

## ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΑΡΧΑΙΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΠΛΥΝΤΗΡΙΩΝ

*Μια ορθολογική διερεύνηση της «αρχιτεκτονικής» των  
εγκαταστάσεων εμπλουτισμού*

### *1. Εισαγωγή*

Οι αρχαίες εγκαταστάσεις εμπλουτισμού μεταλλευμάτων στο Λαύριο απασχόλησαν πολλούς ερευνητές, αρχαιολόγους και αρχαιο-μεταλλουργούς: αρχίζοντας από τον Κορδέλλα, τον Νέγρη και τον Ardaillon, οι οποίοι τα εμελέτησαν πρώτοι (1 - 3), σταματώντας ιδιαίτερα στον καθηγητή Κονοφάγο, ο οποίος έδωσε πρώτος επιστημονικά θεμελιωμένη και εμπεριστατωμένη ερμηνεία του τρόπου λειτουργίας των (4, 5), και συνεχίζοντας με αρχαιολόγους, όπως οι Λιάγκουρας και Κακαβογιάννης, οι αρχαιολόγοι της Βελγικής αρχαιολογικής Σχολής, ο Jones, ο Ζορίδης, η Τσάιμου οι οποίοι τα μελέτησαν κυρίως από αρχαιολογικής πλευράς, αλλά στους οποίους οφείλονται και πολλές παρατηρήσεις και προβληματισμοί μεταλλουργικής φύσης (6 - 10).

Εδίστασα, κατ' αρχήν, να κάνω αυτή την ανακοίνωση πάνω σ' ένα πολυσυζητημένο θέμα, το οποίο όσο κι αν έχει ακόμη σκοτεινά ή αδιευκρίνιστα σημεία, όμως από τεχνικής πλευράς έχει κατά τη γνώμη μου επιλυθεί. Και σ' αυτό πρέπει να αναγνωρισθεί αδιαμφισβήτητα ως θεμελιώδης και βασική η ερμηνεία του καθηγητή Κονοφάγου (4).

Υπάρχει, πάντως, ένα σημείο που παρουσιάζει ενδιαφέρον και δεν έχει ακόμη εξετασθεί ικανοποιητικά και κυρίως συστηματικά. Πρόκειται για την τυποποίηση των πλυντηρίων και τη λογική της.

Περιδιαβαίνοντας τους λόφους του Λαυρίου συναντάμε, πράγμα-

τι, περισσότερα από 100, ίσως και 200, επίπεδα πλυντήρια με διαφορετικές διαστάσεις το καθένα, και δικαιολογημένα πρέπει ν' αναρωτηθούμε από ποιά λογική διέπεται ο τρόπος της κατασκευής τους, ποιά τα κοινά σημεία τους και ποιές οι διαφορές τους.

Μια τέτοια προσπάθεια είχα κάνει από παλιά, και μερικά στοιχεία της περιέχονται σε κοινή εργασία με τον καθηγητή Κονοφάγο σαν υποσημείωση στο βιβλίο του, πάνω στο Αρχαίο Λαύριω (5, Σελ. 244 - 249). Την εργασία αυτή συμπλήρωσα πρόσφατα και την παρουσιάζω, πιστεύοντας ότι θα αποτελέσει αφορμή και αφετηρία για χρήσιμες παρατηρήσεις από τους αρχαιολόγους που συνεχίζουν, όπως φαίνεται με αδιάπτωτο ενδιαφέρον, τις ανασκαφές αρχαίων πλυντηρίων.

Στην παρούσα εργασία θα προσπαθήσω:

1) Να ξεχωρίσω τα λειτουργικά από τα αρχιτεκτονικά στοιχεία των πλυντηρίων.

2) Να μελετήσω τις διαστάσεις τους και να διαπιστώσω με ποιό τρόπο τις επέλεξαν οι αρχαίοι.

3) Να σημειώσω ορισμένες ιδιομορφίες που διαπίστωνα σε ορισμένα πλυντήρια, περιδιαβαίνοντας τη Λαυρεωτική.

Για όλα τα προηγούμενα θα θεωρήσω σαν βάση την ερμηνεία που έδωσε ο καθηγητής Κ. Κονοφάγος για τη λειτουργία των επιπέδων πλυντηρίων με ξύλινα ρείθρα. Η ερμηνεία αυτή είναι θεμελιωμένη επιστημονικά και απόλυτα αποδεκτή για ένα ειδικό του εμπλουτισμού μεταλλευμάτων. Αλλά πέραν αυτού, επιβεβαιώθηκε πρόσφατα και με δοκιμές από την Τσάιμου στο Πολυτεχνείο (10). Η τεχνική αυτή έχει, επίσης, αναφερθεί πολλές φορές και από αρχαίους συγγραφείς (5, 10).

Δεν θα επαναλάβω, αλλά θα υπενθυμίσω σύντομα την λειτουργία ενός αρχαίου επιπέδου πλυντηρίου.

Τα επίπεδα πλυντήρια χρησίμευαν για τον εμπλουτισμό των μεταλλευμάτων αργυρούχου μολύβδου, δηλ. για την απομάκρυνση από το λειοτριβημένο μέταλλευμα των άχρηστων προσμίξεων, του στείρου, με τη βοήθεια ροής νερού.

Πάνω σ' ένα ξύλινο ρείθρο όπου έρρεε νερό τοποθετούνταν λειοτριβημένο μέταλλευμα και το ελαφρότερο στείρο συμπαρασύρονταν από το νερό, ενώ πάνω στο ρείθρο παρέμενε το βαθύτερο μέταλλ-

λευμα, κατάλληλο για μεταλλουργική κατεργασία. Το χρήσιμο μετάλλευμα που προέκυπτε από τον εμπλουτισμό (συμπύκνωμα) περιείχε τον μόλυβδο και τον άργυρο.

Τυπικά, το χρήσιμο μετάλλευμα ήταν ανθρακικός μόλυβδος, κερουσίτης, με μεγάλο ειδικό βάρος, ενώ το στείρο ήταν ασβεστόλιθος, χαλαζίας, φθορίτης και αργιλώδη υλικά με πολύ μικρότερο ειδικό βάρος. Τα αργιλώδη υλικά ιδιαίτερα, όταν αναμιχθούν με νερό συντελούν στον σχηματισμό ιλύος, και η «παρενέργεια» αυτή ήταν πολύ σοβαρό πρόβλημα στην επαναχρησιμοποίηση του νερού από τους αρχαίους μεταλλουργούς.

Για το λόγο αυτό η εγκατάσταση περιελάμβανε και ένα βοηθητικό σύστημα καθαρισμού και ανακύκλωσης που στόχευε στην εξοικονόμηση και της τελευταίας σταγόνας του νερού.

Έτσι, σε όλα τα πλυντήρια ξεχωρίζουμε δυο τμήματα: α) το τμήμα εμπλουτισμού και β) το τμήμα καθαρισμού του νερού από τα στερεά και την ιλύ (απορρίμματα του εμπλουτισμού, πλυνίτη).

Ο καθαρισμός του νερού από την ιλύ είναι απαραίτητος πριν από την επαναχρησιμοποίησή του, διότι όπως είναι γνωστό σ' όσους ασχολούνται με τον εμπλουτισμό, η παρουσία ιλύος στο νερό του εμπλουτισμού μειώνει δραστικά την αποτελεσματικότητα του διαχωρισμού.

## 2. Τυπολογία των αρχαίων πλυντηρίων

Στο βιβλίο «Το αρχαίο Λαύριο» (5) γίνεται διάκριση δυο τύπων επιπέδων πλυντηρίων, τα οποία δεν διαφέρουν ουσιαστικά ως προς την τεχνική του εμπλουτισμού, παρά μόνον ως προς τον τρόπο καθαρισμού (ανακύκλωσης) του νερού.

Στο Σχ. 1 δίδονται οι κατόψεις των δυο τύπων που συναντούμε στην περιοχή του Λαυρίου.

Διακρίνουμε τα εξής κύρια μέρη:

1. ΔΤ = Δεξαμενή τροφοδοσίας των ρείθρων εμπλουτισμού.
2. Α = Ακροφύσια στην πρόσθια όψη της ΔΤ.
3. ΕΕ = Επίπεδο δάπεδο εμπλουτισμού.
4. ΕΑ = Επίπεδο δάπεδο αποστράγγισης του απορρίμματος.
5. ΟΑ = Οχετός συλλογής νερού και απορρίμματος.
6. ΔΣ = Δεξαμενή αρχικού καθαρισμού νερού με συμπύκνωση

της ιλύος και υπερχειλίση του καθαρού νερού.

7. ΔΚ = Δεξαμενή τελικού καθαρισμού νερού με συμπύκνωση της ιλύος και υπερχειλίση του καθαρού νερού.

8. ΔΑ = Δεξαμενή ανακύκλωσης καθαρού νερού.

9. ΕΤ = Επίπεδο τροφοδοσίας νερού.

10. Ο1, Ο2, Ο3 = Οχετοί.

11. ΕΜ = Δάπεδο απόθεσης μεταλλεύματος ή συμπυκνώματος.

Οι βασικές διαφορές των δυο τύπων είναι οι εξής:

1) Από τον τύπο 2 απουσιάζουν το επίπεδο δάπεδο αποστράγγισης του πλυνίτη (ΕΑ) και το επίπεδο τροφοδοσίας του νερού (ΕΤ). Αντ' αυτών έχουμε ένα πρόσθετο δάπεδο (ΕΜ) που χρησίμευε πιθανότατα για την απόθεση λειοτριβημένου μεταλλεύματος.

2) Η διάταξη των δεξαμενών καθαρισμού είναι διαφορετική για τους δυο τύπους.

Οι διαφορές αυτές εξυπηρετούν λειτουργικούς σκοπούς, τους οποίους και αναπτύσσουμε.

Ο τύπος 1 απαιτεί περίπου διπλάσιο χώρο από τον τύπο 2 επειδή περιλαμβάνει το δάπεδο (ΕΑ) και πιο εκτεταμένο σύστημα καθαρισμού του νερού. Πάνω σ' αυτό το δάπεδο τοποθετούνταν περιοδικά ο πλυνίτης που εξαγόταν από τις δεξαμενές καθίζησης (ΔΣ) και (ΔΚ) και από τους οχετούς (ΟΑ), Ο1, Ο2, Ο3, που περιβάλλουν το δάπεδο, με σκοπό να στραγγίσει τελείως από το νερό, πριν απομακρυνθεί από το χώρο του πλυντηρίου και απορριφθεί.

Δείγματα προϊόντων που εξέτασα από την επιφάνεια του δαπέδου (ΕΑ) πολλών πλυντηρίων έδειξαν πράγματι ότι το δάπεδο αυτό προοριζόταν για την αποστράγγιση του πλυνίτη, ενώ δεν διαπίστωσα ποτέ την ύπαρξη υπολειμμάτων συμπυκνώματος. Είναι, άλλωστε, τούτο φυσικό, αφού δεν ήταν δυνατόν να αποτίθενται στον ίδιο χώρο συμπύκνωμα και απόρριμμα με κίνδυνο ανάμιξής τους, μετά από την προσπάθεια που έγινε για τον διαχωρισμό τους.

Το συμπύκνωμα πρέπει να μεταφερόταν κατ' ευθείαν βρεγμένο, με μεγάλες πήλινες λεκάνες στην αποθήκη του συμπυκνώματος, που όπως αποδεικνύουν οι ανασκαφές είναι ένα στεγανό δωμάτιο παραπλεύρως του πλυντηρίου. Το δάπεδό του έχει μικρή κλίση, ώστε όλα τα νερά να συγκεντρώνονται μέσα σε μια μικρή κοιλάτητα. Πρόβλημα ανάκτησης νερού από το συμπύκνωμα δεν υπήρχε στην ουσία, ε-

πειδή αυτό ήταν αδρομερές μετάλλευμα χωρίς αργίλους και συγκρατούσε ελάχιστη υγρασία.

Μεγάλες λεκάνες μεταφοράς του συμπυκνώματος βρέθηκαν επί τόπου, μέσα στην αποθήκη συμπυκνώματος του πλυντηρίου του Σίμου, δίπλα στο κυρίως πλυντήριο (10).

Οι δεξαμενές και οι οχετοί στον τύπο 1 έχουν πολύ μεγάλη χωρητικότητα σε νερό.

Επίσης, ο τύπος 1 περιλαμβάνει το επίπεδο ανακύκλωσης (ET), ώστε το νερό κατά την μετάγγισή του από την δεξαμενή (ΔΑ) να ρέει ομαλά μέσα στη δεξαμενή (ΔΤ). Η μετάγγιση γινόταν από ένα δούλο, ο οποίος με τη βοήθεια ενός δοχείου αντλούσε το νερό από τη δεξαμενή (ΔΑ) και το άδειαζε πάνω στο επίπεδο (ET), απ' όπου το νερό έρρεε ομαλά και με τη βαρύτητα προς τη δεξαμενή (ΔΤ). Είναι φανερό, ότι όσο κι αν είναι καθαρό το νερό που μεταγγίζεται στη δεξαμενή (ΔΤ), με το χρόνο συσσωρεύεται κάποια ποσότητα ιλύος και καθιζάνει στον πυθμένα της. Η οποιαδήποτε αναταραχή θα προκαλούσε αιώρηση αυτής της ιλύος, καθιστώντας τον διαχωρισμό λιγότερο εκλεκτικό. Για το λόγο αυτό ήταν απαραίτητη η παρουσία του επιπέδου (ET).

Ο τύπος 2 είναι απλούστερος και σύμφωνα με την άποψή μου την οποία αναφέρει ο καθηγητής Κονοφάγος στο προηγούμενο βιβλίο (5, Σελ. 244), ανταποκρίνεται σε περιπτώσεις όπου η οικονομία του νερού δεν ήταν πρωταρχικής σημασίας.

Τέτοια πλυντήρια, ολιγάριθμα, ευρίσκονται στα πεδινά μέρη γύρω από το λόφο του Θορικού.

Στην περιοχή αυτή δεν υπάρχουν, εξ άλλου, δεξαμενές, αλλά ασφαλώς υπήρχαν πηγάδια κατά την αρχαιότητα. Δεν βλέπω, επίσης, το λόγο που θα απέκλειε ακόμα και τη χρήση θαλασσινού νερού, δεδομένου ότι η θάλασσα είναι σχετικά κοντά και η μεταφορά του με ζώα εύκολη. Δεν υπάρχει, εν τούτοις καμία απόδειξη ότι μπορεί να χρησιμοποιήθηκε και θαλασσινό νερό.

Ο τύπος 2 είναι απλούστερος και ανταποκρίνεται, όπως αναφέραμε, σε περιπτώσεις όπου οι κατασκευαστές του δεν θεωρούσαν το νερό σαν πρόβλημα. Έτσι το δάπεδο (ΕΑ) απουσιάζει, ενώ οι δεξαμενές και οχετοί κατασκευάζονται με μικρότερες διαστάσεις και μικρό βάθος. Στο πλυντήριο αυτό ο πλυνίτης απομακρύνεται βρεγμέ-

νος, συμπαρασύροντας και όλη την υγρασία, ενώ νέο νερό αντικαθιστά συνεχώς αυτές τις απώλειες.

Ακόμη, το επίπεδο (ΕΤ) απουσιάζει. Το στοιχείο αυτό φαίνεται εκ πρώτης όψεως δυσεξήγητο, αλλά γίνεται κατανοητό αν σκεφθούμε ότι στα πλυντήρια αυτά υπήρχε πάντα διαθέσιμο καθαρό νερό, ώστε δεν υπήρχε πρόβλημα από αναταραχή του περιεχομένου της δεξαμενής (ΔΤ).

Χαρακτηριστικό αυτών των πλυντηρίων επίσης είναι ότι φέρουν δεξιά ή αριστερά πάνω στο δάπεδο εμπλουτισμού (ΕΕ) ένα δάπεδο (ΕΜ) που χρησίμευε πιθανώς για τη δημιουργία μικρού τροφοδοτικού αποθέματος από λειοτριβημένο μετάλλευμα για εμπλουτισμό.

Δεν αποκλείεται, επίσης, να χρησίμευε για το άδειασμα των ρείθρων από το περιεχόμενο εμπλούτισμα μέσα σε μια πήλινη λεκάνη τοποθετημένη πάνω σ' αυτό.

Έτσι οι δυο τύποι πλυντηρίων δεν πρέπει να θεωρηθούν σαν ενδείξεις της ηλικίας των πλυντηρίων, αλλά της επάρκειας νερού. Βέβαια, ο τύπος 1 είναι πιο τελειοποιημένος, και ασφαλώς απετέλεσε κάποια χρονική στιγμή εξέλιξη ενός πιο πρωτόγονου τύπου με ατελέστερο σύστημα καθίζησης, πιθανόν του τύπου 2. Όμως, στην περίπτωση των πλυντηρίων του τύπου 2 που αναφέραμε, δεν χρειάστηκε προφανώς αναπροσαρμογή, λόγω της ύπαρξης του νερού στην περιοχή, και όπως αναφέρεται στη δημοσίευση Ζορίδη, τα ίδια πλυντήρια φαίνεται να λειτούργησαν και στα κλασσικά και στα ρωμαϊκά χρόνια, χωρίς καμία εξέλιξη στη μορφή τους.

Στην περίπτωση που υπήρχε διαθέσιμο καθαρό τρεχούμενο νερό, είναι προφανές ότι μια ποσότητα ακάθαρτου νερού απομακρυνόταν συνεχώς με τον πλυνίτη και με την αφαίρεση της ιλύος, γιατί ο εμπλουτιστής έχει συμφέρον να εργάζεται με όσο το δυνατόν καθαρότερο νερό. Ωστόσο, η διαθεσιμότητα καθαρού νερού δεν καθιστά τελείως άχρηστες τις δεξαμενές αποθήκευσης και την ανακύκλωση. Ο εμπλουτισμός χρειάζεται οπωσδήποτε μεγαλύτερη ποσότητα από αυτήν που ανατροφοδοτείται σαν καθαρό νερό, ώστε ένα απλό σύστημα ανακύκλωσης είναι χρήσιμο και για τον τύπο 2.

Θα προχωρήσω στη συνέχεια σε μια διερεύνηση των διαστάσεων των πλυντηρίων.

Εμελέτησα συστηματικά αρκετά πλυντήρια σε διάφορες περιο-

χές και τα πρώτα συμπεράσματα τα επαλήθευσα στη συνέχεια κατά καιρούς σε πολλά άλλα πλυντήρια που επισκέφθηκα.

Γενικά, διαπίστωσα ότι χαρακτηρίζονται στο σύνολό τους από μια εντυπωσιακή ομοιομορφία των λειτουργικών τους στοιχείων. Οι ιδιομορφίες και οι παραλλαγές είναι λίγες και θα εξετασθούν σε επόμενη παράγραφο.

### 3. Διαστάσεις των κυρίων στοιχείων

Ο πίνακας 1 συνοψίζει τις διαστάσεις των κυρίων στοιχείων που μετρήθηκαν σε 20 αρχαία πλυντήρια της περιοχής. Ο πίνακας αυτός περιλαμβάνεται και στο «Αρχαίο Λαύριο» (5). Όσα στοιχεία σημειώνονται με παύλα είναι κατεστραμμένα, ενώ όσα παραμένουν κενά είναι απρόσιτα και πιθανόν κατεστραμμένα.

#### 3. 1 Δάπεδο εμπλουτισμού ΕΕ.

Το επίπεδο δάπεδο εμπλουτισμού είναι ένα από τα σπουδαιότερα λειτουργικά στοιχεία του πλυντηρίου.

Τούτο χαρακτηρίζεται από το μήκος, το πλάτος του και την κλίση του προς τον οχετό συλλογής του απορρίμματος ΟΑ.

Το πλάτος του σχετίζεται άμεσα με τη λειτουργία του εμπλουτισμού.

Σε διάφορες δημοσιεύσεις, που έχουν γίνει μέχρι σήμερα, αναφέρεται αόριστα ότι το δάπεδο εμπλουτισμού κυμαίνεται μεταξύ 180 και 200 cm. Τούτο είναι βέβαια αληθές, αλλά όχι ακριβές, δεδομένου ότι το πλάτος του δαπέδου περιλαμβάνεται μεν ανάμεσα σ' αυτά τα όρια, αλλά δεν μεταβάλλεται κατά τρόπο συνεχή και τυχαίο. Αντίθετα, έχει διακεκριμένες τιμές, όπως φαίνεται από τον επόμενο πίνακα, που προέρχεται από τον Πίν. 1.

Σε 3 πλυντήρια είναι 180 cm

Σε 1 πλυντήριο είναι 185 cm

Σε 8 πλυντήρια είναι 192 cm

Σε 4 πλυντήρια είναι 197 cm

Σε 1 πλυντήριο είναι 194 - 200 cm.

Σύνολο 17 πλυντήρια.

Όπως διαπιστώνεται, το δάπεδο έχει σταθερό πλάτος έξι αρχαίων ποδών και οι διαφορές πρέπει να αποδοθούν στη χρησιμοποίηση διαφόρων μετρικών συστημάτων. Έτσι, μπορεί να διαπιστωθεί ότι τα πλυντήρια με δάπεδο 180 cm αντιστοιχούν στον «αττικό πόδα του Σόλωνος» με μήκος 0.301 m. Πράγματι,  $6 \times 0.30 = 1.806$  m. Η μονάδα αυτή διαπιστώθηκε από την αρχαιολόγο κ. Δεκουλάκου σε εντειχισμένη πλάκα αρχαίου ναού της Σαλαμίνας, και όπως αναφέρει, η ίδια μονάδα χρησιμοποιήθηκε, κατά τον Broneer, για την κατασκευή των σταδίων της Επιδαύρου και των Ισθμίων.

Τα πλυντήρια με δάπεδο 192 cm είναι τα πολυπληθέστερα και έχουν κατασκευασθεί με βάση τον «ολυμπιακό πόδα», ίσο προς 0.32045 m. Πράγματι,  $6 \times 0.32045 = 1.9227$  m.

Τα πλυντήρια με δάπεδο 197 cm, αντιστοιχούν στον «αιγινήτειο πόδα» μήκους 0.328 m. Πράγματι,  $6 \times 0.328 = 1.968$  m. Παρόμοια μονάδα μήκους 0.324 m περιλαμβανόταν στην προαναφερθείσα πλάκα της Σαλαμίνας και η κ. Δεκουλάκου την ταυτίζει με τον «δωρικό πόδα», μήκους 0.326 - 0.328 cm, με τον οποίο χτίστηκαν τα κλασσικά κτίσματα της Ακρόπολης.

Τέλος παρατηρείται ένα μοναδικό πλυντήριο με πλάτος δαπέδου 185 cm, που πρέπει να αντιστοιχεί, πιθανόν, σε μια παραλλαγή του ελληνικού ποδός, που μεταβάλλεται μεταξύ 0.297 και 0.308 m. Πράγματι,  $6 \times 0.308 = 1.848$ .

Ένα άλλο, με πλάτος μεταβαλλόμενο μεταξύ 194 και 200 cm, πρέπει ενδεχομένως να αποδοθεί στην κατηγορία των πλυντηρίων με δάπεδο πλάτους 197 cm.

Είναι, βέβαια φανερό ότι η σημερινή κατάσταση των πλυντηρίων αφήνει σε πολλές περιπτώσεις αμφιβολίες για τις ακριβείς διαστάσεις. Πολλά δάπεδα έχουν παραμορφωθεί τοπικά προς την ελεύθερη επιφάνεια του κυρίου οχetőυ. Είτε έχουν φθαρεί, είτε η παρεΐ τους έχει εξωκοΐλει. Παρ' όλ' αυτά οι παραπάνω μετρήσεις είναι ακριβείς και τα μέτρα έχουν επαληθευθεί και διασταυρωθεί με άλλες διαστάσεις των ίδιων πλυντηρίων.

Από την παραπάνω ανάλυση γίνεται άμεσα αντιληπτό ότι οι μεταβολές στο πλάτος του δαπέδου δεν οφείλονται σε διαφορετική σχεδίαση για λειτουργικούς λόγους, αλλά αντιστοιχούν σε χρησιμο-



ποίηση διαφορετικών μετρικών συστημάτων.

Θα μπορούσε, άραγε, η παρατήρηση αυτή να χρησιμοποιηθεί για την χρονική οριοθέτηση της κατασκευής των πλυντηρίων, ή απλώς αντανakλά την κατασκευή των πλυντηρίων από διάφορες συντεχνίες μαστόρων που χρησιμοποιούσαν διαφορετικά μέτρα;

Όπως και αν είναι, το πρόβλημα αυτό αξίζει να εξετασθεί από τους αρχαιολόγους.

Το μήκος του δαπέδου χαρακτηρίζει έμμεσα την δυναμικότητα των πλυντηρίων και συμπίπτει με το μήκος της δεξαμενής τροφοδοσίας.

Κυμαίνεται από 2.50 m για τα πιο μικρά πλυντήρια με δυο ακροφύσια ως 9.50 m για τα πιο μεγάλα με 8 ακροφύσια. Η απόσταση αυτή δεν είναι τυποποιημένη, επειδή δεν έχει αυστηρά λειτουργικό χαρακτήρα.

Η κλίση του δαπέδου είναι γνωστή μόνο για λίγα πλυντήρια, κυρίως όπου έγινε ανασκαφή, και εφ' όσον το δάπεδο δεν έχει κατασραφεί.

Φαίνεται, πάντως, ότι δεν είναι σταθερή.

Στα πλυντήρια που ανασκάψαμε στη Σούρεζα η κλίση είναι περί τα 2.5%, ενώ στο Θορικό (ανασκαφή Ζορίδη) το δάπεδο είναι σχεδόν οριζόντιο.

Η κλίση αυτή δεν είχε κανένα άλλο νόημα, παρά να κυλούν τα νερά μέσα στον κύριο οχετό συλλογής του απορρίμματος.

### 3. 2. Δεξαμενή τροφοδοσίας ΔΤ.

Η δεξαμενή τροφοδοσίας με τα ακροφύσια που φέρει στο θωράκιο είναι το δεύτερο σπουδαίο λειτουργικό στοιχείο της εγκατάστασης. Το μήκος της καθορίζει τη δυναμικότητα του πλυντηρίου, ενώ το πλάτος της κυμαίνεται από 60 - 110 cm.

Γενικά, τα μεγαλύτερα πλυντήρια έχουν πλατύτερη δεξαμενή, αλλά χωρίς να υπάρχει κάποια αυστηρή συσχέτιση με το μέγεθος ή με κάποιο άλλο στοιχείο.

Στις περισσότερες περιπτώσεις τα πλυντήρια είναι κατασκευασμένα σε μια πλαγιά, στραμμένα κατά κανόνα σε νότιες διευθύνσεις,

και η δεξαμενή είναι εν όλω ή εν μέρει σκαλισμένη μέσα στο βράχο. Η μορφολογία του εδάφους επηρεάζει τότε και το ακριβές πλάτος της δεξαμενής και το μέγεθος (πλάτος) του πλυντηρίου.

Τα ακροφύσια είναι διατεταγμένα στην πρόσθια όψη της δεξαμενής και απέχουν μεταξύ τους από 128 - 138 cm περίπου, δηλ. περί τους τέσσερις πόδες.

Η απόσταση αυτή είναι τέτοια, ώστε μεταξύ δυο ρείθρων να μπορούν να εργάζονται δυο εργάτες.

Επειδή τα θωράκια των περισσοτέρων πλυντηρίων είναι κατεστραμμένα, η απόσταση αυτή μετρήθηκε κατά τρόπο αρκετά αποσπασματικό. Μικρές αποκλίσεις στις αποστάσεις παρατηρούνται ακόμη και για το ίδιο πλυντήριο και εξηγούνται μάλλον από τα «νερά» της πλάκας, όπου διανοίχθηκαν τα ακροφύσια. Άλλωστε το στοιχείο αυτό δεν είναι αυστηρά λειτουργικό.

Σ' ένα πλυντήριο η απόσταση βρέθηκε 145 - 155cm. Για το ίδιο πλυντήριο παρατηρήθηκαν διαφορές και στις άλλες διαστάσεις.

Το ύψος των ακροφυσίων εμπλουτισμού από το δάπεδο είναι 40 - 42 cm, αντιστοιχεί δηλ. σ' ένα πόδα και 4 - 5 δακτύλους. Σε τρεις, όμως, περιπτώσεις από τις πολλές που μέτρησα βρήκα ύψη 47, 48 και 55 cm.

Το ύψος της δεξαμενής άνω των ακροφυσίων, που όταν η δεξαμενή είναι πλήρης αντιστοιχεί στο πιεζομετρικό ύψος του νερού, είναι και αυτό συνήθως 40 - 42 cm.

Τα ακροφύσια έχουν διάμετρο απορροής 18 - 20 mm, ένα δάκτυλο, και η υδροδυναμική τους μορφή εξασφαλίζει μέγιστη δυνατή παροχή νερού, η οποία είναι απαραίτητη για υψηλή παραγωγικότητα. Όπως θα υπολογίσουμε σε επόμενη παράγραφο, η παροχή αυτή -αν υποθέσουμε ότι η στάθμη του νερού διατηρούνταν σταθερή 40 cm άνω των ακροφυσίων - είναι περί τα 45 λίτρα ανά λεπτό ή 2.7 κυβικά μέτρα την ώρα.

Αν τοποθετηθεί ένα ρείθρο ακριβώς κάτω από το ακροφύσιο, όπως φαίνεται στο Σχ. 2, τότε η κλίση του ως προς την οριζόντιο είναι περί τις 12 μοίρες. Πράγμα αρκετά εκπληκτικό, η ίδια κλίση παρατηρείται και στην υγρή φλέβα που βγαίνει από το ακροφύσιο, σε μια απόσταση περί τα 10 cm από το θωράκιο, δηλ. εκεί που αναμένουμε λο-

γικά να τροφοδοτείται το λειοτριβημένο μετάλλευμα για εμπλουτισμό.

Αυτό είναι ουσιαστικής σημασίας για τον εμπλουτισμό, επειδή το νερό εκτινάσσεται παράλληλα προς την επιφάνεια του ρείθρου και έτσι χρησιμοποιείται ολόκληρη η ορμή του για την ανάδευση και την έκπλυση του μεταλλεύματος.

Έτσι, όλα τα στοιχεία: πλάτος δαπέδου εμπλουτισμού, ύψος του ακροφυσίου από το δάπεδο, μορφή του ακροφυσίου, ύψος της δεξαμενής τροφοδοσίας συγκλίνουν στην αριστοποίηση της αποτελεσματικότητας του εμπλουτισμού και τη μεγιστοποίηση της παραγωγικότητας.

Από τα προηγούμενα γίνεται άμεσα αντιληπτό γιατί οι αρχαίοι εμπλουτιστές διατηρούσαν με θρησκευτική ευλάβεια αναλλοίωτες τις διαστάσεις του δαπέδου εμπλουτισμού και τη θέση των ακροφυσίων στο θωράκιο. Στις διαστάσεις αυτές είχαν, ασφαλώς, καταλήξει μετά από μακροχρόνια εμπειρία. Είναι επίσης, φανερό, ότι η αλλαγή μετρικού συστήματος δεν αλλοιώνει τις κλίσεις, διότι όλες οι διαστάσεις μεταβάλλονται ομοιόμορφα.

Για τα τρία πλυντήρια όπου το ύψος των ακροφυσίων από το δάπεδο είναι 47, 48 και 55 cm, η κλίση του ρείθρου γίνεται μεγαλύτερη, περί τις 15 μοίρες. Αν αυτή η ιδιορρυθμία δεν οφείλεται σε κάποια αντίστοιχη ιδιορρυθμία των ιδιοκτητών ή των κατασκευαστών, τότε πρέπει να υποθέσουμε ότι το πλυντήριο προσαρμόστηκε για να κατεργάζεται χονδρομερέστερα μεταλλεύματα. Μεταλλεύματα δηλ., πλουσιότερα, όπου η αποδέσμευση του χρήσιμου ορυκτού από το στείρο επέρχεται χωρίς να χρειασθεί πολύ λεπτομερής λειοτρίβηση. Αυτό προϋποθέτει βαθειά γνώση της τέχνης του εμπλουτισμού.

Όμως, επαναλαμβάνω, τέτοιες πρωτοβουλίες αλλαγής λειτουργικών στοιχείων είναι σπανιότητες.

### *3. 3. Δεξαμενές και οχετοί*

Οι δεξαμενές και οι οχετοί αποτελούν το σύστημα καθαρισμού και ανακύκλωσης του νερού. Οι διαστάσεις αυτών των στοιχείων δεν φαίνεται να είναι τυποποιημένες, αλλά ακολουθούν το μετρικό σύστημα του πόδα και των υποδιαίρέσεών του.

Ομοίως, δεν παρατηρείται καμία τυποποίηση στις διαστάσεις του δαπέδου στραγγίσματος του απορρίμματος (ΕΑ).

### 3. 4. Αριθμός ακροφυσίων

Ένα σημείο που αξίζει ιδιαίτερη προσοχή είναι ο αριθμός των ακροφυσίων, από τα οποία καθορίζεται και η δυναμικότητα παραγωγής ενός πλυντηρίου.

Τα περισσότερα πλυντήρια έχουν από 4 έως 6 ακροφύσια, υπάρχουν όμως και μεγαλύτερα με 7 και 8 ακροφύσια.

Η παροχή νερού που απαιτείται για τέτοια πλυντήρια είναι μεγάλη. Αν δεχθούμε ένα πλυντήριο με συνεχή και αδιάκοπη λειτουργία και με 4 ρείθρα, θα χρειαζόταν  $4 \times 45 = 180$  λίτρα το λεπτό ή περί τα 11 κυβικά μέτρα την ώρα. Αν δεχθούμε ότι ο δούλος που τροφοδοτούσε το νερό από την δεξαμενή νερού ΔΑ στο κεκλιμένο επίπεδο τροφοδοσίας ΕΤ χρησιμοποιούσε ένα δοχείο χωρητικότητας 10 λίτρων (όσο χωράει κι ένας συνηθισμένος κουβάς), τότε θα πρέπει να ανασήκωνε περί τα 18 δοχεία το λεπτό, προσπάθεια οριακή όταν επαναλαμβάνεται για μεγάλο χρονικό διάστημα. Βέβαια, λόγω της διαδικασίας αδειάσματος του ρείθρου, θα υπήρχαν και μικρά διαστήματα ανάπαυλας.

Ο καθηγητής Κονοφάγος θεωρούσε ότι μόνο τα μισά ρείθρα λειτουργούσαν συγχρόνως. Παρόλα αυτά είναι δύσκολο ν' αντιληφθούμε πώς γινόταν η ανακύκλωση αυτή από ένα μόνο δούλο για τα μεγαλύτερα πλυντήρια, και ίσως για το λόγο αυτό τα μεγάλα πλυντήρια είναι σπάνια. Θα παρατηρήσω, επίσης, ότι σε πολλά πλυντήρια που φέρουν πολλά ακροφύσια, ορισμένα απ' αυτά έχουν κλεισθεί εκ των υστέρων με στεγανοποιητικό κονίαμα.

### 4. Ιδιορρυθμίες στην κατασκευή

Ας έρθουμε, τώρα, και στις ιδιορρυθμίες ή εξαιρέσεις, που παρατηρούνται στην αρχιτεκτονική των πλυντηρίων.

Σ' ένα πλυντήριο της Σούρεζας παρατηρούμε την ύπαρξη ενός διπλού δαπέδου αποστράγγισης κι ενός διπλού συστήματος καθαρι-

σμού του νερού, Σχ. 3. Θα πρέπει να υποθέσουμε ότι η πρωτοτυπία αυτή είχε σαν σκοπό να συνεχίζεται η διαδικασία του εμπλουτισμού και στη διάρκεια καθαρισμού του ενός εκ των δυο συστημάτων, ενώ το άλλο συνέχιζε να λειτουργεί κανονικά.

Μια άλλη ιδιομορφία που παρατηρείται, επίσης, σε ορισμένα πλυντήρια - ανεξάρτητα τύπου- είναι μια δεξαμενή μικρών διαστάσεων που υπάρχει αριστερά της δεξαμενής τροφοδοσίας. Τέτοια δεξαμενή παρατηρείται και στο ιδιόμορφο πλυντήριο του Σχ. 3.

Η χρησιμότητα της δεξαμενής αυτής δεν είναι προφανής. Το ότι είναι χωρισμένη από τη μεγάλη δεξαμενή τροφοδοσίας σημαίνει πιθανώς ότι εκεί μέσα αποθηκευόταν καθαρότερο νερό. Επειδή, όμως στο εμπρόσθιο μέρος της έχει ακροφύσιο, πρέπει να χρησίμευε μάλλον κι αυτή για εμπλουτισμό. Η δυσκολία να δεχθούμε την τελευταία υπόθεση έγκειται στο ότι ένα ρείθρο τοποθετημένο μπροστά της δεν καταλήγει στον οχετό του απορρίμματος. Θα πρέπει, επομένως να υποθέσουμε ότι αν η μικρή δεξαμενή χρησίμευε, πράγματι, για την τροφοδοσία ενός πρόσθετου ρείθρου, τότε το απόρριμμα συλλεγόταν μέσα σε μια λεκάνη, προφανώς διότι ήταν αρκετά πλούσιο και χρήσιμο και δεν έπρεπε να αναμιχθεί με τον υπόλοιπο πλυνίτη. Βρισκόμαστε, μπροστά σε μια διεργασία εμπλουτισμού σε δυο στάδια, όπου ένα συμπύκνωμα συμπυκνώνεται ακόμη περισσότερο με τη βοήθεια πολύ καθαρού νερού, χωρίς να απορρίπτεται το απόρριμά του, το οποίο ήταν αρκετά πλούσιο σε χρήσιμα μέταλλα.

Απόδειξη ότι σε ορισμένα πλυντήρια γινόταν εμπλουτισμός σε περισσότερα του ενός στάδια είναι και τα χωρίσματα μέσα στον οχετό συλλογής απορρίμματος, που υπάρχουν για παράδειγμα στα πλυντήρια της δημοσίευσης Ζορίδη, αλλά και σε πολλά άλλα πλυντήρια της Λαυρεωτικής. Εδώ έχουμε ανακατεργασία του απορρίμματος και όχι του συμπυκνώματος. Το απόρριμμα κατακρατείται στην πρώτη δεξαμενή, για να υποστεί και νέα κατεργασία εμπλουτισμού σε επόμενο στάδιο.

Στις αξιοπερίεργες, επίσης ιδιορρυθμίες, μπορούμε να συμπεριλάβουμε και την εξής. Όλα τα πλυντήρια της Λαυρεωτικής έχουν το σύστημα ανακύκλωσης του νερού, έτσι ώστε το νερό να ρέει αριστερόστροφα, δηλ. αντίθετα από τους δείκτες του ωρολογίου. Μόνον ένα

πλυντήριο, στη Σούρεζα, έχει δεξιόστροφο σύστημα ανακύκλωσης του νερού.

### 5. Συμπεράσματα

Από τα προηγούμενα φαίνεται ότι όσα στοιχεία συνδέονται με την τέχνη του εμπλουτισμού είναι τυποποιημένα και αμετάβλητα. Σ' όλα τα επίπεδα πλυντήρια που μελετήσαμε δεν υπάρχει απολύτως καμία μεταβολή, και έχει κανείς την εντύπωση ότι οι αρχαίοι εμπλουτιστές είχαν καταλήξει σε έναν τύπο εργασίας που θεωρούσαν ιερό και απαραβίαστο.

Τα υπόλοιπα στοιχεία που δεν παίζουν αυστηρό λειτουργικό ρόλο έχουν κατασκευασθεί με πολύ περισσότερη ελευθερία και είναι προσαρμοσμένα στη δυναμικότητα του πλυντηρίου, στη μορφολογία του εδάφους ή στην έκταση της ιδιοκτησίας, θεωρούνται δηλ. «αρχιτεκτονικά στοιχεία», όπως τα κτίρια και οι διαστάσεις τους καθορίζονται από τον κοινό νου.

Οπωσδήποτε, για ένα σύγχρονο μηχανικό η ομοιομορφία αυτή είναι μάλλον ακατανόητη.

Έτσι τελειώνοντας, αντί να συμπεράνω θα θέσω μια ερώτηση: Ήταν άραγε για τους αρχαίους η μεταλλουργία μια «βάνουση» τέχνη ή ο σεβασμός προς τη συσσωρευμένη εμπειρία σε συνδυασμό με το φόβο για το άγνωστο την καθιστούσε πράξη ιερή και απέκλειε κάθε νεοτερισμό;

Ας μην ξεχνάμε ότι στις καμίνους οι αρχαίοι μεταλλουργοί κρεμούσαν αγαλματίδια για ν' αποτρέψουν το κακό μάτι: ήταν τα αποτρόπαια.

Όσο κι αν εξουσίαζαν τις μεταλλουργικές διαδικασίες, με μεγάλο προβληματισμό και ίσως με κάποιο δέος οι αρχαίοι μεταλλουργοί παρακολουθούσαν να συντελείται η σταδιακή μεταλλαγή της γης και των λίθων στο λαμπερό μέταλλο, τον άργυρο.

## 6. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ

### 6. 1. Παροχή νερού ανά ακροφύσιο

Η παροχή νερού ανά ακροφύσιο μπορεί να υπολογισθεί με βάση τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των ακροφυσίων και το πιεζομετρικό ύψος δηλ. το ύψος του νερού πάνω από το ακροφύσιο.

Τα ακροφύσια έχουν υδροδυναμικό σχήμα, το οποίο επιτρέπει μεγάλη παροχή, και προέκυψε ασφαλώς σαν αποτέλεσμα μακράς εμπειρίας.

Στο Σχ. 4 δίδεται η μορφή ενός τυπικού ακροφυσίου, και δυο τυπικές υδροδυναμικές μορφές ακροφυσίων που έχουν μελετηθεί.

Η α παρουσιάζεται με μορφή κώνου με ευθύγραμμα τοιχώματα και με γωνία 45 μοιρών ως προς την οριζόντιο, και αντιστοιχεί σε συντελεστή συστολής της φλέβας  $c = 0.746$ .

Η β παρουσιάζεται με τελείως στρογγυλεμένα τοιχώματα, που ακολουθούν τη μορφή των γραμμών ροής, και παρουσιάζει ένα συντελεστή συστολής  $C = 1$ .

Όπως φαίνεται στο Σχ. γ, η μορφή του ακροφυσίου είναι ενδιαμέση μεταξύ των περιπτώσεων α και β, και επομένως έχει έναν ενδιαμέσο συντελεστή συστολής της υγρής φλέβας.

Η ταχύτητα ροής  $v$  δίδεται από τον τύπο:

$$V = \frac{1}{\sqrt{1 - c^2 (b/h_0)^2}} \sqrt{2gh}$$

όπου,

$c =$  ο συντελεστής συστολής της υγρής φλέβας.

$b =$  διάμετρος του ακροφυσίου = 2cm.

$h =$  το πιεζομετρικό ύψος =  $h_0 - z = 0.4\text{m}$

$h_0 =$  το ολικό ύψος του νερού = 0.8m.

Η παροχή νερού από το ακροφύσιο υπολογίζεται από τον τύπο:

$$q = c \cdot s \cdot v$$

όπου,

$s =$  διατομή της οπής του ακροφυσίου.

Παίρνοντας διαδοχικά  $c = 1$  και  $c = 0.746$  ευρίσκουμε:

για  $c = 1$ ,  $v = 2.8 \text{ m/sec}$  και  $q = 52.75 \text{ lt/min}$ .

για  $c = 0.746$ ,  $v = 2.8$  m/sec και  $q = 39.35$  lt/min.

Διαπιστώνουμε ότι η μορφή του ακροφυσίου δεν μεταβάλλει πρακτικά την ταχύτητα ροής, ενώ η παροχή επηρεάζεται σημαντικά.

Φαίνεται, λοιπόν, ότι οι αρχαίοι επεδίωκαν να έχουν στενή φλέβα νερού με μεγάλη παροχή.

Μπορούμε, επομένως, να πούμε ότι η ταχύτητα εξόδου του νερού στη συνεσταλμένη διατομή είναι 2.80 m/sec, ενώ η παροχή ανάλογα με την υδροδυναμική μορφή του ακροφυσίου κυμαίνεται από 40 - 50 λίτρα ανά λεπτό.

Αν η διατομή δεν είχε υδροδυναμικό σχήμα, αλλά ήταν μια απλή κυλινδρική οπή, η παροχή θα κατέβαινε μέχρι την τιμή των 25 ή 30 λίτρων ανά λεπτό.

## 6. 2. Κλίση του ρείθρου

Η τροχιά του νερού που τρέχει από το ακροφύσιο υπολογίζεται από τις εξισώσεις:

$$X = V_0 \cdot t$$

$$y = (1/2) g \cdot t^2$$

Με τα δεδομένα του προβλήματος προκύπτει:

$$y = 0.63 \cdot x^2$$

και η κλίση της σε απόσταση  $x$  από την έξοδο του ακροφυσίου:

$$(dy/dx)_x = 1.26x^2$$

Για  $x = 0$  cm, η γωνία  $\varphi$  του νερού ως προς την οριζόντιο είναι 0 μοίρες.

Για  $X = 10$  cm προκύπτει  $\varphi = 7.2$  μοίρες.

Για  $X = 15$  cm προκύπτει  $\varphi = 10.7$  μοίρες.

Για  $X = 20$  cm προκύπτει  $\varphi = 14.14$  μοίρες.

Δηλ. σε απόσταση 10 έως 20 cm από την πρόσθια όψη της δεξιάς τροφοδοσίας, όπου άρχιζε λογικά και ο εμπλουτισμός (προσθήκη του μεταλλεύματος) το νερό εκσφενδονιζόταν με κλίση περίπου 10 μοιρών.

Τούτο αποχτάει ιδιαίτερη σημασία, αν αναλογισθούμε ότι η κλίση του ρείθρου εμπλουτισμού πρέπει να ήταν μέχρι:

$tga = (\text{ύσος οπών}) / (\text{πλάτος δαπέδου}) = 0.40 / 1.92 = 0.21 \approx \varphi = 11.8$  μοίρες.



Απ' αυτά καταλαβαίνουμε ότι το πλυντήριο ήταν μελετημένο έτσι, ώστε το νερό να εκτοξεύεται πάνω στο ρείθρο του εμπλουτισμού περίπου παράλληλα προς την κλίση του, ώστε το νερό να έχει μεγάλη αρχική ταχύτητα και να αναδεύει ενεργητικά το τροφοδοτούμενο μέταλλευμα.

Η ταχύτητα αυτή πρέπει να είναι μικρότερη από την  $v = 2.8$  m/sec, αλλά όχι πολύ, έστω  $v = 2$  m/sec.

Ο λόγος για τον οποίο οι αρχαίοι εμπλουτιστές επεδίωκαν μεγάλη παροχή νερού πρέπει να συνδεθεί με τις συνθήκες εμπλουτισμού.

Αν δεχθούμε πλάτος ρείθρου  $d = 25$  cm, όπως ίσχυε για τα ελικοειδή πλυντήρια (5), το πάχος  $h$  του στρώματος του νερού πάνω στο ρείθρο κατά τη διάρκεια της λειτουργίας έπρεπε να είναι:

$$d \cdot h \cdot v = q$$

$$\text{ή } 0.25 \cdot h \cdot 2 = 8.8 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{sec.}$$

Απ' αυτή τη σχέση προκύπτει  $h = 1.8$  mm.

Ένα τέτοιο πάχος στοιβάδας του νερού μέσα στο ρείθρο συμβιβάζεται με το μέγεθος του τριμμένου μεταλλεύματος που εμπλουτίζονται, και το οποίο σύμφωνα με κοκκομετρικές αναλύσεις υπολειμμάτων εμπλουτισμού είναι κάτω του 1 mm.

Αν η παροχή νερού ήταν μικρότερη, για να εκπληρώνεται η προηγούμενη προϋπόθεση, θα έπρεπε να χρησιμοποιείται στενότερο ρείθρο, κι αυτό θα οδηγούσε σε χαμηλότερη παραγωγικότητα.

Γ. Δ. ΠΑΠΑΔΗΜΗΤΡΙΟΥ

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Cordella A., *Le Laurium*, Marseille, 1869.
2. Negris Ph., *Laveries Anciennes du Laurium*, *Annales des Mines*, v.20, p. 160-164, 1881.
3. Ardaillon Ed., *Les mines du Laurium dans l' Antiquite*, Paris, 1897.
4. Κονοφάγος Κ., Η μέθοδος του Εμπλουτισμού των Μεταλλευμάτων των Αρχαίων Ελλήνων εις τα επίπεδα πλυντήρια της Λαυρεωτικής, *Πραγματεία της Ακαδημίας Αθηνών*, Τόμος 29, Ν 1 - 2, 1970.
5. Κονοφάγος Κ., *Το Αρχαίο Λαύριο*, Εκδοτική Αθηνών, 1980.
6. Λιάγκουρας Α. - Κακαβογιάννης Ε., *Λαυρεωτικά*, ΑΔ 27 (1972), Χρον Β1, 147-151. Επίσης, *Ευρήματα Λαυρεωτικής*, ΑΑΑ 9 (1976), 26 - 27.
7. *Miscellanea Graeca*, Fasc. 1, *Thorikos and the Laurium in archaic and classical times*, Ghent, 1975.
8. Jones E.J., *Laveries (Ergastiria) sur la pente nord de la haute Agrileza*, *L Antiquite Classique* 45 (1976), 149 - 172.
9. Ζορίδης Π., *Εργαστήριο Εμπλουτισμού μεταλλεύματος στο Θορικό*, ΑΕ (1980), 75 - 84.
10. Τσάιμου Ινα., *Εργασία και Ζωή στο Αρχαίο Λαύριο σε εγκατάσταση εμπλουτισμού μεταλλευμάτων τον 4ο αιώνα π.Χ. (Διδακτορική Διατριβή)*, *Εργαστήριο Μεταλλογνωσίας Ε.Μ.Π.*, 1988.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: Χαρακτηριστικές διαστάσεις πλυντηρίων (cm)

Α.Α.	Δάπεδο	Ακροφύσια	Δεξαμενή τροφοδοσίας				Οχετοί		Αριθμ.	
	ΕΕ		ΔΤ		ΟΑ	Ο	Ο			
	Πλάτος	Απόσταση	z	h	πλάτος	μήκος	πλάτος	ακροφ.		
1	192	130	40	40	83	500	54	32	4	
2	192	—	—	—	90	800	64	44	6	
3	192	—	—	—	70	490	42	32	4	
4	192	132	—	42	—	—	56	25		
5	197	—	—	—						
6		145 - 155	48	40	61	960			7	
7	197	—	—	—	70	600	56	32	4	
8	197	—	40	40	110	780	60	38	6-7	
9	180	—	—	—	90-	100	650	40	32	5-6
11	192	—	—	48	55	710	48		6	
15	180	128	40	38	65	255	66	33 - 38	2	
16	192	—	—	—	80	820	60		7	
18	197	—	—	—	80	950	80	50	8	
20	192	125	42	50	110	620	81	60	5	
21	194-197	128-138	41	—	—	880	42	43	7	
22	180	—	—	—	75	430	60	35-40	4	
23	192	—	—	—	58	295	65	32	2-3	
24	185	—	—	—	105	428	74	42	4	

*Summary***MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS AND  
TYPOLOGY OF ANCIENT PLANE WASHERIES  
IN LAURION**

The concentration of argentiferous lead ores in Laurion was done on plane washeries, like those shown in fig. 1.

The washeries have been studied by numerous investigators (1 - 10) and among them, CONOFAGOS proposed -in my opinion- the correct interpretation. According to this, the concentration was done by water flow on a wooden sluice, where the finely ground ore was added and separated to the concentrate and to the tailings, as represented in fig. 2.

To do this, clean water was ejected by hydrostatic pressure on the sluices, through the funnel shaped holes A in front of the water tank ΔT. The heavy minerals containing the argentiferous ore were retained in the hollow cavities of the sluice, whereas the tailings and slimes were washed out, and removed down the sluice to the bassin OA.

Owing to the scarcity of the water in the region, the water pulp containing solid particles in suspension was gradually clarified in the sedimentation bassins ΔΣ and ΔK and clean water was returned back to the bassin ΔA, wherefrom it was transferred again to the water tank ΔT, through the draining board ET.

The washing floor EE was the main working floor, whereas the drying floor EA served for depositing the sediments of the water channels and bassins.

This work is an attempt to determine the typology of the washeries, to investigate their dimensions and to correlate them to the operating features.

Two types of plane washeries distinguished on account of the existence of a drying floor EA, and called type 1 and type 2, are shown in fig. 1.

It is explained that type 2, without a drying floor and without of a draining board, was used in districts, where the water was relatively abundant.

From the study of the dimensions of the washeries it becomes evident that the washeries were built according to the metric system of the ancient greek foot and its subdivisions. Small but systematic deviations of the characteristic dimensions from one washery to another are explained on the basis of similar but not equivalent metric systems used by the ancient people.

The main elements of a washery, which are important for the good operation of the ore processing, have always constant dimensions and have, apparently, been the result of a long experience. These elements are the shape of the funnel shaped holes, the hydrostatic height of the water above these holes and the incline of the sluice, determined by the ratio of the level of the holes to the width of the washing floor, fig. 4. The corresponding values are shown on fig. 2.

Under these conditions, the water comes out from the holes with the maximum volumetric rate and flows parallel to the surface of the sluice, causing an effective separation of the ore.

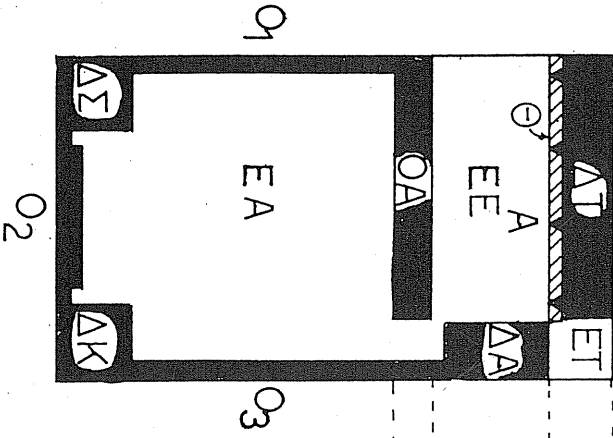
All other elements of the washeries are not so important for the concentration procedure and have not fixed dimensions.

Characteristic dimensions of some washeries are given in table 1.

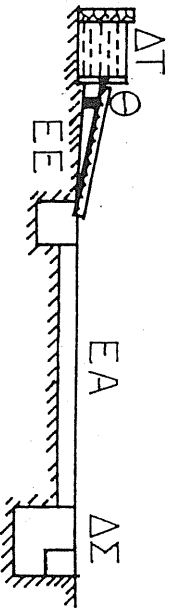
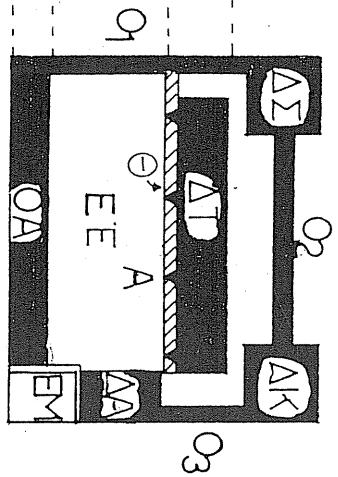
Generally, the washeries show a remarkable similarity in their form and an astonishing coincidence of their main dimensions. Some rare exceptions are also described in this work, one of them being the unusual washery with two drying floors and two sedimentation systems shown in fig. 3.

GEORGE PAPADIMITRIOU

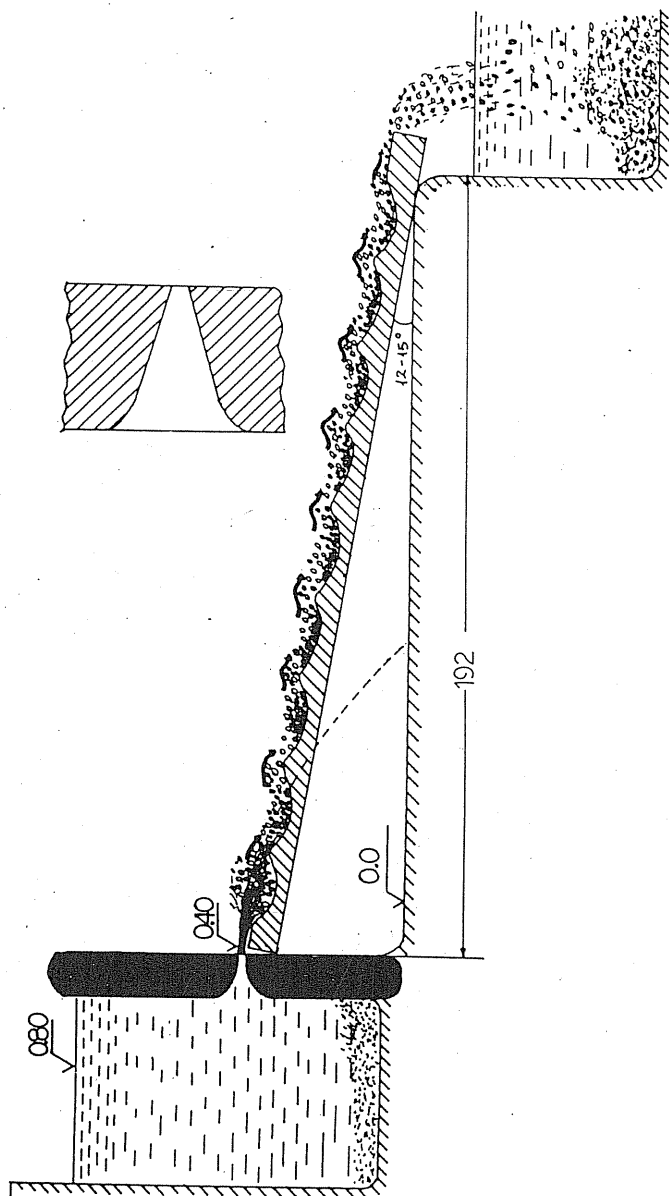
ΤΥΠΟΣ 1



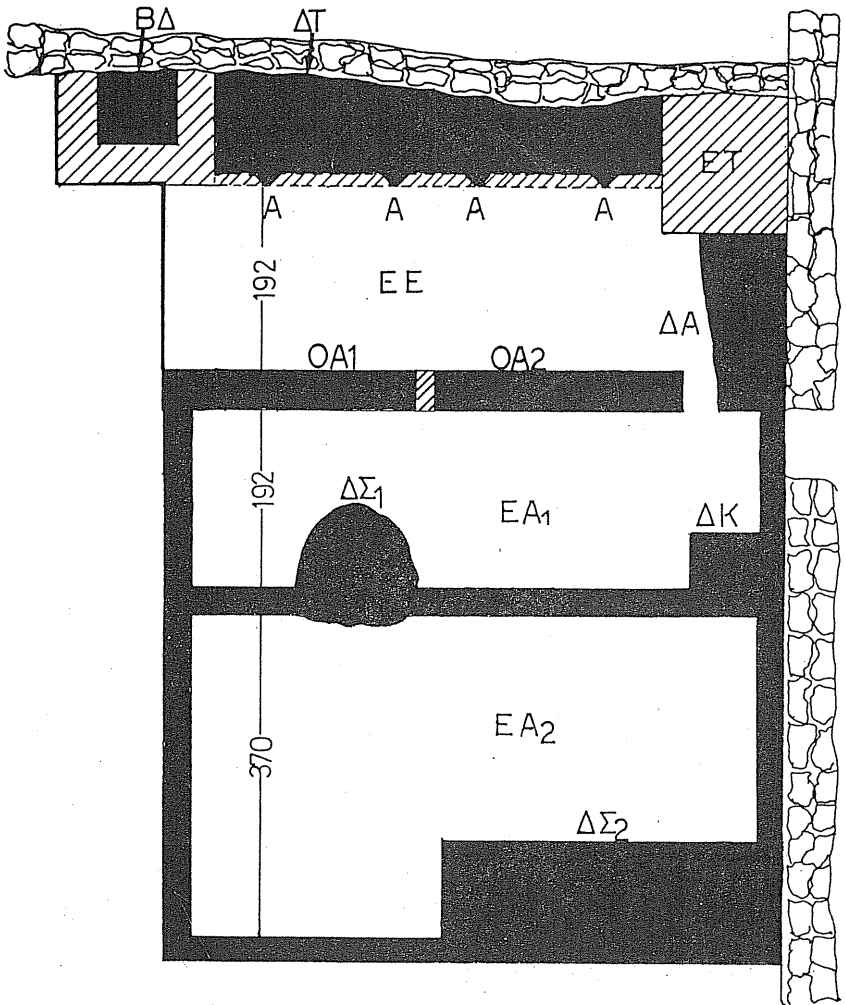
ΤΥΠΟΣ 2



Σχ. 1. Οι δυο τύποι των αρχαίων επιπέδων πλυντηρίων, όπως διακρίνονται στο βιβλίο «Το αρχαίο Λαύριο» (5). Η τομή αναφέρεται στον τύπο 1.

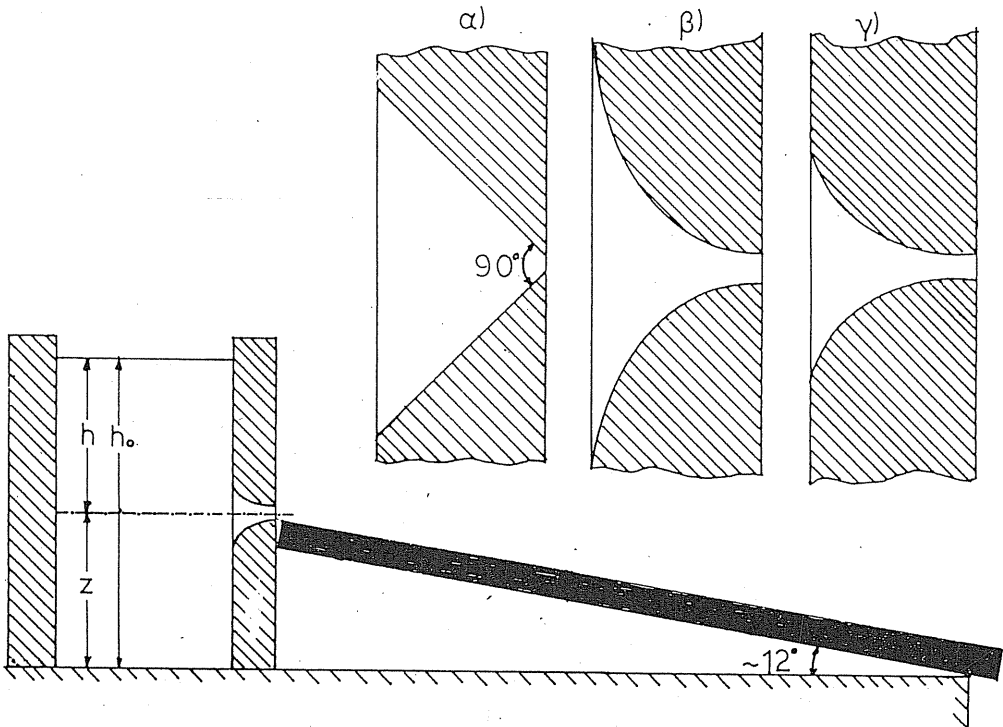


Σχ. 2. Αναπαράσταση του συστήματος εμπλουτισμού με τη δέξαμενή τροφοδοσίας που φέρει ακροφύσιο ροής νερού, το ρεθρο και το διάπεδο του εμπλουτισμού. Σε τομή δίδεται και μια τυπική μορφή ακροφυσίου.



Σχ. 3. Ένα αρκετά ιδιόμορφο πλυντήριο στην κοιλάδα της Σούρδας με δυο κυκλώματα καθαρισμού του νερού και με μια μικρή δεξαμενή αριστερά της δεξαμενής τροφοδοσίας.





Σχ. 4. Μορφή ακροφυσίων και χαρακτηριστικά μεγέθη που καθορίζουν τη ροή του νερού από τα ακροφύσια.

α) και β) είναι γνωστές μορφές ακροφυσίων από την φυσική, που έχουν αντίστοιχα συντελεστή συστολής της φλέβας  $c = 0.746$  και  $c = 1$ .

Η γ) είναι μια τυπική μορφή ακροφυσίου από την κοιλάδα της Σούρεζας και αντιστοιχεί σε ενδιάμεσο συντελεστή, όπως διαπιστώσαμε και πειραματικά.

$h$  = πιεζομετρικό ύψος νερού μέσα στη δεξαμενή,  $z$  = ολικό ύψος νερού.