

Η συμβολή σύγχρονης γεωδαιτικής μεθοδολογίας στην έρευνα του αστρονομικού προσανατολισμού μνημείων και στη χρονολόγησή τους.

Παρουσίαση ολοκληρωμένων μελετών σε μνημεία του Ελληνικού Χώρου
(ναοί κλασσικής αρχαιότητας, παλαιοχριστιανικές βασιλικές, βυζαντινοί ναοί).

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΠΑΝΤΑΖΗΣ

Επίκουρος Καθηγητής της Σχολής Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών του
Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου

ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ ΛΑΜΠΡΟΥ

Επίκουρος Καθηγήτρια της Σχολής Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών του
Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου

Στην εργασία αυτή περιγράφεται διεξοδικά μια σύγχρονη γεωδαιτική μεθοδολογία η οποία συμβάλλει καθοριστικά στην έρευνα του αστρονομικού προσανατολισμού μνημείων. Η εφαρμογή της μεθοδολογίας, με τη χρήση σύγχρονων ψηφιακών οργάνων μέτρησης, δίνει τη δυνατότητα του ορθού προσδιορισμού του αστρονομικού προσανατολισμού ενός μνημείου δηλ. του αστρονομικού αξιμουθίου του βασικού κατά μήκος άξονα. Η αβεβαιότητα που επιτυγχάνεται κυμαίνεται από 10" - 10' της μοίρας και εξαρτάται από το μέγεθος του μνημείου.

Η μεθοδολογία περιλαμβάνει μεταξύ άλλων τη γεωμετρική τεκμηρίωση του μνημείου, τη δημιουργία του ψηφιακού διαγράμματος της κάτοψής του, αλλά και τον προσδιορισμό του αστρονομικού αξιμουθίου, μιας επίγειας διεύθυνσης στο χώρο του μνημείου με αστρογεωδαιτικές παρατηρήσεις.

Επίσης απαιτείται η γνώση της μορφής (γεωμετρίας) του αισθητού ορίζοντα που βρίσκεται "μπροστά" από το μνημείο, η οποία προκύπτει με γεωδαιτικές μετρήσεις.

Για τη συλλογή των μετρήσεων χρησιμοποιούνται ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί (σύγχρονα γεωδαιτικά όργανα, εξέλιξη των γνωστών θεοδολίχων, που μετρούν γωνίες, μήκη και χρόνο), γεωδαιτικοί δέκτες δορυφορικού εντοπισμού του συστήματος GNSS και κατάλληλα λογισμικά για την επεξεργασία τους.

Επιπλέον προσδιορίζεται η πορεία του ήλιου ή άλλου ουράνιου σώματος, χρησιμοποιώντας κατάλληλο λογισμικό ψηφιακής προσομοίωσης της ουράνιας

σφαίρας, για χαρακτηριστικές ημερομηνίες σύμφωνα με τον προσανατολισμό του μνημείου.

Αξιοποιώντας τα αποτελέσματα της διαδικασίας μπορεί να προσδιοριστεί και το έτος κτήσης του μνημείου, δηλαδή να γίνει η χρονολόγησή του.

Η μεθοδολογία έχει εφαρμοστεί σε περισσότερα από 80 μνημεία στον Ελλαδικό χώρο και έχει οδηγήσει σε αξιόπιστα αποτελέσματα, τα οποία σε πολλές περιπτώσεις έχουν δώσει απαντήσεις και λύσεις στις αρχαιολογικές έρευνες, ενώ σε άλλες περιπτώσεις ταυτίζονται με αυτές.

Στο πλαίσιο αυτής της εργασίας παρουσιάζονται ενδεικτικά τα αποτελέσματα της μελέτης ορισμένων ομάδων μνημείων, όπως:

- Οι βυζαντινοί ναοί και τα παρεκκλήσια των Μοναστικής Πολιτείας των Μετεώρων και της Καστροπολιτείας του Μυστρά
- Παλαιοχριστιανικές βασιλικές
- Ναοί της κλασσικής αρχαιότητας (τα τέσσερα Ηραία της Ελλάδας, Παρθενώνας, Ερεχθείο, Ναός του Ποσειδώνα στο Σούνιο, Ναός του Ηφαίστου, ναός του Δία στην Αρχαία Ολυμπία, δέκα μνημεία του αρχαιολογικού χώρου της Δήλου).

Λέξεις κλειδιά: Γεωδαισία, αστρονομικός προσανατολισμός, μνημεία, χρονολόγηση, αβεβαιότητα

Εισαγωγή

Με τον όρο **Προσανατολισμός** ενός μνημείου ορίζεται η απόλυτη θέση και η διεύθυνσή του στο χώρο, δηλαδή η διαδικασία εκείνη με την οποία είναι δυνατόν ένα μνημείο να τοποθετηθεί στο χώρο σε συγκεκριμένη διεύθυνση (αξιμούθιο) ως προς μια βασική διεύθυνση αναφοράς.

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. Η έρευνα σχετικά με τον αστρονομικό προσανατολισμό μνημείων, από διάφορους πολιτισμούς, θεμελιώθηκε από τον Heinrich Nissen (1906) και τον Sir Norman Lockyer (1894).

Για την πλειοψηφία των μνημείων – ναών που έχουν διερευνηθεί έχει αποδειχτεί ότι η διεύθυνση του προσανατολισμού τους **Δεν** είναι τυχαία. Αντίθετα είναι

συγκεκριμένη και συνήθως συνδέεται με την ημερομηνία εορτής του μνημείου (**Θεότητας ή Αγίου**) που είναι αφιερωμένο. Έχει επίσης διαπιστωθεί ότι ιδιαίτερα σημαντικός είναι ο ρόλος του κατάλληλου **φωτισμού** που επιτυγχάνεται σε συγκεκριμένο σημείο του μνημείου - ναού την συγκεκριμένη ημέρα (Ποταμιάνος, 2000).

Οι μελέτες που έχουν προηγηθεί τον 19^ο και τον 20^ο αιώνα και αφορούν στην διερεύνηση του προσανατολισμού, προϊστορικών μνημείων, μνημείων της κλασσικής αρχαιότητας, ή βυζαντινών μνημείων, έγιναν με απλές τοπομετρικές μεθόδους, χρησιμοποιώντας απλά όργανα μέτρησης όπως η τοπογραφική πυξίδα, το ακόντιο και το κλισίμετρο χειρός για τον προσδιορισμό του ορίζοντα του μνημείου, όπου αυτό, σε ελάχιστες περιπτώσεις, κρινόταν απαραίτητο. Ο βασικός άξονας του μνημείου ή άλλες ειδικές διευθύνσεις δεν προσδιορίζονταν γεωμετρικά - αναλυτικά αλλά εμπειρικά και με τα όποια σφάλματα τα παραπάνω όργανα και οι μέθοδοι εμπεριέχουν.

Η σύγχρονη γεωδαιτική μεθοδολογία που εφαρμόζεται για τη μελέτη του προσανατολισμού μνημείων έχει σημαντικές διαφοροποιήσεις σε σχέση με τις προγενέστερες που εφαρμόζονταν και περιλαμβάνει μια σειρά από γεωμετρικές κυρίως διαδικασίες, οι οποίες υλοποιούνται χρησιμοποιώντας σύγχρονα γεωδαιτικά όργανα και μεθόδους μέτρησης και επεξεργασίας.

Μελέτη του προσανατολισμού μνημείων με αστρογεωδαιτική μεθοδολογία

Κύριος σκοπός της μεθοδολογίας είναι ο γεωμετρικός προσδιορισμός του αστρονομικού αζιμουθίου του βασικού κατά μήκος άξονα ή κάποιας άλλης ειδικής διεύθυνσης του εξεταζόμενου μνημείου. Επίσης ο προσδιορισμός της ημερομηνίας κατά την οποία η διαφορά του αζιμουθίου της γραμμής του βασικού άξονα από το αζιμούθιο της πορείας του ήλιου ή άλλου ουράνιου σώματος, όταν αυτές συναντούν τον αισθητό ορίζοντα του μνημείου, γίνεται ελάχιστη.

Οι βασικές γεωμετρικές ενέργειες που συνθέτουν αυτή τη μεθοδολογία είναι (Πανταζής, 2002, Πανταζής, 2003):

- i. Ο προσδιορισμός του αστρονομικού αζιμουθίου μιας συγκεκριμένης επίγειας διεύθυνσης AB.
- ii. Η μεταφορά αυτού του αστρονομικού αζιμουθίου στο χώρο του μνημείου με τη βοήθεια γεωδαιτικού δικτύου.

- iii. Η ορθή και πλήρης γεωμετρική τεκμηρίωση του μνημείου οριζοντιογραφικά για τον καθορισμό των ακριβών διαστάσεών του.
- iv. Ο γεωμετρικός προσδιορισμός τόσο του βασικού κατά μήκος άξονα 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.
- v. Ο προσδιορισμός του αστρονομικού αξιμουθίου των γραμμών αυτών, με αναλυτική διαδικασία.
- vi. 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.
- vii. Ο προσδιορισμός της φαινόμενης πορείας του ήλιου ή άλλου αστέρα, από το χώρο του μνημείου, σε μια συγκεκριμένη ημερομηνία.

Παράλληλα, για την ολοκληρωμένη έρευνα του προσανατολισμού ενός μνημείου είναι απαραίτητη η συλλογή ιστορικών δεδομένων που αφορούν στο μνημείο αλλά και η φωτογραφική του τεκμηρίωση.

Δημιουργία διαγράμματος κάτοψης (οριζόντια τομή)

Ως **αποτύπωση μνημείου** ορίζεται η διαδικασία καταγραφής της θέσης και της υπάρχουσας μορφής, του σχήματος και του μεγέθους του μνημείου στο χώρο, σε μια δεδομένη χρονική στιγμή. Αυτή συνήθως οδηγεί στη δημιουργία του διαγράμματος της κάτοψης του μνημείου.

Επειδή κάθε μνημείο αποτελεί ένα σύνολο σημείων στο χώρο των τριών διαστάσεων, η πιστότητα, η πληρότητα και η ορθότητα της αποτύπωσης είναι άμεσα συνδεδεμένη τόσο με την επιλογή των χαρακτηριστικών σημείων (σημεία λεπτομέρειας) που ορίζουν το μνημείο, όσο και με τον τρόπο και τις μεθόδους προσδιορισμού των καρτεσιανών συντεταγμένων τους (x,y,H).

Η αποτύπωση για τις ανάγκες της μελέτης του αστρονομικού προσανατολισμού ενός μνημείου γίνεται σε τοπικό αλλά αστρονομικά προσανατολισμένο σύστημα συντεταγμένων.

Πραγματοποιείται με τη χρήση ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών (Total Station). Πρόκειται για όργανα μέτρησης μηκών, γωνιών και χρόνου. Είναι η εξέλιξη των γνωστών θεοδολίχων τα οποία έχουν τη δυνατότητα ταυτόχρονης μέτρησης και

καταγραφής – αποθήκευσης των παραπάνω μεγεθών. Σημαντικό πλεονέκτημα αποτελεί η χρήση ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών που μετρούν μήκη χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα (Reflectorless). Έτσι η εκπόνηση τέτοιου είδους αποτυπώσεων γίνεται πιο ακριβής, πλήρης και ταχύτερη. Για την αποτύπωση και τη σύνταξη του διαγράμματος κάτοψης απαιτείται αναγνώριση του χώρου, σύνταξη σκαριφημάτων, υλοποίηση ενός τοπικού γεωδαιτικού δικτύου, μετρήσεις στα σημεία λεπτομέρειας, υπολογισμός συντεταγμένων για κάθε σημείο στον τριδιάστατο χώρο, ψηφιακή σχεδίαση.

Προσδιορισμός του αστρονομικού αζιμουθίου

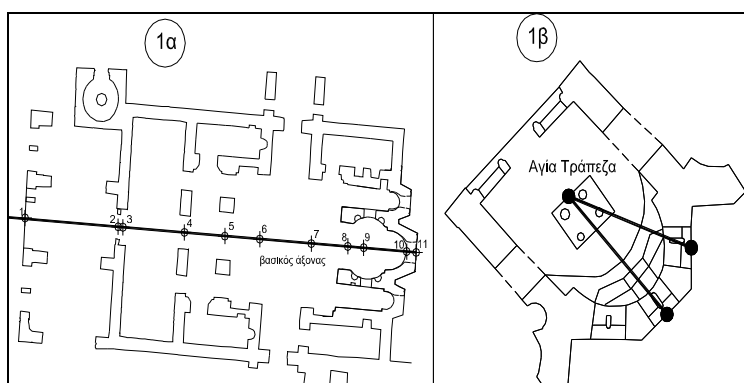
Σε αυτό το στάδιο, αντικειμενικός σκοπός είναι ο προσδιορισμός του αστρονομικού αζιμουθίου, μιας συγκεκριμένης διεύθυνσης AB. Η διεύθυνση αυτή επιλέγεται συνήθως να είναι η διεύθυνση μιας πλευράς του γεωδαιτικού δικτύου.

Ο προσδιορισμός του αστρονομικού αζιμουθίου μιας διεύθυνσης μπορεί να γίνει στην Ελλάδα όπως και στις περισσότερες χώρες του βορείου ημισφαιρίου, εφαρμόζοντας τη μέθοδο της ωριαίας γωνίας με σκοπεύσεις (μετρήσεις) στον Πολικό Αστέρα. Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται, μετά τη δύση του ήλιου χρησιμοποιώντας ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό και διαρκούν περίπου 15min. Τα μετρούμενα μεγέθη είναι η οριζόντια γωνία που σχηματίζει η επίγεια διεύθυνση αναφοράς με τη διεύθυνση του σημείου παρατήρησης – Πολικός Αστέρας και ο παγκόσμιος χρόνος UTC τη στιγμή της κάθε παρατήρησης (Λάμπρου , 2003, Lambrou et.al , 2008).

Ακολουθεί η επεξεργασία των μετρήσεων, η οποία απαιτεί επιπλέον τη γνώση των συντεταγμένων ϕ , λ του σημείου παρατήρησης (αυτές προκύπτουν χρησιμοποιώντας γεωδαιτικούς δέκτες δορυφορικού εντοπισμού του συστήματος GNSS) και οι ουρανογραφικές συντεταγμένες (ορθή αναφορά $-\alpha$, απόκλιση $-\delta$) του Πολικού αστέρα (λαμβάνονται από ψηφιακούς αστρονομικούς πίνακες). Έτσι προκύπτει η τιμή του αστρονομικού αζιμουθίου της διεύθυνσης αναφοράς με την αντίστοιχη αβεβαιότητά της (της τάξης του $\pm 1''$). Προσδιορίζοντας το αστρονομικό αζιμούθιο μιας πλευράς του γεωδαιτικού δικτύου, ουσιαστικά προσανατολίζεται αστρονομικά όλο το γεωδαιτικό δίκτυο και επομένως προσανατολίζεται αστρονομικά το παραγόμενο διάγραμμα της κάτοψης.

Προσδιορισμός βασικού κατά μήκος άξονα του μνημείου ή άλλων διευθύνσεων

Ο προσδιορισμός του βασικού κατά μήκος άξονα του μνημείου γίνεται χρησιμοποιώντας το ψηφιακό προσανατολισμένο διάγραμμα της κάτοψής του, με αναλυτική διαδικασία. Επιλέγοντας τα πιθανά σημεία που ανήκουν στον άξονα, αξιοποιώντας τις συμμετρίες του μνημείου, προσδιορίζονται οι συντεταγμένες τους x, y . Με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων, είναι δυνατός ο προσδιορισμός της καλύτερης ευθείας που προσαρμόζεται σε αυτά τα σημεία (σχήμα 1α). Ο προσδιορισμός του αστρονομικού αζιμουθίου του βασικού κατά μήκος άξονα συνοδεύεται από την αντίστοιχη αβεβαιότητα, η οποία εξαρτάται κυρίως από το μέγεθος του μνημείου, τη γεωμετρία του αλλά και την κατάσταση στην οποία βρίσκεται κατά τον χρόνο της μελέτης. Όσο μεγαλύτερο είναι το μνημείο τόσο μικρότερη είναι η αβεβαιότητα προσδιορισμού του βασικού κατά μήκος άξονά του. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει ο εντοπισμός και ο προσδιορισμός ειδικών – χαρακτηριστικών διευθύνσεων (όπως η διεύθυνση που συνδέει το μέσο της Αγίας Τράπεζας με το μέσο της κεντρικής κόγχης του Ιερού Βήματος στα Βυζαντινά μνημεία – σχήμα 1β) ή κάποιας άλλης διεύθυνσης που βρίσκεται υλοποιημένη στο χώρο του μνημείου (**μαρμάρινη πλάκα** που βρίσκεται στο πάτωμα, στο χώρο του κυρίως ναού του καθολικού του Μεγάλου Μετεώρου – σχήμα 2). Οι χαρακτηριστικές αυτές διευθύνσεις ορίζονται ως ευθύγραμμα τμήματα από τις συντεταγμένες των σημείων των άκρων τους. Συνήθως η αβεβαιότητα ορισμού τους είναι μεγαλύτερη από αυτή του βασικού κατά μήκος άξονα.



Σχήμα 1. Προσδιορισμός βασικού κατά μήκος άξονα και ειδικής διεύθυνσης

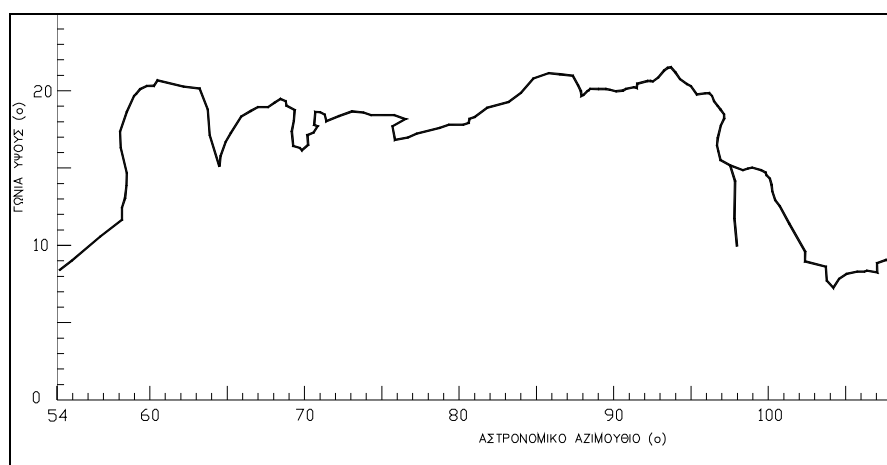


Σχήμα 2. Ειδική διεύθυνση

Προσδιορισμός οριογραμμής αισθητού ορίζοντα

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) (Πανταζής, 2002).

Για την πλήρη διερεύνηση του προσανατολισμού των μνημείων είναι απαραίτητη και η γνώση - σχεδιασμός της οριογραμμής του αισθητού ορίζοντα (σχήμα 3), 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.



Σχήμα 3. Διάγραμμα οριογραμμής του αισθητού ορίζοντα

Ο προσδιορισμός της οριογραμμής του αισθητού ορίζοντα μπορεί να γίνει αν από οποιοδήποτε σημείο με γνωστές συντεταγμένες και με γνωστή μια συγκεκριμένη διεύθυνση, γίνουν μετρήσεις οριζόντιας γωνίας και ξενίθιας γωνίας προς κάθε σημείο της γραμμής του αισθητού ορίζοντα. Αυτές μετατρέπονται σε αστρονομικά αζιμούθια (Az) και γωνίες ύψους (υ) αντίστοιχα. Έτσι ο ορίζοντας προκύπτει από τη γραφική παράσταση αζιμουθίου (Az) και γωνίας ύψους (υ) για κάθε σημείο του (σχήμα 3). Οι μετρήσεις και σε αυτή την περίπτωση πραγματοποιούνται με τη χρήση ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού.

Προσδιορισμός της φαινόμενης πορείας του ήλιου

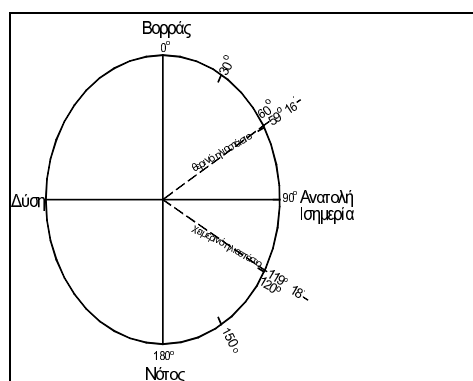
Ο ήλιος είναι ένα ουράνιο σώμα, το κέντρο του ηλιακού μας συστήματος και ο πλησιέστερος προς τη Γη απλανής αστέρας. Εκτός από τη συμμετοχή του στη φαινόμενη ημερήσια κίνηση της ουράνιας σφαίρας παρουσιάζει και μια ετήσια φαινόμενη κίνηση, η οποία οφείλεται στην ετήσια περιφορά της γης γύρω από αυτόν. Η περιφορά αυτή ολοκληρώνεται σε 365.25 ημέρες περίπου. Ο χρόνος και το αστρονομικό αζιμούθιο της ανατολής ή δύσης του ήλιου σε έναν τόπο με συντεταγμένες φ , λ πρακτικά εξαρτάται από την ημερομηνία, το πλάτος φ του τόπου, τις ατμοσφαιρικές συνθήκες, την τοπογραφία της περιοχής και το υψόμετρο όπου βρίσκεται ο παρατηρητής.

Η φαινόμενη ημερήσια μεταβολή του αζιμουθίου του ήλιου σε ένα μέσο πλάτος για την Ελλάδα $\varphi = 39^\circ$, είναι περίπου $25'$, για ημερομηνίες κοντά στις ισημερίες, ενώ η μεταβολή αυτή μειώνεται σε $3'$, κοντά στα ηλιοστάσια.

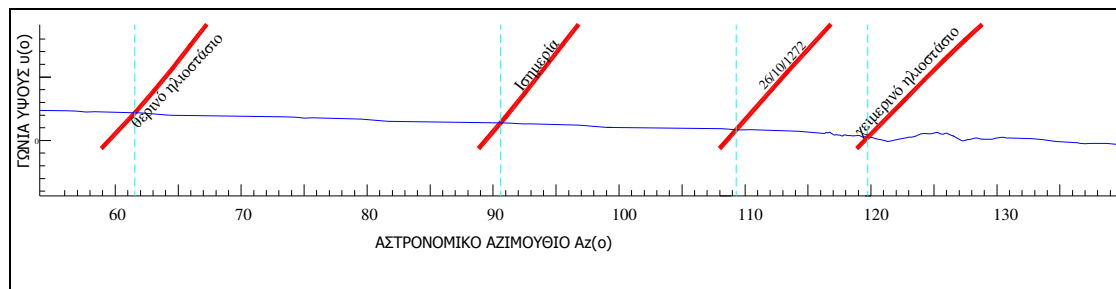
Επίσης η ετήσια μεταβολή του αζιμουθίου της φαινόμενης πορείας του ήλιου για την ίδια ημέρα, στον ίδιο τόπο, κυμαίνεται από $3''/\text{έτος}$ για ημερομηνίες κοντά στο ηλιοστάσιο έως $11''/\text{έτος}$ κοντά στις ισημερίες.

Για τα γεωγραφικά πλάτη της Ελλάδος ισχύουν τα εξής (σχήμα 4):

- Το καλοκαίρι (Θερινό Ηλιοστάσιο ~21 Ιουνίου) ο ήλιος ανατέλλει βορειοανατολικά περίπου σε αστρονομικό αζιμούθιο 60°
- το χειμώνα (Χειμερινό Ηλιοστάσιο ~21 Δεκεμβρίου) ο ήλιος ανατέλλει νοτιοανατολικά περίπου στις 120°
- Στην ανατολή, δηλαδή σε αστρονομικό αζιμούθιο 90° , ο ήλιος ανατέλλει στις ισημερίες (~21 Μαρτίου και ~21 Σεπτεμβρίου) (σχήμα 4)



Σχήμα 4. Ισημερίες και ηλιοστάσια για τόπο με $\varphi \approx 37^\circ 04'$

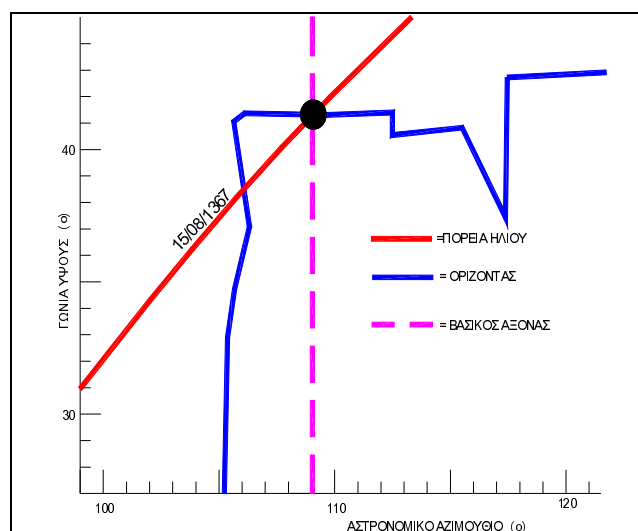


Σχήμα 5. Πορείες ήλιου σε Ισημερία, ηλιοστάσια και τυχαία ημέρα για τόπο με $\varphi \approx 37^\circ 04'$

Η φαινόμενη πορεία ή η θέση του ήλιου μπορεί να προσδιοριστεί για οποιαδήποτε ημέρα του χρόνου και οποιοδήποτε έτος χρησιμοποιώντας ένα ψηφιακό πλανητάριο (π.χ. Sky Map Pro). Έτσι στο χρονικό διάστημα μιας ημέρας μπορεί να παρασταθεί σε ένα διάγραμμα αζιμουθίου-γωνίας ύψους, αντίστοιχο με αυτό της οριογραμμής του αισθητού ορίζοντα (σχήμα 5).

Χρονολόγηση μνημείων

Η χρονολόγηση ενός μνημείου, βασίζεται σε γεωμετρικές ενέργειες και υπολογισμούς. Όλα τα στοιχεία που αναφέρθηκαν στα προηγούμενα είναι απαραίτητα για τον προσδιορισμό της χρονολογίας (χρονική περίοδος) κτίσης ενός μνημείου. Έτσι σχεδιάζονται οι τρεις χαρακτηριστικές γραμμές δηλ. ο βασικός κατά μήκος άξονας, η γραμμή του αισθητού ορίζοντα και η γραμμή της φαινόμενης πορείας του ήλιου για κάποια ημερομηνία.



Σχήμα 6. Συνδυαστικό διάγραμμα των τριών βασικών γραμμών για την χρονολόγηση μνημείου

Από την ψηφιακή σχεδίαση των γραμμών αυτών, σε ένα ενιαίο διάγραμμα αζιμουθίου – γωνίας ύψους, προκύπτει το σημείο τομής της οριογραμμής του ορίζοντα και του αζιμουθίου του βασικού άξονα το οποίο απέχει την ελάχιστη απόσταση από τη γραμμή που υλοποιεί την πορεία του ήλιου για μια συγκεκριμένη ημερομηνία. Ως έτος κτίσης του μνημείου ορίζεται το έτος στο οποίο αναφέρεται η γραμμή που υλοποιεί την πορεία του ήλιου και η οποία διέρχεται από το σημείο αυτό (σχήμα 6).

Η χρονολόγηση ενός μνημείου, η οποία μπορεί να επιτευχθεί με την προτεινόμενη μεθοδολογία, συνοδεύεται και από την αντίστοιχη αβεβαιότητα. Η αβεβαιότητα αυτή προκύπτει ως το πηλίκο του σφάλματος προσδιορισμού όλων των παραμέτρων και της ετήσιας μεταβολής της θέσης του ήλιου και κυμαίνεται από ± 2 έτη έως ± 40 έτη. 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.

Ολοκληρωμένες μελέτες σε μνημεία του Ελληνικού Χώρου

Στο πλαίσιο αυτής της εργασίας παρουσιάζονται ενδεικτικά τα αποτελέσματα της μελέτης ορισμένων ομάδων μνημείων τη χρήση της παρουσιαζόμενης μεθοδολογίας, όπως:

- Βυζαντινοί ναοί και παρεκκλήσια της Μοναστικής Πολιτείας των Μετεώρων και της Καστροπολιτείας του Μυστρά
- Παλαιοχριστιανικές βασιλικές
- Ναοί της κλασσικής αρχαιότητας (τα τέσσερα Ηραία της Ελλάδας, Παρθενώνας, Ερεχθείο, Ναός του Ποσειδώνα στο Σούνιο, Ναός του Ηφαίστου, ναός του Δία στην Αρχαία Ολυμπία, δέκα μνημεία του αρχαιολογικού χώρου της Δήλου).

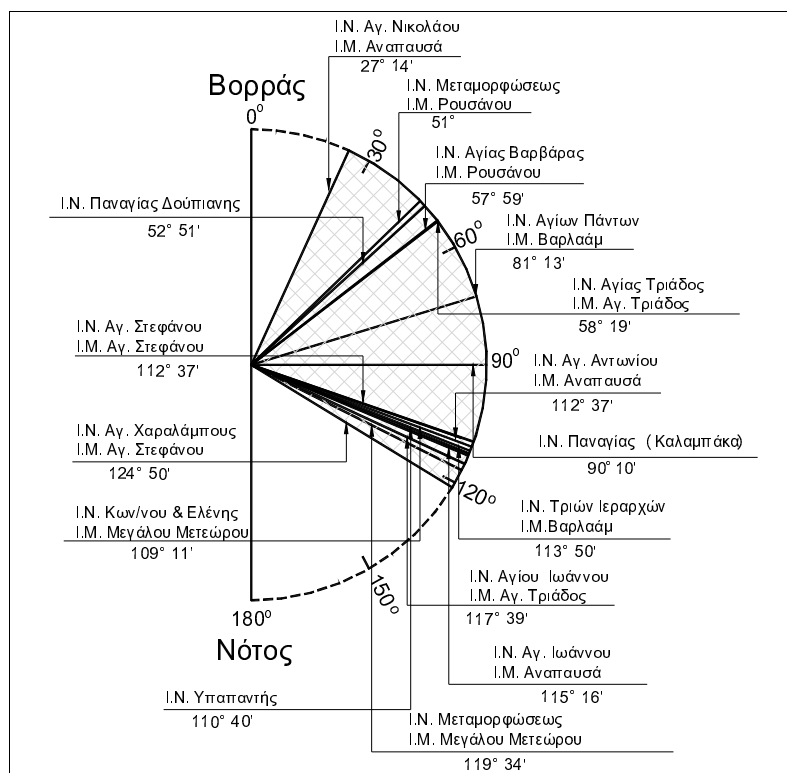
Οι Βυζαντινοί Ναοί και τα Παρεκκλήσια της Μοναστικής Πολιτείας των Μετεώρων

Τα Μετέωρα αποτελούν το μεγαλύτερο και σημαντικότερο μετά το Άγιο Όρος μοναστικό συγκρότημα του Ελλαδικού χώρου. Η αστρογεωδαιτική μεθοδολογία έρευνας του προσανατολισμού μνημείων εφαρμόστηκε στους 17 ναούς &

παρεκκλήσια της μοναστικής πολιτείας των Μετεώρων (Πανταζής, 2002, Πανταζής κ.α, 2003, Pantazis et al, 2004, Νούσια, 2004, Πανταζής et al, 2006) το χρονικό διάστημα 2000-2004 και συγκεκριμένα στις ιερές μονές Μεγάλου Μετεώρου, Βαρλαάμ, Ρουσάνου, Αγίου Νικολάου Αναπαυσά, Αγίας Τριάδος, Αγίου Στεφάνου, Υπαπαντής, στους ιερούς ναούς Παναγίας της Δούπιανης και Κοιμήσεως της Θεοτόκου στην Καλαμπάκα.

Για τις ανάγκες αυτής της μελέτης απαιτήθηκαν περίπου 20 ημέρες για τη συλλογή των μετρήσεων (συνεργείο 2 ατόμων) και χρονικό διάστημα περίπου 2 μηνών για την επεξεργασία και την εξαγωγή των αποτελεσμάτων.

Στο σχήμα 7 αναπαριστούνται τα αστρονομικά αζιμούθια των βασικών κατά μήκος αξόνων των 17 ναών & παρεκκλησίων, ενώ στο σχήμα 8 παρουσιάζονται τα προσανατολισμένα διαγράμματα κάτοψής τους.

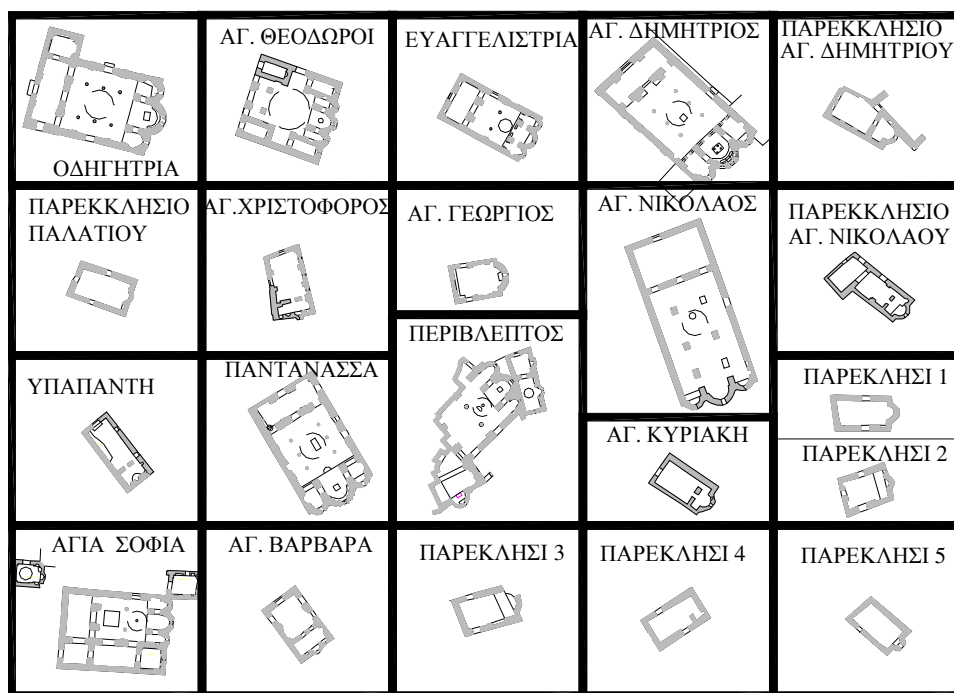


Σχήμα 7. Κατανομή αστρονομικών αζιμουθίων του βασικού κατά μήκος άξονα των 17 ναών & παρεκκλησίων της Μοναστικής Πολιτείας των Μετεώρων

- 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 9β).
- Σε μικρότερο ποσοστό (21%) ο προσανατολισμός τους σχετίζεται με την ημέρα της ισημερίας (σχήμα 9β). Η ημέρα αυτή 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%). Σε μικρότερο ποσοστό (29%) (σχήμα 9γ) προσανατολισμένη (στραμμένη σε συγκεκριμένο αζιμούθιο) είναι μια άλλη χαρακτηριστική διεύθυνση π.χ η διεύθυνση της γραμμής που ορίζεται από το μέσο του ανοίγματος που υπάρχει στην κόγχη του Ιερού Βήματος και το μέσο της Αγίας Τράπεζας.

Οι Βυζαντινοί Ναοί και τα Παρεκκλήσια της Καστροπολιτείας του Μυστρά

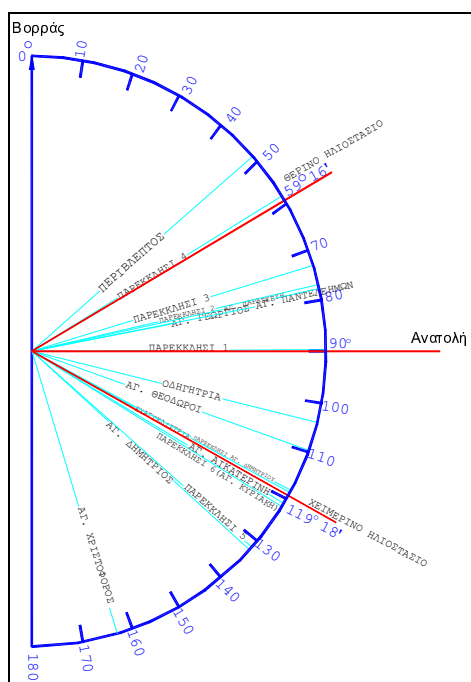
Στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος με τίτλο *"Έρευνα του προσανατολισμού μνημείων της Ελλάδος"*, το οποίο χρηματοδοτήθηκε από το Υπουργείο Πολιτισμού, Γενική Διεύθυνση Αναστήλωσης Μουσείων και τεχνικών έργων – ΔΕΕΜΠΚ, προσδιορίστηκε ο αστρονομικός προσανατολισμός των βυζαντινών ναών και παρεκκλησίων (24 στο σύνολό τους) της Καστροπολιτείας του Μυστρά και στη συνέχεια ακολούθησε η διερεύνηση του προσανατολισμού τους (Πανταζής, 2011). Η Καστροπολιτεία του Μυστρά αποτελεί μια ολοκληρωμένη ομάδα βυζαντινών ναών και σκοπός της έρευνας ήταν να αναδείξει οποιαδήποτε συστηματικότητα στον προσανατολισμό τους. Για τις ανάγκες αυτής της μελέτης απαιτήθηκαν περίπου 10 ημέρες για τη συλλογή των μετρήσεων (συνεργείο 4 ατόμων) και χρονικό διάστημα περίπου 4 μηνών για την επεξεργασία και την εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Στο σχήμα 10 παρουσιάζονται τα αντίστοιχα προσανατολισμένα διαγράμματα κάτοψης των 24 μνημείων.



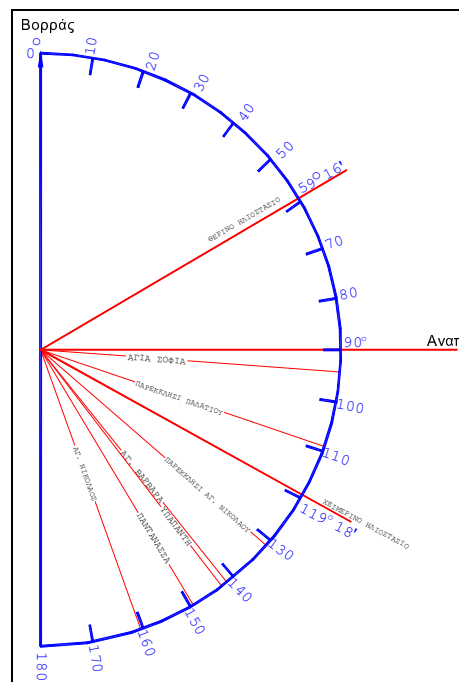
Σχήμα 10. Τα προσανατολισμένα διαγράμματα κάτοψης των Βυζαντινών ναών & παρεκκλησιών του Μυστρά

Στα σχήματα 11 και 12 αναπαριστούνται τα αστρονομικά αζιμούθια των βασικών αξόνων όλων των ναών και παρεκκλησιών της Καστροπολιτείας του Μυστρά. Ο διαχωρισμός σε **επάνω** και **κάτω ενότητα** έγινε για την καλύτερη ανάγνωση των διαγραμμάτων και περιλαμβάνει τις τιμές των αστρονομικών αζιμουθίων των ναών και παρεκκλησιών που συναντά ο επισκέπτης εισερχόμενος από την **Πύλη του Κάστρου** ή από την **Κύρια Πύλη** αντίστοιχα.

Από τα δύο διαγράμματα προκύπτει ότι ο προσανατολισμός των 24 ναών και παρεκκλησιών διαφοροποιείται σημαντικά. Δεν παρουσιάζει συστηματικότητα και κυμαίνεται στην πλειοψηφία από 70° έως 145°. Η διασπορά των τιμών των αστρονομικών αζιμουθίων στην **κάτω ενότητα** έχει μεγαλύτερο εύρος με τα περισσότερα μνημεία να εμφανίζουν προσανατολισμό βορειοανατολικό ή νοτιοανατολικό. Στην **επάνω ενότητα** παρουσιάζεται πιο ομογενοποιημένος ο προσανατολισμός τους έτσι ώστε όλα τα μνημεία να εμφανίζουν προσανατολισμό νοτιοανατολικό.



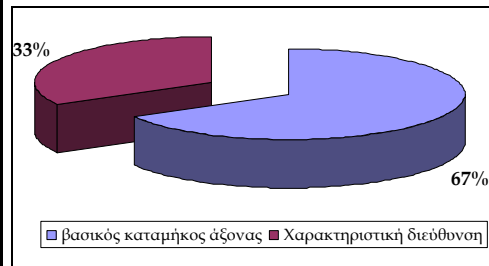
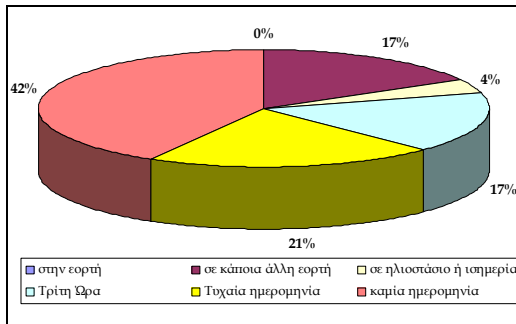
Σχήμα 11. Κατανομή αστρονομικών αζιμουθίων των ναών στην **κάτω ενότητα**



Σχήμα 12. Κατανομή αστρονομικών αζιμουθίων των ναών στην **επάνω ενότητα**

Η έρευνα που αφορά στον προσανατολισμό των 24 ναών και παρεκκλησιών της Καστροπολιτείας του Μυστρά απέδειξε ότι:

- ❖ Όταν διερευνάται ο προσανατολισμός των μνημείων με τον βασικό κατά μήκος άξονα (σχήμα 13) προκύπτει ότι για κανένα μνημείο αυτός δεν συνδέεται με την ημέρα εορτής του Αγίου, στον οποίο φέρεται ότι έχει αφιερωθεί. Αντίθετα ο προσανατολισμός τους συνδέεται κυρίως με κάποια άλλη εορτή, ή το ηλιοστάσιο και την ισημερία ή την Τρίτη Ώρα. Για το 42% των ναών ο βασικός κατά μήκος άξονας δεν συναντά στον ορίζοντα καμία πορεία του ήλιου. Έτσι δεν προκύπτει και χρονολόγηση χρησιμοποιώντας τον βασικό κατά μήκος άξονα.
- ❖ Για την πλειοψηφία των ναών (67%) διαπιστώνεται ότι ο βασικός κατά μήκος άξονάς τους είναι στραμμένος σε διεύθυνση που συναντά την πορεία του ήλιου στον ορίζοντα σε τυχαία ημερομηνία (όχι εορτής) ή δεν συναντά καμία πορεία ήλιου (σχήμα 14), ενώ σε μικρότερο ποσοστό (33%) αυτό συμβαίνει με κάποια άλλη ειδική διεύθυνση.



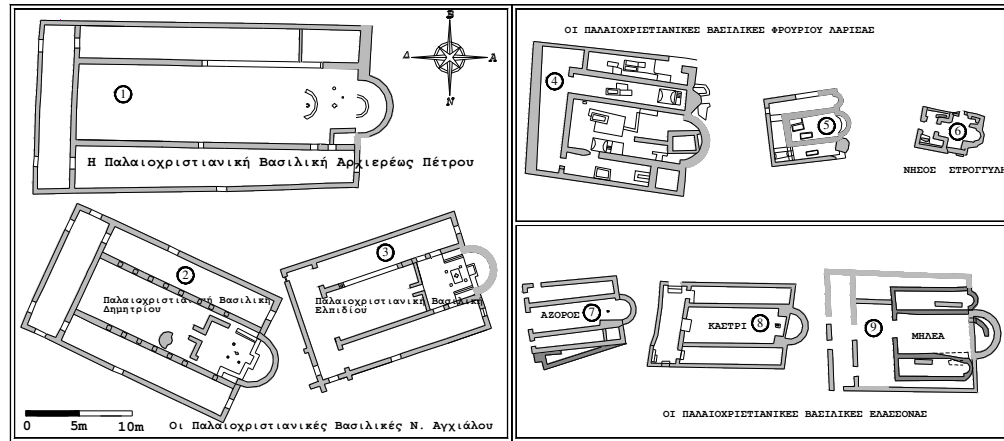
Σχήμα 13. Προσανατολισμός του βασικού κατά μήκος άξονά των μνημείων σε τυχαία ημερομηνία ή σε καμία ημερομηνία χρησιμοποιώντας τον βασικό κατά μήκος άξονά τους ή κάποια χαρακτηριστική διεύθυνση.

Συμπεραίνεται επίσης ότι στην χωροθέτηση των βυζαντινών ναών και παρεκκλησίων της Καστροπολιτείας του Μυστρά φαίνεται να ήταν σημαντικός ο ρόλος της γεωμορφολογίας του χώρου. Διαπιστώνεται δε ότι ο κατά μήκος άξονας των ναών γενικά ακολουθεί την διεύθυνση των ισοϋψών καμπυλών του εδάφους στο σημείο κατασκευής καθενός, που σημαίνει πως οι κτήτορες επέλεξαν επίπεδες περιοχές για την τοποθέτησή τους.

Παλαιοχριστιανικές βασιλικές

Η παλαιοχριστιανική βασιλική είναι ο χώρος συγκέντρωσης των πιστών τα πρώτα χριστιανικά χρόνια. Είναι ένας τύπος αρχιτεκτονικού δημιουργήματος που όμως έχει προκύψει από διάφορα αρχιτεκτονικά στοιχεία που ήταν γνωστά στα διάφορα ρωμαϊκά κτίρια. Σήμερα τα μνημεία αυτά σώζονται κυρίως στη βάση τους και αποτελεί ιδιαίτερο ενδιαφέρον η έρευνα του προσανατολισμού τους και ιδιαίτερα η χρονολόγησή τους, αφού τις περισσότερες φορές δεν υπάρχουν άλλα ευρήματα που να προσδιορίζουν επαρκώς το έτος κτήσης τους αλλά και τον Άγιο ή την Αγία στους οποίους αρχικά αφιερώθηκαν. Στο πλαίσιο διπλωματικών εργασιών (Καλλιαρόπουλος, 2004, Μάμμα, 2004, Μόκα, 2004, Μούγια, 2004, Πολυχρονόπουλος, 2004, Τζιαφέτα, 2004) προσδιορίστηκε ο προσανατολισμός και το έτος κτήσης 9 παλαιοχριστιανικών βασιλικών και πιο συγκεκριμένα: 3 παλαιοχριστιανικές βασιλικές στον αρχαιολογικό χώρο της Νέας Αγχιάλου, 2

παλαιοχριστιανικές βασιλικές στο Φρούριο της Λάρισας, 3 παλαιοχριστιανικές βασιλικές στην Ελασσόνα και 1 παλαιοχριστιανική βασιλική στη Νήσο στρογγυλή. Στο σχήμα 15 (Pantazis et al, 2007) παρουσιάζονται τα προσανατολισμένα διαγράμματα της κάτοψής τους.

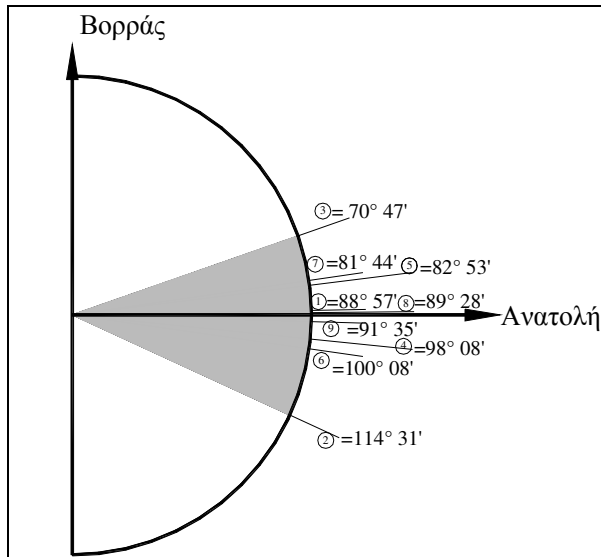


Σχήμα 15. Τα προσανατολισμένα διαγράμματα κάτοψης των 9 παλαιοχριστιανικών βασιλικών.

Στον πίνακα 1 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αναλυτικά στοιχεία προσδιορισμού θέσης, προσανατολισμού και χρονολόγησής τους (Pantazis, 2007). Από το σχήμα 16 προκύπτει ότι ο αστρονομικός προσανατολισμός των 9 παλαιοχριστιανικών βασιλικών διαφοροποιείται και κυμαίνεται από 70° έως 114°.

	ΠΑΛΑΙΟΧΡΙΣΤΙΑΝΙΚΕΣ ΒΑΣΙΛΙΚΕΣ	ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ (WGS '84) φ (°) λ (°)	ΕΟΡΤΗ	ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΚΟ ΑΖΙΜΟΥΘΙΟΥ ΒΑΣΙΚΟΥ ΑΞΟΝΑ (°)	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΚΤΙΣΗΣ	ΑΒΕΒΑΙΟΣΤΗΤΑ (έτη)
ΦΡΟΥΡΙΟ ΛΑΡΙΣΑΣ	Η ΒΑΣΙΚΗ ΒΑΣΙΛΙΚΗ	39° 38' 27" 22° 24' 57"	-	98° 07' 57"	5/3/409	± 64
	Η ΜΙΚΡΗ ΒΑΣΙΛΙΚΗ	39° 38' 30" 22° 24' 59"	Γενέθλια Παναγίας	82° 53' 19"	8/9/446	± 37
ΕΛΑΣΣΟΝΑ	ΜΗΛΕΑ	40° 02' 06" 22° 06' 20"	Ευαγγελισμός Θεοτόκου	91° 35' 02"	25/3/491	± 17
	ΑΖΟΡΟΣ	39° 58' 53" 22° 05' 07"	Προφήτης Μωυσής	81° 43' 44"	4/9/406	± 18
	ΚΑΣΤΡΙ	40° 03' 08" 22° 07' 21"	Προφήτης Ζαχαρίας	89° 28' 41"	5/9/553	± 24
ΝΕΑ ΑΓΧΙΑΛΟΣ	ΑΡΧΙΕΡΕΩΣ ΠΕΤΡΟΥ	39° 16' 23" 22° 48' 58"	Ισημερία	88° 56' 57"	19/9/542	± 3
	ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ	39° 16' 36" 22° 49' 08"	Αγίου Γρηγορίου	114° 30' 58"	25/1/410	± 4
	ΕΛΠΙΔΙΟΥ	39° 16' 41" 22° 49' 19"	Αγίας Παρασκευής	70° 46' 56"	26/7/674	± 48
	ΝΗΣΟΣ ΣΤΡΟΓΓΥΛΗ	38° 48' 33" 22° 49' 16"	Εύρεση Τιμίας Κεφαλής Ιωάννου Προδρόμου	100° 08' 01"	24/2/947	± 46

Πίνακας 1. Αποτελέσματα προσανατολισμού παλαιοχριστιανικών βασιλικών

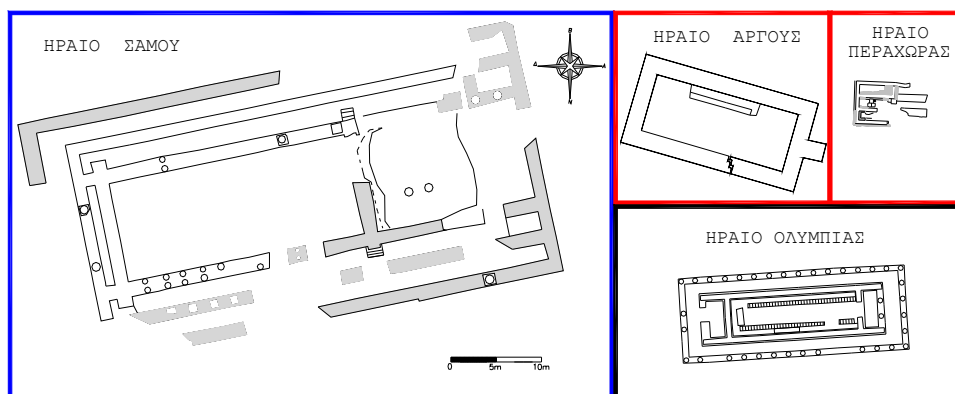


Σχήμα 16. Κατανομή αστρονομικών αζιμουθίων του βασικού κατά μήκος άξονα

Διαπιστώθηκε επίσης ότι οι 7 από αυτές είναι προσανατολισμένες στην ανατολή του ήλιου στον ορίζοντα του τόπου την ημέρα εορτής του αγίου στον οποίο αφιερώθηκαν, ενώ οι άλλες δύο είναι προσανατολισμένες την ημέρα της Ισημερίας.

Μνημεία Κλασσικής Αρχαιότητας

Η έρευνα του αστρονομικού προσανατολισμού μνημείων έχει επεκταθεί και σε μνημεία – ναούς της κλασσικής αρχαιότητας, όπως τα 4 Ηραία που βρίσκονται στον Ελλαδικό χώρο (Γιαβής, 2005, Ταγιάδος, 2005, Ηλιοδρομίτης, 2006, Γεωργίου, 2007, Πανταζής 2012). Στο σχήμα 17 απεικονίζονται τα προσανατολισμένα διαγράμματα κάτοψης των Ηραίων ενώ παρατηρώντας τον πίνακα 2 και το σχήμα 18 προκύπτει ότι τα 4 Ηραία παρουσιάζουν διαφορετικό αστρονομικό προσανατολισμό, που κυμαίνεται από 78° έως 105°.



Σχήμα 17. Τα προσανατολισμένα διαγράμματα κάτοψης των 4 Ηραίων

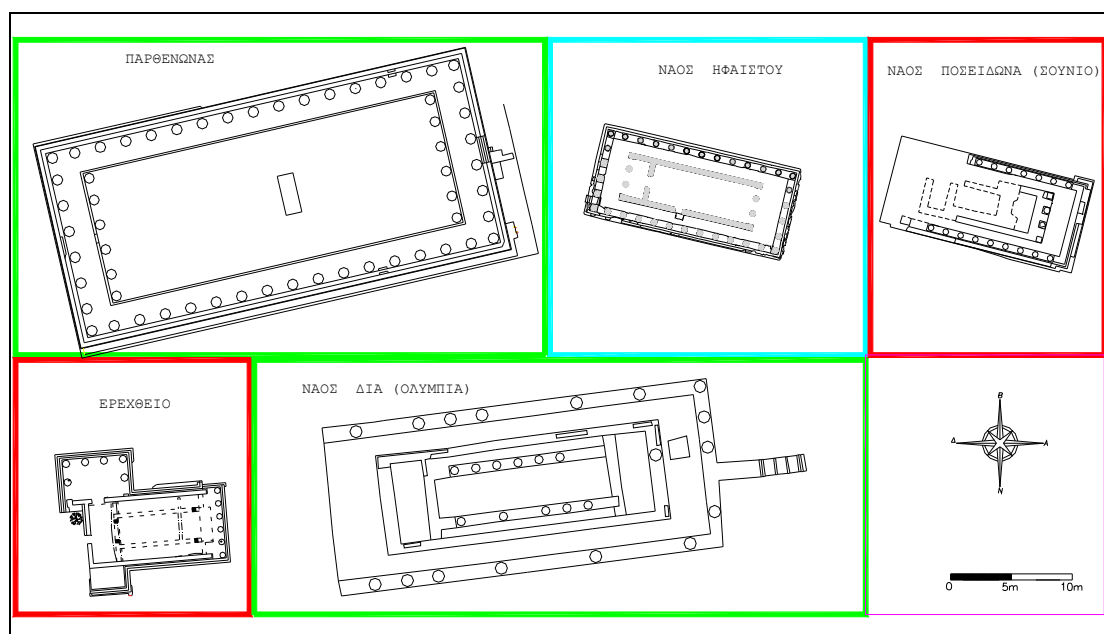
	ΑΖΙΜΟΥΘΙΟ Βασικού άξονα (°)	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΟΡΕΙΑΣ ΗΛΙΟΥ	ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ	
Ηραίο Περαχώρας	92° 27'	9/4/518 π.Χ ± 22 έτη	± 4 '	
Ηραίο Αργους	105° 53'	25/2/403 π.Χ ± 23 έτη	± 3 '	
Ηραίο Σάμου	78° 24'	07/09/522 π.Χ ± 16 έτη	± 3 '	
Ηραίο Ολυμπίας	86° 23'	13/04/1476 π.Χ ± 16 έτη	± 1 '	

Πίνακας 2.Αποτελέσματα προσανατολισμού
Ηραίων

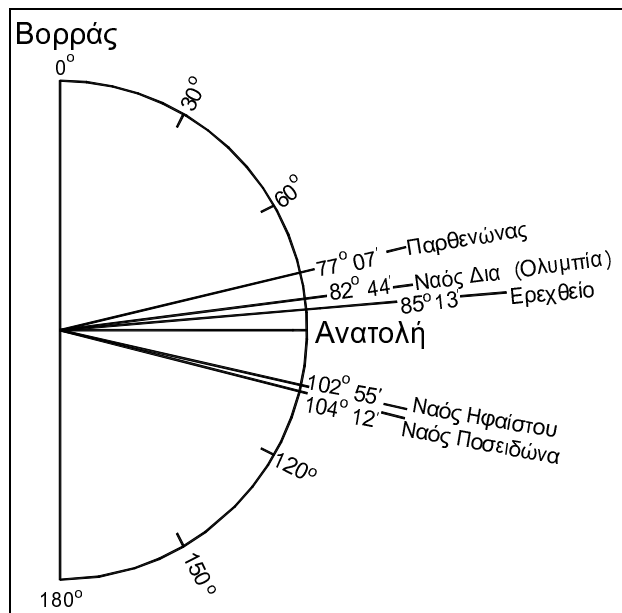
Σχήμα 18. Κατανομή αστρονομικών
αζιμουθίων του βασικού κατά μήκος
άξονα των Ηραίων.

Αντίστοιχη έρευνα έγινε σε 5 άλλα πολύ σημαντικά μνημεία της κλασσικής περιόδου (Παρθενώνας, Ερεχθείο, Ναός Ηφαίστου στην Αρχαία Αγορά, Ναός του Ποσειδώνα στο Σούνιο, ναός του Δία στην Αρχαία Ολυμπία) στο πλαίσιο διπλωματικών εργασιών (Γεωργίου, 2007, Φαφούτης, 2004, Μηνά, 2005, Τόλιος, 2008).

Στο σχήμα 19 απεικονίζονται τα προσανατολισμένα διαγράμματα κάτοψης των 5 ιστορικών μνημείων.



Σχήμα 19. Τα προσανατολισμένα διαγράμματα κάτοψης των 5 μνημείων της
κλασσικής αρχαιότητας.



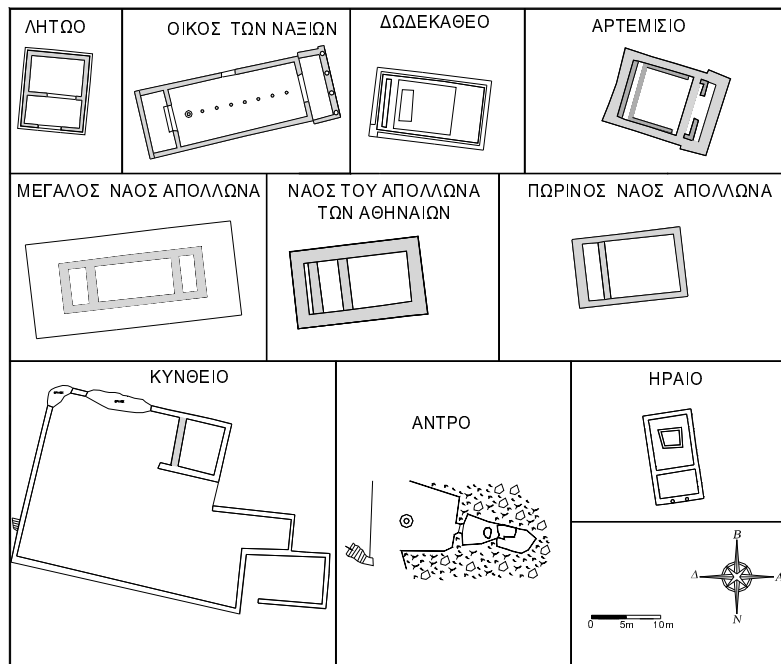
Σχήμα 20. Κατανομή αστρονομικών αζιμουθίων του βασικού κατά μήκος άξονα των 5 μνημείων.

Παρατηρώντας το σχήμα 20 προκύπτει ότι τα 5 μνημεία της κλασσικής αρχαιότητας, δεσπόζοντας σημασίας, παρουσιάζουν διαφορετικό αστρονομικό προσανατολισμό, που κυμαίνεται από 77° έως 104°. Επιπλέον διαπιστώνεται ότι ο Παρθενώνας, το Ερεχθείο και ο Ναός του Δια έχουν βορειοανατολικό προσανατολισμό, ενώ νοτιοανατολικό προσανατολισμό έχουν οι Ναοί του Ηφαίστου και του Ποσειδώνα.

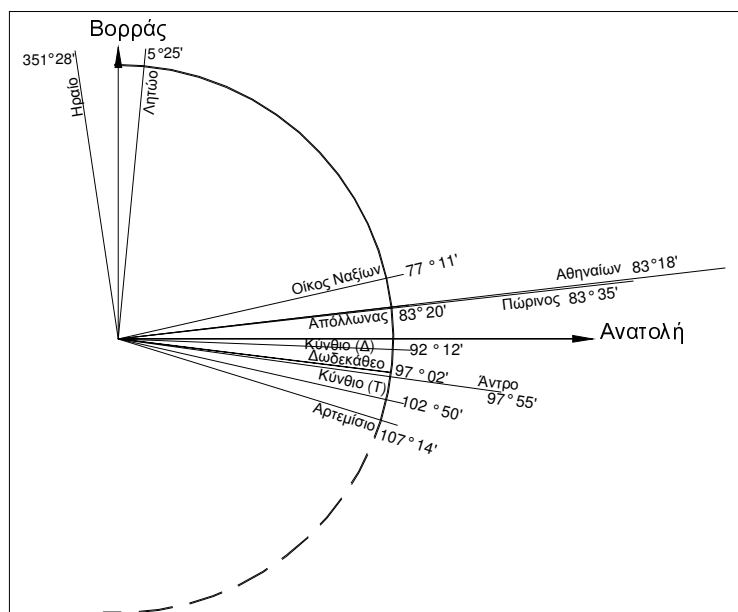
Τέλος αντίστοιχη έρευνα πραγματοποιήθηκε στα 10 μνημεία του αρχαιολογικού χώρου της Δήλου. Η έρευνα αυτή πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο Ερευνητικού Προγράμματος με τίτλο *"Έρευνα του προσανατολισμού αρχαίων μνημείων της Δήλου"*. Το ερευνητικό αυτό πρόγραμμα χρηματοδοτήθηκε από το Υπουργείο Πολιτισμού με φορέα υλοποίησης τη Διεύθυνση Εκτέλεσης Έργων Μουσείων και Πολιτιστικών Κτιρίων (Πανταζής, 2007, Pantazis, 2009). Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκαν οι απαραίτητες Τοπογραφικές εργασίες πεδίου, στο χρονικό διάστημα από 19 Σεπτεμβρίου 2007 μέχρι και 24 Σεπτεμβρίου 2007 στον αρχαιολογικό χώρο της Δήλου. Η οργάνωση του προγράμματος και οι εργασίες γραφείου (συλλογή στοιχείων) ξεκίνησαν τον Μάιο του 2007 και ολοκληρώθηκαν το Δεκέμβριο του ίδιου έτους.

Στο σχήμα 21 παρουσιάζονται τα αστρονομικά προσανατολισμένα διαγράμματα κάτοψης των δέκα μνημείων, ενώ στο αντίστοιχο σχήμα 22 απεικονίζεται η κατανομή

των τιμών των αστρονομικών αζιμουθίων του βασικού κατά μήκος άξονα των μνημείων.



Σχήμα 21. Τα προσανατολισμένα διαγράμματα κάτοψης των μνημείων του αρχαιολογικού χώρου της Δήλου



Σχήμα 22. Κατανομή αστρονομικών αζιμουθίων του βασικού κατά μήκος άξονα των μνημείων του αρχαιολογικού χώρου της Δήλου.

Στον πίνακα 3 παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά στοιχεία του προσανατολισμού των μνημείων του αρχαιολογικού χώρου της Δήλου, συμπεριλαμβανομένης και της χρονολόγησής τους με την αντίστοιχη αβεβαιότητα.

Μνημείο	Az	1η Ημερομηνία	2η Ημερομηνία	Αβεβαιότητα (έτη)
Δωδεκάθεο	97° 02'	09/10/600 π.Χ	17/03/600 π.Χ	± 17
Μεγάλος Ναός Απόλλωνα	83° 20'	14/04/500 π.Χ	11/09/475 π.Χ	± 21
Πώρινος ναός του Απόλλωνα	83° 35'	15/04/510 π.Χ	11/09/510 π.Χ	± 38
Ναός του Απόλλωνα των Αθηναίων	83° 18'	15/04/420 π.Χ	09/09/420 π.Χ	± 20
Αρτεμίσιο	107° 14'	25/02/700 π.Χ	30/10/700 π.Χ	± 72
Ηραίο	351° 28'	-	-	
Λητώο	5° 25'	-	-	
Οίκος των Ναξίων	77° 11'	29/08/600 π.Χ	29/04/600 π.Χ	± 13
Άντρο	97° 55'	26/04/900 π.Χ	05/09/900 π.Χ	± 55
Κύνθιο (Ν.τοιχος)	102° 50'	26/10/575 π.Χ	28/02/575 π.Χ	± 22
Κύνθιο (ΝΑ δωμ.)	92° 12'	05/10/550 π.Χ	23/03/550 π.Χ	± 47

Πίνακας 3.Αποτελέσματα προσανατολισμού και χρονολόγησης των μνημείων του αρχαιολογικού χώρου της Δήλου, ως προς τον ήλιο.

Συμπεράσματα

Από όλη την ανάλυση που προηγήθηκε και από την έρευνα σε μνημεία που ανήκουν σε διαφορετικές χρονικές περιόδους και χρήσεις διαπιστώνεται ότι χρησιμοποιώντας και συνδυάζοντας γεωδαιτικές και αστρογεωδαιτικές μεθόδους μέτρησης και επεξεργασίας, όπως αυτές εφαρμόζονται με τη χρήση σύγχρονων ψηφιακών γεωδαιτικών οργάνων, είναι εφικτό με αξιοπιστία και με ακρίβεια αφενός να οριστεί και αφετέρου να ερμηνευθεί ο προσανατολισμός ενός μνημείου.

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

- ❶ Ο γεωμετρικός προσδιορισμός του βασικού άξονα ή άλλης ειδικής διεύθυνσης του μνημείου, που μπορεί να επιτευχθεί μόνο με την αποτύπωση – τεκμηρίωση του μνημείου και τη δημιουργία του διαγράμματος της κάτοψής του.
- ❷ Ο προσδιορισμός του αστρονομικού αξιμουθίου του βασικού άξονα ή της διεύθυνσης με παρατηρήσεις στον Πολικό αστέρα. Η μεταφορά του αξιμουθίου αυτού με γεωδαιτικές μεθόδους και με ακρίβεια για τον προσδιορισμό του αστρονομικού αξιμουθίου του βασικού άξονα ή κάποιας άλλης ειδικής διεύθυνσης του μνημείου.
- ❸ Ο γεωμετρικός προσδιορισμός της οριογραμμής του αισθητού ορίζοντα, ο οποίος βρίσκεται μπροστά από το μνημείο ή το ναό , όπως αυτός γίνεται ορατός από κάποια συγκεκριμένη θέση.
- ❹ 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, για χαρακτηριστικές ημερομηνίες (εορτή θεότητας στην οποία είναι αφιερωμένο το μνημείο, ισημερία, ηλιοστάσιο).

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.

Οι παράμετροι ①, ②, ③, ④, ⑤, μπορούν να προκύψουν μόνο με την εφαρμογή

Γεωδαιτικών και Αστρογεωδαιτικών μετρήσεων. Έτσι είναι δυνατόν:

➔ Από τις παραμέτρους ①, ②, να *οριστεί με ακρίβεια της τάξης των $\pm 20''$* 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.

Η *ακρίβεια* με την οποία επιτυγχάνεται ο προσδιορισμός του αστρονομικού αζιμουθίου μιας διεύθυνσης παρατήρησης είναι καλύτερη από $\pm 1''$. Ο προσδιορισμός του Αστρονομικού αζιμουθίου του βασικού άξονα ή κάποιας άλλης ειδικής διεύθυνσης κυμαίνεται από μερικά δευτερόλεπτα τόξου (") έως μερικά λεπτά τόξου ('), και εξαρτάται κυρίως από το μήκος του άξονα του μνημείου και από την αβεβαιότητα προσδιορισμού των συντεταγμένων των σημείων λεπτομερειών.

Βιβλιογραφία

Γεωργίου Σ., *Ο προσανατολισμός των αρχαίων ναών του Δία και της Ήρας στην Αρχαία Ολυμπία*, Διπλωματική εργασία, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, 2007

Γιαβής Ι., *Ο προσανατολισμός του αρχαίου ναού της Ήρας στο Άργος*, Διπλωματική εργασία, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, 2005

Ηλιοδρομίτης Α., *Ολοκληρωμένη γεωμετρική τεκμηρίωση του Αρχαίου ναού της Ήρας στη Σάμο με σύγχρονα γεωδαιτικά όργανα*, Διπλωματική εργασία, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, 2006

- Καλλιαρόπουλος Κ. *Ο προσανατολισμός των Παλαιοχριστιανικών Βασιλικών Αζώρου και Μηλέας*, Διπλωματική εργασία, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, 2004
- Λάμπρου Ε., *Ανάπτυξη μεθοδολογίας αστρογεωδαιτικών προσδιορισμών με ψηφιακά γεωδαιτικά όργανα*, ΕΜΠ, Διδακτορική διατριβή, Αθήνα 2003.
- Lambrou E., Pantazis G., *Astronomical azimuth determination by the hour angle of Polaris using ordinary total stations*, Survey Review, Vol. 40, No. 308, 2008
- Lockyer J. Norman, *The Dawn of Astronomy*, The M.I.T. Press, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge Massachusetts 1964.
- Μάμμα Α. *Ο προσανατολισμός των Παλαιοχριστιανικών Βασιλικών του Αγίου Δημητρίου και του Επισκόπου Ελπιδίου στη Νέα Αγχίαλο*, Διπλωματική εργασία, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, 2004
- Μηνά Α., *Ο αστρονομικός προσανατολισμός του Ερεχθείου στην Ακρόπολη*, Διπλωματική εργασία, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, 2005
- Μόκα Ι., *Ο προσανατολισμός της Παλαιοχριστιανικής Βασιλικής του Φρουρίου Λάρισας*. Διπλωματική εργασία, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, 2004
- Μούγια Α., *Ο προσανατολισμός της μικρής Παλαιοχριστιανικής στο Φρούριο της Λάρισας*, Διπλωματική εργασία, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, 2004
- Nissen H. *Orientation. Studien zur Geschichte der Religion*. Heft 2. Weidmam, Berlin, 1907.
- Νούσια Μ. *Ο προσανατολισμός του ναού της Υπαπαντής στα Μετέωρα*, Διπλωματική εργασία, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, 2004.
- Πανταζής Γ., *Διερεύνηση του προσανατολισμού μνημείων με Γεωδαιτικές και Αστρονομικές μεθόδους. Εφαρμογή στα Μετέωρα.*, ΕΜΠ, Διδακτορική διατριβή Αθήνα 2002.
- Πανταζής Γ., Δ-Δ. Μπαλοδήμος, *Μεθοδολογία διερεύνησης προσανατολισμού μνημείων*. Τεχνικά Χρονικά, τεύχος 2/2003, σειρά Ι (θέματα Πολιτικού Μηχανικού και Αγρ. Τοπογράφου Μηχανικού), 2003
- Πανταζής Γ., Λάμπρου Ε., Δεριζιώτης Λ., *Προσδιορισμός του προσανατολισμού των ναών της Μοναστικής Πολιτείας των Μετεώρων με αστρογεωδαιτική Μεθοδολογία*. Παρουσίαση στο "1^ο Αρχαιολογικό Έργο Θεσσαλίας και Στερεάς Ελλάδας", Βόλος, Πρακτικά συνεδρίου , Τόμος Ι, σελ. 469-481, Φεβρουάριος 2003
- Pantazis G., Sinachopoulos D., Lambrou E., Korakitis R, *Astrogeodetic study of the orientation of Ancient and Byzantine Monuments: Methodology and first results*. Journal of Astronomical History and Heritage. Volume 7 No 2, Number 14, 2004.

- Πανταζής Γ., Λάμπρου Ε., Σοφιανός Δ. *Χρονολόγηση του Ναού της Υπαπαντής στα Μετέωρα*. Παρουσίαση στο "2^ο αρχαιολογικό έργο Θεσσαλίας και Στερεάς Ελλάδος 2003-2005, από τους προϊστορικούς στους νεότερους χρόνους", Βόλος, πρακτικά συνεδρίου Τόμος Ι, σελ. 539 – 550, Μάρτιος 2006
- Πανταζής Γ., *Έρευνα του προσανατολισμού Αρχαίων Μνημείων της Δήλου*, Τεχνική έκθεση ερευνητικού προγράμματος, 2007
- Pantazis G., Lambrou E., *On the date of early Christian Basilicas (Central Greece)*. Mediterranean Archaeology and Archaeometry, τεύχος 3, Τόμος 6, 2007
- Pantazis G., Lambrou E., Nikolitsas K., Papathanasiou M., Hliodromitis A. *The orientation of Delos' monuments*. Mediteranian Archaeology and Archaeometry, Vol. 9, No 1, 2009
- Πανταζής Γ., *Έρευνα του προσανατολισμού μνημείων της Ελλάδος - Ο προσδιορισμός και η ερμηνεία του προσανατολισμού των βυζαντινών ναών και παρεκκλησίων της καστροπολιτείας του Μυστρά*, Τεχνική έκθεση ερευνητικού προγράμματος, 2011
- Πανταζής Γ. *Το Ηραίο του Άργους. Ο αστρονομικός προσανατολισμός και η χρονολόγησή του*. Ηλεκτρονικό Περιοδικό Αρχαιολογία, (<http://www.archaiologia.gr/blog/2012/12/10/%CF%84%CE%BF-%CE%B7%CF%81%CE%B1%CE%AF%CE%BF-%CF%84%CE%BF%CF%85-%CE%AC%CF%81%CE%B3%CE%BF%CF%85%CF%82/>), 2012
- Πολυχρονόπουλος Π., *Ο προσανατολισμός της Παλαιοχριστιανικής Βασιλικής του Καστρίου*, Διπλωματική εργασία, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, 2004
- Ποταμιάνος Ιάκωβος, *Το φως στη Βυζαντινή Εκκλησία*, University Studio Press, Θεσσαλονίκη 2000.
- Ταγιάδος Γ., *Ο προσανατολισμός του αρχαίου ναού της Ήρας Ακραιάς στην Περαιώρα*, Διπλωματική εργασία, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, 2005
- Τζιαφέτα Κ. *Ο προσανατολισμός της Παλαιοχριστιανικής Βασιλικής του Αρχιερέως Πέτρου στη Νέα Αγχίαλο*, Διπλωματική εργασία, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, 2004
- Τόλιος Α., *Ο προσανατολισμός των αρχαίων ναών του Ποσειδώνα και της Αθηνάς στο Σούνιο*, Διπλωματική εργασία, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, 2008
- Φαφούτης Χ., *Μελέτη της γεωμετρίας του Παρθενώνα με Γεωδαιτικές και Αστρονομικές μεθόδους*, Διπλωματική εργασία, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, 2004