

Κεφάλαιο 4

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΚΟΥ ΑΖΙΜΟΥΘΙΟΥ

4.1 Μέθοδος ωριαίας γωνίας

Ο προσδιορισμός του αστρονομικού αζιμουθίου μιας διεύθυνσης μπορεί να γίνει με διάφορες μεθόδους. Η μέθοδος που ακολουθήθηκε στην εργασία αυτή είναι η μέθοδος της ωριαίας γωνίας με σκόπευση του Πολικού Αστήρα (α Ursa Minoris).

Σύμφωνα με τη συγκεκριμένη μέθοδο το αστρονομικό αζιμούθιο μιας διεύθυνσης προσδιορίζεται με την παρατήρηση ενός αστήρα σε τυχαία θέση εφόσον είναι γνωστά : οι αστρονομικές συντεταγμένες Φ, Λ του τόπου παρατήρησης και οι ουρανογραφικές συντεταγμένες (ορθή αναφορά α και απόκλιση δ) του αστήρα που παρατηρείται.

Το μέγεθος που μετριέται, με αυτή τη μέθοδο, είναι ο χρόνος UTC κατά τη στιγμή της παρατήρησης. Η ωριαία γωνία h του αστήρα προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$h = \theta + \Lambda - \alpha \quad (4.1)$$

όπου:

θ : Ο αστρικός χρόνος Greenwich κατά τη στιγμή της παρατήρησης.

Λ : Αστρονομικό μήκος του τόπου.

α : Ορθή αναφορά του παρατηρούμενου αστήρα.

$$\text{όπου } \theta = \theta^{\text{ohUT}} + \text{UT} \cdot f \quad \text{UT} = \text{UTC} + \text{DUT}$$

Το αστρονομικό αζιμούθιο του αστήρα προκύπτει από τη λύση του τριγώνου θέσης του σύμφωνα με τη σχέση 4.2:

$$\tan A_s = \frac{-\sinh}{\cos \Phi \cdot \tan \delta - \sin \Phi \cdot \cosh} \quad (4.2)$$

όπου:

δ : Η απόκλιση του αστέρα.

Φ : Το αστρονομικό πλάτος του τόπου.

Η ακρίβεια της μεθόδου εξαρτάται από:

- Την ακρίβεια των αστρονομικών συντεταγμένων (Φ, Λ) του σημείου όπου γίνεται η παρατήρηση.
- Την ακρίβεια των ουρανογραφικών συντεταγμένων (α, δ) του αστέρα.
- Την ακρίβεια προσδιορισμού του χρόνου παρατήρησης UTC.

Οι ουρανογραφικές συντεταγμένες (α, δ) του Πολικού αστέρα είναι γνωστές, από διεθνείς ψηφιακούς καταλόγους με ακρίβεια $\sigma_\alpha = \pm 0.001 \text{ sec}$

και $\sigma_\delta = \pm 0''.01 = \pm 0.03''$ αντίστοιχα. Το σφάλμα προσδιορισμού του αζιμουθίου εξαρτάται από το σφάλμα στην εκτίμηση της τιμής του αστρονομικού πλάτους Φ (σ_{A_Φ}) και από το σφάλμα υπολογισμού της ωριαίας γωνίας h (σ_{A_h}). Η επίδραση των δύο αυτών σφαλμάτων στο αζιμούθιο προκύπτει με εφαρμογή του νόμου μετάδοσης σφαλμάτων στη σχέση 4.2.

$$\sigma_A = \sqrt{\sigma_{A_\Phi}^2 + \sigma_{A_h}^2} \quad (4.3)$$

Η διαφορήση των κατάλληλων σχέσεων οδηγεί στις σχέσεις 4.4 και 4.5 που ακολουθούν

$$\sigma_{A_\Phi} = \sin A - \cot z \cdot \sigma_\Phi \quad (4.4)$$

$$\sigma_{A_h} = \cos \Phi \cdot (\tan \Phi - \cos A \cdot \cot z) \cdot \sigma_h \quad (4.5)$$

Ο προσδιορισμός του αστρονομικού αζιμουθίου με τη μέθοδο αυτή είναι ακριβής και βελτιώνεται σημαντικά αν παρατηρηθεί ένας αστέρας πολύ κοντά στον Πόλο. Για το βόρειο ημισφαίριο και για το γεωγραφικό πλάτος της Ελλάδας ο αστέρας αυτός είναι ο Πολικός, 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 $359^\circ - 1^\circ$.

- Κινείται πολύ αργά και έτσι διευκολύνεται η σκόπευση του.
- Έχει αρκετή λαμπρότητα (μέγεθος περίπου 2), ώστε να βοηθά στην παρατήρηση.

Προκειμένου να προσδιοριστεί το αστρονομικό αζιμούθιο μιας διεύθυνσης AB μετράται η οριζόντια γωνία x που σχηματίζεται μεταξύ της διεύθυνσης AB και του κατακόρυφου κύκλου που περνά από τον πολικό αστέρα S κάποια στιγμή.

Ταυτόχρονα πρέπει να προσδιοριστεί το αζιμούθιο A_S του πολικού αστέρα την ίδια χρονική στιγμή, οπότε:

$$A_{AB} = A_S + x \quad (4.6)$$

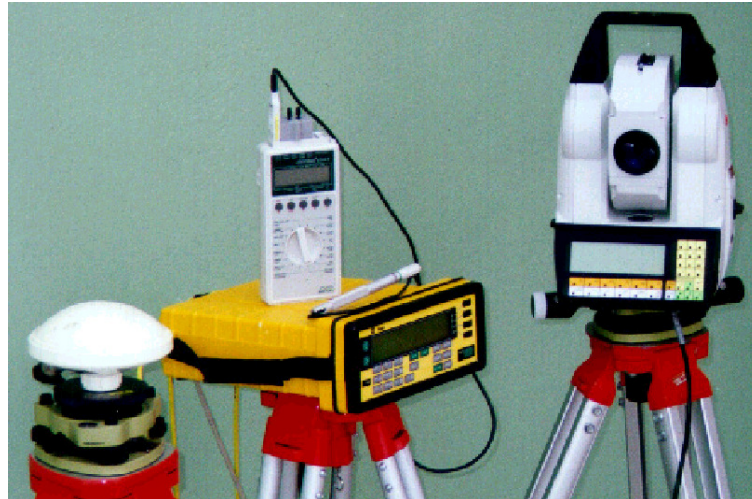
4.2 Αστρονομικές παρατηρήσεις

Για την πραγματοποίηση των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν σύγχρονα ψηφιακά γεωδαιτικά όργανα.

Οι αστρονομικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας τον ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό TDM 5000 της εταιρίας Leica και τον δέκτη του συστήματος GPS 4000 DL, ο οποίος έχει τη δυνατότητα να παρέχει με ακρίβεια τον παγκόσμιο χρόνο UTC (φωτ. 4.1). Ο γεωδαιτικός σταθμός TDM 5000 είναι από τα πιο σύγχρονα και ακριβή όργανα και έχει τα παρακάτω σημαντικά χαρακτηριστικά :

- Είναι ψηφιακός και έχει τη δυνατότητα αυτόματης καταγραφής σε καταγραφική μονάδα PCMCIA. Έτσι αποφεύγονται σφάλματα ανάγνωσης και καταγραφής .
- Το τηλεσκόπιο του μπορεί και φωτίζεται έτσι ώστε να επιτρέπεται η σκόπευση των αστερών μέσω ειδικού σταυρονήματος.
- Έχει ανεξάρτητο πηδάλιο για τους κοχλίες του.
- Μπορεί και καταγράφει ταυτόχρονα την οριζόντια και την κατακόρυφη γωνία καθώς και τον χρόνο για κάθε μέτρηση.
- Έχει ακρίβεια μέτρησης οριζόντιων και κατακόρυφων γωνιών $\pm 1.5''$ και ανάγνωση $0.1''$.

- Το τηλεσκόπιο έχει μεγένθυση $\times 45$. Μια τέτοια μεγένθυση κρίνεται ικανοποιητική για τη διαδικασία σκόπευσης του Πολικού Αστήρα.
- Στο τηλεσκόπιο του οργάνου προσαρμόζεται το αγκωνοειδές προσφθάλμιο. Αυτό αποτελεί απαραίτητο βοηθητικό στοιχείο για την πραγματοποίηση των μετρήσεων.



Φωτ. 4.1 : Το σύστημα για τις αστρονομικές μετρήσεις

Ο γεωδαιτικός σταθμός συνδέεται με τον δέκτη του συστήματος GPS έτσι ώστε να μπορεί να λαμβάνει από αυτόν και να καταγράφει τον παγκόσμιο χρόνο UTC που αντιστοιχεί σε κάθε μέτρηση.

Οι μετρήσεις έγιναν στις 17 Μαΐου 2003 από την κορυφή Σ5 με μηδενισμό στην κορυφή Σ6. Για την αρχική σκόπευση του μηδενισμού χρησιμοποιήθηκε φωτεινός στόχος (φωτ. 4.2) λόγω της έλλειψης φωτός.



Φωτ. 4.2 : Φωτεινός στόχος

Έγιναν 92 σκοπεύσεις στον Πολικό Αστέρα από δύο παρατηρητές. Στον πίνακα 4.1 παρουσιάζονται οι μετρήσεις (χρόνος UTC, οριζόντια γωνία, κατακόρυφη γωνία).

α/α ,	UTC	,οριζ.γωνία ,	κατακ. γωνία
2,	183121.974,	110.51457,	56.07499
3,	183126.905,	110.51366,	56.07484
4,	183157.827,	110.51499,	56.07814
5,	183208.903,	110.51683,	56.07874
6,	183212.899,	110.51592,	56.07871
7,	183216.866,	110.51703,	56.07883
8,	183221.839,	110.51551,	56.07845
9,	183228.019,	110.51720,	56.07853
10,	183237.955,	110.51576,	56.08010
11,	183249.974,	110.51726,	56.07770
12,	183253.854,	110.51668,	56.07776
13,	183257.814,	110.51825,	56.07786
14,	183307.965,	110.51660,	56.08044
15,	183310.961,	110.51773,	56.08045
16,	183314.934,	110.51943,	56.08051
17,	183318.825,	110.51973,	56.08050
18,	183327.042,	110.51799,	56.07920
19,	183331.961,	110.51965,	56.07918
20,	183336.831,	110.51942,	56.08009
21,	183341.073,	110.52238,	56.08004
22,	183359.961,	110.52275,	56.08114
23,	183405.059,	110.52193,	56.08118
24,	183408.119,	110.52337,	56.08117
25,	183411.901,	110.52352,	56.08110
26,	183415.963,	110.52246,	56.08111
27,	183423.063,	110.52268,	56.08350
28,	183430.044,	110.52460,	56.08352
29,	183433.949,	110.52341,	56.08353
30,	183440.963,	110.52449,	56.08320
31,	183446.013,	110.52488,	56.08304
32,	183458.841,	110.52653,	56.08335
33,	183504.920,	110.52583,	56.08478
34,	183511.011,	110.52519,	56.08370
35,	183517.866,	110.52565,	56.08545
36,	183527.980,	110.52680,	56.08531
37,	183532.810,	110.52838,	56.08520
38,	183538.862,	110.52627,	56.08529
39,	183546.984,	110.52769,	56.08581
40,	183552.179,	110.52815,	56.08602
41,	183559.854,	110.52793,	56.08570
42,	183604.953,	110.53031,	56.08563
43,	183608.922,	110.53049,	56.08561
44,	183620.860,	110.52909,	56.08630
45,	183628.856,	110.53032,	56.08758

46,183637.951, 110.52985, 56.08755
47,183643.841, 110.53190, 56.08769
48,183648.821, 110.53398, 56.08762
49,183656.959, 110.53060, 56.08927
50,183700.069, 110.53106, 56.08930
51,183704.922, 110.53074, 56.08937
52,183716.996, 110.53155, 56.08897
53,183721.901, 110.53303, 56.08896
54,183726.858, 110.53322, 56.08910
55,183733.135, 110.53394, 56.08903
56,183736.986, 110.53492, 56.08910
57,183743.872, 110.53484, 56.09014
58,183747.827, 110.53258, 56.09017
59,183751.980, 110.53202, 56.09011
60,183757.903, 110.53558, 56.09012
61,183806.106, 110.53595, 56.09129
62,183809.899, 110.53577, 56.09127
63,183814.901, 110.53448, 56.09136
64,183909.868, 110.53840, 56.09457
65,183923.996, 110.53759, 56.09381
66,183938.827, 110.53986, 56.09550
67,183952.868, 110.53912, 56.09534
68,184004.936, 110.54245, 56.09539
69,184021.094, 110.54205, 56.09745
70,184046.048, 110.54315, 56.09651
71,184103.011, 110.54309, 56.10274
72,184140.835, 110.54479, 56.09891
73,184202.895, 110.54766, 56.09916
74,184221.812, 110.54977, 56.10036
75,184248.067, 110.55112, 56.09921
76,184309.943, 110.55155, 56.10204
77,184326.951, 110.55111, 56.10325
78,184342.905, 110.55480, 56.10388
79,184405.019, 110.55367, 56.10547
80,184423.872, 110.55470, 56.10526
81,184440.081, 110.55775, 56.10808
82,184524.893, 110.55801, 56.10550
83,184547.879, 110.56069, 56.11063
84,184607.847, 110.55819, 56.10905
85,184623.910, 110.56269, 56.10845
86,184641.843, 110.56095, 56.10873
87,184712.945, 110.56485, 56.10983
88,184728.015, 110.56620, 56.11334
89,184740.847, 110.56825, 56.11099
90,184758.930, 110.56598, 56.11461
91,184825.077, 110.56755, 56.11457
92,184835.856, 110.57022, 56.11146
93,184855.988, 110.56907, 56.11778

Πίνακας 4.1 : Μετρήσεις Πολικού Αστέρα

4.3 Επεξεργασία μετρήσεων - Προσδιορισμός αστρονομικού αζιμουθίου

Η επεξεργασία των μετρήσεων έγινε ανεξάρτητα για κάθε παρατηρητή (2 σειρές μετρήσεων). Για κάθε μέτρηση υπολογίστηκε ένα αστρονομικό αζιμούθιο για την πλευρά $\Sigma_5 - \Sigma_6$ με τη βοήθεια του κατάλληλου προγράμματος [Πανταζής Γ., 2003].

Έτσι προέκυψαν δύο ανεξάρτητες τιμές του αστρονομικού αζιμουθίου για την πλευρά $\Sigma_5 - \Sigma_6$ με την αντίστοιχη αβεβαιότητά τους. Τα αποτελέσματα αυτά φαίνονται στον πίνακα 4.2 που ακολουθεί.

Τιμή αζιμουθίου $A_{\Sigma_5-\Sigma_6}$	Αβεβαιότητα
288.77219 ^g	$\pm 0.7^{\text{cc}}$
288.77419 ^g	$\pm 1.6^{\text{cc}}$

Πίνακας 4.2 : Τιμές αζιμουθίων και αβεβαιότητες

Τα στοιχεία υπολογισμού του αστρονομικού αζιμουθίου από τις μετρήσεις κάθε παρατηρητή φαίνονται στους πίνακες 4.3 και 4.4.

Το τελικό αστρονομικό αζιμούθιο για την πλευρά $\Sigma_5 - \Sigma_6$ με βάση τη θεωρία σφαλμάτων για τον υπολογισμό της καλύτερης τιμής ενός μεγέθους από ανισοβαρείς παρατηρήσεις υπολογίζεται ως εξής :

Αν $\sigma_1 = 0.7^{\text{cc}}$ και $\sigma_2 = 1.6^{\text{cc}}$ τότε θεωρώντας $\sigma_0 = \sigma_1$ έχουμε :

$$P_1 = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_1^2} = 1$$

$$P_2 = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_2^2} = 0.191$$

$$A_{\Sigma_5-\Sigma_6} = \frac{288.77219 \times P_1 + 288.77419 \times P_2}{P_1 + P_2}$$

$$\Leftrightarrow A_{\Sigma_5-\Sigma_6} = 288.77251^g$$

Στη συνέχεια υπολογίζεται το τυπικό σφάλμα της καλύτερης τιμής $\sigma_{A_{\Sigma_5-\Sigma_6}}$ ως εξής :

$$\sigma_X = \pm \sqrt{\frac{[PUU]}{(n-1)}} \Leftrightarrow \sigma_X \approx \pm 8 \cdot 10^{-4cc}$$

$$\sigma_{A_{\Sigma_5-\Sigma_6}} = \pm \frac{\sigma_X}{\sqrt{P_1 + P_2}} \Leftrightarrow \sigma_{A_{\Sigma_5-\Sigma_6}} = \pm 7.3^{cc}$$

Επιπλέον η αβεβαιότητα προσδιορισμού επιβαρύνεται από:

- Την επίδραση της διαφοράς δ_ϕ του αστρονομικού πλάτους από το γεωδαιτικό, που συνήθως χρησιμοποιείται στον προσδιορισμό του αζιμουθίου, εξαρτάται από το ύψος στο οποίο παρατηρείται ο πολικός αστέρας. Για την Ελλάδα και για $\varphi \approx 38^\circ$, ο πολικός παρατηρείται σε ζενίθεια απόσταση $z \approx 52^\circ$ και μέγιστο αζιμούθιο περίπου 1° (μέγιστη τιμή), τότε η επίδραση της διαφοράς δ_ϕ στον προσδιορισμό του αζιμουθίου είναι περίπου $\pm 0.4^{cc}$. [Λάμπρου Ε., 2003]

- Την θέση του πολικού αστέρα η οποία έχει ως συνέπεια ο όρος $(\tan \Phi - \cos A \cdot \cot z)$ να είναι πολύ μικρός, ίσος περίπου με $1 \cdot 10^{-4}$ επομένως και η επίδραση στο σφάλμα του αζιμουθίου είναι μικρή. Αν θεωρηθεί ότι η διαφορά δ_Λ είναι $\pm 20''$, επομένως $\sigma_h = \pm 20''$ και προκύπτει ότι η επίδραση του σφάλματος στο προσδιοριζόμενο αστρονομικό αζιμούθιο για τις αντίστοιχες τιμές Φ και z είναι ίσο με $\sigma_{A_h} = \pm 6^{cc} \cdot 10^{-3}$ [Λάμπρου Ε., 2003]

- Την αβεβαιότητα στη σκόπευση της επίγειας διεύθυνσης $\Sigma_5 - \Sigma_6$, η οποία προέκυψε ίση με $\pm 3^{cc}$ μετά από διαδοχικές μετρήσεις. [Λάμπρου Ε., 2003]

Άρα το συνολικό σφάλμα του αστρονομικού αζιμουθίου θα είναι :

$$\sigma_{A_{\Sigma_5-\Sigma_6}} = \pm \sqrt{(7.3^{cc})^2 + (0.4^{cc})^2 + (6^{cc} \cdot 10^{-3})^2 + (3^{cc})^2} = 7.9^{cc}$$

Η τελική τιμή του αστρονομικού αζιμουθίου είναι:

$$A_{\Sigma_5-\Sigma_6} = 288.77251^g \pm 7.9^{cc}$$

Προσδιορισμός αζιμουθίου από Πολικό		Ημερομηνία : 17 Μαΐου 2003	
Σημείο παρατήρησης: Σ5		Σημείο μηδενισμού: Σ6	Γωνία μηδενισμού: 0.0000
Γεωγραφικό πλάτος : $\varphi = 40^{\circ} 3' 08''$ Γεωγραφικό μήκος : $\lambda = 22^{\circ} 7' 21''$			
Ώρα έναρξης παρατήρησης : 18:31:21			
α/α	Ανάγνωση οριζόντιας γωνίας στον πολικό	Αζιμούθιο Σ5-Σ6 (grad)	Υπόλοιπα (cc)
1	110. 51366	288.77163	5.57
2	110. 51499	288.77202	1.63
3	110. 51592	288.77193	2.52
4	110. 51551	288.77284	-6.57
5	110. 51720	288.77150	6.87
6	110. 51726	288.77167	-4.81
7	110. 51825	288.77212	0.70
8	110. 51943	288.77189	2.90
9	110. 51973	288.77181	3.72
10	110. 51965	288.77263	-4.45
11	110. 52193	288.77221	-0.26
12	110. 52246	288.77229	-1.09
13	110. 52268	288.77247	-2.89
14	110. 52341	288.77236	-1.73
15	110. 52449	288.77167	5.12
16	110. 52488	288.77157	6.17
17	110. 52583	288.77169	5.00
18	110. 52519	288.77267	-4.84
19	110. 52565	288.77260	-4.12
20	110. 52680	288.77202	1.66
21	110. 52769	288.77220	-0.19
22	110. 52815	288.77204	1.46
23	110. 52793	288.77269	-5.09
24	110. 52909	288.77272	-5.40
25	110. 53032	288.77195	2.36
26	110. 52985	288.77294	-7.51
27	110. 53106	288.77298	-7.99
28	110. 53303	288.77226	-0.72
29	110. 53322	288.77235	-1.64
30	110. 53394	288.77199	1.98
31	110. 53484	288.77170	4.85
32	110. 53558	288.77176	4.24
33	110. 53595	288.77186	3.26
34	110. 53577	288.77226	-0.71
Τιμή αζιμουθίου Σ5-Σ6		Τυπικό σφάλμα της καλλίτερης τιμής	
288.77219 grad		±0.7cc	

Πίνακας 4.3 : Στοιχεία υπολογισμού του αστρονομικού αζιμουθίου από τις μετρήσεις του πρώτου παρατηρητή

Προσδιορισμός αζιμουθίου από Πολικό		Ημερομηνία : 17 Μαΐου 2003	
Σημείο παρατήρησης: Σ5	Σημείο μηδενισμού: Σ6	Γωνία μηδενισμού: 0.0000	
Γεωγραφικό πλάτος : $\varphi = 40^{\circ} 3' 08''$ Γεωγραφικό μήκος : $\lambda = 22^{\circ} 7' 21''$			
Ωρα έναρξης παρατήρησης : 18:38:14			
α/α	Ανάγνωση οριζόντιας γωνίας στον πολικό	Αζιμούθιο Σ5-Σ6 (grad)	Υπόλοιπα (cc)
1	110.53448	288.77383	3.58
2	110.53840	288.77306	11.30
3	110.53759	288.77468	-4.91
4	110.53986	288.77326	9.27
5	110.53912	288.77481	-6.20
6	110.54205	288.77350	6.84
7	110.54315	288.77384	3.45
8	110.54309	288.77488	-6.94
9	110.54479	288.77537	-11.82
10	110.54766	288.77378	4.10
11	110.55112	288.77294	12.47
12	110.55155	288.77379	4.04
13	110.55111	288.77522	-10.26
14	110.55367	288.77488	-6.88
15	110.55470	288.77495	-7.59
16	110.55801	288.77521	-10.24
17	110.56069	288.77388	3.06
18	110.56269	288.77400	1.86
19	110.56485	288.77474	-5.46
20	110.56620	288.77428	-0.86
21	110.56825	288.77298	12.05
22	110.57022	288.77427	-0.85
Τιμή αζιμουθίου Σ5-Σ6		Τυπικό σφάλμα της καλλίτερης τιμής	
288.77419 grad		±1.6cc	

Πίνακας 4.4 : Στοιχεία υπολογισμού του αστρονομικού αζιμουθίου από τις μετρήσεις του δεύτερου παρατηρητή

Η γωνία διεύθυνσης της πλευράς $\Sigma_5 - \Sigma_6$ είναι 290.0467° όπως προέκυψε από τις συντεταγμένες της επίλυσης του δικτύου στο ΕΓΣΑ '87. Συνεπώς σύμφωνα με τα παραπάνω η διαφορά της γωνίας διεύθυνσης με το αστρονομικό αζιμούθιο για τη συγκεκριμένη περιοχή των μετρήσεων είναι 1.27419° .

$$\alpha_{\Sigma_5-\Sigma_6} - A_{\Sigma_5-\Sigma_6} = 1.27419^{\circ}$$

Κεφάλαιο 5

ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΤΟΥ ΜΝΗΜΕΙΟΥ

5.1 Ίδρυση πολυγωνομετρικού δικτύου

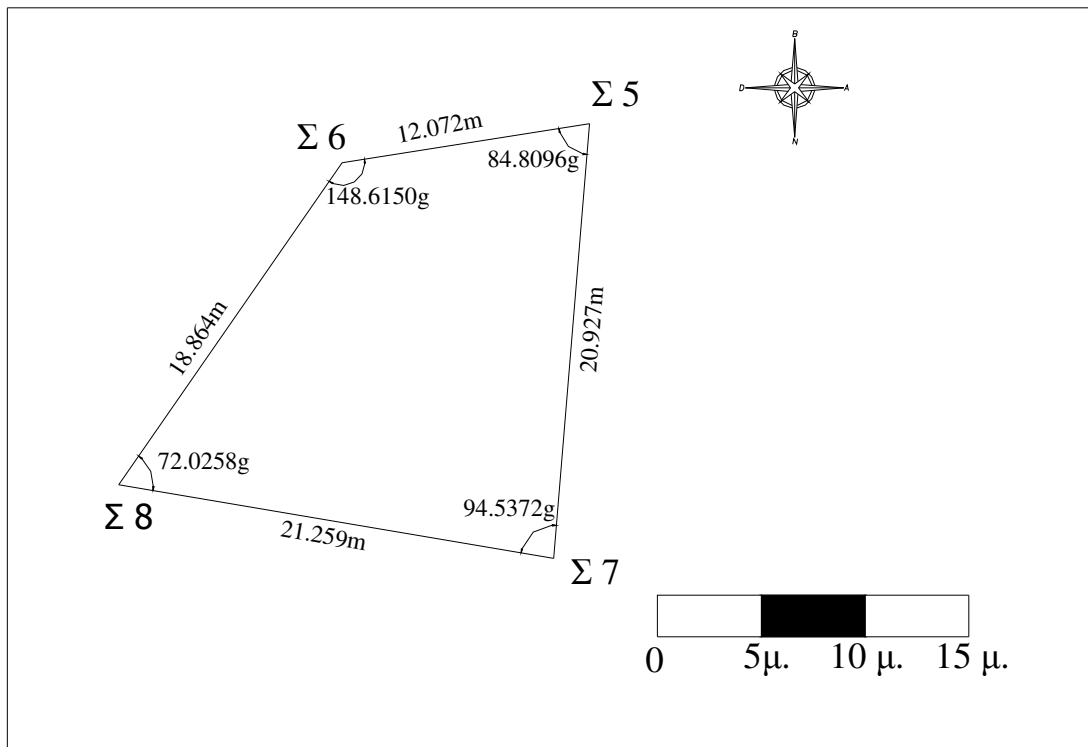
Αρχικά έγινε η αναγνώριση της ευρύτερης περιοχής και εντοπίστηκαν οι ιδιαιτερότητές της. Έγινε ο σχεδιασμός των εργασιών και ο χρονικός προγραμματισμός τους. Οι γεωδαιτικές αυτές εργασίες κατά χρονική σειρά που πραγματοποιήθηκαν αναλύονται παρακάτω.

Η πρώτη εργασία που έγινε ήταν η αναγνώριση του εσωτερικού και του εξωτερικού χώρου του παλαιοχριστιανικού ναού.

Στη συνέχεια έγινε η εγκατάσταση των κορυφών του πολυγωνομετρικού δικτύου. Το πολυγωνομετρικό δίκτυο στην παλαιοχριστιανική βασιλική του Καστρίου αποτελείται από τέσσερις κορυφές. Οι δύο από αυτές (Σ5 και Σ6) βρίσκονται εκτός του ναού ενώ οι άλλες δύο (Σ7 και Σ8) βρίσκονται εντός του ναού. Σκοπός είναι ο προσδιορισμός των συντεταγμένων X,Y,H των τεσσάρων αυτών κορυφών του δικτύου (σχήμα 5.1). Οι συντεταγμένες των κορυφών Σ5 και Σ6 βρέθηκαν με την επίλυση του δικτύου GPS. Για τις κορυφές Σ7 και Σ8 μετρήθηκε και επιλύθηκε η ανοιχτή πλήρως εξαρτημένη όδευση Σ5Σ7Σ8Σ6 .

Η μέτρηση της όδευσης έγινε με τη μέθοδο των τριών τριπόδων. Με τη μέθοδο αυτή εξαλείφονται τα σφάλματα κέντρωσης που επηρεάζουν τα μετρούμενα μεγέθη. Για την εφαρμογή της μεθόδου αυτής χρησιμοποιήθηκαν :

- Ένας ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός
- Τρεις τρίποδες
- Τρία τρικόχλια
- Δύο στόχοι



Σχήμα 5.1 : Πολυγωνομετρικό δίκτυο

Η μέτρηση της όδευσης έγινε χρησιμοποιώντας τον ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό TCR 303 της εταιρίας Leica (φωτ. 5.1). Μετρήθηκαν οι οριζόντιες και κατακόρυφες γωνίες, τα κεκλιμένα μήκη και σημειώθηκαν τα απαραίτητα στοιχεία όπως το ύψος οργάνου και το ύψος σκόπευσης. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων φαίνονται στους πίνακες 5.1, 5.2 και 5.3.



Φωτ. 5.1 : TCR 303

ΣΤΑΣΗ	ΥΨΟΣ ΟΡΓ ΑΝΟΥ	ΣΚΟΠ ΕΥΣΗ ΠΡΟΣ	ΥΨΟΣ ΣΚΟΠ ΕΥΣΗΣ	ΘΕΣΗ Ι	ΘΕΣΗ Π	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΜΕΣΗ ΑΝΗΓ. ΤΙΜΗ	ΓΕΝΙΚΟΣ Μ.Ο.
Σ5	1.461	Σ7	1.415	0.0000	199.9985	399.9992	0.0000	0.0000
		Σ6	1.400	84.8090	284.8100	84.8095	84.8103	84.8096
Σ5	1.461	Σ7	1.415	0.0000	199.9980	399.9990	0.0000	
		Σ6	1.400	84.8090	284.8065	84.8078	84.8088	
Σ7	1.416	Σ5	1.458	0.0000	199.9950	399.9975	0.0000	0.0000
		Σ8	1.400	305.4585	105.4605	305.4595	305.4620	305.4628
Σ7	1.416	Σ5	1.458	0.0015	200.0025	0.0020	0.0000	
		Σ8	1.400	305.4615	105.4595	305.4655	305.4635	
Σ8	1.466	Σ7	1.420	0.0005	200.0010	0.0008	0.0000	0.0000
		Σ6	1.400	327.9680	127.9835	327.9758	327.9750	327.9742
Σ8	1.466	Σ7	1.420	0.0020	200.0015	0.0018	0.0000	
		Σ6	1.400	327.9745	127.9760	327.9753	327.9735	
Σ6	1.379	Σ5	1.400	0.0000	200.0015	0.0007	0.0000	0.0000
		Σ8	1.468	148.6145	348.6120	148.6133	148.6126	148.6150
Σ6	1.379	Σ5	1.400	0.0000	200.0020	0.0010	0.0000	
		Σ8	1.468	148.6170	348.6195	148.6183	148.6173	

Πίνακας 5.1 : Μετρήσεις οριζοντίων γωνιών όδευσης

ΣΤΑΣΗ	ΥΨΟΣ ΟΡΓ ΑΝΟΥ	ΣΚΟΠ ΕΥΣΗ ΠΡΟΣ	ΥΨΟΣ ΣΚΟΠ ΕΥΣΗΣ	ΘΕΣΗ I	ΘΕΣΗ II	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΓΕΝΙΚΟΣ Μ.Ο.	ΚΕΚΛ ΙΜΕΝΟ ΜΗΚΟΣ
Σ5	1.461	Σ7	1.415	107.8565	292.1385	107.8590	107.8607	21.160 21.160
		Σ6	1.400	91.5235	308.4765	91.5235	91.5234	12.172 12.170
Σ5	1.461	Σ7	1.415	107.8635	292.1385	107.8625		21.161 21.161
		Σ6	1.400	91.5250	308.4785	91.5233		12.171 12.175
Σ7	1.416	Σ5	1.458	307.8415	92.1550	307.8432	307.8447	21.160 21.160
		Σ8	1.400	306.2865	93.7145	306.2870	306.2853	21.364 21.366
Σ7	1.416	Σ5	1.458	307.8455	92.1530	307.8462		21.160 21.159
		Σ8	1.400	306.2840	93.7170	306.2835		21.363 21.368
Σ8	1.466	Σ7	1.420	106.4940	293.5095	106.4922	106.4935	21.372 21.373
		Σ6	1.400	93.1315	306.8695	93.1310	93.1345	18.977 18.981
Σ8	1.466	Σ7	1.420	106.4960	293.5065	106.4948		21.373 21.373
		Σ6	1.400	93.1395	306.8635	93.1380		18.982 18.983
Σ6	1.379	Σ5	1.400	108.6760	291.3270	108.6745	108.6745	12.178 12.181
		Σ8	1.468	106.8200	293.1820	106.8190	106.8179	18.978 18.977
Σ6	1.379	Σ5	1.400	108.6750	291.3260	108.6745		12.178 12.184
		Σ8	1.468	106.8175	293.1810	106.8168		18.978 18.978

Πίνακας 5.2 : Μετρήσεις κατακόρυφων γωνιών και μηκών όδευσης

ΑΠΟ ΠΡΟΣ	Z (Κατακόρυφη γωνία)	D Κεκλιμένο Μήκος	Υψος Οργάνου	Υψος Σκόπευσης	S Οριζόντιο Μήκος	ΔΗ	S μέσο	ΔΗ μέσο
Σ5→Σ7	107.8607	21.160	1.461	1.415	20.999	-2.560	20.999	-2.560
Σ7→Σ5	307.8447	21.160	1.416	1.458	20.999	2.559		
Σ5→Σ6	91.5234	12.171	1.461	1.400	12.063	1.677	12.065	1.676
Σ6→Σ5	108.6745	12.179	1.379	1.400	12.066	-1.675		
Σ7→Σ8	306.2853	21.365	1.416	1.400	21.261	2.122	21.161	2.126
Σ8→Σ7	106.4935	21.372	1.466	1.420	21.261	-2.130		
Σ8→Σ6	93.1345	18.979	1.466	1.400	18.869	2.109	18.869	2.113
Σ6→Σ8	106.8179	18.977	1.379	1.468	18.868	-2.117		

Πίνακας 5.3 : Επίλυση υψομετρικής όδευσης

Οι διαδικασίες που έγιναν για την επίλυση της όδευσης φαίνονται στο παράρτημα.

Οι τελικές συντεταγμένες των κορυφών της όδευσης παρουσιάζονται στον πίνακα 5.4 που ακολουθεί.

	X(m)	Y(m)	H (m)
Σ5	339712.94	4434973.61	527.00
Σ6	339701.01	4434971.73	528.71
Σ7	339711.21	4434952.68	524.44
Σ8	339690.25	4434956.24	526.59

Πίνακας 5.4 : Τελικές καρτεσιανές συντεταγμένες και ορθομετρικά υψόμετρα κορυφών όδευσης

5.2 Αποτύπωση λεπτομερειών του ναού και δημιουργία κάτοψης

Συντάχθηκε αυτοσχέδιο υπαίθρου της οριζόντιας τομής του ναού (σχ.5.2). Στο αυτοσχέδιο εμφανίζονται όλοι οι τοίχοι, τα σκαλιά και γενικότερα όλα τα στοιχεία αυτά που δίνουν την απεικόνιση του ναού. Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονιστεί η ιδιαιτερότητα που παρουσιάζουν τα δομικά στοιχεία του ναού. Οι τοίχοι δεν είναι ομοιόμορφοι και εντελώς

ίσιοι διότι είτε έτσι χτίστηκαν αρχικά, είτε έτσι σώθηκαν μετά τις ανασκαφές που έγιναν.

Έπειτα έγινε η αποτύπωση των λεπτομερειών του ναού έτσι ώστε να απεικονιστεί πλήρως η κάτοψη του ναού. Η αποτύπωση έγινε με τη μέθοδο των τοποσταθερών. Για κάθε σημείο μετρήθηκε :

- Η οριζόντια γωνία
- Η κατακόρυφη γωνία
- Το κεκλιμένο μήκος

Στις μετρήσεις αυτές χρησιμοποιήθηκε ο γεωδαιτικός σταθμός TCR 303. Στη συγκεκριμένη διαδικασία πλεονέκτημα αποτέλεσε το γεγονός ότι το όργανο αυτό έχει τη δυνατότητα μέτρησης αποστάσεων χωρίς τη χρήση καταφώτου. Τα σημεία μετρήθηκαν από τις στάσεις Σ7 και Σ8 με μηδενισμό στις στάσεις Σ5 και Σ6 αντίστοιχα. Το Σ8 βρίσκεται στην είσοδο της βασιλικής ενώ το Σ7 κοντά στο εγκαίνιο. Τα Σ5 και Σ6 βρίσκονται εκτός της βασιλικής. Σημαντική παράμετρος, κατά την αποτύπωση, στάθηκε το γεγονός ότι οι τοίχοι της βασιλικής είναι σχεδόν κατεστραμμένοι. Αυτό δίνει το πλεονέκτημα της καλής ορατότητας των σημείων της βασιλικής από δύο μόνο θέσεις τοποθέτησης του γεωδαιτικού σταθμού.

Εκτός από τις μετρήσεις που προαναφέρθηκαν έγιναν και μετρήσεις μηκών με τη μέθοδο της τοπομετρίας. Οι μετρήσεις αυτές χρησιμοποιήθηκαν ως συμπληρωματικά στοιχεία ή στοιχεία ελέγχου για την αποτύπωση. Χρησιμοποιήθηκε πλαστική μετροταινία.

Πρέπει να σημειωθεί ότι χρειάστηκε η επιστροφή του συνεργείου στον χώρο των μετρήσεων μετά από δύο μήνες προκειμένου να γίνει έλεγχος της αποτύπωσης και να ληφθούν συμπληρωματικά ταχυμετρικά σημεία για την ολοκληρωμένη παρουσίαση του τοπογραφικού διαγράμματος της κάτοψης του ναού.

Τέλος έγινε φωτογραφική τεκμηρίωση του ναού.

των σημείων. Η ακρίβεια μέτρησης των σημείων της κάτοψης είναι περίπου ± 1 cm. Ο λόγος που η τελική αβεβαιότητα είναι αυξημένη, είναι ότι οι παλαιοχριστιανικοί ναοί είναι χτισμένοι από πέτρα και δεν έχουν επίχρυσμα, με συνέπεια να μην υπάρχουν ομαλές επιφάνειες και σαφώς ορισμένες γραμμές.

Η επεξεργασία των γεωδαιτικών μετρήσεων έγινε με προγράμματα του ηλεκτρονικού υπολογιστή, τα οποία χρησιμοποιώντας τα μετρημένα στοιχεία (οριζόντια γωνία, κατακόρυφη γωνία, κεκλιμένο μήκος, ύψος οργάνου) υπολογίζουν τις συντεταγμένες X,Y,H των σημείων λεπτομερειών.

Η απόδοση των σημείων για τη δημιουργία της κάτοψης έγινε με τη βοήθεια σχεδιαστικών προγραμμάτων. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε το Autocad 2000 και το Raport. Με αυτή τη μεθοδολογία επιτεύχθηκε μεγάλη ακρίβεια αλλά και ταχύτητα. Με τη ψηφιακή σχεδίαση ορίζονται εύκολα οι βασικές γραμμές του ναού και προσδιορίζονται όλα τα μαθηματικά στοιχεία των γραμμών αυτών.

Το αποτέλεσμα που προέκυψε έπειτα από τις παραπάνω διαδικασίες επεξεργασίας των μετρήσεων είναι η κάτοψη του ναού σε κλίμακα 1:50 (σχ. 5.3).

Μελετώντας την κάτοψη του ναού κρίνεται σκόπιμο να επισημανθούν κάποια γεωμετρικά στοιχεία όπως :

- Ο νάρθηκας του ναού έχει μήκος 4.41 m, πλάτος 13.30 m και βρίσκεται σε υψόμετρο 525.96 m από την μ.σ.θ.
- Ο κύριος ναός έχει μήκος 16.95 m, πλάτος 13.30 m και βρίσκεται 1 m χαμηλότερα από τον νάρθηκα.
- Το Ιερό Βήμα έχει μήκος 3.70 m , πλάτος 5.90 m και βρίσκεται σε υψόμετρο 524.44 m



Σχήμα 5.3 : Κάτοψη παλιοχριστιανικής βασιλικής Καστρίου

5.3 Υπολογισμός βασικού άξονα του ναού

Ως βασικός άξονας ορίζεται ο κατά μήκος άξονας ο οποίος είναι συνήθως άξονας συμμετρίας του μνημείου ή η γραμμή που συνδέει τα μέσα χαρακτηριστικών ανοιγμάτων του μνημείου (είσοδος, παράθυρο ιερού βήματος). Σε χριστιανικούς ναούς εμφανίζονται και άλλες χαρακτηριστικές γραμμές όπως η γραμμή η οποία ενώνει το μέσο της Αγίας τράπεζας με το μέσο της κόγχης ή κάποιου ανοίγματος (παράθυρου) στη κόγχη. Αυτό είναι σημαντικό διότι στους χριστιανικούς ναούς ο ιερέας πρέπει να φωτίζεται όταν στέκεται μπροστά από την Αγία τράπεζα κατά τη διάρκεια τέλεσης της λειτουργίας. Μετά από τη μελέτη της κάτοψης της παλαιοχριστιανικής βασιλικής του Καστρίου παρατηρήθηκε ότι μπορούν να οριστούν:

1. Ο βασικός άξονας του ναού που ορίζεται από το μέσο της εισόδου του ναού (σημείο 1) και το μέσο του εγκαινίου (σημείο 2) , έχει μήκος 15.10 m και γωνία διεύθυνσης 100.6923 g (σχήμα 5.4). Οι συντεταγμένες των δυο αυτών σημείων είναι :

Σημείο	X (m)	Y (m)
1	339692.812	4434952.886
2	339707.910	4434952.721

Πίνακας 5.5 : Συντεταγμένες σημείων που ορίζουν τον βασικό άξονα

Το σφάλμα προσδιορισμού του αζιμουθίου του άξονα υπολογίζεται, εφαρμόζοντας τον νόμο μετάδοσης των σφαλμάτων στη βασική σχέση υπολογισμού της γωνίας διεύθυνσης:

$$a_{1-2} = \arctan \frac{X_2 - X_1}{Y_2 - Y_1} \quad (5.1)$$

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

Η οριζόντια απόσταση των δύο αυτών σημείων δίνεται από τον τύπο:

$$S_{1-2} = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2} \quad (5.2)$$

Τότε έχουμε:

$$\sigma_{\alpha_{1-2}}^2 = \left(\frac{\partial \alpha_{1-2}}{\partial X_1}\right)^2 \cdot \sigma_{X_1}^2 + \left(\frac{\partial \alpha_{1-2}}{\partial X_2}\right)^2 \cdot \sigma_{X_2}^2 + \left(\frac{\partial \alpha_{1-2}}{\partial Y_1}\right)^2 \cdot \sigma_{Y_1}^2 + \left(\frac{\partial \alpha_{1-2}}{\partial Y_2}\right)^2 \cdot \sigma_{Y_2}^2 \quad (5.3)$$

επειδή $\sigma_{X_1} = \sigma_{X_2} = \sigma_X$ και $\sigma_{Y_1} = \sigma_{Y_2} = \sigma_Y$ έχουμε :

$$\sigma_{1-2} = 2 \left[\left(\frac{Y_2 - Y_1}{S_{1-2}^2} \right)^2 \cdot \sigma_X^2 + \left(\frac{X_2 - X_1}{S_{1-2}^2} \right)^2 \cdot \sigma_Y^2 \right] \quad (5.4)$$

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

$$\sigma_{\alpha_{1-2}}^2 = 2\sigma_X^2 \cdot \frac{1}{S_{1-2}^2} \Rightarrow \sigma_{\alpha_{1-2}} = \pm \sigma_X \cdot \frac{\sqrt{2}}{S_{1-2}} \quad (5.5)$$

Το σφάλμα προσδιορισμού της γωνίας διεύθυνσης του βασικού άξονα είναι ανάλογο του σφάλματος που έχουν οι συντεταγμένες των σημείων που ορίζουν τον άξονα και αντιστρόφως ανάλογο της μεταξύ τους απόστασης.

Αν θεωρήσουμε $\sigma_X = 0.01\text{m}$ και $S_{1-2} = 15.10\text{m}$ τότε από την σχέση 5.5 έχουμε:

$$\sigma_{\alpha_{1-2}} = \pm \sigma_X \cdot \frac{\sqrt{2}}{S_{1-2}} = \pm 0.01 \cdot \frac{\sqrt{2}}{15.10} = 9.366 \cdot 10^{-4} \text{ m} \xrightarrow{\times 636620} \sigma_{\alpha_{1-2}} = \pm 6^c$$

Συνεπώς η γωνία διεύθυνσης του βασικού άξονα του ναού είναι:

$$\alpha_{12} = 100^g.6923 \pm 6^c$$

2. Η χαρακτηριστική διεύθυνση που ορίζεται από το μέσο του εγκαίνιου (σημείο 2) και το μέσο της κόγχης (σημείο 3), έχει μήκος 4.81m και γωνία διεύθυνσης 107.7008 g (σχήμα 5.3). Οι συντεταγμένες των δυο αυτών σημείων είναι :

Σημείο	X(m)	Y(m)
2	339707.910	4434952.721
3	339712.685	4434952.141

Πίνακας 5.6 : Συντεταγμένες σημείων που ορίζουν τη χαρακτηριστική διεύθυνση

Το σφάλμα προσδιορισμού της γωνίας διεύθυνσης της διεύθυνσης αυτής υπολογίζεται όπως ακριβώς υπολογίστηκε και το σφάλμα του βασικού άξονα, εφαρμόζοντας δηλαδή το νόμο μετάδοσης των σφαλμάτων στη σχέση 5.1.

Από τη σχέση 5.2 σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα έχουμε
 $S_{2-3} = 4.81\text{m}$

Τότε από την 5.3 και επειδή πάλι ισχύουν :

$$\sigma_{X_2} = \sigma_{X_3} = \sigma_X \quad \text{και} \quad \sigma_{Y_2} = \sigma_{Y_3} = \sigma_Y \quad \text{ισχύει η σχέση 5.4 .}$$

Αν υποθέσουμε $\sigma_X = \sigma_Y$, τότε ισχύει η σχέση 5.5.

Αν θεωρήσουμε $\sigma_X = 0.01\text{m}$ από την σχέση 5.5 προκύπτει:

$$\sigma_{\alpha_{23}} = \pm \sigma_X \cdot \frac{\sqrt{2}}{S_{2-3}} = \pm 0.01 \cdot \frac{\sqrt{2}}{4.81} = 2.940 \cdot 10^{-3} \text{ m} \xrightarrow{\times 636620} \sigma_{\alpha_{23}} = \pm 18.7^\circ$$

Συνεπώς η γωνία διεύθυνσης της γραμμής αυτής είναι:

$$\alpha_{23} = 107^\circ.7008 \pm 18.7^\circ$$

Η γωνία διεύθυνσης της ευθείας $\Sigma_5 - \Sigma_6$ όπως προκύπτει από τις συντεταγμένες στο ΕΓΣΑ '87 είναι 290.04670° ενώ το αντίστοιχο αστρονομικό αζιμούθιο της διεύθυνσης είναι 288.77251° όπως προέκυψε από τις παρατηρήσεις, άρα η διαφορά αστρονομικού και γεωδαιτικού αζιμουθίου είναι 1.27419° . Δηλαδή ο βασικός άξονας που ορίζεται από το μέσο της εισόδου του ναού και το μέσο του εγκαινίου έχει αστρονομικό αζιμούθιο **99.4182°** και η χαρακτηριστική διεύθυνση που ορίζεται από το μέσο του εγκαινίου και το μέσο της κόγχης έχει αστρονομικό αζιμούθιο **106.4266°** . Η αβεβαιότητα προσδιορισμού των αστρονομικών αζιμουθίων του βασικού άξονα και της χαρακτηριστικής διεύθυνσης προκύπτει από την αβεβαιότητα προσδιορισμού της γωνίας διεύθυνσής τους και από το συνολικό σφάλμα στον προσδιορισμό του αστρονομικού αζιμουθίου.

Έτσι για τον βασικό άξονα έχουμε :

$$\sigma_{A_{12}} = \sqrt{(6^\circ)^2 + (0.08^\circ)^2} \Rightarrow \sigma_{A_{12}} = 6^\circ$$

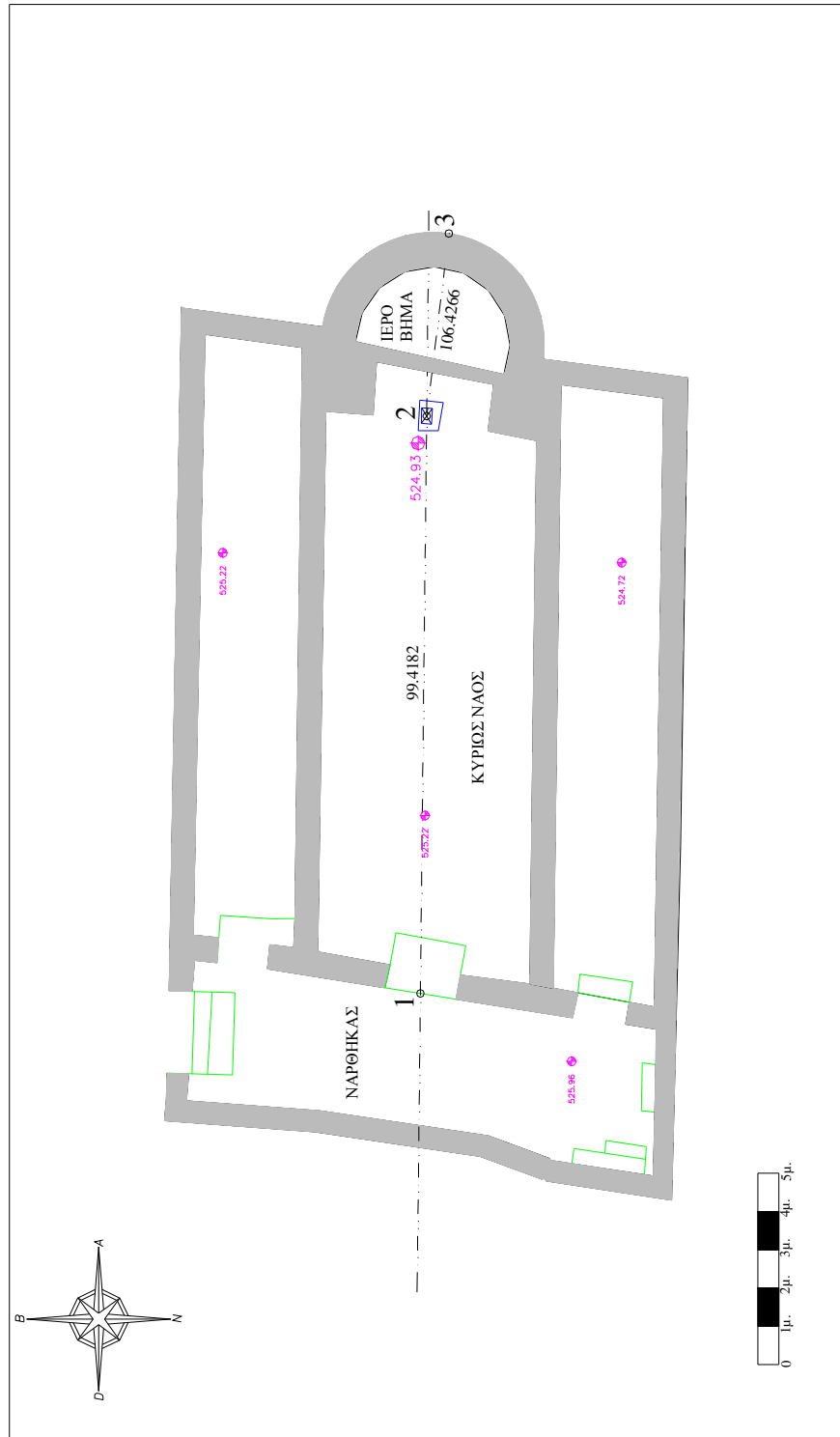
ενώ για την χαρακτηριστική διεύθυνση

$$\sigma_{A_{23}} = \sqrt{(18.7^c)^2 + (0.08^c)^2} \Rightarrow \sigma_{A_{23}} = 18.7^c$$

Συνεπώς :

$$A_{12} = 99.4182^g \pm 6^c$$

$$A_{23} = 106.4266^g \pm 18.7^c$$



Σχήμα 5.4 : Κάτοψη παλιοχριστιανικής βασιλικής Καστρίου με τον βασικό άξονα και τη χαρακτηριστική διεύθυνση

Κεφάλαιο 6

ΑΙΣΘΗΤΟΣ ΟΡΙΖΟΝΤΑΣ ΤΟΥ ΜΝΗΜΕΙΟΥ

6.1 Γενικά

Σημαντικό ρόλο για την μελέτη του προσανατολισμού του ναού έχει η μέτρηση των σημείων του αισθητού ορίζοντα, ο οποίος βρίσκεται μπροστά από τον ναό. 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 (ήλιος κ.α.) [Πανταζής Γ., 2003].

6.2 Μέτρηση και αναγωγή αισθητού ορίζοντα

Η μέτρηση της οριογραμμής του αισθητού ορίζοντα, που βρίσκεται μπροστά από την παλαιοχριστιανική βασιλική έγινε με τον ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό TCR 303. Το όργανο τοποθετήθηκε στην στάση Σ7 και με μηδενισμό στην στάση Σ5 μετρήθηκαν, με γνωστό βήμα, 86 σημεία που ορίζουν την γραμμή του αισθητού ορίζοντα.

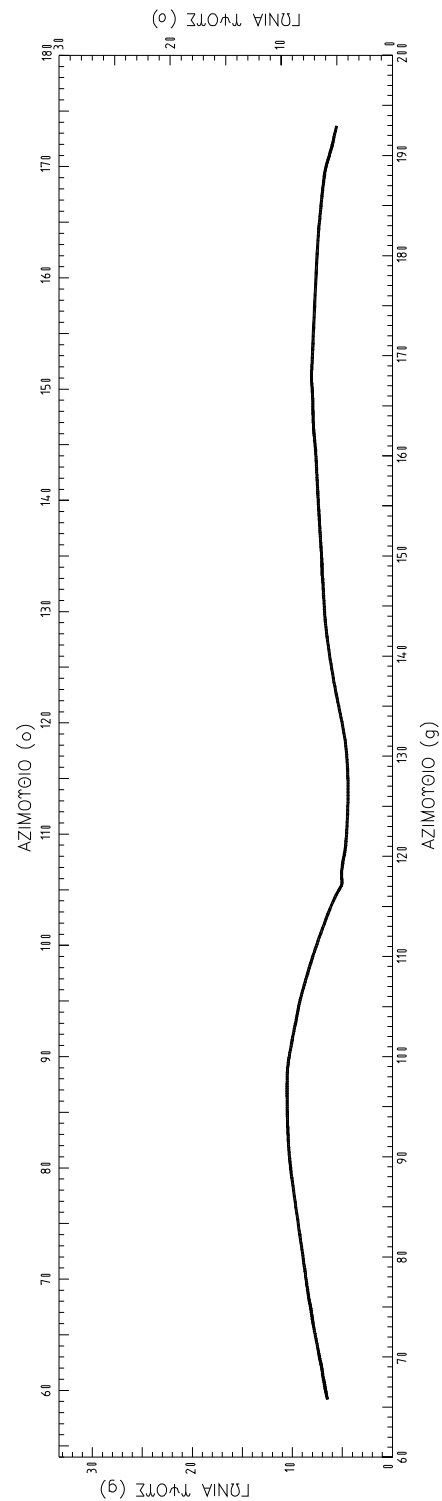
Στο σχήμα 6.1 φαίνεται η οριογραμμή του αισθητού ορίζοντα όπως αποτυπώθηκε, όπου ο άξονας X είναι το αστρονομικό αζιμούθιο κάθε σημείου που μετρήθηκε ενώ ο άξονας Y η γωνία ύψους.

Επίσης έγινε η φωτογραφική τεκμηρίωση του αισθητού ορίζοντα και δημιουργήθηκε το φωτομωσαϊκό που φαίνεται στη φωτ. 6.1.

Ο αισθητός ορίζοντας χρειάζεται υψομετρική αναγωγή ώστε να αναχθεί στο μέσο του εγκαινίου. Πρέπει να γίνει ιδιαίτερη αναφορά στον τρόπο με τον οποίο έγινε αυτή η απαιτούμενη υψομετρική αναγωγή του ορίζοντα (σχήμα 6.2).

Προκειμένου να γίνει η υψομετρική αναγωγή είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τις συντεταγμένες X,Y,H όλων των σημείων του ορίζοντα. Για να υπολογιστούν πρέπει να γνωρίζουμε την απόσταση κάθε σημείου από τη στάση μέτρησης. Μετρήθηκαν 4 σημεία του ορίζοντα από 2 στάσεις και με την μέθοδο της εμπροσθοτομίας υπολογίστηκαν έτσι οι

οριζόντιες και ύστερα οι κεκλιμένες αποστάσεις των σημείων αυτών από το σημείο μέτρησης. Έτσι υπολογίστηκαν προσεγγιστικά όλες οι

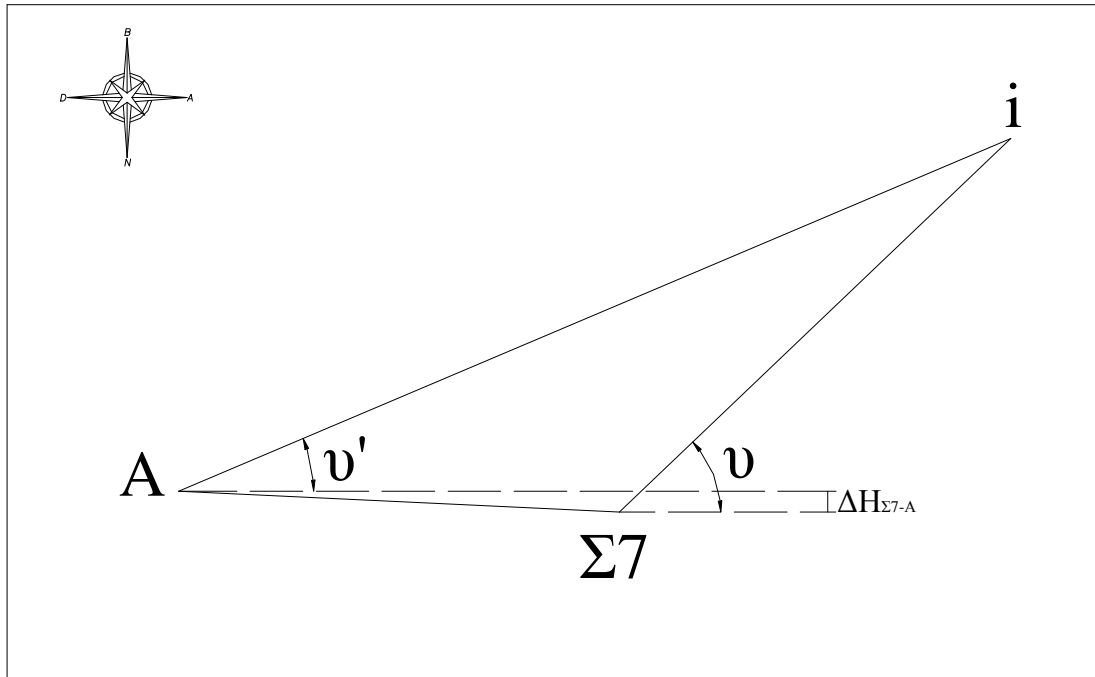


Σχήμα 6.1 : Διάγραμμα αισθητού ορίζοντα πριν την αναγωγή



Φωτ. 6.1 : Φωτομωσαϊκό αισθητού ορίζοντα

κεκλιμένες αποστάσεις από εκείνο το σημείο των σημείων που αποτελούν τη γραμμή του αισθητού ορίζοντα και επομένως οι συντεταγμένες τους X,Y,H. Στη συνέχεια γνωρίζοντας τις συντεταγμένες του σημείου A μπροστά από το εγκαίνιο (339707.91, 4434952.721, 524.179), στο οποίο πρέπει να αναχθεί η γραμμή του ορίζοντα, υπολογίστηκαν οι κεκλιμένες αποστάσεις από το σημείο αυτό έως το κάθε σημείο i του αισθητού ορίζοντα, καθώς και οι γωνίες διεύθυνσης αλλά και οι γωνίες ύψους των σημείων αυτών.



Σχήμα 6.2 : Υψομετρική αναγωγή αισθητού ορίζοντα

Στο παραπάνω σχήμα υ είναι η τιμή της γωνίας ύψους μεταξύ του σημείου μέτρησης Σ7 και κάθε σημείου i του αισθητού ορίζοντα και υ' είναι η αντίστοιχη τιμή της γωνίας ύψους μεταξύ του σημείου αναγωγής και κάθε σημείου i του αισθητού ορίζοντα.

Η γωνία διεύθυνσης μεταξύ του σημείου A και κάθε σημείου της οριογραμμής του αισθητού ορίζοντα προέκυψε από τη σχέση:

$$a' = \arctan \frac{\Delta X}{\Delta Y} . \quad (6.1)$$

Αντίστοιχα κάθε γωνία ύψους υ προκύπτει από τη σχέση :

$$\tan \upsilon = \frac{\Delta H}{S} \quad (6.2)$$

όπου το S προκύπτει από τον τύπο:

$$S = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} \quad (6.3)$$

Να σημειωθεί ότι το υψόμετρο στο σημείο A του εγκαινίου θεωρήθηκε ίσο με $H_E = H_A + 1.5\text{m} = 525.68\text{m}$ ώστε να υπολογισθεί και το ύψος ενός μέσου ανθρώπου που θα στεκόταν στο σημείο αυτό και κοιτούσε προς τον ορίζοντα. Έτσι αυτά τα αξιμούθια και οι γωνίες ύψους ήταν και τα ζητούμενα για τη δημιουργία του διαγράμματος του αισθητού ορίζοντα.

Οι υπολογισμοί που αναφέρθηκαν έγιναν με τη βοήθεια του προγράμματος Excel.

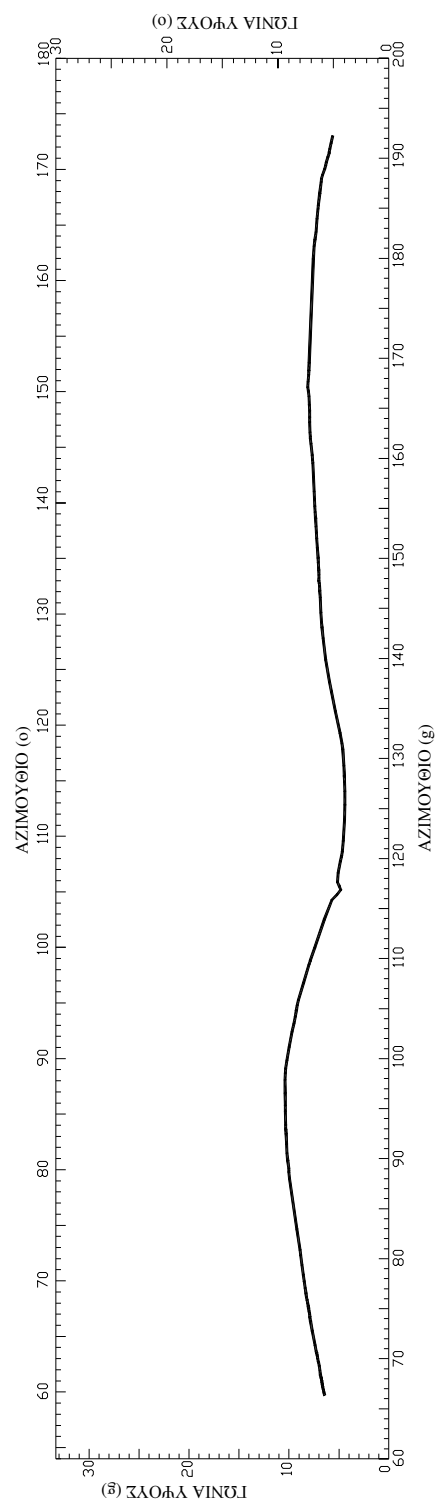
Το ορθομετρικό υψόμετρο του $\Sigma 7$ από όπου μετρήθηκε ο ορίζοντας είναι $H_{\Sigma 7} = 524.44\text{m}$.

Η υψομετρική διαφορά του σημείου αυτού και του εγκαινίου είναι:
 $\Delta H_{A-\Sigma 7} = H_A - H_{\Sigma 7} = 525.68 - 524.44 = 1.24\text{m}$

Η μεταξύ τους απόσταση είναι $S_{A-\Sigma 7} = 3.301\text{m}$

Το αποτέλεσμα που προέκυψε έπειτα από τις διαδικασίες της αναγωγής που αναλύθηκαν παραπάνω είναι το διάγραμμα απόδοσης της οριογραμμής του αισθητού ορίζοντα (σχ.6.3).

Οι διαφορές πριν και μετά την αναγωγή στις τιμές των αξιμουθίων A είναι της τάξης των 0.5° ενώ των γωνιών ψ κυμαίνονται γύρω στα 0.1° .



Σχήμα 6.3 : Διάγραμμα αισθητού ορίζοντα μετά την αναγωγή

6.3 Σφάλματα

6.3.1 Σφάλμα στον προσδιορισμό της οριογραμμής του ορίζοντα

Το σφάλμα προσδιορισμού κάθε σημείου της οριογραμμής του αισθητού ορίζοντα είναι το μέτρο του διανύσματος του αθροίσματος των δύο σφαλμάτων κατά την οριζόντια (σ_{Δ}) και κατακόρυφη (σ_K).

$$\sigma_{op} = \pm \sqrt{\sigma_{\Delta}^2 + \sigma_K^2} \quad (6.4)$$

Το σφάλμα στην οριζόντια διεύθυνση σ_{Δ} προκύπτει από τη σχέση

$$A_Z = A_0 + \beta \quad (6.5)$$

η οποία δίνει το αζιμούθιο κάθε σημείου της οριογραμμής. Άρα το σφάλμα στην οριζόντια διεύθυνση δίνεται από τη σχέση:

$$\sigma_{\Delta} = \pm \sqrt{\sigma_{\beta}^2 + \sigma_{A_0}^2} \quad (6.6)$$

όπου σ_{β} = το σφάλμα μέτρησης της οριζόντιας γωνίας, β

σ_{A_0} = το σφάλμα της αρχικής γωνίας διεύθυνσης

Ο γεωδαιτικός σταθμός με τον οποίο έγιναν οι μετρήσεις έχει ακρίβεια μέτρησης γωνιών ίση με $\sigma_{\beta} = \pm 3'' \approx \pm 9^c$

Το σφάλμα σ_{A_0} δίνεται από τον τύπο :

$$\sigma_{A_0} = \pm \sigma_X \cdot \frac{\sqrt{2}}{S_{57}} \quad (6.7)$$

άρα θεωρώντας ως σφάλμα προσδιορισμού των συντεταγμένων X,Y ίσο με

$\sigma_X = \sigma_Y = \pm 0.004m$ και $S_{57} = 20.998m$ έχουμε:

$$\sigma_{A_0} = \pm \sigma_X \cdot \frac{\sqrt{2}}{S_{57}} = \pm 0.004 \cdot \frac{\sqrt{2}}{20.998} = 2.694 \cdot 10^{-4} \xrightarrow{\times 636620} \sigma_{A_0} = \pm 171.5^{cc} \quad (6.8)$$

Από τη σχέση 6.6 έχουμε

$$\sigma_{\Delta} = \pm \sqrt{(9^{cc})^2 + (171.5^{cc})^2} = \pm 171.7^{cc} \quad (6.9)$$

Επειδή ο ορίζοντας είναι μακρινός υπάρχει και ένα άλλο σφάλμα αβεβαιότητας σκόπευσης κυρίως στην κατακόρυφη διεύθυνση. Αν θεωρήσουμε σφάλμα σκόπευσης ίσο με 10cm και μέση απόσταση των σημείων του ορίζοντα 250m τότε έχουμε :

$$\sigma_K = \text{acr} \tan \frac{0.1}{250} = 3.921 \cdot 10^{-4} \xrightarrow{\times 636620} \sigma_K = \pm 254^{cc}$$

Το τελικό σφάλμα προσδιορισμού κάθε σημείου της οριογραμμής του αισθητού ορίζοντα πριν την αναγωγή του είναι:

$$\sigma_{op} = \pm \sqrt{\sigma_{\Delta}^2 + \sigma_K^2} = \pm \sqrt{(171.7^{cc})^2 + (254^{cc})^2} \Rightarrow \sigma_{op} = \pm 306^{cc} \Rightarrow \sigma_{op} = \pm 3^c$$

6.3.2 Σφάλμα λόγω αναγωγής

Σφάλμα λόγω οριζοντιογραφικής αναγωγής

Το σφάλμα λόγω οριζοντιογραφικής αναγωγής προκύπτει εφαρμόζοντας τον νόμο μετάδοσης σφάλματος στη σχέση προσδιορισμού της γωνίας διεύθυνσης (6.1) :

$$\sigma_{A'_z} = \pm \sigma_x \frac{\sqrt{2}}{S}$$

Θεωρώντας $\sigma_x \approx 0.05m$ και $S \approx 250m$ προκύπτει :

$$\sigma_{A'_z} = \pm 0.05 \frac{\sqrt{2}}{250} \Rightarrow \sigma_{A'_z} = \pm 1.8^c$$

Σφάλμα λόγω υψόμετρικής αναγωγής

Το σφάλμα λόγω υψόμετρικής αναγωγής προκύπτει εφαρμόζοντας τον νόμο μετάδοσης σφάλματος στη σχέση 6.2 και είναι :

$$\sigma_v = \sqrt{\left(\frac{\partial v}{\partial \Delta H}\right)^2 \cdot \sigma_{\Delta H}^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial S}\right)^2 \cdot \sigma_s^2} \quad (6.10)$$

Διαφορίζοντας την παραπάνω σχέση και θεωρώντας

$$\sigma_{\Delta H} = \sigma_s = \sqrt{2} \cdot 10\text{cm} \text{ έχουμε:}$$

$$\sigma_v = \pm \sqrt{\left[\frac{1}{1 + \left(\frac{\Delta H}{S}\right)^2} \cdot \frac{1}{S} \right]^2 \cdot \sigma_{\Delta H}^2 + \left[\frac{1}{1 + \left(\frac{\Delta H}{S}\right)^2} \cdot \left(\frac{-\Delta H}{S^2}\right) \right]^2 \cdot \sigma_s^2} \quad (6.11)$$

$$\Rightarrow \sigma_v = \pm 357^{\text{cc}} \Rightarrow \sigma_v = \pm 3.6^{\circ}$$

όπου τα ΔH και S κατά μέσο όρο θεωρήθηκαν $\Delta H=30\text{m}$ και $S=250\text{m}$

Το σ_v είναι το σφάλμα του ορίζοντα κατα την κατακόρυφη διεύθυνση μετά την αναγωγή, δηλαδή $\sigma_v = \sigma_{K_{AN}}$.

Συνεπώς το τελικό σφάλμα του ορίζοντα είναι :

$$\sigma_{op_T} = \sqrt{\sigma_{A'_Z}^2 + \sigma_{K_{AN}}^2} \Rightarrow \sigma_{op_T} = 4^{\circ}$$

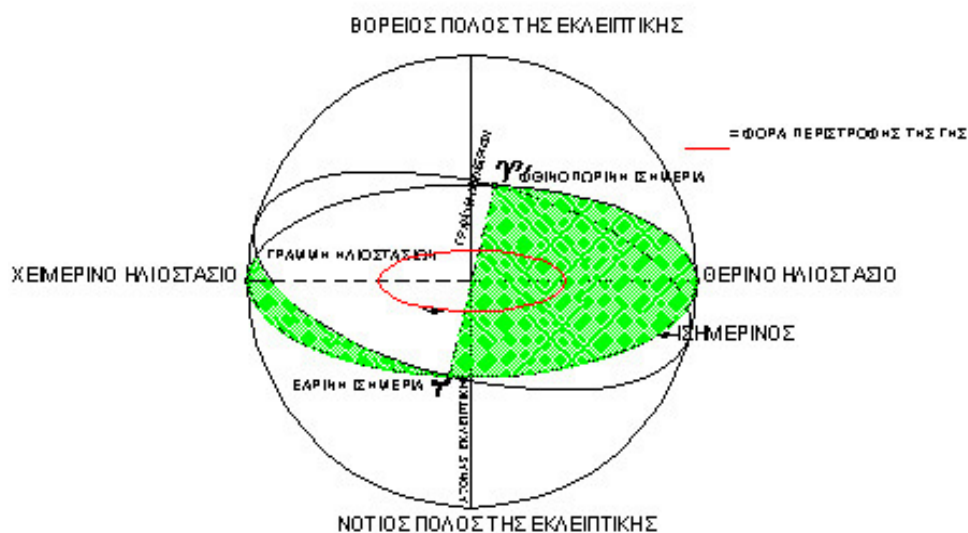
Κεφάλαιο 7

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΦΑΙΝΟΜΕΝΗΣ ΠΟΡΕΙΑΣ ΗΛΙΟΥ

7.1 Γενικά

Ο ήλιος είναι το κέντρο του ηλιακού μας συστήματος και ο κοντινότερος απλανής αστέρας στη γη. Η ετήσια περιστροφή της γης γύρω από τον ήλιο είναι 365.25 μέρες, επομένως η ημερήσια φαινόμενη κίνηση του ηλίου είναι περίπου 1° . Ο ήλιος είναι σφαιρικός με μέση φαινόμενη διάμετρο περίπου $32'$. Η ακτίνα του ηλίου είναι εκατόν εννέα (109) περίπου φορές μεγαλύτερη της ακτίνας στον ισημερινό της γης ή περίπου 695990 Km. Ο όγκος του ηλίου είναι 1301000 ,περίπου, φορές μεγαλύτερος από τον όγκο της γης, ενώ η πυκνότητα του είναι, περίπου, το ένα τέταρτο ($1/4$) της γήινης. Η μέση απόσταση γης – ηλίου είναι 23.44 ακτίνες ισημερινού της γης ή 149597900 Km.

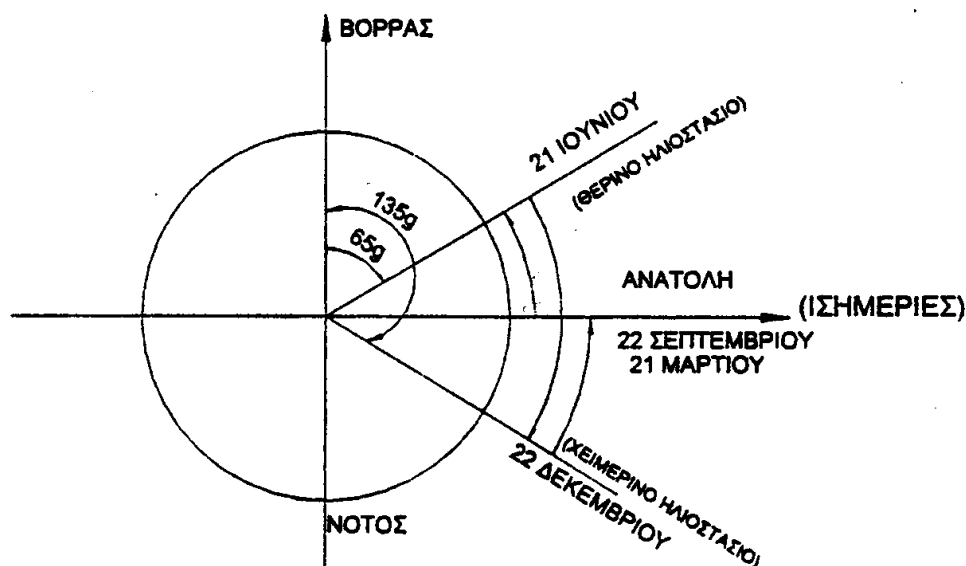
Η τροχιά της φαινόμενης ετήσιας πορείας του ηλίου είναι ένας μέγιστος κύκλος της ουράνιας σφαίρας που είναι γνωστός ως “εκλειπτική”. Τα σημεία στα οποία η εκλειπτική τέμνει τον ουράνιο ισημερινό ονομάζονται εαρινό ισημερινό σημείο Υ και φθινοπωρινό σημείο Ψ (σχήμα 7.1).



Σχήμα 7.1 : Ουράνια σφαίρα

Η εαρινή ισημερία είναι περίπου στις 21 Μαρτίου κάθε έτους και η φθινοπωρινή ισημερία περίπου στις 22 Σεπτεμβρίου κάθε έτους.

Ηλιοστάσια είναι τα σημεία στα οποία ο ήλιος φθάνει στα ακραία σημεία της θέσης ανατολής του (βορειοανατολικά ή νοτιοανατολικά) και φαίνεται να σταματά, προς στιγμήν, καθώς αλλάζει φορά κίνησης. Διακρίνονται σε θερινό ηλιοστάσιο (21 Ιουνίου) και χειμερινό (22 Δεκεμβρίου).

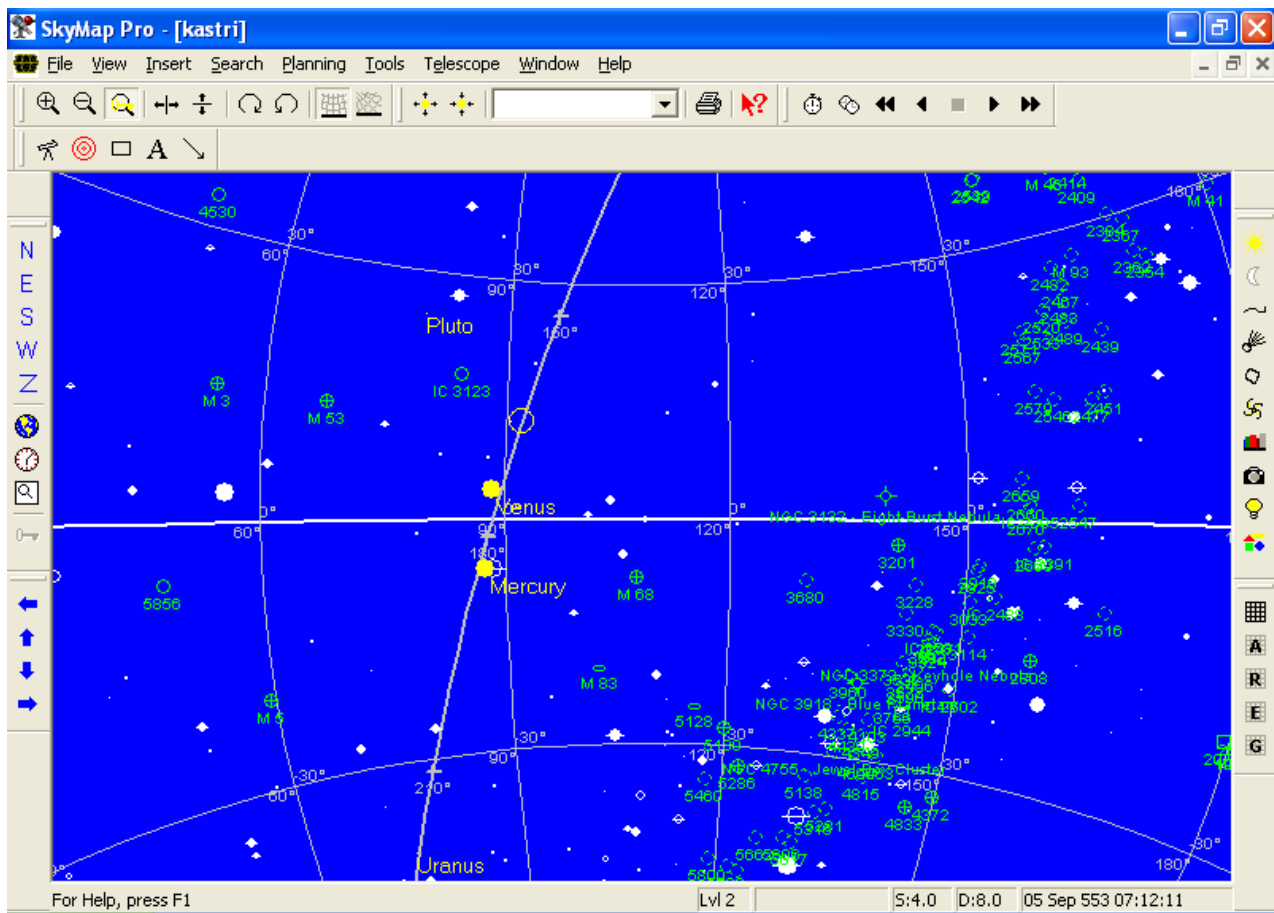


Σχήμα 7.2 : Ισημερίες και ηλιοστάσια για τόπο με $\varphi \approx 39^\circ 22'$

7.2 Υπολογισμός θέσης ηλίου και δημιουργία πορειών

Η θέση του ήλιου σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή μπορεί να γίνει γνωστή με βάση τα αστρονομικά στοιχεία για τη κίνηση του συγκεκριμένου ουράνιου σώματος. Με βάση τις συγκεκριμένες μελέτες έχουν δημιουργηθεί πίνακες αλλά και προγράμματα σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές που περιέχουν αυτά τα δεδομένα. Στην παρούσα εργασία η διαδικασία υπολογισμού της φαινόμενης πορείας του ήλιου έγινε με το πρόγραμμα προσομοίωσης της ουράνιας σφαίρας SkyMap Pro 9. Αρχικά δημιουργήθηκε η εικόνα της ουράνιας σφαίρας της περιοχής των μετρήσεων (σχ.7.3) χρησιμοποιώντας το αστρονομικό πλάτος Φ και το αστρονομικό μήκος Λ καθώς και το υψόμετρο της συγκεκριμένης περιοχής (χρησιμοποιήθηκαν χωρίς μεγάλο σφάλμα οι τιμές του γεωδαιτικού πλάτους και μήκους φ και λ). Για τη δημιουργία της γραμμής που υλοποιεί την πορεία ήλιου στο συγκεκριμένο πρόγραμμα πρέπει να εισαχθούν τα εξής στοιχεία:

- Η ημερομηνία
- Η ώρα έναρξης της πορείας



Σχήμα 7.3 : Προσομοίωση ουράνιας σφαίρας για τις 5/9/553 για
 $\varphi = 40^{\circ} 03' 08''$ και $\lambda = 22^{\circ} 07' 21''$

- Το χρονικό διάστημα κατά το οποίο θα λαμβάνονται τα στοιχεία της πορείας
- Ο συνολικός αριθμός των σημείων της γραμμής της πορείας

Το αποτέλεσμα των παραπάνω διαδικασιών που εξάγεται από πρόγραμμα SkyMap είναι ένα αρχείο με ζευγάρια τιμών, όπου ο πρώτος αριθμός είναι το αστρονομικό αζιμούθιο του ηλίου και ο δεύτερος η γωνία ύψους. Μετά τις κατάλληλες μετατροπές που γίνονται στο αρχείο αυτό από ενδιάμεσο πρόγραμμα και την επεξεργασία του νέου παραγόμενου αρχείου μέσω του σχεδιαστικού προγράμματος AutoCad 2000 σχεδιάζεται η πορεία του ήλιου.

Όπως αναφέρθηκε στα ιστορικά στοιχεία του κεφαλαίου 2 για τη ζητούμενη ημερομηνία της πορείας του ηλίου δεν υπήρχαν κάποια ιδιαίτερα στοιχεία, παρά μόνο ότι η βασιλική κτίστηκε μεταξύ 400μ.Χ και 700 μ.Χ.

Προσδιορίστηκαν διάφορες πορείες του ήλιου για διάφορες ημερομηνίες και έτη με σκοπό να βρεθεί αυτή που σε κάποιο σημείο της πλησιάζει περισσότερο στο σημείο τομής οριογραμμής του αισθητού ορίζοντα και του βασικού άξονα ή της χαρακτηριστικής διεύθυνσης.

Η τιμή του αστρονομικού αζιμουθίου του βασικού άξονα είναι 99.4182° . Με βάση το σχήμα 7.2 αρχικά σχεδιάστηκαν πορείες στις μεγάλες εορτές στο διάστημα του Αυγούστου και του Σεπτεμβρίου για κάποια έτη. Αυτές είναι :

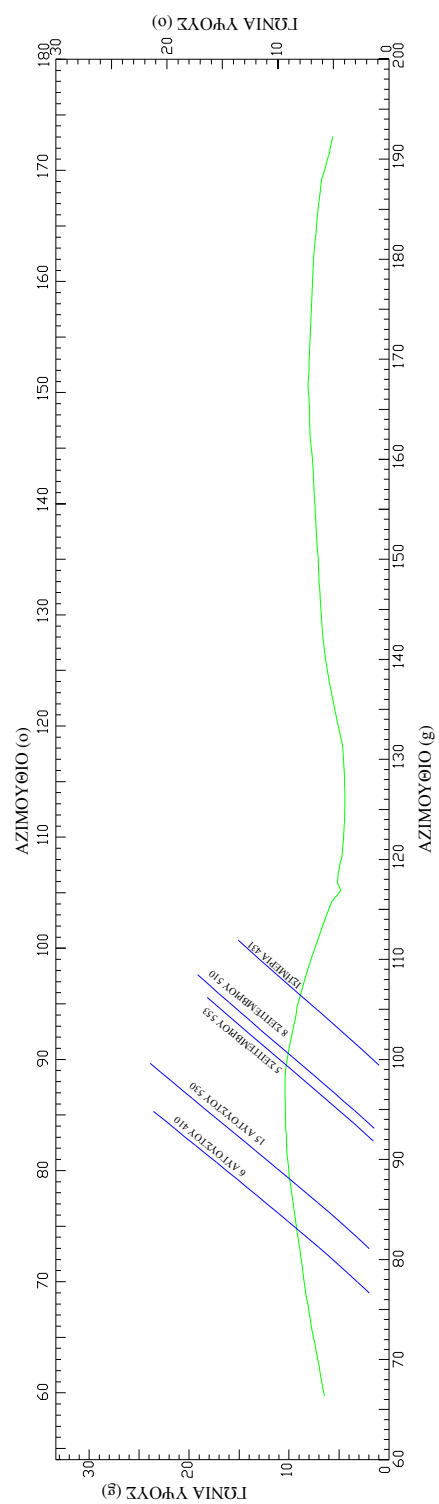
- 15/8/530
- 6/8/410
- 8/9/510
- 5/9/553

Αντίστοιχα λαμβάνοντας υπόψη την τιμή του αστρονομικού αζιμουθίου της χαρακτηριστικής διεύθυνσης, που ορίζεται από το μέσο του εγκαινίου και το μέσο της κόγχης, που είναι 106.4266° με βάση το σχήμα 7.2 σχεδιάστηκαν πορείες για τις εαρινές και φθινοπωρινές ισημερίες για κάποια έτη. Αυτές είναι

- 20/9/560
- 20/9/564
- 21/9/428
- 20/9/431
- 19/3/412

Ενδεικτικά εμφανίζονται στο σχήμα 7.4 οι πορείες του ήλιου για τις 5/9/553, τις 6/8/410, τις 15/8/530, τις 8/9/510 και την ισημερία του 431.

Το σφάλμα της πορείας του ήλιου που προσδιορίζεται είναι 6cc.



Σχήμα 7.4 : Ενδεικτικές πορείες ήλιου

Κεφάλαιο 8

ΧΡΟΝΟΛΟΓΗΣΗ

8.1 Χρονολόγηση παλαιοχριστιανικής βασιλικής

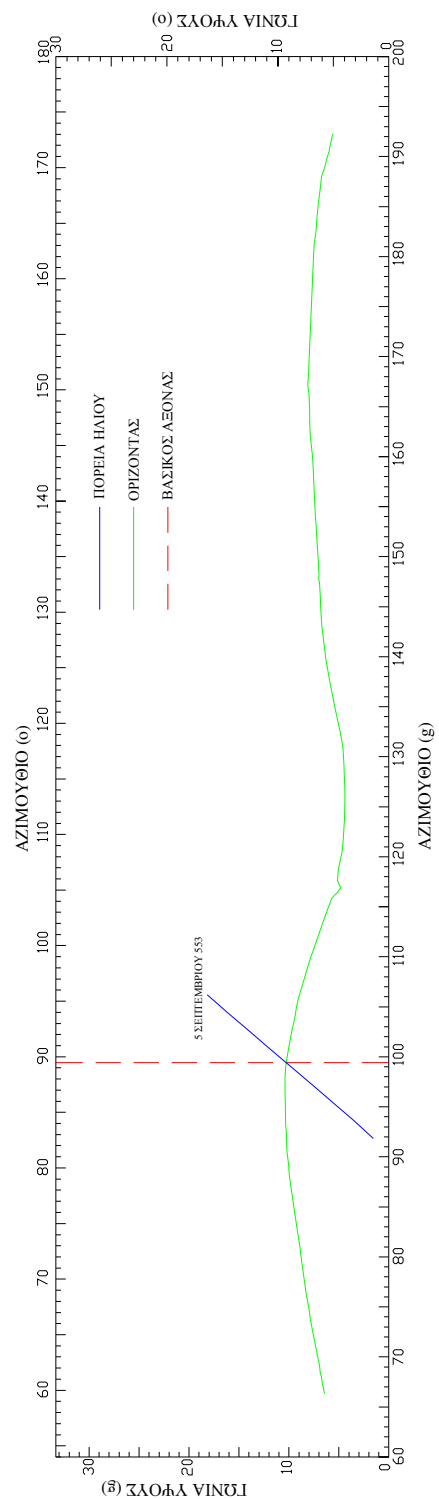
Χρησιμοποιώντας σαν δεδομένα :

- Τον γεωμετρικό προσδιορισμό του βασικού άξονα της βασιλικής.
- Το αστρονομικό αζιμούθιο του βασικού άξονα.
- Τον γεωμετρικό προσδιορισμό της οριογραμμής του αισθητού ορίζοντα, ο οποίος βρίσκεται μπροστά από την βασιλική.
- Την φαινόμενη πορεία του ήλιου από το χώρο της βασιλικής σε μία ημερομηνία.
- Το γεωδαιτικό μήκος (λ) και το γεωδαιτικό πλάτος (ϕ) της παλαιοχριστιανικής βασιλικής.

για τη χρονολόγηση της παλαιοχριστιανικής βασιλικής προέκυψε ότι:

Η γραμμή που υλοποιεί το αζιμούθιο του βασικού άξονα που ορίζεται από το μέσο της εισόδου του ναού και το μέσο του εγκαινίου και η γραμμή του αισθητού ορίζοντα, συναντιούνται με τη γραμμή της πορείας του ήλιου για τις 5 Σεπτεμβρίου 553 μ.Χ., με μια αβεβαιότητα 7.2° που προκύπτει από τις αβεβαιότητες των επιμέρους στοιχείων. Η αβεβαιότητα με την οποία έγινε η χρονολόγηση της παλαιοχριστιανικής βασιλικής είναι της τάξεως των ± 24 ετών. Αυτό σημαίνει ότι έχει θεμελιωθεί μεταξύ 529 μ.Χ και 577 μ.Χ. Η συγκεκριμένη ημερομηνία συμπίπτει με την εορτή του προφήτη Ζαχαρία, πατέρα Προδρόμου.

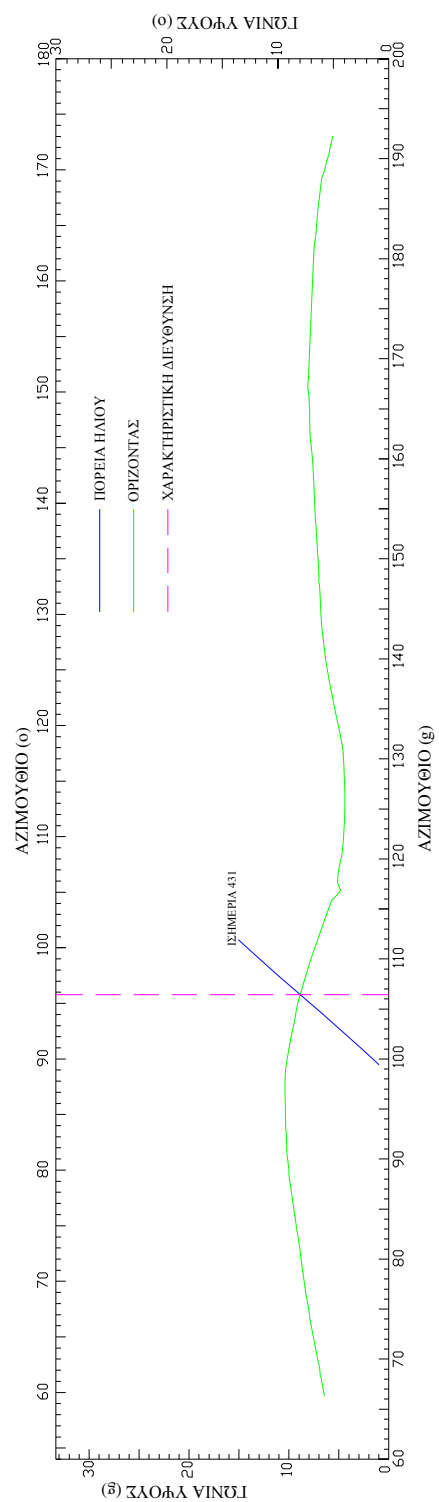
Στο διάγραμμα 8.1 εμφανίζεται η σύνθεση των τριών γραμμών, δηλαδή του βασικού άξονα, της γραμμής του αισθητού ορίζοντα και της πορείας του ήλιου για τις 5 Σεπτεμβρίου 553 μ.Χ.



Σχήμα 8.1 : Διάγραμμα σύνθεσης οριογραμμής ορίζοντα, βασικού άξονα και πορείας ήλιου.

Ελέγχθηκε και η διεύθυνση που ορίζεται από το μέσο του εγκαινίου και το μέσο της κόγχης λαμβάνοντας υπόψη την ασαφή κατάσταση ορισμού της. Συγκεκριμένα το ιερό βήμα βρίσκεται στο επίπεδο των θεμελίων και είναι κατεστραμμένο ενώ δεν είναι γνωστό το που υπήρχε άνοιγμα. Η γραμμή που υλοποιεί το αξιμούθιο της χαρακτηριστικής αυτής διεύθυνσης και η γραμμή του αισθητού ορίζοντα, συναντιούνται με τη γραμμή της πορείας του ήλιου στην φθινοπωρινή ισημερία του 431 μ.Χ., με μια αβεβαιότητα 19.1° που προκύπτει από τις αβεβαιότητες των επιμέρους στοιχείων. Η αβεβαιότητα με την οποία έγινε η χρονολόγησή της είναι της τάξεως των ± 58 ετών. Αυτό σημαίνει ότι η βασιλική έχει θεμελιωθεί μεταξύ του 373 μ.Χ και του 489 μ.Χ.

Στο διάγραμμα 8.2 εμφανίζεται η σύνθεση των τριών γραμμών, δηλαδή της χαρακτηριστικής διεύθυνσης, της γραμμής του αισθητού ορίζοντα και της πορείας του ήλιου για την φθινοπωρινή ισημερία του 431 μ.Χ.



Σχήμα 8.2 : Διάγραμμα σύνθεσης οριογραμμής ορίζοντα, χαρακτηριστικής διεύθυνσης και πορείας ήλιου

8.2 Ακρίβεια χρονολόγησης

Όσον αφορά την τελική ακρίβεια της διερεύνησης του προσανατολισμού αυτή προκύπτει αθροιστικά από τα σφάλματα των επιμέρους στοιχείων.

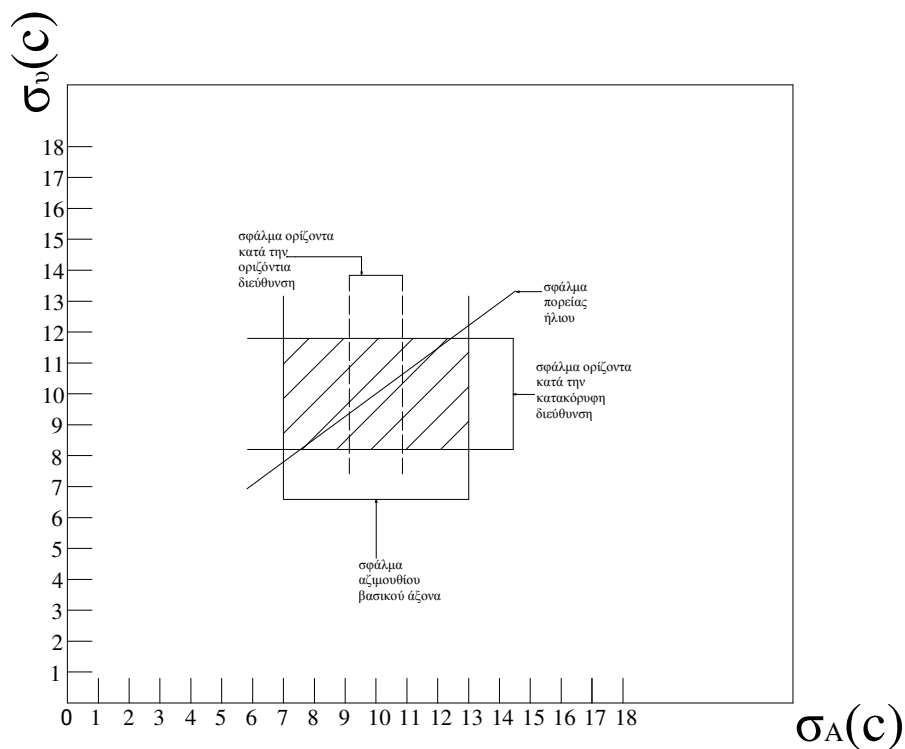
- Οι αστρονομικές παρατηρήσεις που έγιναν, με τις οποίες προσδιορίστηκε το αστρονομικό αζιμούθιο παρέχουν ακρίβεια της τάξης των $\pm 7.9^{\circ}$.
- Η γωνία διεύθυνσης του βασικού άξονα που ορίζεται από το μέσο της εισόδου του ναού και το μέσο του εγκαινίου προσδιορίζεται με μια αβεβαιότητα $\pm 6^{\circ}$.
- Ο προσδιορισμός των σημείων της οριογραμμής του ορίζοντα έγινε με μια ακρίβεια της τάξης των $\pm 4^{\circ}$.
- Ο προσδιορισμός της πορείας του Ήλιου, με ψηφιακή προσομοίωση της φαινόμενης κίνησής του, γίνεται με μια ακρίβεια των $\pm 6^{\circ}$.

Συνδυάζοντας τα παραπάνω προκύπτει ότι η τελική ακρίβεια της διερεύνησης του προσανατολισμού της παλαιοχριστιανικής βασιλικής όσον αφορά τον άξονα που ορίζεται από το μέσο της εισόδου του ναού και το μέσο του εγκαινίου είναι:

$$\sqrt{(6^{\circ})^2 + (4^{\circ})^2 + (0.06^{\circ})^2} = 7.2^{\circ}$$

Άρα η τελική ακρίβεια είναι της τάξης των $\pm 7.2^{\circ}$.

Στο σχήμα 8.3 που ακολουθεί απεικονίζεται “γραφικά” το τελικό σφάλμα που συνοδεύει τη διερεύνηση του προσανατολισμού της παλαιοχριστιανικής βασιλικής του Καστρίου για τον βασικό άξονα, για τις μέγιστες τιμές των επιμέρους σφαλμάτων όπως αναφέρθηκαν παραπάνω.



Σχήμα 8.3: Σχηματική απεικόνιση του συνολικού σφάλματος της μεθοδολογίας διερεύνησης του προσανατολισμού της παλαιοχριστιανικής με τον βασικό άξονα.

Το τελικό σφάλμα προσδιορισμού της χρονολόγησης της παλαιοχριστιανικής βασιλικής του Καστρίου προκύπτει σαν συνάρτηση του συνολικού σφάλματος όλης της μεθοδολογίας και της ετήσιας μεταβολής της πορείας του ήλιου στο συγκεκριμένο τόπο για τη συγκεκριμένη ημερομηνία.

Με γνωστά το συνολικό σφάλμα όλης της μεθοδολογίας $\sigma_{ολ}$ και την ετήσιας μεταβολή της πορείας του ήλιου $d_{\eta\lambda\iota\omicron\upsilon}$ η αβεβαιότητα της χρονολόγησης υπολογίζεται από τη σχέση 8.1 που ακολουθεί.

$$\text{Αβεβαιότητα χρονολόγησης} = \frac{\sigma_{ολ}}{d_{\eta\lambda\iota\omicron\upsilon}} \quad (8.1)$$

Συνεπώς για την πρώτη περίπτωση έχουμε :

- το συνολικό σφάλμα όλης της μεθοδολογίας είναι $\sigma_{ολ} = \pm 7.2^\circ$

- η ετήσια μεταβολή της πορείας του ήλιου στο συγκεκριμένο τόπο της βασιλικής για μια ημερομηνία κοντά στις ημέρες της ισημερίας, όπως η 5^η Σεπτεμβρίου, είναι της τάξης των 30^{cc}.

Επομένως η αβεβαιότητα χρονολόγησης είναι:

$$\text{αβεβαιότητα} = \frac{\pm 720^{\text{cc}}}{30^{\text{cc}/\text{έτος}}} \Rightarrow \text{αβεβαιότητα} = \pm 24 \text{ έτη}$$

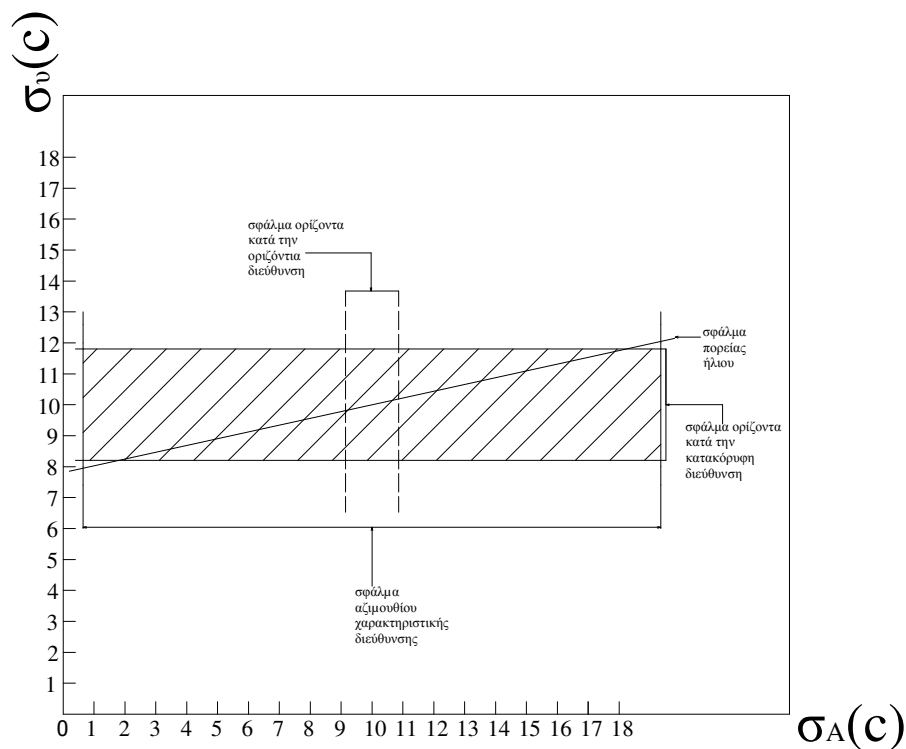
Όσον αφορά στη χαρακτηριστική διεύθυνση που ορίζεται από το μέσο του εγκαινίου και το μέσο της κόγχης η γωνία διεύθυνσής της προσδιορίζεται με μια αβεβαιότητα $\pm 18.7^\circ$. Στην τελική αβεβαιότητα του μνημείου υπεισέρχονται και τα σφάλματα από τον προσδιορισμό του αστρονομικού αζιμουθίου, από τον προσδιορισμό των σημείων της οριογραμμής του ορίζοντα και από τον προσδιορισμό της πορείας του ήλιου όπως αναφέρθηκαν παραπάνω.

Συνδυάζοντας όλα τα σφάλματα προκύπτει ότι η τελική ακρίβεια της διερεύνησης του προσανατολισμού της παλαιοχριστιανικής βασιλικής όσον αφορά στη χαρακτηριστική διεύθυνση που ορίζεται από το μέσο του εγκαινίου και το μέσο της κόγχης είναι:

$$\sigma_{\text{ολ}} = \pm \sqrt{(18.7^\circ)^2 + (0.08^\circ)^2 + (4^\circ)^2 + (0.06^\circ)^2} = 19.1^\circ$$

Άρα η τελική ακρίβεια είναι της τάξης των $\pm 19.1^\circ$.

Στο σχήμα 8.4 που ακολουθεί απεικονίζεται "γραφικά" το τελικό σφάλμα που συνοδεύει τη διερεύνηση του προσανατολισμού της παλαιοχριστιανικής βασιλικής του Καστρίου για τη χαρακτηριστική διεύθυνση, για τις μέγιστες τιμές των επιμέρους σφαλμάτων όπως αναφέρθηκαν παραπάνω.



Σχήμα 8.4: Σχηματική απεικόνιση του συνολικού σφάλματος της μεθοδολογίας διερεύνησης του προσανατολισμού της παλαιοχριστιανικής με τη χαρακτηριστική διεύθυνση.

Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα το τελικό σφάλμα προσδιορισμού της χρονολόγησης της παλαιοχριστιανικής βασιλικής του Καστρίου προκύπτει σαν συνάρτηση του συνολικού σφάλματος όλης της μεθοδολογίας και της ετήσιας μεταβολής της πορείας του ήλιου στο συγκεκριμένο τόπο για τη συγκεκριμένη ημερομηνία.

Έτσι για την περίπτωση της χαρακτηριστικής διεύθυνσης :

- το συνολικό σφάλμα όλης της μεθοδολογίας είναι $\sigma_{ολ} = \pm 19.1^\circ$
- η ετήσια μεταβολή της πορείας του ήλιου στο συγκεκριμένο τόπο της βασιλικής για τις ημέρες της ισημερίας είναι της τάξης των 33^{cc} .

Επομένως η αβεβαιότητα χρονολόγησης είναι:

$$\text{αβεβαιότητα} = \frac{\pm 1910^{cc}}{33^{cc/\text{έτος}}} = \pm 57.8 \text{ έτη} \Rightarrow \text{αβεβαιότητα} = \pm 58 \text{ έτη}$$

Κεφάλαιο 9

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

9.1 Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας όλες τις εργασίες, που αναλύθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια, η παρούσα διπλωματική εργασία είχε ως αποτέλεσμα την δημιουργία κάποιων προϊόντων και την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Έγινε η πλήρης γεωμετρική αποτύπωση της παλαιοχριστιανικής βασιλικής του Καστρίου με τη δημιουργία διαγράμματος κάτοψης **κλίμακας 1:50**. Επίσης η βασιλική εντάχθηκε στο σύστημα ΕΓΣΑ '87.

Υπολογίστηκε το γεωδαιτικό μήκος $\lambda=22^{\circ} 07' 21''$ και το γεωδαιτικό πλάτος $\phi=40^{\circ} 03' 08''$ της παλαιοχριστιανικής βασιλικής.

Έγινε η ορθή γεωμετρική απεικόνιση του αισθητού ορίζοντα.

Με αστρονομικές παρατηρήσεις προσδιορίστηκε το αστρονομικό αζιμούθιο της διεύθυνσης $\Sigma_5 - \Sigma_6$ και προσδιορίζοντας τη γωνία διεύθυνσης της ίδιας διεύθυνσης βρέθηκε η διαφορά τους στην περιοχή.

$$\alpha-A_A=1.27419^{\circ}$$

Βρέθηκε ότι βασικός άξονας της παλαιοχριστιανικής βασιλικής του Καστρίου είναι αυτός που ορίζεται από το μέσο της εισόδου του ναού και το μέσο του εγκαινίου και προσδιορίστηκε το αστρονομικό του αζιμούθιο. Έτσι προέκυψε ότι η διεύθυνση προσανατολισμού της παλαιοχριστιανικής του Καστρίου έχει τιμή **$99^{\circ}.42\pm7.2^{\circ}$** .

Έγινε η χρονολόγηση της παλαιοχριστιανικής βασιλικής και βρέθηκε η αφιέρωση της. Συγκεκριμένα βρέθηκε ότι η βασιλική έχει θεμελιωθεί στις **5 Σεπτεμβρίου του 553** με μια αβεβαιότητα **24 ετών**. Η ημέρα αυτή αντιστοιχεί στην ημερομηνία εορτής του **προφήτη Ζαχαρία**.

Ο χρόνος που χρειάστηκε για την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας χωρίζεται στον χρόνο εργασίας στην ύπαιθρο, στον χρόνο επεξεργασίας των μετρήσεων και στον χρόνο συγγραφής του τεύχους. Συγκεκριμένα:

- Χρόνος εργασίας στην ύπαιθρο : 7 ημέρες
- Χρόνος επεξεργασίας : 50 ημέρες
- Χρόνος συγγραφής τεύχους : 30 ημέρες



Σχήμα 9.1 : Σχηματική απεικόνιση κατανομής χρόνου εργασιών

9.2 Προτάσεις

Προτείνεται η εφαρμογή της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε στην παρούσα εργασία και σε άλλα μνημεία είτε για την εξαρχής χρονολόγησή τους είτε ακόμα και για την επιβεβαίωση της χρονολόγησής τους που έχει προκύψει από άλλες μεθόδους.

Προτείνεται ακόμη η δημιουργία μιας βάσης δεδομένων προσανατολισμένων μνημείων. Η βάση αυτή για κάθε μνημείο μπορεί να περιέχει:

- Τη γεωμετρική τεκμηρίωσή του
- Τη θέση του στο ΕΓΣΑ '87
- Τον αστρονομικό προσανατολισμό του
- Τη χρονολόγησή του
- Τη φωτογραφική του τεκμηρίωση
- Τα ιστορικά του στοιχεία

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αγατζά – Μπαλοδήμου Α.Μ., *Θεωρία σφαλμάτων και συνορθώσεις Ι*, Ε.Μ.Π., Σ.Α.Τ.Μ., Αθήνα 2000
2. Γκιολές Ν., *Παλαιοχριστιανική Τέχνη Ναοδομία (π.200-600)*, Αθήνα 1998
3. Δεριζιώτης Λάζαρος, *Προσωπικές Σημειώσεις*, Λάρισα 2002
4. *Εγκυκλοπαιδικόν Λεξικόν Ελευθερουδάκη*, Τόμος Πέμπτος, Τόμος Έκτος, Αθήνα 1927
5. *Ενημερωτικό φυλλάδιο πολιτιστικού οργανισμού Δήμου Σααρανταπόρου*
6. Κορακίτης Ρ., *Σημειώσεις Γεωδαιτικής Αστρονομίας*, Ε.Μ.Π., Σ.Α.Τ.Μ., Αθήνα 2003
7. Λάμπρου Ε., *Ανάπτυξη Μεθοδολογίας Αστρογεωδαιτικών Προσδιορισμών με Ψηφιακά Γεωδαιτικά Όργανα*, Διδακτορική Διατριβή, Ε.Μ.Π., Σ.Α.Τ.Μ., Αθήνα Ιούνιος 2003.
8. Μακρής Γ.Ν., *Σύγχρονες Αντιλήψεις Και Πρακτικές Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης-Αποτύπωσης Κειμηλίων, Μνημείων Και Συνόλων*
9. *Μεγάλη Ελληνική Εγκυκλοπαίδεια*, Παύλος Δρανδάκης, Τόμος Θ, Αθήνα 1933
10. Μπαλοδήμος Δ.-Δ., Σταθάς Δ., *Γεωδαιτικά Όργανα και Μέθοδοι Μέτρησης Γωνιών και Μηκών*, Ε.Μ.Π., Σ.Α.Τ.Μ., Αθήνα 2002
11. Παγάνης Κ., *Σημειώσεις Τοπογραφικού Σχεδίου*, Αθήνα 2003
12. Πανταζής Γ., *Διερεύνηση Προσανατολισμού Μνημείου Με Γαιωδαιτικές Και Αστρονομικές Μεθόδους (Εφαρμογή Στα Μετέωρα)*, Διδακτορική Διατριβή, Ε.Μ.Π., Σ.Α.Τ.Μ., Αθήνα Οκτώβριος 2002.