

Γεώργιος Δ. Παπαδημητρίου

Ομότιμος Καθηγητής Ε.Μ.Πολυτεχνείου

Ανιχνεύοντας το μεταλλευτικό και μεταλλουργικό τοπίο και την ιστορία της Λαυρεωτικής από το τέλος του 4ου έως τον 1ο αιώνα π.Χ.

1. Εισαγωγή

Η ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΚΗ ιστορία της Λαυρεωτικής κατά την ελληνιστική και ρωμαϊκή περίοδο έχει ελάχιστα ερευνηθεί. Για τις περιόδους αυτές επικρατεί η άποψη ότι από τα τέλη του 4ου π.Χ. αιώνα αρχίζει πτώση της μεταλλευτικής βιομηχανίας που οδηγείται τελικά σε πλήρη παρακμή (βλέπε π.χ. Mussche H.F. 1970, 134-135, Κονοφάγος Κ. 1980, 116-122). Οι ισχυρές αναταράξεις και διακυμάνσεις της μεταλλευτικής και μεταλλουργικής δραστηριότητας στους τρεις αιώνες που ακολούθησαν την κλασική εποχή θεωρούνται – ελλείψει άλλων στοιχείων – ότι ακολουθούν εκ του σύνεγγυς τις περιόδους βαθείας κρίσης και παρακμής της πόλης των Αθηνών με τις ενδιάμεσες αναλαμπές της. Καμία αναφορά δεν γίνεται στη νεότερη τεχνολογία της Λαυρεωτικής, με την οποία, ωστόσο, οι Μεταλλευτές του Λαυρίου αντέδρασαν κατά την ταραγμένη περίοδο πολέμων, σκληρής επιτροπείας και περιορισμών της οικονομικής ελευθερίας, στα οποία εξαναγκάστηκαν αρχικά από τους Μακεδόνες και κατόπιν από τους Ρωμαίους.

Στο παρόν άρθρο θα προσπαθήσουμε να ανιχνεύσουμε τις τεχνολογικές διεξόδους τις οποίες επιτόνησαν οι μεταλλευτές του Λαυρίου για παραγωγή αργύρου υπό συνθήκες που οδήγησαν κατά περιόδους τις μεταλλευτικές και μεταλλουργικές δραστηριότητες σε υποβάθμιση ως πλήρη αδράνεια.

Η παρούσα εργασία δεν θα είχε καταστεί δυνατή χωρίς τις ανασκαφικές εργασίες των τελευταίων σαράντα περίπου ετών, και ιδιαίτερος εκείνων που συνοδεύονται από τεκμηριωμένες χρονολογήσεις. Τα στοιχεία των ανασκαφών επέτρεψαν να διακρίνουμε τους τεχνολογικούς νεωτερισμούς που ανήκουν αποκλειστικά στη

μετακλασική περίοδο, να ερμηνεύσουμε τον ρόλο τους και να ανασυστήσουμε την τεχνολογική ιστορία της Λαυρεωτικής, τοποθετώντας την μέσα στο αποδεκτό ιστορικό της πλαίσιο.

2. Το τέλος του 4ου αιώνα π.Χ.

Ως βασικές αιτίες της παρακμής των Μεταλλείων μπορούν να θεωρηθούν καταρχήν η Μακεδονική κηδεμονία και η πολιτική αστάθεια που επεκράτησαν στην Αθήνα κατά τη μετάβαση από την κλασική στην ελληνιστική περίοδο. Κατά κακή συγκυρία, τα κοιτάσματα που ήταν κοντά στην επιφάνεια είχαν εξαντληθεί και η εκμετάλλευση γινόταν ολοένα πιο δυσχερής, καθώς τα μεταλλευτικά έργα προχωρούσαν συχνά σε βάθος άνω των 100 m, όπου συναντούσαν ενδεχομένως τον υδροφόρο ορίζοντα. Κατά συνέπεια οι επενδύσεις στα Μεταλλεία δεν ήταν πλέον ελκυστικές. Η τελευταία αναλαμπή της μεταλλείας σημειώθηκε στη δεκαετία 317-307, επί Δημητρίου Φαληρέως, αλλά, μετά την πώση του, έπαυσαν οριστικά οι δημόσιες παραχωρήσεις από το Κράτος προς ιδιώτες το 307 π.Χ. (Crosby M. 1950, 190). Η εξόρυξη μεταλλεύματος είχε αρχίσει πλέον να φθίνει και μαζί με αυτήν η παραγωγή αργύρου.

3. Ο 3ος αιώνας π.Χ. – Παύση λειτουργίας των Μεταλλείων

Τα Μεταλλεία άρχισαν να κλείνουν μέσα στο πρώτο ήμισυ του 3ου π.Χ. αιώνα. Το 299, στη διάρκεια ναυτικού αποκλεισμού που επέβαλε στην Αθήνα ο Δημήτριος Πολιορκητής, ο στρατηγός Λακάρης αναγκάστηκε να αφαιρέσει τον χρυσό πέπλο της Αθηνάς από τον Παρθενώνα και να κόψει νόμισμα για να πληρώσει τον μισθοφορικό του στρατό, απόδειξη ότι το Λαύριο δεν παρήγε πλέον αρκετόν άργυρο. Η υπόθεση αυτή ενισχύεται από την εγκατάλειψη περί το 295 π.Χ. της άμεσα συνδεδεμένης με τα μεταλλεία πόλης του Θορικού, όπως επιβεβαιώνεται από χρονολόγηση θησαυρού που βρέθηκε στις ανασκαφές της Βελγικής Αρχαιολογικής Σχολής. Ωστόσο κάποιες εκμεταλλεύσεις Μεταλλείων πρέπει να επέζησαν για μερικές δεκαετίες ακόμη, σύμφωνα με το γεγονός ότι ο Αντίγονος Γονατάς, αφού κατέλαβε την Αθήνα κατά τον Χρεμωνίδειο πόλεμο, επέβαλε το 262 π.Χ. απαγόρευση κοπής νομισμάτων. Αυτό φαίνεται πως οδήγησε σε αργία και τα τελευταία ενεργά Μεταλλεία. Μέσα σε στοές του «Μεταλλείου Νο 3» στον Θορικό βρέθηκαν λύχνιοι που χρονολογούνται το αργότερο μέχρι το 260 π.Χ. και τα όστρακα των ανασκαφών δεν ξεπερνούν το 1ο ήμισυ του 3ου π.Χ. αιώνα (Mortier S., 2011, 130).

Όσον αφορά στα αρχαία εργαστήρια εμπλουτισμού, πολλά από αυτά εγκαταλείφθηκαν περί το τέλος του 4ου αιώνα, ενδεχομένως προσωρινά (Ζορίδης Π.

1982, 84, Οικονομάκου Μ., 1996, 69), ως συνέπεια της παύσης των Μεταλλείων στα οποία ήταν προσαρτημένα. Τούτο μαρτυρούν οι επιχώσεις που κάλυψαν το δάπεδο τους: ενώ στη βάση τους ανευρίσκονται όστρακα της κλασικής περιόδου και ιδίως του δεύτερου μισού του 4ου αιώνα π.Χ., μέσα και πάνω σε αυτές ανευρίσκονται συνήθως χονδροειδή όστρακα καθημερινής χρήσης, που υποδηλώνουν την έναρξη μιας μεταγενέστερης φάσης, κατά την οποία η ταξική σύνθεση των ανθρώπων που εργάζονταν και ενδεχομένως διέμεναν στα εργαστήρια άλλαξε. Η φάση αυτή χαρακτηρίζεται επίσης από μετασκευές των πλυντηρίων και μικρής κλίμακας μεταλλουργικές δραστηριότητες. Στις περιπτώσεις που έχει χρονολογηθεί, εκτείνεται στους ελληνιστικούς και στους ρωμαϊκούς χρόνους, όπως π.χ. στην Αγία Τριάδα (Κακαβογιάννης Ε. 1984, 51), στη Γαϊδουρόμαντρα (Λιάγκουρας Α., Κακαβογιάννης Ε., 1976, 36) και αλλού. Σε λίγες, μάλιστα, περιπτώσεις διαπιστώνεται και στους ύστερους ρωμαϊκούς χρόνους (Κονοφάγος 1980, 385, Docter R., Monsieur P., van de Put W., 2011, 119, Fig. 42).

4. Ο 2ος αιώνας π.Χ. — Ανάκαμψη μεταλλευτικών και μεταλλουργικών δραστηριοτήτων

Μετά από μία μακρά περίοδο εγκατάλειψης των μεταλλείων και των περισσότερων εργαστηρίων, η έναρξη ανάκαμψης συμπίπτει με τις αρχές του 2ου αιώνα π.Χ., όταν οι Αθηναίοι ανέκτησαν σε κάποιο βαθμό την ανεξαρτησία τους. Το 229 π.Χ. επανέκτησαν τη Μουνικία (λόφο της Καστέλλας) και τον έλεγχο του Πειραιά, ενώ το 197 συμμετείχαν στο πλευρό των Ρωμαίων στη μάχη που κατέληξε σε ήττα των Μακεδόνων στις «Κυνός Κεφαλές». Έτσι από το 196 π.Χ. η Αθήνα άρχισε και πάλι να κόβει νομίσματα, τα αργυρά τετράδραχμα «new style».

Αν και αναγεννήθηκαν τα κίνητρα για παραγωγή αργύρου, είναι αμφίβολο αν τα Μεταλλεία επανήλθαν αμέσως σε λειτουργία, καθώς απαιτούν χρόνο για έρευνα και προετοιμασία της εκμετάλλευσης, κατά μείζονα λόγο όταν στο διάστημα των πενήντα και πλέον ετών αργίας είχε πρακτικά εκλείψει το έμπειρο προσωπικό για να τα επανδρώσει. Η κατάσταση αυτή φαίνεται ότι έστρεψε αρκετούς μικρούς επιχειρηματίες προς την αξιοποίηση παλαιών απορριμμάτων, δηλ. στην ανακύκλωσή τους. Η επιχείρηση αυτή ήταν σαφώς ευκολότερη από την εκμετάλλευση των Μεταλλείων και χωρίς επιχειρηματικούς κινδύνους, διότι απορρίμματα υπήρχαν άφθονα σε πολλές θέσεις και ήταν ορατά στην επιφάνεια του εδάφους, σε αντίθεση με τα υπόγεια κοιτάσματα. Επιπλέον δεν απαιτούσε επενδύσεις ούτε πολυάριθμο προσωπικό και σε μερικές περιπτώσεις γίνονταν ακόμη και πάνω στα ερείπια των εργαστηρίων της κλασικής περιόδου, όπου σώζονταν τα απολύτως αναγκαία: σημαντικό μέρος του εξοπλισμού θραύσης-λειτουργίωσης και τα πλυντήρια με τις δεξαμενές τους. Το μόνο που χρειαζόνταν ήταν η διαθεσιμότητα τεχνιτών

με εμπειρία στον εμπλουτισμό, αλλά τέτοια άτομα ασφαλώς υπήρχαν, καθώς ανάλογες δραστηριότητες δεν σταμάτησαν ποτέ σε μικρή κλίμακα. Η ανεύρεση σχεδόν αποκλειστικώς χονδρών χρυσικών οστράκων μέσα στις επιχώσεις της ελληνιστικής και ρωμαϊκής περιόδου που εκάλυπταν τα εργαστήρια της κλασικής εποχής, όπως για παράδειγμα στα Εργαστήρια 1-5 της ΕΒΟ, στα οποία εντοπίστηκαν και υπολείμματα λιθαργύρων (Κακαβογιάννης Ε., 1983, 55-57) και σε Εργαστήρια της Αγίας Τριάδας, (Κακαβογιάννης Ε., 1984, 50-55), καθιστά αποδεκτή μία τέτοια εικόνα. Ο Κορδέλλας αναφέρει την εύρεση αργυρού διόβολου του 196-187 π.Χ. σε εκσκαφή κοντά στα Μεταλλοπλύσια της ΕΕΜΕΛ (Κορδέλλας 1894, 239). Αλλά και στον Θορικό επιβεβαιώνεται για το διάστημα 210-170 π.Χ. η επανακατοίκηση του βιομηχανικού χωριού, άμεσα συνδεδεμένη με μεταλλευτικές και μεταλλουργικές δραστηριότητες, όπως προκύπτει από τη χρονολόγηση κεραμικής που βρέθηκε σε δεξαμενή-αποθήκη (Docter R., Monsieur P., van de Put W., 2011, 119, Fig. 42).

Είναι, επομένως, πιθανόν ότι από τις αρχές του 2ου αιώνα π.Χ. άρχισαν σταδιακά να λειτουργούν και Μεταλλεία, ωστόσο, δεν υπάρχει προς το παρόν καμία αρχαιολογική επιβεβαίωση, σε αντίθεση με τη λειτουργία των εργαστηρίων που αναφέραμε. Τίθεται, επομένως, το ερώτημα: αν τα μεταλλεία υπολειπούνταν ή παρέμεναν αδρανή, ποιες ακριβώς ήταν οι πρώτες ύλες που υποβάλλονταν σε κατεργασία στα εργαστήρια και με ποια τεχνολογία. Αυτό θα προσπαθήσουμε να προσδιορίσουμε στο επόμενο κεφάλαιο.

5. Η ανακύκλωση απορριμμάτων

Η ανακύκλωση απορριμμάτων είναι ιστορικά βεβαιωμένο γεγονός, σύμφωνα με την αναφορά του Στράβωνα που, περιοδεύοντας την Αττική, περιέγραψε επιγραμματικά την κατάσταση παρακμής των Μεταλλείων της Λαυρεωτικής στο τέλος του 1ου αιώνα π.Χ. (Στράβων *Αττικά* 9.1.23).

Σε ελεύθερη μετάφραση:

«Τα δε Μεταλλεία αργύρου της Αττικής καταρχάς ήταν αξιόλογα, τώρα όμως έχουν εξαντληθεί. Γι' αυτό οι εργαζόμενοι, αφού η εκμετάλλευση απέδιδε ελάχιστα, εκαμίνευαν ξανά τις παλιές εκβολάδες και σκωρίες, και εύρισκαν ακόμη από αυτές με καθαρισμό άργυρο, επειδή οι αρχαίοι εκαμίνευαν με απειρία».

Σύμφωνα με το κείμενο, κατά τον 1ο αιώνα π.Χ. — και ασφαλώς αυτό είχε αρχίσει πολύ ενωρίτερα —, η βασική πηγή αργύρου ήταν η ανακύκλωση απορριμμάτων και όχι η εξόρυξη μεταλλεύματος από τα Μεταλλεία. Θα πρέπει λοιπόν, προς στήριξη αυτής της ιστορικής μαρτυρίας, να αναζητήσουμε αντίστοιχα επιστημονικά και αρχαιολογικά τεκμήρια.

Με βάση τις γνώσεις μας από τη Μεταλλουργία, τα απορρίμματα στα οποία αναφέρεται ο Στράβων δεν μπορεί παρά να ήταν οι εκβολάδες, οι σκωρίες και ο

λιθάργυρος. Εκβολάδες ήταν υλικό που είχε εξαχθεί από τα Μεταλλεία κατά την κλασική περίοδο και είχε απορριφθεί μετά από χειροδιαλογή, καθώς αποτελούσαν από τεμάχια στείρου με λίγο μετάλλευμα, περιεκτικότητας μόνο 3-10% σε μόλυβδο. Η κατεργασία των εκβολάδων στην περίοδο της ακμής δεν συνέφερε και γι' αυτό εγκαταλείπονταν σε σωρούς γύρω από την είσοδο στοών και το στόμιο φρεάτων, Σχ. 1. Στην ίδια κατηγορία εμπίπτουν και οι πλυνίτες, δηλ. το απόρριμμα της κατεργασίας στα επίπεδα πλυντήρια, αλλά αυτοί ήταν σε μορφή χονδρής άμμου, καθότι το μετάλλευμα είχε προηγουμένως τριφτεί σε μέγεθος κάτω των 3mm για να υποστεί εμπλουτισμό. Σκωρίες είναι τα απορρίμματα των καμίνων παραγωγής αργυρούχου και εμπορικού μολύβδου. Καθώς, όμως, το αρχαίο κείμενο δεν έχει τεχνικό χαρακτήρα, είναι λογικό να δεχθούμε ότι με τον όρο «σκωρίες» ο Στράβων εννοούσε όλα ανεξαιρέτως τα απορρίμματα της μεταλλουργίας, τα οποία βρισκόταν σε σωρούς γύρω από τα παλιά εργαστήρια καμίνων. Επομένως σε αυτές πρέπει να συμπεριληφθεί και ο λιθάργυρος, είδος σκωρίας που προκύπτει από τη διαδικασία της κυπέλλωσης, για τον οποίο δεν γίνεται ιδιαίτερη μνεία από τον Στράβωνα. Ο Κορδέλλας παρατήρησε (Cordella A., 1871, 104) ότι λιθάργυροι ευρίσκονταν συχνά αναμεμιγμένοι στους σωρούς των σκωριών, πράγμα που υποδηλώνει ότι κάμινοι τήξεως και κάμινοι κυπέλλωσης συνυπήρχαν στα αρχαία μεταλλουργικά συγκροτήματα της κλασικής περιόδου. Ο λιθάργυρος δεν είναι ακριβώς απόρριμμα, αλλά –δυσνητικά– ενδιαμέσο μεταλλουργικό προϊόν από το οποίο μπορούσε να παραχθεί εμπορικός μόλυβδος (Παπαδημητρίου Γ.Δ., 1995, 246). Από λιθάργυρο κατασκευάζονταν επίσης τα στεγανωτικά επιχρίσματα των δεξαμενών (Paradimitriou G., Kordatos J., 1990) και παρασκευάζονταν ορισμένα φαρμακευτικά σκευάσματα (Παπαδημητρίου Γ.Δ., 1995, 251, Rehren Th., Vanhove D., Mussche H., Oikonomakou M., 1999, 306). Ωστόσο οι χρήσεις αυτές δεν ήταν αρκετά εκτεταμένες για να εξαντλήσουν ολόκληρη την ποσότητα λιθαργύρου που παρήχθη κατά την κλασική περίοδο, συνολικά περί τους 1,7 εκατομύρια τόνους (Κονοφάγος Κ., 1980, 148). Επομένως, σημαντικές ποσότητες λιθαργύρου είχαν απομείνει αχρησιμοποίητες σε σωρούς πλησίον των συγκροτημάτων καμίνων.

Ως προς τη σημασία και τις δυνατές μεθόδους ανακύκλωσης του λιθαργύρου για παραγωγή αργύρου και μολύβδου, έχω αναπτύξει το θέμα σε προηγούμενες δημοσιεύσεις (Παπαδημητρίου Γ., 2015, Paradimitriou G.D., 2016), ώστε εδώ θα αναφερθώ συνοπτικά. Ο πλακοειδής λιθάργυρος, που προέρχεται από την κυπέλλωση του αργυρούχου μολύβδου, περιέχει σημαντικό αριθμό μεταλλικών εγκλεισμάτων μολύβδου πλουσιότατων σε άργυρο, που παρασύρθηκαν κατά την απομάκρυνσή του από την κουπέλλα (Paradimitriou G.D., 2008, 805-808). Πρόκειται για μεταλλικά ψήγματα, στην πλειονότητά τους λεπτότερα των 0,5 mm, αλλά μερικά φτάνουν σε μέγεθος το 1 mm και είναι ευδιάκριτα «διά γυμνού οφθαλμού» ως γκρίζα σωματίδια μέσα στην ερυθροκίτρινη μάζα του λιθαργύρου, Σχ. 2. Οι

αρχαίοι μεταλλουργοί αντελήφθησαν την παρουσία τους στον λιθάργυρο από τον 4ο αιώνα π.Χ., και αναγνώρισαν ότι συνιστούν σημαντική απώλεια αργύρου, Σχ. 3 α, β. Αυτός είναι, άλλωστε, ο λόγος για τον οποίο χρησιμοποίησαν την τεχνική απομάκρυνσης του λιθαργύρου από την κουπέλλα με σιδερένιες ράβδους, που αν και χρονοβόρα, εφαρμόζονταν συστηματικά, διότι οδηγούσε σε λιθαργύρους πρακτικά χωρίς μηχανικά εγκλείσματα, τους γνωστούς σωληνοειδείς λιθαργύρους. Σύμφωνα με εκτίμηση του Κ. Κονοφάγου, την αφαίρεση του λιθαργύρου από την κουπέλλα με ξάφρισμα διαδεχόταν η αφαίρεσή του με σιδερένιες ράβδους, όταν η περιεκτικότητα του λουτρού αργυρούχου μολύβδου σε άργυρο έφθανε περίπου στο 2% (Κ. Κονοφάγος, 1980, 310). Σε πολλά δείγματα πλακοειδών λιθαργύρων που εξέτασα στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο με μικροανάλυση, εντόπισα ψήγματα Ag/Pb με περιεκτικότητες 3 έως 5% σε άργυρο, πράγμα που –ως τάξη μεγέθους– επιβεβαιώνει την προηγούμενη εκτίμηση.

Τα αργυρούχα εγκλείσματα που διέφευγαν ως απώλεια μέσα στους πλακοειδείς λιθαργύρους οι αρχαίοι μεταλλουργοί μπορούσαν να τα ανακτήσουν, εφόσον το έκριναν συμφέρον. Η διαδικασία που ακολουθούσαν συμπίπτει απολύτως με τη διαδικασία ανάκτησης χρυσού που βρίσκεται διάσπαρτος σε μορφή ψηγμάτων μέσα σε συμπαγή χαλαζιακά πετρώματα, όπως περίπου την περιγράφει ο Διόδωρος ο Σικελιώτης για την Αίγυπτο (III, 12-14). Καταρχήν έπρεπε να λειοτριβήσουν τον λιθάργυρο κάτω των 0,5 mm ώστε να αποδεσμεύσουν τα εγκλείσματα από τη μάζα του και εν συνεχεία να τα διαχωρίσουν στα επίπεδα πλυντήρια, όπως περίπου έκαναν προηγουμένως και με τον εμπλουτισμό μεταλλεύματος.

Μετά τον διαχωρισμό στα επίπεδα πλυντήρια, το συμπύκνωμα των ψηγμάτων, δηλ. το βαρύ κλάσμα, ήταν μικρή ποσότητα σε όγκο και αναμειγνυόταν ασφαλώς με κατάλληλη ποσότητα μολύβδου και ίσως με λίγο κάρβουνο για να υποβληθεί σε κυπέλλωση για την εξαγωγή του αργύρου. Το ελαφρύ κλάσμα του διαχωρισμού, δηλ. η τριμμένη μάζα του λιθαργύρου, η απαλλαγμένη ψηγμάτων (που θα ονομάζουμε εν συνεχεία απαργυρωμένο λιθάργυρο), ήταν ποσότητα λίγο μικρότερη από την αρχική της τροφοδοσίας, με πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε άργυρο (100-200 gr Ag/tn Pb). Και βεβαίως δεν απορρίπτονταν, αλλά τροφοδοτούνταν στις φρεατώδεις καμίνους τίξεως για την παραγωγή εμπορικού μολύβδου. Ο μολύβδος είχε ανέκαθεν αξία, αλλά ιδιαίτερα στα ελληνιστικά και στα ρωμαϊκά χρόνια απέχτησε μεγαλύτερη ζήτηση και πολλαπλάσια τιμή, επειδή χρησιμοποιούνταν για αγωγούς στα υδραγωγεία. Συμπερασματικά, από την κατεργασία ανακύκλωσης του λιθαργύρου δεν προέκυπτε κανένα απόρριμμα, αλλά δύο χρήσιμα προϊόντα. Από το βαρύτερο εξάγονταν ο άργυρος και από το ελαφρύτερο ο εμπορικός μολύβδος.

Η υπόθεση αυτή επιβεβαιώνεται από την ανεύρεση υπολειμμάτων λεπτά τριμμένου λιθαργύρου στις ανασκαφές πολλών αρχαίων εργαστηρίων. Τριμμένος λιθάργυρος αναφέρεται για πρώτη φορά από τον Κορδέλλα, ο οποίος τον εντόπισε σε

μορφή «ψηγμάτων ή λεπτοτάτων πετάλων» μέσα σε απορρίμματα των «μεταλλοπλουσίων», δηλ. σε πλυνίτες (Κορδέλλας, 1894, 238). Σύμφωνα με τη νεότερη βιβλιογραφία, τριμμένος λιθάργυρος εντοπίστηκε σε πολλές ανασκαφές εργαστηρίων: βρέθηκε σε πλυντήριο των ανασκαφών της Αγγλικής Αρχαιολογικής Σχολής στην Αγκιλέζα (Photos-Jones E., Jones J.E., 1994, 338 και 348-350). Επίσης εντοπίστηκε στο πλυντήριο 1 των ανασκαφών της Βελγικής Αρχαιολογικής Σχολής στον Θορικό και σε ανασκαφές της 2ης Εφορείας Αρχαιοτήτων Αττικής πλησίον του Θορικού (οικόπεδο Μέξα) (Rehren Th. Vanhove D., Mussche H., Οικονομακού Μ., 1999, 302 και 304). Επρόκειτο για απαργυρωμένο λιθάργυρο με περιεκτικότητα σε άργυρο που δεν υπερέβαινε τα 100-200 gr Ag/tn Pb. Τέλος βρέθηκε στα κυκλικά τριβεία στο Αρύ (Τσαίμου Γ.Κ., 2008, 437) και ταυτοποιήθηκε από τον γράφοντα στα κυκλικά τριβεία των Μεγάλων Πεύκων και σε πολλά επίπεδα πλυντήρια που δεν έχουν ανασκαφεί.

Αξίζει να αναφερθεί η περίπτωση στις ανασκαφές του Πολυτεχνείου στη Σούρρεζα, στο Εργαστήριο του Σίμου, όπου εντοπίστηκαν αφενός τριμμένος λιθάργυρος πλούσιος σε άργυρο έτοιμος να υποστεί την κατεργασία διαχωρισμού στο επίπεδο πλυντήριο και αφετέρου τριμμένος λιθάργυρος από τον οποίον είχαν ήδη αφαιρεθεί τα ψήγματα αργύρου (απαργυρωμένος). Ο πρώτος είχε υψηλή περιεκτικότητα σε άργυρο, 601 ppm (Ag/Pb=914 gr/t), είχε δηλ. κατά πάσα πιθανότητα προέλθει από επιλεγμένα τεμάχια λιθαργύρου, πλούσια σε εγκλείσματα. Βρέθηκε ως υπόλειμμα σωρού μέσα σε δωμάτιο εφαπτόμενο του πλυντηρίου που περιείχε ένα παλινδρομικό τριβείο τύπου Ολύθου, και του οποίου το δάπεδο και οι τοίχοι ήταν επιμελώς επιχρισμένα. Είναι προφανές ότι το δωμάτιο χρησίμευσε ως χώρος λειοτριβήσης και προσωρινής αποθήκευσης του πολύτιμου τριμμένου υλικού, που προοριζόταν να τροφοδοτηθεί στο παρακείμενο επίπεδο πλυντήριο. Ο δεύτερος τριμμένος λιθάργυρος είχε αποτεθεί σε σωρό έξω από το πλυντήριο και περιείχε πολύ λιγότερο άργυρο 134 ppm (Ag/Pb= 201gr/t), ήταν δηλ. το ελαφρύ κλάσμα της διαδικασίας διαχωρισμού, Σχ. 4. Βεβαίως στην εποχή των ανασκαφών, 1977-78, δεν ήταν δυνατόν να δοθεί απάντηση στην παρουσία των δύο τριμμένων λιθαργύρων (Κονοφάγος Κ., 1980, 273), καθώς τα δεδομένα του προβλήματος ήταν ακόμη εξαιρετικά ελλιπή.

Η συχνότητα και σε μερικές περιπτώσεις η σημαντική ποσότητα των εμφανίσεων τριμμένου λιθαργύρου δείχνει ότι δεν προορίζονταν για μια περιορισμένης έκτασης χρήση, όπως π.χ. για παραγωγή φαρμακευτικών σκευασμάτων. Εξάλλου, είναι δύσκολο να βρεθεί πειστική εκδοχή που να δικαιολογεί την πραγματικά αινιγματική λειοτριβήση του λιθαργύρου από τους αρχαίους, πέραν της διαδικασίας ανάκτησης των ψηγμάτων αργύρου. Η λειοτριβήση είναι επίπονη, χρονοβόρα και δαπανηρή εργασία και επομένως δικαιολογείται μόνον ως τμήμα μιας εξαιρετικά κερδοφόρου διαδικασίας, δηλ –όπως αποδείξαμε – της παραγωγής αργύρου.

Αν, αντιθέτως, κάνουμε την υπόθεση εργασίας ότι ο λιθάργυρος χρoσίμευε μόνον ως πρώτη ύλη για παραγωγή εμπορικού μολύβδου, οι αρχαίοι θα τον χρησιμοποιούσαν ως είχε, υπό μορφήν χονδρών τεμαχίων, χωρίς να τον τρίψουν. Είναι, πράγματι, γνωστό ότι η λειτουργία των καμίνων τήξεως προϋποθέτει τη χρήση φορτίου αδρομερών υλικών, διότι τα λεπτόκοκκα υλικά και οι σκόνες προκαλούν απόφραξη (μπούκωμα της καμίνου) παρεμποδίζοντας τον ελκυσμό. Για τον λόγο αυτό, άλλωστε, ο απαργυρωμένος λιθάργυρος που ήταν σε μορφή λεπτής άμμου, πριν οδηγηθεί στις καμίνους τήξης με σκοπό την παραγωγή εμπορικού μολύβδου, έπρεπε να ανακατευθεί με άργιλο και νερό και να μορφοποιηθεί σε μπρικέτες.

Σημαντικές πληροφορίες για την τεχνολογία της ανακύκλωσης παρέχει, επίσης, η κοκκομετρία των τριμμένων λιθαργύρων. Στα δύο δείγματα του Ασκληπιακού που αναφέραμε, το μεγαλύτερο μέρος του υλικού αποτελείται από χοντρούς κόκκους που φτάνουν τα 3 mm, ενώ για ικανοποιητική αποδέσμευση το σύνολο θα έπρεπε να είναι λεπτή σκόνη κάτω των 0,5 mm. Αυτό οφείλεται στο ότι τα παλινδρομικά τριβεία τύπου Ολύνθου, τα οποία ήταν διαθέσιμα στα συγκροτήματα των πλυντηρίων, δεν είχαν τη δυνατότητα να τον τρίψουν λεπτότερο. Χρoσίμευαν, ως γνωστόν, ενωρίτερα για λειοτριβήση σε μέγεθος κέχρου (περί τα 2-3 mm), το οποίο ήταν ικανοποιητικό για την αποδέσμευση του γαληνίτη (ή κερουσίτη) από το στείρο, όχι όμως τώρα για την επαρκή αποδέσμευση των εγκλεισμάτων από τον λιθάργυρο.

Με βάση τα προηγούμενα, απορρίμματα της κλασικής περιόδου χρήσιμα για παραγωγή αργύρου και μολύβδου με ανακύκλωση ήταν διαθέσιμα γύρω από δύο διαφορετικούς γεωγραφικούς πόλους: α) τα μεταλλεία με τα προσαρτημένα εργαστήρια εμπλουτισμού, όπου υπήρχαν εκβολάδες και πλυνίτες και β) τα συγκροτήματα καμίνων όπου υπήρχαν σκωρίες και λιθάργυρος. Στη συνέχεια θα μελετήσουμε χωριστά τις δύο περιπτώσεις.

5.1. Η ανακύκλωση στα Εργαστήρια τα εξαρτημένα από τα Μεταλλεία

Εργαστήρια εμπλουτισμού προσαρτημένα στα μεταλλεία υπήρχαν σε όλες τις μεταλλευτικές περιοχές του Λαυρίου. Σε πολλές από αυτές, όπως στην Αγία Τριάδα και στην κοιλάδα της Σούρεζας, στην Αγριλέζα, στο Σπιθαροπούσι, στην κοιλάδα του Μπότσαρη, στον Θορικό και σε άλλες θέσεις, δεν διαπιστώθηκαν παράλληλες μεταλλουργικές δραστηριότητες, πιθανώς επειδή δεν υπήρχε διαθέσιμο νερό, που απαιτείται για την περιοδική ανακατασκευή της πυρίμαχης επένδυσης των καμίνων. Επομένως στις θέσεις αυτές τα προς ανακύκλωση απορρίμματα ήταν μόνον εκβολάδες και πλυνίτες.

Οι εκβολάδες είχαν τα ίδια φυσικά και ορυκτολογικά χαρακτηριστικά με το κοινό μέταλλευμα και βρισκόταν κοντά στα εργαστήρια, τα οποία μπορούσαν να

χρησιμοποιηθούν άμεσα για τον εμπλουτισμό τους. Οι εκβολάδες θραύονταν πρώτα στα τριβεία πλάκας με βαριοπούλες σε μέγεθος κάτω των 2 cm, κατόπιν τρίβονταν με τα παλινδρομικά τριβεία τύπου Ολύθου σε μέγεθος κάτω των 3 mm και στη συνέχεια οδηγούνταν στα ρείθρα για εμπλουτισμό (Paradimitriou G.D., forthcoming). Προφανώς οι εκβολάδες απέδιδαν μικρότερη απόληψη αργυρούχου συμπυκνώματος σε σύγκριση με το πλούσιο μετάλλευμα της κλασικής εποχής και επομένως έδιναν μικρότερα έως οριακά κέρδη, που είναι αμφίβολο αν ενδιέφεραν τους σοβαρούς επενδυτές. Μικροί, όμως, επιχειρηματίες, ενδεχομένως επαγγελματίες της μεταλλευτικής τέχνης, ασφαλώς προσέβλεπαν σε κάποιο αξιοπρεπές ατομικό εισόδημα από την επεξεργασία τους. Παράλληλα, οι ίδιοι είχαν συμφέρον μαζί με τις εκβολάδες να δουλέψουν και τον λιθάργυρο, που όπως είπαμε περιείχε σημαντικές ποσότητες αργύρου σε μορφή ψηγμάτων. Ο λιθάργυρος, όμως, δεν ήταν κοντά στα Εργαστήρια των Μεταλλείων και μεταφέρονταν από μακριά, όπου βρισκόταν σε σωρούς πλησίον των καμίνων. Η συνεκμετάλλευση εκβολάδων και λιθαργύρου επιβεβαιώνεται από τριμμένα κατάλοιπα σε πολλά εργαστήρια, για παράδειγμα στην Αγριλέζα (Photos-Jones E. Jones J.E., 1994, 336, Table 2, και 348) και στη Σούρεζα. Στα ίδια λοιπόν πλυντήρια κατεργάζονταν τις εκβολάδες και ανακτούσαν τα ψήγματα αργύρου από τον λιθάργυρο. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο έχει εντοπισθεί μερικές φορές τριμμένος λιθάργυρος σε ανάμιξη με πλυνίτες (Κορδέλλας 1894, 238, Κονοφάγος Κ., 1980, 273).

Πρέπει, επίσης, να τονίσουμε, ότι σε αντίθεση με τις εκβολάδες, η κατεργασία του λιθαργύρου στα πλυντήρια είχε πρόσθετες απαιτήσεις. Το λεπτό μέγεθος των εγκλεισμάτων απαιτούσε –όπως ήδη αναφέραμε– πολύ λεπτότερη λειοτριβήση, σε μέγεθος, κάτω του 0,5 mm για να επέλθει ικανοποιητική αποδέσμευση των ψηγμάτων, με συνέπεια η λειοτριβήση στα παλινδρομικά τριβεία τύπου Ολύθου που χρησιμοποιούνταν για τις εκβολάδες να μην είναι αρκετά αποτελεσματική. Γι' αυτό, σε ορισμένα τουλάχιστον εργαστήρια, προστέθηκε ένα ακόμη στάδιο λειοτριβήσης μετά από τα παλινδρομικά τριβεία, ώστε να τρίβει το υλικό λεπτό σχεδόν σαν αλεύρι. Έτσι, στις ανασκαφές του Πολυτεχνείου στη Σούρεζα, στο Εργαστήριο του Σίμου, βρέθηκε ένα μεγάλο λίθινο γουδί (όλμος και ύπερος) (Τσάιμου Ι.Γ., 1980, 21) μαζί με πολύ λεπτά τριμμένο λιθάργυρο. Ομοίως στις ανασκαφές της Βελγικής Αρχαιολογικής Σχολής στον Θορικό βρέθηκε κωνικό τριβείο, παραπλήσιο με τα τριβεία τύπου Πομππίας (Jones J.E., 1982, 176 and Fig. 4). Η παρουσία παρόμοιων τριβείων στα Εργαστήρια του Λαυρίου αναφέρεται και από τον Ardaillon (Ardaillon E., 1897, 61). Αυτές οι διατάξεις ήταν κατάλληλες για να τρίβουν το υλικό σε μεγάλη λεπτότητα, αλλά η παραγωγικότητά τους ήταν μικρή και ασύμφορη και ασφαλώς γι' αυτό δεν γενικεύθηκε η χρήση τους. Δεν αναφέρεται η ανεύρεση αναλόγων τριβείων σε άλλες ανασκαφές, ωστόσο στο Αρχαιολογικό

Μουσείο του Λαυρίου εκτίθενται μερικά τριβεία όπως τα παραπάνω, τα οποία είχε περισυλλέξει παλαιότερα η ΕΕΜΕΛ.

Το κωνικό τριβείο στον Θορικό επιβεβαιώνει ότι η διεργασία λειοτρίβησης του λιθαργύρου, του οποίου βρέθηκαν υπολείμματα, αφορά στην περίοδο μετά το τέλος του 4ου αιώνα, διότι αυτός ο τύπος τριβείων δεν ήταν ακόμη εν χρήσει στην Ελλάδα προηγουμένως. Στο ίδιο συμπέρασμα καταλήγουμε εμμέσως και από το γουδί στη Σούρτζα, το οποίο ήταν μεν εν χρήσει στον ελληνικό χώρο από πολύ παλαιότερα, αλλά βρέθηκε μέσα σε ανδρώνα της κλασικής περιόδου και δεν εδράζονταν στο δάπεδο, αλλά πάνω σε μεταγενέστερη επίκωση πάχους 10 cm (Τοσίμου Ι.Γ., 1980, Εικ. 11 και σ. 21) δηλ. ανήκε στη μεταγενέστερη φάση κατάληψης του συγκροτήματος, που αναφέραμε προηγουμένως στο κεφάλαιο 3.

Γενικά όλα σχεδόν τα πλυντήρια που ερευνήθηκαν και στα οποία εντοπίστηκε τριμμένος λιθαργύρος φαίνεται ότι είχαν κατασκευασθεί και λειτουργήσει αρχικά για εμπλουτισμό μεταλλεύματος κατά το τέλος του 5ου ή τον 4ο αιώνα π.Χ. Όταν χρησιμοποιήθηκαν αργότερα για κατεργασία λιθαργύρου, αυτό δεν έγινε πλέον από τους αρχικούς πλούσιους επιχειρηματίες, αλλά πιθανόν από φτωχούς επαγγελματίες της μεταλλευτικής τέχνης, όπως αποδεικνύεται από το ότι οι παλιές οικιστικές εγκαταστάσεις δεν ανακαινίσθηκαν, αλλά χρησιμοποιήθηκαν στην κατάσταση που ευρίσκονταν, ερειπωμένες. Πιθανόν να χρησιμοποιήθηκαν πλέον μόνον τα εργαστήρια και ορισμένα δωμάτια να χρησίμευσαν παρεμπιπτότως ως πρόχειρα καταλύματα.

Σε πολλά πλυντήρια παρατηρούνται μεταγενέστερες δομικές μετατροπές, δηλωτικές της προσπάθειας επίλυσης κάποιου τεχνολογικού προβλήματος σχετικού με την ταυτόχρονη κατεργασία εκβολάδων και λιθαργύρου.

Η πρώτη είναι ότι σε μερικά πλυντήρια έχουν σφραγισθεί κάποιες οπές ακροφυσίων στο θωράκιο της δεξαμενής τροφοδοσίας νερού και έχουν διανοιχθεί άλλες σε χαμηλότερο ύψος, Σχ. 5. Αυτό οδηγεί σε μικρότερη κλίση του ρείθρου, πράγμα απαραίτητο στην περίπτωση διαχωρισμού των εγκλεισμάτων του λιθαργύρου, λόγω της λεπτότητας του υλικού. Στο πλυντήριο του Εργαστηρίου 2 που ανέσκαψε ο Κακαβογιάννης στο Σπιθαροπούσι (Κακαβογιάννης Ε., 1984, 49-50) όλες οι οπές στο θωράκιο της δεξαμενής τροφοδοσίας είναι σε ύψος 25 cm από το δάπεδο, αντί για 40 cm ύψος της κλασικής εποχής. Αυτό δικαιολογείται αν δεχθούμε ότι το πλυντήριο μετασκευάστηκε για την κατεργασία λεπτά τριμμένου λιθαργύρου. Ατυχώς, δεν σώζεται το δάπεδο του πλυντηρίου, όπου θα μπορούσαν ενδεχομένως να ταυτοποιηθούν κατάλοιπα του υλικού. Ίσως καταστράφηκε από τους μεταλλευτές του 19ου αιώνα στην προσπάθειά τους να ανακτήσουν υπολείμματα λιθαργύρου προσκολλημένα στην επιφάνειά του.

Μία δεύτερη μετατροπή είναι ότι σε αρκετά πλυντήρια προστέθηκε εκ των υστέρων στο μέσον του συλλεκτήριου αγωγού μία κατακόρυφη διαχωριστική πλάκα, η

οποία ξεκινώντας από το δάπεδο, φθάνει σε ύψος μερικά εκατοστά κάτω από την επιφάνεια του αγωγού, ώστε να συγκρατεί μεν τα στερεά, αλλά να μην εμποδίζει την υπερχειλίση του νερού, Σχ. 6. Η μετατροπή αυτή είναι εύλογη αν δεχθούμε ότι στο πλυντήριο γίνονταν ταυτοχρόνως εμπλουτισμός εκβολάδων και κατεργασία λιθαργύρου: στο πρώτο διαμέρισμα του συλλεκτήριου αγωγού κατέληγαν τα ρείθρα στα οποία γίνονταν ανάκτηση των ψηγμάτων λιθαργύρου, ενώ στο επόμενο διαμέρισμα κατέληγαν τα ρείθρα στα οποία γίνονταν εμπλουτισμός των εκβολάδων. Με τον διαχωρισμό του αγωγού σε δύο διαμερίσματα αποφεύγονταν η ανάμιξη του απαργυρωμένου λιθαργύρου (που ήταν χρήσιμος για παραγωγή εμπορικού μολύβδου) με το άχρηστο απόρριμμα των εκβολάδων. Τέτοια χωρίσματα παρατήρησε ο Κακαβογιάννης στο πλυντήριο 2 της ΕΒΟ στην κοιλάδα του Μπότσαρη και εκτίμησε ότι προστέθηκαν κατά τους ελληνιστικούς και ρωμαϊκούς χρόνους (Κακαβογιάννης Ε. 1984, 53). Περισσότερα του ενός χωρίσματα απαντώνται σε αρκετά πλυντήρια και δικαιολογούνται από την ανάγκη ευελιξίας στον αριθμό των ρείθρων για κατεργασία του ενός ή του άλλου υλικού.

Έχουν παρατηρηθεί και άλλες τροποποιήσεις, π.χ. στα συγκροτήματα του 5ου αιώνα στο Σκιτζέρι και στο Καβοδόκανο, όπου τα πλυντήρια λειτούργησαν από τον 4ο ως τα μέσα του 3ου αι. π.Χ. και μετά ξανά κατά τους ρωμαϊκούς χρόνους (Σαλιώρα-Οικονομάκου Μ., 2000, 127-129). Σε αυτά το κύκλωμα καθαρισμού του νερού έχει τροποποιηθεί, αλλά δεν θα τα σχολιάσουμε, καθότι είναι μεμονωμένες περιπτώσεις. Όμως, μπορούμε να παρατηρήσουμε γενικά ότι στις εγκαταστάσεις που δούλεψαν μετά τον 3ο αιώνα π.Χ. διαφαίνεται η εφευρετικότητα των ιδιοκτητών των εργαστηρίων, οι οποίοι δοκιμάζουν τροποποιήσεις προσαρμοσμένες στις νέες συνθήκες παραγωγής. Μία νεωτεριστική διάθεση φαίνεται να αντικατέστησε την προσήλωση στους κανόνες της κλασικής περιόδου, στη διάρκεια της οποίας η μορφή και οι διαστάσεις των λειτουργικών στοιχείων των πλυντηρίων ήταν τυποποιημένες και αυστηρά αμετάβλητες (Παπαδημητρίου Γ.Δ., 2001).

5.2. Η ανακύκλωση στα Εργαστήρια τα εξαρτημένα από τις καμίνους

Οι ποσότητες λιθαργύρου που ήταν δυνατόν να υποβληθούν σε κατεργασία στα εργαστήρια τα προσαρτημένα στα Μεταλλεία ήταν περιορισμένες, τόσο λόγω της μεγάλης απόστασης μεταφοράς, όσο κυρίως επειδή τα εν χρήσει τριβεία είχαν χαμηλή παραγωγικότητα και αδυναμία να τρίψουν τον λιθαργύρο κάτω των 0,5 mm για επαρκή αποδέσμευση των εγκλεισμάτων του. Αυτό ήταν ισχυρό κίνητρο για να κατασκευασθούν νέα εξειδικευμένα εργαστήρια κοντά στις καμίνους, πράγμα το οποίο τελικά και έγινε. Αλλά το κυριότερο, έπρεπε να χρησιμοποιηθεί κατάλληλη τεχνολογία για την λεπτή λειοτρίβηση του λιθαργύρου. Τη λύση στο πρόβλημα έδωσε η εφεύρεση των κυκλικών τριβείων, μίας ακόμη σπουδαίας καινοτομίας των

εργαζομένων της Λαυρεωτικής, Σχ. 7. Κυκλικά τριβεία είναι οι γνωστές κυκλικές κατασκευές που ερμηνεύθηκαν αρχικά ως ελικοειδή πλυντήρια (Κονοφάγος Κ., Mussche H., 1970) και αργότερα ως αναμικτήρες μεταλλεύματος (Τσάιμου Γ.Κ., 2008). Λεπτομερής τεκμηρίωση αυτής της άποψης περιλαμβάνεται σε προηγούμενες ανακοινώσεις (Παπαδημητρίου Γ., 2015, Papadimitriou G.D., 2016) στις οποίες επίσης αποδεικνύεται ότι χρησιμοποιήθηκαν για να τρίψουν τον λιθάργυρο σε λεπτή σκόνη.

Η ανακάλυψη των κυκλικών τριβείων πρέπει να αποδοθεί στις επίμονες προσπάθειες των μεταλλουργών της Λαυρεωτικής να επιλύσουν το πρόβλημα της λεπτής λειοτριβήσης του λιθαργύρου, με ταυτόχρονη υψηλή παραγωγικότητα. Πολλές προσπάθειες σ' αυτή την κατεύθυνση φαίνεται ότι απέβησαν αρχικά άκαρπες, όπως προκύπτει από την παρουσία του γουδιού στο εργαστήριο του Σίμου, του κωνικού τριβείου στον Θορικό και των διαφόρων παραλλαγών τριβείων που βρίσκονται στο Μουσείο του Λαυρίου, των οποίων η πολυμορφία δείχνει ότι δεν ήταν παρά δοκιμές χωρίς ικανοποιητικό αποτέλεσμα, οι οποίες εγκαταλείφθηκαν. Τελικά οι αρχαίοι φαίνεται ότι εμπνεύσθηκαν από το *trapezum* και κατέληξαν στην επιτυχημένη αναβάθμισή του, αυξάνοντας τις διαστάσεις του. Έτσι προέκυψε το κυκλικό τριβείο, το οποίο δεν είναι παρά ένα μεγάλο *trapezum*, περίπου δεκαπλάσιο σε διάμετρο από τα συνήθη, όχι φορητό, αλλά κατασκευασμένο κατευθείαν επάνω στο έδαφος. Το *trapezum* δεν ήταν άγνωστο στη Λαυρεωτική, όπως αποδείχθηκε από ανασκαφή αρχαίας αγροικίας του 4ου π.Χ. αιώνα στην Παλαιά Κοπραισία, κοντά στα Λεγρενά (Lohmann H., 1994, 95-96).

Τα κυκλικά τριβεία ήταν τριβεία με όρθια μυλόπετρα κινούμενη επί της ακμής της (*edge runner mills*), Σχ. 7. Η μυλόπετρα κυλίνεται μέσα σε αυλάκι όπου είναι τοποθετημένος ο λιθάργυρος και τον συντριβει με το βάρος της, μετατρέποντάς τον σε σκόνη. Η μυλόπετρα, ωθούμενη από εργάτες ή συρόμενη από γάιδαρο, περιστρέφεται ελεύθερα με άξονα έναν οριζόντιο βραχίονα, που διαγράφει τροχιά γύρω από κιονίσκο στο κέντρο της κατασκευής. Τα κυκλικά τριβεία αντικατέστησαν τα παλινδρομικά τριβεία τύπου Ολύθου και κατέστησαν περιπτά τα τριβεία πλάκας και βαριοπούλας, διότι μπορούσαν να τρίψουν κατευθείαν σε σκόνη τα ευμεγέθη τεμάχια λιθαργύρου. Ότι τα κυκλικά τριβεία χρησίμευσαν αποκλειστικά για τη λειοτριβήση λιθαργύρου αποδεικνύεται από την παρατήρηση ότι ο λιθάργυρος και μόνον αυτός ανιχνεύεται προσκολλημένος στο αυλάκι τους και βρίσκεται επίσης μέσα στον χώρο τους καθώς και έξω από αυτά σε υπολείμματα μικρών σωρών, Σχ. 8.

Οι αρχαίοι σκάλισαν, επίσης, συνεχόμενες κοιλότητες στο αυλάκι, με σκοπό την ταξινόμηση του υλικού κατά μέγεθος στη διάρκεια της λειοτριβήσης. Στον πυθμένα των κοιλότητων συγκεντρώνονταν το λεπτό υλικό, ενώ στην επιφάνεια ανέβαιναν συνεχώς τα χονδρότερα τεμάχια, για να τριφτούν και αυτά στο επόμενο πέρασμα της μυλόπετρας. Το φαινόμενο της αυτόματης ταξινόμησης κατά μέγεθος μέσα στις

κοιλότητες εμπνεύσθηκαν, ασφαλώς οι αρχαίοι τρίβοντας το υλικό μέσα σε γουδιά, όπου παρατήρησαν ότι το λεπτότερο κλάσμα (σκόνη) συγκεντρώνονταν στον κοίλο πυθμένα τους, ενώ το χοντρότερο υλικό ανέβαινε συνεχώς στην επιφάνεια. Έτσι, με το κυκλικό τριβείο επιτυχανόταν ομοιόμορφο μέγεθος κόκκου και αποφευγόταν η υπερλειοτριβήση, Σχ. 9, παράγοντες κρίσιμοι για τη διεργασία του διαχωρισμού που ακολουθούσε στα επίπεδα πλυντήρια. Κυκλικά τριβεία κατασκευάστηκαν πλησίον των καμίνων ως μέρος εργαστηρίων που περιλάμβαναν οπωσδήποτε και επίπεδο πλυντήριο για τον διαχωρισμό των αργυρούχων ψηγμάτων από τον τριμμένο λιθάργυρο. Επτά τέτοια τριβεία αποκαλύφθηκαν σε ανασκαφές, ενώ έχουν εντοπισθεί μερικά ακόμη, όλα κοντά σε χώρους καμίνων και σκωριών. Ωστόσο στην αρχαιότητα πρέπει να ήταν πολύ περισσότερα, κατασκευασμένα γύρω από τις τριάντα περίπου θέσεις όπου εντοπίστηκαν τον 19ο αιώνα σωροί σκωριών. Ίσως μερικά από αυτά να καταστράφηκαν από νεότερους μεταλλευτές, όπως έγινε και με τα πολυάριθμα συγκροτήματα καμίνων τα οποία ασφαλώς υπήρξαν, αλλά εκ των οποίων δεν βρέθηκαν προς το παρόν παρά μόνον έξι.

Το συγκρότημα Αρύ II των ανασκαφών της Τσαίμου (Τσαίμου Γ.Κ., 2008) αποτελεί ένα εξειδικευμένο συγκρότημα ανακύκλωσης λιθαργύρου και περιλαμβάνει ένα τυπικό εργαστήριο, προσαρτημένο στις καμίνους, που αποτελείται από κυκλικό τριβείο και επίπεδο πλυντήριο. (Σχ. 10). Η ηλικία σκωριών που ανασύρθηκαν από τις καμίνους προσδιορίστηκε με ραδιοχρονολόγηση C14 και τοποθετήθηκε μεταξύ 203 και 46 π.Χ. (Tsaimou C., Tsakiridis P.E., Oustadakis P., 2015, Table 1, p. 118). Αυτό το αποτέλεσμα αφορά, ασφαλώς, στο τέλος λειτουργίας του συγκροτήματος και αποτελεί ένα *terminus ante quem* για τον χρόνο ανακάλυψης και λειτουργίας των κυκλικών τριβείων. Επιβεβαιώνει κυρίως ότι τα κυκλικά τριβεία ήταν ανακάλυψη της ελληνιστικής εποχής και ότι θα ήταν λάθος να θεωρηθούν ως ανακαλύψεις της ύστερης ρωμαϊκής ή της βυζαντινής περιόδου. Το πιθανότερο είναι να ανακαλύφθηκαν στις αρχές του 2ου π.Χ. αιώνα, μετά την επαναδραστηριοποίηση στην παραγωγή αργύρου. Αυτή η εκτίμηση ενισχύεται και από το γεγονός ότι κυκλικά τριβεία δεν βρέθηκαν μέχρι τώρα στα εργαστήρια τα προσαρτημένα στα μεταλλεία, επομένως δεν ήταν γνωστά κατά την εποχή της ακμής των Μεταλλείων, δηλ. κατά την κλασική περίοδο.

5.3. Οι σκωρίες

Οι αρχαίες σκωρίες που έφθασαν ως τον 19ο αιώνα βρέθηκαν σε συνολική ποσότητα 1,5-2 εκατομμυρίων τόνων, διάσπαρτες σε 15 περίπου σωρούς δίπλα στη θάλασσα και άλλους τόσους στο εσωτερικό της μεταλλευτικής περιοχής. Είχαν αρκετά υψηλή περιεκτικότητα σε μόλυβδο, 10% κατά μέσον όρο, και σχετικά χαμηλή περιεκτικότητα σε άργυρο, 400-500gr/ton Pb.

Μερικοί σύγχρονοι συγγραφείς, ερμηνεύοντας κατά γράμμα το κείμενο του Στράβωνος, θεώρησαν ότι οι σκωρίες των καμίνων τήξεως της κλασικής εποχής υπέστησαν ανάτηξη μαζικά κατά την ελληνιστική και τη ρωμαϊκή εποχή, στην πραγματικότητα, όμως, φαίνεται ότι μόνο μικρές ποσότητες σκωρίας υποβλήθηκαν σε ανάτηξη από τους αρχαίους. Οι σκωρίες υποβλήθηκαν μαζικά σε τήξη από τα μέσα του 19ου αιώνα και μετά από την ΕΕΜΛ, με σκοπό την ανάκτηση του μολύβδου και με την τεχνολογία της εποχής η περιεκτικότητα σε μολύβδο των νέων σκωριών που προέκυψαν κατέβηκε στο 1,5-3%, από 10% που ήταν αρχικά. Αυτό δεν ήταν δυνατό να γίνει στα ελληνιστικά και ρωμαϊκά χρόνια.

Ο Κορδέλλας, ο πρώτος και κατ' εξοχήν γνώστης των σκωριών, αναφέρει κατηγορηματικά ότι η διάταξη των σωρών δεν επιτρέπει να πιστεύσουμε ότι οι αρχαίοι τους είχαν ανασκάψει ή μετακινήσει από την αρχική τους θέση και ότι μόνο στο Μπερτσέκο, στην Καμάριζα και σε μερικές άλλες θέσεις είχαν διανοιχθεί από τους τελευταίους αρχαίους μεταλλευτές οπές, με σκοπό να επιλέξουν πλούσιες σκωρίες για να τις καμινεύσουν σε ανάμιξη με φτωχά μεταλλεύματα (Cordella A., 1871, 99-100).

Η αδυναμία ανάτηξης των σκωριών κατά την αρχαιότητα δικαιολογείται καθώς μέχρι το τέλος του 1ου αιώνα π.Χ. δεν υπήρξε εξέλιξη στην τεχνολογία των καμίνων σε σχέση με τον 4ο αιώνα π.Χ., ώστε να καταστεί δυνατή η ανακατεργασία τους. Και πάλι ο Κορδέλλας (Κορδέλλας Α., 1865, 9, 16) επισημαίνει ότι η αναχώνευση των αρχαίων σκωριών του Λαυρίου είναι δύσκολη, λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε πυριτικό οξύ, και ότι στα χρόνια του κατέστη επικερδής ύστερα από πολυτελείς έρευνες που οδήγησαν σε καμίνους μεγαλύτερες των αρχικών. Αναφέρεται, προφανώς, στις καμίνους Pilz, ύψους περί τα 6 m, οι οποίες αντικατέστησαν τις καμίνους Ισπανικού τύπου, γνωστές και ως καμίνους Castigliano, που είχαν χρησιμοποιηθεί αρχικά και είχαν ύψος περί τα 2 μέτρα, όσο περίπου και οι αρχαίες, αλλά με βασικά πλεονεκτήματα ότι η εμφύσηση αέρα γίνονταν με ατμοκίνηση και ως καύσιμο χρησιμοποιούσαν κωκ (Δερμάτης Γ.Ν., 2003, 96-103). Κάμινοι ύψους σημαντικά μεγαλύτερου από τα 2 m δεν υπήρξαν στην αρχαιότητα, διότι τα χειροκίνητα φουσερά δεν είχαν τη δύναμη να τις τροφοδοτήσουν με αέρα. Είχαν φτάσει σε ένα οριακό επίπεδο τεχνολογίας που δεν μπορούσε να προχωρήσει περισσότερο, παρά μόνον όταν μία νέα ανακάλυψη, εν προκειμένω η υδροκίνηση, θα άνοιγε καινούργιους ορίζοντες στη χρήση των φουσερών. Αυτό συνέβη πολύ αργότερα, κατά τη Βυζαντινή εποχή και εν πάση περιπτώσει ακόμη και τότε δεν θα ήταν δυνατόν να εφαρμοσθεί στο Λαύριο.

Και ενώ δεν έχει ως τώρα τεκμηριωθεί η ανάτηξη σκωριών κατά τους ελληνιστικούς και ρωμαϊκούς χρόνους, υπάρχουν αντιθέτως αποδείξεις ότι το υλικό που τήκονταν στις καμίνους για παραγωγή μολύβδου ήταν ο λιθάργυρος. Μία κάμιнос παραγωγής εμπορικού μολύβδου ανασκάφηκε στον Όρμο Ασημάκη Σουνίου από

τη Μαίρη Οικονομάκου, η οποία, βάσει κεραμικών ευρημάτων, την τοποθέτησε στο τέλος του 3ου και στον 2ο αιώνα π.Χ. Τις σκωρίες από το εσωτερικό της καμίνου είχε μελετήσει ο συντάκτης του παρόντος άρθρου και οι αναλύσεις στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σε συνδυασμό με μικροανάλυση απέδειξαν ότι ως τροφοδοσία είχε χρησιμοποιηθεί λιθάργυρος (Οικονομάκου, Μ., 1997, 52).

Επίσης, σκωρίες από το εσωτερικό καμίνου του συγκροτήματος Αρύ II έδειξαν ότι είναι πολύ πλούσιες σε μόλυβδο (17,16-20,88%) και εξαιρετικά φτωχές σε άργυρο (17,52-72,8 grAg/tnPb) (Tsakiridis P.E., Tsaimou C., Oustadakis P., Papadimitriou G.D., 2012, Table 1, 874). Οι αναλύσεις αυτές δείχνουν αναμφισβήτητητα ότι οι κάμινοι τροφοδοτήθηκαν με φορτίο πλουσιότατο σε μόλυβδο από το οποίο είχε αφαιρεθεί ο άργυρος, δηλ. με απαργυρωμένο λιθάργυρο και οπωσδήποτε όχι με σκωρία. Βάσει αυτών, η αναφορά του Στράβωνος πρέπει να θεωρηθεί ότι αφορά μάλλον στα μεταλλουργικά απορρίμματα της κυπέλλωσης, τον λιθάργυρο, παρά στις σκωρίες των καμίνων τήξεως και ότι το υλικό που ανακυκλώνονταν συστηματικά μετά το τέλος του 4ου αιώνα π.Χ. ήταν ο λιθάργυρος, του οποίου η τήξη είναι εύκολη, σε αντίθεση με την ανάτηξη σκωριών. Η μόνη του ιδιομορφία είναι ότι, ως σχεδόν καθαρό οξειδίο του μολύβδου, δεν παράγει σκωρία, η οποία είναι χρήσιμη για να προστατεύει μέσα στην κάμινο τον λιωμένο μόλυβδο από την οξειδωση. Γι' αυτό, οι αρχαίοι προσέθεταν ενδεχομένως στο φορτίο της καμίνου άμμο από τη θάλασσα ή συμπύκνωμα εκβολάδων και μία μικρή ποσότητα αρχαίας σκωρίας, ασφαλώς αυτή στην οποία αναφέρεται και ο Κορδέλλας. Το αντίστοιχο διάγραμμα ροής της πλήρους διαδικασίας ανακύκλωσης του λιθαργύρου δίνεται στο Σχ. 11.

6. Ο 1ος αιώνας π.Χ.- Η τελική παρακμή

Ο 1ος αιώνας π.Χ. ήταν και πάλι περίοδος παρακμής, η οποία άρχισε από το τέλος του προηγούμενου αιώνα με τις επαναστάσεις των δούλων. Ο Αθήναιος (Αθήναιος, *Δειπνοσοφισταί*, VI, 272 e-f), μεταφέρει πληροφορία του Ποσειδώνιου ότι μεταξύ 104 και 100 π.Χ. (Καπετάνιος Α., 2013, 196) οι δούλοι των Μεταλλείων του Λαυρίου επαναστάτησαν, σκότωσαν τους φρουρούς και οχυρώθηκαν στο Σούνιο, από όπου λεηλατούσαν την Αττική. Σε επανάσταση χιλίων δούλων αναφέρεται και ο Διόδωρος, χωρίς να είναι σαφές αν αναφέρεται στην ίδια ή σε άλλη προγενέστερη του 134 π.Χ. (Διόδωρος Σικελιώτης, 34/35, 2,19). Πάντως από αυτά επιβεβαιώνεται ότι στο τέλος του 2ου αιώνα π.Χ. στο Λαύριο εργαζόταν σημαντικός αριθμός δούλων. Δεν είναι γνωστό αν από την επανάσταση έγιναν καταστροφές σε μεταλλευτικά έργα, καθώς δεν έχουν ως τώρα επισημανθεί. Καταστροφές, όμως, διαπιστώνονται σήμερα στα Εργαστήρια. Αφορούν θραύσεις στα τριβεία και στα θωράκια των πλυντηρίων που φέρουν τα ακροφύσια εκροής νερού καθώς

και θραύση ή αφαίρεση τεμαχίων μαρμάρου από την περιφέρεια των κυκλικών τριβείων. Οι καταστροφές αυτές είναι φανερό ότι προκλήθηκαν ηθελημένα από ανθρώπινα χέρια, καθώς οι θραύσεις στις χονδρές πλάκες και στους ογκόλιθους μαρμάρου πρέπει να αποδοθούν σε ισχυρές κρούσεις με βαρύ εργαλείο και όχι στη φυσιολογική φθορά του χρόνου. Επιπλέον οι ζημιές ήταν στοχευμένες, οι επαναστάτες ήταν γνώστες της διαδικασίας εμπλουτισμού και κατέστρεφαν ό,τι ήταν κρίσιμο για τη λειτουργία και δύσκολο να αποκατασταθεί. Το γεγονός, πάντως, ότι οι ζημιές παρατηρούνται τόσο στα εργαστήρια των Μεταλλείων, όσο και στα εργαστήρια των καμίνων σημαίνει ότι αυτά λειτουργούσαν παράλληλα κατά τον 2ο αιώνα π.Χ., τα πρώτα με την παλιά τεχνολογία και τα δεύτερα με τη νέα τεχνολογία των κυκλικών τριβείων.

Το 89 π.Χ. η Αθήνα εμπλέκεται στον Μιθριδατικό πόλεμο και το 86 π.Χ. επέρχεται, ως αντίποινα, η δήμευσή της από τον Σύλλα. Έκτοτε η κοπή αργυρών νομισμάτων αραιώνει και σταματά οριστικά γύρω στο 45 π.Χ. Το 42 π.Χ. με την έλευση του Μάρκου Αντωνίου στην Αθήνα επικρατούν οριστικά τα ρωμαϊκά δηνάρια στον ελληνικό χώρο.

Η παύση λειτουργίας των εργαστηρίων με τα κυκλικά τριβεία επήλθε σε περίοδο πλήρους παρακμής, που λογικά συμπίπτει με το τέλος του 1ου αιώνα π.Χ. Τα περισσότερα από αυτά είχαν ήδη περιέλθει σε κακή κατάσταση, με φθαρμένα από τη χρήση αυλάκια και ολόκληρα τμήματα της περιφέρειάς τους μετατοπισμένα. Οι κοιλότιπες είχαν και αυτές φθαρεί σε διαφορετικό βαθμό σε κάθε τριβείο και σε μερικά εξαφανίσθηκαν τελείως. Τα τριβεία λειτουργούσαν πλημμελώς για παρατεταμένο χρονικό διάστημα, όπως διαπιστώνεται από τις διαδοχικές φθορές που σωρεύονταν η μία επί της άλλης, χωρίς οι χρήστες τους να τις επισκευάσουν, μέχρις ότου επήλθε οριστική εγκατάλειψη. Η έκλειψη της Λαυρεωτικής μαρτυρείται από τον Πομπόσιο Μέλα το 40 μ.Χ. (II, 3,46) και επιβεβαιώνεται από τον Πausανία τον 2ο αιώνα μ.Χ. (I, 1,1).

Για τους μ.Χ. αιώνες δεν υπάρχουν προς το παρόν επαρκή δεδομένα για να σκιαγραφήσουμε τη μεταλλευτική ιστορία της Λαυρεωτικής. Μπορούμε, ωστόσο, να αναφερθούμε αποσπασματικά στην κατοίκηση και χρήση ορισμένων θέσεων, όπως αποδεικνύεται από ανασκαφικά και άλλα ευρήματα. Κατά τον Κορδέλλα, ρωμαϊκά νομίσματα μέχρι το 423 μ.Χ. βρέθηκαν σε τάφους στα «Αργαστηριάκια» (Κορδέλλας Α., 1894, 239). Πάνω στα ερείπια εργαστηρίου στη Σούρεζα βρέθηκαν νομίσματα του 4ου αιώνα μ.Χ. (Κονοφάγος Κ., 1980, 385). Επίσης, σε ορισμένες ανασκαφές, διαπιστώνονται μικρής κλίμακας μεταλλουργικές δραστηριότητες των ύστερων ρωμαϊκών χρόνων. Σε αποθέτη του Θορικού εντοπίστηκε κεραμική που εκτείνεται στο διάστημα από τον 3ο μέχρι τον 8ο αιώνα μ.Χ. και στη σχετική δημοσίευση περιλαμβάνεται συνοπτική συζήτηση του θέματος. (Docter R., Monsieur P. van de Put W., 2011, 118-122). Ωστόσο, τίποτα συγκεκριμένο δεν

είναι γνωστό για τις δραστηριότητες αυτών των περιόδων και εικάζεται απλώς ότι ντόπιοι ή πλάνητες μεταλλουργοί συνέλεξαν διάφορα απορρίμματα ή πλούσιες εκβολάδες για να παραγάγουν λίγο μόλυβδο σε αυτοσχέδιες μικρές καμίνους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αθήναιος, *Δειπνοσοφισταί*, VI, 272 e-f
- Ardaillon Edouard, *Les Mines de Laurion dans l'Antiquité*, Paris 1897
- Crosby Margaret, «The Leases of the Laurion Mines», *Hesperia*, XIX, 3 (1950), pp 189-312
- Δερμάτης, Γ.Ν. *Λαύρειο Το Μαύρο Φως*, Τεχνολογικό Πολιτιστικό Πάρκο Λαυρίου (Ε.Μ.Π.), 2003
- Διόδωρος Σικελιώτης III, 12-14
- Διόδωρος Σικελιώτης, 34/35 2.19
- Docter R., Monsieur P., van de Put W., “Late archaïque to late antique finds from cistern No 1 at Thorikos (2010 campaign)”, in *Thorikos 10. Reports and Studies*, Professor Dr R.F. Docter Editor, Ghent University, Department of Archaeology, 2011, p 75-128.
- Ζορίδης Π. «Εργαστήριο εμπλουτισμού μεταλλεύματος στο Θορικό», *Αρχαιολογική “Εφημερίς”*, 1980 75-84.
- Jones J.E., “The Laurion silver mines: a review of recent researches and results”, *Greece and Rome*, vol. 29-02, 1982 169-183.
- Κακαβογιάννης Ε., «Ελληνική Βιομηχανία όπλων (ΕΒΟ)», *Αρχαιολογικόν Δελτίον* 38 (1983) 55-57.
- Κακαβογιάννης Ε., «Εθνικός Δρυμός Σουσίου» και «Ελληνική Βιομηχανία όπλων (ΕΒΟ) στην κοιλάδα Μπότσαρη», *Αρχαιολογικόν Δελτίον* 39 (1984) 49-55
- Καπετανίος Α., «Ο χώρος και οι άνθρωποι στην αρχαία τοπογραφία της Λαυρεωτικής», *Αρχαιολογικές Συμβολές*, τ. Α-Απική, 183-198, Μουσείο Κυκλαδικής Τέχνης, Αθήνα 2013
- Κορδέλλας Α., «Περί των σκωριών και της μεταλλουργικής βιομηχανίας εν Ελλάδι», Αθήνα 1865
- Cordella A., *Le Laurium*, Marseille 1871
- Κορδέλλας Α., *Λαυρεωτικά Αρχαιοίτητες*, Aus den Mitteilungen des K. Deutschen arch. Instituts, Athen 1894 XIX, 238-244
- Κονοφάγος Κ., Mussche H., «Τα ελικοειδή πλυντήρια των Αρχαίων Ελλήνων εις το Λαύριον», *Πραγματείαί της Ακαδημίας Αθηνών*, 29, 2, Αθήναι (1970) 2-19
- Κονοφάγος Κωνσταντίνος, *Το Αρχαίο Λαύριο και η ελληνική τεχνική παραγωγής του Λαυρίου*, Εκδοτική Ελλάδα, Αθήνα 1980
- Λιάγκουρας Α., Κακαβογιάννης Ε., “Ευρήματα Λαυρεωτικής», *Αρχαιολογικά Ανάλεκτα εξ Αθηνών* IX-1 (1976), 24-43
- Lohmann H., 1994, «Ein alter Schaffstall in neuem Licht: Die Ruinen von Palaia Kopraisia bei Legrena (Attika)», in P.N. Dukellis and L.G. Mendoni (eds.) *Structures rurales et Sociétés antiques*, Actes du Colloque de Corfou (14-16 May 1992), Paris, 81-132.

- Mortier Sophie, "Late Classical and early Hellenistic Finds from Cistern No 1 at Thorikos", in *Thorikos 10. Reports and Studies*, Roald Docter (ed), Ghent University Department of Archaeology, 2011, pp 129-140
- Mussche H.F., "Recent excavations in Thorikos", *Acta Classica* 13 (Jan 1, 1970) 125-136
- Οικονομάκου Μ., «Οικισμός Θορικού Λαυρίου, Οικόπ. Κ. Μέξα», *Αρχαιολογικόν Δελτίον* τ. 46 (1991) 66-69, 1996
- Οικονομάκου Μ., «Εργαστήριο τήξεως μεταλλεύματος στον όρμο Ασημάκη Σουνίου», *Ορυκτός Πλούτος* 103 (1997) 47-53
- Papadimitriou G., Kordatos J., "The brown waterproofing plaster of the ancient cisterns in Laurion and its weathering and degradation", in *The study of marbles and other stones in antiquity* (ASMOSIA III proc), Y. Maniatis, Herz N. and Basiakos Y. (eds), Archetype 1990, 277-284
- Παπαδημητρίου Γ.Δ., «Λιθάργγυρος: Ένα χρήσιμο παραπροϊόν της μεταλλουργίας αργύρου στο Αρχαίο Λαύριο», *Πρακτικά ΣΤ΄ Επιστημονικής Συνάντησης Νοτιοανατολικής Αττικής* (1993), Μαρκόπουλο 1995, σ. 234-265.
- Papadimitriou G.D., "Ore washeries and water cisterns in the mines of Laurion-Attica", *Proceedings of the "Cura Aquarum"*. Conference held in 2015 in Athens. Forthcoming.
- Παπαδημητρίου Γ.Δ., «Πρόσθετα στοιχεία για την αρχιτεκτονική και την λειτουργία των εγκαταστάσεων εμπλουτισμού στο Αρχαίο Λαύριο», στο Ιωάννης Μπασιάκος, Ελένη Αλούπη, Γιώργος Φακορέλλης (επιμ.), *Αρχαιολογικές Μελέτες για την Ελληνική Προϊστορία και Αρχαιότητα*, Ελληνική Αρχαιομετρική Εταιρεία και Εταιρεία Μεσοπνιακών Αρχαιολογικών Σπουδών, Αθήνα (2001), 659-678
- Papadimitriou G.D., «Litharge: Waste or useful material? An intriguing material revisited», in N. Zacharias, M. Georgakopoulou, K. Polykreti, G. Fakorellis, Th. Vakoulis (ed) *Proceedings of the 5th Symposium of the Greek Archaeometric Society*, Papazissis Athens, 2008, 799-819
- Παπαδημητρίου Γεώργιος, «Μία νέα άποψη για τα λεγόμενα Ελικοειδή πλυντήρια του Λαυρίου και τις μεταλλουργικές διεργασίες που συνδέονται με αυτά» *Πρακτικά ΙΕ΄ Επιστημονικής Συνάντησης ΝΑ. Αττικής* 17-20 Οκτωβρίου 2013, Καλύβια Θορικού Αττικής 2015, σ. 149-157
- Papadimitriou G.D., "The so called "helicoidal ore washeries of Laurion": their actual function as circular mills in the process of beneficiation of silver and lead contained in old litharge stocks", in E. Photos-Jones in collaboration with Y. Bassiakos, E. Filippaki, A. Hein, I. Karatasios, V. Kilikoglou, and E. Kouloumpi (ed) *Proceedings of the 6th Symposium of the Hellenic Society for Archaeometry*, BAR International Series 2780, 2016, 113-118
- Photos-Jones E., Jones J.E., «The building and industrial remains at Agrileza, Laurion (Fourth century BC) and their contribution to the workings at the site», in *The Annual of the British School at Athens*, vol. 89, 1994 307-358, Athens
- Rehren Thilo, Vanhove Doris, Mussche Herman, Oikonomakou Mary, "Litharge from Laurion. A medical and metallurgical commodity from South Attika", in: *L' antiquité classique* 68 (1999) 299-308
- Σαλιώρα- Οικονομάκου Μ., «Εργαστήριο στο Σκιτζέρι και στο Καβοδόκανο», *Αρχαιολογικόν Δελτίον* 51-52 (1996-97) 125-139, 2000
- Στράβων, *Ατικά*, 9,1,23 (αναφορά σε παρακμή των μεταλλείων)

- Τσάιμου Ι.Γ., «Ο ανδρώνας του πλυντηρίου Σίμου στη Σούρεζα της Λαυρεωτικής», *Αρχαιολογικά Ανάλεκτα εξ Αθηνών*, XII-1, 15-23, Αθήναι 1980.
- Τσάιμου Γ.Κ., «Νέα στοιχεία για την εμπλουτιστική διαδικασία των αργυρούχων μεταλλευμάτων στο αρχαίο Λαύριο», *Πρακτικά 18^{ης} Επιστημονικής Συνάντησης ΝΑ. Αττικής*, Καλύβια 2008, 435-451
- Tsaimou C., Tsakiridis P.E., Oustadakis P., «Analytical and technological evaluation of ancient lead slags from Lavrion, Attika, Greece», *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, 15,2, (2015) pp 113-127.
- Tsakiridis P.E., Tsaimou C., Oustadakis P., Papadimitriou G.D., Investigation of ancient lead slags from Ari at Lavrion and related metallurgical recycling activities”, *Πρακτικά 5ου Συμποσίου Ελληνικής Αρχαιομετρικής Εταιρείας 2008*, Επιμ. Ν. Ζαχαριάς, Μ. Γεωργακοπούλου, Κ. Πολυκρέτη, Γ. Φακορέλλης, Θ. Βακούλης, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πελοποννήσου, 867-881, Εκδόσεις Παπαζήση Αθήνα 2012.

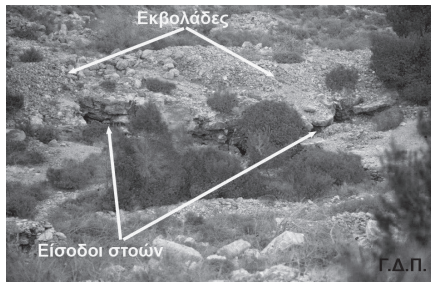
ABSTRACT

George D. Papadimitriou, Professor Emeritus NTUA
**Tracing out the mining and metallurgical landscape and history of
Laureotiki from the end of the 4th to the 1st century B.C.**

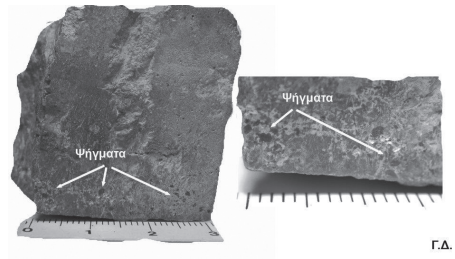
Mining in the Laureotiki began to decline at about 300 BC, with mines progressively working out. Under these circumstances, some miners reoriented their activities toward recycling of the huge amounts of mining and metallurgical remains available.

Recent archaeometallurgical research allowed specifying these activities and shed light on new technological inventions of the 3rd and 2nd century B.C., namely the introduction of high capacity circular mills for fine grinding and the modification of the rectangular washing plants for recovering silver inclusions from litharge.

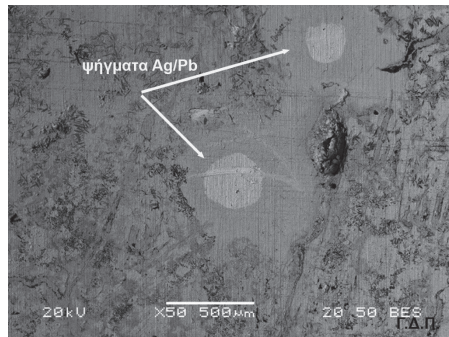
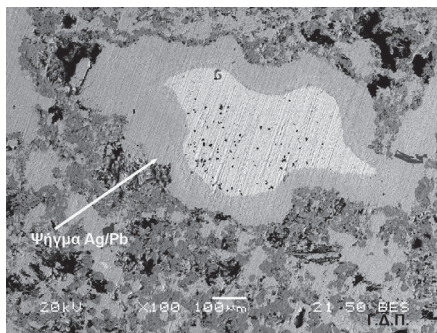
In the context of excavation data with relevant dating information, it is attempted to trace out the technological history of the mining region of Laureotiki during the Hellenistic and early Roman period, from the 3rd to the 1st century B.C.



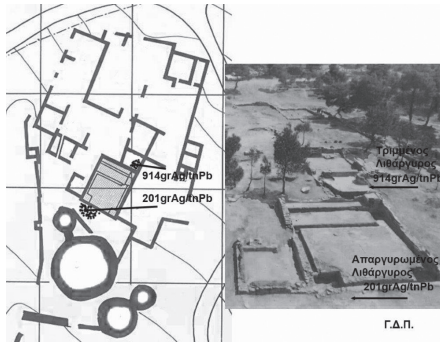
Σχ. 1. Σωροί εκβολάδων παρά την είσοδο στοών κατά μήκος της δεύτερης μεταλλοφόρου επαφής στη Σούρεζα.



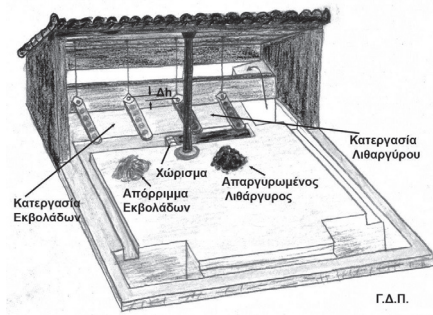
Σχ. 2. Τεμάχια πλακοειδούς λιθαργύρου με ευδιάκριτα μεταλλικά ψήγματα Ag/Pb, συγκεντρωμένα κυρίως κοντά στον πυθμένα της πλάκας, όπου καταβυθίστηκαν λόγω του μεγαλύτερου ειδικού βάρους, όταν ο λιθαργύρος ήταν ακόμη ρευστός.



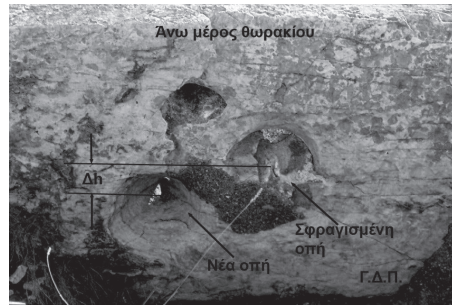
Σχ. 3α και 3β. Μορφές εγκλεισμάτων Ag/Pb μέσα στη μάζα λιθαργύρου, όπως φαίνονται στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σαρώσεως. Ο ανοιχτόχρωμος πυρήνας είναι πλούσιος σε άργυρο, ενώ το περίβλημα περιέχει περισσότερο μόλυβδο.



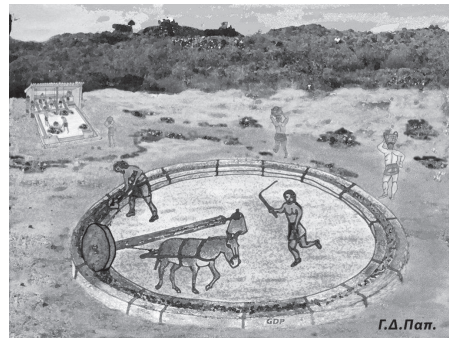
Σχ. 4. Το συγκρότημα του πλυντηρίου του Σίμου (ή Ασκληπιακόν) στη Σούρeza σε σχέδιο και σε φωτογραφία. Τα βέλη δείχνουν τις θέσεις όπου βρέθηκε τριμμένος λιθάργυρος, πριν και μετά την απόληψη των ψηγμάτων Ag/Pb, όπως επεξηγείται στο κείμενο.



Σχ. 6. Σχηματική αναπαράσταση επιπέδου πλυντηρίου, στο οποίο φαίνεται το χώρισμα στο μέσο του συλλεκτήριου αγωγού και οι οπές (ακροφύσια) στο θωράκιο σε διαφορετικό ύψος. Στα δύο πρώτα ρείθρα (δεξιά) γίνεται ο διαχωρισμός των αργυρούχων ψηγμάτων από τον τριμμένο λιθάργυρο και στα δύο επόμενα (αριστερά) εμπλουτισμός εκβολάδων.



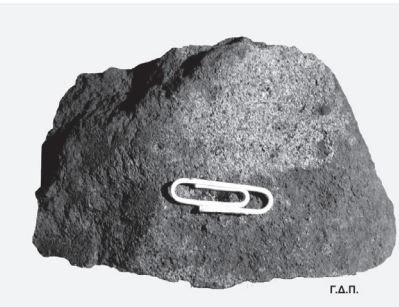
Σχ. 5. Θωράκιο δεξαμενής τροφοδοσίας, όπως φαίνεται από την εσωτερική πλευρά, στο οποίο έχει σφραγισθεί μία οπή (ακροφύσιο) και έχει διανοιγεί άλλη σε μικρότερο ύψος από το δάπεδο.



Σχ. 7. Σχηματική αναπαράσταση κυκλικού τριβείου με κατακόρυφη μυλόπετρα για τη λεπτί λειοτριβήση λιθαργύρου. Ο βραχίονας που κινεί τη μυλόπετρα σέρνεται από γάιδαρο.



Σχ. 8. Υπόλειμμα σωρού από λεπτά τριμμένο λιθάργυρο στη γωνία τετραγωνικού περιτειχίσματος κυκλικού τριβείου.



Σχ. 9. Τεμάκιο λεπτά τριμμένου λιθαργύρου, συσσωματωμένο από τον χρόνο, στο οποίο διακρίνεται η λεπτότητα των κόκκων (σαφώς κάτω των 0,5 mm). Για σύγκριση, το πάχος του σύρματος του συνδετήρα είναι περί το 1 mm.



Σχ. 10. Ένα εξαιρετικό παράδειγμα συγκροτήματος για την ανακύκλωση του λιθαργύρου, όπως φαίνεται από δορυφόρο (Google Earth). Παρατηρούνται το κυκλικό τριβείο, το επίπεδο πλυντήριο και το συγκρότημα πολλών καμίνων. Αρύ 2, ανασκαφή Κ. Τσάιμου (Τσάιμου Γ.Κ., 2008).



Σχ. 11. Αναπαράσταση της διαδικασίας ανακύκλωσης λιθαργύρου για παραγωγή αργύρου και εμπορικού μολύβδου. Αριστερά το διάγραμμα ροής και δεξιά αναπαράσταση του τεχνολογικού εξοπλισμού-εγκαταστάσεων που αντιστοιχούν σε κάθε στάδιο.