

Τα μεταλλεύματα της
Λαυρεωτικής και η
εξόρυξη τους στην αρχαία
Αθήνα

ΟΙ ΜΑΘΗΤΕΣ ΤΟΥ Β4
(2016-17)

Λαυρεωτική



Το νοτιοανατολικό άκρο της Αττικής μεταξύ όρμου Λεγρενών, Θορικού και ακρωτηρίου Σουνίου.

Έκταση 113 km³.

Περιοχή άνυδρη.

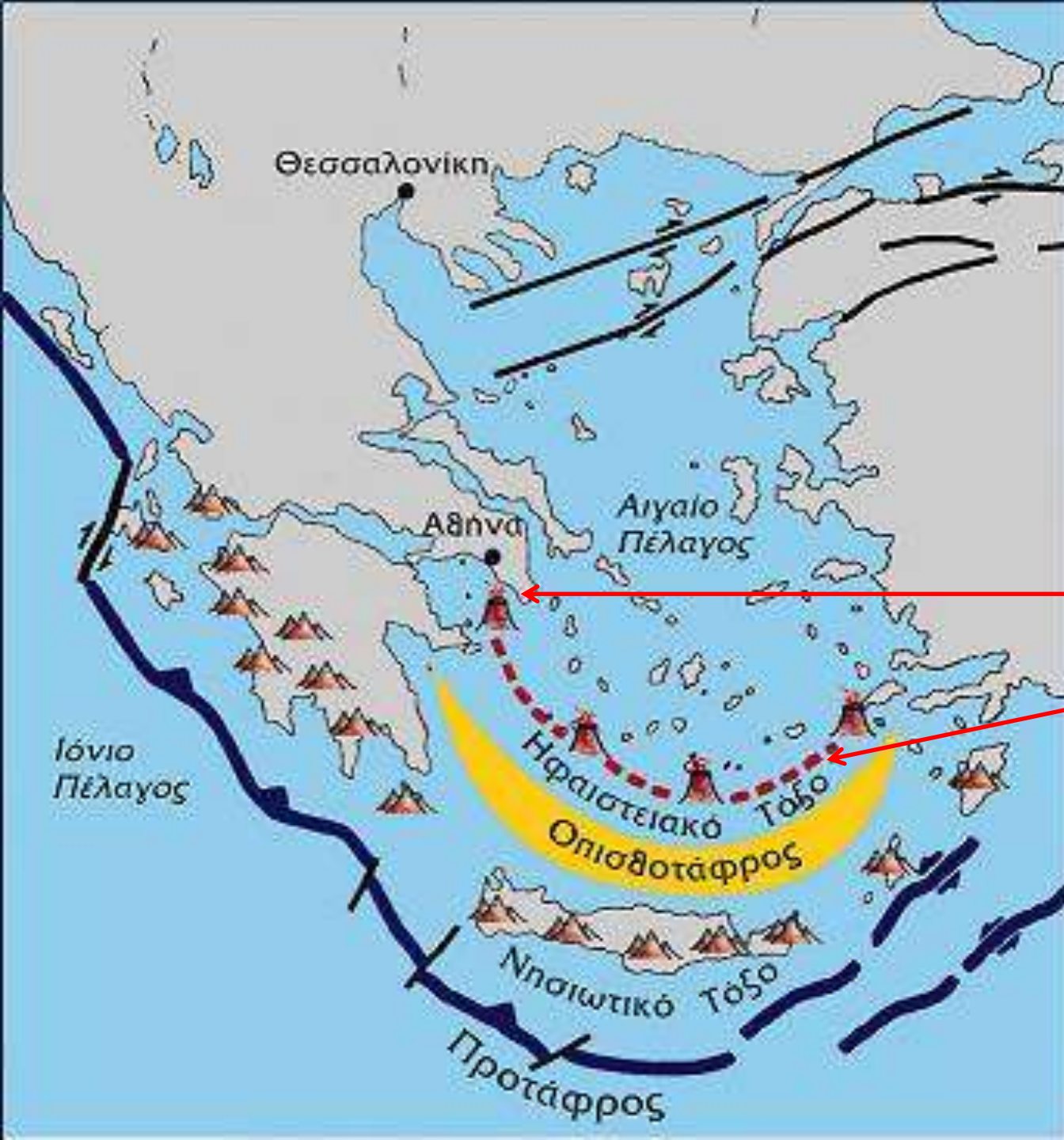
Σημαντικότερα μεταλλεία: στην περιοχή του οικισμού Πλάκα και στην Καμάριζα.

Διάσπαρτα σε όλη την περιοχή βρίσκονται εκατοντάδες μικρά μεταλλεία, φρεάτια, στοές και διανοίξεις, οι περισσότερες στην περιοχή του Σουνίου και σε άλλες περιοχές όπως ο Θορικός και το Βρωμοπούσι.

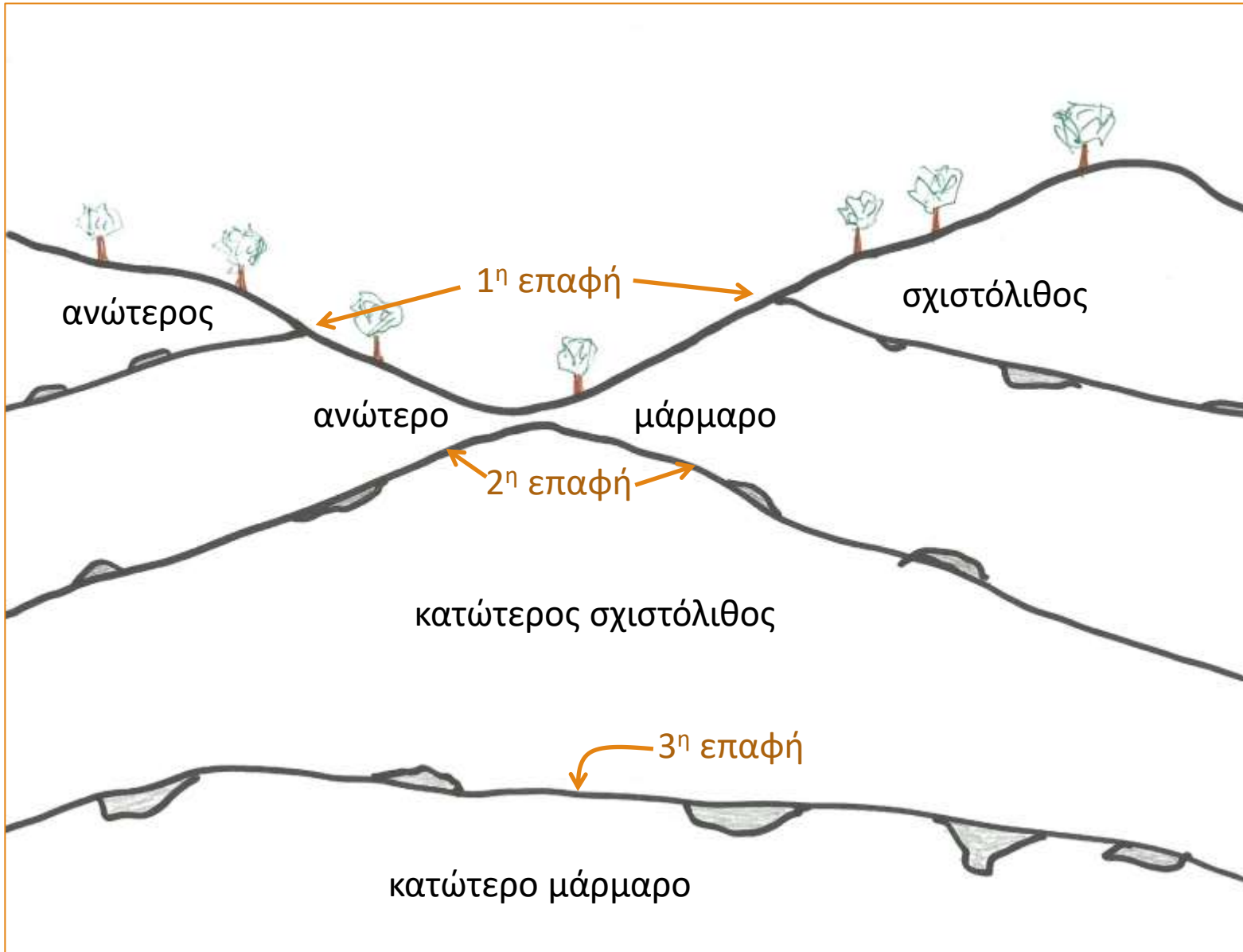
Γεωλογική δομή Δημιουργία κοιτάσματος

- Πετρώματα: μάρμαρα, σχιστόλιθοι, γρανίτες
- Η δημιουργία των μεταλλευμάτων οφείλεται σε υδροθερμικά διαλύματα που συνόδευαν τους γρανίτες ηλικίας 10 εκ.χρόνων.

Το ΛΑΥΡΙΟ βρίσκεται στο όριο του ηφαιστειακού τόξου του Αιγαίου

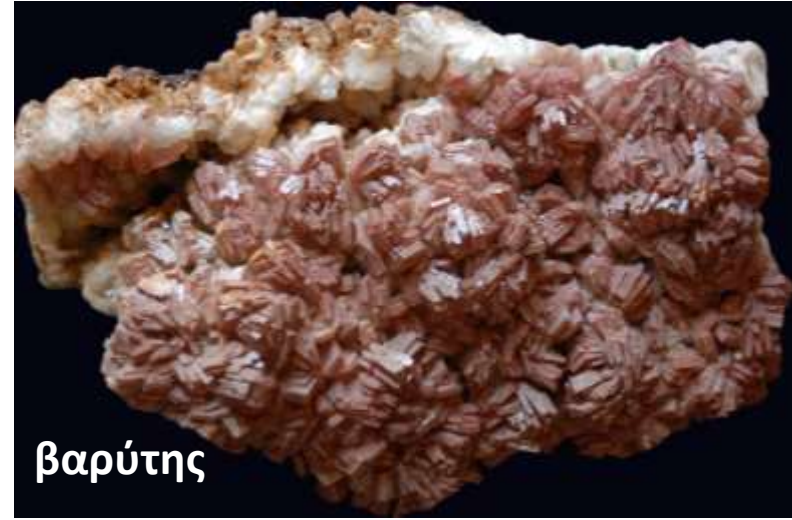


Γεωλογική δομή - Μεταλλοφορία



Ζεστά μεταλλοφόρα διαλύματα ανεβαίνουν προς τα πάνω. Βρίσκουν εμπόδιο τον σχιστόλιθο και σχηματίζονται σε κοιλάδες του μαρμάρου μεταλλεύματα.

Μεταλλοφορία: σιδηρομαγγανιούχα





γαληνίτης



γαληνίτης-σιδηροπυρίτης



γαληνίτης – σφαλερίτης - σιδηροπυρίτης

Μεταλλοφορία:
μικτά θειούχα

κερουσίτης



μαλαχίτης



Μεταλλοφορία:
οξειδωμένα
θειούχα

αγγλεσίτης



σμιθονίτης

άλλα ορυκτά των μεταλλείων

ορυκτά του αρσενικού, του βισμούθιου, του χαλκού, του νικελίου, του κοβαλτίου

στα μεταλλεία βρίσκονται 431 ορυκτά συνολικά
19 από αυτά είναι χαρακτηριστικά της περιοχής



σερπιερίτης



θορικοσίτης



λαυριονίτης



Καμαριζαΐτης
(μοναδικό στον κόσμο)

Περίοδοι λειτουργίας μεταλλείων

- Προϊστορικά χρόνια (τουλάχιστον από 3.000 π.Χ.)
- Εντατικά: από τα μέσα του 6^{ου} π.Χ.αι.
- Ακμή: 5^{ος} – 4^{ος} π.Χ. αι.
- Παρακμή: 3^{ος} π.Χ. αι.
- Εγκατάλειψη: 1^{ος} π.Χ. αι.

Εξόρυξη
αργυρούχου
μολύβδου

Τα ίχνη των πρώτων προσπαθειών εξόρυξης και επεξεργασίας μεταλλεύματος φτάνουν πίσω στην 3η χιλιετία π.Χ. Πέρασαν χιλιάδες χρόνια προσπάθειας και πειραματισμών για να φτάσουν στις μεγάλες τεχνικές εφευρέσεις του 6ου και 5ου αι. π.Χ. Στα τέλη του 7ου και τον 6ο αιώνα π.Χ. αρχίζει η ανάπτυξη της **νομισματοκοπίας** και **το ασήμι είναι περιζήτητο.**

Το 483 γίνεται γνωστό στην Αθήνα ότι ένα καινούριο κοιτάσμα είναι πολύ πλούσιο. Πρόκειται για την ανακάλυψη της τρίτης, και βαθύτερης, επαφής σχιστόλιθου-μάρμαρου κοντά στην επιφάνεια, στην περιοχή Μαρώνεια (σημερινή Καμάριζα-Άγιος Κωνσταντίνος). Εννιά χρόνια πριν τη λήξη του Πελοποννησιακού πολέμου, **20.000 δούλοι εξεγείρονται** και περνάνε στο πλευρό των Σπαρτιατών, αφού έχουν λάβει υπόσχεση πως θα ελευθερωθούν. Πιθανώς, οι μισοί ή και περισσότεροι εξ αυτών να είναι εργάτες στο Λαύριο. **Η παραγωγή αργύρου καταρρέει.** Το Λαύριο συνεχίζει με μειωμένη δραστηριότητα μέχρι και τους ρωμαϊκούς χρόνους και εγκαταλείπεται τον 1^ο αιώνα π.Χ.

Περίοδοι λειτουργίας μεταλλείων

- Επαναλειτουργία (από Γάλλους, Ιταλούς, Έλληνες): 1864- 1989
- 1992: το ελληνικό δημόσιο αγοράζει τις εγκαταστάσεις της Γαλλικής Εταιρείας και τις παραχωρεί στο Πολυτεχνείο για την δημιουργία του «[Τεχνολογικού Πάρκου Λαυρίου](#)»

εξορύσσονται επιπλέον: σφαλερίτης (θειούχος ψευδάργυρος – ZnS), σιδηροπυρίτης (θειούχος σίδηρος – FeS_2) και σμισθονίτης ή καλαμίνα (ανθρακικός ψευδάργυρος - $ZnCO_3$)



Αργυρούχο μετάλλευμα

Οξειδωμένα και θειούχα μεταλλεύματα αργυρούχου μολύβδου

Κερουσίτης (PbCO_3)



Γαληνίτης (θειούχος μόλυβδος PbS)



Αυτό που ενδιέφερε τους αρχαίους ήταν κυρίως ο άργυρος, οπότε ονόμασαν το μετάλλευμα **αργυρίτη** και τα μεταλλεία **αργυρεία**

Περιεκτικότητα μεταλλεύματος

Πάρα πολύ κυμαινόμενη μέχρι 65% σε μόλυβδο.

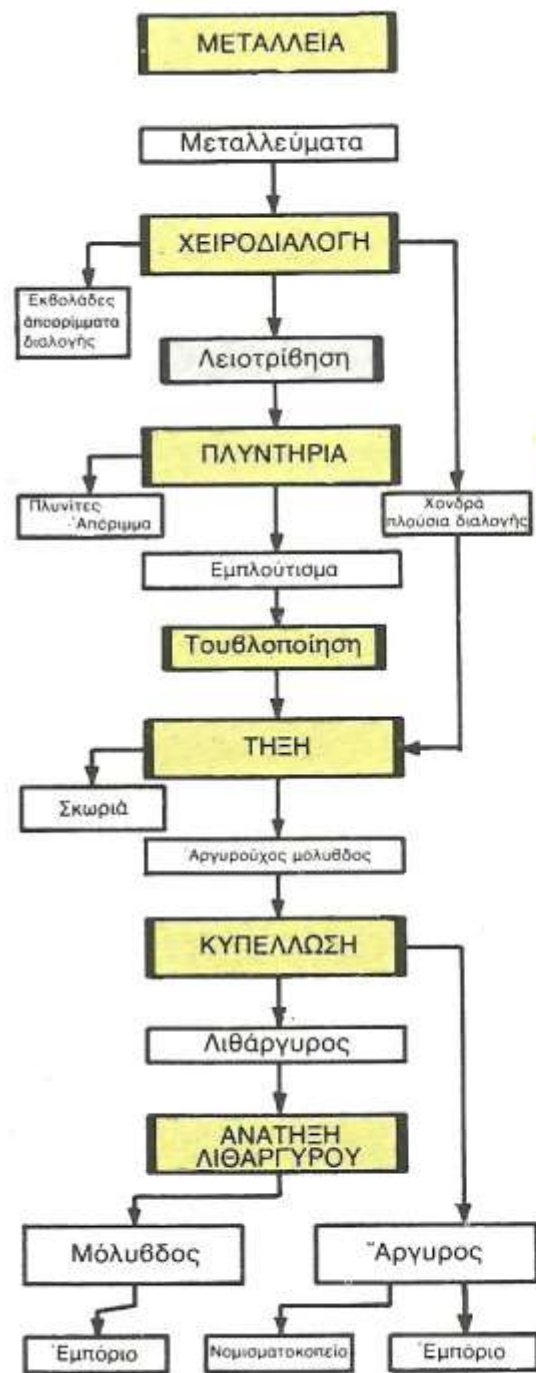
Μέσα στον μόλυβδο του μεταλλεύματος περιέχεται ο άργυρος.

Με 20% περιεκτικότητα του μεταλλεύματος σε μόλυβδο, έβγαζαν από 5 τόνους μεταλλεύματος 1 τόνο μόλυβδο και 2 kg άργυρο.

Από 7^ο έως 1^ο π.Χ. αιώνα παρήγαγαν 1.400.000 τόνους μολύβδου και 3.500 τόνους αργύρου

Στη σύγχρονη εποχή βρέθηκαν στον χώρο των μεταλλείων περίπου 7.000.000 τόνοι φτωχό μετάλλευμα και περίπου 1.400.000 τόνοι σκωρίες

Διάγραμμα κατεργασίας «αργυρίτη» (Κονοφάγος)



ΕΞΟΡΥΞΗ



ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ



ΤΗΞΗ



ΚΥΠΕΛΛΩΣΗ



ΑΝΑΤΗΞΗ ΤΩΝ ΛΙΘΑΡΓΥΡΩΝ



Κ. Η. ΚΟΝΟΦΑΓΟΣ

Μηχανικός της Ecole Centrale de Paris (1936)

Διδάκτωρ του Ε.Μ.Π.

Αρχιμηχανικός της «Γαλλικής Εταιρείας Μεταλλείων Λαυρίου» (1937-1955)

Αρχιμηχανικός μεταλλουργείων «Εταιρ. Λιπασμάτων» και Λαρύμνης (1956-1960)

Καθηγητής Μεταλλογνωσίας Ε.Μ.Π.

Κοσμήτωρ Σχολής Χημικών Μηχανικών (1970-1974)

Πρύτανης Ε.Μ.Π. (1973-1974)

Υπουργός Βιομηχανίας και Ενέργειας (1974-1977)

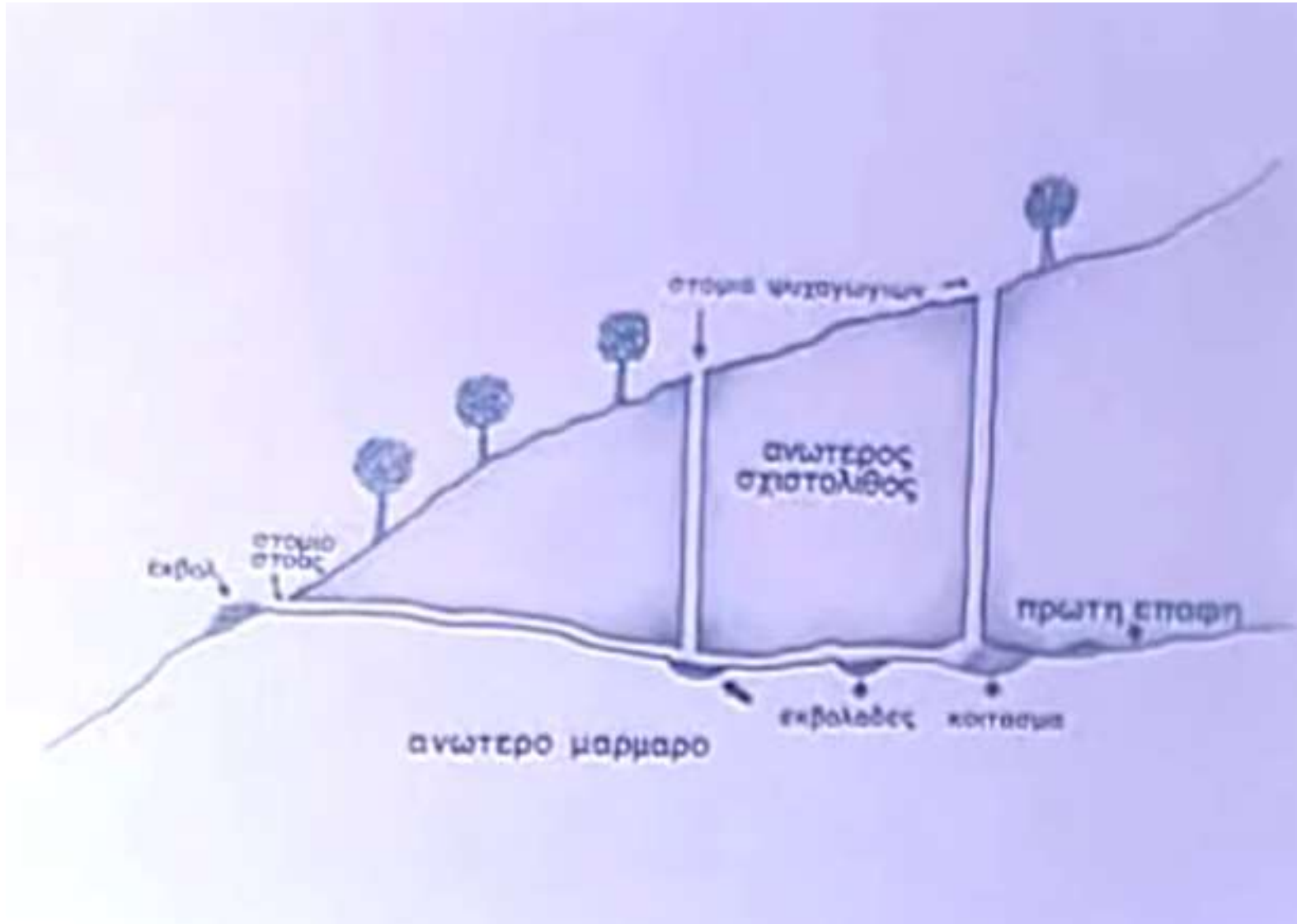
Εντοπισμός κοιτάσματος - Εξόρυξη



Κοιτάσματα πρώτης επαφής ορατά στην επιφάνεια του εδάφους λόγω διάβρωσης

Το μετάλλευμα εξορυσσόταν αρχίζοντας από την επιφάνεια με τη βοήθεια στοών, ακολουθώντας την επαφή μαρμάρου – σχιστόλιθου, κόβοντας σχιστόλιθο (πιο μαλακός). Διαστάσεις στοών: 70x90 cm (μικρές για λόγους ταχύτητας και ευστάθειας). Οι στοές ανοίγονταν με σφυρί και βελόνι (καλέμι). (8m/ μήνα)

Φρέατα εξαερισμού (ψυχαγώγια)



Αρχικά κατασκεύαζαν φρέατα για τον αερισμό των στοών, τετραγωνικής διατομής 2x2m.

Αργότερα, όταν ανακάλυψαν την τρίτη επαφή (την πλουσιότερη) κατασκεύαζαν φρέατα για έρευνα νέων κοιτασμάτων, καθορισμό των ορίων του, πρόσβαση σε αυτό και μεταφορά του μεταλλεύματος στην επιφάνεια.

Τα φρέατα δεν ξεπέρναγαν τα 120m.

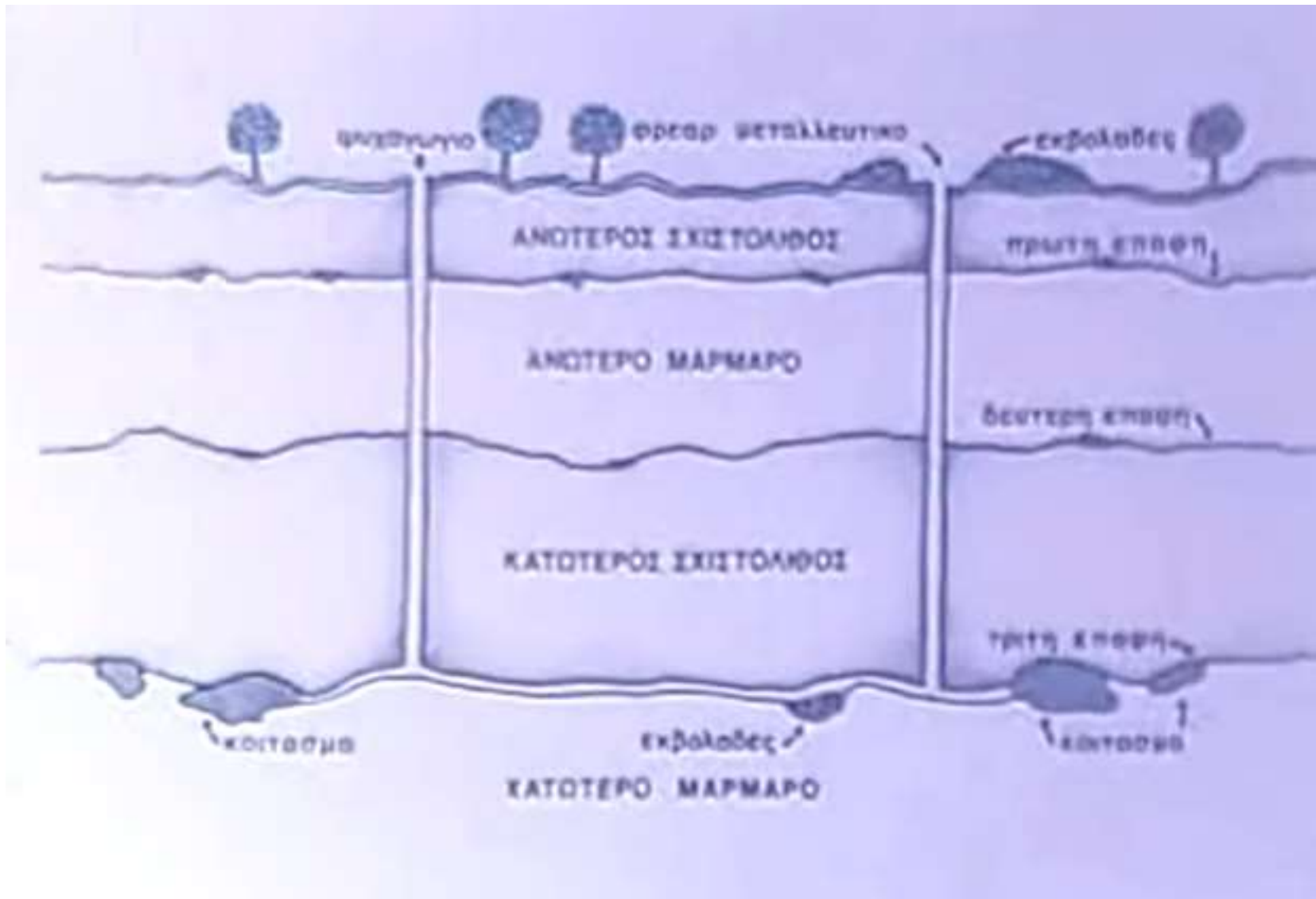
Ερευνητικά φρέατα



Όταν συναντούσαν το
κοίτασμα, άνοιγαν
στοές, τόσο στενές που
έπρεπε να περπατούν
σκυφτά.

Στις στοές άφηναν
φυσικά υποστηρίγματα
οροφής ή σπανιότερα
κατασκεύαζαν ξύλινα.

Μεταλλευτικά φρέατα



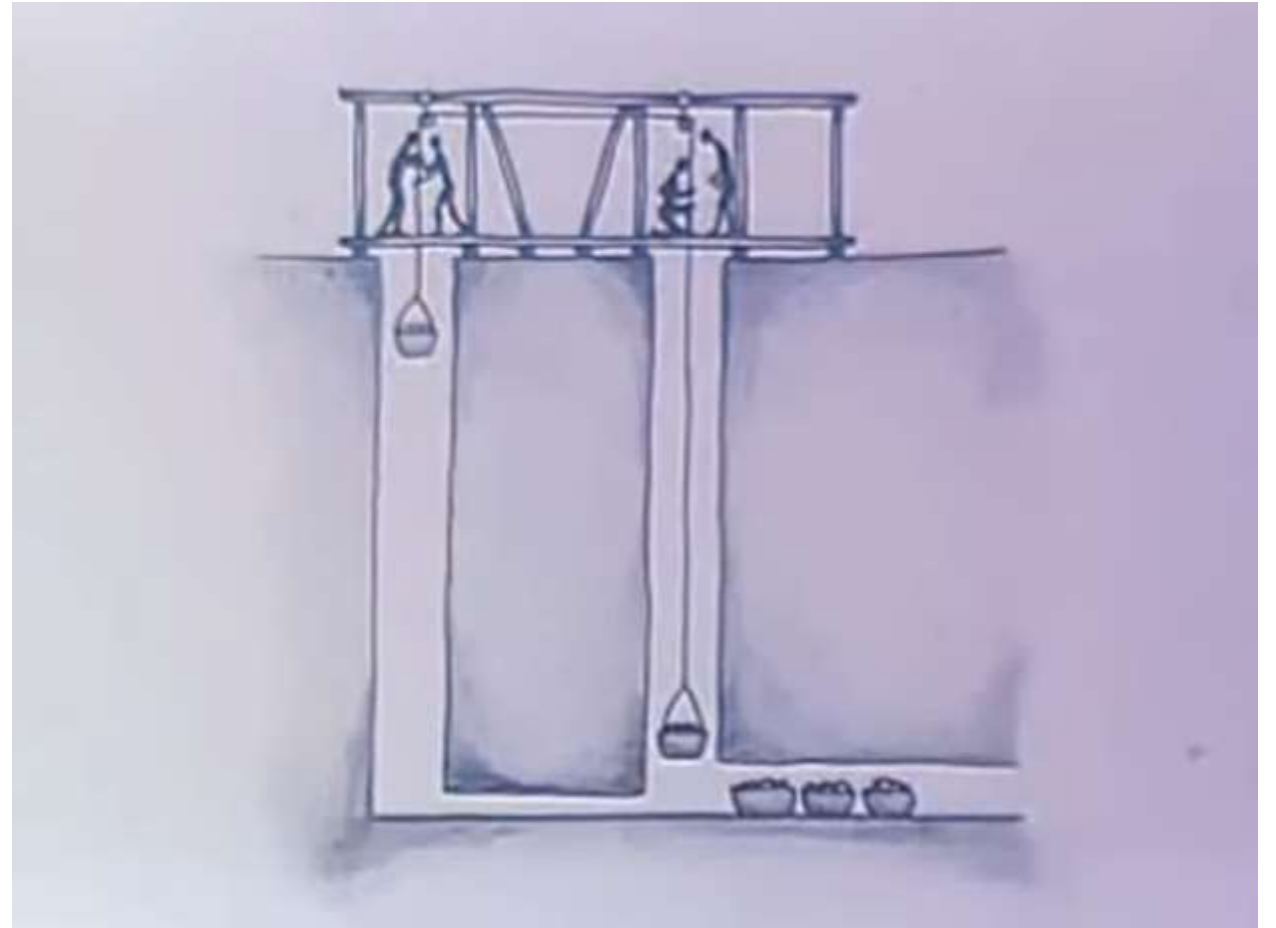
Όταν η επαφή ήταν βαθιά, το μεταλλευτικό φρέαρ ήταν η σωστή και γρήγορη λύση.

Φρέατα εξαγωγής

Τα κομμάτια του μεταλλεύματος τα έβγαζαν από το φρέαρ ανεβάζοντας τα κοφίνια με το μέταλλο στην πλάτη, χρησιμοποιώντας ξύλινες κλίμακες.



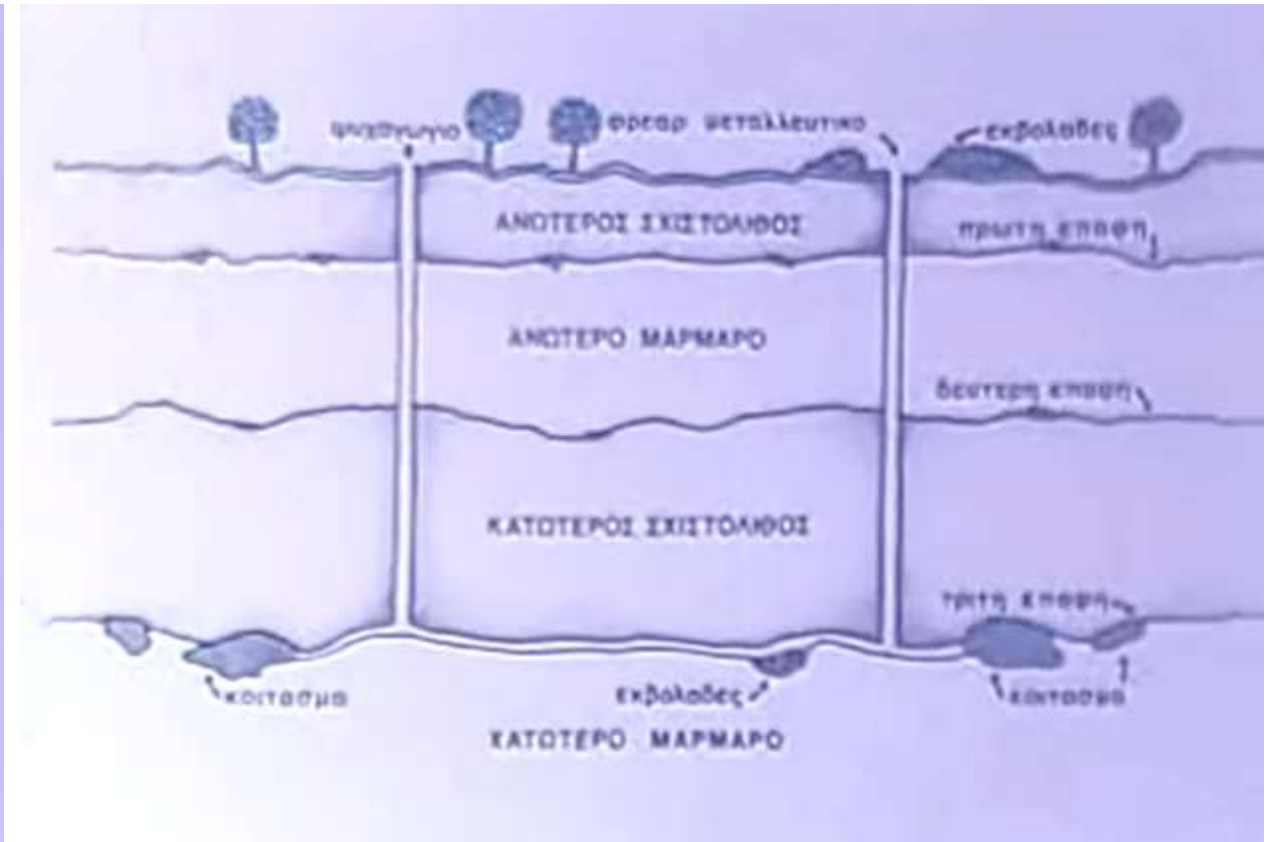
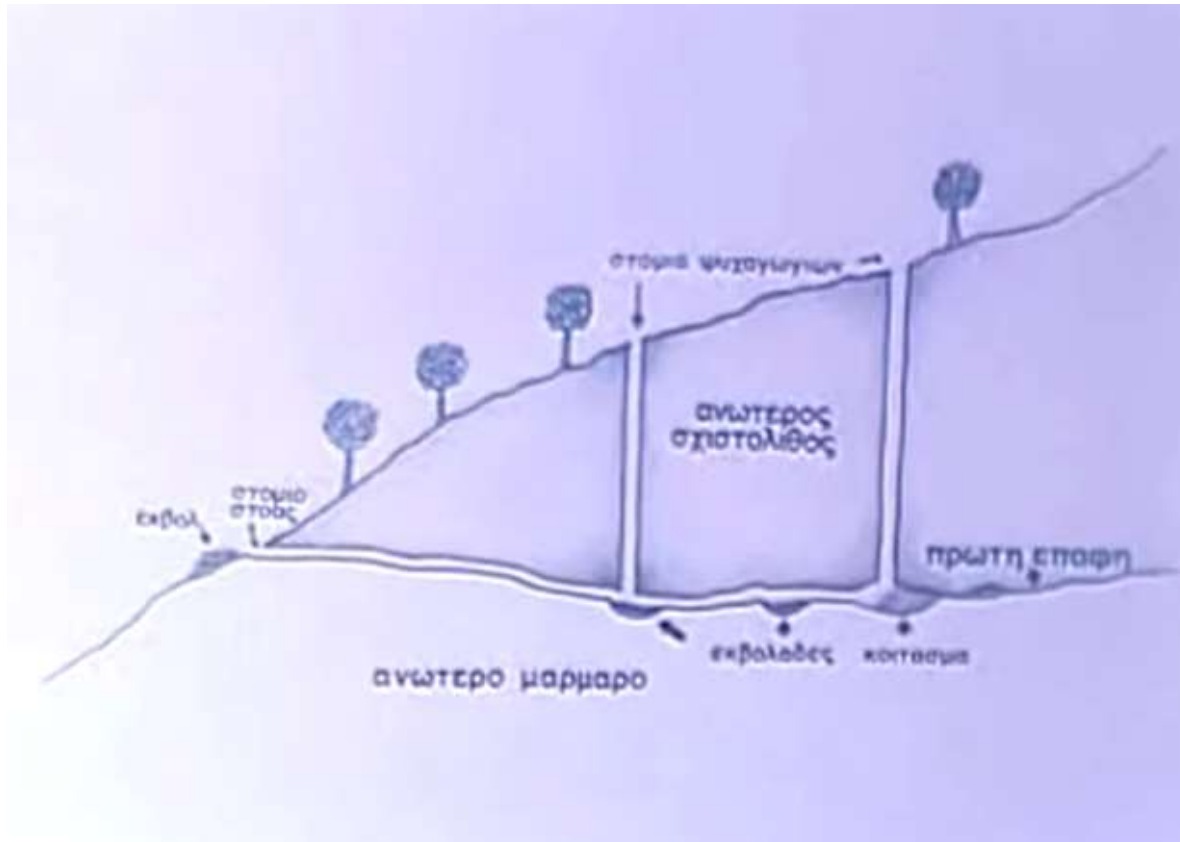
Πιθανότατα χρησιμοποιούσαν και τροχαλίες.



Χειροδιαλογή - Εκβολάδες

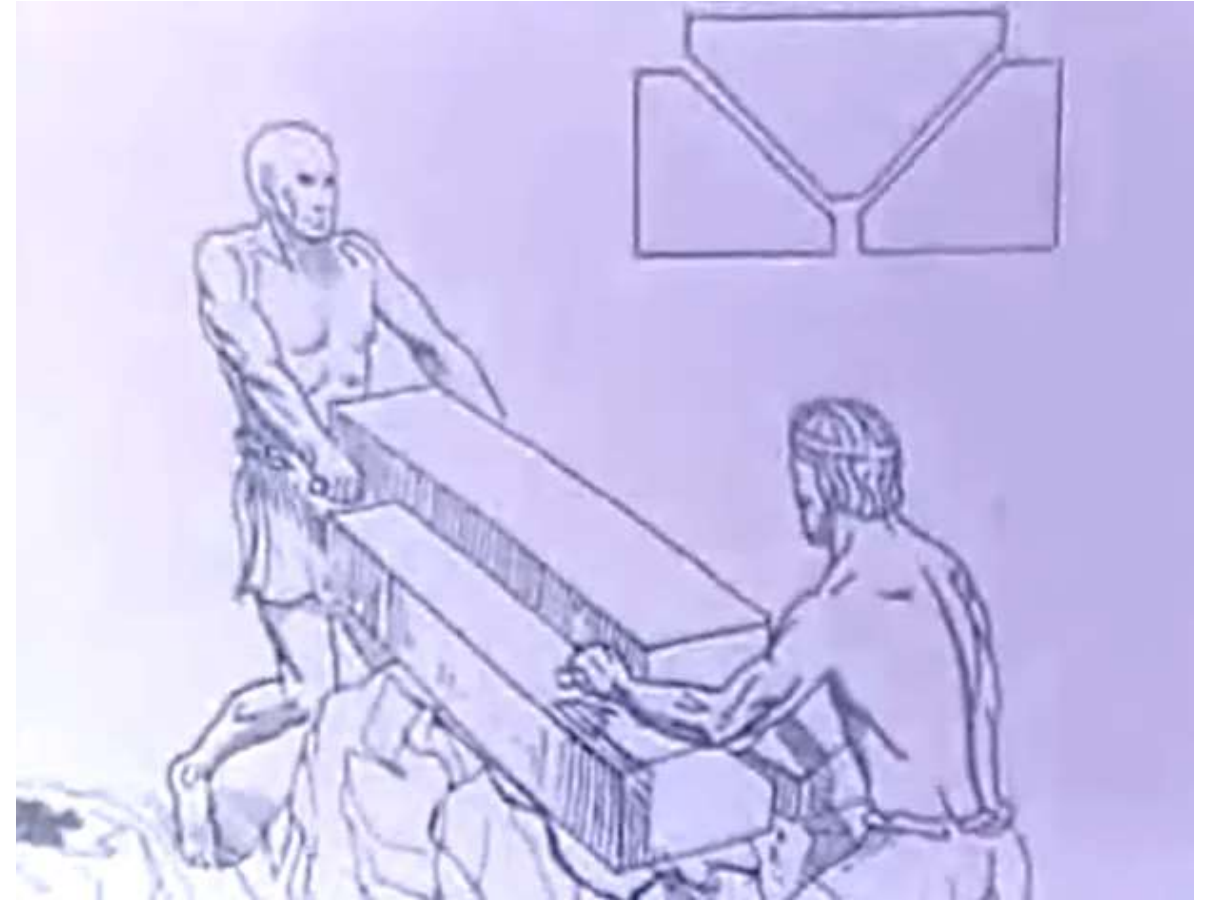
Τα κομμάτια του μεταλλεύματος τα έβγαζαν από το φρέαρ ανεβάζοντας τα κοφίνια με το μέταλλευμα στην πλάτη, χρησιμοποιώντας ξύλινες κλίμακες.

Τα τεμάχια με αργυρούχο μόλυβδο λιγότερο από 10%, τα πέταγαν επί τόπου ή στα στόμια των στοών.
Αυτά τα κομμάτια ήταν οι ΕΚΒΟΛΑΔΕΣ.



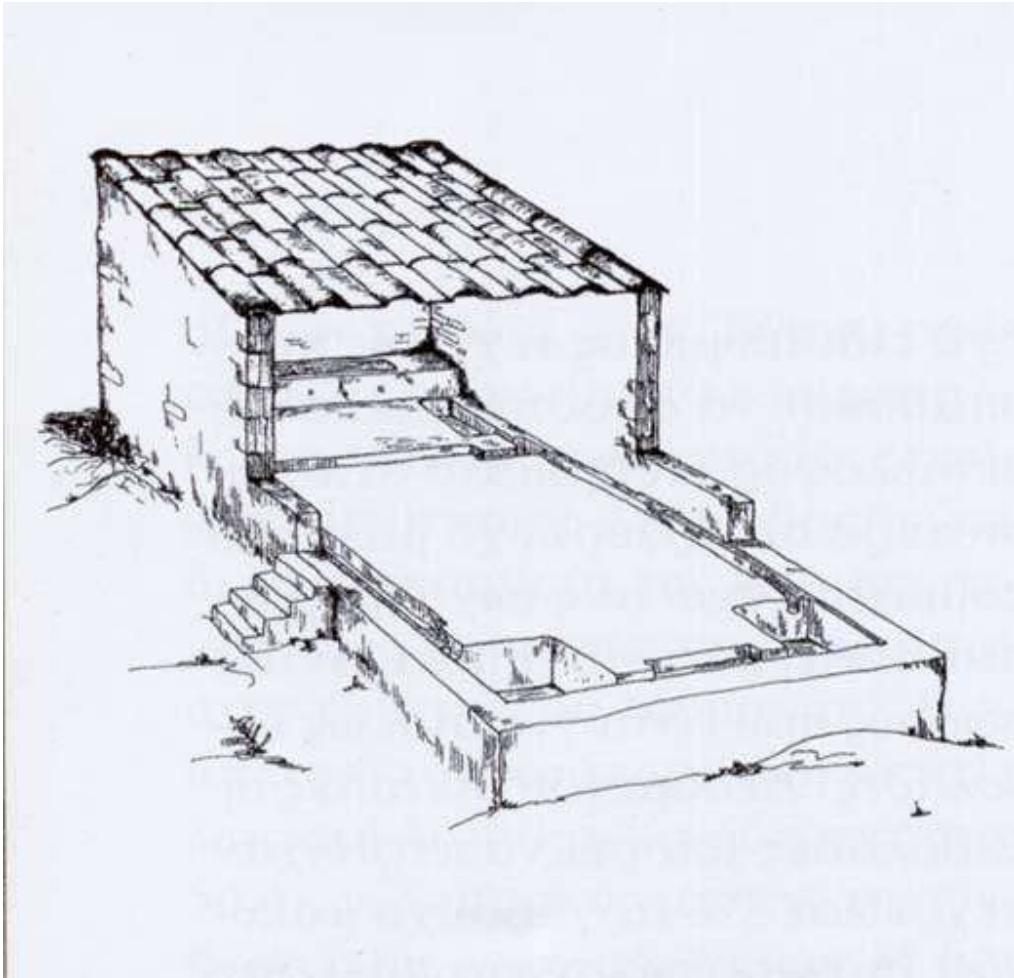
Θράση – Λειοτριβηση

Σπάσιμο μεταλλεύματος σε μικρότερα κομμάτια πάνω σε πλάκες από ασβεστόλιθο



Επίπεδος μύλος. Άλεσμα με παλινδρομικές κινήσεις σε χειρόμυλους ανάμεσα σε δύο εφαπτόμενες πλάκες τραχειίτη μέχρι να γίνει κόκκος μεγέθους σιμιγδαλιού.

Εμπλουτισμός (δεξαμενές, πλυντήρια)



Σχέδιο επίπεδου πλυντηρίου

Ο καθαρισμός του μεταλλεύματος γινόταν σε εγκαταστάσεις επονομαζόμενες «πλυντήρια» και απαιτούσε πολύ νερό. Το Λαύριο όμως είναι άνυδρη περιοχή. Κατασκευαστήκαν δεξαμενές για την αποθήκευση νερού, σε διάφορα μεγέθη και σχήματα. Οι δεξαμενές, όπως και τα πλυντήρια, σκεπάζονταν με ξύλινες στέγες για τον περιορισμό της εξάτμισης και οι επιφάνειες τους ήταν επενδυμένες με υδραυλικό κονίαμα στεγανοποίησης.

Οι δεξαμενές τοποθετούνταν σε πλαγιές υψωμάτων ή κατά μήκος κοιλάδων, ώστε με την κλίση του εδάφους να συλλέγεται το νερό.



Κανάλι που κατευθύνει το νερό από την πλαγιά του βουνού στην στέρνα

Δεξαμενές



Δεξαμενές



(C) Robert J. Horne 2009

Πρόσπερνο: δεξαμενή στοιχειώδους καθίζησης

Δεξαμενή και πλυντήριο



Επίπεδα πλυντήρια

Ειδικές χτιστές ορθογώνιες κατασκευές διαστάσεων συνήθως 12x8m.

Έξι άτομα με 12 ώρες συνεχούς εργασίας, σε ένα μέσου μεγέθους πλυντήριο καθάριζαν 6 τόνους μεταλλεύματος.

Ανακύκλωση του νερού για εξοικονόμηση.



Αναδομημένο πλυντήριο κοντά στο αρχαίο θέατρο του Θορικού

Επίπεδα πλυντήρια



Εμπλουτισμός μεταλλεύματος (Κ. Κονοφάγος, «Το αρχαίο Λαύριο»)

Επίπεδα πλυντήρια



Χρησιμοποιήθηκαν κυρίως από τους
κλασσικούς μεταλλευτές

Ελικοειδή πλυντήρια



Περίμετρος ρείθρου 15m.

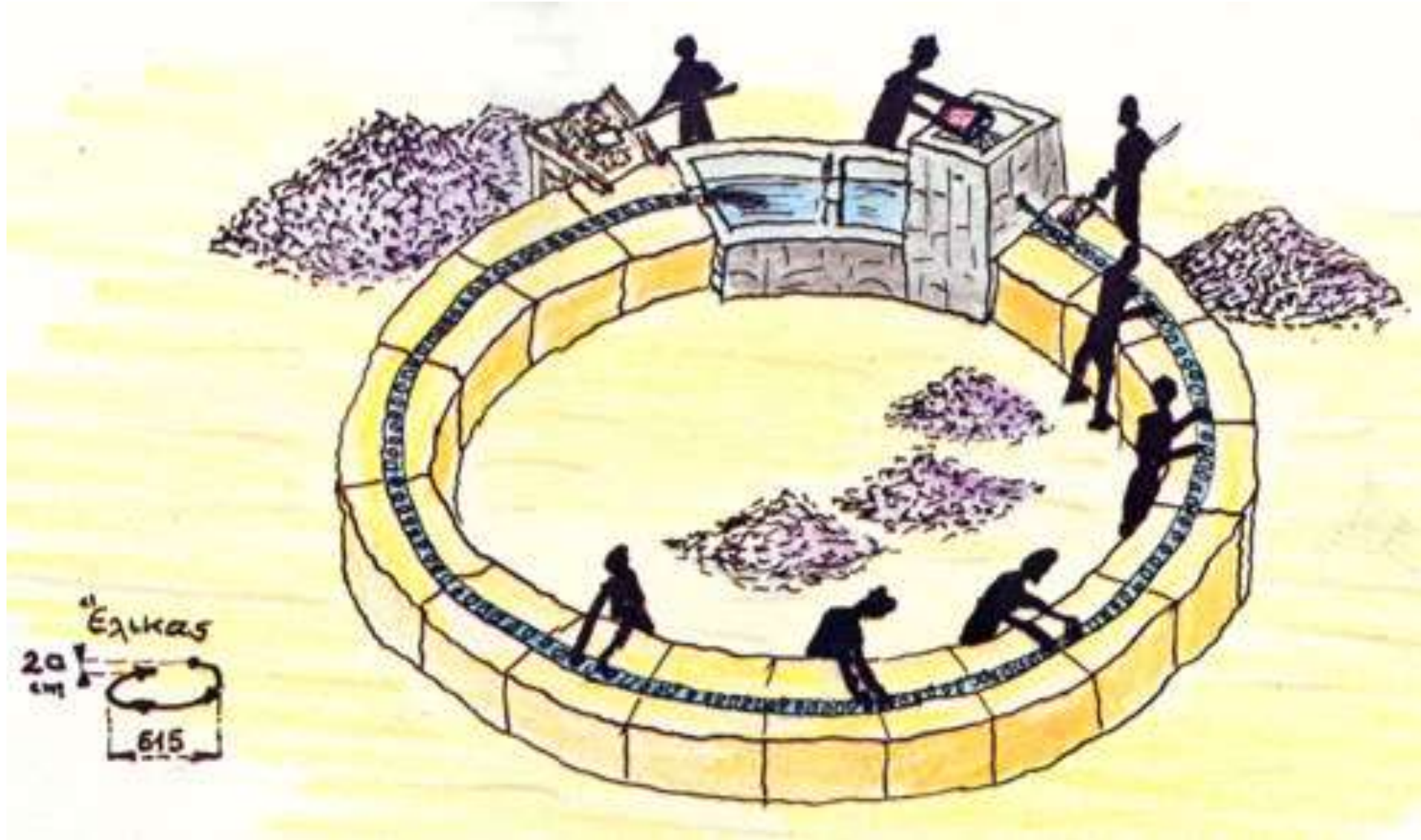
Μικρότερη απόδοση από τα επίπεδα.

Μάλλον για καθαρισμό πιο λεπτόκοκκων μεταλλευμάτων.



Ελικοειδές πλυντήριο 4^{ου} αιώνα π.Χ. στο Δημολιάκι

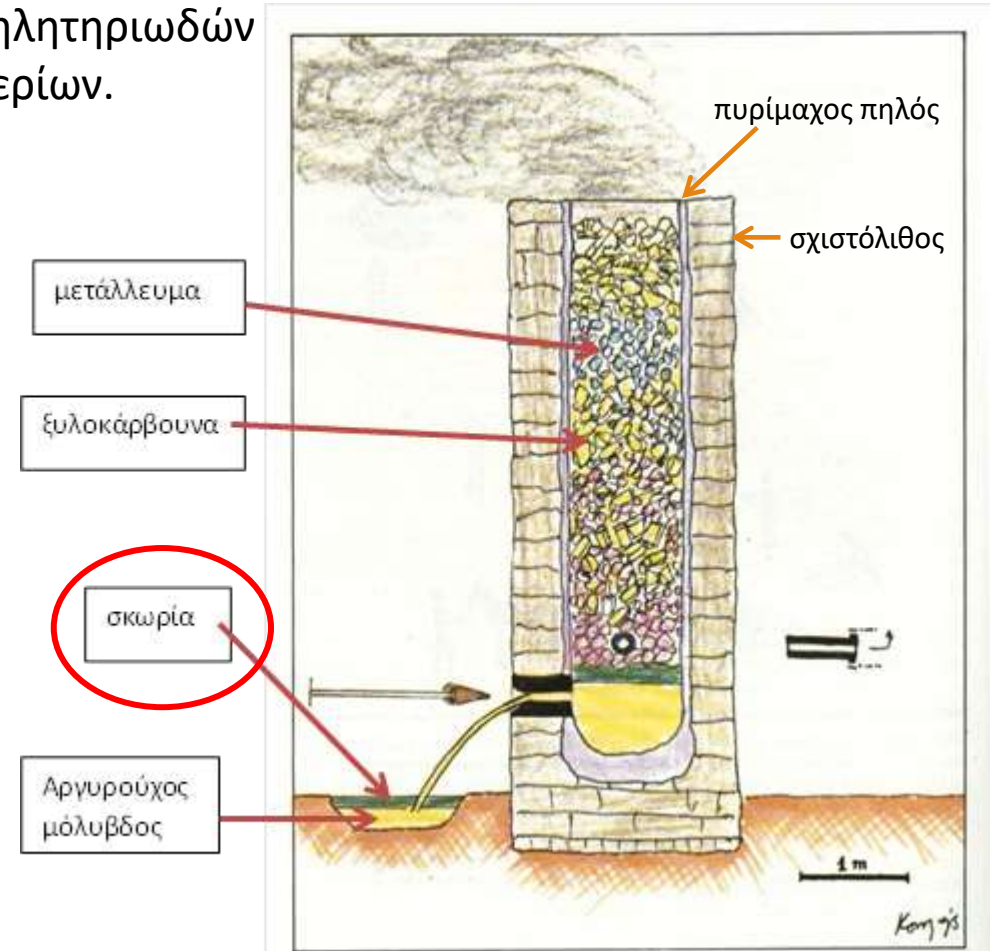
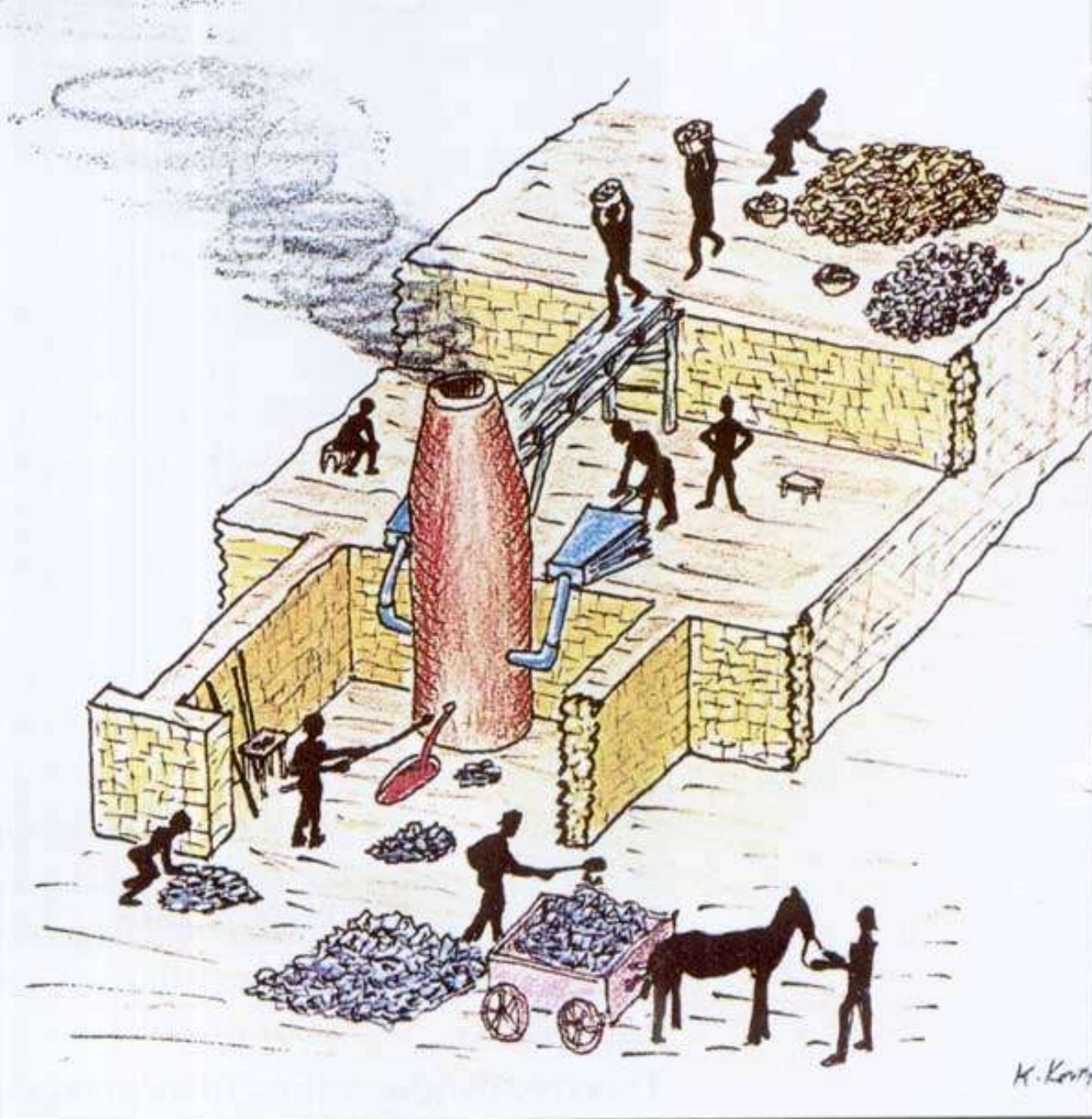
Ελικοειδή πλυντήρια



Αναπαράσταση της λειτουργίας ελικοειδούς πλυντηρίου στο Δημολιάκι. (Κονοφάγος)

Τήξη (εξαγωγή αργυρούχου μόλυβδου)

Το εμπλουτισμένο μέταλλευμα μεταφερόταν σε καμίνους τήξης για την εξαγωγή του αργυρούχου μόλυβδου. Οι κάμινοι δούλευαν με ξυλοκάρβουνο. Η τήξη γινόταν μακριά από κατοικημένες περιοχές λόγω δηλητηριωδών αερίων.



Τήξη και σκωρία (έλκυσμα)



Οι αρχαίοι έλεγαν την σκωρία «έλκυσμα» γιατί έπρεπε να την τραβάνε για να μην φράσει την τρύπα της καμίνου.

Το εμπλουτισμένο μετάλλευμα έλειωνε μέσα σε κατακόρυφα καμίνια τήξης ενόσω ένα ισχυρό ρεύμα αέρα εμφυσούταν με φυσερά. Ο μόλυβδος (μαζί με τον άργυρο που διαλύεται τέλεια στον μόλυβδο), έβγαινε από μία μικρή τρύπα στον πάτο του καμινιού, μαζί με τα υπόλοιπα (αναμειγμένα) υλικά της τήξης. Αυτά τα παραπροϊόντα τήξης ονομάζονται σκωρία ή σκουριά. Ως τυπική σύσταση της σκουριάς αναφέρεται μια περιεκτικότητα 70-75% σε οξειδία του πυριτίου, του σιδήρου και του ασβεστίου (Κονοφάγος). Όλα τα λειωμένα υλικά συλλέγονταν σε λακκούβα, κάτω ο βαρύς αργυρούχος μόλυβδος και πάνω η σκουριά, και διαχωρίζονταν εύκολα μετά τη στερεοποίηση. Τις σκωρίες τις έσπαγαν και τις πέταγαν έξω από τα εργαστήρια. Αυτές περιείχαν αργυρούχο μόλυβδο μέχρι και 10%. Με τον καιρό σχηματίστηκαν τεράστιοι σωροί.

Κυπέλλωση

(παραγωγή αργύρου)



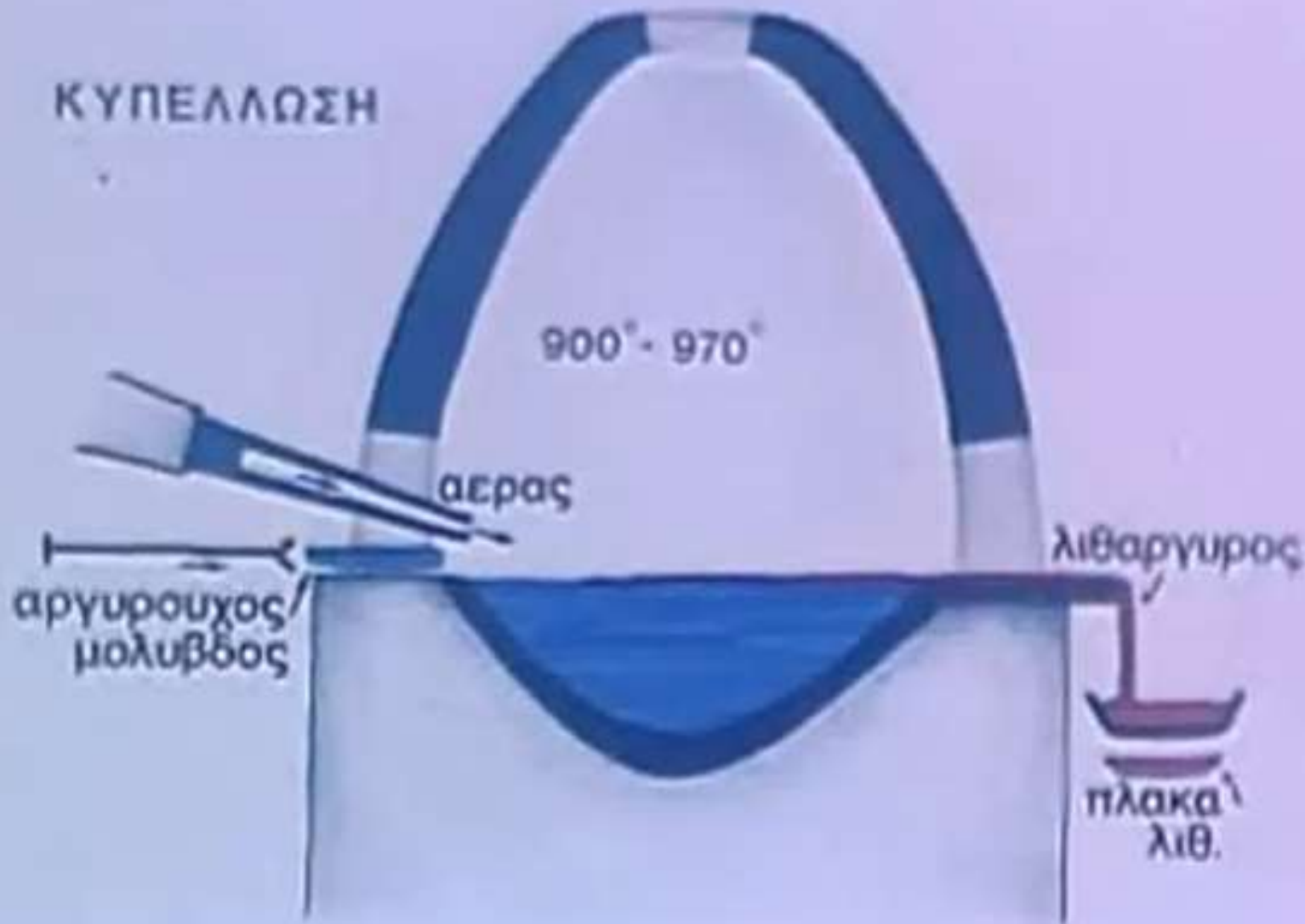
Ο άργυρος διαχωρίζεται από τον αργυρούχο μόλυβδο με την οξείδωση του μολύβδου με τον αέρα μέσα σε ένα κύπελλο όπου η θερμοκρασία είναι αρκετή ώστε το οξείδιο του μολύβδου να είναι λειωμένο.

Κυπέλλωση

(παραγωγή αργύρου)

Ανάτηξη λιθάργυρου

(παραγωγή μολύβδου)



Ο άργυρος παραμένει στο κύπελλο. Τον λιθάργυρο (οξείδιο του μολύβδου) τον πηγαίνουν για ανάτηξη και παίρνουν τον μόλυβδο.

Χρήση αργύρου και μολύβδου

Ο άργυρος του Λαυρίου, που εξαγόταν από τα μεταλλεύματα γαληνίτη και κερουσίτη, χρησιμοποιήθηκε στα αθηναϊκά νομίσματα, τα αττικά τετράδραχμα με τη γλαύκα, ήδη από το δεύτερο μισό του 6ου αι. π.Χ. και για 500 περίπου χρόνια. Το πλεόνασμα χρησιμοποιήθηκε σε έργα μικροτεχνίας.

Ο μόλυβδος που εξαγόταν από τα ίδια μεταλλεύματα χρησιμοποιήθηκε για σωλήνες, συνδέσμους λίθων και σπονδύλων κιόνων, σταθμά, βάρη, σφραγίδες, βλήματα κ.ά.



Το Αθηναϊκό Τετράδραχμο του 5ου αιώνα π.Χ.

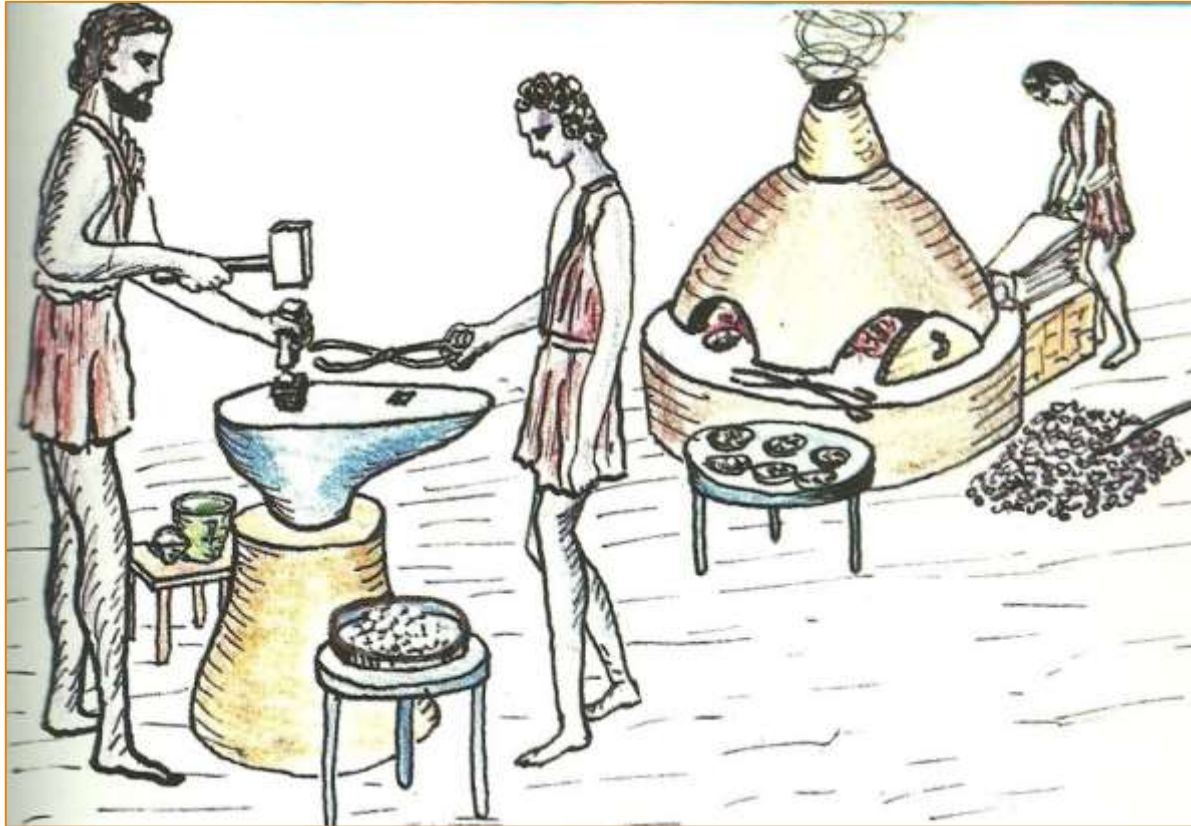


Σφραγίδα - μήτρα με την παράσταση της γλαύκας και τα σύμβολα της πόλης των Αθηνών για την αποτύπωση παράστασης στο νόμισμα.

Κοπή νομίσματος

Το μεγαλύτερο τμήμα της παραγωγής των μεταλλείων σε άργυρο χρησιμοποιούνταν για την κοπή νομισμάτων. Κατά την κλασική εποχή η τέχνη αυτή είχε φτάσει σε πολύ υψηλό επίπεδο, δείχνοντας καθαρά την πρόοδο που είχε συντελεσθεί και σε άλλους κλάδους της μεταλλοτεχνίας και της μεταλλογνωσίας γενικότερα. Με την ανακυπέλλωση στα νομισματοκοπεία του αργύρου που προερχόταν από την κυπέλλωση, η καθαρότητά του έφτανε στο θαυμαστό επίπεδο του 98,5 – 99%, πράγμα που τον καθιστούσε κατάλληλο για την κατασκευή σταθερής σύνθεσης κερμάτων. Σαν αποτέλεσμα, ο πλούτος που εισέρρεε στα ταμεία της πόλης των Αθηνών είχε δημιουργήσει στις παραμονές του Πελοποννησιακού πολέμου απόθεμα της τάξης των 10.000 ταλάντων, που φυλάσσονταν στο θησαυροφυλάκιο της Ακρόπολης. Παράλληλα όμως, μεγάλος ήταν και ο αριθμός ιδιωτών που απέκτησαν μεγάλα πλούτη από τα μεταλλεία του Λαυρίου.

Κοπή νομίσματος



*Παράσταση της κοπής αρχαίων νομισμάτων σε
Αθηναϊκό νομισματοκοπέιο του 5^{ου} ΠΧ αιώνα
(Κονοφάγος)*

Τα νομίσματα κατασκευάζονταν με τις σφραγίδες, ή μήτρες. Οι σφραγίδες- μήτρες ήταν κατασκευασμένες από ορείχαλκο, σίδηρο ή μπρούντζο. Μια μήτρα μπορούσε να παράγει από 10.000 έως 30.000 νομίσματα. Ειδικοί τεχνίτες χάρασαν τις μήτρες για την τύπωση των νομισμάτων.

Η κατασκευή του αρχαίου νομίσματος γινόταν σε ειδικά κρατικά εργαστήρια, τα νομισματοκοπέια. Οι μεγαλύτερες πόλεις διέθεταν οργανωμένες εγκαταστάσεις.

Η τεχνική κατασκευής ξεκινούσε με τον καθαρισμό και με το λιώσιμο του μετάλλου. Όταν το μέταλλο με τη θέρμανση αποκτούσε υγρή μορφή το έχυναν σε καλούπια για να πάρει κυκλικό σχήμα, ή σχημάτιζαν ράβδους από τις οποίες έκοβαν κυκλικές πλάκες.

Η αποτύπωση των παραστάσεων γινόταν με την τοποθέτηση των πετάλων ανάμεσα σε δυο σφραγίδες-μήτρες. Με την πίεση που προκαλούσε το χτύπημα ενός σφυριού στις σφραγίδες οι παραστάσεις αποτυπωνόταν στο πέταλο. Όταν το «πέταλο» ήταν παχύ, συνήθως θερμαινόταν πριν να χτυπηθεί. Η τεχνική αυτή κατασκευής νομισμάτων χρησιμοποιήθηκε έως και τον 17^ο αιώνα, οπότε γενικεύτηκε η χρήση των μηχανών.

Τα σκουπίδια του ενός.... το ασήμι του άλλου

Τα υπολείμματα της κατεργασίας των μεταλλευμάτων της Λαυρεωτικής από τους αρχαίους είναι τεράστια:

1,5 εκ. τόνοι σκουριάς και

10 εκ. τόνοι εκβολάδες.

Από την κατεργασία αυτών των παραπροϊόντων ξεκινάει η νεότερη περίοδος μεταλλευτικών δραστηριοτήτων στη Λαυρεωτική.

Πηγές

ΒΙΒΛΙΑ

- «Το αρχαίο Λαύριο και η ελληνική τεχνική παραγωγής του αργύρου», Κ. Η. Κονοφάγος, Εκδοτική Ελλάδα, 1980

ΤΑΙΝΙΕΣ

- Διπλωματική εργασία - Η κατασκευή του Αττικού τετράδραχμου (Χελιουδάκη - Βαρδή Αικατερίνη)
https://www.youtube.com/watch?v=UWGK_fHhXHE
- ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΤΗΝ ΑΡΧΑΙΑ ΕΛΛΑΔΑ -ΜΕΤΑΛΛΕΙΑ ΛΑΥΡΙΟΥ
<https://www.youtube.com/watch?v=QH2ZaWqW4QM>

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

- Αργολική Αρχαική Βιβλιοθήκη Ιστορίας και Πολιτισμού
<https://argolikivivliothiki.gr/2011/05/16/το-νόμισμα-στον-αρχαίο-ελληνικό-κόσμο/>
- ΒΙΚΙΠΑΙΔΕΙΑ <https://el.wikipedia.org/wiki/Τετράδραχμο>
- ΒΙΟΪΣΤΟΛΟΓΙΟ <https://kkeram1441.wordpress.com/2010/06/27/μεταλλευματα-της-λαυρεωτικης/>
- ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΡΕΥΝΑ (διαδικτυακό περιοδικό) <http://freeinquiry.gr/pro.php?id=389>
- Orykta.gr <http://www.orykta.gr/istoria/istoria-ellinikis-metalleias/64-archaiellhnikoi-xronoi>
- Περιβάλλον και Ανάπτυξη (διατμηματικό μάθημα ΕΜΠ)
<http://www.environ-develop.ntua.gr/htdocs/pantazidou/index.htm>
- Τεχνολογικό Πολιτιστικό Πάρκο Λαυρίου <http://www.ltp.ntua.gr/home>