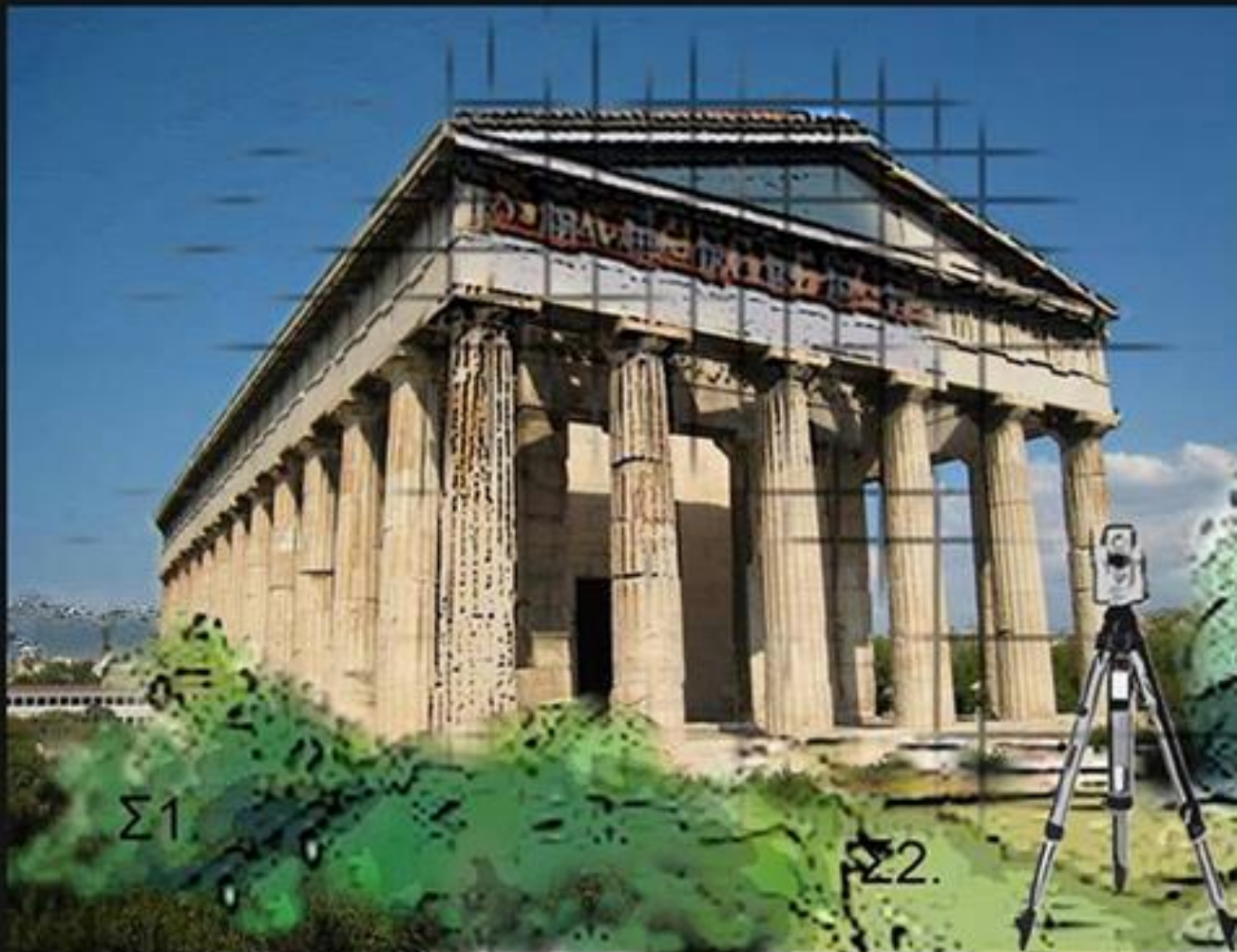




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΝΙΚΗΣ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ

ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΤΟΥ ΘΟΛΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΗΚΟΥ ΤΟΥ ΝΑΟΥ ΤΟΥ ΗΦΑΙΣΤΟΥ ΜΕ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:
ΑΝΑΣΤΑΣΗΣ ΠΑΠΑΡΓΥΡΙΟΥ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ:
Ε. Χ. ΤΕΛΕΙΩΝΗ, ΛΕΚΤΟΡΑΣ Ε.Μ.Π.
Γ. ΓΕΩΡΓΟΠΟΥΛΟΣ, ΛΕΚΤΟΡΑΣ Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ- ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2016

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όσους συνετέλεσαν στην πραγματοποίησή της.

Κατ' αρχήν, θέλω να ευχαριστήσω τους Λέκτορες της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Ελισάβετ Τελειώνη και Γεώργιο Γεωργόπουλο για την επιστημονική και πρακτική τους υποστήριξη. Η κατανόηση και η καθοδήγησή τους, καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας, ήταν καθοριστική για την ολοκλήρωσή της.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Α' Εφορεία Προϊστορικών και Κλασσικών Αρχαιοτήτων (Α' ΕΠΚΑ), για τη συγκατάθεσή της στην πραγματοποίηση της εργασίας και την διάθεση του αναβατορίου κατά τη διάρκεια των εργασιών στο Ναό του Ηφαίστου.

Ευχαριστώ τη Μαριάννα Παγκαλή για την ηθική και πρακτική της βοήθεια στην ολοκλήρωση της εργασίας.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένεια μου για τη διαρκή τους υποστήριξη και βοήθεια στην εκπόνηση της εργασίας αλλά και κατά τη διάρκεια των ετών φοίτησης.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	6
ABSTRACT.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	8
1.2 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	10
2.1 Η ΑΡΧΑΙΑ ΑΓΟΡΑ	10
2.1.1 Γενικά.....	10
2.1.2 Γεωγραφική θέση.....	10
2.1.3 Ιστορικά	12
2.2 ΝΑΟΙ ΣΤΗΝ ΑΡΧΑΙΑ ΕΛΛΑΔΑ	13
2.2.1 Γενικά.....	13
2.2.2 Ο Αρχιτεκτονικός ρυθμός του ναού.....	13
2.2.3 Μέρη του ναού.....	14
2.2.4 Τυπολογία	15
2.2.5 Αρχιτεκτονικά μέλη των ναών	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Ο ΝΑΟΣ ΤΟΥ ΗΦΑΙΣΤΟΥ	19
3.1 ΓΕΝΙΚΑ	19
3.2 ΙΣΤΟΡΙΚΑ	19
3.3 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΑ-ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ	21
3.4 ΔΙΑΚΟΣΜΗΣΗ.....	22
3.5 ΥΣΤΕΡΗ ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΟΥ ΝΑΟΥ-ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ.....	23
3.6 ΦΘΟΡΕΣ ΤΟΥ ΝΑΟΥ	24
3.6.1 Ειδικές περιπτώσεις φθορών.....	24
3.6.2 Μηχανικές φθορές.....	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ	26
4.1 ΓΕΝΙΚΑ	26
4.2 ΟΡΓΑΝΟ	26
4.3 ΙΔΡΥΣΗ ΚΛΕΙΣΤΗΣ ΟΔΕΥΣΗΣ.....	28
4.3.1 Μέτρηση στοιχείων όδευσης	29
4.4 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΚΑΝΑΒΟΠΛΑΚΑ	31
4.4.1 Γενικά.....	31
4.4.2 Τοποσταθερά.....	31
4.4.3 Σαρώσεις	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ	36
5.1 ΓΕΝΙΚΑ	36

5.2 ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΣΤΑ ΤΟΠΟΣΤΑΘΕΡΑ ΣΗΜΕΙΑ	36
5.3 ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΣΤΑ ΝΕΦΗ ΣΗΜΕΙΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΩΝ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΤΕΤΡΑΓΩΝΩΝ.....	37
5.4 ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΣΤΑ ΝΕΦΗ ΣΗΜΕΙΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ GEOMAGIC.....	38
5.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΒΕΛΤΙΣΤΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΜΕ ΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	41
5.5.1 Βέλτιστα Επίπεδα από MET	41
5.5.2 Βέλτιστα Επίπεδα από λογισμικό GEOMAGIC	43
5.6 ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΒΕΛΤΙΣΤΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ (ΑΠΟ MET).....	43
5.6.1 Συγκρίσεις Βάσει της Πυκνότητας Σάρωσης	44
5.6.2 Συγκρίσεις βάσει της διεύθυνσης του σκοπευτικού άξονα.....	44
5.6.3 Συγκρίσεις επιπέδων από MET και GEOMAGIC	45
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ ΤΗΣ ΚΑΝΑΒΟΠΛΑΚΑΣ..	47
6.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	47
6.2 ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ (ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ)	48
6.2.1 Μέσω MET	48
6.2.2 Μέσω λογισμικού GEOMAGIC	48
6.3 ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ.....	49
6.3.1 Σύγκριση βάσει της πυκνότητας σάρωσης	49
6.3.2 Σύγκριση βάσει της διεύθυνσης της σκόπευσης.....	50
6.4 ΤΟΜΕΣ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΜΕ ΤΟ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ.....	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΔΙΚΤΥΟ ΕΛΕΓΧΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΤΟΥ ΘΟΛΟΥ ΚΑΙ ΤΩΝ ΤΟΙΧΩΝ ΤΟΥ ΣΗΚΟΥ ΤΟΥ ΝΑΟΥ	53
7.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	53
7.2 ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	53
7.3 ΔΙΚΤΥΟ ΕΛΕΓΧΟΥ	54
7.4 ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ.....	55
7.5 ΜΕΤΡΗΣΗ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΚΟΡΥΦΩΝ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ	56
7.6 ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ - ΕΠΙΛΥΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ	57
7.7 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ	59
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΣΑΡΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΤΟΙΧΩΝ ΚΑΙ ΤΟΥ ΘΟΛΟΥ ΤΟΥ ΝΑΟΥ.....	61
8.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	61
8.2 ΣΑΡΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΤΟΙΧΩΝ ΤΟΥ ΣΗΚΟΥ-ΘΟΛΟΥ.....	61
8.3 ΙΔΡΥΣΗ -ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΗΜΕΙΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΤΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΑΙ ΣΤΟ ΘΟΛΟ	61
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΑΡΩΣΕΩΝ.....	64
9.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	64

9.2 ΣΤΡΟΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ	64
9.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ-ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΣΤΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΤΟΥ ΣΗΚΟΥ	66
9.3.1 Προσαρμογή επιπέδων στις επιφάνειες των τοίχων από τα στοιχεία των σαρώσεων	66
9.3.2 Προσαρμογή επιπέδων στις επιφάνειες των τοίχων από τα σημεία ελέγχου	68
9.4 ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΕΠΙΠΕΔΩΝ	70
9.5 ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΠΟΚΛΙΣΕΩΝ ΤΩΝ ΤΟΙΧΩΝ ΤΟΥ ΣΗΚΟΥ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟ	71
9.6 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΣΑΡΩΣΕΩΝ ΤΟΥ ΘΟΛΟΥ	73
9.7 ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΣΤΟ ΘΟΛΟ	74
9.7.1 Χάραξη ισοϋψών καμπυλών	74
9.7.2 Προσαρμογή κυλινδρικής επιφάνειας στο νέφος των σημείων	76
9.7.3 Προσαρμογή κυλινδρικών επιφανειών στις εγκάρσιες τομές του θόλου ...	78
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	83
10.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	83
10.1.1 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ	83
10.1.2 ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΤΟΙΧΩΝ ΤΟΥ ΝΑΟΥ	83
10.1.3 ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΘΟΛΟΥ ΤΟΥ ΝΑΟΥ	83
10.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	84
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	85
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	87

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο ναός του Ηφαίστου στο χώρο της Αρχαίας Αγοράς στο Θησείο. Ως ο καλύτερα διατηρημένος ναός της κλασσικής αρχαιότητας στην Ελλάδα, ο ναός του Ηφαίστου αποτελεί το πιο εντυπωσιακό μνημείο στο χώρο της αρχαίας αγοράς. Ιδιαίτερος διατηρημένη είναι η ανατολική πλευρά του ναού, σε αντίθεση με τη δυτική όπου παρατηρούνται καθιζήσεις της κρηπίδας, μετατοπίσεις των σπονδύλων των κίωνων της περίστασης και ρηγματώσεις του δυτικού τοίχου του σηκού. Στο θόλο, ο οποίος αποτελεί πρόσθετο στοιχείο του ναού, παρατηρούνται επίσης ρηγματώσεις ειδικά στην δυτική του πλευρά.

Αρχικά, παρουσιάζεται πείραμα που πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών (ΣΑΤΜ), και αφορά σαρώσεις μιας καναβόπλακας με χρήση εικονογεωδαιτικού σταθμού. Η πλάκα σαρώνεται από τρεις διαφορετικές κορυφές και με τρεις διαφορετικές πυκνότητες σάρωσης ανά κορυφή. Σκοπός είναι να μελετηθούν οι δυνατότητες του οργάνου και βάση των συμπερασμάτων, να σχεδιασθούν οι εργασίες στο ναό του Ηφαίστου.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι εργασίες πεδίου και ειδικότερα οι σαρώσεις των εσωτερικών επιφανειών του ναού. Χρησιμοποιήθηκε υπάρχον δίκτυο οριζοντίου ελέγχου της περιοχής, το οποίο ιδρύθηκε σε δύο προγενέστερες διπλωματικές εργασίες για το ναό και το οποίο πυκνώθηκε με δύο νέες κορυφές. Το νέο, δίκτυο επιλύθηκε με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων (MET).

Από τις δύο κορυφές εντός του ναού μετρήθηκαν επίσης σημεία ελέγχου στους τοίχους αλλά και στο θόλο, όπου αυτό ήταν εφικτό, με σκοπό την αξιολόγηση της ποιότητας των αποτελεσμάτων των σαρώσεων.

Η επεξεργασία των δεδομένων των σαρώσεων έγινε κατά κύριο μέρος με το λογισμικό GEOMAGIC, ένα πρόγραμμα διαχείρισης νεφών σημείων και δημιουργίας τρισδιάστατων ψηφιακών μοντέλων. Χρησιμοποιήθηκε και η MET, ώστε να συγκριθούν μεταξύ τους τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων και να εξακριβωθεί η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από το GEOMAGIC.

Όσον αφορά τους τοίχους του ναού, τα νέφη των σημείων προσομοιώνονται στο επίπεδο που προσαρμόζεται βέλτιστα σε αυτά και μελετώνται οι κλίσεις τους. Τέλος όσον αφορά το θόλο, γίνονται εγκάρσιες τομές στο νέφος των σημείων του, οι οποίες μελετώνται προσομοιώνοντας τα σημεία της κάθε τομής με κυλινδρική επιφάνεια και συγκρίνοντάς τη με αυτή που παρουσιάζεται στο ανατολικό άκρο του ναού, όπου δεν υπάρχουν παραμορφώσεις. Επιπλέον, χαράσσονται οι ισοϋψείς του θόλου χρησιμοποιώντας το λογισμικό Surfer.

Τα κύρια συμπεράσματα που προκύπτουν από την ανάλυση της μορφής του ναού είναι η βύθιση τμήματος του θόλου και οι σημαντικές οριζόντιες μετατοπίσεις που διαπιστώνονται στο βόρειο και νότιο τοίχο του σηκού με κατεύθυνση προς το εξωτερικό του ναού.

ABSTRACT

The subject of this diploma thesis is the estimation of the deformations of the temple of Hephaestus in the area of the Ancient Market in Theseion, Athens. As one of the best-preserved ancient temples, the Temple of Hephaestus is the most impressive monument in the area. The temple is highly well reserved is the eastern side, in contrast with the western side where subsidences of the crepis, displacements and rotations of the peristasis columns' drums and cracking of the west wall of the cella are observed. In the dome, which is an additional component of the temple, several cracks, indicating deformations, are also observed.

The purpose of the diploma thesis is to estimate the movements of the inner surfaces of the temple- the walls of the cella and the dome - using geodetic methodology.

Previously to the geodetic measurements in the temple's area, a series of scans of a metal plate took place, as an experiment, in the laboratory of the School of Rural and Surveying Engineering (SRSE) using an imaging total station. The plate was scanned from the points of a geodetic network, using three different scan densities. The purpose of this experiment was to estimate the capability of the instrument to be used for the temple scans and, according to the findings, to create the work plan in the temple of Hephaestus.

In order to scan the temple, a geodetic network was established on the crepis and in the interior of the cella.

From two network points inside the temple there were also conducted measurements of control points on the walls and the dome, where it was possible, in order to estimate the quality of the results of the scans.

The processing of the data acquired by the scans was conducted using Least Square Method as well as Geomagic software, through which the three-dimensional digital model of the scanned surfaces was obtained. The results of both methods were compared to each other.

In order to estimate the displacements of the cella walls, the corresponding point clouds were approximated with planes that best fit them and, following, their inclinations with respect to the corresponding vertical planes were estimated. The dome's displacements were estimated from the cross sections created to the points cloud. These cross sections were approximated with circular lines that best fit them from which the dome's displacements were estimated.

The main conclusions withdrawn from the above mentioned analysis is the downward movements of the upper part of the dome and the significant inclinations with respect to the plumb line of the northern and southern cella walls towards the outside of the temple.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η ανίχνευση των παραμορφώσεων των δομικών στοιχείων του σηκού (τοίχοι και θόλος) του ναού του Ηφαίστου (Θησείο) με γεωδαιτική μεθοδολογία.

Προγενέστερα των εργασιών στο ναό του Ηφαίστου πραγματοποιήθηκε πείραμα στο εργαστήριο της Σχολής Α.Τ.Μ. με σκοπό να διερευνηθούν οι δυνατότητες ανίχνευσης μετακινήσεων με τη διαδικασία της σάρωσης υπό διαφορετικές συνθήκες (πυκνότητα σάρωσης και έντονη κλίση του σκοπευτικού άξονα). Βάσει των συμπερασμάτων από τα αποτελέσματα του πειράματος σχεδιάστηκαν οι εργασίες σάρωσης στο ναό.

Για τις γεωδαιτικές μετρήσεις στο ναό, χρησιμοποιήθηκε ήδη υπάρχον δίκτυο οριζοντίου ελέγχου αποτελούμενο από 8 κορυφές στον περίβολό του, το οποίο επεκτάθηκε με δύο νέες κορυφές εντός του σηκού του ναού.

Οι εσωτερικές επιφάνειες του ναού σαρώθηκαν με εικονοσταθμό και προέκυψαν τα νέφη σημείων των επιφανειών. Από τα νέφη των σημείων δημιουργήθηκαν τα τρισδιάστατα ψηφιακά μοντέλα για τις επιφάνειες αυτές, που αποτέλεσαν τη βάση της μελέτης για την ανίχνευση των παραμορφώσεων. Οι επιφάνειες των τοίχων προσομοιώθηκαν με επίπεδα, ενώ η επιφάνεια του θόλου προσομοιώθηκε με κυλινδρικά τμήματα. Από την περαιτέρω επεξεργασία των προσομοιωμένων επιφανειών εκτιμήθηκαν οι παραμορφώσεις των τοίχων και του θόλου του σηκού.

1.2 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία απαρτίζεται από 10 κεφάλαια. Το περιεχόμενο των κεφαλαίων παρουσιάζεται παρακάτω:

- **Πρώτο κεφάλαιο:** Ανάλυση σκοπού της Διπλωματικής Εργασίας. Δομή της Διπλωματικής Εργασίας.
- **Δεύτερο κεφάλαιο:** Αναφορά γενικών, χωροταξικών και ιστορικών στοιχείων για την περιοχή της μελέτης (Αρχαία Αγορά). Σύντομη περιγραφή δομής τυπικού ναού στην αρχαιότητα.
- **Τρίτο κεφάλαιο:** Παρουσίαση του ναού του Ηφαίστου, ιστορικά, αρχιτεκτονικά και κατασκευαστικά. Αναφορά στις διαφοροποιήσεις που προέκυψαν από την μετατροπή του σε εκκλησία και στις φθορές του με την πάροδο των χρόνων.
- **Τέταρτο κεφάλαιο:** Περιγραφή εργασιών πειράματος που πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Ελέγχου της Σ.Α.Τ.Μ. με τη χρήση του εικονοσταθμού IS01 της Topcon. Στόχος η διερεύνηση της δυνατότητας ανίχνευσης και προσδιορισμού του μεγέθους των μετακινήσεων μιας επίπεδης επιφάνειας, με ακρίβεια και αξιοπιστία, μέσω της σάρωσης.
- **Πέμπτο κεφάλαιο:** Επεξεργασία δεδομένων των πειραματικών εργασιών. Προσαρμογή βέλτιστου επιπέδου στα σημεία του νέφους των σαρώσεων. Συγκρίσεις επιπέδων.
- **Έκτο κεφάλαιο:** Μετακίνηση της επίπεδης επιφάνειας. Επανάληψη των σαρώσεων. Επεξεργασία δεδομένων και συμπεράσματα σχετικά με την

ποιότητα των σαρώσεων, συναρτήσει της πυκνότητας σάρωσης και της κλίσης του σκοπευτικού άξονα.

- **Έβδομο κεφάλαιο:** Μέτρηση στοιχείων δικτύου ελέγχου στο ναό του Ηφαίστου. Προσδιορισμός συντεταγμένων και υψομέτρων των κορυφών του.
- **Όγδοο κεφάλαιο:** Σαρώσεις των τοίχων του σηκού και του θόλου. Μέτρηση σημείων ελέγχου.
- **Ένατο κεφάλαιο:** Στροφή του συστήματος αναφοράς και επεξεργασία των σαρώσεων. Δημιουργία ψηφιακών μοντέλων των επιφανειών του ναού και εύρεση των βέλτιστων μαθηματικών επιφανειών που προσαρμόζονται σε αυτές. Προσδιορισμός μετακινήσεων θόλου και τοίχων του σηκού.
- **Δέκατο κεφάλαιο:** Συμπεράσματα και προτάσεις.

Η εργασία συμπληρώνεται με βιβλιογραφία έντυπη και ηλεκτρονική καθώς και με το αντίστοιχο παράρτημα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1 Η ΑΡΧΑΙΑ ΑΓΟΡΑ

2.1.1 Γενικά

Η Αρχαία Αγορά ήταν ο πυρήνας της δημόσιας ζωής των Αθηναίων στους αρχαίους χρόνους. Η λέξη "Αγορά" προέρχεται από το ρήμα "αγείρω", δηλαδή, συναθροίζω και στη συνέχεια αγορεύω, που σημαίνει ομιλώ δημοσίως. Η ετυμολογία της λέξης είναι σχετική με τον πολύμορφο ρόλο της Αγοράς στην καθημερινή ζωή των αρχαίων Αθηναίων. Η Αγορά ήταν το κέντρο της διοίκησης, της δικαιοσύνης, ο κύριος χώρος για το εμπόριο και τις επιχειρήσεις αλλά και ένα προσφιλέ εντευκτήριο για τις κοινωνικές και πνευματικές σχέσεις τους. Στα προκλασικά χρόνια, η Αγορά ήταν επιπλέον τόπος συνάθροισης της Εκκλησίας του Δήμου, του λαού της Αθήνας, και συνάμα, σκηνή για θεατρικούς αγώνες και αθλητικές επιδείξεις. Σε όλες τις εποχές από τα αρχαϊκά χρόνια ως το 267 μ.Χ. που καταστρέφεται ολοσχερώς από τους Ερούλους, η Αγορά ήταν η καρδιά της πόλης (Εικόνα 1 &2). Η πορεία της και η ανάπτυξη της στο χρόνο επηρεάζεται ως επί το πλείστον από το δημοκρατικό πολίτευμα. Οι σχέσεις των παραπάνω εννοιών δρουν αλληλένδετα μέσα στην ιστορία. Η αγορά αναπτύσσει τη δημοκρατία αλλά και το αντίθετο.



Εικόνες 1 & 2: Αριστερά, ψηφιακή απεικόνιση της «Αρχ. Αγοράς» από το ΙΜΕ.

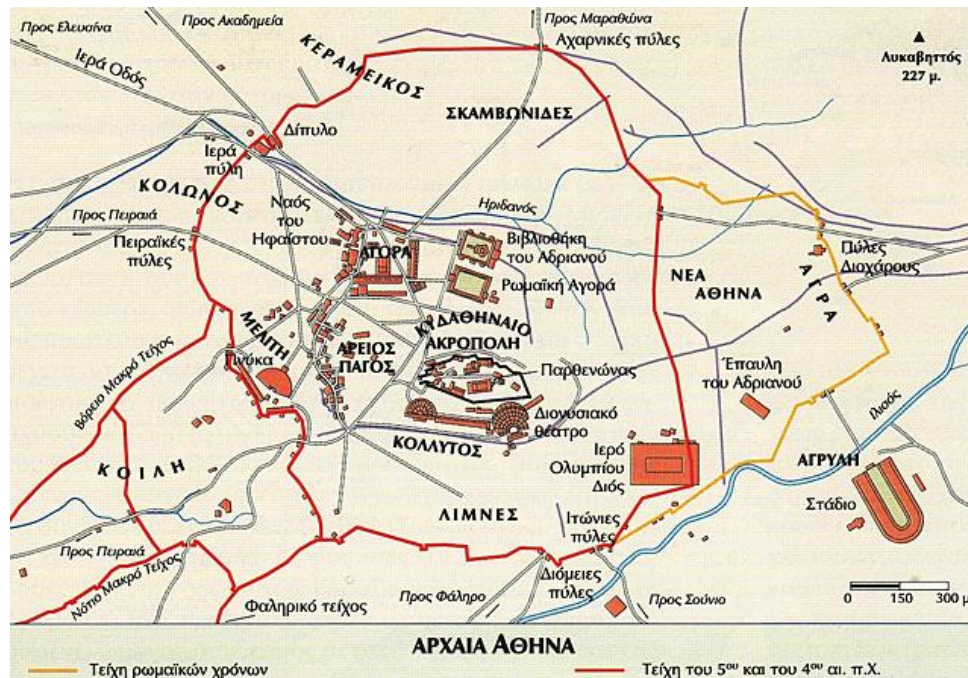
Δεξιά, η «Αγορά» όπως τη φαντάστηκε ο Ραφαήλ.

Picture 1 & 2: Digital picture of "Ancient Agora" (left).

The "Ancient Agora" through Rafael 's eyes (right).

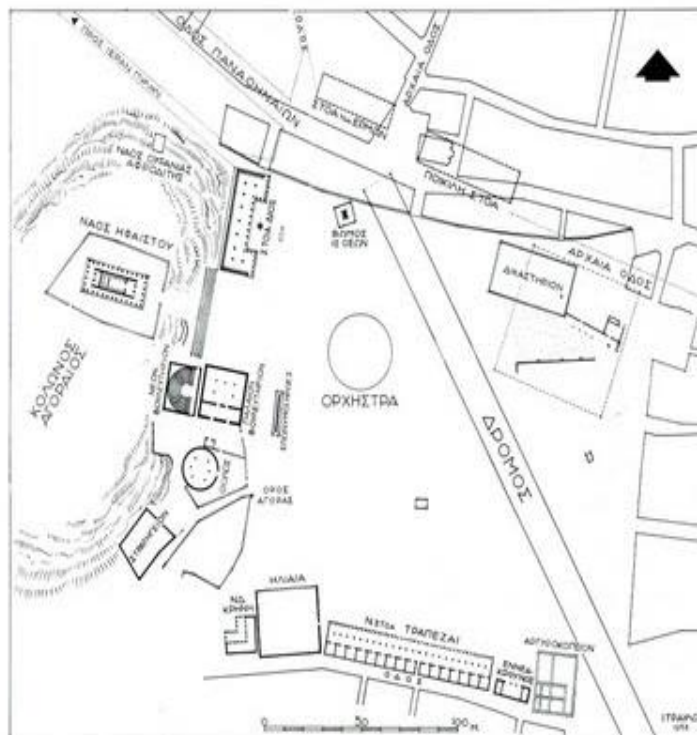
2.1.2 Γεωγραφική θέση

Η Αρχαία Αγορά καταλάμβανε μια αρκετά μεγάλη έκταση βορειοδυτικά της Ακρόπολης, που ορίζονταν νότια από τον Άρειο Πάγο, βόρεια από τον Ηριδανό ποταμό και δυτικά από το χαμηλό λόφο του Αγοραίου Κολωνού και ταυτίζονταν με το γεωγραφικό κέντρο της Αθήνας. Τα οικοδομήματα της οριοθετούσαν ένα χώρο που οι πλευρές του περικλείονταν από τρεις λόφους: της Ακροπόλεως, του Αρείου Πάγου και του Αγοραίου Κολωνού και τέμονταν από τον κύριο οδικό άξονα της πόλης (Εικ. 3).



Εικόνα 3: Χάρτης ευρύτερης περιοχής της αρχαίας αγοράς.
Picture 3: Map of the area of Athens Ancient Agora.

Διαχρονικά, ο εν λόγω χώρος διατρέχονταν από τρεις οδούς. Η πρώτη οδός διέτρεχε την πλατεία της Αγοράς από τα βορειοδυτικά και κατευθύνονταν προς την Ακρόπολη (κύριος άξονας). Η οδός αυτή αργότερα ταυτίστηκε με τη λεγόμενη Παναθηναϊκή Οδό, την οποία ακολουθούσε η εορταστική πομπή των Παναθηναίων. Στην Κλασική περίοδο αποκαλούνταν απλώς «δρόμος». Η δεύτερη οδός διακλαδώνονταν από την πρώτη στη βόρεια είσοδο της Αγοράς και ακολουθούσε πορεία προς τα νοτιοδυτικά, κατά μήκος της δυτικής οδού. Η τρίτη οδός έκλεινε την πλατεία προς νότο, συνδέοντας τις δύο προηγούμενες. Εντός αυτών δημιουργούνταν ένας ευρύς τριγωνικός χώρος (Εικ. 4).



Εικόνα 4: Η αγορά των Αθηνών κατά τους κλασσικούς χρόνους.

Picture 4: The Ancient Agora at Classical Era.

Η Αγορά είχε διαστάσεις περίπου 250x300 μέτρα. Κατά την κλασική περίοδο πήρε ένα κάπως κανονικό σχήμα (Εικ. 4), οργανωμένη γύρω από μια ορθογώνια πλακοστρωμένη πλατεία που πλαισιώνονταν από κτίρια. Στις τρεις πλευρές της υπήρχαν στοές με διπλή σειρά κιόνων, (κυρίως καταστήματα ή πρόχειρες κατασκευές εμπόρων, στην νότια και ανατολική πλευρά) σε άμεση επικοινωνία με περιμετρική ζώνη δημόσιων χώρων. Η νότια στοά εδραζόταν πάνω σε μια διπλή θολωτή υποδομή, που κατά το ένα τμήμα της ήταν ημιπόγεια (cryptoporticus). Στο κέντρο της ανατολικής πτέρυγας εντάχθηκε κτίριο θεαμάτων, καταλαμβάνοντας τη θέση προγενέστερου βουλευτηρίου. Σύμφωνα με μια επιγραφή λειτουργούσε ως ωδείο. Προς τα δυτικά υπήρχε μεγάλο συγκρότημα δημοσίων κτιρίων.

2.1.3 Ιστορικά

Τα πρώτα ίχνη οργανωμένης αποίκισης εντοπίζονται βορειοδυτικά του βράχου της Ακρόπολης και τοποθετούνται στην τελευταία περίοδο της εποχής του λίθου (περ. 3000π.Χ.). Η κατοίκηση συνεχίστηκε και την εποχή του χαλκού (2000 π.Χ.) όπου εγκαταστάθηκαν τα πρώτα ελληνικά φύλα. Από τον 13ο αιώνα π.Χ. οι Μυκηναίοι έγιναν κυρίαρχοι του χώρου και τον 16ο αιώνα π.Χ. κτίστηκε στην κορυφή του λόφου το ανάκτορο του ανώτατου άρχοντα. Σύμφωνα με ανασκαφές στην περιοχή φαίνεται να υπάρχει ένας μικρός οικισμός καθώς επίσης και ένα νεκροταφείο από την Ύστερη Ελλαδική ή Μυκηναϊκή (1550-1100 π.Χ.) και την Εποχή του Σιδήρου (1100-700π.Χ.).

Από τον 6ο αιώνα π.Χ. παρατηρείται έξαρση στην οικοδόμηση της περιοχής. Η Αγορά και τα οικοδομήματα της έπαιρναν δημόσιο χαρακτήρα και σχετίζονταν άμεσα με τις λειτουργίες της πόλης. Μέχρι και την αρχή του 5ου αιώνα η αγορά βρίσκονταν

σε μεγάλη ακμή. Χαρακτηριστικά κτίσματα της εποχής εκείνης: η Νοτιανατολική Κρήνη, ο Βωμός των 12 Θεών, το Παλαιό Βουλευτήριο, η Βασιλείος Στοά κτλ. Το 480-479 π.Χ. η Αγορά λεηλατήθηκε από τα περσικά στρατεύματα με αποτέλεσμα πολλά απ τα οικοδομήματα της να μετατραπούν σε ερείπια.

Από το 2ο τέταρτο του 5ου αι. π.Χ. η αγορά ανοικοδομείται και αναπτύσσεται μαζί με την έννοια της δημοκρατίας. Κτίρια εκείνης της περιόδου ήταν: η Ποικίλη Στοά, η Θόλος, το Νέο Βουλευτήριο, η Στοά του Διός Ελευθερίου, η Ν. Στοά Ι, το Νομισματοκοπείο, τα Δικαστήρια, ο Ναός του Ηφαίστου, ο Ναός του Απόλλωνα Πατρώου, η Νοτιοδυτική κρήνη κ.ά. Κατά τον 2ο αι π.Χ εποχή του Μ. Αλεξάνδρου ανεγείρονται τα εξής οικοδομήματα: η Μεσαία Στοά, η Νότιας Στοά ΙΙ και η Στοά του Αττάλου. Παρά της λεηλασίες και τις καταστροφές που δεν έλειψαν στα επόμενα χρόνια της Ρωμαϊκής κυριαρχίας, στο κεντρικό τετράγωνο της Αγοράς ανεγέρθηκαν το Ωδείο για να φιλοξενήσει τις μουσικές εκδηλώσεις, ο Νοτιοδυτικός και ο Νοτιανατολικός ναός για τη λατρεία της αυτοκρατορικής οικογένειας και μεταφέρθηκε αυτούσιος ο Ναός του Άρη από την Παλλήνη. Το 267 μ.Χ. η εισβολή των Ερούλων κατέστρεψε από τα θεμέλιά τους τα οικοδομήματα της Αγοράς.

Στην επόμενη φάση ανοικοδόμησης της πόλης η περιοχή βρέθηκε εκτός του νέου οχυρωματικού περιβόλου και αναπτύχθηκαν σ' αυτήν τα πολυτελή συγκροτήματα των αστικών επαύλεων του 5ου και 6ου αι. μ.Χ., στα επιθέσεις βαρβαρικών φύλων από το τέλος του 4ου έως τα τέλη του 6ου αι. μ.Χ., όπου έγινε η Σλαβική επιδρομή, οδήγησαν και πάλι στην καταστροφή των κτηρίων της Αγοράς με αποτέλεσμα την οριστική παρακμή του χώρου.

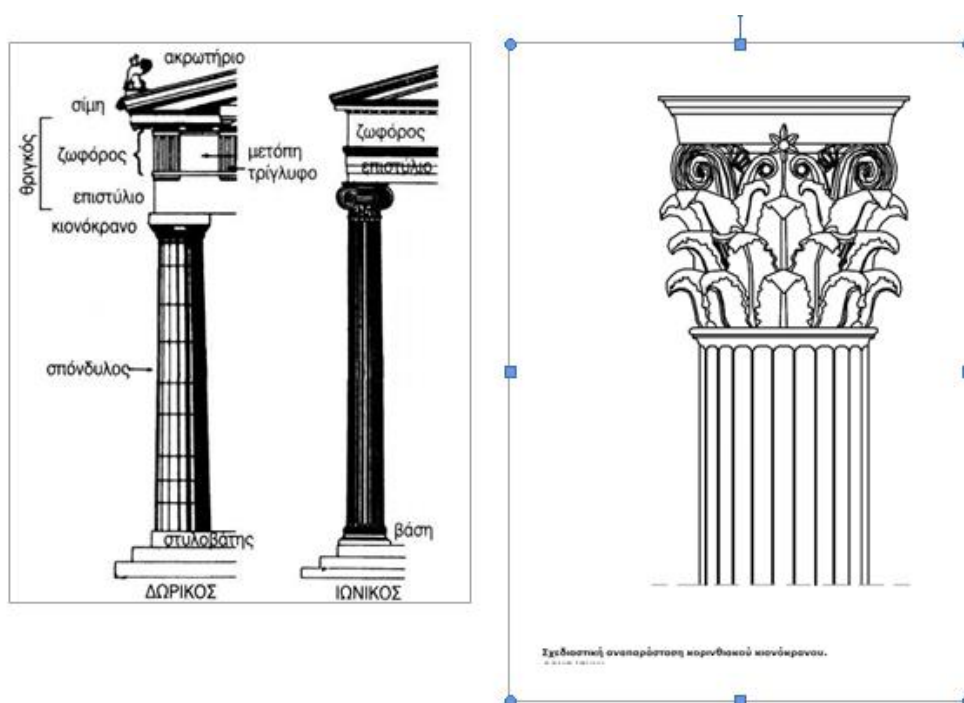
2.2 ΝΑΟΙ ΣΤΗΝ ΑΡΧΑΙΑ ΕΛΛΑΔΑ

2.2.1 Γενικά

Οι αρχαίοι ναοί ήταν τόποι λατρείας για τους πιστούς αλλά και σύμβολα ευημερίας της πόλης. Ήταν κτισμένοι με ιδιαίτερη φροντίδα και μεγαλοπρέπεια ώστε να αποπνέουν δέος στους πιστούς, χωρίς όμως να έχουν το στοιχείο της υπερβολής. Η αρμονία και το μέτρο χαρακτήριζαν τους ναούς, που ήταν κτισμένοι κατά κύριο λόγο, αρχικά από ξύλο και εν συνεχεία από μάρμαρο. Οι ναοί δεν είχαν παράθυρα και προορίζονταν για να φιλοξενούν το άγαλμα του θεού, ενώ η λατρεία γινόταν έξω από αυτόν, στο βωμό. Οι ναοί (εκτός από τους κίονες και το επιστύλιο) ήταν βαμμένοι με έντονα χρώματα (κόκκινο, κυανό κτλ) όπως και τα αγάλματα των θεών.

2.2.2 Ο Αρχιτεκτονικός ρυθμός του ναού

Οι βασικοί αρχιτεκτονικοί ρυθμοί που επηρέασαν και την αρχιτεκτονική τεχνοτροπία στην αρχαία Ελλάδα ήταν τρεις: Ο δωρικός, ο ιωνικός και ο κορινθιακός, μεταγενέστερος των άλλων δύο (Εικ.5).



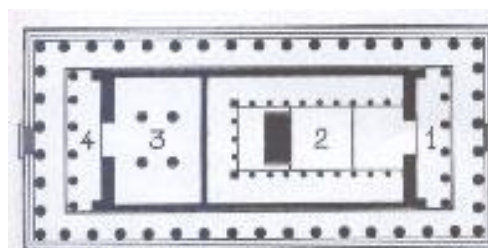
Εικόνα 5: Δωρικός, Ιωνικός και Κορινθιακός τύπος.

Picture 5: Doric, Ionian and Corinthian order of ancient temples.

Ο πρώτος χαρακτηρίζεται από αυστηρότητα και γεωμετρικότητα, βαριές αναλογίες και λιτότητα. Ο δεύτερος είναι πιο ανάλαφρος με ραδινές αναλογίες και πιο διακοσμητικός. Ο τρίτος τέλος μια πιο διακοσμητική παραλλαγή του ιωνικού, με επιρροές από τον φυτικό διάκοσμο της ανατολής. Ο ρυθμός που ακολουθεί ο εξεταζόμενος ναός του Ηφαίστου είναι ο δωρικός.

2.2.3 Μέρη του ναού

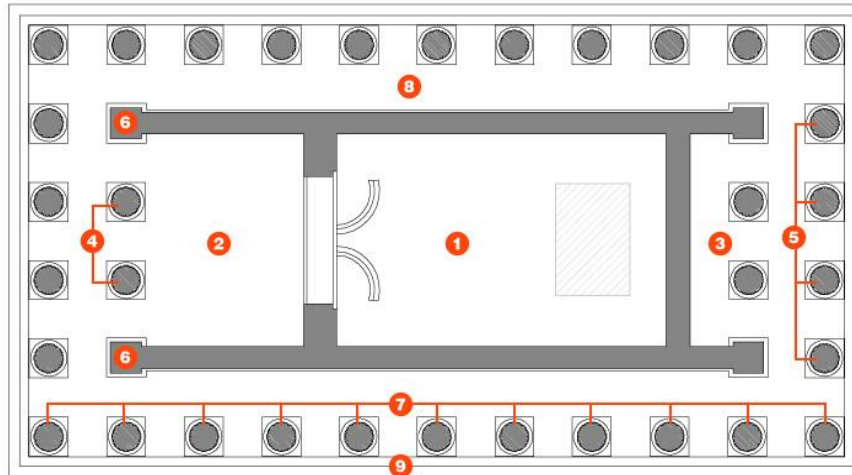
Οι αρχαίοι ναοί αποτελούνται κυρίως από τρία μέρη. Τον πρόναο, (τον μπροστινό χώρο του ναού) τον σηκό (το κυρίως μέρος του ναού), που στέγαζε το άγαλμα του θεού και μόνο οι ιερείς είχαν πρόσβαση σε αυτόν και τον οπισθόδομο (πίσω μέρος του ναού). Σε ορισμένους ναούς μετά τον οπισθόδομο υπάρχει και ένας τέταρτος χώρος ο οπισθόναος (Εικ.6).



Εικόνα 6: Μέρη του αρχαίου ναού (1.πρόναος, 2.σηκός, 3.οπισθόδομος, 4.οπισθόναος).

Picture 6: Parts of an ancient temple.

Οι ναοί μπορεί να έχουν κίονες μόνο στις στενές πλευρές τους είτε να περιβάλλονται από κίονες καθ' όλο το μήκος της περιμέτρου. Αν ο ναός έχει κίονες μόνο στη μια στενή πλευρά λέγεται πρόστυλος ενώ αν έχει και στις δυο αμφιπρόστυλος. Όταν ο ναός περιβάλλεται εξωτερικά από μία σειρά κίωνων (πετρό ή περιστύλιο) λέγεται περίπτερος (Εικ.7) ή δίπτερος αν σειρά είναι διπλή.



Κάτοψη τυπικού αρχαίου ελληνικού ναού.
 1. σηκό, 2. πρόναος, 3. οπισθόδομος, 4. κίονες «εν παραστάσι», 5. περιστύλιο, 6. παραστάδα,
 7. περίσταση ή πετρό, 8. στυλοβάτης, 9. κρηπίδα
 ©IME/FHW
 2 / 7

Εικόνα 7: Παράδειγμα περίπτερου ναού.

Picture 7: Example of peripteral temple.

2.2.4 Τυπολογία

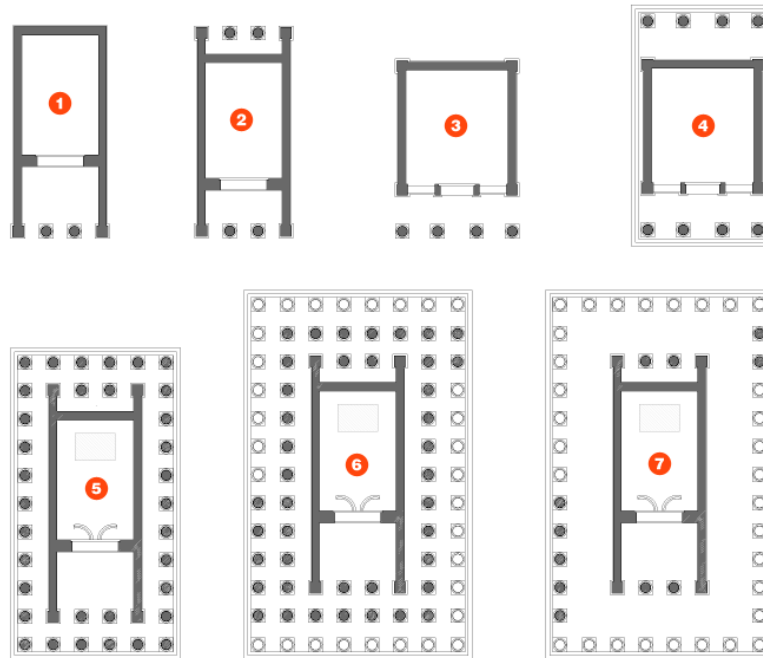
Οι ναοί ανάλογα με τον τρόπο που διαμορφώνεται η κάτοψη τους σε σχέση με τον σηκό εντάσσονται στις παρακάτω κατηγορίες (Εικ.8):

α. "Ναός εν παραστάσι" (1): Οι δύο μακροί τοίχοι του σηκού καθώς καταλήγουν στις στενές πλευρές σχηματίζουν δύο παραστάδες, ανάμεσα στις οποίες παρεμβάλλονται κίονες (από δύο ως έξι) και ναός διπλός εν παραστάσι. (2)

β. "Ναός πρόστυλος" (3): Όταν σε ένα εν παραστάσι ναό αντικατασταθούν οι δύο πλευρικές παραστάδες με κίονες. Δηλαδή, μπροστά από το σηκό έχουμε μια απλή σειρά κίωνων.

γ. "Ναός αμφιπρόστυλος" (4): Όταν και οι δύο στενές πλευρές είναι διαμορφωμένες όπως στον πρόστυλο.

δ. "Ναός εν παραστάσι περίπτερος": Όταν σε ένα ναό εν παραστάσι προστεθεί περιμετρικά κιονοστοιχία (πετρό).



Εικόνα 8: Κατηγοριοποίηση ναού με βάση τον αριθμό των κίωνων της πρόσοψης.

Picture 8: Categorization of the temples with respect to the number of the peristasis columns.

ε. "Ναός διπλός εν παραστάσι, περίπτερος"(5): Όταν σε ένα ναό του οποίου και οι δύο στενές πλευρές είναι διαμορφωμένες εν παραστάσι, προστεθεί περιμετρικά και κιονοστοιχία (πετρό).

στ. Ναός αμφιπρόστυλος περίπτερος: Όταν σε ένα αμφιπρόστυλο ναό προστεθεί περιμετρικά κιονοστοιχία (πετρό).

ζ. Ναός δίπτερος(6): Όταν υπάρχει περιμετρικά διπλή κιονοστοιχία.

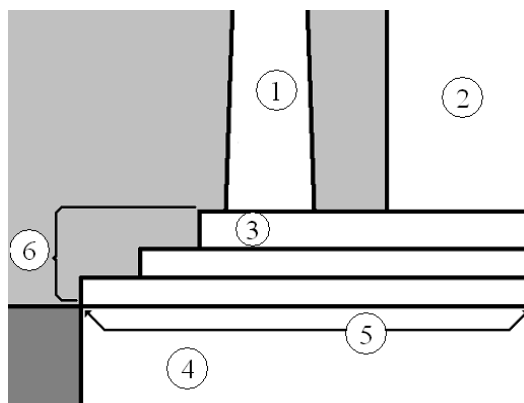
η. Ναός ψευδοπερίπτερος (7)

Ο ναός του Ηφαίστου ανήκει στους διπλούς εν παραστάσι περίπτερους ναούς.

Μια άλλη κατηγοριοποίηση των ναών είναι με βάση τον αριθμό των κίωνων τους στην κύρια όψη τους. Ο ναός του Ηφαίστου ανήκει στους εξάστηλους ναούς.

2.2.5 Αρχιτεκτονικά μέλη των ναών

Οι αρχαίοι ναοί είχαν ισχυρά θεμέλια όπου έφταναν ως το στερεό έδαφος ή τον φυσικό βράχο. Το υποστήριγμα αυτό λέγεται στερεοβάτης. Το ανώτερο τμήμα του στερεοβάτη λεγόταν ευθυντηρία και βρισκόταν σε στάθμη λίγο πάνω από το έδαφος. Πάνω σε αυτόν σχηματιζόταν η κρηπίδα- βάση του ναού. Στο ανώτερο μέρος της, στο στυλοβάτη στηρίζονταν οι κίονες του πετρού. Εντυπωσιακή τεχνική λεπτομέρεια του στυλοβάτη αποτελεί η "καμπυλότητα" που παρουσιάζει στο μέσον κάθε πλευράς (αυξάνει σε ύψος). Πολλές φορές μπροστά από την είσοδο του ναού διαμορφώνονταν βαθμίδες για την άνετη είσοδο προς την θύρα του ναού.



1. Κίονας
2. Τοίχος ναού
3. Στυλοβάτης ή τοιχοβάτης
4. Στερεοβάτης
5. Ευθυνητήρια
6. Κρηπίδωμα

Εικόνα 9: Αρχιτεκτονικά μέλη των ναών.

Picture 9: Architectural parts of the temples.

Οι κίονες των ναών αποτελούνταν από 3 μέρη: τη βάση, τον κορμό και το κιονόκρανο. Μπορεί να είναι μονολιθικοί ή να αποτελούνται από κομμάτια, τους σπονδύλους. Η επιφάνεια τους δεν είναι λεία αλλά αποτελούνται από αύλακες. Ο κίονας στον ιωνικό ρυθμό αποτελείται από αύλακες που καταλήγουν σε καμπύλες, ενώ στο δωρικό ρυθμό οι αύλακες καταλήγουν σε ακμές.

Χαρακτηριστικό των κίωνων είναι η “ένταση”, δηλαδή η ελαφριά καμπύλωση που παρατηρείται στον κίονα. Στην κλασική περίοδο η μέγιστη τιμή της έντασης διαπιστώνεται στα 2/5 του ύψους του κίονα. Η ένταση δεν ήταν σε καμιά περίπτωση μεγαλύτερη από τη διάμετρο της βάσης του κίονα. Χαρακτηριστικό επίσης των κίωνων είναι η “μείωση”, δηλαδή ο κίονας γίνεται λεπτότερος καθώς αυξάνει το ύψος. Η διάμετρος του κίονα στην κορυφή είναι μικρότερη της διαμέτρου του κίονα στη βάση. Στο τέλος του κίονα, στο σημείο που ενώνεται με το κιονόκρανο υπάρχουν οι δακτύλιοι εγκοπής, τρεις ή τέσσερις. Δακτυλίους παρατηρούμε στα αρχαϊκά χρόνια (Ναός Αφαίας στην Αίγινα). Στα κλασικά έχουμε μόνο ένα, ενώ στα ελληνοιστικά χρόνια καταργείται. Σύμφωνα με το συνηθέστερο τυπικό, ο αριθμός των κίωνων στη μακριά πλευρά είναι διπλάσιος συν ένα των κίωνων της στενής πλευράς. $(2a+1)$. Αν για παράδειγμα ένας ναός έχει 6 κίονες στη στενή, τότε στη μακριά θα έχει $6 \times 2 + 1 = 13$. Σημαντικό στοιχείο των κίωνων είναι και η “κλίση” προς το σηκό, δηλαδή οι κίονες δεν ήταν κατακόρυφοι. Οι τέσσερις γωνιακοί είχαν κλίση προς τη διαγώνιο. Αυτό σημαίνει ότι ο ναός δε σχημάτιζε ένα ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο αλλά μια διάταξη πυραμιδοειδή. Η ένταση, η μείωση και η κλίση του κίονα αποτελούν τις εκλεπτύνσεις του.

Ο κίονας καταλήγει στο κιονόκρανο. Στο δωρικό ρυθμό αποτελείται από τον εχίνο και τον άβακα, ενώ στον ιωνικό από τις έλικες και τον άβακα. Το κιονόκρανο του δωρικού είναι πιο “βαρύ” ενώ του ιωνικού περισσότερο εξεζητημένο.

-Το επιστύλιο είναι ένα παραλληλόγραμμο κομμάτι μαρμάρου που συνδέει τους

κίονες και ονομάζεται έτσι επειδή βρίσκεται "επί των στύλων". Στα μικρότερα μνημεία το επιστύλιο μπορεί να είναι ολόσωμο, δηλαδή να αποτελείται από ένα συμπαγές κομμάτι μαρμάρου. Σε μεγαλύτερα μνημεία αποτελούνταν από δυο στοιχεία ή ακόμη και τρία, όπως στον Παρθενώνα. Το κομμάτι που ήταν τοποθετημένο στο εσωτερικό του μνημείου λέγεται αντίθημα. Το επιστύλιο συνήθως δεν είχε καμιά διακόσμηση. Το μόνο στοιχείο που υπήρχε στο επιστύλιο ήταν οι σταγόνες, έξι συνήθως, που θα μπορούσε να θεωρηθεί ως στοιχείο των υπερκείμενων μετοπών. Τέλος στο επιστύλιο παρουσιάζεται η ίδια καμπύλωση με την κρηπίδα.

Στο δωρικό ρυθμό μετά από το επιστύλιο υπάρχουν τα τρίγλυφα και οι μετόπες. Τρίγλυφο είναι μια ορθογώνια πλάκα μαρμάρου, η οποία έχει τρεις κατακόρυφες γλυφές, δύο ολόκληρες και δύο ημιγλυφές δεξιά και αριστερά.

Μετόπη είναι μια ορθογώνια πλάκα μαρμάρου, η οποία μπορεί να έχει ανάγλυφη ή γραπτή διακόσμηση. Στο τμήμα που βρίσκεται ανάμεσα σε δύο κίονες αντιστοιχούν 2 μετόπες και 3 τρίγλυφα.

-Στον ιωνικό ρυθμό μετά το επιστύλιο έχουμε τη ζωφόρο, δηλαδή μια ζώνη από ανάγλυφες πλάκες. Ονομάζεται ζωφόρος επειδή φέρει ζωή.

-Το γείσον προεξέχει και προστατεύει από το νερό της βροχής τα τρίγλυφα και τις μετόπες ή τη ζωφόρο. Κάτω από το γείσο υπάρχουν οι πρόμοχθοι με τις σταγόνες. Κάθε πρόμοχθος έχει πλάτος ίσο με τα τρίγλυφα και τις μετόπες και φέρει 18 συνήθως σταγόνες σε τρεις σειρές (3X6). Το επιστύλιο, τα τρίγλυφα και οι μετόπες ή η ζωφόρος και το γείσο αποτελούν το θριγκό.

-Τέλος το αέτωμα ή τύμπανο πρόκειται για το τριγωνικό τμήμα στο πάνω μέρος της πρόσοψης ενός ναού. Ονομάστηκε αέτωμα γιατί το σχήμα του παραπέμπει σε αετό με ανοιγμένα τα φτερά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Ο ΝΑΟΣ ΤΟΥ ΗΦΑΙΣΤΟΥ

3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Στο υψηλότερο σημείο της Αρχαίας Αγοράς των Αθηνών, δεσπόζει ο καλύτερα διατηρημένος ναός της Κλασικής Αρχαιότητας, ο ναός του Ηφαίστου (Εικ.10). Εδώ ο θεός της φωτιάς και του σιδήρου συλλατρευόταν με την πολιούχο θεά, Αθηνά Εργάνη, ως προστάτες θεοί των τεχνών και των επαγγελμάτων και ιδιαίτερα ως προστάτες των μεταλλουργών και των αγγειοπλαστών.

Ενδιαφέρον είναι ότι κοντά στο ναό, από την αρχαιότητα ως τις μέρες μας, υπάρχουν εργαστήρια μεταλλουργών. Παλιότερα ο ναός αυτός λανθασμένα ονομαζόταν Θησείο.

3.2 ΙΣΤΟΡΙΚΑ

Ο ναός του Ηφαίστου είναι κτισμένος σε ένα έξαρμα της γης στα δυτικά της αγοράς (λόφος Αγοραίου Κολωνού). Προηγείται χρονολογικά από τον Παρθενώνα (449-444 π.Χ.) και εμφανίζεται ως τυπικό παράδειγμα κλασσικού εξάστου ναού. Διατηρείται σήμερα σε πολύ καλή κατάσταση (Εικ.11). Η μετατροπή του σε εκκλησία κατά την παλαιοχριστιανική και βυζαντινή περίοδο (7ος αιώνας) έγινε αιτία για μικρές αλλαγές (αφαίρεση εσωτερικών κιόνων και ξύλινης στέγης), αλλά συνέβαλε και στη διατήρηση του μνημείου. Κατά την Ύστερη Βυζαντινή και την Οθωμανική περίοδο στον περιβάλλοντα χώρο έγιναν αρκετές ταφές. Στο εσωτερικό του ναού ενταφιάστηκαν και όσοι διακεκριμένοι προτεστάντες επισκέπτες πέθαναν στην πόλη, ιδιαίτερα εκείνοι οι οποίοι συμμετείχαν στον απελευθερωτικό αγώνα του 1821-1828. Το 1834 τελέστηκε στο ναό δοξολογία για να τιμηθεί ο ερχομός του Όθωνα και η ανακήρυξη της πόλης σε πρωτεύουσα του βασιλείου της Ελλάδος. Αργότερα, ο ναός μετατράπηκε σε μουσείο, όπου φυλάσσονταν τα ευρήματα από την πόλη των Αθηνών, έως το 1937, όταν οι αρχαιότητες απομακρύνθηκαν και διεξήχθησαν ανασκαφικές έρευνες γύρω και εντός του ναού. Μέχρι και το 1930 όπου ξεκίνησαν οι ανασκαφές της Αμερικάνικης σχολής στην Αρχαία Αγορά παρέμενε εκκλησία αφιερωμένη στον Άγιο Γεώργιο τον Ακαμά και τόπος ενταφιασμού σπουδαίων φιλελλήνων. Σήμερα ο ναός αποτελεί μουσειακό χώρο.



Εικόνα 10: Ο ναός του Ηφαίστου

Picture 10: The temple of Hephaestus.

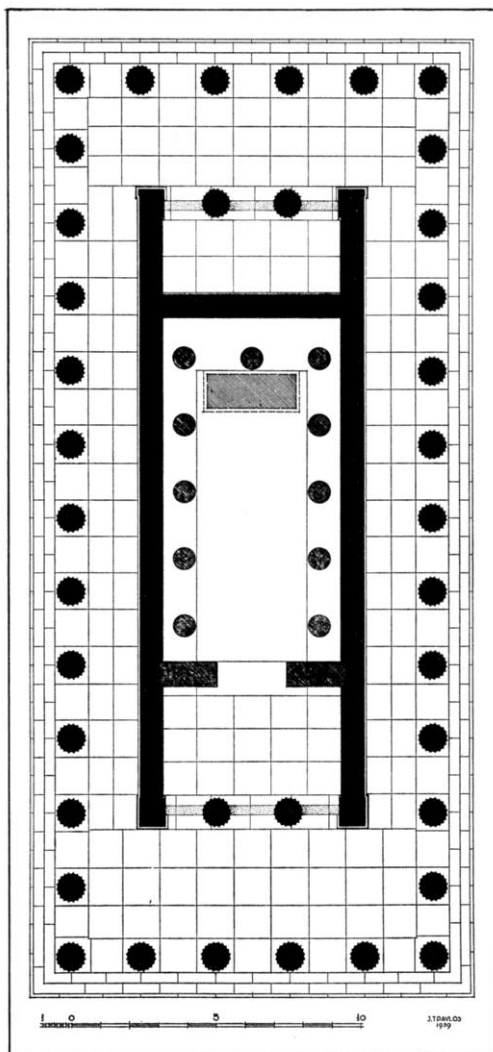
Αποτελεί το πρώτο από τα έργα του μεγάλου οικοδομικού προγράμματος που είχε προτείνει ο Περικλής. Άρχισε να κτίζεται πριν τον Παρθενώνα, γι' αυτό εξωτερικά είναι πρωϊμότερος του, όμως, τα έργα διακόπηκαν και ολοκληρώθηκαν με το πέρας των εργασιών στον Παρθενώνα. Χτίστηκε από σπουδαίο αρχιτέκτονα, του οποίου το όνομα παραμένει άγνωστο, που θεωρείται ο ίδιος δημιουργός άλλων τριών γνωστών ναών της ίδιας εποχής: του Ποσειδώνος στο Σούνιο, του Άρεως στις Αχαρνές (που είχε μεταφερθεί τον 1ο αι. π.Χ. στο χώρο της Αγοράς) και της Νεμέσεως στον Ραμνούντα. Και οι τέσσερις επιβλητικοί, περίπτεροι ναοί είχαν μεταξύ τους ίδια μορφή, ίδιες αρχιτεκτονικές λεπτομέρειες και αρκετά κοινά με τον Παρθενώνα.

Από τις ανασκαφές και τις ιστορικές πηγές γνωρίζουμε ότι ο κήπος που περιέβαλε τον ναό ήταν ιδιαίτερα προσεγμένος και όμορφος. Μεγάλες πήλινες γλάστρες με δενδρύλλια ήταν τοποθετημένες πάνω σε κάναβο σε δύο σειρές κατά μήκος της νότιας και βόρειας πλευράς και σε τρεις της δυτικής (D. Tompson). Στην θέση τους σήμερα έχουν φυτευτεί ροδιές και μυρτιές. Ο περιβάλλον χώρος του ναού ήταν ο τόπος συνάθροισης των πιστών και ο τόπος λατρείας και τελετών (οι πιστοί δεν επιτρεπόταν να μπουν στον ναό). Ο ναός ήταν κάτι σαν άγαλμα του θεού από μόνος του για τους πιστούς, ακολουθώντας μια εξωστρεφή αρχιτεκτονική. Τον 3ο αι. π.Χ. πρέπει να υψώθηκε ένας τετράπλευρος περίβολος με είσοδο στην νότια πλευρά του, απ' όπου η πρόσβαση ήταν ευκολότερη. Κατά τα τέλη του 1ου αι. π.Χ. η μνημειακή κλίμακα στην ανατολική πλευρά του λόφου συνέδεσε τον ναό με τον χώρο της Αγοράς. Κανένα ίχνος λατρείας ή προγενέστερων δομών δεν έχει βρεθεί κάτω από το κτίριο είτε στην άμεση γειτονία του· ωστόσο, λογικό είναι να υποθέσουμε ότι στον ναό αντιστοιχούσε και ένας βωμός στα ανατολικά του, ο οποίος όμως δεν έχει διασωθεί.

3.3 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΑ-ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ

Ο Ναός του Ηφαίστου είναι χτισμένος κατά τη διεύθυνση Ανατολή-Δύση με είσοδο από την Ανατολή. Είναι πιθανό να ισχύει η θεωρία ότι οι ναοί είχαν στραμμένη την είσοδο τους προς το σημείο ανατολής κατά την ημέρα της εορτής του θεού. Μπροστά από την είσοδο διαμορφωνόταν χώρος για συγκέντρωση πιστών και θυσίες. Ως προς την κατασκευή του είναι ολομάρμαρος (πεντελικό και παριανό μάρμαρο) με εξαίρεση την πόρνη κατώτερη βαθμίδα της κρηπίδας, την ξύλινη στέγη (αντικαταστάθηκε από λίθινη σε μεταγενέστερη περίοδο) και την πήλινη κεράμωση του.

Είναι δωρικός περίπτερος, διπλός «εν παραστάσι» ναός, με κανονικές αναλογίες (περὶ 6 x 13 κίωνων), διαστάσεων περίπου 31,80 x 13,80μ. (Εικ 12). Το πλήθος των κίωνων (6x13) είναι χαρακτηριστικό των περισσότερων ναών δωρικού ρυθμού της κλασικής εποχής. Οι κίονες αποτελούνται από επτά σπόνδυλους, οι οποίοι δεν ήταν ορατοί γιατί καλύπτονταν με ελαφρό επίχρισμα. Οι ραβδώσεις των κίωνων παρουσιάζουν ομοίμορφο βάθος καθ' όλο το ύψος του κίονα, γεγονός που δεν συναντάται σε όλους τους ναούς της κλασικής περιόδου. Η ύπαρξη των ραβδώσεων στους κίονες εξυπηρετεί κυρίως αισθητικούς λόγους.



Εικόνα 11: Κάτοψη ναού του Ηφαίστου.

Picture 11: Plan of the Hephaestus temple.

Ο ναός χωριζόταν εσωτερικά σε τρία μέρη σε πρόναο, κυρίως ναός και οπισθόδομο, που επικοινωνούσε με τον σηκό μέσω θύρας. Ο κυρίως ναός είχε ίσως στις πλευρές του εσωτερικού του σηκού δίτονη κιονοστοιχία σχήματος Π, η οποία προστέθηκε αναμφίβολα σε μια δεύτερη, προχωρημένη οικοδομική φάση του ναού προσδίδοντάς του ιδιαίτερη ευρυχωρία με τρόπο τέτοιο, ώστε να διαμορφώνεται ένα μνημειώδες σχήμα υποδοχής για τα ορειχάλκινα λατρευτικά αγάλματα του Ηφαίστου και της πολιούχου Αθηνάς Εργάνης που είχε φιλοτεχνήσει ο γλύπτης Αλκαμένης. Η κιονοστοιχία αυτή αφαιρέθηκε πολύ αργότερα, πιθανόν όταν ο ναός μετατράπηκε σε χριστιανική εκκλησία.

Ο πρόναος και ο οπισθόδομος έφεραν από δύο κίονες ανάμεσα σε παραστάδες. Οι τοίχοι του σηκού ήταν καλυμμένοι με κονίαμα, γεγονός που φανερώνει ότι προορίζονταν να δεχθούν έργα μεγάλης ζωγραφικής· είτε ολοκληρώθηκαν ποτέ είτε όχι. Ξεχωριστής σημασίας καινοτομία συνιστά η εισαγωγή ιωνικών στοιχείων, όπως η έμφαση που δόθηκε στο πλάτος του δυτικού και των δύο πλαϊνών πτερών καθώς και η διάταξη του θριγκού του πρόναου. Εξίσου ασυνήθιστος και ενδεικτικός της καινούριας αντίληψης του χώρου κατά την κλασική εποχή, είναι ο έντονος τονισμός της ανατολικής πρόσοψης του ναού, που εν μέρει εξαιρείται μέσω της διαρρύθμισης του γλυπτού διακόσμου που στολίζει το εξωτερικό της. Ενδεχομένως η επέκταση του ανατολικού πτερού να οφείλεται σε αλλαγή της αρχικής κάτοψης κατά την διάρκεια της εκτέλεσης του έργου (αντικατάσταση ενός μακρόστενου σηκού από έναν μικρότερο), αφορμή για την οποία στάθηκε η διάρθρωση του Παρθενώνος, που εν τω μεταξύ είχε αρχίζει να κτίζεται.

Στο βάθος του σηκού και μπροστά από την εγκάρσια κιονοστοιχία στήθηκε βάθρο με ανάγλυφη διακόσμηση πάνω στο οποίο πατούσαν τα χάλκινα λατρευτικά αγάλματα του Ηφαίστου και της Αθηνάς

Η θεμελίωση του ναού πραγματοποιείται με τον στερεοβάτη και των επιμέρους κατακόρυφων στοιχείων του, με ανώτατη στρώση την ευθυντηρία, (κατώτερη βαθμίδα της κρηπίδας). Ο σκοπός της η κρηπίδας ήταν καθαρά διακοσμητικός, αφού υπάρχουν σκαλοπάτια στην πρόσοψη αλλά και την πίσω πλευρά του ναού. Η διαβάθμιση της κρηπίδας σε 3 μέρη απέβλεπε απλώς στην αποφυγή της μονοτονίας ενός ενιαίου όγκου με στόχο την αρμονία της εικόνας του ναού. Χαρακτηριστικό της κρηπίδας του ναού είναι η κυρτότητα της.

3.4 ΔΙΑΚΟΣΜΗΣΗ

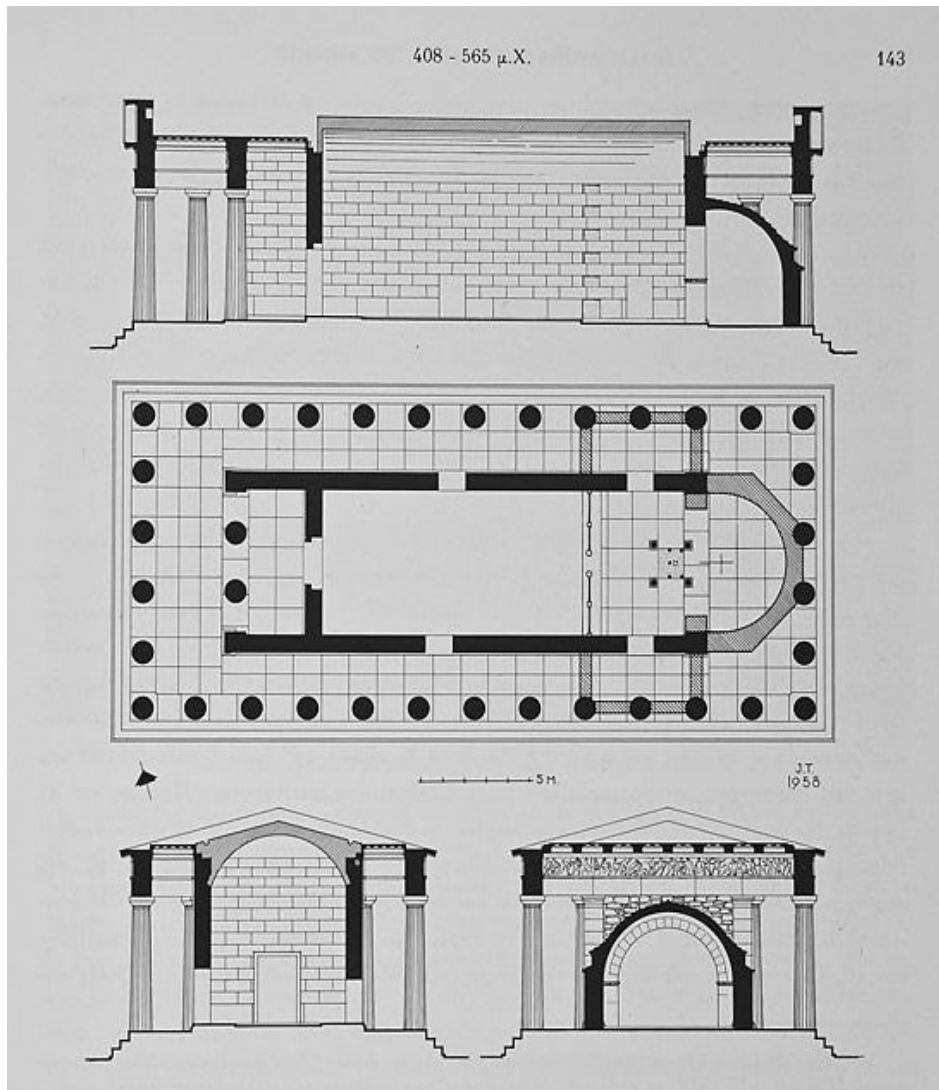
Αξιοπρόσεχτη είναι επίσης η πλούσια διακόσμηση του ναού. Τις μετόπες της ανατολικής πρόσοψης κοσμούσαν οι άθλοι του Ηρακλή, ενώ την βόρεια και την νότια πλευρά καταλάμβαναν ανά τέσσερις μετόπες τα κατορθώματα του τοπικού ήρωα Θησέα· όλες οι υπόλοιπες μετόπες παρέμειναν λευκές και ακόσμητες. Στην ανάγλυφη ζωφόρο επάνω από το επιστύλιο του πρόναου, από την μία άκρη του ναού έως την άλλη, παριστάνονταν μορφές θεοτήτων να παρακολουθούν μυθικούς αγώνες (ίσως την διαμάχη Παλλαντιδών-Θησέως)· ανάλογη ζωφόρος βρίσκεται στον οπισθόδομο, περιορισμένη όμως στο πλάτος του σηκού, με θέμα την Κενταυρομαχία (σύγκρουση Λαπίθων και Κενταύρων). Από τα κατάλοιπα (λείψανα γλυπτών από παριανό μάρμαρο) που έφεραν στο φως οι ανασκαφές συνάγεται ότι γλυπτή διακόσμηση είχαν αμφότερα τα αετώματα: όσον αφορά το ανατολικό, που επιστεφόταν από ακρωτήρια-Νίκες, πιθανόν είναι να επαναλάμβανε το θέμα της Κενταυρομαχίας είτε να παρουσίαζε την αποθέωση του Ηρακλή στον Όλυμπο· το δυτικό, που έφερε στην κορυφή ως ακρωτήριο γυναικεία μορφή του «πλούσιου» ρυθμού σε κίνηση, απεικόνιζε μάλλον σκηνές μυθικών μαχών, ίσως την «Ιλίου Πέρσιν» (Αλωση της

Τροίας). Πλουσιότερος όλων ήταν ο διάκοσμος των φατνωμάτων της οροφής, τα οποία στόλιζαν μαιάνδροι σε ποικίλες περιελίξεις, δωρικά και ιωνικά κυμάτια, αστέρια και ανθέμια σε ένα αρμονικό πολύχρωμο σύνολο.

3.5 ΥΣΤΕΡΗ ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΟΥ ΝΑΟΥ-ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ

Ενδιαφέρουσα είναι η ύστερη ιστορία του κτηρίου. Αποτελεί ένα από τα λιγοστά μνημεία που δεν υπέστησαν καθολικές καταστροφές, ούτε στη διάρκεια της επιδρομής των Ερούλων το 267 μ.Χ. ούτε και κατά την επιδρομή των Γόθων, στα τέλη του 4ου αιώνα. Μετατράπηκε σε ναό του Αγίου Γεωργίου τον 7ο αιώνα (Εικ. 13), γεγονός που εξηγεί τη συστηματική καταστροφή των μετοπών όσο και την άριστη διατήρηση του σημαντικότερου τμήματος της ανωδομής του, πλην της στέγης. Ο ναός άλλαξε προσανατολισμό (κατά τα χριστιανικά πρότυπα ναών): η κύρια είσοδος μεταφέρθηκε στον οπισθόδομο, ενώ ο πρόναος μετατράπηκε σε αψίδα. Δύο είσοδοι ανοίχτηκαν στις άκρες των μακρών πλευρών, ενώ ένας τρούλος χτίστηκε πάνω από το σηκό. Η σημερινή λίθινη στέγη που καλύπτει τον κυρίως ναό πρέπει να τοποθετήθηκε τη Μεσαιωνική περίοδο, αντικαθιστώντας την ξύλινη στέγη του αρχικού σχεδίου.

Στην ανατολική πλευρά του ναού κατασκευάστηκε η αψίδα του ιερού, ενώ απομακρύνθηκαν ο ανατολικός εσωτερικός τοίχος και οι δύο κίονες του πρόναου, οι οποίοι αντικαταστάθηκαν με ημικυκλικό τόξο που στήριζε τα μαρμάρινα επιστύλια. Επίσης έγινε διάνοιξη μιας θήρας εισόδου στον τοίχο του οπισθόδομου, και δύο πλευρικών θυρών, ανά μια στη βόρεια και στη νότια πλευρά αντίστοιχα. Οι πλευρικές αυτές θύρες εκτός από τη δυτική της νότιας πλευράς σφραγίστηκαν με τούβλα και κονίαμα κατά τους χρόνους της τουρκοκρατίας. Κατά τη Μεσοβυζαντινή περίοδο 9ος-13ος αιώνας κατασκευάστηκε η κλειστή καμάρα η οποία καλύπτει ως σήμερα τον σηκό του ναού. Την περίοδο αυτή η αψίδα του ναού αντικαταστάθηκε με μια πιο μικρή μέχρι το 1834. Από τότε ως την ανασκαφή της Αμερικάνικης Σχολής Κλασικών Σπουδών στην αρχαία αγορά το 1931, ο ναός χρησιμοποιήθηκε για τη στέγαση της αρχαιολογικής συλλογής, ενώ η αψίδα κατεδαφίστηκε και αντικαταστάθηκε με ευθύ τοίχο, χτισμένο κατά τη χορδή αυτής. Ο τοίχος αυτός κατεδαφίστηκε το 1936 από τον Α. Ορλάνδο, κατά την αναστήλωση των δύο κίωνων του πρόναου.



Εικόνα 12: Κάτοψη και χαρακτηριστικά των τομών του ναού του Ηφαίστου, ως Χριστιανικής εκκλησίας του Αγίου Γεωργίου (5^{ος} αι. π.Χ.).

Picture 12: Plan and cross sections characteristics of the temple of Hephaestus, as Christian church of St. George (5th century BC).

3.6 ΦΘΟΡΕΣ ΤΟΥ ΝΑΟΥ

3.6.1 Ειδικές περιπτώσεις φθορών

Κατά τη λεηλασία των Ρωμαίων και αργότερα κατά την επιδρομή των Ερούλων, προκλήθηκαν καταστροφές στο ναό. Οι μετόπες της ανατολικής πλευράς (εκτός από μια) υπέστησαν σημαντικές φθορές εξαιτίας των βανδαλισμών. Το αρχαίο μαρμάρινο δάπεδο του ναού έχει καταστραφεί εξαιτίας της διάνοιξης των τάφων. Σήμερα σώζονται ελάχιστες μαρμάρινες πλάκες στο βόρειο και δυτικό περιστύλιο, ενώ στο ανατολικό περιστύλιο σώζονται οχτώ μαρμάρινες πλάκες οι οποίες γλίτωσαν από τη λεηλασία λόγω της αψίδας του ιερού της εκκλησίας.

Μεγάλη καταστροφή έχει προκληθεί στον έκτο και έβδομο από τα ανατολικά κίονα του βόρειου περιστυλίου και στον ένατο και δέκατο από τα ανατολικά κίονα του νότιου περιστυλίου. Οι κίονες αυτοί λαξεύτηκαν με σκοπό τη διάνοιξη του χώρου για την είσοδο σαρκοφάγων στο ναό κατά τους βυζαντινούς χρόνους. Στο άνω τμήμα της δυτικής θύρας της νότιας πλευράς του ναού διακρίνονται ίχνη από σφαίρες που

προκλήθηκαν κατά την περίοδο την οποία οι τούρκοι χρησιμοποιούσαν τη θύρα αυτή για ασκήσεις σκοποβολής. Σύμφωνα με τον Α. Ορλάνδο, το μεγαλύτερο τμήμα του βόρειου μισού του ανατολικού αετώματος του ναού καταστράφηκε από βόμβα τον Νοέμβριο του 1826 από τους Έλληνες, οι οποίοι ήταν οχυρωμένοι στην Ακρόπολη και συχνά βομβάρδιζαν τους Τούρκους που συναθροίζονταν στο ναό του Ήφαιστου. Στους τοίχους και τους κίονες του ναού υπάρχουν χαράγματα τα οποία χρονολογούνται από τη μεταβυζαντινή περίοδο μέχρι τον 19ο αιώνα μ.Χ.

3.6.2 Μηχανικές φθορές

Στους κίονες και στους τοίχους του οπισθόδομου παρατηρούνται έντονες θραύσεις ρηγματώδεις και αποφλοιώσεις του μαρμάρου. Η ίδια μορφή διάβρωσης παρατηρείται και στο εσωτερικό τμήμα των κίωνων του δυτικού, βορείου και ανατολικού περιστυλίου και οφείλονται σε θερμικές καταπονήσεις οι οποίες προκλήθηκαν από έντονες θερμοκρασιακές μεταβολές, οφειλόμενες σε πιθανή πυρκαγιά. Επίσης ο ναός είναι πιθανό να παρουσιάζει σημαντικές καθιζήσεις καθώς και παραμορφώσεις των κίωνων της περίπτωσης (στροφές και μετατοπίσεις των σπονδύλων) λόγω της έκθεσης του σε ισχυρούς σεισμούς (Μαρκάκη 2011, Μάκαρη 2012). Οι ισχυρότεροι γνωστοί ήταν: το 426 π.Χ. (στον σεισμό αυτό μετατοπίστηκε και η βόρειο- ανατολική γωνία του Παρθενώνα), το 1981 και ο πρόσφατος του 1999. (αναφορά στις Δ.Ε. Μάκαρη και Μαρκάκη) Εκτός από μηχανικές φθορές παρατηρούνται και βιολογικές με το πέρασμα των χρόνων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Προκειμένου να διερευνηθεί η δυνατότητα ανίχνευσης και προσδιορισμού του μεγέθους των μετακινήσεων ενός αντικειμένου, με ακρίβεια και αξιοπιστία, μέσω της σάρωσης του, πραγματοποιήθηκαν πειραματικές εργασίες σε καναβόπλακα στο Εργαστήριο Ελέγχου της Σ.Α.Τ.Μ. Στο πλαίσιο αυτών, όπως και στις εργασίες πεδίου στο ναό του Ηφαίστου, χρησιμοποιήθηκε ο εικονοσταθμός IS01 της Topcon. Προσδιορίστηκαν τοποσταθερά σημεία πάνω στη καναβόπλακα και έγιναν σαρώσεις από τρεις διαφορετικές κορυφές, έχοντας μια κάθετη και δυο πλάγιες σκοπεύσεις. Έγινε προσομοίωση τόσο των τοποσταθερών σημείων όσο και των σημείων των νεφών των σαρώσεων με βέλτιστα επίπεδα για να διερευνηθεί η ύπαρξη απόκλισης τους.

Συγκεκριμένα, από κάθε κορυφή έγιναν τρεις σαρώσεις οι οποίες διέφεραν ως προς την πυκνότητα των σημείων λήψης. Οι πυκνότητες των σαρώσεων ήταν 1 σημείο ανά 20mm, 10mm και 5mm αντίστοιχα. Οι πολλαπλές κορυφές σάρωσης και οι διαφοροποιήσεις στην πυκνότητα έγιναν με σκοπό να προσδιοριστεί ο βαθμός στον οποίο επηρεάζεται η ποιότητα των αποτελεσμάτων, από την πλάγια γωνία σκόπευσης, αλλά και από τις διαφορετικές πυκνότητες των σημείων λήψης.

Στη συνέχεια δόθηκε κλίση στην καναβόπλακα μετακινώντας την κάτω πλευρά κατά συγκεκριμένη απόσταση (22mm) και επαναλήφθηκαν οι σαρώσεις με τον ίδιο τρόπο. Ο σκοπός ήταν να διερευνηθεί η δυνατότητα ανίχνευσης της συγκεκριμένης μετακίνησης μέσω του προγράμματος της σάρωσης του οργάνου.

Ο προσδιορισμός των βέλτιστων επιπέδων όπως αυτά προσαρμόζονται στην επιφάνεια της καναβόπλακας πραγματοποιήθηκε με δύο τρόπους. Με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων και με το λογισμικό GEOMAGIC.

4.2 ΟΡΓΑΝΟ

Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση των τοποσταθερών, τη μέτρηση των στοιχείων της όδευσης αλλά και για τις σαρώσεις ήταν ο εικονοσταθμός IS201 της σειράς imaging station της εταιρίας Topcon. Τα χαρακτηριστικά του φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Εμβέλεια	1,4m-2000m περίπου
βάρος	6.2kg
Ονομαστική ακρίβεια	
γωνίες	1cc
αποστ. με πρίσμα	2mm+2ppm
αποστ. χωρίς πρίσμα	5mm+5ppm
μεγάλες αποστ. χωρίς πρίσμα	10mm+10ppm
Λειτουργία Σάρωσης	
εμβέλεια	150m
ταχ. σάρωσης (ταχεία)	20 σημεία/sec
ταχ. σάρωσης (τυπική)	10 σημεία/sec
τυπική απόκλιση	5mm
ακρίβεια σημείου (3D)	12mm

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά Οργάνου.

Table 1: IS201 characteristics.



Εικόνα 13: Imaging Station 01.

Picture 13: Imaging Station 01.

4.3 ΙΔΡΥΣΗ ΚΛΕΙΣΤΗΣ ΟΔΕΥΣΗΣ

Για την εκτέλεση των πειραματικών εργασιών, ιδρύθηκε κλειστή ανεξάρτητη όδευση 3 κορυφών. Οι τρεις κορυφές ορίστηκαν ως εξής:

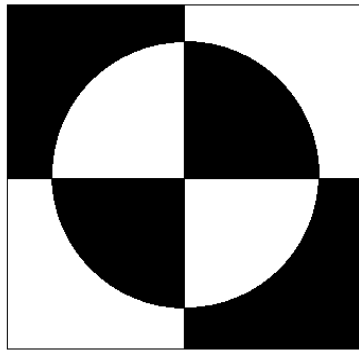
Η πρώτη ήταν ένα βάθρο με σύστημα εξαναγκασμένης κέντρωσης (Εικ.14) σε απόσταση περίπου 5m από την καναβόπλακα, έτσι ώστε η κορυφή αυτή με το κέντρο της πλάκας να ορίζουν διεύθυνση περίπου κάθετη στο επίπεδό της. Η κορυφή ονομάστηκε Κ.



Εικόνα14: Βάθρο αίθουσας Y23.

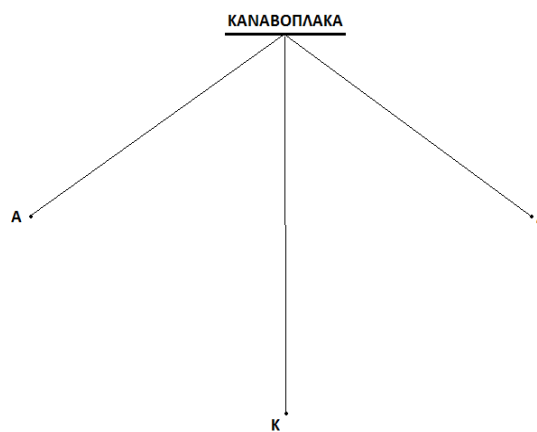
Picture 14: Pillar in room Y23.

Οι άλλες δύο κορυφές υλοποιήθηκαν με σήμανση (Εικ.15) στο πάτωμα της αίθουσας, εκατέρωθεν της κορυφής Κ. Αυτές ονομάστηκαν Δ(δεξιά) και Α(αριστερά). Η διεύθυνση που ορίζουν οι κορυφές Δ και Α με το κέντρο της καναβόπλακας σχηματίζει γωνία περίπου 50 βαθμών με το επίπεδο της πλάκας (Εικ.16) ενώ η απόστασή τους από την καναβόπλακα ήταν περίπου 4m.



Εικόνα 15: Χάρτινο αυτοκόλλητο για τη σήμανση των κορυφών Α και Δ.

Picture 15: Paper sticker for marking points A and D.



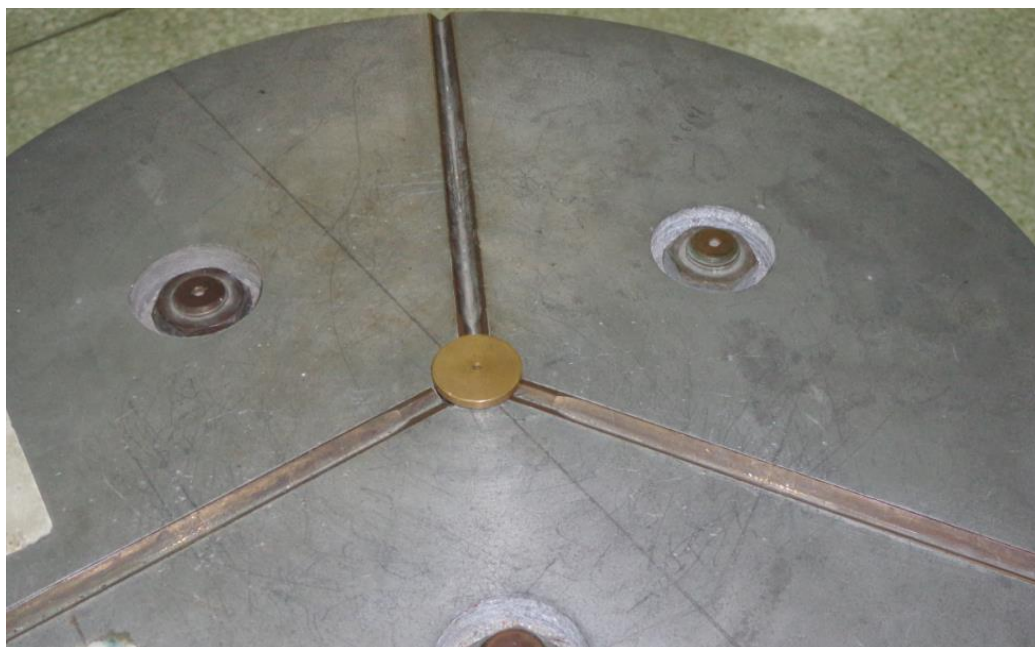
Εικόνα 16: Σημεία της όδευσης και θέσης της καναβόπλακας.

Picture 16: Traverse Points and position of the steel plate.

4.3.1 Μέτρηση στοιχείων όδευσης

Μετρήθηκαν οι οριζόντιες γωνίες, οι κατακόρυφες γωνίες και οι κεκλιμένες αποστάσεις, σε δύο πλήρεις περιόδους. Το όργανο στις κορυφές Α και Δ τοποθετήθηκε σε τρίποδα ενώ στην Κ στην ειδική βάση εξαναγκασμένης κέντρωσης.

Για τις κατακόρυφες γωνίες και τις κεκλιμένες αποστάσεις χρησιμοποιήθηκαν στόχοι με τρικόχλιο πάνω σε τρίποδα, ενώ οι οριζόντιες γωνίες μετρήθηκαν με απευθείας σκόπευση πάνω στην κορυφή. Όσον αφορά τις μετρήσεις των οριζοντίων γωνιών προς την κορυφή Κ, αυτές έγιναν με τη βοήθεια ορειχάλκινης σήμανσης, που εφαρμόζει στη βάση της εξαναγκασμένης κέντρωσης και υλοποιεί την κορυφή (Εικ.17).



Εικόνα17: Μέτρηση οριζοντίων γωνιών προς την κορυφή K (ορειχάλκινη σήμανση).

Picture 17: Measurement of horizontal angles to point K of the traverse.

Τα ύψη οργάνου και στόχων μετρήθηκαν με μετροταινία ακρίβειας $\pm 1\text{mm}$.

Σημειώνεται τέλος ότι το υψόμετρο της κορυφής K δόθηκε στη βάση του στο δάπεδο.

Τα μετρημένα στοιχεία δίνονται στους αντίστοιχους πίνακες στο παράρτημα.

Μετά την επεξεργασία των μετρήσεων προέκυψαν οι τελικές τιμές (Πιν.2) για τις οριζόντιες γωνίες, τις ζενίθιες γωνίες και τα κεκλιμένα μήκη μεταξύ των κορυφών της όδευσης, όπως και για τα ύψη οργάνου (ΥΟ) και ύψη στόχων (ΥΣ).

Κορυφή	Σκόπευση	Οριζόντια γωνία Hz(grad)	Ζενίθια γωνία z(grad)	Κεκλιμένο μήκος S(m)	ΥΟ (m)	ΥΣ (m)
Α	Δ		102.3422	5.553	1.665	1.449
	Κ	41.9118	110.2255	3.631		1.101
Κ	Α		92.5947	3.607	1.181	1.586
	Δ	114.8394	94.6674	3.501		1.449
Δ	Κ		108.2390	3.518	1.531	1.104
	Α	43.2418	99.4797	5.549		1.588

Πίνακας 2: Μετρήσεις στοιχείων όδευσης.

Table 2: Measurements of traverse elements.

4.3.2 Επίλυση Όδευσης - Προσδιορισμός Υψομέτρων

Η κλειστή όδευση επιλύθηκε σε αυθαίρετο τοπικό σύστημα αναφοράς.

- Οι συντεταγμένες της κορυφής Κ (στο βάθρο εξαναγκασμένης κέντρωσης) ορίστηκαν ως $(X,Y) = (100,100)$ και δόθηκε αυθαίρετο υψόμετρο $H=100m$.
- Η γωνία διεύθυνσης της πλευράς ΚΔ ορίστηκε ως $100g$.

Τα υψόμετρα προσδιορίστηκαν με τριγωνομετρική υψομετρία.

Οι συντεταγμένες και τα υψόμετρα των κορυφών της όδευσης μετά την επίλυσή της δίνονται στον πίνακα 3.

Κορυφή	X(m)	Y(m)	H(m)
K	100.000	100.000	100.000
Δ	103.489	100.000	100.026
A	99.172	103.486	100.015

Πίνακας 3: Τελικές συντεταγμένες κορυφών.

Table 3: Coordinates of the traverse points.

4.4 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΚΑΝΑΒΟΠΛΑΚΑ

4.4.1 Γενικά

Στη παράγραφο αυτή περιγράφονται οι πειραματικές εργασίες, οι οποίες έγιναν με μετρήσεις τοποσταθερών σημείων και σαρώσεις, διαφορετικής πυκνότητας και διαφορετικής θέσης του εικονοσταθμού, πάνω σε καναβόπλακα. Οι μετρήσεις στα τοποσταθερά σημεία έγιναν για να προσδιορισθεί, με βάση αυτά, το βέλτιστο επίπεδο το οποίο θα χρησιμοποιηθεί ως επίπεδο αναφοράς για τον έλεγχο των αντίστοιχων βέλτιστων επιπέδων που θα προκύψουν από τις παραπάνω σαρώσεις. Κατά τις εργασίες αυτές η καναβόπλακα θεωρήθηκε απαραμόρφωτη.

4.4.2 Τοποσταθερά

Συνολικά επιλέχθηκαν 44 σημεία πάνω στην καναβόπλακα τα οποία σκοπεύθηκαν και από τις τρεις κορυφές Κ, Δ και Α. Τα σημεία αυτά ήταν τα κέντρα των τρυπών που αντιστοιχούν σε κάθε δεύτερη κορυφή του κανάβου. Για μεγαλύτερη ακρίβεια στη σκόπευσή τους, πριν την έναρξη των μετρήσεων, τοποθετήθηκε χαρτί στην πίσω μεριά της καναβόπλακας, το οποίο τρυπήθηκε για τα αντίστοιχα τοποσταθερά. Για κάθε τοποσταθερό μετρήθηκαν η οριζόντια γωνία, η ζενίθια γωνία και η κεκλιμένη απόσταση σε μια πλήρη περίοδο.



Εικόνα 18: Καναβόπλακα-Τρύπες στις ακμές του κανάβου

Picture 18: SteelPlate- Holes at the edges of the grid

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων φαίνονται στους αντίστοιχους πίνακες του παραρτήματος.

Οι τελικές συντεταγμένες (X, Y) των 44 τοποσταθερών προέκυψαν ως ο μέσος όρος των συντεταγμένων τους από κάθε κορυφή. Ομοίως, τα τελικά υψόμετρα (H) υπολογίστηκαν ως ο μέσος όρος των τριών υψομέτρων από τις τρεις κορυφές.

Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα 4:

α/α	X	Y	H
1	102.776	104.471	101.126
2	102.931	104.345	101.127
3	103.088	104.221	101.127
4	103.243	104.095	101.128
5	103.400	103.971	101.128
6	103.480	103.910	101.028
7	103.323	104.034	101.028
8	103.167	104.159	101.027
9	103.011	104.283	101.027
10	102.854	104.409	101.027
11	102.699	104.535	101.026
12	102.778	104.473	100.927
13	102.934	104.348	100.927
14	103.090	104.222	100.926
15	103.246	104.097	100.928
16	103.403	103.973	100.928
17	103.482	103.912	100.828
18	103.325	104.036	100.828
19	103.169	104.162	100.827
20	103.013	104.286	100.827
21	102.856	104.410	100.827
22	102.701	104.537	100.826
23	102.780	104.475	100.726
24	102.935	104.349	100.727
25	103.092	104.224	100.727
26	103.248	104.100	100.728
27	103.404	103.975	100.728
28	103.484	103.914	100.628
29	103.328	104.038	100.628
30	103.171	104.163	100.627
31	103.015	104.288	100.627
32	102.859	104.413	100.627
33	102.703	104.538	100.626
34	102.782	104.477	100.527
35	102.938	104.352	100.527
36	103.094	104.227	100.527
37	103.250	104.102	100.528
38	103.407	103.977	100.528
39	103.486	103.916	100.428
40	103.330	104.042	100.427
41	103.175	104.167	100.427
42	103.018	104.292	100.427
43	102.862	104.416	100.427
44	102.706	104.541	100.426

Πίνακας 4: Τελικές συντεταγμένες και υψόμετρα τοποσταθερών σημείων.

Table 4: Final coordinates and heights of the control points.

Τα σημεία αυτά εκτιμήθηκε ότι προσδιορίστηκαν με ακρίβεια $\pm 5\text{mm}$.

4.4.3 Σαρώσεις

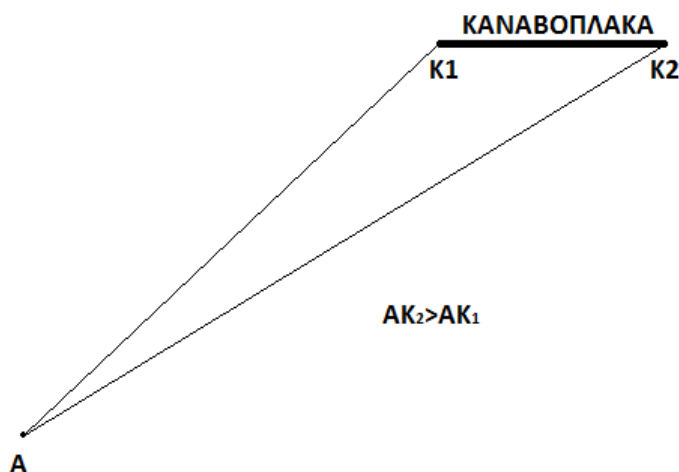
Η καναβόπλακα σαρώθηκε τρεις φορές από κάθε κορυφή, με μεταβλητή κάθε σάρωσης το βήμα της σάρωσης ανά 20mm, 10mm και 5mm αντίστοιχα.

Ο σκοπός που επιλέχθηκε να γίνουν σαρώσεις διαφορετικής πυκνότητας ήταν για να διαπιστωθεί κατά πόσο η πυκνότητα σάρωσης επηρεάζει την ποιότητα του αποτελέσματος.

Ρυθμίζοντας το όργανο στη λειτουργία της σάρωσης, καθορίστηκε πρώτα το τετράπλευρο μέσα στο οποίο έγινε η κάθε σάρωση, σκοπεύοντας 4 σημεία όσο πιο κοντά στις γωνίες της καναβόπλακας. Έπειτα καθορίστηκε το γωνιακό βήμα της σάρωσης. Ο καθορισμός γίνεται με τον εξής τρόπο:

- Ο παρατηρητής εισάγει την επιθυμητή απόσταση μεταξύ των διαδοχικών σημείων μέτρησης, δηλαδή στην περίπτωση αυτή 20mm, 10mm ή 5mm.
- Στη συνέχεια το όργανο υπολογίζει μια μέση απόσταση από το στόχο (καναβόπλακα) με βάση την οποία ανάγει το επιλεγμένο γραμμικό βήμα (20mm, 10mm ή 5mm) στο αντίστοιχο γωνιακό.

Διευκρινίζεται ότι η απόσταση οργάνου-στόχου είναι προσεγγιστική και ειδικά στις πλάγιες σαρώσεις διαφέρει ανάλογα με την περιοχή της πλάκας που σαρώνεται όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα 1.



Σχήμα 1: Η απόσταση μεταβάλλεται ανάλογα με την «περιοχή» που σαρώνεται.

Figure 1: The distance between the instrument and the object varies according to the scanned area.

Είναι φανερό ότι εξαιτίας της προσεγγιστικής απόστασης η πυκνότητα των σημείων μιας πλάγιας σάρωσης πάνω στην καναβόπλακα είναι διαφορετική. Έτσι, στην σάρωση που παρουσιάζεται σχηματικά στο παραπάνω σχήμα, η περιοχή του νέφους των σημείων στην περιοχή της πλάκας, που βρίσκεται πιο κοντά στο όργανο (περιοχή K1), έχει μεγαλύτερη πυκνότητα σημείων από την αντίστοιχη περιοχή στην μακρινή

περιοχή της πλάκας (περιοχή K2). Ωστόσο, πρέπει να επισημανθεί ότι αυτές οι διαφορές είναι πολύ μικρές για να επηρεάσουν την ακρίβεια του αποτελέσματος της σάρωσης.

Οι σαρώσεις μικρής πυκνότητας (σημείο ανά 20mm) περιελάμβαναν κατά μέσο όρο περίπου 2000 σημεία και ολοκληρώνονταν σε 5 λεπτά ή και λιγότερο. Οι σαρώσεις μεσαίας πυκνότητας (σημείο ανά 10mm) περιελάμβαναν περίπου 10000 σημεία και ολοκληρώνονταν σε περίπου 25 λεπτά. Αντίστοιχα οι μεγάλης πυκνότητας σαρώσεις (σημείο ανά 5mm) περιλάμβαναν περίπου 35000 σημεία και απαιτούνταν 1 ώρα ή και περισσότερο για την ολοκλήρωσή τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

5.1 ΓΕΝΙΚΑ

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται η επεξεργασία των δεδομένων από τις πειραματικές εργασίες. Αρχικά υπολογίζεται η εξίσωση του επιπέδου αναφοράς, όπως αυτή προκύπτει με τη χρήση των 44 τοποσταθερών.

Στη συνέχεια υπολογίζονται οι εξισώσεις όλων των επιπέδων που προκύπτουν από τις σαρώσεις, με δύο τρόπους: Μέσω MET και μέσω του λογισμικού Geomagic.

Στην παράγραφο 5.5 πραγματοποιούνται οι συγκρίσεις μεταξύ των επιπέδων από τις σαρώσεις και του επιπέδου αναφοράς και υπολογίζονται οι αποχές τους. Οι συγκρίσεις διακρίνονται σε αυτές των επιπέδων που προέκυψαν από MET και από το Geomagic.

Τέλος στην παράγραφο 5.6 γίνονται οι συγκρίσεις των επιπέδων από τις σαρώσεις όπως αυτά υπολογίστηκαν μέσω MET μεταξύ τους. Οι συγκρίσεις διακρίνονται σε αυτές των επιπέδων που προέκυψαν από σαρώσεις ίδιας πυκνότητας (§5.6.1) και ίδιας κλίσης σκοπευτικού άξονα (§5.6.2).

5.2 ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΣΤΑ ΤΟΠΟΣΤΑΘΕΡΑ ΣΗΜΕΙΑ

Αφού υπολογίστηκαν οι τελικές συντεταγμένες των 44 τοποσταθερών, προσαρμόστηκε σε αυτά επίπεδο εφαρμόζοντας τη Μέθοδο των Ελαχίστων Τετραγώνων. Η εξίσωση του επιπέδου είναι της μορφής:

$$X = \alpha Y + \beta Z + \gamma \quad (1)$$

Όπου οι άγνωστες παράμετροι είναι οι συντελεστές α , β και γ . Ο όρος Z στην συγκεκριμένη περίπτωση ταυτίζεται με το υψόμετρο H του κάθε σημείου.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση έχουμε 44 εξισώσεις παρατήρησης ενώ οι άγνωστοι είναι 3, άρα οι βαθμοί ελευθερίας του συστήματος είναι $44-3=41$.

Το επίπεδο που προέκυψε έχει τους εξής συντελεστές με τις αντίστοιχες αβεβαιότητες:

α	σ_α	β	σ_β	γ (m)	σ_γ (m)
-1.2499331	$\pm 8 \cdot 10^{-7}$	-0.0257744	$\pm 6 \cdot 10^{-7}$	235.962	± 0.015

Πίνακας 5: Συντελεστές επιπέδου αναφοράς και οι αβεβαιότητές τους.

Table 5: Estimated coefficients of the plane that approximates the plate's surface together with their standard deviations.

Οι παραπάνω συντελεστές α , β και γ είναι στατιστικά σημαντικοί, για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

Το a posteriori τυπικό σφάλμα της μονάδας βάρους είναι

$$\sigma_0 = \pm 1.2\text{mm}$$

Όπως έχει αναφερθεί το παραπάνω επίπεδο, που προσαρμόστηκε στα τοποσταθερά σημεία, θα χρησιμεύσει ως αναφορά για τις συγκρίσεις των επιπέδων που προκύπτουν από τις σαρώσεις και για αυτό το λόγο αναφέρεται παρακάτω ως **επίπεδο αναφοράς**.

5.3 ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΣΤΑ ΝΕΦΗ ΣΗΜΕΙΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΩΝ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΤΕΤΡΑΓΩΝΩΝ

Σε αυτήν την παράγραφο γίνεται η προσαρμογή επιπέδων στα αποτελέσματα των σαρώσεων με τη Μέθοδο Ελαχίστων Τετραγώνων. Ακολουθείται η ίδια διαδικασία υπολογισμών με αυτήν που περιγράφηκε στην παράγραφο 5.2. ώστε να εκτιμηθεί το επίπεδο που προσαρμόζεται βέλτιστα στα σημεία της κάθε σάρωσης.

Από τις εννιά διαφορετικές σαρώσεις προέκυψαν εννιά διαφορετικά επίπεδα, τρία από κάθε κορυφή (Α, Δ και Κ) και με τρεις διαφορετικές πυκνότητες σημείων. Τα επίπεδα κωδικοποιούνται με το συμβολισμό της στάσης (Κ, Α, Δ) και έναν δείκτη που υποδηλώνει την πυκνότητα των παρατηρούμενων σημείων (1 για την πυκνότητα ανά 20mm, 2 για την πυκνότητα ανά 10mm και 3 για την πυκνότητα ανά 5mm).

Οι βαθμοί ελευθερίας (r) για την κάθε κατηγορία παρατηρήσεων είναι όσο και το πλήθος των παρατηρήσεων (n) μείον το πλήθος των αγνώστων καθοριστικών παραμέτρων που στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι τρεις. Επομένως $r = n - 3$.

Στη συνέχεια ενοποιήθηκαν τα δεδομένα των σαρώσεων μικρής και μεσαίας πυκνότητας, και πραγματοποιήθηκαν εκ νέου συνορθώσεις από τις οποίες προέκυψαν δυο νέα επίπεδα 1ΟΛ (σαρώσεις μικρής πυκνότητας) και 2ΟΛ (σαρώσεις μεσαίας πυκνότητας). Το μεγάλο πλήθος παρατηρήσεων στις σαρώσεις μεγάλης πυκνότητας δεν επέτρεπε την επεξεργασία ενός ενιαίου αρχείου δεδομένων για αυτήν την κατηγορία.

Για την εύρεση των επιπέδων που προσαρμόζονται βέλτιστα στην κάθε κατηγορία δεδομένων πραγματοποιήθηκε η εξής διαδικασία:

-Αρχικά, χρησιμοποιήθηκαν όλα τα δεδομένα.

-Στη συνέχεια απορρίφθηκαν τα σημεία εκείνα που παρουσίαζαν τις μεγαλύτερες αποκλίσεις από το επίπεδο που προέκυπτε, με βάση το υπόλοιπο (v_i) της αντίστοιχης παρατήρησης και επαναλήφθηκαν οι συνορθώσεις.

Η αφαίρεση των παρατηρήσεων έγινε με ποσοστό επί του συνόλου τους.

Τα βέλτιστα αποτελέσματα από άποψης a posteriori τυπικού σφάλματος σ_0 παρατηρήθηκαν όταν οι συνορθώσεις των παρατηρήσεων περιλάμβαναν το 80% περίπου των συνολικών δεδομένων. Τα σημεία που απορρίφθηκαν ήταν τυχαία κατανεμημένα στην καναβόπλακα.

Στον παρακάτω πίνακα 6 παρατίθενται οι συντελεστές των επιπέδων που προκύπτουν για κάθε μια από τις 11 επιλύσεις, καθώς και το a posteriori τυπικό τους σφάλμα.

Σάρωση	α	σ_α	β	σ_β	$\gamma(\text{m})$	$\sigma_\gamma(\text{mm})$	$\sigma_\delta(\text{mm})$
A1	-1.2415604	$\pm 1 \times 10^{-8}$	-0.0258639	$\pm 1 \times 10^{-8}$	235.097	± 0.3	± 0.8
$\Delta 1$	-1.2501064	$\pm 5 \times 10^{-7}$	-0.0216104	$\pm 4 \times 10^{-7}$	235.566	± 9	± 4.8
K1	-1.2502331	$\pm 4 \times 10^{-7}$	-0.0218658	$\pm 3 \times 10^{-7}$	235.598	± 7	± 4.0
A2	-1.2471250	$\pm 5 \times 10^{-8}$	-0.0263564	$\pm 4 \times 10^{-8}$	235.729	± 1	± 3.3
$\Delta 2$	-1.2498624	$\pm 4 \times 10^{-8}$	-0.0264390	$\pm 3 \times 10^{-8}$	236.024	± 0.7	± 3.0
K2	-1.2478127	$\pm 4 \times 10^{-8}$	-0.0282536	$\pm 3 \times 10^{-8}$	235.987	± 0.8	± 3.9
A3	-1.2469561	$\pm 1 \times 10^{-8}$	-0.0271050	$\pm 1 \times 10^{-8}$	235.784	± 0.3	± 3.0
$\Delta 3$	-1.2498643	$\pm 1 \times 10^{-8}$	-0.0267042	$\pm 8 \times 10^{-8}$	236.053	± 0.2	± 2.9
K3	-1.2503554	$\pm 2 \times 10^{-8}$	-0.0286430	$\pm 2 \times 10^{-8}$	236.295	± 0.4	± 4.4
1ΟΛ	-1.2480665	$\pm 1 \times 10^{-7}$	-0.0230716	$\pm 1 \times 10^{-7}$	235.496	± 2	± 4.1
2ΟΛ	-1.2492959	$\pm 1 \times 10^{-7}$	-0.0273865	$\pm 1 \times 10^{-7}$	236.056	± 1	± 3.8
Επίπεδο αναφοράς	-1.2499331	$\pm 8 \times 10^{-7}$	-0.0257744	$\pm 6 \times 10^{-7}$	235.962	± 15	± 1.2

Πίνακας 6: Συντελεστές προσαρμοζόμενων επιπέδων μέσω MET

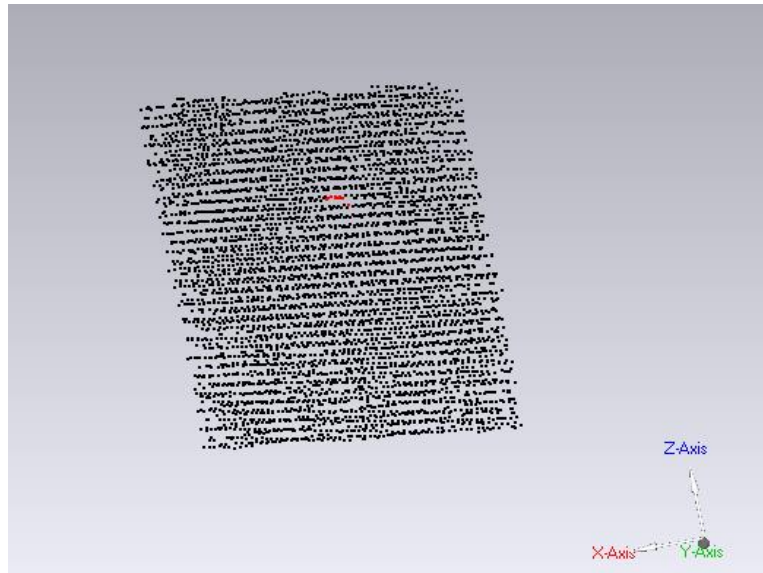
Table 6: Estimated coefficients of the planes that approximate the plate's surface - results obtained from the scanned data

Παρατηρείται ότι το α posteriori τυπικό σφάλμα όλων των επιλύσεων από δεδομένα σαρώσεων είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο της επίλυσης από τα τοποσταθερά, με εξαίρεση τη σάρωση A1.

5.4 ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΣΤΑ ΝΕΦΗ ΣΗΜΕΙΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ GEOMAGIC

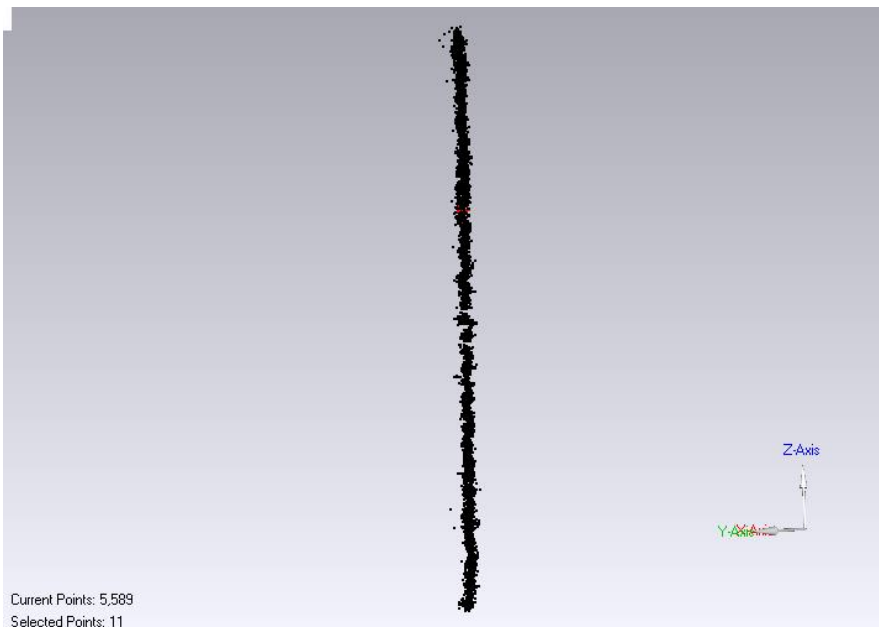
Σε αυτήν την παράγραφο παρουσιάζεται η επεξεργασία των αποτελεσμάτων των σαρώσεων και η προσαρμογή επιπέδου σε αυτά μέσω του λογισμικού GEOMAGIC.

Αρχικά δημιουργήθηκαν αρχεία που περιέχουν τις συντεταγμένες των σημείων από τις σαρώσεις με δομή ASCII, ώστε να εισαχθούν στο λογισμικό. Μετά την εισαγωγή τους παρουσιάζεται στην οθόνη το νέφος των σημείων όπως αυτά απεικονίζονται στον χώρο. Παρέχεται η δυνατότητα περιστροφής αυτού του νέφους γύρω από τους τρεις άξονες (X, Y και Z) του συστήματος συντεταγμένων.



Εικόνα19: Το νέφος των σημείων όπως φαίνεται από μια πλάγια όψη. Κάτω δεξιά φαίνονται οι άξονες του συστήματος αναφοράς.

Picture 19: The point cloud as it appears from a side point of view. Right below the axes of the reference system are depicted.



Εικόνα20: Τα σημεία αναπαριστούν επίπεδο το οποίο είναι παράλληλο με τον άξονα Z (Η καναβόπλακα βρίσκεται σε κατακόρυφη θέση).

Picture 20: The points represent a plane that is parallel with the Z axis (the plate is in vertical position)

Στη συνέχεια, τα βήματα που ακολουθήθηκαν είναι τα εξής:

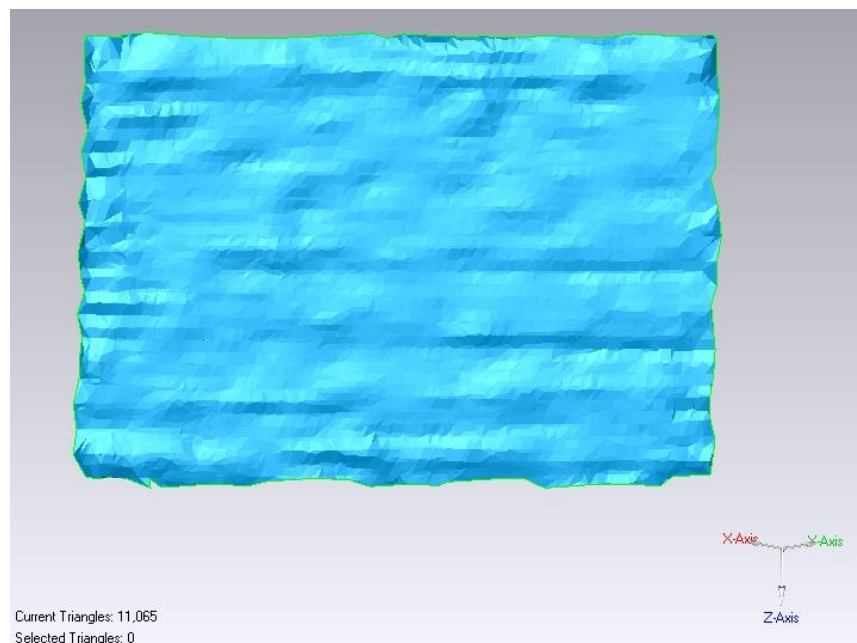
1. Αφού εισαχθούν τα σημεία στο λογισμικό δίνεται η εντολή μείωσης θορύβου (reduce noise). Με αυτήν την εντολή μεταβάλλεται αυτόματα η θέση ορισμένων σημείων που αποκλίνουν από τα υπόλοιπα. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει το όριο απόκλισης που επιθυμεί. Η συγκεκριμένη εντολή λειτουργεί καλύτερα με μεγάλο

πλήθος σημείων (περισσότερα από 10000), αλλά η επεξεργασία μπορεί να προχωρήσει και με λιγότερα.

2. Στη συνέχεια δίνεται η εντολή της δημιουργίας της μαθηματικής επιφάνειας (επίπεδο/κύλινδρος) που προσαρμόζεται βέλτιστα στα σημεία (fit to plane/cylinder). Το πλήθος των σημείων παραμένει το ίδιο, αλλά μεταβάλλεται η θέση τους ώστε να ανήκουν όλα σε μια επιφάνεια η οποία είναι εκείνη που προσαρμόζεται βέλτιστα στα αρχικά σημεία. Η συγκεκριμένη διαδικασία γίνεται με τη βοήθεια ενός αλγόριθμου ενσωματωμένου στο λογισμικό.

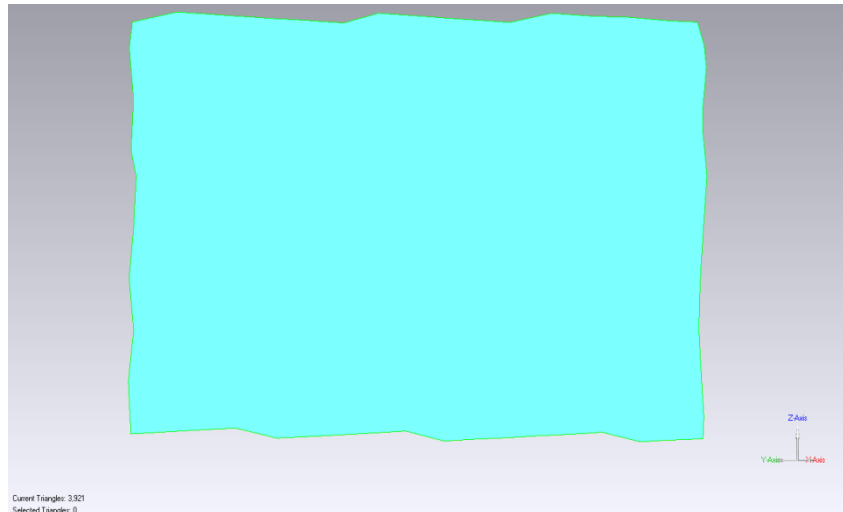
4. Το επόμενο βήμα είναι η εύρεση της εξίσωσης του βέλτιστου επιπέδου. Αυτό δεν είναι δυνατό άμεσα μέσω του GEOMAGIC αλλά γίνεται έπειτα από τη μεταφορά των σημείων στο AUTOCAD. Παίρνοντας τις συντεταγμένες τριών τυχαίων σημείων από το βέλτιστο επίπεδο, υπολογίζονται οι συντελεστές της εξίσωσης του επιπέδου με βάση το σύστημα 3x3 που προκύπτει.

5. Η τελευταία εντολή που δίνεται στο λογισμικό είναι η εντολή wrap. Η εντολή αυτή δημιουργεί την επιφάνεια που περιγράφεται από τα σημεία μέσω της τριγωνοποίησης, τη δημιουργία δηλαδή διαδοχικών τριγώνων με κορυφές τα σημεία. Με αυτόν τον τρόπο οπτικοποιείται η επιφάνεια που προσομοιώνεται στο νέφος των σημείων. Η εντολή αυτή είναι δυνατό να δοθεί ακόμα και πριν το βήμα 2, δηλαδή δεν είναι απαραίτητο τα σημεία στα οποία θα εκτελεστεί η συγκεκριμένη εντολή να ανήκουν σε αυστηρά μαθηματική επιφάνεια (εικ.21 και εικ.22).



Εικόνα 21: Το αποτέλεσμα της εντολής wrap στα σημεία από τις σαρώσεις όπως αυτά εισήχθησαν στο λογισμικό και χωρίς περαιτέρω επεξεργασία.

Picture 21: The output of the wrap command on the points cloud from the scanning as they were inserted without further processing.



Εικόνα 22: Το αποτέλεσμα της εντολής wrap στα σημεία που έχουν υποστεί επεξεργασία και ανήκουν στην επιφάνεια επιπέδου.

Fig 22: The output of the wrap command on the points belonging to a plane.

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί ποιοτικός έλεγχος της επεξεργασίας των δεδομένων των σαρώσεων και της προσαρμογής επιπέδου στα δεδομένα με το λογισμικό GEOMAGIC έγινε σύγκριση τριών επιπέδων που προέκυψαν από αυτό, με το επίπεδο αναφοράς που προέκυψε από τα τοποσταθερά. Τα επίπεδα αυτά επιλέχθηκε να είναι τα 1ΟΛ, 2ΟΛ και Κ3.

Οι συντελεστές των επιπέδων παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Σάρωση	α	β	γ
1ΟΛ(G)	-1.2482412	-0.0238643	235.595
2ΟΛ(G)	-1.2512666	-0.0259884	236.123
Κ3(G)	-1.2507189	-0.0280954	236.276
Επίπεδο Αναφοράς	-1.2499331	-0.0257744	235.962

Πίνακας 7: Συντελεστές προσαρμοζόμενων επιπέδων μέσω GEOMAGIC και οι αντίστοιχοι για το επίπεδο αναφοράς.

Table 7: Coefficients of the planes determined with GEOMAGIC software.

5.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΒΕΛΤΙΣΤΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΜΕ ΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

5.5.1 Βέλτιστα Επίπεδα από MET

Η πρώτη σύγκριση γίνεται μεταξύ των βέλτιστων επιπέδων που προέκυψαν μέσω της MET (πίνακας 6) και του επιπέδου αναφοράς. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται ο έλεγχος της ποιότητας των σαρώσεων (πόσο πλησιάζουν ή διαφέρουν τα επίπεδα που προκύπτουν από τις σαρώσεις σε σχέση με το επίπεδο αναφοράς).

Εκείνο που ενδιαφέρει είναι να υπολογιστούν οι αποστάσεις μεταξύ των επιπέδων σε συγκεκριμένες θέσεις της καναβόπλακας και να εξετασθεί αν είναι στατιστικά σημαντικές. Για αυτό το λόγο ακολουθήθηκε η εξής μεθοδολογία:

Με βάση την εξίσωση του κάθε επιπέδου (πίνακας 5) υπολογίστηκαν οι συντεταγμένες 126 σημείων κατανεμημένων σε όλη την πλάκα όσο το δυνατόν περισσότερο ομοιόμορφα.

Έπειτα υπολογίστηκαν οι αποστάσεις αυτών των σημείων από το επίπεδο αναφοράς με βάση τη σχέση της απόστασης σημείου από επίπεδο.

$$D = \frac{|κx_0 + λy_0 + μz_0 + ν|}{\sqrt{κ^2 + λ^2 + μ^2}} \quad (2)$$

Όπου $P_0(x_0, y_0, z_0)$ το σημείο και $κX + λY + μZ + ν = 0$ η εξίσωση του επιπέδου.

Πριν γίνουν οι υπολογισμοί μετασχηματίστηκε η εξίσωση του επιπέδου από τη μορφή $X = αY + βZ + γ$ (1) στη μορφή $κX + λY + μZ + ν = 0$.

Με αυτόν τον τρόπο βρέθηκε η απόσταση μεταξύ των δύο επιπέδων που συγκρίθηκαν, σε διάφορα σημεία και διαπιστώθηκε σε ποια σημεία της καναβόπλακας, η απόσταση αυτή παίρνει τις μέγιστες τιμές της και ποιες είναι αυτές. Επίσης υπολογίστηκε ο μέσος όρος αποχής των δυο επιπέδων. Σημειώνεται ότι οι αποστάσεις των επιπέδων στον πίνακα που ακολουθεί, αλλά και στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται όλες κατά απόλυτη τιμή.

Τα επίπεδα που συγκρίθηκαν με το επίπεδο αναφοράς ήταν τα εννέα αρχικά επίπεδα (τρία από κάθε στάση με τρεις διαφορετικές πυκνότητες σημείων) και τα δύο ενιαία επίπεδα μικρής και μεσαίας πυκνότητας (1ΟΛ και 2ΟΛ) Τα αποτελέσματα των συγκρίσεων παρουσιάζονται στον πίνακα 8.

Συγκρινόμενο Επίπεδο	Μέση απόσταση (mm)	Μέγιστη απόσταση (mm)
A1	1.2	3
Δ1	3.8	5
K1	0.9	2
A2	0.4	1
Δ2	1.6	2
K2	1.3	2
A3	1.0	2
Δ3	2.6	3
K3	0.6	1
1ΟΛ	1.4	2
2ΟΛ	0.6	1

Πίνακας 8: Αποστάσεις επιπέδων (MET) από επίπεδο αναφοράς.

Table 8: Distances between the estimated planes and the reference plane.

Με βάση τα στοιχεία του πίνακα 8 παρατηρείται ότι όλα σχεδόν τα επίπεδα (με εξαίρεση το Δ1 και το Δ3) έχουν μέσες αποστάσεις από το επίπεδο αναφοράς, της τάξης των 2mm. Η μέγιστη απόσταση που παρατηρείται είναι 5mm στο επίπεδο Δ1.

Στη συνέχεια γίνεται έλεγχος, ώστε να διαπιστωθεί αν οι αποστάσεις που παρουσιάζονται στον παραπάνω πίνακα, είναι στατιστικά σημαντικές για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

Προκειμένου να θεωρηθεί μια απόσταση στατιστικά σημαντική θα πρέπει $D > |z_{95}| \sigma_D$.

Εφαρμόζοντας το νόμο μετάδοσης σφαλμάτων στη σχέση 2 προκύπτει $\sigma_D = \pm 12/\sqrt{3}$ mm = ± 7 mm. Επομένως, για να είναι μια απόσταση στατιστικά σημαντική για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% πρέπει να είναι

$$D > 1.96 \cdot 7 \text{ mm} = 14 \text{mm}.$$

Παρατηρείται πως καμία απόσταση μεταξύ των επιπέδων δεν ξεπερνάει την τιμή αυτή, άρα οι αποστάσεις θεωρούνται στατιστικά μη σημαντικές.

Τέλος σημειώνεται πως δεν παρατηρείται κάποια συστηματική μείωση του μεγέθους των αποστάσεων όσο μεγαλώνει η πυκνότητα της σάρωσης, οπότε θεωρείται πως αυτή δεν επηρεάζει την ποιότητα των αποτελεσμάτων.

5.5.2 Βέλτιστα Επίπεδα από λογισμικό GEOMAGIC

Με την ίδια μεθοδολογία που εφαρμόστηκε στην προηγούμενη παράγραφο υπολογίζονται οι αποστάσεις των επιπέδων που προκύπτουν από το λογισμικό GEOMAGIC, από το επίπεδο αναφοράς. (Πίνακας 9).

Συγκρινόμενο Επίπεδο	Μέση απόσταση (mm)	Μέγιστη απόσταση (mm)
10Λ(G)	0.8	2
20Λ(G)	0.3	1
K3(G)	0.5	2

Πίνακας 9: Αποστάσεις επιπέδων (GEOMAGIC) από επίπεδο αναφοράς.

Table 9: Distances between the estimated planes (GEOMAGIC software) and the reference plane.

Και σε αυτήν την περίπτωση οι αποστάσεις παρουσιάζονται πολύ μικρές και μάλιστα ελάχιστα μικρότερες από τις αποχές των αντίστοιχων επιπέδων που προκύπτουν μέσω της MET.

Το αποτέλεσμα αυτό μπορεί να εξηγηθεί από τις ειδικές εντολές που δίνονται μέσω του λογισμικού (π.χ. Reduce noise) και βελτιώνουν την ποιότητα των παρατηρήσεων, αλλά και της τρισδιάστατης εποπτείας του νέφους των σημείων που δίνει τη δυνατότητα άμεσης διόρθωσης ή διαγραφής των σημείων με μεγάλες αποκλίσεις.

Ομοίως και σε αυτήν την περίπτωση και σύμφωνα με το στατιστικό έλεγχο της προηγούμενης παραγράφου για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, όλες οι αποστάσεις θεωρούνται στατιστικά μη σημαντικές.

5.6 ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΒΕΛΤΙΣΤΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ (ΑΠΟ MET)

Η παράγραφος αυτή ασχολείται με τη σύγκριση των βέλτιστων (μέσω MET) επιπέδων που προέκυψαν από την κάθε σάρωση, μεταξύ τους. Κατά αυτόν τον τρόπο ελέγχεται η ακρίβεια των μετρήσεων, καθώς συγκρίνουμε τα επίπεδα που απεικονίζουν την αμετακίνητη πλάκα μεταξύ τους και όχι με το επίπεδο αναφοράς.

Οι 9 σαρώσεις (3 κορυφές και με 3 διαφορετικές πυκνότητες σημείων) που έγιναν στην καναβόπλακα στην αρχική της θέση συγκρίνονται με βάση δύο κριτήρια:

1. Το πόσο απέχουν μεταξύ τους τα επίπεδα της διαφορετικής πυκνότητας σάρωσης
2. Το πόσο απέχουν τα επίπεδα των πλάγιων σκοπεύσεων με το επίπεδο της κάθετης σκόπευσης.

5.6.1 Συγκρίσεις Βάσει της Πυκνότητας Σάρωσης

Συνολικά έγιναν επτά συγκρίσεις μεταξύ επιπέδων από σαρώσεις διαφορετικής πυκνότητας. Συγκεκριμένα συγκρίθηκαν τα επίπεδα μεγάλης πυκνότητας από κάθε κορυφή (Α3, Δ3 και Κ3) με τα ενιαία επίπεδα μικρής και μεσαίας πυκνότητας (1ΟΛ και 2ΟΛ), αλλά και τα δύο τελευταία μεταξύ τους.

Τα αποτελέσματά φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Σύγκριση Επιπέδων	Μέση απόσταση (mm)	Μέγιστη απόσταση (mm)
1ΟΛ-2ΟΛ	2	3
1ΟΛ-Α3	2.3	4
1ΟΛ-Δ3	1.2	2
1ΟΛ-Κ3	0.9	2
2ΟΛ-Α3	0.4	1
2ΟΛ-Δ3	3.2	4
2ΟΛ-Κ3	1.2	2

Πίνακας 10: Αποστάσεις μεταξύ επιπέδων από διαφορετική πυκνότητας σάρωσης.

Table 10: Distances between planes estimated from scans of different density.

Παρατηρείται ότι οι αποστάσεις μεταξύ των επιπέδων αυτών είναι πολύ μικρές-της τάξης των 2mm κατά μέσο όρο. Η μέγιστη απόσταση που παρατηρείται είναι 4mm.

Γίνεται και σε αυτήν την περίπτωση έλεγχος της στατιστικής σημαντικότητας των αποστάσεων σύμφωνα με την παράγραφο 5.5.1.

Οι αποστάσεις που προέκυψαν είναι στατιστικά μη σημαντικές για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

5.6.2 Συγκρίσεις βάσει της διεύθυνσης του σκοπευτικού άξονα

Συνολικά γίνονται εννιά συγκρίσεις. Συγκρίνονται τα τρία επίπεδα από κάθε κορυφή μεταξύ τους στη μικρή, στη μεσαία και στη μεγάλη πυκνότητα.

Σύγκριση Επιπέδων	Μέση απόσταση(mm)	Μέγιστη απόσταση(mm)
A1-Δ1	4.8	8
A1-K1	1.9	4
Δ1-K1	2.9	3
A2-Δ2	2.0	3
A2-K2	0.9	1
Δ2-K2	2.9	4
A3-Δ3	3.6	4
A3-K3	1.6	3
Δ3-K3	2.0	2

Πίνακας 11: Αποστάσεις μεταξύ επιπέδων από διαφορετική κορυφή της όδευσης.

Table 11: Distances between planes estimated from scans from the three traverse points

Σε αυτήν την περίπτωση παρατηρούνται μεγαλύτερες τιμές στις αποστάσεις από ότι στον προηγούμενο πίνακα. Ειδικότερα η μεγαλύτερη μέση απόσταση ανάμεσα σε δύο επίπεδα είναι 4.8 mm.

Όπως και στις προηγούμενες παραγράφους, οι αποστάσεις είναι στατιστικά μη σημαντικές για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

Σύμφωνα με τα παραπάνω και παρότι οι αποστάσεις μεταξύ των συγκρινόμενων επιπέδων είναι στατιστικά μη σημαντικές, οδηγούμαστε στο συμπέρασμα πως οι πλάγιες σκοπεύσεις επηρεάζουν την ακρίβεια της σάρωσης, δεδομένου ότι οι αποχές είναι μεγαλύτερες από αυτές των κάθετων σκοπεύσεων. Για το λόγο αυτό πρέπει να αποφεύγονται οι πλάγιες σκοπεύσεις εφόσον φυσικά αυτό είναι εφικτό.

5.6.3 Συγκρίσεις επιπέδων από MET και GEOMAGIC

Σε αυτήν την παράγραφο γίνονται οι συγκρίσεις μεταξύ των επιπέδων που προέκυψαν από την MET με τα αντίστοιχα που προέκυψαν μέσω του λογισμικού GEOMAGIC. Ο σκοπός είναι να ελεγχθεί το κατά πόσο διαφέρουν οι δύο μεθοδολογίες στο αποτέλεσμα που προκύπτει (διαφορά στατιστικά σημαντική), και να διαπιστωθεί αν η επεξεργασία και τα αποτελέσματα που προκύπτουν βάσει του GEOMAGIC μπορούν να θεωρηθούν αξιόπιστα.

Γίνονται τρεις διαφορετικές συγκρίσεις και συγκεκριμένα μεταξύ των αντίστοιχων επιπέδων μικρής, μεσαίας και μεγάλης πυκνότητας. Τα συγκρινόμενα επίπεδα είναι τα 10Λ, 20Λ και K3 με τα αντίστοιχα 10Λ(G), 20Λ(G) και K3(G).

Οι αποστάσεις που προκύπτουν είναι οι εξής:

Σύγκριση Επιπέδων	Μέση απόσταση (mm)	Μέγιστη απόσταση (mm)
10Λ-10Λ(G)	0	1
20Λ-20Λ(G)	0	1
K3-K3(G)	1	1

Πίνακας 12: Αποστάσεις μεταξύ επιπέδων που προκύπτουν από MET και των αντίστοιχων από το GEOMAGIC.

Table 12: Distances between the planes estimated through adjustment and those estimated from GEOMAGIC software.

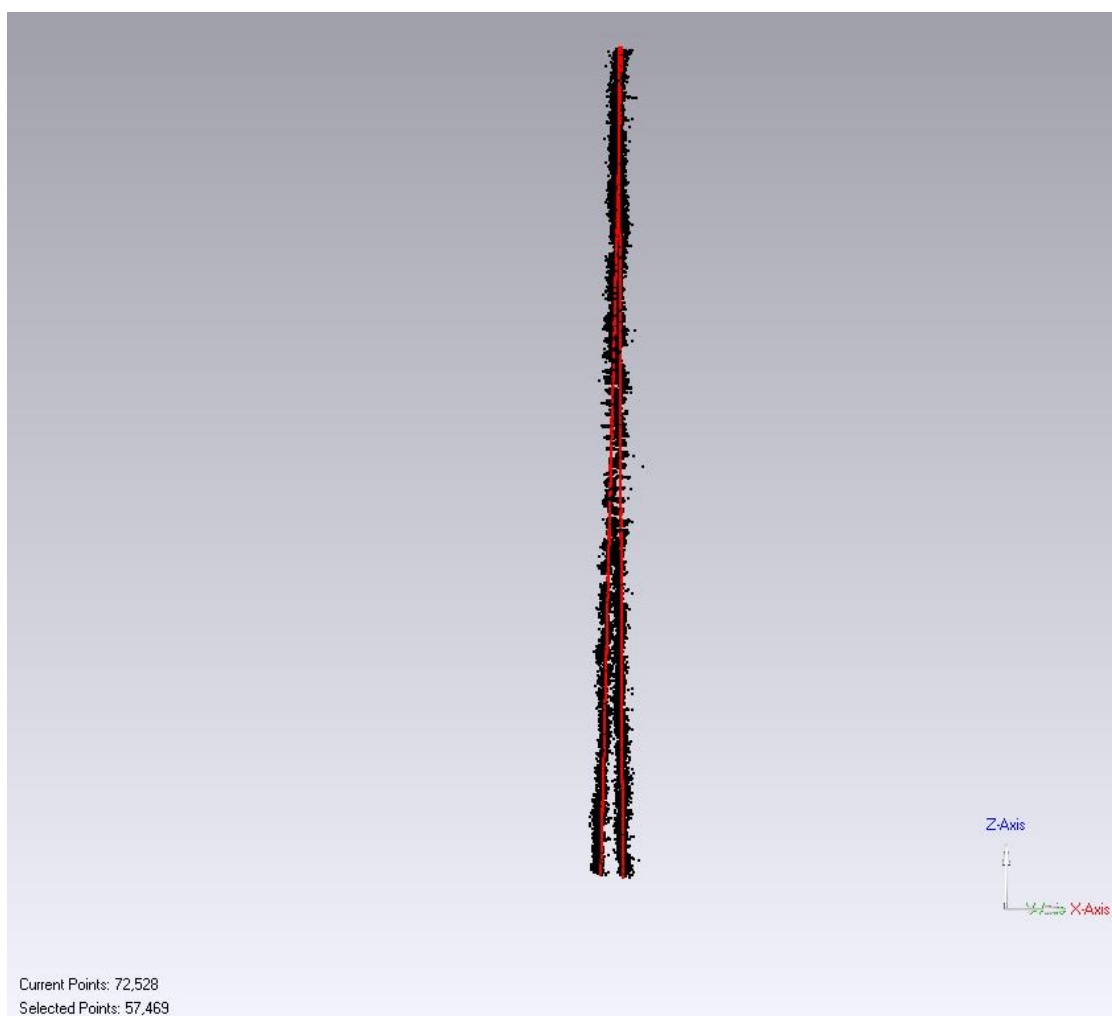
Οι αποστάσεις των επιπέδων σε καμία περίπτωση δεν ξεπερνούν το 1mm. Επομένως μπορεί να θεωρηθεί πως τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων προσαρμογής διαφέρουν ελάχιστα μεταξύ τους και παρ' ότι η διαδικασία μέσω MET είναι αυστηρά ελεγχόμενη, θα πρέπει να αναφερθεί ότι, η χρήση του Geomagic για την επεξεργασία και την χρήση των δεδομένων των σαρώσεων μπορεί να δώσει, όπως διαπιστώνεται, αξιόπιστα αποτελέσματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ ΤΗΣ ΚΑΝΑΒΟΠΛΑΚΑΣ

6.1 ΓΕΝΙΚΑ

Αφού ολοκληρώθηκαν οι μετρήσεις στο πρώτο στάδιο, δόθηκε στην καναβόπλακα κλίση που αντιστοιχεί σε μετακίνηση 22mm στο κάτω άκρο της και επαναλήφθηκαν οι μετρήσεις και η επεξεργασία τους με τον ίδιο ακριβώς τρόπο (τρεις σαρώσεις διαφορετικής πυκνότητας από την κάθε κορυφή Α, Δ και Κ) στην μετακινημένη πλέον πλάκα. Όπως έχει αναφερθεί, η καναβόπλακα θεωρείται απαραμόρφωτη.

Ο προσδιορισμός των επιπέδων που προσαρμόζονται βέλτιστα σε κάθε σάρωση έγινε πάλι με δύο τρόπους (MET και GEOMAGIC), ενώ το λογισμικό GEOMAGIC χρησιμοποιήθηκε και για την οπτικοποίηση της διαφοράς του αρχικού με το μετακινημένο επίπεδο (εικ.23).



Εικόνα 23: Τα νέφη σημείων από το αρχικό και το μετακινημένο επίπεδο της καναβόπλακας. Με κόκκινο χρώμα φαίνονται τα βέλτιστα επίπεδα όπως αυτά προέκυψαν από το GEOMAGIC. Είναι εμφανής η μετακίνηση στο κάτω άκρο της πλάκας.

Picture 23: The point clouds of the initial and the moved plate. With red colour are depicted the estimated planes as they occurred from GEOMAGIC. The movement of the plate is easily recognized at the lower end of the plate

Στη συνέχεια έγιναν συγκρίσεις των επιπέδων που προέκυψαν με τη MET, με το επίπεδο αναφοράς για να διαπιστωθεί αν ανιχνεύεται η μετακίνηση που επιβλήθηκε στην καναβόπλακα.

Τέλος προσδιορίστηκαν οι τομές των συγκρινόμενων επιπέδων αλλά και του επιπέδου αναφοράς με οριζόντιο επίπεδο με υψόμετρο ίσο με αυτό της βάσης της πλάκας, ώστε να διαπιστωθεί αν δημιουργούνται παράλληλες ευθείες με απόσταση 22mm.

6.2 ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ (ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ)

6.2.1 Μέσω MET

Σε αυτήν την παράγραφο παρουσιάζεται η επεξεργασία των δεδομένων των σαρώσεων της μετακινημένης καναβόπλακας και προσαρμόζονται τα αντίστοιχα επίπεδα μέσω της MET.

Η ονομασία των επιπέδων είναι ίδια με πριν, προσθέτοντας την κατάληξη -M που δηλώνει τη μετακίνηση. Τα στοιχεία των νέων επιπέδων δίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Σάρωση	α	σ_α	β	σ_β	γ	$\sigma_\gamma(\text{mm})$	$\sigma_0(\text{mm})$
A1-M	-1.2447232	$\pm 9 \times 10^{-7}$	0.0146376	$\pm 5 \times 10^{-7}$	231.331	± 16	± 3.8
Δ 1-M	-1.2540414	$\pm 5 \times 10^{-7}$	0.0210291	$\pm 3 \times 10^{-7}$	231.660	± 8	± 4.3
K1-M	-1.2495137	$\pm 4 \times 10^{-7}$	0.0219132	$\pm 3 \times 10^{-7}$	231.100	± 8	± 4.2
A2-M	-1.2465165	$\pm 8 \times 10^{-8}$	0.0177052	$\pm 6 \times 10^{-8}$	231.208	± 1	± 3.7
Δ 2-M	-1.2530417	$\pm 8 \times 10^{-8}$	0.0214591	$\pm 6 \times 10^{-8}$	231.512	± 1	± 3.2
K2-M	-1.2455540	$\pm 4 \times 10^{-8}$	0.0224157	$\pm 3 \times 10^{-8}$	230.638	± 0.7	± 3.6
A3-M	-1.2491461	$\pm 2 \times 10^{-8}$	0.0224635	$\pm 1 \times 10^{-8}$	231.002	± 0.3	± 3.3
Δ 3-M	-1.2509558	$\pm 1 \times 10^{-8}$	0.0215833	$\pm 1 \times 10^{-8}$	231.284	± 0.2	± 3.0
K3-M	-1.2468961	$\pm 2 \times 10^{-8}$	0.0237299	$\pm 1 \times 10^{-8}$	230.644	± 0.3	± 3.9
1ΟΛ-M	-1.2526163	$\pm 2 \times 10^{-7}$	0.0200957	$\pm 1 \times 10^{-7}$	231.605	± 4	± 4.6
2ΟΛ-M	-1.2483829	$\pm 2 \times 10^{-8}$	0.0203430	$\pm 2 \times 10^{-8}$	231.136	± 0.5	± 4.0

Πίνακας 13: Συντελεστές προσαρμοζόμενων επιπέδων στη μετακινημένη καναβόπλακα μέσω MET.

Table 13: Coefficients of the planes of the moved plate estimated using least squares method.

Οι συντελεστές είναι όλοι στατιστικά σημαντικοί και σε αυτήν την περίπτωση. Συγκρίνοντας τους πίνακες 6 και 13 είναι εμφανής η διαφορά των συντελεστών β και γ σε σχέση με τους αντίστοιχους για το αρχικό επίπεδο της πλάκας γεγονός που υποδηλώνει ότι πρόκειται για διαφορετικά επίπεδα.

6.2.2 Μέσω λογισμικού GEOMAGIC

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσαρμογές των επιπέδων ήταν τα εξής:

Σάρωση	α	β	γ
1ΟΛ-M(G)	-1.2508978	0.0215283	231.283
2ΟΛ-M(G)	-1.2488870	0.0205865	231.167
K3-M(G)	-1.2475776	0.0236574	230.721

Πίνακας 14: Συντελεστές προσαρμοζόμενων επιπέδων στη μετακινημένη καναβόπλακα μέσω GEOMAGIC.

Table 14: Coefficients of the planes of the moved plate from GEOMAGIC software.

6.3 ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ

Σε αυτήν την ενότητα γίνεται η σύγκριση του επιπέδου αναφοράς με τα επίπεδα που προέκυψαν από τις σάρωσεις μετά τη μετακίνηση της καναβόπλακας και η ανάλυση των αποτελεσμάτων όσον αφορά την δυνατότητα ανίχνευσης της μετακίνησης

Συγκεκριμένα μελετώνται οι αποστάσεις μεταξύ του επιπέδου αναφοράς και του κάθε επιπέδου που προκύπτει από τη σάρωση της μετακινημένης καναβόπλακας. Η διαδικασία είναι ίδια με αυτήν που ακολουθήθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο 5.

Η μέγιστη μετακίνηση αναμένεται να είναι 22mm και να παρουσιασθεί στη βάση της πλάκας. Αυτή η μετακίνηση αναμένεται να μειώνεται όσο πλησιάζουμε στην κορυφή της πλάκας όπου η μετακίνηση αναμένεται να είναι μηδενική.

Τα επίπεδα που συγκρίνονται με το επίπεδο αναφοράς επιλέχθηκαν να είναι εκείνα που προέκυψαν μέσω της MET. Το αποτέλεσμα δεν θεωρείται πως θα ήταν διαφορετικό αν είχαν χρησιμοποιηθεί τα αντίστοιχα επίπεδα που προέκυψαν μέσω του λογισμικού Geomagic καθώς οι διαφορές ανάμεσα στις δύο μεθόδους είναι στατιστικά μη σημαντικές. (παράγραφος 5.6.2).

Οι συγκρίσεις διακρίνονται πάλι στις δύο κατηγορίες:

- βάσει της πυκνότητας σάρωσης
- βάσει της διεύθυνσης της σκόπευσης

6.3.1 Σύγκριση βάσει της πυκνότητας σάρωσης

Μελετώνται τρία επίπεδα και οι μετακινήσεις τους σε σχέση με το επίπεδο αναφοράς. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα. Επιλέχθηκαν να συγκριθούν τα ενιαία επίπεδα της μικρής και της μέσης πυκνότητας σημείων αλλά και το επίπεδο μεγάλης πυκνότητας από την κορυφή K.

Συγκρινόμενο επίπεδο	Μέγιστη μετακίνηση (mm)	Υψόμετρο μηδενικής μετακίνησης (m)	Μετακίνηση στη βάση (mm)	Μετακίνηση στην κορυφή (mm)
1ΟΛ-Μ	21	101.10	21	-1
2ΟΛ-Μ	22	101.15	22	0
Κ3-Μ	22	101.10	22	-2

Πίνακας 15: Μετακινήσεις επιπέδων σε σύγκριση με το επίπεδο αναφοράς.

Table 15: Displacements of the estimated planes from the reference one.

Σε αυτήν την περίπτωση οι μετακινήσεις δεν παρουσιάζονται κατά απόλυτη τιμή, καθώς αυτές αναμένονται να παρατηρηθούν μόνο προς τη φορά που μετακινήθηκε η κάτω ακμή της πλάκας. Αυτή ορίζεται και η θετική φορά, ενώ σε περίπτωση που παρατηρείται μετακίνηση προς την αντίθετη φορά τότε εννοείται ως αρνητική μετακίνηση.

Στα αποτελέσματα, και συγκεκριμένα στις συγκρίσεις των 1ΟΛ-Μ και Κ3-Μ, παρατηρείται πως η θέση του επιπέδου στην οποία η μετακίνηση είναι μηδενική βρίσκεται πιο κάτω από την άνω έδρα της πλάκας όπου $H = 101.16\text{m}$. Αυτό σημαίνει πως τα δύο συγκρινόμενα επίπεδα τέμνονται σε αυτό το υψόμετρο, ενώ πάνω από αυτό το διάνυσμα της μετακίνησης αλλάζει φορά. Όσο πιο κοντά στην άνω έδρα ($H = 101.16\text{m}$) εμφανίζεται η μηδενική μετακίνηση τόσο ορθότερο είναι το αποτέλεσμα.

Όπως και στην παράγραφο 5.5.1, γίνεται ο έλεγχος της στατιστικής σημαντικότητας των αποχών. Τα επίπεδα που συγκρίθηκαν ήταν το επίπεδο αναφοράς, με τα επίπεδα 1ΟΛ-Μ, 2ΟΛ-Μ και Κ3-Μ που έχουν προκύψει από τις σαρώσεις.

Όμοια με τα προηγούμενα, ο έλεγχος της στατιστικής σημαντικότητας γίνεται για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% και οι αποχές είναι στατιστικά σημαντικές εφόσον υπερβαίνουν την τιμή των 14mm.

Οι τιμές της μετακίνησης στη βάση της πλάκας είναι μεγαλύτερες από την τιμή αυτή και επομένως η μετακίνηση που δόθηκε στο κάτω άκρο της πλάκας θεωρείται στατιστικά σημαντική για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% .

6.3.2 Σύγκριση βάσει της διεύθυνσης της σκόπευσης

Τα επίπεδα που επιλέχθηκαν να συγκριθούν με το επίπεδο αναφοράς είναι τα τρία επίπεδα της μεγάλης πυκνότητας. Τα αποτελέσματα δίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Συγκρινόμενο επίπεδο	Μέγιστη μετακίνηση (mm)	Ύψος μηδενικής μετακίνησης (m)	Μετακίνηση στη βάση (mm)	Μετακίνηση στην κορυφή (mm)
Α3-Μ	23	101.16	22	0
Δ3-Μ	18	101.00	19	-3
Κ3-Μ	22	101.10	22	-2

Πίνακας 16: Μετακινήσεις επιπέδων σε σύγκριση με το επίπεδο αναφοράς.

Table 16: Displacements of the estimated planes with respect to the reference one.

Παρατηρείται πως τα επίπεδα που αποδίδουν πιστότερα τη μετακίνηση που δόθηκε είναι εκείνα της κορυφής Α και Κ.

Σύμφωνα με τα συμπεράσματα των δυο τελευταίων κεφαλαίων, τα αποτελέσματα από τους πίνακες 10, 11, 15 και 16, και σε συνδυασμό με τη συσχέτιση πυκνότητας σάρωσης - χρόνου (§4.3.2), οι καλύτερες προτεινόμενες συνθήκες σάρωσης για μια επιφάνεια στο Ναό του Ηφαίστου είναι να γίνει σάρωση μέσης πυκνότητας, ώστε να μην υπάρξει σπατάλη χρόνου, και όσο το δυνατόν αποφυγή των έντονα πλάγιων σαρώσεων. Προτείνεται η αποφυγή της μικρής πυκνότητας σάρωσης (1 σημείο ανά 10 χιλιοστά) λόγω της αδρής επιφάνειας του θόλου του ναού.

6.4 ΤΟΜΕΣ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΜΕ ΤΟ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ

Σε αυτήν την παράγραφο υπολογίστηκαν οι τομές του επιπέδου αναφοράς και των πέντε επιπέδων (1ΟΛ-Μ, 2ΟΛ-Μ, Α3-Μ, Δ3-Μ και Κ3-Μ) με το οριζόντιο επίπεδο που διέρχεται από την κάτω έδρα της καναβόπλακας. Το επίπεδο αυτό έχει υψόμετρο $H=100.40m$ όπως προκύπτει από τις ελάχιστες τιμές των υψομέτρων των σαρωμένων σημείων.

Οι τομές που προκύπτουν είναι οριζόντιες ευθείες και οι εξισώσεις τους παρουσιάζονται στον πίνακα 17.

Επίπεδο	Εξίσωση
1ΟΛ-Μ	$X = -1.2526163 \cdot Y + 233.623$
2ΟΛ-Μ	$X = -1.2483829 \cdot Y + 233.178$
Α3-Μ	$X = -1.2491461 \cdot Y + 233.257$
Δ3-Μ	$X = -1.2509558 \cdot Y + 233.451$
Κ3-Μ	$X = -1.2468961 \cdot Y + 233.026$
ΕΠΙΠΕΔΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	$X = -1.2499331 \cdot Y + 233.374$

Πίνακας 17: Εξισώσεις ευθειών τομών.

Table 17: Equations of the lines expressing the section of the estimated planes with an horizontal one.

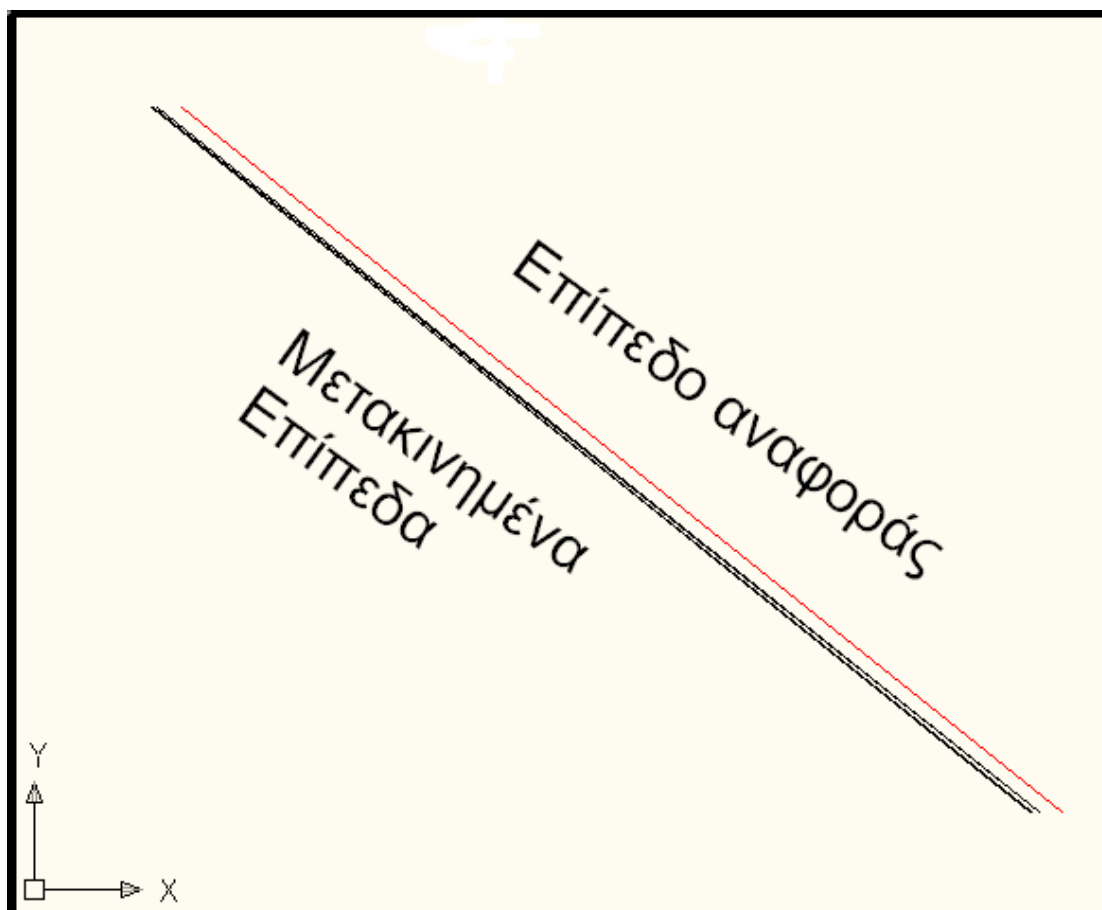
Στον πίνακα 18 φαίνονται τα ζεύγη των ακραίων σημείων των ευθειών στα όρια της πλάκας οι συντεταγμένες των οποίων υπολογίστηκαν από τις εξισώσεις του πίνακα 17.

Επίπεδο	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂
1ΟΛ-Μ	105.004	102.680	103.977	103.500
2ΟΛ-Μ	104.994	102.680	103.970	103.500
Α3-Μ	104.995	102.680	103.970	103.500
Δ3-Μ	105.003	102.680	103.977	103.500
Κ3-Μ	104.995	102.680	103.972	103.500
ΕΠΙΠΕΔΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	105.031	102.680	104.006	103.500

Πίνακας 18: Άκρα των ευθειών - τομών στα όρια της πλάκας.

Table 18: Endpoints of the line sections at the plate's borders.

Τέλος στο σχήμα 2 φαίνονται οι ευθείες που προκύπτουν από τις τομές των επιπέδων σχηματικά.



Σχήμα 2: Ευθείες τομών.

Figure 2: Cross sections of planes.

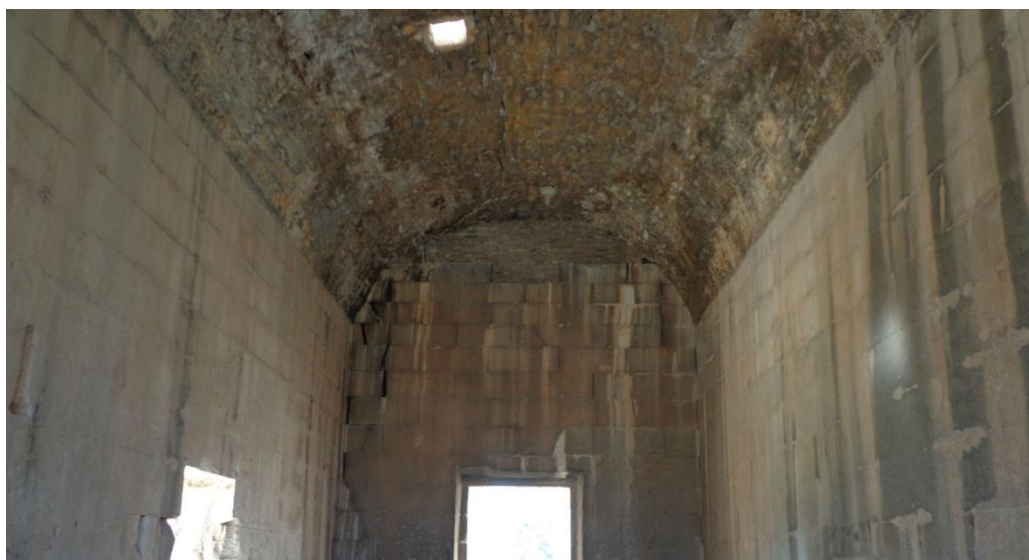
Παρατηρείται πως από τις τομές των επιπέδων με το οριζόντιο επίπεδο στη στάθμη $H=100.40\text{m}$, δημιουργούνται παράλληλες ευθείες (με μαύρο χρώμα) με απόσταση της τάξης των 22 mm από την αντίστοιχη τομή του επιπέδου αναφοράς (με κόκκινο χρώμα). Στο σχήμα 2 οι μαύρες γραμμές απέχουν 4 χιλιοστά στη μέγιστη μεταξύ τους απόσταση, ενώ απέχουν από 19 μέχρι 23 χιλιοστά από την τομή του επιπέδου αναφοράς. Τα στοιχεία αυτά προσδιορίστηκαν με αναλυτική γεωμετρία. Οι διαφορές των 4 χιλιοστών είναι στατιστικά μη σημαντικές και το αποτέλεσμα κρίνεται ικανοποιητικό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΔΙΚΤΥΟ ΕΛΕΓΧΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΤΟΥ ΘΟΛΟΥ ΚΑΙ ΤΩΝ ΤΟΙΧΩΝ ΤΟΥ ΣΗΚΟΥ ΤΟΥ ΝΑΟΥ

7.1 ΓΕΝΙΚΑ

Όπως έχει ήδη αναφερθεί η ανίχνευση των παραμορφώσεων των τοίχων του σηκού και του θόλου θα γίνει μέσω σαρώσεων με τον εικονοσταθμό IS01. Προκειμένου να πραγματοποιηθούν οι σαρώσεις απαιτείται η χρήση δικτύου οριζοντίου ελέγχου. Στην ευρύτερη περιοχή, περιμετρικά του ναού και επί του πτερού είχε ήδη εγκατασταθεί δίκτυο οριζοντίου ελέγχου 8 κορυφών στο πλαίσιο προηγούμενων Διπλωματικών εργασιών [Μαρκάκη, 2011, Μάκαρη 2012]. Έγινε πύκνωση με την ίδρυση 2 νέων κορυφών εντός του σηκού για τις ανάγκες των σαρώσεων. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η μέτρηση των στοιχείων του δικτύου και η επίλυση του. Τέλος προσδιορίζονται τα υψόμετρα των κορυφών του δικτύου με τη μέθοδο της γεωμετρικής χωροστάθμησης.

7.2 ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ



Εικόνα 24: Εσωτερικό μέρος του ναού του Ηφαίστου (δυτικός τοίχος, θόλος, πλάγιοι τοίχοι)

Picture 24: Inner part of the temple of Hephaestus (western wall, dome and southern-northern walls).

Πραγματοποιήθηκε αναγνώριση της περιοχής μελέτης ώστε να εντοπισθούν όλες οι κορυφές του δικτύου ελέγχου που ιδρύθηκε στα πλαίσια της προγενέστερης ΔΕ στο ναό [Μαρκάκη, 2011, Μάκαρη 2012], και να επιλεγούν οι καταλληλότερες θέσεις για την ίδρυση των κορυφών εντός του ναού.

7.3 ΔΙΚΤΥΟ ΕΛΕΓΧΟΥ

Το προϋπάρχον δίκτυο ελέγχου της περιοχής μελέτης περιλαμβάνει 8 κορυφές, 6 στον περίβολο του ναού, μία στον πρόναο και μία στον οπισθόναο (εικ.25).



Εικόνα 25: Αρχικό δίκτυο.

Fig 25: Initial network.

Ο σηκός του Ναού του Ηφαίστου, είναι σχήματος ορθογωνίου παραλληλόγραμμου με διαστάσεις περίπου 16m μήκος και 6m πλάτος. Καθώς οι εσωτερικές του επιφάνειες (θόλος και πλάγιοι τοίχοι) έχουν μεγάλο μήκος κρίθηκε σκόπιμη η ίδρυση δυο νέων κορυφών εντός του σηκού, ώστε να αποφευχθούν έντονα πλάγιες σαρώσεις.

Οι δύο νέες κορυφές επιλέχθηκε να βρίσκονται περίπου επί του διαμήκη άξονα συμμετρίας του ναού και μάλιστα σε τέτοια θέση, ώστε να τον χωρίζουν σε τρία περίπου ίσα μέρη.

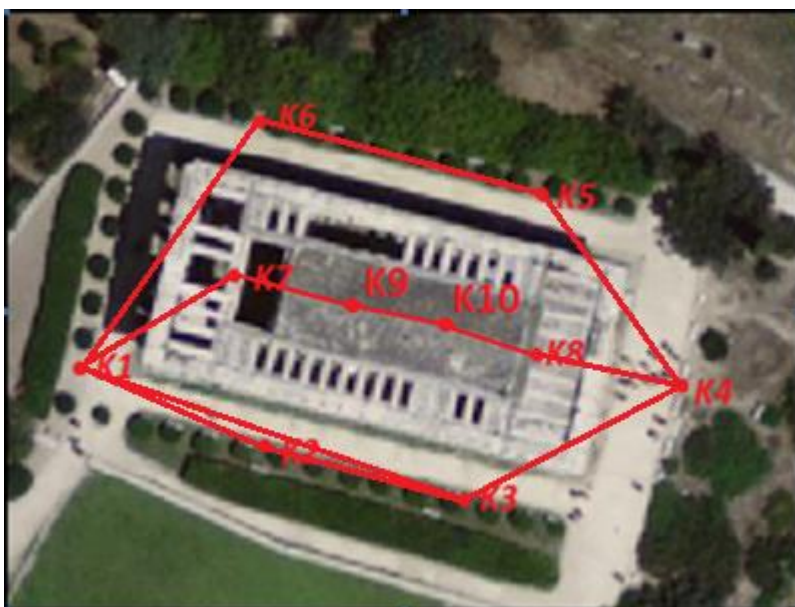


Εικόνα 26: Δίκτυο με τις νέες κορυφές K9 και K10.

Fig 26: Network with the new points K9 and K10.

Οι νέες αυτές κορυφές υλοποιήθηκαν με μικρά καρφάλια στο χωμάτινο δάπεδο του ναού.

7.4 ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ



Εικόνα 27: Μετρούμενα στοιχεία του νέου δικτύου.

Fig 27: Measurements of the new network.

Οι μετρήσεις των στοιχείων του δικτύου οριζόντιου ελέγχου έγιναν με τον εικονοσταθμό IS201.

Οι τελικές τιμές για τις οριζόντιες γωνίες και τις οριζόντιες αποστάσεις του δικτύου, είναι οι εξής:

α/α	Γωνία	(Grad)	α/α	Από-προς	D(m)
1	K6-K1-K7	43.1985	1	K1-K2	15.919
2	K7-K1-K3	44.3600	2	K2-K3	13.213
3	K3-K1-K2	2.7234	3	K3-K4	16.491
4	K1-K2-K3	193.9854	4	K4-K5	16.185
5	K2-K3-K1	3.2820	5	K5-K6	24.219
6	K1-K3-K4	152.4689	6	K6-K1	19.863
7	K3-K4-K8	44.4326	7	K1-K7	15.215
8	K8-K4-K5	42.6929	8	K7-K8	20.669
9	K4-K5-K6	157.3932	9	K8-K4	8.904
10	K5-K6-K1	115.4487	10	K1-K3	29.097
11	K8-K7-K1	158.7188	11	K7-K9	6.124
12	K7-K8-K4	199.9769	12	K9-K10	9.041
13	K1-K7-K9	156.8059	13	K10-K8	5.522
14	K7-K9-K10	200.4989			
15	K9-K10-K8	205.8121			
16	K10-K8-K4	195.6198			

Πίνακας 19: Τελικές τιμές οριζοντίων γωνιών και οριζοντίων αποστάσεων του δικτύου.

Table 19: Measured horizontal angles and distances of the network.

7.5 ΜΕΤΡΗΣΗ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΚΟΡΥΦΩΝ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Τα υψόμετρα των κορυφών του δικτύου προσδιορίστηκαν με τη μέθοδο της διπλής γεωμετρικής χωροστάθμησης.

Η χωροστάθμηση έγινε με τον ψηφιακό χωροβάτη Sprinter50 της Leica (εικ.28) ακριβείας σύμφωνα με τον κατασκευαστή $\pm 1.5\text{mm}/\sqrt{\text{km}}$, απευθείας ανάγνωση 0.1mm και κωδικοποιημένες σταδίες.



Εικόνα 28: Ψηφιακός χωροβάτης Sprinter50 της Leica.

Fig 28: Digital level Leica Sprinter50.

Μετρήθηκαν οι υψομετρικές διαφορές ανάμεσα στις διαδοχικές κορυφές του κλειστού βρόχου K1-K2-K3-K4-K5-K6-K1 και επιπλέον στην όδευση K1-K7-K9-K10-K8-K4. Το δίκτυο συνδέθηκε με Reper της περιοχής ($H_R = 100\text{m}$) μέσω της κορυφής K3.



Εικόνα 29: Δίκτυο κατακόρυφου ελέγχου.

Fig 29: Vertical control network.

Στον πίνακα 29 δίνονται οι μετρημένες υψομετρικές διαφορές μεταξύ των κορυφών και οι αβεβαιότητές τους.

Κορυφές	$\Delta H_{aller}(m)$	$\sigma_{\Delta H}(mm)$	$\Delta H_{retour}(m)$	$\sigma_{\Delta H}(mm)$	$\Delta H_{τελικό}(m)$	$\sigma_{\Delta H}(mm)$
R-K3	-0.3862	±1.4	0.3859	±1.4	-0.3861	±1
K1-K2	0.0884	±0.8	-0.0880	±0.8	0.0882	±0.6
K2-K3	-0.0331	±0.8	0.0328	±0.8	-0.0330	±0.6
K3-K4	-0.3336	±0.8	0.3333	±0.8	-0.3335	±0.6
K4-K5	0.3027	±0.8	-0.3030	±0.8	0.3029	±0.6
K5-K6	-0.0109	±0.8	0.0108	±0.8	-0.0109	±0.6
K6-K1	-0.0144	±0.8	0.0144	±0.8	-0.0144	±0.6
K1-K7	1.2310	±0.8	-1.2313	±0.8	1.2312	±0.6
K7-K9	-0.0517	±0.8	0.0519	±0.8	-0.0518	±0.6
K9-K10	0.0236	±0.8	-0.0230	±0.8	0.0233	±0.6
K10-K8	-0.0736	±0.8	0.0738	±0.8	-0.0737	±0.6
K8-K4	-1.4088	±0.8	1.4082	±0.8	-1.4085	±0.6

Πίνακας 20: Υψομετρικές διαφορές μεταξύ των κορυφών του δικτύου και οι αβεβαιότητές τους.

Table 20: Height differences between the network points together with their standard deviations.

7.6 ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ - ΕΠΙΛΥΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

Η επίλυση έγινε με τη μέθοδο των έμμεσων παρατηρήσεων με τις ίδιες αρχικές συνθήκες με αυτές των προηγούμενων επιλύσεων. Σταθερή κορυφή θεωρήθηκε η K1 στην οποία δόθηκαν συντεταγμένες $X=100m$ και $Y=100m$, ενώ σταθερή διεύθυνση θεωρήθηκε η K1-K6 με γωνία διεύθυνσης $\alpha_{K1-K6} = 100^g$. Οι προσωρινές συντεταγμένες των κορυφών είναι οι εξής:

Κορυφή	X(m)	Y(m)
K1	100.000	100.000
K2	102.421	84.266
K3	105.653	71.456
K4	118.990	61.757
K5	125.686	76.492
K6	119.864	100.000
K7	111.845	90.450
K8	116.834	70.392
K9	113.144	84.465
K10	115.131	75.645

Πίνακας 21: Προσωρινές συντεταγμένες των κορυφών

Table 21: Coordinates of the points.

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται οι τελικές συντεταγμένες X και Y των κορυφών του νέου δικτύου μετά τη συνόρθωση, μαζί με τις αβεβαιότητές τους.

Κορυφή	X(m)	σ_x (mm)	Y(m)	σ_y (mm)
K1	100.000	± 0	100.000	0
K2	102.420	± 1	84.265	± 5
K3	105.650	± 2	71.453	± 5
K4	118.985	± 4	61.755	± 5
K5	125.681	± 5	76.491	± 6
K6	119.861	± 4	100.000	0
K7	111.847	± 4	90.447	± 3
K8	116.834	± 4	70.39	± 6
K9	113.145	± 5	84.47	± 6
K10	115.132	± 4	75.651	± 6

Πίνακας 22: Τελικές συντεταγμένες κορυφών του δικτύου και οι αβεβαιότητες τους.

Table 22: Coordinates of the network points after the adjustment together with their standard deviations.

Το a posteriori τυπικό σφάλμα της μονάδας βάρους προκύπτει

$$\hat{\sigma}_0 = \pm 1.09$$

Στα αποτελέσματα της επίλυσης εφαρμόστηκε ολικός έλεγχος αξιοπιστίας με το τεστ της κατανομής χ^2 . Ο έλεγχος γίνεται δεκτός όταν:

$$r \cdot \frac{\hat{\sigma}_0^2}{\sigma_0^2} \leq \chi_{r,1-\alpha}^2 \quad (3)$$

όπου

$r = 12$ οι βαθμοί ελευθερίας

$\sigma_0 = \pm 1$ το a-priori τυπικό σφάλμα

$\hat{\sigma}_0 = \pm 1.09$ το a-posteriori τυπικό σφάλμα

$\chi_{r,1-\alpha}^2$ προσδιοριζόμενη τιμή από τους πίνακες της κατανομής χ^2 .

Για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% και 12 βαθμούς ελευθερίας προσδιορίζεται από τους πίνακες της κατανομής, η τιμή $\chi_{r,1-\alpha}^2 = 21.03$. Αντικαθιστώντας στη σχέση (3) θα πρέπει:

$$\hat{\sigma}_0^2 \leq \frac{1 \cdot 21.03}{12}$$

Και πράγματι

$$1.19 \leq 1.75$$

Επομένως μετά τον έλεγχο διαπιστώνεται πως η αρχική υπόθεση που αφορά τη συμφωνία του μαθηματικού μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε με το στοχαστικό, ήταν σωστή και η λύση είναι αποδεκτή.

Στον πίνακα 23 φαίνονται τα στοιχεία της επίλυσης, αλλά και τα βάρη, τα σφάλματα και ο στατιστικός έλεγχος.

Πλήθος παρατηρήσεων	n	29
Πλήθος ανεξάρτητων καθοριστικών παραμέτρων	m	17
βαθμοί ελευθερίας	r	12
a-priori τυπικό σφάλματος μονάδας βάρους		±1
Σταθερή κορυφή		K1
Σταθερή γωνία διεύθυνσης		$\alpha_{K1-K6} = 100^g$
a-posteriori τυπικό σφάλμα της μονάδας βάρους	οκ	$1.19 \leq 1.75$
	$\hat{\sigma}_0$	±1.09

Πίνακας 23: Στοιχεία επίλυσης δικτύου.

Table 23: Geodetic network characteristics.

7.7 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ

Η διαδικασία υπολογισμού των τελικών υψομέτρων των κορυφών του δικτύου ήταν η εξής:

1. Αρχικά υπολογίστηκε η υψομετρική διαφορά $\Delta H_{\text{Reper-K3}}$ -από τις μετρήσεις σε μετάβαση και επιστροφή- και δόθηκε υψόμετρο στην κορυφή K3.
2. Στη συνέχεια υπολογίστηκε το σφάλμα κλεισίματος στον κλειστό βρόχο K3-K4-K5-K6-K1-K2-K3 το οποίο κατανεμήθηκε στις επιμέρους υψομετρικές διαφορές και στη συνέχεια υπολογίστηκαν τα τελικά υψόμετρα για τις κορυφές.
3. Τέλος υπολογίστηκαν τα τελικά υψόμετρα των κορυφών K7, K9, K10 και K8. Οι τελικές υψομετρικές διαφορές μεταξύ των κορυφών του δικτύου δίνονται στον πίνακα 25 ενώ τα τελικά υψόμετρα στον πίνακα 26.

Κορυφές	$\Delta H(m)$
R-K3	-0.3861
K1-K2	0.0883
K2-K3	-0.0329
K3-K4	-0.3333
K4-K5	0.3030
K5-K6	-0.0108
K6-K1	-0.0143
K1-K7	1.2316
K7-K9	-0.0519
K9-K10	0.0237
K10-K8	-0.0733
K8-K4	-1.4080

Πίνακας 24: Τελικές υψομετρικές διαφορές μεταξύ των κορυφών του δικτύου.

Table 24: Final height differences between the network points.

Κορυφή	H	σ_H (mm)
R	100	± 0
K1	99.559	± 1.7
K2	99.647	± 1.4
K3	99.614	± 1
K4	99.281	± 1.4
K5	99.584	± 1.7
K6	99.573	± 2
K7	100.791	± 2
K8	100.689	± 1.7
K9	100.739	± 2.2
K10	100.762	± 2

Πίνακας 25: Τελικά υψόμετρα κορυφών του δικτύου και οι αβεβαιότητές τους.

Table 25: Final heights of the points and their errors.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΣΑΡΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΤΟΙΧΩΝ ΚΑΙ ΤΟΥ ΘΟΛΟΥ ΤΟΥ ΝΑΟΥ

8.1 ΓΕΝΙΚΑ

Στόχος των σαρώσεων των εσωτερικών επιφανειών του ναού είναι ο προσδιορισμός του μεγέθους των παραμορφώσεων των τοίχων του σηκού και του θόλου. Οι εργασίες σάρωσης των εσωτερικών επιφανειών του ναού πραγματοποιήθηκαν από τις κορυφές του δικτύου K9 και K10. Οι μεγαλύτερες επιφάνειες του ναού, δηλαδή ο θόλος, ο βόρειος και ο νότιος τοίχος δεν σαρώθηκαν ενιαία, αλλά επιμερίστηκαν σε δυο μικρότερες επιφάνειες οι οποίες σαρώθηκαν από την πλησιέστερη σε αυτές κορυφή. Έτσι, το ανατολικό κομμάτι του θόλου, του βόρειου και του νότιου τοίχου σαρώθηκε από την κορυφή K10, ενώ το δυτικό κομμάτι των επιφανειών αυτών, από την κορυφή K9. Στη συνέχεια τα δεδομένα συνενώθηκαν και προέκυψε το πλήρες αρχείο για την κάθε επιφάνεια.

8.2 ΣΑΡΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΤΟΙΧΩΝ ΤΟΥ ΣΗΚΟΥ-ΘΟΛΟΥ

Έγιναν σαρώσεις στους τέσσερις εσωτερικούς τοίχους του σηκού και στο θόλο. Από την κορυφή K9 σαρώθηκε ο δυτικός τοίχος και τα ήμισυ των βόρειου και νότιου τοίχου, αλλά και του θόλου. Αντίστοιχα από την κορυφή K10 σαρώθηκε ο ανατολικός τοίχος και τα έτερα μισά του βόρειου και νότιου τοίχου και του θόλου.

Ως πυκνότητα σάρωσης επιλέχθηκε βήμα των 5 χιλιοστών, εκτός από τον βόρειο και νότιο τοίχο που λόγω της μεγάλης έκτασης τους, αποφασίστηκε η πυκνότητα σάρωσης να είναι 10 χιλιοστά.

Για τον ανατολικό τοίχο δημιουργήθηκε ένα ενιαίο αρχείο δεδομένων. Για το δυτικό τοίχο δημιουργήθηκαν 6 αρχεία τα οποία συνενώθηκαν στη συνέχεια. Αντίστοιχα για το νότιο τοίχο δημιουργήθηκαν 7 αρχεία ενώ για το βόρειο τοίχο 8 αρχεία δεδομένων. Για το θόλο δημιουργήθηκαν συνολικά και από τις δυο κορυφές 15 αρχεία δεδομένων με επικάλυψη μερικών εκατοστών. Τα αρχεία αυτά συνενώθηκαν και προέκυψε το τελικό αρχείο που περιλάμβανε περίπου 850.000 σημεία.

Η συνένωση έγινε με τη βοήθεια του λογισμικού excel, ενώ η επεξεργασία των τελικών πλέον αρχείων των σημείων έγινε με το λογισμικό GEOMAGIC.

8.3 ΙΔΡΥΣΗ -ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΗΜΕΙΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΤΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΑΙ ΣΤΟ ΘΟΛΟ

Κατά τη διάρκεια των εργασιών πεδίου εκτός από τις σαρώσεις, πραγματοποιήθηκαν και οι ακόλουθες εργασίες:

α) **Αποτύπωση των ρωγμών** που παρατηρούνται στο δυτικό τοίχο και στο θόλο με τη μέθοδο των τοποσταθερών. Τα σημεία σκοπεύθηκαν σε μια θέση τηλεσκοπίου. Οι μετρήσεις και οι συντεταγμένες των σημείων βρίσκονται στο παράρτημα.

Οι ρωγμές που αποτυπώθηκαν είναι τέσσερις:

-Μικρή σφηνοειδής ρωγμή στο δυτικό μέρος του θόλου, σχεδόν στο ανώτερο σημείο του και κοντά στο σύνορό του με το δυτικό τοίχο (εικ.30).

-Διαμήκης ρωγμή που διασχίζει το θόλο και τον χωρίζει περίπου στη μέση, σε βόρειο

και νότιο τμήμα. Ξεκινάει από την κορυφή της προαναφερθείσας τριγωνικής ρωγμής και φτάνει περίπου μέχρι τη μέση του θόλου (εικ.30).

-Εγκάρσια ρωγμή του θόλου που τον χωρίζει ουσιαστικά σε δυτικό και ανατολικό μέρος και βρίσκεται περίπου στη μέση του θόλου στο σημείο που παρουσιάζεται να σταματάει η διαμήκης ρωγμή (εικ.30).

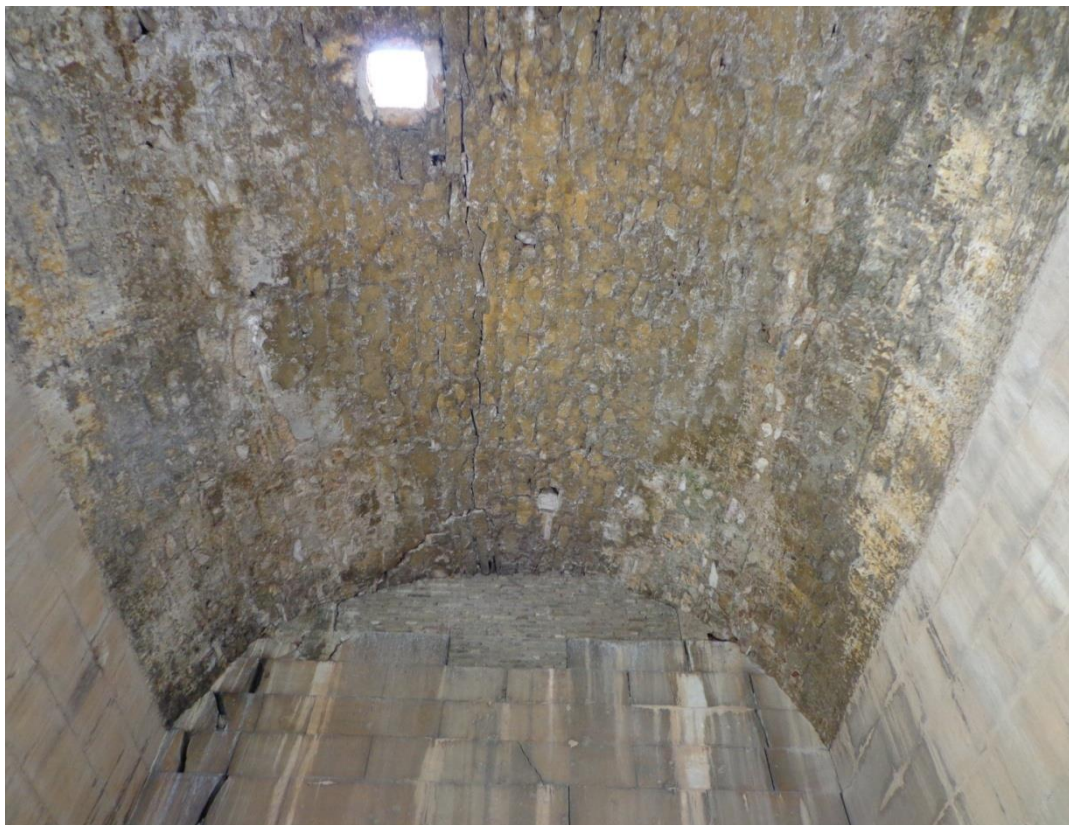
-Τέλος ρωγμές στο δυτικό τοίχο (εικ.31).

β) **Ίδρυση σημείων ελέγχου στο βόρειο και νότιο τοίχο** με σκοπό τον έλεγχο της πιθανής απόκλισης των τοίχων από την κατακόρυφο. Τα σημεία αυτά ανήκουν ανά 4 στην ίδια κατακόρυφο. Συνολικά υλοποιήθηκαν 4 τετράδες σημείων σε κάθε τοίχο και σκοπεύθηκαν σε μια θέση τηλεσκοπίου.

γ) **Ίδρυση σημείων ελέγχου** στο θόλο αλλά και στους τοίχους του σηκού με εξαίρεση τον ανατολικό τοίχο με σκοπό την εκτίμηση της ποιότητας των σαρώσεων. Αυτά τα σημεία ελέγχου μετρήθηκαν σε δυο θέσεις τηλεσκοπίου.

Για τη σήμανση των σημείων ελέγχου του θόλου χρησιμοποιήθηκαν αυτοκόλλητοι στόχοι. Συνολικά τοποθετήθηκαν 34 στόχοι σε συγκεκριμένες θέσεις με τη βοήθεια αναβατόριου που διατέθηκε από την Α' ΕΠΚΑ.

Επιπλέον, στους τοίχους του σηκού σκοπεύθηκαν σημεία ελέγχου κυρίως στις ακμές των αρμών αλλά και σε άλλα εύκολα αναγνωρίσιμα σημεία όπως γωνίες χαρακτηριστικών λίθων κλπ. Στο δυτικό τοίχο επιλέχθηκαν 12 σημεία, στο βόρειο τοίχο 16 και στο νότιο τοίχο 15 σημεία. Οι μετρήσεις βρίσκονται στο παράρτημα.



Εικόνα 30: Ρωγμές θόλου.

Picture 30:Dome cracks.



Εικόνα 31: Ρωγμή δυτικού τοίχου.

Picture 31: Crack on the western wall.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΑΡΩΣΕΩΝ

9.1 ΓΕΝΙΚΑ

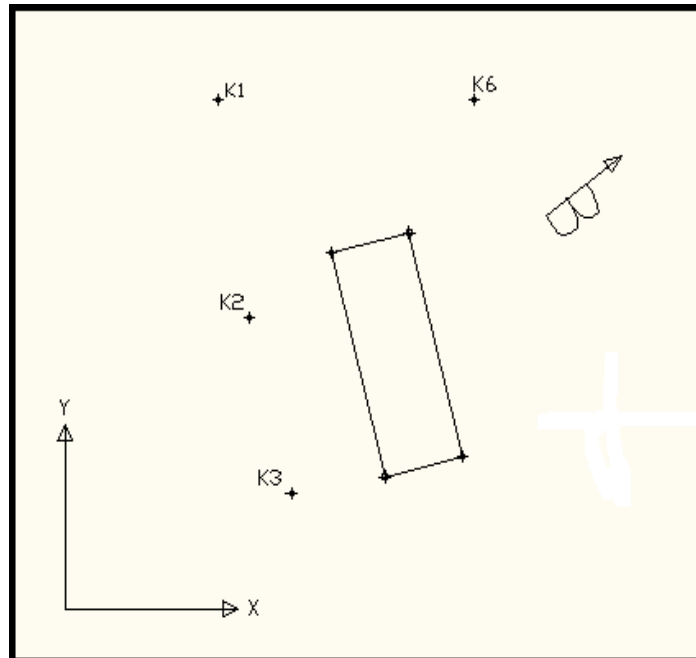
Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται η επεξεργασία των δεδομένων των σαρώσεων. Πριν την έναρξη της επεξεργασίας, εφαρμόζεται στο σύστημα αναφοράς μια στροφή, έτσι ώστε ο άξονας των X να είναι παράλληλος με τον διαμήκη άξονα του ναού και, κατά συνέπεια, ο άξονας των Y παράλληλος με τον εγκάρσιο. Κατά αυτόν τον τρόπο είναι δυνατή η συσχέτιση των μετακινήσεων του θόλου και των τοίχων του σηκού με τις μετακινήσεις των κιόνων της περίπτωσης καθώς και με την κάτοψη της κρηπίδας. Τα δεδομένα των σαρώσεων αναφέρονται στο νέο στραμμένο σύστημα.

Στη συνέχεια, γίνεται προσαρμογή βέλτιστων επιπέδων στα σημεία των σαρώσεων καθώς και στα σημεία ελέγχου στους τοίχους του σηκού. Η προσαρμογή των επιπέδων στα σημεία ελέγχου γίνεται με MET, ενώ στα σημεία των σαρώσεων γίνεται με το λογισμικό GEOMAGIC (με εξαίρεση τα σημεία του βόρειου τοίχου στα οποία η προσαρμογή έγινε και με MET). Γίνονται οι συγκρίσεις των επιπέδων από τα σημεία ελέγχου με τα αντίστοιχα από τις σαρώσεις, αλλά και η σύγκριση των επιπέδων του βόρειου τοίχου που προέκυψαν με MET και με το λογισμικό GEOMAGIC. Στη συνέχεια υπολογίζονται οι αποκλίσεις από την κατακόρυφο του νότιου και του βόρειου τοίχου. Ακολουθεί η επεξεργασία των σαρώσεων του θόλου. Πραγματοποιείται προσαρμογή κυλίνδρου σε ολόκληρο το θόλο αλλά και σε επιμέρους τμήματα αυτού. Γίνονται τομές με επιλεγμένο βήμα και υπολογίζονται τα στοιχεία των τομών όπως τα ανώτατα σημεία τους και τα κέντρα τους. Τέλος προσδιορίζονται οι ισοϋψείς καμπύλες της επιφάνειας του θόλου με το λογισμικό Surfer.

9.2 ΣΤΡΟΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ

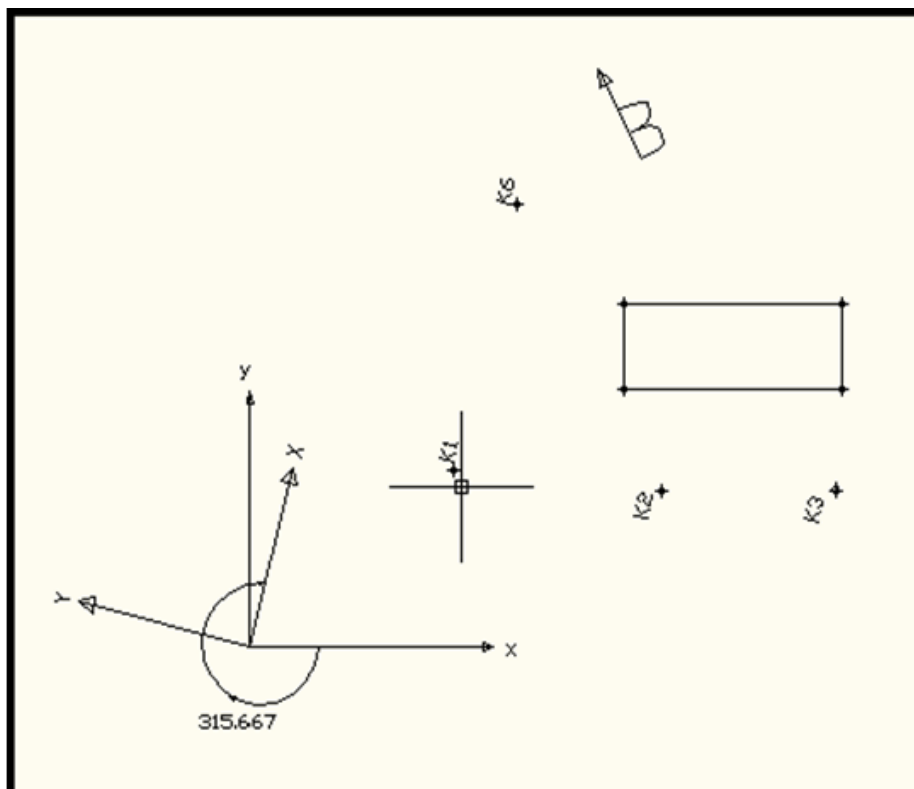
Η στροφή του συστήματος συντεταγμένων εφαρμόζεται περί τον κατακόρυφο άξονα Z, ώστε ο άξονας $x'x'$ να γίνει παράλληλος με το διαμήκη άξονα του ναού. Έτσι θα είναι δυνατή η συσχέτιση των παραμορφώσεων του θόλου και των τοίχων του σηκού με τις παραμορφώσεις της κρηπίδας και των κιόνων της περίπτωσης.

Η δεξιόστροφη γωνία που εφαρμόστηκε στο σύστημα με κέντρο στροφής το (0,0) είναι η $\varphi = 315.667^\circ$ (Εικ. 33).



Εικόνα 32: Αρχικό σύστημα συντεταγμένων.

Picture 32: Initial reference system.



Εικόνα 33: Στραμμένο σύστημα συντεταγμένων.

Picture 33: Rotated reference system.

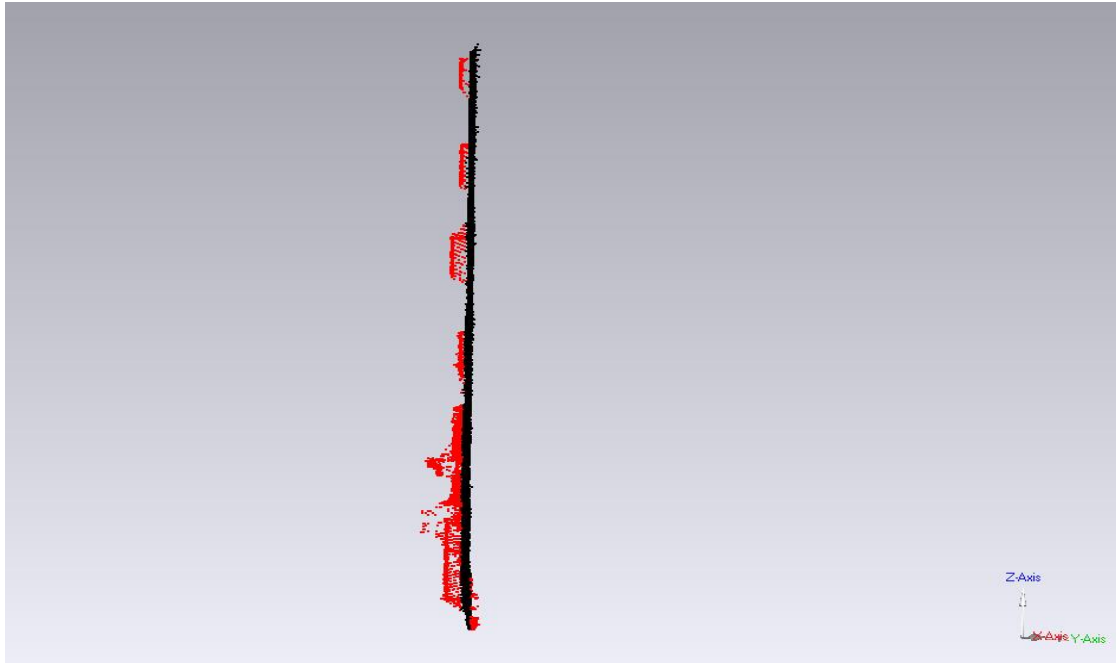
9.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ-ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΣΤΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΤΟΥ ΣΗΚΟΥ

9.3.1 Προσαρμογή επιπέδων στις επιφάνειες των τοίχων από τα στοιχεία των σαρώσεων

Μετά τη στροφή του συστήματος και τον υπολογισμό των συντεταγμένων των σημείων των σαρώσεων στο στραμμένο σύστημα συντεταγμένων, έγινε η επεξεργασία των σαρώσεων με το λογισμικό GEOMAGIC. Μια σημαντική δυνατότητα που παρέχεται από το λογισμικό, είναι ο εντοπισμός των σημείων εκείνων που δεν πρέπει να συμμετέχουν στην επεξεργασία. Τέτοια σημεία βρίσκονται κυρίως σε κενά που υπάρχουν στην επιφάνεια και άρα δεν ανήκουν σε αυτήν. Χαρακτηριστικότερο παράδειγμα είναι οι πόρτες και στα παράθυρα, που δεν ανήκουν στη ζητούμενη επιφάνεια των τοίχων ή του θόλου. Τα σημεία αυτά αντιμετωπίζονται ως θόρυβος και με τη χρήση του λογισμικού GEOMAGIC αυτά τα σημεία μπορούν εύκολα να αναγνωρισθούν αμέσως και να διαγραφούν (Εικ. 34, 35).



Εικόνα 34: Πόρτα στο νότιο τοίχο του ναού.
Picture 34: Door of the southern wall of the temple.



Εικόνα 35: Σημεία (κόκκινο) που δεν ανήκουν στο επιθυμητό επίπεδο.
Picture 35: Points (red) that do not belong to the desired plane.

Στο πρώτο στάδιο της επεξεργασίας εκτός από τις πόρτες και τα παράθυρα τα οποία είναι προφανείς ανεπιθύμητες περιοχές εντοπίστηκαν και διαγράφηκαν όλα εκείνα τα σημεία που αλλοιώνουν το αποτέλεσμα. Τέτοια σημεία είναι μικρές εσοχές ή εξοχές στους τοίχους, λίθοι που προεξέχουν, κατασκευαστικές εξοχές τύπου ρείθρων που παρουσιάζονται στο κάτω μέρος των τοίχων. Όλα τα παραπάνω σημεία δεν ανήκουν στο επίπεδο που επιδιώκεται να υπολογιστεί και πρέπει να απομακρυνθούν ώστε να μην επηρεάσουν το αποτέλεσμα.

Το δεύτερο βήμα στην επεξεργασία των επιπέδων επιφανειών είναι η μείωση του θορύβου. Αυτό γίνεται μέσω εντολής του λογισμικού (reduce noise) και εξυπηρετεί στην καλύτερη προσαρμογή του επιπέδου στα σημεία. Όπως έχει ήδη αναφερθεί (§5.4) η εντολή αυτή μεταβάλλει τη θέση των σημείων με τη μεγαλύτερη απόκλιση ώστε να έχουν περισσότερο κανονική κατανομή γύρω από την περιοχή όπου παρουσιάζεται ως η πιο πυκνή.

Το τρίτο και τελευταίο βήμα στην αρχική επεξεργασία είναι η εύρεση του επιπέδου που προσαρμόζεται βέλτιστα στα εναπομείναντα σημεία. Αυτό γίνεται επίσης με εντολή του λογισμικού (fit to plane/cylinder) που όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο του πειράματος (§5.4), πραγματοποιείται με ενσωματωμένο αλγόριθμο, που το αποτέλεσμα του διαφέρει ελάχιστα σε σχέση με το αποτέλεσμα που προκύπτει από την εφαρμογή της Μεθόδου Ελαχίστων Τετραγώνων για την εκτίμηση του βέλτιστα προσαρμοζόμενου επιπέδου.

Το διάγραμμα ροής των εργασιών για την επεξεργασία με το λογισμικό Geomagic είναι το ακόλουθο:

- Συνένωση των αρχείων των σαρώσεων που αφορούν την ίδια επιφάνεια και δημιουργία του ενιαίου αρχείου σε δομή ASCII.
- Εισαγωγή των σημείων στο πρόγραμμα (open file) και επιλογή-διαγραφή των σημείων που δεν πρέπει να συμμετέχουν στην επεξεργασία (εικ.35).
- Μείωση θορύβου (εντολή reduce noise).

- Προσαρμογή σημείων σε επίπεδο-ή κύλινδρο στην περίπτωση του θόλου (fittoplane/cylinder).
- Εισαγωγή των σημείων στο Autocad (save as type) και εύρεση των συντελεστών του επιπέδου μέσω των συντεταγμένων των σημείων του.

Οι εξισώσεις των επιπέδων που προσαρμόζονται βέλτιστα στους τοίχους του σηκού παρουσιάζονται στη μορφή της σχέσης (1).

Οι συντελεστές τους ανά επιφάνεια φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Επιφάνεια	α	β	γ
Ανατολικός τοίχος	0.002073806	-0.003137855	-42.825
Δυτικός τοίχος	0.000661145	-0.003621225	-59.539
Νότιος τοίχος	-1346.850956	-11.5319669	172378.536
Βόρειος τοίχος	1272.115656	-14.47488942	-168304.023

Πίνακας 26: Συντελεστές προσαρμοζόμενων επιπέδων (μέσω Geomagic).

Table 26: Coefficients of the planes approximating the temple's walls (Geomagic software).

9.3.2 Προσαρμογή επιπέδων στις επιφάνειες των τοίχων από τα σημεία ελέγχου

Σε αυτήν την παράγραφο υπολογίζονται οι εξισώσεις των επιπέδων που προσαρμόζονται βέλτιστα στα σημεία ελέγχου που υλοποιήθηκαν στους τοίχους του σηκού. Όπως έχει αναφερθεί στο κεφάλαιο 8.3 σημεία ελέγχου υλοποιήθηκαν στους 3 από τους 4 τοίχους (Βόρειο, Νότιο, Δυτικό). Οι συντεταγμένες των σημείων ελέγχου στο νέο σύστημα συντεταγμένων παρουσιάζονται στον πίνακα 28. Ο υπολογισμός των συντελεστών των επιπέδων έγινε με εφαρμογή της MET.

α/α	Επιφάνεια	X (m)	Y (m)	H (m)
1	Δυτικός Τοίχος	-59.851	128.440	107.262
2		-59.847	129.667	108.031
3		-59.845	130.958	108.028
4		-59.829	132.858	107.260
5		-59.838	132.831	105.922
6		-59.842	132.303	106.402
7		-59.832	132.821	105.915
8		-59.834	132.308	104.909
9		-59.830	132.820	103.894
10		-59.835	132.405	102.356
11		-59.827	132.793	102.350
12		-59.826	132.812	104.405
13	Βόρειος Τοίχος	-57.506	133.434	103.352
14		-56.253	133.426	101.856
15		-53.772	133.432	102.888
16		-52.505	133.423	101.863
17		-49.370	133.479	106.427
18		-48.752	133.457	104.925
19		-45.626	133.477	106.420
20		-43.751	133.466	105.419
21		-58.127	133.454	105.928
22		-57.499	133.437	104.411
23		-53.767	133.482	106.426
24		-53.765	133.459	104.932
25		-53.121	133.489	106.840
26		-49.375	133.444	103.900
27		-48.766	133.429	102.365
28		-43.696	133.564	102.486
29	Νότιος Τοίχος	-53.112	127.111	105.934
30		-57.488	127.119	106.425
31		-57.489	127.131	105.434
32		-56.867	127.114	106.842
33		-45.638	127.135	102.869
34		-46.265	127.146	101.850
35		-48.788	127.141	101.859
36		-45.002	127.113	106.414
37		-45.633	127.125	104.915
38		-48.751	127.104	106.421
39		-50.004	127.120	104.934
40		-52.503	127.150	101.862
41		-57.493	127.158	101.861
42		-58.113	127.154	102.883

Πίνακας 27: Συντεταγμένες σημείων ελέγχου (στραμμένο σύστημα).
Table 27: Coordinates of control points (new rotated system).

Οι συντελεστές των εξισώσεων των επιπέδων που προσαρμόζονται βέλτιστα στα

σημεία ελέγχου, σύμφωνα με τη σχέση (1) δίνονται στον πίνακα 28.

Επιφάνεια	α	β	γ
Δυτικός τοίχος	0.0004803	-0.0020864	-59.679
Νότιος τοίχος	-544.0748607	-4.580369298	69594.449
Βόρειος τοίχος	297.8891302	-3.048038761	-39487.596

Πίνακας 28: Συντελεστές προσαρμοζόμενων επιπέδων στα σημεία ελέγχου (μέσω MET).

Table 28: Coefficients of the planes approximating the temple's walls from control points (least square method).

9.4 ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΕΠΙΠΕΔΩΝ

A) Η πρώτη σύγκριση έγινε μεταξύ των επιπέδων από τη σάρωση (μέσω του λογισμικού GEOMAGIC) και των επιπέδων από τα σημεία ελέγχου. Για τις επιφάνειες του δυτικού, του νότιου και του βόρειου τοίχου υπολογίσθηκαν οι αποστάσεις των δυο συγκρινόμενων επιπέδων στις τέσσερις γωνίες της κάθε επιφάνειας. Οι αποστάσεις υπολογίσθηκαν μέσω της σχέσης (2).

Οι αποστάσεις που προκύπτουν στην κάθε επιφάνεια είναι οι εξής:

Επιφάνεια	Σημείο	Απόσταση (mm)
Δυτικός Τοίχος	Νότια κάτω γωνία	14
	Νότια άνω γωνία	3
	Βόρεια κάτω γωνία	8
	Βόρεια άνω γωνία	9
Βόρειος Τοίχος	Δυτική κάτω γωνία	1
	Δυτική άνω γωνία	2
	Ανατολική κάτω γωνία	2
	Ανατολική άνω γωνία	0
Νότιος Τοίχος	Δυτική κάτω γωνία	0
	Δυτική άνω γωνία	1
	Ανατολική κάτω γωνία	5
	Ανατολική άνω γωνία	5

Πίνακας 29: Αποστάσεις μεταξύ των επιπέδων από τα σημεία ελέγχου με τα αντίστοιχα από τις σαρώσεις.

Table 29: Distances between the wall planes estimated from the control points and those estimated from the scans.

Από το στατιστικό έλεγχο που έγινε για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% οι αποστάσεις αυτές κρίθηκαν στατιστικά μη σημαντικές.

B) Η δεύτερη σύγκριση έγινε μεταξύ του επιπέδου του Βόρειου τοίχου, όπως αυτό

προέκυψε μέσω του λογισμικού GEOMAGIC και του αντίστοιχου, βέλτιστα προσαρμοζόμενου στα σημεία της σάρωσης, του οποίου οι συντελεστές υπολογίστηκαν με την MET. Η σύγκριση αυτή έγινε για να διαπιστωθούν οι διαφορές μεταξύ των δυο μεθόδων σε μια μεγαλύτερης έκτασης επιφάνεια. Επιλέχθηκε η επιφάνεια του βόρειου τοίχου ως η λιγότερο παραμορφωμένη. Και σε αυτή την περίπτωση οι διαφορές είναι στατιστικά μη σημαντικές για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

9.5 ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΠΟΚΛΙΣΕΩΝ ΤΩΝ ΤΟΙΧΩΝ ΤΟΥ ΣΗΚΟΥ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟ

Οι ρηγματώσεις στο δυτικό τοίχο του σηκού (Εικόνα 31) οδηγούν στην υπόθεση ότι ο βόρειος και ο νότιος τοίχος έχουν ανοίξει προς τα έξω, δηλαδή αποκλίνουν από την κατακόρυφο. Για να ανιχνευθούν οι αποκλίσεις των τοίχων αυτών προσδιορίστηκε η τομή των επιπέδων των τοίχων με το οριζόντιο επίπεδο στη στάθμη του δαπέδου ($H=100.750m$), καθώς και με το οριζόντιο επίπεδο στη στάθμη της βάσης του θόλου ($H=106.700m$). Οι τομές αυτές υπολογίστηκαν:

1. για τα επίπεδα του βόρειου και νότιου τοίχου που προσδιορίστηκαν μέσω του λογισμικού GEOMAGIC
2. για τα επίπεδα των τοίχων που προέκυψαν μέσω MET από τα σημεία ελέγχου, και
3. χρησιμοποιώντας τα σημεία ελέγχου των κλίσεων (κεφάλαιο 8.3)

Για τη δημιουργία της πλήρους τομής του σηκού, και για πιο εποπτική εικόνα, προσδιορίστηκαν επίσης οι τομές των επιπέδων του δυτικού και του ανατολικού τοίχου (από το λογισμικό GEOMAGIC) με τα δυο οριζόντια επίπεδα που αναφέρονται παραπάνω.

Τελικώς, οι αποκλίσεις που προκύπτουν με τους τρεις διαφορετικούς τρόπους συγκρίθηκαν μεταξύ τους.

Η διαδικασία υπολογισμού είναι η εξής:

-Μέσω των εξισώσεων των αντίστοιχων επιπέδων (από σαρώσεις και από σημεία ελέγχου):

Αρχικά υπολογίζονται οι εξισώσεις των ευθειών που προκύπτουν από τις τομές του εκάστοτε τοίχου που μελετάται (βόρειος, νότιος) με τα αντίστοιχα οριζόντια επίπεδα. Υπολογίζεται η απόσταση των δυο αυτών ευθειών (στη στάθμη του δαπέδου), η οποία διαιρούμενη με την υψομετρική διαφορά των δυο οριζόντιων επιπέδων, δίνει την απόκλιση από την κατακόρυφο.

Στους πίνακες 30 και 31 δίνονται οι αποστάσεις αυτές και η απόκλιση (‰) από την κατακόρυφο όπως υπολογίστηκε από τις τομές των επιπέδων των τοίχων που έχουν προκύψει:

1. από τα δεδομένα των σαρώσεων και
2. από τα σημεία ελέγχου, αντίστοιχα.

Η κλίση των τοίχων προς το εξωτερικό μέρος του ναού ορίζεται ως θετική.

τοιχος	απόσταση ευθειών (cm)	Απόκλίση (%)
νότιος	5.7	9.6
βόρειος	7.7	12.9

Πίνακας 30: Αποστάσεις ευθειών και αποκλίσεις από την κατακόρυφο (στοιχεία σαρώσεων).

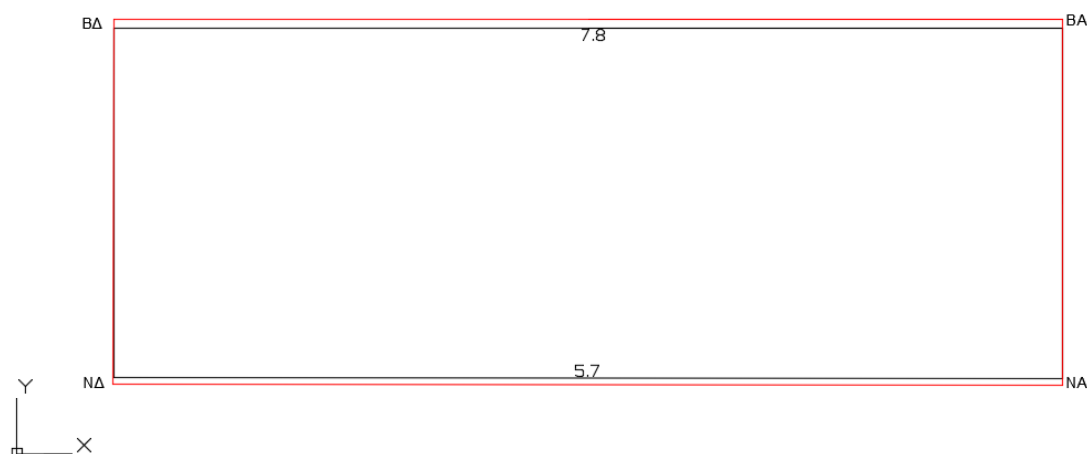
Table 30: Deviations from the plumb line between upper - lower points of the walls and the walls' inclinations (from scanning).

τοιχος	απόσταση ευθειών (cm)	Απόκλίση (%)
νότιος	5.6	9.4
βόρειος	7.9	13.3

Πίνακας 31: Αποστάσεις ευθειών και αποκλίσεις από την κατακόρυφο (στοιχεία σημείων ελέγχου).

Table 31: Deviations from the plumb line between upper - lower points of the walls and the walls' inclinations (from control points).

Τα αποτελέσματα από τις δύο ομάδες δεδομένων παρουσιάζουν διαφορές της τάξης του mm και επομένως μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι ταυτόσημα.



Εικόνα 36: Τομή του σηκού στη στάθμη της βάσης του θόλου (κόκκινη) και στη στάθμη του δαπέδου (μαύρη) του σηκού του ναού. Οι αποκλίσεις σε cm έχουν υπολογισθεί ως προς τη στάθμη του δαπέδου.

Picture 36: Section of the main part of the temple at floor level (black) and at the starting level of the dome (red). The numbers signify the distances of their projections to the floor level.

-Μέσω των σημείων ελέγχου των κλίσεων:

Για κάθε τετράδα σημείων που ανήκουν στην ίδια κατακόρυφο υπολογίζεται η εξίσωση ευθείας με MET. Στη συνέχεια υπολογίζονται οι συντεταγμένες των σημείων τομής της ευθείας αυτής με τα οριζόντια επίπεδα της στάθμης του δαπέδου και της βάσης του θόλου. Τέλος υπολογίζεται η οριζόντια απόσταση των δύο σημείων καθώς και η απόκλιση από την κατακόρυφο.

Για τους δυο τοίχους (Στο βόρειο και νότιο τοίχο στους οποίους ανιχνεύονται οι αποκλίσεις από την κατακόρυφο, έχουν μετρηθεί τέσσερις τετράδες σημείων. Άρα

για κάθε τοίχο προκύπτουν 4 διαφορετικές τιμές για την απόκλιση από την κατακόρυφο. Η τελική τιμή, για κάθε ένα από τους δύο τοίχους, υπολογίζεται ως ο μέσος όρος των τεσσάρων αυτών τιμών (πίνακας 32).

τοίχος	απόσταση (cm)	Απόκλίση (%)
νότιος	5.2	8.7
βόρειος	8.3	13.9

Πίνακας 32: Αποστάσεις μεταξύ ανώτατου - κατώτατου σημείου στο βόρειο και νότιο τοίχο και αποκλίσεις από την κατακόρυφο (σημεία ελέγχου κλίσεων).

Table 32: Deviations between upper - lower point of the northern and southern wall and the inclinations (from individual points)

Στους παραπάνω πίνακες (30, 31 και 32) παρατηρούνται θετικές τιμές αποκλίσεων από την κατακόρυφο και αυτό σημαίνει πως σε όλες τις περιπτώσεις οι τοίχοι αποκλίνουν προς το εξωτερικό μέρος του ναού. Οι διαφορές της τάξης των 5mm που παρατηρούνται στα στοιχεία των 3 πινάκων αξιολογούνται ως μη σημαντικές και εκτιμάται ότι οφείλονται στο θόρυβο των μετρήσεων.

9.6 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΣΑΡΩΣΕΩΝ ΤΟΥ ΘΟΛΟΥ

Η παράγραφος αυτή αφορά την επεξεργασία των σαρώσεων του θόλου του ναού. Κύριος σκοπός είναι ο προσδιορισμός των παραμορφώσεων του θόλου. Αυτός θα γίνει μέσω της σύγκρισης της υπάρχουσας κατάστασης με την «ιδανική» αρχική μορφή του που γίνεται η παραδοχή ότι είναι τμήμα κυλινδρικής επιφάνειας. Η επεξεργασία των δεδομένων από τις σαρώσεις έγινε με το λογισμικό GEOMAGIC.

Το πρώτο στάδιο επεξεργασίας αφορούσε και σε αυτήν την περίπτωση την επιλογή και τη διαγραφή των ανεπιθύμητων σημείων με τη χρήση του λογισμικού Geomagic. Στην επιφάνεια του θόλου τέτοια σημεία υπήρχαν κατά κύριο λόγο στα παράθυρα, σε εσοχές του θόλου αλλά ακόμα και σε ρωγμές. Στην παρακάτω εικόνα 37 φαίνεται παραστατικά ένα τέτοιο παράδειγμα σημείων που διαγράφονται με τη χρήση του λογισμικού.



Εικόνα 37: Η εσωτερική όψη (αριστερά) και η ανατολική όψη (δεξιά) του θόλου στο πρώτο στάδιο επεξεργασίας στο πρόγραμμα.

Picture 37: The top view (left) and the east side point of view (right) of the dome in the first of processing.

Με τη διαγραφή των ανεπιθύμητων σημείων δημιουργήθηκε το αρχείο το οποίο θα χρησιμοποιηθεί σε όλες τις υπόλοιπες εργασίες που παρουσιάζονται στις επόμενες παραγράφους.

9.7 ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΣΤΟ ΘΟΛΟ

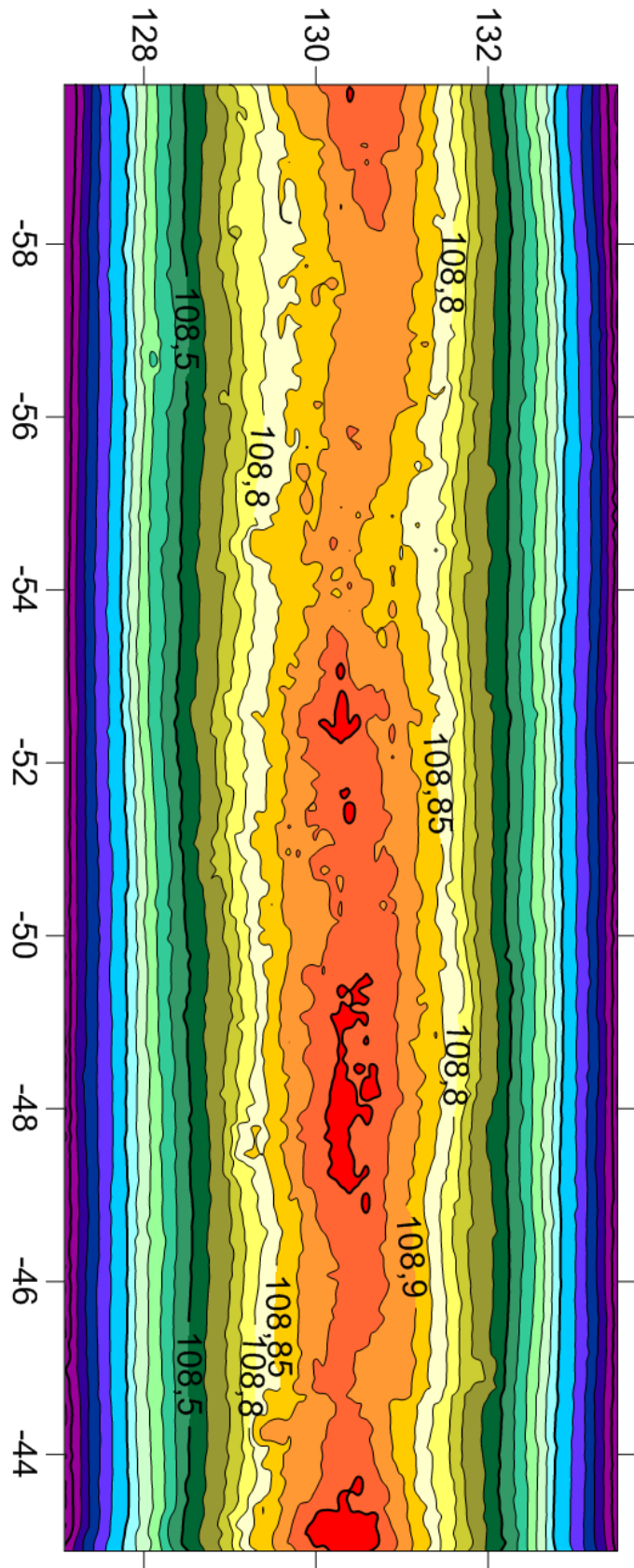
9.7.1 Χάραξη ισοϋψών καμπυλών

Με βάση τα αποτελέσματα της σάρωσης του θόλου και τα δεδομένα του νέφους σημείων πραγματοποιήθηκε η χάραξη ισοϋψών καμπυλών στην επιφάνειά του για να τεκμηριωθεί η ύπαρξη των παραμορφώσεων του θόλου. Αν δεν υπήρχαν παραμορφώσεις ο θόλος θα ήταν τμήμα μιας κυλινδρικής επιφάνειας, οι ισοϋψείς θα ήταν ευθείες γραμμές παράλληλες με τον άξονα του κυλίνδρου και στην συγκεκριμένη περίπτωση παράλληλες με τον άξονα X του συστήματος. Λόγω όμως των παραμορφώσεων αναμένεται να παρατηρηθεί διαφορά από την ιδανική κατάσταση.

Η ισοδιάσταση των ισοϋψών καμπυλών επιλέχθηκε να είναι 0.05m στην ανώτερη περιοχή του θόλου, και 0.25m όσο μειώνεται το υψόμετρο, προς τη βάση του θόλου. Ο λόγος είναι ότι οι μεταβολές εξαιτίας της παραμόρφωσης του θόλου αναμένονται στην κεντρική - ανώτατη ζώνη ενώ στη βόρεια και νότια βάση του δεν αναμένονται μεγάλες διαφορές στα υψόμετρα και οι ισοϋψείς καμπύλες αναμένονται σχεδόν παράλληλες μεταξύ τους.

Οι ισοϋψείς καμπύλες σχεδιάστηκαν με το λογισμικό SURFER. Το νέφος των σημείων του θόλου, που αποτελούνταν από περίπου 800.000 σημεία, εισήχθη στο λογισμικό με μορφή ASCII (X, Y, H).

Το αποτέλεσμα της χάραξης των ισοϋψών καμπυλών παρουσιάζεται στην εικόνα 38, όπου από τις κλειστές ισοϋψείς καμπύλες εντοπίζονται οι περιοχές του θόλου στις οποίες εμφανίζονται σημαντικές παραμορφώσεις.



Εικόνα 38: Ισοϋψείς καμπύλες στην ενιαία επιφάνεια του θόλου
Picture 38: Contours at the surface of the dome.

9.7.2 Προσαρμογή κυλινδρικής επιφάνειας στο νέφος των σημείων

Αρχικά τα δεδομένα των σαρώσεων του θόλου επεξεργάζονται με το λογισμικό Geomagic ακολουθώντας τα βήματα της παραγράφου 9.3 με τη διαφορά ότι τα δεδομένα προσομοιώνονται με κύλινδρο και όχι με επίπεδο.

Η προσαρμογή έγινε με την ειδική εντολή του λογισμικού GEOMAGIC (fit to cylinder) και το αποτέλεσμα φαίνεται παραστατικά στην παρακάτω εικόνα 39.

Στην εικόνα αυτή, ο κύλινδρος, ο οποίος προσαρμόζεται στο νέφος των σημείων, παρουσιάζεται με κόκκινο χρώμα, ενώ με μαύρο χρώμα φαίνεται το νέφος των σημείων. Όπως διαπιστώνεται, το αποτέλεσμα της προσαρμογής δεν είναι ικανοποιητικό. Στο άνω τμήμα της εικόνας είναι φανερό ότι ο άξονας του νέφους δεν συμπίπτει με τον άξονα του προσαρμοσμένου κυλίνδρου, ενώ στα άκρα του σχήματος, οι αποστάσεις μεταξύ του νέφους σημείων και του προσαρμοσμένου κυλίνδρου, που υπολογίστηκαν μέσω του λογισμικού GEOMAGIC (εντολή distance), ξεπερνούν τα 20cm. Στο κάτω τμήμα της εικόνας 39 φαίνεται το αποτέλεσμα της προσαρμογής από πλάγια όψη.



Εικόνα 39: Προσαρμογή των σημείων του θόλου σε κύλινδρο.

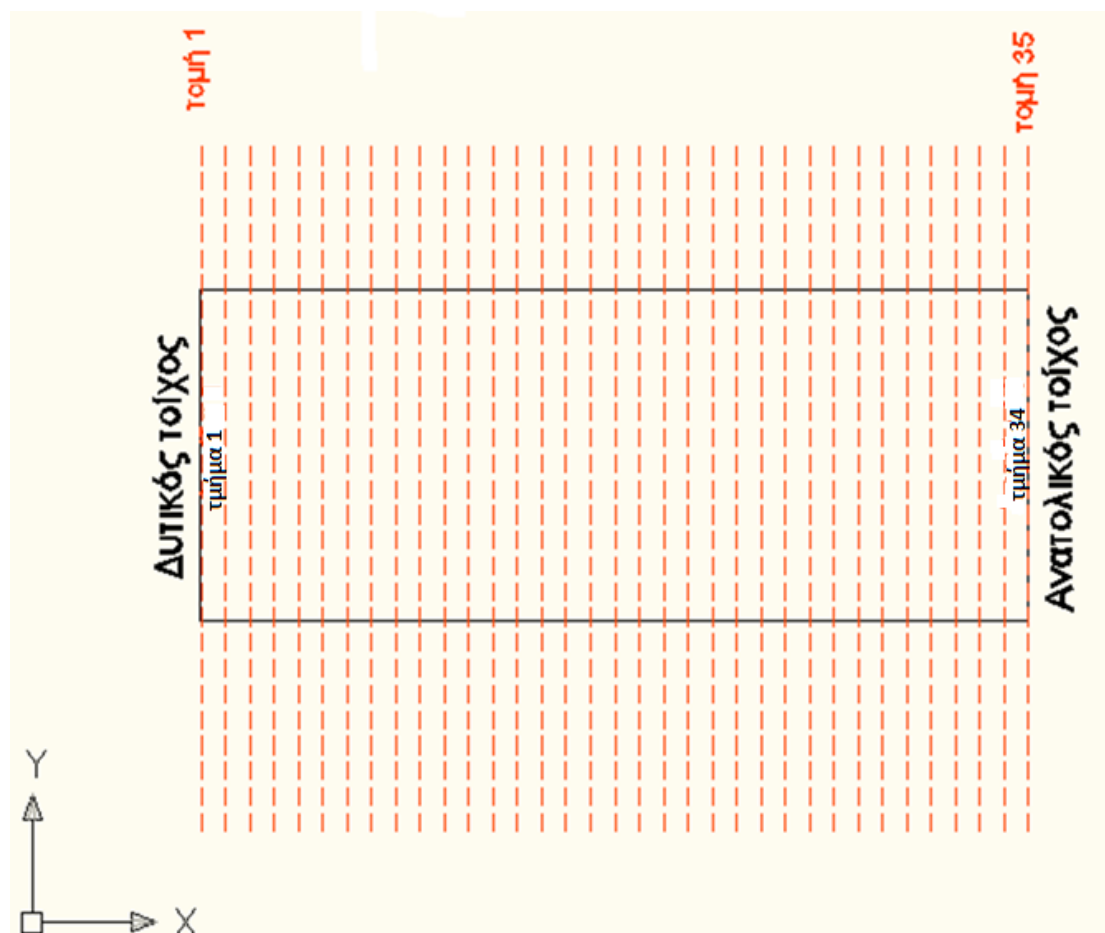
Picture 39: Approximation of the dome's points with a cylinder.

Με βάση τα παραπάνω βγαίνει το συμπέρασμα ότι δεν είναι δυνατή η προσαρμογή ενός κυλίνδρου στην ενιαία επιφάνεια του θόλου, λόγω των υφιστάμενων παραμορφώσεων του θόλου.

Για αυτό το λόγο αποφασίστηκε να κατατμηθεί ο θόλος σε επιμέρους τμήματα και να προσαρμοσθεί κυλινδρική επιφάνεια σε κάθε ένα από αυτά. Πραγματοποιήθηκαν ανά 0.50m εγκάρσιες τομές του θόλου, κάθετα στον άξονα X που μετά τη στροφή του συστήματος (παράγραφος 9.2) είναι παράλληλος με το διαμήκη άξονα του ναού. Σε κάθε τμήμα που προέκυψε από δύο διαδοχικές τομές προσαρμόστηκε μια κυλινδρική επιφάνεια.

9.7.3 Προσαρμογή κυλινδρικών επιφανειών στις εγκάρσιες τομές του θόλου

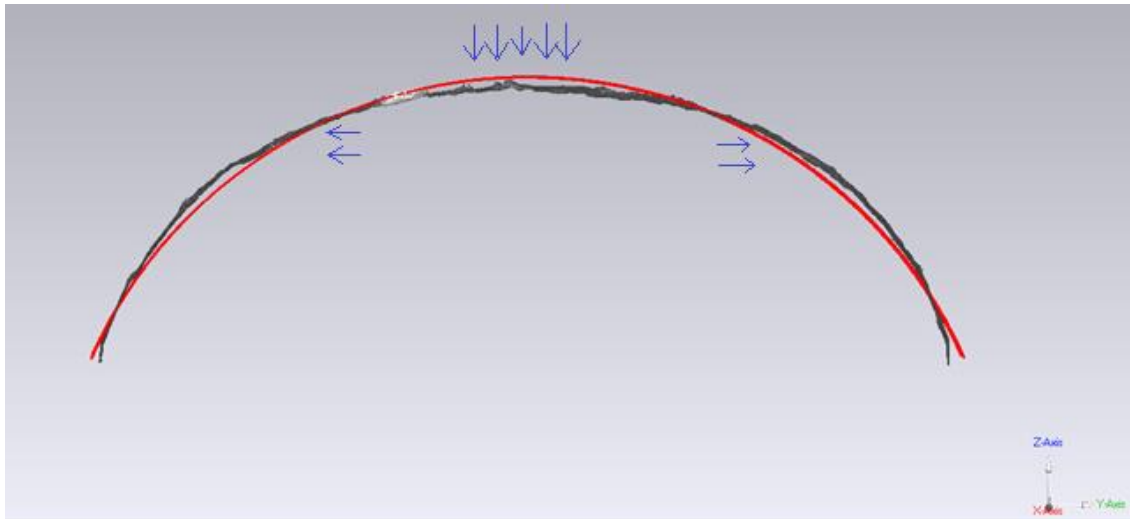
Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στο τέλος της προηγούμενης παραγράφου ο θόλος διαιρέθηκε σε 34 συνολικά τμήματα, αρχίζοντας από τη δυτική πλευρά του σηκού (τομή 1) και καταλήγοντας στην ανατολική (τομή 35). Οι τομές παρουσιάζονται ενδεικτικά στην Εικόνα 40.



Εικόνα 40: Σκαρίφημα των εγκάρσιων τομών του θόλου.

Picture 40: The cross sections of the the temple's dome.

Σε κάθε ένα από τα 34 τμήματα του θόλου προσαρμόστηκε κυλινδρική επιφάνεια.



Εικόνα 41: Προσαρμογή τμήματος θόλου με κύλινδρο. Με μαύρο φαίνεται το νέφος ενώ με κόκκινο η προσαρμογή του κυλίνδρου.

Picture 41: Approximation of a section of the dome to a cylinder. The points cloud appears with black color while the cylinder approximation with a red one.

Για την ανίχνευση των μετακινήσεων του θόλου ακολουθήθηκε η διαδικασία που περιγράφεται παρακάτω:

Για καθένα από τους κυλίνδρους που προσαρμόστηκαν στα 34 τμήματα του θόλου, υπολογίστηκαν στο επίπεδο Y, H τα στοιχεία των μεσαίων τομών τους που είναι τόξα κύκλου. Για κάθε ένα από τα τόξα αυτά προσδιορίστηκαν οι συντεταγμένες του κέντρου τους (y , H) και η ακτίνα τους R. Τα στοιχεία αυτά υπολογίστηκαν από τις συντεταγμένες 3 σημείων της περιφέρειας του τόξου όπως αυτές προέκυψαν από το λογισμικό GEOMAGIC. Για κάθε τέτοια μεσαία τομή του εκάστοτε κυλίνδρου υπολογίστηκε επίσης το υψόμετρο (H_T) του ανώτατου σημείου T, ως το άθροισμα του υψομέτρου H του κέντρου του κύκλου και της ακτίνας του (R).

Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα 33.

Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι ως αναφορά για την ανίχνευση και τον προσδιορισμό του μεγέθους των μετακινήσεων χρησιμοποιήθηκε η τελευταία τομή (τομή 34), γιατί αυτή είναι η πλησιέστερη στον Ανατολικό τοίχο στον οποίο δεν διαπιστώνονται παραμορφώσεις.

Κάνοντας την παραδοχή ότι η κατασκευαστική ακρίβεια του θόλου του ναού είναι της τάξης των $\pm 1-2\text{cm}$ εκτιμήθηκε ότι για να είναι μια μετακίνηση σημαντική για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη των $\pm 4\text{ cm}$

τομή	X (m)	Y (m)	H (m)	R(m)	H _T (m)
1	-59.67	130.291	105.530	3.471	109.001
2	-59.25	130.298	105.517	3.481	108.998
3	-58.75	130.308	105.519	3.487	109.006
4	-58.25	130.314	105.502	3.511	109.013
5	-57.75	130.320	105.471	3.539	109.010
6	-57.25	130.326	105.435	3.562	108.997
7	-56.75	130.333	105.410	3.579	108.989
8	-56.25	130.328	105.420	3.575	108.995
9	-55.75	130.324	105.421	3.577	108.998
10	-55.25	130.320	105.384	3.606	108.990
11	-54.75	130.311	105.385	3.605	108.990
12	-54.25	130.308	105.376	3.614	108.990
13	-53.75	130.301	105.360	3.625	108.985
14	-53.25	130.296	105.414	3.585	108.999
15	-52.75	130.296	105.495	3.540	109.035
16	-52.25	130.301	105.511	3.526	109.037
17	-51.75	130.311	105.473	3.548	109.021
18	-51.25	130.316	105.477	3.542	109.019
19	-50.75	130.325	105.460	3.552	109.012
20	-50.25	130.322	105.471	3.538	109.009
21	-49.75	130.325	105.488	3.525	109.013
22	-49.25	130.322	105.499	3.520	109.019
23	-48.75	130.317	105.505	3.518	109.023
24	-48.25	130.314	105.525	3.504	109.029
25	-47.75	130.312	105.507	3.511	109.018
26	-47.25	130.313	105.496	3.517	109.013
27	-46.75	130.32	105.483	3.526	109.009
28	-46.25	130.322	105.474	3.532	109.006
29	-45.75	130.298	105.401	3.599	109.000
30	-45.25	130.317	105.433	3.559	108.992
31	-44.75	130.299	105.469	3.517	108.986
32	-44.25	130.304	105.462	3.521	108.983
33	-43.75	130.310	105.481	3.509	108.990
34	-43.25	130.306	105.521	3.489	109.010

Πίνακας 33: Στοιχεία των μεσαίων τομών των 34 τμημάτων του θόλου.

Table 33: Characteristics of the sections of the dome.

Από τα στοιχεία του πίνακα 33 και τη σύγκρισή τους με τα στοιχεία της τομής 34, διαπιστώνονται τα εξής :

Ανιχνεύονται στατιστικά σημαντικές μεταβολές των υψομέτρων των κέντρων των τομών οι οποίες κυμαίνονται από 4 έως και 16cm. Δεδομένου ότι οι μεταβολές αυτές έχουν αρνητικό πρόσημο συσχετίζονται με κατακόρυφες μετακινήσεις (βυθίσεις) του θόλου. Οι κατακόρυφες αυτές μετακινήσεις εντοπίζονται σε τρεις περιοχές του θόλου. Αντίθετα οι μετατοπίσεις των κέντρων κατά τον άξονα Y είναι της τάξης των 1-2cm, μέσα στα όρια της κατασκευαστικής ανοχής.

Διαπιστώνεται επίσης ότι οι κατακόρυφες μετακινήσεις των κέντρων των κυκλικών τόξων (τομών) είναι σημαντικά μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες των ανώτατων σημείων. Αυτό συμβαίνει γιατί η κατακόρυφη μετακίνηση του κέντρου του κυκλικού τόξου της τομής δημιουργεί πιο «ανοιχτό» τόξο κύκλου δηλαδή κύκλο μεγαλύτερης ακτίνας. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το ότι ο θόλος δεν είναι ολόσωμη κατασκευή για να κινηθεί ως στερεό σώμα. Επίσης, η απόκλιση των τοίχων (βόρειου και νότιου) προς το εξωτερικό του ναού έχει προκαλέσει σύνθετη μετακίνηση του θόλου η οποία δεν είναι δυνατό να εξηγηθεί με αυστηρά γεωμετρικά κριτήρια. Έτσι, μόνο σημειακά μπορούμε να διαπιστώσουμε τις περιοχές των έντονων παραμορφώσεων.

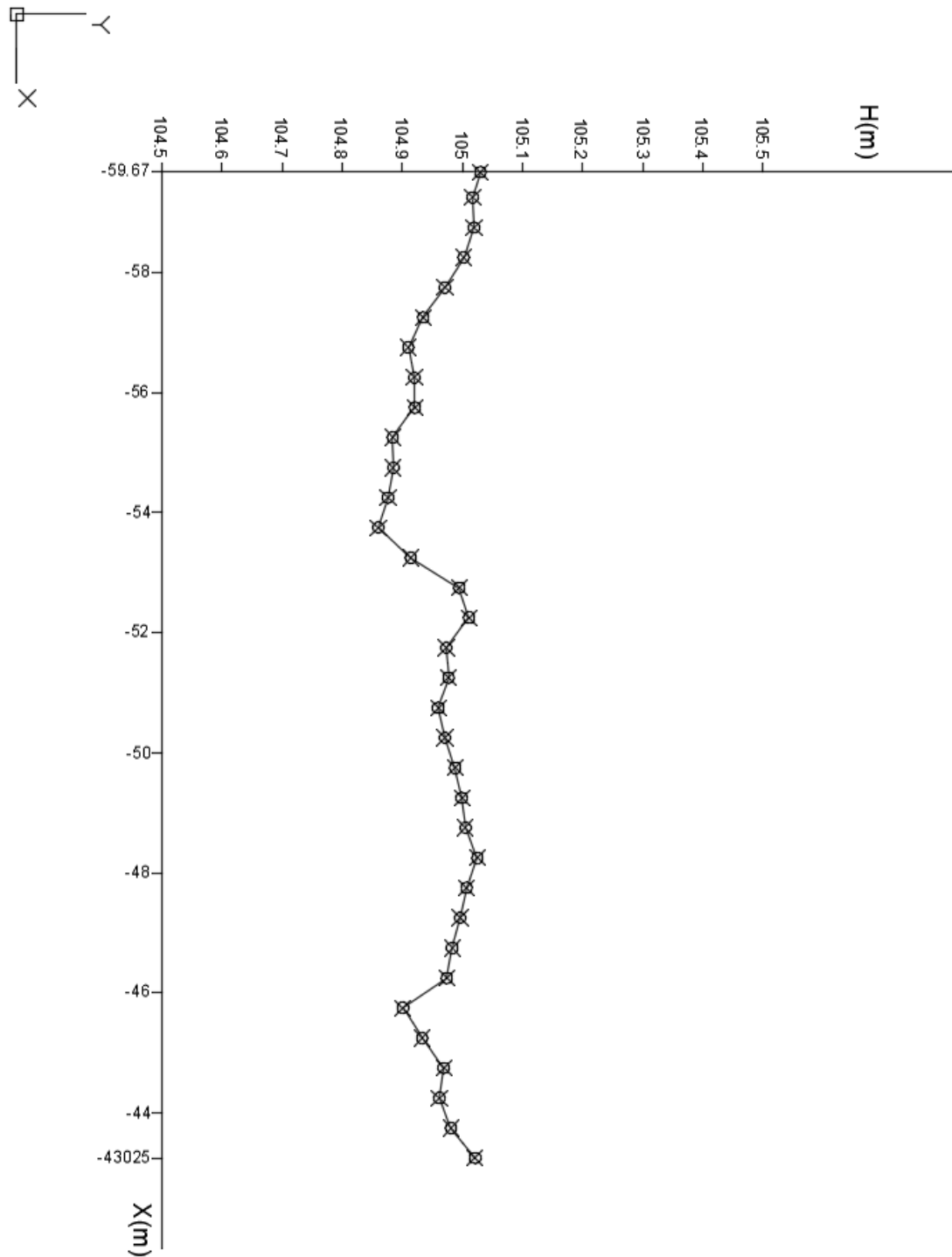
Στον πίνακα 34 φαίνονται οι μεταβολές των υψομέτρων των κέντρων των διαδοχικών κυκλικών τομών.

τομή	ΔH (m)
1-2	-0.013
2-3	0.002
3-4	-0.017
4-5	-0.031
5-6	-0.036
6-7	-0.025
7-8	0.010
8-9	0.001
9-10	-0.037
10-11	0.001
11-12	-0.009
12-13	-0.016
13-14	0.054
14-15	0.081
15-16	0.016
16-17	-0.038
17-18	0.004
18-19	-0.017
19-20	0.011
20-21	0.017
21-22	0.011
22-23	0.006
23-24	0.020
24-25	-0.018
25-26	-0.011
26-27	-0.013
27-28	-0.009
28-29	-0.073
29-30	0.032
30-31	0.036
31-32	-0.007
32-33	0.019
33-34	0.040

Πίνακας 34: Μεταβολές των υψομέτρων των κέντρων των διαδοχικών τομών.

Table 34: Height differences of the centers of the sections.

Στην εικόνα 42 παρουσιάζονται οι μεταβολές της υψομετρικής θέσης των κέντρων των κυκλικών τόξων (τομών) κατά το διαμήκη άξονα του θόλου.



Εικόνα 42: Διάγραμμα των κέντρων των κυκλικών τομών των κυλίνδρων.
Picture 42: Diagram of the centers of the cylinders' cross sections.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

10.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

10.1.1 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

Τα τελικά συμπεράσματα ως προς την ακρίβεια σάρωσης όπως προκύπτουν βάση των πειραματικών εργασιών είναι τα εξής:

- Η ακρίβεια στο τελικό αποτέλεσμα είναι εξίσου ικανοποιητική με τις τρεις διαφορετικές πυκνότητες σαρώσεων. Οι διαφορές μεταξύ σαρώσεων διαφορετικής πυκνότητας είναι στατιστικά μη σημαντικές.
- Η σάρωση μεγάλης πυκνότητας (σημείων ανά 5mm) δεν ενδείκνυται για εφαρμογή σε μεγάλης έκτασης επιφάνειες, επειδή ο χρόνος που απαιτείται είναι υπερβολικά μεγάλος (περίπου μια ώρα ανά τετραγωνικό μέτρο) και δεν παρατηρείται σαφής διαφορά στην ακρίβεια.
- Η κλίση της σκόπευσης επηρεάζει την ακρίβεια της σάρωσης. Αυτό φαίνεται από τις αποχές των επιπέδων στις συγκρίσεις με διαφορετική κλίση όπου είναι κατά κανόνα μεγαλύτερες από τις συγκρίσεις με διαφορετική πυκνότητα. Επιπλέον οι αποχές μεταξύ των δυο πλάγιων σκοπεύσεων είναι κατά κανόνα μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες μεταξύ μιας πλάγιας και της κάθετης.

Διαπιστώνεται επίσης πως με τη χρήση της μεθοδολογίας που περιγράφεται στη Δ.Ε. είναι δυνατόν να ανιχνευθούν μετακινήσεις της τάξης των ± 2 εκατοστών για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

10.1.2 ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΤΟΙΧΩΝ ΤΟΥ ΝΑΟΥ

- Παρατηρείται απόκλιση από την κατακόρυφο των διαμήκων (βόρειου και νότιου) τοίχων του σηκού με κατεύθυνση προς το εξωτερικό του ναού. Συγκεκριμένα στον βόρειο τοίχο παρατηρείται απόκλιση της τάξης του 14% δηλαδή περίπου 8 cm στο ανώτατο τμήμα του τοίχου, ενώ στο νότιο τοίχο της τάξης του 9% (6 cm αντίστοιχα).

10.1.3 ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΘΟΛΟΥ ΤΟΥ ΝΑΟΥ

- Το σχήμα του θόλου δεν μπορεί να θεωρηθεί κυλινδρικό και η διατομή του σε κανένα σημείο του δεν μπορεί να θεωρηθεί τέλειο τόξο κύκλου.
- Από τη χάραξη των υψομετρικών καμπυλών στην εσωτερική επιφάνεια του θόλου διαπιστώνονται κατακόρυφες μετακινήσεις στην ανώτατη περιοχή (κλείδα).
- Από τη σύγκριση των υψομέτρων των κέντρων των κυκλικών τόξων που έχουν προκύψει ως τομές των κυλίνδρων που προσαρμόστηκαν στα διαδοχικά τμήματα της επιφάνειας του θόλου, διαπιστώνεται ότι ο θόλος παρουσιάζει σημαντικές κατακόρυφες μετακινήσεις (βυθίσεις) που φθάνουν τα 16cm. Οι

κατακόρυφες αυτές μετακινήσεις εντοπίζονται σε 3 τμήματα του θόλου: το πρώτο τμήμα, στο οποίο ανιχνεύονται οι μεγαλύτερες σε μέγεθος μετακινήσεις (5 – 16cm) ξεκινά σε απόσταση 2.5m από το δυτικό τοίχο και έχει μήκος περίπου 4.5m. 1.5m μετά το τμήμα αυτό, εντοπίζεται δεύτερο τμήμα μήκους 1.5m στο οποίο ανιχνεύονται μετακινήσεις της τάξης των 5 – 6cm, ενώ 4m ανατολικότερα εντοπίζεται το τρίτο τμήμα μήκους 2.5m περίπου στο οποίο ανιχνεύονται μετακινήσεις που φθάνουν τα 12cm.

10.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Βάση των συμπερασμάτων που προέκυψαν προτείνονται τα εξής:

- Η διερεύνηση της συσχέτισης των μετακινήσεων των τοίχων του σηκού και του θόλου με τις καθιζήσεις της κρηπίδας του ναού.
- Η επέκταση του Δικτύου Οριζοντίου Ελέγχου στα υπόλοιπα μνημεία της Αρχαίας Αγοράς και ο προσδιορισμός των παραμορφώσεών τους.
- Η επαναμέτρηση στο σηκό και στο θόλο για τον προσδιορισμό των πιθανών μεταβολών των παραμορφώσεων.
- Η χρήση επίγειου σαρωτή στις μετρήσεις.
- Η εγκατάσταση μόνιμου δικτύου ελέγχου των παραμορφώσεων στο συγκεκριμένο μνημείο αλλά και στα υπόλοιπα στο χώρο της αρχαίας αγοράς για τον έλεγχο ανά τακτά χρονικά διαστήματα ή μετά από την εκδήλωση έντονων φαινομένων (σεισμός, βροχόπτωση κ.λπ.).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Μπούρας Θ.Χ., Μαθήματα Ιστορίας της Αρχιτεκτονικής, Αθήνα 1999

Αγατζά – Μπαλοδήμου, *Θεωρία σφαλμάτων και Συνορθώσεις I*, Αθήνα 2007

Αγατζά – Μπαλοδήμου, *Θεωρία σφαλμάτων και Συνορθώσεις II*, Αθήνα 2009

Γεωργόπουλος Γ., Δογγούρης Σ., Λάμπρου Ε., Μπαλοδήμος Δ., Πανταζής Γ., *Σημειώσεις Τεχνικής Γεωδαισίας*, Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα 2005

Γεωργόπουλος Γ., Γκίκας Β., Τελειώνη Ε., Τσακίρη Μ., *ΓΕΩΔΑΙΣΙΑ (Μετρήσεις – διορθώσεις- Προσδιορισμός θέσης)*, Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα 2011

Μπαλοδήμος Δ., Σταθάς Δ., Αραμπατζή Ο., *ΓΕΩΔΑΙΣΙΑ (Δίκτυα – Αποτυπώσεις – Χαράξεις)*, Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα 2006

Μαρκάκη Σ., Ανίχνευση των καθιζήσεων του στυλοβάτη του Ναού του Ηφαίστου με γεωδαιτική μεθοδολογία, Διπλωματική Εργασία, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα 2012

Μάκαρη Μ., Έλεγχος των αποκλίσεων-Προσδιορισμός των γεωμετρικών στοιχείων ενός κίονα της περίπτωσης του Ναού του Ηφαίστου, Διπλωματική Εργασία, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα 2012

Geomagic (manual)

Surfer (manual)

ΙΣΤΟΓΡΑΦΙΑ

www.arxaiologia.gr, Λαμπρόπουλος Β., Βομβογιάννη Χ., *Ο Ναός του Ηφαίστου στην Αρχαία Αγορά των Αθηνών: μορφές φθορών και προτάσεις προστασίας*

www.project.athens-agera.gr, «Η αρχαία Αγορά της Αθήνας», Ψηφιακή συλλογή Εικονικής Πραγματικότητας

www.ktimatologio.gr, Εθνικό Κτηματολόγιο

www.athensinfoguide.com, Τουριστικός πληροφοριακός οδηγός Αθηνών

www.culture.gr, Υπουργείο Πολιτισμού & Τουρισμού

www.project.athens-agera.gr, «Η αρχαία Αγορά της Αθήνας»,
Ψηφιακή συλλογή Εικονικής Πραγματικότητας

www.el.wikipedia.org

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

1. ΜΕΤΡΗΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΟΔΕΥΣΗΣ (ΠΕΙΡΑΜΑ ΚΑΝΑΒΟΠΛΑΚΑΣ)

Κορυφή Δ

Περίοδος	Στάση	Στόχος	Hz Θ1(g)	Z Θ1(g)	S Θ1(m)	Hz Θ2(g)	Z Θ2(g)	S Θ2(m)
I	Δ	Κ	0	108.2402	3.518	199.9970	291.7588	3.518
I	Δ	Α	43.2390	99.4788	5.549	243.2356	300.5184	5.549
II	Δ	Κ	0	108.2362	3.518	199.9972	291.7618	3.518
II	Δ	Α	43.2390	99.4784	5.549	243.2358	300.5202	5.549

ΥΣΔ=1.531m ΥΣΚ=1.104m ΥΣΑ=1.588m

Κορυφή Κ

Περίοδος	Στάση	Στόχος	Hz (Θ1)(g)	Z Θ1(g)	S Θ1(m)	Hz Θ2(g)	Z Θ2(g)	S Θ2(m)
I	Κ	Α	301.9957	92.5948	3.607	102.0008	307.4058	3.607
I	Κ	Δ	16.8353	94.6692	3.501	216.8388	305.3330	3.501
II	Κ	Α	301.9930	92.5940	3.607	102.0002	307.4044	3.607
II	Κ	Δ	16.8340	94.6674	3.501	216.8390	305.3342	3.501

ΥΣΚ=1.181m ΥΣΑ=1.586m ΥΣΔ=1.449m

Κορυφή Α

Περίοδος	Στάση	Στόχος	Hz Θ1(g)	Z Θ1(g)	S Θ1(m)	Hz Θ2(g)	Z Θ2(g)	S Θ2(m)
I	Α	Δ	72.2956	102.3422	5.553	272.2968	297.6562	5.553
I	Α	Κ	114.2071	110.2230	3.631	314.2086	289.7750	3.631
II	Α	Δ	72.2948	102.3404	5.553	272.2946	297.6578	5.553
II	Α	Κ	114.2051	110.2264	3.631	314.2081	289.7726	3.631

ΥΣΑ=1.665m ΥΣΔ=1.449m ΥΣΚ=1.101m

2. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΟΠΟΣΤΑΘΕΡΩΝ (ΠΕΙΡΑΜΑ)

Κορυφή Κ

Αρ.	1 ^η θέση			2 ^η θέση			Hz(g)	Z(g)	X(m)	Y(m)	H(m)
	Hz(g)	Zv(g)	S(m)	Hz(g)	Z(g)	S(m)					
1	50,2133	90,8457	5,318	250,2173	309,1444	5,3182	50,2136	90,8507	102,776	104,472	101,126
2	52,6237	90,8053	5,297	252,6275	309,1844	5,2962	52,6239	90,8105	102,931	104,345	101,126
3	55,0509	90,7831	5,285	255,0542	309,2083	5,2842	55,0509	90,7874	103,087	104,221	101,126
4	57,4876	90,7666	5,279	257,4894	309,2227	5,2794	57,4868	90,7720	103,243	104,095	101,127
5	59,9213	90,7686	5,283	259,9252	309,2222	5,2832	59,9216	90,7732	103,400	103,971	101,127
6	61,1369	91,9723	5,277	261,1410	308,0175	5,2766	61,1373	91,9774	103,480	103,911	101,027
7	58,7062	91,9643	5,269	258,7092	308,0255	5,2680	58,7060	91,9694	103,323	104,034	101,027
8	56,2706	91,9690	5,269	256,2747	308,0198	5,2692	56,2710	91,9746	103,166	104,159	101,026
9	53,8390	91,9874	5,277	253,8427	308,0011	5,2782	53,8392	91,9932	103,010	104,284	101,026
10	51,4185	92,0140	5,294	251,4233	307,9734	5,2938	51,4192	92,0203	102,854	104,409	101,026
11	49,0194	92,0580	5,319	249,0243	307,9291	5,3190	49,0202	92,0645	102,699	104,535	101,025
12	50,2200	93,2297	5,295	250,2246	306,7606	5,2954	50,2206	93,2346	102,778	104,473	100,926
13	52,6303	93,1992	5,276	252,6344	306,7911	5,2752	52,6307	93,2041	102,934	104,348	100,926
14	55,0571	93,1787	5,261	255,0600	306,8139	5,2614	55,0569	93,1824	103,089	104,222	100,926
15	57,4903	93,1678	5,257	257,4944	306,8231	5,2574	57,4907	93,1724	103,245	104,098	100,927
16	59,9254	93,1678	5,262	259,9290	306,8220	5,2626	59,9255	93,1729	103,403	103,974	100,927
17	61,1398	94,3769	5,259	261,1440	305,6127	5,2584	61,1402	94,3821	103,482	103,913	100,827
18	58,7103	94,3745	5,250	258,7138	305,6132	5,2492	58,7104	94,3807	103,325	104,036	100,827
19	56,2758	94,3780	5,251	256,2796	305,6095	5,2514	56,2760	94,3843	103,169	104,168	100,827
20	53,8458	94,3917	5,258	253,8489	305,5966	5,2584	53,8457	94,3976	103,012	104,286	100,826
21	51,4293	94,4154	5,276	251,4326	305,5724	5,2752	51,4293	94,4215	102,857	104,411	100,826
22	49,0289	94,4454	5,300	249,0321	305,5450	5,3006	49,0288	94,4502	102,701	104,537	100,825
23	50,2301	95,6330	5,282	250,2340	304,3565	5,2806	50,2304	95,6383	102,780	104,479	100,726
24	52,6394	95,6114	5,260	252,6433	304,3791	5,2602	52,6397	95,6162	102,936	104,350	100,726
25	55,0632	95,5953	5,247	255,0670	304,3950	5,2472	55,0634	95,6002	103,091	104,224	100,726
26	57,4967	95,5861	5,242	257,4990	304,4034	5,2434	57,4962	95,5914	103,248	104,100	100,727
27	59,9290	95,5858	5,246	259,9313	304,4044	5,2456	59,9285	95,5907	103,404	103,975	100,727
28	61,1451	96,7971	5,247	261,1476	303,1904	5,2466	61,1447	96,8034	103,484	103,915	100,627
29	58,7144	96,7973	5,239	258,7178	303,1904	5,2398	58,7144	96,8035	103,327	104,034	100,627
30	56,2827	96,8045	5,240	256,2862	303,1840	5,2402	56,2828	96,8103	103,171	104,163	100,626
31	53,8538	96,8135	5,249	253,8565	303,1751	5,2486	53,8535	96,8192	103,015	104,288	100,626
32	51,4368	96,8274	5,265	251,4397	303,1607	5,2656	51,4366	96,8334	102,859	104,414	100,626
33	49,0388	96,8487	5,290	249,0424	303,1423	5,2894	49,0389	96,8532	102,703	104,539	100,625
34	50,2406	98,0428	5,274	250,2427	301,9476	5,2746	50,2400	98,0476	102,782	104,478	100,526
35	52,6476	98,0315	5,253	252,6509	301,9593	5,2534	52,6476	98,0361	102,938	104,352	100,526
36	55,0694	98,0237	5,241	255,0738	301,9676	5,2408	55,0699	98,0281	103,094	104,227	100,526
37	57,5012	98,0174	5,236	257,5042	301,9730	5,2358	57,5010	98,0222	103,250	104,102	100,527
38	59,9325	98,0133	5,240	259,9359	301,9778	5,2400	59,9325	98,0178	103,407	103,978	100,527
39	61,1474	99,2274	5,244	261,1499	300,7623	5,2442	61,1470	99,2323	103,486	103,917	100,427
40	58,7189	99,2302	5,237	258,7219	300,7607	5,2366	58,7187	99,2348	103,330	104,041	100,427
41	56,2877	99,2340	5,239	256,2905	300,7549	5,2388	56,2874	99,2393	103,174	104,167	100,427
42	53,8619	99,2406	5,247	253,8639	300,7496	5,2472	53,8612	99,2455	103,018	104,292	100,426
43	51,4449	99,2466	5,262	251,4476	300,7429	5,2610	51,4446	99,2519	102,861	104,415	100,426
44	49,0493	99,2545	5,287	249,0528	300,7349	5,2878	49,0494	99,2598	102,706	104,542	100,425
0	0			200,0034							

Κορυφή Α

Αρ.	1 ^η θέση			2 ^η θέση			Hz(g)	Z(g)	X(m)	Y(m)	H(m)
	Hz(g)	Zv(g)	S(m)	Hz(g)	Z(g)	S(m)					
1	339,7629	93,5806	3,753	139,7677	306,4204	3,756	339,7633	93,5801	102,775	104,471	101,127
2	342,4420	93,7740	3,873	142,4467	306,2242	3,876	342,4424	93,7749	102,931	104,346	101,127
3	344,9397	93,9660	4,000	144,9428	306,0304	4,006	344,9393	93,9678	103,089	104,221	101,128
4	347,2993	94,1532	4,131	147,3047	305,8431	4,137	347,3000	94,1551	103,243	104,095	101,128
5	349,4830	94,3369	4,269	149,4894	305,6605	4,275	349,4842	94,3382	103,400	103,971	101,128
6	350,5010	95,8885	4,335	150,5025	304,1080	4,340	350,4998	95,8903	103,479	103,911	101,029
7	348,3985	95,7590	4,192	148,4015	304,2398	4,198	348,3980	95,7596	103,322	104,034	101,028
8	346,1277	95,6235	4,058	146,1329	304,3755	4,063	346,1283	95,6240	103,166	104,159	101,028
9	343,7025	95,4844	3,927	143,7060	304,5151	3,933	343,7023	95,4847	103,010	104,284	101,028
10	341,1172	95,3429	3,803	141,1232	304,6567	3,809	341,1182	95,3431	102,854	104,409	101,027
11	338,3464	95,2027	3,687	138,3488	304,7956	3,692	338,3456	95,2036	102,698	104,535	101,027
12	339,7440	96,9713	3,741	139,7498	303,0272	3,744	339,7449	96,9721	102,778	104,473	100,927
13	342,4219	97,0598	3,862	142,4231	302,9378	3,864	342,4205	97,0610	102,933	104,347	100,927
14	344,9245	97,2332	3,989	144,9286	302,8500	3,992	344,9246	97,1916	103,090	104,223	100,925
15	347,2702	97,2332	4,119	147,2740	302,7651	4,126	347,2701	97,2341	103,245	104,097	100,928
16	349,4564	97,3170	4,259	149,4603	302,6820	4,264	349,4564	97,3175	103,402	103,973	100,929
17	350,4811	98,8257	4,329	150,4857	301,1714	4,334	350,4814	98,8272	103,481	103,912	100,829
18	348,3697	98,7944	4,188	148,3734	301,2049	4,193	348,3696	98,7948	103,325	104,036	100,828
19	346,1036	98,7594	4,053	146,1070	301,2387	4,058	346,1033	98,7604	103,170	104,161	100,828
20	343,6805	98,7257	3,923	143,6830	301,2751	3,926	343,6798	98,7253	103,013	104,286	100,828
21	341,0924	98,6914	3,798	141,0966	301,3081	3,800	341,0925	98,6917	102,856	104,411	100,827
22	338,3286	98,6552	3,681	138,3317	301,3435	3,683	338,3282	98,6559	102,700	104,537	100,827
23	339,7225	100,3763	3,738	139,7263	299,6208	3,743	339,7224	100,3778	102,779	104,475	100,727
24	342,3946	100,3588	3,858	142,3986	299,6422	3,862	342,3946	100,3583	102,934	104,349	100,727
25	344,8973	100,3413	3,986	144,9007	299,6590	3,991	344,8970	100,3412	103,091	104,225	100,728
26	347,2421	100,3247	4,119	147,2451	299,6774	4,124	347,2416	100,3237	103,248	104,100	100,728
27	349,4313	100,3086	4,258	149,4342	299,6905	4,262	349,4308	100,3091	103,404	103,975	100,728
28	350,4580	101,7679	4,331	150,4619	298,2315	4,337	350,4580	101,7682	103,483	103,914	100,629
29	348,3389	101,8336	4,191	148,3433	298,1653	4,197	348,3391	101,8342	103,327	104,039	100,628
30	346,0699	101,9033	4,055	146,0741	298,0964	4,060	346,0700	101,9035	103,171	104,163	100,628
31	343,6498	101,9703	3,925	143,6516	298,0279	3,929	343,6487	101,9712	103,014	104,288	100,627
32	341,0646	102,0401	3,801	141,0688	297,9586	3,805	341,0647	102,0408	102,858	104,413	100,627
33	338,3053	102,1120	3,684	138,3101	297,8866	3,687	338,3057	102,1127	102,702	104,539	100,627
34	339,6937	103,7716	3,749	139,6966	296,2281	3,752	339,6932	103,7718	102,782	104,477	100,527
35	342,3614	103,6482	3,868	142,3624	296,3500	3,873	342,3599	103,6491	102,938	104,352	100,527
36	344,8610	103,5269	3,995	144,8660	296,4718	3,999	344,8615	103,5276	103,093	104,227	100,528
37	347,2047	103,4074	4,129	147,2072	296,5908	4,132	347,2040	103,4083	103,250	104,102	100,528
38	349,3974	103,2910	4,266	149,3999	296,7059	4,271	349,3967	103,2926	103,406	103,978	100,528
39	350,4170	104,6960	4,344	150,4202	295,3030	4,350	350,4166	104,6965	103,486	103,917	100,429
40	348,2994	104,8560	4,204	148,3012	295,1422	4,210	348,2983	104,8569	103,330	104,042	100,428
41	346,0237	105,0230	4,071	146,0250	294,9730	4,074	346,0224	105,0250	103,175	104,167	100,428
42	343,6016	105,1972	3,941	143,6048	294,8022	3,944	343,6012	105,1975	103,018	104,292	100,427
43	341,0262	105,3732	3,818	141,0310	294,6262	3,821	341,0266	105,3735	102,862	104,417	100,427
44	338,2680	105,5467	3,701	138,2717	294,4498	3,704	338,2679	105,5485	102,706	104,542	100,427
0	0			200,0040							

3. ΡΩΓΜΕΣ ΝΑΟΥ

Σφηνοειδής ρωγή θόλου

Σημείο	H _z (g)	Z(g)	S(m)	X(m)	Y(m)	H(m)
1	192,5313	38,3904	7,957	-58,854	129,896	108,893
2	181,6283	46,4500	8,481	-59,818	128,839	108,661
3	182,7411	44,8923	8,404	-59,643	128,985	108,739
4	183,6763	43,9713	8,337	-59,529	129,094	108,765
5	184,2585	42,9447	8,209	-59,361	129,182	108,750
6	186,4499	41,9312	8,198	-59,289	129,375	108,822
7	186,7287	41,1778	8,112	-59,167	129,420	108,813
8	188,1592	40,7402	8,138	-59,157	129,533	108,867
9	188,3550	39,7931	8,015	-58,992	129,575	108,838
10	189,3335	39,3158	8,017	-58,956	129,653	108,875
11	191,5050	38,8510	7,984	-58,909	129,817	108,882
12	193,8003	38,3540	7,939	-58,847	129,987	108,880
13	196,2446	39,9012	8,115	-59,117	130,150	108,912
14	198,8106	39,5782	8,171	-59,119	130,342	108,981
15	203,1618	41,0003	8,317	-59,340	130,685	108,990
16	206,4667	41,9506	8,384	-59,453	130,960	108,967

Διαμήκης ρωγή θόλου

Σημείο	H _z (g)	Z(g)	S(m)	X(m)	Y(m)	H(m)
1	192,5313	38,3904	7,957	-58,854	129,896	108,893
2	191,5542	35,8850	7,717	-58,459	129,869	108,661
3	191,3781	32,8505	7,496	-58,036	129,905	108,739
4	191,7550	31,4480	7,484	-57,890	129,943	108,765
5	190,0681	28,9133	7,319	-57,544	129,894	108,750
6	191,3370	27,9640	7,273	-57,434	129,970	108,822
7	188,0816	17,8830	6,837	-56,231	130,008	108,813
8	177,7819	12,9061	6,705	-55,640	129,884	108,867
9	173,6368	10,7502	6,665	-55,397	129,889	108,838
10	160,3175	7,8000	6,701	-55,037	129,853	108,875
11	40,3295	6,0078	6,709	-53,860	129,928	108,882
12	26,0080	9,4170	6,648	-53,471	129,903	108,880
13	15,8810	13,8013	6,743	-52,964	129,922	108,912
14	4,8084	32,1247	7,614	-50,698	129,947	108,981
15	9,4580	32,1252	7,518	-50,780	129,689	108,990
16	7,2800	36,2707	7,793	-50,197	129,733	108,967
17	6,7920	39,0200	8,038	-49,776	129,710	109,021
18	5,9830	43,7176	8,516	-48,999	129,676	109,023
19	5,7524	47,6545	8,951	-48,309	129,616	109,024

Ρωγμή δυτικού τοίχου

Σημείο	Hz(g)	Z(g)	S(m)	X(m)	Y(m)	H(m)
1	171,1640	105,0340	6,029	-59,827	127,818	108,893
2	169,8756	99,8272	6,064	-59,824	127,684	108,661
3	170,8258	99,8323	6,027	-59,829	127,782	108,739
4	170,8393	94,5343	6,056	-59,836	127,780	108,765
5	169,0863	94,5120	6,125	-59,826	127,599	108,750
6	169,0531	92,1836	6,163	-59,837	127,590	108,822
7	166,5760	87,7114	6,348	-59,827	127,325	108,813
8	166,3875	86,0242	6,393	-59,825	127,304	108,867
9	165,2853	84,0444	6,488	-59,813	127,187	108,838
10	167,6568	79,2046	6,520	-59,828	127,444	108,875
11	169,7095	74,4668	6,619	-59,844	127,657	108,882
12	170,5356	69,8869	6,804	-59,845	127,744	108,880
13	170,6188	65,9183	7,007	-59,821	127,764	108,912
14	170,0824	65,9180	7,045	-59,828	127,704	108,981
15	170,9270	62,1659	7,263	-59,825	127,794	108,990
16	167,0412	62,8348	7,438	-59,827	127,376	108,967
17	166,3832	60,3047	7,718	-59,848	127,291	109,021
18	169,2760	59,4440	7,592	-59,834	127,616	109,023
19	167,6262	57,2372	7,922	-59,849	127,429	109,024
20	170,7150	56,4922	7,799	-59,844	127,763	109,026
21	170,5971	54,0369	8,045	-59,830	127,757	109,025
22	172,0697	53,7540	8,023	-59,851	127,901	109,024
23	173,8400	52,3833	8,073	-59,842	128,084	109,025
24	174,9694	50,8645	8,173	-59,824	128,204	109,025
25	177,7701	52,5390	7,891	-59,855	128,465	109,022
26	178,1723	51,4019	8,000	-59,850	128,505	109,022
27	179,9927	50,1031	8,085	-59,848	128,678	109,021
28	177,4261	50,3839	8,216	-59,889	128,420	109,018
29	176,8232	48,2933	8,415	-59,819	128,387	109,018

4. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΝΑΟΥ

Σημεία ελέγχου δυτικού τοίχου

Αρ.	1 ^η θέση			2 ^η θέση			Hzτελ(g)	Z(g)	X(m)	Y(m)	H(m)
	Hz(g)	Z(g)	S(m)	Hz(g)	Z(g)	S(m)					
1	177,4743	54,6933	7,659	377,4951	345,3096	7,663	177,4838	54,6919	-59,850	128,439	107,262
2	190,9543	48,6086	7,989	390,9573	351,3930	7,990	190,9549	48,6078	-59,847	129,666	108,031
3	205,8726	48,6093	7,985	5,8767	351,3935	7,987	205,8738	48,6079	-59,845	130,958	108,028
4	226,1618	55,9213	7,835	26,1607	344,0756	7,834	226,1604	55,9229	-59,829	132,858	107,260
5	171,3376	65,1786	7,040	371,3392	334,8259	7,043	171,3375	65,1764	-59,838	127,831	105,922
6	198,2960	58,8024	6,869	398,3029	341,2008	6,873	198,2986	58,8008	-59,842	130,302	106,402
7	225,7857	65,2487	7,041	25,7913	334,7520	7,041	225,7876	65,2484	-59,832	132,821	105,914
8	198,3659	71,2919	6,081	398,3625	328,7028	6,082	198,3633	71,2946	-59,834	130,308	104,909
9	171,1988	83,0953	6,230	371,1991	316,9012	6,231	171,1981	83,0971	-59,830	127,820	103,894
10	177,0737	98,9371	5,798	377,0757	301,0631	5,798	177,0738	98,9370	-59,835	128,405	102,356
11	225,5393	99,0378	6,002	25,5346	300,9640	6,003	225,5361	99,0369	-59,827	132,792	102,350
12	225,7247	78,1615	6,381	25,7308	321,8405	6,381	225,7269	78,1605	-59,826	132,812	104,405

Σημεία ελέγχου νότιου τοίχου

Αρ.	1 ^η θέση			2 ^η θέση			Hzτελ(g)	Z(g)	X(m)	Y(m)	H(m)
	Hz(g)	Z(g)	S(m)	Hz(g)	Z(g)	S(m)					
1	64,6579	107,3760	3,694	264,6605	292,6230	3,696	264,6583	107,3765	-52,503	127,149	101,862
2	148,1930	106,1118	4,464	348,1945	293,8888	4,470	148,1929	106,1115	-57,493	127,158	101,861
3	153,8686	92,3325	4,940	353,8724	307,6586	4,945	153,8696	92,3370	-58,113	127,153	102,882
4	140,7268	46,7586	6,066	340,7365	353,2455	6,067	140,7303	46,7566	-56,867	127,114	106,842
5	43,3184	41,8136	6,889	243,3180	358,1873	6,893	43,3168	41,8132	-51,156	127,588	107,796
6	74,7974	48,5788	4,975	274,8049	351,4214	4,974	74,7998	48,5787	-53,113	127,111	105,934
7	147,7600	52,8661	6,056	347,7650	347,1387	6,058	147,7611	52,8637	-57,488	127,120	106,425
8	147,8673	61,4053	5,428	347,8738	338,5929	5,435	147,8692	61,4062	-57,488	127,130	105,434
9	305,2070	89,2932	3,018	105,2013	310,7100	3,017	305,2027	89,2916	-45,639	127,135	102,869
10	318,1312	110,4778	3,135	118,1323	289,5195	3,138	318,1303	110,4792	-46,265	127,146	101,850
11	353,5191	107,0287	4,578	153,5154	292,9695	4,582	353,5158	107,0296	-48,788	127,141	101,859
12	291,5971	40,5598	5,037	91,5938	359,4379	5,041	291,5940	40,5610	-45,001	127,113	106,414
13	305,0474	54,9740	3,924	105,0506	345,0265	3,928	305,0475	54,9738	-45,632	127,125	104,915
14	352,7789	53,6226	6,094	152,7826	346,3716	6,096	352,7793	53,6255	-48,751	127,104	106,421
15	362,4129	72,3749	6,110	162,4213	327,6254	6,113	362,4156	72,3748	-50,004	127,120	104,934

Σημεία ελέγχου βόρειου τοίχου

Αρ.	1 ^η θέση			2 ^η θέση			Hzτελ(g)	Z(g)	X(m)	Y(m)	H(m)
	Hz(g)	Z(g)	S(m)	Hz(g)	Z(g)	S(m)					
1	263,6694	107,5378	3,666	63,6677	292,4623	3,669	263,6677	107,5378	-56,252	133,427	101,856
2	310,3204	88,1254	3,228	110,3201	311,8748	3,230	310,3194	88,1253	-53,772	133,432	102,888
3	332,6981	107,4600	3,644	132,6951	292,5365	3,646	332,6957	107,4618	-52,505	133,423	101,863
4	242,6730	59,7697	6,076	42,6698	340,2248	6,077	242,6700	59,7725	-58,127	133,454	105,928
5	248,2777	72,1350	4,889	48,2850	327,8596	4,887	248,2800	72,1377	-57,499	133,437	104,411
6	310,2396	42,4974	5,204	110,2470	357,4968	5,206	310,2419	42,5003	-53,767	133,482	106,426
7	310,3603	56,6523	4,118	110,3586	343,3515	4,120	310,3581	56,6504	-53,765	133,459	104,932
8	322,1432	41,2652	5,643	122,1435	358,7430	5,647	322,1420	41,2611	-53,121	133,489	106,840
9	42,7864	58,2344	6,658	242,7924	341,7720	6,661	42,7879	58,2312	-49,371	133,479	106,427
10	47,8326	68,8124	5,444	247,8353	331,1909	5,443	47,8325	68,8108	-48,752	133,457	104,925
11	92,7703	44,3842	5,290	292,7700	355,6144	5,292	92,7687	44,3849	-45,626	133,477	106,420
12	126,2008	56,2394	4,813	326,2057	343,7644	4,816	126,2018	56,2375	-43,752	133,466	105,419
13	42,4374	81,9108	5,478	242,4384	318,0879	5,477	42,4364	81,9115	-49,375	133,445	103,900
14	47,4295	99,9839	4,795	247,4342	300,0144	4,792	47,4304	99,9848	-48,766	133,429	102,365
15	126,3562	82,9740	3,835	326,3621	287,0203	3,837	126,3577	82,9769	-43,695	133,565	102,486
16	248,1758	85,5040	4,556	48,1785	315,4933	4,554	248,1763	85,5054	-57,506	133,434	103,352

Σημεία ελέγχου θόλου

Αρ.	1 ^η θέση			2 ^η θέση			Hzτελ(g)	Z(g)	X(m)	Y(m)	H(m)
	Hz(g)	Z(g)	S(m)	Hz(g)	Z(g)	S(m)					
1	93,4315	6,2656	6,608	293,4700	393,7342	6,589	93,4394	6,2657	-54,310	129,668	108,855
2	259,7200	9,0097	6,618	59,7630	390,9869	6,616	259,7302	9,0114	-54,894	131,081	108,839
3	373,6619	10,5947	6,705	173,7041	389,4019	6,703	373,6717	10,5964	-53,333	130,736	108,901
4	19,5264	10,3275	6,716	219,5640	389,6673	6,714	19,5339	10,3301	-53,335	129,962	108,916
5	26,6320	19,0269	6,877	226,6630	380,9690	6,876	26,6362	19,0290	-52,531	129,447	108,861
6	399,8900	29,6777	7,461	199,9161	370,3194	7,460	399,8917	29,6792	-51,008	130,238	108,953
7	377,6115	29,6575	7,353	177,6392	370,3379	7,352	377,6140	29,6598	-51,233	131,376	108,858
8	394,1457	22,0751	7,107	194,1715	377,9210	7,108	394,1473	22,0771	-51,951	130,477	108,973
9	389,4510	33,8307	7,723	189,4778	366,1636	7,722	389,4531	33,8336	-50,486	130,865	108,946
10	399,8791	39,0550	8,158	199,9027	360,9419	8,157	399,8796	39,0566	-49,665	130,208	108,959
11	383,3307	40,1848	8,124	183,3573	359,8104	8,124	383,3327	40,1872	-49,700	131,442	108,848
12	390,7139	42,7969	8,492	190,7355	357,1973	8,492	390,7134	42,7998	-49,111	130,955	108,933
13	397,7161	61,5934	11,496	197,7203	338,4017	11,492	397,7173	61,5959	-54,788	129,986	108,885
14	1,8643	60,3200	11,135	201,8648	339,6767	11,134	1,8637	60,3217	-54,351	130,579	108,863
15	21,3755	27,3867	7,191	221,3830	372,6092	7,191	21,3784	27,3888	-48,130	131,151	108,900
16	399,2426	30,6119	7,440	199,2485	369,3833	7,441	399,2447	30,6143	-48,765	130,137	108,960
17	29,0845	32,8755	7,326	229,0900	367,1206	7,327	29,0864	32,8775	-48,530	131,768	108,735
18	279,3543	20,7672	6,233	79,3690	379,2271	6,234	279,3608	20,7701	-44,733	128,184	108,269
19	276,6975	14,6284	6,408	76,7280	385,3669	6,408	276,7119	14,6308	-44,835	128,718	108,603
20	265,4232	9,1406	6,497	65,4580	390,8560	6,496	265,4397	9,1423	-44,863	129,286	108,794
21	246,1796	14,7067	6,535	46,2140	385,2869	6,534	246,1959	14,7099	-44,228	129,073	108,725
22	308,2072	13,4025	6,400	108,2328	386,5920	6,401	308,2191	13,4053	-45,528	128,771	108,623
23	204,1459	9,3266	6,623	4,1766	390,6690	6,622	204,1604	9,3288	-44,360	130,007	108,915
24	152,2276	8,3925	6,606	352,2690	391,6065	6,604	152,2474	8,3930	-44,674	130,669	108,912
25	151,0544	14,9106	6,667	351,0777	385,0853	6,667	151,0652	14,9127	-44,185	131,141	108,849
26	115,0659	14,9410	6,598	315,0835	385,0552	6,599	115,0738	14,9429	-44,927	131,576	108,782
27	95,0386	11,4636	6,602	295,0660	388,5315	6,603	95,0514	11,4661	-45,386	131,274	108,860
28	88,6177	22,4550	6,480	288,6215	377,5416	6,479	88,6187	22,4567	-45,667	132,305	108,445
29	86,6842	27,4376	6,353	286,6992	372,5588	6,353	86,6908	27,4394	-45,810	132,702	108,136
30	105,3140	35,5956	5,958	305,3210	364,4031	5,959	105,3166	35,5963	-44,983	133,236	107,415
31	124,0400	32,9630	6,267	324,0496	367,0351	6,266	124,0439	32,9640	-44,109	132,947	107,809
32	129,8735	24,0955	6,543	329,8890	375,9003	6,544	129,8804	24,0976	-44,177	132,222	108,444
33	224,4184	46,4440	8,013	24,4157	353,5546	8,016	224,4157	46,4447	-59,264	132,434	108,313
34	203,0797	40,8515	8,281	3,0852	359,1426	8,280	203,0811	40,8545	-59,304	130,676	108,972