

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
ΕΠΙΛΟΓΗ ΧΑΡΑΞΗΣ ΤΟΥ ΕΥΠΑΛΙΝΟΥ  
ΟΡΥΓΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΑΡΧΑΙΑ ΣΑΜΟ,  
ΒΑΣΙΣΜΕΝΗ ΣΕ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΑ ΚΑΙ  
ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ.**

**ΟΝΟΜΑ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ : ΣΙΩΡΟΥ ΜΑΡΙΑ-ΕΛΕΝΑ  
ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΛΥΚΟΥΡΓΙΩΤΗΣ ΣΩΤΗΡΗΣ**

**ΠΑΤΡΑ-2011**



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Αν για έναν άνθρωπο το πολυτιμότερο υλικό αγαθό είναι το οξυγόνο που αναπνέει, για μια πόλη το σημαντικότερο αγαθό είναι το νερό. Από τους πρώτους υποτυπώδεις οικισμούς της προϊστορίας ως τις αχανείς και τεχνολογικά εξελιγμένες μεγαλουπόλεις των καιρών μας, η δυνατότητα εύκολης πρόσβασης σε επαρκή αποθέματα πόσιμου νερού αποτέλεσε προϋπόθεση της δημιουργίας τους. Και μπορεί σήμερα η πρόσβαση αυτή είναι τόσο εύκολη όσο το άνοιγμα μιας βρύσης, τα πράγματα όμως δεν ήταν πάντοτε τόσο απλά.

Την εποχή που οι αρχαίοι οικισμοί άρχισαν να οργανώνονται σε επίπεδο πόλης, η απλή γειτνίαση με ποταμούς, λίμνες ή πηγές έπαψε να επαρκεί, και η ανάγκη για δημιουργία δικτύων μεταφοράς και διανομής νερού άρχισε να γίνεται επιτακτική προκειμένου να εξασφαλιστεί η περαιτέρω ανάπτυξη τους. Η ανάγκη αυτή οδήγησε στην κατασκευή των πρώτων υδραγωγείων - υπόγειων ή υπέργειων αγωγών, δηλαδή, μεταφοράς νερού. Ίχνη προϊστορικών υδραγωγείων έχουν βρεθεί στην κοιλάδα του Νείλου της Αιγύπτου, στην αρχαία πόλη Τύρο της Συρίας, στην Κίνα, στην Κεντρική Αμερική και σε πολλά άλλα ακόμη σημεία του κόσμου. Στην Ευρώπη, οι πρώτοι που κατασκεύασαν υδραγωγεία ήταν οι Έλληνες. Θαύμα της αρχαίας μηχανικής θεωρείται το υδραγωγείο που κατασκεύασε τον 6ο αιώνα π.χ. ο καταγόμενος από τα Μέγαρα μηχανικός Ευπαλίνος για την ύδρευση της Σάμου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το **Ευπαλίνειο όρυγμα** είναι μια σήραγγα μήκους 1036 μέτρων κοντά στο Πυθαγόρειο της Σάμου, η οποία κατασκευάστηκε κατά τον 6ο αιώνα π.χ. για να χρησιμεύσει σαν υδραγωγείο. Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του ήταν ότι ανοίχθηκε ταυτόχρονα και από τις δυο πλευρές του βουνού: το όρυγμα αυτό ήταν **αμφίστομον** όπως το χαρακτήρισε ο Ηρόδοτος, χάρις στον οποίον έγινε γνωστό. Οι δυο σήραγγες συναντήθηκαν περίπου στο μέσον με αξιοθαύμαστη ακρίβεια, κάτι που ήταν σημαντικό επίτευγμα για τα τεχνολογικά δεδομένα της εποχής. Ένα μέρος του ορύγματος είναι σήμερα επισκέψιμο.

Το ευπαλίνιο όρυγμα στη Σάμο είναι ένα από τα πιο αξιοθαύμαστα έργα στην αρχαιότητα ,αλλά υπάρχουν πολλά ερωτήματα σχετικά με το σχέδιο και την επιλογή της διαδρομής. Σε αυτή την εργασία θα προσπαθήσουμε να απαντήσουμε στις ερωτήσεις :

- Γιατί ο Ευπαλίνος επέλεξε το συγκεκριμένο μονοπάτι για το υδραγωγείο;
- Πως χαραχτηκε η ευθυγραμμία;
- Πως κατασκευάστηκε;

Δυο βασικά κριτήρια που πρέπει να μελετηθούν για τον σχεδιασμό του ορύγματος

- Ότι έπρεπε να ανασκαφεί μέσα σε βράχους με μηχανικές ιδιότητες κατάλληλες για ασφαλή ανασκαφή

- Οι πύλες έπρεπε να είναι σε περιοχές που επιτρέπουν ακριβή γεωδαιτικό προσανατολισμό και καθοδήγηση της ανασκαφής .

Η τελική επιλογή της διαδρομής υποδεικνύει ότι ο Ευπαλίνος κατείχε γνώσεις γεωλογικές και γεωτεχνικές όπως επίσης και μηχανικές ιδιότητες του εδάφους.

Επιπλέον στην εργασία αυτή θα κάνουμε μια αναδρομή στη τοπογραφία και στα τοπογραφικά όργανα και θα μελετήσουμε τη γεωλογία της Σάμου .

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ .....	3
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	4
<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	10
1.1. Αρχαία υδραγωγεία.....	13
1.1.1. Υδραγωγείο Νικόπολης.....	13
1.1.2. Υδραγωγείο Νάξου .....	14
1.1.3. Αδρειανό υδραγωγείου .....	15
1.2. Άλλα αρχαία υδραγωγεία .....	17
1.2.1 Πελασγίτικο υδραγωγείο.....	17
1.2.2 Υδραγωγείο Θησέως.....	17
1.2.3. Πεισιστράτειο υδραγωγείο.....	17
1.2.4. Πορινό υδραγωγείο .....	17
1.2.5 Υμηττού-Νεκροταφείου.....	17
1.2.6 Πνυκός.....	17
1.2.7 Λουτρού .....	18
1.2.8 Θησείου .....	18
1.2.9. Σταδίου.....	18
1.2.10 Αγίας τριάδας-Κεραμικού .....	18
1.2.11 Κηφισιάς .....	18
1.2.12 Οδού Σταδίου.....	19
1.2.13 Καλλιρρόης-Βουνού-Μακρών τειχών .....	19
1.2.14 Υπέργεια υδραγωγεία επί αψίδων .....	19
1.3 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΕΥΠΑΛΙΝΙΟΥ ΟΡΥΓΜΑΤΟΣ.....	22
<b>2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΣΤΗΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑ ΤΗΣ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΑΣ</b> .....	25
2.1 Γενικά.....	25
2.2. Αρχαία τοπογραφικά όργανα.....	27
<b>3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΟΥ</b> .....	30
3.1 Εισαγωγή .....	30
3.1.1. Πρώτο τμήμα του έργου.....	31
3.1.2. Δεύτερο τμήμα του έργου .....	32
3.1.3 Τρίτο τμήμα του έργου.....	34

<b>4. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ</b> .....	35
4.1. Γενικά .....	35
4.2. Γεωλογία λόφου που διασχίζει η σήραγγα .....	38
<b>5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ</b> .....	42
5.1. Ερωτήματα και Υποθέσεις .....	42
5.2. Υποθέσεις και Απαντήσεις .....	42
5.2.1. Σύνομη διαδρομή .....	42
5.2.2. Ευθυγραμμία .....	46
5.2.3. Κλίση .....	48
<b>6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b> .....	50
<b>7. ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ</b> .....	53
<b>8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	62
8.1. Ξένη βιβλιογραφία .....	62
8.2. Ελληνική βιβλιογραφία .....	62
8.3. ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ .....	63

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

1.1 Το Ευπαλίνειο όρυγμα σε ειδική φωτογράφιση γύρω στο 1970.....	10
1.2 . τρόπος κατασκευής του ορύγματος .....	11
1.3. . Η αρχαία Σάμος με το όρος Κάστρο .....	12
1.4. Τομή .....	12
1.1.1 υδραγωγείο Νικόπολης.....	13
1.1.2. υδραγωγείο Νάξου .....	15
1.2.1 το πισιστράτειο υδραγωγείο. ....	20
1.2.2 Αδρειανό υδραγωγείο .....	21
1.3.1. χάρτης .....	22
1.3.2. επιγραφή.....	23
1.2.2 αστρόλαβος .....	28
2.2.2. διόπτρα .....	29
3.1.1. τομή του έργου .....	30
3.1.2 . αγωγός- πρώτο τμήμα.....	31
3.1.3. υπόγεια σήραγγα.....	32
4.2.1. υψομετρικός και γεωλογικός χάρτης λόφου .....	39
4.2.2. Χαμηλή αντοχή, χαμηλό GSI .....	40
4.2.3. χαμηλή αντοχή, χαμηλό GSI.....	40
4.2.1. χαμηλή αντοχή, χαμηλό GSI.....	41
5.2.1. . Συντομότερη διαδρομή .....	43
5.2.2. . η τελική διαδρομή της σήραγγας.....	45
5.2.3. Απόκλιση για την αποφυγή χαμηλής αντοχής πετρωμάτων .....	46
5.4.1. τοπογραφικό διαδρομής της υπόγειας σήραγγας .....	49
7.1. Λαξευμένος βράχος κοντά στη νότια είσοδο .....	53
7.2. εσοχή για ξεκούραση μέσα στο όρυγμα .....	54
7.3. κτίσμα στη νότια είσοδο .....	54
7.4. νότια είσοδος .....	55
7.5. Σκάλα προς το έργο .....	56
7.6. η σκάλα .....	57
7.7. σημείο εξόδου .....	58
7.8. ναός του Α. Ιωάννη .....	59



7.9 κάτοψη και τομή του ναού .....	60
7.10. ευρήματα.....	60
7.11. πόρπες, φυλαχτά, ζύγια, βελόνες.....	61

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το Ευπαλίνειο όρυγμα αποτελεί ένα μηχανικό έργο αξεπέραστο στην ιστορία της μηχανικής τεχνολογίας και τεκμήριο του υψηλού επίπεδου τεχνογνωσίας των Ελλήνων μηχανικών και των ολοκληρωμένων γνώσεών τους στην εφαρμογή της Γεωμετρίας, της Τοπογραφίας, της Γεωδαισίας και της Οπτικής στην αρχαία Ελλάδα πολύ πριν από τον 6ο αιώνα π.χ.

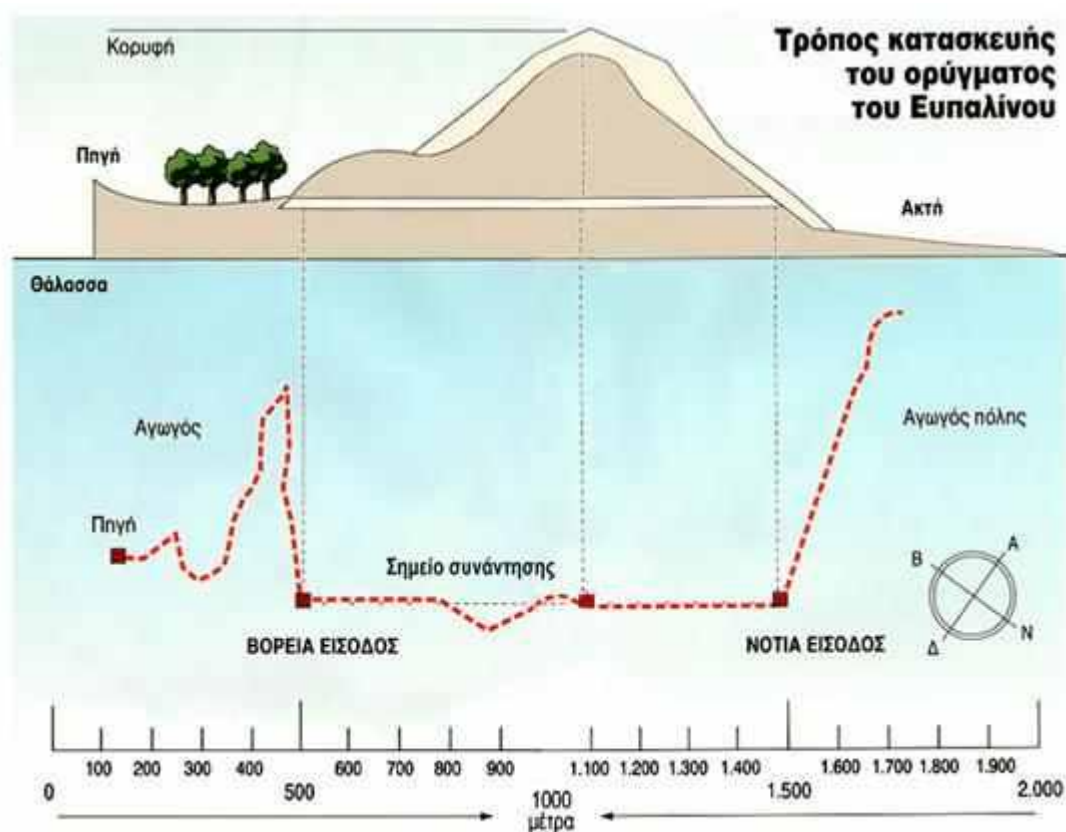


**Εικόνα 1.1** Το Ευπαλίνειο όρυγμα σε ειδική φωτογράφιση γύρω στο 1970, του Γερμανικού Αρχαιολογικού Ινστιτούτου Αθηνών.

Ο Μεγαρέυς μηχανικός Ευπαλίνος κατόρθωσε να διανοίξει έναν αγωγό ύδρευσης διαμέσου του όρους Άμπελος (σημ. Κάστρο), για την υδροδότηση της

πρωτεύουσας της Σάμου (σημερινό Πυθαγόρειο). Το υδραυλικό έργο που ανέλαβε ο Ευπαλίνος είχε συνολικό μήκος 1800 m, είχε τρία τμήματα:

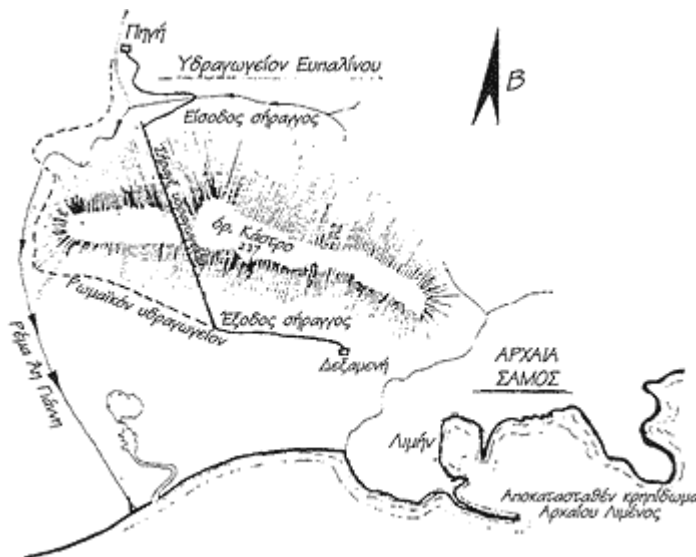
- Το επιφανειακό (ή εξωτερικό) που ξεκινούσε από την πηγή (που σήμερα είναι ενσωματωμένη στην εκκλησία Αγιάδες) και με ένα σύστημα αγωγού και καθέτων ορυγμάτων για τον καθαρισμό του νερού, οδηγούσε προς την βόρειο είσοδο της σήραγγας και
- Την κυρίως σήραγγα, μήκους 1036 m.
- Ο αγωγός που διέσχισε την πόλη στη νότια πλαγιά του βουνού



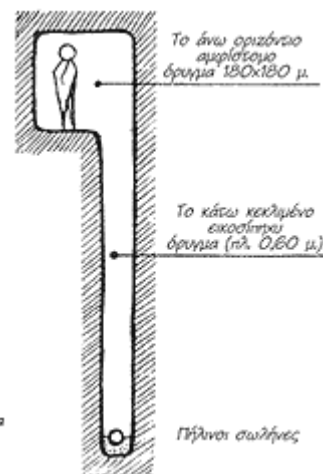
Εικόνα 1.2 τρόπος κατασκευής του ορύγματος

Η σήραγγα που διανοίχθηκε μέσα από το όρος Άμπελος ήταν και το σημαντικότερο τμήμα του αγωγού. Είχε διαστάσεις 1,80 m. x 1,80 m. περίπου.

Η εκσκαφή της σήραγγας ξεκίνησε ταυτόχρονα από τις δύο μεριές του βουνού και οι δύο ομάδες εργατών χρειάστηκαν περίπου 10 χρόνια για να ολοκληρώσουν το δύσκολο έργο τους. Οι δύο ομάδες συναντήθηκαν στο κέντρο με ελάχιστη απόκλιση, παρόλο που η μία από τις δύο ομάδες (η βόρεια) υποχρεώθηκε να αποκλίνει από την ευθεία γραμμή, λόγω της σαθρότητας των πετρωμάτων σ' εκείνο το σημείο και συνέχισε διαγράφοντας τεθλασμένη γραμμή για να αποφύγει το επικίνδυνο σημείο, επέστρεψε στην νοητή ευθεία και συναντήθηκε με την νότια ομάδα στην μέση της διαδρομής με απόκλιση μόλις 0,6m.



εικόνα 1.3. Η αρχαία Σάμος με το όρος Κάστρο



εικόνα 1.4. Τομή

Στο δάπεδο της σήραγγας ανοίχτηκε ένας τεράστιος αγωγός, κατωφερής, μέσα στον οποίο τοποθετήθηκαν οι κεραμικοί σωλήνες που μετέφεραν το νερό προς την πόλη.

Το όλο σύστημα συμπληρωνόταν από δεξαμενές και άλλα αρδευτικά έργα (μετά

το τέλος της σήραγγας, προς την πλευρά της πόλης) που ήταν υπέργεια.

Αξίζει να σημειωθεί ότι ο αγωγός ήταν σε λειτουργία για πολλούς αιώνες (πάνω από χίλια χρόνια) όταν λόγω του τερματισμού της συντήρησής του, σταδιακά αχρηστεύθηκε και έπαψε να τροφοδοτεί με νερό την πρωτεύουσα της Σάμου.

## 1.1. ΑΡΧΑΙΑ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΑ



Εικόνα 1.1.1. υδραγωγείο Νικόπολης

### 1.1.1 υδραγωγείο Νικόπολης

Στην νότια Ήπειρο, κοντά στην σημερινή Πρέβεζα, ήταν την Ρωμαϊκή εποχή η Νικόπολη. Ιδρύθηκε το 30 π.χ. απ' τον Οκτάβιο Αύγουστο σε ανάμνηση της νικηφόρας ναυμαχίας του Ακτίου και σχετικά σύντομα ο πληθυσμός της έφτασε τις 300.000 κατοίκους! Διέθετε τρία λιμάνια, ένα στον Αμβρακικό κόλπο, ένα στο Ιόνιο και ένα στην Θέση Μάργωνα. Ένα τεράστιο υδραγωγείο είχε

κατασκευαστεί για τις ανάγκες της, μόνο που το υδραγωγείο ήταν 70 km μακριά (στην Φιλιπιάδα) κοντά στις πηγές του Λούρου και το νερό μεταφερόταν από εκεί. Οι Ρωμαίοι στα περισσότερα υδραγωγεία τους συνήθιζαν να κατασκευάζουν δεξαμενή κοντά στις πηγές πριν αρχίσουν την μεταφορά του νερού ώστε να διατηρούν σταθερή ροή και πίεση. Η μεταφορά του νερού γινόταν από τα γνωστά αψιδωτά τμήματα που με κλίση 1:1000 εξασφάλιζαν σταθερή ροή.

Το υδραγωγείο της Νικοπόλεως ήταν αρκετά μεγάλο για να καλύπτει επί μήνες τις ανάγκες της πόλης. Από τον ίδιο αγωγό τροφοδοτούταν και το υδραγωγείο του Νυμφαίου. Δυστυχώς η οχύρωση και η άμυνα της Νικόπολης δεν ήταν σε αντίστοιχα ψηλό επίπεδο και έγινε εύκολος στόχος λεηλασιών από Γότθους, Σαρακηνούς και Βουλγάρους μέχρι που καταστράφηκε ολοσχερώς και εγκαταλείφθηκε.

### **1.1.2. Αρχαίο υδραγωγείο Νάξου:**

Η εποχή των Μελάνων ήταν κατά την αρχαιότητα ιδιαίτερα σημαντική για την οικονομία και τον πολιτισμό της Νάξου (με το ίδιο όνομα μαρτυρείτε και επιγράφετε τότε: Μέλας = ο σκιερός, ο γεμάτος δένδρα) ιδιαίτερα η περιοχή εδώ, γύρο από το Φλεριό, πλούσια σε παχιά επιφανειακά στρωματά καλής ποιότητας μαρμάρου αποτέλεσε λίκνο της ανάπτυξης της μαρμάρινης ελληνικής αρχιτεκτονική; Και πλαστική;.

Έχουν εντοπισθεί λείψανα που μαρτυρούν την κατοίκηση και πιθανών λατομείων μαρμάρου ήδη κατά την 3η Χιλιετία. Η μεγάλη ακμή των λατομείων των Μελάνων σημειώνεται πάντως τον 7ο και 6ο πχ. Αιώνα. Μερικά από το εντυπωσιακότερα γλυπτά και οικοδομήματα των χρόνων αυτών στην Νάξο, τη Δήλο και σε άλλα μέρη της Ελλάδας συνδέονται με την εργασία στα αρχαία λατομεία της περιοχής στα οποία σώζονται ημιτελή, σε διάφορα στάδια

κατεργασίας αγάλματα και αλλά έργα. Παράλληλα η περιοχή έχει πλούσιες πηγές νερού που σήμερα τροφοδοτούν την πλούσια βλάστηση του τόπου. Στην αρχαιότητα ένα υδραγωγείο μήκους 11 περίπου χιλιομέτρων, σημαντικό τεχνικό έργο με πολλές φάσεις(λειτουργία από τα τέλη του 6ου πχ μέχρι τον 8ο μΧ αιώνα), μετέφερε το νερό στην πόλη της.



Εικόνα 1.1.2. φωτογραφία από το αρχαίο υδραγωγείο της Νάξου

### 1.1.3 Αδρειανό υδραγωγείο:

Τη δεκαετία του 120 μΧ., ο Ρωμαίος αυτοκράτορας Αδριανός επισκέφτηκε επανειλημμένα την Αθήνα, η οποία την εποχή εκείνη αποτελούσε κτήση της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας. Μεταξύ άλλων έργων, έδωσε εντολή και για την κατασκευή ενός εκτεταμένου υδραγωγείου που θα κάλυπτε αποτελεσματικά τις αυξανόμενες ανάγκες υδροδότησης της πόλης. Ως προς τον ακριβή χρόνο κατασκευής του φερόνυμου υδραγωγείου υπάρχουν διαφωνίες. Κάποιοι ιστορικοί υποστηρίζουν ότι αυτό είχε ξεκινήσει να κατασκευάζεται ήδη από το 117 μ.Χ. και ότι αποπερατώθηκε το 161 μ.Χ., άλλοι κάνουν λόγο για το διάστημα μεταξύ 125 και 140 μ.Χ., και άλλοι προσδιορίζουν το χρόνο κατασκευής του μεταξύ 134 και 140 μ.Χ.

Ο σχεδιασμός του Αδριάνειου υδραγωγείου αποσκοπούσε στη συγκέντρωση και διοχέτευση προς την πόλη υδάτων προερχόμενων από τις πηγές των νοτιοανατολικών κλιτύων της Πάρνηθας και των βορειοδυτικών της Πεντέλης. Για το σκοπό αυτό, κατασκευάστηκε ένα σύμπλεγμα από υπόγειες σήραγγες συνολικού μήκους άνω των 25 km. Ο κλάδος της Πάρνηθας φαίνεται ότι είχε αρχικά δύο σκέλη, το δυτικό που ξεκινούσε από το Μετόχι της Αγ. Τριάδας (η ύπαρξη, πάντως, του σκέλους αυτού αμφισβητείται από κάποιους μελετητές) και το βόρειο που ξεκινούσε από το φαράγγι Αμπούλθι στη Δεκέλεια. Το υδραγωγείο κατέβαινε μέσα από τα κτήματα Βαρυμπόμπη προς την περιοχή Σούνα Μενιδίου, εν συνεχεία προχωρούσε προς την οδό Δεκελείας στη θέση Μονομάτι, με παράλληλη πορεία προς την κοίτη του Κηφισού ποταμού (Αγ. Σωτήρα - Κόκκινος Μύλος) συνέχιζε προς τη Μεταμόρφωση, διέσχισε το Ν. Ηράκλειο, έβγαινε στη Λεωφ. Κηφισίας, περνούσε από την κυκλική δεξαμενή Χαλανδρίου, ανέβαινε στις υπώρειες Υμηττού, και πάλι διέσχισε τη Λ. Κηφισίας και τους Αμπελόκηπους, καταλήγοντας στη μεγάλη δεξαμενή του Λυκαβηττού. Ο Πεντελικός κλάδος ξεκινούσε λίγο βορειοανατολικότερα της πλατείας Αγίας Τριάδας Παλαιάς Πεντέλης φερόμενος προς Χαλάνδρι και, ενωνόμενος με τον κλάδο της Πάρνηθας, κατέληγε και αυτός στη δεξαμενή του Λυκαβηττού. Καθ' όλο το μήκος της διαδρομής των κύριων κλάδων είχαν κατασκευαστεί μικρότερα βοηθητικά υδραγωγεία που συνεισέφεραν ύδατα στους κεντρικούς αγωγούς.



## 1.2. ΑΛΛΑ ΑΡΧΑΙΑ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΑ :

**1.2.1 Πελασγικό υδραγωγείο.** Πρόκειται για το αρχαιότερο από τα υδραγωγεία που έχουν βρεθεί στην Αττική. Αποτελούμενο από υπόγειους πήλινους σωληνοειδείς αγωγούς, πιθανολογείται ότι ακολουθούσε τη διαδρομή Καισαριανή - Γουδί - Στύλοι Ολυμπίου Διός - Ακρόπολη - Λόφος Φιλοπάππου.

**1.2.3. Υδραγωγείο Θησέως.** Το δεύτερο αρχαιότερο υδραγωγείο της Αττικής, ο χρόνος κατασκευής του οποίου υπολογίζεται περί το 3080 π.χ. Ελάχιστα πράγματα είναι γνωστά για το υδραγωγείο αυτό. Εικάζεται ότι μετέφερε ύδατα από τη δυτική πλευρά της Πεντέλης προς την αρχαία πόλη.

**1.2.4. Πεισιστράτειο υδραγωγείο.** Πιθανολογούμενος χρόνος κατασκευής μεταξύ 540 και 530 π.χ. . Η σήραγγα του υπόγειου αυτού υδραγωγείου, που μετέφερε (και μεταφέρει ακόμα) ύδατα από τον Υμηττό, έχει μήκος περίπου 2.800 μ, πλάτος 0,65 μ και ύψος 1,30 μ . Εντός της σήραγγας, που βρίσκεται σε βάθος 12-13 μ, είχαν αρθρωθεί πήλινοι σωληνοειδείς υδραγωγοί, διατομής 0,19-0,22 m. Τμήματα του υδραγωγείου έχουν ανακαλυφθεί στις περιοχές Ζωγράφου και Γουδί, ενώ κατά την πορεία του διέρχεται και υπό τον Εθνικό Κήπο.

**1.2.5. Πώρινο υδραγωγείο.** Κατασκευής 5ου π.χ. αιώνα, υδροδοτούσε την περιοχή της αρχαίας αγοράς.

**1.2.6. Υδραγωγείο Υμηττού-Νεκροταφείου.** Υπόγειο υδραγωγείο, η αφετηρία του οποίου εντοπιζόταν κοντά στο Α' Νεκροταφείο.

**1.2.7. Υδραγωγείο Πνυκός.** Ένα από τα αρχαιότερα υδραγωγεία της Αθήνας. Πιστεύεται ότι αντλούσε ύδατα από πηγές περί τον Ιλισσό ποταμό και ότι στην

πορεία του διερχόταν κάτω από τον Εθνικό Κήπο, τη νότια πλευρά της Ακρόπολης και τους ανατολικούς πρόποδες του λόφου της Πνύκας.

**1.2.8.Υδραγωγείο Λουτρού.** Ξεκινούσε από τις υπώρειες του Υμηττού στην Καισαριανή και ακολουθούσε την πορεία του Ιλισσού ποταμού. Στη συνέχεια, διέσχιζε υπογείως τον Εθνικό Κήπο και υδροδοτούσε το λουτρό που σήμερα βρίσκεται θαμμένο κάτω από την περιοχή της "Ρώσικης Εκκλησίας". Μετά την τουρκοκρατία επισκευάστηκε, με αντικατάσταση μεγάλου του τμήματος από μεταλλικό αγωγό. Σήμερα υδροδοτεί δεξαμενή που βρίσκεται στη βόρεια πλευρά του Εθνικού Κήπου.

**1.2.9.Υδραγωγείο Θησείου.** Διοχέτευε ύδατα από πηγή της βορειοδυτικής πλευράς του βράχου της Ακρόπολης. Κατευθυνόταν αρχικά βόρεια, και στη συνέχεια προς τα δυτικά.

**1.2.10.Υδραγωγείο Σταδίου.** Πιθανώς, κλάδος του Αδριάνειου υδραγωγείου. Διερχόταν δίπλα από το Παναθηναϊκό Στάδιο, ακολουθώντας την πορεία του Ιλισσού. Λιθόκτιστο κατά τμήματα, κατά την απόληξη του ήταν λαξευμένο μέσα σε βράχο και είχε διαστάσεις 1,35X0,65 μέτρα.

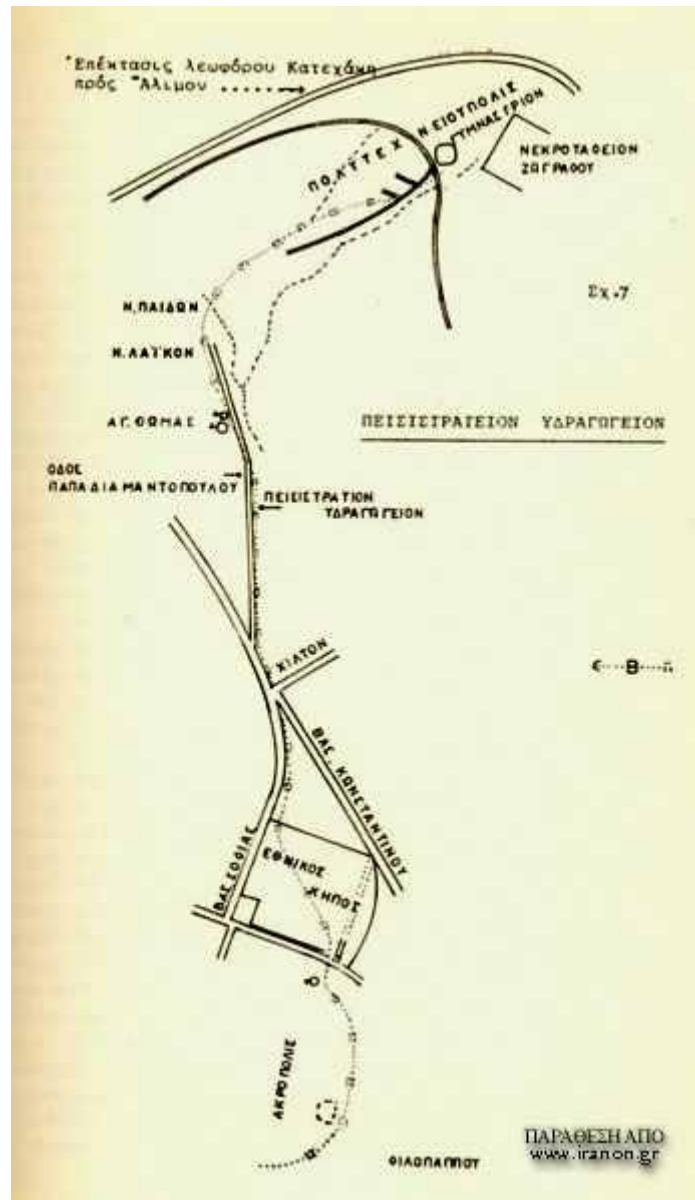
**1.2.11.Υδραγωγείο Αγίας Τριάδας-Κεραμεικού.** Διερχόταν υπογείως βόρεια της οδού Μητροπόλεως, έτεμνε την πλατεία Μοναστηρακίου και κατέληγε σε δεξαμενή δίπλα στην εκκλησία της Αγίας Τριάδας Κεραμεικού.

**1.2.12.Υδραγωγείο Κηφισίας.** Υπόγειο υδραγωγείο, διερχόμενο από τη λεωφόρο Κηφισίας. Η σήραγγα του ήταν τετράγωνης διατομής, λαξευμένη σε σχιστολιθικό πέτρωμα, και εντοπιζόταν σε βάθος 8 μ από την επιφάνεια του εδάφους. Φαίνεται ότι είχε κατεύθυνση προς την περιοχή των Αμπελοκήπων.

**1.2.13.Υδραγωγείο «Γεράνι» ή οδού Σταδίου.** Υπόγειο υδραγωγείο, το οποίο πιστεύεται ότι διοχέτευε ύδατα από σπήλαιο του λόφου του Λυκαβηττού. Πιθανολογείται ότι διερχόταν κατά μήκος της οδού Βουκουρεστίου, διέσχισε τη λεωφόρο Πανεπιστημίου, έστριβε και ακολουθούσε την πορεία της οδού Σταδίου μέχρι τη Σοφοκλέους. Από εκεί συνέχιζε την πορεία του προς την οδό Πειραιώς, όπου και κατέληγε σε δεξαμενή.

**1.2.14.Υδραγωγείο Καλλιρρόης-Βουνού-Μακρών Τειχών.** Ο υπόγειος αγωγός του υδραγωγείου αυτού αντλούσε ύδατα από πηγές που εντοπίζονταν μεταξύ του λόφου του Αρδηττού και του Α' Νεκροταφείου. Στη συνέχεια, κατευθυνόταν βόρεια και, διερχόμενος δίπλα από το σημείο όπου βρίσκεται το εκκλησάκι της Αγίας Φωτεινής, κατευθυνόταν προς Πειραιά.

**1.2.15.Υπέργεια υδραγωγεία επί αψίδων.** Αφορούσαν υπερυψωμένα του εδάφους κανάλια μεταφοράς νερού (υδατογέφυρες), στηριζόμενα σε λιθόδητους πυλώνες. Τέτοια ήταν το υδραγωγείο Καλογρέζας, το υδραγωγείο Περισσού, καθώς και μικρά τμήματα του Αδριάνειου υδραγωγείου.



Εικόνα 1.2.1. Το Πεισιστράτειο υδραγωγείο



### 1.3 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΟΥ ΕΥΠΑΛΙΝΟΥ ΟΡΥΓΜΑΤΟΣ



Εικόνα 1.3.1 χάρτης

Πριν από 2.500 χρόνια περίπου, στο β' μισό του 6ου αιώνα π.Χ., το νησί της Σάμου κυβερνά ο περίφημος τύραννος Πολυκράτης. Η Σάμος αναδεικνύεται σε ισχυρή ναυτική δύναμη και γνωρίζει μεγάλη οικονομική και πολιτιστική άνθιση.

Ο Πολυκράτης κατασκευάζει μοναδικά τεχνικά έργα, που στόχο έχουν αφενός να καλύψουν τις ανάγκες των κατοίκων του νησιού και του στρατού του, αφετέρου να προβάλλουν σε εχθρούς και συμμάχους την υπεροχή του.

Ορισμένα από τα έργα που αποδίδονται στον Πολυκράτη είναι ο μεγάλος ναός της Ήρας, ο μεγαλύτερος στην εποχή του, με 115 κίονες, ο μόλος του λιμανιού, μήκους 360 m , θεμελιωμένος σε βάθος 40 m , η περιτείχιση της πόλης και το υδραγωγείο της αρχαίας πόλης της Σάμου.

Ο Πολυκράτης αναθέτει τη μελέτη και τη σχεδίαση του υδραγωγείου σε έναν από τους σημαντικότερους αρχιτέκτονες της εποχής, τον Ευπαλίνο από τα

Μέγαρα. Ο Ευπαλίνος σχεδιάζει και κατασκευάζει σύστημα μεταφοράς νερού με φυσική ροή από πηγή που βρίσκεται αρκετά έξω από την πόλη.



Εικόνα 1.3.2 επιγραφή

Το σύστημα περιλαμβάνει μεταξύ άλλων μια οριζόντια σήραγγα, μήκους 1.035 m , η οποία διαπερνά ένα λόφο. Το αξιοσημείωτο είναι ότι η διάνοιξη της σήραγγας άρχισε ταυτόχρονα και από τις δύο πλευρές του λόφου και ολοκληρώθηκε με ακρίβεια. Η μελέτη και κατασκευή του έργου στηρίχθηκε στη μέχρι τότε εμπειρία από την κατασκευή υδραγωγείων (Αθήνας, Κορίνθου,

Μεγάρων), στις αρχαίες μαθηματικές τέχνες, που την περίοδο εκείνη είχαν πραγματοποιήσει το μεγάλο ποιοτικό άλμα τους, και στα σκοπευτικά όργανα.

Το έργο, πρωτοπόρο για τον τότε κόσμο και μοναδικό για αιώνες, αποτελεί κορυφαίο τεχνικό επίτευγμα, ανάλογο του οποίου απαντούν μόνο στη σύγχρονη εποχή. Η αρτιότητα της κατασκευής και η ορθότητα των τεχνικών προδιαγραφών αποδεικνύεται από το γεγονός ότι το υδραγωγείο λειτούργησε για 1.000 χρόνια και, αν γινόταν η απαραίτητη συντήρηση, θα μπορούσε να λειτουργεί ως τις μέρες μας.

Σήμερα το υδραγωγείο αποτελεί ένα εξαιρετικό μνημείο της αρχαίας εφαρμοσμένης γεωμετρίας στα έγκατα της ωραιότερης, κατά τον Ηρόδοτο, ελληνικής πόλεως, της Σάμου.

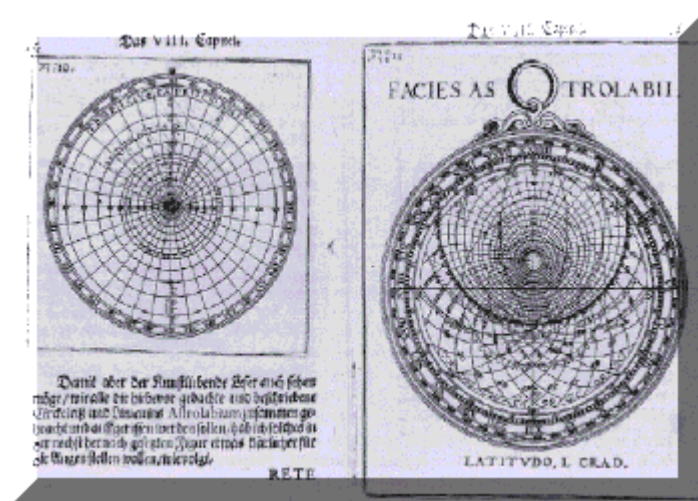


## 2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΣΤΗΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑ ΤΗΣ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΑΣ

### 2.1 ΓΕΝΙΚΑ



Η ανάγκη για μετρήσεις δημιουργήθηκε από τις απαρχές ακόμη της ανθρώπινης ύπαρξης. Η ανάγκη αυτή έγινε μεγαλύτερη από τότε που ο άνθρωπος σταμάτησε τη νομαδική ζωή, δημιούργησε οικισμούς και άρχισε να καλλιεργεί τη γη. Με την εξέλιξη του ανθρώπου ως σκεπτόμενου όντος, ένα από τα κύρια ενδιαφέροντά του ήταν η γνώση σχετικά με τη Γη. Η συμπεριφορά του ανθρώπου επηρεάστηκε συχνά από τα διάφορα φυσικά φαινόμενα τα οποία ήταν και η αιτία της διαχρονικής γέννησης αρκετών προκαταλήψεων, τελετουργιών, αλλά και θρησκευτικών δοξασιών. Παράλληλα όμως, η αύξηση του ενδιαφέροντος για τη Γη και την καλύτερη κατανόηση των διαφόρων φυσικών φαινομένων έπαιξε σημαντικό ρόλο στην εμφάνιση και εξέλιξη του πολιτισμού.

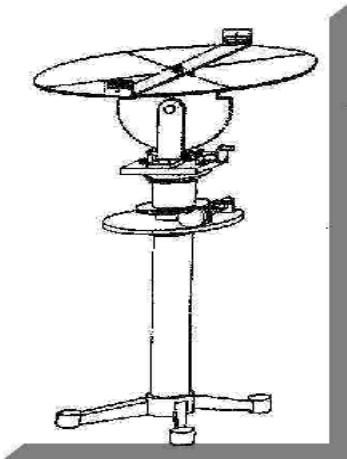


Από τα αρχαία χρόνια η Τοπογραφία αναπτύχθηκε ως μια εφαρμοσμένη επιστήμη. Από την αυγή της Ιστορίας ο άνθρωπος κατανόησε τις πιο στοιχειώδεις γεωμετρικές έννοιες: την οριζόντια και κατακόρυφη ευθεία και το οριζόντιο επίπεδο. Οι πρώτες μονάδες μέτρησης μηκών βασίστηκαν στις διαστάσεις των μελών του ανθρώπινου σώματος.

Με την ανάπτυξη του πολιτισμού και για τις ανάγκες κατασκευής οικοδομημάτων και τεχνικών έργων επινοήθηκαν τα πρώτα τοπογραφικά όργανα: Σχοινιά με κόμπους για τη μέτρηση μηκών, ώστε να μετράται το μέγεθος των αγρών για διανομή και φορολόγηση, νήμα της στάθμης για το κτίσιμο κατακόρυφων τοίχων, όργανα χάραξης ορθών γωνιών για την κατασκευή κτιρίων, καθώς και όργανα ελέγχου οριζοντιότητας επιπέδων και μέτρησης υψομετρικών διαφορών για την κατασκευή αρδευτικών δικτύων, καναλιών και αγωγών ύδρευσης

Όλοι οι αρχαίοι λαοί ανέπτυξαν την Τοπογραφία: Βαβυλώνιοι, Σουμέριοι, Ασσύριοι, Αιγύπτιοι, Πέρσες, Ινδοί και Κινέζοι. Σε γραπτά κείμενα που

σώζονται υπάρχουν περιγραφές για τη λειτουργία και τη χρήση τοπογραφικών οργάνων και μεθόδων μέτρησης, ενώ σώζονται και υπολείμματα οργάνων, καθώς και σχέδια σε τοιχογραφίες και μνημεία.



## 2.2 ΑΡΧΑΙΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ

Κατά την κλασική και την ελληνιστική περίοδο οι Έλληνες προήγαγαν σημαντικά τη Γεωμετρία, τα Μαθηματικά, την Αστρονομία, τη Χαρτογραφία, αλλά και την εφαρμοσμένη Τοπογραφία, προετοιμάζοντας την εποχή ακμής της Τοπογραφίας που ήταν η Ρωμαϊκή περίοδος. Οι Έλληνες χρησιμοποιούσαν διάφορα απλά τοπογραφικά όργανα: Τον αστέρα για τη χάραξη ορθών γωνιών, σχοινιά για τη μέτρηση μηκών και σταδίες για τη διευκόλυνση προσδιορισμού υψομετρικών διαφορών. Χρησιμοποιούσαν επίσης τον αστρολάβο για αστρονομικές μετρήσεις. Την περίοδο αυτή ο Ερατοσθένης, που θεωρείται ο πρώτος Γεωδαίτης και θεμελιωτής της Γεωδαισίας, προσδιόρισε το μήκος της περιμέτρου της Γης με τη μέτρηση του πλάτους μεταξύ Αλεξάνδρειας και Ασσουάν. Έναν αιώνα περίπου αργότερα, ο Ήρων ο Αλεξανδρεύς συνέγραψε το κορυφαίο τοπογραφικό σύγγραμμα του αρχαίου κόσμου που περιγράφει διάφορα τοπογραφικά όργανα (μεταξύ των οποίων τη Διόπτρα - πρόδρομο των σημερινών θεοδολίχων, ένα όργανο προσδιορισμού υψομετρικών

διαφορών με βάση τη στάθμη νερού που ηρεμεί, το Οδόμετρο και το Δρομόμετρο για μετρήσεις μεγάλων αποστάσεων σε ξηρά και θάλασσα αντίστοιχα) και μεθόδους μετρήσεων και υπολογισμών. Την ίδια περίπου εποχή ο Πτολεμαίος συντάσσει στη *Γεωγραφική Υφήγηση* τους χάρτες του γνωστού τότε κόσμου.



Εικόνα 2.2.1 αστρόλαβος

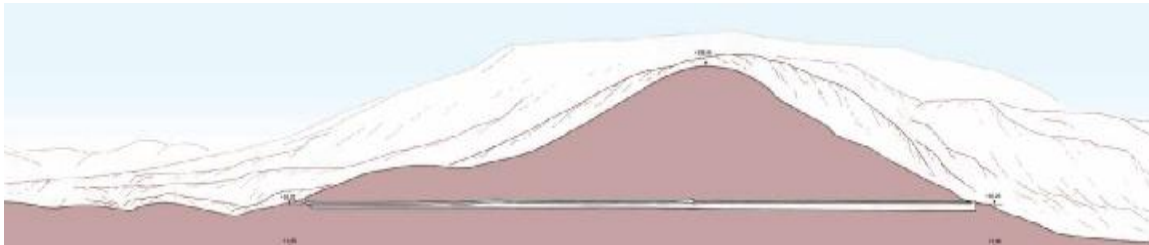


Εικόνα 2.2.2 δίοπτρα

### 3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΟΥ

#### 3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το υδραυλικό έργο του Ευπαλίνου, με συνολικό μήκος 1800 m , κατασκευάστηκε σε τρία τμήματα: το πρώτο τμήμα περιελάμβανε τον αγωγό από την πηγή ως τη βόρεια πλευρά του βουνού, το δεύτερο το όρυγμα που περνούσε μέσα από το βουνό και το τρίτο τον αγωγό που διέσχιζε την πόλη στη νότια πλαγιά του βουνού. Το έργο ήταν στο σύνολό του υπόγειο, με μέση κλίση του αγωγού 0,6%. Το μήκος του κάθε τμήματος ήταν: 859 m από την πηγή μέχρι το βουνό, μέσα σε υπόγεια χτιστή τάφρο, 1035 m μέσα σε σήραγγα στο βουνό και 520 m από το βουνό στη δεξαμενή της πόλης, πάλι μέσα σε τάφρο.



Εικόνα 3.1.1 τομή του έργου





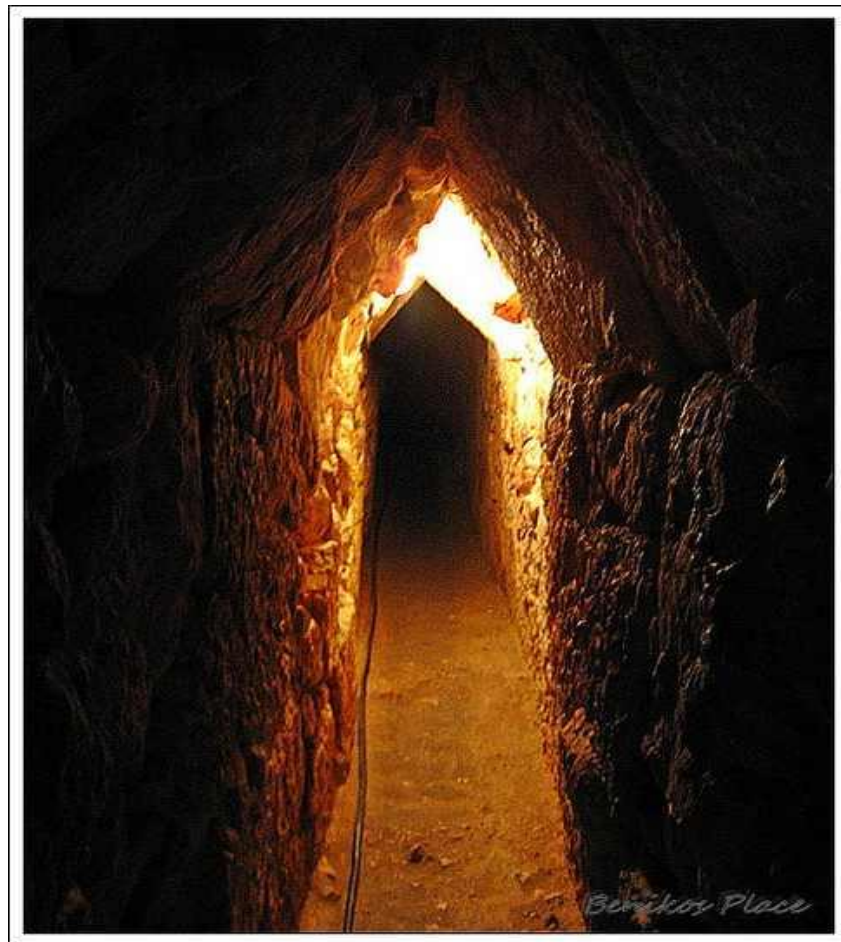
Εικόνα 3.1.2. αγωγός- πρώτο τμήμα

### **3.1.1 Πρώτο τμήμα : Αγωγός από την πηγή ως τη βόρεια πλευρά του βουνού**

Η πηγή από την οποία η αρχαία πόλη θα εφοδιάζονταν με νερό, αναβλύζει σήμερα στο χωριό Αγιάδες. Στην αρχαιότητα, το νερό συγκεντρώνονταν από την πηγή σε ένα κρηναίο οικοδόμημα με ισχυρή τοιχοδομία και από κει έπειτα διοχετεύονταν στον αγωγό. Το πρώτο αυτό κομμάτι που ξεκινούσε από την πηγή, οδηγούσε στη βόρεια είσοδο της σήραγγας, μέσα από ένα σύστημα αγωγών και κάθετων ορυγμάτων για τον καθαρισμό του νερού. Πιο συγκεκριμένα η πορεία του αγωγού(εικόνα 3.1.1) που ξεκινούσε από την πηγή για περίπου 800m., ακολουθούσε το ανάγλυφο του εδάφους, ενώ στο σημείο

αυτό ήταν σκαμμένο ως ανοιχτή τάφος. Για τα υπόλοιπα μέτρα που απέμεναν μέχρι την πλαγιά του βουνού, έπρεπε να διασχίσει υπογείως ένα μικρό λόφο. Έτσι σκάφθηκαν τέσσερα φρεάτια τα οποία συνδέθηκαν μεταξύ τους στο επιθυμητό βάθος.

### 3.1.2 Δεύτερο τμήμα : Η υπόγεια σήραγγα



Εικόνα 3.1.3. υπόγεια σήραγγα



Φυσικά απ' όλη αυτή τη διαδρομή συνολικά, το πιο δύσκολο θα ήταν να διαμορφωθεί το δεύτερο κομμάτι, η υπόγεια σήραγγα δηλαδή μέσα στο βουνό. Η σήραγγα η οποία διανοίχτηκε λοιπόν, διαπέρασε το βουνό και την οχύρωση σε ύψος περίπου 55μ. επάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, ενώ μέσα στο βουνό αποκαλύφθηκε από τις ανασκαφές ότι αποτελούνταν από τρία τμήματα. Τα τμήματα αυτά ήταν τα δύο ευθύγραμμα - το βόρειο, μήκους 400μ. και το νότιο μήκους 265μ. - και το ένα κεντρικό, πολυγωνικό, με το οποίο το βόρειο συνεργείο ξετρύπησε και βγήκε στη νότια σήραγγα. Η παρουσία του ακανόνιστου αυτού πολυγωνικού κεντρικού τμήματος οφειλόταν μάλλον σε φυσική στοά στο εσωτερικό του βουνού, μήκους 150μ. περίπου. Η στοά αυτή βοήθησε τον Ευπαλίνο να εξοικονομήσει περίπου 1,5 χρόνο εργασιών, ενώ ταυτόχρονα τον ανάγκασε να φύγει από την ευθύγραμμη πορεία του, επανερχόμενος έπειτα και συνεχίζοντάς την απερίσπαστα. Όταν πια οι δύο κεφαλές των σηράγγων είχαν ελαχιστοποιηθεί σημαντικά, έγιναν καθώς φαίνεται οι απαραίτητες διορθώσεις, ώστε να επιτευχθεί η συνάντηση των σηράγγων μέσα στο βουνό, με απόκλιση μόλις 40 cm. στο ύψος και 70 στο πλάτος!

Οι βασικές αποφάσεις που πάρθηκαν σε σχέση με τη σήραγγα ήταν:  
η σήραγγα να κατασκευαστεί *οριζόντια*, για το φόβο των υπόγειων υδάτων  
*ευθύγραμμη*, σε υψόμετρο +55,8m από την επιφάνεια της θάλασσας, για να είναι ελάχιστο το μήκος της διάτρησης  
*αμφίστομη*, με εκσκαφή συγχρόνως και από τα δύο άκρα για εξοικονόμηση χρόνου

Οι βασικές αυτές επιλογές σε σχέση με το όρυγμα είχαν τα εξής πλεονεκτήματα:

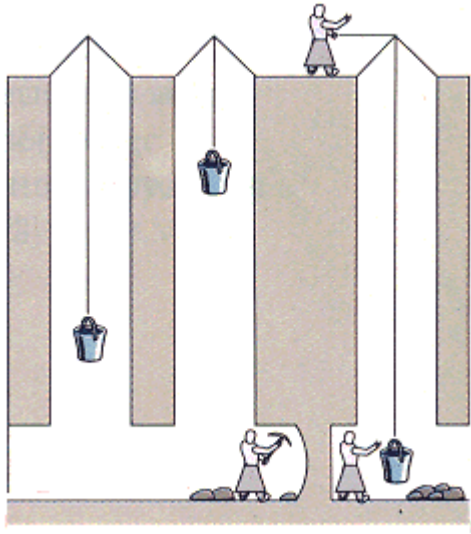
- Το **οριζόντιο του ορύγματος** συντελούσε στην αποφυγή προβλημάτων από την ανακάλυψη υπογείων υδάτων, διευκολύνοντας και τη συνάντηση

των σηράγγων. Παράλληλα, αποτελούσε ένα σημείο αναφοράς από το οποίο μετριόταν το βάθος του άλλου κεκλιμένου ορύγματος το οποίο σκάφτηκε στο δάπεδο της σήραγγας για να τοποθετηθούν εκεί οι σωλήνες του νερού.

- Το **αμφίστομον** του ορύγματος επετεύχθη παράλληλα με το **ευθύγραμμο** της σήραγγας, διότι αν η κατασκευή ήταν αμφίστομη και κεκλιμένη, εκτός από το πρόβλημα των νερών στην καταφορική σήραγγα, η συνάντηση θα ήταν και ένα πολύπλοκο πρόβλημα στερεομετρίας. Πιο συγκεκριμένα οι σύγχρονες έρευνες που έγιναν, αποδεικνύουν υψόμετρο βόρειου στομίου +55,83m και νότιου στομίου 55,26m Τα υψόμετρα των σηράγγων μάλιστα λίγο πριν τη συνάντησή τους είναι στα βόρεια 55,48m και στα νότια 55,17m Το γεγονός της απόλυτης σχεδόν οριζοντιότητας της σήραγγας είναι εξαιρετικά εντυπωσιακό, προκαλώντας έκπληξη για τις γνώσεις που μπορεί να διέθεταν οι αρχαίοι μηχανικοί όσον αφορά την υλοποίηση του οριζόντιου επιπέδου πάνω στο έδαφος.

### **3.1.3. Τρίτο τμήμα: ο αγωγός που διέσχισε την πόλη στη νότια πλαγιά του βουνού**

Από τη νότια έξοδο της σήραγγας, το υδραγωγείο προχωρούσε παράλληλα με την πλαγιά του βουνού μέχρι το κέντρο της πόλης στο λιμάνι. Ο αγωγός της πόλης σκάφτηκε σε όλο του το μήκος κάτω από τη γη με τη βοήθεια φρεατίων σε αποστάσεις από 11 έως 25m. που έπειτα συνδέθηκαν μεταξύ τους. Κατά μήκος αυτού του τμήματος είχαν τοποθετηθεί σε λογικές μεταξύ τους αποστάσεις κρήνες με δεξαμενές απ' όπου οι κάτοικοι μπορούσαν να προμηθεύονται νερό.



## 4. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

### 4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η Σάμος, γεωλογικά ανήκει στην Αττικοκυκλαδική – Λυδοκαρική Μάζα και οι γεωλογικοί σχηματισμοί που τη δομούν αποτελούνται από πετρώματα που κατατάσσονται σε τρεις ομάδες:

- Τα μεταμορφωμένα,
- Τα εκρηξιγενή, και τα
- Μεσοζωϊκά και Νεογενή ιζήματα

Τα μεταμορφωμένα πετρώματα καλύπτουν το 65% περίπου της επιφάνειας της νήσου και διαχωρίζονται, από στρωματογραφική άποψη, σε τρεις σειρές:

Την Κατώτερη σειρά, πάχους ~3.000m , που αποτελείται από τα λευκά, δολομιτικά, μεσοπλακώδη έως παχυπλακώδη μάρμαρα του Κερκετέα και τους

σχιστολίθους Μαραθόκαμπου-Κοσμαδαίων (μοσχοβιτικοί, χαλαζιακοί χλωριτικοί και ασβεστιτικοί)

- Την Ενδιάμεση σειρά πάχους πάνω από 3.000 m , που αποτελείται από τους σχιστολίθους Αμπέλου (μαρμαρυγιακοί, μοσχοβιτικοί, χαλαζιακοί, χλωριτικοί, επιδοτιτικοί-μοσχοβιτικοί-γλαυκοφανιτικοί), και τα μάρμαρα Βουρλιωτών- Συρράχου,
- Την Ανώτερη σειρά πάχους πάνω από 1.000 m., που αποτελείται από τους σχιστολίθους Κοτσικιάς-Ψιλής Άμμου (κυρίως χλωριτικοί, μοσχοβιτικοί, σερικιτικοί, χαλαζιακοί και ασβεστιτικοί) και τα μάρμαρα Ζωοδόχου Πηγής.

Τα εκρηξιγενή πετρώματα καταλαμβάνουν περίπου το 5% του νησιού και αποτελούνται από:

- Ηφαιστειακά πετρώματα (ρυόλιθοι, τραχείτες, τραχειανδεσίτες, δακίτες), που κυριαρχούν στην ομάδα των εκρηξιγενών και κατά Θεοδωρόπουλο (1979) είναι μειοκαινικής ηλικίας και πρόξενoi γένεσης μιας ασθενούς αλλά πολύ εξαπλωμένης μεταλλοφορίας μικτών θειούχων μεταλλευμάτων (κυρίως γαληνίτη).
- Βασικά, εκρηξιγενή πετρώματα επωθημένης ζώνης (υποθαλάσσιες εκχύσεις βασικής σύστασης (σπιλίτες-διαβάσες) με ενστρώσεις ασβεστολίθων του Μέσου-Ανώτερου Τριαδικού
- Υπερβασικά πετρώματα (σώματα μικρών διαστάσεων περιδοτιτών)

- Φλεβικά εκρηξιγενή πετρώματα (φλέβες γρανιτικής, γρανοδιοριτικής, διοριτικής έως και απλιτικής σύστασης, στην περιοχή του χωριού Καλλιθέα).

Τα Μεσοζωϊκά και Νεογενή ιζήματα καλύπτουν το 30% περίπου της επιφάνειας του νησιού και με βάση την ηλικία τους διακρίνονται ως:

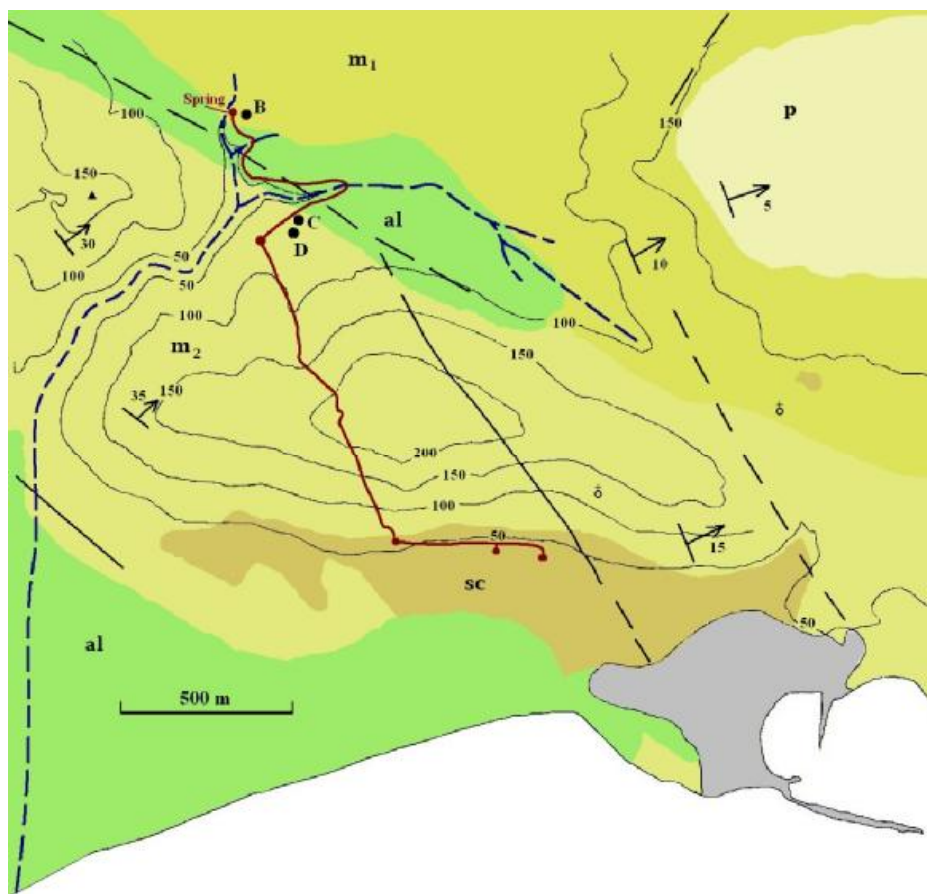
- Μεσοζωϊκοί ασβεστόλιθοι της επωθημένης σειράς.
- Νεογενείς σχηματισμοί που χωρίζονται στη Κατώτερη σειρά (ασβεστόλιθοι τραβερτινοειδείς λιμναίας φάσης και μάργες λεπτοστρωματώδεις, μειοκαινικής ηλικίας), την Ενδιάμεση σειρά (ποτάμιες και λιμναίες αποθέσεις λατυποπαγών, κροκαλοπαγών, πηλών, αργίλων, τόφφων σε εναλλαγές, καθώς ψαμμιτικές μάργες και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι), την Ανώτερη σειρά (τραβερτινοειδείς και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι λιμναίας φάσης).
- Τεταρτογενείς σχηματισμοί (πλευρικά κορρήματα, αλλουβιακές προσχώσεις, αποθέσεις των κοιτών, παράκτιες άμμοι).

## 4.2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΛΟΦΟΥ ΠΟΥ ΔΙΑΣΧΙΖΕΙ Η ΣΥΡΑΓΓΑ

Η γεωλογία του λόφου είναι μάλλον απλή και αποτελείται από αλπικά στρώματα . Το βουνό έχει ύψος 200 m και υπάρχει ένα επικλινές των 30 μοιρών, το οποίο είναι εμφανής από την πεδιάδα.

Μια προσεκτική μελέτη τομέων επέτρεψε να κατανοηθεί η δομή της περιοχής γύρω από την σήραγγα καθώς επίσης και τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά των βράχων.

- Διατυπώθηκε ότι η αντοχή των βράχων μειώνεται προς τα πάνω, οι ισχυροί βράχοι βρίσκονται νότια και οι αδύναμοι βρίσκονται κοντά στο σημείο μεταφοράς νερού.
- Οι μελετητές προσπάθησαν να βρουν ένα μέτρο δύναμης αυτών των βράχων υιοθετώντας την γεωλογική ταξινόμηση **GSI**, η οποία έχει χρησιμοποιήσει ευρέως στην Ελλάδα.



Εικόνα 4.2.1 υψομετρικός και γεωλογικός χάρτης λόφου

ΘΕΣΗ	GSI
B	35-40
C	30-40, <20
E	80-90

- Είναι εμφανές ότι τα αποτελέσματα της μελέτης είναι σύμφωνα με τα αποτελέσματα της γεωλογικής μελέτης και θέτουν περιορισμούς στην επιλογή της πορείας. Η περιοχή γύρω από το σημείο c δεν ήταν η κατάλληλη για την κατασκευή της σήραγγας γιατί αποτελούνταν από βράχους χαμηλής αντοχής και έτσι η βόρεια πύλη μετατοπίστηκε.



**Εικόνα 4.2.2.** Χαμηλή αντοχή, χαμηλό GSI



**Εικόνα 4.2.3** χαμηλή αντοχή, χαμηλό GSI





**εικόνα 4.2.4.** Μεγάλη αντοχή, υψηλό GSI

## 5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

### 5.1 ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι να απαντηθούν τρία μεγάλα ερωτήματα πάνω στις εναλλακτικές επιλογές για τον τρόπο υλοποίησης του έργου και στα ποιες τελικά υλοποιήθηκαν. Αυτά τα ερωτήματα είναι τα ακόλουθα :

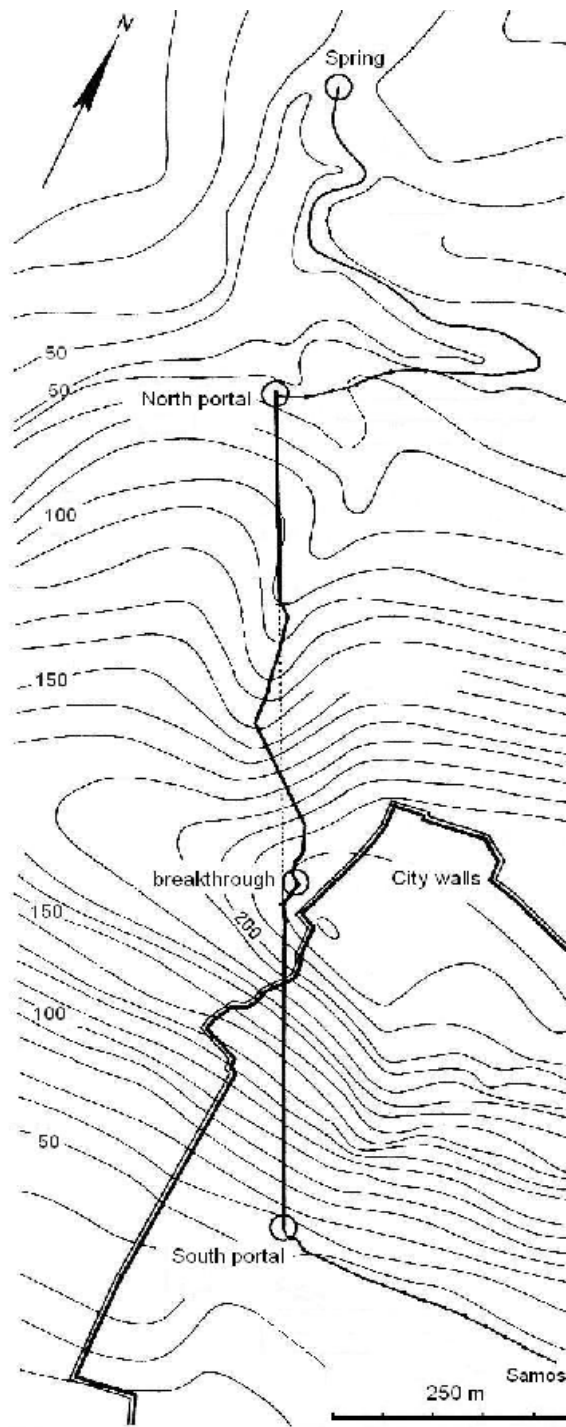
- Γιατί ο Ευπαλίνος οδηγήθηκε στην επιλογή της συγκεκριμένης πορείας;
- Πως χαρακτήκε η ευθυγραμμία;
- Πως κατασκευάστηκε;

### 5.2. ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ

Για να απαντήσουμε στα παραπάνω θα χρησιμοποιήσουμε **τη μέθοδο των υποθέσεων**, δηλαδή θα υποθέτουμε τις πιθανές απαντήσεις για τα παραπάνω ερωτήματα και αν στη συνέχεια επιβεβαιώνονται από τα στοιχεία που έχουμε στη διάθεσή μας θα τις αποδεχόμαστε αν όχι θα τις απορρίπτουμε και θα κάνουμε νέες.

#### 5.2.1 ΥΠΟΘΕΣΗ ΣΥΝΤΟΜΗΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ

Θα μπορούσαμε να υποθέσουμε πως ένας μηχανικός θα επέλεγε την πιο σύντομη διαδρομή για την κατασκευή μιας σήραγγας. η πλέον σύντομη φαίνεται στον τοπογραφικό χάρτη της περιοχής (Εικόνα 5.χ)

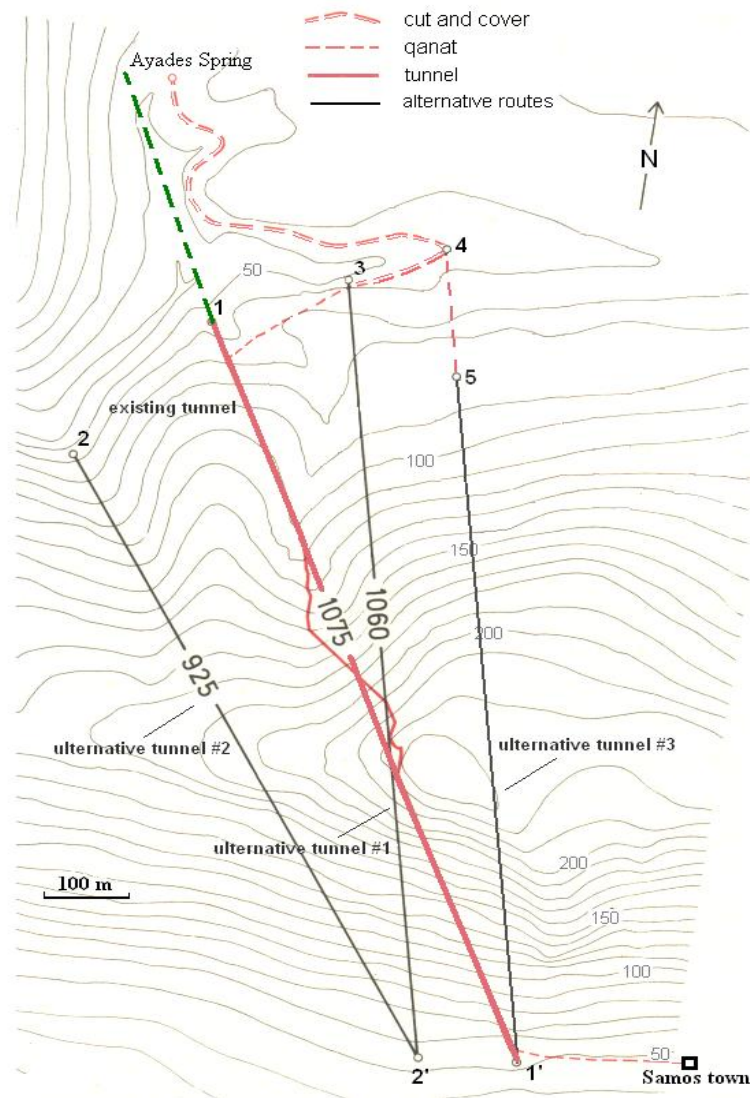


Εικόνα 5.2.1. Συντομότερη διαδρομή

Βλέπουμε όμως ότι ο Ευπαλίνος την απορρίπτει και επιλέγει μια μακρύτερη πορεία. Μπορούμε να σκεφτούμε τους ακόλουθους πιθανούς λόγους που τον οδήγησαν σε αυτή την επιλογή.

Πρώτος λόγος είναι η λάθος έρευνα, κάτι που μπορεί εύκολα να απορριφτεί λαμβάνοντας υπόψη ότι ο Ευπαλίνος ήταν ικανός να ευθυγραμμίσει μια σήραγγα που ανοίγεται από δυο πύλες.

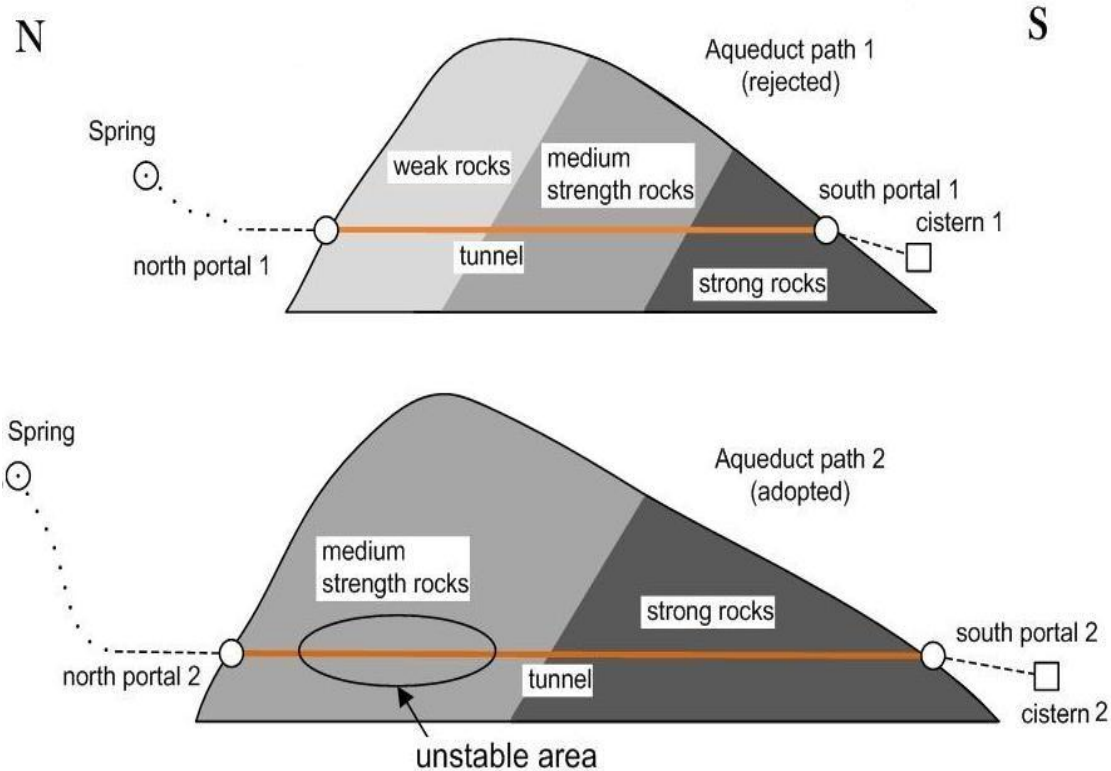
Επομένως καταλήγουμε στο ότι έλαβε υπόψη γεωδαιτικούς και γεωτεχνικούς περιορισμούς .Οι γεωδαιτικοί περιορισμοί είναι απαραίτητοι για την ασφάλεια, τον προσανατολισμό και την καθοδήγηση μιας σήραγγας ακόμα και στις μέρες μας . Ενώ οι γεωτεχνικοί αποτελούν τα στοιχεία που οδηγούν στη διάνοιξη χωρίς την πρόκληση προβλημάτων σταθερότητας άρα και στην αποφυγή δαπανηρών και χρονοβόρων μέτρων υποστήριξης.



Εικόνα 5.2.2. η τελική διαδρομή της σήραγγας

Πράγματι μετά από μελέτες που έγιναν στην περιοχή καταλαβαίνουμε πως ο Ευπαλίνος έπρεπε να απορρίψει για μια σήραγγα με την συντομότερη διαδρομή, καθώς η περιοχή γύρω από αυτή αποτελείται από βράχους χαμηλής αντοχής. Προκειμένου να δουλέψει με ισχυρούς βράχους ο Ευπαλίνος επέλεξε μια μέση λύση. Τοποθέτησε τη βόρεια πύλη στο όριο μεταξύ αδύναμων και σχετικά ισχυρών βράχων.

Η επιλεγμένη πορεία δείχνει ότι η γενική λογική του ήταν σωστή και αυτό αποδεικνύει μια άριστη γνώση των γεωδαιτικών απαιτήσεων της γεωλογίας και των όρων δύναμης των βράχων.



Εικόνα 5.2.3. Απόκλιση για την αποφυγή χαμηλής αντοχής πετρωμάτων

## 5.2.2. ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΑ

Ένα δεύτερο ερώτημα που καλούμαστε να απαντήσουμε είναι αυτό της ευθυγραμμίας. Το πώς δηλαδή χαραχτηκε. Υποθέτουμε πως ο Ευπαλίνος διάλεξε πάνω στην καμπύλη των βάρων ένα σημείο από το οποίο θα άρχιζε η βόρεια σήραγγα του ορύγματος (μάλλον με εδαφολογικά κριτήρια). Έπειτα διάλεξε την ομαλότερη ράχη για να περάσει πάνω της την ευθυγραμμία που θα όριζε το κατακόρυφο επίπεδο της υπό κατασκευήν σήραγγας. Η ευθυγραμμία αυτή υποθέτουμε πως υλοποιήθηκε εύκολα με την τοποθέτηση κατακόρυφων γωνιόμων πάνω στην πλαγία του βουνού και πάνω στην ίδια οπτική ακτίνα από το επιλεγμένο σημείο. Η τομή της ευθυγραμμίας με την καμπύλη των βάρων

όρισε ένα σημείο S στη νότια πλευρά του βουνού από το οποίο θα άρχιζαν οι εργασίες εκσκαφής της νότιας σήραγγας του ορύγματος.

Το ότι ο Ευπαλίνος έκανε χρήση ‘ευθυγραμμίας κατακόρυφων ακόντιων’ για να ανέβει έχει ήδη αποδειχτεί από τον πολιτικό μηχανικό και μεταλλειολόγο Δημήτρη Τεμπέλη, ο οποίος το καλοκαίρι του 1990 , 40 μ περίπου από την νότια είσοδο της σήραγγας , μια μοναχική λάξευση του βράχου, της οποίας η κατασκευή έγινε για να αποκατασταθεί η οπτική επαφή με το επόμενο ακόντιο . Επομένως η υπόθεση μας για την ευθυγραμμία αποδεικνύεται ορθή.

Η ευθυγραμμία υλοποιήθηκε με σκοπευτικό όργανο. Ο τρόπος κατασκευής της σήραγγας μας βεβαιώνει για την ύπαρξη γωνιομέτρου μέτρησης οριζόντιων γωνιών καθώς και επιτραπέζιου γωνιομέτρου. Επίσης θα πρέπει να υπήρχε και κάποιο όργανο που να μπορεί να μετράει κατακόρυφες γωνίες και ακόμα να υλοποιεί σκοπευτικό το οριζόντιο επίπεδο. Αυτό βεβαιώνεται:

- Από την υλοποίηση του οριζόντιο επιπέδου της σήραγγας
- Από την υλοποίηση και πύκνωση της ευθυγραμμίας των ακοντίων στη ράχη του βουνού
- Από το κατέβασμα της ευθυγραμμίας των ακοντίων στο οριζόντιο επίπεδο
- Από τη μέτρηση της οριζόντιας απόστασης ανάμεσα στα σημεία εισόδου των σηράγγων στο βουνό
- Από την παρακολούθηση και τήρηση της κλίσης στα τούνελ των πηγαδιών στο βόρειο στο νότιο και στο κεντρικό τμήμα του υδραγωγείου.
- Από την χάραξη της ισοκλινούς πορείας του αγωγού από την πηγή στο βουνό.

### 5.2.3. ΣΤΑΘΕΡΗ ΚΛΙΣΗ

Τέλος ερώτημα αποτελεί το πώς κατασκευάστηκε η σταθερή κλίση της τάφρου από την πηγή μέχρι το βόρειο στόμιο της σήραγγας καθώς και η χάραξη της διαδρομής της τάφρου πάνω στο ανάγλυφο του βουνού.

Υπάρχουν δύο πιθανές εκδοχές που εξηγούν τον τρόπο με τον οποίο πιθανότατα εργάστηκε ο Ευπαλίνος.

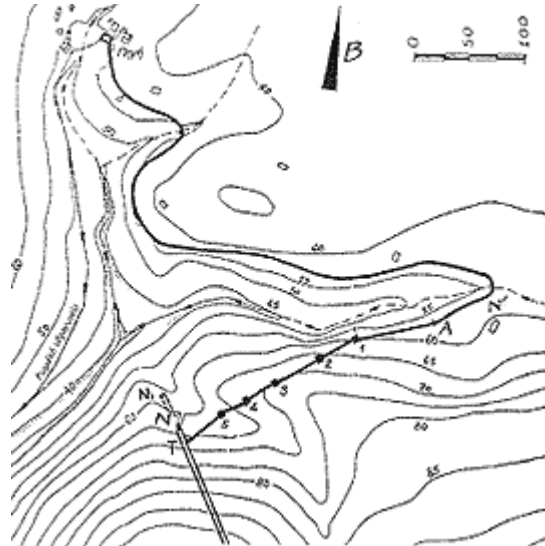
Αρχικά υποθέτουμε πως εργάστηκε **με την βοήθεια του νερού της πηγής**. Κατά την εκδοχή αυτή ο Ευπαλίνος χτίζει ένα κεκλιμένο μέσα στο οποίο ,σε ίσες αποστάσεις, κατασκευάζει διαδοχικά φράγματα τέτοια ώστε να δημιουργούνται διαδοχικές μικρές λίμνες με την ίδια υψομετρική διαφορά των επιφανειών του νερού τους. Το κάθε φράγμα χτίζεται σε τέτοιο ύψος ώστε η λίμνη που δημιουργεί να έχει επιφάνεια νερού χαμηλότερη από την προηγούμενη κατά 0.6%. Έτσι τα άνω μέρη των φραγμάτων υλοποιούν στο έδαφος μια πολυγωνική διαδρομή με σταθερή κλίση 0.6%.

Η δεύτερη υπόθεση είναι πως εργάστηκε με τη βοήθεια **σκοπευτικού οργάνου**. Εδώ ο Ευπαλίνος κατασκευάζει σε ίσες αποστάσεις μικρά διαδοχικά πέτρινα βάθρα σε σταθερά χαμηλότερη κάθε φορά στάθμη. Τώρα η υψομετρική διαφορά υλοποιείται ,όχι με το νερό, αλλά με οριζόντια σκόπευση πάνω σε υποδιαιρεμένο γνώμονα. Τελικά τα σημεία των διαδοχικών βάθρων υλοποιούν στο έδαφος μια πολυγωνική διαδρομή με σταθερή κλίση 0.6%.

Καμία από αυτές τις εκδοχές δεν μπορεί να απορριφθεί καθώς πιθανότατα ο Ευπαλίνος χρησιμοποίησε και τις δύο μεθόδους. Εκείνη του νερού γιατί διέθετε έτοιμο επιφανειακό αυλάκι με το οποίο ήδη θα υδρευόταν η πόλη. Και εκείνη



της διόπτρας, με την οποία θα έκανε τις χαράξεις του και θα παρακολουθούσε την πορεία των εκσκαφών κάτω από το βουνό.



**Εικόνα 5.4.1** Τοπογραφικό της διαδρομής του υπόγειου αγωγού από την πηγή μέχρι το βόρειο της σήραγγας.

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το ευπαλίνιο υδραγωγείο το οποίο κατασκευάστηκε τον 6ο αι Π.Χ. στη Σάμο είναι ένα αριστούργημα της γεωλογικής, γεωτεχνικής και γεωδαιτικής μηχανικής. Για τη δημιουργία του χρησιμοποιήθηκε ένας συνδυασμός σήραγγων και άλλων τεχνικών (cut and cover και qanad) με σκοπό να μεταφερθεί νερό από την πηγή πίσω από το βουνό προς στην πρωτεύουσα της Σάμου.

Ένα συμπέρασμα από τη εντυπωσιακό αυτό έργο του Ευπαλίνου, ο οποίος μελέτησε με λεπτομέρεια την επιστήμη του υδραγωγείου, είναι ότι ο κύριος στόχος του ήταν να φέρει το νερό στο υψηλότερο δυνατό επίπεδο στη πόλη της Σάμου.

Αυτό σημαίνει πως διατηρώντας την ελάχιστη δυνατή κλίση Ευπαλίνος θα έπρεπε να ακολουθήσει τη κοντινότερη πορεία, αυτή της ευθείας γραμμής. Κάτι το οποίο δεν υλοποιήθηκε ποτέ καθώς η πορεία που επιλέχθηκε για τη σήραγγα δεν είναι η συντομότερη.

Από την επιλογή της διαδρομής συμπεραίνουμε και τους λόγους για τους οποίους ο Ευπαλίνος απέρριψε την κοντινότερη πορεία. Οι λόγοι αυτοί είναι δύο :

- γεωλογικοί
- γεωδαιτικοί

Εξετάζοντας τη μορφολογία της περιοχής ανακαλύψαμε ότι η πιο σύντομη διαδρομή αποτελούταν από βράχους περιορισμένης αντοχής Αυτό ήταν εμφανές

στην αρχαιότητα, ειδικά στα πολυάριθμα λατομεία. Οι αρχαίοι μηχανικοί έπρεπε να σκάψουν τη σήραγγα στους «στερεούς» βράχους. Είχαν προφανώς την αίσθηση της γεωλογικής δύναμης όπως και σήμερα την οποία μετράμε με τη βοήθεια του GSI (γεωλογικός δείκτης δύναμης).

Παρόλα αυτά ενώ μπορούσε να δουλέψει με μεσαίας αντοχής βράχους δεν το έκανε λόγω των γεωδαιτικών περιορισμών. Βάσει των γεωδαιτικών παρατηρήσεων, ο Ευπαλίνος έπρεπε να ευθυγραμμίσει τις ανασκαφές από τις δύο πλευρές-πύλες έτσι ώστε τα δύο μέτωπα να συναντιούνται στο ίδιο σημείο.

Ένα πολύ δύσκολο έργο καθώς η ακριβής ευθυγράμμιση απαιτεί και καθορισμό του άξονα της σήραγγας.

Στη νότια πύλη, δεν υπήρχε πρόβλημα από γεωδαιτικής απόψεως (ανοιχτός χώρος). Στη βόρεια πύλη υπήρχε μια βαθιά χαράδρα κάτι το οποίο έκανε αδύνατη την ευθυγράμμιση.

Συμπεραίνουμε λοιπόν πως η επιλεγμένη διαδρομή της σήραγγας ήταν ο μόνος δρόμος που επέτρεπε την ακριβή ευθυγράμμιση της σήραγγας σύμφωνα με τους γεωλογικούς και γεωδαιτικούς περιορισμούς.

Η ευθυγραμμία του ορύγματος επιτεύχθηκε με την επιλογή πάνω στην καμπύλη των βάρων το σημείο N από το οποίο θα άρχιζε η βόρεια σήραγγα του ορύγματος, μάλλον με εδαφολογικά κριτήρια. Έπειτα ο Ευπαλίνος διάλεξε την ομαλότερη ράχη για να διαμορφώσει από πάνω της την ευθυγραμμία που θα όριζε το κατακόρυφο επίπεδο της υπό κατασκευήν σήραγγας. Η ευθυγραμμία αυτή υλοποιήθηκε εύκολα με την τοποθέτηση κορυφαίων γνωμόνων πάνω στην πλαγιά του βουνού και πάνω στην ίδια οπτική ακτίνα από το επιλεγμένο σημείο

N. Η τομή της ευθυγραμμίας με την καμπύλη των βάθρων όρισε το σημείο στα νότια του βουνού, όπου και θα άρχιζαν οι εργασίες εκσκαφής της νότιας σήραγγας του ορύγματος. Με τη βοήθεια της σύγχρονης έρευνας συμπεραίνουμε ότι ο Ευπαλίνος έκανε χρήση ευθυγραμμίας κατακόρυφων ακοντίων με σκοπευτικό όργανο.

Το σκοπευτικό όργανο με το οποίο πέτυχε την ευθυγραμμία του ορύγματος τον βοήθησε και στην κατασκευή της σταθερής κλίσης της τάφρου. Σε αυτή την επίτευξη ίσως να βοήθησε και το νερό της πηγής.

Με τη βοήθεια της διόπτρας άρχισε να κατασκευάζει με οριζόντια όδευση διαδοχικά πέτρινα βάθρα, περιμετρικά του βουνού, μέχρι τη νότια πλαγιά του. Τα βάθρα αυτά βρίσκονταν όλα πάνω στην ίδια υψομετρική καμπύλη. Υλοποιούσαν δηλαδή πάνω στο έδαφος την τομή του οριζόντιου επιπέδου που διάλεξε ο Ευπαλίνος με την επιφάνεια του βουνού.

Το επίπεδο αυτό που βρίσκεται σήμερα σε υψόμετρο 55 m περίπου από την θάλασσα, είναι δυνατό να υλοποιήθηκε και με την κατασκευή ενός πέτρινου οριζόντιου αυλακιού, το οποίο γέμισαν με νερό. Η στάθμη του ακίνητου νερού, θα υλοποιούσε το ίχνος του οριζόντιου επιπέδου πάνω στο έδαφος.

Καταλήγουμε πως η υλοποίηση έγινε με πέτρινα βάθρα αφού και σκοπευτικό όργανο υπήρχε και ευκολότερο ήταν, καθώς με τη μέθοδο του νερού θα δημιουργούνταν προβλήματα από τυχόν διαρροές, βροχές και κατολισθήσεις χωρίς όμως να απορρίπτουμε και αυτή την εκδοχή.

## 7. ΕΠΙΠΛΕΩΝ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ



**Εικόνα 7.1** Λαξευμένος βράχος κοντά στη νότια είσοδο, πιθανόν οι εργάτες να έπαιρναν μια ανάσα εδώ

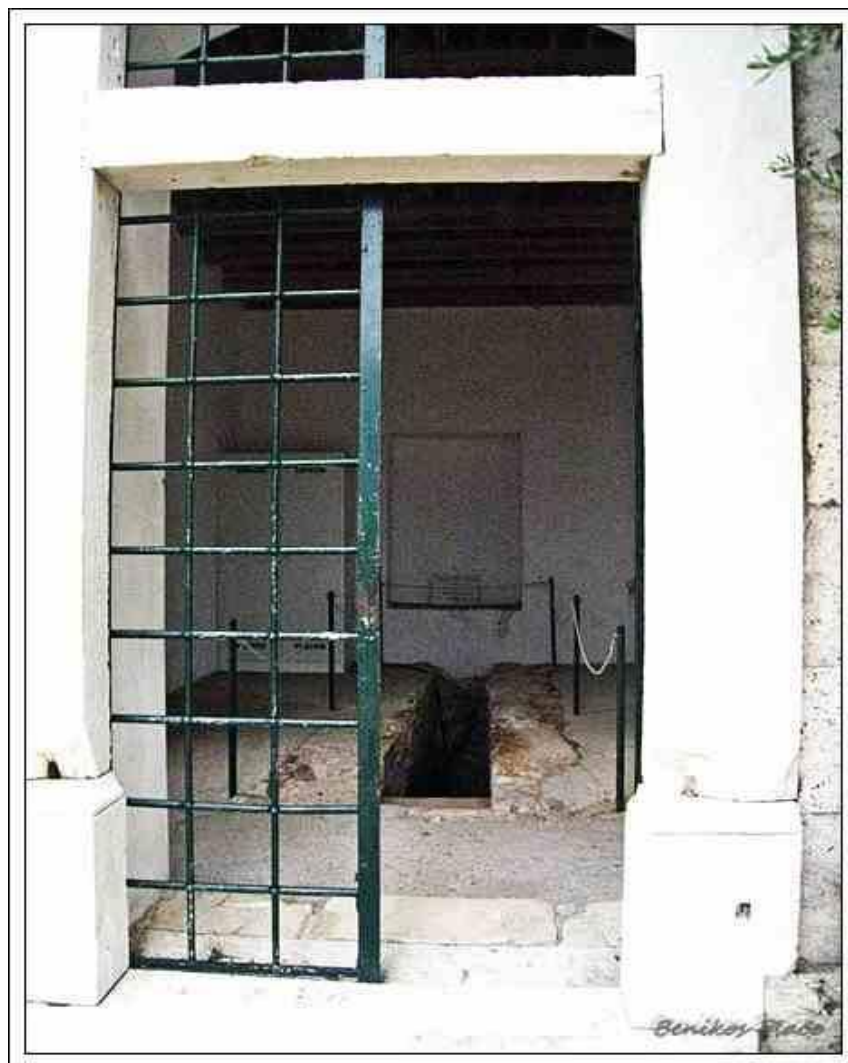


**Εικόνα 7.2** εσοχή για ξεκούραση μέσα στο όρυγμα

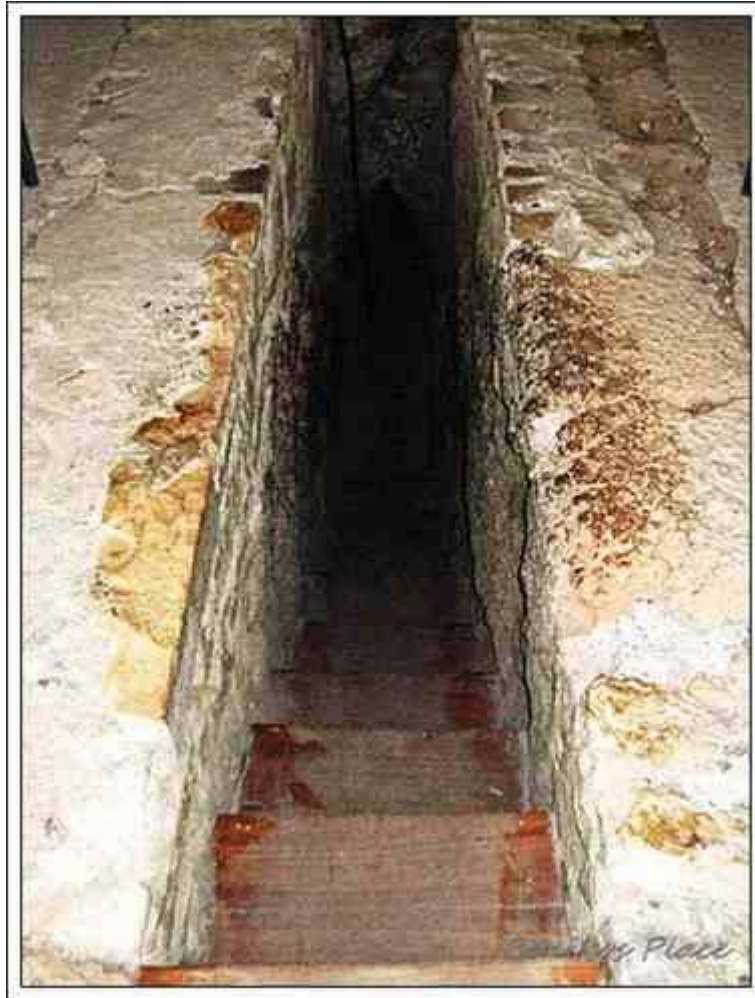


**Εικόνα 7.3** κτίσμα στη νότια είσοδο



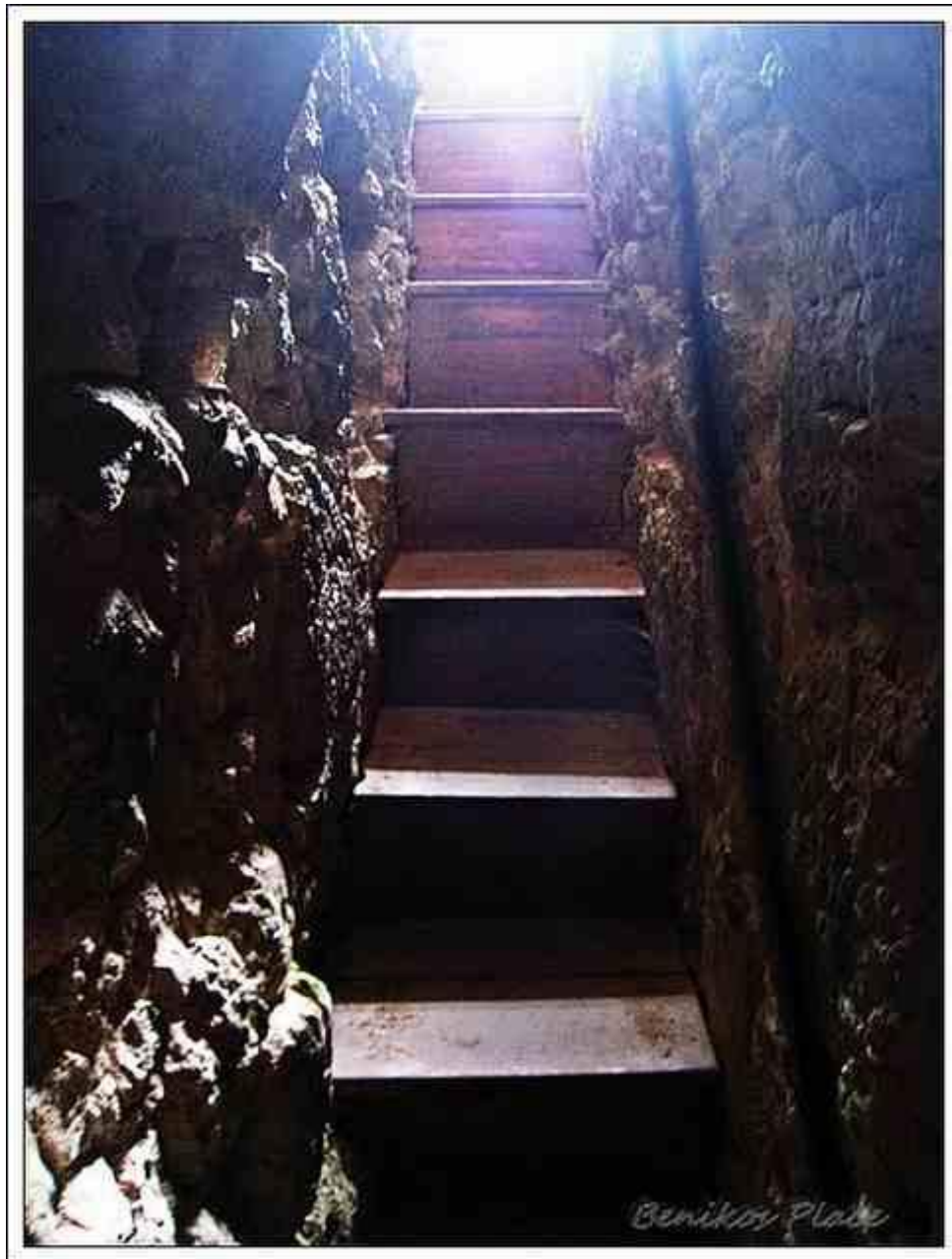


**Εικόνα 7.4** νότια είσοδος



**Εικόνα 7.5** Σκάλα προς το έργο





Εικόνα 7.6 η σκάλα

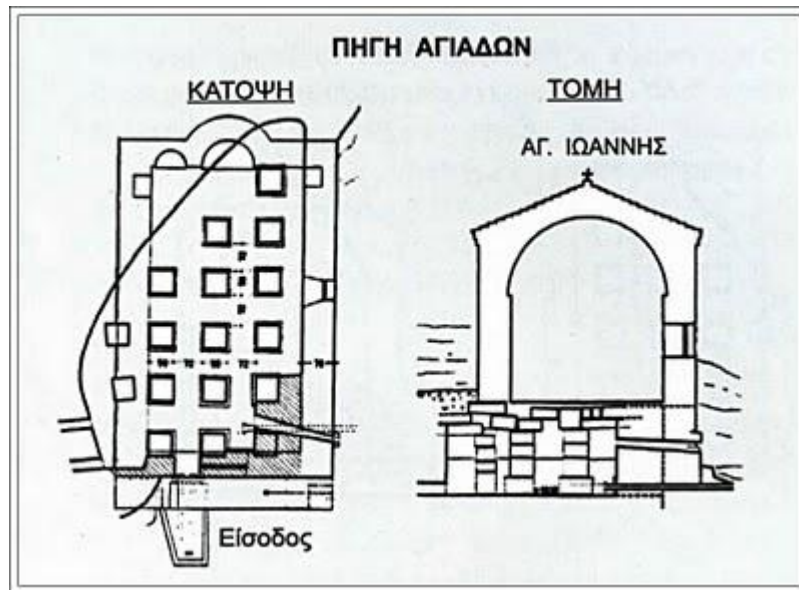


**Εικόνα 7.7** σημείο εξόδου του καναλιού στη νότια πλευρά



**Εικόνα 7.8** ναός του Α. Ιωάννη κάτω από τον οποίο βρίσκεται η πηγή των Αγιάδων (βόρειο τμήμα)

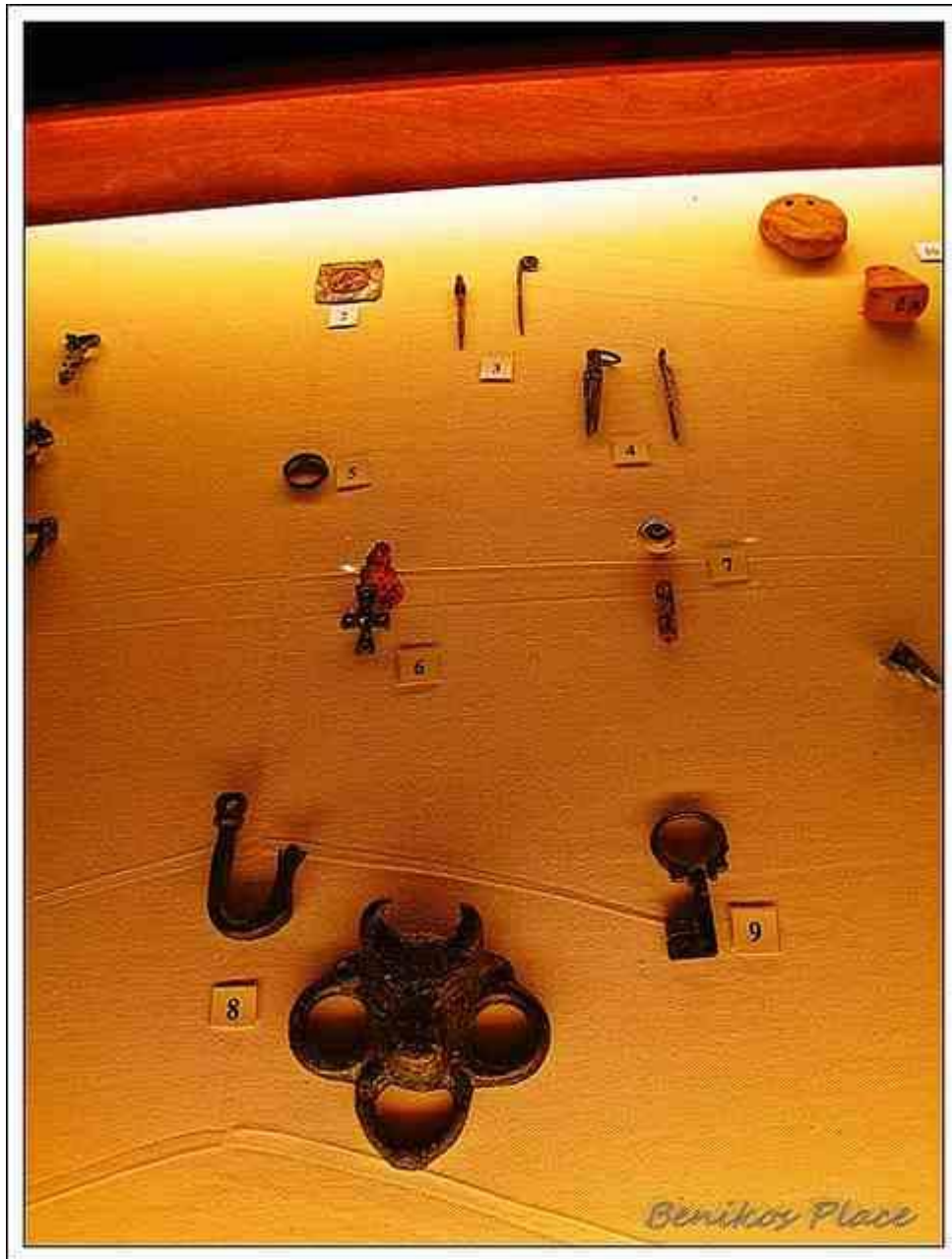




Εικόνα 7.9 κάτοψη και τομή του ναού



Εικόνα 7.10 ευρήματα βυζαντινής και οθωμανικής εποχής



Εικόνα 7.11 πόρπες, φυλαχτά, ζύγια, βελόνες

## 8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### 8.1. ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Keinast H., "Το Υδραγωγείο του Ευπαλίνου στη Σάμο", 30-34, Αρχαιολογία και Τέχνες, Η τεχνολογία των κλασικών και ελληνιστικών χρόνων, τεύχος 95, Ιούνιος 2005.
- Keinast H., Die Wasserleitung des Eupalinos auf Samos, Samos XIX, 1995.
- Keinast H., "Der Tunnel des Eupalinos auf Samos", Architectura, 1977, 97-116.
- Toumlin Goodfield St., "How was the Tunnel of Eupalinos of Samos aligned?", ISIS, LVI, 1965, 46 κ.ε.
- Grewe, K., 1988. Licht am ende des tunnels. Planung und Trassierung im antiken Tunnleban. Verlag Philip von Zbern, Mainz am Rhein, 218 pp

### 8.2. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Στο βιβλίο του Δ.Τσιμπουράκης "530 π.χ. Το όρυγμα του Ευπαλίνου στην αρχαία Σάμο" εκδόσεις αριθμός
- Στο βιβλίο του Χ.Λάζου "Μηχανική και τεχνολογία στην αρχαία Ελλάδα" εκδόσεις ΑΙΟΛΟΣ.
- Στο περιοδικό "Το περισκόπιο της επιστήμης " τεύχος 209 Σεπτέμβριος 1997
- Στην εφημερίδα "Έθνος" της 4/6/1997
- Στο περιοδικό "Δαυλός" τ. 224-225 Αύγουστος-Σεπτέμβριος 2000

### 8.3. ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

- Μακράκη Γ., "Το Ευπαλίνειο Υδραγωγείο της Σάμου" στην ηλεκτρονική ιστοσελίδα: [www.ancientgr.com/unknown\\_Hellenic\\_History/Eypalinio\\_orygma.html](http://www.ancientgr.com/unknown_Hellenic_History/Eypalinio_orygma.html)
- Ευπαλίνειο Όρυγμα στη σελίδα: [www.creator.gr/efpalineio//p101.html](http://www.creator.gr/efpalineio//p101.html)
- Άρθρο της Τοπογράφου Γεωργίας Μακράκη στην ιστοσελίδα: [users.forthnet.gr/.../Eypalinio\\_orygma.html](http://users.forthnet.gr/.../Eypalinio_orygma.html)  
Λήμμα Ευπαλίνειο Όρυγμα της Βικιπαίδεια  
Επίσημη σελίδα του ΥΠΠΟ [www.culture.gr](http://www.culture.gr)
- Σπηλαιολογικός Σύλλογος Σάμου «Ο ΕΥΠΑΛΙΝΟΣ»: <http://www.samos-caves.gr/>