

**ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΝΑΩΝ ΤΗΣ
ΜΟΝΑΣΤΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΕΙΑΣ ΤΩΝ ΜΕΤΕΩΡΩΝ
ΜΕ ΑΣΤΡΟΓΕΩΔΑΙΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.**

Γ. ΠΑΝΤΑΖΗΣ¹

Αγρ.- Τοπογράφος Μηχ. Ε.Μ.Π.
Διδάκτωρ Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Ε. ΛΑΜΠΡΟΥ¹

Αγρ.- Τοπογράφος Μηχ. Ε.Μ.Π.
Υπ. Διδάκτωρ Ε.Μ.Π.

Λ. ΔΕΡΙΖΙΩΤΗΣ²

Αρχαιολόγος
Διευθυντής της 7^{ης} Ε.Β.Α

Περίληψη

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται μια νέα γεωμετρική μεθοδολογία, η οποία συνδυάζει γεωδαιτικές και αστρονομικές μεθόδους με σκοπό τον προσδιορισμό του ακριβούς προσανατολισμού μνημείων. Η μεθοδολογία αυτή μπορεί να οδηγήσει επίσης στον προσδιορισμό της χρονικής περιόδου κτίσης του μνημείου.

Παρουσιάζεται η εφαρμογή που έγινε στους ναούς και στα παρεκκλήσια που βρίσκονται στο χώρο της Μοναστικής Πολιτείας των Μετεώρων, όπου απεδείχθει ο συστηματικός τρόπος προσανατολισμού, ο οποίος συνδέεται κυρίως με την ημέρα εορτασμού τους.

Κατά την εφαρμογή της μεθοδολογίας, με τη χρήση σύγχρονων γεωδαιτικών ψηφιακών σταθμών, δημιουργήθηκε μια βάση δεδομένων που περιέχει τα προσανατολισμένα Τοπογραφικά διαγράμματα των κατόψεών τους. Τα διαγράμματα αυτά αναφέρονται σε ενιαίο κρατικό σύστημα αναφοράς και αποδίδουν πλήρως και με ακρίβεια της τάξης $\pm 2\text{mm}$ όλη τη γεωμετρική πληροφορία για κάθε ναό.

Η μεθοδολογία είναι εύκολη και γρήγορη και μια γενικευμένη εφαρμογή της μπορεί να βοηθήσει εξαιρετικά στη δημιουργία αρχείων με αντίστοιχες πληροφορίες για όλα τα μνημεία.

1. Εισαγωγή

Τα μνημεία, 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. Η κατασκευή, η χωροθέτηση ενός μνημείου αλλά και ο προσανατολισμός του συνδέεται άμεσα με τη χρήση του, την

ιστορικότητα και τη λειτουργικότητά του, τις λατρευτικές τελετές που αυτό εξυπηρετεί αλλά και με την τοπογραφία του χώρου στον οποίο έχει κατασκευασθεί. Ιδιαίτερα για τους χριστιανικούς και Βυζαντινούς ναούς, μεγάλη σημασία έχει η είσοδος των ακτίνων του ηλιακού φωτός στο χώρο του Ιερού Βήματος και στο σημείο της Αγίας Τράπεζας όπου ο ιερέας τελεί, κατά τη Θεία λειτουργία, το μυστήριο της Θείας ευχαριστίας [5].

Η μέχρι σήμερα έρευνα για τον προσανατολισμό των μνημείων εμφανίζει τις εξής αδυναμίες:

α) Ο σχετικά ατελής και επομένως όχι ακριβής ορισμός του βασικού 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, η οποία παρέχει τον προσανατολισμό στον μαγνητικό και όχι στον αστρονομικό βορρά με χαμηλής ακρίβειας και αξιοπιστίας αποτελέσματα και προϋποθέτει την υλοποίηση των γραμμών αυτών στο χώρο του μνημείου.

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

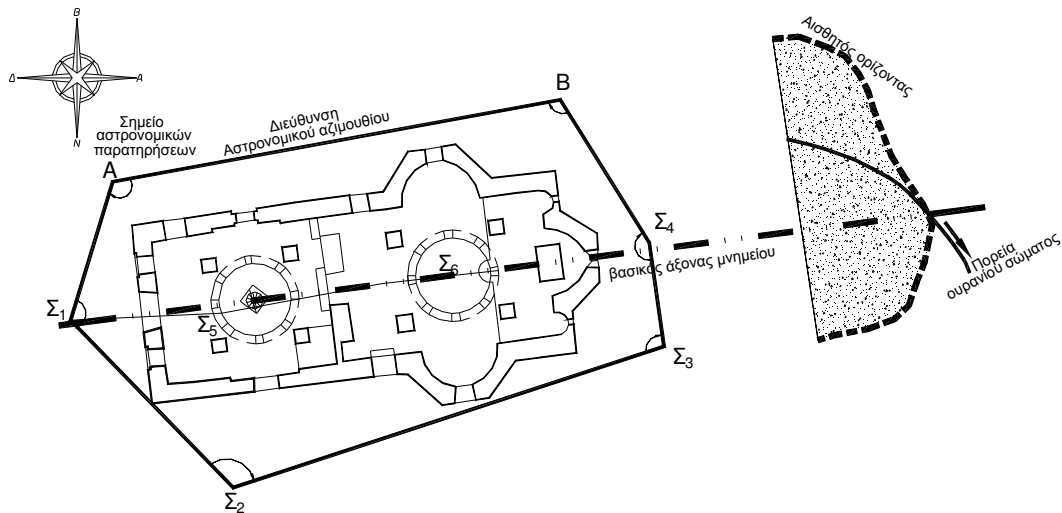
Η γνώση των παραπάνω στοιχείων μπορεί να προκύψει μόνο από την ορθή γεωμετρική απόδοση - τεκμηρίωση της μορφής του μνημείου και της οριογραμμής του ορίζοντα και από την εφαρμογή αστρονομικών μετρήσεων.

2. Περιγραφή μεθοδολογίας

Ο προσδιορισμός του προσανατολισμού μνημείων ανάγεται στον γεωμετρικό προσδιορισμό του αστρονομικού αζιμουθίου του βασικού άξονα ή άλλης ειδικής διεύθυνσης τους. Η διερεύνηση και ερμηνεία του προσανατολισμού τους γίνεται προσδιορίζοντας την ημερομηνία και την χρονολογία κατά την οποία ο άξονας αυτός συναντά τον ήλιο ή κάποιο άλλο ουράνιο σώμα, στο ίδιο αστρονομικό αζιμούθιο καθώς ανατέλλει πάνω από τον αισθητό ορίζοντα, που βρίσκεται μπροστά από το μνημείο. Η σχηματική παράσταση του προβλήματος διερεύνησης προσανατολισμού μνημείων παρουσιάζεται στο σχήμα 1, από το οποίο διαπιστώνεται ότι οι βασικές γεωμετρικές ενέργειες που θα οδηγήσουν στην επίλυση του είναι:

- *Ο προσδιορισμός του αστρονομικού αζιμουθίου μιας συγκεκριμένης διεύθυνσης AB.* Αυτός μπορεί να γίνει με ακρίβεια, με αστρονομικές παρατηρήσεις. Στην Ελλάδα, λόγω

της γεωγραφικής θέσης, εφαρμόζεται η μέθοδος παρατήρησης του Πολικού Αστέρρα. Επιτυγχάνεται ακρίβεια καλύτερη από $\pm 1''$, χρησιμοποιώντας ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό (Total station) τελευταίας τεχνολογίας, ο οποίος συνδέεται με δέκτη του συστήματος GPS για τη λήψη του παγκόσμιου χρόνου UTC [2].



Σχήμα 1 : Σχηματική παράσταση του προσδιορισμού του προσανατολισμού μνημείων.

- Η μεταφορά αυτού του αστρονομικού αξιμουθίου στο χώρο του μνημείου με τη βοήθεια γεωδαιτικού δικτύου. Το δίκτυο αυτό ιδρύεται στην περιοχή του μνημείου και οι μετρήσεις σε αυτό μπορούν να γίνουν είτε με επίγειες μεθόδους (μέτρηση αποστάσεων, γωνιών) είτε με δορυφορικές μεθόδους (GPS).
- Η ορθή και πλήρης γεωμετρική αποτύπωση του μνημείου οριζοντιογραφικά για τον καθορισμό του σχήματός του. Συνήθως η αποτύπωση γίνεται σε τοπικό καρτεσιανό σύστημα αναφοράς (X,Y,Z), με αυθαίρετη επιλογή της αρχής και αστρονομικό προσανατολισμό σύμφωνα με τον προηγούμενο προσδιορισμό και σπανιότερα η αποτύπωση εντάσσεται σε ενιαίο (κρατικό) σύστημα αναφοράς, στο οποίο η θέση ενός σημείου ορίζεται αν είναι γνωστές οι ορθογώνιες συνταγμένες στην προβολή (X, Y) και το ορθομετρικό του υψόμετρο H, από τη μέση στάθμη της θάλασσας [1]. Χρησιμοποιώντας σύγχρονες τοπογραφικές μεθόδους αποτύπωσης όπως αυτές εφαρμόζονται με τη χρήση ολοκληρωμένων ψηφιακών γεωδαιτικών σταθμών, μετρούνται γωνίες και αποστάσεις για κάθε επιθυμητό σημείο του μνημείου και υπολογίζονται οι συντεταγμένες του X, Y, Z στο επιλεγμένο σύστημα αναφοράς, με ακρίβεια που μπορεί να φθάσει τα $\pm 2\text{mm}$.

- *Ο γεωμετρικός προσδιορισμός τόσο του βασικού άξονα όσο και άλλων ειδικών διευθύνσεων του μνημείου, ο οποίος γίνεται με αναλυτική διαδικασία χρησιμοποιώντας το διάγραμμα κάτοψης του μνημείου, χωρίς να απαιτείται η υλοποίησή τους στο χώρο του μνημείου.*
- *Ο προσδιορισμός του αστρονομικού αζιμουθίου των γραμμών αυτών, με αναλυτική διαδικασία, χρησιμοποιώντας το προσανατολισμένο διάγραμμα της κάτοψης του μνημείου.*
- *Ο γεωμετρικός προσδιορισμός της οριογραμμής του αισθητού ορίζοντα, που βρίσκεται μπροστά από το μνημείο και είναι ορατός από συγκεκριμένο σημείο στο χώρο του μνημείου. 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). [6]*

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 (ν) για κάθε σημείο του. Αν οι μετρήσεις γίνουν από άλλο σημείο και όχι το επιθυμητό, 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). Ο προσδιορισμός των σημείων της οριογραμμής του ορίζοντα μπορεί να γίνει με μια ακρίβεια $\pm 7''$ αν αυτός είναι κοντινός και δεν απαιτείται αναγωγή, ενώ στις περιπτώσεις που αυτός είναι μακρινός και απρόσιτος ή απαιτείται αναγωγή των μετρήσεων, η αβεβαιότητα προσδιορισμού τους διαφοροποιείται από μνημείο σε μνημείο και είναι της τάξης των $\pm 1'.6$ [4].

- *Ο προσδιορισμός της φαινόμενης πορείας του ήλιου ή άλλου αστέρα από το χώρο του μνημείου, σε μια συγκεκριμένη ημερομηνία - χρονολογία, ο οποίος μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας κατάλληλο λογισμικό με τη βοήθεια του οποίου γίνεται προσομοίωση της ουράνιας σφαίρας για τη συγκεκριμένη ημερομηνία και προσδιορίζεται η θέση ή η πορεία του ουράνιου σώματος με μια ακρίβεια της τάξης των $\pm 2''$. [3]*

3. Χρονολόγηση 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 γεωμετρικό προσδιορισμό της γραμμής με την οποία διερευνάται ο προσανατολισμός του (βασικός άξονας ή άλλη ειδική διεύθυνση) και του αστρονομικού αζιμουθίου της.
- Ο προσδιορισμός της οριογραμμής του αισθητού ορίζοντα.
- 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 για κάποια ημερομηνία και της οριογραμμής του ορίζοντα, που απέχει την ελάχιστη απόσταση από τη γραμμή που υλοποιεί το αζιμούθιο του βασικού άξονα ή άλλης ειδικής διεύθυνσης του μνημείου. 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.

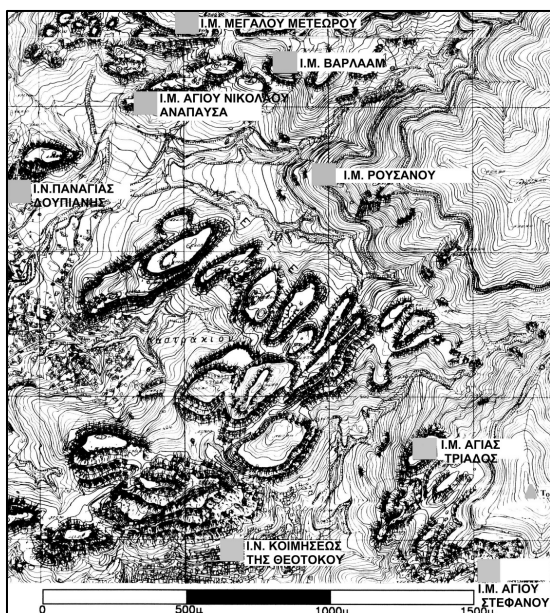
Η χρονολόγηση ενός μνημείου, η οποία μπορεί να επιτευχθεί με την προτεινόμενη μεθοδολογία, πρέπει να συνοδεύεται και από την αντίστοιχη αβεβαιότητα. Η αβεβαιότητα αυτή υπολογίζεται αν είναι γνωστά:

- Το σφάλμα προσδιορισμού του αστρονομικού αζιμουθίου του βασικού άξονα ή άλλης ειδικής διεύθυνσης του μνημείου.
- Η τιμή της μεταβολής της πορείας του ήλιου, για τη συγκεκριμένη ημερομηνία που εξετάζεται. Η τιμή αυτή, διαφοροποιείται μεταξύ ηλιοστασίων και ισημεριών, από 3"/έτος (ελάχιστη τιμή) έως 11"/έτος (μέγιστη τιμή) [4].

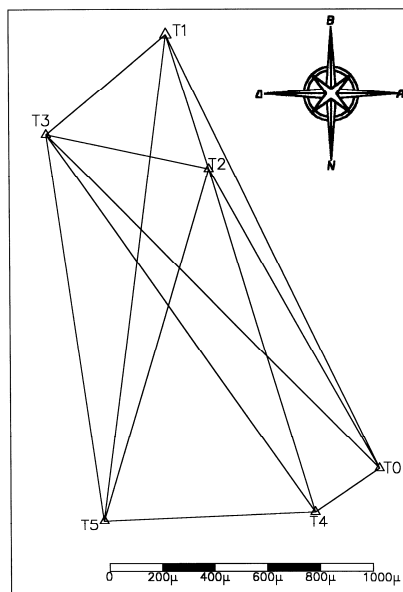
Η αβεβαιότητα της χρονολόγησης ενός μνημείου προκύπτει ως το πηλίκο του σφάλματος προσδιορισμού του προσανατολισμού του και της ετήσιας μεταβολής της θέσης του ήλιου. Η αβεβαιότητα αυτή κυμαίνεται από ± 2 έτη έως ± 300 έτη όταν ο προσανατολισμός του μνημείου συνδέεται με τη θέση του ήλιου. Εξαρτάται καθοριστικά τόσο από το μέγεθος του μνημείου όσο και από τη θέση και τον τρόπο μέτρησης του αισθητού ορίζοντα, που βρίσκεται στη διεύθυνση του βασικού άξονα ή άλλης ειδικής διεύθυνσης του και συνδέεται με τον προσανατολισμό του [4].

4. Εφαρμογή της μεθοδολογίας στη Μοναστική Πολιτεία των Μετεώρων.

Η μεθοδολογία προσδιορισμού και ερμηνείας του προσανατολισμού μνημείων εφαρμόστηκε στους χώρους της μοναστικής πολιτείας των Μετεώρων (χάρτης 1), που παρουσιάζει έντονο τοπογραφικό ανάγλυφο και συγκεκριμένα στις ιερές μονές Μεγάλου Μετεώρου, Βαρλαάμ, Ρουσάνου, Αγίου Νικολάου Αναπαυσά, Αγίας Τριάδος, Αγίου Στεφάνου, στον ιερό ναό Παναγίας της Δούπιανης και στον ιερό ναό Κοιμήσεως της Θεοτόκου στην Καλαμπάκα.



Χάρτης 1. Περιοχή Μετεώρων



Σχήμα 2: Γεωδαιτικό δίκτυο

Στην περιοχή των Μετεώρων ιδρύθηκε τρισδιάστατο γεωδαιτικό δίκτυο (σχήμα 2) με σκοπό την ένταξη της αποτύπωσης των ναών σε ενιαίο κρατικό σύστημα αναφοράς. Οι μετρήσεις στο δίκτυο αυτό, που αποτελείται από έξι κορυφές, πραγματοποιήθηκαν με τη χρησιμοποίηση δεκτών του συστήματος GPS, λόγω της σχετικής θέσης των κορυφών του δικτύου αλλά και της έκτασης την οποία αυτό καλύπτει. Από την επίλυση του δικτύου, στο σύστημα ΕΓΣΑ '87, προέκυψαν οι συντεταγμένες των κορυφών του (X, Y, H).

Πραγματοποιήθηκε ο προσδιορισμός του αστρονομικού αζιμουθίου των διευθύνσεων T4 – T0 και T2 – T1. Αυτός έγινε με παρατηρήσεις στον Πολικό Αστέρα από τα σημεία T4 και T2 του τρισδιάστατου γεωδαιτικού δικτύου αντίστοιχα. Οι μετρήσεις και στα δύο σημεία πραγματοποιήθηκαν σε μια νύκτα και διήρκεσαν 2 περίπου ώρες. Έτσι το δίκτυο απέκτησε ορθό αστρονομικό προσανατολισμό.

Κατόπιν έγιναν οι μετρήσεις που αφορούσαν στην αποτύπωση των ναών και των παρεκκλησίων. Οι μετρήσεις έγιναν χρησιμοποιώντας σύγχρονα ψηφιακά γεωδαιτικά

όργανα, που υλοποιούν τη θέση ενός σημείου με τη βοήθεια laser και μετρούν την απόσταση προς αυτό χωρίς πρίσμα, και προσδιορίστηκαν οι συντεταγμένες των σημείων λεπτομερειών με μια αβεβαιότητα της τάξης των $\pm 3\text{mm}$. Δημιουργήθηκαν έτσι τα ψηφιακά τοπογραφικά διαγράμματα των κατόψεων τους. Έγιναν επίσης οι μετρήσεις και οι απαραίτητες αναγωγές για τον προσδιορισμό της οριογραμμής του αισθητού ορίζοντα με αβεβαιότητα που κυμαίνεται από 3" έως 1.6'. Η πορεία του ήλιου για κάθε ημερομηνία προκύπτει ψηφιακά, χρησιμοποιώντας κατάλληλο πρόγραμμα. Η διερεύνηση του προσανατολισμού σε όλους τους ναούς και τα παρεκκλήσια έγινε με τον βασικό κατά μήκος άξονα τους, που θα μπορούσε με μικρές παραδοχές να χαρακτηριστεί και άξονας συμμετρίας τους και ο οποίος διέρχεται πάντοτε από το μέσο της Αγίας Τράπεζας ή με την ειδική διεύθυνση που συνδέει το μέσο της Αγίας Τράπεζας με το μέσο του ανοίγματος που υπάρχει στο ιερό Βήμα.

4.1. Αποτελέσματα εφαρμογής.

Στον πίνακα 1 που ακολουθεί παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα της διερεύνησης του προσανατολισμού, των 16 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. Προκύπτει 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. 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 του μοναδικού 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.

ΜΟΝΕΣ	ΝΑΟΙ	ΕΤΟΣ ΚΤΙΣΗΣ	ΕΙΔΟΣ ΓΡΑΜΜΗΣ	ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΚΟ ΑΖΙΜΟΥΓΙΟ ΓΡΑΜΜΗΣ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΟΡΕΙΑΣ ΗΛΙΟΥ
ΜΕΓΑΛΟ ΜΕΤΕΩΡΟ	ΙΩΑΝΝΟΥ ΠΡΟΔΡΟΜΟΥ	-	Β.Α	119° 34' ± 2.3'	ΕΟΡΤΗ (7/1/1360)
	ΜΕΤΑΜΟΡΦΩ ΣΕΩΣ	1360	Β.Α	119° 34' ± 0.6'	ΕΟΡΤΗ ΑΓ. ΙΩΑΝΝΟΥ (7/1/1360)
		1388 <i>επέκταση</i>	ΓΡΑΜΜΗ ΣΤΟ ΠΑΤΩΜΑ	70° 35' ± 20.9'	ΕΟΡΤΗ (6/8/1388)
	ΚΩΝ/ΝΟΥ & ΕΛΕΝΗΣ	1789	Β.Α	109° 11' ± 5.6'	ΕΟΡΤΗ (21/5/1789) (Τρίτη Ωρα)
ΒΑΡΛΑΑΜ	ΑΓΙΟΙ ΠΑΝΤΕΣ	1542 <i>(Πάσχα 9 / 4)</i>	Β.Α	81° 13' ± 1'	ΕΟΡΤΗ (4/6/1542) (Τρίτη Ωρα)
	ΤΡΕΙΣ ΙΕΡΑΡΧΕΣ	1350	Β.Α	113° 50' ± 2.3'	ΕΟΡΤΗ 30/1/1350
ΡΟΥΣΑΝΟΥ	ΜΕΤΑΜΟΡΦΩ ΣΕΩΣ	1528	Β.Α	51° 0'	
			Π.Τ	99° 21' ± 8.6'	ΙΣΗΜΕΡΙΑ 1528
	ΑΓΙΑ ΒΑΡΒΑΡΑ	-	Β.Α	57° 59' ± 7.0'	
ΑΝΑΠΑΥΣΑ	ΑΓΙΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ	1527	Β.Α	27° 14'	
			Π.Τ	130° 13' ± 11.4'	ΕΟΡΤΗ (06/12/1527)
	ΑΓΙΟΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ	1350	Β.Α	112° 37' ± 4.4'	ΙΣΗΜΕΡΙΑ 1350 (Τρίτη Ωρα)
	ΙΩΑΝΝΗΣ ΠΡΟΔΡΟΜΟΣ	1600 <i>(± 17έτη)</i>	Β.Α	115° 16' ± 3.0'	ΙΣΗΜΕΡΙΑ 1600 (Τρίτη Ωρα)
ΑΓΙΑ ΤΡΙΑΔΑ	ΑΓΙΑ ΤΡΙΑΔΑ	1458	Β.Α	58° 19' ± 1.6'	ΕΟΡΤΗ (22/5/1458)
			ΔΥΤΙΚΟ ΠΑΡΑΘΥΡΟ (προσθήκη)	274° 42' ± 23.2'	ΙΣΗΜΕΡΙΑ 1689
	ΙΩΑΝΝΗΣ ΠΡΟΔΡΟΜΟΣ	1682	Π.Τ	117° 39' ± 9.7'	ΕΟΡΤΗ (07/01/1682)
ΑΓΙΟΣ ΣΤΕΦΑΝΟΣ	ΑΓΙΟΣ ΣΤΕΦΑΝΟΣ	1350	Β.Α	111° 13' ± 1.5'	ΙΣΗΜΕΡΙΑ 1350 (Τρίτη Ωρα)
			Π.Τ	119° 04' ± 6.6'	ΕΟΡΤΗ (27/12/1350)
	ΑΓΙΟΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ	1398	Β.Α	124° 50' ± 0.8'	ΕΟΡΤΗ (10/2/1398) (Τρίτη Ωρα)
ΠΑΝΑΓΙΑ ΔΟΥΠΙΑΝΗ	ΖΩΟΔΟΧΟΣ ΠΗΓΗ	-	Β.Α	52° 51' ± 1.8'	
ΠΑΝΑΓΙΑ	ΠΑΝΑΓΙΑ	1000 <i>(± 13 έτη)</i>	Β.Α	90° 10' ± 0.5'	ΕΟΡΤΗ (15/8/1000)

Β.Α = Βασικός άξονας, Π.Τ = Παράθυρο Ιερού – Αγία Τράπεζα

Πίνακας 1 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα του προσανατολισμού των ναών των μονών των Μετέωρων.

- Επιπλέον, ο προσανατολισμός ορισμένων ναών, 5 από τους 14, σχετίζεται με την Τρίτη Ώρα. Η ώρα αυτή, στη χριστιανική θρησκεία, είναι η ώρα τέλεσης του μυστηρίου της Θείας Ευχαριστίας κατά τη Θεία λειτουργία.

Ειδικότερα:

Στην I.M. Μεγάλου Μετεώρου διαπιστώθηκε ότι το καθολικό της μονής, που είναι αφιερωμένο στη Μεταμόρφωση του Σωτήρος είναι προσανατολισμένο στην ανατολή του ήλιου την ημέρα εορτής του Τιμίου Προδρόμου (7 Ιανουαρίου) για το έτος κτίσης (1360). Είναι πιθανόν λοιπόν το σημερινό Ιερό του ναού της Μεταμορφώσεως, που ήταν ο αρχικός μικρός ναός, να ήταν αφιερωμένο στον Άγιο Ιωάννη. Στη συνέχεια, όταν έγινε η επέκταση του ναού, το 1388, αυτός αφιερώθηκε στη Μεταμόρφωση του Σωτήρος, ενώ παράλληλα διαμορφώθηκε ο διπλανός βοηθητικός χώρος, σε παρεκκλήσι το οποίο αφιερώθηκε στον Άγιο Ιωάννη. Οι κτίτορες του μεγάλου ναού δεν μπορούσαν βέβαια να αλλάξουν τον προσανατολισμό του. Για να δείξουν όμως ότι συνδύασαν την ημέρα εορτασμού του ναού με τη θέση του ήλιου τοποθέτησαν ξεχωριστή μαρμάρινη πλάκα στο δάπεδο, στο κέντρο περίπου του ναού, με τέτοιο τρόπο ώστε η γραμμή που φέρει να βρίσκεται στη διεύθυνση της ανατολής του ήλιου την ημέρα εορτασμού του ναού (6 Αυγούστου 1388). Για τον ιερό ναό των Αγίων Κωνσταντίνου και Ελένης διαπιστώθηκε ότι ο προσανατολισμός του συνδέεται με τη θέση του ήλιου την Τρίτη ώρα κατά την ημέρα εορτής των Αγίων (21 Μαΐου) για το έτος κτίσης το οποίο και επιβεβαιώθηκε.

Στην I.M. Βαρλαάμ διαπιστώθηκε ότι το καθολικό της μονής, που είναι αφιερωμένο στους Αγίους Πάντες, είναι προσανατολισμένο στον ήλιο την Τρίτη ώρα την ημέρα εορτής των Αγίων (9 Απριλίου) για το έτος κτίσης (1542), το οποίο και επιβεβαιώθηκε. Αντίστοιχα ο ιερός ναός των Τριών Ιεραρχών είναι προσανατολισμένος στην ανατολή του ήλιου στον ορίζοντα, την ημέρα εορτής των Αγίων (30 Ιανουαρίου) για το έτος κτίσης (1350).

Στην I.M. Ρουσάνου η διεύθυνση της γραμμής, που συνδέει το μέσο της Αγίας Τράπεζας με το μέσο του μοναδικού ανοίγματος που υπάρχει στο νοτιοανατολικό τμήμα του ιερού βήματος είναι προσανατολισμένη στην ισημερία για το έτος κτίσης (1528). Στην περίπτωση αυτή και λόγω της τοπογραφίας του βράχου, οι κτίτορες του ναού δεν μπορούσαν να προσανατολίσουν το βασικό κατά μήκος άξονα του. Για το λόγο αυτό τοποθέτησαν το άνοιγμα σε τέτοια θέση, ώστε να επιτρέπεται η είσοδος των ακτίνων του ήλιου στο Ιερό Βήμα, για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα στη διάρκεια του έτους.

Στην I.M. Αγίου Νικολάου Αναπαυσά ο προσανατολισμός του παρεκκλησίου του Αγίου Αντωνίου, συνδέεται με τη θέση του βασικού άξονά του την Τρίτη ώρα την ημέρα εορτής του Αγίου (17 Ιανουαρίου) για το έτος κτίσης (1350), το οποίο επιβεβαιώθηκε. Στο καθολικό της μονής, που είναι αφιερωμένο στον Άγιο Νικόλαο, η διεύθυνση της γραμμής, που συνδέει το μέσο της Αγίας Τράπεζας με το μέσο του μοναδικού ανοίγματος που υπάρχει στο νοτιοανατολικό τμήμα του ιερού βήματος, ορίζει την ανατολή του ήλιου στον ορίζοντα την ημέρα εορτής του Αγίου (6 Δεκεμβρίου) για το έτος κτίσης (1527), το οποίο και επιβεβαιώθηκε.

Στην I.M. Αγίας Τριάδος το καθολικό της μονής, είναι προσανατολισμένο με το βασικό κατά μήκος άξονά του, στην ανατολή του ήλιου, την ημέρα εορτής της Αγίας Τριάδος (22 Μαΐου) για το έτος κτίσης (1458), το οποίο επιβεβαιώθηκε. Στο μικρό παρεκκλήσι του Τιμίου Προδρόμου η διεύθυνση της γραμμής που συνδέει το μέσο της Αγίας Τράπεζας με το μέσο του ανοίγματος στην κεντρική κόγχη του, ορίζει την ανατολή του ήλιου στον ορίζοντα την ημέρα εορτής του Αγίου (7 Ιανουαρίου) για το έτος κτίσης (1682).

Στην I.M. Αγίου Στεφάνου διαπιστώθηκε ότι ο ομώνυμος ναός κατασκευάστηκε έτσι ώστε η γραμμή που συνδέει το μέσο της Αγίας τράπεζας με το μέσο του παραθύρου στην κόγχη του ιερού βήματος, να είναι προσανατολισμένη στην ανατολή του ήλιου στον ορίζοντα την ημέρα εορτής του Αγίου (27 Δεκεμβρίου) για το έτος κτίσης (1350). Το καθολικό της μονής, που είναι αφιερωμένο στον Άγιο Χαράλαμπος, είναι προσανατολισμένο με τον βασικό κατά μήκος άξονά του την Τρίτη ώρα την ημέρα εορτής του Αγίου (10 Φεβρουαρίου) για το έτος κτίσης (1398), το οποίο επιβεβαιώθηκε. Για τον I. Ν. της Παναγίας της Δούπιανης διαπιστώθηκε ότι ο προσανατολισμός του δεν συνδέεται με τη θέση του ήλιου στον ορίζοντα για καμία ημέρα του έτους.

Έγινε ακόμη ο προσδιορισμός του έτους κτίσης για δύο ναούς:

- του παρεκκλησίου του Αγίου Ιωάννου του Προδρόμου στη μονή Αγίου Νικολάου Αναπαυσά. Λαμβάνοντας υπόψη την αβεβαιότητα προσδιορισμού του προσανατολισμού του, όπως προέκυψε από την εφαρμογή της μεθοδολογίας και την τιμή της μεταβολής της πορείας του ήλιου για τις 7 Ιανουαρίου, προκύπτει ότι το έτος κτίσης του ναού είναι το 1600 μ.Χ με αβεβαιότητα ± 17 χρόνια, που σημαίνει ότι ο ναός έχει οικοδομηθεί τη χρονική περίοδο 1583μ.Χ – 1617μ.Χ, προσανατολισμένος στον ήλιο.

- του ναού της Κοιμήσεως της Θεοτόκου στην Καλαμπάκα. Το έτος κτίσης του ναού, όπως προκύπτει είναι το 1000μ.Χ με αβεβαιότητα ± 13 χρόνια, που σημαίνει ότι ο ναός έχει οικοδομηθεί προσανατολισμένος στον ήλιο, τη χρονική περίοδο 987μ.Χ – 1013μ.Χ

5. Συμπεράσματα.

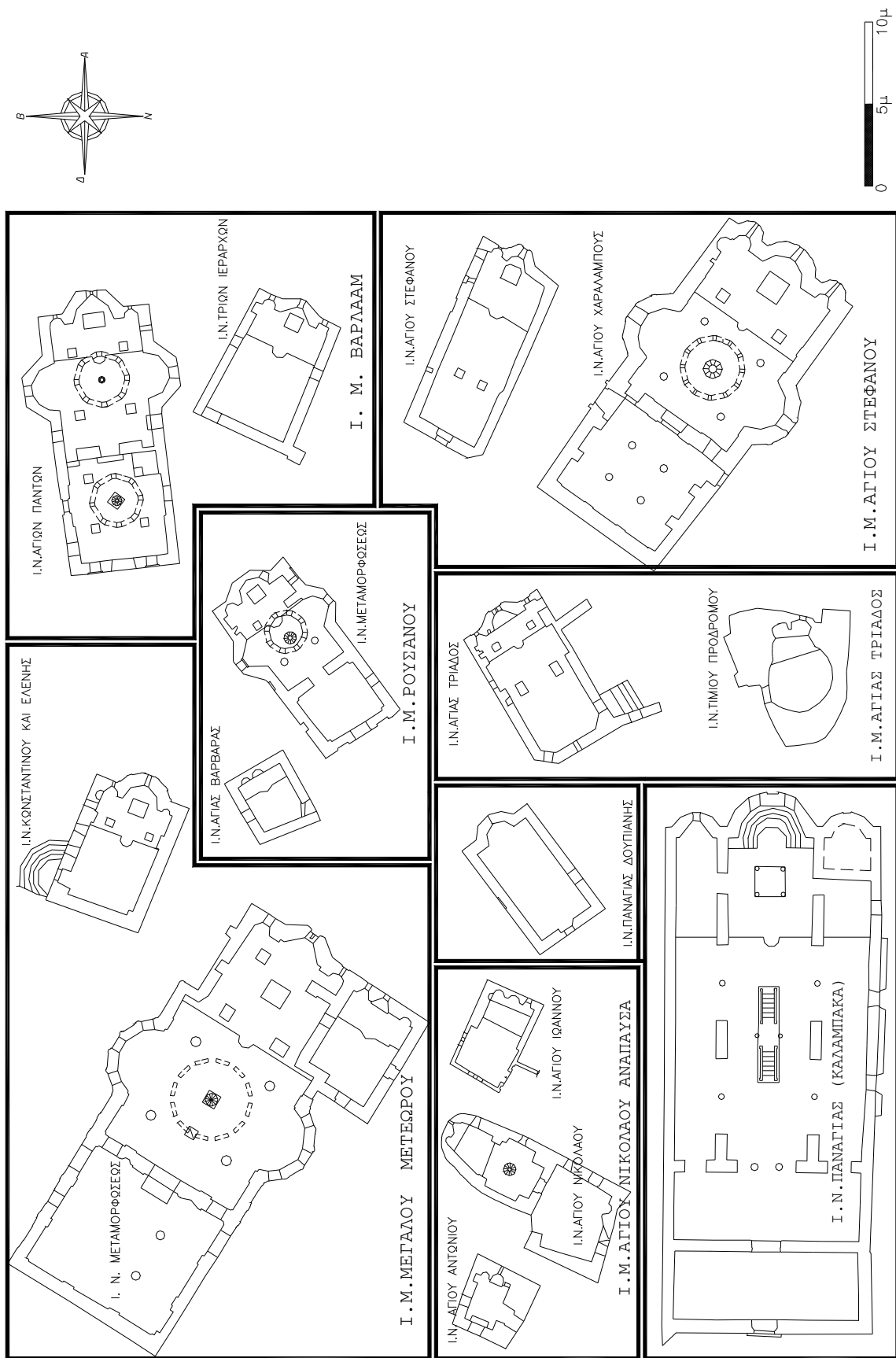
Από τα αποτελέσματα της εφαρμογής της μεθοδολογίας για τον ορισμό και την ερμηνεία του προσανατολισμού των ναών στη Μοναστική Πολιτεία των Μετεώρων, διαπιστώνεται ότι παρά το έντονο και τραχύ τοπογραφικό ανάγλυφο και τις δυσκολίες που αντιμετώπισαν κατά την κατασκευή τους, οι κτίτορες των ναών επιδείκνυαν ιδιαίτερη επιμέλεια στον προσανατολισμό τους. 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 [5].

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. Στο σχήμα 3 παρουσιάζονται τα προσανατολισμένα διαγράμματα των κατόψεων όλων των ναών και των παρεκκλησίων, όπως προέκυψαν από την αναλυτική μέτρηση και σχεδίαση κατά τη διάρκεια προσδιορισμού του προσανατολισμού τους.

Η μεθοδολογία που παρουσιάστηκε είναι εύκολη και γρήγορη στην εφαρμογή της όπως και στην επεξεργασία των στοιχείων υπαίθρου. Βοηθά σημαντικά στη δημιουργία μιας βάσης δεδομένων GIS με τεχνικά και ιστορικά στοιχεία για όλα τα μνημεία.

Η εφαρμογή της, όσο αφορά τη συλλογή των μετρητικών στοιχείων (εργασίες πεδίου), για ένα μνημείο αντίστοιχο του ιερού ναού της Κοιμήσεως της Θεοτόκου στην Καλαμπάκα, απαιτεί χρόνο περίπου 1 – 2 ημερών από ένα ειδικευμένο συνεργείο δύο ατόμων, ενώ αντίστοιχος χρόνος απαιτείται για την επεξεργασία των στοιχείων αυτών στο γραφείο, την εξαγωγή των συμπερασμάτων και τη δημιουργία των αντίστοιχων ψηφιακών σχεδιαστικών παραγώγων.

Η δυνατότητα προσδιορισμού της περιόδου κτίσης του μνημείου με την γεωμετρική αυτή μεθοδολογία, μπορεί να δώσει λύση σε περιπτώσεις μνημείων όπου ο προσδιορισμός της χρονολογίας κτίσης του με άλλες μεθοδολογίες δεν οδηγεί σε σαφή αποτελέσματα.



Σχήμα 3: Προσανατολισμένα διαγράμματα κατόψεων των ναών της μοναστικής πολιτείας των Μετεώρων.

Βιβλιογραφία.

1. Αγατζά - Μπαλοδήμου Α.Μ., Μπαλοδήμος Δ.-Δ., *Εισαγωγή στη Γεωδαισία*, ΕΜΠ, ΣΑΤΜ, Αθήνα 2000.
2. Λάμπρου Ε., *Αστρογεωδαιτικές παρατηρήσεις με ψηφιακά γεωδαιτικά όργανα*, Αθήνα, Ε.Μ.Π, ΣΑΤΜ, Διδακτορική διατριβή σε εξέλιξη.
3. Marriott Chris, *Skymap Pro Version8*, 1992-2001.
4. Πανταζής Γ., *Διερεύνηση του προσανατολισμού μνημείων με γεωδαιτικές και αστρονομικές μεθόδους. Εφαρμογή στα Μετέωρα*, Αθήνα 2002, Ε.Μ.Π, ΣΑΤΜ, Διδακτορική διατριβή.
5. Ποταμιάνος Ιάκωβος, *Το φως στη Βυζαντινή Εκκλησία*, University Studio Press, Θεσσαλονίκη 2000.
6. Seidelmann P. Kenneth, *Explanatory supplement to the Astronomical Almanac*, University science Books, Mill Valley, California 1992.

¹ Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών
Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας, Ηρώων Πολυτεχνείου 9, Ζωγράφου, ΤΚ. 15780,
Αθήνα, Email : gpanta@survey.ntua.gr , litsal@survey.ntua.gr
Τηλ. : 210 - 7722696, 210 – 7722737, Fax : 2107722728

² 7^η Εφορεία Βυζαντινών Αρχαιοτήτων , Ανθίμου Γαζή 46, Λάρισα, ΤΚ. 41222
Email : protocol@7eba.culture.gr , Τηλ. : 2410627930

***DETERMINATION OF THE ORIENTATION OF THE
"METEORA MONASTIC COMMUNITY" CHURCHES
BY ASTROGEODETIC METHODOLOGY***

Summary

This paper presents a new geometric method for the determination of the orientation of monuments and in addition can detect the period of time a Monument was erected .

This method is based on Geodetic and Astronomical measurements, by using modern digital total stations, which allows for the surveying of a monument and the determination of its astronomical orientation by observation to Polaris. These instruments use laser technology for accurate angle measurements and distance measurements without reflector. The coordinates X, Y and Z of each point are determined by an accuracy of the order of $\pm 2\text{mm}$.

The method provides an independent determination of the time the monument was constructed with a narrow chronological range.

Applications have been carried out in the "Meteora monastic community". Sixteen churches and chapels, where researched and the dates of their erection were confirmed, excluding to which were determined for the first time. It was proven that their orientation was done the day of their celebration to the Sun by its main axis or by the direction of the line, which connects the center of the altar with the center of the altar's window.

The two churches for which the erection time was determined were : The chapel of "St. John" at "St. Nicolas Anapausas Monastery" which was built in 1600 AD ± 17 years and the byzantine church of the "Assumption of Virgin Mary" in Kalabaka which was built in 1000 AD ± 13 years.

It is concluded that the suggested method allows for the investigation of the orientation of monuments as well as the determination of their date of erection within a satisfactory time range. The appropriate parameters for the correct application of the method are stated and the creation of a database for the 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.