



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

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ ΜΝΗΜΕΙΩΝ ΜΕ
ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ
Εφαρμογή στα Μετέωρα

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΠΑΝΤΑΖΗΣ

διδακτορική διατριβή

ΑΘΗΝΑ ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2002



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

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ ΜΝΗΜΕΙΩΝ ΜΕ
ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ
Εφαρμογή στα Μετέωρα

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΠΑΝΤΑΖΗΣ

Διπλ. Αγρ. – Τοπογράφος Μηχανικός Ε.Μ.Π

διδακτορική διατριβή

ΑΘΗΝΑ ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2002

" Η έγκριση της διδακτορικής διατριβής από τη Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου, δεν υποδηλοί αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα "

(Ν. 5343/1932, άρθρο 202)

ΜΕΡΟΣ Α

ΜΕΡΟΣ Β
ΕΦΑΡΜΟΓΗ

ΜΕΡΟΣ Γ

**ΜΕΡΟΣ Δ
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ**



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

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ ΜΝΗΜΕΙΩΝ
ΜΕ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ
Εφαρμογή στα Μετέωρα

ΑΘΗΝΑ ΙΟΥΝΙΟΣ 2002



**ΕΘΝΙΚΟ
ΜΕΤΣΟΒΙΟ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ ΜΝΗΜΕΙΩΝ
ΜΕ ΓΕΩΛΑΙΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ**
Εφαρμογή στα Μετέωρα

Γ. ΠΑΝΤΑΖΗΣ

2002

Πρόλογος

Στην εξέλιξη του ανθρώπινου γένους τα μνημεία αντικατοπτρίζουν το σύνδεσμο των γενεών και συνάμα στοιχειοθετούν την ιστορική και πολιτισμική τους κληρονομιά. Είναι οι θεματοφύλακες της παράδοσης και ο συνδετικός κρίκος μεταξύ των πολιτισμών.

Πολλά μνημεία στο πέρασμα των αιώνων αλλά και στη σύγχρονη εποχή έχουν προσελκύσει το ενδιαφέρον των επιστημόνων, είτε για να καταγράψουν τις ιδιαιτερότητες που αυτά εμφανίζουν, είτε για να διερευνήσουν και να ερμηνεύσουν τη σχέση τους με την ύπαρξη και τη δραστηριότητα του ανθρώπου.

Η αρχαιοαστρονομία είναι μια από τις επιστήμες, που έχει ασχοληθεί διαχρονικά, κυρίως, με τη διερεύνηση του προσανατολισμού των μνημείων. Σκοπός της είναι, μέσα από αυτήν την έρευνα, να εξαγάγει συμπεράσματα για το πώς συνδέεται η ύπαρξη και κυρίως ο προσανατολισμός ενός μνημείου, με τη λατρεία, την παράδοση, τα ήθη και τα έθιμα ενός λαού. Η ενασχόλησή της στο πέρασμα των αιώνων απλώνεται σε όλο το φάσμα των μνημείων (παλαιολιθικά, νεολιθικά, προχριστιανικά και χριστιανικά). Μέσα από την έρευνα του προσανατολισμού αυτών των μνημείων έρχονται στην επιφάνεια στοιχεία που αφορούν στον τρόπο κτίσης τους και αναβιώνουν τα πολιτισμικά και λειτουργικά στοιχεία που λάμβαναν υπόψη τους οι κτίτορες κατά τη διάρκεια της θεμελίωσής τους.

Σήμερα είναι ακόμη πιο έντονο το ενδιαφέρον της παγκόσμιας κοινότητας για τα μνημεία και κυρίως για τον προσανατολισμό τους. Έντονη επίσης είναι και η προσπάθεια ώστε η διερεύνηση του προσανατολισμού μνημείων να γίνεται με μεθόδους και όργανα που να διασφαλίζουν την ορθότητα και την ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Έτσι πιστεύεται ότι μπορούν να αξιολογηθούν καλύτερα τα αποτελέσματα της διερεύνησης του προσανατολισμού μνημείων και να τεκμηριωθούν ιστορικά γεγονότα που συνδέονται με την ύπαρξη και τη λειτουργικότητά τους.

Οι μέθοδοι της Γεωδαισίας και της Γεωδαιτικής Αστρονομίας για πολλούς αιώνες εστίασαν το ενδιαφέρον τους στον προσδιορισμό των θέσεων σημείων πάνω στη επιφάνεια της γης. Χρησιμοποιώντας όργανα μέτρησης γωνιών, μηκών και υψομετρικών διαφορών αλλά και κατάλληλες μεθόδους μέτρησης και επεξεργασίας, μπορούν να

προσδιορίσουν το σχήμα και το μέγεθος της γης ή επιφανειών που βρίσκονται πάνω στην επιφανειά της.

Την τελευταία δεκαετία η επανάσταση στο χώρο των τοπογραφικών οργάνων και η εξέλιξή τους σε ολοκληρωμένους γεωδαιτικούς σταθμούς (Total Station) έχει βελτιώσει σημαντικά, τόσο σε επίπεδο ακρίβειας όσο και τεχνικοοικονομικά, τη συμβολή του τοπογράφου μηχανικού στο χώρο των αποτυπώσεων μνημείων. Η αποτύπωση ενός μνημείου συνδέεται άμεσα με τις ιδιαιτερότητες που αυτό παρουσιάζει κυρίως λόγω του μεγέθους του, της χρήσης του και του σεβασμού που πρέπει να επιδειχθεί κατά τη διάρκεια αυτής της εργασίας. Οι συνήθεις μέθοδοι αποτύπωσης μπορούν να εμπλουτιστούν και να εξελιχθούν με τη χρησιμοποίηση ειδικού εξοπλισμού, όπως όργανα που μετρούν μήκη χωρίς πρίσμα, και κατάλληλων μεθόδων για να ολοκληρωθεί με ορθότητα και ακρίβεια η αποτύπωση ενός μνημείου.

Η δημιουργία σχεδίων τεκμηρίωσης ενός μνημείου (κατόψεις, τομές-όψεις) τα οποία αποδίδουν με πληρότητα και ακρίβεια το σχήμα, το μέγεθος και όλα τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του, βοηθά σημαντικά στη μελέτη του και στη διεπιστημονική συνεργασία με άλλες επιστήμες, οδηγώντας σε πιο ασφαλή και ορθά συμπεράσματα που αφορούν σε αυτό.

Η δυνατότητα προσδιορισμού αστρονομικών αζιμουθίων συγκεκριμένων διευθύνσεων, χρησιμοποιώντας σύγχρονα ψηφιακά όργανα, ενδυναμώνει την έννοια του προσανατολισμού, της αποδίδει την πραγματική της διάσταση και σε επίπεδο υπολογισμών και σε επίπεδο ακριβειών. Έτσι με τη χρήση ψηφιακών οργάνων μέτρησης γωνιών και χρόνου είναι δυνατό να προσδιοριστεί το αστρονομικό αζιμούθιο μιας διεύθυνσης και με εφαρμογή κατάλληλων γεωδαιτικών μεθόδων μεταφοράς αζιμουθίου, να προσδιοριστεί με ακρίβεια το αζιμούθιο του προσανατολισμού ενός μνημείου.

Η εργασία αυτή έχει ως σκοπό να αναδείξει τη συμβολή της Γεωδαισίας και της Γεωδαιτικής Αστρονομίας στη διερεύνηση του προσανατολισμού μνημείων. Χρησιμοποιώντας κατάλληλες μεθόδους μέτρησης και επεξεργασίας στο χώρο των μνημείων, δημιουργώντας τοπογραφικά διαγράμματα των κατόψεών τους, αποδίδει σωστά και με ακρίβεια τα γεωμετρικά στοιχεία τους και ενδυναμώνει γεωμετρικά με αυτόν τον τρόπο τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη διερεύνηση του προσανατολισμού. Χρησιμοποιώντας τη σύγχρονη τεχνολογία, που αφορά σε μετρήσεις και υπολογισμούς μπορεί γρήγορα και με ακρίβεια

να θέσει τις γεωμετρικές βάσεις για τη μελέτη του προσανατολισμού μνημείων.

Η εργασία αποτελείται από τρία μέρη.

Στο πρώτο μέρος και στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση της μέχρι σήμερα μελέτης του προσανατολισμού αριθμού μνημείων που ανήκουν σε διάφορες ιστορικές εποχές, στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναλυτική παρουσίαση του θεωρητικού μέρους της εργασίας ενώ στο τρίτο κεφάλαιο επισημαίνεται η σημασία του φωτός και του χρόνου στον προσανατολισμό χριστιανικών ναών.

Στο δεύτερο μέρος παρουσιάζεται η περιοχή εφαρμογής της προτεινόμενης μεθοδολογίας, στη μοναστική πολιτεία των Μετεώρων. Στο τέταρτο κεφάλαιο καταγράφονται τα ιστορικά δεδομένα των ναών που ανήκουν στο χώρο αυτό, ενώ στο πέμπτο και στο έκτο κεφάλαιο αναλύονται οι διαδικασίες μέτρησης και επεξεργασίας καθώς και τα αποτελέσματα με τις αντίστοιχες αβεβαιότητες, που προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθοδολογίας στην περιοχή αυτή.

Στο τρίτο μέρος γίνεται αναλυτική παρουσίαση των συμπερασμάτων, που αφορούν στην εργασία και των προτάσεων που σκοπό έχουν να προωθήσουν την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογία στις επόμενες δεκαετίες.

Πιστεύεται ότι με αυτόν τον τρόπο αναδεικνύεται μια ακόμη πτυχή των δυνατοτήτων που παρέχουν οι επιστήμες της **Γεωδαισίας** και της **Γεωδαιτικής αστρονομίας**, ενώ ανοίγεται διάπλατα ο δρόμος της **συνεργασίας** τους με άλλες επιστήμες, όπως η **αρχαιοαστρονομία**, με απώτερο στόχο την **ανάδειξη** των μνημείων και της παράδοσης που αυτά μεταφέρουν στους αιώνες.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον καθηγητή της Σχολής Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών του ΕΜΠ και διευθυντή του Εργαστηρίου Γενικής Γεωδαισίας *Δ.-Δ. Μπαλοδήμο*, για την συνεχή καθοδήγηση, τη μεγάλη συμπαράσταση και τις ουσιαστικές συζητήσεις και συμβουλές που παρείχε κατά τη διάρκεια της εργασίας μου.

Ιδιαίτερα πολύτιμη υπήρξε η βοήθεια που μου παρείχε ο αναπληρωτής καθηγητής της Σχολής Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών του ΕΜΠ *Ρωμόλος Κορακίτης*, σε όλη τη διάρκεια της εργασίας. Τον ευχαριστώ πολύ γιατί με τις επανειλημμένες διαφωτιστικές συζητήσεις σε θέματα Γεωδαιτικής αστρονομίας, κυρίως, συνετέλεσε στην ολοκλήρωσή της

Ακόμη θα ήθελα να ευχαριστήσω την επίκουρη καθηγήτρια του Πανεπιστημίου Αθηνών του Τμήματος Μαθηματικών, *Μαρία Παπαθανασίου*, ως τρίτο μέλος της επιτροπής, για την ουσιαστική της βοήθεια και καθοδήγηση σε θέματα Αρχαιοαστρονομίας και ερμηνείας προσανατολισμού.

Ευχαριστώ θερμά τον ερευνητή του Αστεροσκοπείου Αθηνών και φίλο *Δημήτρη Σιναχόπουλο*, γιατί αποτέλεσε την αφορμή για την ενασχόλησή μου με θέματα προσανατολισμού μνημείων και γιατί με τις εύστοχες παρατηρήσεις του σε θέματα Αστρονομίας και Αρχαιοαστρονομίας, συνετέλεσε καθοριστικά στην εκπόνηση της εργασίας.

Ιδιαίτερα πολύτιμη υπήρξε για μένα η ηθική συμπαράσταση, το φιλικό ενδιαφέρον αλλά και η ουσιαστική βοήθεια, που μου προσέφερε η φίλη και συνάδελφος Τοπογράφος Μηχανικός του Ε.Μ.Π, *Ευαγγελία Λάμπρου* την οποία ευχαριστώ θερμά. Η βοήθειά της στη διάρκεια των επίπονων μετρήσεων στους χώρους των μονών των Μετεώρων και στις αστρονομικές παρατηρήσεις, χρησιμοποιώντας το σύστημα που η ίδια έχει αναπτύξει στο πλαίσιο της διδακτορικής της διατριβής, οι συνεχείς συζητήσεις σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας, αποτέλεσαν σημαντικό αρωγό στην προσπάθεια ολοκλήρωσής της.

Ευχαριστώ, ακόμα, τον καθηγητή του Ιονίου Πανεπιστημίου και διευθυντή του Κέντρου Ερεύνης του Μεσαιωνικού και Νέου Ελληνισμού, *Δημήτριο Σοφιανό*, για τις πολύτιμες συζητήσεις που είχα

μαζί του και για το πλούσιο υλικό σχετικά με τα Μετέωρα με το οποίο με εφοδίασε.

Ευχαριστώ, ακόμα τον προϊστάμενο της Ζ' εφορείας Βυζαντινών αρχαιοτήτων Λάρισα, *Λάζαρο Δεριζιώτη*, για τη χορήγηση της άδειας για την εφαρμογή της μεθοδολογίας στην περιοχή των Μετεώρων και το πραγματικό ενδιαφέρον που επέδειξε για την ολοκλήρωση της εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον Σεβασμιώτατο Μητροπολίτη Σταγών και Μετεώρων κ.κ. *Σεραφείμ* για την κατανόηση και τη χορήγηση της σχετικής άδειας, για τις απαραίτητες μετρήσεις στους ναούς των μονών των Μετεώρων.

Ιδιαίτερα όμως θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγούμενο της μονής Μεγάλου Μετεώρου Πανοσιολογιότατο Αρχιμανδρίτη π. *Αθανάσιο*, τον Καθηγούμενο της μονής Βαρλαάμ Πανοσιολογιότατο Αρχιμανδρίτη π. *Ισίδωρο*, την Καθηγουμένη της μονής Ρουσάνου *μοναχή Φιλοθέη*, τον Καθηγούμενο της μονής Αγίου Νικολάου Αναπαυσά Πανοσιολογιότατο Αρχιμανδρίτη π. *Πολύκαρπο*, τον Καθηγούμενο της μονής Αγίας Τριάδος Πανοσιολογιότατο Αρχιμανδρίτη π. *Χρυσόστομο*, την Καθηγουμένη της μονής Αγίου Στεφάνου *μοναχή Αγάθη* καθώς και τις *μοναχές, τους μοναχούς και το προσωπικό* των μονών, για τη φιλοξενία την εγκαρδιότητα, τη φιλικότητα και τη διάθεση με την οποία περιέβαλαν τόσο εμένα όσο και τους συνεργάτες μου κατά τη διάρκεια της παραμονής μας στους χώρους των Ιερών μονών, τη διενέργεια των μετρήσεων και τη συλλογή του υλικού που ήταν απαραίτητο για την εφαρμογή της μεθοδολογίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	σελ.
Πρόλογος	I
Ευχαριστίες	V
Περιεχόμενα	VII
Περίληψη	XI
Σχήματα - Διαγράμματα	XV
Πίνακες	XVIII
Φωτογραφίες	XIX
Χάρτες	XX

Εισαγωγή	1
-----------------	----------

ΜΕΡΟΣ Α

Κεφάλαιο 1

Περί του προσανατολισμού μνημείων.	5
---	----------

1.1 Γενικά	5
1.2 Προσανατολισμός αρχαίων (προχριστιανικών) μνημείων.	8
1.3 Προσανατολισμός Χριστιανικών ναών.	12

Κεφάλαιο 2

Μεθοδολογία διερεύνησης του προσανατολισμού μνημείων	15
---	-----------

2.1 Γενικά	15
2.2 Προσανατολισμός	16
2.2.1. Βασικές έννοιες	16
2.2.2. Μέθοδοι προσανατολισμού – Ακρίβειες	19
2.3 Ανάλυση μεθοδολογίας	21
2.3.1 Προσδιορισμός αστρονομικού αζιμουθίου	23
2.3.1.1 Διόρθωση λόγω αστρονομικής διάθλασης	26
2.3.2 Μέθοδοι αποτύπωσης – σχεδίασης μνημείων	27
2.3.3 Γεωμετρικός προσδιορισμός του αισθητού ορίζοντα του μνημείου	29
2.3.4 Προσδιορισμός της θέσης του ήλιου	33
2.4 Ανάλυση ακρίβειας της μεθοδολογίας	40
2.4.1 Σφάλμα στον προσδιορισμό του αστρονομικού αζιμουθίου.	40
2.4.2 Σφάλμα στον προσδιορισμό της γωνίας διεύθυνσης	43

του βασικού άξονα ή άλλων ειδικών διευθύνσεων.	
2.4.3 Σφάλμα στον προσδιορισμό της οριογραμμής του αισθητού ορίζοντα.	45
2.4.4 Σφάλμα στον προσδιορισμό της θέσης ή της πορείας του ήλιου.	47
2.4.5 Τελική ακρίβεια	48
2.5 Διαδικασία - Αβεβαιότητα χρονολόγησης μνημείων	49

Κεφάλαιο 3

Βασικές παράμετροι προσανατολισμού. 51

3.1 Ταξινόμηση και γεωμετρικός προσδιορισμός των χαρακτηριστικών γραμμών και διευθύνσεων του μνημείου.	51
3.2. Κλίμακες χρόνου.	52
3.2.1. Επιστημονικές κλίμακες χρόνου.	53
3.2.2. Εκκλησιαστικές κλίμακες χρόνου.	55
3.3. Ο ρόλος του φωτός στο χριστιανικό ναό.	56

ΜΕΡΟΣ Β ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Κεφάλαιο 4

Ιστορικά δεδομένα για τη μοναστική πολιτεία του Μετεωρίτικου χώρου. 59

4.1. Γενικά	59
4.2. Η ιερά μονή Μεγάλου Μετεώρου	63
4.3. Η ιερά μονή Βαρλαάμ	65
4.4. Η ιερά μονή Ρουσάνου	66
4.5. Η ιερά μονή Αγίου Νικολάου Αναπαυσά	68
4.6. Η ιερά μονή Αγίας Τριάδος	70
4.7. Η ιερά μονή Αγίου Στεφάνου	73
4.8. Ο ιερός ναός Παναγίας της Δούπιανης	75
4.9. Ο ιερός ναός Κοιμήσεως της Θεοτόκου–Καλαμπάκα	76

Κεφάλαιο 5

Γεωδαιτικές και αστρονομικές μετρήσεις. 79

5.1. Γενικά	79
5.2. Ίδρυση γεωδαιτικού δικτύου με το σύστημα GPS.	79
5.3. Αστρονομικές παρατηρήσεις– Προσδιορισμός	84

αστρονομικού Βορρά.- Προσανατολισμός δικτύου.	
5.4. Γεωδαιτικές μετρήσεις	86
5.4.1 Παρατηρήσεις – Επισημάνσεις	89

Κεφάλαιο 6

Επεξεργασία μετρήσεων και παρουσίαση αποτελεσμάτων. 91

6.1. Γενικά	91
6.2. Η ιερά μονή Μεγάλου Μετεώρου	94
6.3. Η ιερά μονή Βαρλαάμ	103
6.4. Η ιερά μονή Ρουσάνου	110
6.5. Η ιερά μονή Αγίου Νικολάου Αναπαυσά	116
6.6. Η ιερά μονή Αγίας Τριάδος	126
6.7. Η ιερά μονή Αγίου Στεφάνου	134
6.8. Ο ιερός ναός Παναγίας της Δούπιανης	142
6.9. Ο ιερός ναός Κοιμήσεως της Θεοτόκου στην Καλαμπάκα	146
6.10. Συμπεράσματα	151

ΜΕΡΟΣ Γ

Κεφάλαιο 7

Συμπεράσματα - Προτάσεις 159

7.1. Γενικά συμπεράσματα	159
7.2. Προτάσεις	162

ΜΕΡΟΣ Δ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α 165

Στοιχεία για τις κορυφές του γεωδαιτικού δικτύου.	165
Στοιχεία μετρήσεων πολυγωνομετρίας	166
Στοιχεία υπολογισμού αστρονομικού αζιμουθίου	177

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β 179

Κώδικες προγραμμάτων Η/Υ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 185

ABSTRACT 191

Περίληψη

Στην εργασία αυτή εξετάζεται η δυνατότητα εφαρμογής γεωδαιτικών και αστρονομικών μεθόδων στη διερεύνηση του προσανατολισμού μνημείων. Γίνεται εφαρμογή σε Βυζαντινά μνημεία και συγκεκριμένα στη μοναστική πολιτεία των Μετεώρων.

Η εργασία αποτελείται από επτά κεφάλαια, που χωρίζονται σε τρία μέρη.

Το **πρώτο μέρος** αποτελείται από τρία κεφάλαια.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση της εξέλιξης της μελέτης προσανατολισμού μνημείων σε διάφορες ιστορικές περιόδους και για διαφορετικές περιοχές (ή τόπους) της γης. Σκοπός αυτής της παρουσίασης είναι να εντοπιστούν τα προβλήματα και οι ιδιαιτερότητες που παρουσιάζει η έρευνα του προσανατολισμού μνημείων μέχρι σήμερα και να αναδειχθεί μέσα από αυτά η ανάγκη παρέμβασης με την προτεινόμενη μεθοδολογία.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται, οι γεωδαιτικές και αστρονομικές μέθοδοι μέτρησης και υπολογισμών, οι οποίες χρησιμοποιούνται τόσο για τη γεωμετρική τεκμηρίωση των μνημείων και τη δημιουργία των τοπογραφικών διαγραμμάτων της κάτοψής τους, όσο και για τον προσδιορισμό του αστρονομικού αζιμουθίου του βασικού άξονα ή άλλων ειδικών διευθύνσεών τους. Αναλύεται η μεθοδολογία μέτρησης και αναγωγής του αισθητού ορίζοντα που βρίσκεται μπροστά από το μνημείο καθώς και η διαδικασία προσδιορισμού της πορείας του ήλιου και γίνεται μια προσπάθεια διερεύνησης της συστηματικής μεταβολής της πορείας αυτής, ώστε να χρησιμοποιηθεί για τη χρονολόγηση μνημείων. Ακόμη γίνεται ανάλυση της ακρίβειας που επτυγχάνεται.

Στο τρίτο κεφάλαιο ορίζονται γεωμετρικά οι χαρακτηριστικές διευθύνσεις που μπορούν να αναγνωριστούν στο χώρο ενός μνημείου, γίνεται αναφορά στις κλίμακες του χρόνου, επιστημονικές και εκκλησιαστικές, οι οποίες είναι καθοριστικές για τη λειτουργία και τον προσανατολισμό ειδικά για τους χριστιανικούς ναούς. Επίσης αναλύεται μια άλλη σημαντική παράμετρος για τον προσανατολισμό ενός μνημείου, που είναι το φυσικό φως, ο τρόπος και ο χρόνος που αυτό φωτίζει το μνημείο.

Το **δεύτερο μέρος** αποτελείται από τρία κεφάλαια και στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται η εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας στις μονές στη **μοναστική πολιτεία των Μετεώρων**.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα ιστορικά στοιχεία που αφορούν στο σύνολο των εν λειτουργία μονών της μοναστικής πολιτείας του Μετεωρίτικου χώρου. Σ' αυτά περιλαμβάνεται ο μικρός ναός της Παναγίας της Δούπιανης, ο πρώτος που κτίστηκε στην περιοχή, και ο ιερός ναός της Κοιμήσεως της Θεοτόκου στην Καλαμπάκα, λόγω της ιστορικής αξίας του.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση των γεωδαιτικών και αστρονομικών μετρήσεων, των οργάνων που χρησιμοποιήθηκαν και των μεθόδων που εφαρμόστηκαν προκειμένου να πραγματοποιηθούν οι εργασίες στις έξι Μονές και στους ναούς της Παναγίας της Δούπιανης και της Κοιμήσεως της Θεοτόκου στην Καλαμπάκα.

Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται ανάλυση της επεξεργασίας των μετρητικών στοιχείων που οδηγούν στη σύνταξη τόσο των τοπογραφικών διαγραμμάτων των κατόψεων των ναών όσο και των διαγραμμάτων των οριζόντων. Υπολογίζονται τα γεωμετρικά στοιχεία (αστρονομικά αζιμούθια) των βασικών αξόνων και άλλων χαρακτηριστικών γραμμών για κάθε ναό, σχεδιάζονται οι πορείες του ήλιου για τις ημερομηνίες που παρουσιάζουν ιστορικό και θρησκευτικό ενδιαφέρον και εντάσσονται στα διαγράμματα των οριζόντων. Υπολογίζονται επίσης και παριστάνονται γραφικά τόσο οι αβεβαιότητες προσδιορισμού των επιμέρους γεωμετρικών στοιχείων όσο και η τελική αβεβαιότητα που επετεύχθη στη διερεύνηση του προσανατολισμού κάθε ναού.

Παρουσιάζονται ακόμη τα συμπεράσματα από την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας στους ναούς των μονών των Μετεώρων. Από αυτά διαπιστώνεται ότι ο προσανατολισμός των ναών σχετίζεται άμεσα με τη θέση του ήλιου στον ορίζοντα είτε κατά την ημέρα στην οποία τιμάται η μνήμη του αγίου στον οποίο αφιερώνεται ο ναός, είτε την ημέρα της ισημερίας, κατά το έτος κτίσης. Ακόμη ερμηνεύεται με γεωμετρικό τρόπο η επιλογή της θέσης ανοιγμάτων στο χώρο του Ιερού Βήματος, συνδυάζοντας έτσι τα θρησκευτικά τελετουργικά με την κατάλληλη επιλογή του προσανατολισμού του ναού.

Στο **τρίτο μέρος** και στο έβδομο κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση των συμπερασμάτων και των πλεονεκτημάτων της προτεινόμενης μεθοδολογίας. Τα συμπεράσματα αυτά αποδεικνύουν ότι χρησιμοποιώντας γεωδαιτικές και αστρονομικές μεθόδους μέτρησης και επεξεργασίας μπορεί να διερευνηθεί ο προσανατολισμός μνημείων και να γίνει δυνατή

η χρονολόγησή τους, σε ικανοποιητικό εύρος χρόνων. Παράλληλα καταγράφονται οι παράμετροι, οι οποίες είναι απαραίτητες για τη διερεύνηση του προσανατολισμού ενός μνημείου και προτείνεται η αξιοποίηση της μεθοδολογίας, για τη δημιουργία μιας βάσης δεδομένων μνημείων, η οποία θα περιλαμβάνει στοιχεία τεκμηρίωσης, προσανατολισμού και ερμηνείας του καθώς και ιστορικά δεδομένα για κάθε μνημείο (καταγραφή), πράγμα ιδιαίτερα χρήσιμο, αναγκαίο και επίκαιρο τόσο για τον Ελλαδικό χώρο όσο και για το Διεθνή.

Σχήματα - Διαγράμματα

σελ.

Σχήμα 2.1 : Αστρονομικό πλάτος Φ και Αστρονομικό μήκος Λ	17
Σχήμα 2.2 : Αστρονομικό αζιμούθιο	18
Σχήμα 2.3 : Γωνία διεύθυνσης	18
Σχήμα 2.4 : Σχηματική παράσταση της διερεύνησης του προσανατολισμού μνημείων.	22
Σχήμα 2.5 : Τρίγωνο θέσης ενός αστέρα S.	25
Σχήμα 2.6 : Σχηματική παρουσίαση του φαινομένου της αστρονομικής διάθλασης	26
Σχήμα 2.7 : Διάγραμμα μεταβολής της ατμοσφαιρικής διάθλασης για $P=990\text{mb}$ και $\theta=20^\circ\text{C}$	27
Σχήμα 2.8 : Γεωμετρική αναγωγή της οριογραμμής του αισθητού ορίζοντα	31
Σχήμα 2.9 : Διάγραμμα μεταβολής του αζιμουθίου (ΔA_Z) συναρτήσει του A_Z και του S, για μήκος $D=5\text{m}$.	32
Σχήμα 2.10 : Διάγραμμα μεταβολής του αζιμουθίου (ΔA_Z) συναρτήσει του A_Z και του S, για μήκος $D=10\text{m}$.	32
Σχήμα 2.11 : Διάγραμμα μεταβολής του αζιμουθίου (ΔA_Z) συναρτήσει του A_Z και του S, για μήκος $D=20\text{m}$.	32
Σχήμα 2.12 : Διάγραμμα μεταβολής της γωνίας ύψους συναρτήσει του ΔH_{AB} και του S.	33
Σχήμα 2.13 : Ουράνια σφαίρα	34
Σχήμα 2.14 : Ισημερίες και ηλιοστάσια για τόπο με $\varphi \approx 35^\circ$	35
Σχήμα 2.15 : Διάγραμμα πορείας ήλιου μιας ημέρας	36
Σχήμα 2.16 : Διάγραμμα μεταβολής της πορείας του ήλιου για τις 22/12 (που βρίσκεται κοντά στο χειμερινό ηλιοστάσιο) από 99 π.Χ έως τον 21 ^ο αιώνα.	38
Σχήμα 2.17: Διάγραμμα μεταβολής της πορείας του ήλιου για τις 16/11 από 99 π.Χ έως τον 21 ^ο αιώνα.	38
Σχήμα 2.18: Διάγραμμα μεταβολής της πορείας του ήλιου για τις 21/3 (που βρίσκεται κοντά στην ισημερία) από 99 π.Χ έως τον 21 ^ο αιώνα.	39
Σχήμα 2.19 : Διάγραμμα μεταβολής σφάλματος της γωνίας διεύθυνσης μιας ευθείας συναρτήσει της απόστασης των σημείων που την ορίζουν και του σφάλματος σ_x των συντεταγμένων τους.	44
Σχήμα 2.20 : Σχηματική παράσταση της αβεβαιότητας διερεύνησης του προσανατολισμού ενός μνημείου	49
Σχήμα 5.1 : Μορφή τρισδιάστατου γεωδαιτικού δικτύου	80
Σχήμα 5.2 : Γεωμετρική αναγωγή λόγω έκκεντρης σκόπευσης	88

	του συστήματος T1610 + Dior3002	
Σχήμα 6.1 :	Ιερά μονή Μεγάλου Μετεώρου Κάτοψη ιερού ναού Μεταμορφώσεως και παρεκκλησίου Ιωάννου Προδρόμου	98
Σχήμα 6.2 :	Ιερά μονή Μεγάλου Μετεώρου Διάγραμμα ορίζοντα ιερού ναού Μεταμορφώσεως παρεκκλησίου Ιωάννου Προδρόμου	99
Σχήμα 6.3 :	Ιερά μονή Μεγάλου Μετεώρου Κάτοψη ιερού ναού Κωνσταντίνου και Ελένης	100
Σχήμα 6.4 :	Ιερά μονή Μεγάλου Μετεώρου Διάγραμμα ορίζοντα ιερού ναού Κωνσταντίνου και Ελένης	101
Σχήμα 6.5 :	Ιερά μονή Βαρλαάμ Κάτοψη ιερού ναού Αγίων Πάντων	105
Σχήμα 6.6 :	Ιερά μονή Βαρλαάμ Διάγραμμα ορίζοντα ιερού ναού Αγίων Πάντων	106
Σχήμα 6.7 :	Ιερά μονή Βαρλαάμ Κάτοψη ιερού ναού Τριών Ιεραρχών	107
Σχήμα 6.8 :	Ιερά μονή Βαρλαάμ Διάγραμμα ορίζοντα ιερού ναού Τριών Ιεραρχών	108
Σχήμα 6.9 :	Ιερά μονή Ρουσάνου Κάτοψη ιερού ναού της Μεταμορφώσεως και παρεκκλησίου της Αγίας Βαρβάρας	112
Σχήμα 6.10 :	Ιερά μονή Ρουσάνου Διάγραμμα ορίζοντα ιερού ναού Μεταμορφώσεως	113
Σχήμα 6.11 :	Ιερά μονή Ρουσάνου Διάγραμμα ορίζοντα παρεκκλησίου Αγίας Βαρβάρας	114
Σχήμα 6.12 :	Ιερά μονή Αγίου Νικολάου Αναπαυσά Κάτοψη παρεκκλησίου Αγίου Αντωνίου	119
Σχήμα 6.13 :	Ιερά μονή Αγίου Νικολάου Αναπαυσά Διάγραμμα ορίζοντα παρεκκλησίου Αγίου Αντωνίου	120
Σχήμα 6.14 :	Ιερά μονή Αγίου Νικολάου Αναπαυσά Κάτοψη ιερού ναού Αγίου Νικολάου	121
Σχήμα 6.15 :	Ιερά μονή Αγίου Νικολάου Αναπαυσά Διάγραμμα ορίζοντα ιερού ναού Αγίου Νικολάου	122
Σχήμα 6.16 :	Ιερά μονή Αγίου Νικολάου Αναπαυσά Κάτοψη παρεκκλησίου Αγίου Ιωάννου	123
Σχήμα 6.17 :	Ιερά μονή Αγίου Νικολάου Αναπαυσά Διάγραμμα ορίζοντα παρεκκλησίου Αγίου Ιωάννου	124
Σχήμα 6.18 :	Ιερά μονή Αγίας Τριάδος Κάτοψη ιερού ναού Αγίας Τριάδος	128
Σχήμα 6.19 :	Ιερά μονή Αγίας Τριάδος Διάγραμμα ορίζοντα ιερού ναού Αγίας Τριάδος	129

Σχήμα 6.20 : Ιερά μονή Αγίας Τριάδος Διάγραμμα ορίζοντα δυτικού παραθύρου ιερού ναού Αγίας Τριάδος	130
Σχήμα 6.21 : Ιερά μονή Αγίας Τριάδος Κάτοψη παρεκκλησίου Τιμίου Προδρόμου	131
Σχήμα 6.22 : Ιερά μονή Αγίας Τριάδος Διάγραμμα ορίζοντα παρεκκλησίου Τιμίου Προδρόμου	132
Σχήμα 6.23 : Ιερά μονή Αγίου Στεφάνου Κάτοψη ιερού ναού Αγίου Στεφάνου	136
Σχήμα 6.24 : Ιερά μονή Αγίου Στεφάνου Διάγραμμα ορίζοντα Ιερού ναού Αγίου Στεφάνου	137
Σχήμα 6.25 : Ιερά μονή Αγίου Στεφάνου Κάτοψη ιερού ναού Αγίου Χαραλάμπους	138
Σχήμα 6.26 : Ιερά μονή Αγίου Στεφάνου Κάτοψη αισθητού ορίζοντα ιερού ναού Αγίου Χαραλάμπους	139
Σχήμα 6.27 : Ιερά μονή Αγίου Στεφάνου Διάγραμμα ορίζοντα ιερού ναού Αγίου Χαραλάμπους	140
Σχήμα 6.28 : Κάτοψη ιερού ναού Παναγίας της Δούπιανης	143
Σχήμα 6.29 : Διάγραμμα ορίζοντα ιερού ναού Παναγίας της Δούπιανης	144
Σχήμα 6.30 : Κάτοψη ιερού ναού Κοιμήσεως της Θεοτόκου– Καλαμπάκα.	148
Σχήμα 6.31 : Διάγραμμα ορίζοντα ιερού ναού Κοιμήσεως της Θεοτόκου. Καλαμπάκα	149
Σχήμα 6.32: Γεωμετρική παρουσίαση και προσανατολισμός των ναών της μοναστικής πολιτείας των Μετεώρων.	155
Σχήμα 6.33 : Στατιστικά στοιχεία, σχετικά με την ερμηνεία του προσανατολισμού των ναών που μελετήθηκαν.	156
Σχήμα A1 : Πολυγωνομετρικό δίκτυο στην ιερά μονή Μεγάλου Μετεώρου	167
Σχήμα A2 : Πολυγωνομετρικό δίκτυο στην ιερά μονή Βαρλαάμ	168
Σχήμα A3 : Πολυγωνομετρικό δίκτυο στην ιερά μονή Ρουσάνου	169
Σχήμα A4 : Πολυγωνομετρικό δίκτυο στην ιερά μονή Αγίου Νικολάου Αναπαυσά	171
Σχήμα A5 : Πολυγωνομετρικό δίκτυο στην ιερά μονή Αγίας Τριάδος	172
Σχήμα A6 : Πολυγωνομετρικό δίκτυο στην ιερά μονή Αγίου Στεφάνου	172
Σχήμα A7: Πολυγωνομετρικό δίκτυο στον ιερό ναό Παναγίας της Δούπιανης.	174

Σχήμα A8: Πολυγωνομετρικό δίκτυο στον ιερό ναό Κοιμήσεως της Θεοτόκου στην Καλαμπάκα	175
---	-----

Πίνακες

	σελ.
Πίνακας 2.1: Μονάδες μέτρησης γωνιών	18
Πίνακας 2.2 : Χαρακτηριστικά στοιχεία του ήλιου	34
Πίνακας 5.1: Ορθογώνιες συντεταγμένες στο ΕΓΣΑ 87 και ορθομετρικά υψόμετρα τρισδιάστατου γεωδαιτικού δικτύου.	82
Πίνακας 5.2 : Ελλειψοειδείς συντεταγμένες γεωδαιτικού δικτύου	83
Πίνακας 6.1 : Συγκεντρωτικός πίνακας παρουσίασης αποτελεσμάτων για τον προσανατολισμό των ναών των μονών των Μετέωρων	152
Πίνακας A1 : Συντεταγμένες κορυφών πολυγωνομετρικού δικτύου στην ιερά μονή Μεγάλου Μετεώρου	166
Πίνακας A2 : Συντεταγμένες κορυφών πολυγωνομετρικού δικτύου στην ιερά μονή Βαρλαάμ.	168
Πίνακας A3 : Συντεταγμένες κορυφών πολυγωνομετρικού δικτύου στην ιερά μονή Ρουσάνου.	169
Πίνακας A4 : Συντεταγμένες κορυφών πολυγωνομετρικού δικτύου στην ιερά μονή Αγίου Νικολάου του Αναπαυσά.	170
Πίνακας A5 : Συντεταγμένες κορυφών πολυγωνομετρικού δικτύου στην ιερά μονή Αγίας Τριάδος.	171
Πίνακας A6 : Συντεταγμένες κορυφών πολυγωνομετρικού δικτύου στην ιερά μονή Αγίου Στεφάνου.	173
Πίνακας A7 : Συντεταγμένες κορυφών πολυγωνομετρικού δικτύου στον ιερό ναό Παναγίας της Δούπιανης.	174
Πίνακας A8 : Συντεταγμένες κορυφών πολυγωνομετρικού δικτύου στον ιερό ναό Κοιμήσεως της Θεοτόκου στην Καλαμπάκα.	175
Πίνακας A9 : Συγκεντρωτικά στοιχεία από τις γεωδαιτικές μετρήσεις.	176
Πίνακας A10 : Στοιχεία προσδιορισμού του αστρονομικού αζιμουθίου T2 – T1	177
Πίνακας A11 : Στοιχεία προσδιορισμού του αστρονομικού αζιμουθίου T4 – T0	178

<u>Φωτογραφίες</u>	σελ.
Φωτ. 4.1 : Γενική άποψη των Μετεώρων	59
Φωτ. 4.2 : Η ιερά μονή Μεγάλου Μετεώρου	63
Φωτ. 4.3 : Η ιερά μονή Βαρλαάμ	65
Φωτ. 4.4 : Η ιερά μονή Ρουσάνου	67
Φωτ. 4.5 : Η ιερά μονή Αγίου Νικολάου Αναπαυσά	69
Φωτ. 4.6 : Η ιερά μονή Αγίας Τριάδος	70
Φωτ. 4.7 : Χειρόγραφο της μονής Αγίας Τριάδος Κώδιξ 42, φ. 157 ^α (δείγμα γραφής του κειμένου και σχέδια αστρονομικά, ΙΗ αι.)	71
Φωτ. 4.8 : Χειρόγραφο της μονής Αγίας Τριάδος, Κώδιξ 42, φ. 97 ^α (δείγμα γραφής του κειμένου και σχέδια αστρονομικά, ΙΗ αι.)	72
Φωτ. 4.9 : Η ιερά μονή Αγίου Στεφάνου	74
Φωτ.4.10 : Ο ιερός ναός Παναγίας της Δούπιανης	75
Φωτ.4.11 : Ο ιερός ναός Κοιμήσεως της Θεοτόκου	76
Φωτ. 5.1 : Δέκτης GPS	81
Φωτ. 5.2 : Ο ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός TDM 5000	84
Φωτ.5.3 : Τοπογραφικό όργανο MDL	87
Φωτ. 5.4 : Τοπογραφικό όργανο GTS211D	87
Φωτ. 5.5 : Σύστημα μέτρησης Dior3002 + T1610	87
Φωτ. 6.1 : Πλάκα στο δάπεδο του Ιερού ναού της Μεταμορφώσεως	94
Φωτ. 6.2 : Ορίζοντας ιεράς μονής Μεγάλου Μετεώρου	102
Φωτ. 6.3 : Ορίζοντας ιεράς μονής Βαρλαάμ	109
Φωτ. 6.4 : Ορίζοντας ιεράς μονής Ρουσάνου	115
Φωτ. 6.5 : Ορίζοντας ιεράς μονής Αγίου Νικολάου Αναπαυσά	125
Φωτ. 6.6 : Ορίζοντας ιεράς μονής Αγίας Τριάδος	133
Φωτ. 6.7 : Ορίζοντας ιεράς μονής Αγίου Στεφάνου	141
Φωτ. 6.8 : Ορίζοντας ιερού ναού Παναγίας της Δούπιανης	145
Φωτ. 6.9 : Ορίζοντας ιερού ναού Κοιμήσεως της Θεοτόκου στην Καλαμπάκα	150

Χάρτες

σελ.

Χάρτης 4.1 : Η Ελλάδα	60
Χάρτης 4.2 : Η Θεσσαλία	60
Χάρτης 4.3 : Νομός Τρικάλων - Μετέωρα	60
Χάρτης 4.4 : Μοναστική πολιτεία των Μετεώρων	62

Εισαγωγή

Τα μνημεία, με την ευρύτερη έννοια του όρου, αποτελούν την ιστορική και πολιτισμική κληρονομιά ενός έθνους και είναι αυτά που με την παρουσία τους μέσα στο πέρασμα των αιώνων μεταφέρουν αναλλοίωτα τα γεγονότα μιας περιόδου και κληροδοτούν στις σύγχρονες γενιές πολιτισμικές αξίες και γνώση.

Είναι λογικό λοιπόν τα μνημεία να έχουν διαχρονικά αποτελέσει αντικείμενο μελέτης από διαφορετικούς επιστήμονες και επιστήμες. Έχουν γίνει πολλές μελέτες με σκοπό τη διερεύνηση των στοιχείων που τα συνθέτουν, η καταγραφή των ιστορικών δεδομένων που προκύπτουν από την ανάλυση των στοιχείων αυτών και η πληρέστερη παρουσίαση τόσο της τεχνογνωσίας όσο και του ιστορικού πλούτου που περικλείουν.

Η κατασκευή και η χωροθέτηση ενός μνημείου συνδέεται άμεσα με τη χρήση του, την ιστορικότητα και τη λειτουργικότητά του αλλά και με την τοπογραφία του χώρου στον οποίο αυτό έχει κατασκευασθεί. Η θέση ενός μνημείου στο χώρο και ο προσανατολισμός του αποτελούν στοιχεία που είναι άρρηκτα συνδεδεμένα με τη χρήση και τη λειτουργία του και σχετίζονται, κυρίως, με τις λατρευτικές τελετές που αυτό εξυπηρετεί και μεταδίδει μέσα στο πέρασμα του χρόνου. Ο προσανατολισμός και η υλοποίηση κάποιων συγκεκριμένων διευθύνσεων στο χώρο, αντανακλούν τα έθιμα που ακολουθούσαν οι προϊστορικοί ή οι ιστορικοί κτίτορες του μνημείου. Αυτά ακριβώς τα δεδομένα γίνονται αντικείμενο συστηματικής μέτρησης από την Αρχαιοτοπογραφία [21].

Σε παγκόσμια κλίμακα και στο πλαίσιο της Αρχαιοαστρονομίας, άλλωστε, έχουν γίνει κάποιες συστηματικές προσπάθειες ανάλυσης και έχουν καταγραφεί αποτελέσματα που αναφέρονται στον τρόπο προσανατολισμού μνημείων, κυρίως διαφόρων παλαιότερων προϊστορικών και ιστορικών περιόδων (τάφοι, αρχαίοι ναοί, μεμονωμένα μνημεία).

Στην Ελλάδα η προσπάθεια διερεύνησης του τρόπου προσανατολισμού μνημείων έχει εντοπισμένα εφαρμοστεί σε περιορισμένο αριθμό μνημείων και έχει δείξει ότι ο προσανατολισμός τους δεν είναι τυχαίος αλλά συνδέεται με τη λατρεία και τη χρήση για την οποία αυτά προορίζονταν.

Από τη μελέτη των εργασιών των επιστημόνων, οι οποίοι μέχρι σήμερα ασχολήθηκαν με τη διερεύνηση του προσανατολισμού μνημείων και τεκμηρίωσαν την έρευνα σ' αυτό το αντικείμενο, διαπιστώθηκαν κάποια αδύνατα σημεία. Αυτά είναι:

α) Ο σχετικά ατελής και επομένως όχι ακριβής ορισμός του άξονα ή άλλων ειδικών διευθύνσεων ενός μνημείου, λόγω της μη ύπαρξης λεπτομερούς αποτύπωσης – τεκμηρίωσής του.

β) η αδυναμία προσδιορισμού του αστρονομικού αζιμουθίου των γραμμών αυτών με την απαραίτητη ακρίβεια. Μέχρι τώρα ο προσδιορισμός αυτός γίνεται κυρίως με τη χρήση τοπογραφικής πυξίδας, με μεγάλη πιθανότητα σφάλματος.

γ) η αδυναμία μέτρησης και παρουσίασης της οριογραμμής του ορίζοντα, ο οποίος βρίσκεται μπροστά από κάθε μνημείο.

Η γνώση των παραπάνω στοιχείων μπορεί να προκύψει μόνο από την ορθή γεωμετρική απόδοση - τεκμηρίωση της μορφής του μνημείου και της οριογραμμής του ορίζοντα και από την εφαρμογή αστρονομικών μετρήσεων. Οι Τοπογραφικές μέθοδοι μπορούν με την παρέμβασή τους να επιλύσουν το πρόβλημα αυτό, χρησιμοποιώντας σύγχρονες και σύνθετες μεθόδους αποτύπωσης, να παράγουν σχέδια με συγκεκριμένη ακρίβεια και να δημιουργήσουν μια αξιόπιστη βάση δεδομένων των σχεδίων κάτοψης των μνημείων αυτών. Έτσι συμβάλλουν καθοριστικά στη συλλογή τέτοιου είδους πληροφοριών, που είναι η βασική γνώση για τη σωστή και αξιόπιστη ερμηνεία του προσανατολισμού ενός μνημείου.

Η εργασία αυτή έχει στόχο να αναδείξει τη συμβολή των Γεωδαιτικών και Αστρονομικών μεθόδων στη μελέτη για τη διερεύνηση και ερμηνεία του προσανατολισμού των μνημείων.

Μ' αυτό τον τρόπο είναι δυνατό να προκύψει μια ολοκληρωμένη και επιστημονικά τεκμηριωμένη έρευνα για τις γνώσεις και τη χρήση της αστρονομίας που είχαν οι πρόγονοί μας σε διάφορες εποχές και πόσο αυτό επηρέασε την τεχνολογία, τον πολιτισμό και τα έργα τους.

Η Βυζαντινή περίοδος αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές περιόδους για το Ελληνικό Έθνος, κατά τη διάρκεια της οποίας άνθησαν και άκμασαν με ιδιαίτερη λαμπρότητα πολλές επιστήμες και κατασκευάστηκαν μεγαλοπρεπή οικοδομήματα. Η περίοδος αυτή συνδέεται με την ιστορική και κυρίως τη θρησκευτική ανάταση του Έθνους, την εξάπλωση του Χριστιανισμού και την καθιέρωσή του ως επίσημη θρησκεία του Βυζαντινού Κράτους. Την περίοδο αυτή ανεγείρονται μεγάλα Ορθόδοξα Χριστιανικά μνημεία που έχουν μείνει αναλλοίωτα στο πέρασμα του χρόνου.

Στη διάρκεια του τελευταίου χρονικά τμήματος αυτής της ιστορικής περιόδου ξεκινά η ιστορία των Μετεώρων και συνεχίζεται τους επόμενους αιώνες. Η θρησκευτική μεγαλοπρέπεια που εκπέμπουν και η ιστορικότητα που μεταφέρουν μέχρι σήμερα, είναι οι λόγοι που οδήγησαν στην επιλογή τους ως πεδίο εφαρμογής της συγκεκριμένης μεθοδολογίας.

Το τοπογραφικό ανάγλυφο της μοναστικής πολιτείας των Μετεώρων εμφανίζει ιδιαιτερότητες, που σχετίζονται με τη μορφολογία των βράχων και τον περιορισμένο χώρο στον οποίο έχουν κατασκευαστεί πολλοί ναοί. Αυτό είναι ένα ακόμη στοιχείο, το οποίο οδήγησε στην επιλογή αυτού του χώρου για την εφαρμογή της μεθοδολογίας

Με βάση την προτεινόμενη μεθοδολογία είναι δυνατή η γεωμετρική διερεύνηση του προσανατολισμού Ορθόδοξων και άλλων μνημείων και ο εντοπισμός συστηματικής και συγκεκριμένης επιλογής της θέσης τους που σχετίζεται τόσο με τη φαινόμενη θέση του ήλιου, ο οποίος έχει θεμελιώδη ρόλο σε πολλές θρησκείες ή δοξασίες, όσο και με τη λατρευτική και λειτουργική διαδικασία των μνημείων αυτών.

Τα στοιχεία που είναι απαραίτητα και με τη βοήθεια των οποίων είναι δυνατή η διερεύνηση και ερμηνεία του προσανατολισμού μνημείων, είναι τα εξής:

1. Ο προσδιορισμός του αστρονομικού αζιμουθίου μιας διεύθυνσης με αστρονομικές παρατηρήσεις.
2. Η μεταφορά του αστρονομικού αζιμουθίου στο χώρο του μνημείου με γεωδαιτικές μεθόδους.
3. Η ορθή και πλήρης γεωμετρική αποτύπωση του μνημείου για τον καθορισμό των ορθών διαστάσεων και τον προσδιορισμό των αζιμουθίων τόσο του βασικού άξονά του όσο και άλλων χαρακτηριστικών διευθύνσεων.
4. Ο γεωμετρικός προσδιορισμός της οριογραμμής του αισθητού ορίζοντα (ορεινοί όγκοι, άλλα κτίσματα) που βρίσκεται μπροστά από το μνημείο.
5. Ο προσδιορισμός της πορείας του ήλιου ή άλλου αστέρα σε μια συγκεκριμένη ημερομηνία.

6. Η συλλογή και η σωστή αξιοποίηση των ιστορικών δεδομένων που αφορούν στο μνημείο καθώς και η προσεκτική διασταύρωση συμπερασμάτων που θα προκύψουν, με αξιόπιστες αρχαιολογικές – ιστορικές πληροφορίες, σχετικές με την κτίση των μνημείων.

Συνδυάζοντας τα παραπάνω στοιχεία είναι δυνατό να προσδιοριστεί με ακρίβεια ο προσανατολισμός του μνημείου και επιπλέον να προσδιοριστούν:

- Ο προσανατολισμός του μνημείου με μεγάλη ακρίβεια.
- Η θεότητα ή ο άγιος (αν πρόκειται για χριστιανικό ναό) όπου είναι αφιερωμένο το μνημείο.
- Η χρονική περίοδος κτίσης του μνημείου.

Αποτελέσματα τέτοιου είδους ερευνών, που είναι τεκμηριωμένες επιστημονικά και γεωμετρικά, μπορούν να συνεισφέρουν αποφασιστικά στη θεωρητική Αρχαιολογία, η οποία με μια διεπιστημονική προσέγγιση μέσα από την Αρχαία Ιστορία, την Αστρονομία, τις αρχαίες θρησκείες και την Εθνογραφία θα μπορέσει να προωθήσει και να βελτιώσει την περαιτέρω αξιολόγηση και την ορθή ερμηνεία παραμέτρων οικονομικών, εθνολογικών, θρησκευτικών, ημερολογιακών, με την αυγή της νέας χιλιετίας.

Κεφάλαιο 1

Περί του προσανατολισμού των μνημείων.

1.1 Γενικά

Τα μνημεία - με την ευρύτερη έννοια του όρου - αποτελούν αναπόσπαστο μέρος της πολιτιστικής κληρονομιάς και της ιστορίας. Εκφράζουν την ενέργεια, τη δυναμική αλλά και την πίστη του ανθρώπου σε παραδόσεις, αρχές και ιδανικά. Είναι λοιπόν λογικό να αποτελούν αντικείμενο έρευνας μέσα στο πέρασμα του χρόνου με στόχο την αναζήτηση της αλήθειας και της ερμηνείας της ιστορικότητάς τους. Ο προσανατολισμός των μνημείων έχει αποτελέσει διαχρονικά αντικείμενο έρευνας με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων που αφορούν σε αρχιτεκτονικά, πολιτισμικά, ιστορικά και άλλα στοιχεία σχετικά με τη θεμελίωση, τη δημιουργία, τη λειτουργία και την πολιτιστική κληρονομιά που μεταλαμπαδεύουν από γενεά σε γενεά.

Με τον όρο Προσανατολισμός ενός μνημείου ορίζεται η απόλυτη θέση και η διεύθυνσή του στο χώρο δηλαδή η διαδικασία εκείνη με τη βοήθεια της οποίας είναι δυνατόν ένα μνημείο να τοποθετηθεί στο χώρο σε συγκεκριμένη διεύθυνση (αζιμούθιο) ως προς μια βασική διεύθυνση αναφοράς.

Η σχέση του προσανατολισμού ενός μνημείου με το σημείο της Ανατολής του ήλιου ή ενός αστέρα ή της σελήνης αντικατοπτρίζει και εξηγεί πολλές φορές τη διαδικασία, τον τρόπο και τη μορφή σκέψης σε κοινωνικά και θρησκευτικά θέματα του πολιτισμού των κτιτόρων του.

Ο κύριος ή βασικός (κατά μήκος) άξονας του μνημείου μπορεί να είναι προσανατολισμένος σε κάποια διεύθυνση για διάφορους λόγους. Αν πρόκειται για ναό μπορεί να βρίσκεται στη διεύθυνση ανατολής – δύσης το ιερό του να είναι τοποθετημένο προς την ανατολή του ήλιου και η πόρτα εισόδου δυτικά (χριστιανικοί ναοί) ή το "ιερό" προς τη δύση και η κύρια είσοδος ανατολικά (αρχαίοι ναοί), έτσι ώστε, καθώς ανατέλλει ο ήλιος, οι ακτίνες του να φωτίζουν το χώρο της Αγίας Τράπεζας ή του ιερού βωμού ή του λατρευτικού αγάλματος. Υπάρχουν βέβαια και ναοί, ο κύριος άξονας των οποίων έχει προσανατολισμό βορειοανατολικό έως και βόρειο ή νοτιοανατολικό. Άλλα μνημεία, όπως αναλύεται στη συνέχεια, για διάφορους λόγους, λατρευτικούς ή μη, έχουν προσανατολισμό σε σχέση με τον ήλιο, τη σελήνη ή αστερισμούς, που

πάντοτε αποτελούσαν για τον άνθρωπο, από τα πρώτα χρόνια της ύπαρξής του, αντικείμενα λατρείας, φόβου ή περιέργειας.

Λόγοι παράδοσης ή λειτουργικότητας των χώρων των μνημείων ανάγκαζαν τους θεμελιωτές τους να επιδείξουν ιδιαίτερη προσοχή στον τρόπο του προσανατολισμού τους.

Για τον προσανατολισμό των μνημείων, σε όλες τις ιστορικές περιόδους, έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορα ουράνια σώματα. **Ο ήλιος** είναι ένα ουράνιο σώμα που σε όλους σχεδόν τους πολιτισμούς και τις θρησκείες του κόσμου συνδέεται με τις λατρευτικές τελετές των λαών. Στις περισσότερες θρησκείες ο ήλιος χαρακτηρίζεται ως η αρχή μιας νέας ζωής. Οι ημέρες των ηλιοστασίων και των ισημεριών είναι χαρακτηριστικές και σημαντικές από τα προϊστορικά χρόνια μέχρι και το Χριστιανισμό.

Καθώς πλησιάζει το χειμερινό ηλιοστάσιο, ο ήλιος "προχωρά" προς το νότο (ανατέλλει κάθε μέρα νοτιότερα), η ημέρα γίνεται όλο και μικρότερη και ο ήλιος πιο αδύναμος. Μετά από αυτή τη χαρακτηριστική ημέρα του ηλιοστασίου αρχίζει να επιστρέφει και πάλι λαμπρότερος και η διάρκεια της ημέρας αυξάνει συνεχώς. Αν αυτό δε συνέβαινε, απέραντο σκοτάδι θα απλωνόταν παντού και η ζωή θα σταματούσε. Επειδή ακριβώς δε συμβαίνει αυτό η συγκεκριμένη ημέρα χαρακτηρίζεται ως η αρχή μιας νέας ζωής, ενός νέου χρόνου. Οι Ρωμαίοι εόρταζαν αυτές τις ημερομηνίες ως μεγάλες εορτές προς τιμήν του άπλετου φωτός και του ανίκητου ήλιου. Οι Χριστιανοί αντίστοιχα έχουν ορίσει στις ημερομηνίες αυτές τις θεμελιώδεις εορτές της γέννησης του Χριστού στο χειμερινό ηλιοστάσιο και της γέννησης του Τιμίου Προδρόμου στο εαρινό.

Οι ισημερίες, όπου η διάρκεια της ημέρας και της νύκτας είναι ίση, αποτελούν επίσης σημαντικές ημερομηνίες. Είναι οι ημέρες κατά τις οποίες ο ήλιος διασχίζει τον ισημερινό κάθετα. Τότε το κέντρο συμμετρίας του φαινόμενου δίσκου του ήλιου, όταν αυτός ανατέλλει, βρίσκεται στην ελάχιστη απόσταση από το σημείο του ορίζοντα που καλείται "ανατολή" και το οποίο έχει (εξ ορισμού) αζιμούθιο 100° (90°). Ο επιστημονικός προσδιορισμός των ημερών αυτών ήταν λίγο πιο δύσκολος παλαιότερα σε σχέση με τις ημέρες των ηλιοστασίων. Ο προσδιορισμός αυτών των ημερών μπορούσε να γίνει:

- Με τη μέτρηση των ημερών μεταξύ θερινού – χειμερινού ηλιοστασίου και τον υπολογισμό της μέσης ημέρας μεταξύ αυτών των δύο γεγονότων.
- Με τη διχοτόμηση της γωνίας που σχηματίζεται μεταξύ της ανατολής του ήλιου στο θερινό και στο χειμερινό ηλιοστάσιο και με τον

εντοπισμό της ημέρας που ο ήλιος ανατέλλει σ' αυτό το σημείο.(αυτό τον τρόπο χρησιμοποιούσαν οι αρχαίοι Έλληνες).

- Με την τοποθέτηση, κατά την ανατολή, δύο ακοντίων σε ευθυγραμμία με τον ήλιο. Ως ισημερία ορίζεται τότε η ημέρα κατά την οποία στην ίδια ευθυγραμμία βρίσκεται και η δύση του ήλιου. [21]

Για τη χριστιανική θρησκεία στις ισημερίες εορτάζονται δύο επίσης σημαντικά γεγονότα, η σύλληψη του Χριστού στην εαρινή ισημερία και η σύλληψη του Τιμίου Προδρόμου στη φθινοπωρινή.

Εξάλλου έχει παρατηρηθεί ότι η πορεία των πλανητών και της σελήνης αν και είναι περισσότερο πολύπλοκη από αυτή του ήλιου, απασχόλησε τους παρατηρητές σε διάφορες θρησκείες.[21]

Το φως, η φωτιά, ο ήλιος, η σελήνη και τα αστέρια αποτέλεσαν αντικείμενο λατρείας πολλών λαών. Ακόμα και στη χριστιανική παράδοση ένα λαμπρό φωτοστέφανο κοσμεί τις κεφαλές αγίων και μαρτύρων.

Ο προσανατολισμός ενός μνημείου γίνεται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε ο κύριος (βασικός) - ή κάποιος άλλος άξονάς του - να ευρίσκεται στη διεύθυνση ανατολής - δύσης του ήλιου (ή κάποιου άλλου αστέρα) κάποια ξεχωριστή μέρα για το μνημείο (γενέθλιος ημέρα ή ημέρα εορτής της τιμώμενης θεότητας ή κάποια άλλη χαρακτηριστική ημέρα του χρόνου). Η επιλογή του ουράνιου σώματος, σε σχέση με το οποίο προσανατολίζεται το μνημείο, γίνεται με κριτήριο κυρίως τη λατρευτική πίστη με την οποία οι περισσότεροι πολιτισμοί και οι θρησκείες συνδυάζουν την ύπαρξη των σωμάτων αυτών και τα αντιμετωπίζουν ως θεότητες. Η αρχή αυτή φαίνεται να ισχύει ακόμη και 6000 χρόνια π.Χ. και μεταδίδεται από πολιτισμό σε πολιτισμό και από λαό σε λαό άφθαρτη, εμπλουτισμένη από τον κάθε λαό με τις δικές του ιδιαιτερότητες [33]. Εκατοντάδες προϊστορικών τάφων και ένας αριθμός μικρών ναών και ιερών που βρέθηκαν και εξετάστηκαν στην Ιβηρική Χερσόνησο, στη νότια Γαλλία και σε περιοχές της δυτικής Μεσογείου, ανήκουν στη νεολιθική εποχή (7000-2000 π.Χ.) και στα πρώτα χρόνια της εποχής του χαλκού, εμφανίζουν συγκεκριμένο προσανατολισμό [21]. Η αρχή του προσανατολισμού ενός μνημείου εξαπλώθηκε και σε ολόκληρη την Ευρώπη, κυρίως υπό την επίδραση των Ρωμαίων και υιοθετήθηκε αργότερα και από τη χριστιανική θρησκεία. Αναφορές γι' αυτήν την πρακτική κατά τους πρωτοχριστιανικούς χρόνους βρίσκουμε στον Ωριγένη, τον Κλήμεντα τον Αλεξανδρέα και άλλους [24].

Η επιστήμη η οποία ασχολείται με την ερμηνεία του προσανατολισμού των μνημείων είναι η αρχαιοαστρονομία, που

θεωρείται το σημείο συνάντησης της αστρονομίας με την αρχαιολογία. Υπάρχει μάλιστα και διεθνές περιοδικό με κριτές (εδώ και δεκαετίες), το Archeoastronomy, που δημοσιεύει άρθρα ειδικευμένα στον τομέα της αρχαιοαστρονομίας.

Η έρευνα για τον αστρονομικό προσανατολισμό μνημείων, από διάφορους πολιτισμούς, θεμελιώθηκε από τον Heinrich Nissen (1906) και τον Sir Norman Lockyer (1908) [24], [49].

Στη συνέχεια αναφέρονται μερικά ενδεικτικά παραδείγματα, που αφορούν στη διερεύνηση του προσανατολισμού μνημείων, τα οποία κατασκευάστηκαν σε διάφορες ιστορικές εποχές και σε διαφορετικά μέρη της γης.

1.2 Προσανατολισμός αρχαίων (προχριστιανικών) μνημείων.

α) Εκτός Ελλάδος.

Είναι πολλά τα μεγαλιθικά, νεολιθικά και αρχαϊκά μνημεία, των οποίων ο προσανατολισμός του οικοδομήματος, η χάραξη ορισμένων λιθόστρωτων δρόμων, τα χαραγμένα σημάδια, ή η θέση και η τοποθέτηση των πεσσών, έχουν διερευνηθεί μέσα στο πνεύμα του αστρονομικού προσανατολισμού.

Στο παρελθόν έχουν γίνει αποσπασματικές μετρήσεις για τον προσανατολισμό αρχαίων μνημείων, ναών, τάφων σε διάφορα σημεία της γης και έχει μελετηθεί ο προσανατολισμός του κύριου άξονα συμμετρίας ή της θύρας εισόδου σε σχέση με τη θέση του ήλιου, της σελήνης ή διαφόρων άλλων αστερών, όπως π.χ. του Σείριου και του Αρκτούρου, ή αστερισμών, όπως του Ωρίωνα και των Πλειάδων.

Οι άξονες μνημείων – ναών στη Μάλτα, που χρονολογούνται γύρω στο 3600 π.Χ. και αργότερα, δηλαδή προγενέστερων ή και συγχρόνων των πυραμίδων της Αιγύπτου, έχουν συγκεκριμένο εύρος προσανατολισμού. Ένας τριπλός ναός στην Mnajdra της Μάλτας, είναι προσανατολισμένος ακριβώς στην ανατολή του ήλιου κατά την ισημερία. Απόδειξη ότι οι άνθρωποι τόσο παλαιών πολιτισμών ενδιαφέρονταν για την πορεία των αστερών στον ουρανό, είναι ένα κομμάτι ασβεστολιθικής πλάκας που βρέθηκε στον ναό του Tal-Qadi. Τα σύμβολα, που είναι σκαλισμένα επάνω της, παρουσιάζουν στοιχεία για την πορεία του ήλιου, της σελήνης και άλλων αστερών [59], [21].

Στο Νησί του Πάσχα περισσότερα από 800 Ahu και 300 Moai, που είναι μεγαλιθικά μνημεία, είναι προσανατολισμένα στην ανατολή ή τη δύση του ήλιου κατά το θερινό ή το χειμερινό ηλιοστάσιο και τις ισημερίες με μια ακρίβεια της τάξης των $\pm 2.5^\circ$. Μάλιστα για κάποια από αυτά υπάρχει η υποψία ότι μπορεί να χρησίμευαν ως ηλιακά παρατηρητήρια (αστεροσκοπεία) [29].

Μεγαλιθικά μνημεία (Taulas) στο νότιο μέρος της νήσου Μινόρκα, χρονολογημένα στα 1300 π.Χ – 800 π.Χ., είναι προσανατολισμένα στον α του Νοτίου Σταυρού (α Cru), τον α του Κενταύρου (α Cen) και το β του Κενταύρου (β Cen). Εξαίρεση αποτελεί η Taula της Torralba (1000 π.Χ.), η οποία είναι και το πιο εντυπωσιακό μνημείο αυτού του πολιτισμού. Είναι προσανατολισμένη στην ανατολή του Σείριου (α CMa), του λαμπρότερου αστέρα του ουρανού. [19], [21]

Στην Αίγυπτο ο Sir Norman Lockyer το 1891 μετά από μετρήσεις διαπίστωσε, ότι αρκετοί ναοί ήταν προσανατολισμένοι στην ανατολή του ήλιου την ημέρα εορτής της θεότητας στην οποία ήταν αφιερωμένοι [49]. Βρήκε επίσης ότι υπάρχουν τέσσερις (4) αρχαίοι ναοί προσανατολισμένοι στο χειμερινό ηλιοστάσιο και δύο (2) στο θερινό ηλιοστάσιο. Όσον αφορά στους άλλους αστέρες, κατέληξε στο συμπέρασμα, ότι 7 ναοί ήταν προσανατολισμένοι στον α του Μεγάλου Κυνός (α CMa), 12 στον α της Περιστεράς (α Col), 9 στον α του Κενταύρου (α Cen), 3 στον α της Μεγάλης Άρκτου (α UMa), 7 στον γ του Δράκοντος (γ Dra), 4 στον α της Τρόπιδας (α Car), 5 στον α του Ηνιόχου (α Aur) και 2 στον α της Παρθένου (α Vir) [49].

Η πυραμίδα του Χέοπα στην Γκίζα (2500 π.Χ) είναι προσανατολισμένη στον αστρονομικό Βορρά, άρα και στην Ανατολή, λόγω της τετράγωνης βάσης της, με ακρίβεια μεγαλύτερη από 3' [66]. Η ακρίβεια προσανατολισμού των εδρών της πυραμίδας αποτέλεσε την αφορμή αφενός να μελετηθεί ο τρόπος με τον οποίο έγινε αυτό και αφετέρου να γίνει μια προσπάθεια χρονολόγησής της με σφάλμα ± 5 έτη. Μια άποψη είναι ότι ο προσανατολισμός έγινε χρησιμοποιώντας δύο αστέρια, ένα της Μεγάλης Άρκτου και ένα της Μικρής, τα οποία σε συγκεκριμένο χρόνο ορίζουν μια ευθεία, η οποία διέρχεται από το Βόρειο Πόλο [66]. Κατά άλλη μελέτη οι Αιγύπτιοι ήταν σε θέση να προσδιορίσουν με ακρίβεια τη διεύθυνση Βορρά-Νότου παρατηρώντας τον α Δράκοντος (α Dra), ο οποίος την εποχή εκείνη βρισκόταν κοντά στο Βόρειο Πόλο [18]. Παρατηρώντας αστέρια, τα οποία ανατέλλουν και δύουν στον ισημερινό, μπορούσαν να προσδιορίσουν με μεγάλη ακρίβεια τη διεύθυνση Ανατολής-Δύσης. Ένα τέτοιο αστέρι, την εποχή που κατασκευάστηκαν οι πυραμίδες, ήταν ο β Σκορπίου (β Sco).

Χρησιμοποιήθηκε πιθανόν για να προσανατολιστούν και άλλες πυραμίδες στη Γκίζα καθώς και η πυραμίδα της Νεφερτίτης στο Αμπού Σίρ [18]. Δεν υπάρχει λοιπόν αμφιβολία, ότι οι Αιγύπτιοι χρησιμοποίησαν τις αστρονομικές τους γνώσεις για την κατασκευή και τον προσανατολισμό των πυραμίδων. Με παρατηρήσεις αστερών ή του ήλιου, τη στιγμή της Ανατολής και της Δύσης τους, ήταν σε θέση να προσδιορίσουν με αξιοθαύμαστη ακρίβεια τη διεύθυνση του Βορρά.

Νεολιθικές κατασκευές, δυτικά του ποταμού Νείλου στη Νότια Αίγυπτο, χρονολογημένες άλλες στο 6000 π.Χ. και άλλες στο 4800 π.Χ., έχουν καθ' ομάδες συγκεκριμένο προσανατολισμό. Επίσης πολλές μεγαλιθικές κατασκευές στην ίδια περιοχή, έχουν τις μακρές πλευρές τους προσανατολισμένες κατά τον άξονα Βορρά – Νότου με μεγάλη ακρίβεια [33]. Το πιθανότερο είναι, ο προσανατολισμός αυτός να έχει επιτευχθεί με παρατηρήσεις του ήλιου, επειδή ο ήλιος σε αυτά τα γεωγραφικά πλάτη (δηλαδή από τον Ισημερινό έως τον Τροπικό του Καρκίνου), διέρχεται από το ζενίθ δύο συγκεκριμένες ημέρες του χρόνου. Τις ημέρες αυτές οι κατακόρυφες κατασκευές δε ρίχνουν καθόλου σκιά το μεσημέρι, εφόσον ο ήλιος μεσουρανή στο ζενίθ, γι' αυτό και τις εόρταζαν ως ένα σημαντικό γεγονός.

β) Στην Ελλάδα.

Στην Ελλάδα η ιστορία της αρχαιοαστρονομίας αρχίζει τις τελευταίες δεκαετίες του 19^{ου} αιώνα (1885) με τις εργασίες του Heinrich Nissen, του Norman Lockyer και του Francis Penrose [49], οι οποίοι ασχολήθηκαν με τον προσανατολισμό ελληνικών ναών στην ηπειρωτική και τη νησιωτική Ελλάδα και την Ιταλία . Οι Nissen (1907) και Penrose (1897) προσδιόρισαν σε ποιους αστερισμούς ήταν προσανατολισμένες μερικές δεκάδες από αρχαίους ελληνικούς ναούς και ισχυρίστηκαν, ότι μπορούσαν να προσδιορίσουν την ακριβή ημερομηνία οικοδομήσεως του καθενός [49]. Μια σύγκριση όμως των αποτελεσμάτων τους παρουσιάζει σφάλμα ακόμη και 800 χρόνια στον προσδιορισμό της ημερομηνίας κτίσης τους, το οποίο πιθανόν να οφείλεται σε εσφαλμένους υπολογισμούς ή εκτιμήσεις στα πλαίσια των αστρονομικών και αρχαιολογικών τους γνώσεων.

Έχουμε παραδείγματα αστρονομικού προσανατολισμού των μνημείων από τους αρχαιότετους ακόμη χρόνους, από τα χρόνια άνθισης του Μινωικού και του Μυκηναϊκού πολιτισμού. Ο Μαρινάτος είχε επισημάνει τον επιλεκτικό προσανατολισμό κατά τον άξονα "ανατολή – δύση", ολόκληρων πτερυγών ή και μεμονωμένων δωματίων

των Μινωϊκών ανακτόρων. Προφανώς οι αρχαίοι έδιναν ιδιαίτερη σημασία στον προσανατολισμό τους. Ακόμα και οι πόρτες τοποθετούνταν έτσι, ώστε να ανοίγουν προς ανατολάς, κάτι που φαίνεται να έχει σαφή θρησκευτική σημασία [30].

Οι τάφοι του Υστερομινωϊκού νεκροταφείου Αρμένων Ρεθύμνου, (1450 π.Χ - 1190 π.Χ) έχουν λαξευθεί στο έδαφος έτσι ώστε να είναι προσανατολισμένοι στο τόξο του τοπικού ορίζοντα, το οποίο ορίζεται από τα σημεία ανατολής του ήλιου μεταξύ του θερινού και του χειμερινού ηλιοστασίου ή του βορειότερου και νοτιότερου σημείου ανατολής της σελήνης κατά το 19ετή κύκλο της [47].

Στην Κέρκυρα δύο αρχαίοι ναοί, ο αρχαϊκός ναός στο Καρδάκι (6^{ος} αι. π.Χ) και ο ναός της Άρτεμης, ο οποίος βρίσκεται 1Km βορειοδυτικά του πρώτου ναού, καθώς και ο βωμός του Απόλλωνα, ο οποίος κατασκευάστηκε πριν το 500 π.Χ, σύμφωνα με επιγραφή, είναι προσανατολισμένοι στην ανατολή του ήλιου την ισημερία [50].

Ο Άγγλος αρχιτέκτονας F.C. Penrose, συνέδεε τον τρόπο προσανατολισμού ενός ναού με την εώα επιτολή ενός αστέρος, δηλαδή με το σημείο ανατολής ενός αστεριού που ανατέλλει λίγο πριν την ανατολή του ήλιου την ημέρα εορτασμού της θεότητας [55]. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ο ναός του Διδυμαίου Απόλλωνα στα Δίδυμα της Μ. Ασίας. Ο ναός κτίστηκε περίπου το 700 π.Χ (αρχαϊκό Διδυμαίο), καταστράφηκε από τους Πέρσες στην επανάσταση της Ιωνίας το 494 π.Χ και ξανακτίστηκε το 280 π.Χ (ελληνιστικό Διδυμαίο). Και τις δύο φορές ο ναός κτίστηκε προσανατολισμένος στον αστερισμό των Διδύμων (Κάστορας και Πολυδεύκης). Διαπιστώθηκε ότι υπάρχει μια διαφορά στον προσανατολισμό των δύο ναών 1° 45', όση ήταν και η διαφορά της θέσης των αστερών αυτών (α και β Gem), λόγω της μεταπτώσεως των ισημεριών σ' αυτό το χρονικό διάστημα. Ο ναός ήταν κατασκευασμένος έτσι ώστε μια συγκεκριμένη ημέρα το φως που έμπαινε από την είσοδο του ναού να φωτίζει το βωμό με το άγαλμα του θεού και να φαίνονται και τα δύο αστέρια από το άδυτο [74].

Σε πολλούς ναούς όπου παρατηρήθηκαν αποκλίσεις του προσανατολισμού τους από την αυστηρή διεύθυνση Ανατολής-Δύσης, αυτό ερμηνεύτηκε από τον H. Nissen ως εξής: οι κτίτορες ελάμβαναν υπόψη τους το αζιμούθιο ανατολής του ήλιου κατά την ημέρα εορτασμού της θεότητας ή την ημέρα θεμελίωσης του ναού. Για αρκετούς αρχαίους ναούς το ζήτημα επιβεβαιώνεται και από τον Αρχαιολόγο W.B. Dinsmoor (1931) [45].

Κατά τον Αμερικανό αρχαιολόγο W.B. Dinsmoor, οι Ελληνικοί ναοί είναι προσανατολισμένοι προς την ανατολή του ήλιου την ημέρα εορτασμού της θεότητας κατά το έτος της αφιέρωσης του ναού. Σύμφωνα με τους υπολογισμούς του, ο Παρθενώνας προσανατολίσθηκε, κατά το έτος της κατασκευής του, ακριβώς προς τον ανατέλλοντα ήλιο κατά τη γενέθλιο ημέρα της θεάς Αθηνάς, δηλαδή τη στιγμή κατά την οποία άρχιζε η πομπή των Παναθηναίων [55].

1.3 Προσανατολισμός Χριστιανικών ναών.

Όταν ο χριστιανισμός ανακηρύχθηκε, το 313 μ.Χ, ως θρησκεία ισότιμη με τις άλλες, επικράτησε μεγάλος ενθουσιασμός των καταπιεσμένων ως τότε χριστιανών. Αποτέλεσμα αυτού ήταν να κτιστούν μεγαλοπρεπείς ναοί και να διατίθενται μεγάλα χρηματικά ποσά και άφθονα υλικά, ώστε οι αρχιτέκτονες να υλοποιήσουν τα σχέδια, με τέτοιο τρόπο, που τα δημιουργήματα αυτά να συναγωνίζονται σε μεγαλοπρέπεια και να ξεπερνούν τους ναούς των εθνικών, σε μέγεθος και πολυτέλεια [45]. Ακόμη πολλοί εθνικοί ναοί μετατράπηκαν σε χριστιανικούς. Η καθοριστική αλλαγή σ' αυτήν τη μετατροπή ήταν ότι, στη θέση Εισόδου των αρχαίων ναών, κατασκευάστηκε η αψίδα του Ιερού Βήματος, ενώ στη δυτική πλευρά ανοίχθηκε η κυρία είσοδος. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν η Βασιλική του Αγίου Πέτρου στο Βατικανό, η οποία είχε την αψίδα της στη δύση, και η αρχική Βασιλική του Αγίου Παύλου, που είχε το ιερό προς τη δύση μέχρι το 389 μ.Χ, οπότε και ανακατασκευάστηκε. Υπάρχουν επίσης ναοί που έχουν δύο αψίδες ιερού, μια προς ανατολίας και μία προς δυσμάς. Αυτό πιθανόν οφείλεται σε μεταγενέστερη αλλαγή του προσανατολισμού, οπότε και η προς δυσμάς αψίδα ανοίχτηκε ως είσοδος. Τέτοιες Βασιλικές βρίσκουμε στην Αίγυπτο, τη Β. Αφρική αλλά και στην Ευρώπη [45].

Όσον αφορά στους Χριστιανικούς ναούς γενικά, οι παλαιοχριστιανικές Βασιλικές είχαν τέτοιο προσανατολισμό, ώστε η κόγχη του ιερού να "βλέπει" προς ανατολίας.

Στις εκκλησιαστικές πηγές βρίσκουμε δύο κείμενα, τα οποία διασώζουν πολύτιμες πληροφορίες - οδηγίες για τον τρόπο λειτουργίας, το σχήμα και τον προσανατολισμό των χριστιανικών ναών. Αυτά είναι:

- α) Αι Αποστολικαί Διαταγαί, έργο του 4^{ου} αιώνα και
- β) Η Διαθήκη του Κυρίου, έργο του 5^{ου} αιώνα.

Στο Β' βιβλίο των Αποστολικών Διαταγών (57^ο κεφάλαιο) αναφέρεται ότι ο ναός έπρεπε να έχει σχήμα επίμηκες και να είναι στραμμένος προς ανατολάς [38], [69].

Κατά τη διδασκαλία της χριστιανικής θρησκείας, ο φυσικός ήλιος, από τον οποίο δεχόμαστε το φως ως πηγή ζωής, είναι σύμβολο του Χριστού, του νοητού "Ηλίου της δικαιοσύνης". Κατά το Μεγάλο Βασίλειο, όταν βρισκόμαστε στο εσωτερικό του ναού πρέπει να βλέπουμε προς ανατολάς και να προσευχόμαστε, διότι προς τα εκεί βρίσκεται ο Παράδεισος [37].

Κατ' άλλη εκκλησιαστική παράδοση, οι Απόστολοι έλεγαν, ότι πρέπει να προσευχόμαστε βλέποντας προς ανατολάς, διότι από εκεί θα φανεί ο Χριστός κατά τη Δευτέρα Παρουσία [37].

Στη Διαθήκη του Κυρίου, στο Α' Βιβλίο και στο 29^ο κεφάλαιο στα "περί διατάξεως της Εκκλησίας" αναφέρεται: "ο ναός να έχει τρεις εισόδους, κατά τον τύπον της Τριάδος ώστε να στρέφεται η μια προς νότον, η άλλη προς δυσμάς και η τρίτη προς βορράν".[69]

Στον κανόνα αυτό παρατηρούνται αποκλίσεις, οφειλόμενες σε λόγους κυρίως χωροταξικούς ή σε άλλους που δεν έχουν ακόμα εντοπισθεί. Παρατηρούνται ιδιαίτερος στους ναούς που κτίστηκαν τους πρώτους Χριστιανικούς αιώνες (4^ο και 5^ο). Για παράδειγμα στη Ρώμη υπάρχουν πρώιμες Βασιλικές με το ιερό τους στραμμένο προς τη δύση. Τούτο οφείλεται στην επίδραση από τους παλαιότερους ναούς των εθνικών [45]. Έχουμε όμως και πολλές άλλες μεγαλοπρεπείς Βασιλικές στραμμένες ΒΑ ή ΝΑ, με αποκλίσεις που κυμαίνονται από 20^ο έως και 67^ο, οι οποίες συναντώνται σε όλη την Ελλάδα, στην Κωνσταντινούπολη και στην Παλαιστίνη. Ως παράδειγμα αναφέρονται οι ναοί της Αγίας Ειρήνης και της Αγίας Σοφίας στην Κωνσταντινούπολη, οι οποίοι έχουν απόκλιση 33^ο 4', και ο ναός του Αγίου Κηρύκου στη Δήλο με απόκλιση 20^ο [45].

Γενικά οι ναοί συνήθως προσανατολίζονται ή

i) στη διεύθυνση Ανατολής-Δύσης ακριβώς (ισημερίες) ή

ii) στη διεύθυνση του σημείου ανατολής του ήλιου κατά:

α) την ημερομηνία εορτής του αγίου στον οποίο ο ναός έχει αφιερωθεί, ή

β) την ημέρα του χειμερινού ή θερινού ηλιοστασίου

Ο προσανατολισμός ενός ναού εξαρτάται άμεσα από το τοπογρα-

φικό ανάγλυφο της περιοχής στην οποία κατασκευάζεται, διότι η Βυζαντινή θρησκευτική αρχιτεκτονική χρησιμοποιούσε συστηματικά το ηλιακό φως. Όπως αναφέρει ο Ιάκωβος Ποταμιάνος "Ο ρόλος του φωτός ήταν να δώσει έμφαση στην αλήθεια του χριστιανικού δόγματος και να προσελκύσει τον πιστό στον κόσμο του θείου όχι μόνο μέσα από το Θείο Λόγο αλλά και μέσω των αισθήσεων. Για την επίτευξη αυτού του στόχου ο προσανατολισμός της εκκλησίας επιλεγόταν αναλόγως" [55].

Η θεωρία του αστρονομικού προσανατολισμού των χριστιανικών ναών στη Μεσαιωνική Δύση που θεμελιώθηκε από τον Charlier (1902) προσφάτως (στην δεκαετία του '80) επαναβεβαιώθηκε από άλλους επιστήμονες. Πρόσφατες μελέτες δημοσιεύτηκαν από πολλούς όπως οι Firneis, Göbel και Köberl (1981) [24], από την Αυστρία, οι οποίοι υποστήριξαν και απέδειξαν ότι πολλοί ναοί της Τσεχοσλοβακίας και της Αυστρίας είχαν κτιστεί προσανατολισμένοι στο σημείο ανατολής του ήλιου την ημερομηνία εορτής του αγίου, στον οποίο ήταν αφιερωμένος ο ναός.

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι περισσότερες από τις μελέτες που αναφέρθηκαν και αφορούν στην διερεύνηση του προσανατολισμού, είτε προϊστορικών μνημείων, είτε αρχαίων μνημείων είτε χριστιανικών ναών, μέχρι τώρα έγιναν κυρίως με απλές τοπομετρικές μεθόδους χρησιμοποιώντας ως όργανα μέτρησης την τοπογραφική πυξίδα, το ακόντιο και το κλισίμετρο χειρός για τον προσδιορισμό του ορίζοντα του μνημείου, όπου αυτό, σε ελάχιστες περιπτώσεις, κρινόταν απαραίτητο [21], χωρίς να προσδιορίζεται γεωμετρικά - αναλυτικά ο βασικός άξονας του μνημείου ή άλλες ειδικές διευθύνσεις και με τα όποια σφάλματα τα παραπάνω όργανα – μέθοδοι εμπεριέχουν.

Κεφάλαιο 2

Μεθοδολογία διερεύνησης του προσανατολισμού των μνημείων.

2.1 Γενικά

Η *Γεωδαισία* είναι η επιστήμη που με μετρήσεις και υπολογισμούς προσδιορίζει τις ακριβείς θέσεις σημείων ως προς ένα σύστημα αναφοράς, το σχήμα και το μέγεθος περιοχών που βρίσκονται πάνω στη Φυσική Γήινη Επιφάνεια (Φ.Γ.Ε), καθώς και το σχήμα και το μέγεθος της Γης.

Τα μεγέθη που μπορούν να μετρηθούν με γεωδαιτικές μεθόδους και όργανα είναι τα εξής: διευθύνσεις, γωνίες (οριζόντιες και κατακόρυφες), μήκη και υψομετρικές διαφορές. Έτσι, με κατάλληλη επεξεργασία αυτών των μετρήσεων, μπορούν να προσδιοριστούν οι συντεταγμένες σημείων της Φ.Γ.Ε σε επιλεγμένο σύστημα αναφοράς. Τα όργανα που χρησιμοποιούνται για τις μετρήσεις χωρίζονται στις εξής κατηγορίες :

- ⇒ Όργανα μέτρησης γωνιών και διευθύνσεων. Αυτά είναι τα θεοδόλιχα, μηχανικά και ψηφιακά με τα παρελκόμενά τους.
- ⇒ Όργανα μέτρησης μηκών. Αυτά είναι τα ηλεκτρομαγνητικά όργανα μέτρησης μηκών (E.D.M) και οι μετροταινίες, απλές ή ψηφιακές με τα παρελκόμενά τους.
- ⇒ Σύγχρονα όργανα μέτρησης μηκών, γωνιών και υψομετρικών διαφορών. Αυτά είναι οι ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί (Total Stations) με τα παρελκόμενά τους.
- ⇒ Όργανα μέτρησης υψομετρικών διαφορών. Αυτά είναι οι χωροβάτες και τα θεοδόλιχα με τα παρελκόμενά τους.
- ⇒ Όργανα εντοπισμού θέσης (GPS) με τη βοήθεια των οποίων προσδιορίζονται οι συντεταγμένες σημείων της Φ.Γ.Ε, χρησιμοποιώντας παρατηρήσεις δορυφόρων.

Στη Γεωδαισία οι μετρήσεις μεγεθών χρησιμοποιούνται για να προσδιοριστούν οι θέσεις θεμελιωδών σημείων (Τριγωνομετρικά σημεία) στη Φ.Γ.Ε και με τη βοήθεια αυτών να δημιουργηθεί ένας βασικός κορμός σημείων (Τριγωνομετρικά - Γεωδαιτικά Δίκτυα), τα οποία θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια για την αποτύπωση μικρότερων εκτάσεων.

Η *Γεωδαιτική Αστρονομία* είναι η επιστήμη που ασχολείται με τον προσδιορισμό των αστρονομικών συντεταγμένων (αστρονομικό πλάτος, αστρονομικό μήκος) ενός τόπου και τον προσδιορισμό του αστρονομικού αζιμουθίου μιας διεύθυνσης. Είναι κλάδος της Γεωδαιτικής επιστήμης και για την επίτευξη του σκοπού της χρησιμοποιεί παρατηρήσεις (μετρήσεις) σε ουράνια σώματα. Τα όργανα που χρησιμοποιούνται για τις μετρήσεις χωρίζονται στις εξής κατηγορίες :

⇒ Όργανα μέτρησης γωνιών (οριζοντίων και κατακορύφων). Αυτά είναι τα θεοδόλιχα, μηχανικά και ψηφιακά, με ειδικές όμως διατάξεις και λειτουργίες, ώστε να είναι δυνατή η παρατήρηση ουρανίων σωμάτων όπως ο ήλιος, ο πολικός αστέρας και άλλοι αστέρες.

⇒ Όργανα μέτρησης χρόνου, διότι η θέση ενός ουρανίου σώματος μεταβάλλεται με τον χρόνο.

⇒ Βοηθητικά όργανα μέτρησης μετεωρολογικών συνθηκών (πίεση, θερμοκρασία, υγρασία).

2.2 Προσανατολισμός

2.2.1. Βασικές έννοιες

Με τον όρο *Προσανατολισμός* στη Γεωδαισία ορίζεται η διαδικασία εκείνη με τη βοήθεια της οποίας είναι δυνατόν να προσδιοριστεί το αζιμούθιο μιας διεύθυνσης.

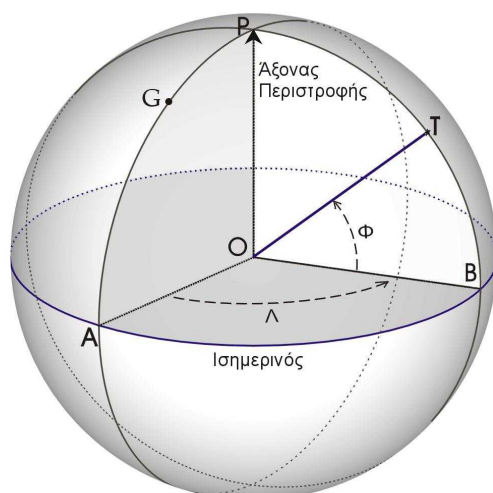
Ακολουθώντας την αρχή ότι τα Αστρονομικά συστήματα συντεταγμένων βασίζονται πάντοτε στην διεύθυνση της κατακορύφου και τα Γεωδαιτικά συστήματα αναφοράς βασίζονται στην κάθετο στο ελλειψοειδές αναφοράς που έχει υιοθετηθεί, ορίζονται στη συνέχεια τα ακόλουθα μεγέθη [42]:

Γεωδαιτικό μήκος λ ενός σημείου, είναι το μέτρο της διέδρης γωνίας που σχηματίζεται μεταξύ του πρώτου μεσημβρινού (Greenwich) και του Γεωδαιτικού Μεσημβρινού που διέρχεται από το σημείο αυτό. Μετριέται στο επίπεδο του Γεωδαιτικού Ισημερινού θετικά προς ανατολάς.

Γεωδαιτικό πλάτος φ ενός σημείου, είναι η γωνία μεταξύ της καθέτου προς το ελλειψοειδές αναφοράς στο σημείο και της προβολής της στο επίπεδο του ισημερινού του ελλειψοειδούς αναφοράς. Βρίσκεται επομένως στο επίπεδο του Γεωδαιτικού Μεσημβρινού και μετριέται από τον Ισημερινό θετικά προς Βορρά και αρνητικά προς Νότο.

Αστρονομικό μήκος Λ ενός σημείου είναι το μέτρο της διέδρης γωνίας που σχηματίζεται μεταξύ του πρώτου μεσημβρινού (Greenwich) και του Αστρονομικού μεσημβρινού που διέρχεται από το σημείο αυτό. Μετριέται στο επίπεδο του Αστρονομικού Ισημερινού θετικά προς ανατολάς (σχήμα 2.1).

Αστρονομικό πλάτος Φ ενός σημείου, είναι η γωνία μεταξύ της κατακόρυφου στο σημείο και της προβολής της στο επίπεδο του Αστρονομικού Ισημερινού. Βρίσκεται επομένως στο επίπεδο του Αστρονομικού Μεσημβρινού και μετριέται από τον Αστρονομικό Ισημερινό θετικά προς Βορρά και αρνητικά προς Νότο (σχήμα 2.1).

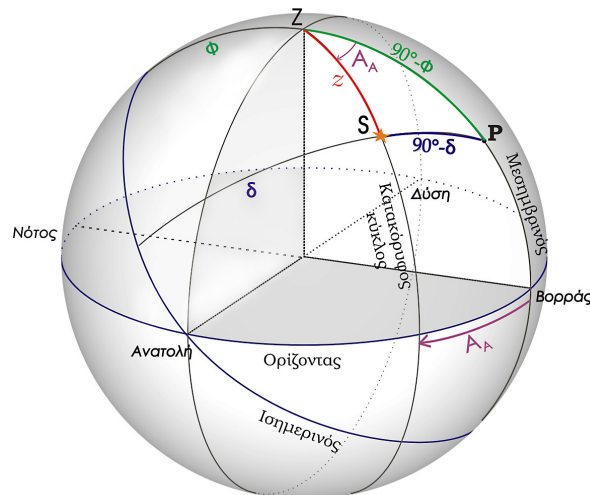


Σχήμα 2.1 : Αστρονομικό πλάτος Φ και αστρονομικό μήκος Λ

Γεωδαιτικό αζιμούθιο A_G μιας διεύθυνσης AB (ή του σημείου B από το A), είναι το μέτρο της διέδρης γωνίας που σχηματίζεται μεταξύ των δύο επιπέδων που περιέχουν την κάθετο προς το ελλειψοειδές αναφοράς στο σημείο A, το ένα από τα επίπεδα αυτά περιέχει και τον μικρό άξονα του ελλειψοειδούς (επίπεδο Γεωδαιτικού Μεσημβρινού που περιέχει το A) ενώ το άλλο περιέχει το σημείο B. Δηλαδή είναι η γωνία μεταξύ του Γεωδαιτικού Μεσημβρινού που περιέχει το A και του καθέτου επιπέδου στο A που περιέχει το B. Μετριέται στον Γεωδαιτικό ορίζοντα δεξιόστροφα από τον Γεωδαιτικό Βορρά.

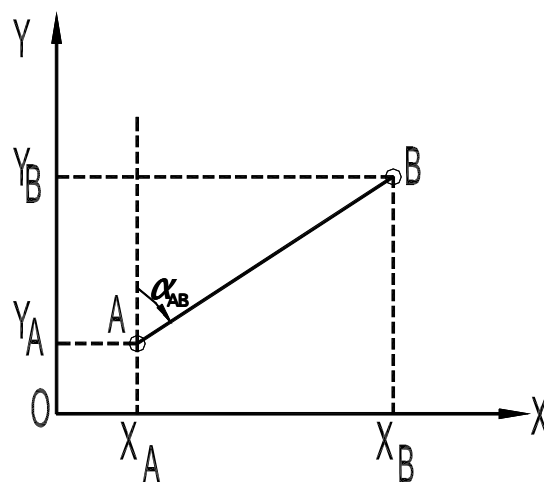
Αστρονομικό αζιμούθιο A_A μιας διεύθυνσης AB (ή του σημείου B από το A), (σχήμα 2.2) είναι το μέτρο της διέδρης γωνίας μεταξύ των δύο επιπέδων που περιέχουν την κατακόρυφο στο σημείο A, από τα επίπεδα αυτά το ένα είναι παράλληλο προς τον άξονα περιστροφής της Γης ενώ το άλλο περιέχει το σημείο B. Δηλαδή είναι η γωνία μεταξύ του Αστρονομικού Μεσημβρινού που περιέχει το A και του κατακόρυφου

επιπέδου στο A που περιέχει το B. Μετριέται στο οριζόντιο επίπεδο δεξιόστροφα από τη διεύθυνση του Αστρονομικού Βορρά.



Σχήμα 2.2 : Αστρονομικό αζιμούθιο

Γωνία διεύθυνσης α_{AB} ορίζεται στο προβολικό σύστημα ως η γωνία μεταξύ του παράλληλου προς τον άξονα των τεταγμένων στο σημείο A και της ευθείας AB, όπου A και B οι θέσεις των σημείων στο προβολικό σύστημα. (σχήμα 2.3).



Σχήμα 2.3 : Γωνία διεύθυνσης.

Σημειώνεται ότι η γεωδαισία για τις μετρήσεις των γωνιών (οριζόντιων και κατακόρυφων) και των αζιμουθίων, χρησιμοποιεί το εκατονταδικό σύστημα. Μονάδα μέτρησης είναι ο βαθμός (grad) που αντιστοιχεί στο 1/100 της ορθής γωνίας και συμβολίζεται με το γράμμα (g). Η αστρονομία χρησιμοποιεί το εξηκονταδικό σύστημα, όπου η μονάδα μέτρησης είναι η μία μοίρα (1°). Στον πίνακα 2.1 δίνονται οι υποδιαιρέσεις των δύο μονάδων μέτρησης γωνιών καθώς και οι μεταξύ τους σχέσεις.

Υποδιαιρέσεις μοίρας	$1^\circ = 60$ (πρώτα λεπτά) $1' = 60$ (δεύτερα λεπτά)
Υποδιαιρέσεις βαθμού	$1^g = 100^c$ $1^c = 100^{cc}$
Σχέσεις $^\circ$ και g	$90^\circ = 100^g$ $1' \approx 1.85^c$ $1'' \approx 3^{cc}$

Πίνακας 2.1: Μονάδες μέτρησης γωνιών

Σημειώνεται ότι:

- Το γεωδαιτικό αζιμούθιο A_G μιας διεύθυνσης AB, διαφέρει από το αντίστοιχο αστρονομικό αζιμούθιο A_A της ίδιας διεύθυνσης λόγω της απόκλισης της κατακόρυφου (της γωνίας που σχηματίζεται μεταξύ της καθέτου στο ελλειψοειδές με την κατακόρυφο στο γεωειδές στο σημείο).
- Το γεωδαιτικό αζιμούθιο A_G μιας διεύθυνσης AB, διαφέρει από την γωνία διεύθυνσης α_{AB} , όταν χρησιμοποιείται το προβολικό σύστημα, λόγω της σύγκλισης του μεσημβρινού και της γωνίας μεταξύ τόξου και χορδής.
- Στις περιπτώσεις αποτυπώσεων μικρών εκτάσεων που δεν ενδιαφέρει η ένταξη στο Κρατικό Σύστημα αναφοράς χρησιμοποιείται ως επιφάνεια αναφοράς (προβολή) οριζόντιο επίπεδο παράλληλο στη μ.σ.θ. που εφάπτεται στο κέντρο της περιοχής (τοποκεντρικό σύστημα αναφοράς). Ο προσανατολισμός του άξονα των Y θεωρείται ότι ταυτίζεται με την διεύθυνση του Βορρά, ενώ του άξονα των X με την Ανατολή, οπότε οι γωνίες διεύθυνσης μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι Αστρονομικά αζιμούθια εφόσον έχουν γίνει Αστρονομικές παρατηρήσεις γι' αυτό το λόγο στην περιοχή, δηλαδή προκειμένου να γίνει ο αστρονομικός προσανατολισμός του τοπικού συστήματος αναφοράς.

2.2.2. Μέθοδοι προσανατολισμού – Ακρίβειες

Στη Γεωδαισία και στη Γεωδαιτική Αστρονομία ο όρος **προσανατολισμός** αναφέρεται στη διαδικασία μέσω της οποίας προσδιορίζεται το γεωδαιτικό ή το αστρονομικό αζιμούθιο μιας συγκεκριμένης διεύθυνσης. Ο προσδιορισμός του αζιμουθίου μιας διεύθυνσης μπορεί να γίνει άμεσα με απευθείας μετρήσεις και έμμεσα με τη γεωδαιτική μεταφορά του.

Ο άμεσος προσδιορισμός του αζιμουθίου μπορεί να γίνει:

- Με αστρονομικές παρατηρήσεις του ήλιου, του πολικού αστέρα ή και άλλων αστέρων. Με τη μέθοδο αυτή προσδιορίζεται η διεύθυνση του αστρονομικού βορρά και επομένως το **αστρονομικό αζιμούθιο** μιας διεύθυνσης. Χρησιμοποιούνται ειδικά θεοδόλιχα και χρονόμετρα και επιτυγχάνεται σήμερα ακρίβεια της τάξης των $\pm 0.2^{\text{cc}}$.
- Με τη χρήση γυροσκοπικού θεοδόλιχου, το οποίο προσδιορίζει **αστρονομικά αζιμούθια**. Η ακρίβεια που επιτυγχάνεται σ' αυτή την περίπτωση είναι της τάξης $\pm 20^{\text{c}}$ για τα κοινά αλλά μπορεί να φθάσει και τα $\pm 1.5^{\text{cc}}$ με ειδικά κατασκευασμένα γυροσκοπικά θεοδόλιχα.

- Με τη χρήση τοπογραφικής μαγνητικής πυξίδας που προσδιορίζει **μαγνητικά αζιμούθια**. Σ' αυτή την περίπτωση είναι απαραίτητη η γνώση της μαγνητικής απόκλισης και πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η ύπαρξη μεταλλικών αντικειμένων, τα οποία επηρεάζουν τις ενδείξεις της πυξίδας. Η ακρίβεια που επιτυγχάνεται σ' αυτή την περίπτωση είναι περίπου $\pm 1^{\circ}$.
- Με τη χρήση θεοδόλιχου – πυξίδα (π.χ. T₀ της Wild), με τη βοήθεια του οποίου προσδιορίζονται **μαγνητικά αζιμούθια**. Η ακρίβεια που επιτυγχάνεται σ' αυτή την περίπτωση είναι περίπου $\pm 3^{\circ}$ και μπορεί να φθάσει τα $\pm 20^{\circ}$, με τη χρήση άλλων ακριβέστερων οργάνων. Σ' αυτή την περίπτωση είναι απαραίτητη η γνώση των στοιχείων του μαγνητικού πεδίου της περιοχής στην οποία γίνονται οι μετρήσεις (χάρτες μαγνητικής απόκλισης).
- Με δορυφορικές μετρήσεις (GPS), με τις οποίες προσδιορίζονται **γεωδαιτικά αζιμούθια** σε επιλεγμένο σύστημα αναφοράς. Επιτυγχάνεται μια ακρίβεια καλύτερη από $\pm 3^{\circ}$ για αποστάσεις 1 Km.

Από τις παραπάνω μεθόδους, αυτή που ενδείκνυται για τα γεωγραφικά πλάτη της Ελλάδας, από πλευράς ακρίβειας και ταχύτητας, για τον προσδιορισμό του αστρονομικού αζιμουθίου είναι αυτή των αστρονομικών παρατηρήσεων στον Πολικό αστέρα και γι' αυτόν τον λόγο θα αναλυθεί διεξοδικά στη συνέχεια.

Ο έμμεσος προσδιορισμός ή η γεωδαιτική μεταφορά του αζιμουθίου, μπορεί να γίνει:

- Με τη μέθοδο του τριγωνισμού. Δημιουργείται ένα δίκτυο σημείων (Τριγωνομετρικό ή Τρισδιάστατο Γεωδαιτικό Δίκτυο), μεταξύ των οποίων γίνονται μετρήσεις μηκών και γωνιών. Προσδιορίζονται έτσι οι συντεταγμένες των σημείων και έμμεσα τα αζιμούθια των πλευρών του δικτύου ή οι γωνίες διεύθυνσής τους. Η μέθοδος αυτή απαιτεί την γνώση του γεωδαιτικού ή αστρονομικού αζιμουθίου μιας πλευράς τουλάχιστον του δικτύου και παρέχει μια ακρίβεια της τάξης των $\pm 2^{\circ}$ έως $\pm 5^{\circ}$, για μικρές αποστάσεις, ανάλογα με τα όργανα και τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση γωνιών και μηκών.
- Με τη μέθοδο της πολυγωνομετρίας. Είναι αντίστοιχη αυτής του τριγωνισμού, σε περιορισμένη έκταση. Ουσιαστικά είναι μια μέθοδος γεωδαιτικής μεταφοράς αζιμουθίου σε μια διεύθυνση μετρώντας οριζόντιες γωνίες και εξασφαλίζει μια ακρίβεια της τάξης των $\pm 5^{\circ}$,

ανάλογα με τα όργανα, τις μεθόδους μέτρησης που χρησιμοποιούνται και τον αριθμό των κορυφών.

2.3 Ανάλυση μεθοδολογίας

Από τη μελέτη των εργασιών των επιστημόνων, οι οποίοι ασχολήθηκαν μέχρι σήμερα με τη διερεύνηση του προσανατολισμού μνημείων και τεκμηρίωσαν την έρευνα σ' αυτό το αντικείμενο, διαπιστώθηκαν κάποια αδύνατα σημεία. Αυτά είναι:

α) Ο σχετικά ατελής και επομένως όχι ακριβής ορισμός του βασικού άξονα ή άλλων ειδικών διευθύνσεων ενός μνημείου, λόγω της μη ύπαρξης αποτύπωσης – τεκμηρίωσής του .

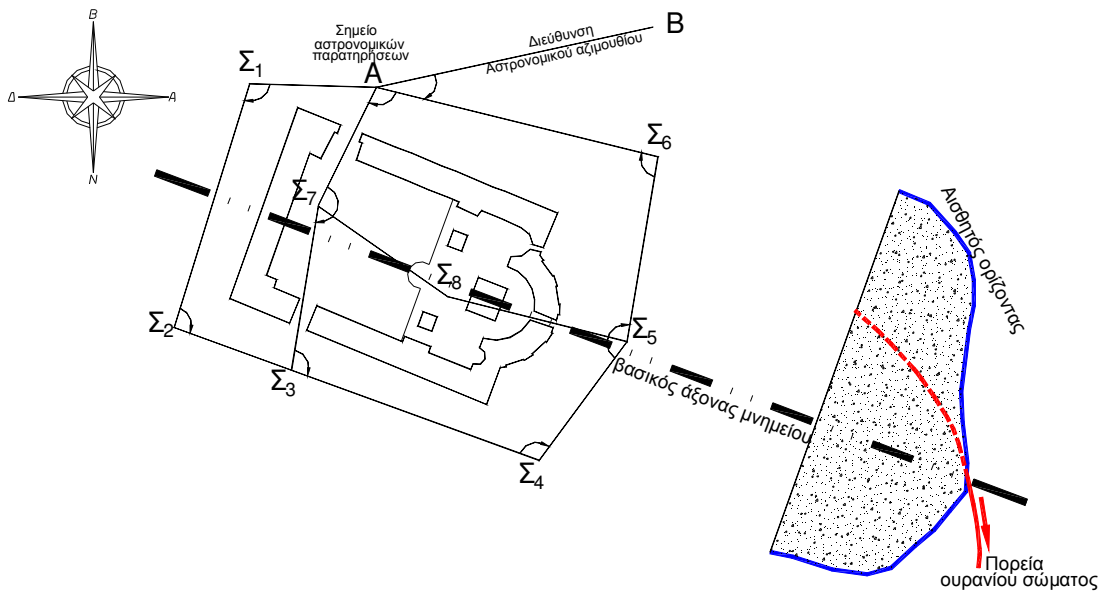
β) η αδυναμία προσδιορισμού του αστρονομικού αζιμουθίου των γραμμών αυτών με την απαραίτητη ακρίβεια.

γ) η αδυναμία αναλυτικής μέτρησης και παρουσίασης της οριογραμμής του ορίζοντα, ο οποίος βρίσκεται μπροστά από κάθε μνημείο.

Η γνώση των παραπάνω στοιχείων μπορεί να προκύψει μόνο από την ορθή γεωμετρική απόδοση της μορφής του μνημείου και την εφαρμογή των αποτελεσμάτων των γεωδαιτικών και αστρονομικών μετρήσεων. Οι γεωδαιτικές και αστρονομικές μέθοδοι μπορούν με την παρέμβασή τους να επιλύσουν το πρόβλημα αυτό, χρησιμοποιώντας σύγχρονες και σύνθετες μεθόδους μέτρησης - αποτύπωσης. Έχουν τη δυνατότητα επίσης να παραγάγουν προσανατολισμένα σχέδια με συγκεκριμένη ακρίβεια και να δημιουργήσουν μια αξιόπιστη βάση δεδομένων των μνημείων αυτών. Έτσι μπορούν να συμβάλουν καθοριστικά στη σωστή, ακριβή και αξιόπιστη ερμηνεία του προσανατολισμού ενός μνημείου.

Με την εργασία αυτή γίνεται απόπειρα να **αναδειχθεί η συμβολή των γεωδαιτικών και αστρονομικών μεθόδων** στη μελέτη για τη **διερεύνηση του προσανατολισμού** των χριστιανικών ναών και των μνημείων γενικότερα.

Η διερεύνηση του προσανατολισμού μνημείων ανάγεται στον γεωμετρικό προσδιορισμό του αστρονομικού αζιμουθίου του βασικού άξονα ή άλλης ειδικής διεύθυνσης τους και της διαφοράς του από το αζιμούθιο της πορείας του ήλιου ή άλλου ουράνιου σώματος στο οποίο αυτή συναντά τον αισθητό ορίζοντα. Η σχηματική παράσταση του προβλήματος διερεύνησης προσανατολισμού μνημείων παρουσιάζεται στο σχήμα 2.4, από το οποίο διαπιστώνεται ότι οι βασικές γεωμετρικές ενέργειες που θα οδηγήσουν στην επίλυση του προβλήματος είναι:



Σχήμα 2.4 : Σχηματική παράσταση της διερεύνησης του προσανατολισμού μνημείων.

1. Ο προσδιορισμός του αστρονομικού αζιμουθίου μιας συγκεκριμένης διεύθυνσης AB.
2. Η μεταφορά αυτού του αστρονομικού αζιμουθίου στο χώρο του μνημείου με τη βοήθεια γεωδαιτικού δικτύου.
3. Η ορθή και πλήρης γεωμετρική αποτύπωση του μνημείου οριζοντιογραφικά για τον καθορισμό των ακριβών διαστάσεών του.
4. Ο γεωμετρικός προσδιορισμός τόσο του βασικού άξονα του όσο και άλλων ειδικών διευθύνσεων του μνημείου, ο οποίος γίνεται με αναλυτική διαδικασία χρησιμοποιώντας το διάγραμμα κάτοψης του μνημείου, χωρίς να είναι απαραίτητη η υλοποίησή τους.
5. Ο προσδιορισμός του αστρονομικού αζιμουθίου των γραμμών αυτών, με αναλυτική διαδικασία, χρησιμοποιώντας το προσανατολισμένο διάγραμμα της κάτοψης του μνημείου.
6. Ο γεωμετρικός προσδιορισμός της οριογραμμής του αισθητού ορίζοντα (ορεινοί όγκοι, άλλα κτίσματα), που βρίσκεται στην ευρύτερη περιοχή του μνημείου και είναι ορατός από το χώρο αυτό.
7. Ο προσδιορισμός της φαινόμενης πορείας του ήλιου ή άλλου αστέρα, από το χώρο του μνημείου, σε μια συγκεκριμένη ημερομηνία.

2.3.1 Προσδιορισμός αστρονομικού αζιμουθίου.

Ο προσδιορισμός του αστρονομικού αζιμουθίου μιας διεύθυνσης OS, όπου S το σημείο σκόπευσης και O το σημείο στάσης, (σχήμα 2.5) πρακτικά μπορεί να γίνει [25], [31]:

- Με τον προσδιορισμό της διεύθυνσης του μεσημβρινού η οποία δεν είναι υλοποιημένη. Αυτό γίνεται :

● *Με παρατήρηση ενός αστέρα σε ίσες γωνίες ύψους.* Στη μέθοδο αυτή προσδιορίζεται η διεύθυνση του μεσημβρινού, παρατηρώντας έναν αστέρα σε ίσες γωνίες ύψους πριν και μετά την μεσουράνηση του. Η διεύθυνση του μεσημβρινού προκύπτει αν προσδιοριστεί η διεύθυνση της διχοτόμου της οριζόντιας γωνίας μεταξύ των δύο θέσεων παρατήρησης. Για την εφαρμογή της μεθόδου αυτής δεν είναι απαραίτητη η γνώση των ουρανογραφικών συντεταγμένων (α , δ) του αστέρα, ούτε και των αστρονομικών (Φ , Λ) του τόπου παρατήρησης. Η μοναδιαία και στιγμιαία σκόπευση του αστέρα στις δύο θέσεις και η μεταβολή των ατμοσφαιρικών συνθηκών, οδηγεί σε αύξηση της αβεβαιότητας προσδιορισμού του αστρονομικού αζιμουθίου η οποία μπορεί να φθάσει στην μέγιστη τιμή της τα $\pm 20^\circ$, ενώ μετά από παρατηρήσεις 6-8 ωρών μπορεί να επιτευχθεί μια ακρίβεια της τάξης των $\pm 3^{\text{cc}}$ [31].

● *Με παρατήρηση αστέρων που βρίσκονται κοντά στον Πόλο στη μέγιστη αποχή τους.* Στη μέθοδο αυτή προσδιορίζεται η διεύθυνση του μεσημβρινού, παρατηρώντας έναν αστέρα τη στιγμή της μέγιστης αποχής του (όταν η γωνία που σχηματίζει ο μεσημβρινός του τόπου με τον κατακόρυφο κύκλο του αστέρα είναι μέγιστη), επειδή σ' αυτή τη θέση ο αστέρας μετακινείται κατά την κατακόρυφη διεύθυνση. Για την εφαρμογή της μεθόδου αυτής είναι απαραίτητη η γνώση της απόκλισης δ του αστέρα, του αστρονομικού πλάτους Φ του τόπου παρατήρησης και ο χρόνος στον οποίο ο αστέρας βρίσκεται στη μέγιστη αποχή του. Η ακρίβεια της μεθόδου είναι της τάξης των $\pm 9^{\text{cc}}$ [31].

- Με την μέτρηση της γωνίας που σχηματίζεται μεταξύ του κατακόρυφου κύκλου που διέρχεται από το σημείο σκόπευσης (S) και του κατακόρυφου κύκλου ενός ουράνιου σώματος (π.χ. του Πολικού αστέρα ή του ήλιου) κάποια χρονική στιγμή και ταυτόχρονα να είναι γνωστό ή να προσδιοριστεί το **αζιμούθιο του ουρανίου σώματος** για την ίδια χρονική στιγμή. Αυτό επιτυγχάνεται:

● *Με παρατήρηση του ήλιου ή ενός αστέρα σε τυχαία θέση (μέθοδος της ζενίθειας απόστασης).* Στη μέθοδο αυτή προσδιορίζεται το

αστρονομικό αζιμούθιο A_A , μετρώντας τη ζενίθεια απόσταση (κατακόρυφη γωνία) z του ουράνιου σώματος σε τυχαία θέση. Για τον προσδιορισμό του αστρονομικού αζιμουθίου είναι απαραίτητη η γνώση της απόκλισης δ του αστέρα και του αστρονομικού πλάτους Φ του τόπου παρατήρησης. Οι κύριες πηγές σφαλμάτων στη μέθοδο αυτή είναι το σφάλμα στη γνώση του πλάτους σ_Φ και το σφάλμα στην εκτίμηση της διόρθωσης της μετρούμενης κατακόρυφης γωνίας λόγω της αστρονομικής διάθλασης. Για να εξαλειφθεί η επίδραση των δύο αυτών σφαλμάτων μπορούν να παρατηρηθούν δύο αστέρες σε ειδικές σχετικές θέσεις ($z_1 = z_2$ και $A_1 = 360^\circ - A_2$) και τότε η ακρίβεια της μεθόδου είναι της τάξης των $\pm 30''$. Αν παρατηρείται ο ήλιος η ακρίβεια της μεθόδου είναι της τάξης των $\pm 45''$.

● **Με παρατήρηση του ήλιου ή ενός αστέρα σε τυχαία θέση (μέθοδος της ωριαίας γωνίας).** Στη μέθοδο αυτή πρέπει να είναι γνωστά:

- Οι αστρονομικές συντεταγμένες Φ, Λ (στην πράξη να χρησιμοποιηθούν οι γεωδαιτικές συντεταγμένες φ, λ χωρίς αυτό να επιφέρει σημαντικό σφάλμα στο προσδιοριζόμενο αζιμούθιο) του τόπου παρατήρησης.
- Οι ουρανογραφικές συντεταγμένες, ορθή αναφορά α και απόκλιση δ , του παρατηρούμενου αστέρα.

Το μέγεθος που μετράται σ' αυτήν την περίπτωση είναι ο χρόνος τη στιγμή της παρατήρησης, δηλαδή τη στιγμή της διάβασης του αστέρα από το κατακόρυφο σταυρόνημα του θεοδόλιχου. Τότε προσδιορίζεται η ωριαία γωνία h του ήλιου ή του αστέρα από τη σχέση:

$$h = \theta + \Lambda - \alpha \quad (2.1)$$

όπου θ ο αστρικός χρόνος Greenwich τη στιγμή της παρατήρησης.

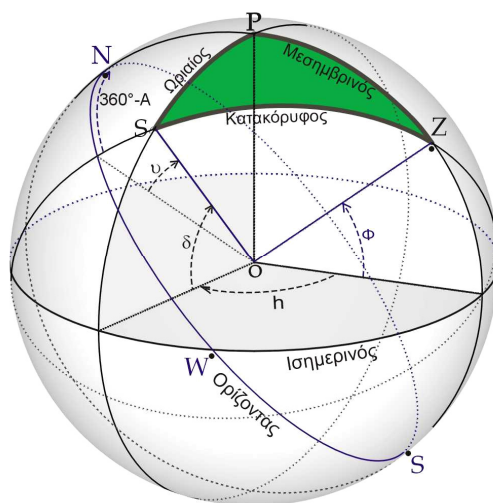
Από την επίλυση του τριγώνου θέσης (σχήμα 2.5) προκύπτει το αστρονομικό αζιμούθιο A_s του αστέρα, το οποίο δίνεται από τη σχέση:

$$\tan A_s = \frac{-\sinh}{\cos \Phi \cdot \tan \delta - \sin \Phi \cdot \cosh} \quad (2.2)$$

Σ' αυτή τη μέθοδο προσδιορισμού αστρονομικού αζιμουθίου η τελική ακρίβεια εξαρτάται από:

- την ακρίβεια των ουρανογραφικών συντεταγμένων (α, δ) του αστέρα.
- την ακρίβεια των αστρονομικών συντεταγμένων (Φ, Λ) του σημείου από το οποίο γίνονται οι παρατηρήσεις.

- την ακρίβεια προσδιορισμού του χρόνου παρατήρησης που διαχωρίζεται σε σφάλμα συγχρονισμού του χρονομέτρου και σε σφάλμα στην λειτουργία του χρονομέτρου.



Σχήμα 2.5 : Τρίγωνο θέσης ενός αστέρα S.

Η ακρίβεια προσδιορισμού του αστρονομικού αζιμουθίου με τη μέθοδο αυτή είναι καλύτερη από αυτή των προηγούμενων μεθόδων και βελτιώνεται σημαντικά αν παρατηρηθεί ένας αστέρας πολύ κοντά στον Πόλο. Για το βόρειο ημισφαίριο και για τα πλάτη της Ελλάδας ο αστέρας αυτός είναι ο **Πολικός (α Ursa Minoris)**, ο οποίος έχει τα εξής πλεονεκτήματα:

- αναγνωρίζεται πολύ εύκολα .
- Η πολική του απόσταση είναι πολύ μικρή. Απέχει από το Βόρειο Αστρονομικό Πόλο περίπου 45' και επομένως το αζιμούθιο του παίρνει τιμές που κυμαίνονται από 359° - 1°.
- Κινείται πολύ αργά και έτσι διευκολύνεται η σκόπευσή του.
- Έχει αρκετή λαμπρότητα (μέγεθος περίπου 2), ώστε να βοηθά στην παρατήρηση.

Για το νότιο ημισφαίριο αντίστοιχος αστέρας είναι ο **σ Octantis**, ο οποίος απέχει από τον Νότιο Αστρονομικό Πόλο περίπου 45' και έχει μέγεθος 5.5. Είναι δύσκολα αναγνωρίσιμος και για αυτό το λόγο η επιλογή της παρατήρησης του για τον προσδιορισμό αστρονομικού αζιμουθίου απαιτεί προσεγγιστική γνώση του μεσημβρινού του τόπου.

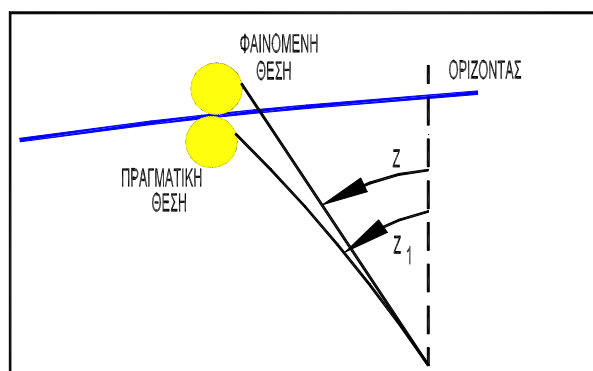
Στη εργασία αυτή για τον προσδιορισμό του αστρονομικού αζιμουθίου μιας διεύθυνσης εφαρμόζεται η **μέθοδος παρατήρησης του Πολικού αστέρα μετρώντας την ωριαία γωνία h**, διότι τα πλεονεκτήματα που αναφέρονται προηγουμένως και που παρουσιάζει η παρατήρηση του Πολικού αστέρα, οδηγούν σε ορθά και ακριβή

αποτελέσματα, καλύτερα από $\pm 1^{\text{cc}}$. Η ακρίβεια αυτή επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό (Total station) τελευταίας τεχνολογίας, ο οποίος όπως αποδείχθηκε στην εφαρμογή, βοηθά στην πραγματοποίηση μεγάλου αριθμού μετρήσεων, σε μικρό χρόνο με υψηλή ακρίβεια και ταχύτητα, ενώ οι μετρήσεις είναι απαλλαγμένες από τυχαία σφάλματα ανάγνωσης και καταγραφής αφού γίνονται αυτόματα.

2.3.1.1. Διόρθωση λόγω αστρονομικής διάθλασης.

Για τον προσδιορισμό της θέσης ενός αστέρα σε μια χρονική στιγμή θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η διόρθωση λόγω αστρονομικής διάθλασης. Ως **αστρονομική διάθλαση** (R) ορίζεται η γωνία που πρέπει να προστεθεί στην τιμή της κατακόρυφης γωνίας (z), που αναφέρεται στη θέση ενός αστέρα όπως τον παρατηρούμε από τη γη, για να προκύψει η πραγματική (γεωμετρική) τιμή της [25].

Και αυτό γιατί η κατακόρυφη γωνία z_1 , υπό την οποία θα έβλεπε ο παρατηρητής ένα ουράνιο σώμα, π.χ. τον ήλιο, αν δεν υπήρχε η ατμο-



Σχήμα 2.6 : Σχηματική παρουσίαση του φαινομένου της αστρονομικής διάθλασης

σφαιρα (γεωμετρική θέση του ήλιου), είναι μεγαλύτερη από αυτήν που παρατηρεί στην πραγματικότητα (z) (σχήμα 2.6):

$$R = z_1 - z \quad (2.3)$$

Η τιμή της αστρονομικής διάθλασης μπορεί να προσδιοριστεί από τη σχέση:

$$R = R_0 \frac{p}{1013.25} \cdot \frac{273}{273 + \theta} \quad (2.4)$$

όπου

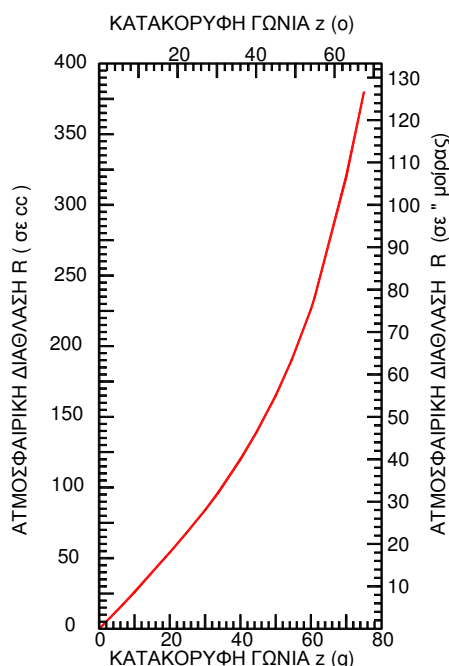
R_0 = η κανονική αστρονομική διάθλαση που δίνεται από τη σχέση

$$R_0 = 60'' \cdot 34 \cdot \tan z - 0'' \cdot 0669 \cdot \tan^3 z \quad (2.5)$$

p = η ατμοσφαιρική πίεση στο σημείο παρατήρησης σε mmHg

θ = η θερμοκρασία στο ίδιο σημείο σε $^{\circ}\text{C}$.

Είναι φανερό ότι οι παραπάνω τύποι διόρθωσης της αστρονομικής διάθλασης δεν ισχύουν για γωνίες $z > 75^\circ$. Για παρατηρήσεις που γίνονται κοντά στον ορίζοντα, υπάρχουν ειδικοί πίνακες της διάθλασης, από το αστεροσκοπείο του Pulkovo (1870) και το αστεροσκοπείο του Greenwich, για γωνίες $z > 75^\circ$. Τελευταία έχουν αναπτυχθεί κώδικες προγραμμάτων οι οποίοι διερευνούν με ακρίβεια την ισχύ της σχέσης 2.4 στο διάστημα $0^\circ \leq z \leq 200^\circ$ [43]. Η τιμή της αστρονομικής διάθλασης είναι 0 στο ζενίθ και μέγιστη στον ορίζοντα. Για έναν αστέρα στον ορίζοντα, όπως ο ήλιος, μια μέση τιμή της μεταβολής της διάθλασης είναι $33'$ δηλαδή ο αστέρας βρίσκεται χαμηλότερα από τον ορίζοντα ενώ φαίνεται σε ύψος $33'$ [31],[70].



Σχήμα 2.7: Διάγραμμα μεταβολής της ατμοσφαιρικής διάθλασης για $P=990mb$ και $\theta=20^\circ C$

2.3.2 Μέθοδοι αποτύπωσης – σχεδίασης μνημείων

Αποτύπωση μνημείων ονομάζεται η διαδικασία καταγραφής της θέσης και της υπάρχουσας μορφής, του σχήματος και του μεγέθους του μνημείου στο χώρο, σε μια δεδομένη χρονική στιγμή. Τα μνημεία, όπως και κάθε πραγματικό αντικείμενο, αποτελούν ένα σύνολο σημείων στο χώρο των τριών διαστάσεων. Έτσι είναι σαφές, ότι η πιστότητα, η πληρότητα και η ορθότητα της αποτύπωσης είναι άμεσα συνδεδεμένη τόσο με την επιλογή των σημείων που ορίζουν το μνημείο, όσο και με τον τρόπο και τις μεθόδους προσδιορισμού των καρτεσιανών συντεταγμένων τους (X, Y, Z) , σε τοπικό σύστημα αναφοράς. Συνήθως η αποτύπωση γίνεται σε τοπικό καρτεσιανό σύστημα αναφοράς, με

αυθαίρετη επιλογή της αρχής και του προσανατολισμού του και σπανιότερα η αποτύπωση εντάσσεται σε ενιαίο (κρατικό) σύστημα αναφοράς, στο οποίο η θέση ενός σημείου προσδιορίζεται αν είναι γνωστές οι ορθογώνιες συνταγμένες (X, Y) και το ορθομετρικό του υψόμετρο H.

Η απόδοση της ορθής γεωμετρίας τους σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή είναι άμεσα συνδεδεμένη με τις μεθόδους που εφαρμόζονται για τον ορισμό της θέσης αυτών των σημείων. Στις αποτυπώσεις των μνημείων έχουν εφαρμογή τόσο οι σύγχρονες τοπογραφικές μέθοδοι όσο και οι απλές κλασικές τοπομετρικές.

Με τον όρο προσδιορισμός της θέσης ενός σημείου στο χώρο εννοούμε τη διαδικασία με την οποία προσδιορίζονται οι καρτεσιανές συντεταγμένες (X,Y,Z) του σημείου. Η εξέλιξη των τοπογραφικών οργάνων σε ολοκληρωμένους γεωδαιτικούς σταθμούς (Total Station), επιτρέπει σήμερα την πλήρη και ταχύτερη αντιμετώπιση τέτοιου είδους αποτυπώσεων.

Όπως σε όλες τις τοπογραφικές εργασίες, έτσι και για την αποτύπωση και τη δημιουργία τοπογραφικών διαγραμμάτων, στα οποία εμφανίζεται η κάτοψη (οριζόντια τομή) ή οι κατακόρυφες τομές των μνημείων, ακολουθείται η εξής πορεία εργασιών:

- Ορισμός του πολυγωνομετρικού δικτύου της αποτύπωσης του μνημείου. Πρόκειται για ειδικό δίκτυο όχι μόνο γιατί έχει υψηλές απαιτήσεις ακριβείας αλλά και γιατί αναπτύσσεται σε χώρους οι οποίοι επηρεάζουν και πολλές φορές δεσμεύουν τη γεωμετρία του και τη δυνατότητα μετρήσεων. Για τη σήμανση των κορυφών του δικτύου αυτού χρησιμοποιούνται:

- Παραδοσιακές τεχνικές σήμανσης σημείων (καρφιά, ειδικές κατασκευές), στους εξωτερικούς κυρίως χώρους
- Φυσικά σημεία (γωνίες, αρμοί)
- Ημιμόνιμες σημάνσεις (μαρκαδόρος, μολύβι)

Η επιλογή του τρόπου σήμανσης των πολυγωνομετρικών σημείων γίνεται με τέτοιον τρόπο, ώστε να διασφαλίζεται η διακριτικότητα και ο σεβασμός στο χώρο και στη λειτουργία του μνημείου.

- Αποτύπωση των σημείων λεπτομερειών του μνημείου.

Για την αποτύπωση των σημείων λεπτομερειών, που απαιτούνται ώστε να καλύπτονται οι προδιαγραφές πληρότητας της αποτύπωσης, οι σύγχρονες τοπογραφικές μέθοδοι ανταποκρίνονται επαρκώς. Χρησιμοποιώντας ολοκληρωμένους ψηφιακούς γεωδαιτικούς σταθμούς με τη

μέθοδο των τοποσταθερών, μετρούνται γωνίες και αποστάσεις για κάθε επιθυμητό σημείο και υπολογίζονται οι συντεταγμένες του X, Y, Z σε επιλεγμένο σύστημα αναφοράς, με ακρίβεια που μπορεί να φθάσει τα $\pm 2\text{mm}$.

Όσον αφορά στη μέτρηση, καταγραφή, μεταφορά δεδομένων και απόδοση των σχεδίων, πρέπει να τονιστεί η αποδοτικότητα των σύγχρονων ψηφιακών οργάνων και των προγραμμάτων μέσα από τη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών με τα οποία γίνεται η διαδικασία απλούστερη, ευέλικτη, γρήγορη και αποφεύγονται χονδροειδή σφάλματα.

Παράλληλα με τις σύγχρονες τοπογραφικές μεθόδους μπορούν κάποιες φορές, σπάνια πια, να χρησιμοποιηθούν και κλασικές τοπομετρικές μέθοδοι, οι οποίες βασίζονται στη μέτρηση των αναγκαίων μηκών για τον προσδιορισμό σημείων με τη μέθοδο των τριγώνων. Για την εφαρμογή τους απαιτούνται απλά όργανα μέτρησης μηκών, όπως μετροταινίες. Ο ρόλος όμως των μεθόδων αυτών πρέπει να είναι περισσότερο επιβεβαιωτικός της ορθότητας της αποτύπωσης για ορισμένα σημεία και λιγότερο ουσιαστικός. Έτσι είναι δυνατόν, αν χρειαστεί, παράλληλα με την εφαρμογή άλλων μεθόδων, να συμπληρωθεί η αποτύπωση με μετρήσεις συγκεκριμένων μηκών, τα οποία ορίζουν τη θέση κάποιων σημείων ή επιβεβαιώνουν τη γεωμετρική ορθότητα άλλων.

2.3.3 Γεωμετρικός προσδιορισμός του αισθητού ορίζοντα του μνημείου.

Για την πλήρη διερεύνηση του προσανατολισμού των μνημείων, εκτός από τον προσδιορισμό αστρονομικών αζιμουθίων των χαρακτηριστικών γραμμών τους (βασικός άξονας, ειδικές διευθύνσεις, κ.α), είναι απαραίτητη και η γνώση - σχεδιασμός της οριογραμμής του αισθητού ορίζοντα, ο οποίος βρίσκεται στην ευρύτερη περιοχή του μνημείου στη διεύθυνση των γραμμών αυτών. Και αυτό γιατί η φαινόμενη θέση των ουρανίων σωμάτων από το χώρο του μνημείου, τη χρονική στιγμή κατά την οποία περνούν πάνω από τον ορίζοντα (ανατέλλουν ή δύουν), εξαρτάται άμεσα από την ύπαρξη, τη μορφή και τη θέση του.

Αν θεωρηθεί ότι η επιφάνεια της γης είναι επίπεδη χωρίς ορατά εμπόδια, τότε ως **ορίζοντας** ορίζεται η νοητή γραμμή που αντιλαμβάνεται ένας παρατηρητής που βρίσκεται στην επιφάνεια της γης. Η γραμμή αυτή είναι ένας κύκλος με κέντρο τον παρατηρητή και προκύπτει ως θεωρητική τομή της ουράνιας σφαίρας με ένα οριζόντιο επίπεδο (δηλαδή

ένα επίπεδο κάθετο στη διεύθυνση της κατακόρυφου στο σημείο του παρατηρητή.) [70]

Ως **αισθητός ορίζοντας** ενός μνημείου από κάποια θέση (σημείο) ορίζεται η προβολή στην ουράνια σφαίρα του συνόλου των ορεινών όγκων ή των κτισμάτων, που βρίσκονται στη διεύθυνση των χαρακτηριστικών γραμμών του μνημείου και εμποδίζουν την ορατότητα του παρατηρητή, που βρίσκεται στη θέση αυτή, προς την ουράνια σφαίρα και τα ουράνια σώματα (ήλιο, αστέρια). Η σχετική θέση και η μορφή του ορίζοντα σε σχέση με το εξεταζόμενο μνημείο, επηρεάζουν σημαντικά τη μελέτη του προσανατολισμού του.

Ο προσδιορισμός της γραμμής που ορίζει τον αισθητό ορίζοντα μπορεί να γίνει αν από οποιοδήποτε σημείο με γνωστές συντεταγμένες και με γνωστή μια συγκεκριμένη διεύθυνση, γίνουν μετρήσεις γωνίας ύψους (ή κατακόρυφης γωνίας) και οριζόντιας γωνίας προς τα σημεία που ορίζουν τη γραμμή του αισθητού ορίζοντα. Σ' αυτή την περίπτωση ο ορίζοντας προκύπτει από τη γραφική παράσταση αζιμουθίου (Az) και γωνίας ύψους (υ) για κάθε σημείο του.

Η διαδικασία αυτή μπορεί να εφαρμοστεί πάντοτε και δεν εξαρτάται από την απόσταση στην οποία βρίσκεται ο αισθητός ορίζοντας. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στην επιλογή της θέσης από την οποία θα γίνουν οι μετρήσεις. Και αυτό γιατί αν οι μετρήσεις γίνουν σε άλλη θέση από την επιθυμητή (π.χ. κάποιο σημείο πάνω στο βασικό άξονα του μνημείου), τότε πρέπει η γραμμή του ορίζοντα να **αναχθεί** οριζοντιογραφικά και υψομετρικά ώστε να προκύψει η μορφή της όπως θα φαινόταν από το σωστό σημείο (φαινόμενη θέση). Στο σχήμα 2.8 παρουσιάζεται γραφικά η διαδικασία γεωμετρικής αναγωγής του ορίζοντα.

Για τη γεωμετρική αναγωγή του ορίζοντα πρέπει να είναι γνωστά:

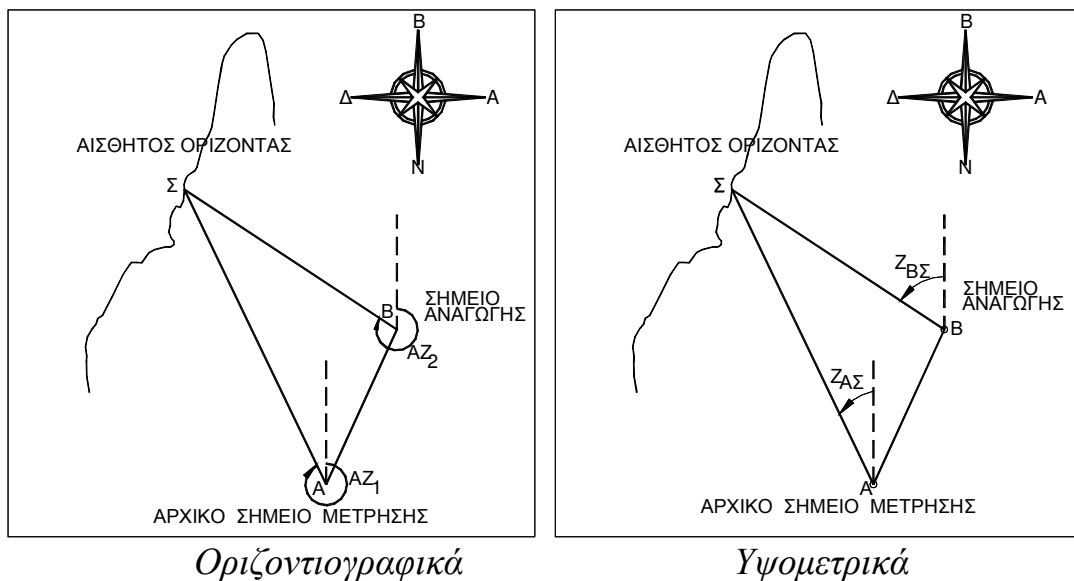
i) Οι συντεταγμένες (X, Y, Z) του αρχικού σημείου A από το οποίο έγιναν οι μετρήσεις του ορίζοντα, καθώς και οι αντίστοιχες συντεταγμένες του σημείου B στο οποίο πρέπει να αναχθεί ο ορίζοντας και

ii) Οι συντεταγμένες (X, Y, Z) των σημείων που ορίζουν την οριογραμμή του αισθητού ορίζοντα. Για τον υπολογισμό των συντεταγμένων αυτών, εκτός από τις γωνίες (οριζόντια, κατακόρυφη) οι οποίες μετρούνται, πρέπει να είναι γνωστή και η απόσταση των σημείων του ορίζοντα από το σημείο στο οποίο έγιναν οι μετρήσεις.

Η απόσταση αυτή μπορεί να προκύψει:

- α) Με απευθείας μέτρησή της για κάθε σημείο.
- β) Με τη μέθοδο της εμπροσθοτομίας με γωνίες.

γ) Γραφικά με τη χρήση τοπογραφικού διαγράμματος κατά προτίμηση κλίμακας 1:5000, στο οποίο είναι αναγνωρίσιμος ο ορίζοντας.



Σχήμα 2.8 : Γεωμετρική αναγωγή της οριογραμμής του αισθητού ορίζοντα.

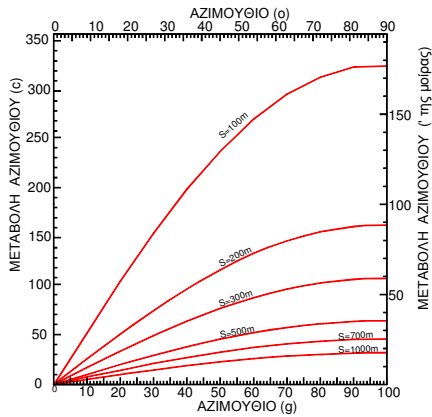
Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το μέγεθος της μεταβολής της φαινόμενης θέσης του αισθητού ορίζοντα, υψομετρικά και οριζοντιογραφικά.

Ως **οριζοντιογραφική μεταβολή** της θέσης του αισθητού ορίζοντα ορίζεται η διαφορά $\Delta Az = Az - Az'$, όπου Az το αζιμούθιο της διεύθυνσης που ορίζεται μεταξύ του σημείου στάσης μέτρησης και κάθε σημείου της οριογραμμής του ορίζοντα, και Az' το αζιμούθιο της διεύθυνσης μεταξύ του σημείου αναγωγής και κάθε σημείου της οριογραμμής του ορίζοντα. Η μεταβολή αυτή εξαρτάται από:

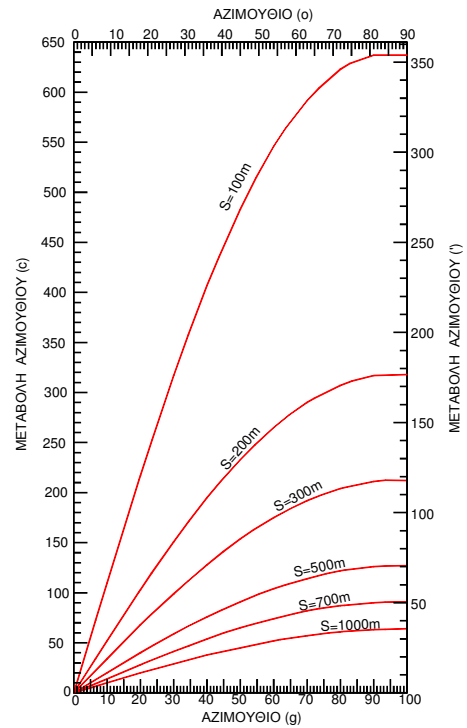
- Την απόσταση μεταξύ του σημείου μέτρησης και του σημείου αναγωγής (D).
- Τη σχετική θέση των δύο αυτών σημείων.
- Τη σχετική θέση ορίζοντα, σημείου μέτρησης και σημείου αναγωγής.
- Την απόσταση S του ορίζοντα από το μνημείο.

Στα σχήματα 2.9, 2.10, 2.11, παρουσιάζεται η μεταβολή ΔAz του αζιμουθίου ενός σημείου της οριογραμμής του αισθητού ορίζοντα, για αποστάσεις μεταξύ σημείου μέτρησης και σημείου αναγωγής, $D=5m$, $D=10m$, $D=20m$, αντίστοιχα, ως συνάρτηση

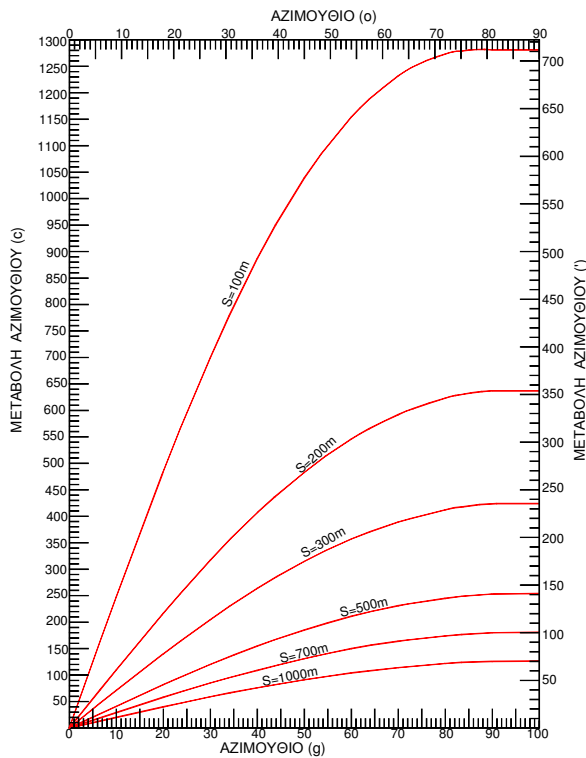
- του αζιμουθίου που είχε κατά την αποτύπωση από το σημείο μέτρησης
- της απόστασης S του ορίζοντα από το σημείο μέτρησης.



Σχήμα 2.9 : Διάγραμμα μεταβολής του αζιμουθίου (ΔA_z) συναρτήσει του A_z και του S , για μήκος $D=5m$.



Σχήμα 2.10 : Διάγραμμα μεταβολής του αζιμουθίου (ΔA_z) συναρτήσει του A_z και του S , για μήκος $D=10m$.

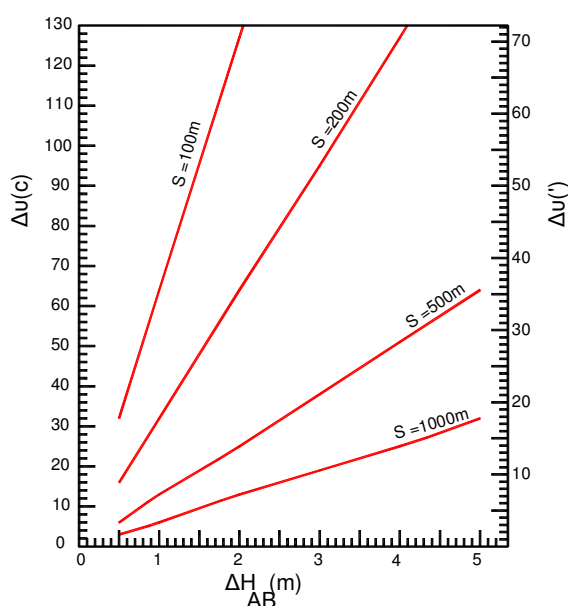


Σχήμα 2.11 : Διάγραμμα μεταβολής του αζιμουθίου (ΔA_z) συναρτήσει του A_z και του S , για μήκος $D=20m$

Από αυτά προκύπτει ότι η οριζοντιογραφική μεταβολή της φαινόμενης θέσης κάθε σημείου της οριογραμμής του ορίζοντα (δηλαδή

η μεταβολή του αζιμουθίου) είναι διαφορετική για κάθε σημείο του ίδιου ορίζοντα. Οι τιμές της μεταβολής αυτής μπορεί να κυμαίνονται από μερικά c έως και 10 βαθμούς και εξαρτώνται κυρίως από την απόσταση μεταξύ του σημείου μέτρησης και του σημείου αναγωγής (D).

Ως **υψομετρική μεταβολή** της θέσης κάθε σημείου της οριογραμμής του ορίζοντα ορίζεται η διαφορά $\Delta v = v - v'$, όπου v είναι η τιμή της γωνίας ύψους μεταξύ του σημείου μέτρησης A και κάθε σημείου του αισθητού ορίζοντα και v' είναι η αντίστοιχη τιμή της γωνίας ύψους μεταξύ του σημείου αναγωγής B και κάθε σημείου του ίδιου ορίζοντα (σχήμα 2.9).



Σχήμα 2.12 : Διάγραμμα μεταβολής της γωνίας ύψους συναρτήσει του ΔH_{AB} και του S .

Η μεταβολή αυτή, όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.12, είναι ανάλογη με την υψομετρική διαφορά ΔH_{AB} μεταξύ του σημείου μέτρησης A και του σημείου αναγωγής B, και αντιστρόφως ανάλογη της οριζόντιας απόστασης S του ορίζοντα από το σημείο μέτρησης.

2.3.4 Προσδιορισμός της θέσης του ήλιου

Βασική παράμετρος στη διερεύνηση του προσανατολισμού των μνημείων αποτελεί και ο προσδιορισμός της φαινόμενης θέσης ή πορείας του ήλιου ή άλλων αστερών σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή, είτε αυτή είναι η στιγμή της ανατολής ή της δύσης τους, είτε κάποια άλλη χρονική στιγμή.

Ο ήλιος είναι ένα ουράνιο σώμα, το κέντρο του ηλιακού μας συστήματος και ο πλησιέστερος προς τη Γη απλανής αστέρας. Εκτός από τη συμμετοχή του στη φαινόμενη ημερήσια κίνηση της ουράνιας σφαίρας παρουσιάζει και μια ετήσια φαινόμενη κίνηση, η οποία οφείλεται στην ετήσια περιφορά της γης γύρω από αυτόν. Η περιφορά αυτή ολοκληρώνεται σε 365.25 ημέρες περίπου, επομένως η ημερήσια φαινόμενη κίνηση του ήλιου είναι 1° περίπου. Το μέγεθος του ήλιου (έχει ακτίνα 100πλάσια περίπου από αυτήν της Γης) και η απόσταση του από αυτή (Πίνακας 2.2) [57], τον κάνουν να γίνεται ορατός από την επιφάνεια της Γης ως κυκλικός δίσκος στον ουρανό, με μια φαινόμενη διάμετρο περίπου 32'.

Μέση απόσταση από τη γη	1.495979×10^8 Km
Ακτίνα	6.9599×10^5 Km
Μέση φαινόμενη γωνιακή διάμετρος από τη γη	32'
Μάζα	1.989×10^{30} Kg
Μέση πυκνότητα	1.409 gr/cm ³
Συνολική λαμπρότητα	3.826×10^{26} Joule/sec

Πίνακας 2.2 : Χαρακτηριστικά στοιχεία του ήλιου

Η τροχιά της φαινόμενης ετήσιας κίνησης του ήλιου είναι ένας μέγιστος κύκλος της ουράνιας σφαίρας που είναι γνωστός ως "εκλειπτική". Τα σημεία στα οποία η εκλειπτική τέμνει τον ουράνιο ισημερινό ονομάζονται εαρινό ισημερινό σημείο Υ και φθινοπωρινό ισημερινό σημείο Υ' (σχήμα 2.13).

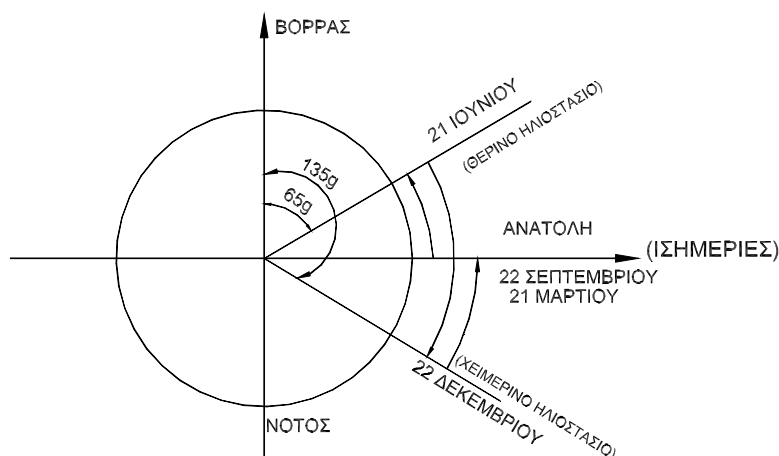


Σχήμα 2.13 : Ουράνια σφαίρα

Εαρινό ισημερινό σημείο \mathcal{V} ονομάζεται το σημείο από το οποίο διέρχεται ο ήλιος περίπου στις 21 Μαρτίου κάθε έτους (γνωστή και ως εαρινή ισημερία), και τότε μεταβαίνει από το νότιο ημισφαίριο του ουρανού προς το βόρειο.

Φθινοπωρινό ισημερινό σημείο \mathcal{V}' ονομάζεται το σημείο από το οποίο διέρχεται ο ήλιος περίπου στις 22 Σεπτεμβρίου κάθε έτους (γνωστή και ως φθινοπωρινή ισημερία) και τότε μεταβαίνει από το βόρειο ημισφαίριο του ουρανού προς το νότιο.

Ηλιοστάσια ονομάζονται τα σημεία στα οποία ο ήλιος φθάνει στη μέγιστη γωνιακή απόσταση από τον ουράνιο ισημερινό και φαίνεται να σταματά, προς στιγμήν, καθώς αλλάζει φορά κίνησης (σταματά να απομακρύνεται και αρχίζει να πλησιάζει τον ισημερινό). Τα ηλιοστάσια διακρίνονται σε **θερινό ηλιοστάσιο** (21 Ιουνίου) και **χειμερινό** (22 Δεκεμβρίου).



Σχήμα 2.14 : Ισημερίες και ηλιοστάσια για τόπο με $\varphi \approx 39^\circ 42'$

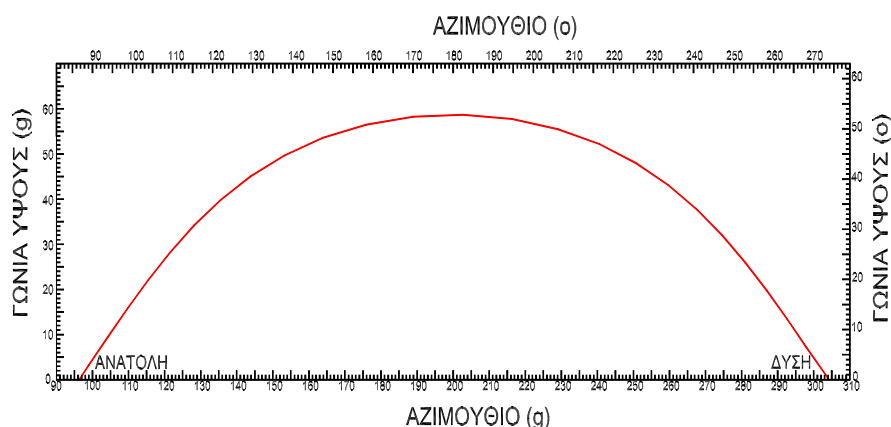
Τα αζιμούθια της θέσης του ήλιου (κατά την ανατολή του), στα οποία παρατηρούνται τα αντίστοιχα φαινόμενα των ισημεριών και των ηλιοστασίων, από έναν τόπο με πλάτος φ περίπου $39^\circ 42'$, παρουσιάζονται στο σχήμα 2.14.

Ο χρόνος μεσημβρινής διάβασης ή μεσουράνησης ενός ουρανίου σώματος αναφέρεται στη χρονική στιγμή που το κέντρο του διαβαίνει από το μεσημβρινό του τόπου παρατήρησης.

Ως **χρόνος ανατολής ή δύσης** του ήλιου, τοπικά, ορίζεται ο χρόνος κατά τον οποίο το ανώτατο σημείο του δίσκου του βρίσκεται στον ορίζοντα του τόπου. Ο προσδιορισμός του χρόνου αυτού έχει κάποιες ιδιαιτερότητες διότι ο ήλιος εμφανίζεται ως κυκλικός δίσκος και όχι ως σημειακή φωτεινή πηγή, όπως τα άλλα ουράνια σώματα, για τα οποία ο χρόνος ανατολής ή δύσης είναι μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή [70].

Ο χρόνος της ανατολής ή δύσης του ήλιου πρακτικά εξαρτάται από την ημερομηνία, το πλάτος του τόπου, τις ατμοσφαιρικές συνθήκες, την τοπογραφία της περιοχής και το υψόμετρο όπου βρίσκεται ο παρατηρητής. Ο χρόνος αυτός μπορεί να προσδιοριστεί με ένα σφάλμα ενός λεπτού περίπου [70].

Τη στιγμή που ένας παρατηρητής βλέπει το άνω χείλος του κυκλικού του δίσκου του ήλιου στον ορίζοντα, το κέντρο του ήλιου βρίσκεται 50' χαμηλότερα από τον ορίζοντα. Έτσι τη στιγμή της ανατολής ή της δύσης του ήλιου αναφέρεται ως κατακόρυφη γωνία του κέντρου του ίση με $90^{\circ}.8333$, περίπου 50' τόξου διαφορετική από την πραγματική. Η διαφορά των 50' αναλύεται σε 16' που είναι η φαινόμενη ακτίνα του ήλιου (από τη Γη) και σε 34' περίπου που οφείλονται στην επίδραση της ατμοσφαιρικής διάθλασης στον ορίζοντα [70].



Σχήμα 2.15 : Διάγραμμα πορείας ήλιου για την ισημερία για τόπο με $\varphi \approx 39^{\circ}42'$

Η πορεία του ήλιου στο χρονικό διάστημα μιας ημέρας μπορεί να παρασταθεί σε ένα διάγραμμα αζιμουθίου-γωνίας ύψους, αντίστοιχο με αυτό των οριζόντων (σχήμα 2.15).

Με τη βοήθεια αυτού του διαγράμματος μπορεί να προκύψει το αζιμούθιο του ήλιου την ώρα της ανατολής του ή οποιαδήποτε άλλη χρονική στιγμή της ημέρας. Το διάγραμμα αυτό διαφοροποιείται από μέρα σε μέρα, λόγω της φαινόμενης κίνησης του ήλιου και προκύπτει ψηφιακά χρησιμοποιώντας κατάλληλο λογισμικό [34], με στοιχείο εισόδου τις γεωδαιτικές συντεταγμένες (φ , λ), του τόπου και την ημερομηνία (ημέρα, έτος) κατά την οποία εξετάζεται η πορεία του.

Ο προσδιορισμός των στοιχείων της πορείας του ήλιου σχετίζεται άμεσα με την ημερομηνία για την οποία αυτά προσδιορίζονται. Για την ημερομηνία αυτή πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η διόρθωση που οφείλεται στην ημερολογιακή μεταρρύθμιση. Η μεταρρύθμιση αυτή έγινε

το 1582 και τότε η 5^η Οκτωβρίου 1582 μετονομάστηκε σε 15^η Οκτωβρίου, ώστε να διορθωθεί το σφάλμα των 10 ημερών που είχε συσσωρευτεί κατά τους προηγούμενους 11 αιώνες, εξαιτίας των ατελών υπολογισμών του Ιουλιανού Ημερολογίου, και να επιστρέψει έτσι η εαρινή ισημερία την 21^η Μαρτίου. Επειδή το Γρηγοριανό ημερολόγιο εισήχθη στην Ελλάδα το 1924 [52], οπότε και η 5^η Μαρτίου μετονομάστηκε σε 18^η Μαρτίου ημερομηνίες που αναφέρονται μετά το 1582 πρέπει να διορθώνονται ως εξής:

1582 – 1699 (+10 ημέρες)

1700 – 1799 (+11 ημέρες)

1800 – 1899 (+12 ημέρες)

1900 – 1924 (+13 ημέρες)

Με τον τρόπο αυτό, κατά τη διερεύνηση του προσανατολισμού ενός μνημείου, μπορεί να προσδιοριστεί το αζιμούθιο του ήλιου τη στιγμή της ανατολής του, ή οποιαδήποτε άλλη χρονική στιγμή τη σωστή ημερομηνία, εφόσον οι αλλαγές του ημερολογίου δεν είχαν, προφανώς, ληφθεί υπόψη από τους κτίτορες του μνημείου κατά το χρόνο κτίσης.

Στην εργασία αυτή υπολογίστηκε με ακρίβεια η συστηματική μεταβολή της πορείας του ήλιου σε ένα ευρύ χρονικό διάστημα από το 99 π.Χ. έως τον 21^ο αιώνα για έναν τόπο που βρίσκεται σε γεωγραφικό πλάτος $\varphi = 39^\circ 42'$. Στο σχήμα 2.16, παρουσιάζεται απόσπασμα της ημερήσιας πορείας του ήλιου για τις 22/12 (ημερομηνία που βρίσκεται κοντά στο χειμερινό ηλιοστάσιο), από το 99 π.Χ. έως το 2100 (ανά 100 χρόνια), η πορεία του ήλιου για μια τυχαία ημερομηνία, τη 16^η Νοεμβρίου για το αντίστοιχο χρονικό διάστημα (σχήμα 2.17) και η πορεία του ήλιου για τις 21/3 (ημερομηνία που βρίσκεται κοντά στην εαρινή ισημερία) (σχήμα 2.18) για το ίδιο χρονικό διάστημα.

Παρατηρώντας τα διαγράμματα αυτά, διαπιστώνεται ότι υπάρχει μια μεταβολή της φαινόμενης θέσης της ημερήσιας πορείας του ήλιου. Για τη μεταβολή αυτή αξίζει να επισημανθούν τα ακόλουθα:

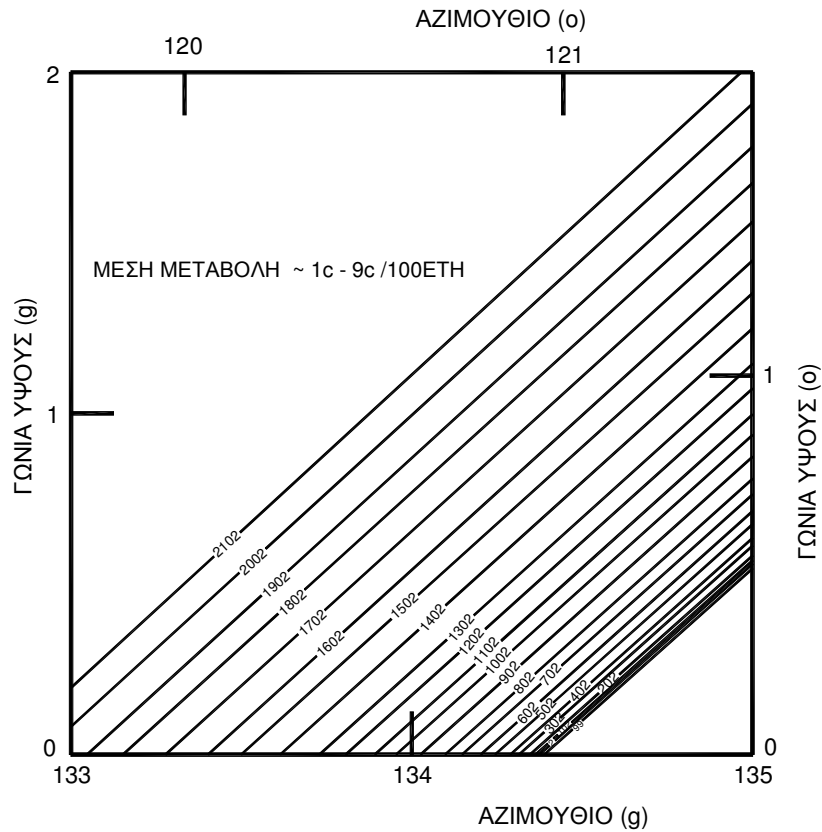
- Οι τιμές αυτής της μεταβολής είναι διαφορετικές για κάθε μέρα του χρόνου, για τον ίδιο τόπο με $\varphi = 39^\circ 42'$.

Πιο συγκεκριμένα:

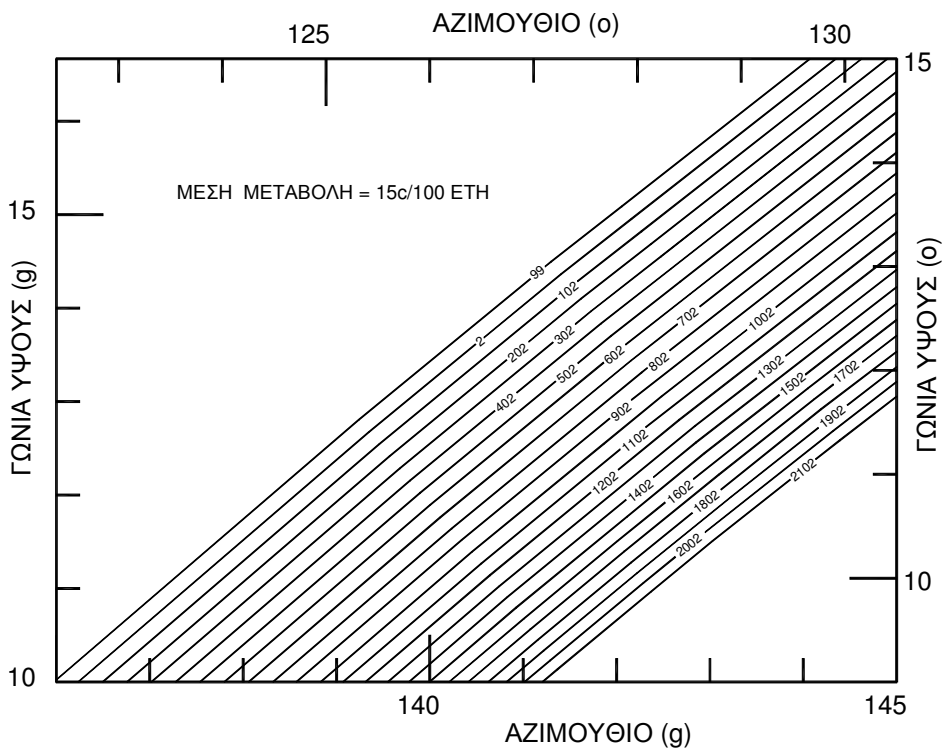
➤ Για την ισημερία η μεταβολή είναι περίπου 33^{cc}/100 χρόνια (33^{cc}/χρόνο) και είναι η μέγιστη που παρατηρείται.

➤ Για μια τυχαία ημέρα του έτους, τη 16^η Νοεμβρίου, η μεταβολή είναι περίπου 15^c/100 χρόνια (15^{cc}/χρόνο).

➤ Για το ηλιοστάσιο η μεταβολή έχει τιμές 1^c - 9^c/100 χρόνια (1^{cc}-9^{cc}/χρόνο) και είναι η ελάχιστη που παρατηρείται.

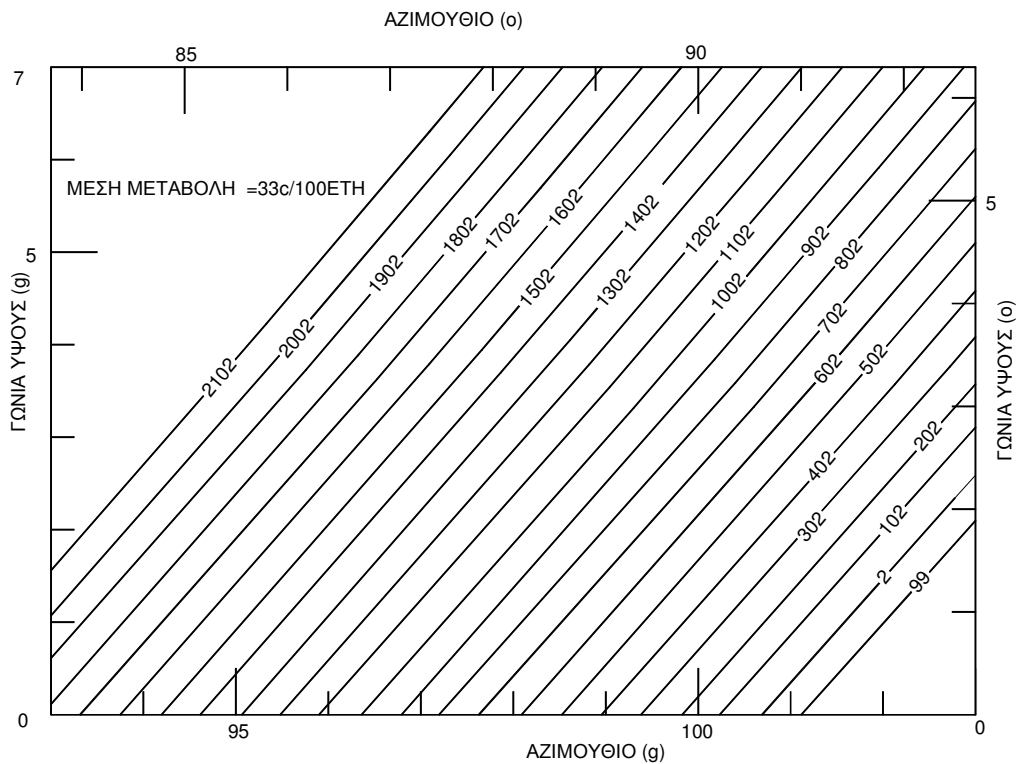


Σχήμα 2.16 : Διάγραμμα μεταβολής της πορείας του ήλιου για τις 22/12 (που βρίσκεται κοντά στο χειμερινό ηλιοστάσιο) από το 99 π.Χ έως τον 21^ο αιώνα.



Σχήμα 2.17.: Διάγραμμα μεταβολής της πορείας του ήλιου για τις 16/11 από το 99 π.Χ έως τον 21^ο αιώνα

- Το μεγαλύτερο τμήμα αυτής της μεταβολής οφείλεται στην ασυμβατότητα του ημερολογίου με την πραγματική διάρκεια του έτους.



Σχήμα 2.18 : Διάγραμμα μεταβολής της πορείας του ήλιου για τις 21/3 (που βρίσκεται κοντά στην ισημερία) από το 99 π.Χ έως τον 21^ο αιώνα.

Συγκεκριμένα η συμβατική διάρκεια του έτους, κατά το Γρηγοριανό ημερολόγιο είναι 365.2425 ημέρες, ενώ η πραγματική διάρκεια της ετήσιας περιφοράς της γης γύρω από τον ήλιο είναι μικρότερη κατά 26sec, δηλαδή 43 min κάθε 100 χρόνια. Η διαφορά αυτή συσσωρεύεται σε 1 ημέρα/3323 χρόνια, δηλαδή σε 3323 χρόνια το συμβατικό ημερολόγιο θα προηγείται κατά μία ημέρα της πραγματικής θέσης της Γης στην τροχιάς της [58].

- Μικρό τμήμα της μεταβολής αυτής πιθανόν οφείλεται στην αύξηση του σφάλματος προσδιορισμού της θέσης της Γης στην τροχιά της καθώς απομακρυνόμαστε από το παρόν, επειδή τα τροχιακά στοιχεία της γης στηρίζονται σε παρατηρήσεις κυρίως των τελευταίων 300 ετών περίπου [34],[58].

Η μη σταθερή θέση της φαινόμενης πορείας του ήλιου στο πέρασμα του χρόνου, μπορεί να αποτελέσει έναν ακόμη αξιόπιστο τρόπο προσδιορισμού της χρονικής περιόδου κτίσης ενός μνημείου, με ένα εύρος λίγων ετών. Σ' αυτό καθοριστικό είναι το μέγεθος της αβεβαιότητας με την οποία θα επιτευχθεί ο προσδιορισμός του προσανατολισμού κάθε μνημείου με την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας. Η αβεβαιότητα αυτή όπως προκύπτει από την ανάλυση που ακολουθεί είναι κατά πολύ μικρότερη από τη μεταβολή της φαινόμενης θέσης του ήλιου.

2.4. Ανάλυση ακρίβειας της μεθοδολογίας.

Η αβεβαιότητα προσδιορισμού ενός μεγέθους εξαρτάται αφενός μεν από τυχαία και αφετέρου από συστηματικά σφάλματα, τα οποία εμφανίζονται κυρίως κατά τη διάρκεια των μετρήσεων και πολύ λιγότερο στους υπολογισμούς, καθώς και από σφάλματα των οργάνων και των χρησιμοποιούμενων μεθόδων μέτρησης. Η ακρίβεια με την οποία προσδιορίζεται ένα μέγεθος αποτελεί, σε ένα βαθμό, και το μέτρο επιτυχίας των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό του.

Στην εργασία αυτή συνδυάζονται γεωδαιτικές και αστρονομικές μετρήσεις και υπολογισμοί με τελικό σκοπό τη διερεύνηση του προσανατολισμού ενός μνημείου. Κρίνεται σκόπιμο, λοιπόν, να γίνει μια ανάλυση που αφορά στην τελική ακρίβεια, η οποία επιτυγχάνεται κατά την εφαρμογή της μεθοδολογίας.

Τα σφάλματα που εμφανίζονται κατά τη διερεύνηση του προσανατολισμού ενός μνημείου διακρίνονται σε:

- i) Σφάλμα στον προσδιορισμό του αστρονομικού αζιμουθίου.
- ii) Σφάλμα στον προσδιορισμό της γωνίας διεύθυνσης του βασικού άξονα ή κάποιων άλλων ειδικών διευθύνσεων του μνημείου.
- iii) Σφάλμα στον προσδιορισμό της γεωμετρικής θέσης του ορίζοντα προς τον οποίο "βλέπει" ο βασικός άξονας ή άλλες ειδικές διευθύνσεις κάθε μνημείου (ναού).
- iv) Σφάλμα στον προσδιορισμό της θέσης του ήλιου ή άλλου αστέρα.

2.4.1 Σφάλμα στον προσδιορισμό του αστρονομικού αζιμουθίου.

Για τον προσδιορισμό του αστρονομικού αζιμουθίου A του Πολικού αστέρα, χρησιμοποιείται η σχέση 2.2 δηλαδή:

$$\tan A = \frac{-\sinh}{\cos \Phi \cdot \tan \delta - \sin \Phi \cdot \cosh} \quad (2.6)$$

με σκοπεύσεις σ' αυτόν. Οι ουρανογραφικές συντεταγμένες (α, δ) του Πολικού αστέρα είναι γνωστές, από διεθνείς ψηφιακούς καταλόγους με ακρίβεια $\sigma_\alpha = \pm 0.001 \text{sec}$ και $\sigma_\delta = \pm 0''.01 = \pm 0.03^{\text{cc}}$ αντίστοιχα. Το σφάλμα προσδιορισμού του αζιμουθίου εξαρτάται κυρίως από το σφάλμα

του αστρονομικού πλάτους Φ (σ_{A_Φ}) και από το σφάλμα της ωριαίας γωνίας h (σ_{A_h}). Η επίδραση των δυο αυτών σφαλμάτων στο αζιμούθιο προκύπτει με εφαρμογή του νόμου μετάδοσης σφαλμάτων στη σχέση 2.6.

$$\sigma_A = \pm \sqrt{\sigma_{A_\Phi}^2 + \sigma_{A_h}^2} \quad (2.7)$$

$$\sigma_A = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial A}{\partial \Phi}\right)^2 \sigma_\Phi^2 + \left(\frac{\partial A}{\partial h}\right)^2 \sigma_h^2} \quad (2.8)$$

Όπου

$$\begin{aligned} \frac{\partial A}{\partial \Phi} &= \frac{\sinh \cdot \cos \delta \cdot (-\sin \Phi \cdot \sin \delta - \cos \Phi \cdot \cosh \cdot \cos \delta)}{(\cos \Phi \cdot \sin \delta - \sin \Phi \cdot \cosh \cdot \cos \delta)^2} \\ &= \frac{1 + \frac{(-\sinh \cdot \cos \delta)^2}{(\cos \Phi \cdot \sin \delta - \sin \Phi \cdot \cosh \cdot \cos \delta)^2}}{1 + \frac{(-\sinh \cdot \cos \delta)^2}{(\cos \Phi \cdot \sin \delta - \sin \Phi \cdot \cosh \cdot \cos \delta)^2}} \\ &= \frac{-\sinh \cdot \cos \delta \cdot (\sin \Phi \cdot \sin \delta + \cos \Phi \cdot \cosh \cdot \cos \delta)}{(\cos \Phi \cdot \sin \delta - \sin \Phi \cdot \cosh \cdot \cos \delta)^2 + (-\sinh \cdot \cos \delta)^2} \xrightarrow{(*)} \end{aligned}$$

$$\frac{\partial A}{\partial \Phi} = \frac{\sin z \cdot \sin A \cdot \cos z}{(\sin z \cdot \cos A)^2 + (-\sinh \cdot \cos \delta)^2} = \frac{\sin z \cdot \sin A \cdot \cos z}{\sin^2 z} = \sin A \cdot \cot z \quad (2.9)$$

και

$$\begin{aligned} \frac{\partial A}{\partial h} &= \frac{-\cosh \cdot \cos \delta \cdot \sin z \cdot \cos A - \sin z \cdot \sin A \cdot (\cos \Phi \cdot \sin \delta + \sin \Phi \cdot \sinh \cdot \cos \delta)}{(\cos \Phi \cdot \sin \delta - \sin \Phi \cdot \cosh \cdot \cos \delta)^2} \\ &= \frac{1 + \frac{(-\sinh \cdot \cos \delta)^2}{(\cos \Phi \cdot \sin \delta - \sin \Phi \cdot \cosh \cdot \cos \delta)^2}}{1 + \frac{(-\sinh \cdot \cos \delta)^2}{(\cos \Phi \cdot \sin \delta - \sin \Phi \cdot \cosh \cdot \cos \delta)^2}} \\ &= \frac{-\sinh \cdot \cos A \cdot \cos \Phi \cdot \cos z + \sin^2 z \cdot \cos^2 A \cdot \sin \Phi - \sin z \cdot \sin A \cdot \cos \Phi \cdot (\cos z \cdot \sin \Phi + \sin z \cdot \cos \Phi \cdot \cos A)}{(\cos \Phi \cdot \sin \delta - \sin \Phi \cdot \cosh \cdot \cos \delta)^2 + (-\sinh \cdot \cos \delta)^2} = \\ &\xrightarrow{(*)} \frac{\partial A}{\partial h} = \sin \Phi - \cos A \cdot \cos \Phi \cdot \cot z \quad (2.10) \end{aligned}$$

(*)

$$\sin z \cdot \sin A = -\sinh \cdot \cos \delta$$

$$\cos z = \sin \Phi \cdot \sin \delta + \cos \Phi \cdot \cosh \cdot \cos \delta$$

$$\sin z \cdot \cos A = \cos \Phi \cdot \sin \delta - \sin \Phi \cdot \cosh \cdot \cos \delta$$

$$\sin \delta = \cos z \cdot \sin \Phi + \sin z \cdot \cos \Phi \cdot \cos A$$

$$\cos \delta \cdot \cosh = \cos \Phi \cdot \cos z - \sin \Phi \cdot \cos A \cdot \sin z$$

όπου

z = η κατακόρυφη γωνία (ζενίθια απόσταση του Πολικού).

Φ = το αστρονομικό πλάτος του τόπου (στην πράξη χρησιμοποιείται το γεωδαιτικό).

h = η ωριαία γωνία του αστέρα.

σ_Φ = το σφάλμα του αστρονομικού (γεωδαιτικού) πλάτους.

σ_h = το σφάλμα της ωριαίας γωνίας, το οποίο οφείλεται στο σφάλμα του αστρονομικού (γεωδαιτικού) μήκους και σε σφάλμα του χρονομέτρου.

A = το ζητούμενο αστρονομικό αζιμούθιο.

Αντικαθιστώντας τις σχέσεις 2.9, 2.10 στη 2.8 προκύπτει:

$$\sigma_A = \pm \sqrt{(\sin A \cdot \cot z)^2 \sigma_\Phi^2 + (\cos \Phi \cdot (\tan \Phi - \cos A \cdot \cot z))^2 \sigma_h^2} \quad (2.11)$$

Από τη σχέση (2.11) προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Η επίδραση του σφάλματος σ_Φ στον προσδιορισμό του αζιμουθίου εξαρτάται από το ύψος στο οποίο παρατηρείται ο Πολικός αστέρας. Έτσι όταν ο Πολικός παρατηρείται σε μικρά ή μεσαία πλάτη, όπως της Ελλάδας, η κατακόρυφη γωνία $z \approx 58^\circ$ είναι μεγάλη και η επίδραση του σ_Φ στο σφάλμα του αζιμουθίου αμελητέα. Αν θεωρηθεί $\sigma_\Phi = \pm 20''$ (μια τάξη μεγέθους διαφοράς αστρονομικού – γεωδαιτικού πλάτους) τότε η επίδραση στον προσδιορισμό του αστρονομικού αζιμουθίου είναι $\sigma_A \leq \pm 0.8^{cc}$

- Επίσης η θέση του Πολικού αστέρα έχει ως συνέπεια ο όρος $(\tan \Phi - \cos A \cdot \cot z)$ να είναι πολύ μικρός, περίπου 10^{-4} , επομένως και η επίδραση του σφάλματος σ_h (ουσιαστικά του σφάλματος του μήκους Λ) στο σφάλμα του αζιμουθίου είναι μικρή. Αν θεωρηθεί επίσης ότι το αστρονομικό μήκος Λ έχει ένα σφάλμα $20''$ επομένως $\sigma_h = \pm 20''$ τότε προκύπτει ότι το σφάλμα στον προσδιοριζόμενο αζιμούθιο για τις αντίστοιχες τιμές Φ και z είναι $\pm 0^{cc} \cdot 006$.

- Εκτός από τα παραπάνω σφάλματα υπάρχουν και σφάλματα που οφείλονται τόσο στην ορθή θέση του γεωδαιτικού σταθμού (οριζοντίωση) όσο και στην σκόπευση του αστέρα. Το σφάλμα αυτό είναι

$$\sigma_A = \frac{\sigma_{\Sigma K}}{\sin z} \text{ και για } z \approx 58^\circ \text{ και } \sigma_{\Sigma K} = \pm 1^{cc} \text{ είναι } \sigma_A = \pm 1.2^{cc} .$$

- Ενδεικτικά αν θεωρήσουμε έναν τόπο με $\varphi = 39^\circ 42'$, $\lambda = 21^\circ 38'$, μέγιστο $A \approx (90^\circ - \delta) / \cos \Phi \approx 1^\circ$, $z = 50^\circ 18'$, θεωρώντας ως μέσο σφάλμα των γεωδαιτικών συντεταγμένων $\sigma_\varphi = \sigma_\lambda = \pm 20'' = \pm 60^{cc}$ προκύπτει ένα ανώτατο όριο του αναμενόμενου μέσου σφάλματος του αστρονομικού

αζιμουθίου του Πολικού αστέρα, όπως αυτό προσδιορίζεται από την παρατήρησή του, που είναι $\sigma_A \approx \pm 1.5^{cc}$

- Επειδή οι παρατηρήσεις που γίνονται σήμερα με τα σύγχρονα όργανα είναι πολλές και η επεξεργασία τους γίνεται με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων το αποτέλεσμα είναι απαλλαγμένο από τυχαία σφάλματα σκόπευσης. Το τελικό σφάλμα προσδιορισμού της μιας μέτρησης του αστρονομικού αζιμουθίου μιας επίγειας διεύθυνσης παρατήρησης εξαρτάται από το σφάλμα προσδιορισμού του αστρονομικού αζιμουθίου του Πολικού αστέρα κάθε χρονική στιγμή, από το σφάλμα μέτρησης της αντίστοιχης οριζόντιας γωνίας και από τον αριθμό n των παρατηρήσεων. Θεωρώντας ως σφάλμα του αστρονομικού αζιμουθίου του Πολικού αστέρα $\pm 1.5^{cc}$, όπως αναλύθηκε προηγούμενα, σφάλμα μέτρησης της οριζόντιας γωνίας προς την επίγεια διεύθυνση παρατήρησης ίσο περίπου με $\pm 1.5^{cc}$ και για έναν αριθμό παρατηρήσεων $n = 20$, το σφάλμα της καλύτερης τιμής του αστρονομικού αζιμουθίου της επίγειας διεύθυνσης παρατήρησης, είναι περίπου ίσο με $\sigma_A = \pm 0.4^{cc}$.

2.4.2 Σφάλμα στον προσδιορισμό της γωνίας διεύθυνσης του βασικού άξονα ή άλλων ειδικών διευθύνσεων.

Το σφάλμα προσδιορισμού της γωνίας διεύθυνσης μιας γραμμής (π.χ. βασικός άξονας) προκύπτει από την εφαρμογή του νόμου μετάδοσης σφαλμάτων στη βασική σχέση υπολογισμού γωνίας διεύθυνσης:

$$a_{12} = \arctan \frac{X_2 - X_1}{Y_2 - Y_1} \quad (2.12)$$

Όπου X_1, Y_1, X_2, Y_2 είναι οι ορθογώνιες συντεταγμένες των δύο σημείων που ορίζουν τη διεύθυνση του άξονα

και

$$S_{12} = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2} \quad (2.13)$$

η οριζόντια απόσταση μεταξύ των δύο σημείων.

Τότε έχουμε

$$\sigma_{a_{12}}^2 = \left(\frac{\partial a_{12}}{\partial X_1}\right)^2 \cdot \sigma_{X_1}^2 + \left(\frac{\partial a_{12}}{\partial X_2}\right)^2 \cdot \sigma_{X_2}^2 + \left(\frac{\partial a_{12}}{\partial Y_1}\right)^2 \cdot \sigma_{Y_1}^2 + \left(\frac{\partial a_{12}}{\partial Y_2}\right)^2 \cdot \sigma_{Y_2}^2 \quad (2.14)$$

Αν $\sigma_{X_1} = \sigma_{X_2} = \sigma_X$ και $\sigma_{Y_1} = \sigma_{Y_2} = \sigma_Y$ τότε

$$\sigma_{a_{12}}^2 = 2 \left[\left(\frac{Y_2 - Y_1}{S_{12}^2} \right)^2 \sigma_X^2 + \left(\frac{X_2 - X_1}{S_{12}^2} \right)^2 \sigma_Y^2 \right] \quad (2.15)$$

και αν υποθέσουμε ότι $\sigma_X = \sigma_Y$, τότε

$$\sigma_{\alpha_{12}}^2 = 2\sigma_X^2 \frac{1}{S_{12}^2} \quad (2.16)$$

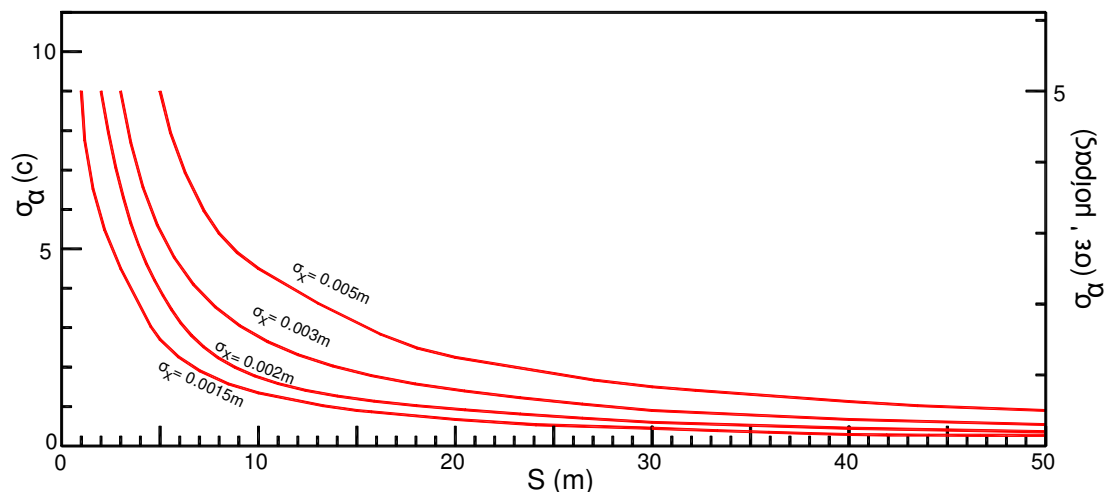
ή

$$\sigma_{\alpha_{12}} = \pm \sigma_X \frac{\sqrt{2}}{S_{12}} \quad (2.17)$$

Το σφάλμα προσδιορισμού της γωνίας διεύθυνσης μιας γραμμής (π.χ. του βασικού άξονα του μνημείου) είναι ανάλογο του σφάλματος το οποίο φέρουν οι συντεταγμένες των σημείων, τα οποία ορίζουν την γραμμή αυτή, και αντιστρόφως ανάλογο προς τη μεταξύ τους απόσταση. Το σφάλμα σ_X των συντεταγμένων X, Y ενός σημείου λεπτομέρειας του μνημείου εξαρτάται από την ακρίβεια μέτρησης:

- του τριγωνομετρικού δικτύου
- του πολυγωνομετρικού δικτύου
- του ίδιου του σημείου

Στο σχήμα 2.19 παρουσιάζονται τα σφάλματα προσδιορισμού της γωνίας διεύθυνσης μιας ευθείας για διάφορες τιμές της απόστασης S των σημείων που την ορίζουν και διάφορες τιμές του σφάλματος σ_X των συντεταγμένων των σημείων αυτών.



Σχήμα 2.19 : Διάγραμμα μεταβολής σφάλματος της γωνίας διεύθυνσης μιας ευθείας συναρτήσει της απόστασης των σημείων της και του σφάλματος σ_X των συντεταγμένων τους.

Με τα σύγχρονα όργανα και τις μεθόδους μέτρησης και υπολογισμών που χρησιμοποιούνται στην εργασία αυτή προκύπτει ότι οι συντεταγμένες των σημείων λεπτομερειών της αποτύπωσης του μνημείου, έχουν ένα μέσο σφάλμα $\sigma_X = \sigma_Y = \pm 0.003m$. Αν οι αποστάσεις

μεταξύ δύο σημείων που ορίζουν μια διεύθυνση κυμαίνονται από 10m έως 50m, τότε το σφάλμα υπολογισμού του αζιμουθίου της διεύθυνσης αυτής κυμαίνεται από 0.5° έως 3°.

2.4.3 Σφάλμα στον προσδιορισμό της οριογραμμής του αισθητού ορίζοντα.

Το σφάλμα προσδιορισμού των σημείων που ορίζουν την οριογραμμή του αισθητού ορίζοντα εξαρτάται από τους εξής παράγοντες:

- από το σφάλμα προσδιορισμού της γωνίας διεύθυνσης στάσης μέτρησης του ορίζοντα και στάσης μηδενισμού (αναφοράς).
- από το σφάλμα μέτρησης των στοιχείων που ορίζουν κάθε σημείο της οριογραμμής του ορίζοντα (οριζόντια γωνία, γωνία ύψους, απόσταση). Αυτό εξαρτάται από τα όργανα μέτρησης που χρησιμοποιούνται.
- από την αβεβαιότητα ορισμού των σημείων της οριογραμμής του ορίζοντα, εφόσον αυτά δεν είναι επισημασμένα.
- από το σφάλμα λόγω της αναγωγής των μετρούμενων μεγεθών, όταν αυτή είναι απαραίτητη (μέτρηση από θέση διαφορετική από την επιθυμητή).

Το σφάλμα προσδιορισμού κάθε σημείου της γραμμής του ορίζοντα είναι το μέτρο του διανύσματος του αθροίσματος των δύο σφαλμάτων κατά την οριζόντια (σ_{Δ}) και κατακόρυφη διεύθυνση (σ_{κ}) δηλαδή

$$\sigma_{op} = \pm \sqrt{\sigma_{\Delta}^2 + \sigma_{\kappa}^2} \quad (2.18)$$

Σφάλμα στην οριζόντια διεύθυνση (σ_{Δ}) Το αζιμούθιο ενός σημείου της οριογραμμής του ορίζοντα προκύπτει από τη σχέση $Az_{op} = a_0 + \gamma$, όπου γ η μετρούμενη οριζόντια γωνία προς αυτό. Άρα το σφάλμα στην οριζόντια διεύθυνση εκφράζεται από τη σχέση:

$$\sigma_{\Delta} = \pm \sqrt{\sigma_{\gamma}^2 + \sigma_{\alpha_0}^2} \quad (2.19)$$

όπου σ_{γ} = το σφάλμα μέτρησης της οριζόντιας γωνίας

σ_{α_0} = το σφάλμα της γωνίας διεύθυνσης στάσης – σημείου μηδενισμού.

Το σφάλμα προσδιορισμού της γωνίας διεύθυνσης στάσης – σημείου μηδενισμού προκύπτει από την εφαρμογή του νόμου μετάδοσης σφαλμάτων στη σχέση:

$$a_0 = \arctan \frac{X_B - X_A}{Y_B - Y_A} \quad (2.20)$$

όπου X_A, Y_A οι ορθογώνιες συντεταγμένες του σημείου στάσης, και X_B, Y_B οι ορθογώνιες συντεταγμένες του σημείου μηδενισμού. Από την προηγούμενη ανάλυση προκύπτει ότι το σφάλμα είναι

$$\sigma_{\alpha_0} = \pm \sigma_X \frac{\sqrt{2}}{S_{AB}} \quad (2.21)$$

όπου σ_X το σφάλμα προσδιορισμού των συντεταγμένων X, Y των σημείων στάσης και μηδενισμού, και S_{AB} η μεταξύ τους απόσταση. Έτσι, αν θεωρηθεί ότι $\sigma_X = \sigma_Y = \pm 0.002\text{m}$ και $S_{AB} = 100\text{m}$, τότε προκύπτει $\sigma_{\alpha_0} = \pm 12^{\text{cc}}$

Σφάλμα στην κατακόρυφη διεύθυνση (σ_K). Αυτό είναι ίσο με το σφάλμα σ_v μέτρησης της γωνίας ύψους (ή της κατακόρυφης γωνίας).

Αν θεωρηθεί ότι τα όργανα μέτρησης οριζοντίων γωνιών και γωνιών ύψους δίνουν ένα μέσο σφάλμα στη μέτρηση τους ίσο προς $\sigma_\gamma = \sigma_v = \pm 10^{\text{cc}}$ και ότι το σφάλμα της γωνίας διεύθυνσης της διεύθυνσης μηδενισμού είναι ίσο με $\sigma_{\alpha_0} = \pm 12^{\text{cc}}$, τότε προκύπτει ότι το σφάλμα προσδιορισμού των σημείων του ορίζοντα στην οριζόντια διεύθυνση σύμφωνα με τη σχέση 2.19 είναι ίσο με $\sigma_\Delta = \pm 16^{\text{cc}}$ και στην κατακόρυφη είναι ίσο με $\sigma_K = \pm 10^{\text{cc}}$ και σύμφωνα με τη σχέση 2.18 το συνολικό σφάλμα κάθε σημείου της οριογραμμής του ορίζοντα είναι $\sigma_{op} = \pm 20^{\text{cc}}$.

Η αβεβαιότητα προσδιορισμού της θέσης των σημείων του ορίζοντα, εξαρτάται από την απόστασή του από το μνημείο δηλαδή αν είναι μακρινός ή κοντινός, σχετίζεται άμεσα με την αβεβαιότητα σκόπευσης των σημείων που ορίζουν την οριογραμμή του και από την αναγκαιότητα της αναγωγής των μετρούμενων μεγεθών. Πιο συγκεκριμένα:

⊗ Αν ο ορίζοντας είναι **κοντινός (της τάξης των 200m)** ή **προσβάσιμος** η ακρίβεια προσδιορισμού των σημείων του, διατηρεί την ακρίβεια όπως αναλύθηκε προηγουμένως και είναι $\sigma_{op} = \pm 20^{\text{cc}}$, όταν δεν απαιτείται αναγωγή. Όταν οι μετρήσεις γίνονται σε διαφορετική θέση από την επιθυμητή δηλαδή απαιτείται η αναγωγή τους στην ορθή θέση, τότε η ακρίβεια προσδιορισμού των σημείων του αισθητού ορίζοντα είναι της τάξης των $\pm 2^{\text{c}}$.

⊗ Αν ο ορίζοντας είναι **μακρινός (>200m)** και **απρόσιτος** η ακρίβεια προσδιορισμού των σημείων εξαρτάται και από την αβεβαιότητα ορισμού τους. Έτσι αν η μέση αβεβαιότητα ορισμού των σημείων του ορίζοντα είναι περίπου 30cm σε μια απόσταση 1000m, τότε το τελικό σφάλμα προσδιορισμού της γεωμετρικής θέσης της οριογραμμής του αισθητού ορίζοντα είναι περίπου $\sigma_{op} = \pm 2^\circ$. Στην περίπτωση αναγωγής των μετρήσεων αυτών για την αναφορά τους στην επιθυμητή θέση, η ακρίβεια προσδιορισμού των σημείων του αισθητού ορίζοντα μετά την αναγωγή διατηρεί την τιμή των $\pm 2^\circ$, που οφείλεται στη μεγάλη απόστασή του από το σημείο μέτρησης.

Πρέπει να σημειωθεί ότι το σφάλμα προσδιορισμού των σημείων της οριογραμμής του αισθητού ορίζοντα, κυρίως όταν αυτός ανάγεται, διαφοροποιείται και εξαρτάται από:

- την αρχική ακρίβεια μέτρησης
- την απόσταση του ορίζοντα από το σημείο μέτρησης και την αβεβαιότητά της
- την απόσταση μεταξύ σημείου μέτρησης - σημείου αναγωγής και την αβεβαιότητά της.
- την υψομετρική διαφορά μεταξύ σημείου μέτρησης - σημείου αναγωγής και την αβεβαιότητά της.

2.4.4 Σφάλματα στον προσδιορισμό της θέσης ή της πορείας του ήλιου.

Το σφάλμα προσδιορισμού της θέσης ή της πορείας του ήλιου, σ_H , εξαρτάται

- από την ακρίβεια των αστρονομικών συντεταγμένων του τόπου στον οποίο βρίσκεται το μνημείο (στην πράξη χρησιμοποιούνται οι γεωδαιτικές οι οποίες διαφέρουν από τις αστρονομικές μερικά δευτερόλεπτα τόξου).
- από την ακρίβεια των ουρανογραφικών συντεταγμένων του α , δ που είναι γνωστές από διεθνείς ψηφιακούς καταλόγους, και η οποία είναι $\sigma_\alpha = \pm 0.001\text{sec}$ και $\sigma_\delta = \pm 0''.01 = \pm 0.03^{\text{cc}}$

Τα παραπάνω στοιχεία απαιτούνται για την ψηφιακή προσομοίωση της πορείας του ήλιου, σε συγκεκριμένη ημερομηνία.

Αν η αβεβαιότητα με την οποία είναι γνωστές οι γεωδαιτικές συντεταγμένες (ϕ , λ) είναι $\sigma_\phi = \sigma_\lambda = 10'' = \pm 30^{\text{cc}}$, τότε το σφάλμα προσδιορισμού της θέσης ή της πορείας του ήλιου μέσα από αυτή τη διαδικασία είναι της τάξης των $\pm 6^{\text{cc}}$ [35].

2.4.5 Τελική ακρίβεια.

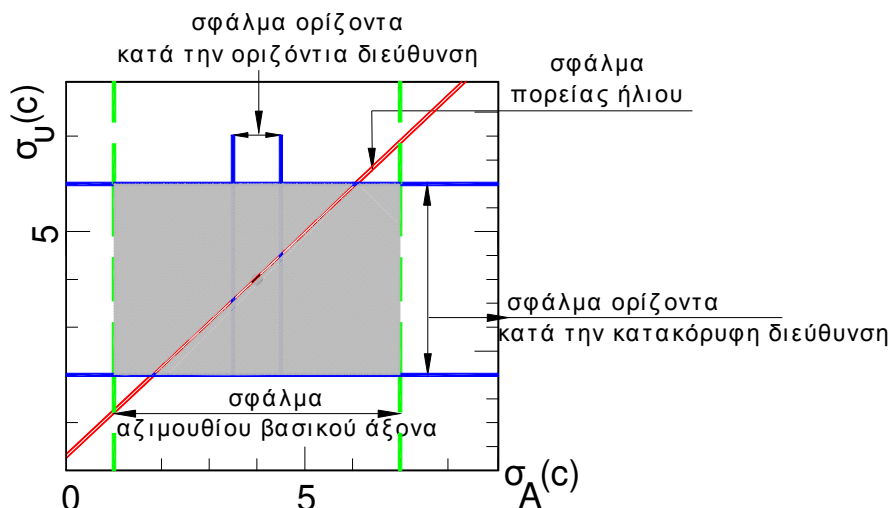
Συνοψίζοντας τη θεωρητική ανάλυση που έγινε και αφορούσε στην αβεβαιότητα προσδιορισμού καθενός από τα γεωμετρικά στοιχεία, τα οποία συνθέτουν τη διαδικασία διερεύνησης του προσανατολισμού ενός μνημείου, διαπιστώνεται ότι η προτεινόμενη μεθοδολογία μπορεί να καλύψει σε επίπεδο ακρίβειας τις ανάγκες της διερεύνησης του προσανατολισμού του. Πιο συγκεκριμένα:

- Η εφαρμογή *αστρονομικών παρατηρήσεων*, για τον προσδιορισμό του αστρονομικού αζιμουθίου A μιας διεύθυνσης, παρέχει σήμερα ακρίβεια καλύτερη από $\pm 1^{\circ}$.
- Ο προσδιορισμός της *γωνίας διεύθυνσης* του βασικού άξονα ή άλλων ειδικών διευθύνσεων του μνημείου $\alpha_{αξ}$, χρησιμοποιώντας τα παραγόμενα τοπογραφικά διαγράμματα της κάτοψης του, μπορεί να διατηρήσει μια αβεβαιότητα της τάξης των $\pm 50^{\circ}$, αν εφαρμοστεί σε μνημεία μεγάλου μεγέθους ή να φθάσει σε ορισμένες περιπτώσεις για μνημεία μικρού μεγέθους τα $\pm 3^{\circ}$.
- Ο προσδιορισμός των *σημείων της οριογραμμής του ορίζοντα* Σ_{op} μπορεί να γίνει με μια ακρίβεια $\pm 20^{\circ}$ αν αυτός είναι κοντινός και δεν απαιτείται αναγωγή, ενώ στις περιπτώσεις που αυτός είναι μακρινός και απρόσιτος ή απαιτείται αναγωγή των μετρήσεων για την αναφορά τους στην επιθυμητή θέση, η αβεβαιότητα προσδιορισμού τους διαφοροποιείται από μνημείο σε μνημείο και είναι της τάξης των $\pm 2^{\circ}$.
- Ο προσδιορισμός της *πορείας του ήλιου* H , με ψηφιακή προσομοίωση της φαινόμενης κίνησής του, γίνεται με μια ακρίβεια των $\pm 6^{\circ}$.

Συνδυάζοντας τα παραπάνω στοιχεία προκύπτει το συμπέρασμα ότι η διερεύνηση του προσανατολισμού ενός μνημείου μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι μια συνάρτηση $f(A, \alpha_{αξ}, \Sigma_{op}, H)$. Επομένως και το σφάλμα με το οποίο μπορεί να διερευνηθεί ο προσανατολισμός του εξαρτάται "αθροιστικά" από τα επιμέρους σφάλματα και οι τιμές του κυμαίνονται συνήθως από $\pm 55^{\circ}$ έως $\pm 3.5^{\circ}$. Εξαρτάται ιδιαίτερα από την αβεβαιότητα προσδιορισμού του αισθητού ορίζοντα και από τις διαστάσεις του μνημείου.

Είναι λοιπόν σαφές, ότι για κάθε μνημείο του οποίου διερευνάται ο προσανατολισμός, το αποτέλεσμα της διερεύνησης μπορεί και πρέπει να συνοδεύεται από την αντίστοιχη ακρίβεια του.

Στο σχήμα 2.20, η γραμμοσκιασμένη περιοχή απεικονίζει "γραφικά" το τελικό σφάλμα που συνοδεύει τη διερεύνηση προσανατολισμού ενός μνημείου για τις μέγιστες τιμές των επιμέρους σφαλμάτων όπως αναφέρθηκαν προηγουμένως.



Σχήμα 2.20 : Σχηματική παράσταση της αβεβαιότητας διερεύνησης του προσανατολισμού ενός μνημείου

Στην περίπτωση όπου η διερεύνηση του προσανατολισμού δεν επηρεάζεται από την ύπαρξη αισθητού οριζοντα, τότε η περιοχή αυτή εκφυλίζεται σε ευθύγραμμο τμήμα, του οποίου το μήκος είναι ίσο με την αβεβαιότητα προσδιορισμού του αζιμουθίου του βασικού άξονα ή άλλης ειδικής διεύθυνσης.

2.5 Διαδικασία - Αβεβαιότητα χρονολόγησης μνημείων.

Η χρονολόγηση ενός μνημείου, όπως εξετάζεται στο πλαίσιο αυτής της εργασίας, βασίζεται σε γεωμετρικές ενέργειες και υπολογισμούς. Τα στοιχεία που είναι απαραίτητα για τον προσδιορισμό της χρονολογίας (χρονική περίοδος) κτίσης ενός μνημείου είναι:

- Η λεπτομερής αποτύπωση του μνημείου για τον προσδιορισμό του αστρονομικού αζιμουθίου της γραμμής (βασικός άξονας ή άλλη ειδική διεύθυνση) με την οποία διερευνάται ο προσανατολισμός του.
- Ο προσδιορισμός της οριογραμμής του αισθητού οριζοντα.
- Ο προσδιορισμός της πορείας του ήλιου ή άλλου ουράνιου σώματος, για την ημερομηνία που σχετίζεται με την κτίση του μνημείου (ημέρα εορτής του μνημείου, ισημερία, ηλιοστάσιο), για διάφορα έτη.

Από την ψηφιακή σχεδίαση των γραμμών αυτών, που έχουν προκύψει με αναλυτική διαδικασία, προκύπτει το σημείο τομής της πορείας του ήλιου και της οριογραμμής του ορίζοντα, που απέχει την ελάχιστη απόσταση από τη γραμμή που υλοποιεί το αζιμούθιο του βασικού άξονα. Ως έτος κτίσης του μνημείου ορίζεται το έτος στο οποίο αναφέρεται η γραμμή που υλοποιεί την πορεία του ήλιου ή άλλου ουράνιου σώματος και η οποία διέρχεται από το σημείο αυτό.

Η χρονολόγηση ενός μνημείου, η οποία μπορεί να επιτευχθεί με την προτεινόμενη μεθοδολογία, πρέπει να συνοδεύεται και από την αντίστοιχη αβεβαιότητα. Η αβεβαιότητα αυτή υπολογίζεται αν είναι γνωστά:

- Το σφάλμα προσδιορισμού του προσανατολισμού του μνημείου που όπως αναφέρθηκε προηγουμένως κυμαίνεται συνήθως από $\pm 55^{\circ}$ έως $\pm 3.5^{\circ}$.
- Η τιμή της μεταβολής της πορείας του ήλιου, για τη συγκεκριμένη ημερομηνία που εξετάζεται. Η τιμή αυτή όπως αναλυτικά παρουσιάστηκε στα προηγούμενα, διαφοροποιείται μεταξύ ηλιοστασίων και ισημεριών, από 9° /έτος (ελάχιστη τιμή) έως 33° /έτος (μέγιστη τιμή).

Η αβεβαιότητα της χρονολόγησης ενός μνημείου προκύπτει ως το πηλίκο του σφάλματος προσδιορισμού του προσανατολισμού του και της ετήσιας μεταβολής της θέσης του ήλιου.

Συνδυάζοντας τις παραπάνω τιμές προκύπτουν η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή της αβεβαιότητας χρονολόγησης ενός μνημείου, οι οποίες είναι αντίστοιχα ± 2 έτη ($55^{\circ}/33^{\circ}$) και ± 40 έτη ($350^{\circ}/9^{\circ}$).

Η αβεβαιότητα αυτή εξαρτάται καθοριστικά τόσο από το μέγεθος του μνημείου όσο και από τη θέση και τον τρόπο μέτρησης του αισθητού ορίζοντα, που βρίσκεται στη διεύθυνση της γραμμής διερεύνησης του προσανατολισμού του. Όσον αφορά την μέγιστη τιμή των ± 40 ετών πρέπει να σημειωθεί ότι αυτή μπορεί να γίνει ακόμη μεγαλύτερη στην περίπτωση που το εξεταζόμενο μνημείο είναι εξαιρετικά μικρού μεγέθους ή η διερεύνηση του γίνεται με μια ειδική διεύθυνση της οποίας το μήκος είναι της τάξης του 1m. Στην περίπτωση αυτή που θεωρείται ως η δυσμενέστερη και εξαιρετικά σπάνια, προκύπτει ότι η αβεβαιότητα χρονολόγησης για το ηλιοστάσιο, όπου η μεταβολή της θέσης του ήλιου είναι η ελάχιστη, είναι ± 300 έτη ($2700^{\circ}/9^{\circ}$), ενώ για την ισημερία όπου η μεταβολή της θέσης του ήλιου είναι η μέγιστη, είναι ± 82 έτη ($2700^{\circ}/33^{\circ}$).

Κεφάλαιο 3

Βασικές παράμετροι προσανατολισμού.

3.1. Ταξινόμηση και γεωμετρικός προσδιορισμός των χαρακτηριστικών γραμμών και διευθύνσεων του μνημείου.

Η διερεύνηση του προσανατολισμού ενός μνημείου είναι άμεσα συνδεδεμένη με την επιλογή των χαρακτηριστικών γραμμών ή διευθύνσεων που εμφανίζονται σε αυτόν, είτε αυτές είναι υλοποιημένες στο χώρο του ναού είτε όχι. Το πρώτο και σημαντικότερο είναι η ταξινόμηση αυτών των γραμμών, ο γεωμετρικός ορισμός τους και τέλος ο υπολογισμός του αζιμουθίου τους.

Οι γραμμές αυτές μπορούν να χωριστούν στις ακόλουθες κατηγορίες:

- ❶ Βασικοί άξονες (εγκάρσιοι ή διαμήκεις) του μνημείου. Ως βασικό άξονα ενός μνημείου ορίζουμε τον κατά μήκος άξονά του, ο οποίος είναι:
 - άξονας συμμετρίας του μνημείου.
 - η γραμμή που συνδέει τα μέσα χαρακτηριστικών ανοιγμάτων του μνημείου, ή ο γεωμετρικός τόπος των σημείων που ισαπέχουν από χαρακτηριστικά δομικά στοιχεία του μνημείου, τα οποία βρίσκονται εκατέρωθέν της.
- ❷ Άξονες που υλοποιούν χαρακτηριστικά δομικά στοιχεία του μνημείου, όπως ανοίγματα (πόρτες ή παράθυρα), συστοιχίες πεσσών κ.α.
- ❸ Γραμμές που συνδέουν χαρακτηριστικά σημεία του μνημείου τα οποία, για κάποιους λόγους, παρουσιάζουν πολιτιστική ή θρησκευτική σημασία. Μία τέτοια γραμμή είναι αυτή που εμφανίζεται στους χριστιανικούς ναούς και συνδέει το μέσο της Αγίας Τράπεζας, με το μέσο της κόγχης του Ιερού Βήματος ή το μέσο κάποιου ανοίγματος που φωτίζει σ' αυτό το σημείο την Αγία Τράπεζα. Ως μέσο της πλευράς της Αγίας Τράπεζας, ορίζεται εκείνο το σημείο, μπροστά από την Αγία Τράπεζα, στο οποίο στέκεται ο ιερέας κατά τη διάρκεια της Θείας Λειτουργίας βλέποντας προς την κεντρική κόγχη του Ιερού Βήματος. Το μέσον του παραθύρου της κεντρικής κόγχης του Ιερού Βήματος είναι το σημείο, στο οποίο θεωρείται ότι φθάνει πιο συγκεντρωμένη η δέσμη του ηλιακού φωτός.

④ Γραμμές που υλοποιούνται στο χώρο του μνημείου (χαρακτηριστικές γραμμές κυρίως στα δάπεδα).

⑤ Γραμμές που ορίζουν διευθύνσεις επιφανειών (όπως η έδρα μιας πυραμίδας, ή όψη ενός αρχαίου ναού).

Επειδή όλες οι παραπάνω γραμμές είναι πολύ σημαντικές, τόσο λατρευτικά όσο και λειτουργικά, είναι επόμενο, οι κατασκευαστές του μνημείου να λάμβαναν ιδιαίτερη μέριμνα για τη χάραξή τους .

Είναι δυνατόν στο ίδιο μνημείο να υπάρχουν περισσότερες από μια τέτοιες γραμμές. Σε τέτοιες περιπτώσεις αξιολογείται η χρησιμότητά τους ή εξετάζεται μήπως για την τοποθέτηση και τον προσανατολισμό του μνημείου ή του ναού έχουν ληφθεί υπόψη παραπάνω από μία συνθήκες.

Ο γεωμετρικός προσδιορισμός αυτών των γραμμών είναι δυνατόν να επιτευχθεί με αξιοπιστία και ανάλογη ακρίβεια *ΜΟΝΟ* με τη γεωμετρική αποτύπωση του μνημείου και τη δημιουργία του τοπογραφικού διαγράμματος της κάτοψής του.

Η αποτύπωση αυτή μπορεί να γίνει σε οποιοδήποτε σύστημα αναφοράς (τοπικό ή ενταγμένο), ενώ παράλληλα πρέπει να προσδιοριστεί το αστρονομικό αξιμούθιο του άξονα ή οποιασδήποτε άλλης ειδικής διεύθυνσης και το αξιμούθιο των σημείων, τα οποία ορίζουν τον αισθητό ορίζοντα του μνημείου.

Από το προσανατολισμένο διάγραμμα της κάτοψης του μνημείου είναι πλέον πολύ εύκολο, είτε σχεδιαστικά είτε με τη βοήθεια απλών υπολογισμών, να προσδιοριστεί το αστρονομικό αξιμούθιο των γραμμών αυτών.

3.2. Κλίμακες χρόνου.

Η διερεύνηση του προσανατολισμού ενός μνημείου βασίζεται, όπως προαναφέρθηκε, στη μελέτη της κίνησης των ουρανίων σωμάτων, και κυρίως του ήλιου, με τη βοήθεια της οποίας είναι δυνατό να προσδιοριστεί είτε η διεύθυνση του αστρονομικού βορρά είτε η θέση του ουρανίου σώματος σε μια χρονική στιγμή.

Παράλληλα η διερεύνηση αυτή εξαρτάται και από τις λατρευτικές ιδιότητες, τις οποίες προσδίδει στο χώρο του μνημείου η αφιέρωσή του από τους θεμελιωτές του σε κάποια θεότητα. Η χρήση του χώρου του

μνημείου συνδέεται τόσο με τις λατρευτικές τελετές, οι οποίες λαμβάνουν χώρα μέσα σε αυτό, όσο και με τη χρονική στιγμή κατά την οποία αυτές πραγματοποιούνται.

Για το λόγο αυτό κρίνεται σκόπιμο να γίνει μια αναφορά στις κλίμακες του χρόνου, οι οποίες διαχωρίζονται σε επιστημονικές και εκκλησιαστικές.

3.2.1 Επιστημονικές κλίμακες χρόνου.

Όπως για κάθε φυσικό μέγεθος, έτσι και για το χρόνο πρέπει να οριστεί μια παρατηρούμενη κλίμακα και να συσχετιστούν, με κατάλληλες μεθόδους, φυσικά φαινόμενα με διάφορες αριθμητικές τιμές της κλίμακας αυτής. Συνήθως, για τον ορισμό μιας κλίμακας χρόνου χρησιμοποιείται ως μονάδα μέτρησης η χρονική διάρκεια επανάληψης κάποιου περιοδικού φαινομένου. Η φαινομενική καθημερινή κίνηση της ουράνιας σφαίρας, που είναι συνέπεια της περιστροφής της Γης, αποτελεί τη βάση ορισμού των αστρονομικών κλιμάκων χρόνου που χρησιμοποιούνται στις αστρονομικές παρατηρήσεις αλλά και στην καθημερινή ζωή.

Στην αστρονομία συναντούμε τις εξής κλίμακες χρόνου: *Αστρικός χρόνος, Παγκόσμιος χρόνος, Ατομικός χρόνος, Συντονισμένος Παγκόσμιος χρόνος, Δυναμικός χρόνος* [25].

Αστρικός χρόνος (ST) είναι το σύστημα (κλίμακα) του χρόνου που προσδιορίζεται από την παρατήρηση της ημερήσιας περιστροφής της ουράνιας σφαίρας. Η κίνηση αυτή της ουράνιας σφαίρας έχει τη φορά της κίνησης των δεικτών του ρολογιού. Ο δείκτης του ρολογιού είναι ο αστρονομικός μεσημβρινός του τόπου ο οποίος αλλάζει συνεχώς θέση επάνω στην ουράνια σφαίρα, καθώς η Γη περιστρέφεται.

Ως *τοπικό αστρικό χρόνο (θ_0)*, ή *τοπική αστρική γωνία*, ορίζουμε τη γωνία μεταξύ του εαρινού ισημερινού σημείου Υ και του αστρονομικού μεσημβρινού του τόπου, η οποία ισούται με την ωριαία γωνία του σημείου Υ . Ως *Αστρικός χρόνος Greenwich (θ)*, ορίζεται ο χρόνος που προκύπτει όταν η ωριαία γωνία του Υ αναφέρεται στο μεσημβρινό του Greenwich. Βασική μονάδα μέτρησης του αστρικού χρόνου είναι η μέση αστρική ημέρα, δηλαδή το χρονικό διάστημα που απαιτείται για να αυξηθεί το μέτρο της μέσης αστρικής γωνίας Greenwich κατά 360° ή 24h. Η αστρική ημέρα χωρίζεται σε 24 αστρικές

ώρες, κάθε αστρική ώρα σε 60 αστρικά λεπτά και κάθε αστρικό λεπτό σε 60 αστρικά δευτερόλεπτα.

Παγκόσμιος χρόνος (UT) είναι το σύστημα (κλίμακα) του χρόνου που ιστορικά βασίστηκε στη μέση φαινόμενη ημερήσια κίνηση του Ήλιου. Σήμερα όμως προσδιορίζεται από τον αστρικό χρόνο. Είναι μια κλίμακα χρόνου που συμβαδίζει με την εναλλαγή ημέρας και νύχτας. Η χρονική στιγμή UT Παγκόσμιου χρόνου και η αντίστοιχη στιγμή θ μέσου αστρικού χρόνου Greenwich συνδέονται με τη σχέση:

$$\theta = \theta_{(0hUT)} + UT \cdot f \quad (3.1)$$

όπου f είναι το πηλίκο της μέσης ηλιακής ημέρας προς τη μέση αστρική ημέρα και το οποίο ισούται με:

$$f = \frac{86636.5553679051}{86400} = 1.00273790935 \quad (3.2)$$

Κάθε ηλιακή ημέρα έχει 24 ηλιακές ώρες, κάθε ώρα 60 ηλιακά λεπτά και κάθε λεπτό 60 ηλιακά δευτερόλεπτα.

Ατομικός χρόνος (TAI) είναι το σύστημα (κλίμακα) του χρόνου που έχει σταθερό μέτρο. Η μονάδα του ατομικού χρόνου είναι το δευτερόλεπτο (sec), το οποίο ορίζεται με βάση την ιδιοσυχνότητα συντονισμού του ατόμου του χημικού στοιχείου καισίου. Η διάρκεια αυτού του δευτερολέπτου είναι σταθερή, σε αντίθεση με το δευτερόλεπτο του Παγκόσμιου χρόνου, το οποίο μεταβάλλεται λόγω των ανωμαλιών της περιστροφής της Γης.

Συντονισμένος Παγκόσμιος χρόνος (UTC) είναι το σύστημα (κλίμακα) του χρόνου που χρησιμοποιείται στην καθημερινή μας ζωή. Έχει το ίδιο σταθερό μέτρο με τον Ατομικό χρόνο, κατά διαστήματα όμως, του δίνονται ασυνέχειες διάρκειας ενός δευτερολέπτου, ώστε η διαφορά του από τον Παγκόσμιο χρόνο να μην ξεπερνά τα 0.9sec.

Δυναμικός χρόνος (TDT) είναι ένα άλλο σύστημα (κλίμακα) χρόνου, το οποίο χρησιμοποιείται στην Ουράνια μηχανική. Η αριθμητική του τιμή ισούται με την τιμή της μεταβλητής που δίνει τις παρατηρούμενες (από τη Γη) θέσεις του ήλιου, της σελήνης και των πλανητών. Μέχρι το 1984 το σύστημα αυτό ονομαζόταν χρόνος Εφημερίδων, ενώ μετά το 1991 λέγεται Γήινος χρόνος. Το σύστημα αυτό έχει το ίδιο σταθερό μέτρο (δευτερόλεπτο) με τον Ατομικό χρόνο.

3.2.2 Εκκλησιαστικές κλίμακες χρόνου.

Στην Ορθόδοξη Εκκλησία το παρελθόν και το μέλλον θεωρούνται ταυτόσημα με το παρόν. Γι' αυτήν ο χρόνος, ο οποίος λέγεται *λειτουργικός*, δε θεωρείται υπό την έννοια της φυσικής ροής των γεγονότων. Τα γεγονότα του θρησκευτικού δράματος γίνονται κατανοητά και αντιληπτά ως πράξεις που διαδραματίζονται στο παρόν. Το εκκλησιαστικό δόγμα δέχεται ότι ο πιστός, συμμετέχοντας στο Μυστήριο της Θείας Ευχαριστίας, λαμβάνει τη Θεία Κοινωνία του σώματος και του αίματος του Χριστού, όχι εις μνήμη του Χριστού, αλλά μετέχοντας του Χριστού, ο οποίος θυσιάζεται και προσφέρεται στον πιστό κατά την τέλεση του μυστηρίου [55].

Ο λειτουργικός χρόνος, δηλαδή ο χρόνος που περνά κάποιος μέσα στην εκκλησία είναι καθηγιασμένος. Κάθε ώρα της ημέρας έχει τη δική της ιερή σημασία. Έτσι ο ημερήσιος χρονικός κύκλος μεταμορφώνεται σε ιερό κύκλο, ο οποίος συνδέεται με την τιμήση σημαντικών θρησκευτικών γεγονότων, όχι από ιστορική αλλά από λειτουργική άποψη. Η ανάγνωση των Ωρών, που αποτελεί σημαντικό μέρος του εκκλησιαστικού τυπικού, συσχετίζεται με συγκεκριμένες λειτουργικές πράξεις και αρχίζει όταν ο ήλιος φθάνει σε μια συγκεκριμένη θέση στον ορίζοντα.

Στην εκκλησία έχουμε τις εξής ώρες [55]:

- *Την Πρώτη Ώρα*, η οποία αρχίζει με την ώρα ανατολής του ήλιου. Κατ' αυτήν γίνεται η ανάγνωση ευχαριστιών για το φως της ημέρας που έρχεται.
- *Την Τρίτη Ώρα*, η οποία αντιστοιχεί στο μέσο του πρωινού (στη σημερινή ενάτη πρωινή περίπου ώρα) κατά την οποία τιμάται η μνήμη της καθόδου του Αγίου Πνεύματος κατά την Πεντηκοστή. Οι γραφές μαρτυρούν, ότι η κάθοδος του Αγίου Πνεύματος την ημέρα της Πεντηκοστής έγινε η αιτία της μεταμόρφωσης των Αποστόλων σε φωτισμένους διδασκάλους της Ορθόδοξης πίστης και τους κατέστησε ικανούς, αν και ήσαν αγράμματοι ψαράδες, να διδάξουν το Χριστιανισμό σε πολλούς λαούς. Το μυστήριο της Θείας Ευχαριστίας, που αποτελεί και το κύριο αντικείμενο της Θείας Λειτουργίας, έχει ως πρωταρχικό σκοπό μια ισοδύναμη μεταμόρφωση. Γι' αυτόν το λόγο η Τρίτη Ώρα συνδέεται με το μυστήριο της Θείας Ευχαριστίας.
- *Την Έκτη Ώρα*, η οποία αντιστοιχεί στο μεσημέρι, σε ανάμνηση της σταύρωσης του Χριστού.

- Την Ενάτη Ώρα , η οποία αντιστοιχεί στις τρεις το απόγευμα, σε ανάμνηση του Θανάτου του Χριστού.

Το μυστήριο της Θείας Ευχαριστίας αποτελεί και αποτελεί τον κυριότερο λόγο τέλεσης της Θείας Λειτουργίας. Γι' αυτό και η **Τρίτη Ώρα** είναι ιδιαίτερα σημαντική για την εκκλησιαστική παράδοση. Η προετοιμασία για τη συμμετοχή στη Θεία Λειτουργία αρχίζει την προηγούμενη ημέρα, με το μυστήριο της εξομολόγησης και τη δέηση υπέρ αφέσεως των αμαρτιών για κάθε πιστό που επιθυμεί να λάβει τη Θεία Κοινωνία. Πολύ νωρίς το πρωί τελείται η λειτουργία του Όρθρου και μετά από αυτήν η Θεία Λειτουργία. Η λειτουργία του Αγίου Ιωάννου του Χρυσοστόμου είναι αβίαστη και διαρκεί μαζί με τον Όρθρο περίπου τρεις ώρες.

3.3. Ο ρόλος του φωτός στο χριστιανικό ναό.

Ο ρόλος του φωτός στους χριστιανικούς ναούς είναι να δώσει μεγαλύτερη έμφαση στην αλήθεια που εκπέμπει ο χριστιανισμός και να αποτελέσει πόλο έλξης για τον πιστό, ο οποίος προσέρχεται στο χώρο του ναού. Γι' αυτό ο προσανατολισμός και η γεωμετρία του ναού επιλέγεται έτσι, ώστε κατά τη διάρκεια ορισμένων χρονικών στιγμών της ημέρας το φυσικό φως να φωτίζει άμεσα συγκεκριμένα σημεία του ναού, τα οποία είναι σημαντικά από λειτουργική και θρησκευτική άποψη. Τα σημεία του ναού που εστιάζεται το ιδιαίτερο ενδιαφέρον από πλευράς τελετουργίας και μυσταγωγίας είναι ο χώρος του Ιερού Βήματος και ιδιαίτερα η Αγία Τράπεζα, στην οποία ο Ιερέας προσεύχεται κατά τη διάρκεια της Θείας Λειτουργίας .

Είναι θρησκευτικά και ιστορικά αποδεκτό, ότι πρωταρχικός στόχος του Βυζαντινού ναού ήταν η οργάνωση του μυστηρίου της Θείας Ευχαριστίας, το οποίο λαμβάνει χώρα στη διάρκεια της Θείας Λειτουργίας. Το μυστήριο αυτό, κατά το εκκλησιαστικό τυπικό, πραγματοποιείται συνήθως την *Τρίτη Ώρα*, δηλαδή την ώρα που ο ήλιος βρίσκεται στη μέση του πρωινού (η ώρα αυτή κυμαίνεται μεταξύ 8π.μ. και 10π.μ. ανάλογα με την εποχή του χρόνου). Το πόσο το μυστήριο της Θείας Ευχαριστίας συνδέεται άμεσα με την ύπαρξη του φωτός, μαρτυρεί η σχετική υμνολογία. Στο τέλος του μυστηρίου και αφού οι πιστοί έχουν μεταλάβει των "αχράντων" μυστηρίων ψάλλεται το :

"Είδομεν το φως το αληθινόν , ελάβομεν πνεύμα επουράνιον, εύρομεν πίστιν αληθή, αδιαίρετον Τριάδα προσκυνούντες,...."

Η θέση λοιπόν της Αγίας Τράπεζας, ο προσανατολισμός του Ιερού Βήματος και των παραθύρων που βρίσκονται σ' αυτό, επιλέγονται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε δέσμες φωτός να πέφτουν επάνω στην Αγία Τράπεζα κατά τη διάρκεια τέλεσης της Θείας Λειτουργίας, φωτίζοντας άμεσα τα προσφερόμενα δώρα, τη στιγμή κατά την οποία αυτά αφιερώνονται στο Θεό. Αυτό ως επιδίωξη της θρησκευτικής παράδοσης σχετίζεται άμεσα με την επιλογή του προσανατολισμού του ναού [55].

Ο φωτισμός του Ιερού Βήματος και της Αγίας Τράπεζας κατά τη διάρκεια της Θείας Λειτουργίας εξαρτάται άμεσα από τον προσανατολισμό του ναού και από τη θέση και τις διαστάσεις των παραθύρων ή των ανοιγμάτων του Ιερού Βήματος.

Έτσι ένας μεγάλος καθεδρικός ναός που χρησιμοποιείται συχνά, μπορεί να είναι προσανατολισμένος προς το μέσο του πρωινού της ημέρας της ισημερίας και να έχει μεγάλα και συνεχή ανοίγματα στην κόγχη του ιερού, ώστε στη διάρκεια του έτους να δέχεται δέσμες φωτός σε περισσότερες ημέρες εορτασμού θρησκευτικών εορτών, κατά τις οποίες τελείται η Θεία Λειτουργία. Αντίστοιχα ένας μικρός ναός, που δε λειτουργεί συχνά, πρέπει τουλάχιστον την ημέρα εορτής του, που θα τελεστεί η Θεία Λειτουργία, να είναι έτσι προσανατολισμένος, ώστε από το άνοιγμα στο Ιερό Βήμα να εισέρχεται το φως εκείνη την ημέρα.

Κεφάλαιο 4

Ιστορικά δεδομένα για τη μοναστική πολιτεία του Μετεωρίτικου χώρου.

4.1. Γενικά

Τα Μετέωρα (Φωτ.4.1) αποτελούν το μεγαλύτερο και σημαντικότερο μετά το Άγιο Όρος μοναστικό συγκρότημα του Ελλαδικού χώρου. Βρίσκονται κοντά στην Καλαμπάκα, στην έξοδο του Πηνειού ποταμού προς το Θεσσαλικό κάμπο, και σε υψόμετρο περίπου 600m από τη μέση στάθμη της θάλασσας (χάρτης 4.1, χάρτης 4.2, χάρτης 4.3).



Φωτ.4.1 : Γενική άποψη των Μετεώρων

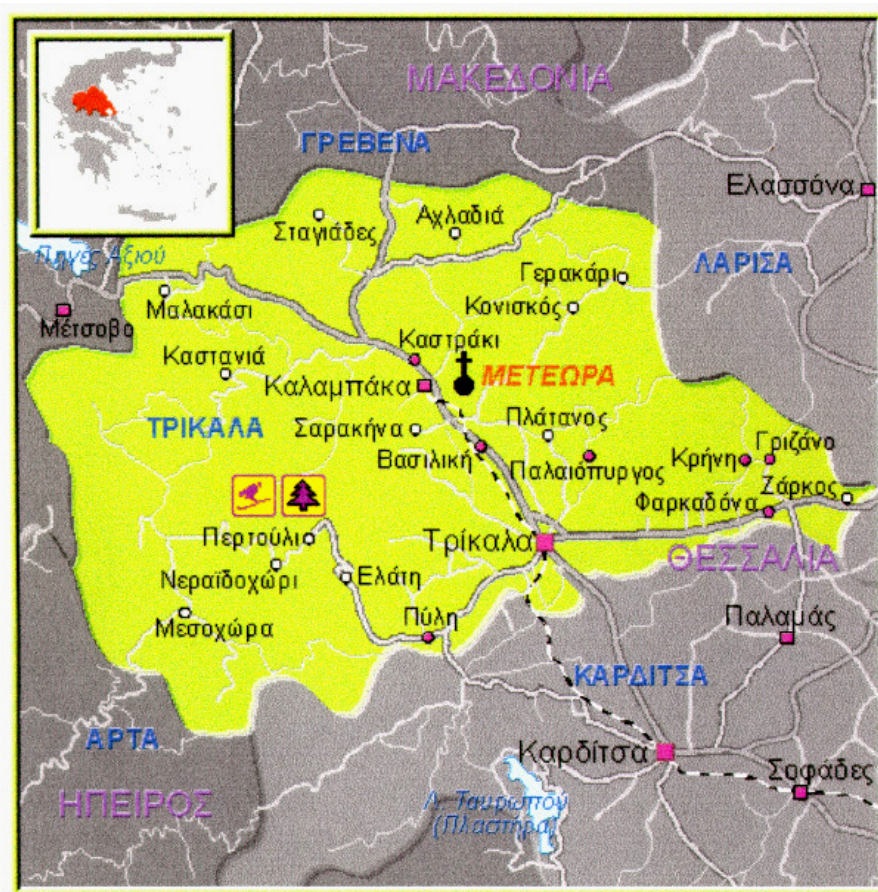
Το τοπίο είναι μαγευτικό και υπερβατικό. Ίσως είναι ένα από τα ομορφότερα της γης. Συγκεκριμένα ως φυσικό τοπίο είναι μοναδικό σε ολόκληρο τον κόσμο. Το επιβλητικό αυτό τοπίο δημιουργήθηκε από ένα γεωλογικό φαινόμενο που απασχόλησε κατά καιρούς τους Έλληνες και ξένους γεωλόγους, που όμως δεν μπόρεσαν να δώσουν μια ξεκάθαρη εικόνα της δημιουργίας των τεράστιων βράχων. Πλησιέστερη στην αλήθεια φαίνεται να είναι η θεωρία του Γερμανού γεωλόγου Al. Philipson [15], σύμφωνα με την οποία, η δημιουργία αυτών των βράχων



Χάρτης 4.1 : Η Ελλάδα



Χάρτης 4.2 : Η Θεσσαλία



Χάρτης 4.3 : Νομός Τρικάλων - Μετέωρα

οφείλεται σε έναν δελτογενή κώνο από ποταμίσιες πέτρες και ασβεστολιθικά πετρώματα κάποιου μεγάλου ποταμού, ο οποίος για εκατομμύρια χρόνια χυνόταν σε ένα στενό και βαθύ θαλάσσιο τμήμα που κάλυπτε τότε τη Θεσσαλία. Οι γεωλογικές μεταβολές των αιώνων ανύψωσαν και αποσφήνωσαν το τμήμα αυτό, όταν αποτραβήχτηκαν τα νερά που χύθηκαν από το στενό των Τεμπών στο σημερινό Αιγαίο. Αργότερα δε, στην τριτογενή περίοδο, διαμορφώθηκαν οι αλπικές πτυχωσεις της οροσειράς της Πίνδου, με αποτέλεσμα να αποκοπεί το τμήμα αυτό των συμπαγών όγκων και να σχηματισθεί η κοιλάδα του Πηνειού ποταμού.

Πότε ακριβώς πρωτοκατοικήθηκαν τα Μετέωρα, είναι άγνωστο. Φαίνεται ότι από τον 11^ο ήδη αιώνα οι πρώτοι ερημίτες, αψηφώντας όχι μόνο τα καιρικά φαινόμενα αλλά και τις αντίξοες εδαφολογικές συνθήκες, σκαρφάλωσαν στους βράχους, αναζητώντας εκεί την ψυχική τους πληρότητα και την πνευματική τους λύτρωση. Γύρω στα τέλη του 11^{ου} ή τις αρχές του 12^{ου} αιώνα είχε συγκροτηθεί υποτυπώδης μικρή ασκητική πολιτεία, η σκήτη της Δούπιανης, με κέντρο λατρείας το ναό της Θεοτόκου. Ακολούθησε το 1366/1367, η ίδρυση της μονής της Υπαπαντής από τον ιερομόναχο Νείλο. Την ίδια ακριβώς εποχή ο Αθανάσιος ο Μετεωρίτης, ένας σπουδαίος μοναχός του Αγίου Όρους, έφτασε στα Μετέωρα και ίδρυσε την πρώτη μονή στο βράχο, που το ονόμασε **Μετέωρο** επειδή έμοιαζε σαν να κρεμόταν μεταξύ ουρανού και γης.

Τα ιερά προσκυνήματα των Μετεώρων διασώζουν τη γνήσια μοναστική παράδοση της Ορθοδοξίας, η οποία εκφράζεται με τις πολλές και πολυποίκιλες λατρευτικές συνάξεις, καθώς και από τη διαφύλαξη και προβολή της πολιτιστικής ελληνορθόδοξης κληρονομιάς που είναι αποθησαυρισμένη εκεί. Σε όλα τα μετεωρίτικα μοναστήρια λειτουργούν εκκλησιαστικά μουσεία, όπου εκτίθενται βυζαντινές και μεταβυζαντινές φορητές εικόνες υψηλής τέχνης, περίτεχνα ξυλόγλυπτα, καθώς και ιερά άμφια όλων των εκκλησιαστικών βαθμίδων. Εντυπωσιακός είναι και ο χειρόγραφος πλούτος που ανέρχεται συνολικά σε 1200 κώδικες.

Μεγάλη υπήρξε η προσφορά των μονών των Μετεώρων και στους αγώνες ανεξαρτησίας της Ελλάδας. Στα χρόνια της Τουρκοκρατίας, οι μοναχοί των Μετεώρων ενίσχυσαν οικονομικά τον απελευθερωτικό αγώνα και τόνωσαν το εθνικό φρόνημα των Ελλήνων. Σημαντική επίσης είναι και η κοινωνική προσφορά των μετεωρίτικων μονών. Με έξοδα των μονών των Μετεώρων ανοικοδομήθηκε στη Βόρειο Ήπειρο ο ναός των Αγίων Θεοδώρων και προσφέρθηκε ανθρωπιστική βοήθεια στους λαούς της Σερβίας και της Αλβανίας από το 1989 μέχρι σήμερα [11].

Στην εργασία αυτή, η μεθοδολογία διερεύνησης του προανατολισμού μνημείων εφαρμόζεται στους χώρους της μοναστικής πολιτείας των Μετεώρων (χάρτης 4.4), που όπως προαναφέρθηκε παρουσιάζει έντονο τοπογραφικό ανάγλυφο και συγκεκριμένα :

- Στην ιερά μονή Μεγάλου Μετεώρου
- Στην ιερά μονή Βαρλαάμ
- Στην ιερά μονή Ρουσάνου
- Στην ιερά μονή Αγίου Νικολάου Αναπαυσά
- Στην ιερά μονή Αγίας Τριάδος
- Στην ιερά μονή Αγίου Στεφάνου
- Στον ιερό ναό Παναγίας της Δούπιανης
- Στον ιερό ναό Κοιμήσεως της Θεοτόκου στην Καλαμπάκα.



Χάρτης 4.4 : Μοναστική πολιτεία των Μετεώρων

4.2. Η ιερά μονή Μεγάλου Μετεώρου

Η ιερά μονή Μεγάλου Μετεώρου (Φωτ. 4.2), αποτελεί την αφετηρία του οργανωμένου μετεωρίτικου μοναχισμού. Ιδρύθηκε λίγο πριν τα μέσα του 14^{ου} αιώνα από τον όσιο Αθανάσιο τον Μετεωρίτη, ο οποίος ήταν ο κτίτορας της μονής και οργανωτής της συστηματικής μοναστικής κοινότητας. Η μονή βρίσκεται σε μέσο υψόμετρο 590m από τη μέση στάθμη της θάλασσας και στο χώρο της βρίσκονται τέσσερις ναοί : Ο ιερός ναός της Μεταμορφώσεως που είναι και το καθολικό της μονής, ο ιερός ναός των Αγίων Κων/νου και Ελένης, το παρεκκλήσιο του Αγίου Ιωάννου του Προδρόμου και ένα μικρό παρεκκλήσι που κατασκευάστηκε πρόσφατα (1997) και είναι αφιερωμένο στον Άγιο Ιωάννη της Κλίμακος και στην Αγία Όλγα. Η βιβλιοθήκη της μονής είναι από τις πλουσιότερες μοναστηριακές βιβλιοθήκες. Οι μετεωρίτες μοναχοί διαφύλαξαν με ευλάβεια, μέσα στο πέρασμα των αιώνων και παρά τις αντίξοες συγκυρίες, τους ανεκτίμητους θησαυρούς του μοναστηριού όπως χειρόγραφα, έγγραφα, έντυπα κ.ά. Σήμερα η μονή έχει 7 μοναχούς. Ηγούμενος είναι ο πανοσιολογιότατος Αρχιμανδρίτης π. Αθανάσιος Αναστασίου.



Φωτ.4.2 : Η ιερά μονή Μεγάλου Μετεώρου

Ο ιερός ναός της Μεταμορφώσεως, που εορτάζει στις 6 Αυγούστου, εορτή της θείας Μεταμορφώσεως του Σωτήρος Χριστού, οικοδομήθηκε στο χρονικό διάστημα μεταξύ 1360-1380, από τον όσιο Αθανάσιο το Μετεωρίτη, που ήταν ο πρώτος οικιστής του βράχου. Στα 1387-1388, δηλαδή πριν εξακόσια περίπου χρόνια, ο μοναχός Ιωάσαφ επεξέτεινε και επανάκτισε μεγαλοπρεπέστερο τον αρχικό μικρό ναό. Ο ναός της Μεταμορφώσεως δεν είναι απλά το πιο μνημειώδες κτίσμα των Μετεώρων, αλλά είναι από τους ωραιότερους ναούς της Ελλάδος και ταυτόχρονα από τα χαρακτηριστικότερα μνημεία της β' και γ' περιόδου της Βυζαντινής αρχιτεκτονικής .

Είναι ναός αγιορείτικου τύπου, σταυροειδής, εγγεγραμμένος με δωδεκάπλευρο τρούλλο και πλάγιες κόγχες. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το Ιερό Βήμα του ναού, το οποίο ήταν παλαιότερα το πρώτο καθολικό της μονής, ένας μικρός δικιόνιος σταυροειδής ναός με τρούλλο. Έχει μήκος 6.8m και πλάτος 7m. Ο κυρίως ναός έχει μήκος 19m και πλάτος 10m και αποτελείται από τον εσωνάρθηκα ή λιτή και τον εξωνάρθηκα. Το μέγιστο ύψος του ναού είναι 16m.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η τοιχογράφηση του καθολικού, η οποία περατώθηκε στις 8 Νοεμβρίου του 1552, όταν ηγούμενος της μονής ήταν ο Γιαννιώτης μοναχός Συμεών. Το Ιερό αγιογραφήθηκε το 1483, όταν αυτό αποτελούσε μικρό ανεξάρτητο ναό. Έτσι οι τοιχογραφίες καλύπτουν θεματικά όλο σχεδόν τον αγιογραφικό και δογματικό κύκλο ενός ναού. Μεγάλη σπουδαιότητα έχουν και οι φορητές εικόνες της μονής, από τις οποίες ξεχωρίζουν για την τέχνη και την παλαιότητά τους η Παναγία η Βρεφοκρατούσα και ο Άγιος Νικόλαος [63].

Το παρεκκλήσι του Αγίου Ιωάννου του Προδρόμου, που εορτάζει στις 7 Ιανουαρίου, είναι θολοσκέπαστο με τρίριχτη εξωτερικά στέγη, οικοδομήθηκε δε σε διάφορες χρονικές φάσεις και με διαφορετικές χρήσεις. Το πιθανότερο είναι, ο ναός αυτός να είναι συγχρόνου κατασκευής με τον παλιό ναό της Μεταμορφώσεως, αφού στην ανατολική όψη του υπάρχουν σαφή σημάδια ενιαίας κατασκευής [17]. Ο χώρος αυτός είχε πιθανόν αρχικά άλλη χρήση, όπως σκευοφυλάκιο και αργότερα, μετά την αποπεράτωση του μεγάλου ναού από το μοναχό Ιωάσαφ, μετατράπηκε σε παρεκκλήσι αφιερωμένο στον Άγιο Ιωάννη τον Πρόδρομο. Σίγουρα αυτό έγινε πριν το 1422 οπότε ανοίχθηκαν και τα παράθυρα με μεγάλη προσοχή, για να μην καταστραφεί η τοιχοποιία της ανατολικής όψης και να ενταχθούν αρμονικά στο υπόλοιπο συγκρότημα. Βρίσκεται στο ανατολικό άκρο της νότιας πλευράς του ναού της Μεταμορφώσεως, δίπλα στο Ιερό του, και έχει μήκος 7.25m και πλάτος 5m.

Ο Ιερός ναός των Αγίων Κωνσταντίνου και Ελένης, που εορτάζει στις 21 Μαΐου, από απόψεως αρχιτεκτονικού ρυθμού είναι μια μονόκλιτη βασιλική με πολυγωνικό εξωτερικό τρούλλο, που στηρίζεται σε τέσσερα τυφλά τόξα. Βρίσκεται βορειοδυτικά του ναού της Μεταμορφώσεως και σε απόσταση περίπου 4.25m από αυτόν. Σύμφωνα με την εντοιχισμένη εξωτερικά επιγραφή, ανεγέρθηκε το 1789, επί ηγουμένου Παρθενίου Ορφίδη και έχει μήκος 9.3m και πλάτος 6m.

4.3. Η ιερά μονή Βαρλαάμ

Η ιερά μονή Βαρλαάμ είναι κτισμένη σ' ένα βράχο με υψόμετρο 551m και βρίσκεται νοτιοανατολικά της μονής του Μεγάλου Μετεώρου (Φωτ. 4.3).

Κατοικήθηκε για πρώτη φορά το 14^ο αιώνα από τον ασκητή αναχωρητή Βαρλαάμ, σύγχρονο του οσίου Αθανασίου του Μετεωρίτη, από τον οποίο το μοναστήρι πήρε και την ονομασία του. Ο πρώτος ασκητής ανέβηκε πάνω στο βράχο με διαδοχικές σκαλωσιές, στηριγμένες σε δοκάρια που σφήνωσε σε τρύπες μέσα στα βράχια. Αργότερα, οι σκαλωσιές αντικαταστάθηκαν από ανεμόσκαλες που προξενούσαν ίλιγγο στους ανερχόμενους, γι' αυτό και πολλούς τους τραβούσαν με δίχτυ. Το 1923 λαξεύτηκαν στον ίδιο βράχο 195 σκαλοπάτια, τα οποία οδηγούν κάθε επισκέπτη με άνεση και ασφάλεια στην κορυφή του βράχου.

Σήμερα η μονή διαθέτει πλούσια και αξιόλογη συλλογή χειρογράφων, τα οποία ανέρχονται σε 290. Ορισμένα από αυτά παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τις θαυμάσιες μικρογραφίες τους. Αρκετά σπάνια είναι και τα παλαιότυπα της βιβλιοθήκης της μονής. Στο μουσείο της μονής, εκτός από τα εικονογραφημένα χειρόγραφα, εκτίθενται και πολλά άλλα εκκλησιαστικά κειμήλια, όπως μεταβυζαντινές φορητές εικόνες, χρυσοκέντητα άμφια και επιτάφιοι, διάφορα είδη μικροτεχνίας και αργυροχοΐας [63].



Φωτ.4.3 : Η ιερά μονή Βαρλαάμ

Η μονή σήμερα έχει 6 μοναχούς. Ηγούμενος είναι ο πανοσιολογιότατος Αρχιμανδρίτης π. Ισίδωρος Τσιατάς. Στο χώρο της βρίσκονται δύο ναοί: Ο ιερός ναός των Τριών Ιεραρχών και ο ιερός ναός των Αγίων Πάντων που είναι και το καθολικό της μονής. Η μονή πανηγυρίζει στις 17 Μαΐου, ημέρα εορτής των κτιτόρων της, Θεοφάνους και Νεκταρίου.

Ο ιερός ναός των Τριών Ιεραρχών, που εορτάζει στις 30 Ιανουαρίου, κτίστηκε περί το 1350 από τον ιερομόναχο Βαρλαάμ. Βρίσκεται στο βορειοδυτικό άκρο του βράχου και είναι μονόκλιτος δρομικός ναός. Έχει μήκος 9m και μέσο πλάτος 5.5m. Ο ναός αυτός ανακαινίσθηκε το 1627 και τοιχογραφήθηκε το 1637 από τον Καλαμπακιώτη ιερέα Ιωάννη. Οι τοιχογραφίες είναι πολύ καλά διατηρημένες και αποτελούν ένα χαρακτηριστικό ζωγραφικό σύνολο του πρώτου μισού του 17^{ου} αιώνα [63].

Ο ιερός ναός των Αγίων Πάντων είναι ο κεντρικός και ο πλέον μεγαλοπρεπής ναός της μονής. Είναι ευρύχωρος και από αρχιτεκτονικής πλευράς είναι σταυροειδής τρουλλαίος σύνθετος τετρακίονιος, ο οποίος αριστερά και δεξιά φέρει τις χαρακτηριστικές αθωνικές κόγχες, δηλαδή τους χορούς. Έχει μήκος 17m και πλάτος 6.8m και αποτελείται από το νάρθηκα, τον κυρίως ναό και το Ιερό Βήμα. Ο νάρθηκας (λιτή), είναι ευρύχωρος με ωραίο τρούλλο στο κέντρο του, ανάλογο με εκείνον του κυρίως ναού, στηριζόμενο σε τέσσερις πεσσούς.

Ο ναός θεμελιώθηκε το 1542 και, όπως αναφέρει το "κτιτορικό" διαθηκώο γράμμα, αποπερατώθηκε στις 17 Μαΐου του 1544. Κτίτορες του ναού είναι οι Γιαννιώτες αδελφοί ιερομόναχοι Θεοφάνης και Νεκτάριος οι Αψαράδες. Ο κυρίως ναός τοιχογραφήθηκε το 1548 από το Θηβαίο ζωγράφο Φράγκο Κατελάνο.

4.4. Η ιερά μονή Ρουσάνου

Η ιερά μονή Ρουσάνου έχει κτισθεί επάνω σε έναν κατακόρυφο βράχο σε μέσο υψόμετρο 484m από τη μέση στάθμη της θάλασσας και βρίσκεται ανάμεσα στις μονές Αγίου Νικολάου Αναπαυσά και Βαρλαάμ, στο δρόμο από το χωριό Καστράκι προς το Μεγάλο Μετέωρο. Η επωνυμία της μονής οφείλεται πιθανότατα, στον πρώτο οικιστή του βράχου. Η σημερινή μορφή της ανάγεται στο 16^ο αιώνα (Φωτ. 4.4).

Επίσημο και μοναδικό ντοκουμέντο για την ανοικοδόμηση και τη γενικότερη ιστορία της μονής είναι η διαθήκη των κτιτόρων της, των ιερομονάχων από τα Γιάννενα Ιωάσαφ και Μαξίμου. Η ανάβαση στη

μονή, που παλαιότερα γινόταν με ανεμόσκαλα, σήμερα γίνεται με άνετα σκαλοπάτια. Η μονή ανακαινίσθηκε και αναστηλώθηκε στο διάστημα της δεκαετίας του 1980 από την αρμόδια Ζ' Εφορεία Βυζαντινών αρχαιοτήτων. Σήμερα λειτουργεί ως γυναικεία μονή με 11 μοναχές. Ηγουμένη είναι η μοναχή Φιλοθέη Κοσβύρα.

Η μονή αποτελείται από ένα τριώροφο συγκρότημα, με το καθολικό, κελιά στο ισόγειο και με δωμάτια υποδοχής, το αρχονταρίκι και άλλα κελιά και βοηθητικούς χώρους στους ορόφους. Στο χώρο της μονής βρίσκεται το καθολικό της μονής που είναι αφιερωμένο στη Μεταμόρφωση του Σωτήρος Χριστού, και το παρεκκλήσι της Αγίας Βαρβάρας.



Φωτ. 4.4 : Η ιερά μονή Ρουσάνου

Ο ιερός ναός της Μεταμορφώσεως, ο οποίος εορτάζει στις 6 Αυγούστου, έχει μήκος 12.2m και πλάτος 5.4m. Σύμφωνα με τα αναγραφόμενα στο κείμενο της διαθήκης των κτιτόρων, αυτοί ανέβηκαν στον ιερό βράχο μετά το Μάρτιο του 1527 και πριν από τον Αύγουστο του 1529. Ανέκτησαν από τα θεμέλια του, το ερειπωμένο και αφανισμένο από τη φθορά του χρόνου παλαιό καθολικό της μονής και του έδωσαν τη μορφή που έχει σήμερα.

Ο ναός και εδώ είναι αγιορείτικου τύπου, όπως και των περισσότερων άλλων μετεωρίτικων μονών. Ο κυρίως ναός είναι σταυροειδής δικιόνιος, με τρούλλο στο κέντρο και τις δύο πλευρικές κόγχες, τους χορούς, αριστερά και δεξιά. Ο τρούλλος είναι πολυγωνικός,

με μονόλοβα παράθυρα. Ο ναός είναι αφιερωμένος στη Μεταμόρφωση του Σωτήρος. Όμως η μονή εορτάζει με ιδιαίτερη μεγαλοπρέπεια και πανηγυρίζει στη μνήμη της Αγίας Βαρβάρας (4 Δεκεμβρίου). Η τοιχογράφηση του καθολικού έγινε επί ηγουμένου της μονής Αρσενίου το έτος 1560, όπως μας πληροφορεί η επιγραφή στον κυρίως ναό.

Το παρεκκλήσι της Αγίας Βαρβάρας είναι ένας μικρός χώρος τον οποίο πρόσφατα ανακαίνισαν οι μοναχές, στη θέση όπου βρήκαν τα υπολείμματα από δύο κόγχες με τοιχογραφίες, μέσα σε ένα βράχο και την εικόνα της Αγίας Βαρβάρας. Δεν υπάρχει κανένα ιστορικό στοιχείο για το αν υπήρξε παλαιότερα παρεκκλήσι. Το πιθανότερο είναι, ότι ήταν παλιά σκήτη κάποιου μοναχού.

4.5. Η ιερά μονή Αγίου Νικολάου Αναπαυσά

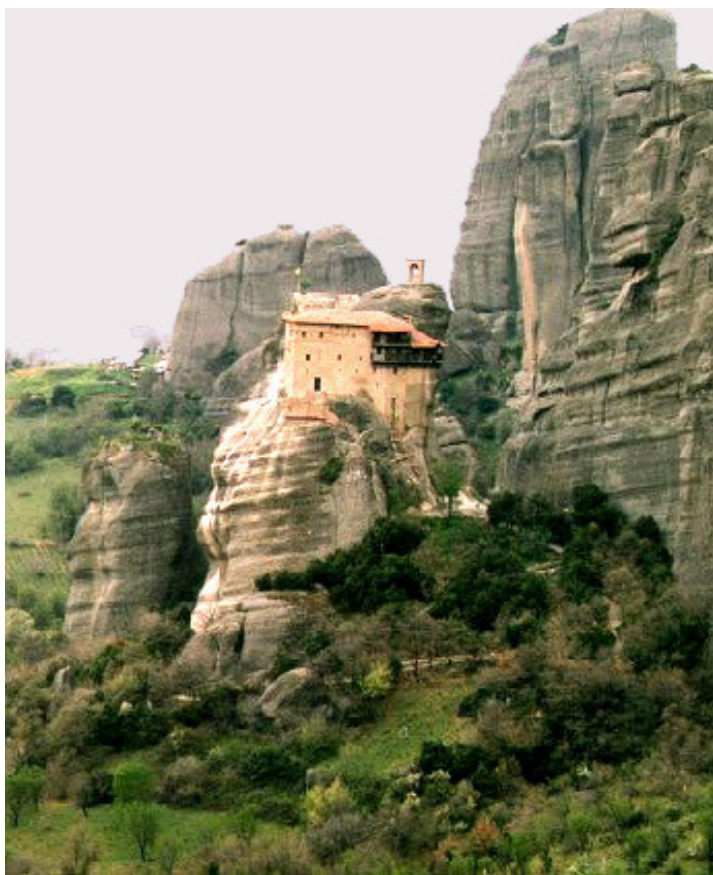
Η μονή Αγίου Νικολάου Αναπαυσά βρίσκεται κοντά στο χωριό Καστράκι. Είναι το πρώτο μοναστήρι που συναντά κανείς ανεβαίνοντας προς τα Μετέωρα. Ο βράχος πάνω στον οποίο βρίσκεται η μονή είναι μικρός σε έκταση και έχει υψόμετρο 419m στο ανώτερό του σημείο. Αυτό επηρέασε και την κτιριακή διαμόρφωση και συγκρότηση της μονής σε αλληπάλληλους ορόφους (Φωτ. 4.5).

Η επωνυμία της μονής πιθανόν να οφείλεται σε κάποιον παλαιό κτίτορά της. Άλλοι συσχετίζουν ετυμολογικά το όνομα με το ρήμα "αναπαύομαι", οπότε Αναπαυσάς θα πρέπει να σημαίνει τον τόπο ανάπαυσης και αναψυχής [36].

Η τοιχογράφηση του καθολικού της μονής φέρει την προσωπική σφραγίδα της ανεπανάληπτης τέχνης του μεγάλου Κρητικού ζωγράφου Θεοφάνη, αφού αποτελεί το πρώτο και το παλαιότερο επώνυμο έργο του. Η μονή, από την πρώτη δεκαετία του αιώνα μας, εγκαταλείφθηκε και άρχισε να ερημώνεται και να ερειπώνεται.

Το 1909 υπήρχαν εκεί 50 περίπου κώδικες, τους οποίους ο Ν. Βέης μετέφερε στη μονή της Αγίας Τριάδος, για μεγαλύτερη ασφάλεια [63]. Στη δεκαετία του 1960 η μονή αναστηλώθηκε και ανακαινίστηκε από την αρμόδια Ζ' Εφορεία Βυζαντινών Αρχαιοτήτων. Ηγούμενος της μονής είναι ο πανοσιολογιότατος Αρχιμανδρίτης π. Πολύκαρπος Βενέτης που είναι σήμερα και ο μοναδικός μοναχός της μονής.

Στο χώρο της μονής βρίσκονται ο ιερός ναός του Αγίου Νικολάου, που είναι και το καθολικό της μονής, το παρεκκλήσι του Αγίου Αντωνίου και το παρεκκλήσι του Αγίου Ιωάννου του Προδρόμου.



Φωτ.4.5 : Η ιερά μονή Αγίου Νικολάου Αναπαυσά

Ο ιερός ναός του Αγίου Νικολάου, ο οποίος εορτάζει στις 6 Δεκεμβρίου, βρίσκεται στο δεύτερο όροφο του συγκροτήματος της μονής, σε υψόμετρο 410m. Έχει μήκος 12m και μέσο πλάτος 4m. Αποτελείται από ένα μικρό πρόναο, σχεδόν τετράγωνο, ακανόνιστο όμως και παράγωνο, εξαιτίας της στενότητας του βράχου, με μικρό τρούλλο στο κέντρο της στέγης, σκοτεινό. Του κυρίως ναού προηγείται εσωνάρθηκας (λιτή), αρκετά ευρύχωρος, σε σχέση με το στενόχωρο κυρίως ναό. Η ανέγερση του ναού του Αγίου Νικολάου έγινε περί το 1527 [63].

Το παρεκκλήσι του Αγίου Αντωνίου βρίσκεται στην είσοδο του μοναστικού συγκροτήματος και έχει ιδιαίτερη σημασία, αφού στους τοίχους του διατηρεί λίγα υπολείμματα παλαιών τοιχογραφιών που ανάγονται στο 14^ο αιώνα. Το ιερό του πρέπει να οικοδομήθηκε περί το 1350 και είναι τόσο μικρό (0.8m x 0.6m) ώστε μόλις χωράει μέσα ο

ιερέας. Ο κυρίως ναός του με εμβαδόν περίπου 18 m², είναι απλός και απέριπτος. Το παρεκκλήσι εορτάζει στις 17 Ιανουαρίου.

Το παρεκκλήσι του Αγίου Ιωάννου του Προδρόμου, ανακαινίσθηκε το 1971 από τον πατέρα Χριστοφόρο, ηγούμενο τότε της μονής. Σύμφωνα με τις περιγραφές του ιδίου, η κόγχη και η Αγία Τράπεζα του Ιερού Βήματος προϋπήρχαν και η αφιέρωση στον Άγιο Ιωάννη έγινε σύμφωνα με όνειρο που είχε δει προσκυνήτρια της μονής. Βρίσκεται στο β' όροφο της μονής, άρα χρονολογικά σίγουρα κτίστηκε λίγο μετά το ναό του Αγίου Νικολάου. Έχει μήκος 5.8m και πλάτος 3.5m και πανηγυρίζει στις 7 Ιανουαρίου.

4.6. Η ιερά μονή Αγίας Τριάδος

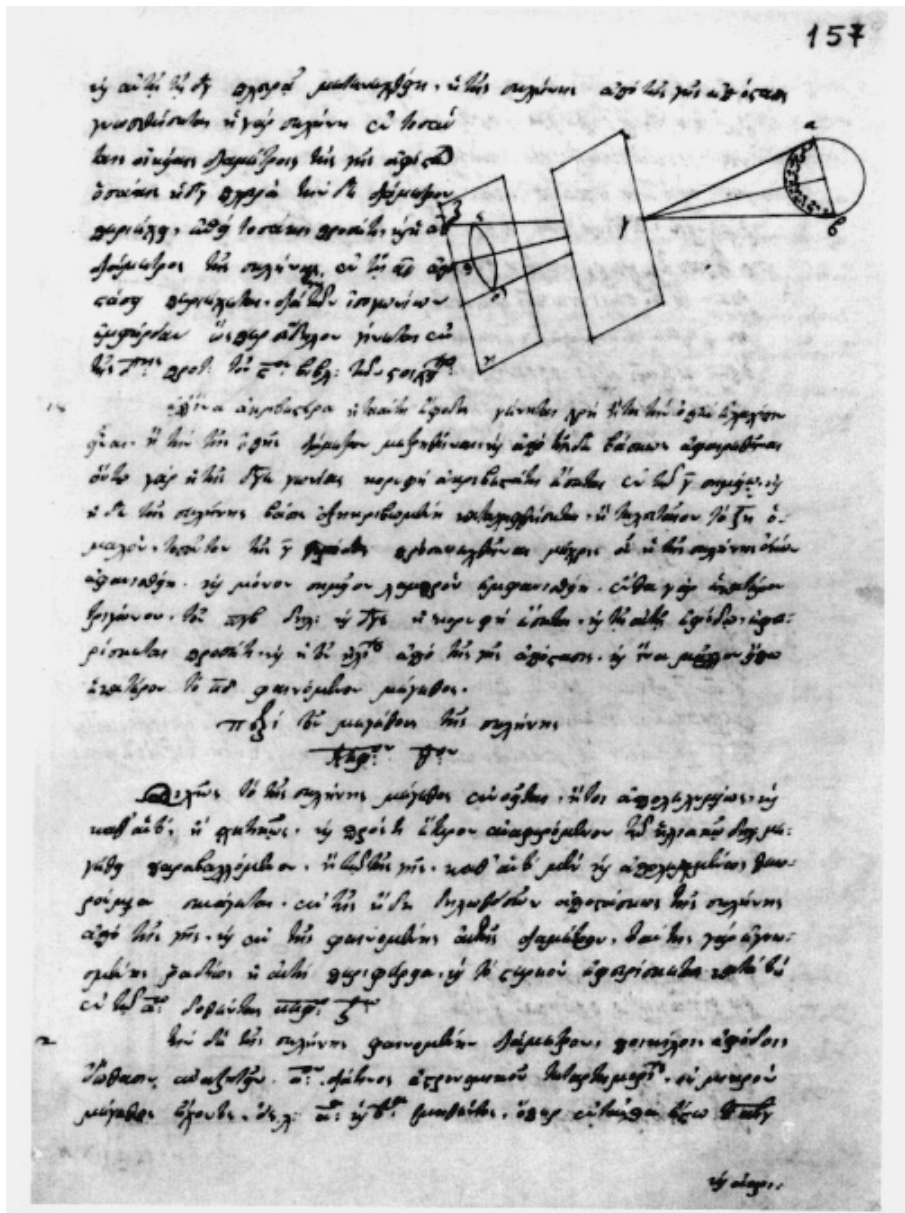
Η μονή της Αγίας Τριάδος βρίσκεται νοτιοανατολικά της μονής Ρουσάνου, επάνω σε ένα μεγαλόπρεπο και απότομο βράχο, που έχει υψόμετρο 535m από τη μέση στάθμη της θάλασσας. Στα πόδια του βράχου απλώνεται η πόλη της Καλαμπάκας. Η ανάβαση στο βράχο της Αγίας Τριάδος παλαιότερα γινόταν με ανεμόσκαλα και με το παραδοσιακό δίκτυ (Φωτ. 4.6). Στα 1925, επί Μητροπολίτη Τρίκκης και Σταγών Πολυκάρπου, κατασκευάστηκε η λαξευτή κλίμακα με τα 140 περίπου σκαλοπάτια, μέσω της οποίας γίνεται σήμερα η ανάβαση στο μοναστήρι.



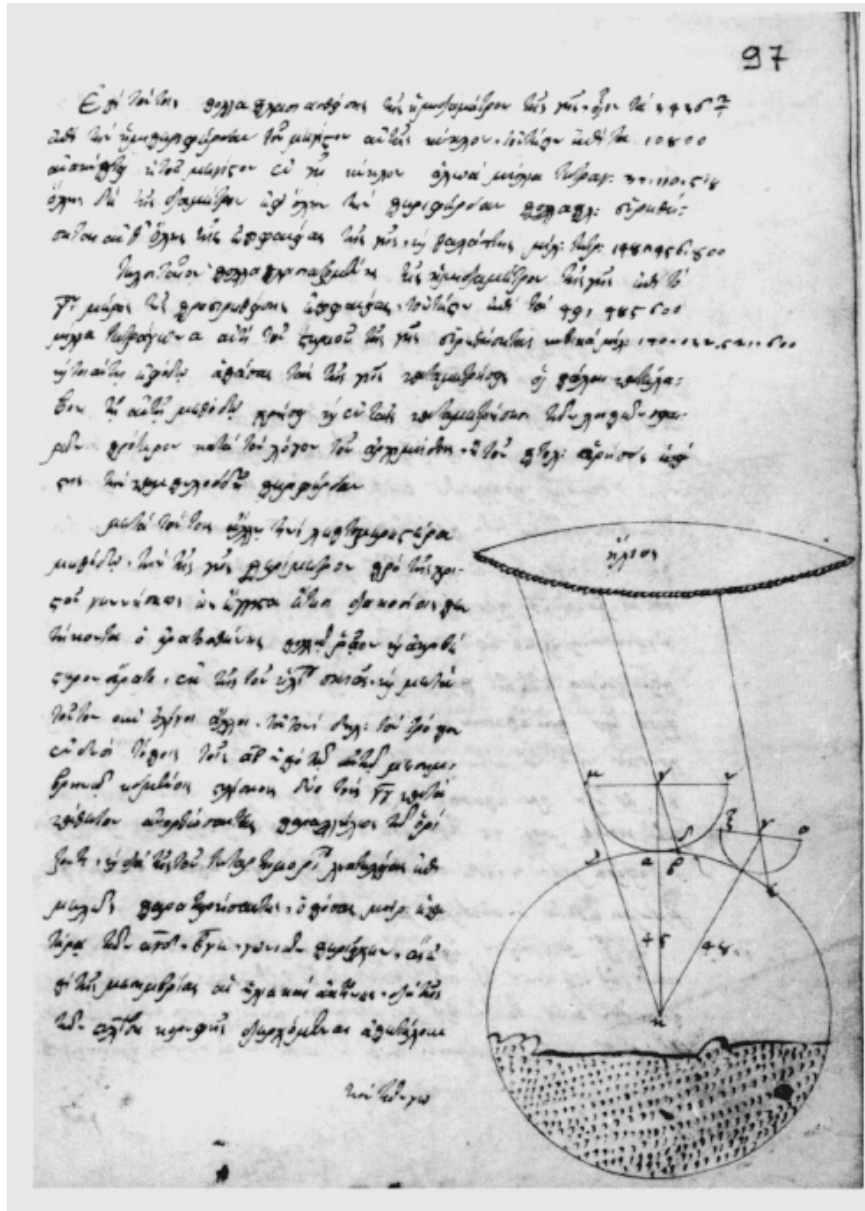
Φωτ. 4.6 : Η ιερά μονή Αγίας Τριάδος

Στη μονή της Αγίας Τριάδος ανήκουν σήμερα 124 χειρόγραφα που φυλάσσονται στο σκευοφυλάκιο της μονής του Αγίου Στεφάνου. Στη συλλογή αυτή συμπεριλαμβάνονται και οι κώδικες που ανήκαν και βρίσκονταν παλαιότερα στις μονές Αγίου Νικολάου Αναπαυσά και

Ρουσάνου. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι στα χειρόγραφα της μονής που σώζονται και φυλάσσονται σήμερα στο μουσείο της μονής Αγίου Στεφάνου υπάρχουν αναλυτικές αναφορές σε αστρονομικά στοιχεία από τα οποία διαπιστώνεται η έφεση των μοναχών στη μελέτη της κίνησης των ουρανίων σωμάτων (Φωτ. 4.7, 4.8). [62]



Φωτ. 4.7 : Χειρόγραφο της μονής Αγίας Τριάδος Κώδιξ 42, φ. 157^α (δείγμα γραφής του κειμένου και σχέδια αστρονομικά, ΙΗ αι.)



Φωτ. 4.8 : Χειρόγραφο της μονής Αγίας Τριάδος, Κώδιξ 42, φ. 97^α
 (δείγμα γραφής του κειμένου και σχέδια αστρονομικά, ΙΗ αι.)

Στο χώρο της μονής βρίσκονται ο ιερός ναός της Αγίας Τριάδος που είναι το καθολικό της μονής και το παρεκκλήσι του Τιμίου Προδρόμου. Σήμερα έχει 4 μοναχούς. Ηγούμενος της μονής είναι ο πανοσιολογιότατος Αρχιμανδρίτης π. Χρυσόστομος Τέτσιος.

Ο ιερός ναός της Αγίας Τριάδος φέρεται να έχει οικοδομηθεί μεταξύ των ετών 1458 και 1476. Ο σημερινός κυρίως ναός αντιπροσωπεύει την αρχαιότερη σωζόμενη οικοδομική φάση του μοναστηριού. Είναι ένας μικρός σταυροειδής δικιόνιος ναός με κεντρικό

τρούλλο στη στέγη του. Ο τρούλλος είναι πολυγωνικός, με μονόλοβα παράθυρα, πλίνθινους κιονίσκους και οδοντωτές ταινίες [63].

Ο ευρύχωρος θολοσκέπαστος εσωνάρθηκας αποτελεί μεταγενέστερη προσθήκη στον κυρίως ναό. Όπως μας πληροφορεί σχετική επιγραφή, κτίστηκε το 1689 και τοιχογραφήθηκε το 1692 επί μητροπολίτη Σταγών Αρσενίου και επί ηγουμένου της μονής Ιωνά. Στα 1684, δίπλα στο ιερό, προστέθηκε ένα μικρό σκευοφυλάκιο. Ο ναός στη σημερινή του μορφή έχει μήκος 10m και πλάτος 5.4m. Η τοιχογράφηση του είναι έργο των ζωγράφων Αντωνίου ιερέα και του αδελφού του Νικολάου και έγινε το 1741. Ο ναός πανηγυρίζει κάθε χρόνο την επόμενη ημέρα της Πεντηκοστής, ημέρα εορτής της Αγίας Τριάδος.

Το παρεκκλήσι του Τιμίου Προδρόμου, που εορτάζει στις 7 Ιανουαρίου, είναι το πρώτο που συναντά κανείς, καθώς εισέρχεται στο μοναστήρι. Είναι μια λαξευτή στο βράχο *rotonda* (κυκλικός ναός) διαμέτρου 4.5m περίπου, με θόλο. Σύμφωνα με την επιγραφή του, κτίστηκε και αγιογραφήθηκε στα 1682, με έξοδα και κόπο των ιερομονάχων Δαμασκηνού, Ιωνά και Παρθενίου. Ίσως αρχικά, πριν τη διαμόρφωσή του σε ναό, να χρησίμευε ως ασκητήριο κάποιου ερημίτη [63].

4.7. Η ιερά μονή Αγίου Στεφάνου

Η μονή Αγίου Στεφάνου βρίσκεται στο νοτιοανατολικό άκρο της συστάδας των μετεωρίτικων βράχων και είναι το μοναδικό μοναστήρι που επισκέπτεται κανείς χωρίς να ανέβει σκαλοπάτια, αφού η προσπέλαση σε αυτό γίνεται με μικρή γέφυρα (Φωτ. 4.9). Κτίτορες της αναφέρονται ο όσιος Αντώνιος και ο όσιος Φιλόθεος.

Βρίσκεται σε μέσο υψόμετρο 528m από τη μ.σ.θ και από εκεί η θέα είναι μαγευτική. Στα πόδια του βράχου απλώνεται η πόλη της Καλαμπάκας, με τον ποταμό Πηνειό στο βάθος. Από το 1961 λειτουργεί ως γυναικείο μοναστήρι με πολυμελή και δραστήρια αδελφότητα η οποία, παράλληλα με το πλούσιο πνευματικό και φιλανθρωπικό έργο, έχει να επιδείξει και αξιοθαύμαστο ανακαινιστικό και οικοδομικό έργο. Η μονή έδειξε ιδιαίτερη δραστηριότητα στον εκπαιδευτικό τομέα. Με έξοδά της κτίστηκε "η Κωνσταντίνος δημοτική σχολή Καλαμπάκας" και κληροδότησε μεγάλα ποσά για την ανέγερση σχολείου στην Καλαμπάκα. Στη δεκαετία του 1970 λειτούργησε στη μονή ορφανοτροφείο και δημοτικό σχολείο θηλέων, στο οποίο δίδασκαν αδελφές της μονής [11].

Στη μονή φυλάσσονται 147 χειρόγραφα, πολλά από τα οποία κοσμούνται με καλλιτεχνικές μικρογραφίες, πολυποίκιλα επίτιπλα και πολύχρωμα διακοσμητικά πρωτογράμματα. Στην παλαιά τράπεζα, που έχει διασκευαστεί σε μουσείο, εκτίθενται για τους επισκέπτες τα αξιολογότερα κειμήλια της μονής, όπως φορητές εικόνες, χρυσοκέντητα άμφια, περίτεχνα έργα αργυροχοΐας. Σ' αυτή λειτουργούν σήμερα εργαστήρια αγιογραφίας, καλλιγραφίας και διακοσμητικής χειρογράφων, χρυσοκεντητικής, ραπτικής, παρασκευής θυμιαμάτων, κεριού και διαφόρων εργοχείρων. Σήμερα η μονή έχει 27 μοναχές. Ηγουμένη είναι η μοναχή Αγάθη Αντωνίου.

Στο χώρο της μονής βρίσκονται ο ιερός ναός του Αγίου Στεφάνου και ο ιερός ναός του Αγίου Χαραλάμπους, που είναι το καθολικό της μονής.



Φωτ. 4.9 : Η ιερά μονή Αγίου Στεφάνου

Ο ιερός ναός του Αγίου Στεφάνου, που εορτάζει στις 27 Δεκεμβρίου, φέρεται να έχει κτιστεί στα 1350. Είναι ξυλόστεγη μονόκλιτη βασιλική με εσωνάρθηκα, που χωρίζεται από τον κυρίως ναό με τρίβηλο άνοιγμα. Αγιογραφήθηκε γύρω στα 1545 ή λίγο αργότερα από άγνωστο αγιογράφο. Οι τοιχογραφίες του είναι σήμερα καλά συντηρημένες και αποτελούν ένα ενδιαφέρον ζωγραφικό σύνολο της μεταβυζαντινής αγιογραφίας. Έχει μήκος 12.3m και πλάτος 5.5m

Ο ιερός ναός του Αγίου Χαραλάμπους, που εορτάζει στις 10 Φεβρουαρίου, προς τιμήν του ιερομάρτυρα Χαραλάμπους, του οποίου η κάρα εστάλη ως ανεκτίμητος θησαυρός στη μονή το 1398, οπότε κτίστηκε μικρός ναός στη θέση του σημερινού Ιερού. Σύμφωνα με

επιγραφές που βρίσκονται στον εξωνάρθηκα, στα 1798, επί ηγουμένου της μονής Αμβροσίου, κτίστηκε το σημερινό επιβλητικό καθολικό [22].

Ο ναός, από αρχιτεκτονικής πλευράς είναι αγιορείτικου τύπου, τετρακίονιος, σταυροειδής, εγγεγραμμένος, με τις δύο κόγχες (χορούς) αριστερά και δεξιά. Ο εσωνάρθηκας – λιτή είναι ευρύχωρος με τέσσερις κίονες στο κέντρο που στηρίζουν τη στέγη του. Χαρακτηριστικοί και εντυπωσιακοί είναι οι τρούλλοι, ο κεντρικός του κυρίως ναού και οι δύο μικρότεροι του ιερού, πάνω από την πρόθεση και το διακονικό. Ο ναός έχει μήκος 21.2m και πλάτος 9.1m. Δεν έχει ολοκληρωθεί η αγιογράφησης του, ενώ το ξυλόγλυπτο τέμπλο του αποτελεί τον πιο αξιόλογο διάκοσμο και ένα από τα ωραιότερα τέμπλα της Ελλάδας.

4.8. Ο ιερός ναός Παναγίας της Δούπιανης

Ο ιερός ναός Παναγίας της Δούπιανης (Φωτ. 4.10), που πανηγυρίζει της Ζωοδόχου Πηγής (την πρώτη Παρασκευή μετά την Κυριακή του Πάσχα) φέρεται να έχει κτιστεί περί τα τέλη του 12^{ου} αιώνα, τότε που φέρεται να έχει συγκροτηθεί η μικρή ασκητική πολιτεία, η Σκήτη της Δούπιανης, με κέντρο λατρείας το ναό της Θεοτόκου. Σύμφωνα με τις πηγές [44] κάτω από το στύλο της Δούπιανης υπήρχε "ο ναός της Υπεραγίας Θεοτόκου της επονομαζόμενης "Δουπιάνου", ο οποίος αποτελούσε τον κοινό ναό, το "Κυριακόν" της σκήτης, που συνέστησαν ελεύθεροι ασκητές.

Βρίσκεται σε υψόμετρο 311m από τη μ.σ.θ, λίγο έξω από το χωριό Καστράκι, βορειοδυτικά του δρόμου που οδηγεί από την Καλαμπάκα



Φωτ.4.10 : Ο ιερός ναός Παναγίας της Δούπιανης

στον χώρο της μετεωρίτικης μοναστικής πολιτείας και πολύ κοντά στη μονή του Αγίου Νικολάου του Αναπαυσά. Είναι ένα μικρό μονόχωρο δρομικό κτίσμα, ορθογώνιο με μήκος 8m και πλάτος 4.9m, που στα ανατολικά του απολήγει σε ημικυκλική κόγχη. Ο ναός σήμερα καλύπτεται από ξύλινη δίρριχτη στέγη, όπως ξυλόστεγη ήταν και η αρχική κάλυψη [44]. Υπάγεται στη μονή του Μεγάλου Μετεώρου και βρίσκονται σε εξέλιξη εργασίες αποκατάστασής του.

Η χρονολόγηση της Παναγίας Δούπιανης δεν έχει καταλήξει σε συγκεκριμένα αποτελέσματα. Συνδυάζοντας αρχιτεκτονικά στοιχεία και τις τοιχογραφίες που έχουν διασωθεί, οι επιστήμονες εικάζουν ότι η ανέγερση του ναού, μπορεί να τοποθετηθεί στα τέλη του 12^{ου} αιώνα [44].

4.9. Ο ιερός ναός Κοιμήσεως της Θεοτόκου – Καλαμπάκα

Ο βυζαντινός ναός της Κοιμήσεως της Θεοτόκου (Παναγία), που πανηγυρίζει στις 15 Αυγούστου, αποτελεί το σημαντικότερο μνημείο της πόλης της Καλαμπάκας και βρίσκεται στο βορειοανατολικό μέρος της, στους πρόποδες των μετεωρίτικων βράχων (Φωτ. 4.11).



Φωτ.4.11 : Ο ιερός ναός Κοιμήσεως της Θεοτόκου

Κατά την άποψη των ειδικών κτίστηκε το 10^ο ή τον 11^ο αιώνα, στη θέση παλαιοχριστιανικής βασιλικής, της οποίας έχουν βρεθεί και αποκαλυφθεί τμήματα του ψηφιδωτού του δαπέδου. Είναι μια ευρύχωρη μεγαλόπρεπη τρίκλιτη βασιλική, με υπερυψωμένο το μεσαίο κλίτος. Έχει μήκος 33m και πλάτος 13m και χωρίζεται σε τρία κλίτη με εναλλαγή πεσσών και κιόνων. Φέρει δύο νάρθηκες, δηλαδή εσωνάρθηκα ή λιτή και εξωνάρθηκα. Η λιτή επικοινωνεί με τον κυρίως ναό με τρίβηλο

άνοιγμα, κατά το πρότυπο των παλαιοχριστιανικών βασιλικών. Ο ναός καταλήγει ανατολικά, με το ιερό του, σε τρεις ημικυκλικές κόγχες.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει ο μαρμάρινος άμβωνας, που βρίσκεται στο κέντρο του μεσαίου κλίτους του ναού. Η μορφή του είναι παρόμοια με το σύνηθες σχήμα των παλαιοχριστιανικών αμβώνων, οι οποίοι έχουν σχήμα κυκλικό ή εξαγωνικό ,στηρίζονται σε κίονες και έχουν δύο κλίμακες, μία προς την Ανατολή και μία προς τη Δύση. Αξιοπρόσεχτο επίσης είναι και το σύνθρονο πίσω από την Αγία Τράπεζα.

Στο ανατολικό άκρο του νότιου τοίχου σώζονται τοιχογραφίες του 12^{ου} αιώνα. Ο υπόλοιπος ναός τοιχογραφήθηκε το 1573 από το μοναχό Νεόφυτο. Η πλούσια τοιχογράφηση αποτελεί ένα χαρακτηριστικό δείγμα της μεταβυζαντινής εκκλησιαστικής ζωγραφικής του 16^{ου} αιώνα.

Κεφάλαιο 5

Γεωδαιτικές και αστρονομικές μετρήσεις.

5.1. Γενικά

Η μοναστική πολιτεία των Μετεώρων, η οποία παρουσιάζει ιστορικό και θρησκευτικό ενδιαφέρον αλλά και ιδιόμορφο τοπογραφικό ανάγλυφο επελέγη για την εφαρμογή της μεθοδολογίας διερεύνησης του προσανατολισμού μνημείων.

Αφού προηγήθηκε η απαραίτητη αναγνώριση της περιοχής και ο εντοπισμός των ιδιαιτεροτήτων, που αφορούσαν στο σύνολο των απαιτούμενων τοπογραφικών εργασιών για την ολοκλήρωση της εργασίας, έγινε σχεδιασμός των επιμέρους εργασιών.

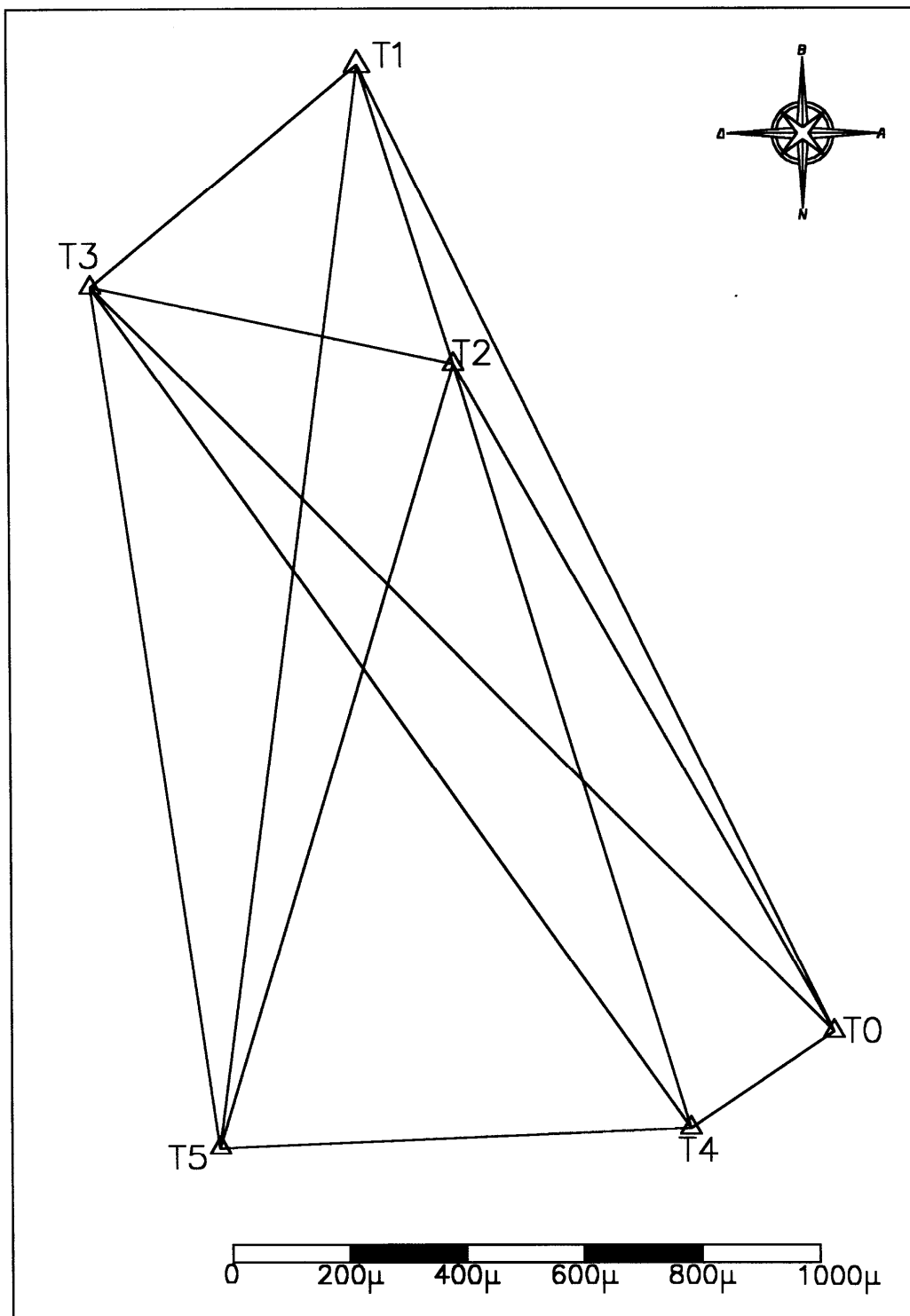
Η τοπογραφία της περιοχής αποτέλεσε μια πρόκληση και επέβαλε την εφαρμογή κατάλληλων μεθόδων και τη χρήση σύγχρονων ειδικών οργάνων τόσο για την αποτύπωση των ναών στις μονές των Μετεώρων, όσο και για τον προσδιορισμό των στοιχείων του προσανατολισμού τους.

5.2. Ίδρυση γεωδαιτικού δικτύου με το σύστημα GPS

Στην περιοχή των Μετεώρων ιδρύθηκε τρισδιάστατο γεωδαιτικό δίκτυο με σκοπό την ένταξη της αποτύπωσης των ναών σε ενιαίο σύστημα αναφοράς. Το δίκτυο αυτό αποτελείται από έξι κορυφές και σχεδιάστηκε έτσι, ώστε να πληρεί τις εξής προϋποθέσεις:

- Να καλύπτει την ευρύτερη περιοχή μέσα στην οποία αναπτύσσεται η μοναστική πολιτεία των Μετεώρων και να αποτελεί τη βάση για την προσέγγιση στο χώρο κάθε μονής.
- Μία από τις κορυφές, η T_0 , να έχει γνωστές συντεταγμένες (X_0, Y_0, H_0) .
- Να είναι εύκολη και όσο γίνεται πιο άμεση η πρόσβαση στις κορυφές του.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 5.1, το δίκτυο αποτελείται από έξι κορυφές, η εγκατάσταση των οποίων έγινε με μόνιμη σήμανση, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η συνέχιση των εργασιών σε διάφορες φάσεις αν αυτό χρειαστεί.



Σχήμα 5.1 : Μορφή τρισδιάστατου γεωδαιτικού δικτύου

Η σχετική θέση των κορυφών του δικτύου αλλά και η έκταση την οποία αυτό καλύπτει, επέβαλαν την εφαρμογή μετρήσεων με GPS. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με τη χρησιμοποίηση δεκτών GPS της εταιρείας Trimble (Φωτ. 5.1)



Φωτ. 5.1 : Δέκτης GPS

Ακολούθησε η επίλυση του δικτύου για να προσδιοριστούν οι συντεταγμένες των κορυφών του.

Τα σημαντικότερα στοιχεία που αφορούν στην επίλυση του δικτύου είναι τα εξής :

↻ Η επίλυση του δικτύου έγινε στο ΕΓΣΑ'87. Το γεωδαιτικό αυτό σύστημα ορίζεται με το ελλειψοειδές GRS 80 προσανατολισμένο παράλληλα με το διεθνές σύστημα του BTS. Χρησιμοποιεί την Εγκάρσια Μερκατορική προβολή με :

$$\lambda_0 = 24^\circ$$

$$K = 0.999600 \text{ (συντελεστής κλίμακας παραμόρφωσης στον κεντρικό μεσημβρινό)}$$

Ο συντελεστής κλίμακας παραμόρφωσης στην περιοχή των Μετεώρων έχει μέση τιμή $K = 1.000107324$

↻ Ως σταθερή κορυφή, για την επίλυση του δικτύου, θεωρήθηκε η κορυφή T_0 , με ορθογώνιες συντεταγμένες

$$X_{T_0} = 297533.230 \text{ m}$$

$$Y_{T_0} = 4398135.220 \text{ m}$$

και ορθομετρικό υψόμετρο

$$H_{T_0} = 597.210 \text{ m}$$

↻ Τα αποτελέσματα της επίλυσης του δικτύου, τελικές συντεταγμένες, τυπικά σφάλματα, παρουσιάζονται τον Πίνακα 5.1.

COORDINATE ADJUSTMENT SUMMARY		
NETWORK = Meteora		
TIME = Fri Sep 15 21:28:34 2000		
Datum = WGS-84		
Coordinate System = User-Defined Transverse Mercator		
Zone = Meteora		
Σημείο	Συντεταγμένες (m)	Σφάλματα (mm)
T0	X = 297533.230 Y = 4398135.220 H = 597.210	$\sigma_x = 0$ $\sigma_y = 0$ $\sigma_H = 0$
T1	X = 296731.017 Y = 4399771.912 H = 555.335	$\sigma_x = 1.8$ $\sigma_y = 1.5$ $\sigma_H = 3.4$
T2	X = 296892.107 Y = 4399264.929 H = 481.846	$\sigma_x = 1.8$ $\sigma_y = 1.5$ $\sigma_H = 3.1$
T3	X = 296275.671 Y = 4399395.707 H = 335.436	$\sigma_x = 1.8$ $\sigma_y = 1.6$ $\sigma_H = 3.5$
T4	X = 297290.185 Y = 4397972.926 H = 538.334	$\sigma_x = 1.6$ $\sigma_y = 1.4$ $\sigma_H = 2.9$
T5	X = 296487.504 Y = 4397938.425 H = 279.015	$\sigma_x = 2.3$ $\sigma_y = 2.1$ $\sigma_H = 4.8$

Πίνακας 5.1: Ορθογώνιες συντεταγμένες στο ΕΓΣΑ 87 και ορθομετρικά υψόμετρα τρισδιάστατου γεωδαιτικού δικτύου.

Παρατηρούμε ότι το σφάλμα προσδιορισμού των τελικών συντεταγμένων (X,Y,H) των κορυφών του δικτύου, όπως προκύπτουν από την συγκεκριμένη επίλυση, κυμαίνεται οριζοντιογραφικά από $\pm 1\text{mm}$ έως $\pm 2\text{mm}$ και υψομετρικά από $\pm 3\text{mm}$ έως $\pm 5\text{mm}$

Το δίκτυο επιλύθηκε επίσης στο ελλειψοειδές αναφοράς χωρίς να χρησιμοποιηθεί προβολικό σύστημα. Η επίλυση αυτή έγινε για δύο λόγους:

- i) για να προσδιοριστούν οι γεωδαιτικές συντεταγμένες των κορυφών του (φ , λ) στο ελλειψοειδές, οι οποίες χρειάζονται τόσο στους υπολογισμούς του αστρονομικού αζιμουθίου όσο και στον υπολογισμό των στοιχείων, τα οποία συνθέτουν την πορεία του ήλιου.

- ii) Για να προσδιοριστούν τα γεωδαιτικά αζιμούθια των πλευρών του δικτύου στο ελλειψοειδές αναφοράς, τα οποία διαφέρουν από τις γωνίες διεύθυνσης, οι οποίες προκύπτουν από την επίλυση, όταν χρησιμοποιείται το προβολικό σύστημα, λόγω της σύγκλισης του μεσημβρινού. Τα αζιμούθια αυτά είναι άμεσα συγκρίσιμα με τα αστρονομικά που προέκυψαν από τις μετρήσεις στον Πολικό αστέρα.

Η διαφορά του γεωδαιτικού και του αστρονομικού αζιμουθίου, όπως αυτή προέκυψε από την επίλυση του δικτύου στο ελλειψοειδές αναφοράς και τις αστρονομικές παρατηρήσεις αντίστοιχα στην περιοχή των Μετεώρων είναι της τάξης των $20''$ και οφείλεται στην απόκλιση της κατακορύφου, ενώ η διαφορά της τιμής της γωνίας διεύθυνσης μιας ευθείας στο ΕΓΣΑ '87 και του αστρονομικού αζιμουθίου της ίδιας ευθείας, είναι $- 1''.6732$.

Τα αποτελέσματα της επίλυσης του δικτύου στο ελλειψοειδές αναφοράς παρουσιάζονται στον πίνακα 5.2.

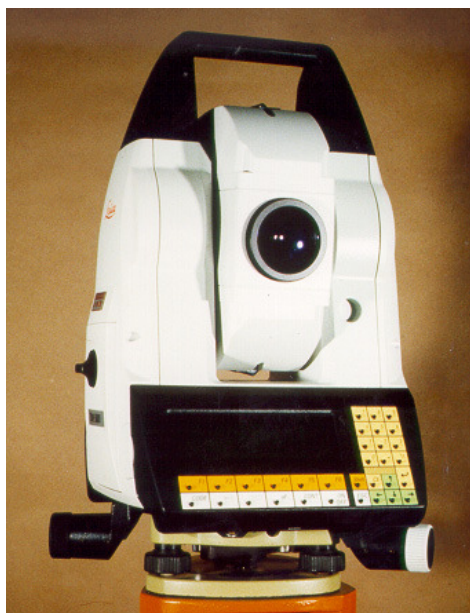
COORDINATE ADJUSTMENT SUMMARY		
NETWORK = Meteora		
TIME = Fri Sep 15 21:28:34 2000		
Datum = WGS-84		
Coordinate System = Geographic		
Zone = Global		
Σημείο	φ	λ
T0	39° 42' 32.6738"	21° 38' 17.4935"
T1	39° 43' 25.0310"	21° 37' 42.0145"
T2	39° 43' 08.7383"	21° 37' 49.3381"
T3	39° 43' 12.4476"	21° 37' 23.3227"
T4	39° 42' 27.2063"	21° 38' 07.4748"
T5	39° 42' 25.4005"	21° 37' 33.8328"

Πίνακας 5.2 : Ελλειψοειδείς συντεταγμένες γεωδαιτικού δικτύου.

5.3. Αστρονομικές παρατηρήσεις– Προσδιορισμός του Αστρονομικού Βορρά.- Προσανατολισμός δικτύου.

Σημαντικό μέρος της εργασίας αποτέλεσε ο προσδιορισμός του αστρονομικού Βορρά και στη συνέχεια ο προσανατολισμός τόσο του δικτύου, όσο και των επιμέρους αποτυπώσεων. Για τον προσδιορισμό του Αστρονομικού Βορρά ακολουθήθηκε η μέθοδος του Πολικού αστέρα, χρησιμοποιώντας όμως τη σύγχρονη ψηφιακή τεχνολογία.

Το όργανο, με το οποίο έγιναν οι αστρονομικές παρατηρήσεις, είναι ο ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός *TDM 5000* της *Leica* (Φωτ. 5.2), ο οποίος αποτελεί την εξέλιξη των παλαιών αστρονομικών θεοδολίων και που μπορεί να τα αντικαταστήσει..



Φωτ. 5.2 : Ο ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός *TDM 5000*

Το όργανο αυτό εμφανίζει τις εξής ιδιαιτερότητες:

- Είναι όργανο σερβοκινούμενο, με ατέρμονες λειτουργίες και ανεξάρτητο πηδάλιο για τους κοχλίες του.
- Είναι ψηφιακό, με δυνατότητα αυτόματης καταγραφής σε καταγραφική μονάδα *PCMCIA*, έτσι ώστε να αποφεύγονται σφάλματα ανάγνωσης και καταγραφής .
- Έχει τη δυνατότητα φωτισμού του τηλεσκοπίου με τέτοιο τρόπο, ώστε να επιτρέπεται η σκόπευση των αστερών μέσω ειδικού - κατάλληλου σταυρονήματος.

- Έχει τη δυνατότητα ταυτόχρονης καταγραφής οριζόντιας γωνίας, κατακόρυφης γωνίας και του χρόνου της κάθε μέτρησης. Προηγουμένως πρέπει το ψηφιακό του ρολόι που είναι ενσωματωμένο και έχει διακριτική ικανότητα καταγραφής $\pm 0.001\text{sec}$, να συγχρονιστεί με το Συντονισμένο Παγκόσμιο χρόνο (UTC).
- Το τηλεσκόπιο του οργάνου έχει μεγέθυνση $\times 42$, που κρίνεται ικανοποιητική για τη διαδικασία σκόπευσης αστέρων.
- Βοηθητικό και απαραίτητο στοιχείο για την πραγματοποίηση των μετρήσεων αποτελεί και το αγκωνοειδές προσοφθάλμιο που προσαρμόζεται στο τηλεσκόπιο του οργάνου.
- Έχει ακρίβεια μέτρησης γωνιών οριζόντιων και κατακόρυφων $\pm 1.5^{\text{cc}}$, και ανάγνωση 0.1^{cc} και είναι ο ακριβέστερος ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός που υπάρχει αυτή τη στιγμή στον κόσμο (2002).

Για τις μετρήσεις εκτός από το όργανο που προαναφέρθηκε, χρησιμοποιήθηκαν και βοηθητικά όργανα για τη μέτρηση της πίεσης και της θερμοκρασίας, οι οποίες χρειάζονται για να γίνουν οι απαραίτητες αναγωγές. Έγιναν δύο σειρές μετρήσεων, μία από την κορυφή T4, με μηδενισμό στο βάθρο T0, και μία άλλη από την κορυφή T2, με μηδενισμό στην κορυφή T1. Οι μετρήσεις έγιναν το ίδιο βράδυ, στις 16 Μαΐου 2000, στο διάστημα μεταξύ 20:35:37 έως 21:53:12 και στα δύο σημεία.

Ακολούθησε η επεξεργασία των μετρήσεων, από την οποία προσδιορίστηκαν τα αστρονομικά αζιμούθια των πλευρών T2-T1 και T4-T0. Τα αποτελέσματα των επιλύσεων παρουσιάζονται στους πίνακες A10 και A11 αντίστοιχα, στο παράρτημα Α.

Ο υπολογισμός του αστρονομικού αζιμουθίου έγινε με το πρόγραμμα Azimuth.bas, που συντάχθηκε σε γλώσσα QB45. Ο κώδικας του προγράμματος ακολουθεί στο παράρτημα Β.

Από τα αποτελέσματα των επιλύσεων παρατηρούμε ότι η ακρίβεια προσδιορισμού των αστρονομικών αζιμουθίων των δύο διευθύνσεων (περίπου 2^{cc}), είναι ιδιαίτερα ικανοποιητική για την παρούσα εφαρμογή.

5.4. Γεωδαιτικές μετρήσεις

Οι γεωδαιτικές εργασίες που πραγματοποιήθηκαν στους χώρους των έξι μονών των Μετεώρων, στο ναό της Παναγίας της Δούπιανης και στο ναό της Κοιμήσεως της Θεοτόκου στην Καλαμπάκα περιλαμβάνουν:

- Αναγνώριση του εσωτερικού και εξωτερικού χώρου σε κάθε μονή ή μεμονωμένο ναό

- Σύνταξη αυτοσχεδίων (σκαριφημάτων) της οριζόντιας τομής των ναών στα οποία εικονίζονται τα δομικά στοιχεία που αποδίδουν πλήρως την κάτοψη του κάθε ναού. Η οριζόντια τομή έγινε στο ύψος του μέσου των ανοιγμάτων για κάθε ναό, έτσι ώστε να απεικονίζονται οι θέσεις τους στο διάγραμμα.

- Επιλογή και εγκατάσταση των κορυφών του πολυγωνομετρικού δικτύου.

Η μέτρηση των στοιχείων του πολυγωνομετρικού δικτύου έγινε εφαρμόζοντας τη μέθοδο των τριών τριπόδων, για να αποφεύγονται σφάλματα κέντρωσης και οριζοντίωσης. Μετρούνται όλα τα απαραίτητα στοιχεία, δηλαδή οριζόντιες γωνίες, κατακόρυφες γωνίες, κεκλιμένα μήκη καθώς και τα στοιχεία σύνδεσης με το τρισδιάστατο γεωδαιτικό δίκτυο. Από την επίλυση των οδεύσεων προκύπτουν οι συντεταγμένες X,Y,H των κορυφών του πολυγωνομετρικού δικτύου.

- Αποτύπωση των σημείων λεπτομερειών του εσωτερικού και του εξωτερικού χώρου που αποδίδουν πλήρως την κάτοψη του ναού.

- Μέτρηση των σημείων της οριογραμμής του αισθητού ορίζοντα, ο οποίος βρίσκεται μπροστά από κάθε ναό. Η μέτρηση έγινε:

- i) με τον ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό GTS211D της εταιρίας Topcon (Φωτ. 5.4), ο οποίος παρέχει μια αβεβαιότητα $\pm 20''$ στη μέτρηση των γωνιών (οριζόντια, κατακόρυφη).
- ii) με το ψηφιακό θεοδόλιχο T1610 (Φωτ. 5.5) της εταιρείας Leica, το οποίο παρέχει αβεβαιότητα $\pm 5''$ στη μέτρηση των γωνιών.
- iii) με τον ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό MDL που φέρει το απόστασιόμετρο LaserAce1000, το οποίο μετρά αποστάσεις χωρίς πρίσμα (Φωτ. 5.3), μέχρι 1000m σύμφωνα με τις προδιαγραφές και παρέχει ακρίβεια $\pm 5''$ στη μέτρηση των γωνιών και $\pm 5\text{cm}$ στη μέτρηση των αποστάσεων. Η μεγαλύτερη απόσταση που μετρήθηκε με το όργανο αυτό ήταν 650m.



Φωτ.5.3 : Τοπογραφικό όργανο
MDL



Φωτ. 5.4 : Τοπογραφικό όργανο
GTS211D

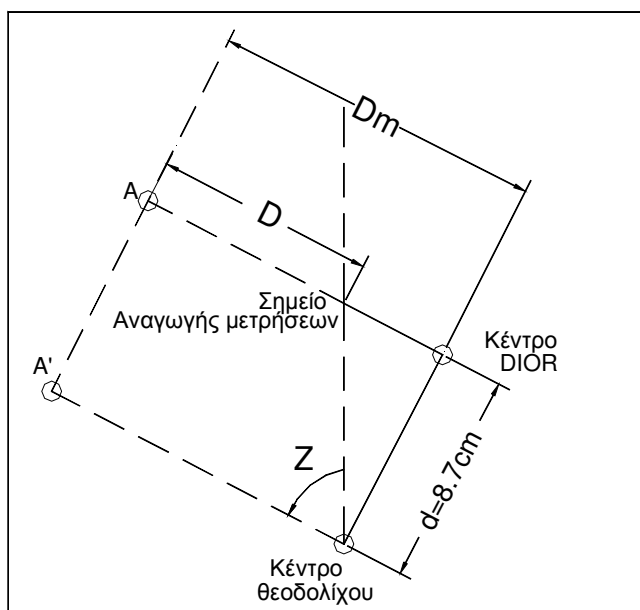
- Φωτογραφική τεκμηρίωση τόσο των ναών όσο και των οριζόντων που αντιστοιχούν σε κάθε μονή.

Για τη αποτύπωση των σημείων λεπτομερειών των ναών των μονών των Μετεώρων χρησιμοποιήθηκε το ψηφιακό θεοδόλιχο T1610, στο οποίο προσαρμόζεται το Dior3002 (όργανο μέτρησης απόστασης χωρίς κατάφωτο), το οποίο υλοποιεί τη θέση του προς μέτρηση σημείου με τη βοήθεια laser (Φωτ. 5.5).



Φωτ. 5.5 : Σύστημα μέτρησης Dior3002 + T1610

Στο σχήμα 5.2 φαίνεται η αρχή λειτουργίας του συστήματος T1610 + Dior3002.



Σχήμα 5.2 : Γεωμετρική αναγωγή λόγω έκκεντρης σκόπευσης του συστήματος T1610 + Dior3002

Όπως φαίνεται το Dior3002 είναι επιβατικό στο θεοδόλιχο T1610 γι' αυτό χρειάζεται να γίνει διόρθωση του μετρημένου κεκλιμένου μήκους και του ύψους οργάνου λόγω της έκκεντρης μέτρησης. Οι διορθώσεις αυτές παρουσιάζονται στις σχέσεις 5.1 και 5.2

$$D = D_m + d \cdot \tan(Z - 100) \quad (5.1)$$

$$Y_o = Y_o + \frac{d}{\sin Z} \quad (5.2)$$

Όπου

D = το ανηγμένο κεκλιμένο μήκος σε m

D_m = το μετρημένο κεκλιμένο μήκος σε m

d = η εκκεντρότητα θεοδολίχου και EDM, η οποία είναι ίση με 8.7cm.

Z = η μετρημένη κατακόρυφη γωνία σε g

Y_o = το ύψος οργάνου

Χρησιμοποιώντας το όργανο αυτό η ακρίβεια προσδιορισμού των συντεταγμένων X,Y,H εξαρτάται από την απόσταση του σκοπευόμενου σημείου και κυμαίνεται από $\pm 1\text{mm}$ μέχρι και $\pm 3\text{mm}$ για αποστάσεις της τάξης των 60 m.

Για την αποτύπωση των ναών εφαρμόστηκε η μέθοδος των τοποσταθερών χρησιμοποιώντας το σύστημα Dior3002 + T1610. Για κάθε σημείο λεπτομέρειας μετρούνται η οριζόντια γωνία, η κατακόρυφη γωνία και το κεκλιμένο μήκος, για να προσδιοριστούν οι ορθογώνιες συντεταγμένες (X, Y) και το υψόμετρο H του σημείου.

Η λήψη των σημείων λεπτομερειών έγινε κάθε φορά σε ύψος που αντιστοιχεί στο μέσο περίπου των ανοιγμάτων των ναών και έτσι ώστε να διασφαλίζεται η γεωμετρική ορθότητα και η πληρότητα του σχεδιασμού της κάτοψής τους.

Τελικά η αβεβαιότητα με την οποία προσδιορίστηκαν οι ορθογώνιες συντεταγμένες X, Y των σημείων λεπτομερειών, δεδομένου ότι οι αποστάσεις σκόπευσης ήταν πολύ μικρές, είναι καλύτερη από $\pm 3\text{mm}$.

5.4.1 Παρατηρήσεις - Επισημάνσεις

Ολοκληρώνοντας την αναφορά στις αστρονομικές και γεωδαιτικές μετρήσεις, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν στη μοναστική πολιτεία των Μετεώρων, κρίνεται σκόπιμο να αναφερθούν κάποια στοιχεία τα οποία αφορούν τόσο στις ιδιαιτερότητες, όσο και στα προβλήματα που εμφανίστηκαν κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.

- Ο προσδιορισμός του αστρονομικού αζιμουθίου με τη μέθοδο του Πολικού αστέρα, με τον συγκεκριμένο ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό DTM 5000, κρίνεται γρήγορος και ακριβής.
- Η μεταφορά του αζιμουθίου, στο χώρο του κάθε ναού, με τη βοήθεια των γεωδαιτικών μετρήσεων (τριγωνισμός, πολυγωνομετρία), είναι ασφαλής, εύκολη και ακριβής (μέθοδος τριών τριπόδων).
- Οι μετρήσεις του αισθητού ορίζοντα δίνουν καλύτερα αποτελέσματα με το συνδυασμό γεωδαιτικών οργάνων και μετρήσεων οριζοντίων, κατακόρυφων γωνιών και μηκών.
- Το έντονο τοπογραφικό ανάγλυφο των βράχων (έντονες κλίσεις, απόκρημνα σημεία, στενότητα χώρου), πάνω στους οποίους είναι κτισμένες οι μονές, δημιούργησε δυσκολίες στην πραγματοποίηση των μετρήσεων και επέβαλε τη χρήση ειδικών γεωδαιτικών μεθόδων και εξοπλισμού. Έτσι στη μονή του Αγίου Νικολάου του Αναπαυσά, είναι καθοριστική η εφαρμογή αυτών των μεθόδων τόσο στη μεταφορά του αζιμουθίου όσο και στην αποτύπωση των τριών ναών, οι οποίοι είναι

κτισμένοι σε τρία διαφορετικά επίπεδα (το παρεκκλήσι του Αγίου Αντωνίου σε υψόμετρο 407.47m, ο ναός του Αγίου Νικολάου σε υψόμετρο 409.95m και το παρεκκλήσι του Αγίου Ιωάννου σε υψόμετρο 413.61m, σχήμα Α4). Με τις εφαρμοζόμενες γεωδαιτικές μεθόδους εξασφαλίζεται ο προσδιορισμός της σχετικής θέσης των τριών ναών, οριζοντιογραφικά και υψομετρικά καθώς και η ακριβής μεταφορά του αζιμουθίου.

- Η συνεχής προσέλευση προσκυνητών στους χώρους των μονών κατά τη διάρκεια της ημέρας, δυσχέραινε το έργο των μετρήσεων.
- Μεγάλη ήταν η δυσκολία μεταφοράς του απαραίτητου εξοπλισμού για την πραγματοποίηση των μετρήσεων.
- Ο περιορισμένος χρόνος στον οποίο έπρεπε να πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις κυρίως στους εσωτερικούς χώρους των ναών, λόγω του προγράμματος εργασιών και τελετουργιών κάθε μονής, ήταν άλλη μια δυσκολία που αντιμετωπίστηκε στην εφαρμογή της μεθοδολογίας.

Στην επίλυση των τριών τελευταίων προβλημάτων ήταν σημαντική και καθοριστική η κατανόηση την οποία επέδειξαν και η βοήθεια την οποία προσέφεραν οι μοναχές και οι μοναχοί κάθε Ιεράς μονής.

Κεφάλαιο 6

Επεξεργασία μετρήσεων και παρουσίαση αποτελεσμάτων.

6.1. Γενικά

Η σχεδίαση της κάτοψης ή της όψης ενός μνημείου παρουσιάζει σημαντικές ιδιαιτερότητες, οι οποίες αφορούν στον τρόπο σχεδίασης των λεπτομερειών που αποδίδουν τη μορφή του. Το πλήθος των σημείων λεπτομερειών και το πλήθος των γραμμών που τα ενώνουν για να αποδώσουν το σχήμα και τις πραγματικές διαστάσεις του μνημείου επιβάλλει αναγκαστικά ένα διαφορετικό τρόπο αντιμετώπισης τόσο στην επεξεργασία των μετρήσεων όσο και στη σχεδίαση. Η αυτοματοποίηση, με ηλεκτρονικά μέσα, της διαδικασίας επεξεργασίας των μετρήσεων (μέτρηση – καταγραφή – υπολογισμοί) αλλά και της διαδικασίας σχεδίασης και απόδοσης του συνόλου του μνημείου ελαχιστοποιεί τα χονδροειδή σφάλματα, τα οποία οφείλονται κυρίως στον ανθρώπινο παράγοντα, και οδηγεί σε σχεδιαστικά αποτελέσματα με μεγαλύτερη ταχύτητα, ακρίβεια και ευελιξία.

Στην εργασία αυτή, όπως αναφέρθηκε, χρησιμοποιήθηκαν σύγχρονα γεωδαιτικά όργανα για τη συλλογή των στοιχείων, τα οποία είναι απαραίτητα για την απεικόνιση της οριζόντιας τομής (κάτοψης) του κάθε ναού και του αντίστοιχου ορίζοντα. Με τα όργανα αυτά αυξήθηκε σημαντικά η ταχύτητα των μετρήσεων και των υπολογισμών, μειώθηκε το περιθώριο εμφάνισης χονδροειδών σφαλμάτων και επιτεύχθηκε ακρίβεια στον προσδιορισμό των συντεταγμένων X, Y των σημείων λεπτομερειών, ίση με $\pm 0.003\text{m}$. Η αντίστοιχη αβεβαιότητα μέτρησης των στοιχείων των οριζόντων κυμαίνεται από $\pm 10^{\text{cc}}$ έως $\pm 3^{\text{c}}$, αφού για τη μέτρησή των πρωτογενών στοιχείων τους (οριζόντια γωνία, κατακόρυφη γωνία), χρησιμοποιήθηκε όργανο ακρίβειας $\pm 10^{\text{cc}}$ ενώ οι αποστάσεις τους από το σημείο μέτρησης κυμαίνονται από 6m έως 3000m.

Η επεξεργασία των γεωδαιτικών και των αστρονομικών μετρήσεων έγινε χρησιμοποιώντας προγράμματα του H/Y.

Η διαχείριση της πληροφορίας των μετρήσεων επέβαλε την ειδική κωδικοποίηση των στοιχείων και την ταξινόμησή τους σε :

- Μετρήσεις των σημείων του πολυγωνομετρικού δικτύου
- Μετρήσεις σημείων λεπτομερειών για τη σύνταξη του τοπογραφικού διαγράμματος κάτοψης για κάθε ναό.
- Μετρήσεις των σημείων του ορίζοντα.

Με την ταξινόμηση αυτή παρέχεται η δυνατότητα για άμεσους υπολογισμούς και επομένως για ταχύτερα αποτελέσματα.

Η διαδικασία απόδοσης των μετρητικών στοιχείων, για τη δημιουργία των σχεδίων κάτοψης για κάθε ναό, έγινε χρησιμοποιώντας προγράμματα ψηφιακής σχεδίασης. Πρέπει εδώ να τονιστεί ότι αυτά τα προγράμματα διατηρούν απόλυτα την ακρίβεια των τοπογραφικών μετρήσεων. Τα σχεδιαστικά προγράμματα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν είναι το AutoCad R14 [4] και το Raport [8], με τη βοήθεια των οποίων βελτιώνεται σημαντικά, κυρίως χρονικά και αισθητικά η διαδικασία απόδοσης και προσφέρονται πολλά πλεονεκτήματα.

Η ψηφιακή σχεδίαση δίνει τη δυνατότητα καλύτερης και άμεσης διαχείρισης των γεωμετρικών στοιχείων της κάτοψης του ναού. Έτσι είναι πολύ εύκολο να οριστούν γεωμετρικά οι βασικές γραμμές του ναού (βασικός κατά μήκος άξονας, άξονες παραθύρων, κ.ά) και να προσδιοριστούν τα μαθηματικά στοιχεία αυτών των γραμμών (αζιμούθια, μήκη). Η διαδικασία αυτή είναι ταχύτατη και παρέχει ευελιξία στην επιλογή των γραμμών .

Αντίστοιχη διαδικασία ακολουθείται και για την επεξεργασία των στοιχείων που συνθέτουν τη γραμμή του ορίζοντα. Για όλους τους ορίζοντες υπολογίζονται οι συντεταγμένες X, Y, Z, που ορίζουν την οριογραμμή τους, και με κατάλληλα προγράμματα γίνονται οι αναγωγές, όπου αυτές είναι απαραίτητες. Ακολουθεί η σχεδίαση των οριζόντων σε ψηφιακή μορφή, δηλαδή η γραφική παράσταση της οριογραμμής του αισθητού ορίζοντα σε διάγραμμα αζιμουθίου (Az) και γωνίας ύψους (ν). Οι αναγωγές των οριζόντων γίνονται θεωρώντας ως σημείο αναγωγής το μέσον της Αγίας Τράπεζας του κάθε ναού, τη θέση δηλαδή που στέκεται ο ιερέας κατά τη διάρκεια της Θείας λειτουργίας (σε μέσο ύψος 1.50m από το δάπεδο του ιερού Βήματος).

Για τις ανάγκες της επεξεργασίας των μετρήσεων συντάχθηκαν ειδικά για την παρούσα εργασία, σε γλώσσα προγραμματισμού Qbasic, τα εξής προγράμματα:

- *Oriz.bas*, πρόγραμμα με το οποίο γίνεται η αναγωγή των οριζόντων.
- *Mgrad.bas*, πρόγραμμα με το οποίο μετασχηματίζονται οι τιμές των γωνιακών μεγεθών από βαθμούς (grad) σε μοίρες και αντίστροφα και μορφοποιούνται έτσι ώστε να είναι αναγνωρίσιμα από τα αντίστοιχα σχεδιαστικά προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν.

Οι κώδικες των προγραμμάτων ακολουθούν στο παράρτημα Β της εργασίας.

Τα παράγωγα της εργασίας είναι τα ακόλουθα:

⇒ Τα τοπογραφικά διαγράμματα στα οποία εμφανίζεται η κάτοψη κάθε ναού, σε κλίμακα 1: 50, στο κρατικό σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ '87.

⇒ Τα διαγράμματα που αποδίδουν την οριογραμμή του αισθητού ορίζοντα

⇒ Στα ίδια διαγράμματα παρουσιάζεται και η γραμμή, η οποία υλοποιεί την πορεία του ήλιου για τις διάφορες χαρακτηριστικές ημερομηνίες για κάθε ναό, με αβεβαιότητα $\pm 6^{\text{cc}}$ [35]. Η πορεία αυτή προκύπτει ψηφιακά, χρησιμοποιώντας κατάλληλο λογισμικό [34], με στοιχείο εισόδου τις γεωδαιτικές συντεταγμένες (φ, λ) του κάθε ναού για τις αντίστοιχες ημερομηνίες.

⇒ Παρουσίαση του φωτογραφικού υλικού τεκμηρίωσης, στο οποίο εμφανίζεται σε φωτομωσαϊκό ο ορίζοντας που αντιστοιχεί σε κάθε μονή ή σε μεμονωμένο ναό.

Η διερεύνηση του προσανατολισμού σε όλους τους ναούς και τα παρεκκλήσια έγινε με τον βασικό κατά μήκος άξονα ο οποίος διέρχεται από το μέσο της Αγίας Τράπεζας ή με την ειδική διεύθυνση που συνδέει το μέσο αυτό με το μέσο του ανοίγματος στο ιερό Βήμα (κεντρική κόγχη, ή πλάγιο άνοιγμα).

Ακολουθεί η αναλυτική παρουσίαση των γεωμετρικών αποτελεσμάτων που αφορούν στα συγκροτήματα των μονών και στους μεμονωμένους ναούς.

6.2. Η ιερά μονή Μεγάλου Μετεώρου.

☑ Ο ιερός ναός της Μεταμορφώσεως είναι το καθολικό της μονής Μεγάλου Μετεώρου. Στο ναό αυτό ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η συμμετρία της κατασκευής. Από τη σχεδίαση (σχήμα 6.1) διαπιστώνεται ότι:

- Ο νάρθηκας έχει μήκος 10.57m, πλάτος 9.08m και βρίσκεται σε υψόμετρο 587.31m από τη μ.σ.θ.
- Ο κυρίως ναός έχει μήκος 10.54m, μέσο πλάτος 10.70m και βρίσκεται ψηλότερα από το νάρθηκα κατά 0.2m.
- Το Ιερό Βήμα, το οποίο είναι ευρύχωρο, έχει μήκος 6.82m, πλάτος 8.02m και υψομετρικά διαφέρει από τον κυρίως ναό κατά +0.2m.
- Το μέγιστο ύψος του ναού (κορυφή τρούλλου) είναι 15.90m.
- Ο τρούλλος του καθολικού έχει διάμετρο 5.00m.

Για τη διερεύνηση του προσανατολισμού του ναού εξετάστηκαν δύο γραμμές:

- Ο βασικός κατά μήκος άξονας του ναού, που ορίζεται από το μέσο της Αγίας Τράπεζας και το μέσο της βορειοδυτικής όψης του ναού, που έχει μήκος 21.91m και αζιμούθιο $132^{\circ}.86 \pm 1.2^{\circ}$ στοιχείο που δηλώνει τον νοτιοανατολικό προσανατολισμό του.



Φωτ. 6.1 : Πλάκα στο δάπεδο του ιερού ναού της Μεταμορφώσεως

- Η γραμμή που φέρει η **μαρμάρινη πλάκα** που βρίσκεται στο πάτωμα, στο χώρο του κυρίως ναού (φωτ. 6.1). Η πλάκα αυτή είναι σχεδόν τετράγωνη και είναι τοποθετημένη έτσι ώστε να βρίσκεται κάτω από το

κεντρικό παράθυρο του τρούλλου του ναού και να διχοτομείται από τον βασικό του άξονα. Η γραμμή αυτή έχει μήκος 0.70m και αζιμούθιο $78^{\circ}.42 \pm 38^{\circ}$ (λόγω του μικρού μήκους της). Στη θέση αυτή κατά παράδοση διαβάζεται ο Απόστολος κατά τη διάρκεια της Θείας Λειτουργίας.

☑ Το παρεκκλήσι του Ιωάννου του Προδρόμου (σχήμα 6.1) είναι όμορο του ναού της Μεταμορφώσεως και το αζιμούθιο του βασικού άξονα ο οποίος ορίζεται από το μέσο της Αγίας Τράπεζας και το μέσο της βορειοδυτικής όψης του παρεκκλησίου και έχει μήκος 6.25m, είναι επίσης $132^{\circ}.86 \pm 4.3^{\circ}$. Βρίσκεται σε υψόμετρο 587.70m, ίσο με αυτό του ιερού Βήματος της Μεταμορφώσεως, έχει μήκος 7.25m και πλάτος 5.02m.

Η αβεβαιότητα προσδιορισμού το σημείων του αισθητού ορίζοντα, ο οποίος βρίσκεται σε μέση απόσταση 1000m από τον χώρο των δύο ναών και ανάχθηκε οριζοντιογραφικά και υψομετρικά στο μέσο της Αγίας Τράπεζας του ναού της Μεταμορφώσεως, είναι ίση με $\pm 2^{\circ}$.

Στο διάγραμμα του ορίζοντα (σχήμα 6.2), το οποίο σχεδιάστηκε και για τους δύο ναούς εμφανίζονται οι πορείες του ήλιου για τις :

- 7 Ιανουαρίου 1360, που είναι η ημέρα εορτής του Αγίου Ιωάννου για το έτος κτίσης του ναού.
- 6 Αυγούστου 1388, που είναι ημέρα εορτής της Μεταμορφώσεως του Σωτήρος Χριστού για το έτος κτίσης – επέκτασης του ναού.

Παρατηρούμε ότι η γραμμή που υλοποιεί το αζιμούθιο του βασικού άξονα του ναού της Μεταμορφώσεως και η γραμμή του αισθητού ορίζοντα, όπως αυτός γίνεται ορατός από το μέσο της Αγίας Τράπεζας, συναντούνται με την γραμμή της πορείας του ήλιου για τις 7 Ιανουαρίου 1360, με μια αβεβαιότητα $\pm 2.3^{\circ}$, η οποία προκύπτει από τις αβεβαιότητες των επιμέρους στοιχείων όπως αναφέρθηκαν παραπάνω. Η ημέρα αυτή αντιστοιχεί στην ημέρα εορτής του Αγίου Ιωάννου για το έτος κτίσης του πρώτου μικρού ναού της Μεταμορφώσεως. Είναι πιθανόν λοιπόν το σημερινό Ιερό του ναού της Μεταμορφώσεως, που ήταν ο αρχικός μικρός ναός, να ήταν αφιερωμένο στον Άγιο Ιωάννη και στη συνέχεια, όταν έγινε η επέκταση του ναού να αφιερώθηκε στη Μεταμόρφωση του Σωτήρος. Διαμορφώθηκε έτσι ο διπλάνος βοηθητικός χώρος, σε παρεκκλήσι το οποίο αφιερώθηκε στον Άγιο Ιωάννη. Οι κτίτορες του μεγάλου ναού δεν μπορούσαν βέβαια να αλλάξουν τον προσανατολισμό της εκκλησίας. Για να δείξουν όμως ότι συνδύασαν την ημέρα εορτασμού

του ναού με τη θέση του ήλιου τοποθέτησαν τη μαρμάρινη πλάκα με τέτοιο τρόπο ώστε η γραμμή που φέρει και έχει αζιμούθιο $78^{\circ}.42$ να ορίζει τη θέση του ήλιου την ημέρα εορτασμού του ναού, με αβεβαιότητα $\pm 39^{\circ}$. Το γεγονός αυτό ενισχύουν και τα κατασκευαστικά στοιχεία των δύο ναών, που έχουν γίνει αντικείμενο έρευνας [17] και δείχνουν ότι η στέγη του Ιερού Βήματος του ναού της Μεταμορφώσεως είναι σύγχρονη της στέγης του παρεκκλησίου του Προδρόμου.

Στη φωτογραφία (φωτ. 6.2) παρουσιάζεται η φωτογραφική τεκμηρίωση του παραπάνω ορίζοντα.

Για το καθολικό της μονής, λαμβάνοντας υπόψη την αβεβαιότητα διερεύνησης του προσανατολισμού του, που επιτεύχθη με την εφαρμογή της μεθοδολογίας και η οποία είναι ίση με $\pm 2.3^{\circ}$ και ότι η μεταβολή της πορείας του ήλιου για τις 7 Ιανουαρίου είναι περίπου 13° /έτος, προκύπτει ότι το έτος κτίσης του ναού είναι το 1368 μ.Χ με αβεβαιότητα ± 18 χρόνια, στοιχείο που συμφωνεί με τις ιστορικές αναφορές.

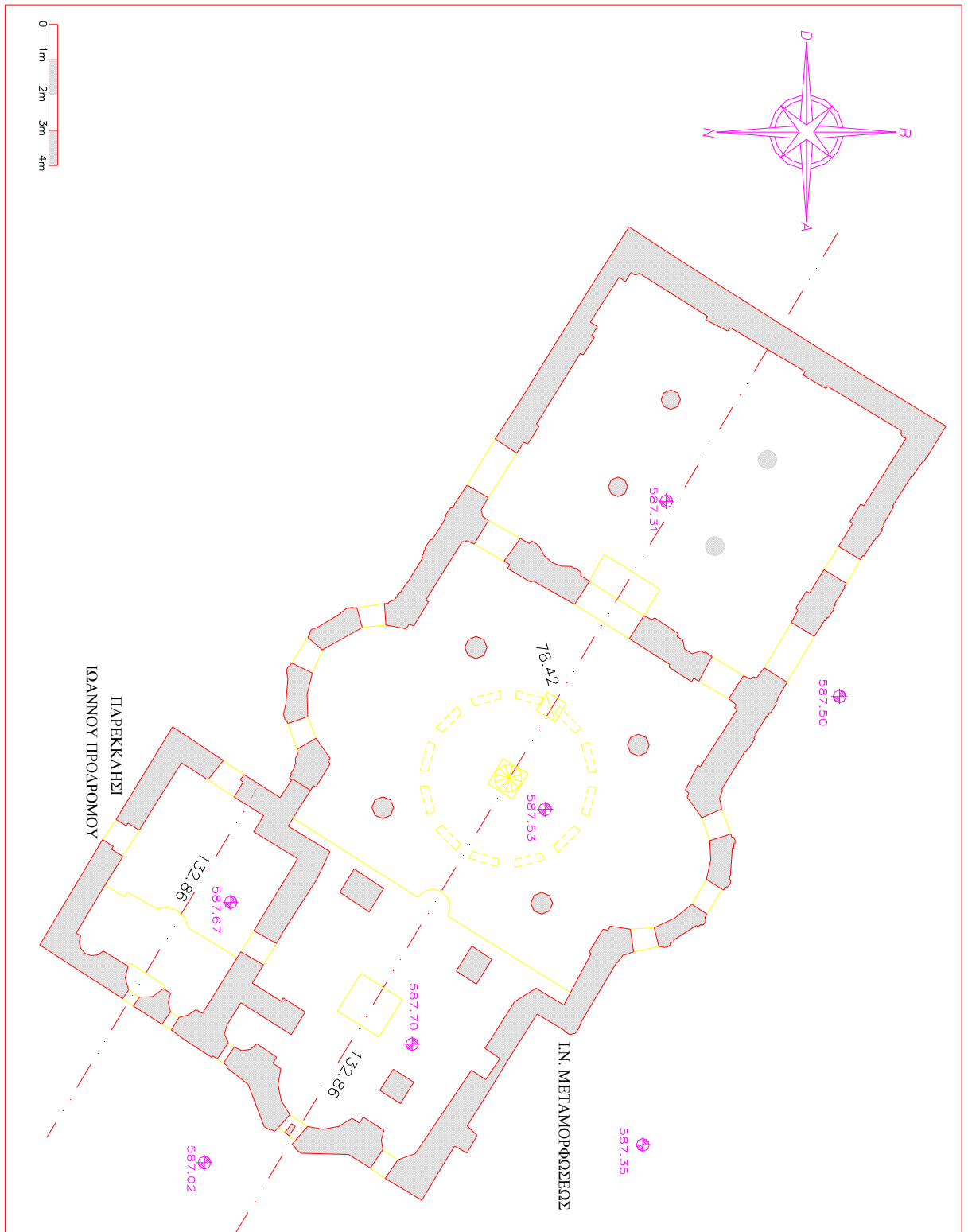
Για τον ιερό ναό των Αγίων Κωνσταντίνου και Ελένης (σχήμα 6.3) διαπιστώνουμε ότι έχει μήκος 8.29m, πλάτος 6.02m και βρίσκεται σε υψόμετρο 592.10m. Για τη διερεύνηση του προσανατολισμού του χρησιμοποιήθηκε ο βασικός κατά μήκος άξονάς του, όπως ορίζεται από το μέσο της Αγίας Τράπεζας και το μέσο της εξωτερικής ακμής του ανοίγματος που βρίσκεται στην κεντρική κόγχη του ιερού βήματος, έχει μήκος 2.60m και αζιμούθιο $121^{\circ}.32 \pm 10.4^{\circ}$, είναι δηλαδή προσανατολισμένος νοτιοανατολικά.

Ο αισθητός ορίζοντας του ναού είναι η δυτική όψη του ναού της Μεταμορφώσεως, αφού ο ναός αυτός προϋπήρχε της κτίσης του ναού των Αγίων Κωνσταντίνου και Ελένης και βρίσκεται σε απόσταση περίπου 6m από αυτόν. Έγιναν μέτρηση και αναγωγή του ορίζοντα και προέκυψε η οριογραμμή του όπως γίνεται ορατή από το μέσο της Αγίας Τράπεζας του ναού. (σχήμα 6.4). Η τελική αβεβαιότητα προσδιορισμού του ορίζοντα είναι $\pm 7.5^{\circ}$

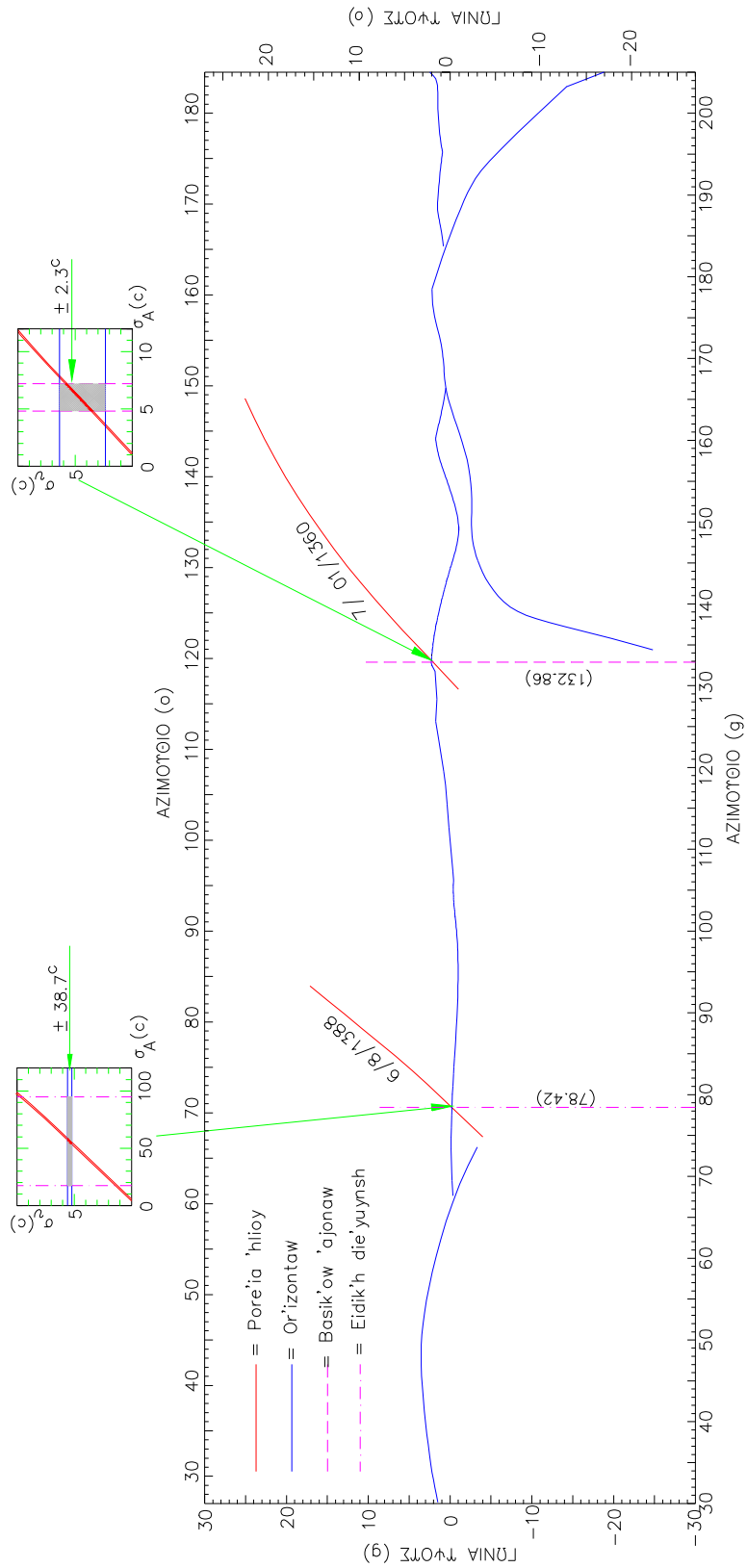
Παρατηρώντας το διάγραμμα του ορίζοντα του ναού προκύπτει ότι:

- η πορεία του ήλιου για τις 21 Μαΐου 1789, που είναι η ημέρα εορτής των Αγίων Κωνσταντίνου και Ελένης για το έτος κτίσης του ναού συναντά τη γραμμή που υλοποιεί το αζιμούθιο του βασικού άξονα, την Τρίτη ώρα, με αβεβαιότητα $\pm 10.4^{\circ}$.

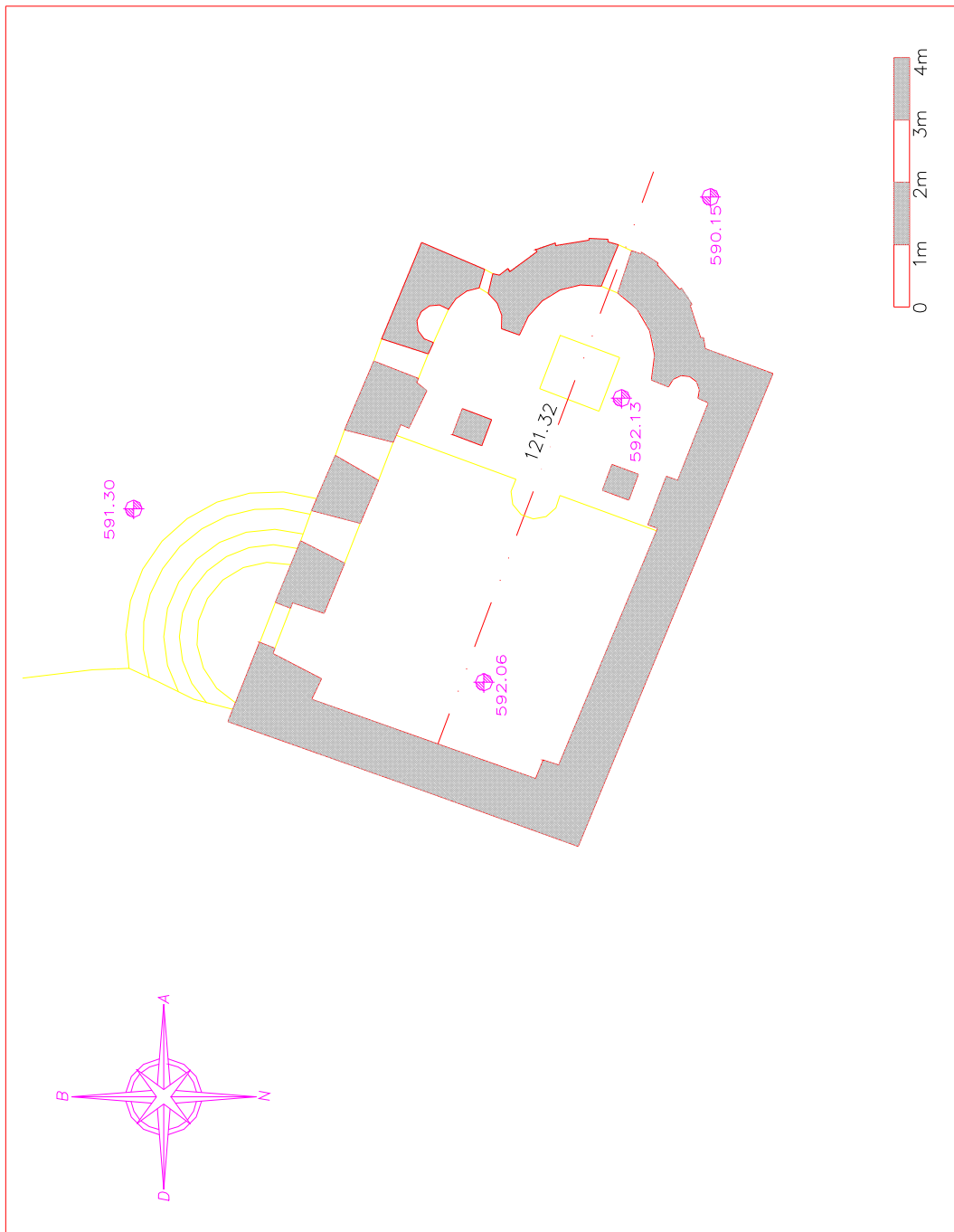
- η πορεία του ήλιου για τις 6 Αυγούστου 1789, που είναι η ημέρα κατά την οποία τιμάται η Μεταμόρφωση του Σωτήρος Χριστού και πανηγυρίζει η ιερά μονή, κατά το έτος κτίσης του ναού και η γραμμή που υλοποιεί το αζιμούθιο του βασικού άξονα συναντούνται στον ορίζοντα με αβεβαιότητα $\pm 12.8^\circ$



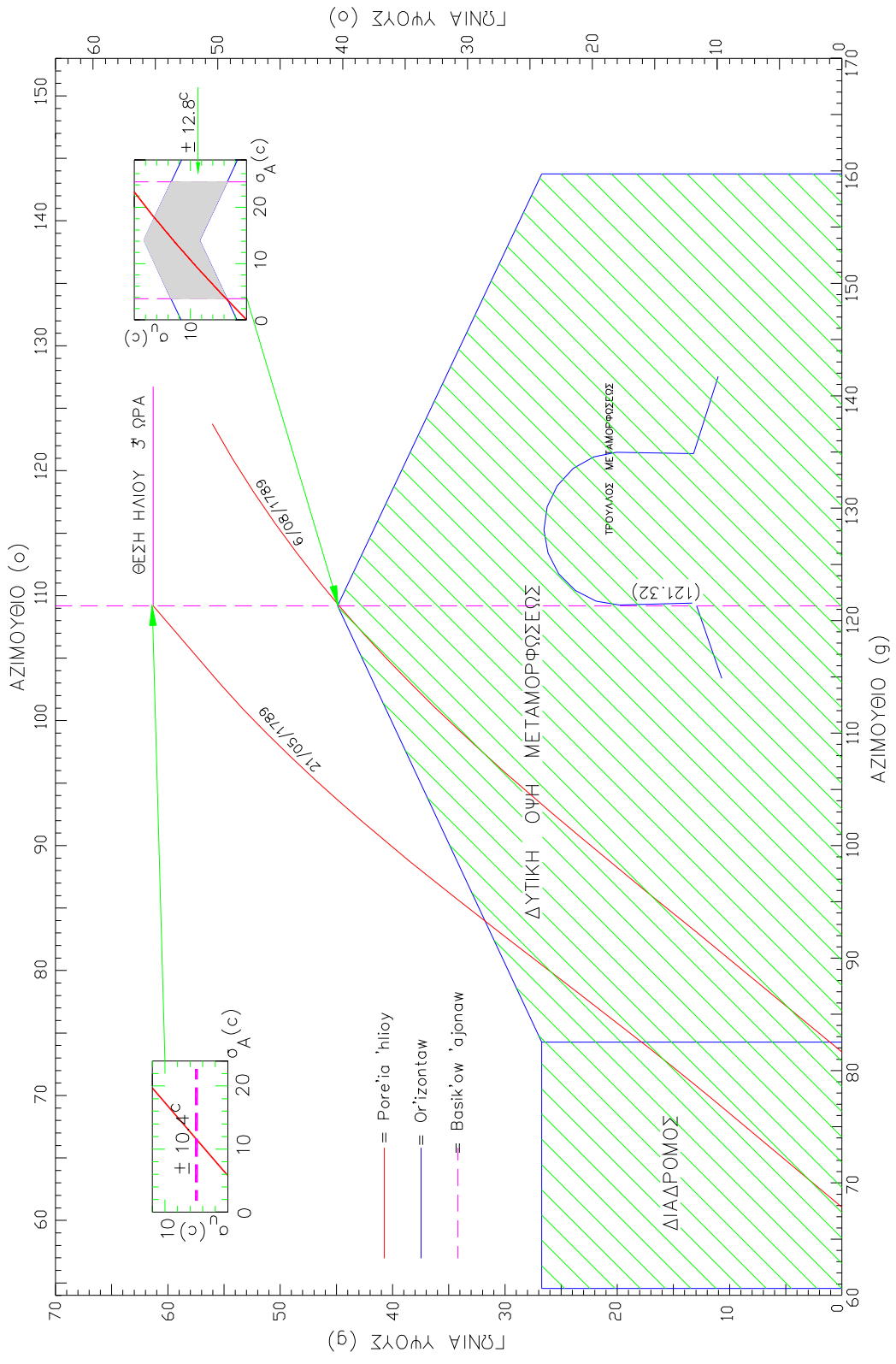
*Σχήμα 6.1 : Ιερά μονή Μεγάλου Μετεώρου
 Κάτοψη ιερού ναού Μεταμορφώσεως
 και παρεκκλησίου Ιωάννου Προδρόμου*



Σχήμα 6.2 : Ιερά μονή Μεγάλου Μετεώρου
 Διάγραμμα ορίζοντα ιερού ναού Μεταμορφώσεως
 και παρεκκλησίου Ιωάννου Προδρόμου



Σχήμα 6.3 : Ιερά μονή Μεγάλου Μετεώρου
Κάτοψη ιερού ναού Κωνσταντίνου και Ελένης



Σχήμα 6.4 : Ιερά μονή Μεγάλου Μετεώρου
 Διάγραμμα ορίζοντα ιερού ναού Κωνσταντίνου και Ελένης



Φωτ.6.2 : Ορίζοντας ιεράς μονής Μεγάλου Μετεώρου

6.3. Η ιερά μονή Βαρλαάμ.

☑ Ο ιερός ναός των Αγίων Πάντων είναι το καθολικό της μονής Βαρλαάμ. Στον ναό αυτό μελετώντας το διάγραμμα της κάτοψης (σχήμα 6.5), προκύπτουν ενδιαφέροντα γεωμετρικά στοιχεία όπως:

- Ο νάρθηκας του ναού έχει μήκος 6.86m, πλάτος 6.74m και μέγιστο ύψος 9.80m (κορυφή τρούλλου εσωτερικά) ενώ το υψόμετρό του από τη μ.σ.θ. είναι 549.94m. Ο τρούλλος που βρίσκεται στο μέσο έχει διάμετρο 3.30m.
- Ο κυρίως ναός έχει μήκος 6.01m, πλάτος 6.86m και μέγιστο ύψος 10.00m (κορυφή τρούλλου εσωτερικά) ενώ βρίσκεται 40cm ψηλότερα από το νάρθηκα. Ο τρούλλος που βρίσκεται στο μέσο έχει διάμετρο 3.40m.
- Το Ιερό Βήμα βρίσκεται 20cm ψηλότερα από τον κυρίως ναό, έχει μήκος 4.29m, πλάτος 6.81m και έχει τρεις κόγχες.
- Στο σχέδιο της κάτοψης παρουσιάζεται και η προβολή των δύο τρούλλων του ναού.

Η διερεύνηση του προσανατολισμού του ναού έγινε με το βασικό κατά μήκος άξονά του, ο οποίος ορίζεται από το μέσο της Αγίας Τράπεζας και το μέσο της δυτικής όψης του, έχει μήκος 14.90m και αζιμούθιο $90^{\circ}.24 \pm 1.8^{\circ}$. Αυτό δηλώνει ότι ο ναός είναι προσανατολισμένος σχεδόν ανατολικά.

Στο σχήμα 6.6 παρουσιάζεται η οριογραμμή του αισθητού ορίζοντα (βρίσκεται σε μέση απόσταση 1000m από το χώρο της μονής) μετά την αναγωγή του στο μέσο της Αγίας τράπεζας, με αβεβαιότητα $\pm 2.5^{\circ}$ παρατηρούμε ότι:

- η πορεία του ήλιου για τις 9 Απριλίου 1542 (το έτος αυτό αναφέρεται ως έτος κτίσης του ναού και η ημερομηνία είναι η ημέρα εορτής για το Πάσχα και πιθανή ημέρα θεμελίωσης του ναού σύμφωνα με την παράδοση [16]) συναντά τη γραμμή που υλοποιεί το αζιμούθιο του βασικού άξονα στον ορίζοντα με αβεβαιότητα $\pm 3.1^{\circ}$.
- η πορεία του ήλιου για τις 4 Ιουνίου 1542, ημέρα εορτής των Αγίων Πάντων, συναντά τη γραμμή που υλοποιεί το αζιμούθιο του βασικού άξονα την Τρίτη Ώρα με αβεβαιότητα $\pm 1.8^{\circ}$.

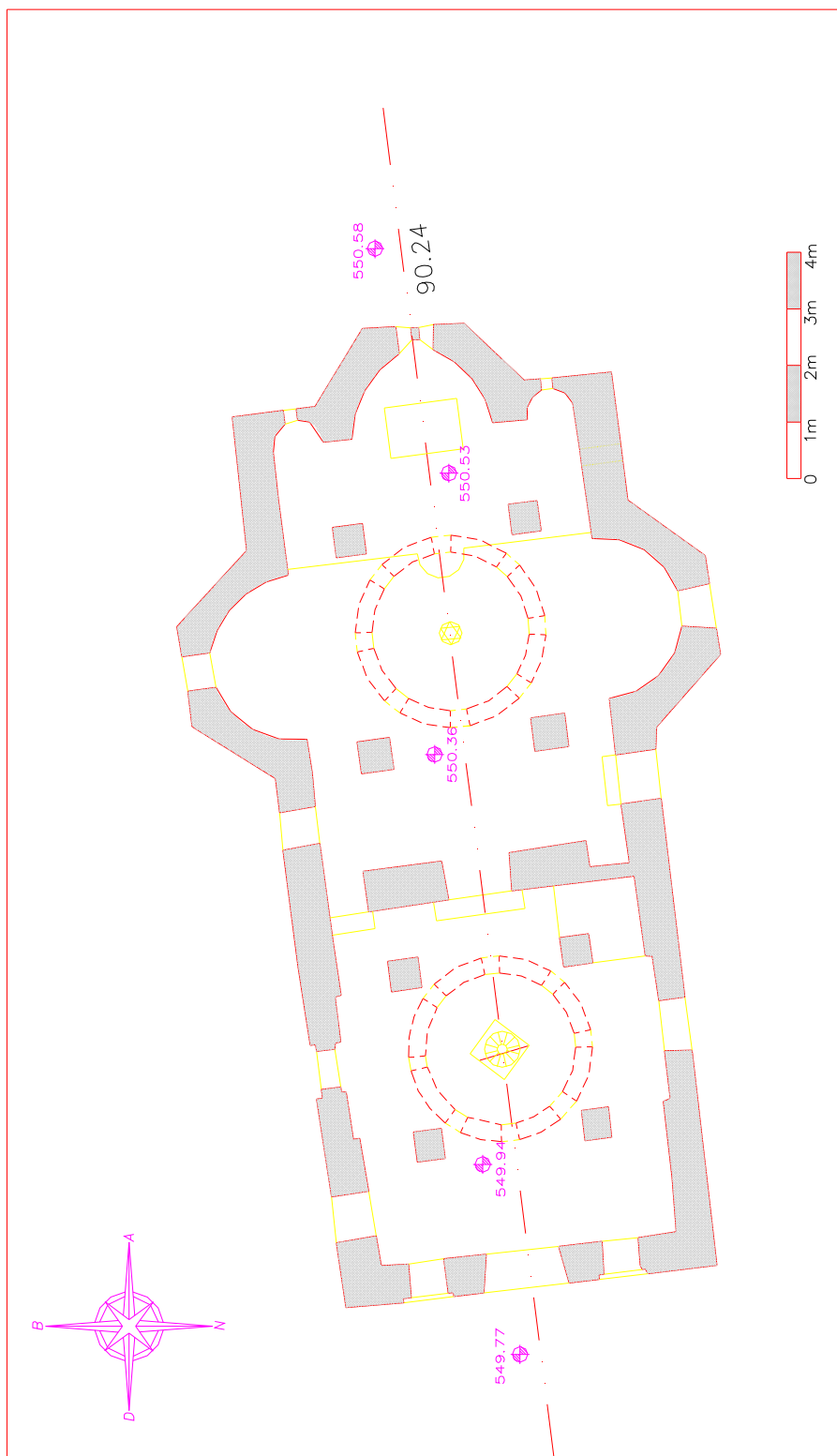
☑ Στον ιερό ναό των Τριών Ιεραρχών η επεξεργασία των μετρήσεων και η απόδοση της κάτοψης (σχήμα 6.7), δείχνουν ότι ο ναός

έχει μήκος 8.54m, μέσο πλάτος 5.86m και βρίσκεται σε υψόμετρο 550.87m από τη μ.σ.θ.

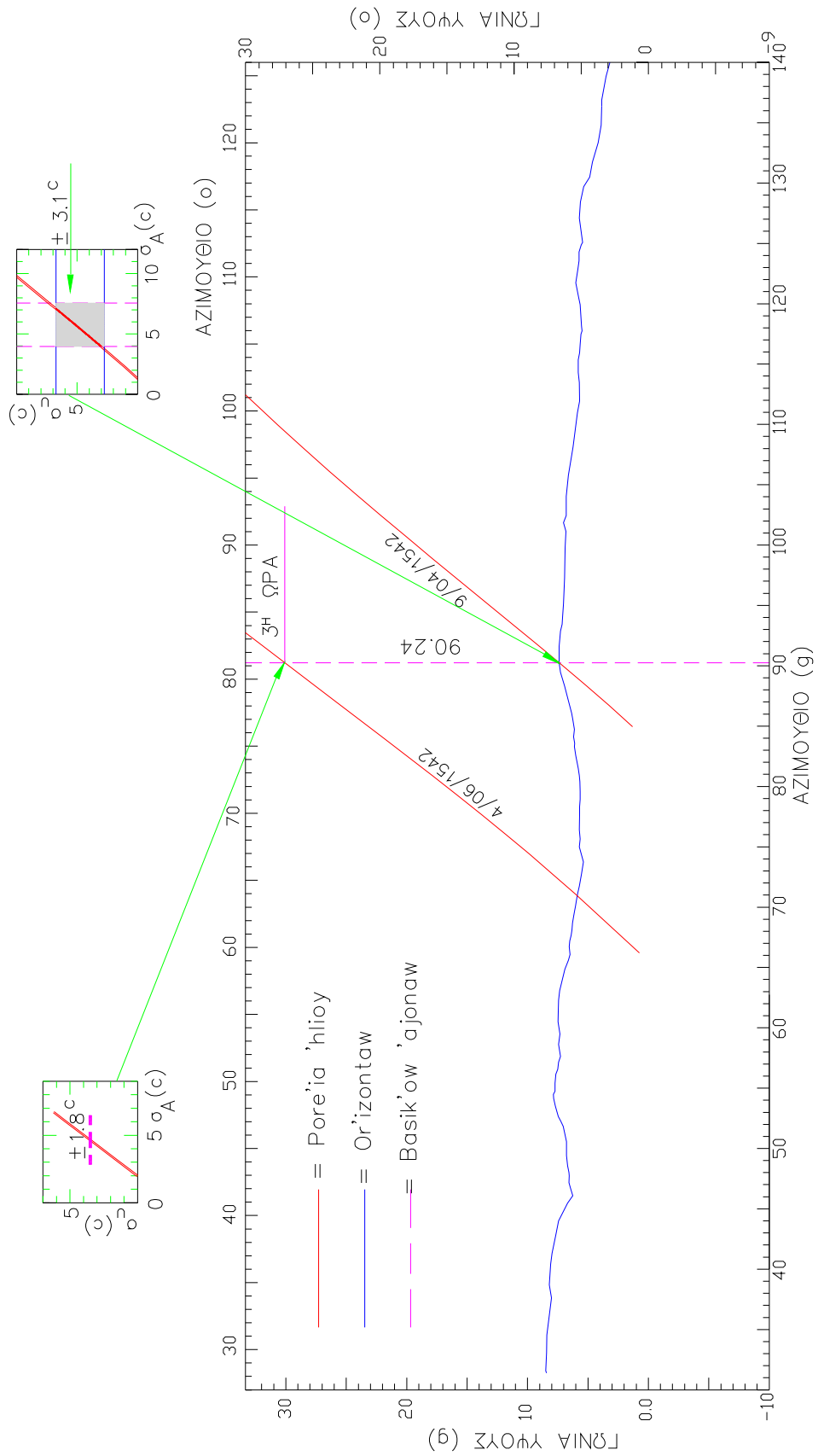
Για τη διερεύνηση του προσανατολισμού του ναού χρησιμοποιήθηκε ο βασικός κατά μήκος άξονάς του, όπως ορίζεται από το μέσο της Αγίας Τράπεζας και το μέσο της εσωτερικής πλευράς της βορειοδυτικής όψης του ναού, έχει μήκος 6.40m και αζιμούθιο $126^{\circ}.49 \pm 4.2^{\circ}$. Αυτό δηλώνει ότι ο ναός είναι προσανατολισμένος νοτιοανατολικά.

Στο διάγραμμα του ορίζοντα του ναού των Τριών Ιεραρχών (σχήμα 6.8), η πορεία του ήλιου έχει υπολογιστεί για τις 30 Ιανουαρίου 1350. Το έτος αυτό αναφέρεται ως πιθανό έτος κτίσης του ναού, ενώ η ημερομηνία αντιστοιχεί στην ημέρα εορτής των Τριών Ιεραρχών. Η γραμμή αυτή και η γραμμή του αισθητού ορίζοντα όπως αυτός προέκυψε μετά την αναγωγή του στο μέσο της Αγίας Τράπεζας με αβεβαιότητα $\pm 2.2^{\circ}$, συναντούν τη γραμμή που υλοποιεί το αζιμούθιο του βασικού άξονα, με αβεβαιότητα $\pm 4.7^{\circ}$.

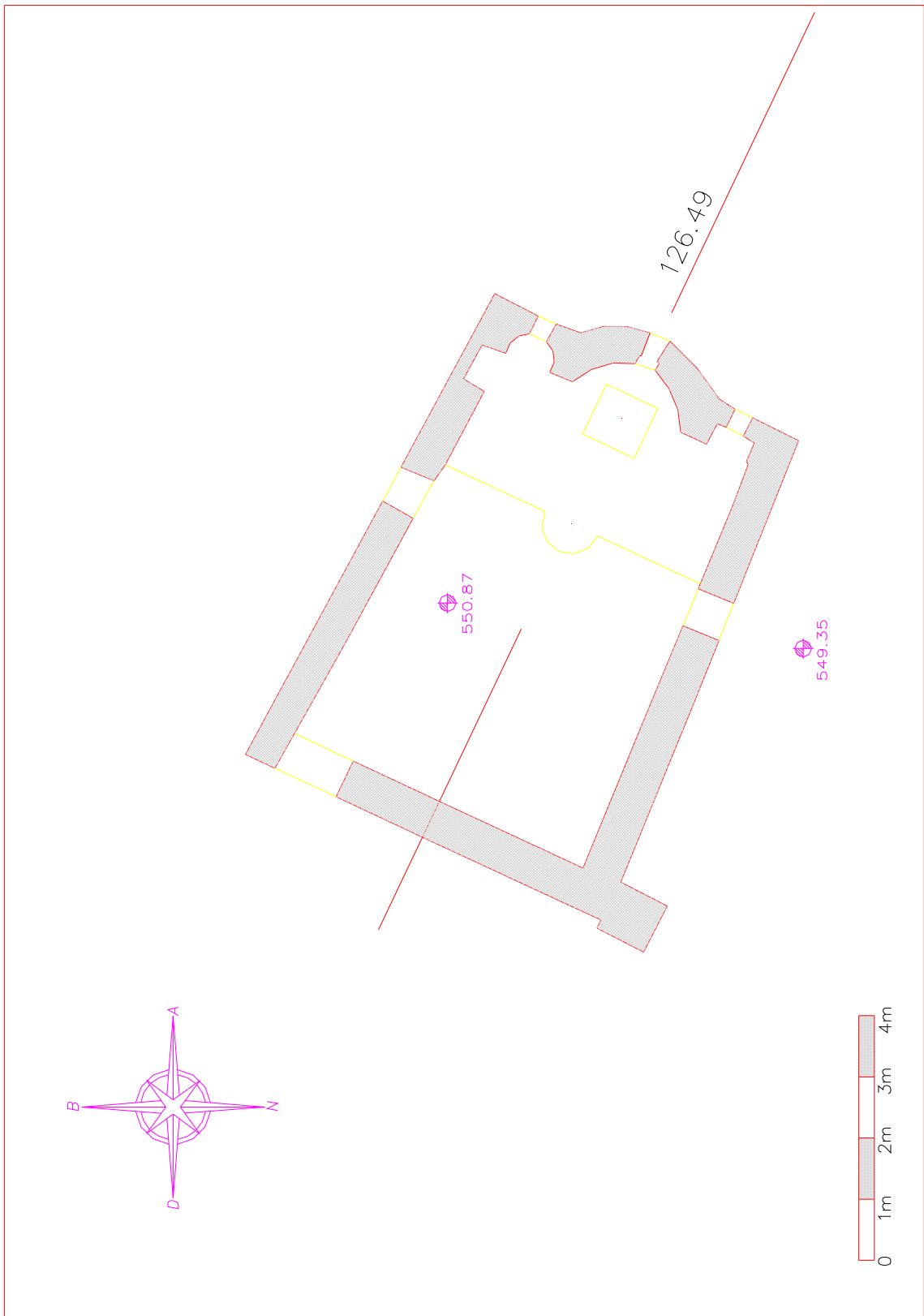
Η φωτογραφική τεκμηρίωση του ορίζοντα της ιεράς μονής, ακολουθεί στη Φωτ. 6.3.



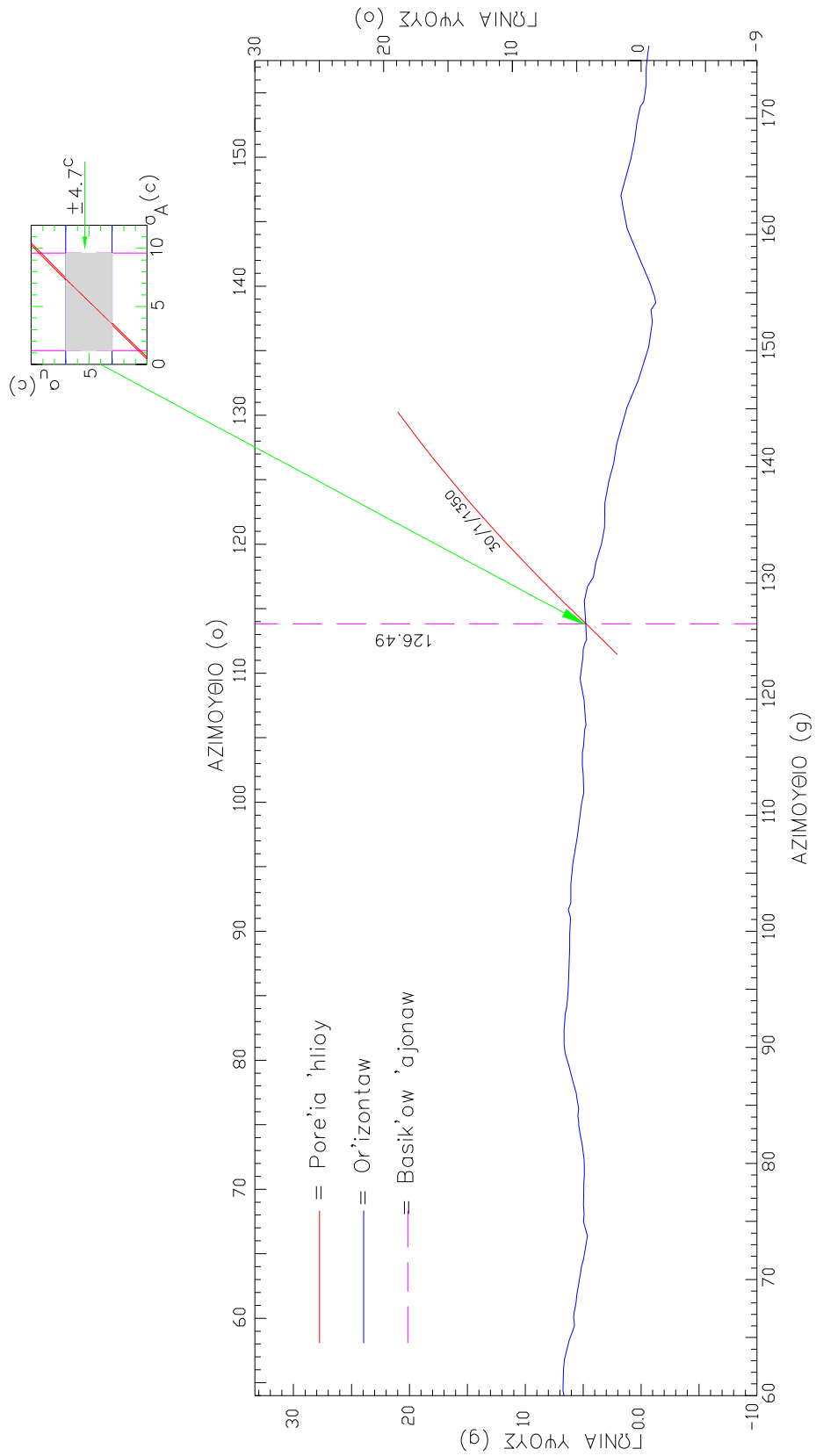
Σχήμα 6.5 : Ιερά μονή Βαρλαάμ
Κάτοψη ιερού ναού Αγίων Πάντων



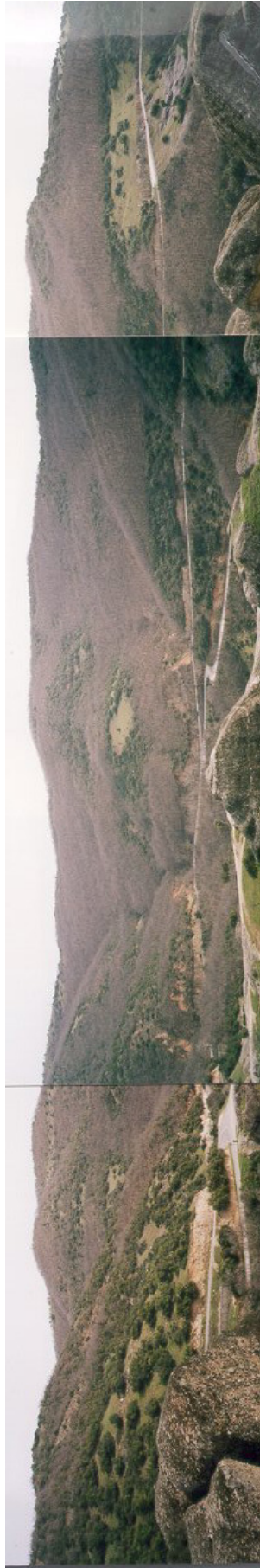
Σχήμα 6.6 : Ιερά μονή Βαρλαάμ
Διάγραμμα ορίζοντα ιερού ναού Αγίων Πάντων



*Σχήμα 6.7 : Ιερά μονή Βαρλαάμ
Κάτοψη ιερού ναού Τριών Ιεραρχών*



Σχήμα 6.8 : Ιερά μονή Βαρλαάμ
Διάγραμμα ορίζοντα ιερού ναού Τριών Ιεραρχών



Φωτ. 6.3 : Ορίζοντας ιεράς μονής Βαρλαάμ

6.4. Η ιερά μονή Ρουσάνου.

☑ Ο ιερός ναός της Μεταμορφώσεως είναι το καθολικό της μονής Ρουσάνου. Από το διάγραμμα της κάτοψης του ναού (σχήμα 6.9) διαπιστώνουμε ότι:

- Ο ναός είναι συμμετρικός και βρίσκεται σε υψόμετρο 483.50m από την μ.σ.θ.
- Ο νάρθηκας του ναού έχει μήκος 4.13m και πλάτος 5.48m.
- Ο κυρίως ναός έχει μήκος 4.61m, πλάτος 5.48m και στο κέντρο του υπάρχει τρούλλος με διάμετρο 2.65m.

Ο βασικός άξονας του ναού, όπως ορίζεται από το μέσο της Αγίας Τράπεζας και το μέσο της εισόδου του ναού, έχει αζιμούθιο $56^{\circ}.68$. Όμως για το γεωγραφικό πλάτος φ ($39^{\circ} 43'$) της μονής, τα αζιμούθια ανατολής του ήλιου κυμαίνονται από 65° περίπου έως 135° , οπότε δεν υπάρχει γραμμή πορείας του ήλιου που να συναντά σε κάποιο σημείο του ορίζοντα τη γραμμή που υλοποιεί το αζιμούθιο του βασικού άξονα. Στο Ιερό Βήμα του ναού δεν υπάρχει άνοιγμα στην κεντρική κόγχη, αλλά μόνο ένα, στο νοτιοανατολικό του τμήμα, το οποίο επιτρέπει την είσοδο των ηλιακών ακτίνων. Έτσι για τη διερεύνηση του προσανατολισμού του ναού επελέγη η γραμμή που συνδέει το μέσο της Αγίας Τράπεζας και το μέσο του ανοίγματος αυτού, που έχει μήκος 1.70m και αζιμούθιο $110^{\circ}.40 \pm 15.9^{\circ}$.

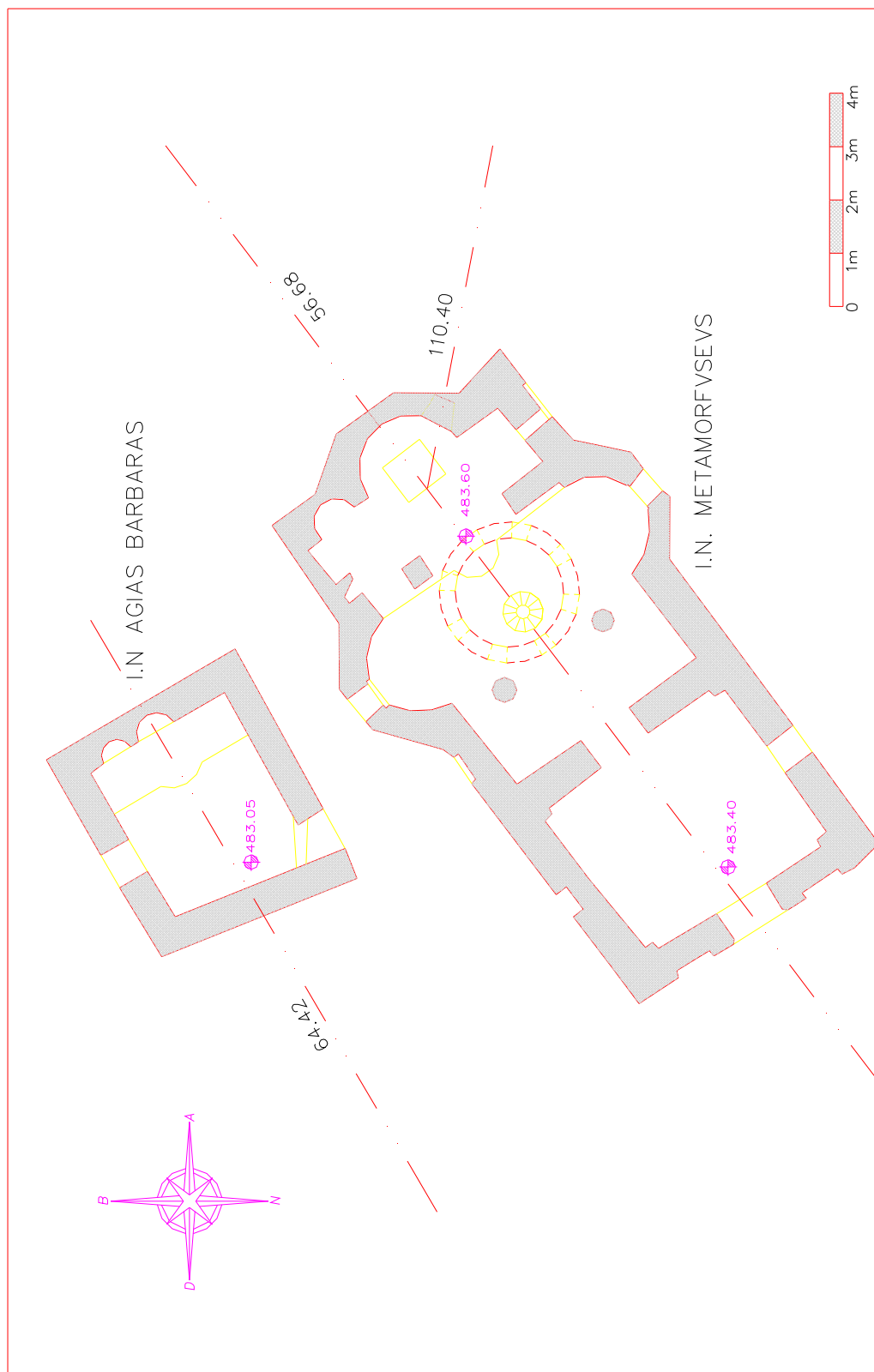
Οι ιδιαιτερότητες που εμφανίζει το τοπογραφικό ανάγλυφο του βράχου, πάνω στον οποίο είναι κτισμένο το συγκρότημα της μονής, επέβαλε τη μέτρηση του ορίζοντα (Φωτ. 6.4) μακριά από το χώρο των ναών. Ο αισθητός αυτός ορίζοντας βρίσκεται σε μια μέση απόσταση 250m από το χώρο της μονής. Οι μετρήσεις λοιπόν του ορίζοντα ανάχθηκαν οριζοντιογραφικά και υψομετρικά στο μέσο της Αγίας Τράπεζας και προέκυψε έτσι η οριογραμμή του με αβεβαιότητα $\pm 1.6^{\circ}$.

Στο διάγραμμα του ορίζοντα του ναού (σχήμα 6.10), διαπιστώνεται ότι η πορεία του ήλιου όπως προσδιορίστηκε για την ισημερία του 1528 (το έτος αυτό αναφέρεται ως έτος κτίσης του ναού), συναντά τη γραμμή που υλοποιεί το αζιμούθιο της ειδικής διεύθυνσης στον ορίζοντα, με αβεβαιότητα $\pm 16^{\circ}$.

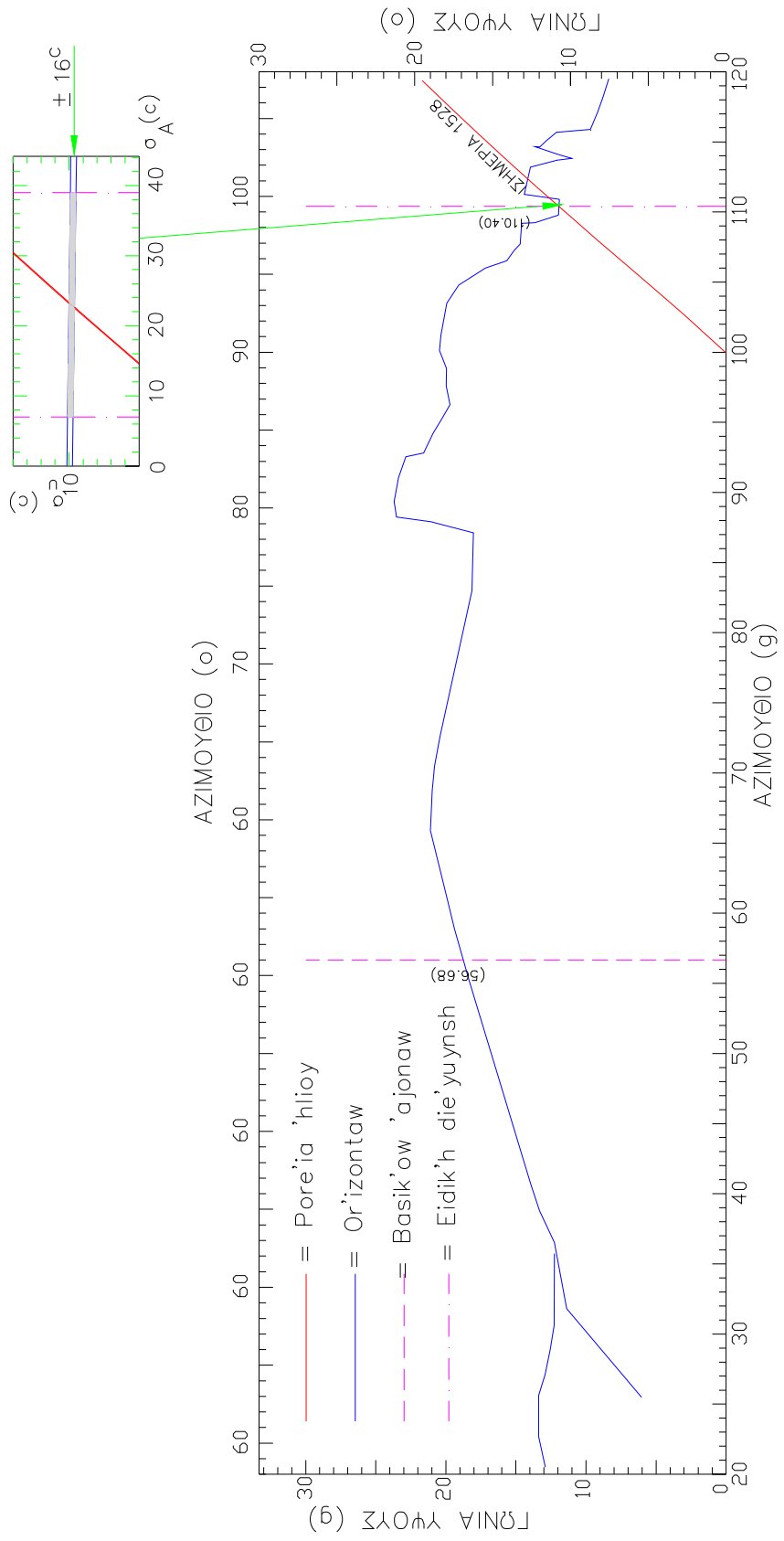
☑ Στο παρεκκλήσι της Αγίας Βαρβάρας (σχήμα 6.9), η διερεύνηση του προσανατολισμού έγινε με το βασικό κατά μήκος άξονά του ο οποίος έχει μήκος 2.10m και αζιμούθιο $64^{\circ}.42 \pm 12.9^{\circ}$. Επειδή ο

ναός δεν είναι συμμετρικός, ως βασικός άξονας, ορίζεται ο άξονας που διέρχεται από το μέσο της Αγίας Τράπεζας, το κέντρο του Ιερού Βήματος και το κέντρο του κυρίως ναού. Πρέπει να σημειωθεί ότι δεν υπάρχει κανένα άνοιγμα στο πολύ μικρό Ιερό Βήμα του παρεκκλησίου, το οποίο βρίσκεται σε υψόμετρο 483.05m από τη μ.σ.θ και 0.45m χαμηλότερα από τον Ιερό ναό της Μεταμορφώσεως.

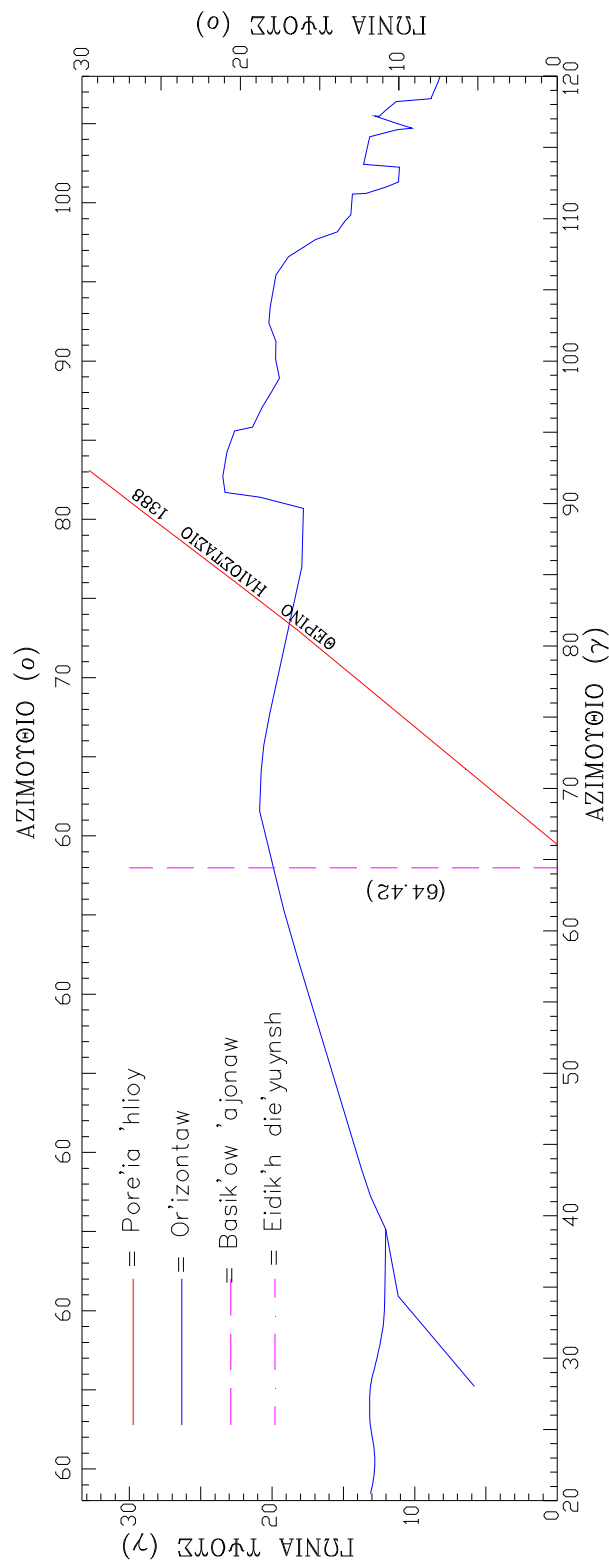
Στο αντίστοιχο διάγραμμα του ορίζοντα του παρεκκλησίου της Αγίας Βαρβάρας (σχήμα 6.11) η πορεία του ήλιου υπολογίστηκε για τις 21 Ιουνίου 1388 (θερινό ηλιοστάσιο). Για το μικρό αυτό παρεκκλήσι, που πιθανόν ήταν σκήτη κάποιου μοναχού, δεν υπάρχουν αναφορές ιστορικές για το έτος κτίσης, παρά μόνο μια υπόθεση ότι κάποιοι ασκητές πιθανόν να είχαν ανεβεί στο βράχο γύρω στο 1388. Διαπιστώνεται ότι δεν υπάρχει γραμμή πορείας ήλιου που να συναντά σε κάποιο σημείο του ορίζοντα τη γραμμή που υλοποιεί το αζιμούθιο του βασικού άξονα.



Σχήμα 6.9 : Ιερά μονή Ρουσάνου
 Κάτοψη ιερού ναού Μεταμορφώσεως
 και παρεκκλησίου Αγίας Βαρβάρας



Σχήμα 6.10 : Ιερά μονή Ρουσάνου
 Διάγραμμα ορίζοντα ιερού ναού Μεταμορφώσεως



Σχήμα 6.11 : Ιερά μονή Ρουσάνου
 Διάγραμμα ορίζοντα παρεκκλησίου Αγίας Βαρβάρας



Φωτ. 6.4 : Ορίζοντας ιεράς μονής Ρουσάνου

6.5. Η ιερά μονή Αγίου Νικολάου Αναπαυσά.

☑ Παρατηρώντας το διάγραμμα της κάτοψης του παρεκκλησίου του Αγίου Αντωνίου, που είναι ο παλαιότερος ναός της μονής (σχήμα 6.12), προκύπτει ότι είναι μικρός ναός, έχει μέσο μήκος 4.56m, μέσο πλάτος 3.95m και βρίσκεται σε υψόμετρο 407.47m από τη μ.σ.θ.

Ο βασικός κατά μήκος άξονας του ναού, όπως ορίζεται η γραμμή που διέρχεται από το μέσο της Αγίας Τράπεζας και από το μέσο της κυρίας εισόδου έχει μήκος 3.30m και αζιμούθιο $125^{\circ}.14 \pm 8.2^{\circ}$ και χρησιμοποιήθηκε για τη διερεύνηση του προσανατολισμού του.

Ο αισθητός ορίζοντας του ναού βρίσκεται σε μέση απόσταση 800m από το χώρο της μονής, έχει αβεβαιότητα $\pm 2.1^{\circ}$ μετά την οριζοντιογραφική και υψομετρική αναγωγή του στο μέσο της Αγίας Τράπεζας. Στο διάγραμμα του αισθητού ορίζοντα (Σχήμα 6.13), η πορεία του ήλιου για την ισημερία του έτους 1350 (το έτος αυτό αναφέρεται ιστορικά σαν πιθανό έτος κτίσης του ναού) συναντά τη γραμμή που υλοποιεί το αζιμούθιο του βασικού άξονα την Τρίτη Ώρα, με αβεβαιότητα $\pm 8.2^{\circ}$, όπως προκύπτει από τις αβεβαιότητες των επιμέρους γεωμετρικών ενεργειών που συνθέτουν τη διαδικασία διερεύνησης.

☑ Από το αντίστοιχο διάγραμμα της κάτοψης του ιερού ναού του Αγίου Νικολάου, που είναι το καθολικό της μονής (σχήμα 6.14) φαίνεται ότι έχει ακανόνιστο σχήμα και βρίσκεται σε υψόμετρο 409.82m από τη μ.σ.θ.

Το αζιμούθιο του βασικού κατά μήκος άξονα του ναού, όπως αυτός ορίζεται από το μέσο του ανοίγματος της εισόδου και το μέσο του Ιερού Βήματος, είναι $30^{\circ}.26$. Η τιμή αυτή βρίσκεται εκτός των ακραίων τιμών των αζιμουθίων ανατολής του ήλιου, για το γεωγραφικό πλάτος φ του τόπου που βρίσκεται ο ναός. Για το λόγο αυτό δεν προκύπτει συμπέρασμα που αφορά στη διερεύνηση του προσανατολισμού του ναού χρησιμοποιώντας το βασικό άξονα.

Στην κεντρική κόγχη του Ιερού Βήματος υπάρχει άνοιγμα που χρησιμοποιείται μόνο για τον εξαερισμό του ναού, αφού η ύπαρξη βράχου εμποδίζει την είσοδο του φυσικού φωτός. Για το λόγο αυτό δεν επιλέγεται ως γραμμή διερεύνησης αυτή που συνδέει το μέσο της Αγίας Τράπεζας με το μέσο αυτού του ανοίγματος.

Στη νοτιοανατολική πλευρά του ιερού Βήματος του ναού υπάρχει ένα και μοναδικό άνοιγμα που θα μπορούσε να επιτρέψει την είσοδο των ηλιακών ακτίνων στο χώρο του. Η διερεύνηση του προσανατολισμού έγινε χρησιμοποιώντας τη γραμμή που συνδέει το μέσο της Αγίας Τράπεζας με το μέσο του ανοίγματος αυτού, η οποία έχει μήκος 1.30m και αζιμούθιο $144^{\circ}.69 \pm 21^{\circ}$.

Στο διάγραμμα του ορίζοντα (σχήμα 6.15), η γραμμή που υλοποιεί την πορεία του ήλιου για τις 6 Δεκεμβρίου 1527 (το 1527 είναι το έτος κτίσης του ναού ενώ η 6^η Δεκεμβρίου είναι η ημέρα εορτής του Αγίου Νικολάου), συναντά τη γραμμή που υλοποιεί το αζιμούθιο της ειδικής διεύθυνσης όπως ορίστηκε παραπάνω, στον ορίζοντα. Η οριογραμμή του αισθητού ορίζοντα όπως αυτός προέκυψε μετά την οριζοντιογραφική και υψομετρική αναγωγή στο μέσο της Αγίας Τράπεζας και έχει αβεβαιότητα $\pm 21^{\circ}$.

Το παρεκκλήσι του Αγίου Ιωάννου (σχήμα 6.16) έχει μέσο μήκος 5.82m, μέσο πλάτος 3.61m και βρίσκεται σε υψόμετρο 413.58m ως προς τη μ.σ.θ.

Ο βασικός κατά μήκος άξονάς του, όπως ορίζεται από το μέσο της Αγίας Τράπεζας το κέντρο του κυρίως ναού (σημείο τομής των διαγωνίων) και το μέσο της βορειοδυτικής όψης του ναού, έχει μήκος 4.80m και αζιμούθιο $128^{\circ}.08 \pm 5.6^{\circ}$, είναι δηλαδή προσανατολισμένος νοτιοανατολικά.

Για το έτος κτίσης του αρχικού Ιερού ναού του Αγίου Ιωάννου δεν υπάρχει καμιά αναφορά, σίγουρα όμως κτίστηκε μετά το ναό του Αγίου Νικολάου, αφού βρίσκεται πάνω από αυτόν υψομετρικά.

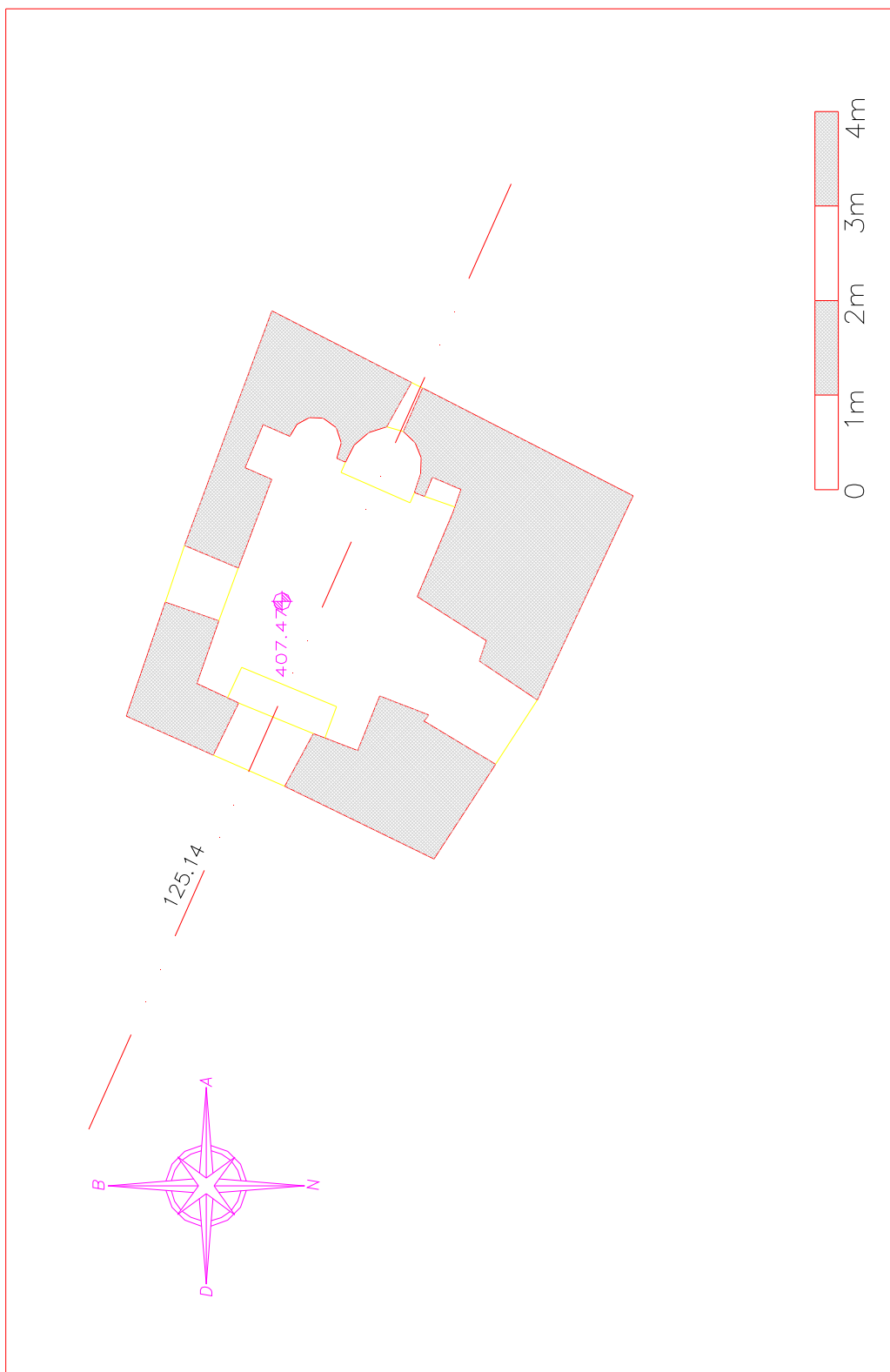
Μετά από διαδοχικούς υπολογισμούς και αντίστοιχες σχεδιάσεις της πορείας του ήλιου για έτη μετά το 1527 και για ημερομηνίες που αντιστοιχούν στην ημέρα εορτής του ναού, τις ημέρες των ηλιοστασιών και των ισημεριών, προέκυψε ότι καμιά γραμμή από αυτές δεν συναντά τη γραμμή που υλοποιεί το αζιμούθιο του βασικού άξονα στον ορίζοντα. Αντίθετα η γραμμή που αντιστοιχεί στην πορεία του ήλιου για την ισημερία του 1600 μ.Χ, συναντά τη γραμμή του βασικού άξονα την Τρίτη Ώρα με αβεβαιότητα $\pm 5.6^{\circ}$ (σχήμα 6.17). Το πιθανό έτος κτίσης του ναού είναι λοιπόν το 1600μ.Χ. Η αβεβαιότητα χρονολόγησης όπως προκύπτει από:

- Την τιμή της μεταβολή της πορείας του ήλιου για την ισημερία, που είναι ίση με 33° /έτος.

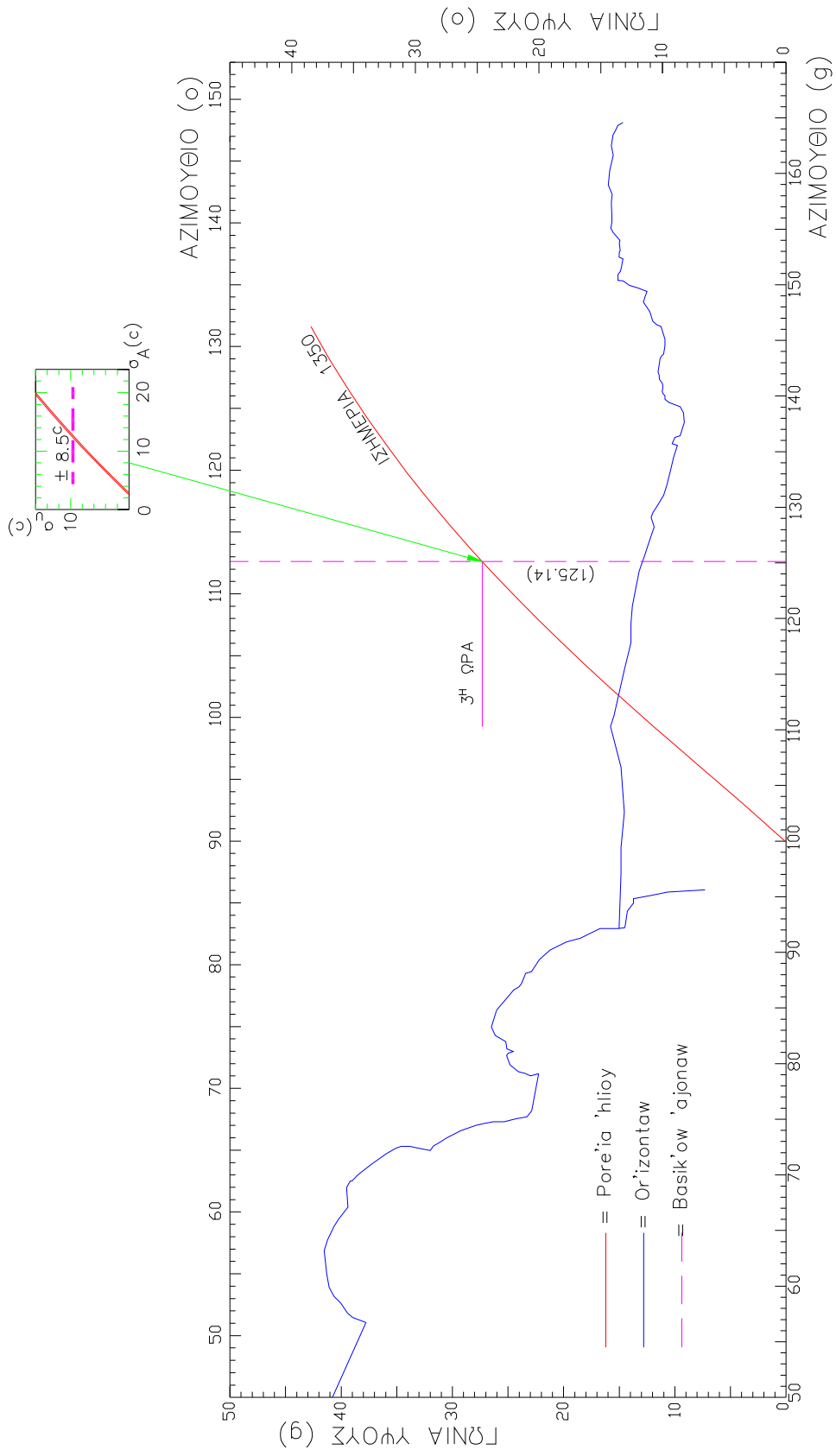
- Την αβεβαιότητα τομής των δύο παραπάνω γραμμών ($\pm 5.6^\circ$)

είναι ± 17 χρόνια, που σημαίνει ότι ο ναός μπορεί να έχει οικοδομηθεί στη χρονική περίοδο 1583μ.Χ – 1617μ.Χ.

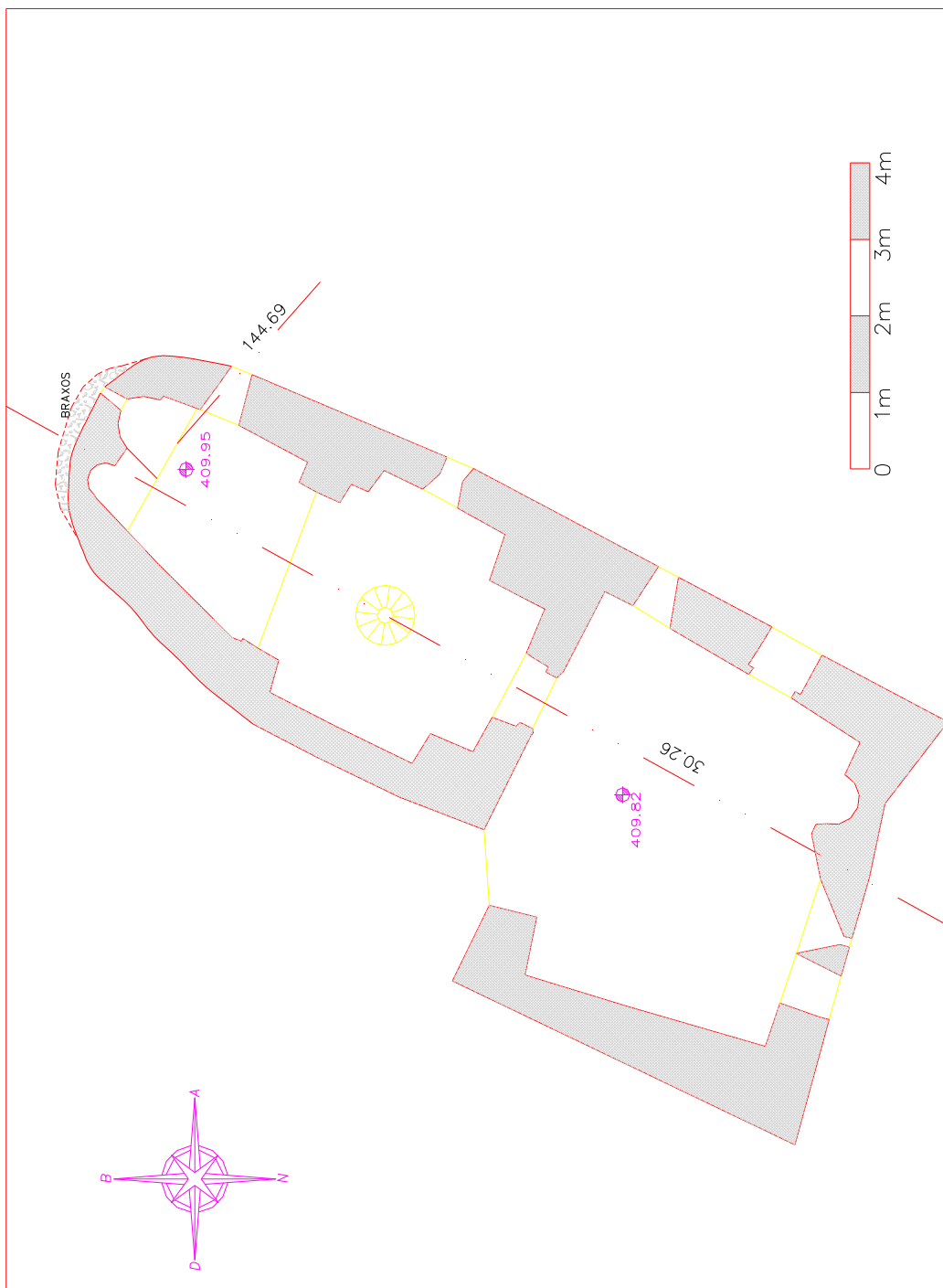
Η φωτογραφική τεκμηρίωση του αισθητού ορίζοντα της μονής παρουσιάζεται στη φωτογραφία 6.5.



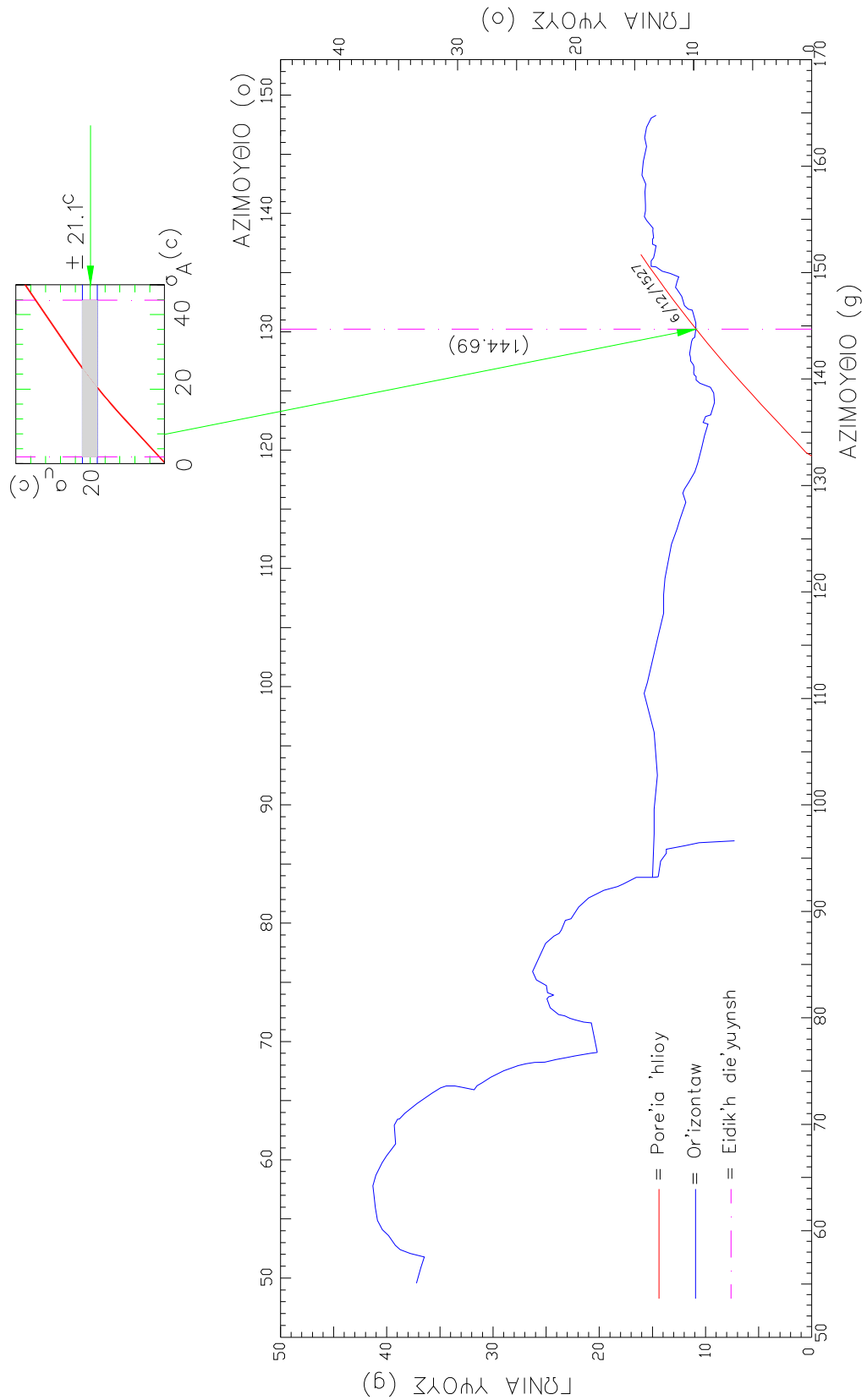
Σχήμα 6.12 : Ιερά μονή Αγίου Νικολάου Αναπαυσά
Κάτοψη παρεκκλησίου Αγίου Αντωνίου



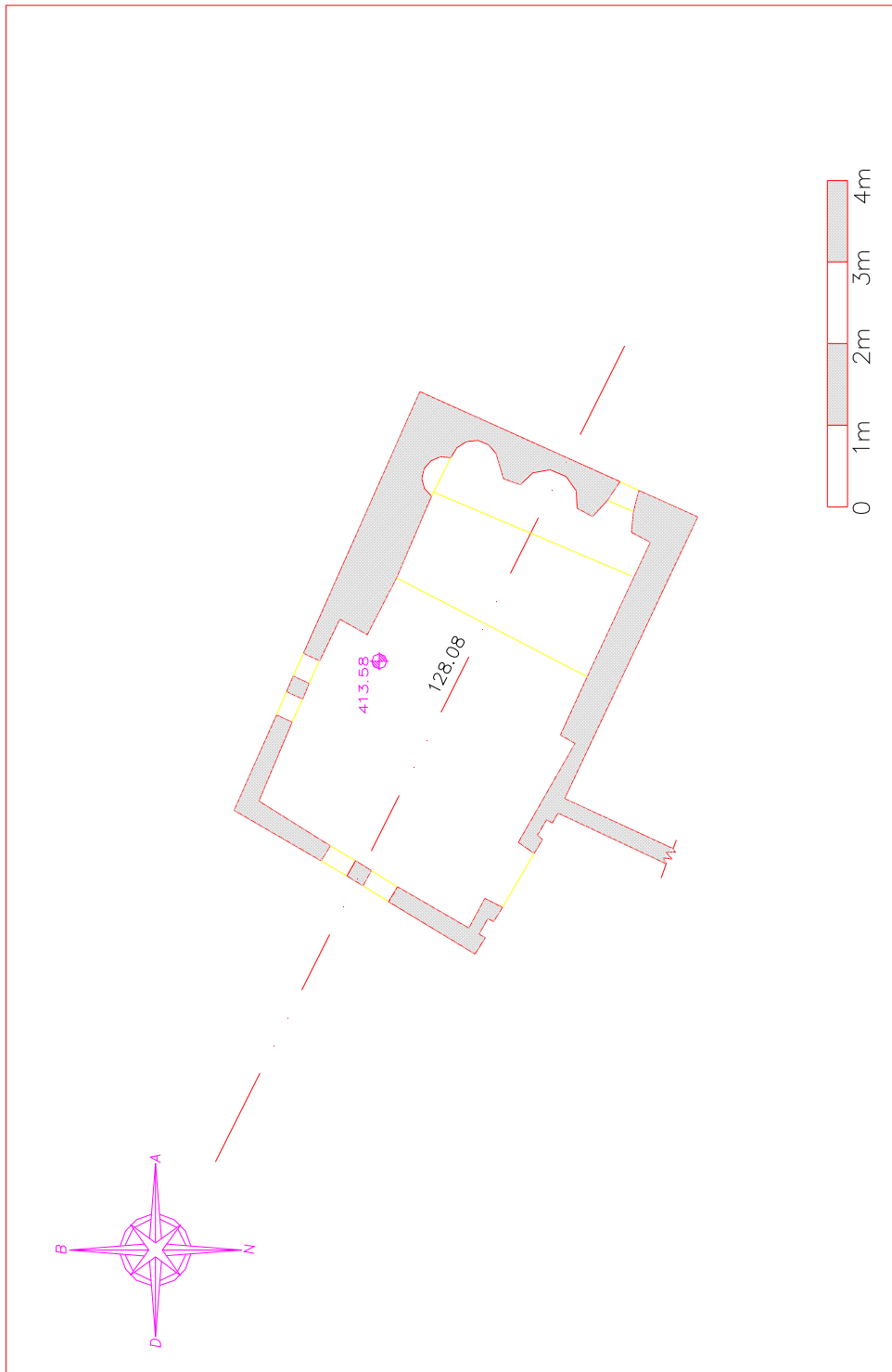
Σχήμα 6.13 : Ιερά μονή Αγίου Νικολάου Αναπαυσά
 Διάγραμμα ορίζοντα παρεκκλησίου Αγίου Αντωνίου



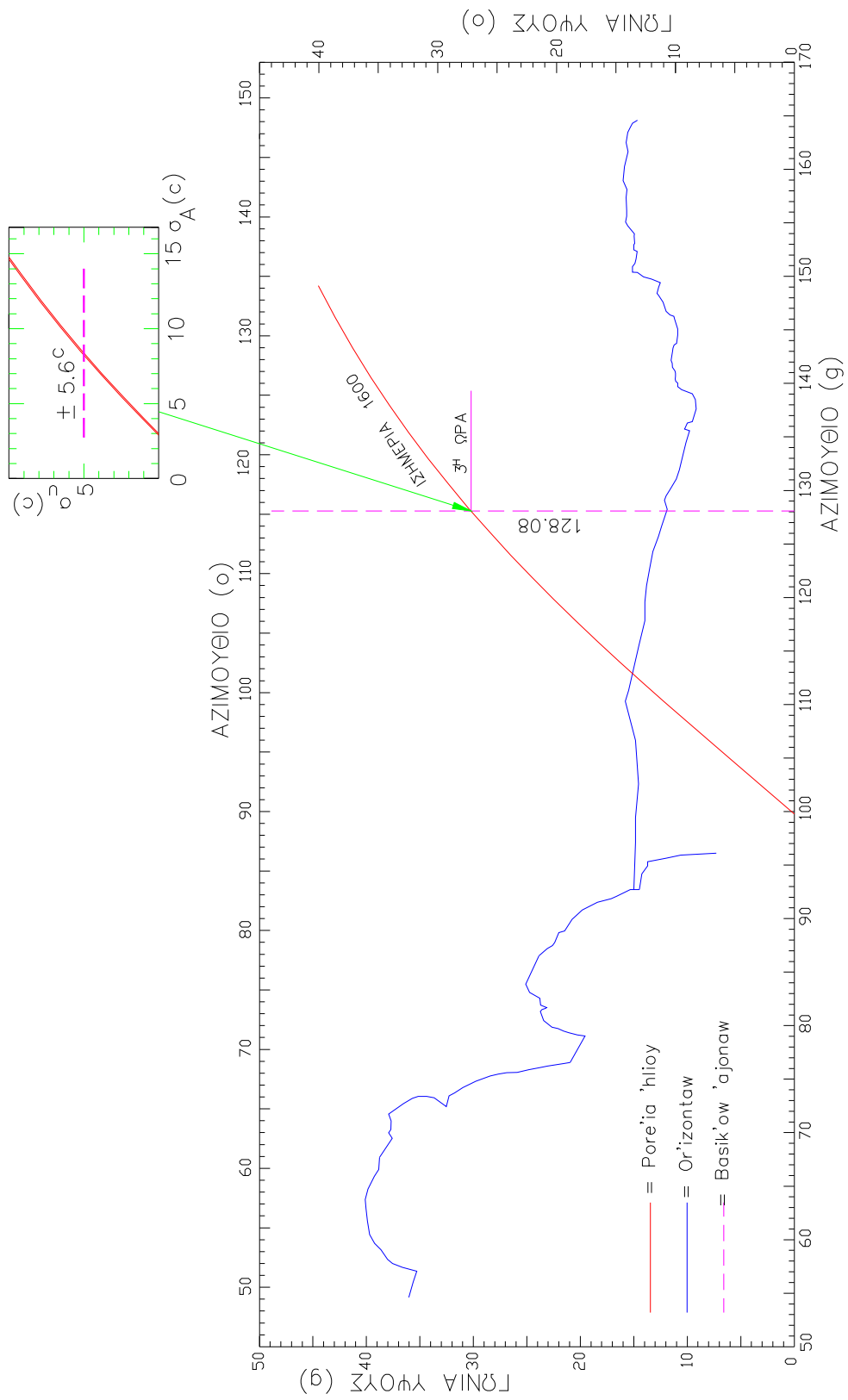
Σχήμα 6.14 : Ιερά μονή Αγίου Νικολάου Αναπαυσά
Κάτοψη ιερού ναού Αγίου Νικολάου



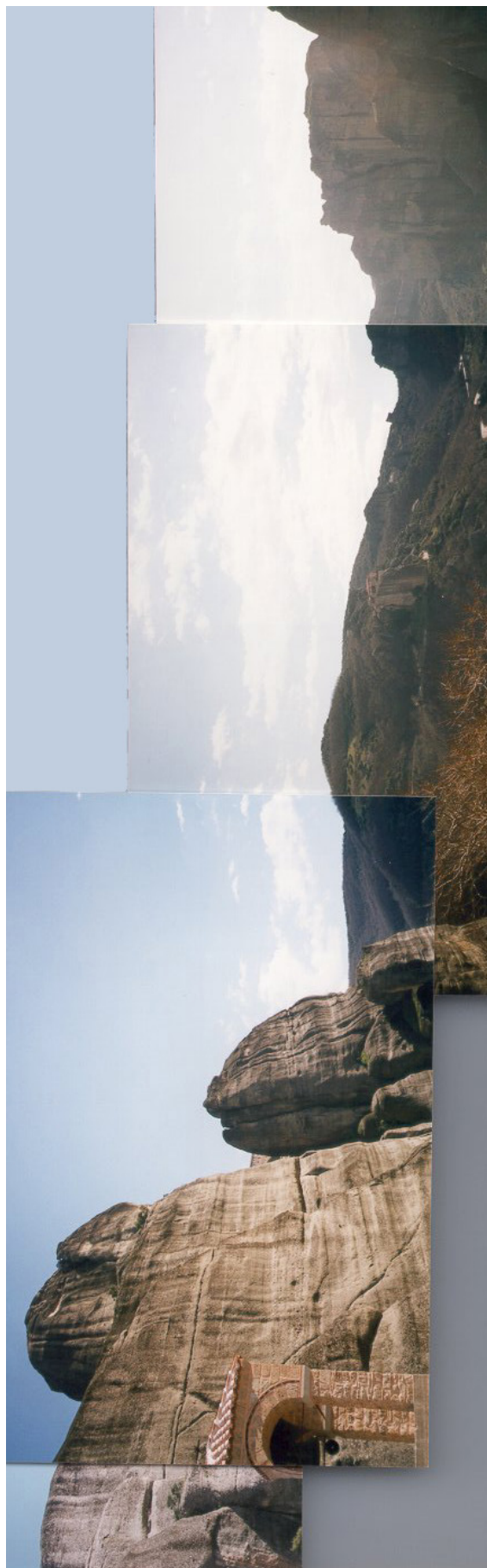
Σχήμα 6.15 : Ιερά μονή Αγίου Νικολάου Αναπαυσά
Διάγραμμα ορίζοντα ιερού ναού Αγίου Νικολάου



*Σχήμα 6.16 : Ιερά μονή Αγίου Νικολάου Αναπαυσά
Κάτοψη παρεκκλησίου Αγίου Ιωάννου*



Σχήμα 6.17 : Ιερά μονή Αγίου Νικολάου Αναπαυσά
Διάγραμμα ορίζοντα παρεκκλησίου Αγίου Ιωάννου



Φωτ. 6.5 : Ορίζοντας ιεράς μονής Αγίου Νικολάου Αναπαυσά.

6.6. Η ιερά μονή Αγίας Τριάδος.

☑ Παρατηρώντας το διάγραμμα της κάτοψης του ναού της Αγίας Τριάδος (σχήμα 6.18), που είναι το καθολικό της μονής, διαπιστώνεται ότι:

- Ο ναός είναι συμμετρικός έχει μήκος 10.16m, πλάτος 5.45m και βρίσκεται σε υψόμετρο 532.36m από την μ.σ.θ.
- Στη διεύθυνση του βασικού άξονα προς τη δύση και σε ύψος 3.5m από το δάπεδο του ναού υπάρχει μικρό παράθυρο που έχει ανοιχθεί σ' αυτό το σημείο για να ξεπερνά σε υψόμετρο τα κοντινά βράχια, τα οποία βρίσκονται ακριβώς έξω από τη δυτική όψη του ναού σε μικρή απόσταση.

Η διερεύνηση του προσανατολισμού του ναού έγινε με το βασικό κατά μήκος άξονά του, ο οποίος ορίζεται από το μέσο της Αγίας Τράπεζας και από το μέσο του ανοίγματος που βρίσκεται στη νοτιοδυτική όψη του ναού, έχει μήκος 9.00m και αζιμούθιο $64^{\circ}.80 \pm 3^{\circ}$, δηλαδή ο ναός είναι προσανατολισμένος βορειοανατολικά.

Ο αισθητός ορίζοντας της μονής βρίσκεται σε απόσταση περίπου 2000m από το χώρο της μονής. Οι μετρήσεις του ορίζοντα ανάχθηκαν οριζοντιογραφικά και υψομετρικά στο μέσο της Αγίας Τράπεζας και προέκυψε έτσι η οριογραμμή του με αβεβαιότητα $\pm 2.1^{\circ}$.

Παρατηρώντας το διάγραμμα του ορίζοντα (σχήμα 6.19), προκύπτει ότι η πορεία του ήλιου για τις 22 Μαΐου 1458, ημέρα εορτής της Αγίας Τριάδος το έτος κτίσης του ναού, συναντά τη γραμμή που υλοποιεί το αζιμούθιο του βασικού άξονα στον ορίζοντα, με αβεβαιότητα $\pm 3.7^{\circ}$.

Η βορειοδυτική γωνία του ναού είναι χτισμένη ειδικά και σ' αυτήν έχει ανοιχτεί παράθυρο. Η ύπαρξη του ανοίγματος αυτού στη συγκεκριμένη θέση οδήγησε στη διερεύνηση του προσανατολισμού του. Το παράθυρο αυτό έχει σχήμα τραπεζίου και η γραμμή που συνδέει τα μέσα των παράλληλων πλευρών, που είναι άξονας του ανοίγματος έχει μήκος 0.63m και αζιμούθιο $305^{\circ}.22 \pm 43^{\circ}$. Ο ορίζοντας που αντιστοιχεί στη δυτική όψη του ναού, βρίσκεται σε απόσταση περίπου 450m από αυτή και μετά τις μετρήσεις και την αναγωγή του στο μέσο της εσωτερικής πλευράς του παραθύρου, προέκυψε η οριογραμμή του, με αβεβαιότητα $\pm 2^{\circ}$, η οποία παρουσιάζεται στο σχήμα 6.20. Από αυτό διαπιστώνεται ότι η πορεία του ήλιου για την ισημερία του 1689, έτος επέκτασης του δυτικού τμήματος του ναού, συναντά τη γραμμή που

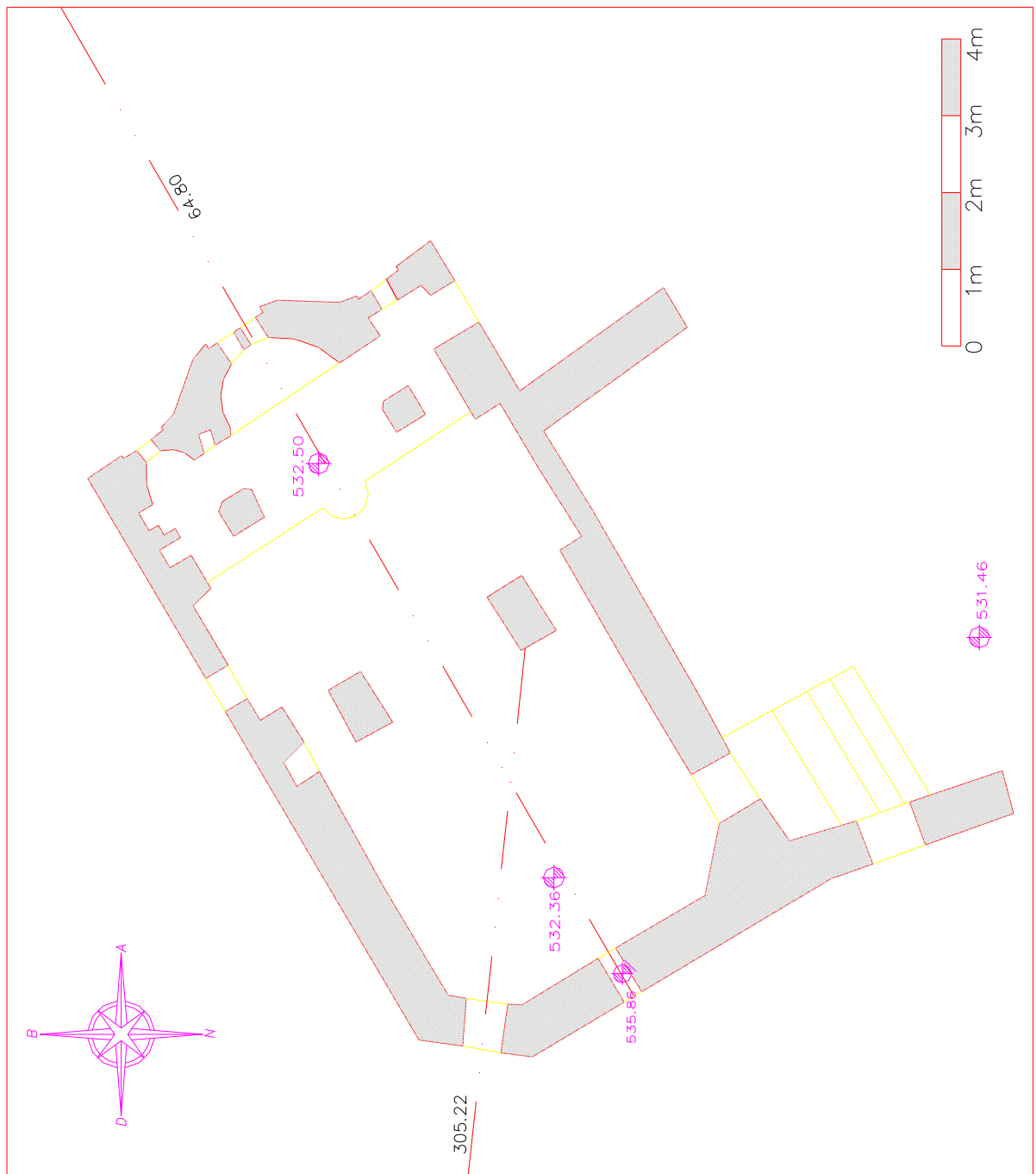
υλοποιεί το αζιμούθιο της ειδικής διεύθυνσης στον ορίζοντα με αβεβαιότητα $\pm 43^\circ$.

☑ Το παρεκκλήσι του Τιμίου Προδρόμου είναι μικρός, ακανόνιστος ναός σε μορφή ροτόντας (σχήμα 6.21), βρίσκεται νοτιοανατολικά του ναού της Αγίας Τριάδος σε απόσταση 40m περίπου από αυτόν και σε υψόμετρο 525.70m από τη μ.σ.θ. Η διερεύνηση του προσανατολισμού εδώ δεν έγινε με τον βασικό άξονα, αφού το σχήμα του ναού δεν επιτρέπει τον ορισμό τέτοιου άξονα, αλλά με τη γραμμή που συνδέει το μέσο της Αγίας Τράπεζας και το μέσο του μοναδικού ανοίγματος της κόγχης του Ιερού Βήματος, η ύπαρξη του οποίου επιτρέπει κατά μοναδικό τρόπο την είσοδο των ηλιακών ακτίνων. Η γραμμή αυτή έχει μήκος 1.5m και αζιμούθιο $130^{\circ}.73 \pm 18^\circ$.

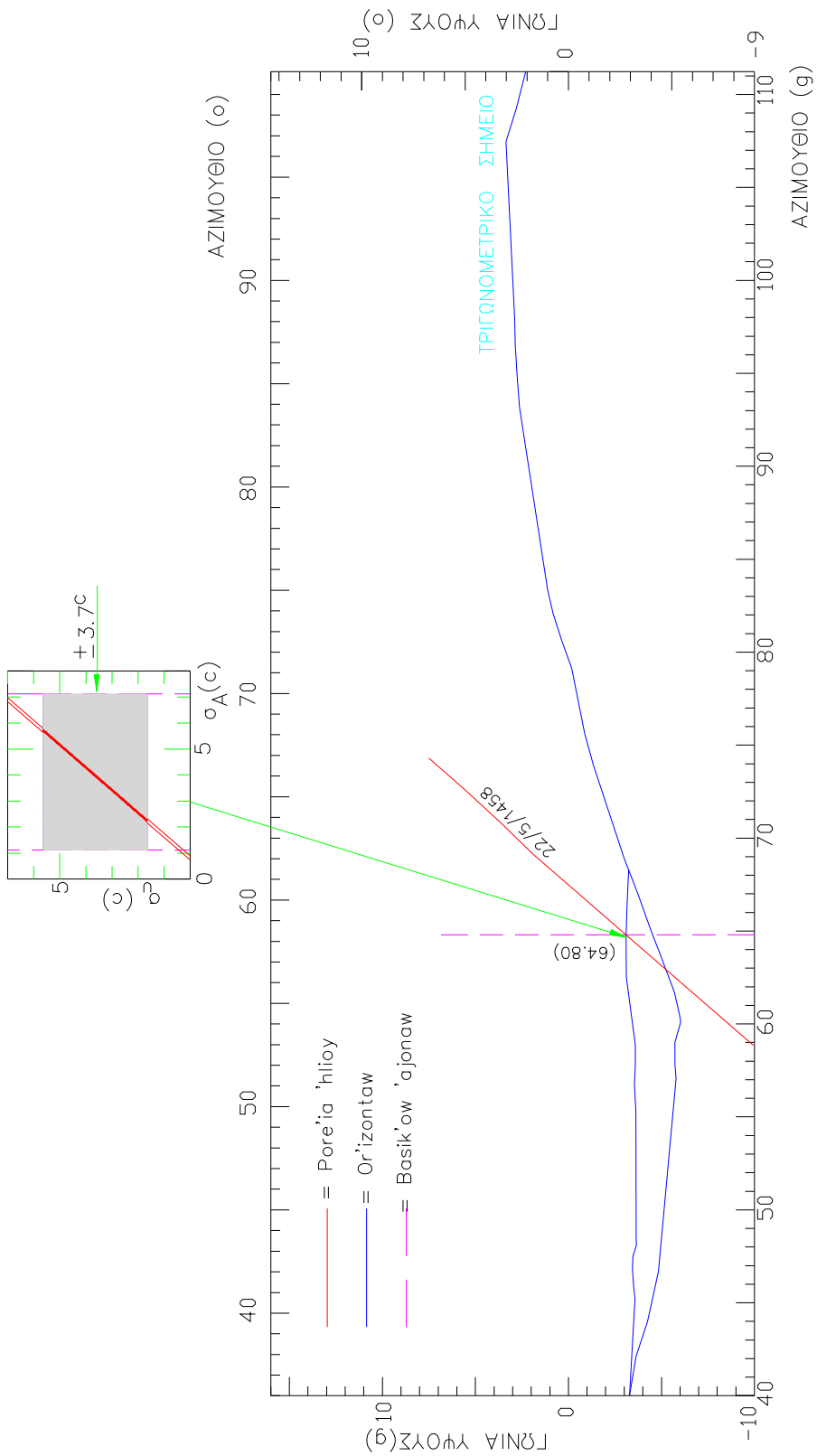
Για το ναό αυτό σχεδιάστηκε ή οριογραμμή του αισθητού ορίζοντα (βρίσκεται σε απόσταση 700m), όπως προέκυψε μετά από τις μετρήσεις και τις απαραίτητες αναγωγές (σχήμα 6.22) με αβεβαιότητα $\pm 2.1^\circ$. Από το διάγραμμα του αισθητού ορίζοντα προκύπτει ότι η οριογραμμή του ορίζοντα και η πορεία του ήλιου για τις 7 Ιανουαρίου 1682 (έτος κτίσης του ναού για την ημέρα εορτής του Αγίου Ιωάννου του Προδρόμου), συναντούν τη γραμμή που υλοποιεί το αζιμούθιο της ειδικής διεύθυνσης με αβεβαιότητα $\pm 18.1^\circ$.

Στο ναό αυτό, λαμβάνοντας υπόψη την αβεβαιότητα διερεύνησης του προσανατολισμού του ($\pm 18.1^\circ$), όπως προέκυψε από την εφαρμογή της μεθοδολογίας και την τιμή της μεταβολής της πορείας του ήλιου για τις 7 Ιανουαρίου, που είναι περίπου $13^\circ/\text{έτος}$, προκύπτει ότι το έτος κτίσης του ναού είναι το 1758 με αβεβαιότητα ± 139 χρόνια και φαίνεται να συμφωνεί με τα ιστορικά στοιχεία τα όποια αναφέρουν ως έτος κτίσης το 1682.

Στη Φωτ. 6.6 παρουσιάζεται και η φωτογραφική τεκμηρίωση του ορίζοντα της ιεράς μονής.

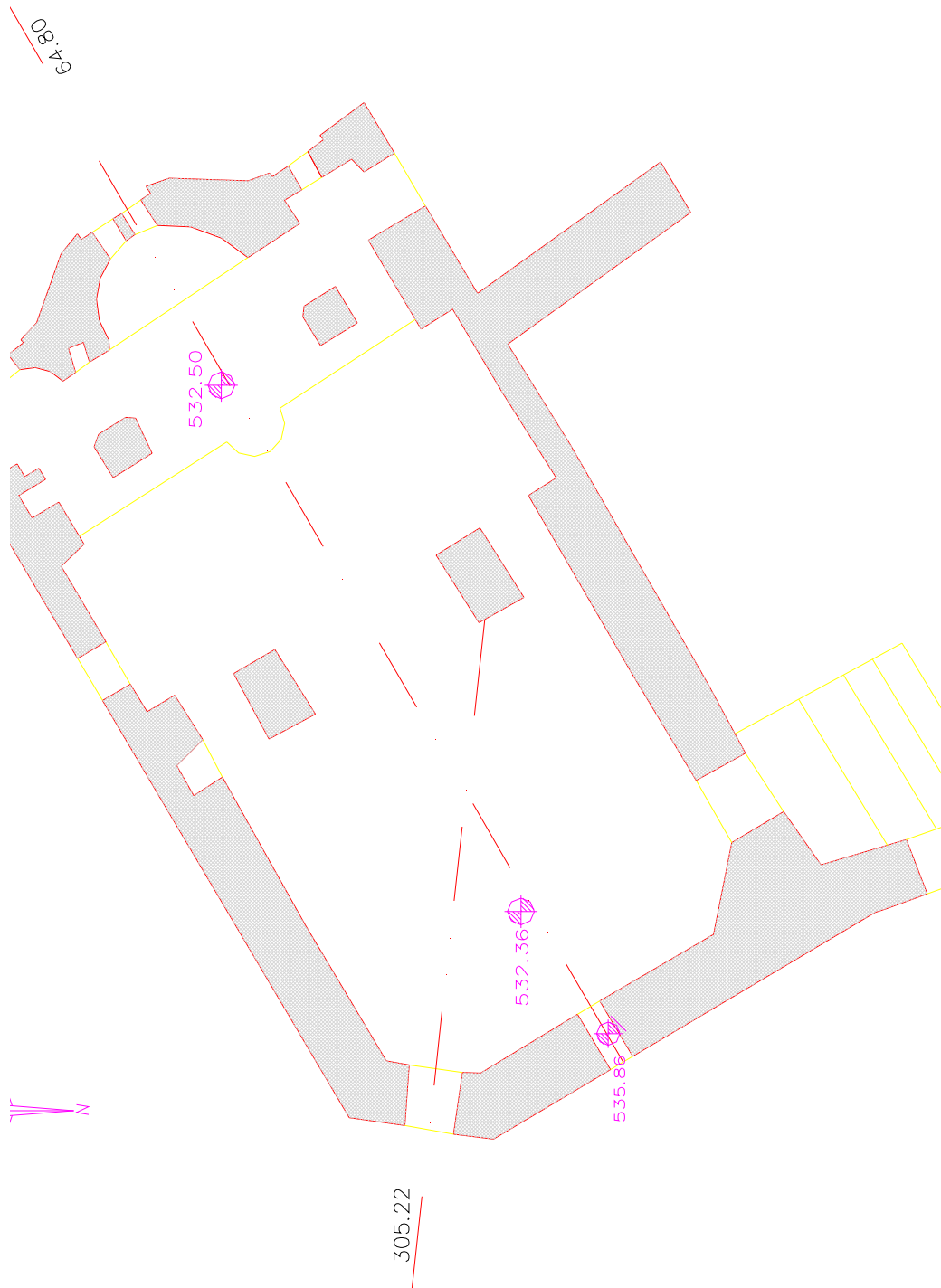


Σχήμα 6.18 : Ιερά μονή Αγίας Τριάδος
Κάτοψη ιερού ναού Αγίας Τριάδος

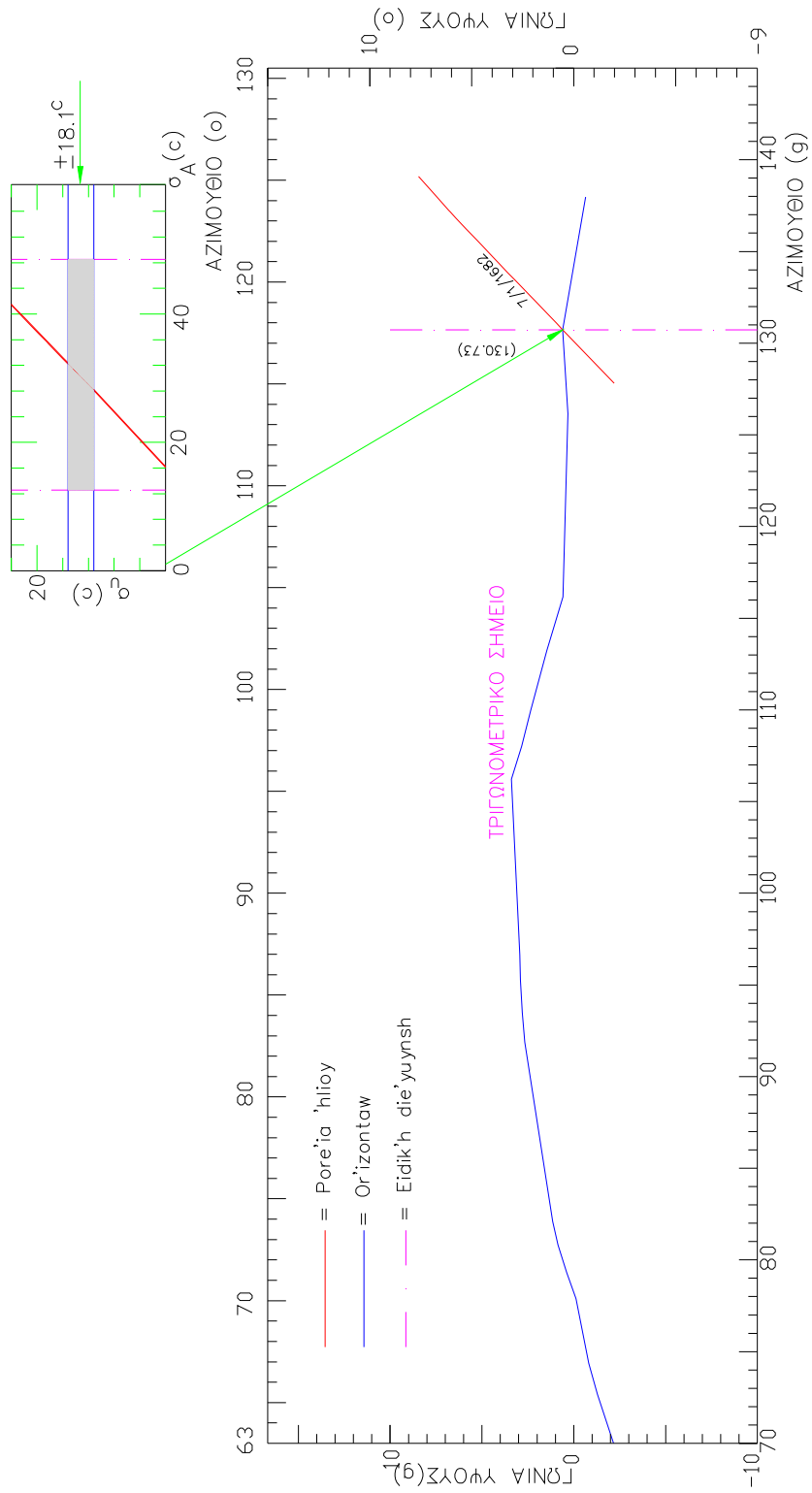


Σχήμα 6.19 : Ιερά μονή Αγίας Τριάδος
Διάγραμμα ορίζοντα ιερού ναού Αγίας Τριάδος

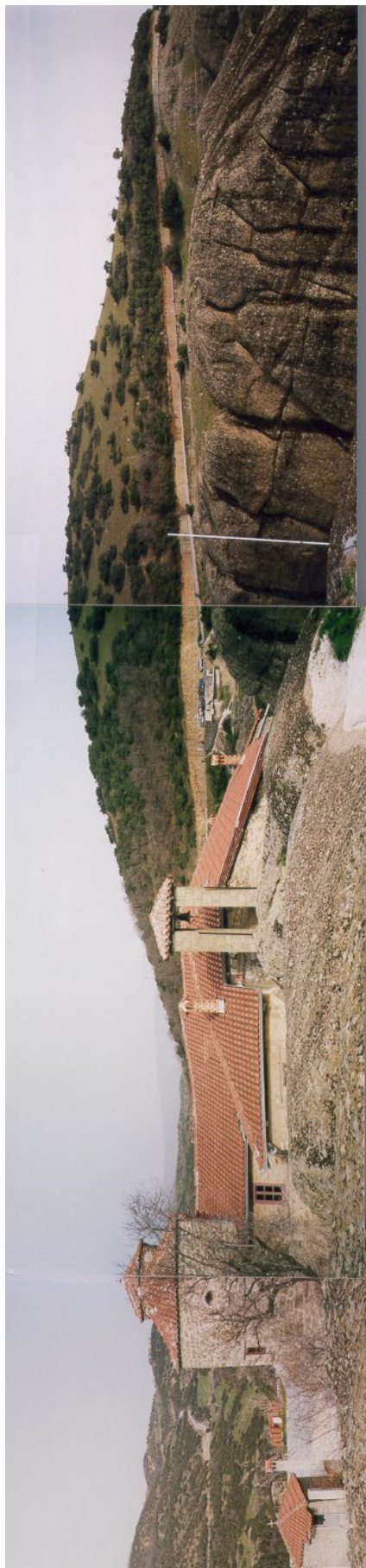
*Σχήμα 6.20 : Ιερά μονή Αγίας Τριάδος
Διάγραμμα ορίζοντα δυτικού παραθύρου
ιερού ναού Αγίας Τριάδος*



Σχήμα 6.21 : Ιερά μονή Αγίας Τριάδος
Κάτοψη παρεκκλησίου Τιμίου Προδρόμου



Σχήμα 6.22 : Ιερά μονή Αγίας Τριάδος
 Διάγραμμα ορίζοντα παρεκκλήσιου Τιμίου Προδρόμου



Φωτ. 6.6 : Ορίζοντας της ιεράς μονής Αγίας Τριάδος

6.7. Η ιερά μονή Αγίου Στεφάνου.

☑ Από το διάγραμμα της κάτοψης του ιερού ναού του Αγίου Στεφάνου (σχήμα 6.23), προκύπτει ότι ο ναός έχει μέσο μήκος 12.33m, μέσο πλάτος 5.42m και βρίσκεται σε υψόμετρο 528.53m από τη μ.σ.θ.

Για τη διερεύνηση του προσανατολισμού του ναού εξετάστηκαν δύο γραμμές:

- Ο βασικός κατά μήκος άξονας, που ορίζεται από το μέσο της Αγίας Τράπεζας, το μέσο της εισόδου και το μέσο της απόστασης των δύο πεσσών, έχει μήκος 9.90m και αζιμούθιο $123^{\circ}.57 \pm 2.7^{\circ}$. Ο ναός επομένως είναι προσανατολισμένος νοτιοανατολικά.

- Η γραμμή (ειδική διεύθυνση) που συνδέει το μέσο της Αγίας Τράπεζας με το μέσο του παραθύρου της κεντρικής κόγχης, που έχει μήκος 2.20m και αζιμούθιο $132^{\circ}.29 \pm 12.3^{\circ}$.

Παρατηρώντας το διάγραμμα του ορίζοντα του Αγίου Στεφάνου (σχήμα 6.24), στο οποίο παρουσιάζεται η οριογραμμή του αισθητού ορίζοντα (βρίσκεται σε απόσταση 3000m από το χώρο της μονής) μετά την οριζοντιογραφική και υψομετρική αναγωγή στο μέσο της Αγίας Τράπεζας με αβεβαιότητα $\pm 3^{\circ}$, προκύπτει ότι:

• Η πορεία του ήλιου για τις 27 Δεκεμβρίου 1350 (ημερομηνία εορτής του πρωτομάρτυρος Στεφάνου για το έτος κτίσης) και η γραμμή που υλοποιεί το αζιμούθιο της ειδικής διεύθυνσης συναντούνται στον ορίζοντα με αβεβαιότητα $\pm 12.7^{\circ}$

• Η αντίστοιχη πορεία του ήλιου για την Ισημερία του έτους 1350 συναντά τη γραμμή που υλοποιεί το αζιμούθιο του βασικού άξονα την Τρίτη Ώρα, με αβεβαιότητα $\pm 2.7^{\circ}$

☑ Στο διάγραμμα της κάτοψης του ιερού ναού του Αγίου Χαραλάμπους (σχήμα 6.25), που είναι το καθολικό της μονής, διακρίνει κανείς τα εξής γεωμετρικά στοιχεία:

- Ο νάρθηκας έχει μήκος 7.51m, πλάτος 9.27m και υψόμετρο 529.85m από τη μ.σ.θ.

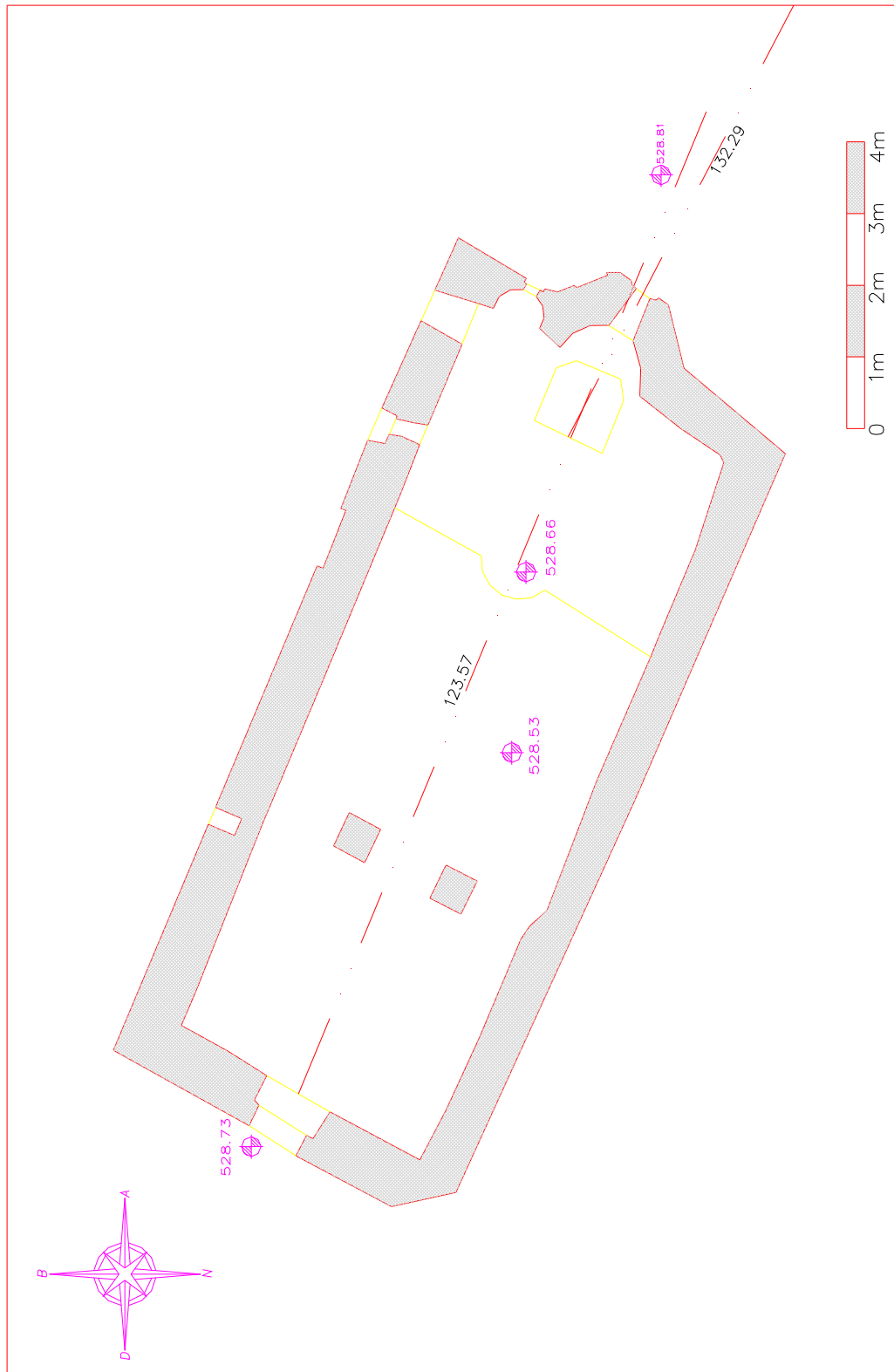
- Ο κυρίως ναός έχει μήκος 7.75m, πλάτος 9.27m και βρίσκεται 0.12m ψηλότερα από το νάρθηκα.

- Ο τρούλλος που βρίσκεται στο κέντρο του κυρίως ναού, έχει διάμετρο 3.95m. Έχει δώδεκα παράθυρα με μέσο πλάτος 0.20m.
- Το Ιερό Βήμα έχει διαστάσεις 5.60m x 9.27m και τρεις κόγχες, οι οποίες είναι συμμετρικές ως προς το βασικό άξονα.

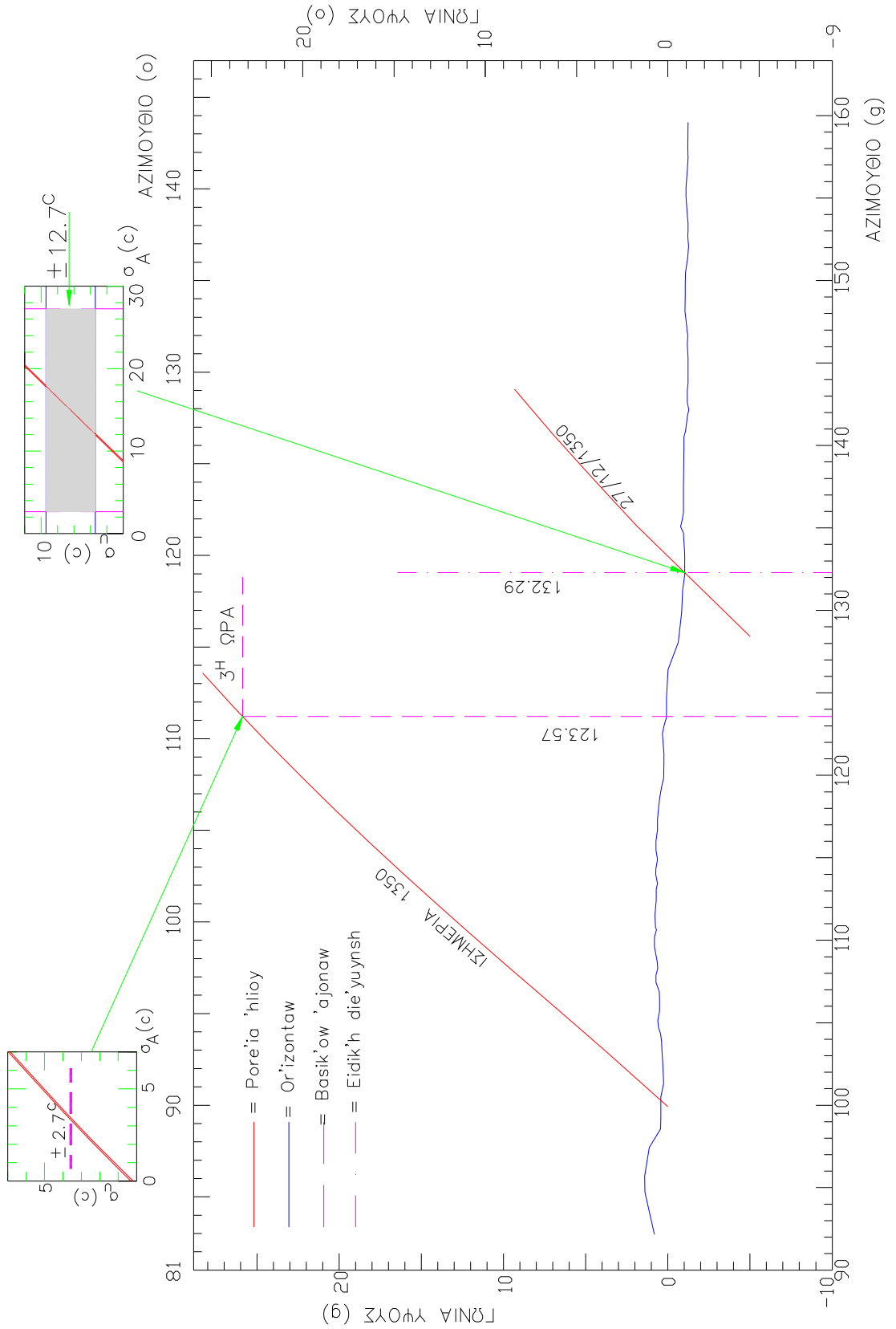
Η διερεύνηση του προσανατολισμού του ναού έγινε με το βασικό κατά μήκος άξονά του, ο οποίος έχει μήκος 17.50m και αζιμούθιο $138^{\circ}.70 \pm 1.5^{\circ}$, δηλαδή ο ναός είναι προσανατολισμένος νοτιοανατολικά.

Στον αισθητό ορίζοντα του Αγίου Χαραλάμπους περιλαμβάνονται κτήρια (το σημερινό Μουσείο που ήταν η παλαιά Τράπεζα και κελιά μοναχών), που βρίσκονται μπροστά από το ιερό του, σε απόσταση 17m, μεταξύ αυτού και του ναού του Αγίου Στεφάνου και προϋπήρχαν της κατασκευής του ναού σύμφωνα με ιστορικά στοιχεία της μονής. Μεγάλο τμήμα του ορίζοντα καλύπτεται από τα κτήρια αυτά. Γι' αυτό το λόγο σχεδιάστηκαν οι κατόψεις τους (σχήμα 6.26) και η χαρακτηριστική τυπική όψη τους (σχήμα 6.27). Η οριογραμμή του αισθητού ορίζοντα έχει αβεβαιότητα $\pm 4.2^{\circ}$ και πρόκυψε από κατάλληλες μετρήσεις και αναγωγή αυτών στο μέσο της Αγίας Τράπεζας. Παρατηρώντας το διάγραμμα αυτό διαπιστώνεται ότι η πορεία του ήλιου που προσδιορίστηκε για τις 10 Φεβρουαρίου 1398 (έτος κτίσης του ναού για την ημέρα εορτής του Αγίου) συναντά τη γραμμή που υλοποιεί το αζιμούθιο του βασικού άξονα την Τρίτη Ώρα, με αβεβαιότητα $\pm 1.5^{\circ}$.

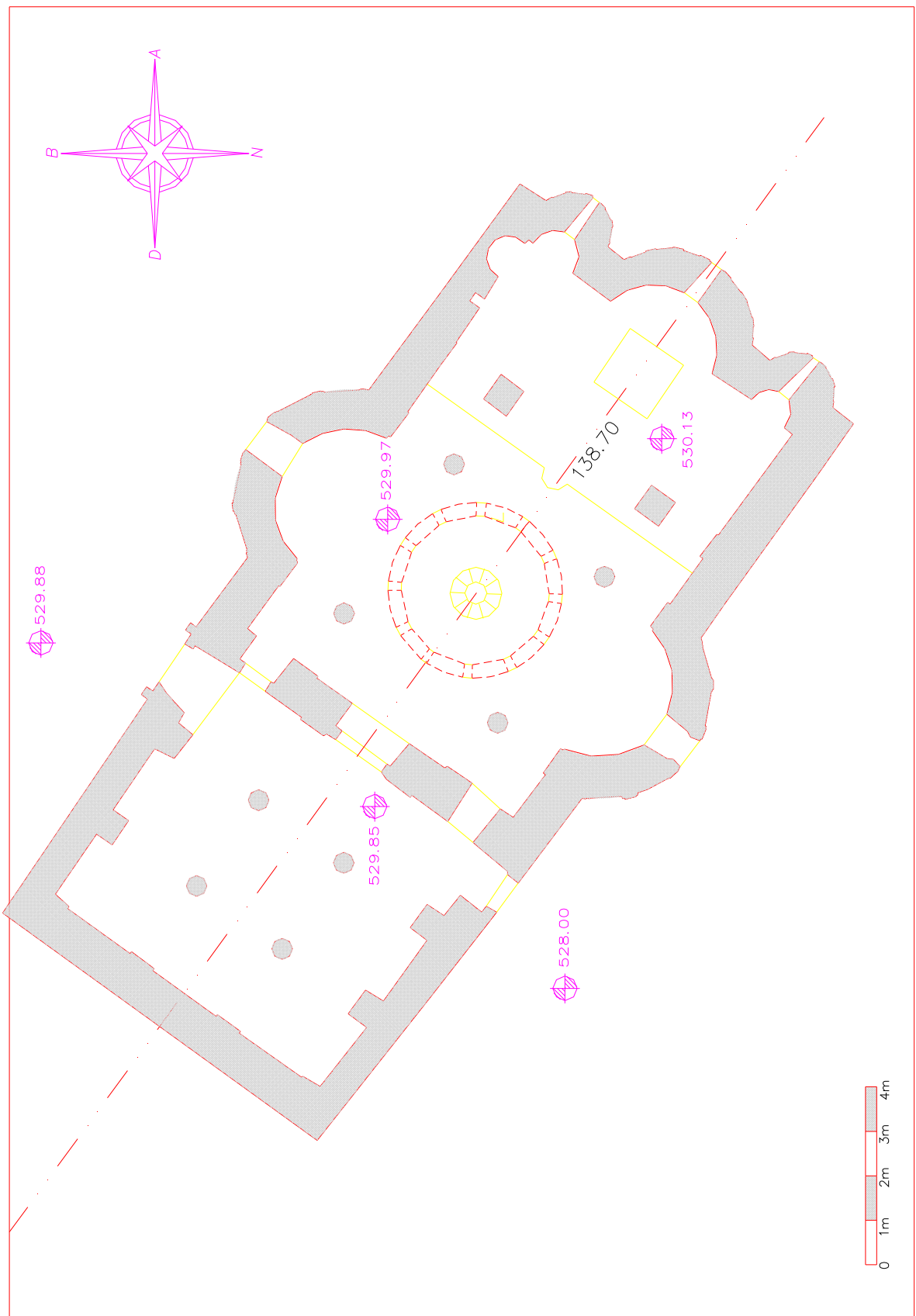
Στη Φωτ. 6.7 παρουσιάζεται και η φωτογραφική τεκμηρίωση του ορίζοντα της ιεράς μονής.



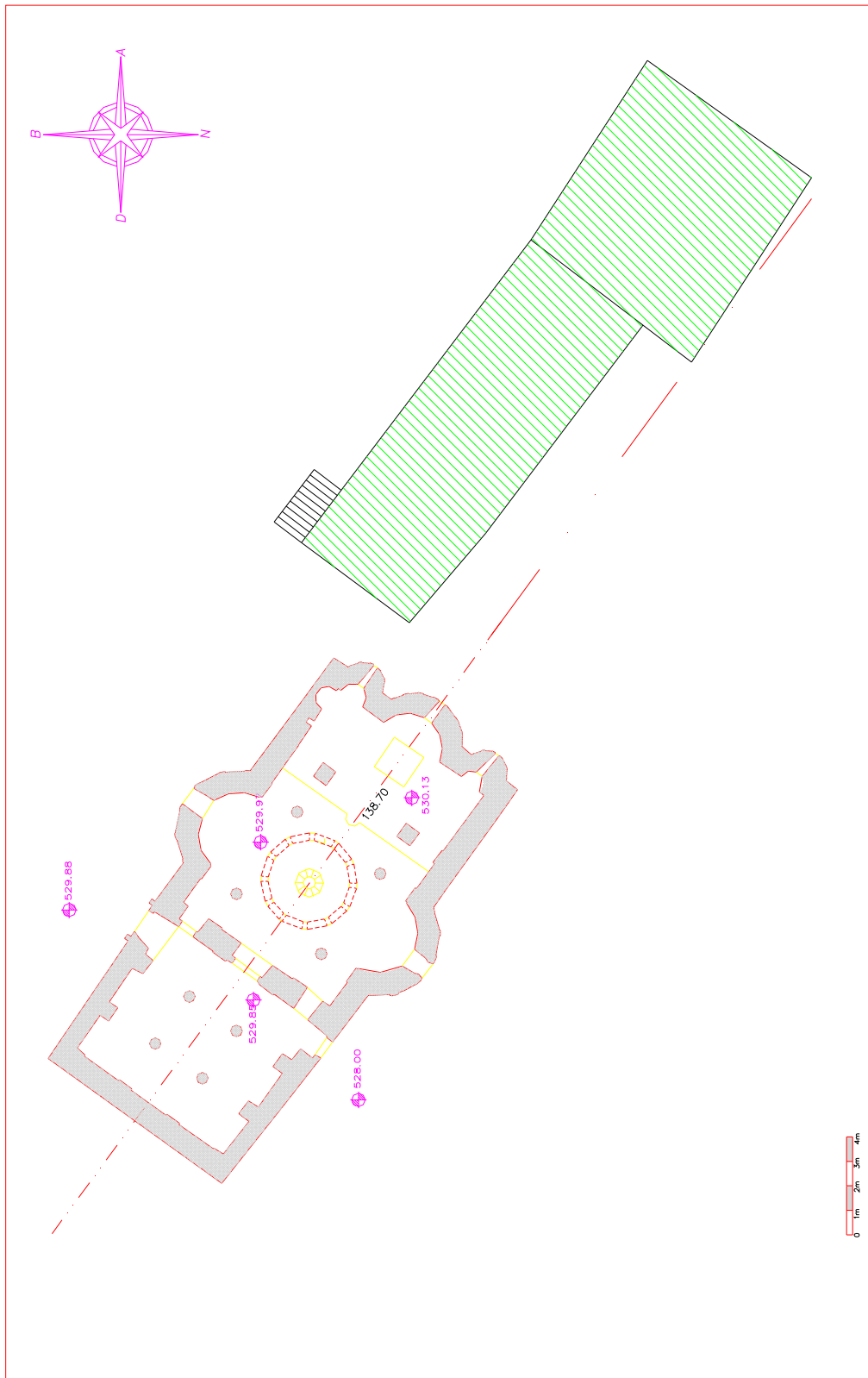
Σχήμα 6.23 : Ιερά μονή Αγίου Στεφάνου
Κάτοψη ιερού ναού Αγίου Στεφάνου



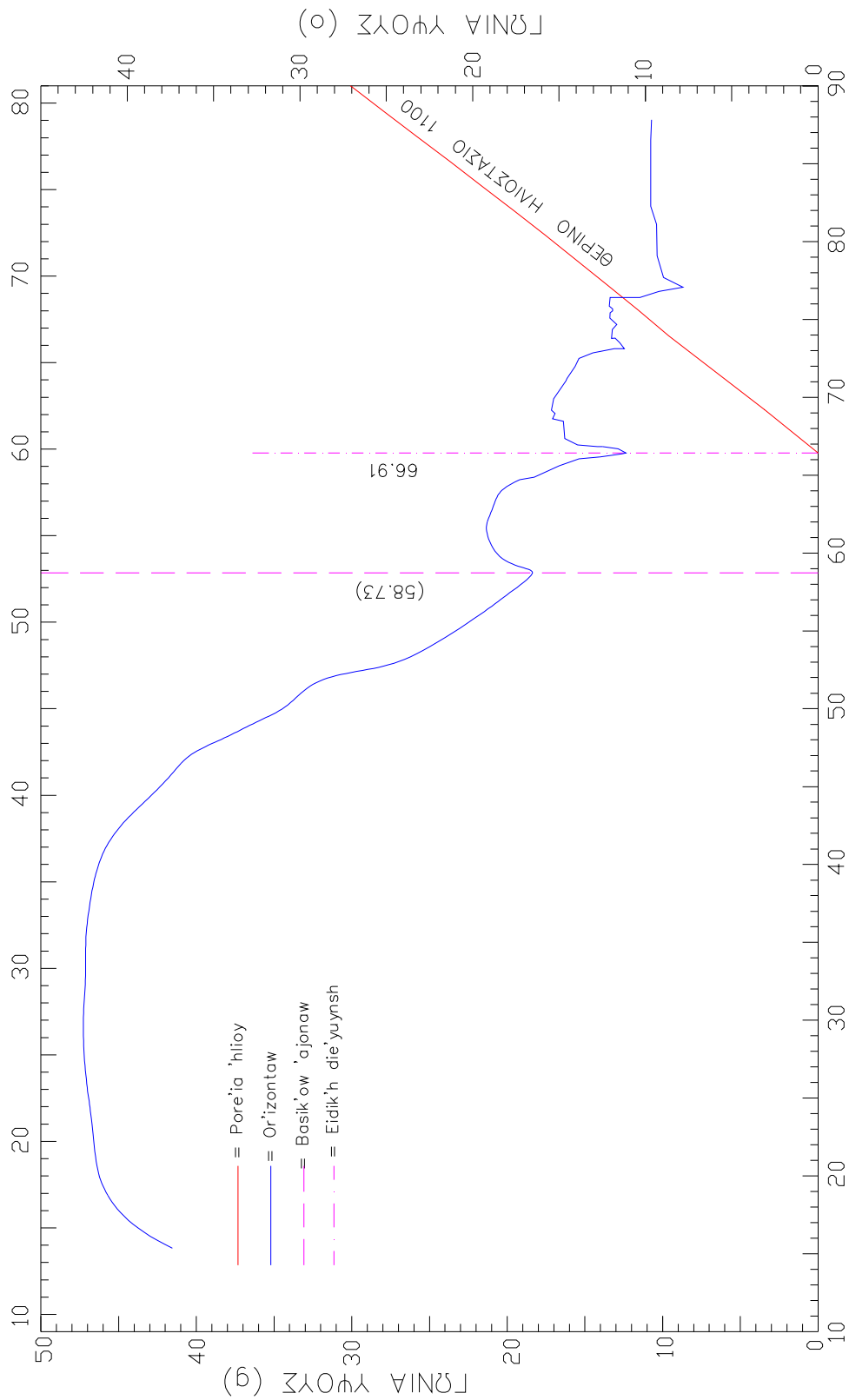
Σχήμα 6.24 : Ιερά μονή Αγίου Στεφάνου
 Διάγραμμα οριζοντα ιερού ναού Αγίου Στεφάνου



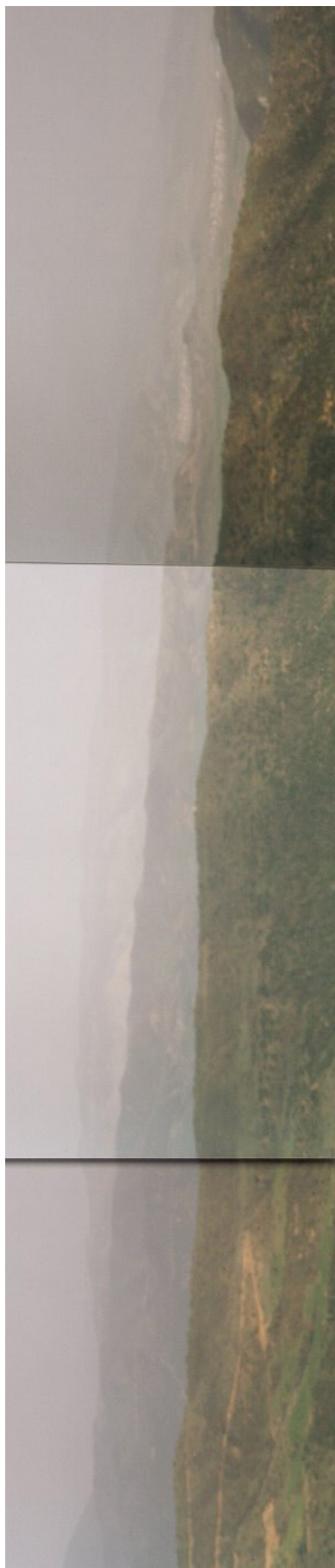
Σχήμα 6.25 : Ιερά μονή Αγίου Στεφάνου
Κάτοψη ιερού ναού Αγίου Χαραλάμπους



Σχήμα 6.26 : Ιερά μονή Αγίου Στεφάνου
Κάτοψη αισθητού οριζοντα ιερού ναού Αγίου Χαλαλάμπους



Σχήμα 6.27 : Ιερά μονή Αγίου Στεφάνου
 Διάγραμμα οριζόντα ιερού ναού Αγίου Χαράλάμπους



Φωτ. 6.7 : Ορίζοντας ιεράς μονής Αγίου Στεφάνου

6.8. Ο ιερός ναός Παναγίας της Δούπιανης.

Στο διάγραμμα της κάτοψης (σχήμα 6.28), που αφορά στο μικρό ναό της Παναγίας της Δούπιανης παρατηρούμε ότι ο ναός έχει μήκος 7.92m, πλάτος 4.92m και βρίσκεται σε υψόμετρο 311.00m από τη μ.σ.θ.

Για τη διερεύνηση του προσανατολισμού του ναού εξετάστηκαν:

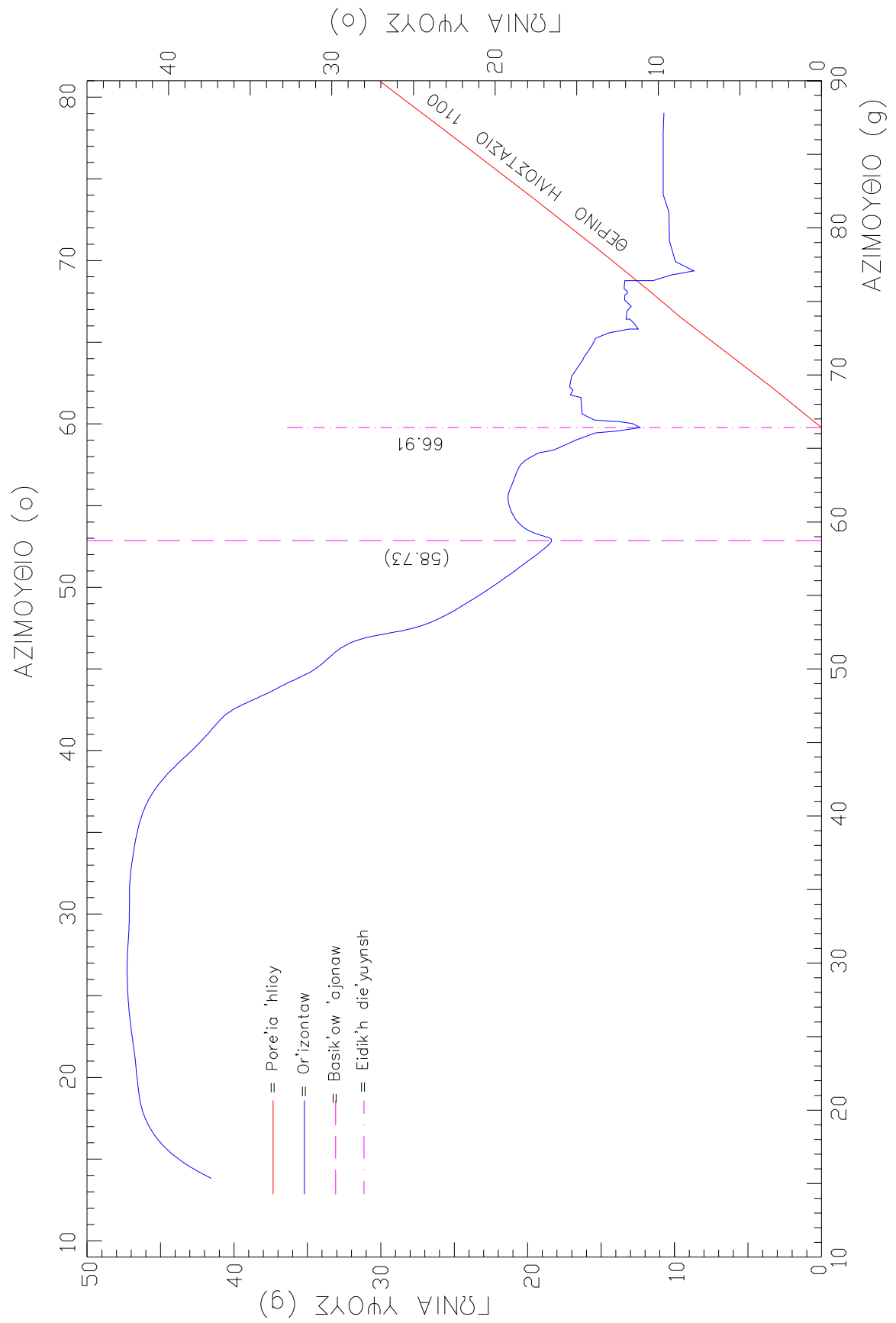
- ο βασικός κατά μήκος άξονάς του, όπως ορίζεται από το κέντρο της κόγχης του ιερού βήματος (δεν υπάρχει Αγία Τράπεζα) και το μέσο της κυρίας εισόδου του ναού και ο οποίος έχει μήκος 8m και αζιμούθιο $58^{\circ}.73 \pm 3.4^{\circ}$
- Η γραμμή που συνδέει το μέσο της εσωτερικής και εξωτερικής ακμής του ανοίγματος της κόγχης του Ιερού Βήματος, που έχει μήκος 0.60m και αζιμούθιο $66^{\circ}.91 \pm 45^{\circ}$.

Ο αισθητός ορίζοντας του ναού βρίσκεται σε απόσταση περίπου 700m από αυτόν. Οι μετρήσεις του ορίζοντα ανάχθηκαν οριζοντιογραφικά και υψομετρικά στο κέντρο της κόγχης του ιερού βήματος και προέκυψε έτσι η οριογραμμή του με αβεβαιότητα $\pm 2.3^{\circ}$.

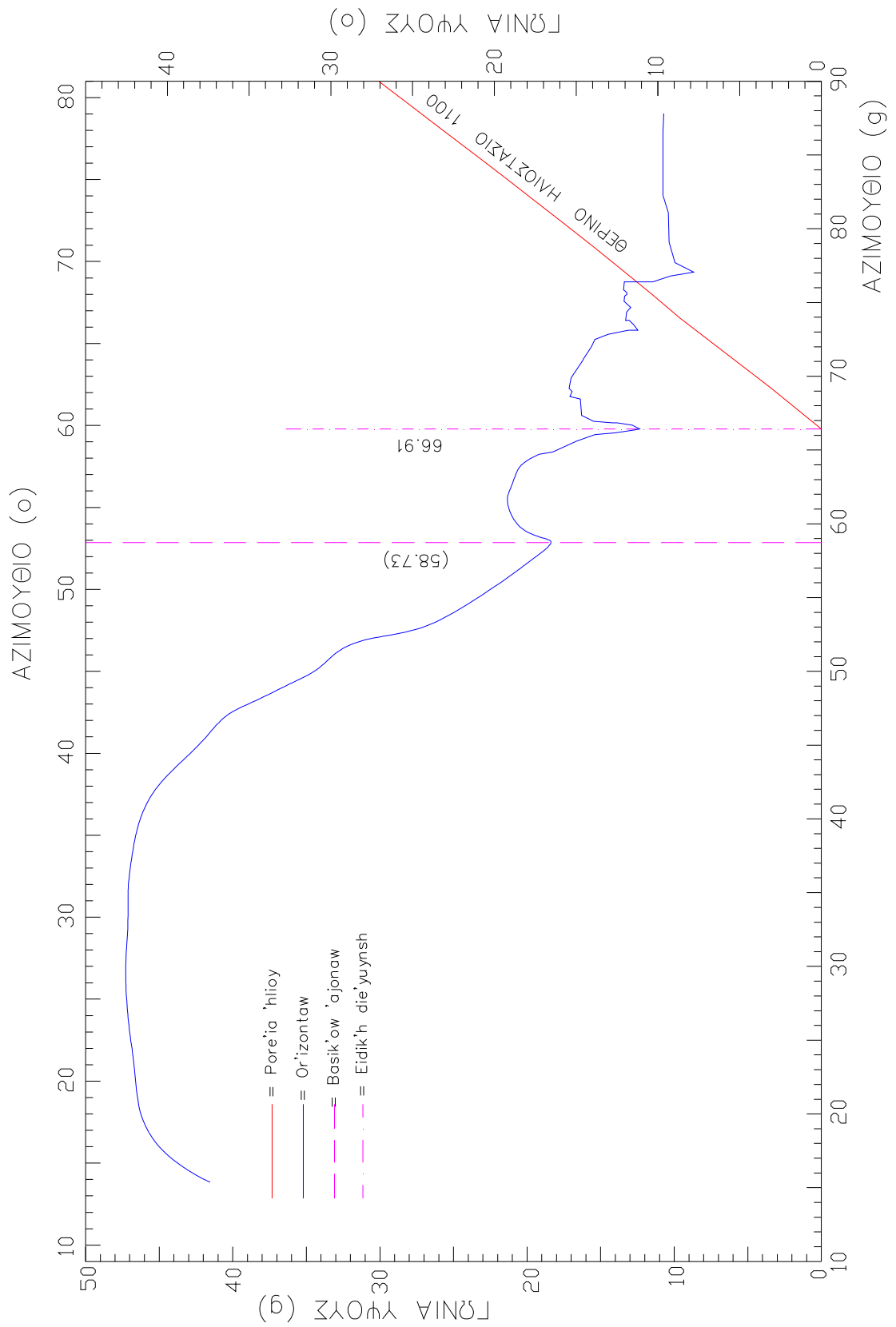
Στο διάγραμμα του ορίζοντα (σχήμα 6.29), που βρίσκεται σε απόσταση 700m, παρουσιάζεται η γραμμή της πορείας του ήλιου, όπως αυτή προσδιορίστηκε για την ημέρα που αντιστοιχεί στο θερινό ηλιοστάσιο, 21 Ιουνίου 1100, κατά την οποία το αζιμούθιο ανατολής του ήλιου παρουσιάζει την ελάχιστη τιμή του.

Για το ναό αυτό δεν υπάρχουν σαφείς ιστορικές αναφορές για το έτος κτίσης, παρά μόνο ότι ήταν ο πρώτος ναός που συγκέντρωνε κάποιους ασκητές στην αρχή της ίδρυσης της μοναστικής πολιτείας. Για την διερεύνηση της χρονολόγησής του εξετάστηκαν και οι πορείες του ήλιου την ίδια ημερομηνία για διάφορα έτη, χωρίς όμως να προκύψει κάποιο συμπέρασμα.

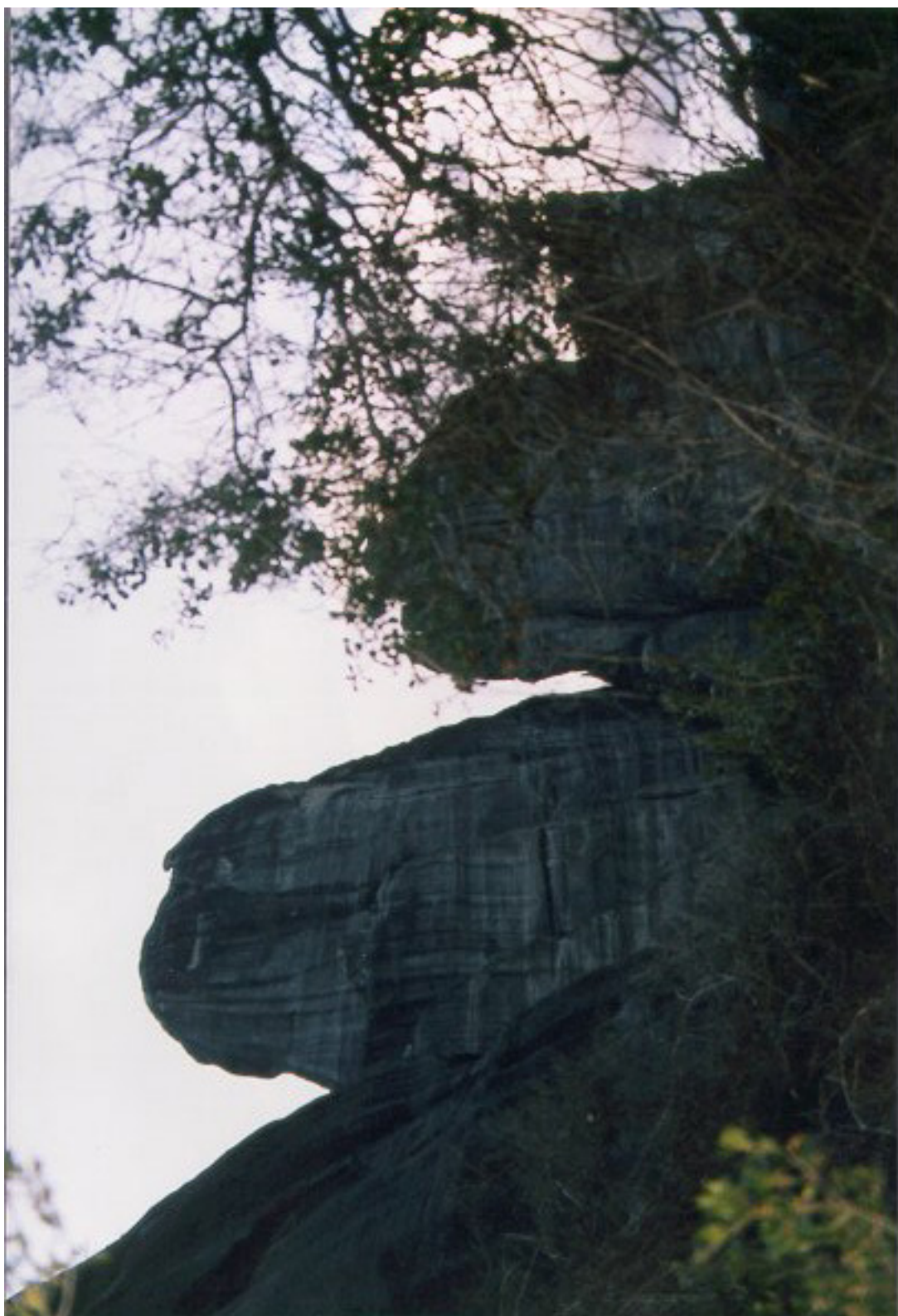
Η φωτογραφική τεκμηρίωση του ορίζοντα του ναού ακολουθεί στη Φωτ. 6.8.



Σχήμα 6.28 : Κάτοψη ιερού ναού Παναγίας της Δούπιανης



Σχήμα 6.29 : Διάγραμμα ορίζοντα ιερού ναού Παναγίας της Δούπιανης



Φωτ. 6.8 : Ορίζοντας ιερού ναού Παναγίας της Δούπιανης

6.9. Ο ιερός ναός Κοιμήσεως της Θεοτόκου στην Καλαμπάκα.

Παρατηρώντας το σχέδιο της κάτοψης του ιερού ναού της Κοιμήσεως της Θεοτόκου στην Καλαμπάκα (σχήμα 6.30), προκύπτουν τα εξής γεωμετρικά στοιχεία:

- Οι δύο κόγχες είναι συμμετρικές ως προς το βασικό κατά μήκος άξονα.
- Ο εξωνάρθηκας του ναού έχει μήκος 4.96m και πλάτος 12.85m.
- Ο νάρθηκας έχει μήκος 4.82m και πλάτος 12.85m
- Ο κυρίως ναός έχει μήκος 14.35m και πλάτος 12.85m.
- Το Ιερό Βήμα έχει μήκος 6.75m και πλάτος 12.85m.
- Ο ναός βρίσκεται σε υψόμετρο 283.17m από τη μ.σ.θ.

Η διερεύνηση του προσανατολισμού του ναού έγινε με το βασικό κατά μήκος άξονά του, ο οποίος ορίζεται από το μέσο της Αγίας Τράπεζας και το μέσο της κυρίας εισόδου του ναού, έχει μήκος 26m και αζιμούθιο $100^{\circ}.18 \pm 1^{\circ}$, δηλαδή ο ναός είναι προσανατολισμένος ανατολικά.

Για το έτος κτίσης του ναού υπάρχουν διάφορες ιστορικές πηγές που τοποθετούν την ανέγερσή του, στο χρονικό διάστημα από τον 8^ο μ.Χ αιώνα έως τον 12^ο μ.Χ. Μετά από διαδοχικούς υπολογισμούς και αντίστοιχες σχεδιάσεις της πορείας του ήλιου για διάφορα έτη σ' αυτό το χρονικό διάστημα για την ημέρα εορτής του ναού (15 Αυγούστου), προέκυψε ότι η γραμμή της πορείας του ήλιου που αντιστοιχεί στο έτος 1000μ.Χ συναντά τη γραμμή που υλοποιεί το αζιμούθιο του βασικού άξονα στον ορίζοντα, με αβεβαιότητα $\pm 2.2^{\circ}$.

Ο αισθητός ορίζοντας του ναού βρίσκεται σε απόσταση περίπου 900m. Οι μετρήσεις του ορίζοντα ανάχθηκαν οριζοντιογραφικά και υψομετρικά στο μέσο της Αγίας Τράπεζας και προέκυψε έτσι η οριογραμμή του με αβεβαιότητα $\pm 2^{\circ}$, η οποία παρουσιάζεται στο σχήμα 6.31. Στο ίδιο διάγραμμα φαίνεται η γραμμή της πορείας του ήλιου όπως αυτή υπολογίστηκε για τις 15 Αυγούστου 1000.

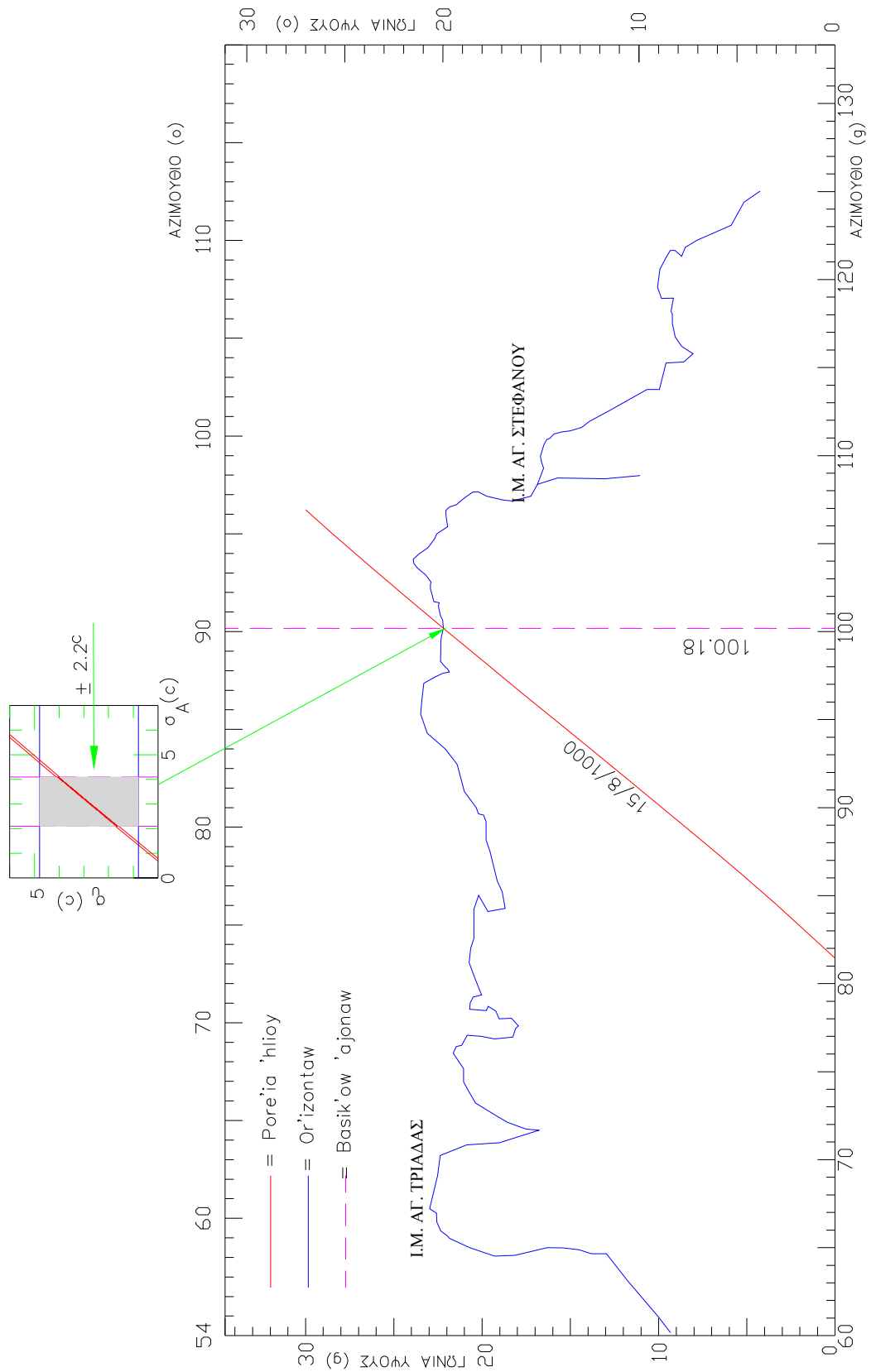
Το έτος κτίσης του ναού, όπως προκύπτει είναι το $1000\mu.X \pm 13$ έτη. Το μέγεθος της αβεβαιότητας χρονολόγησης του ναού προκύπτει από :

- Την τιμή της μεταβολής της πορείας του ήλιου για τις 15 Αυγούστου (ημέρα εορτής της Κοιμήσεως της Θεοτόκου), που είναι ίση με $17^{\text{cc}}/\text{έτος}$.
- Την αβεβαιότητα διερεύνησης του προσανατολισμού του ναού (πορεία ήλιου, βασικός άξονας ναού, οριογραμμή ορίζοντα) που είναι ίση με $\pm 2.2^{\circ}$

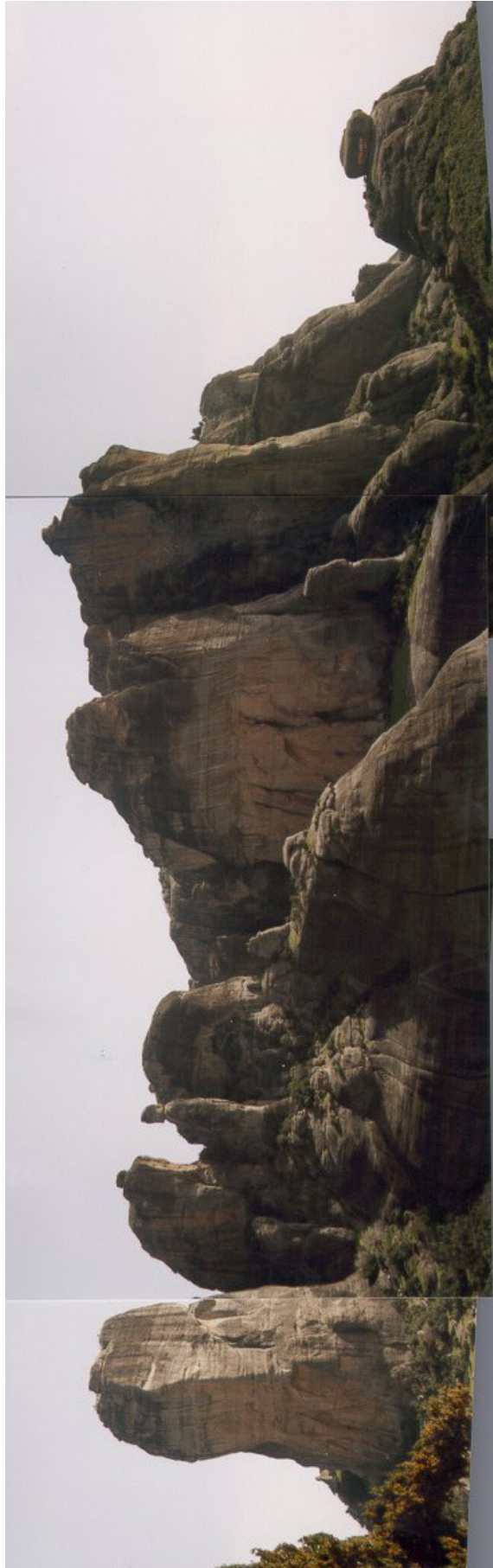
Η αβεβαιότητα της χρονολόγησης προκύπτει ως πηλίκο της αβεβαιότητας διερεύνησης του προσανατολισμού του προς την τιμή της μεταβολής της θέσης του ήλιου ($220^{\text{cc}} / 17^{\text{cc}}$).

Στη Φωτ. 6.9 εμφανίζεται η φωτογραφική τεκμηρίωση του ορίζοντα του ιερού ναού.

Σχήμα 6.30: Κάτοψη ιερού ναού Κοιμήσεως της Θεοτόκου - Καλαμπάκα



Σχήμα 6.31: Διάγραμμα ορίζοντα ιερού ναού Κοιμήσεως της Θεοτόκου. Καλαμπάκα



*Φωτ. 6.9 : Ορίζοντας ιερού ναού Κοιμήσεως της Θεοτόκου στην
Καλαμπάκα*

6.10 Συμπεράσματα

Στον πίνακα 6.1 που ακολουθεί παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα της διερεύνησης του προσανατολισμού, των 14 ναών και παρεκκλησίων που βρίσκονται στις έξι εν ενεργεία μονές της μοναστικής πολιτείας των Μετεώρων, του ιερού ναού Παναγίας της Δούπιανης και του ιερού ναού Κοιμήσεως της Θεοτόκου στην Καλαμπάκα. Στη τελευταία στήλη του πίνακα παρουσιάζεται η τελική αβεβαιότητα με την οποία επετεύχθη η διερεύνηση του προσανατολισμού κάθε ναού (σφάλμα γραμμής διερεύνησης, οριογραμμής ορίζοντα, πορείας ήλιου).

Παρατηρούμε ότι :

- Οι **14** από τους **16** ναούς, στους οποίους εφαρμόστηκε η προτεινόμενη μεθοδολογία, είναι σαφώς προσανατολισμένοι σε συγκεκριμένη διεύθυνση.
- Ο βασικός κατά μήκος άξονας των περισσότερων ναών είναι τοποθετημένος-στραμμένος σε συγκεκριμένη διεύθυνση. Έτσι από τους **14** προσανατολισμένους ναούς, στους **10** είναι προσανατολισμένος ο βασικός άξονας του ναού, ενώ στους **4** είναι προσανατολισμένη η διεύθυνση της γραμμής που συνδέει το μέσο της Αγίας Τράπεζας με το μέσο ανοίγματος στην κόγχη του ιερού Βήματος όταν δεν υπάρχει άλλο άνοιγμα στην διεύθυνση του βασικού άξονα.
- Ο προσανατολισμός των ναών συνδέεται είτε με την ημέρα στην οποία τιμάται η μνήμη του Αγίου στον οποίο είναι αφιερωμένος ο ναός είτε με χαρακτηριστικές ημέρες στη διάρκεια του έτους όπως είναι οι ισημερίες. Διαπιστώνεται ότι σε **11** από τους **14** ναούς ο προσανατολισμός τους συνδέεται άμεσα με την ημερομηνία εορτής του τιμώμενου Αγίου ενώ για **3** ο προσανατολισμός τους συνδέεται με την ημέρα της ισημερίας.
- Επιπλέον, ο προσανατολισμός ορισμένων ναών, **5** από τους **14**, σχετίζεται με την Τρίτη Ώρα. Όπως έχει αναφερθεί η ώρα αυτή έχει ιδιαίτερη σημασία για τη χριστιανική θρησκεία αφού είναι η ώρα τέλεσης του μυστηρίου της Θείας Ευχαριστίας κατά τη Θεία λειτουργία.
- Ο προσανατολισμός όλων των ναών εξαρτάται άμεσα από τη θέση του αισθητού ορίζοντα που βρίσκεται μπροστά από κάθε ναό.

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ
ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟ
ΤΩΝ ΝΑΩΝ ΤΩΝ ΜΟΝΩΝ ΤΩΝ ΜΕΤΕΩΡΩΝ

ΜΟΝΕΣ	ΝΑΟΙ	ΗΜΕΡΟ ΜΗΝΙΑ ΚΤΙΣΗΣ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΕΟΡΤΗΣ	ΑΖΙΜΟΥΘΙΟ ΓΡΑΜΜΗΣ (g) (μοίρες)	ΕΙΔΟΣ ΓΡΑΜΜΗΣ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΟΡΕΙΑΣ ΗΛΙΟΥ	ΤΕΛ. ΑΒΕ ΒΑΙΟ ΤΗΤΑ
ΜΕΓΑΛΟ ΜΕΤΕΩΡΟ	ΙΩΑΝΝΟΥ ΠΡΟΔΡΟΜΟΥ		7 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ	132.86± 4.3° (119° 34')	ΒΑΣΙΚΟΣ ΑΞΟΝΑΣ	ΕΟΡΤΗ (7/1/1360)	± 4.7°
	ΜΕΤΑΜΟΡΦΩ ΣΕΩΣ	1360	6 ΑΥΓΟΥΣΤΟΥ	132.86± 1.2° (119° 34')	ΒΑΣΙΚΟΣ ΑΞΟΝΑΣ	(7/1/1360) ΕΟΡΤΗ ΑΓ. ΙΩΑΝΝΟΥ	± 2.3°
		1388 (επέκταση)		78.42±38.6° (70° 35')	ΓΡΑΜΜΗ ΣΤΟ ΠΑΤΩΜΑ	ΕΟΡΤΗ (6/8/1388)	± 38.7°
	ΚΩΝ/ΝΟΥ & ΕΛΕΝΗΣ	1789	21 ΜΑΙΟΥ	121.32 ± 10.4° (109° 11')	ΒΑΣΙΚΟΣ ΑΞΟΝΑΣ	6/8/1789 ή ΕΟΡΤΗ 21/5/1789 (Τρίτη Ωρα)	± 10.4°
ΒΑΡΛΑΑΜ	ΑΓΙΟΙ ΠΑΝΤΕΣ	1542 (Πάσχα 9 / 4)	ΚΙΝΗΤΗ ΕΟΡΤΗ 4/6/1542	90.24± 1.8° (81° 13')	ΒΑΣΙΚΟΣ ΑΞΟΝΑΣ	ΠΑΣΧΑ 1542 ή ΕΟΡΤΗ 4/6/1542 (Τρίτη Ωρα)	± 1.8°
	ΤΡΕΙΣ ΙΕΡΑΡΧΕΣ	1350	30 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ	126.49± 4.2° (113° 50')	ΒΑΣΙΚΟΣ ΑΞΟΝΑΣ	ΕΟΡΤΗ 30/1/1350	± 4.7°
ΡΟΥΣΑΝΟΥ	ΜΕΤΑΜΟΡΦΩ ΣΕΩΣ	1528	6 ΑΥΓΟΥΣΤΟΥ	56.68 (51° 0')	ΒΑΣΙΚΟΣ ΑΞΟΝΑΣ		
				110.40± 15.9° (99° 21')	ΠΑΡΑΘΥΡΟ ΙΕΡΟΥ - ΑΓΙΑ ΤΡΑΠΕΖΑ	ΙΣΗΜΕΡΙΑ 1528	± 16.0°
	ΑΓΙΑ ΒΑΡΒΑΡΑ	-	4 ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΥ	64.42± 12.9° (57° 59')	ΒΑΣΙΚΟΣ ΑΞΟΝΑΣ		
ΑΝΑΠΑΥΣΑ	ΑΓΙΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ	1527	6 ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΥ	30.26 (27° 14')	ΒΑΣΙΚΟΣ ΑΞΟΝΑΣ		
				144.69± 21° (130° 13')	ΠΑΡΑΘΥΡΟ ΙΕΡΟΥ - ΑΓΙΑ ΤΡΑΠΕΖΑ	ΕΟΡΤΗ 6/12/1527	± 21.1°
	ΑΓΙΟΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ	1350	17 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ	125.14± 8.2° (112° 37')	ΒΑΣΙΚΟΣ ΑΞΟΝΑΣ	ΙΣΗΜΕΡΙΑ 1350 (Τρίτη Ωρα)	± 8.5°
	ΙΩΑΝΝΗΣ ΠΡΟΔΡΟΜΟΣ	1600 ± 17έτη	7 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ	128.08± 5.6° (115° 16')	ΒΑΣΙΚΟΣ ΑΞΟΝΑΣ	ΙΣΗΜΕΡΙΑ 1600 (Τρίτη Ωρα)	± 5.6°

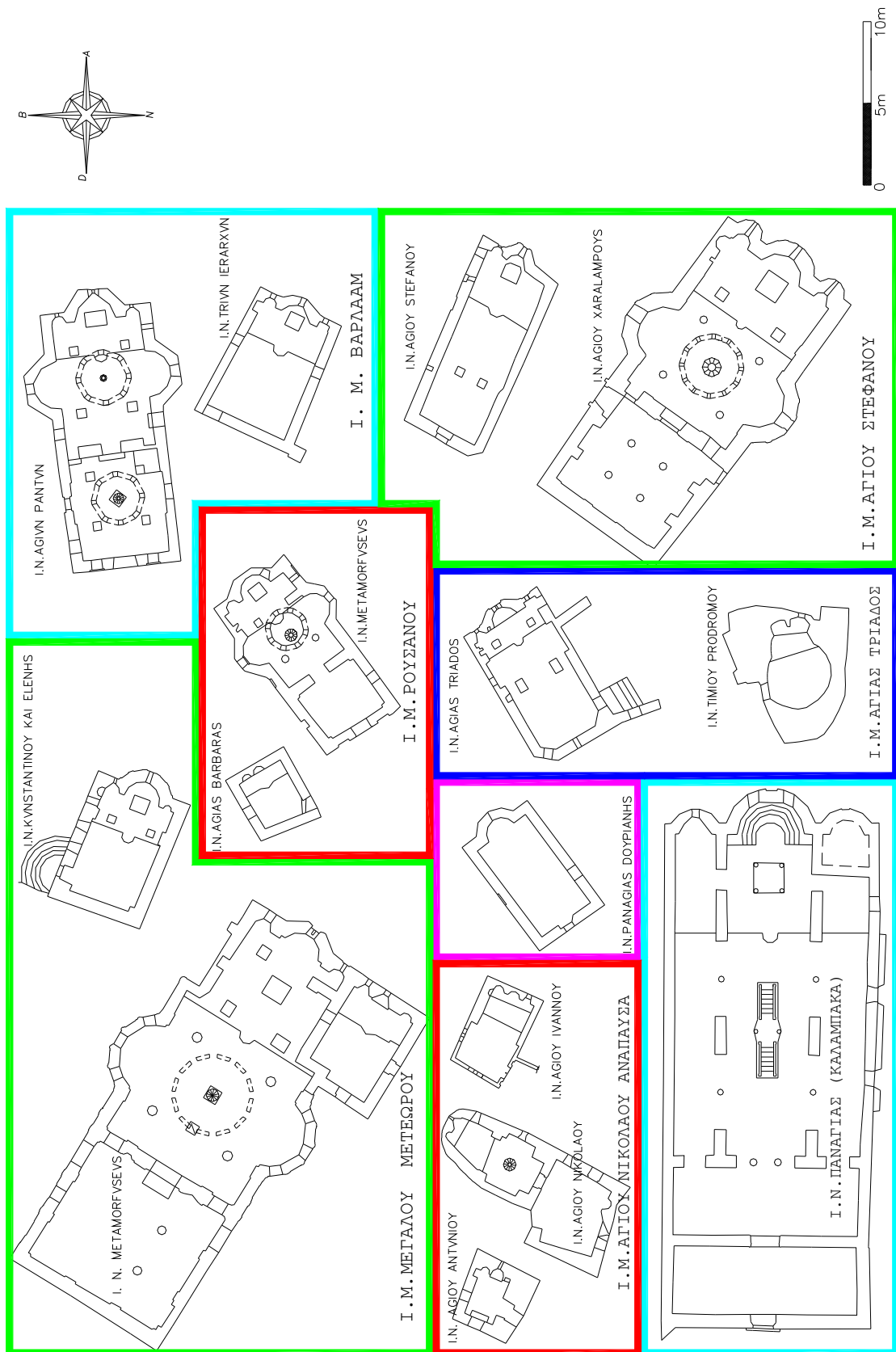
ΜΟΝΕΣ	ΝΑΟΙ	ΗΜΕΡΟ ΜΗΝΙΑ ΚΤΙΣΗΣ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΕΟΡΤΗΣ	ΑΖΙΜΟΥΓΙΟ ΓΡΑΜΜΗΣ (g) (μπίρες)	ΕΙΔΟΣ ΓΡΑΜΜΗΣ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΟΡΕΙΑΣ ΗΛΙΟΥ	ΤΕΛ. ΑΒΕ ΒΑΙΟ ΤΗΤΑ
ΑΓΙΑ ΤΡΙΑΔΑ	ΑΓΙΑ ΤΡΙΑΔΑ	1458	ΚΙΝΗΤΗ ΕΟΡΤΗ 22/5/1458 (Πάσχα 2 Απριλίου)	64.80± 3° (58° 19')	ΒΑΣΙΚΟΣ ΑΞΟΝΑΣ	ΕΟΡΤΗ 22/5/1458	± 3.7°
				305.22± 43° (274° 42')	ΔΥΤΙΚΟ ΠΑΡΑΘΥΡΟ (προσθήκη)	ΙΣΗΜΕΡΙΑ 1689	± 43.0°
	ΙΩΑΝΝΗΣ ΠΡΟΔΡΟΜΟΣ	1682	7 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ	130.73± 18° (117° 39')	ΠΑΡΑΘΥΡΟ ΙΕΡΟΥ – ΑΓΙΑ ΤΡΑΠΕΖΑ	ΕΟΡΤΗ 07/01/1682	± 18.1°
ΑΓΙΟΣ ΣΤΕΦΑΝΟΣ	ΑΓΙΟΣ ΣΤΕΦΑΝΟΣ	1350	27 ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΥ	123.57± 2.7° (111° 13')	ΒΑΣΙΚΟΣ ΑΞΟΝΑΣ	ΙΣΗΜΕΡΙΑ 1350 (Τρίτη Ωρα)	± 2.7°
				132.29± 12.3° (119° 04')	ΠΑΡΑΘΥΡΟ ΙΕΡΟΥ – ΑΓΙΑ ΤΡΑΠΕΖΑ	ΕΟΡΤΗ 27/12/1350	± 12.7°
	ΑΓΙΟΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ	1398	10 ΦΕΒΡΟΥ ΑΡΙΟΥ	138.70± 1.5° (124° 50')	ΒΑΣΙΚΟΣ ΑΞΟΝΑΣ	ΕΟΡΤΗ 10/2/1398 (Τρίτη Ωρα)	± 1.5°
ΠΑΝΑΓΙΑ ΔΟΥΠΙΑΝΗ	ΖΩΟΔΟΧΟΣ ΠΗΓΗ	-	ΚΙΝΗΤΗ ΕΟΡΤΗ	58.73± 3.4° (52° 51')	ΒΑΣΙΚΟΣ ΑΞΟΝΑΣ		
ΠΑΝΑΓΙΑ	ΠΑΝΑΓΙΑ	1000 ± 13 έτη	15 ΑΥΓΟΥΣΤΟΥ	100.18± 1.0° (90° 10')	ΒΑΣΙΚΟΣ ΑΞΟΝΑΣ	ΕΟΡΤΗ 15/8/1000	± 2.2°

Πίνακας 6.1 : Συγκεντρωτικός πίνακας παρουσίασης αποτελεσμάτων για τον προσανατολισμό των ναών των μονών των Μετέωρων.

Σ' αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθούν μερικά χαρακτηριστικά στοιχεία που προέκυψαν κατά τη διερεύνηση του προσανατολισμού στους συγκεκριμένους ναούς όπως:

- Η μαρμάρινη πλάκα στο δάπεδο του ναού της Μεταμορφώσεως στην ιερά μονή Μεγάλου Μετεώρου, η οποία τοποθετήθηκε έτσι ώστε να δώσει έμφαση στη σημασία του ηλιακού φωτός για τη θρησκεία, την ημέρα εορτής του Αγίου, όπου είναι αφιερωμένος ο ναός.
- Το δυτικό παράθυρο στο ναό της Αγίας Τριάδος στην ομώνυμη μονή, το οποίο ανοίχτηκε σε ιδιαίτερη θέση με ειδική κατασκευή, προσανατολισμένο στην ισημερία, έτσι ώστε να εισέρχεται το φως του ήλιου κατά τη Δύση του, το μεγαλύτερο διάστημα του έτους. Αυτό επιβεβαιώνει πως οι κτίτορες του ναού συνδέουν άμεσα τη λειτουργικότητα και τη λατρευτικότητα του χώρου με το φυσικό φως σε τέτοιο βαθμό, ώστε να τοποθετούν ύστερα από πολλή σκέψη και προβληματισμό με ειδική κατασκευή, τα ανοίγματα σε τέτοια θέση που να εξυπηρετεί την είσοδό του.

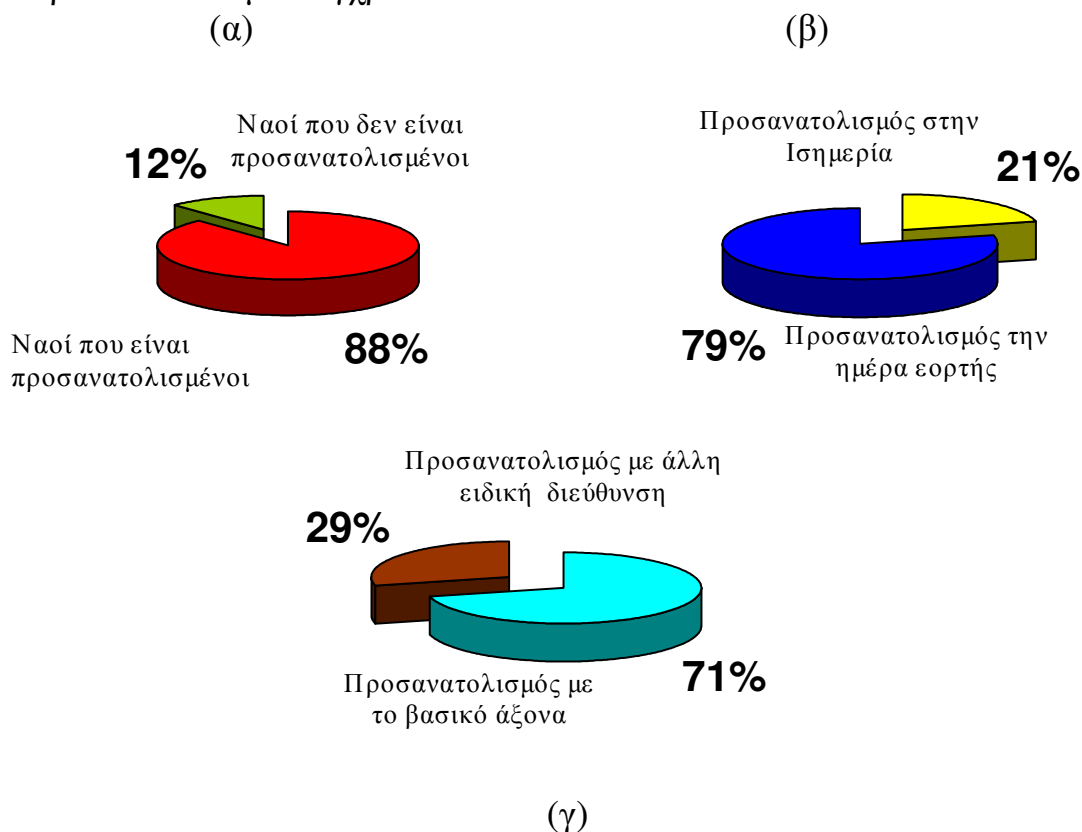
- Το πλάγιο παράθυρο στο Ιερό Βήμα του ναού του Αγίου Νικολάου στην ιερά μονή Αγίου Νικολάου Αναπαυσά, ο οποίος είναι κτισμένος μέσα στο βράχο. Το παράθυρο αυτό ανοίχτηκε σε τέτοια θέση ώστε οι ακτίνες του ήλιου να φωτίζουν την Αγία Τράπεζα, την ημέρα κατά την οποία τιμάται η μνήμη του Αγίου. Γίνεται αντιληπτό και εδώ πόση σημασία έδιναν οι κτίτορες στην ύπαρξη του φυσικού φωτός και πως την συνέδεαν με την λειτουργικότητα του χώρου, ώστε να κινηθούν έτσι κατασκευαστικά.
- Το παράθυρο στην κεντρική κόγχη του ιερού ναού του Αγίου Στεφάνου, στην ομώνυμη μονή, το οποίο δεν ανοίχτηκε στην διεύθυνση του βασικού άξονα αλλά εστράφη ώστε οι ακτίνες του ήλιου να εισέρχονται στο χώρο του Ιερού Βήματος την ημέρα εορτής του Αγίου και να φωτίζουν την Αγία Τράπεζα.
- Η σαφής προσπάθεια των κτιτόρων του ναού του Αγίου Χαραλάμπους, στη μονή Αγίου Στεφάνου, του οποίου ο βασικός άξονας εστράφει νοτιοανατολικά, ακριβώς όσο χρειαζόταν, κατά τον προσανατολισμό του, έτσι ώστε να μην εμποδίζεται η είσοδος του ηλιακού φωτός κατά την ημέρα εορτής του Αγίου, από τα ήδη προϋπάρχοντα κτήρια.
- Το παράθυρο στο Ιερό Βήμα του ναού της Μεταμορφώσεως στη μονή Ρουσάνου, το οποίο ανοίχτηκε πλάγια προς την Ανατολή του ήλιου στην ισημερία κατά το έτος κτίσης, για να εξασφαλιστεί η είσοδος των ακτινών του ήλιου στο χώρο του Ιερού Βήματος για το μεγαλύτερο δυνατό χρονικό διάστημα στη διάρκεια του έτους.
- Ο μεγαλοπρεπής ναός της Κοιμήσεως της Θεοτόκου στην Καλαμπάκα, ο οποίος είναι προσανατολισμένος την ημέρα εορτής του στο σημείο της ανατολής του ήλιου. Σύμφωνα με την προτεινόμενη μεθοδολογία προκύπτει ότι το έτος κτίσης του Ιερού ναού είναι το 1000 μ.Χ (±13 έτη).
- Οι ναοί παρουσιάζουν ανομοιομορφία ως προς τον προσανατολισμό τους, έτσι ώστε να εξυπηρετούνται οι λατρευτικές ανάγκες και να υπηρετούνται οι θρησκευτικές παραδόσεις που σχετίζονται με την είσοδο των ακτινών του ήλιου στο χώρο του Ιερού Βήματος, και δεν ισχύει αυτό που ο θυμόσοφος λαός μας λέει "ότι οι ναοί προσανατολίζονται ακριβώς στην Ανατολή". (Σχήμα 6.32)
- Η θέση των ανοιγμάτων στο χώρο του Ιερού Βήματος (στην κεντρική κόγχη κυρίως ή σε πλάγια θέση) επιλέγεται με κριτήριο την είσοδο



Σχήμα 6.32: Γεωμετρική παρουσίαση και προσανατολισμός των ναών της μοναστικής πολιτείας των Μετεώρων.

του φυσικού φωτός κατά τη διάρκεια τέλεσης της Θείας λειτουργίας και ιδιαίτερα του μυστηρίου της Θείας Ευχαριστίας. Αυτό συμβαίνει διότι κατά την παράδοση, πρέπει την ώρα που τα προσφερόμενα δώρα αφιερώνονται στο θεό, δέσμες φωτός να "πέφτουν" επάνω στην Αγία Τράπεζα.

Από τα αποτελέσματα της εφαρμογής της προτεινόμενης μεθοδολογίας για τη διερεύνηση του προσανατολισμού των ναών στη Μοναστική Πολιτεία των Μετεώρων, διαπιστώνεται ότι παρά το έντονο και τραχύ τοπογραφικό ανάγλυφο και τις δυσκολίες που αντιμετώπισαν κατά την κατασκευή τους, οι κτίτορες των ναών επιδείκνυαν ιδιαίτερη επιμέλεια στον προσανατολισμό τους. Από την εφαρμογή αυτή μπορούν να εξαχθούν κάποια στατιστικά στοιχεία. Τα στοιχεία αυτά παρατίθενται στο σχήμα 6.33 που ακολουθεί με τη μορφή κυκλικών διαγραμμάτων, επιβεβαιώνουν την χρησιμότητά της μεθοδολογίας, ενισχύουν την άποψη ότι οι ναοί έχουν συγκεκριμένο προσανατολισμό και όχι τυχαίο και μπορούν να αποτελέσουν απαρχή τόσο για την διερεύνηση του προσανατολισμού και άλλων χριστιανικών ναών και μνημείων όλων των εποχών γενικότερα αλλά και αναφορά για τον προσανατολισμό σύγχρονων ναών.



Σχήμα 6.33 : Στατιστικά στοιχεία, σχετικά με την ερμηνεία του προσανατολισμού των ναών που μελετήθηκαν.

Από το σχήμα 6.33 προκύπτει ότι:

■ Για την συντριπτική πλειοψηφία του δείγματος (88%), υπάρχει σαφής απόδειξη συγκεκριμένου προσανατολισμού τους (σχήμα 6.33α). Για τους δύο ναούς για τους οποίους δεν προκύπτει αντίστοιχα ερμηνεία συγκεκριμένου προσανατολισμού, ο ναός της Αγίας Βαρβάρας στη μονή Ρουσάνου, είναι ένα μικρό παρεκκλήσι χωρίς ιστορικές αναφορές και το πιθανότερο είναι, σύμφωνα με προφορικές μαρτυρίες, ότι υπήρξε σκήτη κάποιου μοναχού και όχι ναός. Επίσης για το μικρό ναό Παναγίας της Δούπιανης, που είναι το πρώτο εκκλησιαστικό κτίσμα της περιοχής των Μετεώρων στην αρχή της οργάνωσης της μοναστικής πολιτείας δεν προέκυψε κάποιο στοιχείο συγκεκριμένου προσανατολισμού.

■ Οι ναοί στην πλειοψηφία τους (79%), έχουν κατασκευαστεί προσανατολισμένοι στην διεύθυνση της ανατολής του ήλιου την ημέρα εορτής του Αγίου στον οποίο είναι αφιερωμένοι (σχήμα 6.33β).

■ Σε μικρότερο ποσοστό (21%) ο προσανατολισμός τους σχετίζεται με την ημέρα της ισημερίας (σχήμα 6.33β). Η ημέρα αυτή, όπως ήδη έχει αναφερθεί, είναι χαρακτηριστική μέσα στο χρόνο αφού με τον προσανατολισμό κατά την ημέρα αυτή επιτρέπεται η είσοδος του ηλιακού φωτός στο Ιερό Βήμα για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα στη διάρκεια του έτους.

■ Για την πλειοψηφία των ναών ισχύει ότι ο βασικός τους άξονας είναι στραμμένος σε συγκεκριμένη διεύθυνση (71%) ενώ σε μικρότερο ποσοστό (29%) προσανατολισμένη είναι μια άλλη ειδική διεύθυνση. Συγκεκριμένα η διεύθυνση της γραμμής που ορίζεται από το μέσο του ανοίγματος που υπάρχει στην κόγχη του Ιερού Βήματος και το μέσο της Αγίας Τράπεζας, είναι στραμμένη σε συγκεκριμένο αζιμούθιο (σχήμα 6.33γ). Το στοιχείο αυτό μπορεί να αποτελέσει χρήσιμο οδηγό για επιστήμονες που θα ασχοληθούν στο μέλλον με τη διερεύνηση του προσανατολισμού χριστιανικών ναών, η οποία προτείνεται να γίνεται πρωταρχικά με το βασικό κατά μήκος άξονά τους και δευτερευόντως με τη διεύθυνση της γραμμής που ορίζεται από το μέσο του ανοίγματος που υπάρχει στην κόγχη του Ιερού Βήματος και το μέσο της Αγίας Τράπεζας.

Τέλος σημαντικό αποτέλεσμα της εφαρμογής της μεθοδολογίας στην περιοχή των Μετεώρων, είναι ότι για πρώτη φορά, παρήχθησαν τοπογραφικά διαγράμματα, κλίμακας 1:50, των κατόψεων όλων των ναών που βρίσκονται στο χώρο της μοναστικής πολιτείας των Μετεώρων σε ενιαίο σύστημα αναφοράς.

Κεφάλαιο 7

Συμπεράσματα - Προτάσεις

7.1 Γενικά συμπεράσματα

Η μελέτη που έγινε στην εργασία αυτή επικεντρώθηκε στην προσπάθεια να δοκιμαστεί μια νέα γενικευμένη μεθοδολογία για τη διερεύνηση του προσανατολισμού μνημείων. Το κύριο και βασικό συμπέρασμα της εργασίας είναι ότι, χρησιμοποιώντας και συνδυάζοντας γεωδαιτικές και αστρονομικές μεθόδους μέτρησης και επεξεργασίας, όπως αυτές εφαρμόζονται με τη χρήση σύγχρονων ψηφιακών τοπογραφικών οργάνων, είναι **εφικτό εύκολα, γρήγορα** και με **ακρίβεια** αφενός να οριστεί και αφετέρου να ερμηνευθεί ο προσανατολισμός ενός μνημείου.

Τα κύρια χαρακτηριστικά της προτεινόμενης μεθοδολογίας είναι:

- Ο **προσδιορισμός του αστρονομικού αζιμουθίου** μιας διεύθυνσης με παρατηρήσεις στον Πολικό αστέρα και η μεταφορά του με γεωδαιτικές μεθόδους, που διασφαλίζουν υψηλή ακρίβεια στον προσδιορισμό του αστρονομικού αζιμουθίου του βασικού άξονα ή κάποιας άλλης ειδικής διεύθυνσης του μνημείου.
- Ο **γεωμετρικός προσδιορισμός του βασικού άξονα ή μιας άλλης ειδικής διεύθυνσης** του μνημείου, που μπορεί να επιτευχθεί μόνο με την αποτύπωση – τεκμηρίωση του μνημείου και τη δημιουργία του διαγράμματος της κάτοψής του.
- Ο **γεωμετρικός προσδιορισμός και η ψηφιακή αναπαραγωγή της γραμμής** που ορίζει την **πορεία του ήλιου ή άλλου αστέρα**, για χαρακτηριστικές ημερομηνίες (εορτή θεότητας στην οποία είναι αφιερωμένο το μνημείο, ισημερία, ηλιοστάσιο).
- Ο **γεωμετρικός προσδιορισμός της γραμμής**, η οποία ορίζει την οριογραμμή **του αισθητού ορίζοντα** που βρίσκεται μπροστά από το μνημείο, όπως αυτός γίνεται ορατός από κάποια συγκεκριμένη θέση.
- Η **ακρίβεια** με την οποία επιτυγχάνεται ο προσδιορισμός του Αστρονομικού αζιμουθίου μιας διεύθυνσης παρατήρησης καλύτερη από $\pm 1^{\text{cc}}$ ή $\pm 0''.3$, καθώς και ο προσδιορισμός του Αστρονομικού

αζιμουθίου του βασικού άξονα ή κάποιας άλλης ειδικής διεύθυνσης (περίπου $\pm 50^{\circ}$ ή $\pm 17''$), η οποία εξαρτάται κυρίως από το μήκος του άξονα του μνημείου και από την αβεβαιότητα προσδιορισμού των συντεταγμένων των σημείων λεπτομερειών (σχήμα 2.4).

Ιδιαίτερη επιμέλεια απαιτείται στον προσδιορισμό της οριογραμμής του αισθητού ορίζοντα που μπορεί να γίνει με μέση ακρίβεια $\pm 2^{\circ}$ (ή $\pm 1.1'$) μετά τις απαραίτητες μετρήσεις και την οριζοντιογραφική και υψομετρική αναγωγή τους, όπου αυτή απαιτείται. Αυτή είναι μια από τις παραμέτρους που "επιβαρύνει" την ακρίβεια της μεθοδολογίας, η οποία βέβαια και στην χειρότερη περίπτωση σίγουρα είναι ορθότερη και πολύ καλύτερη από την ακρίβεια προσδιορισμού αζιμουθίων με τη χρήση τοπογραφικής πυξίδας και της γραμμής του ορίζοντα με χρήση κλισιμέτρου, τα οποία κυρίως χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα.

Αν τα παραπάνω στοιχεία συνδυαστούν με τα ιστορικά δεδομένα, που αφορούν στην κτίση του μνημείου, προκύπτει η ορθή και ακριβής γεωμετρική ερμηνεία του προσανατολισμού του μνημείου.

Σύμφωνα με την προτεινόμενη μεθοδολογία οι παράμετροι, οι οποίες είναι απαραίτητες για την πλήρη διερεύνηση του προσανατολισμού ενός μνημείου είναι:

- ① Ο γεωμετρικός προσδιορισμός του βασικού άξονα ή άλλης ειδικής διεύθυνσης.
- ② Ο προσδιορισμός του αστρονομικού αζιμουθίου του βασικού άξονα ή της διεύθυνσης.
- ③ Ο γεωμετρικός προσδιορισμός της οριογραμμής του αισθητού ορίζοντα, ο οποίος βρίσκεται μπροστά από το μνημείο ή το ναό.
- ④ Το γεωδαιτικό πλάτος (φ) και το γεωδαιτικό μήκος (λ) του τόπου με μια ακρίβεια $\pm 1'$ της μοίρας.
- ⑤ Ο γεωμετρικός προσδιορισμός της φαινόμενης πορείας του ήλιου ή οποιουδήποτε άλλου αστέρα, από το χώρο του μνημείου, σε κάποια χρονική περίοδο.
- ⑥ Η ημερομηνία εορτής της θεότητας στην οποία είναι αφιερωμένο το μνημείο.

⑦ Η χρονική περίοδος κτίσης του μνημείου.

⑧ Το ουράνιο σώμα σε σχέση με το οποίο είναι προσανατολισμένο το μνημείο.

Γνωρίζοντας τις παραμέτρους ①, ②, ③, ④, ⑤, οι οποίες μπορούν να προκύψουν μόνο με την εφαρμογή Γεωδαιτικών και Αστρονομικών μετρήσεων, είναι δυνατόν:

⊗ Από τις παραμέτρους ①, ②, να οριστεί με ακρίβεια της τάξης των $\pm 50^{\text{cc}}$ η διεύθυνση προσανατολισμού του μνημείου.

⊗ Αν είναι γνωστές οι παράμετροι ⑥ και ⑦ να προσδιοριστεί το **ουράνιο σώμα** (⑧), σε σχέση με το οποίο είναι προσανατολισμένο το μνημείο.

⊗ Αν είναι γνωστές οι παράμετροι ⑦ και ⑧ να βρεθεί **η θεότητα (ή ο άγιος)** στην οποία είναι αφιερωμένο το μνημείο (⑥).

⊗ Αν είναι γνωστές οι παράμετροι ⑥ και ⑧ να προσδιοριστεί **η χρονική περίοδος κτίσης** (⑦) του μνημείου.

Με την εφαρμογή της μεθοδολογίας είναι δυνατή και η **χρονολόγηση ενός μνημείου** με αβεβαιότητα που κυμαίνεται θεωρητικά από ± 2 έτη έως ± 40 έτη, αν θεωρηθεί ότι η αβεβαιότητα που μπορεί να επιτευχθεί στη διερεύνηση του προσανατολισμού του μνημείου κυμαίνεται από $\pm 55^{\text{cc}}$ έως $\pm 3.5^{\text{c}}$, όταν το μνημείο είναι προσανατολισμένο στον ήλιο, ενώ στην εφαρμογή η αβεβαιότητα χρονολόγησης των ναών κυμαίνεται από ± 2 έτη έως ± 140 έτη περίπου. Το στοιχείο αυτό συνδυαζόμενο κατάλληλα και με άλλα που προκύπτουν από μελέτες άλλων επιστημών, μπορεί να λύσει το πρόβλημα χρονολόγησης μνημείων όλων των εποχών, αρχαίων (προχριστιανικών) και χριστιανικών, που εμφανίζεται σήμερα.

Η προτεινόμενη μεθοδολογία είναι επιστημονικά τεκμηριωμένη ώστε να γίνεται με **ορθότητα και υψηλή ακρίβεια ο ορισμός και η ερμηνεία του προσανατολισμού μνημείων**. Είναι λοιπόν σημαντική και απαραίτητη η συμβολή των Γεωδαιτικών και Αστρονομικών μεθόδων στη διερεύνηση αυτή.

7.2 Προτάσεις

Η εργασία αυτή όπως προαναφέρθηκε έχει ως στόχο να αναδείξει τη συμβολή των Γεωδαιτικών και Αστρονομικών μεθόδων στη διερεύνηση του προσανατολισμού μνημείων. Ο τρόπος και η ακρίβεια κυρίως με την οποία αυτό επιτυγχάνεται μπορεί και πρέπει να αξιοποιηθούν σε βοήθεια της επιστήμης της Αρχαιοαστρονομίας και της Αρχαιολογίας.

● Η αξιοποίηση της συγκεκριμένης μεθοδολογίας προτείνεται να αποτελέσει την απαρχή για τη δημιουργία μιας βάσης δεδομένων (GIS) προσανατολισμένων μνημείων τόσο στο Διεθνή όσο και στον Ελλαδικό χώρο. Προτείνεται λοιπόν η δημιουργία μιας βάσης δεδομένων που θα περιέχει:

- Τη γεωμετρική τεκμηρίωση του μνημείου με τα ακριβή γεωμετρικά στοιχεία της κάτοψής του.
- Τη θέση του μνημείου στο χώρο σε ένα ενιαίο σύστημα αναφοράς (κρατικό σύστημα αναφοράς, για την Ελλάδα το ΕΓΣΑ '87).
- τον ακριβή αστρονομικό προσανατολισμό του.
- την ερμηνεία του προσανατολισμού αυτού.
- όλα τα ιστορικά στοιχεία που αφορούν στο μνημείο.
- τη χρονολόγησή του.

Η ύπαρξη μιας τέτοιας βάσης δεδομένων θα βοηθήσει τόσο στην ανάδειξη των μνημείων όσο και στην πλήρη αξιολόγηση των στοιχείων ιστορικής και πολιτισμικής κληρονομιάς, που κληροδοτούν στο πέρασμα των αιώνων. Τα μνημεία που θα περιλαμβάνονται σε μια τέτοια βάση δεδομένων, μπορεί να είναι νεολιθικά, αρχαία, προχριστιανικά, χριστιανικά, βυζαντινά και νεότερα.

● Προτείνεται ακόμη η εφαρμογή της μεθοδολογίας είτε για την επιβεβαίωση της χρονολόγησης μνημείων είτε και για την εξαρχής χρονολόγηση άλλων, όπου αυτό δεν είναι δυνατόν μέχρι σήμερα να γίνει με την παρέμβαση άλλων επιστημών και μεθόδων.

● Επίσης προτείνεται η εφαρμογή της μεθοδολογίας για τη διερεύνηση του προσανατολισμού χαρακτηριστικών παγκόσμιων μνημείων (π.χ πυραμίδες, Παρθενώνας και άλλα) σε σχέση με τα

ουράνια σώματα, πράγμα που δεν έχει γίνει ακόμη αξιόπιστα και με τέτοιας τάξης ακρίβεια.

- Ενδιαφέρον παρουσιάζει ακόμη και η διερεύνηση της δυνατότητας χρονολόγησης μνημείων με βάση τη μεταβολή της θέσης άλλων ουρανίων σωμάτων εκτός του ήλιου. Μ' αυτό τον τρόπο, λόγω του μεγέθους των αστερών, της ακριβούς γνώσης της μεταβολής της θέσης τους με το χρόνο και την μεγάλη ακρίβεια προσδιορισμού του προσανατολισμού που εξασφαλίζει η προτεινόμενη μεθοδολογία, υπάρχει ίσως η δυνατότητα χρονολόγησής τους με αβεβαιότητα, μικρότερη των 10 ετών.

- Προτείνεται τέλος η αξιοποίηση της συγκεκριμένης μεθοδολογίας προκειμένου να προσανατολίζονται στο μέλλον οι ναοί που οικοδομούνται, στη σωστή διεύθυνση, σύμφωνα με τις παραδόσεις και το τελετουργικό της χριστιανικής θρησκείας. Μπορεί λοιπόν να προσδιοριστεί με ακρίβεια η διεύθυνση του κατά μήκος άξονα του υπό ανέγερση ναού σύμφωνα με τον ορίζοντα που βρίσκεται στη θέση που πρόκειται να οικοδομηθεί και την ημερομηνία εορτής του Αγίου στον οποίο θα αφιερωθεί ο ναός. Η διεύθυνση αυτή μπορεί να υλοποιηθεί στο έδαφος με γεωδαιτικές μεθόδους και ακρίβεια μερικών mm.

Από όλα τα παραπάνω είναι σαφής η χρησιμότητα και η προσφορά της μεθοδολογίας τόσο στην Αρχαιοαστρονομία όσο και στην Αρχαιολογία αλλά και στη σημερινή εποχή. Επιβάλλεται η συνεργασία της Γεωδαισίας και της Αστρονομίας με τις άλλες επιστήμες για την ορθή και ακριβή διερεύνηση και ερμηνεία του προσανατολισμού των μνημείων ή για τον ορθό προσανατολισμό των χριστιανικών ναών που σήμερα οικοδομούνται.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΚΟΡΥΦΕΣ ΤΟΥ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

➤ **T₀** : Βάθρο της ΓΥΣ (Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού) στην κορυφή του λόφου, που βρίσκεται βορειοανατολικά της ιεράς μονής Αγίου Στεφάνου.

Όνομασία: T₀ (Βαμβακιά)



➤ **T₁** : Σημείο που σημάνθηκε με ορειχάλκινο μπουλόνι και βρίσκεται στο δρόμο που οδηγεί στην ιερά μονή Μεγάλου Μετεώρου, μεταξύ αυτής και της ιεράς μονής Βαρλαάμ.

➤ **T₂** : Σημείο που σημάνθηκε με ορειχάλκινο μπουλόνι και βρίσκεται στον κυκλικό περίβολο, στην είσοδο της ιεράς μονής Ρουσάνου.

➤ **T₃** : Σημείο που σημάνθηκε με ειδικό καρφί και βρίσκεται στο δρόμο που οδηγεί από το χωριό Καστράκι στα Μετέωρα, στην άκρη του οδοστρώματος, κάτω ακριβώς από την ιερά μονή Αγίου Νικολάου Αναπαυσά.

➤ **T₄** : Σημείο που σημάνθηκε με ορειχάλκινο μπουλόνι και βρίσκεται νοτιοανατολικά της ιεράς μονής Αγίου Στεφάνου, μεταξύ αυτής και της ιεράς μονής Αγίας Τριάδας.

➤ **T₅** : Σημείο που σημάνθηκε με ειδικό καρφί και βρίσκεται στον περίβολο του ιερού ναού της Κοίμησης της Θεοτόκου, στην Καλαμπάκα.

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΠΟΛΥΓΩΝΟΜΕΤΡΙΑΣ

Στις επόμενες παραγράφους γίνεται αναλυτική παρουσίαση των στοιχείων που αφορούν στα πολυγωνομετρικά δίκτυα που αναπτύχθηκαν στο χώρο της κάθε μονής για τις ανάγκες της αποτύπωσης. Αξίζει σ' αυτό το σημείο να αναφερθεί ότι για τη μέτρηση των στοιχείων των δικτύων (λόγω των ιδιαίτερων γεωμετρικών σχημάτων που αυτά έχουν) έγινε με τη χρήση της μεθόδου των **τριών τριπόδων**, με τη βοήθεια της οποίας αποφεύγονται σφάλματα κέντρωσης, εξασφαλίζεται η ορθότητα των μετρήσεων του δικτύου και επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ακρίβεια στα αποτελέσματα.

►► Ιερά μονή Μεγάλου Μετεώρου

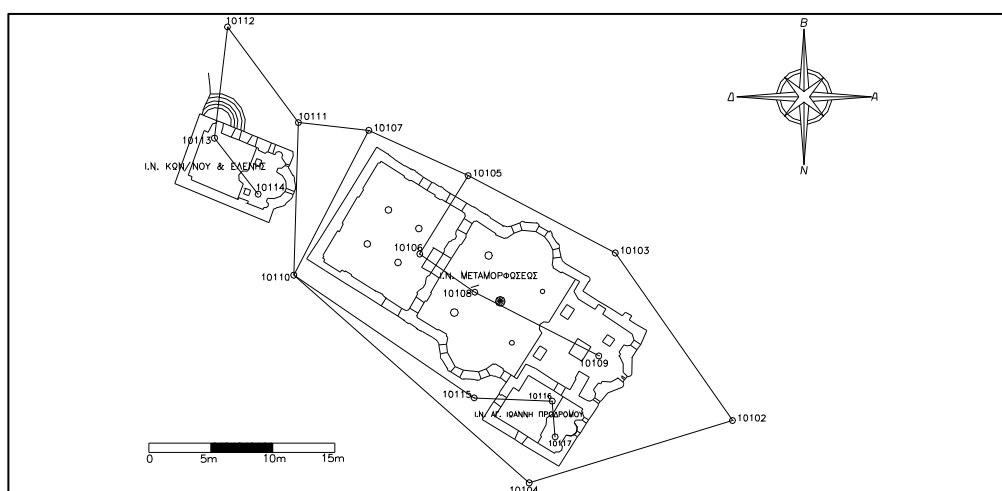
Το πολυγωνομετρικό δίκτυο καλύπτει τόσο τον εξωτερικό, όσο και τον εσωτερικό χώρο των τριών ναών για την πληρέστερη αποτύπωσή τους. Αποτελείται από δεκαοκτώ (18) κορυφές και συνδέθηκε με το τρισδιάστατο γεωδαιτικό δίκτυο που εγκαταστάθηκε στην περιοχή των Μετεώρων, μέσω της κορυφής T1. Μετρήθηκαν τα στοιχεία των οδεύσεων και από την επίλυσή τους προσδιορίστηκαν οι συντεταγμένες (X, Y, H) των κορυφών τους, οι οποίες εμφανίζονται στον πίνακα Α1. Η μορφή του δικτύου φαίνεται στο σχήμα Α1.

a/a	X(m)	Y(m)	H(m)
10101	296455.57	4399738.08	583.24
10102	296429.21	4399778.47	586.96
10103	296419.75	4399791.97	587.35
10104	296412.79	4399773.45	588.99
10105	296407.86	4399798.21	587.50
10106	296403.95	4399791.90	587.31
10107	296399.84	4399801.87	588.25
10108	296408.40	4399788.82	587.53
10109	296418.41	4399783.68	587.70
10110	296393.78	4399790.19	590.15
10111	296394.15	4399802.49	590.91
10112	296388.43	4399810.20	591.35
10113	296387.38	4399801.23	592.06
10114	296390.91	4399796.72	592.13
10115	296408.35	4399780.30	587.80
10116	296414.65	4399780.04	587.67
10117	296414.89	4399777.16	587.77
10118	296409.38	4399788.62	587.53

Πίνακας Α1 : Συντεταγμένες κορυφών πολυγωνομετρικού δικτύου στην ιερά μονή Μεγάλου Μετεώρου.

Η ιερά μονή Μεγάλου Μετεώρου βρίσκεται σε μέσο $X = 296400\text{m}$, μέσο $Y = 4399780\text{m}$ και μέσο $H = 590\text{m}$ από τη μέση στάθμη της θάλασσας.

Επειδή για τον ιερό ναό των Αγίου Κωνσταντίνου και Ελένης ο ορίζοντάς του είναι ο ναός της Μεταμορφώσεως, έγιναν μετρήσεις τόσο της εγκάρσιας τομής του ναού που διέρχεται από το κέντρο του τρούλλου, όσο και της δυτικής όψης του, για τη σχεδίαση αυτού του αισθητού ορίζοντα.

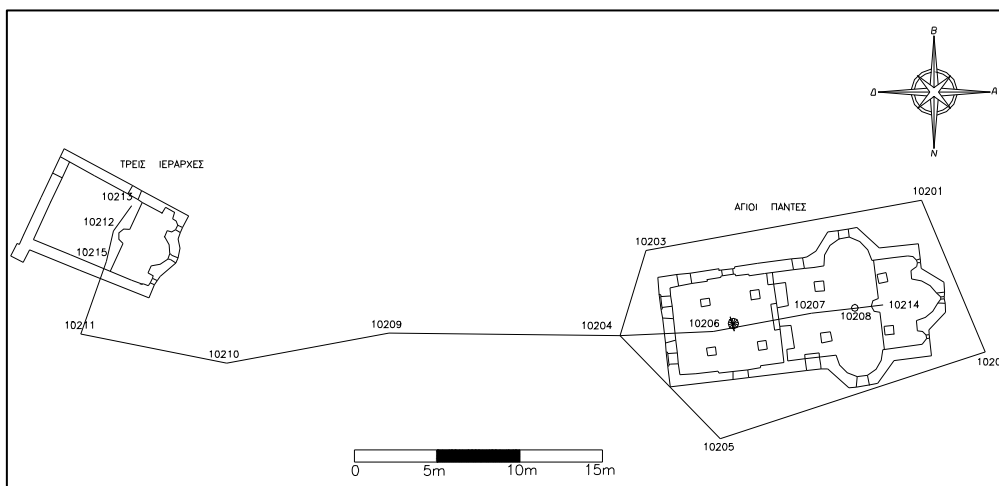


Σχήμα Α1 : Πολυγωνομετρικό δίκτυο στην ιερά μονή Μεγάλου Μετεώρου

Η αποτύπωση περιλαμβάνει και τη λήψη των στοιχείων που ορίζουν την οριζόντια τομή του τρούλλου του ναού της Μεταμορφώσεως στην οποία εμφανίζονται όλα τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του (θέσεις και διαστάσεις ανοιγμάτων, διάμετρος).

►► **Ιερά μονή Βαρλαάμ**

Το δίκτυο αποτελείται από 15 συνολικά κορυφές και συνδέθηκε με το τριγωνομετρικό δίκτυο μέσω της κορυφής T1. Έγιναν οι απαραίτητες μετρήσεις και από την επίλυση του δικτύου προέκυψαν οι συν/νες (X , Y , H) των κορυφών του, που φαίνονται στον πίνακα Α2. Η μορφή του δικτύου φαίνεται στο σχήμα Α2.



Σχήμα Α2 : Πολυγωνομετρικό δίκτυο στην ιερά μονή Βαρλαάμ

α/α	X(m)	Y(m)	H(m)
10201	296744.73	4399647.71	551.17
10202	296748.59	4399638.55	550.58
10203	296728.07	4399644.67	550.35
10204	296726.50	4399639.52	549.76
10205	296732.55	4399633.30	549.88
10206	296732.14	4399639.78	549.94
10207	296738.08	4399640.88	550.32
10208	296740.99	4399641.21	550.38
10209	296712.52	4399639.67	549.82
10210	296702.70	4399637.87	549.41
10211	296693.88	4399639.62	549.35
10212	296695.86	4399645.85	550.87
10213	296696.96	4399647.39	550.88
10214	296742.41	4399641.37	550.53
10215	296695.42	4399644.02	550.88

Πίνακας Α2 : Συντεταγμένες κορυφών πολυγωνομετρικού δικτύου στην ιερά μονή Βαρλαάμ.

Παρατηρούμε ότι η μονή Βαρλαάμ βρίσκεται σε μέσο $X = 296720m$, μέσο $Y = 4399645m$ και μέσο $H = 551m$ από τη μέση στάθμη της θάλασσας.

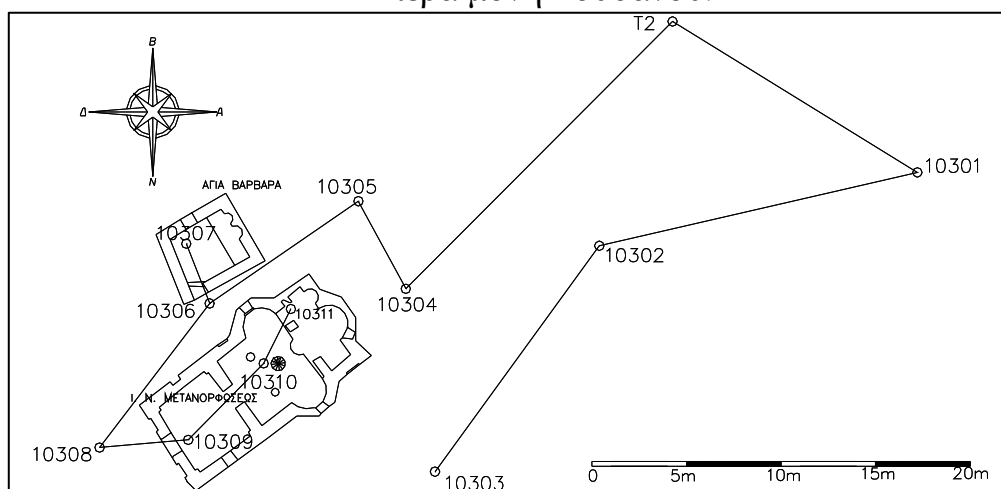
Η αποτύπωση περιλαμβάνει και τη λήψη των στοιχείων που ορίζουν την οριζόντια τομή των τρούλλων, στην οποία εμφανίζονται όλα τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά τους (θέσεις και διαστάσεις ανοιγμάτων, διάμετρος)

►► Ιερά μονή Ρουσάνου

Στην ιερά μονή Ρουσάνου οι γεωδαιτικές μετρήσεις παρουσιάζουν ιδιαιτερότητες. Αυτές οφείλονται στο γεγονός ότι δεν είναι δυνατή η εγκατάσταση περιμετρικού δικτύου, εξαιτίας της θέσης των δύο ναών πάνω στο βράχο. Το πολυγωνομετρικό δίκτυο εδώ αναπτύχθηκε έτσι ώστε να καλυφθούν οι ανάγκες αποτύπωσης τόσο του ναού της Μεταμορφώσεως, όσο και του παρεκκλησίου της Αγίας Βαρβάρας. Το δίκτυο αυτό αποτελείται από 13 συνολικά κορυφές και η σύνδεσή τους με το τρισδιάστατο γεωδαιτικό δίκτυο έγινε χρησιμοποιώντας την κορυφή T2, που βρίσκεται στην είσοδο της μονής. Οι συντεταγμένες των σημείων εμφανίζονται στον πίνακα Α3, ενώ η μορφή και το μέγεθος του πολυγωνομετρικού δικτύου παρουσιάζονται στο σχήμα Α3.

α/α	X(m)	Y(m)	H(m)
10301	296905.06	4399256.95	473.14
10302	296888.24	4399253.07	467.82
10303	296879.55	4399241.13	468.17
10304	296878.00	4399250.80	485.23
10305	296875.49	4399255.43	485.16
10306	296867.63	4399250.02	483.37
10307	296866.39	4399253.18	483.05
10308	296861.81	4399242.41	483.30
10309	296866.50	4399242.82	483.40
10310	296870.48	4399246.85	483.44
10311	296871.92	4399249.73	483.61
10312	296886.46	4399259.10	484.20
10313	296870.72	4399246.50	483.43

Πίνακας Α3 : Συντεταγμένες κορυφών πολυγωνομετρικού δικτύου στην ιερά μονή Ρουσάνου.



Σχήμα Α3: Πολυγωνομετρικό δίκτυο στην ιερά μονή Ρουσάνου

Παρατηρούμε ότι οι συν/νες της ιεράς μονής Ρουσάνου είναι:

$$X_{\text{μέσο}} = 296870 \text{ m}$$

$$Y_{\text{μέσο}} = 4399250 \text{ m}$$

$$H_{\text{μέσο}} = 483 \text{ m}$$

Έγινε επίσης αποτύπωση των στοιχείων που συνθέτουν την οριζόντια τομή του τρούλλου του ναού της Μεταμορφώσεως.

►► Ιερά μονή Αγίου Νικολάου Αναπαυσά

Στην ιερά μονή Αγίου Νικολάου Αναπαυσά οι γεωδαιτικές εργασίες παρουσιάζουν ιδιαίτερες δυσκολίες λόγω του τοπογραφικού αναγλύφου (απότομες κλίσεις) και γι' αυτόν το λόγο δεν είναι δυνατή η ίδρυση περιμετρικού δικτύου. Το πολυγωνομετρικό δίκτυο αποτελείται από 13 κορυφές και συνδέθηκε με το τρισδιάστατο γεωδαιτικό δίκτυο μέσω της κορυφής T3 και στη συνέχεια αναπτύχθηκε στο εσωτερικό της μονής.

Η επιλογή των κορυφών του πολυγωνομετρικού δικτύου παρουσιάζει ιδιαιτερότητες αφού οι τρεις ναοί είναι κτισμένοι σε διαφορετικά επίπεδα (ορόφους).

Οι συντεταγμένες των κορυφών του δικτύου παρουσιάζονται στον πίνακα A4. Η μορφή του δικτύου εμφανίζεται στο σχήμα A4.

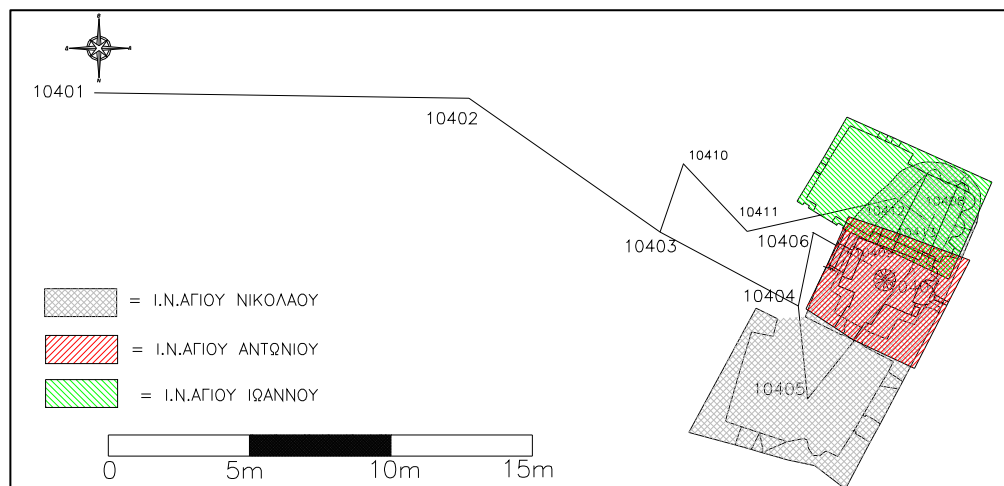
α/α	X(m)	Y(m)	H(m)
10401	296242.69	4399516.39	419.15
10402	296255.95	4399516.19	417.03
10403	296262.71	4399511.46	411.74
10404	296267.59	4399508.85	409.85
10405	296267.92	4399505.57	409.82
10406	296268.13	4399511.44	408.16
10407	296271.51	4399510.04	409.83
10408	296272.41	4399512.10	409.95
10409	296270.19	4399510.28	407.47
10410	296263.53	4399513.88	413.49
10411	296265.78	4399511.48	413.50
10412	296271.03	4399512.65	413.58
10413	296272.13	4399511.88	413.61

Πίνακας A4 : Συντεταγμένες κορυφών πολυγωνομετρικού δικτύου στην ιερά μονή Αγίου Νικολάου Αναπαυσά.

Παρατηρούμε ότι οι συν/νες της ιεράς μονής του Αγίου Νικολάου Αναπαυσά είναι : $X_{\text{μέσο}} = 296260\text{m}$, $Y_{\text{μέσο}} = 4399512\text{m}$, ενώ οι τρεις ναοί που βρίσκονται σε διαφορετικά επίπεδα, έχουν αντίστοιχα υψόμετρο:

$H_{\text{ΑΓ. ΑΝΤΩΝΙΟΥ}} = 407.47\text{ m}$, $H_{\text{ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΥ}} = 409.95\text{ m}$

$H_{\text{ΑΓ. ΙΩΑΝΝΟΥ}} = 413.61\text{ m}$



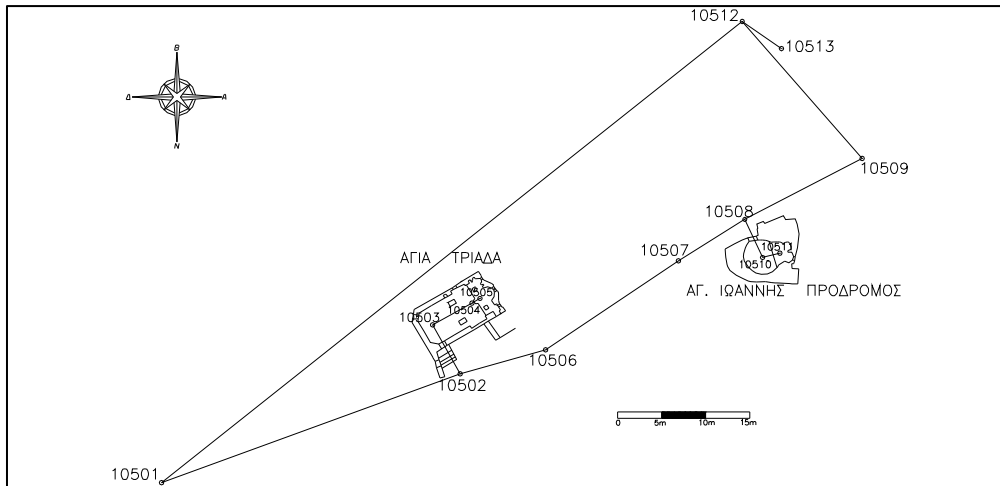
Σχήμα Α4 : Πολυγωνομετρικό δίκτυο στην ιερά μονή Αγίου Νικολάου Αναπαυσά

►► Ιερά μονή Αγίας Τριάδος

Το πολυγωνομετρικό δίκτυο στην ιερά μονή αποτελείται συνολικά από 14 κορυφές και συνδέεται με το τρισδιάστατο γεωδαιτικό δίκτυο, μέσω της κορυφής T4. Οι συντεταγμένες των κορυφών του φαίνονται στον πίνακα Α5.

<i>a/a</i>	X(m)	Y(m)	H(m)
10501	297136.44	4398283.79	535.37
10502	297170.40	4398296.16	531.46
10503	297167.27	4398301.73	532.36
10504	297171.75	4398304.21	532.37
10505	297172.67	4398304.73	532.50
10506	297180.13	4398298.90	529.29
10507	297195.22	4398309.21	528.63
10508	297202.77	4398313.71	525.33
10509	297216.12	4398320.64	523.99
10510	297204.80	4398309.39	525.70
10511	297206.75	4398309.88	525.75
10512	297202.48	4398336.21	527.34
10513	297206.95	4398333.12	526.97
10514	297216.09	4398315.28	523.95

Πίνακας Α5 : Συντεταγμένες κορυφών πολυγωνομετρικού δικτύου στην ιερά μονή Αγίας Τριάδος.

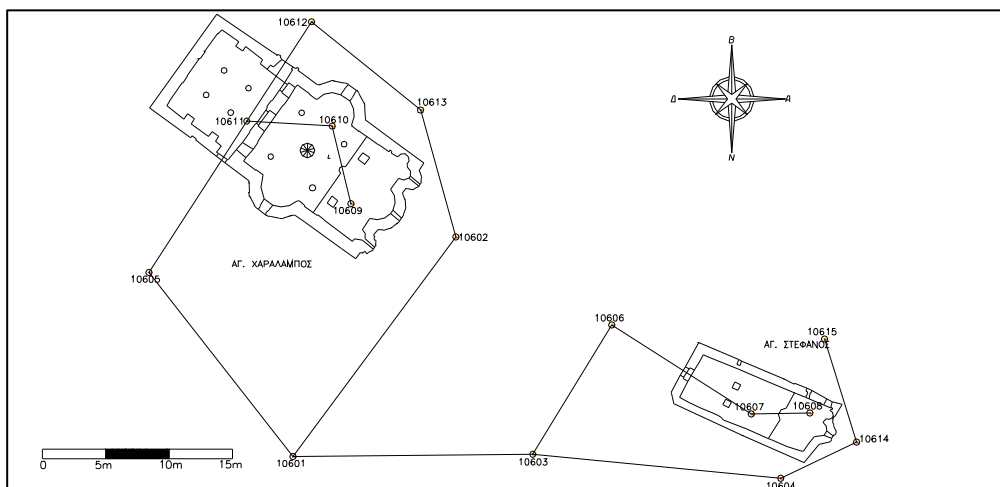


Σχήμα Α5: Πολυγωνομετρικό δίκτυο στην ιερά μονή Αγίας Τριάδος

Παρατηρούμε, ότι η ιερά μονή της Αγίας Τριάδος βρίσκεται σε μέσο $X = 297190\text{m}$, μέσο $Y = 4398300\text{m}$, ενώ ο ναός της Αγίας Τριάδος και το παρεκκλήσι του Τιμίου Προδρόμου βρίσκονται σε υψόμετρο $H = 532.4\text{m}$ και $H = 525.7\text{m}$ αντίστοιχα από τη μέση στάθμη της θάλασσας. Στο σχήμα Α5 φαίνεται η μορφή του πολυγωνομετρικού δικτύου.

►► Ιερά μονή Αγίου Στεφάνου

Το πολυγωνομετρικό δίκτυο εδώ αποτελείται από 16 κορυφές, αναπτύσσεται έτσι ώστε να καλύπτει τόσο τους εσωτερικούς χώρους των δύο ναών, όσο και τους εξωτερικούς (σχήμα Α6). Συνδέθηκε με το τρισδιάστατο γεωδαιτικό δίκτυο μέσω της κορυφής T4. Από την επίλυση του δικτύου προσδιορίστηκαν οι συντεταγμένες των κορυφών του (Πίνακας Α6).



Σχήμα Α6.: Πολυγωνομετρικό δίκτυο στην ιερά μονής Αγίου Στεφάνου

a/a	X(m)	Y(m)	H(m)
10601	297404.85	4397833.26	528.01
10602	297417.72	4397850.59	529.32
10603	297423.80	4397833.45	528.55
10604	297443.39	4397831.55	531.41
10605	297393.47	4397847.80	528.00
10606	297430.03	4397843.65	528.73
10607	297441.06	4397836.63	528.53
10608	297445.68	4397836.70	528.68
10609	297409.43	4397853.22	530.13
10610	297407.95	4397859.35	529.97
10611	297401.20	4397859.74	529.85
10612	297406.31	4397867.58	529.88
10613	297414.93	4397860.62	530.06
10614	297449.37	4397834.40	528.81
10615	297446.84	4397842.55	528.34
10616	297448.44	4397834.00	529.20

Πίνακας Α6 : Συντεταγμένες κορυφών πολυγωνομετρικού δικτύου στην ιερά μονή Αγίου Στεφάνου.

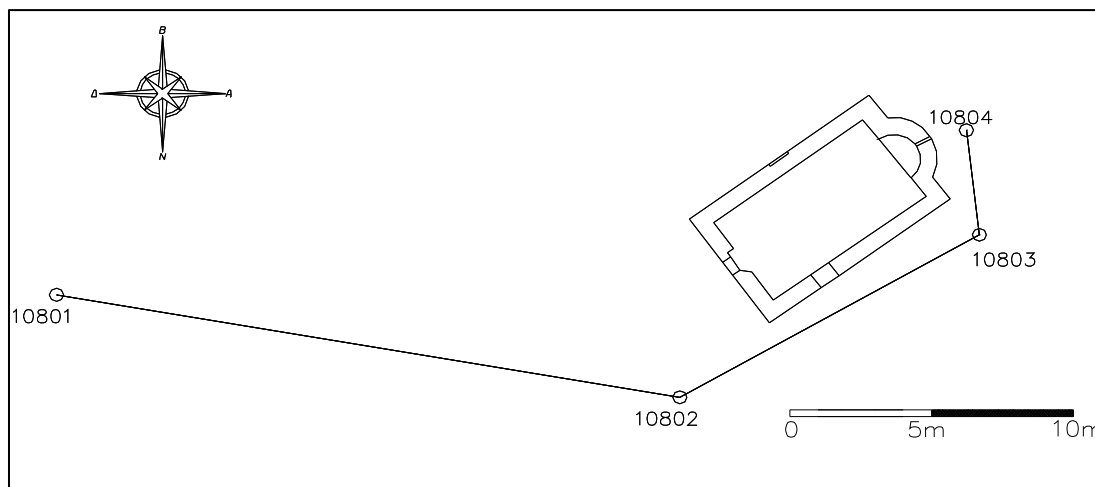
Παρατηρούμε ότι οι συντεταγμένες της μονής έχουν κατά μέσο όρο τιμές: $X_{\text{μέσο}} = 297425 \text{ m}$, $Y_{\text{μέσο}} = 4397840 \text{ m}$, $H_{\text{μέσο}} = 528 \text{ m}$

Ακολούθησε η αποτύπωση των δύο ναών που περιελάμβανε, εκτός των άλλων, και οριζόντια τομή του τρούλλου του Αγίου Χαραλάμπους. Ακόμη αποτυπώθηκαν και τα κτήρια που βρίσκονται μεταξύ των δύο ναών, αφού από ιστορικά στοιχεία είναι γνωστό ότι προϋπήρχαν η παλαιά τράπεζα και τα κελιά πριν την οικοδόμηση του ιερού ναού του Αγίου Χαραλάμπους. Τα κτήρια αυτά επομένως αποτελούν τον ορίζοντα του ναού και για αυτό λήφθηκαν και στοιχεία για τη σχεδίαση της όψης τους όπως αυτά φαίνονται από το ναό του Αγίου Χαραλάμπους.

►► Ο Ιερός ναός Παναγίας της Δούπιανης

Οι γεωδαιτικές εργασίες στο μικρό ναό της Παναγίας της Δούπιανης έγιναν σε μικρότερο χρονικό διάστημα λόγω του σχήματος και του μεγέθους του. Εγκαταστάθηκε ένα εξωτερικό πολυγωνομετρικό δίκτυο, το οποίο συνδέθηκε με το τρισδιάστατο γεωδαιτικό δίκτυο μέσω της κορυφής T3 που βρίσκεται κάτω από τη μονή του Αγίου Νικολάου Αναπαυσά. Επιλύθηκε η όδευση, η οποία αποτελείται από 4 κορυφές, και προσδιορίστηκαν οι συντεταγμένες τους, οι οποίες εμφανίζονται στον

Πίνακα Α7 ,ενώ η μορφή του σχήματος της όδευσης φαίνεται στο σχήμα Α7.



Σχήμα Α7: Πολυγωνομετρικό δίκτυο στον ιερό ναό Παναγίας της Δούπιανης.

α/α	X(m)	Y(m)	H(m)
10801	295795.17	4399215.04	314.58
10802	295817.15	4399211.10	311.41
10803	295827.70	4399217.35	311.01
10804	295827.25	4399221.38	311.37

Πίνακας Α7 : Συντεταγμένες κορυφών πολυγωνομετρικού δικτύου στον ιερό ναό Παναγίας της Δούπιανης.

Παρατηρούμε, ότι ο ναός της Παναγίας της Δούπιανης βρίσκεται σε μέσο $X = 295800m$, μέσο $Y = 4399215m$ και σε υψόμετρο $H = 311.40m$ από τη μέση στάθμη της θάλασσας.

Η αποτύπωση του εσωτερικού χώρου του ναού πραγματοποιήθηκε με τοπομετρικές μετρήσεις, δεδομένου ότι ο ναός δεν ήταν ανοικτός για αρκετή ώρα, ώστε να υπάρχει πρόσβαση στο εσωτερικό του και ο απαραίτητος χρόνος για την πραγματοποίηση των μετρήσεων με γεωδαιτικά όργανα. Η απλότητα του σχήματός του και το μικρό του μέγεθος επέτρεπαν να γίνουν οι μετρήσεις με αυτό τον τρόπο.

►► Ο ιερός ναός Κοιμήσεως της Θεοτόκου (Παναγία) στην Καλαμπάκα

Στον Ιερό ναό της Κοιμήσεως της Θεοτόκου στην Καλαμπάκα, οι γεωδαιτικές εργασίες πραγματοποιήθηκαν με μεγαλύτερη άνεση, αφού η πρόσβαση στο χώρο του ναού είναι ευκολότερη.

Το πολυγωνομετρικό δίκτυο, αποτελείται από 10 κορυφές και εξαρτήθηκε από το τριγωνομετρικό χρησιμοποιώντας την κορυφή T5, που βρίσκεται στον περίβολο του ναού. Από την επίλυση του δικτύου προσδιορίστηκαν οι συντεταγμένες X,Y,H των κορυφών του (Πίνακας A8).

α/α	X(m)	Y(m)	H(m)
10701	296467.34	4397951.05	280.03
10702	296517.38	4397970.65	283.17
10703	296515.94	4397967.18	283.11
10704	296521.38	4397964.17	283.27
10705	296502.70	4397967.81	283.17
10706	296498.29	4397966.44	283.17
10707	296492.68	4397965.95	282.87
10708	296533.04	4397954.06	279.62
10709	296537.43	4397973.70	282.08
10710	296528.34	4397948.09	279.59

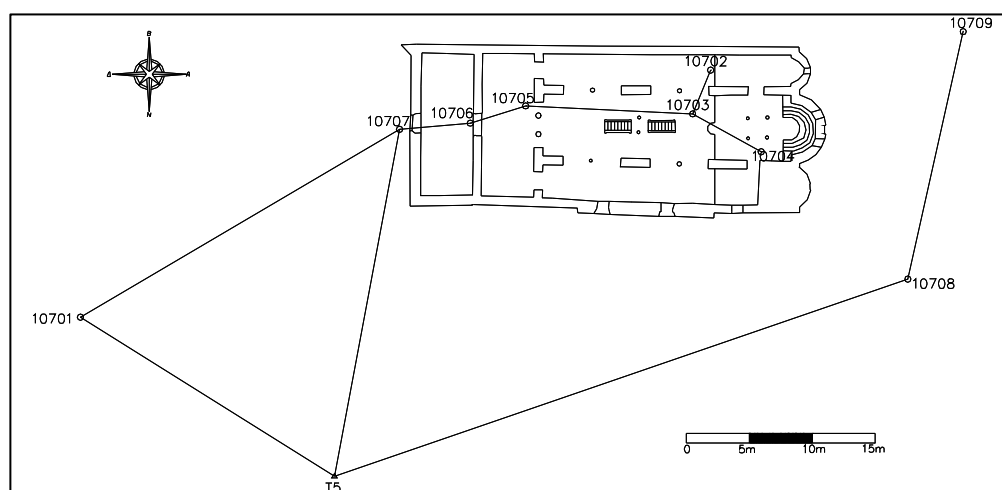
Πίνακας A8 : Συντεταγμένες κορυφών πολυγωνομετρικού δικτύου στον ιερό ναό Κοιμήσεως της Θεοτόκου στην Καλαμπάκα.

Παρατηρούμε ότι ο ιερός ναός της Κοιμήσεως της Θεοτόκου βρίσκεται σε συντεταγμένες:

$$X_{\text{μέσο}} = 296500 \text{ m}$$

$$Y_{\text{μέσο}} = 4397960 \text{ m}$$

$$H_{\text{μέσο}} = 283 \text{ m}$$



Σχήμα A8 : Πολυγωνομετρικό δίκτυο στον ιερό ναό Κοιμήσεως της Θεοτόκου στην Καλαμπάκα

Στο σχήμα A8 φαίνεται η μορφή του πολυγωνομετρικού δικτύου που χρησιμοποιήθηκε για τις τοπογραφικές εργασίες.

Στον Πίνακα Α9 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στατιστικά στοιχεία που αφορούν στις γεωδαιτικές εργασίες στις έξι μονές των Μετεώρων, στον ιερό ναό της Παναγίας της Δούπιανης και στον ιερό ναό της Κοιμήσεως της Θεοτόκου στην Καλαμπάκα, τόσο στην ίδρυση των δικτύων, όσο και στην αποτύπωση των σημείων λεπτομερειών.

ΜΟΝΗ	ΣΥΝΟΛΟ ΚΟΡΥΦΩΝ ΠΟΛΥΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ	ΣΥΝΟΛΟ ΣΗΜΕΙΩΝ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ
ΜΕΓΑΛΟ ΜΕΤΕΩΡΟ	18	650
ΒΑΡΛΑΑΜ	15	300
ΡΟΥΣΑΝΟΥ	13	250
ΑΓΙΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΑΝΑΠΑΥΣΑΣ	13	250
ΑΓΙΑ ΤΡΙΑΔΑ	14	250
ΑΓΙΟΣ ΣΤΕΦΑΝΟΣ	16	450
Ι.Ν ΠΑΝΑΓΙΑΣ ΤΗΣ ΔΟΥΠΙΑΝΗΣ	4	50
Ι.Ν. ΚΟΙΜΗΣΕΩΣ ΤΗΣ ΘΕΟΤΟΚΟΥ (ΚΑΛΑΜΠΑΚΑ)	10	250
ΣΥΝΟΛΟ	103	2450

Πίνακας Α9 : Συγκεντρωτικά στοιχεία από τις γεωδαιτικές μετρήσεις

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΚΟΥ ΑΖΙΜΟΥΘΙΟΥ

Προσδιορισμός αζιμουθίου από Πολικό		Ημερομηνία : 16 Μαΐου 2000		
Σημείο παρατήρησης : T2 Σημείο μηδενισμού : T1 Γωνία μηδενισμού : 0.0000				
Γεωγραφικό πλάτος $\phi = 39^\circ 43' 08.738''$ Γεωγραφικό μήκος $\lambda = 21^\circ 37' 49.338''$				
Ωρα έναρξης παρατήρησης : $21^h 37^m 12^s$				
α/α	Ανάγνωση οριζόντιας γωνίας στον Πολικό (grad)	Αζιμούθιο T2 – T1 (grad)	Υπόλοιπα (cc)	Μερικός Χρόνος Παρατήρησης (min)
1	20.78976	378.73236	9.0	0.0000
2	20.79505	378.72900	-23.7	0.4667
3	20.79563	378.73014	-12.6	0.8833
4	20.79667	378.72952	-18.6	0.9833
5	20.80902	378.72977	-16.2	4.0167
6	20.80821	378.73113	-3.0	4.1500
7	20.81168	378.73038	-10.5	4.8000
8	20.81137	378.73214	6.9	5.1500
9	20.81307	378.73177	3.3	5.4667
10	20.81600	378.73247	9.9	6.3333
11	20.82880	378.73178	3.3	9.2167
12	20.82986	378.73331	18.3	9.8333
13	20.83211	378.73141	-0.3	9.9167
14	20.83170	378.73302	15.3	10.2000
15	20.83851	378.73227	7.1	11.6333
16	20.83868	378.73280	13.2	11.8000
17	20.84076	378.73129	-1.5	11.9333
18	20.84055	378.73283	13.5	12.2500
19	20.84359	378.73277	12.9	12.9500
20	20.84877	378.73034	-10.8	13.6000
21	20.85787	378.72989	15.0	15.6333
22	20.85653	378.73166	2.1	15.7333
23	20.85813	378.73120	-2.4	16.0000
<i>Τελική τιμή αζιμουθίου T2 – T1</i>		<i>Τυπικό σφάλμα της καλλίτερης τιμής</i>		
$\alpha_{T2-T1} = 378^g .73145$		$\sigma_{\alpha_{T2-T1}} = \pm 2.6^{cc}$		

Πίνακας A10 : Στοιχεία προσδιορισμού του αστρονομικού αζιμουθίου T2 – T1

Προσδιορισμός αζιμουθίου από Πολικό			Ημερομηνία : 16 Μαΐου 2000	
Σημείο παρατήρησης : T4 Σημείο μηδενισμού : T0 Γωνία μηδενισμού : 0.0020				
Γεωγραφικό πλάτος $\varphi = 39^\circ 42' 27.206''$ Γεωγραφικό μήκος $\lambda = 21^\circ 38' 07.475''$				
Ωρα έναρξης παρατήρησης : $20^h 35^m 37^s$				
α/α	Ανάγνωση οριζόντιας γωνίας στον Πολικό (grad)	Αζιμούθιο T4 – T0 (grad)	Υπόλοιπα (cc)	Μερικός Χρόνος Παρατήρησης (min)
1	338.44167	60.84591	-1.8	0.0000
2	338.44345	60.84683	6.9	0.7833
3	338.44931	60.84478	-12.9	1.8833
4	338.44902	60.84710	9.6	2.4667
5	338.44927	60.84720	10.5	2.5667
6	338.45653	60.84762	14.7	4.7667
7	338.45970	60.84567	-4.2	5.1167
8	338.46051	60.84662	5.1	5.6167
9	338.46197	60.84540	-6.9	5.6833
10	338.46363	60.84521	-8.7	6.1000
11	338.46508	60.84558	-5.1	6.6167
12	338.46759	60.84483	-12.3	7.1167
13	338.46769	60.84557	-5.4	7.3500
14	338.46811	60.84639	2.7	7.7000
15	338.46923	60.84603	-0.9	7.9167
16	338.47068	60.84760	14.4	8.7667
17	338.47448	60.84481	-12.6	9.0500
18	338.47449	60.84516	-9.3	9.1500
19	338.47440	60.84632	2.1	9.4500
20	338.47735	60.84569	-4.2	10.1000
21	338.47604	60.84778	16.2	10.3167
22	338.48207	60.84587	-2.4	11.4667
23	338.48277	60.84541	-6.9	11.5333
24	338.48553	60.84589	-2.1	12.4333
25	338.48881	60.84749	13.5	13.7833
<i>Τελική τιμή αζιμουθίου T4 – T0</i>		<i>Τυπικό σφάλμα της καλλίτερης τιμής</i>		
$\alpha_{T4-T0} = 60^s .84411$		$\sigma_{\alpha_{T4-T0}} = \pm 1.9^{cc}$		

Πίνακας A11 : Στοιχεία προσδιορισμού του αστρονομικού αζιμουθίου T4 – T0

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

ΚΩΔΙΚΕΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ

Πρόγραμμα αναγωγής των σημείων του ορίζοντα Oriz.bas

```
DEFINT A-Z
```

```
Path$ = "C:\"
```

```
CLS
```

```
P# = 4# * (ATN(1#))           'Ο αριθμός 3.14  
T# = 1# / (ATN(P# * .0001# / 200#)) 'Ο αριθμός 636620  
TT# = T# / 10000#           '200/π  
TT1# = 1# / TT#             'π/200  
N = 37
```

```
XC# = 296873.574#
```

```
YC# = 4399248.646#
```

```
HC# = 485.1
```

```
PRINT "Αναγωγή ορίζοντα"
```

```
PRINT "Ανοιγμα αρχείων"
```

```
OPEN Path$ + "MDL.XYH" FOR INPUT AS #1 'Ανάγνωση τιμών
```

```
OPEN Path$ + "MDL.txt" FOR OUTPUT AS #3
```

```
REDIM X#(1 TO N), Y#(1 TO N), H#(1 TO N)
```

```
'ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΙΝΑΚΑ Α
```

```
FOR K = 1 TO N
```

```
    INPUT #1, K, X#, Y#, H#
```

```
    DY2# = Y# - YC#
```

```
    IF DY2# = 0# THEN
```

```
        AZ4# = 100#
```

```
    ELSE
```

```
        DX2# = X# - XC#
```

```
    IF DX2# = 0# THEN
```

```
        AZ4# = 0#
```

```
    ELSE
```

```
        Z8# = DX2# / DY2#
```

```
        AA4# = ATN(Z8#)
```

```
        AA4# = AA4# * TT#
```

```
    IF DX2# > 0# AND DY2# > 0# THEN
```

```
        AZ4# = AA4#
```

```
    ELSEIF DX2# > 0# AND DY2# < 0# THEN
```

```
        AZ4# = 200# + AA4#
```

```

ELSEIF DX2# < 0# AND DY2# < 0# THEN
  AZ4# = 200# + AA4#
ELSEIF DX2# < 0# AND DY2# > 0# THEN
  AZ4# = 400# + AA4#
END IF
END IF
END IF

AP# = SQR((X# - XC#) * (X# - XC#) + (Y# - YC#) * (Y# - YC#))
DHH# = H# - HC#
IF AP# = 0# THEN
  AZ5# = 100#
  IF DHH# = 0# THEN
    AZ5# = 0#
  ELSE
    Z9# = DHH# / AP#
    AA5# = ATN(Z9#)
    AA5# = AA5# * TT#

    IF DHH# > 0# AND AP# > 0# THEN
      AZ5# = AA5#
    ELSEIF DHH# > 0# AND AP# < 0# THEN
      AZ5# = 200# + AA5#
    ELSEIF DHH# < 0# AND AP# < 0# THEN
      AZ5# = 200# + AA5#
    ELSEIF DHH# < 0# AND AP# > 0# THEN
      AZ5# = 400# + AA5#
    END IF
  END IF
END IF
PRINT #3, USING "## 3###.####,###.####,0.000"; K; AZ4#; AZ5#
NEXT

CLOSE
END

```

Πρόγραμμα μετατροπής βαθμών (grad) σε μοίρες Mgrad.bas

```

DEFINT A-Z

Path$ = "C:\\"
CLS

N = 30

PRINT "Ανοιγμα αρχείων"

OPEN Path$ + "moires.txt" FOR INPUT AS #1 'Ανάγνωση τιμών

REDIM AZ$(1 TO N), U$(1 TO N)

```


'ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΙΝΑΚΑ Α

FOR K = 1 TO N

INPUT #1, AZ#, U#

M# = AZ#

GOSUB MOIRES

AZ#(K) = AZ1# * 100 / 90

IF U# < 0 THEN

U# = ABS(U#)

M# = U#

GOSUB MOIRES

U#(K) = -AZ1# * 100 / 90

ELSE

M# = U#

GOSUB MOIRES

U#(K) = AZ1# * 100 / 90

END IF

NEXT

OPEN Path\$ + "TELIKO.txt" FOR OUTPUT AS #3

FOR K = 1 TO N

PRINT #3, USING "## ###.####,###.####,0.000"; K; AZ#(K); U#(K)

NEXT

CLOSE

END

Περιοχή Υπορουτινών

MOIRES:

M# = M# / 10000

M1# = (M# - INT(M#)) * 100

M2# = INT(M1#) / 60

M3# = (M1# - INT(M1#)) / 36

AZ1# = INT(M#) + M2# + M3#

RETURN

Πρόγραμμα υπολογισμού αστρονομικού αζιμουθίου Azimuth.bas

```
DEFINT A-Z
CONST Isfalse = 0, IsTrue = NOT Isfalse

Path$ = "c:\\"
CLS

P# = 4# * (ATN(1#))
T# = 1# / (ATN(P# * .0001# / 200#))
TT# = T# / 10000#
TT1# = 1# / TT#
TT2# = 15# / 3600#
TT3# = P# / (12# * 3600#)

OPEN Path$ + "const.SEQ" FOR INPUT AS #5

INPUT #5, N, DELTA1#, DELTA2#, DUT#, F#, UO#, ALPHA1#, ALPHA2#, ALPHA3#, OP#,
LAMDA#, FI#

CLOSE #5

OPEN Path$ + "metrisi.odb" FOR INPUT AS #1

OPEN Path$ + "APOTEL.SEQ" FOR OUTPUT AS #3
OPEN Path$ + "U.SEQ" FOR OUTPUT AS #7

REDIM AD#(1 TO N), DI#(1 TO N), DDELTA#(1 TO N), W1A#(1 TO N), W2A#(1 TO N)
REDIM THITA#(1 TO N), ST#(1 TO N), A#(1 TO N), H#(1 TO N), d#(1 TO N)
REDIM PAR#(1 TO N), ARI#(1 TO N), AZ#(1 TO N)

    TIME# = UO#
    GOSUB TIME
    UO# = TOL#

    TIME# = ALPHA1#
    GOSUB TIME
    ALPHA1# = TOL#

    TIME# = ALPHA2#
    GOSUB TIME
    ALPHA2# = TOL#
    DA# = ALPHA2# - ALPHA1#

    TIME# = ALPHA3#
    GOSUB TIME
    ALPHA3# = TOL#
    DAA# = ALPHA3# - ALPHA2#

M# = LAMDA#
GOSUB MOIRES
LAMDA# = M5#
LAMDA# = LAMDA# / TT3#

M# = FI#
GOSUB MOIRES
FI# = M5#
M# = DELTA1#
```

```

GOSUB MOIRES
DELTA1# = M5#
M# = DELTA2#
GOSUB MOIRES
DELTA2# = M5#

FOR K = 1 TO N
  INPUT #1, pn, TIME#, O#, Z#
  GOSUB TIME
  THITA# = UO# + (TOL# + DUT#) * F#

  IF THITA# > 24# * 3600# THEN
    THITA#(K) = THITA# - 24# * 3600#
    ST#(K) = (THITA#(K) - ALPHA2#) / (24# * 3600# + DAA#)
  ELSE
    THITA#(K) = THITA#
    ST#(K) = (THITA#(K) - ALPHA1#) / (24# * 3600# + DA#)
  END IF

  DI#(K) = ST#(K) * DA#
  A#(K) = ALPHA1# + DI#(K)

H#(K) = (THITA#(K) + LAMDA# - A#(K)) * TT3#

  DDELTA#(K) = ST#(K) * (DELTA2# - DELTA1#)
  d#(K) = DDELTA#(K) + DELTA1#

  PAR#(K) = COS(FI#) * TAN(d#(K)) - SIN(FI#) * COS(H#(K))
  ARI#(K) = -SIN(H#(K))

  DX# = ARI#(K) / PAR#(K)
  AZ#(K) = ATN(DX#)

  AZ# = AZ#(K) * TT#

  IF ARI#(K) > 0# AND PAR#(K) > 0# THEN
    AZ# = AZ#
  ELSEIF ARI#(K) > 0# AND PAR#(K) < 0# THEN
    AZ# = 200# + AZ#
  ELSEIF ARI#(K) < 0# AND PAR#(K) > 0# THEN
    AZ# = 400# + AZ#
  ELSEIF ARI#(K) < 0# AND PAR#(K) < 0# THEN
    AZ# = 200# + AZ#
  END IF

  AD#(K) = AZ# - (O# - OP#)
  IF AD#(K) < 0# THEN AD#(K) = 400# + AD#(K)
NEXT

AD2# = ad1# / N
PRINT AD2#

FOR I = 1 TO N
  W2A#(I) = (AD2# - AD#(I))
  W3A# = W3A# + W2A#(I) * W2A#(I)
NEXT

FOR I = 1 TO N
  WRITE #7, W2A#(I)
NEXT
SO# = SQR((W3A#) / (N * (N - 1)))

```

```

PRINT SO#

OPEN Path$ + "const.SEQ" FOR INPUT AS #5

INPUT #5, N, DELTA1#, DELTA2#, DUT#, F#, UO#, ALPHA1#, ALPHA2#, ALPHA3#, OP#,
LAMDA#, FI#
X# = UO#
GOSUB XRONOS
X# = ALPHA1#
GOSUB XRONOS
X# = ALPHA2#
GOSUB XRONOS
X# = ALPHA3#
GOSUB XRONOS
M# = DELTA1#
GOSUB MOIRES1
M# = DELTA2#
GOSUB MOIRES1
M# = FI#
GOSUB MOIRES1
M# = LAMDA#
GOSUB MOIRES1

CLOSE
END
'*****
'
'                Υπορουτίνες
'*****
TIME:
    TIME# = TIME# / 10000#
    T1# = INT(TIME#) * 60#
    TIME1# = (TIME# - INT(TIME#)) * 100#
    TIME2# = T1# + TIME1#
    T2# = INT(TIME2#) * 60#
    TIME3# = ((TIME2# - INT(TIME2#))) * 100#
    TOL# = TIME3# + T2#
RETURN

MOIRES:
    M1# = (M# - INT(M#)) * 100#
    M2# = INT(M1#) / 60#
    M3# = (M1# - INT(M1#)) * 100#
    M4# = M3# / 3600#
    M5# = INT(M#) + M2# + M4#
    M5# = M5# * P# / 180#
RETURN
MOIRES1:
    M1# = (M# - INT(M#)) * 100#
    M2# = INT(M1#)
    M3# = (M1# - M2#) * 100#
RETURN
XRONOS:
    X1# = X# / 10000#
    X2# = INT(X1#)
    X3# = (X1# - X2#) * 100#
    X4# = INT(X3#)
    X5# = (X3# - X4#) * 100#
RETURN

```

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αγατζά - Μπαλοδήμου Α.Μ., *Θεωρία Σφαλμάτων και Μ.Ε.Τ* , ΕΜΠ, ΤΑΤΜ, Αθήνα 2000.
2. Αγατζά - Μπαλοδήμου Α.Μ., Μπαλοδήμος Δ.-Δ., *Εισαγωγή στη Γεωδαισία* , ΕΜΠ, ΤΑΤΜ, Αθήνα 2000.
3. Αντωνακόπουλος Γρηγ., Λασκαρίδης Παύλος, *Πρακτική Αστρονομία*, Αθήνα, 1968.
4. Autodesk, *AutoCad Release 14 (σχεδιαστικό πρόγραμμα)*, 1998.
5. Βέης Γ., *Το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ '87)*, ΕΜΠ, ΤΑΤΜ , Αθήνα 1987.
6. Βέης Ν., (Εκ των καταλοίπων), *Τα χειρόγραφα των Μετεώρων, Τόμος Β, Μονή Βαρλαάμ*, επιμέλεια, προλεγόμενα, προσθήκες Δ.Ζ. Σοφianού, Ακαδημία Αθηνών, Κέντρο Ερεύνης Μεσαιωνικού και Νέου Πολιτισμού, Αθήνα 1984.
7. Βέης Ν., (Εκ των καταλοίπων), *Τα χειρόγραφα των Μετεώρων, Τόμος Α, Μονή Μεταμορφώσεως*, επιμέλεια , προλεγόμενα, προσθήκες Δ.Ζ. Σοφianού, Λ. Βρανούση, Ακαδημία Αθηνών, Κέντρο Ερεύνης Μεσαιωνικού και Νέου Πολιτισμού, Αθήνα 1998.
8. CADvanced applications, *Raport (σχεδιαστικό πρόγραμμα)*, 1999.
9. Γκιολές Νίκος, *Βυζαντινή Ναοδομία*, 1992.
10. Γκιολές Νίκος, *Παλαιοχριστιανική Τέχνη, Ναοδομία*, 1998.
11. Ελληνική Εθνική Γραμμή, Ίδρυμα Εθνικού και Θρησκευτικού προβληματισμού – "Καρίπειον Μέλαθρον"., *Ιερά Προσκυνήματα Προπύργια της Ορθοδοξίας*, Τόμος πρώτος, Αθήνα 1998.
12. ΕΞΟΡΥΞΗ Α.Ε., *Εγχειρίδιο οργάνου LaserAce 1000*, 2001.
13. Gingerich Owen, *Plotting the pyramids*, Nature, vol 408, November 2000.

14. Θεοτέκνη Μητσικώστα Μοναχή, *Στο βράχο της Ισαγγελής Πολιτείας – Οι Άγιοι Κτίτορες του Βαρλαάμ*, Ιερά Μονή Αγίου Στεφάνου, 1977.
15. Θεοτέκνη Μητσικώστα Μοναχή, *Το πέτρινο Δάσος των Μετεώρων*, 1978.
16. Θεοτέκνη Μητσικώστα Μοναχή, *Στο βράχο της Ισαγγελής Πολιτείας- Οι Άγιοι Κτίτορες του Βαρλαάμ*, Ιερά Μονή Αγίου Στεφάνου, 1994.
17. Θεοχαρίδης Λ. Πλούταρχος, *Το παρεκκλήσι του Προδρόμου στο Μεγάλο Μετέωρο*, Οι Εκκλησίες στην Ελλάδα μετά την Άλωση, ΕΜΠ, Τόμος 1, σελ. 121-136.
18. Haack Steven C., *The Astronomical orientation of the Egyptian Pyramids*, *Archaeoastronomy*, Τεύχος 7, JHA, xv, 1984, σελ. 119-125.
19. Hoskin Michael, *The orientations of the Taulas of Menorka (1): The Southern Taulas*, *Archaeoastronomy*, Τεύχος 14 (JHA, xx, 1989), σελ. 118 - 136.
20. Hoskin Michael, Nunez Morales Jose Juan, *The orientations of the Burial monuments of Menorka*, *Archaeoastronomy*, Τεύχος 16, JHA, xxii, 1991, σελ. 15-42.
21. Hoskin Michael, *Tombs, Temples and their orientations. A new perspective on Mediterranean Prehistory*, Ocarina Books Ltd, 2001.
22. Ιερά Μονή Αγίου Στεφάνου, *Τα κειμήλια της Μονής Αγίου Στεφάνου*, 1999.
23. Κασκούρας Δ.Χ., Κόττα Δ.Σ., *Προσδιορισμός διευθύνσεων εντός και εκτός του κτιρίου Λαμπαδαρίου δια γυροσκοπίου και σύγκρισης των αποτελεσμάτων με άλλες μεθόδους*, Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, ΤΑΤΜ, Αθήνα 1974.
24. Köberl C., *On the Astronomical Orientation of St. Vitus' Cathedral and St. George's church in the Castle of Prague*.
25. Κορακίτης Ρωμύλος, *Σημειώσεις Γεωδαιτικής Αστρονομίας*, ΕΜΠ, ΚΕΔ, Φεβρουάριος 2000.
26. Leica HeerBrugg AG, *Wild DI 3000S series, Long rang EDMs, Users Manual*, Switzerland 1993.

27. Leica HeerBrugg AG, *Users Manual for TM 5000/TDM 5000 system*, Switzerland 1997.
28. Leica HeerBrugg AG, *Users Manual for TPS-System 1000*, Switzerland 1997.
29. Liller Wm., *The Megalithic Astronomy of Easter Island: Orientations of AHU and MOAI*, *Archaeoastronomy*, Τεύχος 13, JHA, xx, 1989, σελ. 21-48.
30. Liritzis I., *The future role of Archaeoastronomy of Greece in 2000+*, University of the Aegean, Dept. of Mediterranean Studies, 2000.
31. Mackie J. B., *The elements of Astronomy for Surveyors*, Charles Griffin & Company Ltd, London, Seventh edition, 1971.
32. Μακρής Γ., *Σύγχρονες αντιλήψεις και πρακτικές γεωμετρικής τεκμηρίωσης – αποτύπωσης κειμηλίων, μνημείων και συνόλων*, ΕΜΠ, ΤΑΤΜ, Αθήνα 1999.
33. Malville J. Mckin, Wendorf Fred, A Mazar Ali, Schild Romauld, *Megaliths and Neolithic astronomy in Southern Egypt*, *Nature*, vol392, April 1998, σελ 488 - 490.
34. Marriott Chris, *Skymap Pro Version8*, 1992-2001.
35. Meeus Jean, *Astronomical Algorithms*, Willman – Bell, inc 1991.
36. Μητροπολίτης Τρίκκης και Σταγών Διονύσιος, *Τα Μετέωρα*, Αθήνα 1976.
37. Migne P.J, *Πατρολογία GRAECA*, τόμος 1, σελ. 724-737, 1863.
38. Migne P.J, *Πατρολογία GRAECA*, τόμος 98, σελ. 392, 1863.
39. Μπαλοδήμος Δ.-Δ., *Ειδικές Γεωδαιτικές Αποτυπώσεις*, ΕΜΠ, ΤΑΤΜ, Αθήνα 2000.
40. Μπαλοδήμος Δ.-Δ., Σταθάς Δ., *Γεωδαιτικά Όργανα και μέθοδοι μέτρησης γωνιών και μηκών*, ΕΜΠ, ΤΑΤΜ, Αθήνα 2000.

41. Μπαλοδήμος Δ.-Δ., Σταθάς Δ., Αραμπατζή Ο., *Γεωδαισία – Δίκτυα Αποτύπωσης, Χαράξεις*, ΕΜΠ, ΤΑΤΜ, Αθήνα 2000.
42. Μπαλοδήμος Δ.-Δ., Σταθάς Δ. *Γεωδαιτικά Όργανα και μέθοδοι μέτρησης γωνιών και μηκών*, ΕΜΠ, ΤΑΤΜ, Αθήνα 2002.
43. Mueller Ivan, *Spherical and practical Astronomy as applied to Geodesy*, Frederick Ungar Publishing Co, Inc., 1969.
44. Νικονάνος Ν., *Το εκκλησάκι της Παναγίας Δούπιανης ή Ζωοδόχου Πηγής στο Καστράκι Καλαμπάκας*, Περιοδικό Τρικαλινά, τόμος 2, σελ. 99-110, 1982.
45. Ορλάνδος Αναστάσιος, *Ξυλόστεγος Παλαιοχριστιανική Βασιλική της Μεσογειακής Λεκάνης*, Τόμος Ι, Αθήνα 1952.
46. Ousterhout Robert, *Master Builders of Byzantium*, 1999.
47. Papathanassiou Maria, Hoskin Michael, Papadopoulou Helen, *Orientations of tombs in the Late-Minoan Cemetery at Armenoi, Crete*, Archaeoastronomy, Τεύχος 17, (JHA, xxiii), 1992, σελ 43-55.
48. Papathanassiou Maria, Hoskin Michael, Papadopoulou Helen, *Orientations of tombs at Armenoi, Crete: Addenda*, Archaeoastronomy, Τεύχος 18 (JHA, xxiv), 1993, σελ. 43-55.
49. Papathanassiou Maria, *Archaeoastronomy in Greece: Data, problems and perspectives*, 1994, In Trends in the Historiography of Science (eds) Kostas Gavroglu et al, σελ 433-443.
50. Papathanassiou Maria, Hoskin Michael, *Orientations of the Greek Temples on Corfu*, Archaeoastronomy, JHA, xxv, 1994, σελ. 111-114.
51. Papathanassiou Maria, Hoskin Michael, *The late-Minoan cemetery at Armenoi, A Reappraisal*, Archaeoastronomy, JHA, xxvii, 1996, σελ. 54-59.
52. Parise Frank, *The book of Calendars*, ed. 1982.
53. Patrick J., Freeman P.R., *Revised surveys of Cork-Kerry Stone circles*, Archaeoastronomy, Τεύχος 5, JHA, xiv, 1983, σελ. 50-56.

54. Πίσπας Ιωάννης, *Ο Ιερός ναός της Κοιμήσεως της Θεοτόκου εν Καλαμπάκα*, 1994.
55. Ποταμιάνος Ιάκωβος, *Το φως στη Βυζαντινή Εκκλησία*, University Studio Press, Θεσσαλονίκη 2000.
56. Προβατάκης Θεοχάρης, *Τα Μετέωρα, Ιστορία του μοναχισμού των Μετεώρων*, 1982.
57. Seeds A. Michael, *Horizons, Exploring the Universe*, 5th Edition, Wadsworth, 1998.
58. Seidelmann P. Kenneth, *Explanatory supplement to the Astronomical Almanac*, University science Books, Mill Valley, California 1992.
59. Serio Fodera Giorgia, Hoskin Michael, Ventura Frank, *The Orientations of the Temples of Malta*, Archaeoastronomy, JHA, xxii, 1992, σελ. 107-119.
60. Sir Banister Fletcher's , *A history of Architecture*, eighteenth edition, 1975.
61. Σοφιανός Δ.Ζ., *Τα χειρόγραφα των Μετεώρων, Τόμος Γ, Μονή Αγίου Στεφάνου*, Ακαδημία Αθηνών, Κέντρο Ερεύνης Μεσαιωνικού και Νέου Πολιτισμού, Αθήνα 1986.
62. Σοφιανός Δ.Ζ., *Τα χειρόγραφα των Μετεώρων, Τόμος Δ', Μονή Αγίας Τριάδος, Μέρος Πρώτον, Μέρος Δεύτερον*, Ακαδημία Αθηνών, Κέντρο Ερεύνης Μεσαιωνικού και Νέου Πολιτισμού, Αθήνα 1986.
63. Σοφιανός Δ.Ζ., *Μετέωρα Οδοιπορικό*, εκδ. Ιεράς Μονής Μεγάλου Μετεώρου, 1990.
64. Σοφιανός Δ.Ζ., *Ο Όσιος Αθανάσιος ο Μετεωρίτης*, 1990.
65. Σοφιανός Δ.Ζ., *Η διαθήκη (έτους 1545) των κλητόρων της Μονής Ρουσάνου ιερομονάχων Ιωάσαφ και Μαξίμου*, 1992.
66. Spence Kate, *Ancient Egyptian chronology and the astronomical orientation of pyramids*, Nature, vol408, November 2000.

67. Σωτηρίου Γ., *Επετηρίδα Εταιρίας Βυζαντινών Σπουδών, Βυζαντινά μνημεία της Θεσσαλίας ΙΓ και ΙΔ αιώνα*, Τόμος 6, σελ. 290-315, Αθήνα 1929.
68. Σωτηρίου Γ., *Επετηρίδα Εταιρίας Βυζαντινών Σπουδών, Βυζαντινά μνημεία της Θεσσαλίας ΙΓ και ΙΔ αιώνα*, Τόμος 9, σελ. 383-415, Αθήνα 1932.
69. Σωτηρίου Γ., *Χριστιανική και Βυζαντινή Αρχαιολογία*, Εκδόσεις Χριστιανάκης, σελ. 172-175, Αθήνα 1978.
70. U.S. NAVAL Observatory, *Rise, Set and Twilight Definitions*, Astronomical Applications Department, 2001.
71. Trimble Navigation, *GPSurvey, Software user's Guide*, Revision A April 1996.
72. Trimble Navigation, *TRIMNET PLUS, Survey network Software user's Manual*, Revision A1, November 1992.
73. Tusa Sebastiano, Serio Fodera Giorgia, Hoskin Michael, *Orientations of the SESI of Pantelleria*, Archaeoastronomy, Τεύχος 17, JHA, xxiii, 1992, σελ. 15-20.
74. Waltenberg Hans, Gleissberg Wolfrang, *Das Rätsel von Didyma und seine astronomische Lösung*, Sterne und Weltraum, 1968, σελ. 217-220.

INVESTIGATION OF MONUMENTS ORIENTATION USING GEODETIC AND ASTRONOMIC METHODS. APPLICATION AT METEORA

Abstract

This Thesis deals with the development of a method for the detection of the period of time of the erection of a Monument, by determining its orientation via Geodetic and Astronomic measurements.

Applications are carried out in the "Meteora monastic community".

The thesis is divided into three parts and seven chapters.

The first part consisting of three chapters (1st, 2nd, 3rd) contains an historical review and the theoretical documentation of the method.

The 1st chapter contains a brief review of the procedures followed throughout the centuries and at different parts of the world for the orientation of monuments.

In the 2nd chapter, the Astronomic and Geodetic methods for the Geometric documentation of a monument, the creation of the topographic diagram of the site and the determination of the Astronomic Azimuth of its main axis or other specific directions are described. In the same chapter the procedure followed for the determination of the topography of the perceptible horizon in front of the Monument is analyzed, together with the methodology for tracing the Sun's transit according to the year and day, a factor of importance for the dating of the Monument. The anticipated accuracies are given for all the procedures.

The 3rd chapter deals with the factors influencing the choice of the orientation of a monument and more specifically the orientation of Greek Orthodox Churches.

The main factor that is analyzed is the natural light and the time and direction that it illuminates the altar. In the same chapter the way characteristic directions within a monument should be determined is given.

The second part consisting of three chapters (4th, 5th, 6th) deals with the applications of the method.

The 4th chapter contains historical evidence referring to all the "open" monasteries of the " Meteora monastic community" as well as the church of the "Blessed Virgin Mary" of Doupiani, which was the first church built in the area and the church of "Blessed Virgin Mary's Assumption" in Kalambaka.

The 5th chapter contains the results of Astronomic and Geodetic measurements as well as the description of instruments and methods used for the research carried out at the above mentioned monuments.

The 6th chapter contains the analysis of the reduction of measurement results used for the drawing of topographic diagrams both of the monument's sites and the perceptible horizon. In the same chapter the determination of the Astronomic azimuths of the basic axis and other characteristic directions for each church is given together with the respective accuracy. Also the Sun's transits for the dates with historical or religious interest are traced on the horizon's diagram.

From the applications carried out in this work it may be concluded that the churches' orientation is strongly correlated with the Sun's position on the horizon, either on the day of the celebration of the Saint to whom the church is dedicated or on the equinox during the year of its erection. Also, a geometric explanation is given for the position of the "openings" in the Holly Altar, combining in this way the religious ceremonies with the choice of the church's orientation.

The 3rd part consisting of one chapter (7th) deals with the conclusions and proposals.

It is concluded that the suggested method allows for the investigation of the orientation of monuments as well of their dating within a satisfactory time range. The appropriate parameters for the correct application of the method are stated and the creation of a database for monuments is proposed. This database, which is expected to be of great importance not only for Greece but also for the whole world, should contain the geometric documentation of the monument, its orientation with the appropriate historical evidence, as well as historical documents referring to the monument.

General conclusions

The main and basic conclusion drawn is that the combination of Geodetic with Astronomic measurements, as it happens with modern digital total stations, allows both for the determination and the interpretation of the orientation of a monument in an easy and fast way with the appropriate precision and reliability.

The main characteristics of the suggested method are:

- The determination of the astronomic azimuth of a direction by observations to Polaris and its transfer by geodetic methods, which offer high accuracy to the main axis or any other special monument's direction.
- The geometric determination of the main axis or of another special direction of the monument which can only be achieved by surveying and documenting the monument and creating its plan.
- The geometric determination and the digital reproduction of the sun's or another star's transit for characteristic dates (celebration of the divinity to whom the monument is dedicated, solstice, equinox).
- The geometric determination of the boundary line of the perceptible horizon in front of the monument as seen from a specific position.
- The accuracy with which the determination of the astronomical azimuth is achieved, is better than $\pm 2^{\text{cc}}$ or $\pm 0.7''$, while the determination of the astronomical azimuth of the main axis or another specific direction is about $\pm 50^{\text{cc}}$ or $\pm 17''$ which mainly depends on the monument's axis' length and the accuracy of the coordinates of the monument's detail points.

Special attention must be given to the determination of the boundary line of the perceptible horizon, which may be achieved with a mean accuracy of $\pm 2^{\text{c}}$ (or $1.1'$).

If the above elements are combined with historical data referring to the building date of the monument, the reliable and precise geometric interpretation of the monument's orientation may be achieved.

According to the suggested method the parameters, which are necessary for the complete investigation of a monument's orientation, are:

- ① The geometric determination of the basic axis or another special direction.
- ② The determination of the astronomic azimuth of the basic axis or other direction.
- ③ The geometric determination of the boundary line of the perceptible horizon, in front of the monument or the church.
- ④ The geodetic latitude (φ) and longitude (λ) of the site with an accuracy of about $\pm 1'$ arc.
- ⑤ The geometric determination of the sun's or any other star's apparent transit from the site of the monument at a certain period of time.
- ⑥ The date of the celebration of the divinity to whom the monument is dedicated.
- ⑦ The historical period that the monument was built.
- ⑧ The celestial body in reference to which the monument is orientated.

Considering that we know the parameters ①, ②, ③, ④ and ⑤, which can be achieved only by using Geodetic and Astronomic methods, it is possible:

⊗ From the parameters ①, ②, **the direction** of the monument's orientation can be determined with an accuracy of $\pm 50''$.

⊗ If parameters ⑥ and ⑦ are known, the **celestial body** (⑧) in reference to which the monument is orientated can be determined.

⊗ If parameters ⑦ and ⑧ are known the **divinity** to whom the monument is dedicated, may be detected (⑥).

⊗ If parameters ⑥ and ⑧ are known the **period of time** when the monument was built, can be determined (⑦).

By the above mentioned method it is possible to detect its age with an uncertainty of ± 2 years to ± 40 years.