

Μορφολογικά στοιχεία και τυποποίηση των αρχαίων επιπέδων πλυντηρίων

Μια ορθολογική διερεύνηση της «αρχιτεκτονικής» των εγκαταστάσεων εμπλουτισμού.

(Πρακτικά Δ΄ επιστημονικής συνάντησης ΝΑ. Αττικής)

του Γεωργίου Δ. Παπαδημητρίου

1. Εισαγωγή

Οι αρχαίες εγκαταστάσεις εμπλουτισμού μεταλλευμάτων στο Λαύριο απασχόλησαν πολλούς ερευνητές, αρχαιολόγους και αρχαιομεταλλουργούς: αρχίζοντας από τον Κορδέλλα, τον Νέγρη και ταον Ardaillon, οι οποίοι τα μελέτησαν πρώτοι (1-3), σταματώντας ιδιαίτερα στον καθηγητή Κονοφάγο, ο οποίος έδωσε πρώτος επιστημονικά θεμελιωμένη και εμπειριστατωμένη ερμηνεία του τρόπου λειτουργίας τους (4,5), και συνεχίζοντας με αρχαιολόγους, όπως οι Λιάγκουρας και Κακαβογιάννης, οι αρχαιολόγοι της Βελγικής αρχαιολογικής Σχολής, ο Jones, ο Ζορίδης, η Τσάμου, 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, πράγματι, 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 ως υποσημείωση στο βιβλίο του, πάνω στο Αρχαίο Λαύριο (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 αδιάπρωτο 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 ποιά τρόπο τις επέλεξαν οι αρχαίοι.
- 3) Να σημειώσω ορισμένες ιδιομορφίες που διαπίστωσα 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 ρεϊθρα. Η ερμηνεία αυτή είναι θεμελιωμένη επιστημονικά και απόλυτα αποδεκτή για έναν ειδικό του εμπλουτισμού μεταλλευμάτων. Αλλά πέραν αυτού, επιβεβαιώθηκε πρόσφατα και με δοκιμές από την κα Τσάμου στο Πολυτεχνείο (10). Η τεχνική αυτή έχει επίσης, αναφερθεί πολλές φορές και από αρχαίους συγγραφείς (5, 10).

Ο Γ. Δ. Παπαδημητρίου είναι καθηγητής στο Τμ. Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών του Ε.Μ.Π.

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

Τα επίπεδα πλυντήρια χρησιμοποιούν για τον εμπλουτισμό των μεταλλευμάτων αργυρούχου μολύβδου, δηλ. για την απομάκρυνση από το λειοτριβημένο μέταλλωμα των άχρηστων προσμιξεων, του στείρου, με τη βοήθεια ροής νερού. Πάνω σ' ένα ξύλινο ρεϊθρο όπου έρρεε νερό, τοποθετούνταν λειοτριβημένο μέταλλωμα και το ελαφρότερο στείρο συμπαρασύρονταν από το νερό, ενώ πάνω στο ρεϊθρο παρέμενε το βαρύτερο μέταλλωμα, κατάλληλο για μεταλλουργική κατεργασία. Το χρήσιμο μέταλλωμα που προέκυπτε από τον εμπλουτισμό (συμπύκνωμα), περιείχε τον μολύβδο και τον άργυρο.

Τυπικά, το χρήσιμο μέταλλωμα ήταν ανθρακικός μολύβδος, κερουσίτης, με μεγάλο ειδικό βάρος, ενώ το στείρο ήταν ασβεστόλιθος, χαλαζίας, φθορίτης και αργιλωδή υλικά με πολύ μικρότερο ειδικό βάρος. Τα αργιλωδή υλικά ιδιαίτερα, όταν αναμιχθούν με νερό, συντελούν στο 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, πλυντή).

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 αποτελεσματικότητά του διαχωρισμού.

2. Τυπολογία των αρχαίων πλυντηρίων

Στο βιβλίο «Το αρχαίο Λαύριο» (5), γίνεται διάκριση δύο τύπων επιπέδων πλυντηρίων, τα οποία δεν διαφέρουν ουσιαστικά ως προς την τεχνική του εμπλουτισμού, παρά μόνο 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 ρεϊθρων 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 υπερχείλιση του καθαρού νερού.
7. ΔΚ = Δεξαμενή τελικού καθαρισμού νερού με συμπύκνωση της ιλύος και υπερχείλιση του καθαρού νερού.
8. ΔΑ = Δεξαμενή ανακύκλωσης καθαρού νερού.
9. ΕΤ = Επίπεδο τροφοδοσίας νερού.

10. 01, 02, 03 = Οχετός.

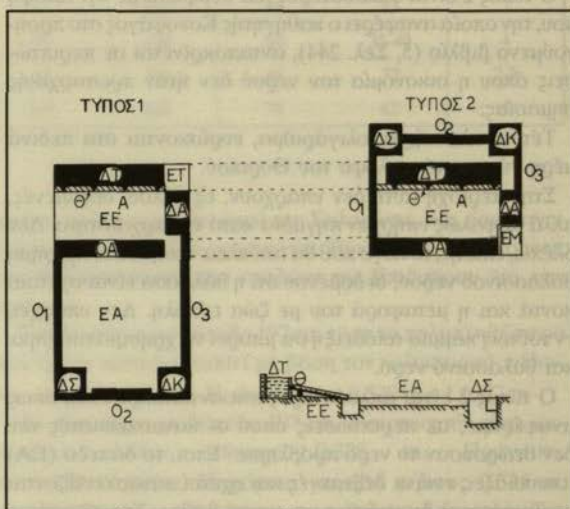
11. ΕΜ = Δάπεδο απόθεσης μεταλλεύματος ή συμπυκνώματος.

Οι βασικές διαφορές των δυο τύπων είναι οι εξής:

- 1) Από τον τύπο 2, απουσιάζουν το επίπεδο δάπεδο αποστράγγισης του πλυντή (ΕΑ) και το επίπεδο τροφοδοσίας του νερού (ΕΤ). Αντ' αυτών έχουμε ένα πρόσθετο δάπεδο (ΕΜ) που χρησιμοποιεί, 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 πλυντής που εξαγόταν από τις δεξαμενές καθίζησης (ΔΣ) και (ΔΚ) και από τους οχετούς (ΟΑ), 01, 02, 03, που περιβάλλοντο το δάπεδο, με σκοπό να στραγγίσει τελείως από το νερό, πριν απομακρυνθεί από το χώρο του πλυντηρίου και απορριφθεί.



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

Δείγματα προϊόντων που εξέτασα από την επιφάνεια του δαπέδου (ΕΑ) πολλών πλυντηρίων, έδειξαν πράγματι ότι το δάπεδο αυτό προοριζόταν για την αποστράγγιση του πλυντή, 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 το 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 κοιλότητα. Πρόβλημα

ανάκτησης νερού από το συμπύκνωμα δεν υπήρχε στην ουσία, επειδή 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 Σιμου, 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 (ΕΤ), ώστε το νερό κατά τη μετάγγισή του από τη 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 άδειαιζε πάνω στο επίπεδο (ΕΤ), 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 το διαχωρισμό λιγότερο εκλεκτικό. Για το λόγο αυτό, ήταν απαραίτητη η παρουσία του επιπέδου (ΕΤ).

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 καμμία 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 πρόβλημα. Έτσι, το δάπεδο (ΕΑ) απουσιάζει, ενώ οι δεξαμενές και οχετοί κατασκευάζονται με μικρότερες διαστάσεις και μικρό βάθος. Στο πλυντήριο αυτό, ο πλυντής απομακρύνεται βρεγμένος, 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 σκεφτούμε 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 εμπλουτίσιμα 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 επάρ-



κειας 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 καμμία εξέλιξη στη μορφή τους.

Στην περίπτωση που υπήρχε διαθέσιμο καθαρό τρεχούμενο νερό, είναι προφανές ότι μια ποσότητα ακάθαρτου νερού απομακρυνόταν συνεχώς με τον πλυντή 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.

Μελέτησα συστηματικά αρκετά πλυντήρια σε διάφορες περιοχές 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.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: Χαρακτηριστικές διαστάσεις πλυντηρίων (cm)

Α/Α	Δάπεδο ΕΕ	Ακροφύσια	Δεξαμενή τροφοδοσίας ΔΤ				ΟΑ	Οχετοί	Αριθμ.
	Πλάτος		Απόσταση	z	h	πλάτος	μήκος	πλάτος	
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

3. 1 Δάπεδο εμπλουτισμού ΕΕ.

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

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

Το πλάτος του σχετίζεται άμεσα με τη λειτουργία του εμπλουτισμού.

Σε διάφορες δημοσιεύσεις, που έχουν γίνει μέχρι σήμερα, αναφέρεται αβρίστα 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 εντειχι-

σμένη πλάκα αρχαίου ναού της Σαλαμίνας, και όπως αναφέρει, η ίδια μονάδα χρησιμοποιήθηκε, κατά τον Bronceer, 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 «αιγινήσιο πόδα» μήκους 0.328 m. Πράγματι, $6 \times 0.328 = 1.968$ m. Παρόμοια μονάδα μήκους 0.324 m, περιλαμβάνονταν 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 κλασικά 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, $6 \times 0.308 = 1.848$ m.

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 οχετού. Είτε έχουν φθαρεί, είτε η παρειά τους έχει εξοκολίει. Παρ' όλα 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 χρησιμοποίηση διαφορετικών μετρικών συστημάτων.

Θα μπορούσε, άραγε, η παρατήρηση αυτή να χρησιμοποιηθεί για τη χρονική οριοθέτηση της κατασκευής των πλυντηρίων, ή απλώς αντανάκλα 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 τη 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 καταστραφεί.

Φαίνεται, πάντως, ότι δεν είναι σταθερή.

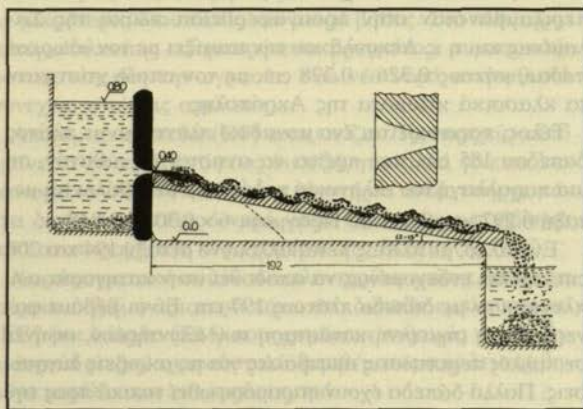
Στα πλυντήρια που ανασκάψαμε στη Σούρεζα, η κλίση είναι περί τα 2.5%, ενώ στο Θορικό (ανασκαφή Ζορίδη), το δάπεδο είναι σχεδόν οριζόντιο.

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



Σχ. 2. Αναπαράσταση του συστήματος εμπλουτισμού με τη δεξαμενή τροφοδοσίας που φέρει ακροφύσιο ροής νερού, το ρεϊθρο και το δάπεδο του εμπλουτισμού. Σε τομή δίδεται και μία τυπική μορφή ακροφυσίου.

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 ρεϊθρων να μπορούν να εργάζονται δυο εργάτες.

Επειδή τα θωράκια των περισσότερων πλυντηρίων είναι κατεστραμμένα, η απόσταση αυτή μετρήθηκε κατά τρόπο αρκετά αποσπασματικό. Μικρές αποκλίσεις στις αποστάσεις παρατηρούνται ακόμη και για το ίδιο το 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 - 155 cm. 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 μετρήσα, 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 ρεϊθρο 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 λογικά να τροφοδοτείται το λειτουργημένο μετάλλευμα για εμπλουτισμό.

Αυτό είναι ουσιαστικής σημασίας για τον εμπλουτισμό, επειδή το νερό εκτινάσσεται παράλληλα προς την επιφάνεια του ρεϊθρου 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 συ-

στήματος, δεν αλλοιώνει τις κλίσεις, διότι όλες οι διαστάσεις μεταβάλλονται ομοίωμορα.

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 λειοτριβήση. Αυτό προϋποθέτει βαθειά γνώση της τέχνης του εμπλουτισμού.

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

3. 3. Δεξαμενές και οχετοί

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

Ομοίως, δεν παρατηρείται καμμία 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.

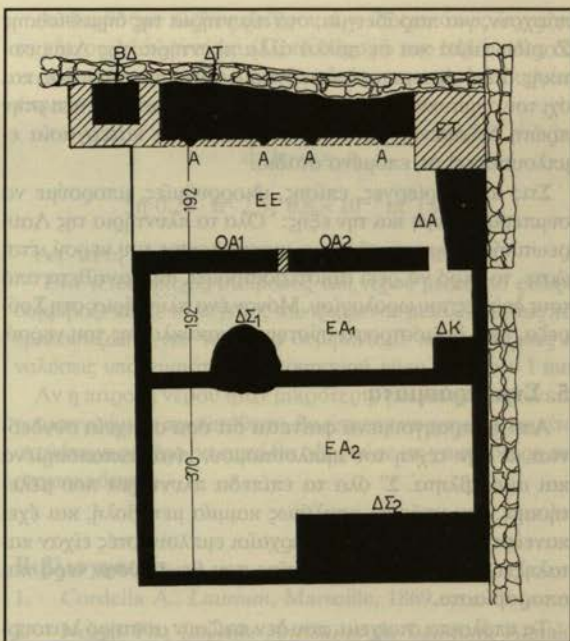
Η παροχή νερού που απαιτείται για τέτοια πλυντήρια είναι μεγάλη. Αν δεχθούμε ένα πλυντήριο με συνεχή και αδιάκοπη λειτουργία και με 4 ρείθρα, θα χρειαζόταν $4 \times 45 = 180$ λίτρα το λεπτό ή περί τα 11 κυβικά μέτρα την ώρα. Αν δεχθούμε ότι ο δούλος που τροφοδοτούσε το νερό από τη δεξαμενή νερού ΔΑ 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 Κονοφάκος 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 συ-



Σχ. 3. Ένα αρκετά ιδιόμορφο πλυντήριο στην κοιλάδα της Σούρεζας με δύο κυκλώματα καθαρισμού του νερού και με μία μικρή δεξαμενή, αριστερά της δεξαμενής τροφοδοσίας.

στήματος καθαρισμού του νερού (Σχ. 3). Θα πρέπει να υποθέσουμε ότι η πρωτοτυπία αυτή είχε 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 δεχτούμε 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 αναμειχθεί με τον υπόλοιπο πλυντή. 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 υ-

πάρχουν, για παράδειγμα, στα πλυντήρια της δημοσίευσης Ζοριόδη, αλλά και σε πολλά άλλα πλυντήρια της Λαυρεωτικής. Εδώ έχουμε ανακατεργασία του απορριμματος 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.

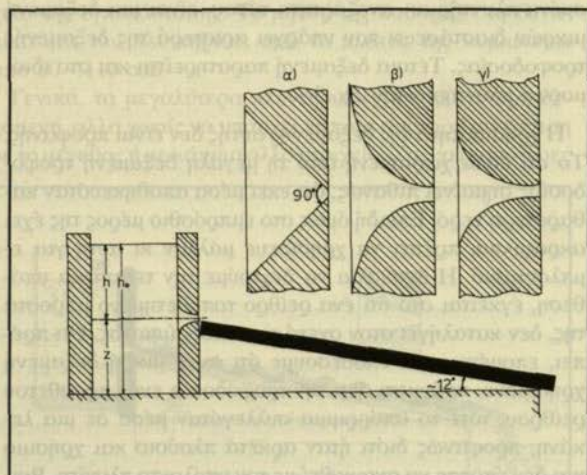
5. Συμπεράσματα

Από τα προηγούμενα φαίνεται ότι όσα στοιχεία συνδεόταν με την τέχνη του εμπλουτισμού, είναι τυποποιημένα και αμετάβλητα. Σ' όλα τα επίπεδα πλυντήρια που μελετήσαμε, δεν υπάρχει απολύτως καμμία 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 νοο.

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



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

α) και β) είναι γνωστές μορφές ακροφυσίων από τη φνοική, που έχουν αντίστοιχα συντελεστή συστολής της φλέβας $c = 0.746$ και $c = 1$. Η γ) είναι μία τυπική μορφή ακροφυσίου από την κοιλιάδα της Σούρεζας και αντιστοιχεί σε ενδιάμεσο συντελεστή, όπως διαπιστώσαμε και πειραματικά
 $h =$ πιεζομετρικό ύψος νερού μέσα στη δεξαμενή, $z =$ ολικό ύψος νερού.

μια «βάνανση» τέχνη ή ο σεβασμός προς τη συσσωρευμένη εμπειρία, σε συνδυασμό με το φόβο για το άγνωστο την καθιστούσε πράξη ιερή και απέκλειε κάθε νεωτερισμό; 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 παρακολούθουσαν να συντελείται η σταδιακή μεταλάγη της γης και των λίθων στο λαμπερό μέταλλο, τον άργυρο.

6. Παράρτημα υπολογισμών

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 ως 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 ευθύγραμμο 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 ενδιάμεση μεταξύ των περιπτώσεων α και β, και επομένως, έχει έναν ενδιάμεσο συντελεστή συστολής της υγρής φλέβας.

Η ταχύτητα ροής v , δίδεται από τον τύπο:

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

όπου,

$c =$ ο συντελεστής συστολής της υγρής φλέβας.

$b =$ διάμετρος του ακροφυσίου = 2 cm.

$h =$ το πιεζομετρικό ύψος = $ho - z = 0.4$ m

$ho =$ το ολικό ύψος του νερού = 0.8

Η παροχή νερού από το ακροφύσιο υπολογίζεται από τον τύπο :

$$q = c^* s^* v$$

όπου

$s =$ διατομή της οπής του ακροφυσίου.

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

για $c = 1$, $v = 2.8$ m/sec και $q = 52.75$ 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 επιδίωκαν να έχουν στενή φλέβα νερού με μεγάλη παροχή. Μπορούμε, επομένως, να

πούμε ότι η ταχύτητα εξόδου του νερού στη διατομή που έχει υποστεί διαστολή, 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 :

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

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

Για x = 10 cm προκύπτει φ = 7.2 μοίρες.

Για x = 15 cm προκύπτει φ = 10.7 μοίρες.

Για x = 20 cm προκύπτει φ = 14.14 μοίρες.

Δηλ., σε απόσταση 10 έως 20 cm από την πρόσθια όψη της δεξαμενής 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:

$$\begin{aligned} \text{tga} &= (\text{ύψος οπών}) / (\text{πλάτος δαπέδου}) = \\ &= 0.40 / 1.92 = 0.21 \Rightarrow \varphi = 11.8 \text{ μοίρες.} \end{aligned}$$

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 αδαεύει 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 εμπλουτιζόταν, 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.

Βιβλιογραφία

1. Cordella A., *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' Antiquité*, 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 (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. Τσαϊμού Ίνα., *Εργασία και Ζωή στο Αρχαίο Λαύριο σε εγκατάσταση εμπλουτισμού μεταλλευμάτων τον 4ο αιώνα π.Χ.* (Διδακτορική Διατριβή), Εργαστήριο Μεταλλογνωσίας Ε.Μ.Π., 1988.