



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

ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΩΝ ΑΠΟΚΛΙΣΕΩΝ
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ
ΕΝΟΣ ΚΙΟΝΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΣΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΝΑΟΥ ΤΟΥ ΗΦΑΙΣΤΟΥ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΜΑΚΑΡΗ ΜΑΡΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ
Γ. ΓΕΩΡΓΟΠΟΥΛΟΣ
ΛΕΚΤΟΡΑΣ Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ – ΙΟΥΛΙΟΣ 2012

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλους τους ανθρώπους, που με την στήριξη και την συνεργασία τους, βοήθησαν στην επίτευξη της.

Κατ' αρχήν, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους Λέκτορες της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Γεώργιο Γεωργόπουλο και Ελισάβετ Τελειώνη, για την ανάθεση της εργασίας αυτής και για την διαρκή επιστημονική και πρακτική τους υποστήριξη. Η καθοδήγηση τους, καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας, ήταν καθοριστική για την ολοκλήρωση της.

Επίσης, ευχαριστώ την Α' Εφορεία Προϊστορικών και Κλασικών Αρχαιοτήτων (Α' ΕΠΚΑ), για την συγκατάθεση της στην πραγματοποίηση της εργασίας στον Ναό του Ηφαίστου.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω την συνάδελφο Μαρκάκη Σμαράγδα, για την συνεργασία και την πολύτιμη βοήθεια της, όπως επίσης και τους, Μάκαρη Ελένη, Κοντογιάννη Γεωργία, Αντωνοπούλου Στεφανία και Γεώργιο Παππά, για την βοήθεια και την ηθική υποστήριξη τους.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την συμπαράσταση και την κατανόηση τους, καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Μάκαρη Μαρία

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	1
ABSTRACT	2
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
1.1. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	4
1.2. ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	7
2.1. ΓΕΝΙΚΑ.....	8
2.2. Η ΑΡΧΑΙΑ ΑΓΟΡΑ	9
2.2.1. Ιστορία.....	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΡΧΑΙΟΙ ΝΑΟΙ – Ο ΝΑΟΣ ΤΟΥ ΗΦΑΙΣΤΟΥ	16
3.1. Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΩΝ ΝΑΩΝ	17
3.1.1. Τα μέρη των ναών	18
3.1.2. Τυπολογία των ναών	18
3.1.3. Η ανωδομή ενός ναού	20
3.1.4. Ρυθμοί των αρχαίων ελληνικών ναών.....	23
3.2. Ο ΝΑΟΣ ΤΟΥ ΗΦΑΙΣΤΟΥ	27
3.3. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΝΑΟΥ.....	29
3.4. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	31
3.4.1. Η χρονολόγηση της οικοδόμησης	31
3.4.2. Ύστερη ιστορία του Ναού	32
3.5. ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΙΔΡΥΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ	37
4.1. ΓΕΝΙΚΑ.....	38
4.2. ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	39
4.3. ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΚΟΡΥΦΩΝ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ.....	41

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ – ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	45
5.1. ΟΡΓΑΝΑ & ΠΑΡΕΛΚΟΜΕΝΑ	46
5.1.1 Έλεγχος για την ύπαρξη κυκλικού σφάλματος	48
5.2. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ.....	52
5.3. ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	53
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΕΠΙΛΥΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ	55
6.1. ΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ	56
6.2. ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ	57
6.3. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ.....	58
6.3.1 Ολικός έλεγχος αξιοπιστίας - Test χ^2	58
6.3.2 Σάρωση δεδομένων κατά Baarda	59
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΕΙΚΟΝΟΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ - ΣΑΡΩΣΕΙΣ	61
7.1. ΓΕΝΙΚΑ.....	62
7.2. ΟΡΓΑΝΑ.....	63
7.2.1 Εικονογεωδαιτικός Σταθμός IS 203i της Topcon	63
7.2.2. Παρελκόμενα	64
7.3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	64
7.4. ΣΑΡΩΣΗ ΚΙΟΝΑ.....	68
7.4.1. Εμπροσθοτομίες.....	68
7.4.2. Σαρώσεις – Μετρήσεις Τοποσταθερών.....	70
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΠΟΝΔΥΛΩΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΣΠΟΝΔΥΛΩΝ ΚΙΟΝΑ	73
8.1. ΣΤΡΟΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	74
8.2. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	76
8.3. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΣΠΟΝΔΥΛΩΝ.....	81
8.3.1. Προσδιορισμός των κέντρων με χρήση των τοποσταθερών	81
8.3.2. Προσδιορισμός των κέντρων με χρήση λογισμικού (RW).....	84
8.3.3. Μετακινήσεις μετρημένες με άμεσες μετρήσεις	88
8.4. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ.....	89
8.4.1. Προσδιορισμός διαμέτρων και κλίσεων από τα τοποσταθερά.....	90
8.4.2. Προσδιορισμός διαμέτρων και κλίσεων με χρήση λογισμικού	90

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΡΓΑΣΙΩΝ	95
9.1. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ.....	96
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	99
10.1. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	100
10.2. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	105
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	106
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	108

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΧΑΡΤΩΝ

Χάρτης 1: Χάρτης της Αρχαίας Αγοράς [13]	9
Χάρτης 2: Η Αγορά το 490π.Χ. [16].....	11
Χάρτης 3: Η Αγορά το 400π.Χ. [16].....	12
Χάρτης 4: Η Αγορά το 2ο αι. π.Χ. [16].....	13
Χάρτης 5: Η Αγορά το 2ο αι. μ.Χ. [16].....	14

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Σύστημα συν/ων με τον άξονα των X παράλληλο στην πλευρά Σ1-Σ6... 75	
Σχήμα 2: Στραμμένο σύστημα συν/νων κατά $\varphi = 84,3330^\circ$, με τον άξονα των X παράλληλο στην νότια πλευρά του ναού	75
Σχήμα 3: Διάνυσμα μετατόπισης των κέντρων των σπονδύλων στο επίπεδο (X,Y).....	87

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1: Καμπύλη Κυκλικού Σφάλματος.....	50
Διάγραμμα 2: Διάγραμμα ροής εντολών που χρησιμοποιήθηκαν στο Realworks. 77	
Διάγραμμα 3: Κατανομή εργασιών της διπλωματικής εργασίας	96
Διάγραμμα 4: Κατανομή των εργασιών υπαίθρου.....	97
Διάγραμμα 5: Κατανομή των εργασιών γραφείου.....	98

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Κάτοψη περίπτερου ναού [16]	18
Εικόνα 2: Τύποι ναών: Ναός εν παραστάσι, Πρόστυλος, Διπλός εν παραστάσι, Αμφιπρόστυλος [16]	19
Εικόνα 3: Περίπτερος & Δίπτερος ναός [16]	19
Εικόνα 4: Διαμόρφωση της κρηπίδας. [16]	20
Εικόνα 5: Πυραμιδοειδής Διάταξη ναού [18]	21
Εικόνα 6: Ναός Δωρικού ρυθμού [16].....	24
Εικόνα 7: Ναός Ιωνικού ρυθμού [16]	26
Εικόνα 8: Κιονόκρανο Κορινθιακού ρυθμού [16].....	27
Εικόνα 9: Θέση του Ναού του Ηφαίστου [14].....	28
Εικόνα 10: Ο ναός του Ηφαίστου, η ανατολική πλευρά (πρόναος) [16]	29
Εικόνα 11: Τομή και κάτοψη του ναού κατά την αρχαιότητα, καθώς και κάτοψη όπου παρουσιάζονται οι δομικές αλλαγές κατά την μετατροπή του ναού σε χριστιανική εκκλησία [11].....	34
Εικόνα 12: Εξεταζόμενος κίονας στο Ναό του Ηφαίστου (NK5)	39
Εικόνα 13: Θέσεις κορυφών δικτύου οριζοντίου ελέγχου [14]	42
Εικόνα 14: Σήμανση με σιδερόβεργα	43
Εικόνα 15: Σήμανση με χάραξη σταυρού.....	43
Εικόνα 16: Σήμανση στον αρμό μεταξύ δυο λίθων της κρηπίδας.....	44
Εικόνα 17: Γεωδαιτικός Σταθμός Topcon IS 203i [17]	46
Εικόνα 18: Παρελκόμενα	47
Εικόνα 19: Αίθουσα Λ.Υ29 - Υ30 Μετρολογικού Ελέγχου Οργάνων, Κτήριο Λαμπαδαρίου, Πολυτεχνειούπολη	49
Εικόνα 20: Μορφή Δικτύου Οριζοντίου Ελέγχου [14]	54
Εικόνα 21: Βάθρο μετρήσεων (αίθουσα Υ23, Κτήριο Λαμπαδαρίου, Πολυτεχνειούπολη)	65
Εικόνα 22: Αυτοκόλλητος στόχος στο δάπεδο (αίθουσα Υ23, Κτήριο Λαμπαδαρίου, Πολυτεχνειούπολη)	66
Εικόνα 23: Νέφος σημείων από σάρωση του βάθρου στην αίθουσα Υ23 (3D, πλάγια όψη & κάτοψη)	67
Εικόνα 24: NK5	68
Εικόνα 25: Διεξαγωγή σαρώσεων από την κορυφή Ε2.....	69
Εικόνα 26: Χαρακτηριστικά σημεία σε μεγέθυνση, B47(αρμός ένωσης) & B36 (ακραίο σημείο)	71

Εικόνα 27: Κροκί τοποσταθερών	72
Εικόνα 28: Φωτογραφία από τον IS, τοποσταθερών από την E2, στον 7 ^ο σπόνδυλο.....	72
Εικόνα 29: Νέφος σημείων & απόδοση επιφανείας του NK5 (3D) στο περιβάλλον Realworks	78
Εικόνα 30: Δημιουργία τομής κοντά στην άνω βάση του 1 ^{ου} σπόνδυλου	79
Εικόνα 31: Δημιουργία τομής κοντά στην κάτω βάση του 1 ^{ου} σπόνδυλου.....	79
Εικόνα 32: Οριζόντιες Τομές στον NK5	80
Εικόνα 33: Προσδιορισμός του κέντρου, στην άνω έδρα του 4 ^{ου} σπόνδυλου	84
Εικόνα 34: Παράδειγμα οριζόντιας τομής σε κίονα δωρικού ρυθμού	91
Εικόνα 35: Φθορές στον 1 ^ο σπόνδυλο του NK5.....	91
Εικόνα 36: Φθορές στον 6 ^ο σπόνδυλο του NK5.....	92
Εικόνα 37: Προσαρμογή κλειστής γραμμής σε οριζόντια τομή σπονδύλου	93

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Τεχνικά χαρακτηριστικά του Topcon IS 203i [17]	47
Πίνακας 2: Κατακόρυφες Γωνίες, Κεκλιμένες & Οριζόντιες Αποστάσεις μεταξύ των κορυφών του Δικτύου Οριζοντίου Ελέγχου	53
Πίνακας 3: Οριζόντιες Γωνίες μεταξύ των κορυφών του Δικτύου Οριζοντίου Ελέγχου.....	54
Πίνακας 4: Στοιχεία του Δικτύου Οριζοντίου Ελέγχου	56
Πίνακας 5: Προσωρινές Συντεταγμένες των κορυφών του Δικτύου Οριζοντίου Ελέγχου.....	57
Πίνακας 6: Συντεταγμένες των κορυφών του Δικτύου Οριζοντίου Ελέγχου με τις αβεβαιότητες τους	58
Πίνακας 7: Στατιστικός Έλεγχος Παρατηρήσεων κατά Baarda	60
Πίνακας 8: Τεχνικά χαρακτηριστικά του Topcon IS 203i [17]	63
Πίνακας 9: Συντεταγμένες κορυφών όδευσης.....	66
Πίνακας 10: Μετρήσεις με μετροταινία.....	67
Πίνακας 11: Συντεταγμένες στάσεων οργάνου E1 & E2, που προσδιορίστηκαν με εμπροσθοτομία	70
Πίνακας 12: Υψόμετρα & Οριζοντιογραφικές συντεταγμένες των κέντρων των σπονδύλων με τα τυπικά τους σφάλματα, από τοποσταθερά.....	83
Πίνακας 13: Σχετικές μετατοπίσεις των σπονδύλων από τοποσταθερά.....	83
Πίνακας 14: Συντεταγμένες των κέντρων των σπονδύλων, με χρήση λογισμικού..	85

Πίνακας 15: Σχετικές μετακινήσεις των σπονδύλων, με χρήση λογισμικού	86
Πίνακας 16: Σχετικές μετακινήσεις των 3 πρώτων σπονδύλων, με άμεσες μετρήσεις.....	89
Πίνακας 17: Ακτίνες & Διάμετροι σπονδύλων με τα τυπικά τους σφάλματα, Κλίσεις (τοποσταθερά)	90
Πίνακας 18: Προσδιορισμός ακτίνας και διαμέτρου στις τομές του ΝΚ5, με χρήση λογισμικού.....	93

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο ναός του Ηφαίστου (Θησείο) αποτελεί τον καλύτερα σωζόμενο Δωρικό ναό στην Ελλάδα. Ωστόσο τα δομικά στοιχεία του (κρηπίδα, κίονες κλπ) έχουν υποστεί σημαντικές παραμορφώσεις εξαιτίας αφενός μεν των εκτεταμένων καθιζήσεων του θεμελίου καθώς και της απόκρισής του ναού στους σεισμούς που έχουν συμβεί. Είναι χαρακτηριστικές οι μεγάλες μετακινήσεις των σπονδύλων των κίωνων της δυτικής και νότιας πλευράς της περίπτωσης καθώς και η ρηγμάτωση του δυτικού τοίχου του σηκού. Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανίχνευση της δυνατότητας προσδιορισμού των παραμορφώσεων και τεκμηρίωσης των γεωμετρικών χαρακτηριστικών ενός δομικού στοιχείου του ναού με εφαρμογή της γεωδαιτικής μεθοδολογίας, μέσω της δημιουργίας τρισδιάστατου ψηφιακού μοντέλου.

Για το σκοπό αυτό, ιδρύθηκε περιμετρικά του ναού, Δίκτυο Οριζοντίου Ελέγχου, μετρήθηκαν τα στοιχεία του και οι παρατηρήσεις συνορθώθηκαν με την Μέθοδο των Ελαχίστων Τετραγώνων. Από την επίλυση του δικτύου προέκυψαν οι συντεταγμένες των κορυφών του σε αυθαίρετο τοπικό σύστημα αναφοράς.

Ακολούθως, χρησιμοποιώντας εικονογεωδαιτικό σταθμό σαρώθηκε το στοιχείο που επιλέχθηκε να μελετηθεί: ο πέμπτος κίονας της νότιας πλευράς της περίπτωσης, στον οποίο παρουσιάζονται μεγάλες μετατοπίσεις μεταξύ των σπονδύλων του. Παράλληλα, μετρήθηκαν και τοποσταθερά πάνω στον εξεταζόμενο κίονα με σκοπό τον έλεγχο των αποτελεσμάτων της σάρωσης. Από τις δυο αυτές ομάδες δεδομένων, προσδιορίστηκαν οι μετατοπίσεις των σπονδύλων του συγκεκριμένου κίονα, οι κλίσεις τους και οι διάμετροι τους, εφαρμόζοντας δύο διαφορετικές μεθοδολογίες. Για την επεξεργασία των ψηφιακών δεδομένων (νέφος σημείων) χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Realworks, ενώ από τα τοποσταθερά η Μέθοδος των Ελαχίστων Τετραγώνων. Τα στοιχεία που προσδιορίστηκαν συγκρίνονται μεταξύ τους καθώς και με αυτά που έχουν προκύψει από τις μετρήσεις των άνισων υψών των πρώτων σπονδύλων των κίωνων της περίπτωσης [1].

ABSTRACT

The Temple of Hephaestus (Theseion) is probably the best-preserved Doric order temple in Greece. However, its structural elements (crepidoma, columns, etc.) have undergone significant deformations, due to extensive subsidences of the foundation, as well as due to earthquakes: Significant displacements of the drums of the peristasis columns at the southern and western sides, as well as a great crack at the western side of the cella, can be observed. The subject of this diploma thesis is to detect the possibility of determination of the deformations and documentation of the geometric characteristics of a temple's structural element, using the geodetic methodology, by creating three-dimensional digital model.

For this purpose, a Horizontal Control Network was established around the temple, its elements were measured and the observations were adjusted using the Least Squares Method. From the solution of the network, the coordinates of the network's points were estimated in an arbitrary local reference system.

Following, the fifth column of the southern side of the peristasis, on which there are great displacements of the drums, was scanned using an imaging total station. Moreover, control points located on the surface of the column, near the lower and upper base of each drum, were measured in order to check the scan's results.

After editing the points cloud using RealWorks software the displacements of the column's drums were estimated. The diameters of each drum's lower and upper base together with its inclination were also estimated. These elements were determined, using least squares techniques for the approximation of the drums' bases with a circle, using as observations the measured control points. Finally the results obtained were compared to those estimated through the measurements of the uneven heights of the column's first drum.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανίχνευση της δυνατότητας προσδιορισμού μετακινήσεων και η τεκμηρίωση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των δομικών στοιχείων αρχαίων ναών, μέσω της δημιουργίας ενός τρισδιάστατου μοντέλου από έναν εικονογεωδαιτικό σταθμό.

Το μνημείο που αποτέλεσε το αντικείμενο έρευνας είναι ο Ναός του Ηφαίστου, ο οποίος βρίσκεται στον χώρο της Αρχαίας Αγοράς της Αθήνας. Σε πολλούς από τους κίονες του μνημείου είναι εμφανείς μεγάλες μετακινήσεις μεταξύ των σπονδύλων. Επιλέχθηκε να μελετηθεί ένας από τους κίονες της περίπτωσης (NK5), που βρίσκεται στην νότια πλευρά του ναού και παρουσιάζει έντονα το πρόβλημα αυτό.

Για την δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου, αρχικά ιδρύθηκε Δίκτυο Οριζοντίου Ελέγχου (Δ.Ο.Ε.), έτσι ώστε να αποτελέσει το δίκτυο υποδομής των μετρήσεων και την βάση για τον συσχετισμό με στοιχεία και παραμορφώσεις που μπορούν να μετρηθούν μελλοντικά στο ίδιο μνημείο.

Μετρήθηκαν τα στοιχεία του Δ.Ο.Ε, στην συνέχεια συνορθώθηκαν με την Μέθοδο Ελαχίστων Τετραγώνων και προσδιορίστηκαν οι συντεταγμένες των κορυφών του σε αυθαίρετο τοπικό σύστημα αναφοράς. Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε η σάρωση του κίονα NK5 με τον εικονογεωδαιτικό σταθμό Topcon, Imaging Station 203i. Με την σάρωση καταγράφηκε από το όργανο ένα «νέφος σημείων» ενταγμένο στο σύστημα αναφοράς του Δ.Ο.Ε. Παράλληλα μετρήθηκαν τοποσταθερά στην περίμετρο των σπονδύλων του κίονα.

Από την επεξεργασία αυτών των δύο ομάδων δεδομένων (νέφος σημείων και τοποσταθερά) προσδιορίστηκαν στον υπό μελέτη κίονα οι μετατοπίσεις μεταξύ των σπονδύλων, οι κλίσεις τους και οι διάμετροι τους.

1.2. ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελείται από δέκα κεφάλαια και ένα παράρτημα.

Το **πρώτο κεφάλαιο** περιλαμβάνει την Εισαγωγή, στην οποία αναλύονται ο σκοπός και η δομή της Διπλωματικής εργασίας.

Το **δεύτερο κεφάλαιο** περιλαμβάνει στοιχεία για την περιοχή μελέτης. Περιγράφεται ο χώρος της Αρχαίας Αγοράς της Αθήνας και οι ιστορικές συνθήκες που τον διαμόρφωσαν, ενώ αναφέρονται τα σημαντικότερα μνημεία που οικοδομήθηκαν εκεί στο πέρασμα των αιώνων.

Στο **τρίτο κεφάλαιο** αναφέρονται γενικά στοιχεία για την αρχιτεκτονική των ναών, εστιάζοντας, στην συνέχεια, στον Ναό του Ηφαίστου. Περιγράφονται τα μέρη των ναών, η τυπολογία τους, η ανωδομή τους και οι τρεις χαρακτηριστικοί αρχιτεκτονικοί ρυθμοί της αρχαιότητας. Εν συνεχεία παρατίθενται στοιχεία αρχιτεκτονικής και κατασκευής του Ναού του Ηφαίστου, γίνεται μια ιστορική αναδρομή για το μνημείο και αναλύεται η υφιστάμενη κατάσταση του.

Το **τέταρτο κεφάλαιο** αναφέρεται στην ίδρυση του δικτύου οριζοντίου ελέγχου. Περιγράφονται τα στοιχεία που συλλέχθηκαν κατά την αναγνώριση της περιοχής μελέτης, και ο τρόπος με τον οποίο έγινε η επιλογή των κορυφών του δικτύου και η υλοποίησή τους.

Το **πέμπτο κεφάλαιο** αναφέρεται στην διεξαγωγή των μετρήσεων των στοιχείων του δικτύου οριζοντίου ελέγχου και την επεξεργασία τους. Περιγράφονται τα όργανα και τα παρελκόμενα που χρησιμοποιήθηκαν, ο έλεγχος πριν την έναρξη των μετρήσεων, τα στοιχεία του δικτύου και ο τρόπος μέτρησης και επεξεργασίας τους. Τέλος, παρατίθενται οι τελικές τιμές των στοιχείων, όπως αυτά χρησιμοποιήθηκαν για την επίλυση του δικτύου.

Το **έκτο κεφάλαιο** περιλαμβάνει την επίλυση του δικτύου οριζοντίου ελέγχου. Στην συνέχεια, παρατίθενται τα αποτελέσματα από την επίλυση, οι

συντεταγμένες των κορυφών του Δ.Ο.Ε. με τις αβεβαιότητες τους. Τέλος, περιγράφονται οι έλεγχοι αξιοπιστίας που εφαρμόστηκαν στα αποτελέσματα ($test\ x^2$) και σάρωση δεδομένων κατά Baarda.

Το **έβδομο κεφάλαιο** αναφέρεται στην χρήση του Topcon IS 203i ως γεωδαιτικό σταθμό που έχει την δυνατότητα να προσδιορίζει «νέφη σημείων», στις πειραματικές μετρήσεις που έγιναν πριν την έναρξη των μετρήσεων στο μνημείο και στις σαρώσεις που πραγματοποιήθηκαν στο Ναό του Ηφαίστου, για τον προσδιορισμό των μετακινήσεων των σπονδύλων του ΝΚ5. Επιπλέον αναφέρεται η διαδικασία μέτρησης των τοποσταθερών, παράλληλα με τις σαρώσεις, πάνω στον κίονα, με στόχο τον έλεγχο των γεωμετρικών στοιχείων που προέκυψαν από τις σαρώσεις.

Το **όγδοο κεφάλαιο** αναφέρεται στον προσδιορισμό των παραμορφώσεων του κίονα ΝΚ5. Συγκεκριμένα, αυτό το κεφάλαιο περιλαμβάνει την επεξεργασία των «νεφών» των σημείων (αποτελέσματα των σαρώσεων) με το λογισμικό Realworks και των τοποσταθερών που μετρήθηκαν πάνω στον κίονα. Τέλος παρατίθενται τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των δυο ομάδων δεδομένων, οι κλίσεις και οι σχετικές μετακινήσεις των σπονδύλων, καθώς επίσης και οι διάμετροι τους και αναλύεται η μεθοδολογία με την οποία προέκυψαν.

Στο **ένατο κεφάλαιο** παρουσιάζεται ο χρονική κατανομή των εργασιών που εκτελέστηκαν για την ολοκλήρωση της παρούσας Διπλωματικής εργασίας.

Στο **δέκατο κεφάλαιο** συνοψίζονται τα συμπεράσματα της Διπλωματικής εργασίας και οι προτάσεις που προέκυψαν.

Στο **παράρτημα** της εργασίας συμπεριλαμβάνονται η τεκμηρίωση των κορυφών του ΔΟΕ, η επεξεργασία των μετρήσεων, ο πίνακας μεταβλητότητας - συμμεταβλητότητας του Δ.Ο.Ε., η επεξεργασία των μετρήσεων για τον έλεγχο του κυκλικού σφάλματος καθώς επίσης και τα τοποσταθερά που συμμετείχαν στον προσδιορισμό των μετακινήσεων και των γεωμετρικών στοιχείων των σπονδύλων.

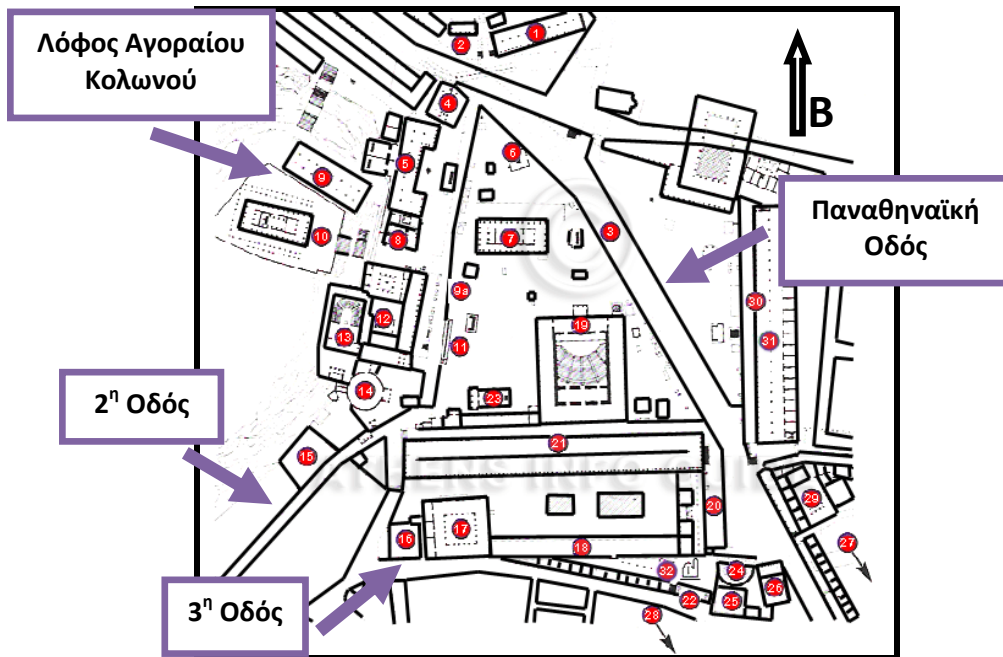
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2
Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1. ΓΕΝΙΚΑ

Η αγορά, δηλαδή ο χώρος στον οποίο συγκεντρώνονταν οι πολίτες, ήταν το κέντρο της δημόσιας ζωής της αρχαίας ελληνικής πόλης. Αποτελούσε τόπο πολιτικών συγκεντρώσεων και εμπορικών συναλλαγών, έδρα διοίκησης και δικαιοσύνης, θρησκευτικό και πνευματικό κέντρο. Η αγορά αναφέρεται ήδη στα Ομηρικά Έπη, αποτελώντας, συνακόλουθα, συστατικό στοιχείο της αρχαίας ελληνικής πόλης.

Η Αρχαία Αγορά της Αθήνας καταλαμβάνει αρκετά μεγάλη έκταση βορειοδυτικά της Ακρόπολης, που ορίζεται νότια από τον Άρειο Πάγο, βόρεια από τον Ηριδανό ποταμό και δυτικά από το χαμηλό λόφο του Αγοραίου Κολωνού (Χάρτης 1).

Διαχρονικά, ο χώρος της Αγοράς διατρέχεται από τρεις οδούς. Η πρώτη οδός διατρέχει την πλατεία της Αγοράς από τα βορειοδυτικά και κατευθύνεται προς την Ακρόπολη. Η οδός αυτή αργότερα ταυτίζεται με τη λεγόμενη Παναθηναϊκή Οδό, την οποία ακολουθεί η εορταστική πομπή των Παναθηναίων. Η δεύτερη οδός διακλαδώνεται από την πρώτη στη βόρεια είσοδο της Αγοράς και ακολουθεί πορεία προς τα νοτιοδυτικά, κατά μήκος της δυτικής οδού. Η τρίτη οδός κλείνει την πλατεία προς νότο, συνδέοντας τις δύο προηγούμενες. Εντός αυτών δημιουργείται ένας ευρύς τριγωνικός χώρος (Χάρτης 1).



Χάρτης 1: Χάρτης της Αρχαίας Αγοράς [14]

Map 1: Map of the Agora [14]

2.2. Η ΑΡΧΑΙΑ ΑΓΟΡΑ

Από την προϊστορική εποχή (3500 π.Χ.), η αγορά ήταν χώρος κατοίκησης και ταφής ενώ την μετέπειτα χρήση της ως δημόσιος χώρος, κατά την έννοια του όρου (χώρος συγκέντρωσης), την απέκτησε από τον 6ο αιώνα π.Χ. και ύστερα, για να φθάσει στην οριστική του μορφή τον 2ο αιώνα (μ.Χ.).

Η Αρχαία Αγορά της Αθήνας καταστράφηκε και λεηλατήθηκε πολλές φορές, από τους Πέρσες το 480 π.Χ. , αργότερα από τους Ρωμαίους το 86 π.Χ., στη συνέχεια από τους Ερούλους το 267 (μ.Χ.), και τους Σλάβους επιδρομείς το 580 (μ.Χ.) όπου και τελικά ο χώρος αυτός εγκαταλείφθηκε.

Τον 10^ο αιώνα, ο χώρος φέρεται να ξανακατοικήθηκε και περί το 1000 χτίσθηκε σε αυτή τη περιοχή ο ναός των Αγίων Αποστόλων. Το 1204 ακολούθησε νέα καταστροφή, αυτή τη φορά από επιδρομές του Λέοντος Σγουρού, δυνάστη τότε του Ναυπλίου οπότε και ακολούθησε νέα ερήμωση. Στην Ελληνική Επανάσταση του 1821 συντελέσθηκε η τελευταία καταστροφή της αγοράς που επεκτάθηκε και στον γύρω χώρο. Έτσι, ο 19ος αιώνας

βρίσκει την αρχαία αγορά κυριολεκτικά θαμμένη κάτω από την πυκνοκατοικημένη τότε νεότερη Αθήνα.

Οι πρώτες ανασκαφές του χώρου της αρχαίας αγοράς ξεκίνησαν τον 19ο αιώνα από την Αρχαιολογική Εταιρία και από Γερμανούς αρχαιολόγους. Η συστηματική όμως ανασκαφική αρχαιολογική έρευνα ξεκίνησε από την Αμερικανική Σχολή Κλασικών Σπουδών το 1931. Ο αρχαιολογικός χώρος της αρχαίας αγοράς της Αθήνας που λειτουργεί από το 1957, εποπτεύεται σήμερα από την Ελληνική Αρχαιολογική Υπηρεσία που υπάγεται στο Υπουργείο Πολιτισμού.

2.2.1. Ιστορία

Στον χώρο της Αρχαίας Αγοράς ανοικοδομήθηκαν διάφορα κτήρια, που στο πέρασμα των αιώνων άλλα διατηρήθηκαν, άλλα καταστράφηκαν από τις διάφορες επιδρομές και αντικαταστάθηκαν από νέα. Έτσι, η δομή της αγοράς και η διαμόρφωση της, μεταβάλλεται, επηρεάζεται από τα χαρακτηριστικά της κάθε περιόδου και αποτελεί ανεξίτηλη απόδειξη του τρόπου ζωής.

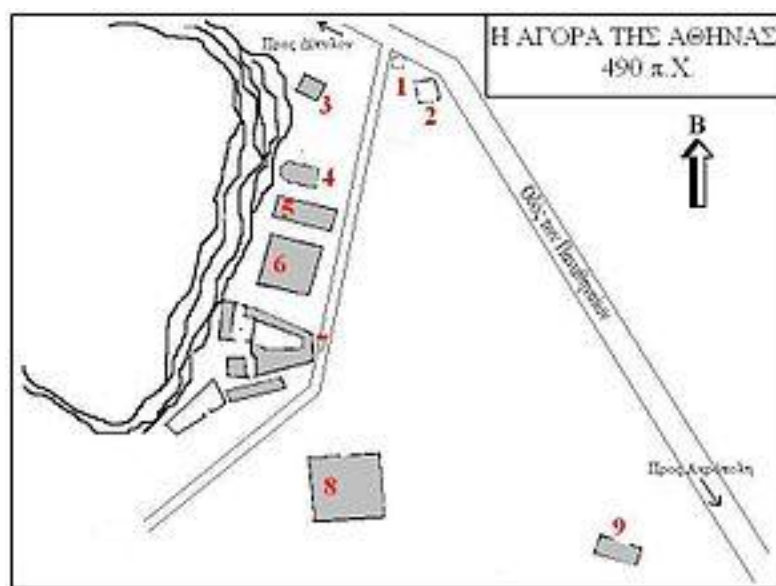
Προϊστορικοί-Μυκηναϊκοί χρόνοι (3500 - 1100 π.Χ.)

Πηγάδια περισυλλογής νερού, κεραμικά κτερίσματα και τάφοι που έχουν βρεθεί στο χώρο της Αγοράς και ανήκουν στην προϊστορική περίοδο, μαρτυρούν την ανθρώπινη παρουσία στην περιοχή την εποχή εκείνη. Ο χώρος φαίνεται να χρησιμοποιήθηκε ως νεκροταφείο και κατά τους Μυκηναϊκούς χρόνους. Βρέθηκαν πολλοί τάφοι παρατεταγμένοι εκατέρωθεν του δρόμου που αργότερα θα γινόταν η οδός των Παναθηναίων.

Γεωμετρική-Αρχαϊκή εποχή (1100 - 480 π.Χ.)

Κατά την Γεωμετρική εποχή ο χώρος της Αγοράς κατοικείται συστηματικά και αποκαλείται Κεραμεικός, λόγω των πολυάριθμων εργαστηρίων κεραμικής και χαλκοτεχνίας που αναπτύσσονται στο χώρο. Οι ταφές συνεχίζονται στην ευρύτερη περιοχή.

Μεγάλες αλλαγές πραγματοποιήθηκαν στον χώρο, με την πτώση της τυραννίας του Πεισίστρατου και την εγκαθίδρυση της Δημοκρατίας στην Αθήνα. Το νέο πολίτευμα απαιτούσε νέα κτήρια δημόσιου χαρακτήρα για τις διάφορες λειτουργίες του. Ταυτόχρονα, κάνουν την εμφάνιση τους και τα πρώτα θρησκευτικά κτήρια. Ωστόσο, το εκτεταμένο πρόγραμμα ανοικοδόμησης μένει ημιτελές, λόγω του ξεσπάσματος των Μηδικών πολέμων και της καταστροφής της πόλης από τον Ξέρξη. Τα σημαντικότερα οικοδομήματα αυτής της Περιόδου παρουσιάζονται στον ακόλουθο χάρτη.



Χάρτης 2: Η Αγορά το 490π.Χ. [17]

- 1.Λεωκόρειον, 2.Βωμός των 12 Θεών, 3.Ναός του Δία, 4.Ναός του Απόλλωνα Πατρώου, 5.Μητρώον, 6.Βουλευτήριον, 7.Το Πρυτανικόν, 8.Αιάκειον, 9.Εννεάκρουνος

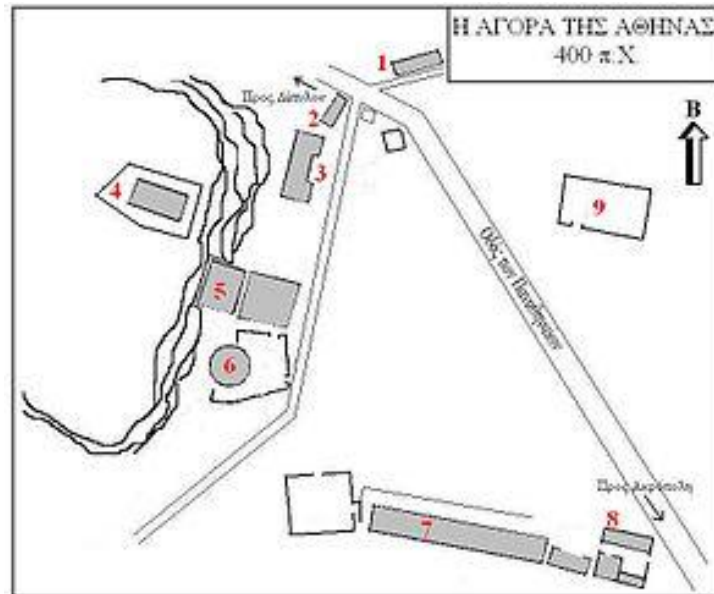
Map 2: The Agora in 490b.C. [17]

- 1.Leokoreion, 2 Altar of the 12 Gods, 3.Temple of Zeus, 4.Temple of Apollo Patroos, 5.Metroon, 6.Bouleuterion, 7.Prytanikon, 8.Aiakeion, 9.Enneakrounos

Κλασική Εποχή (479 - 323 π.Χ.)

Η περσική κατάκτηση της Αθήνας οδήγησε σε εκτεταμένες καταστροφές και στην Αγορά. Ωστόσο, η ανασυγκρότηση της έρχεται με γρήγορους ρυθμούς. Έπειτα από ένα εύλογο διάστημα, η πόλη δημιούργησε μια σειρά κτηρίων διοικητικού και θρησκευτικού χαρακτήρα, ενώ πολλά από τα παλαιότερα αλλάζουν χρήση και κάποια από τα κατεστραμμένα ξαναχτίζονται. Ιδιαίτερα κατά την εποχή του Περικλή χτίζονται πολλά μνημειώδη κτήρια, όπως ο

Ναός του Ηφαίστου και τρεις στοές. Στον ακόλουθο χάρτη φαίνονται οι αλλαγές και τα σημαντικότερα κτήρια στον χώρο, κατά την Κλασική εποχή.



Χάρτης 3: Η Αγορά το 400π.Χ. [17]

1.Ποικίλη Στοά, 2.Βασίλειος Στοά, 3.Στοά του Διός Ελευθερέου, 4.Ναός του Ηφαίστου, 5.Νέο Βουλευτήριο, 6.Θόλος, 7.Νότια Στοά Ι, 8.Νομισματοκοτείο, 9.Περίβολος Δικαστηρίου

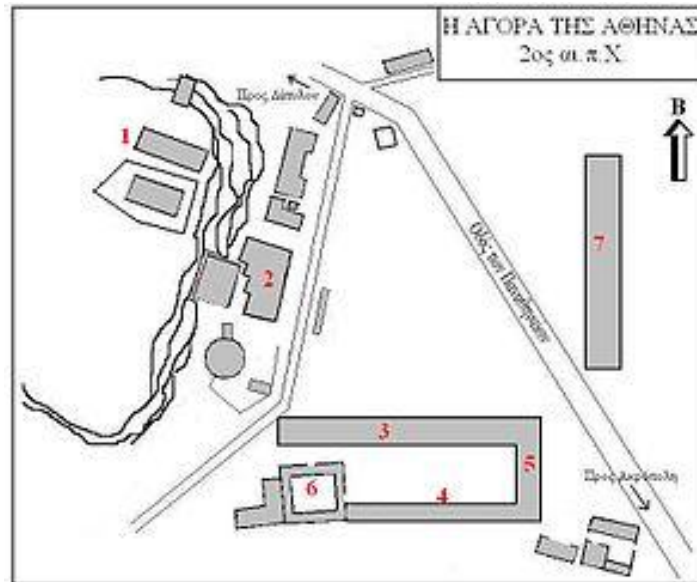
Map 3: The Agora in 400b.C. [17]

1.Stoa Poikile, 2.Royal Stoa, 3.Stoa of Zeus, 4.Temple of Hephaestus, 5.New Vouleuterion, 6.Tholos, 7.South Stoa I, 8.Mint, 9.Court yard

Ελληνιστική Εποχή, Πρώιμη Ρωμαϊκή (323 - 86 π.Χ.)

Στα τέλη του 3^{ου} αι. π.Χ., η Αθήνα συμμαχεί με την Ρώμη κατά των Μακεδόνων, μετά την απελευθέρωση της από τους τελευταίους. Ανεξάρτητη έκτοτε, γνωρίζει πραγματική πολιτισμική και αρχιτεκτονική αναγέννηση, χάρη την συνδρομή των Ελληνιστικών Βασιλέων, που δίνουν πολλά χρήματα για την κατασκευή μνημείων στην Αθήνα. Είναι η εποχή που η Αγορά πήρε την τελική ορθογώνια μορφή της. Η νότια πλευρά κοσμεύεται με μια σειρά μεγαλόπρεπα κτήρια (Μέση & Νότια Στοά ΙΙ, Ανατολικό Κτήριο). Στη δυτική πλευρά κατεδαφίζονται τα κτήρια που υπήρχαν και ανοικοδομείται η Στοά του Αττάλου. Στην ίδια περίοδο ξαναχτίζεται το Μητρώο, αντικαθιστώντας το Παλιό Βουλευτήριο. Η μορφή της Αγοράς κατά την Ελληνιστική περίοδο παρουσιάζεται στον Χάρτη 4.

Σημαντικό πλήγμα για την ελληνιστική Αθήνα υπήρξε η καταστροφή της από την επιδρομή του Ρωμαίου στρατηγού Σύλλα το 86π.Χ. Ύστερα από μακροχρόνια πολιορκία, εισβάλλει στην πόλη λεηλατώντας και καταστρέφοντας. Πολλά μνημεία της Αγοράς παθαίνουν σοβαρές ζημιές.



Χάρτης 4: Η Αγορά το 2ο αι. π.Χ. [17]

- 1.Οπλοστάσιο, 2.Μητρώον, 3.Μεσαία Στοά, 4.Νότια Στοά II,
- 5.Ανατολικό Κτήριο, 6.Αιάκειον, 7.Στοά του Αττάλου

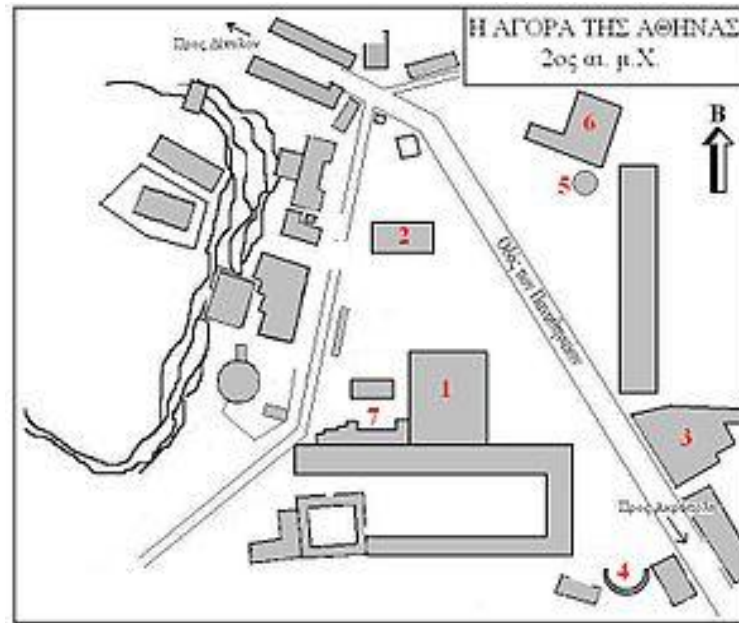
Map 4: The Agora in 2nd cen. b.C. [17]

- 1.Arsenal, 2.Metroon, 3.Middle Stoa, 4.South Stoa II, 5.East Building, 6.Aiakeion,
- 7.Stoa of Attalos

Ρωμαϊκή Εποχή (86 π.Χ.-267 μ.Χ.)

Μετά την καταστροφή της πόλης από τον Σύλλα οι Αθηναίοι, με τη βοήθεια πολλών Ρωμαίων αυτοκρατόρων και αξιωματούχων, δίνουν στην Αγορά την τελική και πιο λαμπρή μορφή της. Η Νότια Στοά II κατεδαφίζεται έπειτα από τις ανεπανόρθωτες ζημιές που έχει υποστεί και για χρόνια ο χώρος μετατρέπεται σε λατομείο έτοιμων υλικών. Το κεντρικό σημείο της Αγοράς καταλαμβάνει το ογκώδες Ωδείο του Αγρίππα. Ταυτόχρονα, χτίζεται λίγο πιο ανατολικά το νέο εμπορικό κέντρο της Αθήνας, η Ρωμαϊκή Αγορά. Έτσι, η Αγορά γίνεται αποκλειστικά πολιτικό και πολιτιστικό κέντρο. Τα σημαντικότερα μνημεία της Αγοράς φαίνονται στον Χάρτη 5.

Μια νέα εισβολή από τους Ερούλους το 267 μ.Χ., θα δώσει τέλος στην λάμψη της Αγοράς και γενικότερα της Αθήνας. Η πόλη καταστρέφεται ολοσχερώς. Τα μνημεία της Αγοράς ισοπεδώνονται όλα, εκτός από τον Ναό του Ηφαίστου.



Χάρτης 5: Η Αγορά το 2ο αι. μ.Χ. [17]

- 1.Ωδείο Αγρίππα 2.Ναός του Άρη 3.Βιβλιοθήκη Πανταίνου 4.Νυμφαίον
5.Μονόπτερος 6.Βασιλική 7.Γραφεία του κράτους

Map 5: The Agora in 2nd cen. a.D. [17]

- 1.Odeon of Agrippa, 2.Temple of Ares, 3.Library of Pantainos, 4.Nymphaion,
5.Monopteros, 6.Basilica, 7.Civic offices

Υστερορωμαϊκή Εποχή - Βυζαντινή εποχή (267-1456)

Μετά την καταστρεπτική επιδρομή των Ερούλων, η Αθήνα συρρικνώνεται δραματικά. Χτίζεται νέο πολύ μικρότερο τείχος που αφήνει έξω την περιοχή της Αγοράς. Τα απομεινάρια του Ωδείου του Αγρίππα και των Νοτίων Στοών μετατράπηκαν σε ένα μεγάλο συγκρότημα Γυμνασίων και Λουτρών. Ενώ στη θέση του Βουλευτηρίου και του Μητρώου χτίζεται μία μικρή βασιλική. Πολλοί ναοί στην Αθήνα αλλάζουν λειτουργία. Ο Ναός του Ηφαίστου μετατρέπεται σε εκκλησία του Αγίου Γεωργίου. Γύρω στο 1000 οι ιδιωτικές κατοικίες αυξάνονται στο χώρο της Αρχαίας αγοράς και χτίζεται ο ναός των Αγίων Αποστόλων. Νέες επιδρομές, από τον Λέοντα Σγουρό και αργότερα από την

φράγκικη κατάληψη οδηγούν σε νέες καταστροφές και ερήμωση της περιοχής.

Νεότερα Χρόνια (1456-1931)

Μετά την κατάληψη της Αθήνας από τους Οθωμανούς, το 1456, η πόλη αρχίζει να επεκτείνεται προς την περιοχή της Αγοράς. Πλήθος οικιών και εκκλησιών κατακλύζουν το μέρος, ενώ οι Οθωμανοί ορίζουν την περιοχή του Θησείου ως τόπο ταφής των «ξένων». Είναι αξιοσημείωτο όμως ότι παρά τις τόσες προσθήκες, η Οδός των Παναθηναίων παραμένει στην ίδια χάραξη.

Οι ανασκαφές

Το 1931 η Αμερικανική Σχολή Κλασικών Σπουδών στην Αθήνα αναλαμβάνει να κάνει ανασκαφές στον χώρο της Αγοράς. Το έργο ήταν αρκετά δύσκολο καθώς έπρεπε να απαλλοτριωθεί και να κατεδαφιστεί μία ολόκληρη συνοικία της πόλης. Οι ανασκαφές ξεκίνησαν ανατολικά του Ναού του Ηφαίστου. Το 1954 γίνεται καθαρισμός της επιφάνειας της Αγοράς και το 1956 ολοκληρώνεται η αναστήλωση της Στοάς του Αττάλου και η ανακαίνιση του ναού των Αγίων Αποστόλων. Τη δεκαετία του '80 οι ανασκαφές συνεχίστηκαν πιο βόρεια, πάνω από την οδό Αδριανού όπου εντοπίστηκε το δυτικό άκρο της Ποικίλης Στοάς. Στο διάστημα μεταξύ 2006 και 2007 κατεδαφίστηκαν τρία κτήρια στο σημείο αυτό και αποκαλύφθηκε και το ανατολικό άκρο της Ποικίλης Στοάς. Οι ανασκαφές προς το παρόν συνεχίζονται σε αυτήν την περιοχή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΑΡΧΑΙΟΙ ΝΑΟΙ – Ο ΝΑΟΣ ΤΟΥ ΗΦΑΙΣΤΟΥ

3.1. Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΩΝ ΝΑΩΝ

Ο ναός στην ελληνική αρχαιότητα ήταν η κατοικία του θεού, το κτήριο που στέγαζε το λατρευτικό άγαλμα μιας ή περισσότερων θεοτήτων. Αυτό φανερώνει και το ουσιαστικό «ναός», που προέρχεται από το ρήμα «ναίω» (=κατοικώ). Το λατρευτικό άγαλμα τοποθετούνταν στο βάθος του ναού, πάνω στον κατά μήκος άξονα του κτηρίου και μέσα στον ναό δεν υπήρχε τίποτα άλλο. Οι πιστοί συγκεντρώνονταν έξω από το ναό, όπου βρισκόταν και ο βωμός για την προσφορά θυσιών και την άσκηση της λατρείας.

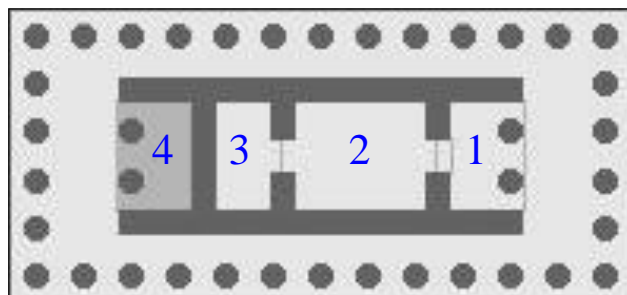
Πιστεύεται ότι οι ναοί σχεδιάζονταν με βάση και το άγαλμα που επρόκειτο να στεγάσουν. Η βασική αυτή λειτουργική ιδιομορφία του ελληνικού ναού, είναι σημαντική για την κατανόηση της αρχιτεκτονικής του.

Σε αυτή τη λειτουργικότητα οφείλονται τα κύρια χαρακτηριστικά του ελληνικού ναού, που μπορούν να συνοψιστούν: στην μνημειακότητα και ταυτόχρονα στην γενική στενότητα του εσωτερικού χώρου, στην ορθογώνια κάτοψη με επιμήκεις αναλογίες και απόλυτη συμμετρία εκατέρωθεν του κεντρικού άξονα του κτηρίου, στην μεγαλύτερη φροντίδα για την εξωτερική εμφάνιση παρά για το εσωτερικό, στην είσοδο από την ανατολική πλευρά και στην περιορισμένη τυπολογική διαφοροποίηση στη ναοδομία. Για τους αρχαίους Έλληνες ο ναός ήταν κι αυτός ένα «άγαλμα».

Στις παλιότερες περιόδους της ελληνική ιστορίας (π.χ. στη μινωική) δεν υπήρχαν ξεχωριστοί ναοί και η λατρεία των θεών γινόταν στα ιερά που βρίσκονταν ή μέσα στα ανάκτορα ή στις επαύλεις. Μετά τα γεωμετρικά χρόνια και αφού οι Έλληνες γνώρισαν τους πολιτισμούς των ανατολικών λαών και επηρεάστηκαν από αυτούς, άρχισαν να κτίζουν ξεχωριστά οικήματα, για να λατρεύουν εκεί τους θεούς τους. Στην αρχή οι πρώτοι ναοί είναι ξύλινοι, αργότερα όμως, γίνονται από μάρμαρο. Τέλος πρέπει να αναφερθεί ότι οι αρχαίοι έβαφαν τους ναούς (εκτός από τους κίονες και το επιστύλιο) με έντονα χρώματα, κυρίως κυανό και κόκκινο.

3.1.1. Τα μέρη των ναών

Πυρήνας του ελληνικού ναού είναι ο **σηκός** (Εικόνα 1 (2)), ένα κτήριο ορθογώνιας κάτοψης με είσοδο στην ανατολική στενή πλευρά. Στην απλούστερη μορφή του το κτήριο αυτό είναι μονόχωρο. Συνθετότερα αρχιτεκτονήματα περιλαμβάνουν ένα προθάλαμο, τον **πρόδομο ή πρόναο** (Εικόνα 1 (1)), και ένα αντίστοιχο χώρο στην αντίθετη πλευρά, που δεν επικοινωνεί με τον κυρίως ναό, τον **οπισθόδομο** (Εικόνα 1 (4)). Ανάμεσα στον οπισθόδομο, που είναι προσβάσιμος μόνο από το εξωτερικό του ναού, και τον κυρίως ναό (ή στη θέση του οπισθόδομου), βρίσκεται συχνά ένα δωμάτιο που επικοινωνεί με τον κυρίως ναό και είναι προσβάσιμο μόνο για τους ιερείς, το **άδυτον** (Εικόνα 1 (3)).



Εικόνα 1: Κάτοψη περίπτερου ναού [17]
1.Πρόναος, 2.Σηκός, 3.Άδυτον, 4.Οπισθόδομος

Picture 1: Plan of peripteral temple [17]
1.Pronaos, 2.Cella, 3.Opisthodomos, 4.Adyton

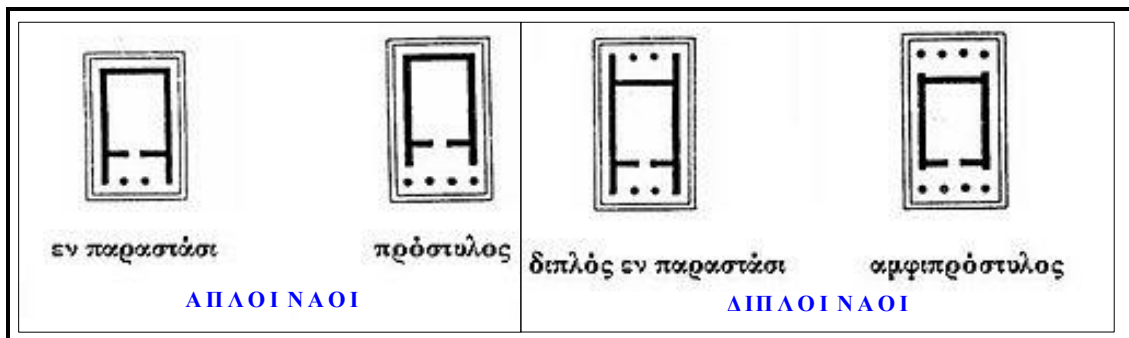
3.1.2. Τυπολογία των ναών

Οι τύποι των ελληνικών ναών διαμορφώνονται ανάλογα με την ύπαρξη των χώρων που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο και την διάταξη των κίωνων στον πρόδομο, στον οπισθόδομο και γύρω από αυτούς.

Ο ναός χαρακτηρίζεται *απλός*, αν έχει μόνο πρόδομο, ή *διπλός*, αν διαθέτει και οπισθόδομο (Εικόνα 2). Ο ναός που δεν έχει κανένα από τους δύο χώρους, παρά μόνο τον κυρίως ναό, ονομάζεται *μονόχωρος*.

Στην είσοδο του πρόδομου και του οπισθόδομου βρίσκονται συνήθως κίονες. Ανάλογα με τις θέσεις που καταλαμβάνουν οι κίονες, έχουν διαμορφωθεί διάφοροι τύποι ναών.

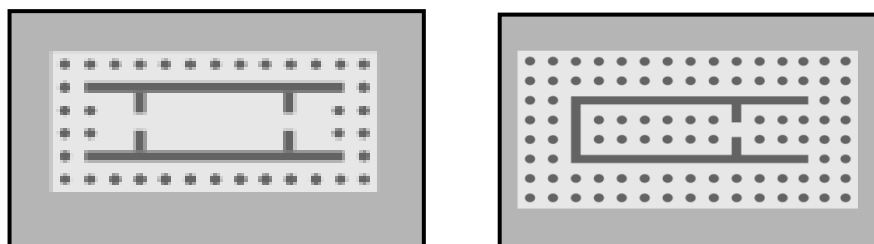
Όταν ο ναός έχει κίονες ανάμεσα στις παραστάδες που σχηματίζουν οι πλευρικοί τοίχοι, τότε ονομάζεται *ναός εν παραστάσι*, ενώ όταν οι κίονες είναι μπροστά από αυτές, ονομάζεται *πρόστυλος* (Εικόνα 2). Επίσης, αν η κιονοστοιχία του πρόστυλου επαναλαμβάνεται και στην αντίθετη πλευρά τότε ο ναός ονομάζεται *αμφιπρόστυλος*, ενώ αν ισχύει το ίδιο και στην περίπτωση ενός ναού εν παραστάσι, τότε ο ναός ονομάζεται *διπλός εν παραστάσι* (Εικόνα 2).



Εικόνα 2: Τύποι ναών: Ναός εν παραστάσι, Πρόστυλος, Διπλός εν παραστάσι, Αμφιπρόστυλος [17]

Picture 2: Types of temples: Temple in antis, Prostyle, Double temple in antis, Amphiprostyle [17]

Τέλος, όταν σε ένα ναό εν παραστάσι προστεθεί περιμετρικά κιονοστοιχία (πτερό), τότε ονομάζεται *περίπτερος ναός εν παραστάσι*, ενώ όταν η κιονοστοιχία είναι διπλή, ονομάζεται *δίπτερος* (Εικόνα 3).



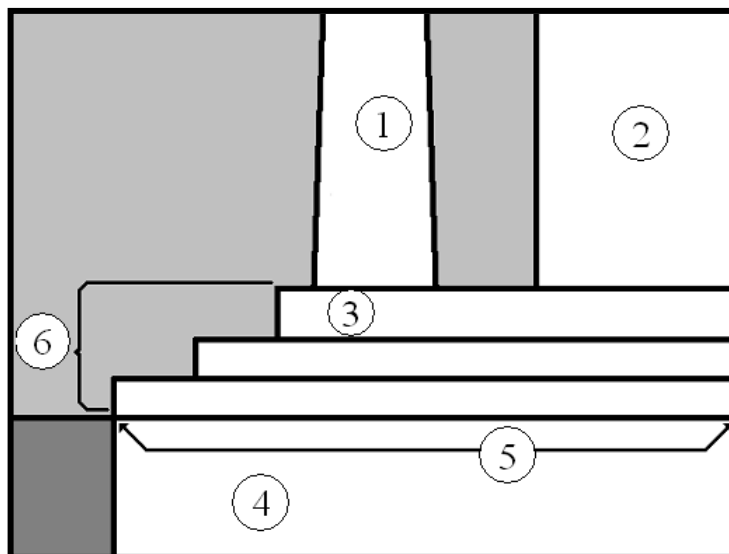
Εικόνα 3: Περίπτερος & Δίπτερος ναός [17]

Picture 3: Peripteral & Dipteral temple [17]

3.1.3. Η ανωδομή ενός ναού

Τα χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν στις δύο προηγούμενες παραγράφους (3.1.1 & 3.1.2) αφορούν στην κάτοψη του ναού. Τα αρχιτεκτονικά μέλη που απαρτίζουν έναν αρχαίο ναό και διακρίνονται στην όψη του είναι τα εξής:

Η κρηπίδα και ο στυλοβάτης. Η *κρηπίδα* χτίζονταν επάνω στην *ευθυντήρια* (η άνω επιφάνεια του θεμελίου που προεξέχει από το έδαφος). Την κρηπίδα αποτελούν αρχικά τρεις βαθμίδες (σκαλοπάτια) πάνω στις οποίες στηρίζονται οι κίονες (Εικόνα 4). Η τελευταία βαθμίδα, που είναι μεγαλύτερη από τις άλλες δυο για αισθητικούς λόγους, ονομάζεται *στυλοβάτης*, σε περίπτερους ναούς, γιατί πάνω της "βαίνουν οι σύλοι", ενώ σε ναούς χωρίς πτερό ονομάζεται *τοιχοβάτης* (Εικόνα 4). Χαρακτηριστικό του στυλοβάτη είναι η "*καμπύλωση*". Με τον όρο εννοείται ότι, ο στυλοβάτης δεν είναι απολύτως οριζόντια επιφάνεια, αλλά στο μέσο της κάθε πλευράς είναι λίγο υψηλότερος από τα άκρα.



Εικόνα 4: Διαμόρφωση της κρηπίδας [17]

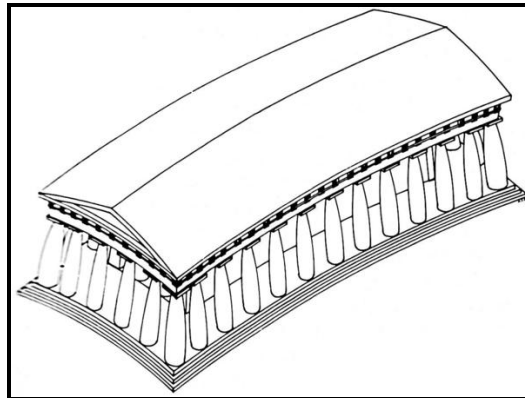
1.Κίονας, 2.Τοίχος του ναού, 3.Στυλοβάτης ή Τοιχοβάτης, 4.Στερεοβάτης,
5.Ευθυντήρια, 6.Κρηπίδα

Picture 4: Crepidoma [17]

1.Column, 2.Temple's wall, 3.Stylobate, 4.Stereobate, 5.Euthynteria, 6.Crepidoma

Ο κίονας. Στον δωρικό ρυθμό αποτελείται από ραβδώσεις που καταλήγουν σε ακμές (Εικόνα 6), στον ιωνικό ρυθμό οι ραβδώσεις καταλήγουν σε καμπύλες (Εικόνα 7). Ο αριθμός και το βάθος των ραβδώσεων ποικίλλει. Σκοπός των ραβδώσεων είναι ο τονισμός του κυκλικού σχήματος του κίονα και η αίσθηση που δημιουργείται από τις φωτοσκιάσεις. Οι κίονες αποτελούνται από τμήματα, τους σπόνδλους, οι οποίοι δεν ήταν ορατοί μετά το τέλος των εργασιών, γιατί καλύπτονταν με ελαφρό επίχρισμα.

Χαρακτηριστικά της κατασκευής των κίωνων είναι η ένταση, η μείωση και η κλίση. Η **ένταση** είναι η ελαφριά καμπύλωση που παρατηρείται στον κίονα, η οποία δεν ήταν σε καμιά περίπτωση μεγαλύτερη από τη διάμετρο της βάσης του. Στην κλασική περίοδο η μέγιστη τιμή της έντασης διαπιστώνεται στα $2/5$ του ύψους του κίονα. Η **μείωση** είναι η βαθμιαία ελάττωση της διαμέτρου του κίονα από την βάση του μέχρι την κορυφή του. Ο κίονας δηλαδή, καθώς ανεβαίνει γίνεται όλο και λεπτότερος. Τέλος, σημαντικό στοιχείο των κίωνων είναι και η **κλίση** προς το σηκό, δηλαδή οι κίονες δεν ήταν κατακόρυφοι. Οι τέσσερις γωνιακοί είχαν κλίση κατά τη διαγώνιο. Αυτό σημαίνει ότι ο ναός δε σχημάτιζε ένα ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο αλλά μια διάταξη πυραμιδοειδή (Εικόνα 5).



Εικόνα 5: Πυραμιδοειδής Διάταξη ναού [19]

Picture 5: Pyramidoeidal shape of a temple [19]

Στο πάνω άκρο του κίονα, όπου ενώνεται με το κιονόκρανο, υπάρχουν οι **δακτύλιοι** εγκοπής, τρεις ή τέσσερις. Δακτύλιους παρατηρούμε στα αρχαϊκά

χρόνια (Ναός Αφαίας στην Αίγινα). Στα κλασικά έχουμε μόνο ένα, ενώ στα ελληνιστικά χρόνια η χρήση των δακτυλίων καταργείται.

Το πλήθος των κίωνων σε έναν ναό έχει διαπιστωθεί, ότι ακολουθεί ένα γενικό κανόνα. Σύμφωνα με αυτόν, το πλήθος των κίωνων στη μεγάλη πλευρά είναι διπλάσιο των κίωνων της μικρής πλευράς συν ένα ($2\alpha+1$).

Τέλος, άλλο ένα στοιχείο που παρουσιάζεται μόνο στους κίονες ιωνικού ρυθμού, είναι η **βάση** (Εικόνα 7), η οποία βρίσκεται στο στυλοβάτη και πάνω της στηρίζεται ο κίονας.

Το κιονόκρανο. Σε αυτό καταλήγει ο κίονας. Στο δωρικό ρυθμό αποτελείται από τον **εχίνο** και τον **άβακα** (Εικόνα 6), ενώ στον ιωνικό από τις **έλικες** και τον άβακα (Εικόνα 7). Το κιονόκρανο του δωρικού είναι πιο «βαρύ» ενώ του ιωνικού περισσότερο εκλεπτυσμένο.

Το επιστύλιο. Είναι ένα παραλληλόγραμμο κομμάτι μαρμάρου που συνδέει τους κίονες και λέγεται έτσι γιατί βρίσκεται "επί των στύλων" (Εικόνες 6 & 7). 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 δεν είχε καμιά διακόσμηση εκτός από το ναό της Άσσου που είχε ανάγλυφα θέματα και σε κάποια πρώιμα σικελικά κτίρια που είχαν επενδύσεις από τερακότα. Στον Παρθενώνα, εκ των υστέρων είχαν αναρτηθεί χάλκινες ασπίδες και επιγραφές. Το μόνο διακοσμητικό στοιχείο που υπήρχε στο επιστύλιο ήταν οι σταγόνες, έξι συνήθως, που θα μπορούσε να θεωρηθεί και ως στοιχείο των υπερκείμενων μετοπών. Τέλος, παρατηρείται ότι στο επιστύλιο παρουσιάζεται η ίδια καμπύλωση με την κρηπίδα.

Τα τρίγλυφα και οι μετόπες - Η ζωφόρος. Στο δωρικό ρυθμό μετά από το επιστύλιο υπάρχουν τα τρίγλυφα και οι μετόπες. **Τρίγλυφο** είναι μια ορθογώνια πλάκα μαρμάρου, η οποία φέρει 3 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 μεταξύ δύο κίωνων αντιστοιχούν 2 μετόπες και 3 τρίγλυφα (Εικόνα 6). Στον ιωνικό ρυθμό μετά το επιστύλιο υπάρχει η **ζωφόρος**, δηλαδή μια ζώνη από ανάγλυφες πλάκες, που πήρε αυτή την ονομασία επειδή φέρει ζωή (Εικόνα 7).

Το γείσον. Το γείσον προεξέχει και προστατεύει από το νερό της βροχής τα τρίγλυφα και τις μετόπες ή τη ζωφόρο (Εικόνες 6 & 7). 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 (3Χ6). Υπάρχουν βεβαίως και μνημεία με λιγότερες σταγόνες (3Χ4) ή (3Χ3) ή ακόμη και (3Χ5).

Το επιστύλιο, τα τρίγλυφα και οι μετόπες ή η ζωφόρος και το γείσο αποτελούν το **θριγκό**.

Το αέτωμα ή τύμπανο. Πρόκειται για το τριγωνικό τμήμα στο πάνω μέρος των δυο στενών πλευρών ενός ναού (Εικόνες 6 & 7). Ονομάστηκε αέτωμα γιατί το σχήμα του παραπέμπει σε αετό με ανοιγμένα τα φτερά.

3.1.4. Ρυθμοί των αρχαίων ελληνικών ναών

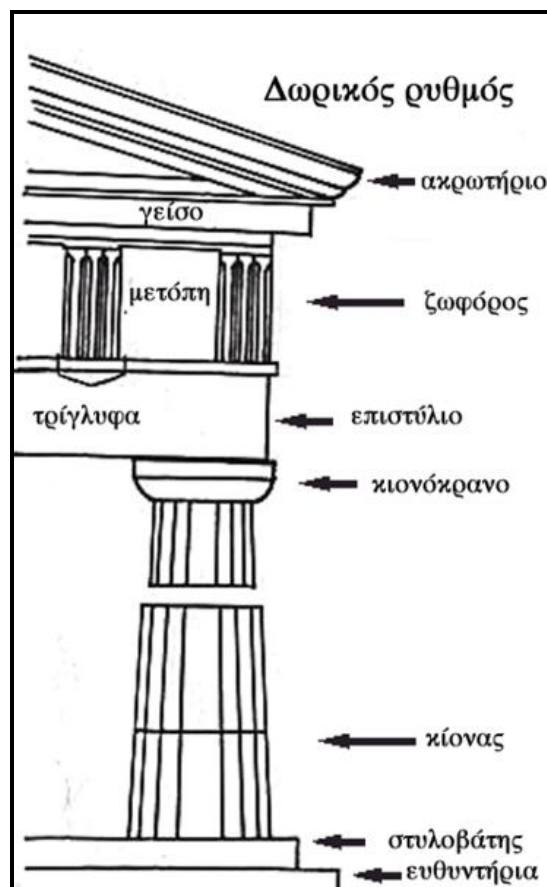
Στην αρχαία ελληνική αρχιτεκτονική συναντώνται κυρίως δύο ρυθμοί ναών: ο **δωρικός** (Εικόνα 6) και ο **ιωνικός** (Εικόνα 7). Ο τρίτος που συναντάται πιο σπάνια και ονομάστηκε **κορινθιακός** ρυθμός (Εικόνα 8), δεν είναι παρά μια παραλλαγή του ιωνικού. Δωρικός και ιωνικός ρυθμός έχουν σχεδόν τα ίδια τεχνικά χαρακτηριστικά, εκτός από κάποιες διαφορές.

ΔΩΡΙΚΟΣ ΡΥΘΜΟΣ

Ο πιο αρχαίος και ο πιο απλός από τους αρχαίους ελληνικούς ρυθμούς, ήταν ο δωρικός ρυθμός, που τον χαρακτηρίζει η αυστηρότητα και η λιτότητα. Τα πρώτα δείγματα του δωρικού ρυθμού, στην κατασκευή ναών, εμφανίζονται τον 8ο π.Χ αιώνα, στο Άργος και την Κόρινθο. Ο δωρικός ρυθμός φτάνει στο

ψηλότερο σημείο της ακμής του στην κλασική εποχή με τον Παρθενώνα. Μεγάλο πλήθος ναών δωρικού ρυθμού υπήρχαν σ' όλη την Ελλάδα και τη Ν. Ιταλία.

Κύριο χαρακτηριστικό των κίωνων, που είναι σκαλισμένοι συνήθως με 20 ραβδώσεις, είναι η απουσία βάσης: οι κίονες στηρίζονται απευθείας στον στυλοβάτη. Τα κιονόκρανα είναι λιτά σε σχέση με τους άλλους δύο ρυθμούς. Αποτελούνται όπως προαναφέρθηκε, από δύο μέρη, τον εχίνο και τον άβακα. Ο **άβακας** είναι το τετραγωνικής διατομής ανώτερο τμήμα του κίονα στο οποίο στηρίζεται το επιστύλιο, ενώ ο **εχίνος** είναι το αμέσως κατώτερο τμήμα για την ομαλή μετάβαση από τον "άβακα" στον κυρίως κίονα.



Εικόνα 6: Ναός Δωρικού ρυθμού [17]

Picture 6: Doric order temple [17]

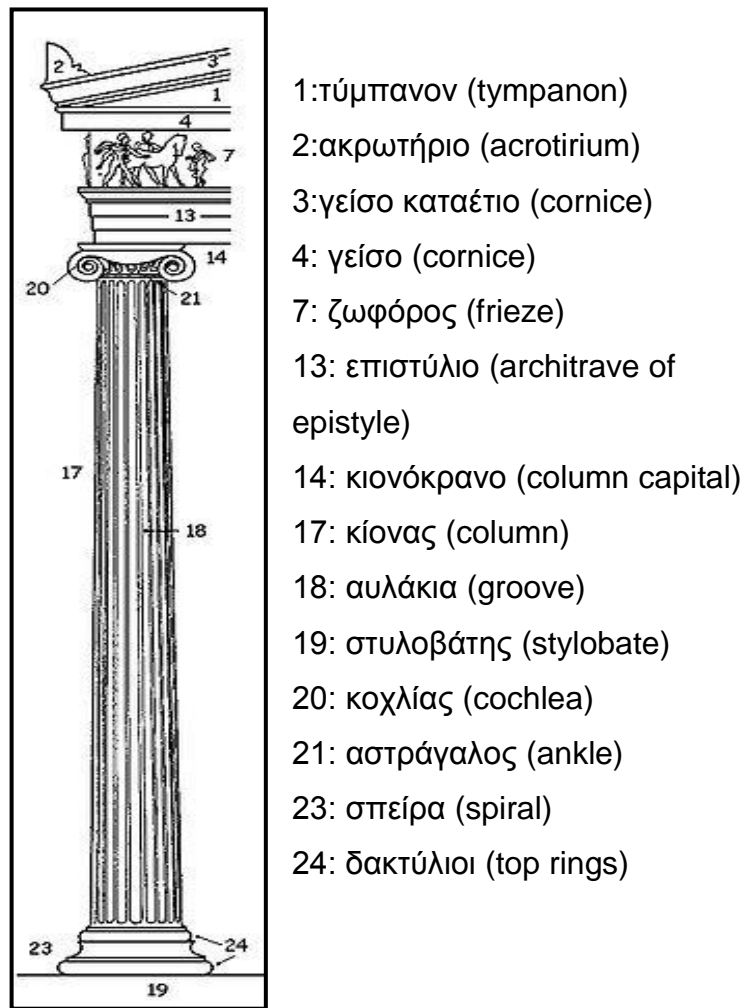
Ο θριγκός στους ναούς δωρικού ρυθμού αποτελείται από δύο μέρη: το επιστύλιο και τη δωρική ζωφόρο. Το επιστύλιο χαρακτηρίζεται από την απουσία διακοσμητικών στοιχείων με εξαίρεση μία λεπτή ταινία στο ανώτερο μέρος της, που αποτελεί συνέχεια της διακόσμησης των τριγλύφων που βρίσκονται ακριβώς από πάνω. Στη δωρική ζωφόρο, υπάρχει μία συνεχής εναλλαγή από τρίγλυφα και μετόπες (Εικόνα 6). Κατά την αρχαιότητα, τα τρίγλυφα ήταν βαμμένα μπλε ενώ οι μετόπες κόκκινες.

ΙΩΝΙΚΟΣ ΡΥΘΜΟΣ

Ο Ιωνικός ρυθμός αρχίζει να εμφανίζεται από τις αρχές του 6ου π.Χ. αιώνα στα παράλια της μικρασιατικής Ιωνίας (απ' όπου πήρε και την ονομασία του), στα νησιά του Αιγαίου και στην Αττική. Σε σύγκριση με τον Δωρικό ρυθμό, ο Ιωνικός έχει διάφορες μικρές παραλλαγές. Τον 4ο π.Χ. αιώνα άρχισε να τυποποιείται και να ξεχωρίζει καθαρά από τον δωρικό ρυθμό. Γενικό χαρακτηριστικό όμως, είναι η ελευθερία που είχαν οι διάφοροι αρχιτέκτονες να αναπτύξουν το δικό τους τοπικό στυλ. Αργότερα ο Ιωνικός ρυθμός τυποποιήθηκε και διαδόθηκε.

Στον ιωνικό ρυθμό, σε αντίθεση με τον δωρικό, ο κίονας δεν στηρίζεται απ' ευθείας στον στυλοβάτη, αλλά όπως προαναφέρθηκε έχει την δική του βάση (Εικόνα 7). Οι κίονες σε σύγκριση με τους κίονες του δωρικού ρυθμού είναι λεπτότεροι. Οι ακμές μεταξύ των ραβδώσεων δεν είναι οξείες αλλά μικρές καμπύλες επιφάνειες. Τέλος, κάθε κίονας φέρει 20 έως 24 ραβδώσεις, ενώ 24 είναι η κλασική διαρρύθμιση.

Το κιονόκρανο είναι εκλεπτυσμένο, στηρίζεται πάνω στον **αστράγαλο**, μια λεπτή πλάκα μεταξύ του κίονα και του κιονόκρανου. Έχει πολλά και φαρδιά διακοσμητικά ανάγλυφα και καταλήγει στους κοχλίες δεξιά και αριστερά, πάνω στους οποίους στηρίζεται ένας λεπτός άβακας διακοσμημένος με κυματισμούς (Εικόνα 7).



- 1: τύμπανον (tympanon)
- 2: ακρωτήριο (acrotirium)
- 3: γείσο καταέτιο (cornice)
- 4: γείσο (cornice)
- 7: ζωφόρος (frieze)
- 13: επιστύλιο (architrave of epistyle)
- 14: κιονόκρανο (column capital)
- 17: κίονας (column)
- 18: αυλάκια (groove)
- 19: στυλοβάτης (stylobate)
- 20: κοχλίας (cochlea)
- 21: αστράγαλος (ankle)
- 23: σπείρα (spiral)
- 24: δακτύλιοι (top rings)

Εικόνα 7: Ναός Ιωνικού ρυθμού [17]

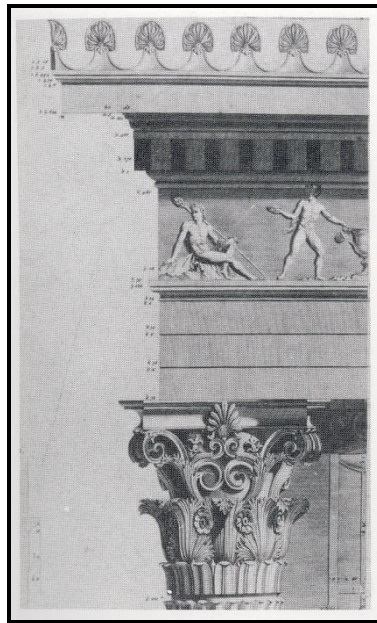
Picture 7: Ionic order temple [17]

ΚΟΡΙΝΘΙΑΚΟΣ ΡΥΘΜΟΣ

Ο Κορινθιακός ρυθμός είναι ο νεώτερος από τους τρεις ρυθμούς της αρχαίας ελληνικής αρχιτεκτονικής.

Οι κίονες χαρακτηρίζονται από κιονόκρανο που αποτελείται από υψηλό εχίνο ("κάλαθος") και τον άβακα. Ο **κάλαθος** είναι το κύριο σώμα των κορινθιακών κιονόκρανων και αποτελείται από 3 ζώνες με φυτικό διάκοσμο από φύλλα και έλικες ακάνθης και έλικες στις τέσσερις γωνίες (Εικόνα 8). Μπορεί κάλλιστα να θεωρηθεί ως εξέλιξη του Ιωνικού λόγω αυτών των ελίκων. Ο ρυθμός αυτός αποτελεί τον πιο διακοσμητικό από τους τρεις.

Ο Κορινθιακός ρυθμός χρησιμοποιήθηκε σπάνια από Έλληνες, ενώ μεγάλη χρήση του παρατηρείται στους Ρωμαϊκούς χρόνους. Στην Αθήνα, δείγμα Κορινθιακού ναού, αποτελεί ο Ναός του Ολυμπίου Διός το οποίο ολοκληρώθηκε το 130 μ.Χ. και ήταν ο πρώτος περίπτερος ναός κορινθιακού ρυθμού που χτίστηκε, σηματοδοτώντας μια νέα εποχή για την ελληνιστική αρχιτεκτονική.



Εικόνα 8: Κιονόκρανο Κορινθιακού ρυθμού [17]

Picture 8: Corinthian column capital [17]

3.2. Ο ΝΑΟΣ ΤΟΥ ΗΦΑΙΣΤΟΥ

Ο Ναός του Ηφαίστου στον λόφο του Αγοραίου Κολωνού, γνωστός και ως «Θησείο», αποτελεί το καλύτερα σωζόμενο δείγμα δωρικού ναού στην Ελλάδα. Βρίσκεται στην περιοχή του Θησείου, που πήρε το όνομα του, λόγω της παλιάς, αναθεωρημένης σήμερα, απόδοσης του ναού στον Θησέα. Αποτελεί τμήμα του αρχαιολογικού χώρου της Αρχαίας Αγοράς (Εικόνα 9).

Ο ναός είναι χτισμένος πάνω στο λόφο του Αγοραίου Κολωνού, στο δυτικό μέρος της Αρχαίας Αγοράς, κατά διεύθυνση Ανατολή – Δύση, με είσοδο από την Ανατολή (Εικόνα 10). Είναι αφιερωμένος στους δύο θεούς της τεχνικής δεξιότητας, τον Ήφαιστο, προστάτη των μεταλλουργών και των χαλκέων, και

την Εργάνη Αθηνά, προστάτιδα της αγγειοπλαστικής και της οικοτεχνίας. Ο ναός χρησιμοποιήθηκε κατά την Κλασική, την Ελληνιστική και την Ρωμαϊκή περίοδο. Στην Ύστερη Ρωμαϊκή περίοδο μετατράπηκε σε εκκλησία του Αγίου Γεωργίου. Μετά το 1833 λειτούργησε ως μουσείο.



Εικόνα 9: Θέση του Ναού του Ηφαίστου [15]

Picture 9: The Position of Hephaestus temple [15]

Με τον Ναό του Ηφαίστου έχουν ασχοληθεί στο παρελθόν διάφοροι μελετητές, όπως ο Penrose, ο Pennethorne, ο Dinsmoor, ο Koch και ο Shaubert, οι οποίοι μελέτησαν κυρίως την καμπυλότητα του στυλοβάτη. Επίσης η αρχιτεκτονική του έχει ερευνηθεί και από Έλληνες επιστήμονες, όπως ο Μ. Κορρές και ο Α. Ορλάνδος. Τέλος, με τον Ναό του Ηφαίστου ασχολήθηκε και ο Κ. Ζάμπας [1], ο οποίος μελέτησε επίσης την καμπυλότητα του στυλοβάτη το 1997 και πραγματοποίησε μια σειρά μετρήσεων για τον προσδιορισμό γεωμετρικών στοιχείων των κίωνων του ναού. Με τα στοιχεία αυτά, θα ασχοληθούμε αναλυτικά σε επόμενο κεφάλαιο.



Εικόνα 10: Ο ναός του Ηφαίστου, η ανατολική πλευρά (πρόναος) [17]

Picture 10: Hephaestus temple, east side (Pronaos) [17]

3.3. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΝΑΟΥ

Το Θησείο ήταν το εντυπωσιακότερο μνημείο της Αγοράς της Αθήνας και το πλουσιότερα διακοσμημένο. Θεωρείται ότι ίσως κτίστηκε από τον αρχιτέκτονα Ικτίνο, λόγω των κοινών στοιχείων που έχει με τον Παρθενώνα. Η σχεδίαση και οικοδόμηση του ναού χρονολογείται περίπου το 460-420 π.Χ.

Ο ναός του Ηφαίστου είναι δωρικού ρυθμού, περίπτερος διπλός εν παραστάσι ναός, με 6 κίονες στην πρόσοψη και 13 στη μακρά πλευρά και με διαστάσεις περίπου 31,80 x 13,80m. Ο ναός αποτελείται από πρόναο, σηκό και οπισθόδομο. Τομή και κάτοψη του ναού παρουσιάζονται στην Εικόνα 11, που παρατίθεται παρακάτω.

Τα υλικά δόμησης ποικίλλουν: πωρόλιθος και πεντελικό μάρμαρο για την κρηπίδα και την ανωδομή, παριανό μάρμαρο για τον γλυπτό διάκοσμο και ορισμένα τμήματα της οροφής. Η στέγη του ναού ήταν ξύλινη στο εσωτερικό του σηκού, ενώ αντίθετα η στέγαση του πτερού εξασφαλιζόταν με τη συναρμογή μαρμάρινων δοκών και φατνωματικών πλακών. Η περίτεχνη στέγη αποτελεί ένα από τα περιπλοκότερα δείγματα του είδους. Τα φατνώματα είχαν λαξευτεί σε μεγάλο βαθμό στο κάτω μέρος των πλακών, προκειμένου να μειώνεται το υπερκείμενο βάρος. Η πρακτική αυτή, αν και

συνήθης σε αρκετά κτήρια, εκτελείται εδώ με μοναδικό τρόπο: ο ουρανός κάθε φατνώματος είχε λαξευτεί ως ανεξάρτητο κομμάτι και μπορούσε να απομακρυνθεί. Επιπλέον, κάθε ουρανός ταίριαζε ακριβώς με ένα μόνο συγκεκριμένο φάτνωμα.

Οι κίονες του ναού, αποτελούνται από επτά σπόνδυλους, που κατά την αρχαιότητα, καλύπτονταν όπως έχει προαναφερθεί με ελαφρό επίχρισμα και οι αρμοί ένωσης τους δεν ήταν ορατοί. Το βάθος των ραβδώσεων των κίωνων είναι ομοιόμορφο καθ' όλο το ύψος του κίονα, αντίθετα με την συνήθη τακτική που ακολουθούνταν στους περισσότερους ναούς της κλασικής περιόδου.

Οι μετόπες είχαν ύψος 0,83m. Από τις 68 μετόπες της εξωτερικής ζωφόρου του ναού, μόνο οι 18 είναι διακοσμημένες με ανάγλυφες παραστάσεις. Η θεματολογία τους στην ανατολική πλευρά, προέρχεται από τον μυθολογικό κύκλο των άθλων του Ηρακλή. Οι άθλοι του Θησέα παρουσιάζονται στις μετόπες των επιμηκών πλευρών, βόρεια και νότια. Η παρουσία του Θησέα έδωσε αφορμή για τη λανθασμένη ταύτισή του με το Θησείο.

Στον θριγκό του πρόναου και του οπισθόδομου υπάρχουν ιονικές ζωφόροι, αντί δωρικών. Η δυτική ζωφόρος (οπισθόδομος) παριστάνει τη διαμάχη του Θησέα και του Πειρίθου με τους Κενταύρους του Πηλίου, γνωστή ως Κενταυρομαχία. Η ανατολική ζωφόρος (πρόναος) σύμφωνα με τις περισσότερες ερμηνείες παριστάνει την μάχη του Θησέα με τους γιούς του Πάλλαντα.

Τα γλυπτά των αετωμάτων σώζονται σε πολύ αποσπασματικό βαθμό. Η παρουσία τους υποδηλώνεται από την ύπαρξη οπών στη βάση των αετωμάτων με σκοπό την ένθεση και τη στερέωση γλυπτών. Κάποια θραύσματα γλυπτών από πεντελικό και παριανό μάρμαρο, που ανακαλύφθηκαν στον περιβάλλοντα χώρο, πιστεύεται ότι ενδεχομένως αποτελούν τμήματα του γλυπτού διάκοσμου των αετωμάτων.

Στο εσωτερικό του σηκού υπήρχαν τα χάλκινα λατρευτικά αγάλματα του Ηφαίστου και της Αθηνάς, τα οποία ήταν έργα του γλύπτη Αλκαμένη, μαθητή του Φειδία. Τα αγάλματα αυτά δεν σώζονται, υπάρχουν όμως ιστορικά στοιχεία που στηρίζουν την ύπαρξη τους.

Τέλος, ο κήπος που περιέβαλλε το Θησείο αποτελούσε από μόνος του σημαντικό αξιοθέατο, όπως παρουσιάζεται από την αφήγηση του Πausανία. Ο κήπος, με βάση τα ανασκαφικά δεδομένα, δημιουργήθηκε κατά τον 3ο αι. π.Χ. Εκεί τοποθετήθηκαν, σε κανονικά διαστήματα, μεγάλες πήλινες γλάστρες όπου ήταν φυτεμένα θάμνοι και δενδρύλλια σε δύο σειρές κατά μήκος της νότιας και της βόρειας πλευράς και σε τρεις κατά μήκος της δυτικής πλευράς του ναού.

3.4. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

3.4.1. Η χρονολόγηση της οικοδόμησης

Ο ναός είχε σχεδιαστεί και πιθανότατα άρχισε να χτίζεται ήδη από το 450 π.Χ. οπωσδήποτε πριν από τον Παρθενώνα. Η απόφαση για την κατασκευή του ανήκει στη γενιά των Μαραθωνομάχων και του Κίμωνα.

Στα χρόνια που ακολουθούν σημειώνονται αλλαγές στο σχεδιασμό, γύρω στο 445 π.Χ., είναι όμως σε προχωρημένο στάδιο το έργο, αφού τότε ολοκληρώνονται οι μετόπες με τους άθλους του Ηρακλή και τα γλυπτά του ανατολικού αετώματος. Ανάμεσα στο 435 και στο 430 π.Χ. χρονολογούνται η ανατολική ζωφόρος, το δυτικό αέτωμα και η διαμόρφωση του εσωτερικού με περαιτέρω αλλαγές στο αρχικό σχέδιο. Το 421 π.Χ. τοποθετούνται τα ακρωτήρια και το λατρευτικό σύμπλεγμα του Ηφαίστου και της Αθηνάς, οπότε πρέπει να ολοκληρώνεται και η στέγη του ναού. Τα επίσημα εγκαίνια έγιναν το 416/5 π.Χ.

Ο πιθανότερος λόγος που διάρκεσαν τόσο πολύ οι εργασίες (35 χρόνια περίπου) στο ναό του Ηφαίστου είναι ότι με το οικοδομικό πρόγραμμα του Περικλή δόθηκε προτεραιότητα στον Παρθενώνα, από το 447 π.Χ., και στο

ναό του Ποσειδώνα στο Σούνιο, από το 444 π.Χ. Είναι σχεδόν βέβαιο ότι κατά τη διάρκεια των εργασιών ο αρχιτέκτονας προσάρμοζε ορισμένες λεπτομέρειες στο σχεδιασμό, σύμφωνα με το σχέδιο του Παρθενώνα. Αυτό φανερώνει και η σχετική βραδύτητα στην ολοκλήρωση του ναού.

3.4.2. Ύστερη ιστορία του Ναού

Ενδιαφέρουσα είναι η ύστερη ιστορία του Ναού του Ηφαίστου. Αποτελεί ένα από τα λίγα μνημεία που δεν υπέστησαν καταστροφές, ούτε στη διάρκεια της επιδρομής των Ερούλων το 267 μ.Χ. ούτε και κατά την επιδρομή των Γότθων, στα τέλη του 4ου αιώνα.

Κατά την Παλαιοχριστιανική περίοδο (4^{ος} – 8^{ος} αι. μ.Χ.) ο ναός μετατρέπεται σε χριστιανική εκκλησία, χωρίς να έχει επιβεβαιωθεί το πότε ακριβώς έγινε η μετατροπή. Πάντως το 1690 αναφέρεται επίσημα ως χριστιανικός ναός της Αθήνας μέχρι και το 1834, αφιερωμένος στον Άγιο Γεώργιο με το χαρακτηριστικό παρωνύμιο "Αϊ Γιώργης ο Ακαμάς ή Ακαμάτης". Σε αυτή τη μετατροπή οφείλεται η συστηματική καταστροφή των μετοπών όσο και η άριστη διατήρηση του σημαντικότερου τμήματος της ανωδομής του, εκτός της στέγης.

Στα βυζαντινά χρόνια το Θησείο, όπως μαρτυρούν διάφορες πηγές αλλά και ονόματα ηγούμενων που ήταν χαραγμένα στους κίονες, ήτα καθολικό μοναστήρι. Στην εποχή αυτή ίσως να ανήκουν και τα σωζόμενα ίχνη τοιχογραφιών. Κατά την Ύστερη Βυζαντινή και την Οθωμανική περίοδο στον περιβάλλοντα χώρο έγιναν αρκετές ταφές.

Η τελευταία λειτουργία που έγινε στον Αϊ Γιώργη τον Ακαμάτη ήταν το 1833 όταν τελέσθηκε ο πανηγυρισμός της άφιξης του Όθωνα στην Ελλάδα. Στην συνέχεια, όταν η Αθήνα ανακηρύχθηκε πρωτεύουσα της Ελλάδας η κοινοποίηση του σχετικού βασιλικού διατάγματος έγινε σε αυτόν το Ναό που ήταν και η τελευταία δημόσια προσέλευση των Αθηναίων.

Από το 1835 έως το 1874 στέγασε το πρώτο Κεντρικό Αρχαιολογικό Μουσείο της χώρας. Στο μουσείο αυτό φυλάσσονταν τα ευρήματα από την πόλη των Αθηνών, έως το 1937, όταν οι αρχαιότητες απομακρύνθηκαν και διεξήχθησαν ανασκαφικές έρευνες γύρω και εντός του ναού.

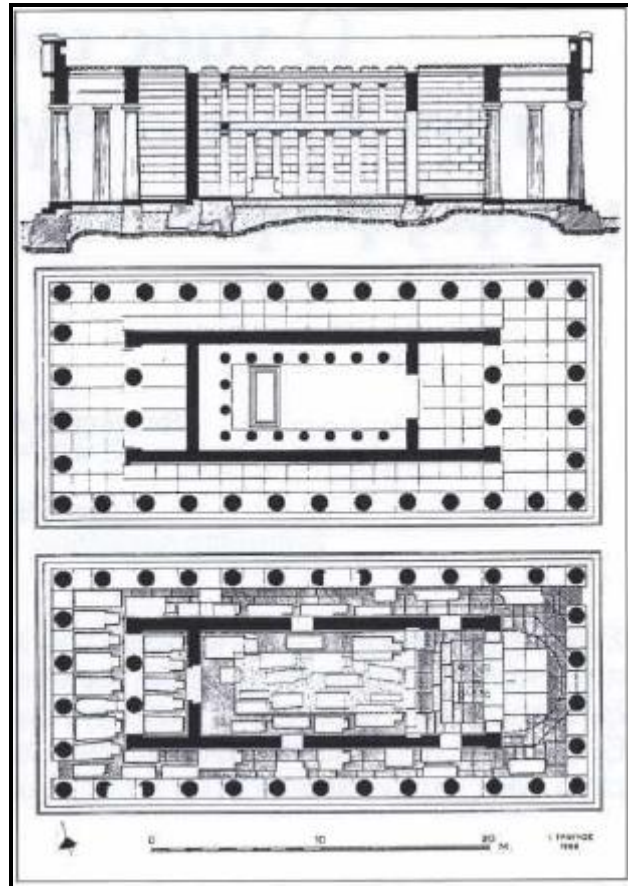
3.5. ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Ο ναός σώζεται σε εξαιρετική κατάσταση, καθώς επέζησε των σεισμών και των καταστροφών που συνέβησαν στην Αγορά της Αθήνας, αλλά και της πολύ σοβαρότερης απειλής που αποτελούσε η λατόμευση του υλικού του για δεύτερη χρήση. Η αιτία, όπως έχει αναφερθεί, είναι η μετατροπή του σε χριστιανικό ναό.

Κατά την μετατροπή του ναού σε χριστιανική εκκλησία, πραγματοποιήθηκαν δομικές αλλαγές (Εικόνα 11). Ο ναός άλλαξε προσανατολισμό: η κύρια είσοδος δημιουργήθηκε με την διάνοιξη θύρας μεταξύ του σηκού και του οπισθόδομου, ενώ από τον πρόναο αφαιρέθηκαν ο ανατολικός εσωτερικός τοίχος και οι δυο διάμεσοι κίονες, οι οποίοι αντικαταστάθηκαν με ημικυκλικό τόξο που στήριζε τα μαρμάρινα επιστύλια, για να κατασκευαστεί στην μεριά αυτή η ασπίδα του ιερού. Δύο είσοδοι ανοίχτηκαν στις επιμήκεις πλευρές, ενώ ένας τρούλος χτίστηκε πάνω από το σηκό. Κατά την τουρκοκρατία δεν μετατράπηκε σε τζαμί, αλλά ο ναός υπέστη σοβαρές ζημιές στην διάρκεια του Απελευθερωτικού αγώνα του 1821.

Η σημερινή λίθινη στέγη που καλύπτει τον κυρίως ναό τοποθετήθηκε μάλλον τη μεσοβυζαντινή περίοδο (9^{ος} – 13^{ος} .Χ. αιώνας), αντικαθιστώντας την ξύλινη στέγη του αρχικού σχεδίου. Στην ανατολική πλευρά του ναού δεν υπάρχει πλέον η πολυγωνική ασπίδα του ιερού, η οποία είχε αντικατασταθεί αργότερα με μια μικρότερη ασπίδα, αλλά κατεδαφίστηκε κατά την ανασκαφή της Αμερικάνικης Σχολής Κλασικών Σπουδών στην Αρχαία Αγορά το 1931 και αντικαταστάθηκε με ευθύ τοίχο, χτισμένο κατά την χορδή αυτής. Ο τοίχος αυτός κατεδαφίστηκε το 1936 από τον Α. Ορλάνδο κατά την αναστήλωση των δύο κιόνων του πρόναου. Σήμερα η βόρεια θύρα, που είχε σφραγιστεί με

τούβλα και κονίαμα κατά τους χρόνους της τουρκοκρατίας, παραμένει ως έχει, ενώ διατηρείται ακόμη η θύρα από τον οπισθόδομο και αυτή της νότιας πλευράς. Το αρχαίο μαρμάρινο δάπεδο του ναού έχει καταστραφεί εξαιτίας της διάνοιξης των τάφων.



Εικόνα 11: Τομή και κάτοψη του ναού κατά την αρχαιότητα, καθώς και κάτοψη όπου παρουσιάζονται οι δομικές αλλαγές κατά την μετατροπή του ναού σε χριστιανική εκκλησία [12]

Picture 11: Cross Section and plan view of the temple during ancient times, also plan view showing the structural changes during the conversion of the temple into a Christian church [12]

Η διατήρηση των περισσότερων μετοπών είναι σήμερα κακή, επειδή η μετατροπή του ναού σε χριστιανική εκκλησία οδήγησε τους χριστιανούς στη συστηματική καταστροφή των κεφαλιών των περισσότερων μορφών. Επέζησαν μόνο μορφές που συμβόλιζαν τις δυνάμεις του κακού και συντρίβονταν (π.χ. ο Μινώταυρος), καθώς ταυτίστηκαν με το Σατανά και την τιμωρία του.

Η περίτεχνη οροφή του ναού, πέραν του σηκού που αντικαταστάθηκε με τρούλο, δεν έχει διατηρηθεί όπως ήταν επόμενο ακέραιη. Το καλύτερα διατηρημένο τμήμα είναι αυτό του ανατολικού περιστυλίου, ενώ το υπόλοιπο περιστύλιο έχει υποστεί μεγάλη φθορά. Η οροφή του οπισθόδομου δεν σώζεται πια. Σήμερα έχει τοποθετηθεί στέγαστρο πάνω από δυτικό περιστύλιο, για την προστασία της ιωνικής ζωοφόρου από τους ατμοσφαιρικούς παράγοντες διάβρωσης.

Οι κίονες έχουν υποστεί μεγάλες ζημιές. Ειδικά, στον 6^ο και 7^ο από τα ανατολικά κίονα του βορίου περιστυλίου, καθώς και στον 11^ο και 12^ο από τα ανατολικά του νοτίου περιστυλίου, υπάρχουν λαξεύματα που έγιναν με σκοπό την διάνοιξη χώρου για την είσοδο σαρκοφάγων στο ναό κατά τους βυζαντινούς χρόνους. Επίσης, παρουσιάζονται μεγάλες μετακινήσεις των σπονδύλων στην δυτική πλευρά, με διεύθυνση προς βορρά και στη νότια πλευρά, με διεύθυνση προς τα άκρα [1]. Οι μετακινήσεις αυτές πιθανόν να οφείλονται, όπως αναλύεται παρακάτω, στις καθιζήσεις που παρουσιάζονται στο μνημείο. Άλλα σημαντικά αίτια των μετακινήσεων των σπονδύλων είναι τα σεισμικά φαινόμενα ανά τους αιώνες, αλλά και πιθανόν οι βομβαρδισμοί που δέχτηκε ο ναός το 1826 κατά την περίοδο της Ελληνικής Επανάστασης.

Οι μεγάλες καθιζήσεις που παρουσιάζονται στο μνημείο, όπως έχει προκύψει από έρευνες, οφείλονται στην θεμελίωση του ναού και στις δομικές βλάβες του μνημείου. Συγκεκριμένα, ο ναός είναι θεμελιωμένος σε βράχο, ο οποίος χαμηλώνει προς βορρά, με αποτέλεσμα το θεμέλιο να είναι πολύ βαθύτερο στη βόρεια πλευρά του κτηρίου. Το πάχος του θεμελίου είναι παραδόξως εκ κατασκευής μικρότερο στη δυτική πλευρά, με αποτέλεσμα ένα οπίσθιο μέρος των κίωνων πάχους 28cm, να είναι αστήριχτο [1]. Ακόμη, η διάνοιξη πολυάριθμων τάφων, μέσα και γύρω από το κτήριο, αλλά καθώς και το γεγονός ότι το θεμέλιο του ναού ήταν εκτεθειμένο για 3 αιώνες τουλάχιστον, μέχρι που επιχώθηκε το 1936, ήταν κάποιοι ακόμη δυσμενείς παράγοντες για την θεμελίωση του κτηρίου.

Κατά συνέπεια, οι δομικές βλάβες που παρουσιάζονται στην ανωδομή του κτηρίου συμφωνούν με τις μεγάλες καθιζήσεις που έχουν διαπιστωθεί. Τέτοιες βλάβες είναι: το μεγάλο ρήγμα στο νότιο άκρο του δυτικού τοίχου, οι μεγάλες στροφές των λίθων του στυλοβάτη, οι μεγάλες μετακινήσεις των σπονδύλων που προαναφέρθηκαν [1]. Τέλος στα αρχαία μάρμαρα παρουσιάζονται εκτός από τις μηχανικές φθορές (θραύσεις, ρηγματώσεις και αποφλοιώσεις) που προαναφέρθηκαν, βιολογικές φθορές, από τις βιολογικές συμβιώσεις που έχουν αναπτυχθεί στην επιφάνεια τους και φυσικοχημικές φθορές, από την υψηλή συγκέντρωση των ρύπων στην ατμόσφαιρα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4
ΙΔΡΥΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

4.1. ΓΕΝΙΚΑ

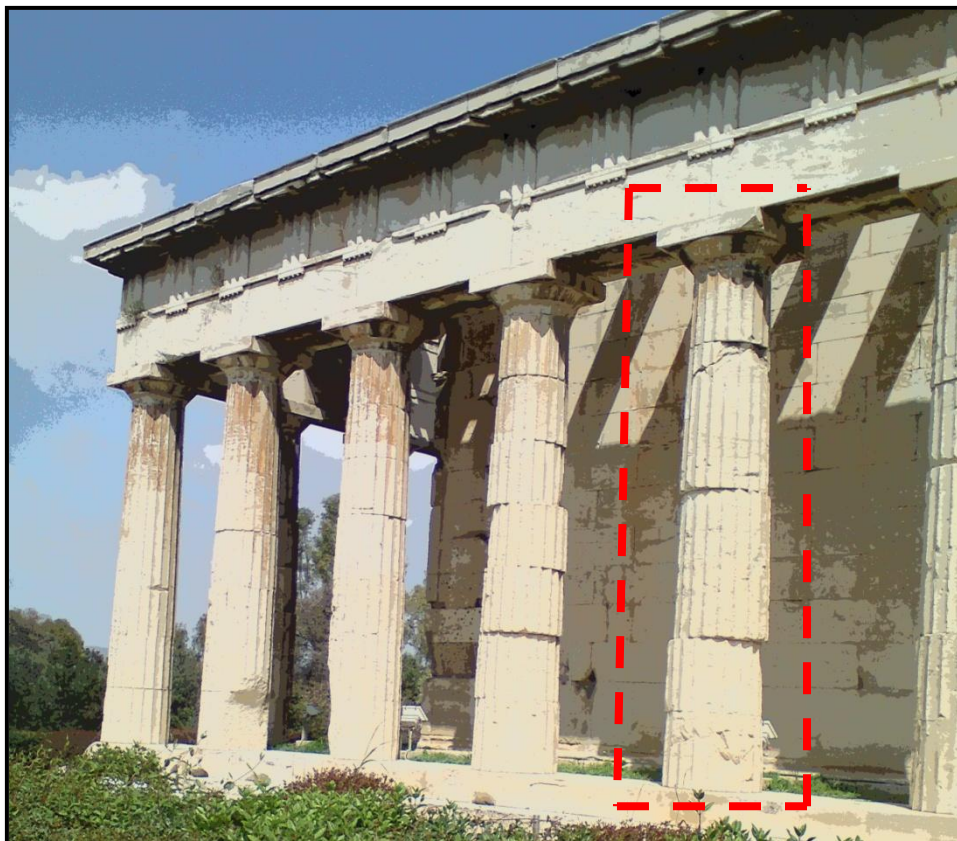
Σήμερα, με την αλματώδη εξέλιξη των γεωδαιτικών οργάνων, έγινε δυνατή η επέκταση των πεδίων εφαρμογών της Γεωδαισίας σε εργασίες με ιδιαίτερα υψηλές απαιτήσεις ακριβείας. Ένα από τα σύγχρονα αυτά πεδία εφαρμογών είναι και η παρακολούθηση παραμορφώσεων μνημείων και μνημειακών συνόλων, όπως επίσης και ο έλεγχος των δομικών στοιχείων τους με σκοπό, αν είναι απαραίτητο, να γίνει μελέτη αποκατάστασης. Για την εφαρμογή της γεωδαιτικής μεθοδολογίας στο Ναό του Ηφαίστου, απαραίτητη ήταν η ίδρυση ενός δικτύου οριζόντιου ελέγχου.

Η αναγνώριση της περιοχής μελέτης, πριν την έναρξη των μετρήσεων, είναι βασική προϋπόθεση για τον σωστό προγραμματισμό προς εξοικονόμηση χρόνου, σε συνδυασμό με την ορθή διεκπεραίωση της εργασίας. Σε αυτή την φάση διερευνάται ο περιβάλλον χώρος του ναού, ώστε να επιλεγούν οι βέλτιστες θέσεις των κορυφών του δικτύου.

Λόγω της αρχαιολογικής και πολιτισμικής σημασίας του μνημείου, η επιλογή των θέσεων των κορυφών του δικτύου, πρέπει να είναι τέτοια ώστε να μην υπάρξει καμία μορφή επέμβασης πάνω στο μνημείο. Επίσης, οι θέσεις αυτές δεν πρέπει να επηρεάζονται από την διαρκή ανθρώπινη παρουσία περιμετρικά του ναού, έτσι ώστε να διασφαλίζεται ο μόνιμος χαρακτήρας τους, ενώ η αμοιβαία ορατότητα είναι απαραίτητο κριτήριο.

4.2. ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Κατά τις πρώτες επισκέψεις που πραγματοποιήθηκαν στον Ναό του Ηφαίστου στο πλαίσιο της αναγνώρισης, καταγράφηκε το είδος των αστοχιών που παρουσιάζονται στον ναό (ρωγμές, μετατοπίσεις σπονδύλων, στροφές λίθων του στυλοβάτη, κλπ), με σκοπό να προσδιορισθεί το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Τελικά, το ενδιαφέρον επικεντρώθηκε στους κίονες της νότιας πλευράς, όπου παρουσιάζονται μεγάλες μετατοπίσεις σπόνδυλων. Εντοπίστηκαν ορισμένοι από τους κίονες αυτούς, όπου το πρόβλημα είναι πιο έντονο. Τελικά επιλέχθηκε να μελετηθεί ο 5^{ος} κίονας (NK5) της νότιας πλευράς της περίστασης (με αφετηρία μέτρησης την δύση), (Εικόνα 12).



Εικόνα 12: Εξεταζόμενος κίονας στο Ναό του Ηφαίστου (NK5)

Picture 12: Column under examination in the temple of Hephaestus (NC5)

Η διαδικασία της αναγνώρισης περιελάμβανε επίσης την συλλογή στοιχείων για τον καλύτερο προγραμματισμό των εργασιών και τον εντοπισμό εξωγενών παραγόντων (συνθήκες ορατότητας, ανάγλυφο της περιοχής, προσπελασιμότητα περιμετρικά του μνημείου, κλπ) που θα επηρέαζαν τις μετρήσεις. Με τον τρόπο αυτό εξοικονομήθηκε πολύτιμος χρόνος.

Αναλυτικότερα, παρατηρήθηκε ότι επικρατούσαν ευνοϊκές συνθήκες για την δημιουργία του δικτύου οριζοντίου ελέγχου και την διεξαγωγή των μετρήσεων που θα ακολουθούσε. Το ανάγλυφο περιμετρικά του ναού είναι ομαλό, χωρίς κλίσεις. Εξαίρεση αποτελεί η ανατολική πλευρά, όπου σε απόσταση μερικών μέτρων από τον πρόναο, οριοθετείται το πρανές του λόφου πάνω στον οποίο είναι χτισμένος και το έδαφος γίνεται απότομο. Επιπλέον ο πεζόδρομος που υπάρχει περιμετρικά από το μνημείο και η περιορισμένη φυτοκάλυψη στον περιβάλλοντα χώρο, μπορούσε να εξασφαλίσει την ανεμπόδιστη διεξαγωγή των μετρήσεων.

Ωστόσο, ο ναός, αποτελεί σημαντικό πόλο έλξης τουριστών. Παρατηρήθηκε ότι καθ' όλη την διάρκεια που η Αγορά ήταν ανοιχτή για το κοινό, υπήρχε συνεχής ροή επισκεπτών γύρω από αυτόν. Κρίθηκε, επομένως, απαραίτητο να καθορισθεί ένα πρόγραμμα, έτσι ώστε η διαδικασία των μετρήσεων δεν θα κωλύονταν από το διερχόμενο πλήθος αλλά και αντίθετα, δεν θα παρεμποδίζονταν οι επισκέπτες από τις εργασίες υπαίθρου.

Τέλος, συντάχθηκαν αυτοσχέδια υπαίθρου (κροκί), στα οποία καταγράφηκε η θέση του ναού και του ελεύθερου χώρου γύρω από αυτόν. Ερευνήθηκε η προς μελέτη περιοχή για τον εντοπισμό χαρακτηριστικών σημείων που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως κορυφές του δικτύου. Οι καταλληλότερες θέσεις, σημειώθηκαν στα αυτοσχέδια, ενώ λήφθηκαν επίσης φωτογραφίες που βοηθούν στην καλύτερη τεκμηρίωση τους.

4.3. ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΚΟΡΥΦΩΝ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Τα στοιχεία που προέκυψαν κατά την αναγνώριση της περιοχής μελέτης, μελετήθηκαν, ώστε να επιλεγούν τελικά οι θέσεις των κορυφών του δικτύου. Στην φάση αυτή διαπιστώθηκε, πως η διαδικασία βελτιστοποίησης του δικτύου οριζοντίου ελέγχου του Ναού του Ηφαίστου, δεν θα είχε ιδιαίτερο νόημα, αφού οι θέσεις των κορυφών ήταν ως ένα σημείο προδιαγεγραμμένες από την γεωμετρία του μνημείου και τις δυνατότητες παρέμβασης πάνω σε αυτό, ενώ συγχρόνως είχε προαποφασιστεί να μετρηθούν όλα τα δυνατά στοιχεία του (γωνίες και μήκη).

Για την επιλογή των κορυφών του δικτύου ελέγχου, αρχικά αναζητήθηκαν υλοποιημένα σημεία από παλαιότερες μετρήσεις που πιθανόν είχαν πραγματοποιηθεί στην περιοχή εκείνη. Έπειτα από επαφή με την Α΄ Εφορεία Προϊστορικών και Κλασικών Αρχαιοτήτων (Α΄ Ε.Π.Κ.Α.), στην δικαιοδοσία της οποίας βρίσκεται η Αρχαία Αγορά, διαπιστώθηκε ότι ούτε περιμετρικά, αλλά ούτε και πάνω στον ίδιο τον ναό, είχαν υλοποιηθεί σημεία μόνιμης σήμανσης από προηγούμενες εργασίες.

Ο σχεδιασμός του δικτύου επηρεάστηκε σε μεγάλο βαθμό, από τον προσωρινό χαρακτήρα της οποιασδήποτε μορφής παρέμβασης θεωρούταν αναγκαία κατά την εξέλιξη των εργασιών (σήμανση κορυφών, σημείων ελέγχου, κ.τ.λ.) πάνω στον ναό, δεδομένου ότι δεν θα έπρεπε να γίνει καμία επέμβαση στα αρχαία μάρμαρα.

Έτσι, η επιλογή των κορυφών του δικτύου έπρεπε να εκμεταλλεύεται διάφορα σημεία που προϋπήρχαν στον ναό και στον περιβάλλοντα χώρο και θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως κορυφές. Τέτοια σημεία, όπως αναζητήθηκαν στην ευρύτερη περιοχή και στο εσωτερικό του ναού, βρέθηκαν να είναι: σιδερόβεργες που ήταν καρφωμένες στο έδαφος και διάφορα χαράγματα στους λίθους της κρηπίδας.

Για να οριστούν οι θέσεις των κορυφών, έπρεπε να πληρούν κατ' ελάχιστον τις επόμενες προϋποθέσεις:

- η κορυφή να είναι όσο το δυνατό, μόνιμη, και να είναι εύκολα προσδιορίσιμη σε επόμενες σειρές μέτρησης των στοιχείων του δικτύου,
- να ικανοποιείται το κριτήριο της αμοιβαίας ορατότητας μεταξύ των κορυφών, και
- να ικανοποιεί τους στόχους της εργασίας.

Τελικά, ιδρύθηκαν οχτώ κορυφές που αποτελούν το δίκτυο οριζοντίου ελέγχου του Ναού του Ηφαίστου (Εικόνα 13). Από αυτές, μόνο δυο βρίσκονται επάνω στον ναό, μια στον πρόναο (Σ7) και μια στην πλευρά του οπισθόδομου, και συγκεκριμένα στην είσοδο του σηκού (Σ8). Οι υπόλοιπες έξι κορυφές βρίσκονται στην περίμετρο του ναού σε πολύ μικρή απόσταση από αυτόν, στα ρείθρα του πεζόδρομου. Οι κορυφές έχουν κατανεμηθεί ως εξής: δύο σε κάθε μεγάλη πλευρά (νότια και βόρεια, Σ2,Σ3 & Σ5,Σ6, αντίστοιχα) και μια κορυφή σε κάθε μικρή πλευρά (ανατολικά και δυτικά, Σ4 & Σ1, αντίστοιχα).



Εικόνα 13: Θέσεις κορυφών δικτύου οριζοντίου ελέγχου [15]

Picture 13: Positions of the horizontal network's points [15]

Αναλυτικότερα, η κορυφή Σ1 είναι ένα από τα σημεία που βρέθηκαν στην περίμετρο του ναού και ήταν ήδη υλοποιημένη με σιδερόβεργα (Εικόνα 14). Με τον ίδιο τρόπο υλοποιήθηκε η κορυφή Σ4. Οι υπόλοιπες κορυφές που βρίσκονται περιμετρικά του ναού (Σ2, Σ3, Σ5, Σ6) υλοποιήθηκαν με την χάραξη ενός σταυρού για το κάθε ένα, πάνω στο ρείθρο που βρίσκεται ανάμεσα στον πεζόδρομο και στο παρτέρι (Εικόνα 15).

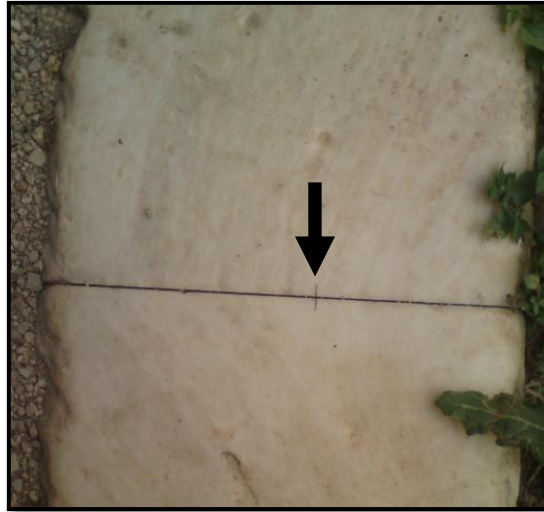
Η κορυφή Σ7 βρίσκεται στον χώρο του πρόναου, στην ανατολική πλευρά. Πρόκειται για την κορυφή ενός χαραγμένου τριγώνου πάνω στην κρηπίδα του ναού. Η κορυφή Σ8 βρίσκεται στον οπισθόδομο του ναού, στο κεφαλόσκαλο της πόρτας που οδηγεί στο σηκό. Πρόκειται για ένα σημείο που ορίζεται από την τομή μιας κάθετης ρωγμής με τον αρμό μεταξύ των δυο μαρμάρινων λίθων που απαρτίζουν το κατώφλι (Εικόνα 16).



Εικόνα 14 & 15: Σήμανση με σιδερόβεργα & με χάραξη σταυρού

Picture 14 & 15: Marking with an iron peg & with a cross

Για όλες τις κορυφές του δικτύου, έγιναν εξασφαλίσεις από σταθερά σημεία. Οι θέσεις των κορυφών του δικτύου παρουσιάζονται αναλυτικά στο παράρτημα.



Εικόνα 16: Σήμανση στον αρμό μεταξύ δυο λίθων της κρηπίδας

Picture 16: Marking at the joint of the crepidoma's stones

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ
– ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

5.1. ΟΡΓΑΝΑ & ΠΑΡΕΛΚΟΜΕΝΑ

Τα στοιχεία του δικτύου ελέγχου μετρήθηκαν με τον εικονογεωδαιτικό σταθμό της Topcon, Imaging Station 203i (Εικόνα 17). Στην παρούσα φάση θα εξεταστεί ο τύπος του οργάνου ως ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός. Για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό TopSURV που διαθέτει ο IS, με προβολή των μετρήσεων επί της οθόνης του οργάνου και δυνατότητα μετατροπής αρχείων σε ASCII, DXF κ.α.

Τα παρελκόμενα που χρησιμοποιήθηκαν στις μετρήσεις του δικτύου ήταν (2) τρικόχλια με οπτική κέντρωση, κατάφωτα (της εταιρείας Topcon) και τρίποδες (Εικόνα 18). Τα τρικόχλια, ελέγχθηκαν πριν αρχίσουν οι μετρήσεις για την ορθότητα της οπτικής κέντρωσης.



Εικόνα 17: Γεωδαιτικός Σταθμός Topcon IS 203i [18]

Picture 17: Topcon Imaging Station – IS 203i [18]

**Εικόνα 18:** Παρελκόμενα**Picture 18:** Accessories

Τεχνικά Χαρακτηριστικά	
Γωνιομετρική ακρίβεια	3" (10cc)
Εμβέλεια απόστασης με πρίσμα	3.000 m
Εμβέλεια απόστασης χωρίς πρίσμα	2.000 m
Ακρίβεια στην απόσταση	± (2mm +2ppm)
Ταχύτητα περιστροφής	85° / sec
Χωρητικότητα καταγραφικού	128 MB/RAM, 2MB Flash ROM, 1 GB micro SD CARD
Ενσωματωμένα προγράμματα	TopSURV - Αποτύπωση με την βοήθεια απεικόνισης οθόνης χάρτη, Χάραξη με εισαγωγή σημείων από αρχείο Autocad (txt, xml, dwg, dxf) κ.ά, Επίλυση οδεύσεων, Οπισθοτομία με την εισαγωγή μέχρι και 17 διαφορετικών σημείων, Ρουτίνες CO-GO και ενσωματωμένο πρόγραμμα
Λειτουργικό σύστημα	Microsoft Windows
Δυνατότητες	Φωτεινός οδηγός χάραξης (Point Guide), Φωτεινός οδηγός σκόπευσης (Laser Pointer)
Βάρος	6,2 kg χωρίς μπαταρία

Πίνακας 1: Τεχνικά χαρακτηριστικά του Topcon IS 203i [18]**Table 1:** Technical features of Topcon IS 203i [18]

5.1.1. Έλεγχος για την ύπαρξη κυκλικού σφάλματος

Λόγω της περιορισμένης έκτασης της περιοχής μελέτης και των μικρών μηκών που μετρήθηκαν, δεν έγιναν διορθώσεις λόγω της επίδρασης της ατμόσφαιρας στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Πριν την έναρξη των μετρήσεων, ο εικονογεωδαιτικός σταθμός ελέγχθηκε για την (πιθανή) ύπαρξη κυκλικού σφάλματος.

Το κυκλικό σφάλμα είναι ένα συστηματικό σφάλμα περιοδικής μορφής και οφείλεται στη συμβολή του κυρίου σήματος με δευτερεύοντα σήματα μικρότερης έντασης που υπάρχουν στα ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά κυκλώματα του EDM [5]. Το σφάλμα εκφράζεται με την ημιτονική σχέση:

$$y = A + B \sin\left(\frac{4\pi}{\lambda_m} L_o - \varphi_o\right) \quad (1)$$

Όπου: A = σταθερός προσδιοριστέος όρος (σταθερά οργάνου καταφώτου)

B = προσδιοριστέος συντελεστής

φ_o = προσδιοριστέα φάση

L_o = το μήκος που μετρήθηκε

λ_m = το μήκος κύματος της διαμορφωμένης ακτινοβολίας

Για την πειραματική ανίχνευση το κυκλικού σφάλματος, ο έλεγχος έγινε στη σήραγγα μετρολογικού ελέγχου των Total Stations (Λ.Υ29-Υ30), στο υπόγειο του κτ. Λαμπαδαρίου της Σ.Α.Τ.Μ. στην Πολυτεχνειούπολη, όπου έχουν εγκατασταθεί βάθρα ειδικά για το σκοπό αυτό (Εικόνα 19).

Τα μήκη μεταξύ των βάθρων έχουν μετρηθεί με όργανο μηδενικής τάξης. Οι τιμές τους, L_i , θεωρούνται ότι δεν έχουν σφάλμα. Τα ίδια μήκη, l_i , μετρήθηκαν με τον Topcon IS 203i. Το όργανο τοποθετήθηκε στην μια άκρη της αίθουσας πάνω στο ειδικό βάθρο, χρησιμοποιώντας βάση εξαναγκασμένης κέντρωσης. Σε κάθε μέτρηση, που γινόταν σε I και II θέση οργάνου και σε δυο περιόδους, το κατάφωτο άλλαζε θέση και μεταφερόταν, ξεκινώντας από την αντίθετη πλευρά της αίθουσας, διαδοχικά στο επόμενο

βάθρο. Επισημαίνεται πως μετρήθηκαν τα κεκλιμένα μήκη και οι κατακόρυφες γωνίες, και υπολογίστηκαν εν συνεχεία οι οριζόντιες αποστάσεις, (l_i). Τα σφάλματα είναι οι διαφορές των μετρημένων μεγεθών l_i από τα γνωστά L_i .

$$y_i = l_i - L_i \quad (2)$$



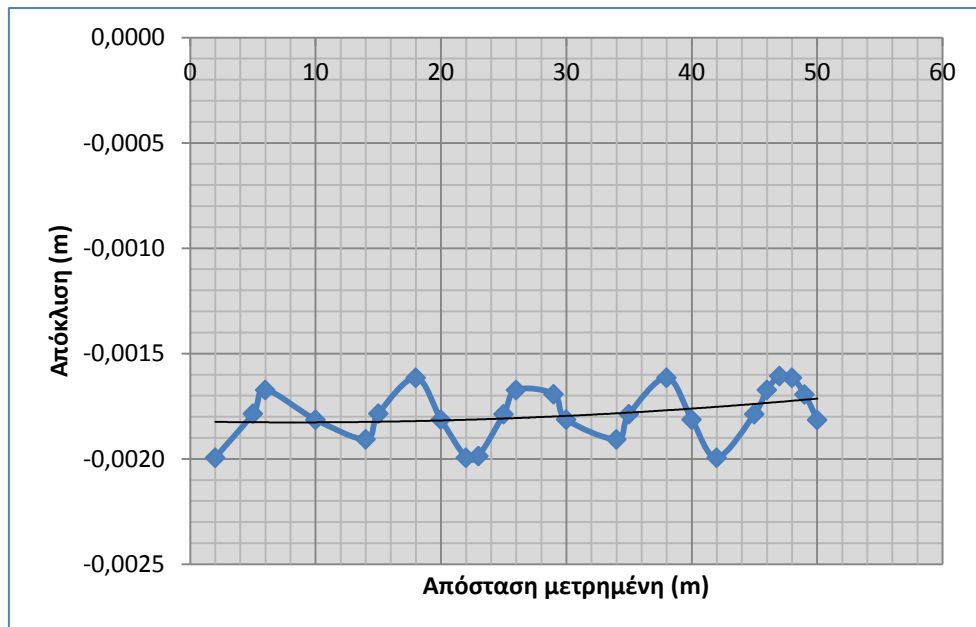
Εικόνα 19: Αίθουσα Λ.Υ29-Υ30 Μετρολογικού Ελέγχου Οργάνων, Κτήριο Λαμπαδαρίου, Πολυτεχνειούπολη

Picture 19: Metrological laboratory at the basement of Lampadariou Building, NTUA Campus

Ο προσδιορισμός των παραμέτρων (A, B, φ_o) έγινε με τη χρήση της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων. Ως εξίσωση παρατήρησης χρησιμοποιήθηκε η σχέση (1). Το μήκος κύματος της διαμορφωμένης ακτινοβολίας, λ_m , θεωρήθηκε ίσο με 20m. Οι τιμές των παραμέτρων τελικά, όπως προέκυψαν από την επίλυση είναι:

$$A = -0,0018m, \quad B = -0,0002m \quad \& \quad \varphi_o = -0,066rad$$

Οι τιμές y_i (που προκύπτουν από την εξίσωση 1) τοποθετήθηκαν σε ένα διάγραμμα, με O_x τον άξονα των μηκών, l_i (Διάγραμμα 1). Η γραφική παράσταση που προκύπτει έχει ημιτονική μορφή.



Διάγραμμα 1: Καμπύλη Κυκλικού Σφάλματος

Diagram 1: Cyclic error curve

Για να εξακριβωθεί η ύπαρξη κυκλικού σφάλματος στο όργανο, εξετάστηκε η στατιστική σημαντικότητα των τιμών των παραμέτρων που προέκυψαν. Μια τιμή, Y , είναι στατιστικά σημαντική όταν:

$$|Y| \geq 1,96 * |\sigma_Y| \quad (3)$$

Τα *à posteriori* τυπικά σφάλματα των παραμέτρων είναι οι τετραγωνικές ρίζες των διαγώνιων στοιχείων του πίνακα \hat{V}_x . Έτσι, με βάση την σχέση (3), για τις παραμέτρους (A, B, φ_o) , είναι:

$$|A| \geq 1,96 * |\sigma_A| \rightarrow 0,0018 \geq 1,96 * 5,32 * 10^{-4} \rightarrow 0,0018m \geq 0,0010m$$

$$|B| \geq 1,96 * |\sigma_B| \rightarrow 0,0002 \geq 1,96 * 8,55 * 10^{-4} \rightarrow 2 * 10^{-4}m \leq 1,68 * 10^{-3}m$$

$$|\varphi_o| \geq 1,96 * |\sigma_{\varphi_o}| \rightarrow 0,066 \geq 1,96 * 0,0619 \rightarrow 0,066rad \leq 0,121rad$$

Από τα παραπάνω διαπιστώνεται ότι μόνο η τιμή A είναι στατιστικά σημαντική. Αυτό σημαίνει ότι στον Torcon IS 203i υπάρχει σταθερά του συστήματος, οργάνου – ανακλαστήρα, και είναι ίση με $1,8mm$. Η τιμή αυτή βρίσκεται μέσα στον θόρυβο των μετρήσεων και έτσι οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν δεν διορθώθηκαν για την σταθερά οργάνου καταφώτου A.

Καθώς η τιμή του B είναι στατιστικά μη σημαντική, διαπιστώνεται ότι οι μετρήσεις μηκών που διεξάγονται με τον Torcon IS 203i, δεν χρειάζονται διόρθωση λόγω κυκλικού σφάλματος.

Το σύνολο των μετρήσεων που έγιναν για τον έλεγχο ύπαρξης κυκλικού σφάλματος, και η επεξεργασία τους περιλαμβάνεται στο παράρτημα της παρούσης εργασίας.

5.2. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Η μέτρηση των στοιχείων του δικτύου ελέγχου περιελάμβανε τον προσδιορισμό οριζοντίων και κατακόρυφων γωνιών από κάθε κορυφή προς όσες άλλες από τις κορυφές του δικτύου υπήρχε ορατότητα (Εικόνα 20). Οι γωνιομετρήσεις αυτές έγιναν με τη μέθοδο των γωνιών, σε 2 πλήρεις περιόδους. Παράλληλα, μετρήθηκαν τα κεκλιμένα μήκη μεταξύ των κορυφών του δικτύου σε μετάβαση και επιστροφή. Πριν από την διαδικασία της γωνιομέτρησης σε κάθε στάση του οργάνου για καθεμία από τις κορυφές του δικτύου, λαμβάνονταν μετρήσεις του ύψους οργάνου και του ύψους σκόπευσης.

Οι μετρήσεις εξάγονται από τον IS σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, με την χρήση του λογισμικού Topcon Link v.7.5. Το πρόγραμμα αυτό παραθέτει τις μετρήσεις σε πίνακες και σε μορφή CAD και έχει την δυνατότητα εξαγωγής των δεδομένων σε πολλές μορφές εγγράφων και σε AutoCAD, στοιχείο που βοήθησε στην ταχύτητα της επεξεργασίας των μετρήσεων.

Η συνολική επεξεργασία τόσο των οριζοντίων, όσο και των κατακορύφων γωνιών, αλλά και η αναγωγή των κεκλιμένων αποστάσεων σε οριζόντιες, έγινε σε περιβάλλον Microsoft Excel.

Το σύνολο των μετρήσεων και η επεξεργασία τους περιλαμβάνεται στο παράρτημα της παρούσης εργασίας.

5.3. ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Συνολικά για το δίκτυο οριζοντίου ελέγχου του Ναού του Ηφαίστου μετρήθηκαν δέκα κεκλιμένες αποστάσεις και δώδεκα οριζόντιες γωνίες. Τα αποτελέσματα παρατίθενται στους Πίνακες 2 και 3.

ΣΤ.	Σκόπ. Προς	Ζενίθια Γωνία z (m)	Κεκλ. Μήκος S (m)	Οριζον. Μήκος D (m)
Σ1	Σ6	100,4716	19,859	19,859
	Σ7	94,9713	15,257	15,209
Σ1	Σ7	94,9735	15,257	15,209
	Σ3	100,0539	29,094	29,094
Σ1	Σ3	100,0487	29,094	29,094
	Σ2	99,6877	15,912	15,912
Σ2	Σ1	100,7598	15,918	15,917
	Σ3	100,7077	13,210	13,209
Σ3	Σ2	99,9611	13,207	13,207
	Σ4	101,0952	16,485	16,483
Σ3	Σ1	100,1689	29,093	29,093
	Σ4	101,0976	16,486	16,483
Σ4	Σ3	98,5996	16,492	16,488
	Σ8	89,9705	9,015	8,903
Σ4	Σ8	89,9720	9,015	8,903
	Σ5	99,2846	16,185	16,184
Σ5	Σ4	101,3156	16,187	16,184
	Σ6	100,0265	24,217	24,217
Σ6	Σ5	100,2050	24,216	24,216
	Σ1	100,0790	19,862	19,861
Σ7	Σ8	100,3649	20,668	20,667
	Σ1	105,4349	15,267	15,212
Σ8	Σ4	110,5419	9,024	8,901
	Σ7	100,0226	20,668	20,668

→

α/α	Από - Προς	D (m)
1	Σ1 - Σ2	15,914
2	Σ2 - Σ3	13,208
3	Σ3 - Σ4	16,485
4	Σ4 - Σ5	16,184
5	Σ5 - Σ6	24,216
6	Σ6 - Σ1	19,860
7	Σ1 - Σ7	15,211
8	Σ7 - Σ8	20,668
9	Σ8 - Σ4	8,902
10	Σ1 - Σ3	29,094

Πίνακας 2: Κατακόρυφες Γωνίες, Κεκλιμένες & Οριζόντιες Αποστάσεις μεταξύ των κορυφών του Δικτύου Οριζοντίου Ελέγχου

Table 2: Measured Vertical Angles, Slope & Horizontal Distances between the Horizontal Control Network's Points

α/α	Γωνία	(Grad)
1	$\Sigma 6 - \Sigma 1 - \Sigma 7$	43,2125
2	$\Sigma 7 - \Sigma 1 - \Sigma 3$	44,3554
3	$\Sigma 3 - \Sigma 1 - \Sigma 2$	2,7230
4	$\Sigma 1 - \Sigma 2 - \Sigma 3$	193,9660
5	$\Sigma 2 - \Sigma 3 - \Sigma 1$	3,2883
6	$\Sigma 1 - \Sigma 3 - \Sigma 4$	152,4755
7	$\Sigma 3 - \Sigma 4 - \Sigma 8$	44,4156
8	$\Sigma 8 - \Sigma 4 - \Sigma 5$	42,6959
9	$\Sigma 4 - \Sigma 5 - \Sigma 6$	157,3932
10	$\Sigma 5 - \Sigma 6 - \Sigma 1$	115,4647
11	$\Sigma 1 - \Sigma 7 - \Sigma 8$	241,2779
12	$\Sigma 7 - \Sigma 8 - \Sigma 4$	199,9725

Πίνακας 3: Οριζόντιες Γωνίες μεταξύ των κορυφών του Δικτύου Οριζοντίου Ελέγχου
Table 3: Measured Horizontal Angles between the Horizontal Control Network's Points



Εικόνα 20: Μορφή Δικτύου Οριζοντίου Ελέγχου [15]
Picture 20: Shape of the Horizontal Control Network [15]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6
ΕΠΙΛΥΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

6.1. ΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Για την συνόρθωση των παρατηρήσεων του δικτύου ελέγχου χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων και συγκεκριμένα η μέθοδος των εμμέσων παρατηρήσεων. Η επίλυση στην συγκεκριμένη περίπτωση έγινε με τις ελάχιστες εξωτερικές δεσμεύσεις, θεωρώντας σταθερή μια κορυφή και ένα αζιμούθιο, σε αυθαίρετο τοπικό σύστημα αναφοράς. Συγκεκριμένα, σταθερή θεωρήθηκε η κορυφή Σ1, με $x_{\Sigma 1} = 100m$ $y_{\Sigma 1} = 100m$. Παράλληλα, θεωρήθηκε σταθερή η διεύθυνση Σ1-Σ6 και ορίστηκε $\alpha_{\Sigma 1-\Sigma 6} = 100^g$. Οι ίδιες αρχικές συνθήκες και ελάχιστες εξωτερικές δεσμεύσεις πρέπει να διατηρηθούν σε μελλοντικές μετρήσεις του δικτύου, ώστε να έχει νόημα η σύγκριση των αποτελεσμάτων.

Τα υψόμετρα των κορυφών του δικτύου είναι γνωστά από γεωμετρική χωροστάθμηση, που προηγήθηκε των μετρήσεων του οριζοντιογραφικού δικτύου, για παράλληλη διπλωματική εργασία, με τίτλο «Ανίχνευση των καθιζήσεων του στυλοβάτη του ναού του Ηφαίστου με γεωδαιτική μεθοδολογία» [10].

Ο αριθμός των παρατηρήσεων αποτελείται από 12 παρατηρήσεις γωνιών και 10 αποστάσεων.

Τα στοιχεία του δικτύου παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Πλήθος παρατηρήσεων	n	22
Πλήθος αγνώστων παραμέτρων	m	13
Βαθμοί ελευθερίας	r	9
$\sigma_o - a priori$	σ_o	± 1

Πίνακας 4: Στοιχεία του Δικτύου Οριζοντίου Ελέγχου

Table 4: Elements of Horizontal Control Network

6.2. ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Η μέθοδος συνόρθωσης που χρησιμοποιήθηκε ήταν αυτή των εμμέσων παρατηρήσεων και ειδικότερα η μέθοδος μεταβολής των συντεταγμένων. Οι προσωρινές τιμές προσδιορίστηκαν με επεξεργασία των μετρήσεων, από την επίλυση των κλειστών οδεύσεων που προέκυψαν. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Σημείο	Xo (m)	Yo (m)
Σ1	100,000	100,000
Σ2	102,417	84,267
Σ3	105,648	71,458
Σ4	118,981	61,759
Σ5	125,676	76,495
Σ6	119,854	100,000
Σ7	111,841	90,451
Σ8	116,828	70,397

Πίνακας 5: Προσωρινές Συντεταγμένες των κορυφών του Δικτύου Οριζοντίου Ελέγχου

Table 5: Approximate Coordinates of Horizontal Control Network's Points

Για την εκτίμηση των βαρών των παρατηρήσεων στην επίλυση του δικτύου οριζοντίου ελέγχου, χρησιμοποιήθηκαν οι ονομαστικές αβεβαιότητες του οργάνου. Έτσι, θεωρήθηκε ότι η ακρίβεια στις γωνίες είναι $\sigma_{γων} = \pm 10cc$, ενώ στις αποστάσεις $\sigma_{αποστ} = \pm 2mm$.

Στον παρακάτω πίνακα δίδονται τα αποτελέσματα της επίλυσης, δηλαδή, οι τελικές συντεταγμένες των κορυφών του δικτύου με τις αβεβαιότητές τους.

Σημείο	X (m)	σ_x (mm)	Y (m)	σ_y (mm)
Σ1	100,000	0,0	100,000	0,0
Σ2	102,417	± 0,4	84,268	± 1,4
Σ3	105,647	± 0,6	71,460	± 1,2
Σ4	118,978	± 1,1	61,761	± 1,3
Σ5	125,672	± 1,2	76,494	± 1,5
Σ6	119,849	± 1,2	100,000	0,0
Σ7	111,839	± 1,0	90,452	± 0,8
Σ8	116,826	± 1,1	70,398	± 1,6

Πίνακας 6: Συντεταγμένες των κορυφών του Δικτύου Οριζοντίου Ελέγχου με τις αβεβαιότητες τους

Table 6: Adjusted Coordinates of Horizontal Control Network's Points with their Standard Deviations

Η εκτίμηση του a posteriori τυπικού σφάλματος της μονάδας βάρους γίνεται με την βοήθεια της ακόλουθης σχέσης:

$$\hat{\sigma}_o = \pm \sqrt{\frac{v^T * P * v}{r}} = \pm 0,99 \quad (4)$$

Όπου v : ο πίνακας των υπολοίπων

P : ο πίνακας βαρών

r : ο βαθμός ελευθερίας του δικτύου

6.3. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ

6.3.1. Ολικός έλεγχος αξιοπιστίας - Test χ^2

Στα αποτελέσματα της επίλυσης του δικτύου εφαρμόζεται ολικός έλεγχος αξιοπιστίας, με το τεστ της κατανομής χ^2 . Ειδικότερα, εφαρμόστηκε ο μονόπλευρος έλεγχος της μεταβλητότητας αναφοράς, που γίνεται δεκτός όταν:

$$r * \frac{\hat{\sigma}_o^2}{\sigma_o^2} \leq \chi_{r,1-a}^2 \quad (5)$$

Το a posteriori τυπικό σφάλμα της μονάδας βάρους, $\hat{\sigma}_o$, από την συνόρθωση με τις ελάχιστες εξωτερικές δεσμεύσεις προέκυψε: $\hat{\sigma}_o = \pm 0,99$.

Το a priori τυπικό σφάλμα της μονάδας βάρους, θεωρήθηκε: $\sigma_o = \pm 1,00$.

Για επίπεδο εμπιστοσύνης $p = (1 - \alpha) = 95\%$ και για βαθμό ελευθερίας $r = 9$, προσδιορίζεται, από τους πίνακες της κατανομής χ^2 , η τιμή $\chi^2_{r,1-\alpha} = 16,92$. Με εφαρμογή της σχέσης (5), προκύπτει:

$$\hat{\sigma}_o^2 \leq \frac{\sigma_o^2 * 16,92}{r} \Rightarrow 0,99^2 \leq \frac{1 * 16,92}{22 - 13} \text{ ή } 0,98 \leq 1,88$$

Από τον έλεγχο διαπιστώνεται ότι ισχύει η αρχική υπόθεση, που αφορά την συμφωνία του μαθηματικού μοντέλου με το στοχαστικό και η λύση είναι αποδεκτή.

6.3.2. Σάρωση δεδομένων κατά Baarda

Στην συνέχεια εφαρμόστηκε ο έλεγχος των παρατηρήσεων (σάρωση δεδομένων κατά Baarda). Με την σάρωση των δεδομένων ελέγχεται η ύπαρξη χονδροειδών ή και μικρών συστηματικών σφαλμάτων, κάθε μιας από τις παρατηρήσεις του δικτύου ξεχωριστά. Ο έλεγχος χρησιμοποιεί την κατανομή Fisher.

Κατά τον έλεγχο αυτό, η αρχική υπόθεση, (δηλαδή ότι, κάθε παρατήρηση θα είναι απαλλαγμένη από χονδροειδές σφάλμα) επαληθεύεται όταν ισχύει η σχέση:

$$W_i = \left| \frac{v_i}{\sigma_{vi}} \right| \leq \sqrt{F_{1,\infty,(1-\alpha_o)}} \quad (6)$$

Όπου v_i : το υπόλοιπο της παρατήρησης i ,

σ_{vi} : το τυπικό σφάλμα των υπολοίπων

$F_{1,\infty,(1-\alpha_o)}$: η οριακή τιμή για την κατανομή Fisher.

Από νομογράφημα της κατανομής [3] προκύπτει ότι: $\sqrt{F_{1,\infty,(1-\alpha_0)}} = 3,29$

v_i	σ_{vi}	$\frac{ v_i }{\sigma_{vi}}$
-1,2 cc	±10 cc	0,1
2,0 cc	±10 cc	0,2
9,8 cc	±10 cc	1,0
7,2 cc	±10 cc	0,7
5,0 cc	±10 cc	0,5
-0,8 cc	±10 cc	0,1
-2,9 cc	±10 cc	0,3
-5,2 cc	±10 cc	0,5
-4,0 cc	±10 cc	0,4
-1,8 cc	±10 cc	0,2
-2,4 cc	±10 cc	0,2
-2,3 cc	±10 cc	0,2
2,1 mm	±1,9 mm	1,1
1,7 mm	±1,9 mm	0,9
0,0 mm	±1,9 mm	0,0
-1,6 mm	±1,9 mm	0,8
-0,1 mm	±1,9 mm	0,1
-2,3 mm	±1,9 mm	1,2
-1,5 mm	±1,9 mm	0,8
-2,0 mm	±1,9 mm	1,1
2,0 mm	±1,9 mm	1,1
0,3 mm	±1,9 mm	0,2

Πίνακας 7: Στατιστικός Έλεγχος Παρατηρήσεων κατά Baarda

Table 7: Data Snooping

Όπως διαπιστώνεται από τον Πίνακα 7, η απόλυτη τιμή του λόγου των υπολοίπων προς τις αβεβαιότητες τους, δεν υπερβαίνει σε καμία παρατήρηση την τιμή 3,29 [3]. Επομένως ισχύει η αρχική υπόθεση της μη ύπαρξης χονδροειδών και συστηματικών σφαλμάτων σε καμία από τις παρατηρήσεις του δικτύου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7
ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΕΙΚΟΝΟΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ -
ΣΑΡΩΣΕΙΣ

7.1. ΓΕΝΙΚΑ

Η ανάπτυξη εφαρμογών παρουσίασης και οπτικοποίησης ενός 3D μοντέλου στην οθόνη ενός Η/Υ, ώθησε στη χρήση ψηφιακών τεχνικών τρισδιάστατης αποτύπωσης και μετρήσεων με χρήση νέων εξελιγμένων μετρητικών διατάξεων που μπορούν να παρέχουν με αυτοματοποιημένες διαδικασίες, τη θέση στο χώρο ενός μεγάλου αριθμού χαρακτηριστικών σημείων που απαρτίζουν την εξωτερική επιφάνεια και περιγράφουν το αντικείμενο [7]. Τα οφέλη που προκύπτουν από τη δημιουργία των τρισδιάστατων μοντέλων των αντικειμένων πολιτιστικής κληρονομιάς είναι πολλά και σημαντικά και ωθούν ολοένα και περισσότερο στη χρήση νέων ψηφιακών τεχνικών αποτύπωσης από τους επιστήμονες που ασχολούνται με τη μελέτη και τη συντήρησή τους.

Στην εργασία αυτή, επιλέχθηκε να δημιουργηθεί ένα 3D μοντέλο, με την χρήση του ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού της Topcon, Imaging Station 203i, και την εφαρμογή της δυνατότητας του, για σάρωση. Για τον λόγο αυτό, όπως έχει αναφερθεί αναλυτικά στο Κεφάλαιο 6, υλοποιήθηκε και μετρήθηκε δίκτυο οριζοντίου ελέγχου περιμετρικά του μνημείου, οι κορυφές του οποίου χρησιμοποιήθηκαν ως στάσεις του οργάνου για τις σαρώσεις.

Έπειτα από λεπτομερή εξέταση του ναού, κατά την διάρκεια της αναγνώρισης της περιοχής μελέτης, και σε συνδυασμό με την ανάλυση των αστοχιών που ήταν ήδη γνωστές από άλλες έρευνες που έχουν γίνει σχετικά με το μνημείο, επιλέχθηκε να προσδιοριστούν οι μετακινήσεις των σπονδύλων του 5^{ου} κίονα (NK5) της νότιας πλευράς της περίπτωσης (Εικόνα 12).

Πριν την έναρξη των μετρήσεων στο Ναό, προηγήθηκαν πειραματικές μετρήσεις με τον εικονογεωδαιτικό σταθμό. Στόχος ήταν να διερευνηθεί η δυνατότητα εφαρμογής της γεωδαιτικής μεθοδολογίας, με την χρήση του συγκεκριμένου οργάνου, στην τεκμηρίωση δομικών στοιχείων δεδομένης γεωμετρίας και η οργάνωση σε πραγματικές συνθήκες των εργασιών υπαίθρου.

7.2. ΟΡΓΑΝΑ

7.2.1. Εικονογεωδαιτικός Σταθμός IS 203i της Topcon

Ο ρομποτικός γεωδαιτικός σταθμός Imaging Station IS 203i της Topcon είναι ένα σύγχρονο όργανο, υψηλής ακρίβειας, με πολλές δυνατότητες. Επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί στην παρούσα εργασία λόγω της δυνατότητας δημιουργίας «νέφους σημείων», την οποία διαθέτει.

Η διαφορά του IS 203i από τους σαρωτές laser (L.S.), έγκειται στο γεγονός ότι, η δυνατότητα σάρωσης ενός αντικειμένου, συνδυάζεται σε ένα όργανο που αποτελεί και γεωδαιτικό σταθμό. Απόρροια αυτού, είναι ότι τα στοιχεία που «σαρώνει» το όργανο, εντάσσονται αυτομάτως στο σύστημα αναφοράς που έχει ορίσει ο χρήστης (π.χ. με την εισαγωγή των συντεταγμένων του σημείου όπου έχει στηθεί το όργανο, για την σάρωση, και του σημείου μηδενισμού). Έτσι, προκύπτει ένα νέφος σημείων με γνωστές συντεταγμένες στο σύστημα αναφοράς του Δ.Ο.Ε. (το όργανο τις υπολογίζει αυτόματα με χρήση της μεθόδου των πολικών συντεταγμένων). Τεχνικά χαρακτηριστικά του οργάνου σχετικά με την σάρωση, παρατίθενται στον Πίνακα 8:

Τεχνικά χαρακτηριστικά	
Ακρίβεια στην απόσταση χωρίς πρίσμα	± 5mm
Ταχύτητα σάρωσης (scanning)	max 20 points / sec
Ταχύτητα εντοπισμού στόχου	15° / sec

Πίνακας 8: Τεχνικά χαρακτηριστικά του Topcon IS 203i [18]

Table 8: Technical features of Topcon IS 203i [18]

Ο προσδιορισμός της επιφάνειας σάρωσης γίνεται μέσω της ψηφιακής οθόνης του οργάνου. Παρέχεται μια σειρά επιλογών για τον τρόπο ορισμού της. Επίσης, με διάφορους τρόπους μπορεί να οριστεί και η πυκνότητα του νέφους, όπως π.χ. με την εισαγωγή γωνιακού ή γραμμικού βήματος οριζόντιου και κατακόρυφου.

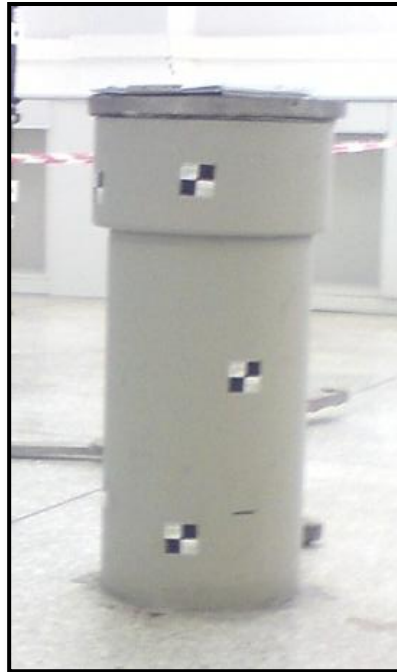
7.2.2. Παρελκόμενα

Τα παρελκόμενα που χρησιμοποιήθηκαν κατά την διάρκεια των σαρώσεων ήταν κοινά με αυτά που χρησιμοποιήθηκαν κατά την διάρκεια των μετρήσεων του δικτύου οριζοντίου ελέγχου. Αυτά ήταν: τρίποδες, τρικόχλια, κατάφωτα και μετροταινία.

7.3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Πριν την έναρξη των μετρήσεων στον Ναό του Ηφαίστου, προηγήθηκαν πειραματικές μετρήσεις στον χώρο της Σ.Α.Τ.Μ. Δύο ήταν οι στόχοι της εργασίας αυτής. Πρώτος στόχος, ήταν η προσομοίωση μιας ροής εργασιών αντίστοιχης με αυτή που θα ακολουθούσαν στο μνημείο, επιτυγχάνοντας έτσι, την αύξηση της ταχύτητας εργασιών και την μείωση του χρόνου παραμονής του εξοπλισμού στην Αρχαία Αγορά. Ο δεύτερος στόχος, ήταν η διερεύνηση του αποτελέσματος των μετρήσεων, ώστε να εξακριβωθεί αν ικανοποιούνται οι απαιτήσεις της συγκεκριμένης εργασίας.

Έγιναν τέσσερις πειραματικές μετρήσεις σε διάφορα στοιχεία στο χώρο της Σ.Α.Τ.Μ., μέχρι να βρεθεί η βέλτιστη αλληλουχία των επιλογών που διαθέτει ο IS 203i, ούτως ώστε να επιτευχθούν τα επιθυμητά αποτελέσματα. Το πείραμα που θα αναλυθεί στην φάση αυτή ήταν το τελευταίο και πληρέστερο από όσα έγιναν. Πραγματοποιήθηκε στην αίθουσα βαθμονόμησης οργάνων, Υ23, στο Κτήριο Λαμπαδαρίου, της Σ.Α.Τ.Μ. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε ένα από τα κυλινδρικά βάθρα, που βρίσκονται στην αίθουσα (Εικόνα 21). Κριτήριο της επιλογής του αντικειμένου αυτού, ήταν η κυκλική διατομή του, αντίστοιχη της διατομής ενός κίονα.



Εικόνα 21: Βάθρο μετρήσεων (αίθουσα Y23, Κτήριο Λαμπαδαρίου, Πολυτεχνειούπολη)

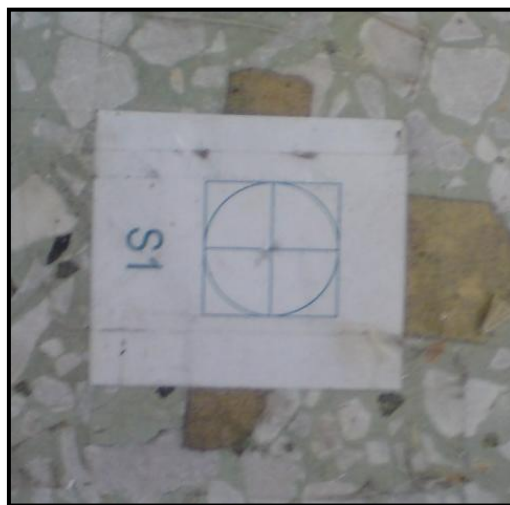
Picture 21: Measurement pillar (class Y23, Lampadarios Building, NTUA Campus)

Γύρω από το βάθρο ιδρύθηκε μια κλειστή ανεξάρτητη όδευση με τέσσερις κορυφές (S1,S2,S3,S5). Η επιλογή των θέσεων των κορυφών έγινε ούτως ώστε να χρησιμοποιηθούν ήδη υλοποιημένα σημεία που υπήρχαν στο δάπεδο, με αυτοκόλλητους στόχους (Εικόνα 22) και να επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή κάλυψη του βάθρου κατά την σάρωση. Ως σταθερή θεωρήθηκε η κορυφή S1, με συν/νες : $(X_{S_1} = 10m, Y_{S_1} = 10m, H_{S_1} = 10m)$ και ως σταθερή διεύθυνση θεωρήθηκε η S1-S5, με $a_{S_1S_5} = 100^g$. Εν συνεχεία, επιλύθηκε η όδευση, με την οποία δόθηκαν συντεταγμένες στις υπόλοιπες κορυφές (Πίνακας 9).

Σημείο	X (m)	Y (m)	H (m)
S1	10,000	10,000	10,000
S5	15,706	10,000	9,959
S2	11,189	5,039	9,953
S3	14,918	4,204	9,917

Πίνακας 9: Συντεταγμένες κορυφών όδευσης

Table 9: Coordinates of the traverse points



Εικόνα 22: Αυτοκόλλητος στόχος στο δάπεδο (αίθουσα Υ23, Κτήριο Λαμπαδαρίου, Πολυτεχνειούπολη)

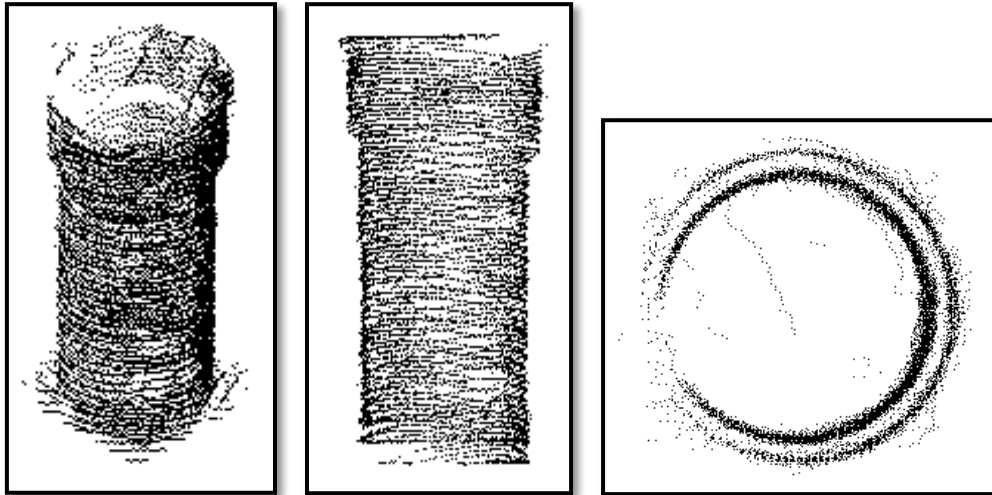
Picture 22: Marking of a point on the floor (room Y23, Lampadariou Building, NTUA Campus)

Ακολούθησε η διαδικασία της σάρωσης του βάρους. Από κάθε κορυφή της όδευσης σαρώνονταν η όψη του βάρους. Η επιλογή της επιφάνειας προς σάρωση έγινε με την εισαγωγή ενός τετράγωνου πλαισίου (square area) μέσω της ψηφιακής οθόνης του οργάνου. Η πυκνότητα του νέφους, ορίστηκε με την εισαγωγή οριζόντιου και κατακόρυφου βήματος (1cm).

Έπειτα από κάθε σάρωση, οι μετρήσεις αποθηκεύονταν στο όργανο και οι συντεταγμένες του νέφους υπολογίζονταν αυτομάτως, από τον επεξεργαστή που διαθέτει ο IS (με την μέθοδο των πολικών συντεταγμένων).

Όλες οι μετρήσεις εξάχθηκαν σε ηλεκτρονικό υπολογιστή με την χρήση του λογισμικού Topcon Link. Με την εισαγωγή των αποτελεσμάτων στο λογισμικό

AutoCAD, η μορφή του βάρου απεδόθη από ένα νέφος σημείων. Το νέφος που αρχικά προέκυψε περιείχε και σημεία εκτός του βάρου, όπως σημεία από το δάπεδο ή από επιφάνειες που βρίσκονταν στο βάθος. Τα σημεία αυτά απαλείφθηκαν στο μεγαλύτερο βαθμό (Εικόνα 23) και ακολούθησε η επεξεργασία του νέφους.



Εικόνα 23: Νέφος σημείων από σάρωση του βάρου στην αίθουσα Y23 (3D, πλάγια όψη & κάτοψη)

Picture 23: Point cloud from scanning at the room Y23 (3D, side & plan view)

Το βάρο, όπως φαίνεται στην Εικόνα 21, αποτελείται από δύο κυλινδρικά τμήματα, διαφορετικής ακτίνας. Με στόχο την επαλήθευση των αποτελεσμάτων που θα εξαγονταν από την σάρωση του αντικειμένου, πραγματοποιήθηκαν άμεσες μετρήσεις με μετροταινία, ακρίβειας χιλιοστού, των περιμέτρων του βάρου. Από την περίμετρο γίνεται αναγωγή στην ακτίνα με βάση την γνωστή γεωμετρική σχέση: $\Pi = 2\pi R$.

	Περίμετρος Π (m)	Ακτίνα R (m)	Διάμετρος D (m)
Max	1,172	0,187	0,373
Min	1,018	0,162	0,324

Πίνακας 10: Μετρήσεις με μετροταινία

Table 10: Measurements with tape

Η επεξεργασία του νέφους των σημείων έγινε με το λογισμικό AutoCAD. Δυο κύκλοι προσαρμόστηκαν στις κατόψεις των δύο τμημάτων, για να βρεθούν οι δυο διαφορετικές διαμέτροι του βάρου. Οι ακτίνες που προέκυψαν είναι: $R_{max} = 0,188m$ & $R_{min} = 0,160m$. Η μέγιστη διαφορά που παρατηρείται ανάμεσα στις άμεσες μετρήσεις και στα αποτελέσματα των σαρώσεων είναι μόλις $2mm$. Από τα αποτελέσματα του πειράματος, κρίθηκε ότι ο Topcon IS 203i, μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας.

7.4. ΣΑΡΩΣΗ ΚΙΟΝΑ

Μετά από τον προσδιορισμό των συντεταγμένων των κορυφών του δικτύου οριζοντίου ελέγχου, στον Ναό του Ηφαίστου, πραγματοποιήθηκε η σάρωση του πέμπτου κίονα (NK5 – Εικόνα 24) της περίπτωσης στην νότια πλευρά του μνημείου, με τον IS 203i.



7.4.1. Εμπροσθοτομίες

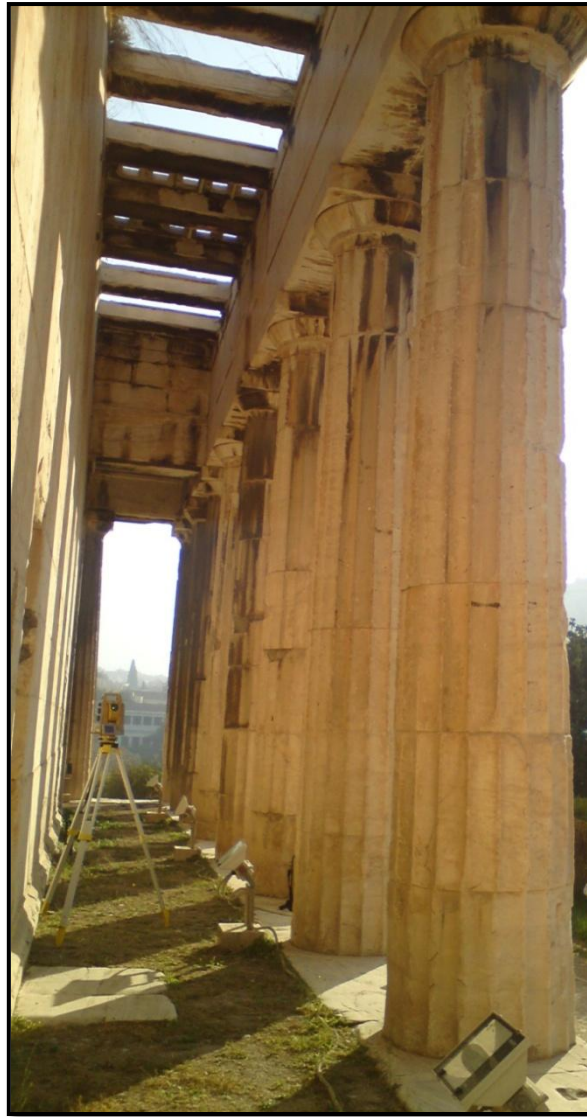
Από τις κορυφές του δικτύου ελέγχου, την καλύτερη κάλυψη του κίονα παρείχε η Σ2. Από το σημείο αυτό, μπορούσε να σαρωθεί η νότια όψη του κίονα και εν μέρει η ανατολική. Οι υπόλοιπες κορυφές, δεν μπορούσαν να συνεισφέρουν στην σάρωση, καθώς βρίσκονταν μακριά από τον κίονα.

Για την πλήρη κάλυψη του εξεταζόμενου στοιχείου, χρειαζόνταν ακόμη, τουλάχιστον, δύο σημεία, από τα οποία θα μπορούσαν να γίνουν μετρήσεις στην επιφάνεια του κίονα με επικαλυπτόμενες περιοχές. Τα σημεία αυτά έπρεπε να έχουν ορατότητα στην πίσω πλευρά του κίονα, δηλαδή την βόρεια όψη του, αλλά να καλύπτουν και το ανατολικό και δυτικό τμήμα του.

Εικόνα 24: NK5

Picture 24: SC5 (5th Southern column)

Λαμβάνοντας υπόψη, ότι σε απόσταση μικρότερη των 2m από τον κίονα, κατά την διαμήκη πλευρά του ναού, οριοθετείται ο τοίχος του σηκού, είναι προφανές ότι κάτι τέτοιο θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί, μόνο αν αυτά τα σημεία βρίσκονταν πάνω στον ναό. Επίσης θα έπρεπε να είναι σχετικά κοντά στο κίονα, για την κάλυψη του σε ανατολή και δύση. Με βάση αυτά τα κριτήρια, αλλά, και το γεγονός ότι, δεν μπορούσε να υλοποιηθεί πάνω στον ναό οποιοδήποτε σημείο μόνιμης σήμανσης, επιλέχθηκαν τα σημεία (E1, E2), τα οποία υλοποιήθηκαν με προσωρινή σήμανση, ανάμεσα στους κίονες της περίπτωσης και στο σηκό.



Εικόνα 25: Διεξαγωγή σαρώσεων από την κορυφή E2

Picture 25: Scanning from point E2

Οι οριζοντιογραφικές συντεταγμένες των E1 και E2, προσδιορίστηκαν με εμπροσθοτομίες, από τις κορυφές του δικτύου Σ1, Σ2, Σ3, ενώ τα υψόμετρα τους προσδιορίστηκαν με τριγωνομετρική υψομετρία. Οι τελικές συντεταγμένες των E1 και E2, φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Σημείο	X (m)	Y (m)	H (m)
E1	106,875	94,260	100,644
E2	109,416	81,061	100,677

Πίνακας 11: Συντεταγμένες στάσεων οργάνου E1 & E2, που προσδιορίστηκαν με εμπροσθοτομία

Table 11: Coordinates of points E1 & E2, determined by intersection

7.4.2. Σαρώσεις – Μετρήσεις Τοποσταθερών

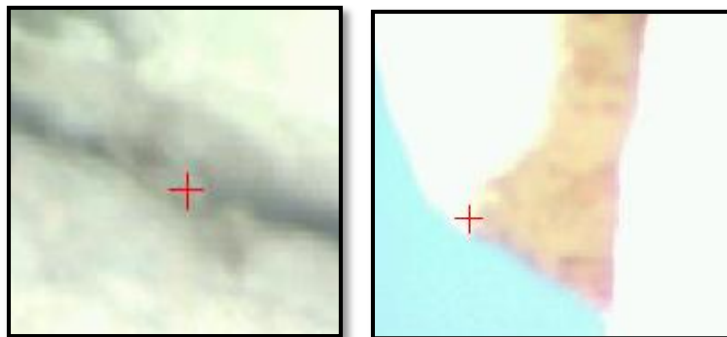
Με γνωστές πλέον τις συντεταγμένες των κορυφών Σ2, E1, E2 που ήταν απαραίτητα για την γεωμετρική τεκμηρίωση του κίονα, έγιναν οι σαρώσεις.

Από κάθε στάση σαρώνονταν ξεχωριστά κάθε σπόνδυλος. Η επιφάνεια σάρωσης οριζονταν με την εισαγωγή ενός τετράγωνου πλαισίου (square area) μέσω της ψηφιακής οθόνης του οργάνου. Η πυκνότητα του νέφους, ορίστηκε με την εισαγωγή οριζόντιου και κατακόρυφου βήματος. Οι απαιτήσεις της συγκριμένης εργασίας, οδήγησαν σε επιλογή βήματος 1 έως 1,5cm (σε πολύ λίγες περιπτώσεις το βήμα ήταν 2cm). Βήμα μικρότερο του 1cm, διαπιστώθηκε ότι ήταν αδύνατο να εφαρμοστεί, σε μια τέτοια διαστάσεων επιφάνεια, καθώς αυξάνονταν πάρα πολύ ο χρόνος της σάρωσης (>45min) και ο χρόνος της αποθήκευσης των δεδομένων (>15min).

Με την ολοκλήρωση κάθε σάρωσης, οι μετρήσεις αποθηκεύονταν στο όργανο και υπολογίζονταν αυτόματα οι συντεταγμένες του νέφους, χάρη στον επεξεργαστή που διαθέτει ο IS (με την μέθοδο των πολικών συντεταγμένων). Εν συνεχεία, οι μετρήσεις εξάγονταν σε ηλεκτρονικό υπολογιστή με την χρήση του λογισμικού Topcon Link. Έτσι προέκυψαν τρία ξεχωριστά νέφη σημείων, η ένωση των οποίων σχημάτισε τον κίονα.

Παράλληλα με την διαδικασία των σαρώσεων, ορίζονταν και μετρούνταν τοποσταθερά, στην περιφέρεια κάθε σπονδύλου, με σκοπό την σύγκριση των αποτελεσμάτων που θα προέκυπταν από την επεξεργασία του νέφους, με αυτά που θα προέκυπταν από τα τοποσταθερά.

Τα τοποσταθερά που επιλέχθηκαν, σημάνθηκαν με μολύβι μέχρι την βάση του 3^{ου} σπόνδου, που ήταν προσιτή καθ' ύψος και έφτανε το ανθρώπινο χέρι. Επειδή από τον 4^ο σπόνδυλο και πάνω, δεν υπήρχε δυνατότητα προσέγγισης, τα υπόλοιπα τοποσταθερά επιλέγονταν, μέσω της ψηφιακής οθόνης του οργάνου, έχοντας οδηγό τις ραβδώσεις των σπονδύλων. Η επιλογή της θέσης των τοποσταθερών έγινε έτσι, ώστε να υπάρχουν δυο ομάδες σημείων, κοντά στην κάτω και στην πάνω έδρα του σπονδύλου αντίστοιχα, στο βαθύτερο σημείο των ραβδώσεων (στο μέσον τους), που θα μπορούσαν να αποδώσουν την περίμετρο του σπονδύλου, σε αυτές τις θέσεις. Επίσης επιλέχθηκαν και μερικά χαρακτηριστικά σημεία των σπονδύλων (Εικόνα 26) .

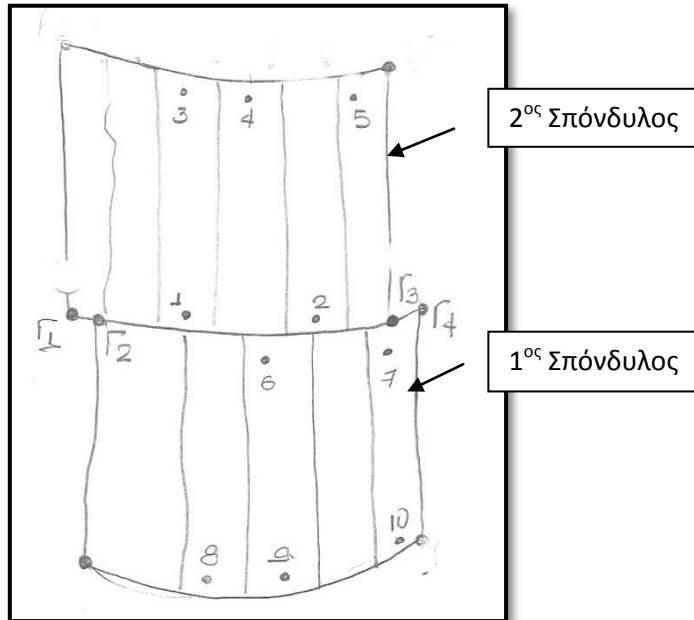


Εικόνα 26: Χαρακτηριστικά σημεία σε μεγέθυνση, B47(αρμός ένωσης) & B36 (ακραίο σημείο)

Picture 26: Characteristic points (zoomed in), B47 (joint union) & B36 (edge point)

Οι θέσεις των τοποσταθερών τεκμηριώθηκαν σε αυτοσχέδια υπαίθρου (Εικόνα 27). Η σκόπευση των σημειωμένων τοποσταθερών, έγινε με το τηλεσκόπιο, ενώ τα υπόλοιπα σκοπεύθηκαν όπως προαναφέρθηκε με την ψηφιακή οθόνη του IS. Σε ορισμένες περιπτώσεις τα τοποσταθερά που σκοπεύονταν μέσω της οθόνης, τεκμηριώθηκαν με την λήψη φωτογραφιών, λειτουργία που διαθέτει ο IS (Εικόνα 26 & 28). Οι συντεταγμένες των σημείων

προέκυψαν με την μέθοδο των πολικών συντεταγμένων, που υπολογίστηκαν αυτομάτως, παράλληλα με τις μετρήσεις.



Εικόνα 27: Κροκί τοποσταθερών
Picture 27: Drawing of control points



Εικόνα 28: Φωτογραφία από τον IS, τοποσταθερών από την E2, στον 7^ο σπόνδυλο

Picture 28: Photograph of control points on the 7th drum taken with the IS from point E2.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΠΟΝΔΥΛΩΝ

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΣΠΟΝΔΥΛΩΝ

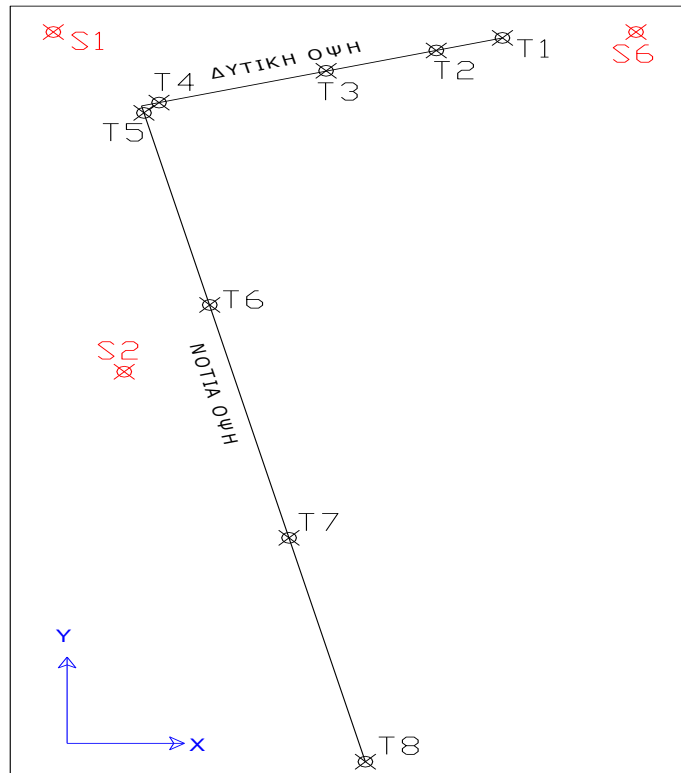
ΚΙΟΝΑ

8.1. ΣΤΡΟΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

Το δίκτυο που μετρήθηκε στον Ναό του Ηφαίστου, επιλύθηκε, όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, με σταθερή την διεύθυνση Σ1-Σ6 ($\alpha_{\Sigma 1 \Sigma 6} = 100^g$). Η πλευρά αυτή είναι παράλληλη προς τον άξονα των Χ, στο σύστημα συντεταγμένων (Σχήμα 1).

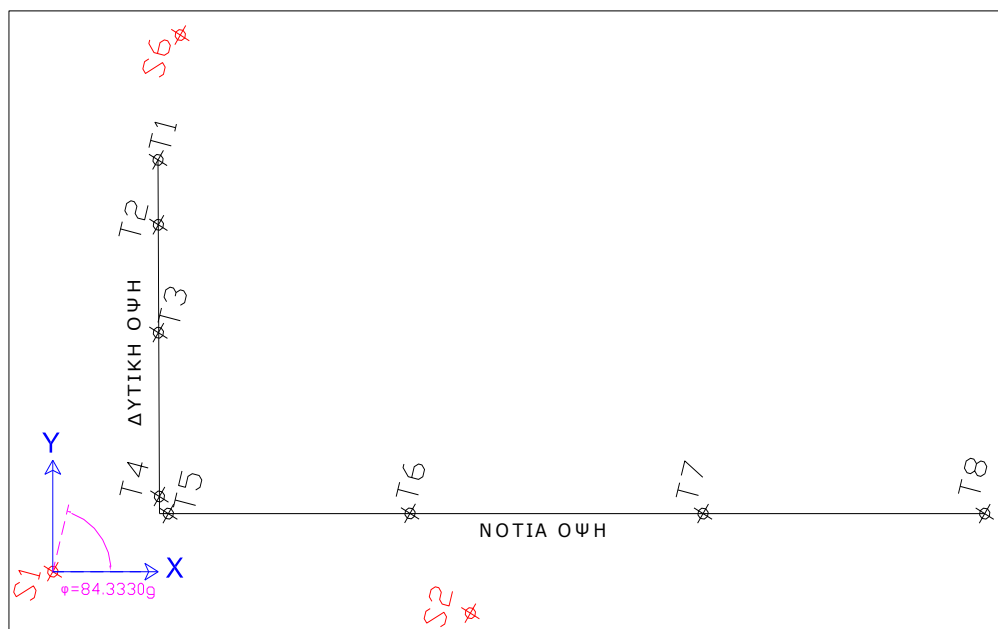
Πριν την έναρξη της επεξεργασίας των μετρήσεων, κρίθηκε σκόπιμο να προσανατολισθεί το σύστημα συντεταγμένων παράλληλα με τον ναό. Συγκεκριμένα, αν ένας από τους δυο άξονες του συστήματος συντεταγμένων (Χ ή Υ), είναι παράλληλος με μια πλευρά του ναού, είναι δυνατόν να γίνουν συγκρίσεις με παλαιότερες μετρήσεις, καθώς και συσχέτιση των μετακινήσεων των σπονδύλων με το περίγραμμα του ναού.

Για το σκοπό αυτό προσδιορίσθηκε η διεύθυνση των πλευρών της Νοτιοδυτικής γωνίας του στυλοβάτη. Δεδομένου ότι η κάτοψη των αρχαίων ελληνικών ναών είναι ορθογώνιο παραλληλόγραμμο, θεωρήθηκε ότι ο άξονας των Υ μετά την στροφή θα είναι, σχεδόν – αν ληφθούν υπ' όψιν οι κατασκευαστικές ατέλειες – παράλληλος στην δυτική πλευρά του ναού. Τελικά, υπολογίστηκε η γωνία στροφής του παλαιού συστήματος σε σχέση με το νέο, $\varphi = 84,3330^g$ (Σχήμα 2). Ακολούθησε ο μετασχηματισμός των συντεταγμένων του νέφους των σημείων και των τοποσταθερών, στο νέο σύστημα συντεταγμένων.



Σχήμα 1: Σύστημα συν/ων με τον άξονα των X παράλληλο στην πλευρά Σ1-Σ6

Shape 1: Coordinate system with the X axis, parallel to line Σ1-Σ6



Σχήμα 2: Στραμμένο σύστημα συν/ων κατά $\varphi = 84,3330^g$, με τον άξονα των X παράλληλο στην νότια πλευρά του ναού

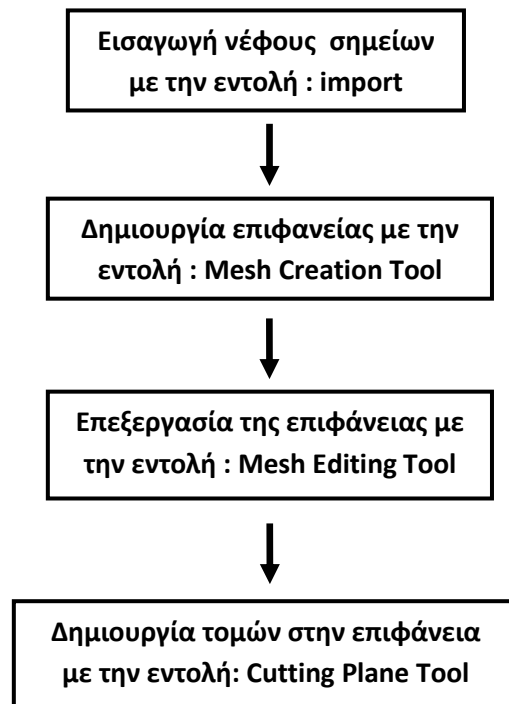
Shape 2: Rotated coordinate system by $\varphi = 84,3330^g$, with the X axis, parallel to south side of the temple

8.2. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Για την επεξεργασία των ψηφιακών δεδομένων (νέφος σημείων), του IS, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Realworks της Trimble. Το λογισμικό αυτό, αξιοποιεί όλες τις πληροφορίες γεωαπεικόνισης που συλλέγονται στο πεδίο (συντεταγμένες τοποσταθερών, νέφους σημείων κ.λ.π.), τις επεξεργάζεται ενιαία και τις αποδίδει ως επιφάνεια σε τρεις διαστάσεις. Επίσης, το Realworks έχει την δυνατότητα δημιουργίας τομών στο σύστημα συντεταγμένων του χρήστη, και την εξαγωγή τους σε περιβάλλον AutoCAD.

Το νέφος των σημείων, μετά τη στροφή του συστήματος συντεταγμένων, εισήχθη στο Realworks, μέσω της εντολής «import» και δημιουργήθηκε η επιφάνεια του κάθε σπόνδου [11] (Εικόνα 29). Η επεξεργασία δεν έγινε στο σύνολο του κίονα, αλλά τμηματικά, ανά σπόνδυλο, για την αποφυγή δημιουργίας μεγάλων και δύσχρηστων αρχείων. Αναλυτικότερα, σε κάθε σπόνδυλο ακολουθείται η ίδια μεθοδολογία, η οποία περιγράφεται με το Διάγραμμα 2.

Το Realworks παρέχει την δυνατότητα δημιουργίας είτε μοναδιαίων τομών, είτε πολλαπλών (με την εισαγωγή βήματος). Επίσης σε αυτή τη φάση, παρέχεται η δυνατότητα ορισμού της θέσης που θα γίνει η τομή [11]. Αυτό επιτυγχάνεται είτε με τον ορισμό του σημείου από το οποίο θα διέρχεται η τομή και θα είναι κάθετη σε όποιο άξονα έχει επιλεγεί (X,Y,H), είτε κατά μήκος μιας διαδρομής που ορίζει ο χρήστης (με την εισαγωγή δυο σημείων από τα οποία θα διέρχεται η τομή).

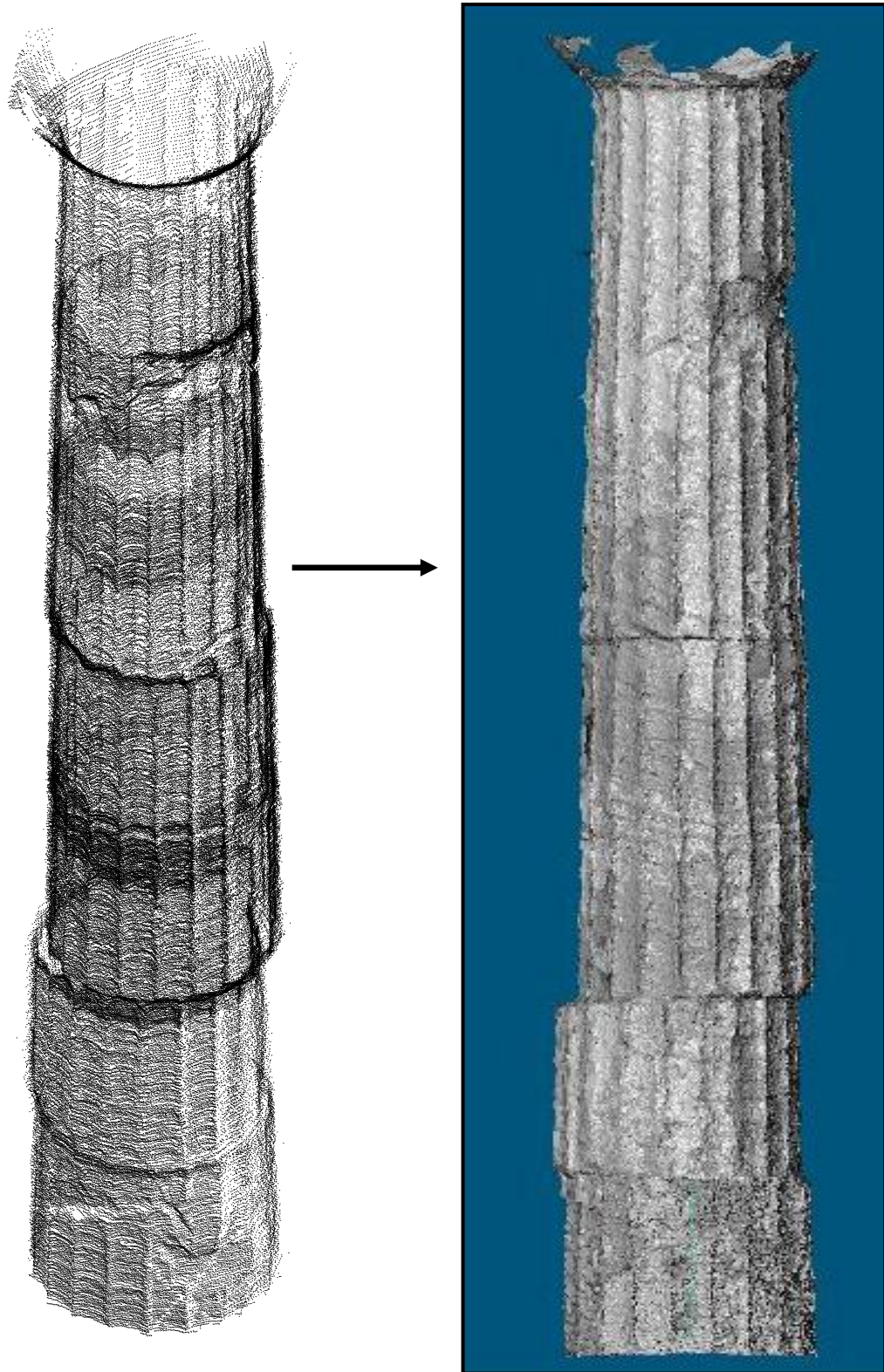


Διάγραμμα 2: Διάγραμμα ροής εντολών που χρησιμοποιήθηκαν στο Realworks

Diagram 2: Command flowchart used in Realworks

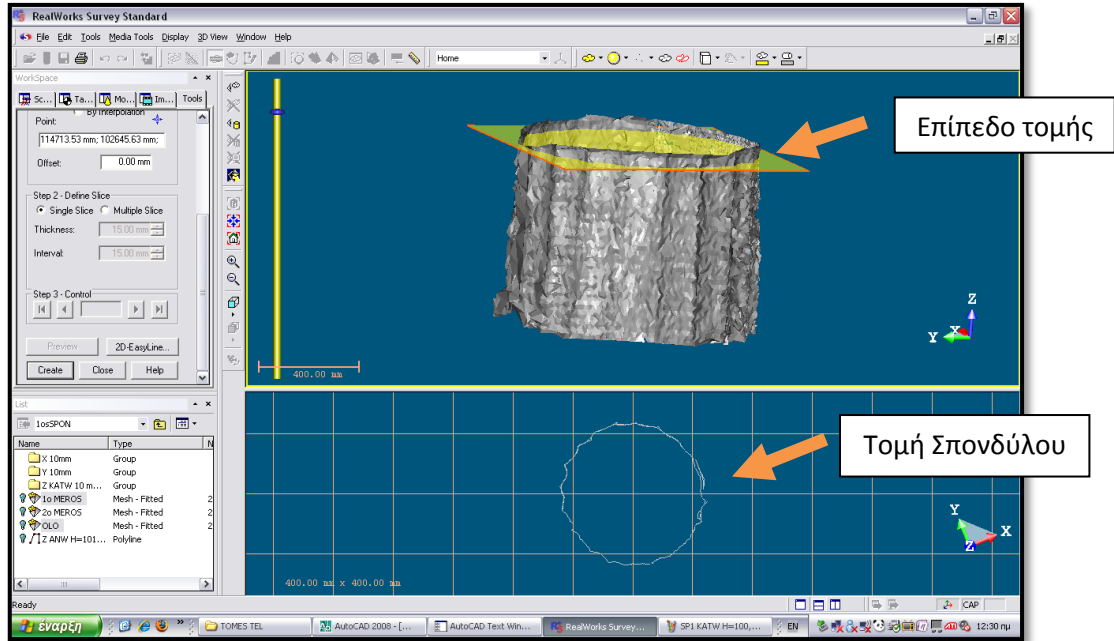
Εν προκειμένω, έγιναν δυο οριζόντιες τομές σε κάθε σπόνδυλο, κοντά στην κάτω και άνω βάση αντίστοιχα (Εικόνες 30 & 31). Ο σκοπός της δημιουργίας αυτών των τομών, ήταν ο προσδιορισμός του κέντρου κάθε μιας, και κατ' επέκταση κάθε σπονδύλου στην αντίστοιχη στάθμη, για να υπολογιστούν οι μετακινήσεις μεταξύ των σπονδύλων και οι κλίσεις τους. Παράλληλα, πάνω σε αυτές τις τομές μπορούν να προσδιορισθούν οι διάμετροι της άνω και κάτω έδρας κάθε σπονδύλου.

Η απόσταση των οριζοντίων τομών που έγιναν για κάθε σπόνδυλο δεν ήταν σταθερή. Προέκυπτε μετά από δοκιμές, ώστε να δημιουργηθεί μια τομή στην στάθμη όπου παρουσιαζόταν το πιο κανονικό σχήμα (Εικόνες 30 & 31). Συνολικά οι τομές που δημιουργήθηκαν ήταν $2 * 7 = 14$ και παρουσιάζονται στην Εικόνα 32, στο σύνολο του κίονα.



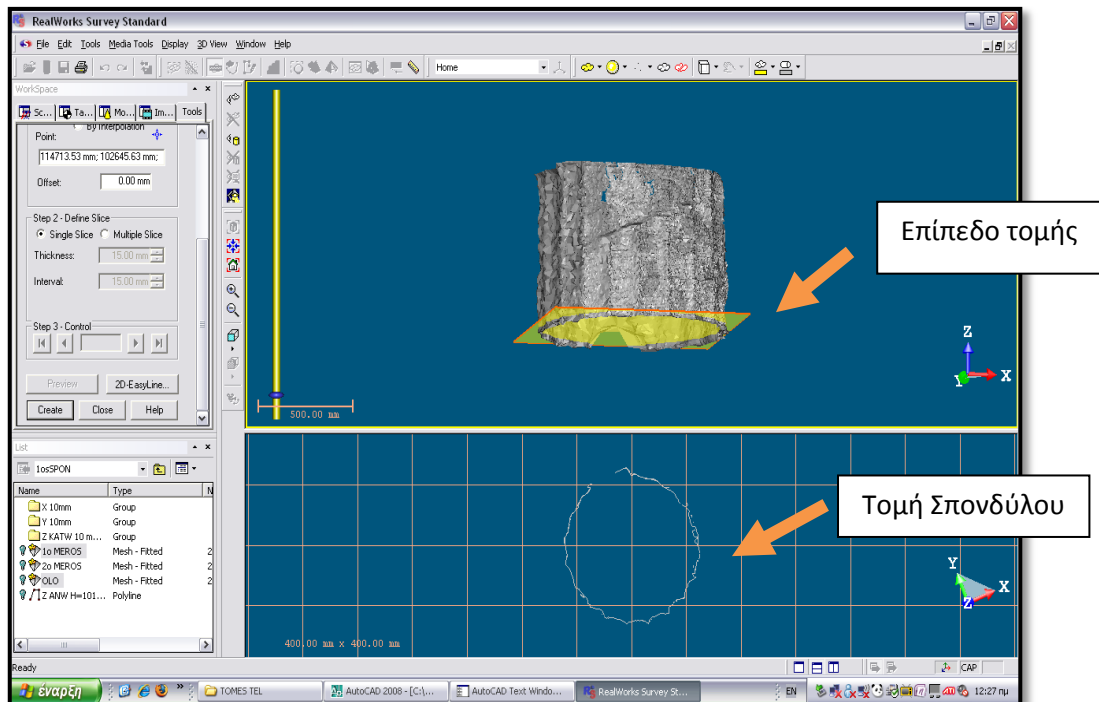
Εικόνα 29: Νέφος σημείων & απόδοση επιφανείας του NK5 (3D) στο περιβάλλον Realworks

Picture 29: Point cloud & surface output of SC5 (3D) at Realworks Software



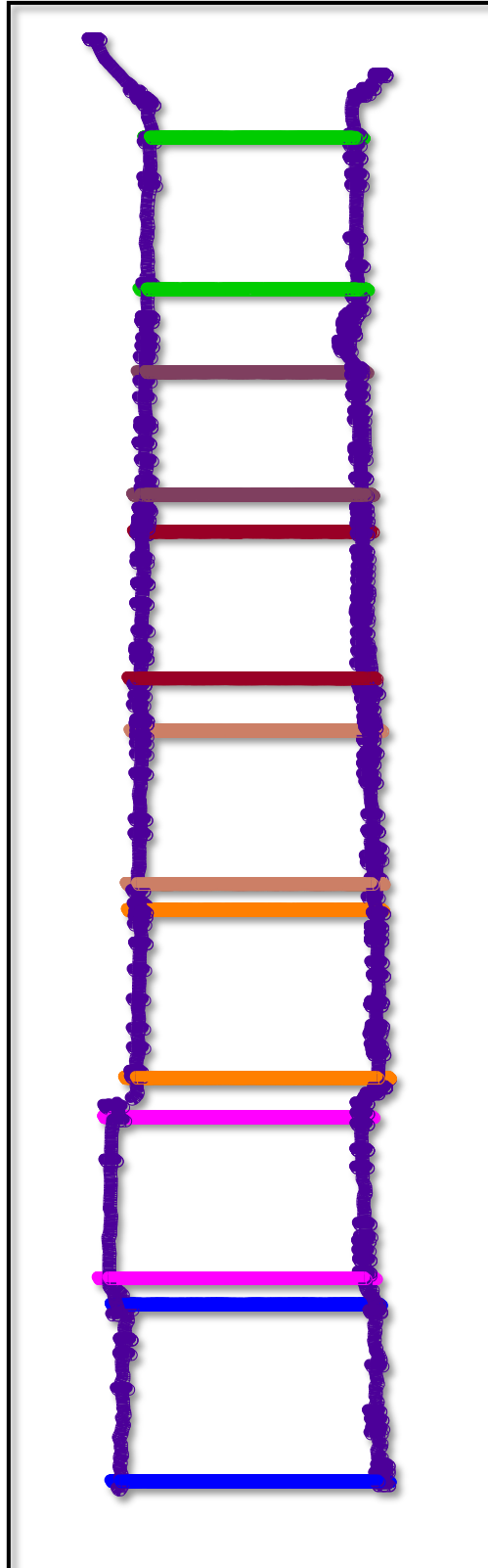
Εικόνα 30: Δημιουργία τομής κοντά στην άνω βάση του 1^{ου} σπόνδουλου

Picture 30: Cross section near the upper base of the 1st drum



Εικόνα 31: Δημιουργία τομής κοντά στην κάτω βάση του 1^{ου} σπόνδουλου

Picture 31: Cross section near the lower base of the 1st drum,



Εικόνα 32: Οριζόντιες Τομές στον ΝΚ5

Picture 32: Horizontal Cross Sections of SC5

8.3. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΣΠΟΝΔΥΛΩΝ

Στον συγκεκριμένο κίονα (NK5), υπάρχουν εμφανείς μετακινήσεις μεταξύ των σπονδύλων. Ο προσδιορισμός τους θα γίνει από τη σύγκριση των συντεταγμένων του κέντρου της άνω έδρας κάθε σπονδύλου με αυτές του κέντρου της κάτω έδρας του υπερκείμενου σπονδύλου. Στην περίπτωση που δεν υπάρχουν μετατοπίσεις είναι προφανές ότι οι συντεταγμένες των δύο αυτών κέντρων θα πρέπει να ταυτίζονται. Σημειώνεται επίσης ότι λόγω της στροφής του συστήματος συντεταγμένων, και για την ιδανική περίπτωση της μηδενικής μετατόπισης τα κέντρα των εδρών όλων των σπονδύλων θα έχουν το ίδιο X ενώ λόγω της κλίσης των κίωνων προς τα έσω, θα έχουν διαφορετικό Y .

Σε αυτή την παράγραφο αναλύεται ο τρόπος με τον οποίο προσδιορίστηκαν τα κέντρα των σπονδύλων κοντά στην πάνω και κάτω έδρα τους αντίστοιχα και παρουσιάζονται οι σχετικές μετακινήσεις που προέκυψαν. Συγκεκριμένα, εφαρμόστηκαν δυο μέθοδοι. Στην πρώτη μέθοδο χρησιμοποιήθηκαν τα τοποσταθερά που μετρήθηκαν στην εξωτερική επιφάνεια του κίονα, ενώ στην δεύτερη μέθοδο τα ψηφιακά δεδομένα της σάρωσης (νέφος σημείων), και συγκεκριμένα οι τομές που, όπως προαναφέρθηκε, προέκυψαν από το λογισμικό Realworks.

8.3.1. Προσδιορισμός των κέντρων με χρήση των τοποσταθερών

Όπως έχει προαναφερθεί, σε κάθε σπόνδυλο προσδιορίστηκαν τοποσταθερά, κοντά στην άνω και κάτω έδρα του. Τα σημεία αυτά χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό των κέντρων και των ακτίνων των (κατ' επέκταση και των διαμέτρων) των δυο εδρών κάθε σπονδύλου. Ο προσδιορισμός αυτός έγινε με προσομοίωση κύκλου στα αντίστοιχα τοποσταθερά.

Η στάθμη του κάθε κύκλου, και κατ' επέκταση του κέντρου του, προέκυψε ως ο μέσος όρος των υψομέτρων των αντίστοιχων τοποσταθερών. Για την

προσομοίωση, χρησιμοποιήθηκε η Μέθοδος Ελαχίστων Τετραγώνων (Μ.Ε.Τ.).

Αναλυτικότερα, οι άγνωστοι σε κάθε περίπτωση ήταν τρεις: οι συντεταγμένες του κέντρου (X_0, Y_0) και η ακτίνα του κύκλου (R) . Το πλήθος των εξισώσεων παρατήρησης ήταν μεταβλητό για κάθε ομάδα, και ίσο με τον αριθμό των σημείων που όριζαν την ομάδα (κυμαίνονταν γενικά από 8 έως 13 σημεία). Επομένως και ο βαθμός ελευθερίας διέφερε κατά περίπτωση. Ως εξίσωση παρατήρησης, χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση του κύκλου:

$$l_i = (X_i - X_0)^2 + (Y_i - Y_0)^2 - R^2 = 0 \quad (7)$$

Στην συνέχεια υπολογίστηκαν οι τιμές l_i^0 με βάση την παραπάνω εξίσωση. Το διάνυσμα $[\Delta l]$ προέκυψε από την διαφορά:

$$[\Delta l] = l_i - l_i^0 = 0 - l_i^0 \rightarrow [\Delta l] = -l_i^0 \quad (8)$$

Τα στοιχεία του πίνακα $[A]$ προέκυψαν από τις μερικές παράγωγους των εξισώσεων παρατήρησης ως προς τους αγνώστους:

$$A = \begin{bmatrix} \frac{\partial l_1}{\partial X_0} & \frac{\partial l_1}{\partial Y_0} & \frac{\partial l_1}{\partial R} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial l_m}{\partial X_0} & \frac{\partial l_m}{\partial Y_0} & \frac{\partial l_m}{\partial R} \end{bmatrix} \quad (9)$$

Όπου

$$\frac{\partial l_i}{\partial X_0} = -2(X_i - X_0), \quad \frac{\partial l_i}{\partial Y_0} = -2(Y_i - Y_0), \quad \frac{\partial l_i}{\partial R} = -2R$$

Όλες οι μετρήσεις θεωρήθηκαν ισοβαρείς. Από τη συνόρθωση, υπολογίστηκαν τα (X_0, Y_0, R) με τις αβεβαιότητες τους. Στον Πίνακα 12 δίνονται οι συντεταγμένες των κέντρων που υπολογίστηκαν με αυτό το τρόπο. Σε επόμενη παράγραφο παρατίθενται και τα αποτελέσματα για τις ακτίνες (Πίνακας 17). Ακολούθως, υπολογίστηκαν οι σχετικές μετακινήσεις των σπονδύλων. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 13.

α/α	ΤΟΜΕΣ	H_o (m)	X_o (m)	σ_{X_o} (mm)	Y_o (m)	σ_{Y_o} (mm)
1ος Σπ.	ΚΑΤΩ	100,796	114,712	±1	102,649	±1
	ΠΑΝΩ	101,408	114,708	±2	102,655	±2
2ος Σπ.	ΚΑΤΩ	101,499	114,678	±2	102,661	±2
	ΠΑΝΩ	102,149	114,678	±3	102,666	±2
3ος Σπ.	ΚΑΤΩ	102,269	114,742	±1	102,654	±1
	ΠΑΝΩ	102,915	114,741	±2	102,659	±2
4ος Σπ.	ΚΑΤΩ	103,054	114,734	±2	102,669	±2
	ΠΑΝΩ	103,590	114,732	±1	102,665	±2
5ος Σπ.	ΚΑΤΩ	103,823	114,724	±3	102,637	±3
	ΠΑΝΩ	104,378	114,722	±4	102,635	±4
6ος Σπ.	ΚΑΤΩ	104,522	114,726	±1	102,636	±1
	ΠΑΝΩ	105,005	114,723	±3	102,637	±2
7ος Σπ.	ΚΑΤΩ	105,323	114,725	±2	102,635	±2
	ΠΑΝΩ	105,807	114,728	±2	102,633	±3

Πίνακας 12: Υψόμετρα & Οριζοντιογραφικές συντεταγμένες των κέντρων των σπονδύλων με τα τυπικά τους σφάλματα, από τοποσταθερά

Table 12: Heights & 2-D coordinates of the drum's centers with their standard deviations, determined from control points

α/α	ΤΟΜΕΣ	Σχετικές Μετακινήσεις (cm)		Διάνυσμα μετακίνησης (cm)	Διεύθυνση μετακίνησης (grad)
		ΔX	ΔY		
1ος Σπ.	ΚΑΤΩ				
	ΠΑΝΩ				
2ος Σπ.	ΚΑΤΩ	-3,0	0,6	3,1	311
	ΠΑΝΩ	6,4	-1,2	6,5	111
3ος Σπ.	ΚΑΤΩ	-0,7	1,0	1,2	361
	ΠΑΝΩ				
4ος Σπ.	ΚΑΤΩ	-0,8	-2,8	3,0	218
	ΠΑΝΩ				
5ος Σπ.	ΚΑΤΩ	0,3	0,0	0,3	90
	ΠΑΝΩ				
6ος Σπ.	ΚΑΤΩ	0,1	-0,3	0,3	170
	ΠΑΝΩ				
7ος Σπ.	ΚΑΤΩ				
	ΠΑΝΩ				

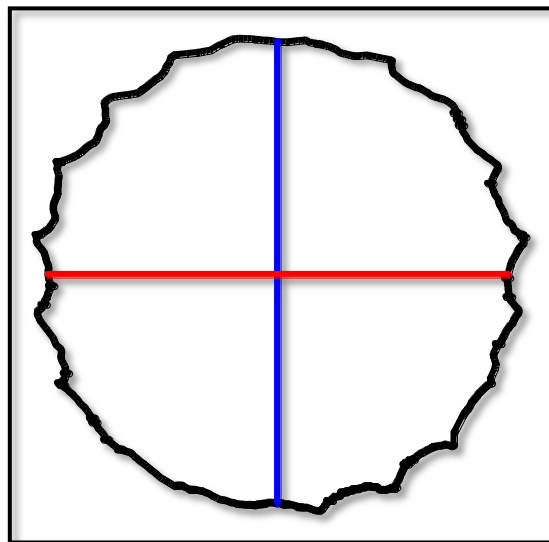
Πίνακας 13: Σχετικές μετατοπίσεις των σπονδύλων από τοποσταθερά

Table 13: Relative displacements of the drums, determined from control points

8.3.2. Προσδιορισμός των κέντρων με χρήση λογισμικού (RW)

Σε αυτή την παράγραφο περιγράφεται ο προσδιορισμός των κέντρων των οριζοντίων τομών, που είχαν προκύψει από τις σαρώσεις και την επεξεργασία τους με το λογισμικό Realworks και η σύγκριση των αποτελεσμάτων με αυτά της παραγράφου 8.3.1. Ο ορισμός του κέντρου κάθε τομής έγινε με το λογισμικό AutoCAD.

Ο τρόπος εργασίας ήταν αντίστοιχος για όλες τις τομές. Αναλυτικότερα, σε κάθε οριζόντια τομή, ορίσθηκαν δυο ευθείες παράλληλες με τους άξονες X και Y του συστήματος συντεταγμένων που διέρχονται από τις αξονικές ραβδώσεις A-Δ και B-N του κάθε σπόνδυλου, η τομή των οποίων θεωρείται ότι είναι το κέντρο της έδρας του σπόνδυλου. Στην Εικόνα 33, φαίνεται ένα παράδειγμα των όσων αναφέρθηκαν. Με κόκκινο χρώμα είναι η αξονική γραμμή κατά X, ενώ με μπλε κατά Y. Στον ακόλουθο πίνακα δίδονται αναλυτικά, οι συντεταγμένες των κέντρων των σπονδύλων, όπως προσδιορίστηκαν με αυτή την μέθοδο.



Εικόνα 33: Προσδιορισμός του κέντρου, στην άνω έδρα του 4^{ου} σπόνδυλου

Picture 33: Determination of the center of the 4th drum's upper base

α/α	ΤΟΜΕΣ	ΚΕΝΤΡΟ (m)		
		X	Y	H
ΣΠ. 1	ΚΑΤΩ	114,712	102,644	100,735
	ΑΝΩ	114,708	102,649	101,409
ΣΠ. 2	ΚΑΤΩ	114,677	102,661	101,509
	ΑΝΩ	114,677	102,666	102,124
ΣΠ. 3	ΚΑΤΩ	114,741	102,655	102,274
	ΑΝΩ	114,741	102,658	102,914
ΣΠ. 4	ΚΑΤΩ	114,734	102,670	103,014
	ΑΝΩ	114,733	102,666	103,598
ΣΠ. 5	ΚΑΤΩ	114,724	102,636	103,798
	ΑΝΩ	114,723	102,634	104,358
ΣΠ. 6	ΚΑΤΩ	114,726	102,636	104,498
	ΑΝΩ	114,724	102,638	104,967
ΣΠ. 7	ΚΑΤΩ	114,725	102,636	105,282
	ΑΝΩ	114,727	102,634	105,861

Πίνακας 14: Συντεταγμένες των κέντρων των σπονδύλων, με χρήση λογισμικού

Table 14: Coordinates of the drum's centers, determined through software

Συγκρίνοντας τις οριζοντιογραφικές συντεταγμένες που προέκυψαν από τις παραγράφους 8.3.1 και 8.3.2, παρατηρούνται διαφορές μικρότερες του 1mm στα X. Στα Y, οι διαφορές είναι επίσης της τάξης του 1^{ου} σπονδύλου, όπου η διαφορά φτάνει τα 6mm. Τελικά διαπιστώνεται ότι, οι διαφορές είναι μικρές ακόμη και στην περίπτωση των 6mm.

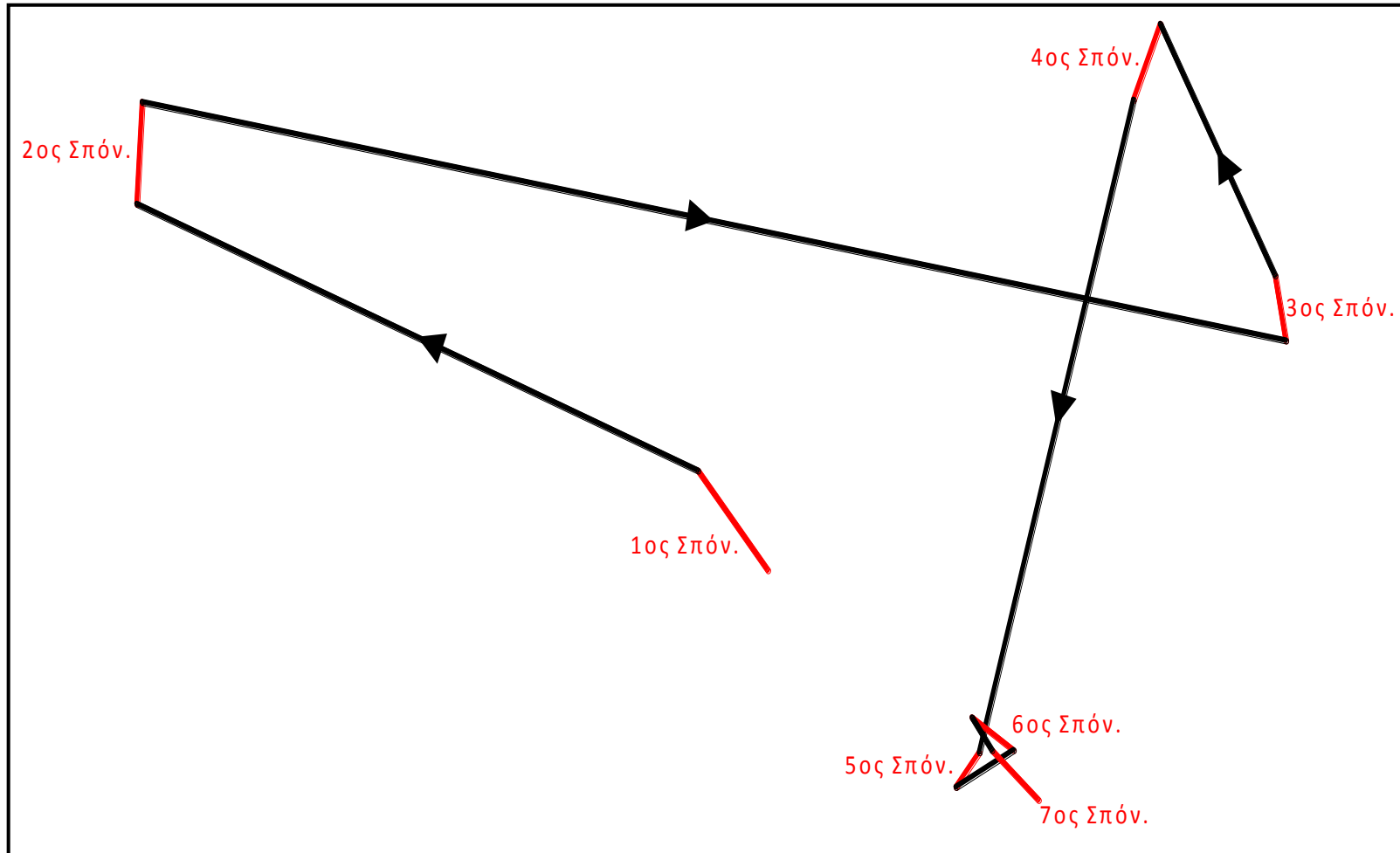
Στην συνέχεια υπολογίζονται, με τον ίδιο τρόπο που εφαρμόστηκε στην προηγούμενη παράγραφο 8.3.1, οι σχετικές μετακινήσεις των σπονδύλων.

α/α	ΤΟΜΕΣ	Σχετικές Μετακινήσεις (cm)		Διάνυσμα μετακίνησης (cm)	Διεύθυνση μετακίνησης (grad)
		ΔΧ	ΔΥ		
1ος Σπ.	ΚΑΤΩ				
	ΠΑΝΩ	-3,1	1,2	3,4	324
2ος Σπ.	ΚΑΤΩ	6,4	-1,1	6,5	111
	ΠΑΝΩ				
3ος Σπ.	ΚΑΤΩ	-0,6	1,2	1,3	368
	ΠΑΝΩ				
4ος Σπ.	ΚΑΤΩ	-0,9	-3,0	3,1	218
	ΠΑΝΩ				
5ος Σπ.	ΚΑΤΩ	0,3	0,2	0,4	69
	ΠΑΝΩ				
6ος Σπ.	ΚΑΤΩ	0,1	-0,2	0,2	160
	ΠΑΝΩ				
7ος Σπ.	ΚΑΤΩ				
	ΠΑΝΩ				

Πίνακας 15: Σχετικές μετακινήσεις των σπονδύλων, με χρήση λογισμικού
Table 15: Relative displacements of the drums, determined through software

Εξετάζοντας τις σχετικές μετακινήσεις των σπονδύλων στον Πίνακα 15, παρατηρείται ότι οι διευθύνσεις τους είναι της ίδιας φοράς με τις αντίστοιχες του Πίνακα 13. Ωστόσο, οι υπάρχουσες διαφορές στο μέτρο τους, είναι πιθανόν να οφείλονται στα διαφορετικά προσδιοριζόμενα κέντρα. Οι διαφορές αυτές δεν υπερβαίνουν τα 2mm, εκτός από την περίπτωση του 2^{ου} σπονδύλου κατά Χ, όπου η διαφορά φτάνει τα 7mm.

Στο Σχήμα 3 φαίνονται τα διανύσματα μετατόπισης των σπονδύλων στο επίπεδο (Χ,Υ) με μαύρο χρώμα, ενώ με κόκκινο εμφανίζονται οι γραμμές που ενώνουν τις προβολές των κέντρων του κάθε σπονδύλου.



Σχήμα 3: Διάγραμμα μετατόπισης των κέντρων των σπονδύλων στο επίπεδο (X,Y)

Shape 3: Displacement vector at the centers of the drums (X,Y)

8.3.3. Μετακινήσεις μετρημένες με άμεσες μετρήσεις

Για τον έλεγχο των αποτελεσμάτων των μετακινήσεων που υπολογίσθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους 8.3.1. και 8.3.2., έγιναν άμεσες μετρήσεις των μετακινήσεων των τριών πρώτων σπονδύλων στις τέσσερις αξονικές ραβδώσεις.

Έτσι, όπως μετρήθηκαν οι μετατοπίσεις του 2^{ου} σπονδύλου σε σχέση με τον 1^ο, είναι:

Στο δυτικό αξονικό σημείο, 2,0cm προς δύση.

Στο ανατολικό αξονικό σημείο, 2,5cm προς δύση.

Στο νότιο αξονικό σημείο, 0,7cm προς βορρά.

Στο βόρειο αξονικό σημείο, 1,0cm προς βορρά.

Ανάλογα, οι μετατοπίσεις του 3^{ου} σπονδύλου σε σχέση με τον 2^ο, είναι:

Στο δυτικό αξονικό σημείο, 6,4cm προς ανατολή.

Στο ανατολικό αξονικό σημείο, 5,5cm προς ανατολή.

Στο νότιο αξονικό σημείο, 1,8cm προς νότο.

Στο βόρειο αξονικό σημείο, 2,0cm προς νότο.

Για την σύγκριση των μετακινήσεων αυτών με τις αντίστοιχες που προσδιορίστηκαν στις παραγράφους 8.3.1. και 8.3.2., είναι απαραίτητη η αναγωγή τους στο κέντρο του κίονα. Για το λόγο αυτό υπολογίζονται ο μέσοι όροι των μετακινήσεων από τις άμεσες μετρήσεις, κατά τις διευθύνσεις, Ανατολή – Δύση (ΔΧ) και Βορρά – Νότο (ΔΥ) (Πίνακας 16).

Οι διαφορές που παρατηρούνται ανάμεσα στον Πίνακα 16 και στους Πίνακες 13 και 15, οφείλονται στις φθορές των ακμών των εδρών των σπονδύλων και στην διαφορετική μέθοδο που εφαρμόστηκε σε κάθε περίπτωση.

α/α	ΤΟΜΕΣ	Σχετικές Μετακινήσεις (cm)		Διάνυσμα μετακίνησης (cm)	Διεύθυνση μετακίνησης (grad)
		ΔX	ΔY		
1ος Σπ.	ΚΑΤΩ				
	ΠΑΝΩ	-2,3	0,9	2,4	323
2ος Σπ.	ΚΑΤΩ	6,0	-1,9	6,2	120
	ΠΑΝΩ				
3ος Σπ.	ΚΑΤΩ				
	ΠΑΝΩ				

Πίνακας 16: Σχετικές μετακινήσεις των 3 πρώτων σπονδύλων, με άμεσες μετρήσεις

Table 16: Relative displacements of the 3 first drums, determined through tape measurements

8.4. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Όπως προαναφέρθηκε, το κέντρο κάθε σπόνδουλου, στην πάνω και στην κάτω έδρα του, αναμένεται να είναι διαφορετικό κατά Y, στο συγκεκριμένο σύστημα συντεταγμένων, λόγω της κλίσης του άξονα του κίονα προς το σηκό. Η κλίση κάθε σπονδύλου, υπολογίστηκε από την σχέση:

$$i = \frac{\sqrt{\Delta X_{\Pi-K}^2 + \Delta Y_{\Pi-K}^2}}{\Delta H_{\Pi-K}} \quad (10)$$

Όπου $\Delta X_{\Pi-K}, \Delta Y_{\Pi-K}, \Delta H_{\Pi-K}$ = η διαφορά αντίστοιχα των τιμών X,Y,H των κέντρων στην άνω & κάτω βάση του εκάστοτε σπονδύλου.

Στον Ναό του Ηφαίστου, οι κλίσεις και οι διάμετροι των 1^{ωv} σπονδύλων όλων των κίωνων της περίπτωσης, έχουν ήδη προσδιορισθεί από τις μετρήσεις των άνισων υψών των πρώτων σπονδύλων των κίωνων [1]. Για τον συγκεκριμένο κίονα η κλίση του άξονά του ως προς το στυλοβάτη έχει προσδιορισθεί ίση με 12%, ενώ η διάμετρος της βάσης του 1^{ου} σπονδύλου του, σύμφωνα με τις παραπάνω μετρήσεις, είναι $D_1 = 0,954m$.

8.4.1. Προσδιορισμός διαμέτρων και κλίσεων από τα τοποσταθερά

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, μαζί με τον προσδιορισμό των συνταγμένων των κέντρων των σπονδύλων από τα τοποσταθερά, εφαρμόζοντας την Μέθοδο των Ελαχίστων Τετραγώνων, υπολογίστηκαν και οι ακτίνες των σπονδύλων με τα τυπικά τους σφάλματα, σε κάθε στάθμη. Από τις ακτίνες υπολογίστηκαν εν συνεχεία και οι διάμετροι τους και τα τυπικά τους σφάλματα. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα μαζί με τις κλίσεις που υπολογίστηκαν.

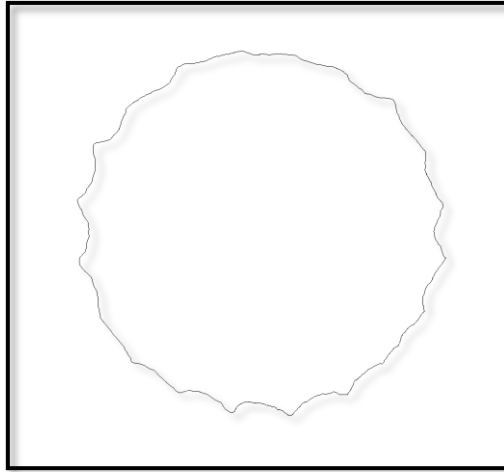
α/α	ΤΟΜΕΣ	R (m)	σ_R (mm)	D (m)	σ_D (mm)	ΚΛΙΣΕΙΣ ‰
1ος Σπ.	ΚΑΤΩ	0,469	±1	0,938	±2	11,0
	ΠΑΝΩ	0,454	±1	0,908	±2	
2ος Σπ.	ΚΑΤΩ	0,452	±2	0,904	±3	8,2
	ΠΑΝΩ	0,440	±2	0,880	±4	
3ος Σπ.	ΚΑΤΩ	0,443	±1	0,886	±2	6,6
	ΠΑΝΩ	0,430	±1	0,860	±2	
4ος Σπ.	ΚΑΤΩ	0,425	±2	0,850	±3	6,5
	ΠΑΝΩ	0,416	±1	0,832	±2	
5ος Σπ.	ΚΑΤΩ	0,408	±2	0,815	±4	5,0
	ΠΑΝΩ	0,400	±3	0,800	±5	
6ος Σπ.	ΚΑΤΩ	0,395	±1	0,789	±2	5,8
	ΠΑΝΩ	0,386	±2	0,772	±3	
7ος Σπ.	ΚΑΤΩ	0,379	±1	0,757	±2	8,6
	ΠΑΝΩ	0,371	±2	0,742	±4	

Πίνακας 17: Ακτίνες & Διάμετροι σπονδύλων με τα τυπικά τους σφάλματα, Κλίσεις (τοποσταθερά)

Table 17: Drums' Radius & Diameters with their standard deviations, drums' inclinations (estimation from control points)

8.4.2. Προσδιορισμός διαμέτρων και κλίσεων με χρήση λογισμικού

Λόγω των χαρακτηριστικών ραβδώσεων, που φέρουν οι κίονες, μια οριζόντια τομή σε ένα τέτοιο στοιχείο, παρουσιάζει ένα ιδιαίτερο σχήμα (Εικόνα 34).



Εικόνα 34: Παράδειγμα οριζόντιας τομής σε κίονα δωρικού ρυθμού

Picture 34: Horizontal section of a Doric order column

Για την προσέγγιση του σχήματος μιας τέτοιας τομής, μπορούν να προσαρμοσθούν δυο κύκλοι, ο περιγεγραμμένος στον σπόνδυλο και ο εγγεγραμμένος. Στην παρούσα εργασία θεωρήθηκε καλύτερο να χρησιμοποιηθεί ο 2^{ος} κύκλος. Η χρήση του περιγεγραμμένου κύκλου απορρίφθηκε, διότι οι ακμές των ραβδώσεων, που θα όριζαν τον κύκλο, έχουν στην πλειοψηφία τους υποστεί φθορές σε μεγάλο βαθμό. Κάποιες από τις σοβαρότερες από αυτές τις φθορές παρουσιάζονται στις ακόλουθες Εικόνες 35 και 36.



Εικόνα 35: Φθορές στον 1^ο σπόνδυλο του ΝΚ5

Picture 35: Damages at the 1st drum of SC5



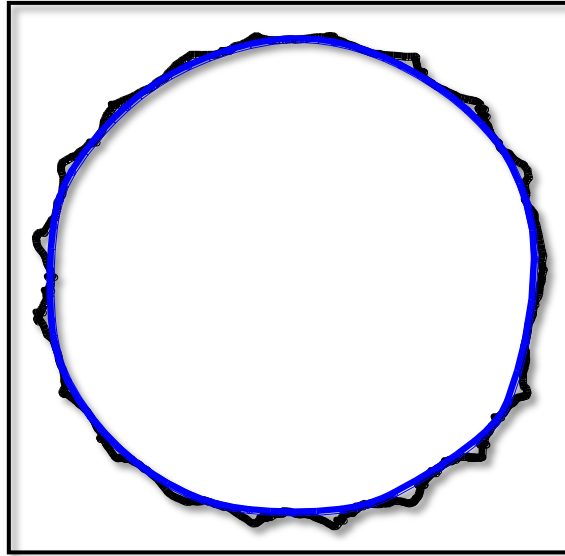
Εικόνα 36: Φθορές στον 6^ο σπόνδυλο του ΝΚ5

Picture 36: Damages at the 6th drum of SC5

Ωστόσο, δεν κατέστη δυνατόν ούτε και να εγγραφεί κανονικός κύκλος, που να εφάπτεται σε όλες τις αύλακες του σπονδύλου. Έτσι, οι τομές προσεγγίστηκαν με μια κλειστή γραμμή που αποτελείται από διαδοχικά κυκλικά τόξα. Η γραμμή αυτή κατασκευάστηκε για κάθε μια από τις οριζόντιες τομές, ούτως ώστε να εφάπτεται στο μέσο της κάθε αύλακας της εκάστοτε τομής (Εικόνα 37). Σε αυτό το σχήμα μετρήθηκαν περίμετρος (Π) και εμβαδόν (E). Με αυτά τα δυο στοιχεία, εκτιμήθηκαν η μέση ακτίνα και διάμετρος για κάθε τομή, από τις ακόλουθες γνωστές γεωμετρικές σχέσεις.

$$\Pi = 2\pi R \quad (11) , \quad E = \pi R^2 \quad (12)$$

Η ακτίνα υπολογίστηκε με βάση και τις δυο παραπάνω σχέσεις. Ο μέσος όρος των δυο τιμών, θεωρήθηκε ότι είναι η ζητούμενη ακτίνα. Στην συνέχεια υπολογίστηκε η διάμετρος. Τα αποτελέσματα, μαζί με τις κλίσεις που υπολογίστηκαν, φαίνονται στον Πίνακα 18.



Εικόνα 37: Προσαρμογή κλειστής γραμμής σε οριζόντια τομή σπονδύλου

Picture 37: Fitting of a closed line in the horizontal section of a drum

α/α	ΤΟΜΕΣ	E (m^2)	R_1 (m)	Π (m)	R_2 (m)	$R=(R_1+R_2)/2$ (m)	D (m)	ΚΛΙΣΕΙΣ ‰
ΣΠ. 1	ΚΑΤΩ	0,719	0,478	3,011	0,479	0,479	0,957	8,9
	ΑΝΩ	0,665	0,460	2,901	0,462	0,461	0,922	
ΣΠ. 2	ΚΑΤΩ	0,665	0,460	2,894	0,461	0,460	0,921	7,7
	ΑΝΩ	0,631	0,448	2,819	0,449	0,448	0,897	
ΣΠ. 3	ΚΑΤΩ	0,616	0,443	2,783	0,443	0,443	0,886	4,8
	ΑΝΩ	0,578	0,429	2,699	0,430	0,429	0,858	
ΣΠ. 4	ΚΑΤΩ	0,573	0,427	2,685	0,427	0,427	0,854	6,5
	ΑΝΩ	0,536	0,413	2,599	0,414	0,413	0,827	
ΣΠ. 5	ΚΑΤΩ	0,524	0,408	2,571	0,409	0,409	0,818	3,7
	ΑΝΩ	0,494	0,396	2,493	0,397	0,397	0,793	
ΣΠ. 6	ΚΑΤΩ	0,486	0,393	2,478	0,394	0,394	0,788	5,9
	ΑΝΩ	0,455	0,380	2,404	0,383	0,381	0,763	
ΣΠ. 7	ΚΑΤΩ	0,447	0,377	2,378	0,378	0,378	0,755	6,0
	ΑΝΩ	0,424	0,367	2,309	0,368	0,367	0,735	

Πίνακας 18: Προσδιορισμός ακτίνας και διαμέτρου στις τομές του NK5, με χρήση λογισμικού

Table 18: Definition of radius and diameter on the cuttings of the SC5, through software

Συγκρίνοντας τις διαμέτρους που παρατίθενται στον Πίνακα 17 με αυτές που προέκυψαν από την επεξεργασία των τομών στον Πίνακα 18, παρατηρούνται πολύ μικρές διαφορές, που βρίσκονται μέσα στο θόρυβο των μετρήσεων. Και στις δυο μεθόδους, παρατηρείται η βαθμιαία μείωση της διαμέτρου από κάτω προς τα πάνω, γεγονός που είναι σύμφωνο με τη μείωση του κίονα. Οι διαφορές από την διάμετρο που έχει υπολογιστεί από τα άνισα ύψη ($D_{1,κατω} = 0,954m$) [1], είναι $16mm$ στην πρώτη περίπτωση (Πιν.17 - $D_{1,κατω} = 0,938m$), ενώ στην δεύτερη μόλις $3mm$ (Πιν.18 - $D_{1,κατω} = 0,957m$).

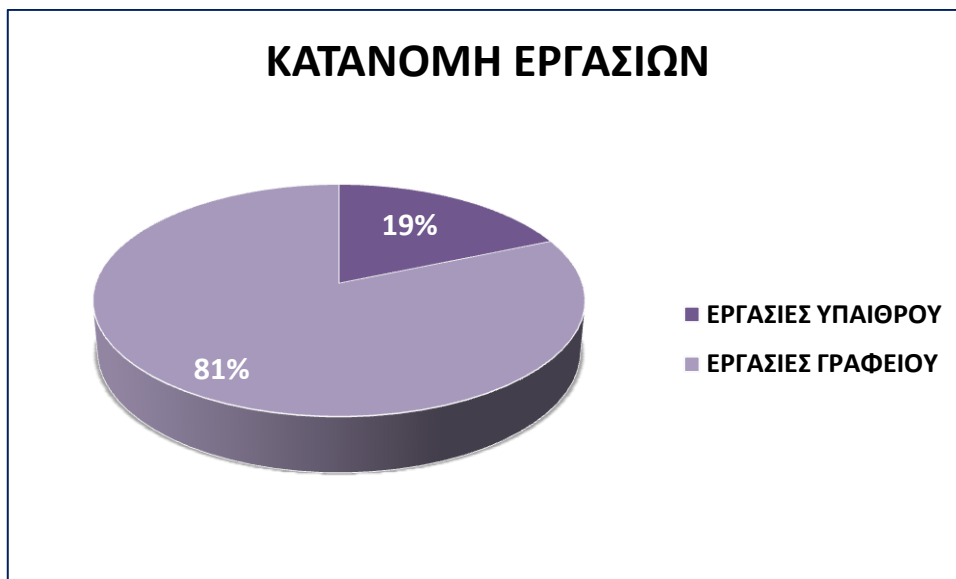
Εξετάζοντας τις κλίσεις στους Πίνακες 17 και 18, διαπιστώνονται και στις δυο περιπτώσεις, διαφορές σε σχέση με την κλίση 12% που έχει υπολογισθεί από τα άνισα ύψη. Συγκεκριμένα, στον Πίν.17, η διαφορά που παρατηρείται είναι $\Delta i = 1\%$ ($i_1 = 11\%$), ενώ στον Πίν.18 $\Delta i = 3,1\%$ ($i_1 = 8,9$). Λαμβάνοντας υπόψη ότι οι τιμές αυτές προσδιορίστηκαν στην μια περίπτωση με άμεσες μετρήσεις, ενώ στην άλλη με την γεωδαιτική μεθοδολογία, οι αποχές είναι αναμενόμενες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9
ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

9.1. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται ο χρονικός καταμερισμός των εργασιών που έγιναν για τις ανάγκες εκπλήρωσης της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας.

Οι εργασίες αυτές όπως εκτελέστηκαν, διαχωρίζονται αρχικά σε εργασίες υπαίθρου και έπειτα σε εργασίες γραφείου, ακολουθώντας την σειρά που επιτάσσει η γεωδαιτική μεθοδολογία. Συγκεκριμένα, οι εργασίες πεδίου διήρκησαν 35 μέρες, καταλαμβάνοντας το 19% των συνολικών εργασιών, ενώ οι εργασίες γραφείου διήρκησαν 153 μέρες, με αντίστοιχο ποσοστό 81% (Διάγραμμα 3).



Διάγραμμα 3: Κατανομή εργασιών της διπλωματικής εργασίας

Diagram 3: Work distribution during the dissertation

Αναλυτικότερα, οι εργασίες πεδίου περιλαμβάνουν (Διάγραμμα 4):

- την εξοικείωση με το όργανο και την διεξαγωγή των πειραματικών μετρήσεων, που διήρκησαν 15 μέρες
- τις μετρήσεις που έγιναν για τον έλεγχο ύπαρξης κυκλικού σφάλματος, διάρκειας μιας ημέρας
- την αναγνώριση της περιοχής μελέτης, διάρκειας 4 ημερών
- την ίδρυση του δικτύου οριζοντίου ελέγχου, διάρκειας 2 ημερών
- τις μετρήσεις του δικτύου, διάρκειας 7 ημερών
- την ίδρυση προσωρινών στάσεων που προσδιορίστηκαν με εμπροσθοτομία, που έγινε μέσα σε μια μέρα και τέλος
- την διεξαγωγή των σαρώσεων του κίονα, που διήρκησαν 5 ημέρες.

Οι εργασίες υπαίθρου εκτελέστηκαν κατά την περίοδο Ιούλιος - Δεκέμβριος 2011. Ο μέσος όρος εργασιών ανά ημέρα, όντας άμεσα συνδεδεμένος με τις ώρες που ήταν ανοιχτός ο χώρος της Αρχαίας Αγοράς για το κοινό, ήταν 5 ώρες.



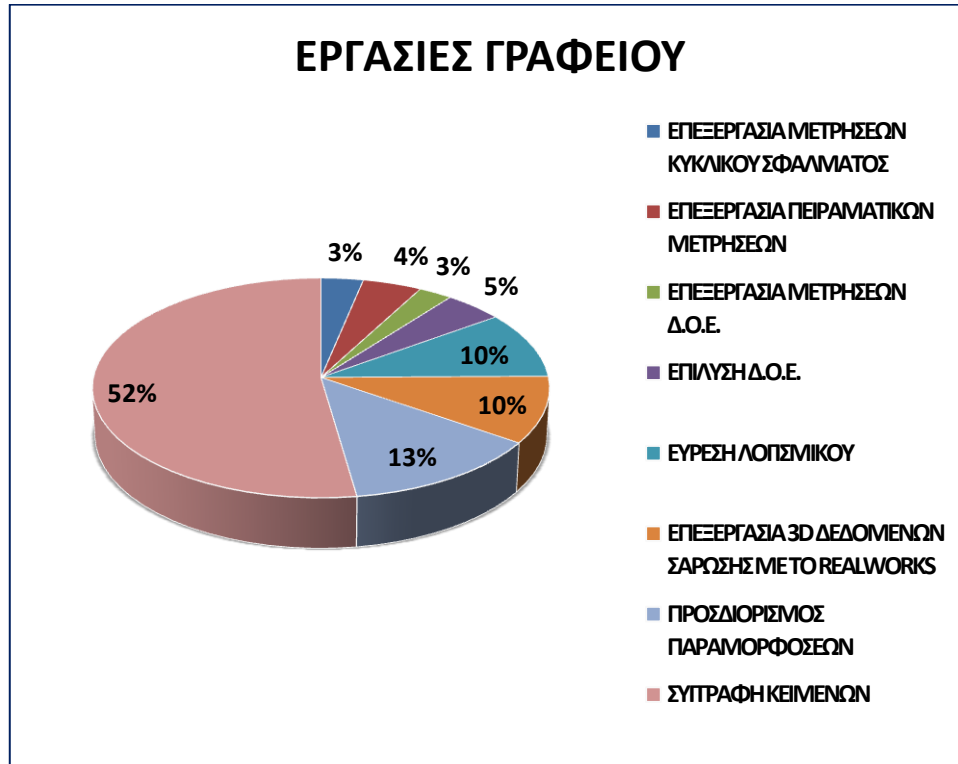
Διάγραμμα 4: Κατανομή των εργασιών υπαίθρου

Diagram 4: Field work distribution

Στην συνέχεια, οι εργασίες γραφείου περιλαμβάνουν (Διάγραμμα 5):

- την επεξεργασία των μετρήσεων για τον έλεγχο ύπαρξης κυκλικού σφάλματος, διάρκειας 5 ημερών
- την επεξεργασία των πειραματικών μετρήσεων, διάρκειας 7 ημερών
- την επεξεργασία των μετρήσεων του δικτύου οριζοντίου ελέγχου, διάρκειας 4 ημερών
- την επίλυση του δικτύου, διάρκειας 7 ημερών
- την εύρεση του καταλληλότερου λογισμικού για την επεξεργασία των 3D δεδομένων σάρωσης, διάρκεια 15 ημερών
- την επεξεργασία των 3D δεδομένων σάρωσης με το λογισμικό Realworks, διάρκειας 15 ημερών
- τον προσδιορισμό των παραμορφώσεων του κίονα, διάρκειας 30 ημερών, και τέλος
- την συγγραφή των κειμένων διάρκειας 80 ημερών.

Ο μέσος όρος εργασιών γραφείου ανά ημέρα ήταν 5 ώρες.



Διάγραμμα 5: Κατανομή των εργασιών γραφείου

Diagram 5: Office work distribution

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

10.1. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία εστίασε στην αντιμετώπιση ενός θέματος παραμορφώσεων περιορισμένου πεδίου σε ένα μνημείο, με την χρήση σύγχρονων γεωδαιτικών οργάνων. Από την εργασία αυτή εξάγονται συμπεράσματα, που σχολιάζονται αναλυτικά παρακάτω, σχετικά με τη χρήση της γεωδαιτικής μεθοδολογίας σε τέτοια προβλήματα.

Όσον αφορά τις *μετατοπίσεις* των σπονδύλων του κίονα και τα *γεωμετρικά στοιχεία* που προσδιορίστηκαν, συγκριτικά και για τις δυο μεθόδους που εφαρμόστηκαν, διαπιστώθηκαν τα εξής:

- Ο **προσδιορισμός των κέντρων** των σπονδύλων:
 - ✓ Στις τομές που προέκυψαν από το *Realworks* ήταν δύσκολος και χρονοβόρος, λόγω της σύνθετης διατομής του κίονα και της δυσκολίας προσέγγισης της με τον κύκλο.
 - ✓ Ο προσδιορισμός των κέντρων αντίστοιχα, εφαρμόζοντας την Μέθοδο των Ελαχίστων Τετραγώνων στα *τοποσταθερά* που είχαν μετρηθεί περιμετρικά του κίονα, ήταν ταχύτερος.

Οι οριζοντιογραφικές συν/νες των κέντρων που προέκυψαν και με τις δυο μεθόδους διαφέρουν ελάχιστα, κατά Χ έως 1mm, κατά Υ έως 6mm. Οι διαφορές αυτές αιτιολογούνται από τις διαφορετικές μετρήσεις με τις οποίες προέκυψαν τα αποτελέσματα.

- Σχετικά με τον **προσδιορισμό των διαμέτρων** των σπονδύλων:
 - ✓ Από τα *δεδομένα της σάρωσης*, η απόκλιση της διαμέτρου του πρώτου σπονδύλου από την ίδια διάμετρο που έχει μετρηθεί σε παλαιότερη μελέτη [1], με άλλες μεθόδους, είναι 3mm. Το ίδιο διαπιστώνεται και από τις πειραματικές μετρήσεις που έγιναν πριν την έναρξη των σαρώσεων του κίονα. Οι αποκλίσεις αυτές, βρίσκονται μέσα στο θόρυβο των μετρήσεων.
 - ✓ Από τα *τοποσταθερά* και την επεξεργασία τους με την M.E.T., η απόκλιση που παρουσιάζεται στην διάμετρο του 1^{ου} σπονδύλου από αυτή της παλαιότερης μελέτης [1], είναι 16mm. Η απόκλιση αυτή

πιθανόν να οφείλεται στο γεγονός ότι τα τοποσταθερά που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό της διαμέτρου, δεν βρίσκονταν στην ίδια ακριβώς στάθμη, αλλά είχαν διαφορές της τάξης των 20cm.

- Σχετικά με τον προσδιορισμό των κλίσεων των σπονδύλων, διαπιστώνεται η συμφωνία των αποτελεσμάτων, τουλάχιστον όσον αφορά τον 1^ο σπόνδυλο, με αυτά που προκύπτουν από τις μετρήσεις των άνισων υψών [1]:
 - ✓ Από τα δεδομένα της σάρωσης, η απόκλιση που παρατηρείται είναι της τάξης του 3,1‰
 - ✓ Από τα τοποσταθερά, η αντίστοιχη απόκλιση είναι της τάξης του 1,0‰
 Οι αποκλίσεις αυτές, αιτιολογούνται από τις διαφορετικές μεθόδους που εφαρμόστηκαν για τον προσδιορισμό της κλίσης και στις τρεις περιπτώσεις.
- Σχετικά με τον προσδιορισμό των σχετικών μετατοπίσεων των σπονδύλων, προέκυψαν τα εξής στοιχεία:
 - ✓ Από τα δεδομένα της σάρωσης:
 - Ο 2^{ος} σπόνδυλος έχει μετακινηθεί κατά 3,1cm δυτικά και 1,2cm βόρεια, σε σχέση με τον 1^ο σπόνδυλο.
 - Ο 3^{ος} σπόνδυλος έχει μετακινηθεί κατά 6,4cm ανατολικά και 1,1cm νότια, σε σχέση με τον 2^ο σπόνδυλο.
 - Ο 4^{ος} σπόνδυλος έχει μετακινηθεί κατά 0,6cm δυτικά και 1,2cm βόρεια, σε σχέση με τον 3^ο σπόνδυλο.
 - Ο 5^{ος} σπόνδυλος έχει μετακινηθεί κατά 0,9cm δυτικά και 3,0m νότια, σε σχέση με τον 4^ο σπόνδυλο.
 - Ο 6^{ος} σπόνδυλος έχει μετακινηθεί κατά 0,3cm ανατολικά και 0,2cm βόρεια, σε σχέση με τον 5^ο σπόνδυλο.
 - Ο 7^{ος} σπόνδυλος έχει μετακινηθεί κατά 0,1cm ανατολικά και 0,2cm νότια, σε σχέση με τον 6^ο σπόνδυλο.

- ✓ Από τα τοποσταθερά:
 - Ο 2^{ος} σπόνδυλος έχει μετακινηθεί κατά 3,0cm δυτικά και 0,6cm βόρεια, σε σχέση με τον 1^ο σπόνδυλο.
 - Ο 3^{ος} σπόνδυλος έχει μετακινηθεί κατά 6,4cm ανατολικά και 1,2cm νότια, σε σχέση με τον 2^ο σπόνδυλο.
 - Ο 4^{ος} σπόνδυλος έχει μετακινηθεί κατά 0,7cm δυτικά και 1,0cm βόρεια, σε σχέση με τον 3^ο σπόνδυλο.
 - Ο 5^{ος} σπόνδυλος έχει μετακινηθεί κατά 0,8cm δυτικά και 2,8cm νότια, σε σχέση με τον 4^ο σπόνδυλο.
 - Ο 6^{ος} σπόνδυλος έχει μετακινηθεί κατά 0,3cm ανατολικά και 0,0cm βόρεια, σε σχέση με τον 5^ο σπόνδυλο.
 - Ο 7^{ος} σπόνδυλος έχει μετακινηθεί κατά 0,1cm ανατολικά και 0,3cm νότια, σε σχέση με τον 6^ο σπόνδυλο.

- ✓ Από τις άμεσες μετρήσεις για τους τρεις πρώτους σπονδύλους:
 - Ο 2^{ος} σπόνδυλος έχει μετακινηθεί κατά 2,3cm δυτικά και 0,9cm βόρεια, σε σχέση με τον 1^ο σπόνδυλο.
 - Ο 3^{ος} σπόνδυλος έχει μετακινηθεί κατά 6,0cm ανατολικά και 1,9cm νότια, σε σχέση με τον 2^ο σπόνδυλο

Διαπιστώνεται, ότι οι διευθύνσεις των μετακινήσεων συμφωνούν και στις τρεις μεθόδους. Παρατηρείται επίσης ότι οι μετακινήσεις που προσδιορίστηκαν από τις άμεσες μετρήσεις στα τέσσερα αξονικά σημεία του κίονα, στις διεπιφάνειες των τριών πρώτων σπονδύλων, μετά την αναγωγή τους στο κέντρο τους, πλησιάζουν τις τιμές που εκτιμήθηκαν με τις δύο προηγούμενες μεθόδους που εφαρμόστηκαν.

- Τα στοιχεία που προσδιορίστηκαν (μετακινήσεις, κλίσεις και διάμετροι) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μελλοντικές εργασίες αναστύλωσης του μνημείου.
- Σχετικά με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των δυο μεθόδων, που εφαρμόστηκαν:

✓ *Ψηφιακά δεδομένα:*

Για την διεξαγωγή των σαρώσεων απαιτήθηκε ελάχιστη προεπεξεργασία και η προσπελασιμότητα στο στοιχείο που μετρήθηκε δεν ήταν αναγκαία.

Οι μετρήσεις χαρακτηρίζονται από μεγάλη ταχύτητα, ενώ δίνουν μεγάλο όγκο πληροφορίας (νέφος σημείων).

Το βήμα της πυκνότητας σάρωσης, ήταν άμεσα συνδεδεμένο με τον χρόνο που απαιτούνταν για τη διεξαγωγή της. Μείωση του βήματος πέραν του 1cm, επέφερε μεγάλη αύξηση του χρόνου μέτρησης χωρίς ιδιαίτερη διαφορά στα αποτελέσματα.

Απαιτήθηκε ειδικό λογισμικό για να αναπαραχθεί η επιφάνεια του κίονα πάνω στην οποία, το πρόγραμμα παρέχει μεν την δυνατότητα πραγματοποίησης τομών, αλλά δεν είναι δυνατό να γίνουν οι απαραίτητες μετρήσεις για τον προσδιορισμό των στοιχείων.

Λόγω των ιδιαιτέρων χαρακτηριστικών του κίονα (ραβδώσεις, κλίση, μείωση) ο προσδιορισμός των κέντρων, και κατ' επέκταση μετακινήσεων και κλίσεων, δεν μπορεί να επαληθευτεί με κάποια μαθηματική επεξεργασία, πάνω στα ψηφιακά δεδομένα.

✓ *Τοποσταθερά:*

Ο προσδιορισμός των γεωμετρικών στοιχείων έγινε μέσω των τοποσταθερών. Το περιορισμένο πλήθος τοποσταθερών που μετρήθηκαν, δεν μπορεί να αποδώσει την ολογραφία του αντικειμένου, όπως συμβαίνει με τα νέφη σημείων.

Οι μετρήσεις ήταν πιο χρονοβόρες, ενώ η πυκνότητα των σημείων, που επηρέαζε την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων, ήταν σε άμεση συνάρτηση με το χρόνο παραμονής στο πεδίο. Επίσης, ήταν απαραίτητη η σύνταξη σκαριφημάτων με τα σημεία, για την καθοδήγηση των μετρήσεων και την μετέπειτα επεξεργασία τους.

Από τις μετρήσεις δόθηκε η δυνατότητα προσδιορισμού των γεωμετρικών στοιχείων των σπονδύλων μέσω της MET, που αποτελεί αυστηρά ελεγχόμενη διαδικασία και δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα.

Η απαίτηση για την σήμανση των μη προσιτών σκοπευόμενων σημείων αντιμετωπίστηκε με την χρήση της ψηφιακής κάμερας που διαθέτει ο IS 203i, ωστόσο είναι προφανές ότι δεν υπάρχει δυνατότητα του εκ νέου εντοπισμού τους.

Όσον αφορά το Δίκτυο Οριζοντίου Ελέγχου, διαπιστώνονται τα εξής:

- Με την ίδρυση του Δ.Ο.Ε. στο Ναό του Ηφαίστου παρέχεται η δυνατότητα προσδιορισμού των παραμορφώσεων των δομικών στοιχείων του μνημείου, αξιόπιστα και ελεγχόμενα σε ενιαίο σύστημα αναφοράς. Είναι, δηλαδή, δυνατή η συσχέτιση των παραμορφώσεων των δομικών στοιχείων τόσο μεταξύ τους όσο και με τα γεωμετρικά στοιχεία της κάτοψης του μνημείου.
- Ο γεωδαιτικός σταθμός Topcon IS 203i, κάλυψε πλήρως τις απαιτήσεις σε ακρίβεια, όπως αποδείχτηκε από τα αποτελέσματα επίλυσης του Δ.Ο.Ε.

10.2. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Με βάση τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την Διπλωματική Εργασία, προτείνονται τα εξής:

- Η γεωμετρική τεκμηρίωση των παραμορφώσεων και στα υπόλοιπα δομικά στοιχεία του Ναού του Ηφαίστου και συσχέτιση τους.
- Η εφαρμογή της ίδιας μεθοδολογίας με αυτήν που εφαρμόστηκε στην παρούσα εργασία, σε μεγαλύτερες επιφάνειες γνωστής γεωμετρίας, για την καλύτερη επαλήθευση των αποτελεσμάτων με άμεσες μετρήσεις.
- Η διερεύνηση του συσχετισμού των μετατοπίσεων και των κλίσεων των σπονδύλων με τις καθιζήσεις της κρηπίδας του ναού.
- Η επέκταση του Δικτύου Οριζοντίου Ελέγχου και στα υπόλοιπα μνημεία της Αρχαίας Αγοράς, για τον προσδιορισμό παραμορφώσεων τους και την παρακολούθηση της κινηματικής τους συμπεριφοράς.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ζάμπας Κ., *Οι εκλεπτύνσεις των κίωνων του Παρθενώνος*, Διδακτορική Διατριβή ΕΜΠ, Αθήνα 1998
2. Αγατζά – Μπαλοδήμου, *Θεωρία σφαλμάτων και Συνορθώσεις I*, Αθήνα 2007
3. Αγατζά – Μπαλοδήμου, *Θεωρία σφαλμάτων και Συνορθώσεις II*, Αθήνα 2009
4. 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
5. 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
6. Μπαλοδήμος Δ., Σταθάς Δ., Αραμπατζή Ο., *ΓΕΩΔΑΙΣΙΑ (Δίκτυα – Αποτυπώσεις – Χαράξεις)*, Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα 2006
7. Χαμζάς Χ., Παυλίδης Γ., Τσιούκας Β., Αρναούτογλου Φ., *Εγχειρίδιο τρισδιάστατης ψηφιοποίησης ακίνητων μνημείων & χώρων*, Ινστιτούτο Πολιτιστικής & Εκπαιδευτικής Τεχνολογίας, Ξάνθη 2005
8. Γεωργόπουλος Σ., *Ίδρυση πεδίων ελέγχου για την παρακολούθηση παραμορφώσεων σε μνημειακά σύνολα - εφαρμογή στο Ολυμπείο*, Διπλωματική Εργασία, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα 2011
9. Πετρολέκας Κ., *Έλεγχος μικρομετακινήσεων του μνημείου της Κλεψύδρας στην Ακρόπολη Αθηνών*, Διπλωματική Εργασία, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα 2008
10. Μαρκάκη Σ., *Ανίχνευση των καθιζήσεων του στυλοβάτη του Ναού του Ηφαιστού με γεωδαιτική μεθοδολογία*, Διπλωματική Εργασία, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα 2012
11. Realworks (manual)

ΙΣΤΟΓΡΑΦΙΑ

12. **www.arxaiologia.gr**, Λαμπρόπουλος Β., Βομβογιάννη Χ., *Ο Ναός του Ηφαίστου στην Αρχαία Αγορά των Αθηνών: μορφές φθορών και προτάσεις προστασίας*
13. **www.project.athens-agora.gr**, «Η αρχαία Αγορά της Αθήνας», Ψηφιακή συλλογή Εικονικής Πραγματικότητας
14. **www.athensinfoguide.com**, Τουριστικός πληροφοριακός οδηγός Αθηνών
15. **www.ktimatologio.gr**, Εθνικό Κτηματολόγιο
16. **www.culture.gr**, Υπουργείο Πολιτισμού & Τουρισμού
17. **www.el.wikipedia.org**
18. **www.treecomp.gr**
19. **www.tmth.edu.gr**, Κέντρο Διάδοσης Επιστημών & Μουσείο Τεχνολογίας

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΚΟΡΥΦΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

**ΚΩΔΙΚΟΣ
ΚΟΡΥΦΗΣ**

1

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ:

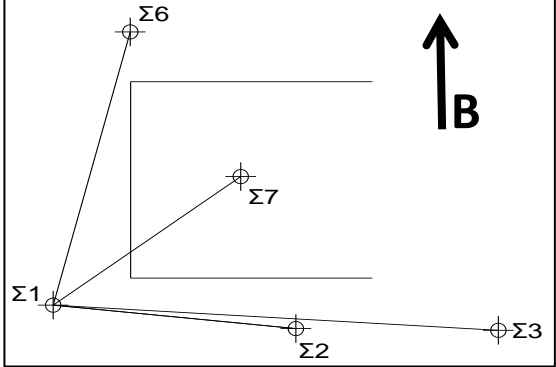
Η κορυφή 1 ήταν ήδη υλοποιημένη με σιδερόβεργα από προηγούμενες τοπογραφικές εργασίες, στην περίμετρο του ναού, κοντά στην νοτιοδυτική γωνία του.

ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ:

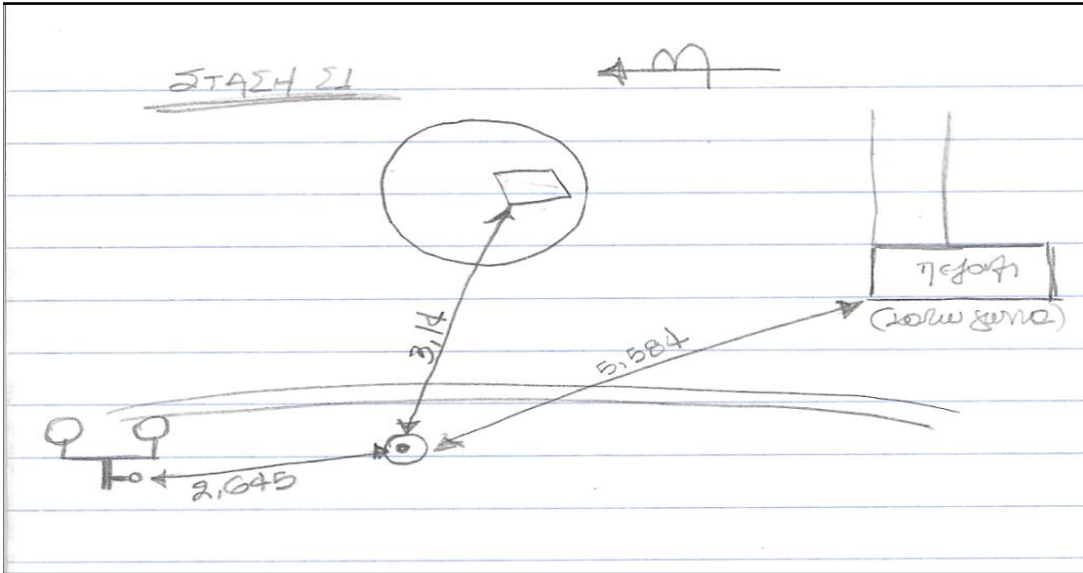
X=100,000m Y=100,000m
H=99,562m



ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ:



ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΗ:



**ΚΩΔΙΚΟΣ
ΚΟΡΥΦΗΣ**

2

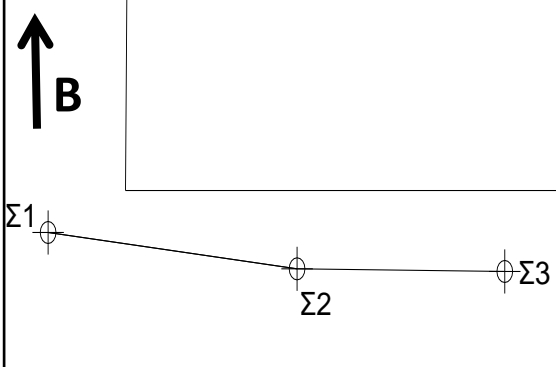
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ:

Η κορυφή 2 υλοποιήθηκε με την χάραξη ενός σταυρού πάνω στο ρείθρο του πεζόδρομου που περιβάλλει τον ναό, στην νότιοδυτική πλευρά του.

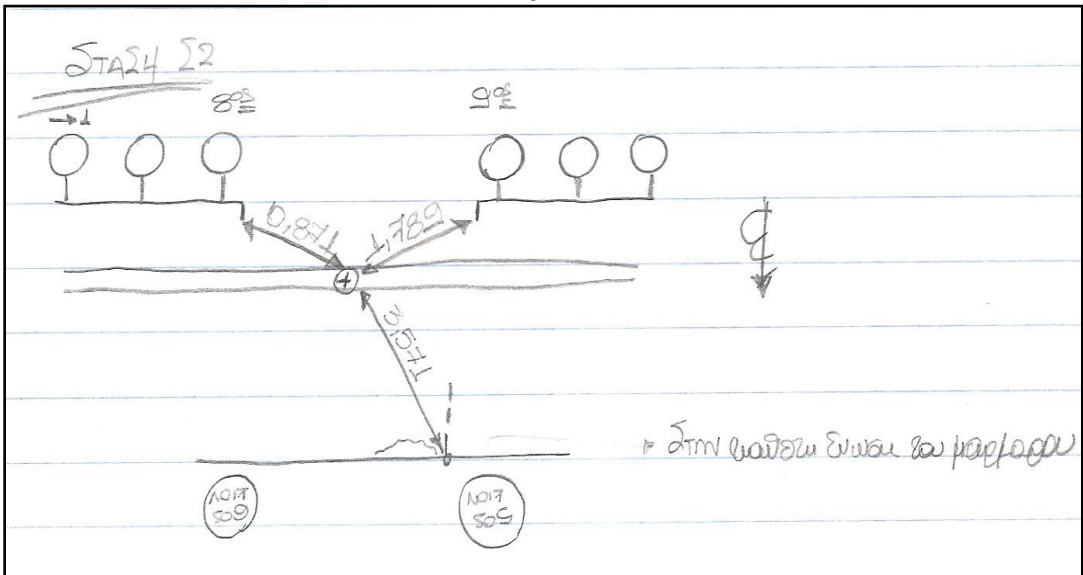
ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ:
X=102,417m Y=84,268m
H=99,648m



ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ:



ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΗ:



**ΚΩΔΙΚΟΣ
ΚΟΡΥΦΗΣ**

3

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ:

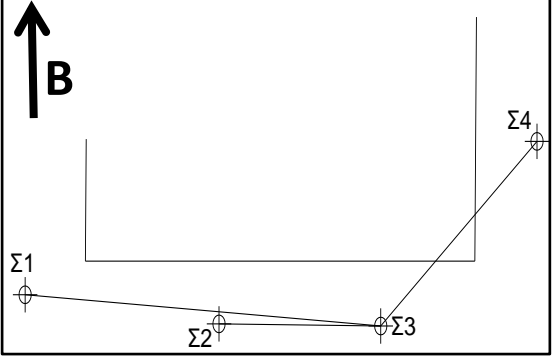
Η κορυφή 3 υλοποιήθηκε με την χάραξη ενός σταυρού πάνω στο ρείθρο του πεζόδρομου που περιβάλλει τον ναό, στην νότιοανατολική πλευρά του.

ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ:

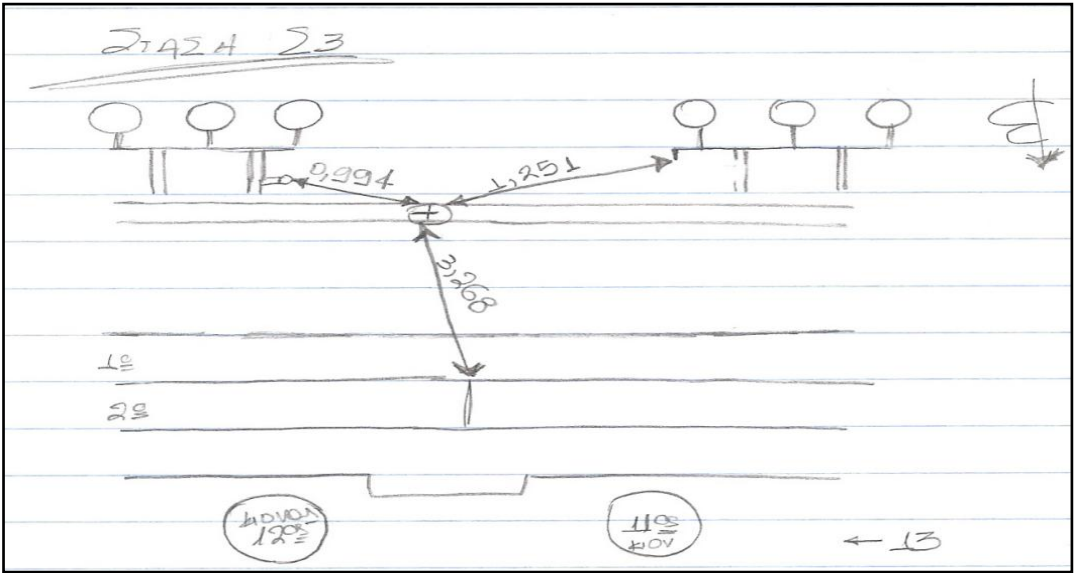
X=105,647m Y=71,460m
H=99,615m



ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ:



ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΗ:



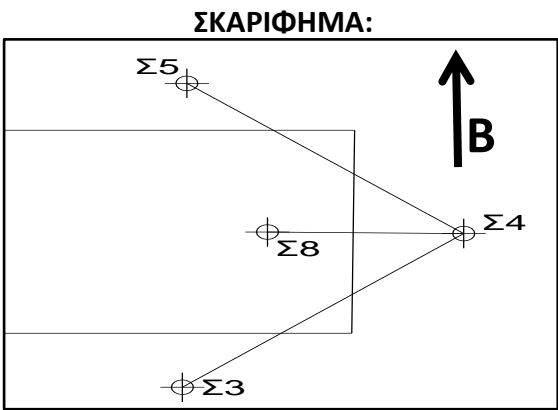
**ΚΩΔΙΚΟΣ
ΚΟΡΥΦΗΣ**

4

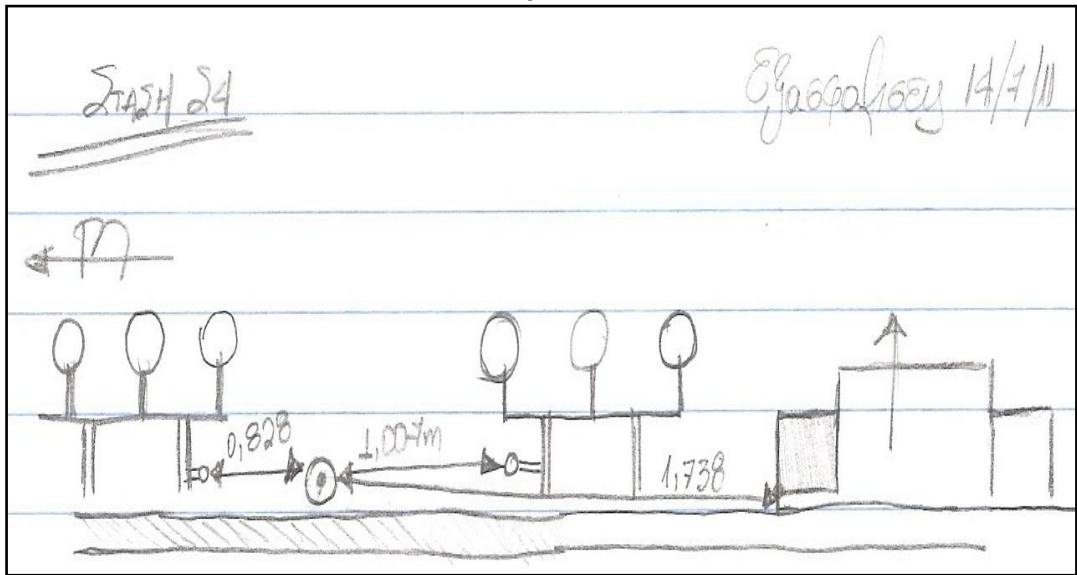
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ:

Η κορυφή 4 υλοποιήθηκε με μια σιδερόβεργα στην ανατολική πλευρά του ναού, μετά το κράσπεδο που οριοθετεί τον πεζόδρομο που τον περιβάλλει.

ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ:
X=118,978m Y=61,761m
H=99,282m



ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΗ:



**ΚΩΔΙΚΟΣ
ΚΟΡΥΦΗΣ**

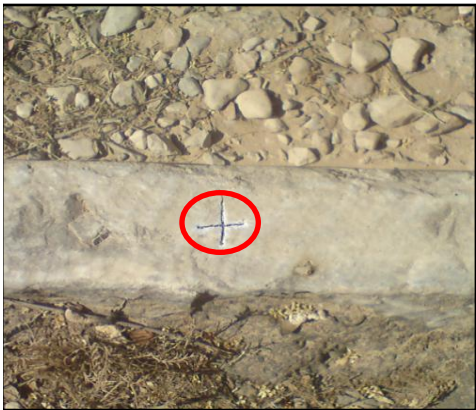
5

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ:

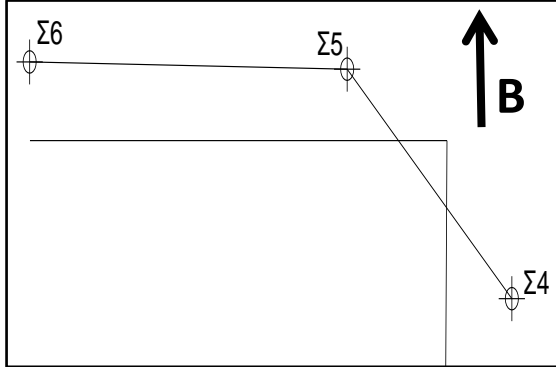
Η κορυφή 5 υλοποιήθηκε με την χάραξη ενός σταυρού πάνω στο ρείθρο του πεζόδρομου που περιβάλλει τον ναό, στην βόρριοανατολική πλευρά του.

ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ:

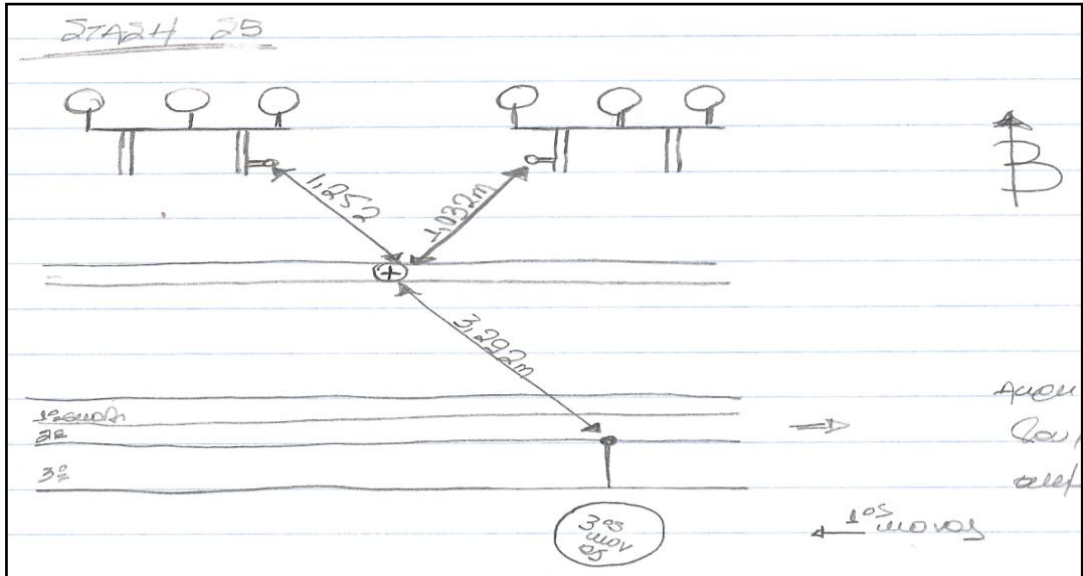
X=125,672m Y=76,494m
H=99,584m



ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ:



ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΗ:



**ΚΩΔΙΚΟΣ
ΚΟΡΥΦΗΣ**

6

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ:

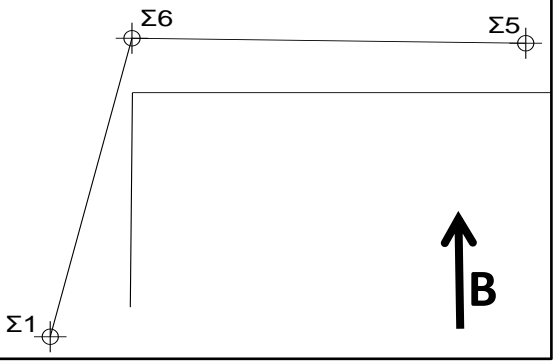
Η κορυφή 6 υλοποιήθηκε με την χάραξη ενός σταυρού πάνω στο ρείθρο του πεζοδρομίου που περιβάλλει τον ναό, στην βόριοδυτική πλευρά του.

ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ:

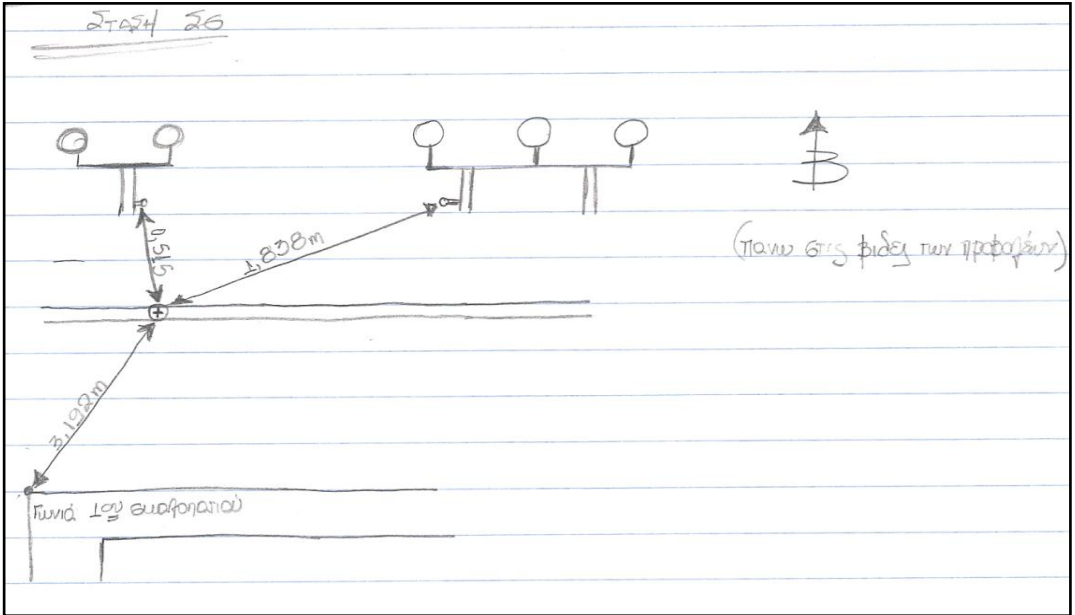
X=119,849m Y=100,000m
H=99,574m



ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ:



ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΗ:

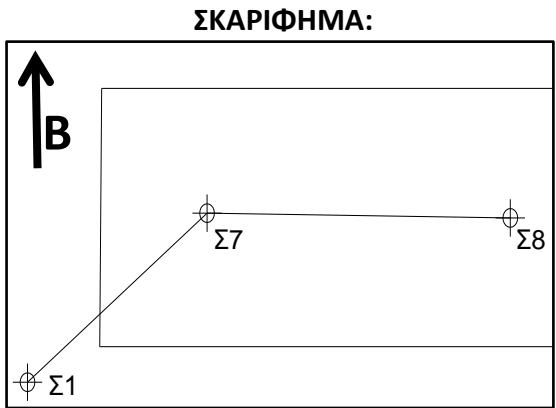
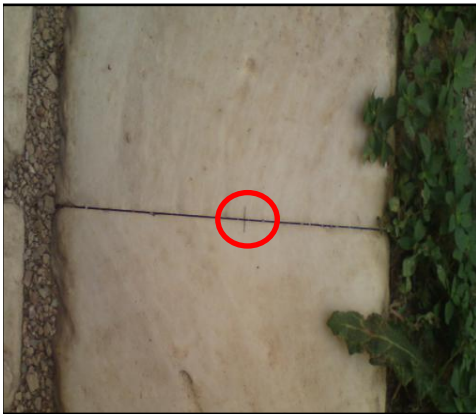


**ΚΩΔΙΚΟΣ
ΚΟΡΥΦΗΣ**

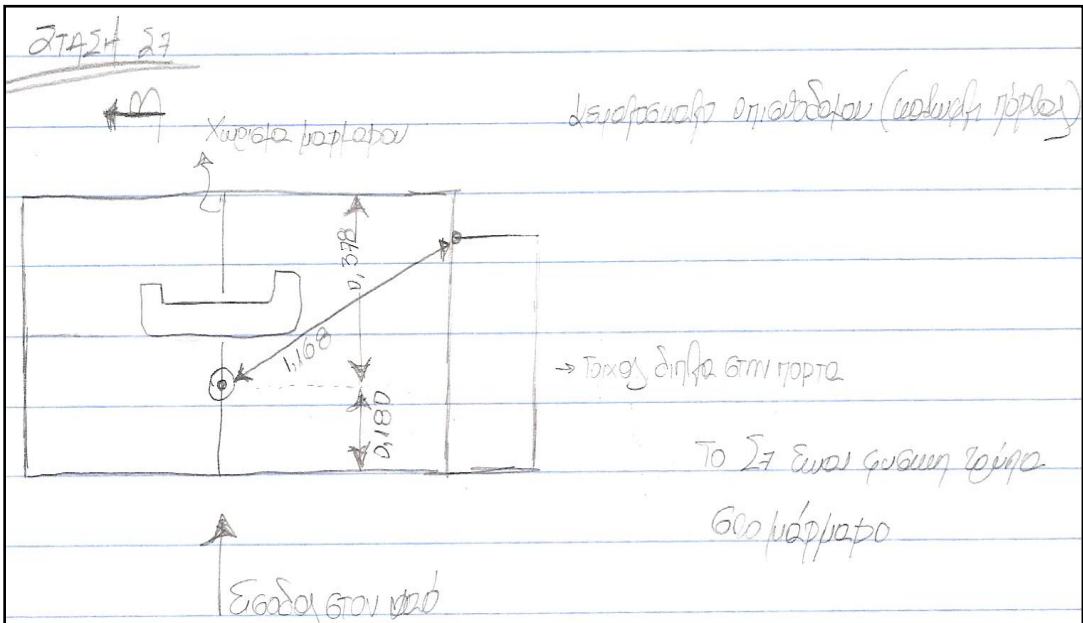
7

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ:
Η κορυφή 7 υλοποιήθηκε στο σημείο τομής, του αρμού ένωσης δυο μαρμαρινων πλακών στο κατώφλι του οπισθόδομου, με μια κάθετη ρωγμή που υπήρχε εκεί.

ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ:
X=111,839m Y=90,452m
H=100,688m



ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΗ:



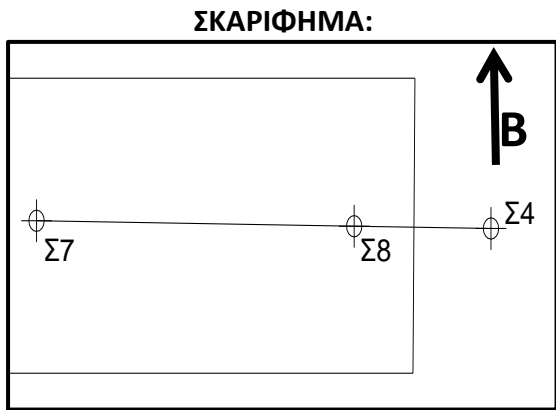
ΚΩΔΙΚΟΣ
ΚΟΡΥΦΗΣ

8

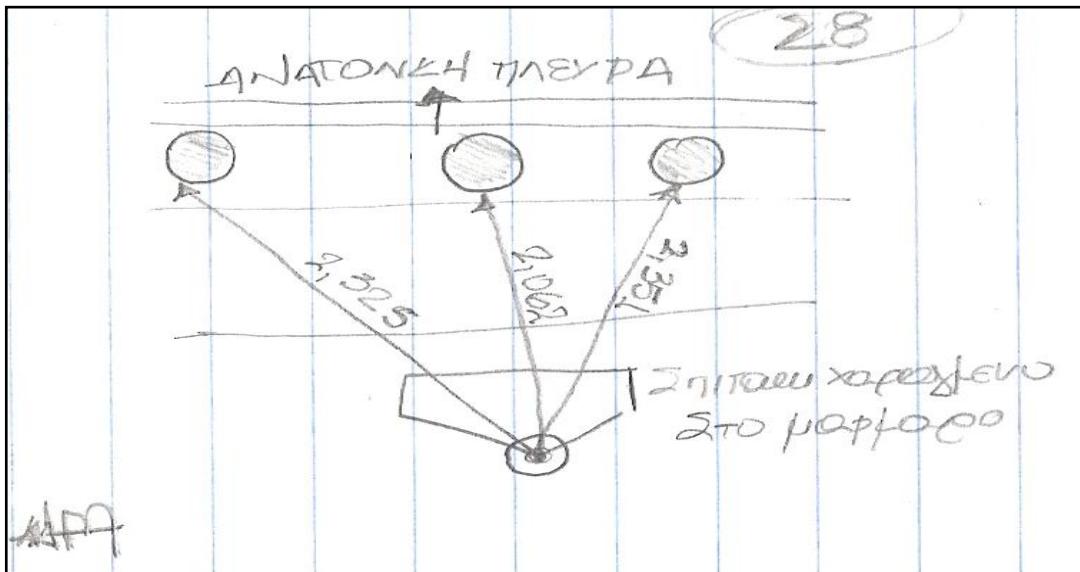
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ:

Η κορυφή 8 υλοποιήθηκε στο σημείο ένωσης δυο ρωγμών πάνω στην κρηπίδα του ναού, που βρίσκονται στον πρόναο.

ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ:
X=116,826m Y=70,398m
H=100,791m



ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΗ:



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΥΠΑΙΘΡΟΥ Δ.Ο.Ε.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΩΝ – ΣΥΜΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΩΝ Δ.Ο.Ε.

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΥΚΛΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΥΚΛΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ

ΤΟΠΟΣΤΑΘΕΡΑ

1α. ΔΙΚΤΥΟ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ - ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ & ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

ΘΕΣΗ ΟΡΓΑΝΟΥ	ΣΚΟΠ. ΠΡΟΣ	ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΓΩΝΙΕΣ (grad)					ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΓΩΝΙΕΣ (grad)				ΚΕΚΛΙΜΕΝΟ ΜΗΚΟΣ (m)			
		ΘΕΣΗ I	ΘΕΣΗ II	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΜΕΣΗ ΑΝ. ΤΙΜΗ	ΓΕΝ. Μ.Ο.	ΘΕΣΗ I	ΘΕΣΗ II	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΓΕΝ. Μ.Ο.	ΘΕΣΗ I	ΘΕΣΗ II	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΓΕΝ. Μ.Ο.
Σ1	Σ6	0,0000	200,0024	0,0012	0,0000	0,0000	100,4734	299,5302	100,4716	100,4716	19,860	19,859	19,860	19,859
	Σ7	43,2132	243,2146	43,2139	43,2127	43,2125	94,9744	305,0304	94,9720	94,9713	15,257	15,257	15,257	15,257
Σ1	Σ6	0,0030	200,0028	0,0029	0,0000		100,4726	299,5294	100,4716		19,859	19,859	19,859	
	Σ7	43,2160	243,2144	43,2152	43,2123		94,9726	305,0314	94,9706		15,257	15,257	15,257	
Σ1	Σ7	0,0000	199,9950	399,9975	0,0000	0,0000	94,9708	305,0240	94,9734	94,9735	15,257	15,257	15,257	15,257
	Σ3	44,3512	244,3514	44,3513	44,3538	44,3554	100,0514	299,9450	100,0532	100,0539	29,094	29,094	29,094	29,094
Σ1	Σ7	399,9964	199,9956	399,9960	0,0000		94,9724	305,0254	94,9735		15,257	15,257	15,257	
	Σ3	44,3534	244,3526	44,3530	44,3570		100,0542	299,9450	100,0546		29,094	29,094	29,094	
Σ1	Σ3	0,0000	199,9986	399,9993	0,0000	0,0000	100,0522	299,9500	100,0511	100,0487	29,094	29,094	29,094	29,094
	Σ2	2,7240	202,7236	2,7238	2,7245	2,7230	99,6834	300,3084	99,6875	99,6877	15,913	15,912	15,913	15,912
Σ1	Σ3	399,9964	199,9902	399,9933	0,0000		100,0440	299,9514	100,0463		29,093	29,094	29,094	
	Σ2	2,7146	202,7150	2,7148	2,7215		99,6848	300,3090	99,6879		15,912	15,912	15,912	
Σ2	Σ1	0,0000	200,0058	0,0029	0,0000	0,0000	100,7588	299,2384	100,7602	100,7598	15,918	15,918	15,918	15,918
	Σ3	193,9712	393,9740	193,9726	193,9697	193,9660	100,7026	299,2868	100,7079	100,7077	13,210	13,210	13,210	13,210
Σ2	Σ1	0,0058	200,0070	0,0064	0,0000		100,7566	299,2378	100,7594		15,918	15,918	15,918	
	Σ3	193,9696	393,9678	193,9687	193,9623		100,7076	299,2928	100,7074		13,210	13,210	13,210	
Σ3	Σ2	0,0000	200,0100	0,0050	0,0000	0,0000	99,9570	300,0354	99,9608	99,9611	13,206	13,207	13,207	13,207
	Σ4	155,7712	355,7690	155,7701	155,7651	155,7638	101,0956	298,9034	101,0961	101,0952	16,485	16,486	16,486	16,485
Σ3	Σ2	0,0058	200,0062	0,0060	0,0000		99,9590	300,0362	99,9614		13,207	13,207	13,207	
	Σ4	155,7702	355,7666	155,7684	155,7624		101,0894	298,9010	101,0942		16,485	16,485	16,485	
Σ3	Σ1	0,0000	199,9976	399,9988	0,0000	0,0000	100,1664	299,8296	100,1684	100,1689	29,094	29,093	29,094	29,093
	Σ4	152,4714	352,4712	152,4713	152,4725	152,4755	101,0932	298,9018	101,0957	101,0976	16,485	16,486	16,486	16,486
Σ3	Σ1	399,9998	199,9998	399,9998	0,0000		100,1666	299,8280	100,1693		29,093	29,093	29,093	
	Σ4	152,4794	352,4770	152,4782	152,4784		101,0952	298,8964	101,0994		16,486	16,485	16,486	

ΘΕΣΗ ΟΡΓΑΝΟΥ	ΣΚΟΠ. ΠΡΟΣ	ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΓΩΝΙΕΣ (grad)					ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΓΩΝΙΕΣ (grad)				ΚΕΚΛΙΜΕΝΟ ΜΗΚΟΣ (m)			
		ΘΕΣΗ I	ΘΕΣΗ II	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΜΕΣΗ ΑΝ. ΤΙΜΗ	ΓΕΝ. Μ.Ο.	ΘΕΣΗ I	ΘΕΣΗ II	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΓΕΝ. Μ.Ο.	ΘΕΣΗ I	ΘΕΣΗ II	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΓΕΝ. Μ.Ο.
Σ4	Σ3	0,0000	200,0018	0,0009	0,0000	0,0000	98,5970	301,4016	98,5977	98,5996	16,492	16,492	16,492	16,492
	Σ8	44,4156	244,4138	44,4147	44,4138	44,4156	89,9676	310,0260	89,9708	89,9705	9,015	9,015	9,015	9,015
Σ4	Σ3	399,9944	200,0056	0,0000	0,0000		98,5980	301,3950	98,6015		16,492	16,492	16,492	
	Σ8	44,4160	244,4186	44,4173	44,4173		89,9684	310,0280	89,9702		9,015	9,015	9,015	
Σ4	Σ8	0,0000	199,9810	399,9905	0,0000	0,0000	89,9686	310,0194	89,9746	89,9720	9,015	9,015	9,015	9,015
	Σ5	42,6982	242,6780	42,6881	42,6976	42,6959	99,2784	300,7110	99,2837	99,2846	16,186	16,185	16,186	16,185
Σ4	Σ8	399,9910	199,9840	399,9875	0,0000		89,9670	310,0282	89,9694		9,015	9,015	9,015	
	Σ5	42,6888	242,6746	42,6817	42,6942		99,2842	300,7134	99,2854		16,185	16,185	16,185	
Σ5	Σ4	0,0000	200,0056	0,0028	0,0000	0,0000	101,3110	298,6776	101,3167	101,3156	16,187	16,187	16,187	16,187
	Σ6	157,3984	357,3950	157,3967	157,3939	157,3932	100,0238	299,9726	100,0256	100,0265	24,217	24,217	24,217	24,217
Σ5	Σ4	0,0046	199,9984	0,0015	0,0000		101,3160	298,6872	101,3144		16,187	16,187	16,187	
	Σ6	157,3924	357,3954	157,3939	157,3924		100,0272	299,9724	100,0274		24,217	24,217	24,217	
Σ6	Σ5	0,0000	200,0188	0,0094	0,0000	0,0000	100,2078	299,7946	100,2066	100,2050	24,216	24,216	24,216	24,216
	Σ1	115,4752	315,4760	115,4756	115,4662	115,4647	100,0780	299,9206	100,0787	100,0790	19,862	19,862	19,862	19,862
Σ6	Σ5	0,0224	200,0152	0,0188	0,0000		100,2010	299,7944	100,2033		24,215	24,216	24,216	
	Σ1	115,4856	315,4782	115,4819	115,4631		100,0806	299,9222	100,0792		19,861	19,861	19,861	
Σ7	Σ8	0,0000	200,0048	0,0024	0,0000	0,0000	100,3670	299,6386	100,3642	100,3649	20,668	20,667	20,668	20,668
	Σ1	158,7208	358,7272	158,7240	158,7216	158,7221	105,4330	294,5650	105,4340	105,4349	15,267	15,267	15,267	15,267
Σ7	Σ8	0,0046	200,0082	0,0064	0,0000		100,3656	299,6346	100,3655		20,667	20,668	20,668	
	Σ1	158,7284	358,7296	158,7290	158,7226		105,4352	294,5638	105,4357		15,267	15,268	15,268	
Σ8	Σ4	0,0000	199,9958	399,9979	0,0000	0,0000	110,5414	289,4594	110,5410	110,5419	9,024	9,024	9,024	9,024
	Σ7	200,0238	0,0256	200,0247	200,0268	200,0275	100,0122	299,9730	100,0196	100,0226	20,668	20,668	20,668	20,668
Σ8	Σ4	399,9984	200,0030	0,0007	0,0000		110,5422	289,4568	110,5427		9,024	9,024	9,024	
	Σ7	200,0298	0,0280	200,0289	200,0282		100,0238	299,9726	100,0256		20,668	20,668	20,668	

1β. ΔΙΚΤΥΟ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ – ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΩΝ-ΣΥΜΜΕΤΒΛΗΤΟΤΗΤΩΝ

$$V_x = \sigma_0^2 * N^{-1} = 10^{-7} * [...] \text{ (m}^2\text{)}$$

X2	Y2	X3	Y3	X4	Y4	X5	Y5	S6	X7	Y7	X8	Y8
1,73	-4,03	1,82	-1,29	1,46	-0,18	1,07	-0,22	0,73	0,48	0,14	1,13	0,02
	20,01	-1,69	7,56	-0,7	6,66	-1,95	3,83	-0,97	1,04	-0,8	0,23	2,95
		3,52	-3,21	2,75	-1,08	2,17	-0,83	1,45	0,76	0,35	2,04	-0,29
			14,76	-1,29	13,06	-3,76	7,51	-1,87	2,08	-1,56	0,51	5,78
				11,9	-6,19	11,01	-5,64	8,67	9,46	-6,46	11,16	-6,2
					17,85	-9,28	11,57	-6,5	-3,59	3,47	-4,71	10,7
						14,39	-1,16	13,63	8,93	-6,5	10,28	-7,81
							22,45	3,9	-4,17	3,6	-4,85	7,59
								15,21	7,58	-5,6	8,37	-5,99
									10,64	-8,31	9,97	-5,98
										7,22	-7,11	5,41
											12,09	-10,43
												26,66

2α. ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΥΚΛΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ – ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

α/α	ΠΕΡ.	ΘΕΣΗ I		ΘΕΣΗ II		ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ (m)			
		V (grad)	S (m)	V (grad)	S (m)	D (I)	D (II)	D (ΠΕΡ)	Μ.Ο.
B26	1η	100,1918	50,011	299,8016	50,011	50,0108	50,0108	50,0108	50,0103
	2η	100,1928	50,010	299,8034	50,010	50,0098	50,0098	50,0098	
B25	1η	100,1962	49,002	299,7958	49,002	49,0018	49,0017	49,0018	49,0018
	2η	100,1982	49,002	299,7952	49,002	49,0018	49,0017	49,0018	
B24	1η	100,1960	48,002	299,7964	48,002	48,0018	48,0018	48,0018	48,0018
	2η	100,2020	48,002	299,8048	48,002	48,0018	48,0018	48,0018	
B23	1η	100,2068	47,003	299,7944	47,003	47,0028	47,0028	47,0028	47,0025
	2η	100,2040	47,003	299,7904	47,002	47,0028	47,0017	47,0023	
B22	1η	100,2160	46,001	299,7786	46,001	46,0007	46,0007	46,0007	46,0007
	2η	100,2150	46,001	299,7834	46,001	46,0007	46,0007	46,0007	
B21	1η	100,2168	45,000	299,7774	45,000	44,9997	44,9997	44,9997	44,9997
	2η	100,2152	45,000	299,7778	45,000	44,9997	44,9997	44,9997	
B20	1η	100,2306	41,997	299,7640	41,997	41,9967	41,9967	41,9967	41,9962
	2η	100,2300	41,996	299,7660	41,996	41,9957	41,9957	41,9957	
B19	1η	100,2374	39,999	299,7534	39,999	39,9987	39,9987	39,9987	39,9982
	2η	100,2392	39,998	299,7528	39,998	39,9977	39,9977	39,9977	
B18	1η	100,2572	37,997	299,7394	37,997	37,9967	37,9967	37,9967	37,9964
	2η	100,2612	37,997	299,7396	37,996	37,9967	37,9957	37,9962	

α/α	ΠΕΡ.	ΘΕΣΗ I		ΘΕΣΗ II		ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ (m)			
		V (grad)	S (m)	V (grad)	S (m)	D (I)	D (II)	D (ΠΕΡ)	Μ.Ο.
B17	1η	100,2780	34,999	299,7146	34,998	34,9987	34,9976	34,9982	34,9979
	2η	100,2834	34,998	299,7114	34,998	34,9977	34,9976	34,9976	
B16	1η	100,2880	33,999	299,7072	33,999	33,9987	33,9986	33,9986	33,9986
	2η	100,2872	33,999	299,7108	33,999	33,9987	33,9986	33,9987	
B15	1η	100,3142	29,998	299,6772	29,997	29,9976	29,9966	29,9971	29,9969
	2η	100,3118	29,997	299,6788	29,997	29,9966	29,9966	29,9966	
B14	1η	100,3596	28,993	299,6404	28,993	28,9925	28,9925	28,9925	28,9925
	2η	100,3492	28,993	299,6444	28,993	28,9926	28,9925	28,9926	
B13	1η	100,3734	25,997	299,6124	25,996	25,9966	25,9955	25,9960	25,9958
	2η	100,3818	25,996	299,6158	25,996	25,9955	25,9955	25,9955	
B12	1η	100,3880	24,999	299,6012	24,999	24,9985	24,9985	24,9985	24,9985
	2η	100,3942	24,999	299,6038	24,999	24,9985	24,9985	24,9985	
B11	1η	100,4190	22,999	299,5708	22,999	22,9985	22,9985	22,9985	22,9982
	2η	100,4192	22,999	299,5702	22,998	22,9985	22,9975	22,9980	
B10	1η	100,4368	22,000	299,5650	21,999	21,9995	21,9985	21,9990	21,9990
	2η	100,4446	22,000	299,5598	21,999	21,9995	21,9985	21,9990	
B9	1η	100,4968	19,998	299,5006	19,998	19,9974	19,9974	19,9974	19,9974
	2η	100,4940	19,998	299,5054	19,998	19,9974	19,9974	19,9974	
B8	1η	100,5550	17,998	299,4464	17,998	17,9973	17,9973	17,9973	17,9971
	2η	100,5522	17,998	299,4476	17,997	17,9973	17,9963	17,9968	

α/α	ΠΕΡ.	ΘΕΣΗ Ι		ΘΕΣΗ ΙΙ		ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ			
		V	SD	V	SD	D I	D II	D ΠΕΡ	M.O.
B7	1η	100,6760	15,021	299,3246	15,020	15,0202	15,0192	15,0197	15,0194
	2η	100,6750	15,02	299,3270	15,020	15,0192	15,0192	15,0192	
B6	1η	100,6996	14,001	299,2996	14,001	14,0002	14,0002	14,0002	14,0001
	2η	100,6922	14,001	299,2860	14,001	14,0002	14,0001	14,0001	
B5	1η	100,9762	10,004	299,0172	10,004	10,0028	10,0028	10,0028	10,0028
	2η	100,9740	10,004	299,0190	10,004	10,0028	10,0028	10,0028	
B4	1η	101,6280	6,001	298,3736	6,001	5,9990	5,9990	5,9990	5,9988
	2η	101,6266	6,001	298,3672	6,000	5,9990	5,9980	5,9985	
B3	1η	102,0104	5,017	299,9954	5,017	5,0145	5,0170	5,0157	5,0151
	2η	102,0220	5,017	297,9880	5,017	5,0145	5,0145	5,0145	
B2	1η	104,9294	2,007	295,0530	2,010	2,0010	2,0039	2,0025	2,0022
	2η	104,9530	2,006	295,0260	2,010	1,9999	2,0039	2,0019	

2β. ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΥΚΛΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ – ΣΤΟΙΧΕΙΑ

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

A/A	Γνωστά μήκη, Li (m)	Μετρημένα μήκη, li (m)	Διορθώσεις γ_i (m)
B26	50,0026	50,0103	-0,0018
B25	49,0006	49,0018	-0,0017
B24	48,0000	48,0018	-0,0016
B23	47,0022	47,0025	-0,0016
B22	46,0039	46,0007	-0,0017
B21	45,0013	44,9997	-0,0018
B20	41,9988	41,9962	-0,0020
B19	40,0012	39,9982	-0,0018
B18	38,0001	37,9964	-0,0016
B17	35,0001	34,9979	-0,0018
B16	34,0021	33,9986	-0,0019
B15	29,9999	29,9969	-0,0018
B14	28,9964	28,9925	-0,0017
B13	25,9999	25,9958	-0,0017
B12	24,9996	24,9985	-0,0018
B11	23,0015	22,9982	-0,0020
B10	22,0008	21,9990	-0,0020
B9	20,0010	19,9974	-0,0018
B8	18,0020	17,9971	-0,0016
B7	15,0229	15,0194	-0,0018
B6	14,0027	14,0001	-0,0019
B5	10,0031	10,0028	-0,0018
B4	6,0010	5,9988	-0,0017
B3	5,0148	5,0151	-0,0018
B2	2,0038	2,0022	-0,0020

3. ΤΟΠΟΣΤΑΘΕΡΑ

	ΤΟΜΗ ΚΑΤΩ						ΤΟΜΗ ΑΝΩ					
	A/A	Τοποστ.	X (m)	Y (m)	H (m)	H _μ (m)	A/A	Τοποστ.	X (m)	Y (m)	Z (m)	H _μ (m)
1ος ΣΠΟΝΔΥΛΟΣ	1	8	114,555	102,209	100,721	100,796	1	6	114,700	102,206	101,446	101,408
	2	9	114,710	102,183	100,723		2	7	114,979	102,286	101,435	
	3	10	114,991	102,268	100,724		3	14	114,273	102,518	101,409	
	4	11	114,568	103,098	100,852		4	15	114,278	102,798	101,396	
	5	12	114,335	102,927	100,863		5	16	114,450	103,030	101,410	
	6	13	114,242	102,653	100,840		6	34	114,840	103,089	101,395	
	7	31	115,181	102,650	100,794		7	35	115,081	102,911	101,380	
	8	32	115,162	102,781	100,795		8	36	115,163	102,629	101,392	
	9	33	114,991	103,022	100,851							
2ος ΣΠΟΝΔΥΛΟΣ	1	1	114,528	102,234	101,488	101,499	1	3	114,531	102,252	102,179	102,149
	2	2	114,816	102,227	101,478		2	4	114,667	102,229	102,186	
	3	17	114,566	103,103	101,482		3	5	114,933	102,304	102,188	
	4	18	114,319	102,935	101,488		4	20	114,257	102,524	102,157	
	5	19	114,231	102,663	101,505		5	21	114,266	102,806	102,152	
	6	37	115,110	102,786	101,504		6	22	114,438	103,033	102,144	
	7	38	114,954	103,013	101,523		7	40	114,713	103,113	102,122	
	8	39	114,701	103,115	101,521		8	41	114,820	103,079	102,124	
							9	42	115,089	102,799	102,125	
							10	43	115,123	102,637	102,109	

	ΤΟΜΗ ΚΑΤΩ						ΤΟΜΗ ΑΝΩ					
	A/A	Τοποστ.	X (m)	Y (m)	H (m)	H _μ (m)	A/A	Τοποστ.	X (m)	Y (m)	H (m)	H _μ (m)
3ος ΣΠΟΝΔΥΛΟΣ	1	51	114,474	102,301	102,256	102,269	1	57	114,506	102,295	102,937	102,915
	2	52	114,610	102,230	102,229		2	58	114,608	102,253	102,957	
	3	53	114,731	102,211	102,234		3	59	114,880	102,252	102,950	
	4	54	114,884	102,238	102,237		4	60	114,992	102,316	102,912	
	5	55	115,099	102,391	102,250		5	61	115,093	102,403	102,943	
	6	56	115,165	102,509	102,351		6	A5	114,502	103,013	102,899	
	7	A1	114,611	103,076	102,227		7	A6	114,330	102,795	102,901	
	8	A2	114,373	102,903	102,236		8	A7	114,310	102,653	102,946	
	9	A3	114,301	102,657	102,240		9	B5	115,156	102,776	102,874	
	10	B1	115,147	102,490	102,347		10	B6	115,098	102,902	102,874	
	11	B2	115,165	102,786	102,295		11	B7	114,876	103,063	102,876	
	12	B3	115,001	103,014	102,301							
	13	B4	114,882	103,074	102,292							
4ος ΣΠΟΝΔΥΛΟΣ	1	71	114,461	102,338	103,118	103,054	1	75	115,013	102,355	103,478	103,590
	2	72	114,718	102,245	103,103		2	76	114,582	102,278	103,501	
	3	73	114,868	102,273	103,096		3	A11	114,519	103,018	103,587	
	4	74	115,097	102,438	103,113		4	A12	114,333	102,793	103,640	
	5	A8	114,631	103,083	102,981		5	A13	114,344	102,513	103,642	
	6	A9	114,390	102,909	102,994		6	B12	115,044	102,393	103,629	
	7	A10	114,329	102,526	102,989		7	B13	115,147	102,654	103,622	
	8	B8	115,155	102,636	103,040		8	B14	115,070	102,914	103,621	
	9	B9	115,084	102,914	103,038							
	10	B10	114,846	103,077	103,063							

	ΤΟΜΗ ΚΑΤΩ						ΤΟΜΗ ΑΝΩ					
	A/A	Τοποστ.	X (m)	Y (m)	H (m)	H _μ (m)	A/A	Τοποστ.	X (m)	Y (m)	H (m)	H _μ (m)
5ος ΣΠΟΝΔΥΛΟΣ	1	81	114,596	102,252	103,887	103,823	1	85	114,851	102,263	104,406	104,378
	2	82	114,856	102,258	103,861		2	86	115,072	102,429	104,399	
	3	83	115,131	102,556	104,017		3	A17	114,509	102,960	104,389	
	4	A16	114,597	103,023	103,757		4	A20	114,331	102,750	104,223	
	5	A19	114,390	102,871	103,802		5	A23	114,350	102,487	104,413	
	6	A22	114,311	102,615	103,771		6	B21	115,123	102,619	104,404	
	7	B17	115,108	102,499	103,761		7	B23	115,041	102,875	104,387	
	8	B18	115,047	102,888	103,756		8	B25	114,666	103,035	104,404	
	9	B19	114,839	103,022	103,797							
6ος ΣΠΟΝΔΥΛΟΣ	1	87	114,586	102,267	104,495	104,522	1	91	114,709	102,252	104,988	105,005
	2	88	114,722	102,244	104,443		2	92	114,593	102,280	105,047	
	3	89	114,979	102,329	104,457		3	93	114,473	102,341	105,041	
	4	90	115,113	102,548	104,612		4	A29	114,522	102,956	105,110	
	5	A26	114,617	103,018	104,553		5	A31	114,353	102,756	105,112	
	6	A27	114,410	102,872	104,563		6	A33	114,355	102,507	105,042	
	7	A28	114,331	102,631	104,545		7	B31	115,096	102,743	104,906	
	8	B27	115,118	102,622	104,517		8	B32	114,927	102,966	104,718	
	9	B28	115,039	102,872	104,517		9	B33	114,671	103,022	105,079	
	10	B29	114,819	103,017	104,522							

	ΤΟΜΗ ΚΑΤΩ						ΤΟΜΗ ΑΝΩ					
	A/A	Τοποστ.	X (m)	Y (m)	H (m)	H _μ (m)	A/A	Τοποστ.	X (m)	Y (m)	H (m)	H _μ (m)
7ος ΣΠΟΝΔΥΛΟΣ	1	95	114,489	102,336	105,351	105,323	1	99	115,101	102,563	105,845	105,807
	2	96	114,745	102,260	105,288		2	100	114,725	102,265	105,762	
	3	97	114,960	102,343	105,345		3	101	114,508	102,335	105,743	
	4	A34	114,623	102,997	105,300		4	A37	114,422	102,845	105,822	
	5	A35	114,417	102,858	105,307		5	A38	114,380	102,499	105,850	
	6	A36	114,374	102,491	105,342		6	B44	115,075	102,506	105,819	
	7	B41	114,810	103,003	105,300		7	B45	115,011	102,865	105,779	
	8	B42	115,089	102,743	105,285		8	B46	114,798	102,996	105,834	
	9	B43	115,006	102,374	105,387							