

Παρακολούθηση Κατακόρυφων Μετακινήσεων

του τοιχοβάτη του Μακεδονικού Τάφου Κρίσεως
στα Λευκάδια Νάουσας

1. Περιγραφή του μνημείου.

Ο τάφος της Κρίσεως, είναι από τα εντυπωσιακότερα παραδείγματα ταφικών μνημείων της αρχαίας Μακεδονίας. Ανήκει στον ευρύτερο αρχαιολογικό χώρο της αρχαίας Μιέζας, κοντά στο χωριό Λευκάδια της Νάουσας. Το μνημείο χρονολογείται, στο τελευταίο τέταρτο του 4^{ου} π.Χ. αιώνα. Η ανακάλυψή του, έγινε τυχαία, το 1954, κατά την διάνοιξη επαρχιακού δρόμου, που θα συνέδεε το χωριό Κοπανός με την εθνική οδό Νάουσας - Έδεσσας και ανασκάφηκε συστηματικά από τον επίτιμο Έφορο Αρχαιοτήτων Φ. Πέτσα.

Ο τάφος, ανήκει στον τύπο του διθάλαμου μακεδονικού τάφου με καμαρωτή στέγη και πρόσοψη, που υπερβαίνει σε ύψος την στέγη του. Η πρόσοψή του, έχει διαστάσεις ύψος: 8,60μ και πλάτος 8,68μ και είναι διαμορφωμένη, έτσι ώστε, να δίδει την εντύπωση πρόσοψης διόροφου κτίσματος με αετωματική στέγη.

Ο χαμηλότερος (πρώτος) «όροφος», είναι δωρικού ρυθμού και θυμίζει είσοδο αρχαίου ναού με τετράστυ-

λο πρόπυλο, το οποίο περιλαμβάνει τέσσερις ημικίονες και παραστάδες στα άκρα του. (Φωτ.1)

Αριστερά και δεξιά της εισόδου του τάφου, στα διαστήματα μεταξύ των ημικίωνων, υπάρχουν τέσσερις μεμονωμένες μορφές, που αποτελούν όμως, τμήματα μιας ενιαίας σύνθεσης, που διακόπτεται από την παρεμβολή των ημικίωνων και του ανοίγματος του τάφου. Ο τάφος έχει πάρει την ονομασία του από την ζωγραφική αυτή σύνθεση, με θέμα την κάθοδο του νεκρού στον Άδη συνοδευόμενου από τον (ψυχοπομπό) θεό Ερμή, όπου οι κριτές Λιακός και Ραδάμανθυς, θα αποφασίσουν εάν θα τον κατατάξουν στις τάξεις των καλών, για να καταλήξει στις νήσους των Μακάρων ή στις τάξεις των κακών, οπότε θα τιμωρηθεί βασανιζόμενος αιώνια στα Τάρταρα.

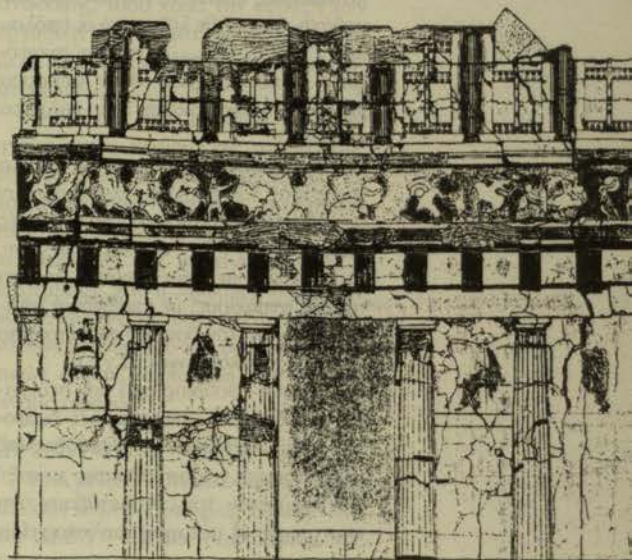
2. Παραμορφώσεις μνημείου.

Η πρόσοψη του ταφικού μνημείου, παρουσίαζε έντονες παραμορφώσεις λόγω των ωθήσεων των γαιών, που κάλυπταν τον τύμβο κατά την αρχαιότητα, με συνέπεια, η πρόσοψη να λειτουργεί ως τοίχος αντιστήριξης. (Φωτ. 2).

Τον Ιούλιο 1997, υπό την εποπτεία της ΙΖ' Εφορείας Κλασικών και Προϊστορικών Αρχαιοτήτων, ξεκίνησε πρόγραμμα αναστήλωσης και συντήρησης του τμήματος της πρόσοψης, που παρουσίαζε τις μεγαλύτερες παραμορφώσεις, με βάση την μελέτη του Πολιτικού Μηχανικού Ε.Μ.Π. Κ. Ζάμπα.

Οι αναστηλωτικές εργασίες, ολοκληρώθηκαν στο τέλος του Αυγούστου 1998. Παράλληλα, στο ίδιο χρονικό διάστημα, πραγματοποιήθηκαν ανασκαφικές εργασίες στο χώρο του προθαλάμου, του οποίου η οροφή είχε καταρρεύσει κατά την αρχαιότητα.

Επειδή, σύμφωνα με τον μελετητή των εργασιών αναστήλωσης, ήταν



Φωτ. 2

πιθανόν, να παρουσιασθούν κατακόρυφες κινήσεις στον τοιχοβάτη του μνημείου, κατά τις διαδοχικές φάσεις αφαίρεσης και επανατοποθέτησης του τμήματος της πρόσοψης, που επρόκειτο να αναστηλωθεί, αποφασίσθηκε η ίδρυση ενός δικτύου κατακόρυφου ελέγχου, με σκοπό τον προσδιορισμό και την παρακολούθηση της μεταβολής των κατακόρυφων μετακινήσεων των λίθων του τοιχοβάτη, που ήταν πιθανόν να εμφανισθούν.

3. Δίκτυο κατακόρυφου ελέγχου μνημείου.

Για τον προσδιορισμό των κατακόρυφων μετακινήσεων του τοιχοβάτη, αποφασίσθηκε να ιδρυθεί δίκτυο κατακόρυφου ελέγχου και να προσδιορισθούν οι υψομετρικές διαφορές (ΔH_{ij}) μεταξύ των κορυφών του, σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές, που θα αντιστοιχούσαν στις διάφορες φάσεις των εργασιών αποκατάστασης της πρόσοψης. Συγκρίνοντας τα υψόμετρα H_i της κάθε μιας κορυφής του

των

Γ. Δ. Γεωργόπουλου
και Ε. Χ. Τελειώνη
επιστ. συνεργατών
Τομέα Γεωδαισίας
Τμ. Αγρονόμων -
Τοπογράφων ΕΜΠ

ΠΥΡΡΟΣ 2001



Φωτ. 1

δικτύου, κατά τις διαδοχικές χρονικές στιγμές μέτρησης και μετά από στατιστική ανάλυση, εντοπίζονται οι κατακόρυφες μετακινήσεις των λίθων του τοιχοβάτη. Το δίκτυο που ιδρύθηκε, αποτελείται από 18 συνολικά κορυφές (Χωροσταθμικές αφετηρίες-Repères). Από αυτές οι 16 - R_1, R_2, \dots, R_{16} - (σημεία ελέγχου), εγκαταστάθηκαν σε κατάλληλες θέσεις των λίθων του τοιχοβάτη, 2 σε κάθε λίθο, ενώ οι υπόλοιπες 2 - R_{100}, R_{200} - (σημεία αναφοράς), τοποθετήθηκαν στην φέρουσα μονολιθική κατασκευή που καλύπτει τον τάφο.

Τα σημεία ελέγχου και τα σημεία αναφοράς του δικτύου, υλοποιήθηκαν με ειδικές ορειχάλκινες κατασκευές (μπουλόνια). Τα σημεία ελέγχου, πακτώθηκαν με τομεντοκονία, ενώ τα σημεία αναφοράς, με εποξειδική ρητίνη. Η μορφή του δικτύου φαίνεται στο αντίστοιχο σκαρίφημα. (Σχ.1).

Για τον προσδιορισμό των στοιχείων του δικτύου - υψομετρικές διαφορές ΔH_{ij} - εφαρμόστηκε η μέθοδος της γεωμετρικής χωροστάθμισης μεταξύ των κορυφών του, σε μετάβαση και επιστροφή. Η μέτρηση των στοιχείων

παρατηρήσεων), έγινε έτσι ώστε, να είναι δυνατόν να ανιχνεύονται κατακόρυφες μετακινήσεις, της τάξης του 1mm για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

Σε κάθε φάση μέτρησης, προσδιορίζονταν, συνολικά, 35 υψομετρικές διαφορές, οι ίδιες κάθε φορά, όπως φαίνεται και στο σκαρίφημα του δικτύου. Μετά την ολοκλήρωση κάθε σειράς μετρήσεων, γινόταν επίλυση του δικτύου, με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων (Μ.Ε.Τ.), θεωρώντας ως σταθερή, σε όλες τις σειρές μέτρησης, την κορυφή R_{200} , στην οποία δόθηκε αυθαίρετα υψόμετρο $H_{R_{200}} = 100.000m$. Στις παρατηρήσεις (ΔH_{ij}), δόθηκαν βάρη, αντιστρόφως ανάλογα της αβεβαιότητας, της μοναδιαίας χωροστάθμισης (χωροστάθμιση με μία στάση χωροβάτη), που είναι ίση με $\pm 0,5mm$.

Κάθε φορά, γινόταν έλεγχος των παρατηρήσεων για την ανίχνευση χονδροειδών και συστηματικών σφαλμάτων. Μετά την συνόρθωση του δικτύου, γινόταν, κάθε φορά, στατιστική ανάλυση, για να διαπιστωθεί αν ισχύει η αρχική υπόθεση, δηλ. εάν το μαθηματικό μοντέλο που αποτελείται από τις εξισώσεις παρατήρησης, συμφωνεί με το στοχαστικό μοντέλο, δηλ. τα βάρη των παρατηρήσεων. Η ισχύς της αρχικής υπόθεσης, ελεγχόταν με το test χ^2 , με βάση την παρακάτω σχέση:

$$\frac{r \cdot \hat{\sigma}_0^2}{\sigma_0^2} \leq \chi_{r,0.95}^2$$

όπου:

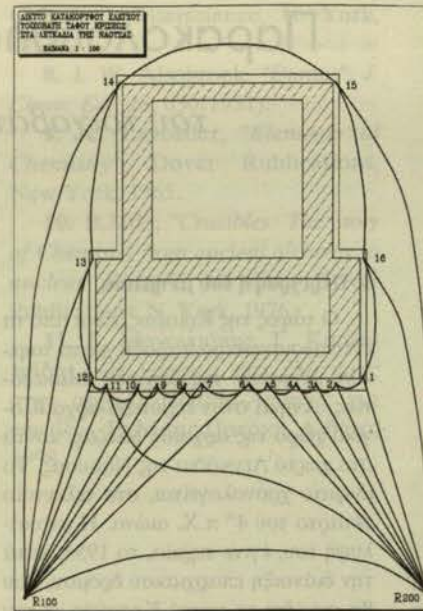
$\sigma_0, \hat{\sigma}_0 = a$ priori, a posteriori τυπικό σφάλμα της μονάδας βάρους.

r = βαθμοί ελευθερίας (αριθμός παρατηρήσεων n - αριθμός αγνώστων m)

$\chi_{r,0.95}^2$ = το εκατοστιαίο σημείο της κατανομής χ^2 για βαθμούς ελευθερίας και επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

Από τις τιμές των υψομέτρων των κορυφών του δικτύου που εκτιμήθηκαν από τις έξι διαδοχικές φάσεις μέτρησης, προσδιορίστηκαν οι κατακόρυφες μετακινήσεις $\delta H_i^{n,n+1}$ των κορυφών, από τη σχέση:

$$\delta H_i^{n,n+1} = H_i^{n+1} - H_i^n$$



Σχ. 1: Δίκτυο κατακόρυφου ελέγχου τοιχοβάτη

όπου: H_i^n, H_i^{n+1} το υψόμετρο της i κορυφής του δικτύου κατά τις διαδοχικές στιγμές μέτρησης $n, n+1$ αντίστοιχα.

Η στατιστική σημαντικότητα των μετακινήσεων, ελεγχόταν κάθε φορά με βάση τη σχέση:

$$\delta H_i^{n,n+1} \geq 1.96 \cdot \sqrt{\sigma_{H_i^n}^2 + \sigma_{H_i^{n+1}}^2}$$

όπου: $\sigma_{H_i^n}^2, \sigma_{H_i^{n+1}}^2$ οι μεταβλητότητες του υψομέτρου της i κορυφής του δικτύου, κατά τις διαδοχικές στιγμές μέτρησης $n, n+1$ αντίστοιχα.

4. Συμπεράσματα.

Από την σύγκριση των υψομέτρων των σημείων ελέγχου, μεταξύ των διαδοχικών φάσεων, προκύπτει ότι:

♦ Δεν υπάρχει καμία στατιστικά σημαντική μετακίνηση, μεταξύ της αρχικής και της δεύτερης σειράς μετρήσεων (Μάιος - Ιούνιος 1997). Αυτό ήταν αναμενόμενο, δεδομένου ότι, μέχρι τότε, δεν είχε ξεκινήσει καμία επέμβαση στο μνημείο.

♦ Στατιστικά σημαντικές μετακινήσεις, παρατηρούνται στα σημεία ελέγχου που βρίσκονται στην πρόσοψη του τακτικού μνημείου, στο χρονικό διάστημα, μεταξύ δεύτερης και τρίτης σειράς μετρήσεων (Ιούνιος 1997 - Ιούλιος 1998). Οι μετακινήσεις, έχουν απόλυτο μέγεθος από 0.5 - 1.3mm, και είναι όλες

α/α	ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΕΡΓΑΣΙΕΣ - ΦΑΣΕΙΣ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ
1.	Μάιος 1997	Εγκατάσταση δικτύου - 1 ^η σειρά μετρήσεων
2.	Ιούνιος 1997	2 ^η σειρά μετρήσεων
3.	Ιούλιος 1997	Αφαίρεση του προς αναστήλωση τμήματος της πρόσοψης- Εναρξη ανασκαφής
4.	Ιούλιος 1998	3 ^η σειρά μετρήσεων - Ολοκλήρωση της αναστήλωσης
5.	Οκτώβριος 1998	4 ^η σειρά μετρήσεων
6.	Ιούλιος 1999	5 ^η σειρά μετρήσεων
7.	Ιούλιος 2000	6 ^η σειρά μετρήσεων

Πίνακας 1

ΠΥΡΦΟΡΟΣ 2001

του δικτύου έχει γίνει, μέχρι σήμερα, συνολικά 6 φορές. Οι χρόνοι μέτρησης, σε συνδυασμό με τις αναστηλωτικές εργασίες, φαίνονται στον πίνακα 1.

Οι μετρήσεις σε όλες τις φάσεις μέτρησης, έγιναν με ψηφιακό χωροβάτη, ο οποίος διαθέτει εσωτερική καταγραφική μονάδα, συνδυάζεται με ειδικούς, κωδικοποιημένους χωροσταθμικούς πήχες και έχει ονομαστική ακρίβεια, σύμφωνα με τον κατασκευαστή, 1.5 mm/km. Ο σχεδιασμός του δικτύου (επιλογή οργάνου - πλήθος και είδος

θεπικές, πρόκειται δηλ. για ανηψώσεις. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι, κατά την τρίτη σειρά μετρήσεων, είχε αφαιρεθεί το προς αναστήλωση τμήμα της πρόσοψης, και επομένως, ο τοιχοβάτης είχε αποφορτισθεί. Αξίζει να σημειωθεί ότι, οι μεγαλύτερες ανηψώσεις (1.0 - 1.3 mm), εντοπίζονται στα σημεία R3, R4, R5 και R6, που βρίσκονται στο τμήμα του τοιχοβάτη, πάνω από το οποίο είχε αφαιρεθεί το τμήμα της πρόσοψης.

♦ Στατιστικά σημαντικές μετακινήσεις, παρατηρούνται στα ίδια σημεία (σημεία ελέγχου του τοιχοβάτη στην πρόσοψη του τάφου) και στο χρονικό διάστημα μεταξύ της τρίτης και τέταρτης σειράς μετρήσεων (Ιούλιος 1998 - Οκτώβριος 1998), οπότε είχε ολοκληρωθεί η αναστήλωση της πρόσοψης. Οι μετακινήσεις, έχουν απόλυτο μέγεθος από 0.5 - 3.2 mm, και είναι όλες αρνητικές, πρόκειται δηλ. για καθιζήσεις, γεγονός που εξηγείται από την επαναφόρτιση του τοιχοβάτη μετά την ολοκλήρωση της αναστήλωσης της πρόσοψης. Αντίθετα με τα προηγούμενα, οι μεγαλύτερες καθιζήσεις (- 3.2 mm και - 2.2 mm), εντοπίζονται στα δύο ακραία σημεία ελέγχου του τμήματος του τοιχοβάτη, στην πρόσοψη, R1 και R12 αντίστοιχα.

♦ Από την σύγκριση της τέταρτης και πέμπτης σειράς μετρήσεων (Οκτώβριος 1998 - Ιούλιος 1999), δεν διαπιστώνονται στατιστικά σημαντικές μετακινήσεις στα σημεία ελέγχου του τοιχοβάτη της πρόσοψης. Εξαιρέση αποτελεί το σημείο ελέγχου R12, στο οποίο παρατηρείται *καθίζηση* -1.5 mm. Αντίθετα, στατιστικά σημαντικές μετακινήσεις, εντοπίζονται για πρώτη φορά στα σημεία ελέγχου του τοιχοβάτη των πλαγιών όψεων και της οπίσθιας όψης του μνημείου (R13, ..., R16). Οι μετακινήσεις έχουν απόλυτο μέγεθος 1.0 - 1.6 mm και είναι όλες αρνητικές, πρόκειται δηλαδή για *καθιζήσεις*. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι στατιστικά μεγαλύτερες *καθιζήσεις* των σημείων ελέγχου των πλαγιών όψεων, εντοπίζονται στην βόρεια όψη, που βρίσκεται από την πλευρά του σημείου ελέγχου R12. Στα σημεία αυτά, (R13, R14) οι καθιζήσεις είναι -1.6 mm και -1.4 mm, αντίστοιχα.

♦ Από την σύγκριση των δύο τελευταίων σειρών μέτρησης (Ιούλιος

1999 - Ιούλιος 2000), διαπιστώνονται στατιστικά σημαντικές *ανηψώσεις* στα σημεία ελέγχου R1, R12, R14 και R15 του τοιχοβάτη. Το μέτρο των ανηψώσεων, κυμαίνεται από 0.7 mm - 2.6 mm.

♦ Για το συνολικό χρονικό διάστημα, παρατηρείται στατιστικά σημαντική *καθίζηση* στο σημείο R12 (-1.2 mm) και στατιστικά σημαντικές *ανηψώσεις* στα R3, R4, R5, R6, R7, R8 (0.5 mm, 0.7 mm, 0.8 mm, 1.1 mm, 0.6 mm, 0.6 mm, αντίστοιχα).

5. Διαπιστώσεις - Γενικές προτάσεις.

Από την μέτρηση του δικτύου κατακόρυφου ελέγχου, τα αποτελέσματα και τις παρατηρούμενες μετακινήσεις του τοιχοβάτη, προκύπτουν οι επόμενες διαπιστώσεις, οι οποίες μπορούν να έχουν γενικό χαρακτήρα.

♦ Από την ακρίβεια προσδιορισμού των υψομέτρων των κορυφών του δικτύου, διαφαίνεται ότι, η *δυνατότητα εντοπισμού κατακόρυφης μετακίνησης* με το γεωδαιτικό δίκτυο ελέγχου, για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, είναι της τάξης των μερικών δεκάτων του χιλιοστού.

♦ Από τις μετακινήσεις (καθιζήσεις, ανηψώσεις) του τοιχοβάτη κατά την φάση της αναστήλωσης, που είναι της τάξης των μερικών χιλιοστών, γίνεται φανερό ότι ολόκληρη η *ανωδομή του μνημείου* βρίσκεται υπό *ένταση* κατά την διάρκεια των εργασιών, μέχρι να αποκατασταθεί η ισορροπία των τάσεων του εδάφους θεμελίωσης του μνημείου.

♦ Τέλος, επειδή κατακόρυφες μετακινήσεις διαπιστώθηκαν και μετά το πέρας της αναστήλωσης, αυτές θα πρέπει να αποδοθούν στην *μεταβολή της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα* της περιοχής. Αυτό έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον στα ταφικά μνημεία, τα οποία βρίσκονται, συνήθως, θαμμένα.

Από αυτές τις διαπιστώσεις, μπορούν να γίνουν οι επόμενες γενικές προτάσεις, οι οποίες αφορούν στο σύνολο των μνημείων και έχουν ως στόχο την υποστήριξη των εργασιών αναστήλωσης και στην συνέχεια την προστασία του μνημείου, με την πρόληψη δυσμενών καταστάσεων.

♦ Το δίκτυο κατακόρυφου ελέγχου το οποίο εγκαθίσταται στον τοιχοβάτη του μνημείου, θα πρέπει να *μετρείται* περιοδικά, για την παρακολούθηση της

κινηματικής συμπεριφοράς του, κατά τις μεταβολές της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα της περιοχής του μνημείου.

♦ Εκτός από το δίκτυο αυτό, θα πρέπει να ιδρύεται *δίκτυο οριζοντίου ελέγχου* σε επιλεγμένες θέσεις πάνω στο μνημείο, το οποίο θα παρακολουθεί τις οριζόντιες μετακινήσεις της ανωδομής, τόσο κατά την εξέλιξη των εργασιών της αναστήλωσης, όσο και μετά από αυτή, ανά τακτά χρονικά διαστήματα.

♦ Τέλος, είναι σκόπιμο για κάθε μνημείο, στο πλαίσιο της συντήρησής του, να τηρείται *λεπτομερές αρχείο* με τα πρωτογενή στοιχεία (μετρήσεις υπαίθρου) και τις παρατηρούμενες μετακινήσεις, για να είναι δυνατή η παρέμβαση και η πρόληψη δυσμενών καταστάσεων, οι οποίες είναι πιθανόν να προκύψουν από την δράση τεχνηματικών αιτίων, κυριότερη των οποίων είναι ο σεισμός.

Βιβλιογραφία

1. Αγατζά - Μπαλοδήμου Α. Μ. «*Ειδικά Θέματα Θεωρίας Σφαλμάτων και Μ.Ε.Τ.*» Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών Ε.Μ.Π.-Σπουδαστικές Σημειώσεις, Αθήνα 1996.

2. Γεωργόπουλος Γ. - Τελειώνη Ε. «*Μελέτη παρακολούθησης των κατακόρυφων μετακινήσεων του τοιχοβάτη του Μακεδονικού Τάφου Κρίσεως στα Λευκάδια Νάουσας*» Τεχνική Εκθεση, Οκτώβριος 1998.

3. Ζάμπας Κ. «*Ο Μακεδονικός Τάφος Κρίσεως στα Λευκάδια Νάουσας - Μελέτη αποκατάστασης*» ΥΠ.ΠΟ. ΙΖ' Εφορεία Προϊστορικών και Κλασικών Αρχαιοτήτων, Αθήνα, Ιούλιος 1995.

4. Ζάμπας Κ. «*Ο Μακεδονικός Τάφος Κρίσεως στα Λευκάδια Νάουσας - Το έργο της αποκατάστασης της πρόσοψης*», Αθήνα, Ιούλιος - Αύγουστος 1998.

5. Ζάμπας Κ. «*Η αποκατάσταση της πρόσοψης του Τάφου των Λευκαδίων*» -Το Αρχαιολογικό Έργο στη Μακεδονία και Θράκη - Πρακτικά υπό δημοσίευση.

6. Ρομποπούλου Κ. «*Λευκάδια - Αρχαία Μίεζα*» ΥΠ.ΠΟ. - Ταμείο Αρχαιολογικών Πόρων και Απαλλοτριώσεων, Αθήνα 1997.