

Γεώργιος Δ. Παπαδημητρίου  
Καθηγητής Ε. Μ. Πολυτεχνείου

## Η παραγωγή μολύβδου στο Αρχαίο Λαύριο στη διάρκεια των Κλασικών και των Ρωμαϊκών χρόνων

### *1. Εισαγωγή*

Η ΠΑΡΟΥΣΑ ΑΝΑΚΟΙΝΩΣΗ αποτελεί συνέχιση και ολοκλήρωση μιας άλλης σχετικής ανακοίνωσης που παρουσίασα στην ΣΤ΄ συνάντηση Νοτιοανατολικής Αττικής (Παπαδημητρίου 1995), με θέμα τον λιθάργυρο, ως παραπροϊόν της μεταλλουργίας αργύρου στο Αρχαίο Λαύριο. Μεταξύ των άλλων χρήσεων του λιθαργύρου είχα αναφέρει τότε και τη χρησιμοποίησή του για παραγωγή μολύβδου και είχα διατυπώσει ορισμένες απόψεις βασισμένες σε προκαταρκτικές παρατηρήσεις. Στο διάστημα που πέρασε από τότε είχα την ευκαιρία να εξετάσω διεξοδικά και με σύγχρονες εργαστηριακές μεθόδους, όπως η ηλεκτρονική μικροσκοπία, η σημειακή μικροανάλυση και η περίθλαση ακτίνων Χ, πολυάριθμα δείγματα σκουριάς και καμινείας από το Αρχαίο Λαύριο, που επιτρέπουν να δώσουμε μία πιο ολοκληρωμένη εικόνα του τρόπου παραγωγής του μολύβδου από τον λιθάργυρο και να απαντήσουμε σε ορισμένα ερωτήματα σχετικά με ευρήματα των ανασκαφών στα αρχαία πλυντήρια. Στο φως αυτών των νέων δεδομένων είναι δυνατόν να επανεξετάσουμε τα θέματα του κόστους παραγωγής, της προσφοράς και της ζήτησης του μολύβδου και τις εφαρμογές του και να εκφράσουμε απόψεις για το ιδιοκτησιακό καθεστώς των καμίνων.

### *2. Το κόστος παραγωγής του μολύβδου και η αύξηση της τιμής του μετάλλου κατά τα ρωμαϊκά χρόνια*

Η παραγωγή αργύρου απετέλεσε έναν από τους ουσιαστικούς συντελεστές οικονομικής άνθησης των Αθηνών της κλασικής εποχής και για τον λόγο αυτό επεσκίασε για τους μελετητές της ιστορίας του Λαυρίου την παραγωγή του μολύβδου, ενός μετάλλου που συμπαραγόταν ως παραπροϊόν και είχε πολύ ευτελέστε-

ρες χρήσεις από την κοπή των περιφήμων αργυρών τετραδράχμων με τη γλαύκα. Αυτό ίσχυσε τόσο για τα αρχαία χρόνια, όπου σχεδόν κανένας από τους αρχαίους συγγραφείς δεν αναφέρεται στην παραγωγή μολύβδου, αλλά και για τα νεότερα, όπου οι σύγχρονοι ερευνητές συγκεντρώνουν την προσοχή τους στη σημασία του αργύρου και αναφέρονται συνοπτικά στον μολύβδο, χωρίς να έχουν διερευνήσει τα σχετικά με την παραγωγή του και την εμπορική και χρηστική του αξία.

Ωστόσο ο μολύβδος ήταν στην αρχαιότητα ένα πολύ χρήσιμο μέταλλο με πολλές εφαρμογές και –αν και χαμηλής τιμής– είχε μεγάλη οικονομική αξία λόγω της σημαντικής του κατανάλωσης.

Δεν έχουμε σαφείς πληροφορίες για την τιμή του μολύβδου στους αρχαίους χρόνους. Ο Κ. Κονοφάγος (1980) θεωρεί για τον μολύβδο τιμή 138 αττικές δραχμές ανά τόνο κατά τον 4ο π.Χ. αιώνα, χωρίς να δικαιολογεί την εκτίμησή του αυτή. Για τον άργυρο προτείνει τιμή 221 δραχμές ανά χιλιόγραμμο, δηλ. 1.600 φορές μεγαλύτερη από την τιμή του μολύβδου, τιμή την οποία δικαιολογεί με βάση το βάρος μιας αττικής δραχμής που ισοδυναμούσε με 4,25 γραμμάρια.

Ο Αριστοτέλης (*Οικονομικά*, 2, 36) παρέχει έμμεσα την πληροφορία ότι οι ιδιώτες πουλούσαν τον μολύβδο του Λαυρίου αντί δύο δραχμών: αναφέρει συγκεκριμένα ότι ο Πυθοκλής ο Αθηναίος συμβούλευσε τους συμπατριώτες του να αγοράζει η πόλη όλο τον μολύβδο του Λαυρίου αντί της τιμής των 2 δραχμών που ίσχυε τότε και στη συνέχεια να τον μεταπωλεί αντί 6 δραχμών.

*Πυθοκλής Αθηναίος Αθηναίοις συνεβούλευσε τον μολύβδον τον εκ των Λαυρίων παραλαμβάνειν παρά των ιδιωτών την πόλιν, ώσπερ επώλουν, δίδραχμον, είτα τάξαντας αυτούς τιμήν εξαδράχμου ούτω πωλείν.*

Στην παραπάνω αναφορά δεν διευκρινίζεται σε ποια ποσότητα αντιστοιχεί η τιμή των δύο δραχμών, στην οποία οι ιδιώτες πουλούσαν τον μολύβδο, αλλά είναι μάλλον βέβαιο ότι αναφέρεται στο «τάλαντον». Το τάλαντον παρουσιαζόταν με διάφορες παραλλαγές. Το αττικόν τάλαντον που ίσχυε επισήμως μετά τον Σόλωνα ζύγιζε 25,92 κιλά, ενώ το εμπορικό αττικό που συνηθιζόταν περισσότερο στις εμπορικές συναλλαγές ζύγιζε 36,39 κιλά και ήταν πλησιέστερο προς το αιγινήτειο που ζύγιζε 37,11 κιλά και χρησιμοποιούνταν επίσης πολύ. Με βάση αυτές τις ισοδυναμίες μπορούμε να εκτιμήσουμε ότι ο μολύβδος ετιμάτο μεταξύ 50 και 80 δραχμών τον τόνο στο χονδρικό εμπόριο. Η τιμή μεταπώλησης, όμως, (λιανική τιμή) θα μπορούσε να είναι –σύμφωνα με το ίδιο κείμενο– πολύ μεγαλύτερη, μέχρι και τριπλάσια κατά την πρόταση του Πυθοκλή που αναφέρει ο Αριστοτέλης.

Ασφαλώς η τιμή του μετάλλου τούτου –που κατά τα κλασικά χρόνια παραγόταν αποκλειστικά ως παραπροϊόν της παραγωγής αργύρου από τον λιθάργυρο (οξειδίο του μολύβδου)– θα καθοριζόταν από το κόστος παραγωγής σε συνδυασμό με τη σχέση προσφοράς και ζήτησης. Το κόστος της μεταλλουργικής επεξεργασί-

ας για την παραγωγή του μολύβδου από τον λιθάργυρο είναι σχετικά μικρό, όπως προκύπτει από τον υπολογισμό που θα επιχειρήσουμε στη συνέχεια, ενδεικτικά.

Σύμφωνα με αρχαίες πληροφορίες που αναλύονταν από τον Κονοφάγο (1980), το «ημερομίσθιο» ενός δούλου, δηλ. το κόστος ενός ενοικιαζόμενου δούλου ανά ημέρα, είναι 0,6 δραχμές κατά τον 4ο αιώνα π.Χ. Το κόστος του ξυλάνθρακα ανά κιλό θεωρείται ίσο προς το 1/10 του παραπάνω ημερομισθίου, κατ' αναλογία προς ό,τι ίσχυε στην προβιομηχανική Ελλάδα του περασμένου αιώνα, δηλ. 0,06 δραχμές ανά κιλό (ή 60 δραχμές ανά τόνο).

Αν ακόμη υποθέσουμε ότι μία κάμινος διαμέτρου 70-100 εκ., όπως αυτές που βρέθηκαν στην Πουνταζέζα, είχε δυναμικότητα κατεργασίας περί τους 5 τόνους το εικοσιτετράωρο σε συνεχή λειτουργία και χρειαζόταν 20% καύσιμο ανά τόνο τροφοδοσίας, μπορούμε εύκολα να υπολογίσουμε το κόστος κατεργασίας του μολύβδου, βασιζόμενοι στο κόστος εργατικών και στο κόστος καυσίμου.

Ας υποθέσουμε ότι είναι διαθέσιμη μία ποσότητα 1.000 τόνων λιθαργύρου για παραγωγή μολύβδου. Επειδή ο λιθάργυρος δεν περιέχει παρά ελάχιστες προσμίξεις για να σχηματίσουν σκουριά (γύρω στο 5-8% ακαθαρσίες), θα χρειαζόταν να προστεθεί συλλίπασμα: είτε παλιά σκουριά, είτε άμμος από τη θάλασσα σε αναλογία περίπου 30%, όπως θα δείξουμε σε επόμενη παράγραφο. Επομένως το υλικό που θα υποστεί μεταλλουργική κατεργασία θα είναι 1.300 τόνοι και θα χρειαστούν  $1.300 : 5 = 260$  ημέρες (εικοσιτετράωρα) λειτουργίας της καμίνου για να εξαχθεί ο μολύβδος. Αν η λειτουργία της καμίνου εξυπηρετείται από τρεις εργαζόμενους σε δύο δωδεκάωρες βάρδιες, τότε θα χρειαστούν  $260 \times 3 \times 2 = 1.560$  ημερομίσθια και θα κοστίσουν  $1.560 \times 0,6 = 936$  δραχμές.

Η απαιτούμενη ποσότητα ξυλάνθρακα θα είναι  $1.300 \times (20/100) = 260$  τόνοι και το αντίστοιχο κόστος  $260 \times 60 = 15.600$  δραχμές.

Από τα προηγούμενα προκύπτει ότι το κόστος μεταλλουργικής κατεργασίας του λιθαργύρου για παραγωγή μολύβδου διαμορφώνεται κυρίως από το κόστος του καυσίμου και είναι περίπου 16.536 δραχμές ανά 1.000 τόνους λιθαργύρου ή 16,5 δραχμές ανά τόνο λιθαργύρου.

Αν λάβουμε υπόψη μας ότι ο λιθάργυρος περιέχει περί το 85% μόλυβδο (το υπόλοιπο 15% είναι οξυγόνο και προσμίξεις) και θεωρήσουμε την απόδοση απόληψης σε μέταλλο περί το 80%, τότε από τους 1.000 τόνους λιθαργύρου θα παραχθούν  $1.000 \times (85/100) \times (80/100) = 680$  τόνοι μολύβδου.

Επομένως το κόστος μεταλλουργικής επεξεργασίας για την παραγωγή ενός τόνου μολύβδου από λιθάργυρο είναι  $16.536 : 680 = 24,3$  δραχμές. Αυτή η τιμή πρέπει να προσαυξηθεί έστω κατά 20% λόγω άλλων επιβαρύνσεων, που για την απλούστευση των υπολογισμών δεν ελήφθησαν υπόψη, δίνοντας τελική τιμή 29 δραχμές ανά τόνο μολύβδου. Ανάγοντας στη συνέχεια την τιμή σε ένα εμπορικό τάλαντο (36,39 κιλά) προκύπτει κόστος  $(36,39 \times 29) : 1.000 = 1,05$  δραχμές/τάλαντον.

Η διάθεση του μολύβδου σε τιμή 2 δραχμών ανά τάλαντο –όπως συμπεραίνεται από την αναφορά του Αριστοτέλη– απέδιδε, επομένως, κέρδη 100% σε σχέση με το κόστος παραγωγής της 1 δραχμής ανά τάλαντο. Βεβαίως, λογιστικά, αυτός ο υπολογισμός δεν είναι ορθός, διότι και ο λιθάργυρος έχει αξία ως πρώτη ύλη, που δεν ελήφθη υπόψη. Για έναν όμως μεταλλειοκτήτη –παραγωγό αργύρου– που είχε στη διάθεσή του μεγάλες ποσότητες λιθαργύρου χωρίς να μπορεί να τις διαθέσει, ο λιθάργυρος δεν είχε αξία, ήταν απόρριμμα. Δεν αποκλείεται πάντως να υπήρχαν και βιοτέχνες-μεταλλουργοί με μία ή δύο μικρές καμίνους που παρήγαν μολύβδο χάρη στην προσωπική τους εργασία από λιθάργυρο που αγόραζαν σε χαμηλή τιμή. Αν και με μικρότερα περιθώρια κέρδους, θα μπορούσαν να επιζούν, όπως συμβαίνει και σήμερα με ιδιοκτήτες μικρών χυτηρίων, που λειτουργούν με πολύ μικρό κόστος και ανταγωνίζονται επικίνδυνα τα οργανωμένα συγκροτήματα σε απλές εφαρμογές, όταν η ποιότητα είναι δευτερεύουσα.

Κατά τα κλασικά χρόνια σε ενεπίγραφη στήλη που αναφέρεται στην κατασκευή του Ανθεμίου της Αθηνάς στην Ακρόπολη αναφέρεται ως τιμή για τον χαλκό 35 δραχμές ανά τάλαντο και για τον κασσίτερο 230 δραχμές ανά τάλαντο. Επομένως, κατά τα κλασικά χρόνια, σύμφωνα και με τα προηγούμενα, η σχέση τιμής

$$\text{Κασσίτερου} : \text{Χαλκού} : \text{Μολύβδου είναι } 230 : 35 : 2 = 115 : 18 : 1$$

Στα ρωμαϊκά χρόνια ο Πλίνιος ο Πρεσβύτερος (23-79 μ.Χ.) αναφέρει στο 34ο βιβλίο του της *Φυσικής Ιστορίας*, παράγραφος 48, ως τιμή για τον κασσίτερο 80 δηνάρια τη λίβρα και για τον μολύβδο 7 δηνάρια τη λίβρα, δηλ. μία σχέση Κασσίτερος : Μολύβδος =  $80 : 7 = 11,5 : 1$ , αντί του  $115 : 1$  της κλασικής εποχής.

Ο κασσίτερος ήταν πάντα ακριβό μέταλλο, διότι ερχόταν από μακριά, άλλωστε παραμένει ακριβός (*pretiosissimum*) και στη ρωμαϊκή εποχή, όπως ο ίδιος ο Πλίνιος βεβαιώνει (παράγραφος 47 του προαναφερθέντος βιβλίου).

Άρα, αν θεωρήσουμε ως σημείο αναφοράς την τιμή του κασσίτερου, η τιμή του μολύβδου έχει περίπου δεκαπλασιαστεί στην αγορά των μετάλλων κατά τα ρωμαϊκά χρόνια σε σχέση με τα κλασικά, και αυτό χάρη στις εφαρμογές του μολύβδου στην υδραυλική.

### 3. Οι διακυμάνσεις στη ζήτηση λιθαργύρου και μολύβδου

Δεδομένου ότι η προσφορά μολύβδου ήταν κατά κανόνα υψηλή, η ζήτηση θα έπαιζε τον κύριο ρόλο. Η τελευταία διαμορφωνόταν ασφαλώς από τις εφαρμογές.

Χωρίς να αγνοήσουμε τις χρήσεις του μολύβδου για εφαρμογές της καθημερινής ζωής, που εξασφάλιζαν μία κατά το μάλλον ή ήττον μικρή αλλά σταθερή κατανάλωση στη διάρκεια του 6ου, 5ου και 4ου αιώνα π.Χ., θα πρέπει να διακρί-

νουμε και ορισμένες ιδιαίτερες εφαρμογές στην οικοδομική και τις κατασκευές που σε ορισμένες χρονικές περιόδους πρέπει να οδήγησαν την κατανάλωση σε έξαρση και την τιμή του μολύβδου σε αρκετά υψηλά επίπεδα.

Οι χρήσεις του μολύβδου που ικανοποιούσαν ανάγκες της καθημερινής ζωής, δηλ. παραγωγή καταναλωτικών αγαθών, ήταν για χύτευση αγνύθων (αγνύθες είναι τα βαρίδια που κρεμούσαν στο στημόνι των αργαλειών για να παραμένουν τα νήματα τεντωμένα) και άλλων μικροαντικειμένων, για επισκευή (συγκόλληση) ραγισμένων αγγείων, για την κραμάτωση του μπρούντζου και για φάρμακα. Η τοπική κατανάλωση για τις εφαρμογές αυτές μαζί με τις εξαγωγές δεν μπορούσαν να απορροφήσουν παρά ένα μικρό τμήμα της παραγωγής μολύβδου στο Λαύριο, που κατά τους υπολογισμούς του Κονοφάγου πρέπει να έφτασε μέχρι τους 8.000 τόνους το χρόνο κατά την περίοδο από το 470 ως το 430 π.Χ.! Στην πραγματικότητα, η παραγωγή μολύβδου θα μπορούσε να έχει φτάσει σ' αυτά τα επίπεδα, αν υπήρχε αρκετή ζήτηση, ώστε να δικαιολογείται η μετατροπή όλου του λιθαργύρου σε μολύβδο.

Για τον λόγο αυτό, είναι πιο λογικό να υποθέσουμε ότι ποτέ δεν παρήχθη τόσος πολύς μολύβδος, απλώς ο λιθάργυρος ή οδηγήθηκε σε άλλες χρήσεις ή παρέμεινε αχρησιμοποίητος, πράγμα που αποδεικνύεται από τις δραστηριότητες ανάτηξης αργότερα, μέχρι και τα ρωμαϊκά χρόνια. Μεγάλες ποσότητες αυτού του υλικού παρέμειναν σε σωρούς ή διάσπαρτες κοντά στις αρχαίες εγκαταστάσεις και χρησιμοποιήθηκαν για παραγωγή μολύβδου ακόμη και μέχρι το τέλος του 19ου αιώνα.

Δεν υπάρχουν αρχαίες αναφορές για τη χρήση του λιθαργύρου, παρά μόνον εκείνες που αναφέρονται σε χρήσεις της φαρμακευτικής (βλέπε π.χ. Πλίνιος ο Πρεσβύτερος, *Φυσική Ιστορία*, 34ο βιβλίο). Όμως, από μία σειρά ερευνών στο Εργαστήριο Μεταλλογνωσίας του ΕΜΠ (Κονοφάγος και Μπαντέκα 1974, Κονοφάγος και Παπαδημητρίου 1978, Papadimitriou and Kordatos 1993) αποδείχθηκε αδιαμφισβήτητα ότι στη σύνθεση του στεγανωτικού επιστρώματος των δεξαμενών και των αρχαίων πλυντηρίων στο Λαύριο χρησιμοποιήθηκε λιθάργυρος. Κατ' αρχήν, στην περίοδο που η μεταλλευτική δραστηριότητα στο Λαύριο βρισκόταν στο αποκορύφωμά της και κατασκευάζονταν πολυάριθμα συγκροτήματα των πλυντηρίων (από τις αρχές ως τα μέσα του 5ου αιώνα π.Χ.), ο λιθάργυρος που παραγόταν ως παραπροϊόν της μεταλλουργίας αργύρου και χρησίμευε ο ίδιος ως πρώτη ύλη για την παραγωγή του μολύβδου, ήταν απαραίτητος για την επένδυση των δεξαμενών με το στεγανωτικό επίχρισμα.

Από έναν χονδροειδή υπολογισμό των επιφανειών των δεξαμενών και των άλλων μερών ενός πλυντηρίου που καλυπτόταν με στεγανωτικό επίχρισμα, προκύπτει ότι για κάθε συγκρότημα πλυντηρίου χρειαζόνταν περίπου 2 τόνοι λιθαργύρου – αν όχι και περισσότερο.

Την ίδια χρονική περίοδο κατασκευάζονταν στην Αθήνα ναοί και δημόσια κτίρια, στα οποία χρησιμοποιήθηκε πολύς μόλυβδος, όπως θα δούμε στην επόμενη παράγραφο.

Επομένως σε κάποια χρονική περίοδο μέσα στον 5ο αιώνα π.Χ. ο λιθάργυρος θα πρέπει να παρουσίασε σημαντική ζήτηση, ίσως και έλλειψη.

Σε μία λεπτομερή εξέταση μεγάλου αριθμού δειγμάτων των στεγανωτικών επιστρωμάτων από δεξαμενές και από πλυντήρια (Papadimitriou and Kordatos 1993) διαπιστώσαμε ότι σε αρκετές από τις δεξαμενές δεν χρησιμοποιήθηκε λιθάργυρος για την κατασκευή του στεγανωτικού επιστρώματος, αλλά σιδηρομαγνανιούχο μετάλλευμα ή μίγμα των δύο προηγούμενων υλικών. Αυτό είναι προφανώς απόδειξη ότι το ιδανικό υλικό γι' αυτή τη χρήση, ο λιθάργυρος, βρισκόταν σε έλλειψη και υποκαταστάθηκε εν μέρει ή στο σύνολό του από σιδηρομαγνανιούχα μεταλλεύματα (για τον τρόπο κατασκευής των επιστρωμάτων αυτών βλέπε την προαναφερθείσα δημοσίευση). Επομένως, την περίοδο αυτή, πρέπει να υπήρχε μεγάλη ζήτηση λιθαργύρου και κατά συνέπεια ο μόλυβδος θα πρέπει να ήταν πιο ακριβός από άλλες περιόδους. Βεβαίως, όταν τα περισσότερα συγκροτήματα εμπλουτισμού με τις δεξαμενές τους ολοκληρώθηκαν, η χρήση του λιθαργύρου θα περιορίστηκε κυρίως στη συντήρηση των υπαρχουσών εγκαταστάσεων και η τιμή του μολύβδου θα μειώθηκε. Αλλά και ο αρχιτεκτονικός οργανισμός είχε ήδη σιγάσει. Η περίοδος χαμηλής ζήτησης πρέπει να διήρκεσε πολύ και να δημιουργήσει μεγάλα αποθέματα λιθαργύρου, μέχρις ότου βρέθηκαν νέες εφαρμογές του μολύβδου, στο τέλος των ελληνιστικών και στις αρχές των ρωμαϊκών χρόνων.

#### ***4. Η ζήτηση του μολύβδου στην οικοδομική***

Η σπουδαιότερη χρήση του μολύβδου κατά την κλασική περίοδο (5ος ως 3ος αιώνας π.Χ.) ήταν στην οικοδομική.

Για τη σύνδεση των δομικών λίθων δημοσίων κτιρίων και ναών οι αρχαίοι δεν χρησιμοποιούσαν κονιάματα, αλλά σιδερένιους συνδέσμους και γόμφους τοποθετημένους σε αντίστοιχο έγκοιλο των λίθων, μέσα σε χυτή μάζα μολύβδου. Οι σύνδεσμοι είχαν σχήμα διπλού ταυ και χρησίμευαν για οριζόντιες συνδέσεις, δηλ. συνέδεαν οριζόντια δύο παρακείμενους λίθους στο ίδιο επίπεδο. Οι γόμφοι είχαν σχήμα πρισματικό (χονδρής πλάκας) και χρησίμευαν για κατακόρυφες συνδέσεις, δηλ. συνέδεαν τον υπερκείμενο με τον υποκείμενο λίθο (Σχ. 1). Οι σύνδεσμοι τοποθετούνταν μέσα σε έγκοιλο λαξευμένο στους δύο λίθους που επρόκειτο να συνδεθούν, το οποίο είχε διαστάσεις αρκετά μεγαλύτερες απ' αυτές του συνδέσμου (Σχ. 2). Το έγκοιλο γεμιζόταν στη συνέχεια με λιωμένο μόλυβδο, ο οποίος κάλυπτε τον σύνδεσμο απ' όλες τις πλευρές και γέμιζε το κενό.

Μόλυβδος χρησιμοποιούνταν και στους κίονες για τη σύνδεση των σπονδύλων.

Αν και δεν είναι γνωστά τα ακριβή κίνητρα για τη χρησιμοποίηση αυτής της σοφής τεχνικής, όμως μπορούμε να υποθέσουμε ότι οι αρχαίοι αρχιτέκτονες κάλυπταν τον σίδηρο με μόλυβδο για δύο πιθανούς λόγους:

Πρώτον, για να προστατεύσουν τον σίδηρο από την επίδραση του αέρα και της υγρασίας που οδηγεί σε οξειδωση των συνδέσμων. Μέσα στο έγκοιλο του μαρμάρου η παγιδευμένη υγρασία συμπυκνώνεται και εξατμίζεται καθημερινά ακολουθώντας τις περιοδικές μεταβολές της θερμοκρασίας, ώστε σε σύντομο χρονικό διάστημα μπορεί να προκαλέσει την ολοκληρωτική οξειδωση των σιδερένιων συνδέσμων αν είναι γυμνοί. Η οξειδωση του σιδήρου συνοδεύεται από διόγκωση, λόγω του σχηματισμού του οξειδίου, και ασκεί ισχυρές τάσεις στο έγκοιλο του μαρμάρου, που όντας ψαθυρό ενδεχομένως θραύεται.

Δεύτερον, για να εξασφαλίσουν μία καλή εφαρμογή του συνδέσμου μέσα στο έγκοιλο, ώστε να περιορίζεται η ελευθερία κινήσεως των λίθων, χωρίς όμως να επιβάλλεται και πλήρης ακαμψία στο σύστημα. Όπως είναι γνωστό, ο μόλυβδος είναι ένα εξαιρετικά πλαστικό υλικό, και ως τέτοιο μπορεί να απορροφήσει αποτελεσματικά τις τάσεις οι οποίες θα είχαν ενδεχομένως αναπτυχθεί από την άμεση επαφή σιδήρου και μαρμάρου κατά τις μικρομετακινήσεις από καθιζήσεις, θερμικές διαστολές-συστολές ή σεισμούς. Έτσι ο μόλυβδος δρα σαν μαξιλάρι μεταξύ του σιδήρου και του ψαθυρού μαρμάρου, εμποδίζοντας τη ρωγμάτωση του τελευταίου, που θα είχε αναπόφευκτα προκληθεί από τη διόγκωση των συνδέσμων λόγω οξειδωσης ή μετακίνησης.

Τέλος, δεν πρέπει να παραβλέψουμε ότι ο μόλυβδος, χάρη στην πλαστικότητά του, δεν ρωγματώνεται, όπως θα συνέβαινε αν στη θέση του χρησιμοποιούνταν κάποιο κονίαμα από ασβέστη και άμμο.

Οι αρχαίοι ήταν πολύ προνοητικοί κατά τη χρήση αυτής της τεχνικής, η οποία έχει –όπως φαίνεται– άγνωστη αλλά αρκετά παλιά προέλευση, αφού κατά τον Ηρόδοτο (Ιστορία 1, *Κλειώ*, 186) χρησιμοποιήθηκε και στη Βαβυλώνα για την ανέγερση γέφυρας πάνω από τον ποταμό Ευφράτη από τη βασίλισσα Νίτωκρη (πιθανώς γύρω στο 600 π.Χ.).

Αποτέλεσμα αυτής της τεχνικής ήταν να διατηρηθούν σε καλή κατάσταση οι περισσότερες συνδέσεις των αρχαίων μαρμάρων μέχρι σήμερα.

Ασφαλώς ο μόλυβδος θεωρούνταν δαπανηρή λύση για οικοδομικές χρήσεις στην Αρχαιότητα λόγω και της μεγάλης ποσότητας που απαιτείται, γι' αυτό και δεν χρησιμοποιούνταν σε κοινές κατασκευές, παρά μόνον σε δημόσια κτίρια.

Κατά τον 5ο αιώνα π.Χ., που χτίζονταν μεγαλειώδεις ναοί και δημόσια κτίρια, χρειάστηκαν πολύ μεγάλες ποσότητες μολύβδου για την ανέγερσή τους. Αρκεί να παρατηρήσουμε από ψηλά τη βάση του ναού του Απόλλωνα στους Δελφούς, για να διαπιστώσουμε του λόγου το αληθές (Σχ. 3). Εκατοντάδες συνδέσεις σαν

αυτές που αναφέραμε παρατηρούνται σε κάθε στρώση δομικών λίθων και για κάθε σύνδεση καταναλώθηκαν 2-5 κιλά μολύβδου.

### 5. Άλλες χρήσεις του μολύβδου

Εκτός από την οικοδομική, ο μολύβδος είχε και άλλες εφαρμογές.

Ήδη από τη Μυκηναϊκή εποχή ο μολύβδος αρχίζει να υπεισέρχεται ως κραματική πρόσμιξη στους μπρούντζους. Στα χυτά αντικείμενα βελτιώνει την ευχυτότητα, δηλ. τη ρευστότητα του λιωμένου μετάλλου, ώστε να διεισδύει σε όλες τις λεπτομέρειες του καλουπιού, για να λαμβάνονται άρτια αντικείμενα. Προστίθεται ακόμα και ως νόθευση, αντί του κασσιτέρου που ήταν πολύ ακριβότερο μέταλλο.

Σταδιακά οι χρήσεις του μολύβδου πολλαπλασιάζονται και στη ρωμαϊκή εποχή ο μολύβδος είναι πλέον ένα πολύ αξιόλογο μέταλλο. Αυτό γίνεται αντιληπτό και από μία σύγκριση των τιμών των διαφόρων γνωστών μετάλλων και από την εξέλιξή τους που περιγράψαμε σε προηγούμενη παράγραφο, οπότε ο μολύβδος στα ρωμαϊκά χρόνια αποκτά τιμή ίση με το 1/12 περίπου της τιμής του κασσιτέρου.

Στη ρωμαϊκή εποχή ο μολύβδος χρησιμοποιείται σε πολλά κράματα.

Ο Πλίνιος στο 34ο βιβλίο του αναφέρει ότι ένα κράμα με 50% μολύβδο και 50% κασσίτερο χρησιμοποιείται για το γάνωμα μπρούντζινων δοχείων. Επίσης ένα άλλο κράμα με 2/3 μολύβδο και 1/3 κασσίτερο χρησιμοποιήθηκε, όπως και σήμερα, για συγκόλληση μετάλλων. Εξάλλου, ποτέ δεν σταμάτησε η χρήση του μολύβδου για νοθεία στη θέση του κασσιτέρου, όπως βεβαιώνεται και από τον Πλίνιο.

Σπουδαίες εφαρμογές έχει ακόμη ο μολύβδος για την κατασκευή σωλήνων που χρησιμοποιούνταν για τη μεταφορά νερού.

Η αρχαιολόγος Μ. Οικονομάκου σε ανασκαφή που έκανε στον Όρμο Ασημάκη Σουνίου (Λιμάνι Πασά) και η οποία περιγράφεται σε σχετικό άρθρο της (1997) αποκάλυψε ένα μικρό εργαστήριο με κάμινο που χρονολογείται στο τέλος του 3ου και στον 2ο αιώνα π.Χ. Από την εξέταση των σκουριών και άλλων υπολειμμάτων καμινείας που μας έδωσε την ευκαιρία να εξετάσουμε, διαπιστώσαμε ότι στην κάμινο αυτή γινόταν κατεργασία λιθαργύρου για παραγωγή μολύβδου. Οι σκουριές που βρέθηκαν περιείχαν πολύ πυρίτιο, αλλά ήταν εξαιρετικά φτωχές σε σίδηρο και άλλα στοιχεία, πράγμα που αποτελεί ισχυρή ένδειξη ότι ως μέταλλευμα χρησιμοποιούνταν λιθάργυρος και ως συλλίπασμα χρησιμοποιούνταν άμμος από τη θάλασσα.

Αλλά και στο συγκρότημα των καμίνων της Πουνταζέζας πολλές από τις σκουριές που εξετάσαμε προέρχονται από εξαγωγή μολύβδου από λιθάργυρο και μοιάζουν με αυτές της ανασκαφής που αναφέραμε.

Οι παρατηρήσεις αυτές δείχνουν ότι από τα μέσα του 3ου αιώνα π.Χ. και μετά είχε ατονήσει η παραγωγή αργύρου και τα μεταλλουργικά συγκροτήματα που παλαιότερα παρήγαν τον αργυρούχο μολύβδο συνέχισαν να ασχολούνται κυρίως με παραγωγή μολύβδου από τον λιθάργυρο.



### **6. Η μεταλλουργία παραγωγής του μολύβδου από τον λιθάργυρο**

Σύμφωνα με τα προηγούμενα, φαίνεται ότι η παραγωγή μολύβδου συνεχίστηκε και κατά τα ρωμαϊκά χρόνια, αφού είχε ήδη σταματήσει προ πολλού η παραγωγή αργύρου. Τα ίδια συγκροτήματα καμίνων, που χρησιμοποιήθηκαν στα κλασικά χρόνια για την παραγωγή αργυρούχου μολύβδου, χρησιμοποιήθηκαν στη συνέχεια και για την παραγωγή μολύβδου από τα παραπροϊόντα της μεταλλουργίας αργύρου, δηλ. κυρίως από λιθάργυρο, αλλά ενδεχομένως και από σκουριές αρκετά πλούσιες σε μόλυβδο.

Αν και οι σκουριές της παραγωγής αργυρούχου μολύβδου από μεταλλεύματα και συμυκνώματα μοιάζουν εκ πρώτης όψεως πολύ με τις σκουριές παραγωγής μολύβδου από τον λιθάργυρο, όμως με προσεκτική μελέτη που στηρίζεται σε μεταλλουργικές γνώσεις είναι δυνατόν να τις διακρίνουμε και να βγάλουμε αρχαιολογικά συμπεράσματα για τον ρόλο των καμίνων.

Με χημική ανάλυση είναι δυνατόν να διαπιστωθεί ότι οι πρώτες περιέχουν αρκετό άργυρο μέσα στα εγκλείσματα μολύβδου, ενώ οι δεύτερες περιέχουν ελάχιστο άργυρο. Αυτή, όμως, η τεχνική είναι δύσκολη, δαπανηρή και χρονοβόρα, γι' αυτό και μέχρι σήμερα δεν έχει γίνει καμία τέτοια έρευνα.

Αντιθέτως, στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σαρώσεως (SEM) εφοδιασμένο με σημειακή μικροανάλυση (EDS), τα πράγματα είναι πολύ απλούστερα, διότι μπορούν να παρατηρηθούν αρκετές διαφορές που αποτελούν σαφείς ενδείξεις για τον τύπο της σκουριάς. Πράγματι, στις σκουριές παραγωγής αργυρούχου μολύβδου εντοπίζεται άργυρος μέσα στα εγκλείσματα μολύβδου, ενώ στις σκουριές παραγωγής μολύβδου από λιθάργυρο εντοπίζονται εγκλείσματα λιθαργύρου και πρακτικά καθόλου άργυρος.

Έτσι στο μεγάλο συγκρότημα καμίνων της Πανόρμου (Πουνταζέζας) και στο μικρό εργαστήριο του όρμου Ασημάκη που ανέσκαψε η αρχαιολόγος κ. Οικονομάκου διαπιστώσαμε, χάρη στην προαναφερθείσα τεχνική, ότι στην τελευταία φάση λειτουργίας των φούρνων παραγόταν μόλυβδος με πρώτη ύλη τον λιθάργυρο, που πιθανώς υπήρχε ως απόθεμα από προηγούμενες εποχές.

Οι σκουριές αυτές, που χαρακτηρίζουν την παραγωγή μολύβδου, έχουν πολλά χαρακτηριστικά γνωρίσματα:

Το κυριότερο είναι η παρουσία στο εσωτερικό τους υπολειμμάτων λιθαργύρου, όπως φαίνεται στην ηλεκτρονική μικρογραφία του Σχ. 4, όπου ένας κόκκος λιθαργύρου έχει αναχθεί στην περιφέρειά του προς μόλυβδο, ενώ το κέντρο του είναι καθαρότατος λιθάργυρος. Οι παρατηρήσεις αυτές επιβεβαιώνονται από τη σημειακή μικροανάλυση που συνοδεύει τη μικρογραφία.

Δεύτερον, οι σκουριές αυτές είναι σχετικά φτωχές σε σίδηρο, αλλά πλούσιες σε πυριτικό, όπως φαίνεται από τη μικρογραφία του Σχ. 5, που συνοδεύεται από

αντίστοιχη σημειακή μικροανάλυση. Αν είχε γίνει κατεργασία μεταλλεύματος (και όχι λιθαργύρου) οι σκουριές θα περιείχαν πολύ περισσότερο σίδηρο, ψευδάργυρο και άλλα στοιχεία που συναντώνται στα μεταλλεύματα του Λαυρίου. Οι σκουριές όμως είναι πολύ καθαρές και δεν μπορεί παρά να προέρχονται από κατεργασία λιθαργύρου.

Ένα μέρος του πυριτικού, καθώς και το αργίλιο και ασβέστιο που περιέχουν οι σκουριές αυτές, προέρχονται από το στάδιο της μπρικετοποίησης (τουβλοποίησης) που θα εξετάσουμε στη συνέχεια, ενώ φαίνεται πιθανόν ότι για να δημιουργήσουν την απαραίτητη σκουριά οι αρχαίοι μεταλλουργοί χρησιμοποίησαν και άμμο από τη θάλασσα, που μαρτυρείται από την αυξημένη παρουσία πυριτίου.

### **7. Η προετοιμασία του λιθαργύρου για την παραγωγή μολύβδου.**

#### ***Τα «ψευτοσυμπυκνώματα» των ανασκαφών***

Ένα βασικό ερώτημα είναι πώς ακριβώς προετοιμάζαν οι αρχαίοι μεταλλουργοί την πρώτη ύλη τροφοδοσίας της καμίνου. Ο λιθάργυρος, όπως παράγεται ως παραπροϊόν από την κυπέλλωση –σε πλάκες ή σε σωλήνες– είναι εξαιρετικά συμπαγής, χωρίς να έχει το πορώδες, που είναι απαραίτητο για να διαπερασθεί από τα αναγωγικά αέρια στην κάμινο και να αναχθεί προς μολύβδο.

Για τον λόγο αυτό, ο λιθάργυρος έπρεπε να λειοτριβηθεί και στη συνέχεια να μπρικετοποιηθεί σε ευμεγέθη τεμάχια, ώστε να έχει το απαραίτητο πορώδες, χωρίς να εμποδίζει την ελεύθερη διέλευση των αερίων μέσα στην κάμινο.

Ένα τέτοιο υλικό σε συμπαγή μορφή εντοπίσαμε σε μικρούς σωρούς σε διάφορα πλυντήρια της Λαυρεωτικής, μέσα σε δωμάτια και στο ύπαιθρο, στις ανασκαφές του Πολυτεχνείου. Παρόμοια προϊόντα εντοπίστηκαν, επίσης, και στις ανασκαφές της Αγγλικής Αρχαιολογικής Σχολής, όπως αναφέρεται και σε σχετικές δημοσιεύσεις (βλέπε, π.χ., Ε. Φώτου 1992, Ε. Photos-Jones and J. Ellis Jones 1994) όπου χαρακτηρίζονται είτε ως ημιτετηγμένο μετάλλευμα ή ως «lead rich cement», χωρίς να δίνεται ικανοποιητική εξήγηση για την προέλευσή τους. Τέτοια κομμάτια, από τη συλλογή του κ. Μαρκουλή, εκτέθηκαν επίσης ως «συμπυκνώματα» στη μεταλλευτική έκθεση που συνόδευε την εκδήλωση της Θ' Συνάντησης Νοτιοανατολικής Αττικής στο Λαύριο.

Όπως είπαμε προηγουμένως, τα υλικά αυτά δεν είναι συμπυκνώματα, αλλά τριμμένος λιθάργυρος, ανακατεμένος με συνδετικό υλικό για μπρικετοποίηση, που προορίζεται για παραγωγή μολύβδου και θα το αποκαλέσουμε «ψευτοσυμπύκνωμα».

Το υλικό, εξεταζόμενο με περίθλαση ακτίνων Χ, δείχνει ότι αποτελείται από λιθάργυρο και από ανθρακικό μολύβδο (κερουσίτη), με ενδείξεις παρουσίας και μερικών άλλων ορυκτών, όπως ασβεσίτης και άλλα που βρίσκονται σε μικρότερες ποσότητες (χαλαζίας, άργιλος, φθορίτης κ.λπ.). Η κοκκομετρία του (όταν αποσυντεθεί στους κόκκους του στο εργαστήριο με ήπιες συνθήκες θρυμματισμού) είναι

αρκετά χονδρή, αφού περίπου το 85% είναι χονδρότερο από 1,2 χιλ., με τεμάχια που φτάνουν τα 5 χιλ., όπως φαίνεται στον Πίνακα 1. Δεν υπήρχε, πράγματι, κανένας λόγος να τριφτεί πιο λεπτό, διότι δεν επρόκειτο να υποστεί εμπλουτισμό.

Από την εξέταση στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο διαπιστώνουμε ότι αποτελείται από γωνιώδεις κόκκους λιθαργύρου ενσωματωμένους σε μία συνδετική μάζα αργίλου και ασβεστίτη, ηλεκτρονική μικρογραφία του Σχ. 6 και αντίστοιχη σημειακή μικροανάλυση πάνω στον μεγάλο κόκκο του λιθαργύρου. Προφανώς οι αρχαίοι μεταλλουργοί έτριβαν τον λιθάργυρο και τον τουβλοποιούσαν χρησιμοποιώντας άργιλο και ασβέστη ως συνδετικό υλικό. Στη συνέχεια ξήραιναν τα τούβλα και τα χρησιμοποιούσαν ως πρώτη ύλη για την παραγωγή μολύβδου.

Μία προσεκτική παρατήρηση των κόκκων του λιθαργύρου στο μικροσκόπιο επιτρέπει να διαπιστώσουμε ότι περιφερειακά είναι εξαλλοιωμένοι, δηλ. έχουν μετατραπεί σε ανθρακικό μόλυβδο, έχοντας απορροφήσει διοξείδιο του άνθρακα από την ατμόσφαιρα. Αυτό φαίνεται σαφώς και στην ηλεκτρονική μικρογραφία του Σχ. 6. Επομένως, ο ανθρακικός μόλυβδος που ανιχνεύεται με ακτίνες X δεν είναι πρωτογενές ορυκτό, αλλά σχηματίστηκε εκ των υστέρων από τον λιθάργυρο με την επίδραση του διοξειδίου του άνθρακα της ατμόσφαιρας, γι' αυτό και δεν περιέχει άργυρο. Σε μια παλιά μεταλλουργία του 1826 –οι νεότερες δεν ασχολούνται πλέον με τέτοια υλικά– αναφέρεται πράγματι ότι η επιφάνεια του λιθαργύρου απορροφάει πάντοτε διοξείδιο του άνθρακα από την ατμόσφαιρα και γίνεται ανθρακικός μόλυβδος.

Το (φαινομενικό) πρόβλημα για την κατανόηση της προέλευσης αυτού του ψευδοσυμπυκνώματος ήταν ότι δεν περιέχει παρά ελάχιστο άργυρο, κι αυτό φαίνεται να έρχεται σε σαφή αντίφαση με την παρουσία του κερουσίτη, που είναι το κατεξοχήν αργυρούχο μέταλλευμα της Λαυρεωτικής. Για τους λόγους αυτούς, το υλικό αυτό, που συναντάται πολύ συχνά στα πλυντήρια, παρέμενε ένα μικρό μυστήριο. Εκ πρώτης όψεως έμοιαζε με συμπύκνωμα –και από πολλούς ερευνητές έχει εκληφθεί ως τέτοιο, λόγω του μεγάλου ειδικού του βάρους–, αλλά οι χημικές αναλύσεις έδειξαν ότι περιείχε άργυρο σε πολύ χαμηλά επίπεδα, αν και ήταν πλουσιότερο σε μόλυβδο. Ένα κανονικό συμπύκνωμα θα περιείχε άργυρο σε σημαντική αναλογία, αλλά κυρίως ο λόγος Ag/Pb θα έπρεπε να είναι άνω των 1.000 γρ. αργύρου ανά τόνο μολύβδου, ενώ εδώ ο λόγος είναι πολύ χαμηλός, συνήθως γύρω στα 200 γρ. αργύρου ανά τόνο μολύβδου.

Στον πίνακα 2 παρέχονται αναλύσεις τέτοιων «ψευδοσυμπυκνωμάτων» και παρατηρούμε ότι ο λόγος Ag/Pb είναι πολύ χαμηλός, πράγμα που εξηγείται εύκολα, αν δεχθούμε όσα είπαμε προηγουμένως. Είναι προφανές ότι δεν υπάρχει άργυρος, διότι αυτός έχει ήδη εξαχθεί προηγουμένως, ενώ υπάρχει πολύς μόλυβδος αφού πρόκειται ουσιαστικά για τριμμένο λιθάργυρο, αναμεμιγμένο με κάποιο συνδετικό υλικό σε μικρή αναλογία για να μπορεί να γίνει «πηλός» και να μπρικετοποιηθεί.

Για σύγκριση δίνουμε και μερικές αναλύσεις πλυντιών, όπου ο λόγος αργύρου προς μόλυβδο είναι υψηλός, αν και η περιεκτικότητα σε μόλυβδο είναι χαμηλή.

Αν συγκρίνουμε τις σκουριές από τις καμίνοους της Πανόρμου με το προαναφερθέν συνδετικό υλικό, διαπιστώνουμε ότι έχουν ανάλογη σύνθεση, πράγμα που επαληθεύει τις υποθέσεις μας (παράβαλε τα Σχ. 4, 5, 6).

#### **8. Το ιδιοκτησιακό καθεστώς των καμίνων παραγωγής μολύβδου**

Το πρόβλημα του ιδιοκτησιακού καθεστώτος των καμίνων έχει τεθεί στο παρελθόν από διάφορους ερευνητές, μεταξύ των οποίων και οι Κονοφάγος (1980) και Οικονομάκου (1997). Και οι δύο συγκλίνουν στην άποψη ότι οι κάμινοι ήταν ιδιωτικές και πιστεύω ότι με την άποψη αυτή πρέπει να συμφωνήσουμε.

Υπάρχουν άμεσες και έμμεσες υποδείξεις υπέρ αυτής της άποψης.

Καταρχήν, όπως αναφέρει η Οικονομάκου (1997), από τις επιγραφές των Πωλητών γνωρίζουμε ιδιοκτήτες καμίνων και τη θέση ορισμένων απ' αυτές.

Δεύτερον, στην ανασκαφή του Πολυτεχνείου στη Σούρεζα βρέθηκε επιγραφή των μέσων του 4ου αιώνα π.Χ. που αναφέρει ότι το εργαστήριο (πλυντήριο που ανασκάναμε) ήταν υποθηκευμένο, επειδή ο ιδιοκτήτης του (που δεν κατονομάζεται στην επιγραφή) χρωστούσε σε πολλούς πιστωτές. Μεταξύ αυτών ήταν και ο Σίμος ο Παιανιεύς, ιδιοκτήτης καμίνου, στον οποίο ο ιδιοκτήτης του πλυντηρίου και κατά συνέπεια μεταλλείου *χρωστούσε για έξοδα καμινείας το ποσό των 560 δραχμών (απέργαστρα καμίνω)*. Το ποσό αυτό δεν είναι πολύ μεγάλο, θα μπορούσε να αντιστοιχεί σε εκκαμίνευση περίπου 30 τόνων μεταλλεύματος, αν υποθέσουμε ότι το κόστος επεξεργασίας ενός τόνου μεταλλεύματος είναι περίπου ίσο με το κόστος κατεργασίας ενός τόνου λιθαργύρου, που υπολογίσαμε στην παράγραφο 2. Χρωστούσε επίσης 1.130 δραχμές σ' έναν άλλο μεταλλειοκτήτη, τον Επιτέλη και τους συνεταίρους του (εραμιστές), καθώς και ένα τάλαντο (6.000 δραχμές) στον Νεοπτόλεμο από τη Μελίτη και τους συνεταίρους του (εραμιστές). Ο Σίμος ο Παιανιεύς αναφέρεται σε επιγραφές της Αγοράς ως ενοικιαστής παραχωρήσεων μεταλλείων, ιδιοκτήτης εργαστηρίου, και στην επιγραφή που αναφέραμε ως ιδιοκτήτης καμίνων. Είναι, λοιπόν, φανερό ότι ορισμένοι μεγάλοι ιδιοκτήτες όπως ο Σίμος είχαν –όπως λέμε σήμερα– καθετοποιήσει την παραγωγή τους, αρχίζοντας από την εξόρυξη του μεταλλεύματος και φτάνοντας ως την τελική μεταλλουργική παραγωγή. Άλλοι πάλι, όπως ο υπερχρεωμένος ιδιοκτήτης του υποθηκευμένου πλυντηρίου δεν είχαν δική τους κάμινο, αλλά έδιναν το μέταλλο τους για κατεργασία και πλήρωναν τα έξοδα της εκκαμίνευσης. Είναι φανερό ότι από μία τέτοια δοσοληψία ο ιδιοκτήτης του πλυντηρίου κρατούσε το μέταλλο που παραγόταν, διότι αν είχε πωλήσει το μέταλλο του στον ιδιοκτήτη της καμίνου δεν θα πλήρωνε έξοδα εκκαμίνευσης. Είναι το ίδιο σύστημα με αυτό που χρησιμοποι-

είται σήμερα από τους ελαιοκαλλιεργητές που πατούν τις ελιές τους στο ελαιοτριβείο, πληρώνοντας το κόστος της έκθλιψης με χρήματα (ή σε είδος, λάδι).

Ποιο ήταν το κέρδος του κράτους από την παραγωγή μολύβδου; Κατά τη γνώμη μας δεν υπήρχε ιδιαίτερο κέρδος από αυτό το στάδιο της επεξεργασίας, διότι αν υπήρχε θα είχε διασωθεί και κάποια αναφορά σ' αυτό. Το κράτος κέρδιζε συνολικά για τον άργυρο και τον μόλυβδο από την παραχώρηση των μεταλλείων, η οποία ήταν αυστηρά νομοθετημένη διαδικασία. Κέρδιζε επίσης από την κοπή αργυρών νομισμάτων, αφού ο άργυρος καθώς μετατρέπεται από άσημος σε νόμισμα αποχτούσε πρόσθετη αξία 6%. Είναι γνωστό ότι η δραχμή (ως νόμισμα) είχε αξία κατά 6% μεγαλύτερη από τον «άσημο άργυρο», δηλ. τον άργυρο σε μορφή χυτεύματος, χωρίς το κρατικό σήμα. Η κοπή νομισμάτων δεν μπορεί παρά να ήταν προνόμιο του κράτους, αλλιώς δεν θα υπήρχε και η έννοια του κίβδηλου νομίσματος.

Από τα προηγούμενα φαίνεται ως πιθανότερο ότι τα συγκροτήματα καμίνων –που ήταν τα ίδια τόσο για την παραγωγή αργυρούχου μολύβδου όσο και μολύβδου– ήταν ιδιωτικά.

### 9. Συμπεράσματα

Ανακεφαλαιώνοντας μπορούμε να συγκρατήσουμε τα εξής συμπεράσματα:

1. Η παραγωγή μολύβδου ήταν κατά τα κλασικά χρόνια μία σπουδαία μεταλλουργική δραστηριότητα, που ασκήθηκε παράλληλα προς την παραγωγή αργύρου, αλλά η οποία συνεχίστηκε και αργότερα, λόγω της απλότητάς της και λόγω της παρουσίας αχρησιμοποίητων αποθεμάτων λιθαργύρου.

2. Κατά τα κλασικά χρόνια (4ος αιώνας) το κόστος παραγωγής του μολύβδου υπολογίζεται ότι ήταν περίπου 1 δραχμή ανά εμπορικό τάλαντο μολύβδου (ισοδύναμο προς 29 αττικές δραχμές ανά τόνο).

3. Η τιμή του μολύβδου κατά τα κλασικά χρόνια ήταν 2 δραχμές ανά εμπορικό τάλαντο (ισοδύναμο προς 55 αττικές δραχμές ανά τόνο).

4. Η σχέση τιμής του κασσιτέρου προς τον μόλυβδο κατά την κλασική εποχή είναι περίπου 230:1, ενώ κατά τον 1ο αιώνα μ.Χ. η σχέση αυτή γίνεται περίπου 12:1. Η σχετική αύξηση της τιμής του μολύβδου οφείλεται στον πολλαπλασιασμό των χρήσεών του, ιδιαίτερα στην υδραυλική.

5. Η ζήτηση του μολύβδου (ή εναλλακτικά του λιθαργύρου που ήταν η πρώτη ύλη για την παραγωγή του) πρέπει να παρουσίασε σημαντικές διακυμάνσεις κατά τα κλασικά χρόνια και να παρουσίασε ιδιαίτερη ζήτηση, ιδιαίτερα τα χρόνια που κατασκευάζονταν οι κλασικοί ναοί της Ακρόπολης και οι δεξαμενές στο Λαύριο (5ος αιώνας). Αυτό ασφαλώς οδήγησε κατά περιόδους σε έλλειψη, αλλά σε μεταγενέστερες περιόδους σε σημαντικό περίσσειμα που χρησιμοποιήθηκε μέχρι τα ρωμαϊκά χρόνια.

6. Ο λιθάργυρος μετασχηματιζόταν σε μπρικέτες κατάλληλες για μεταλλουργική επεξεργασία προς παραγωγή μολύβδου, με λειοτρίβηση και ανάμιξη με ασβέστη και άργιλο ως συνδετικό υλικό. Η δραστηριότητα της μπρικετοποίησης φαίνεται ότι πραγματοποιούνταν στα πλυντήρια, όπου υπήρχαν οι εγκαταστάσεις λειοτρίβησης, το νερό και το ειδικευμένο εργατικό δυναμικό.

7. Η μεταλλουργική παραγωγή μολύβδου είναι βεβαιωμένη για τα Εργαστήρια της Πανόρμου και του Όρμου Ασημάκη. Οι θέσεις κοντά στη θάλασσα πέραν του ότι ήταν ευνοϊκές για εμπορικούς λόγους, προσφέρονταν ιδιαίτερα και λόγω της μεταφοράς καυσίμου με πλοία, αλλά και λόγω της διαθεσιμότητας της άμμου, που χρησίμευε ως συλλίπασμα στη μεταλλουργική κατεργασία παραγωγής του μολύβδου.

8. Τα συγκροτήματα καμίνων –που ήταν τα ίδια τόσο για την παραγωγή αργυρούχου μολύβδου όσο και μολύβδου– πρέπει να ήταν ιδιωτικά. Ορισμένοι μεταλλειοκτήτες είχαν καθετοποιήσει την παραγωγή τους, αρχίζοντας από το μεταλλείο και φθάνοντας στην τελική μεταλλουργική παραγωγή αργύρου και μολύβδου. Άλλοι έδιναν το μετάλλευμά τους για επεξεργασία στους ιδιοκτήτες των καμίνων. Όσον αφορά την παραγωγή μολύβδου από λιθάργυρο, πρέπει να υπήρχαν και μικροϊδιοκτήτες καμίνων που ασχολούνταν αποκλειστικά μ' αυτή τη σχετικά απλή κατεργασία.

9. Τα συγκροτήματα καμίνων φαίνεται ότι στα τελευταία στάδια της λειτουργίας τους δεν χρησιμοποιούνταν πλέον για παραγωγή αργυρούχου μολύβδου με σκοπό την παραγωγή αργύρου, αλλά μόνο για την παραγωγή μολύβδου με πρώτη ύλη τον λιθάργυρο (3ος-2ος αιώνας π.Χ.).

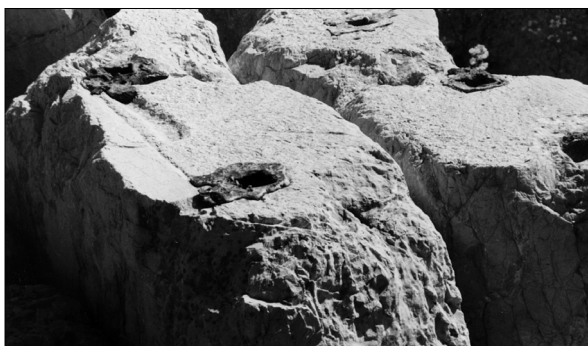
### ***Abstract***

### ***The Production of Lead I Ancient Laurium during the Classic and Roman Period***

Different aspects of the production of lead as a byproduct of the silver production in Ancient Laurium are presented. The cost of production and the evolution of the price of lead in connection with the applications and the demand of the metal are examined. The proprietary status of the furnaces is also considered. The above views are supported by new results provided by the examination of raw materials and slags coming from the ore washeries and the ancient furnaces in Laurium.

## Βιβλιογραφία

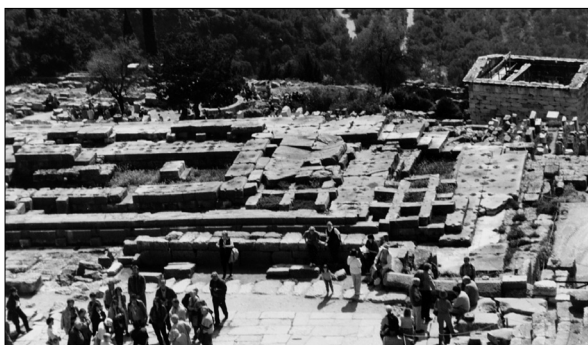
- Κονοφάγος, Κ., *Το Αρχαίο Λαύριο και η τεχνική παραγωγής του αργύρου*, Εκδοτική Ελλάδος, Αθήνα 1980.
- Κονοφάγος, Κ. – Μπαντέκα, Ε., «Αι δεξαμεναί ύδατος των αρχαίων πλυντηρίων του Λαυρίου και το ειδικό στεγανωτικόν κονίαμα», *Πρακτικά της Ακαδημίας Αθηνών*, 49, 251-261, Αθήνα 1974.
- Conophagos, C. and Papadimitriou, G., «Sur l'enduit imperméable à l'eau des anciennes citernes grecques du Laurium», *Comptes Rendus de l'Academie des Sciences de Paris*, 287, 79-82, Paris 1978.
- Οικονομάκου, Μ., «Εργαστήριο Τήξεως Μεταλλεύματος στον Όρμο Ασημάκη Σουβίου (Λιμάνι Πασά)», *Ορυκτός Πλούτος*, 103, σ. 47-54, 1997.
- Papadimitriou, G. and Kordatos, J., «The brown waterproofing plaster of the ancient cisterns in Laurion and its weathering and degradation», *ASMOSIA (Association for the Study of Marble and Other Stones used in Antiquity) Proc. 3rd International Conference*, p. 277, Archetype Books, England 1993.
- Παπαδημητρίου, Γ., «Λιθάργυρος, ένα χρήσιμο παραπροϊόν της μεταλλουργίας αργύρου στο αρχαίο Λαύριο», *Πρακτικά ΣΤ' Επιστημονικής Συνάντησης Νοτιοανατολικής Αττικής*, σ. 234-265, Μαρκόπουλο 1993.
- Photos-Jones, E. – Ellis-Jones, J., «The building and industrial remains at Agrileza, Laurion (fourth century BC) and their contribution to the workings at the site», *The Annual of the British School at Athens*, vol. 89, pp. 307-358, 1994.
- Φώτου, Ε., «Ανάλυση εργαστηριακών υπολειμμάτων από την περιοχή Αγριλέζα της Λαυρεωτικής, 4ος αιώνας π.Χ.», *Α' Συμπόσιο Αρχαιομετρίας και Αρχαιολογίας*, Κέντρο Μελετών Ακροπόλεως, σ. 55-66, Αθήνα 1992.



Σχ. 1. Δομικοί λίθοι από τον αρχαιολογικό χώρο των Δελφών με την χαρακτηριστική μολυβδοχόηση των γόμεφων. Παρατηρούνται και τα πλευρικά αυλάκια από τα οποία τροφοδοτήθηκε το τήγμα του μολύβδου.

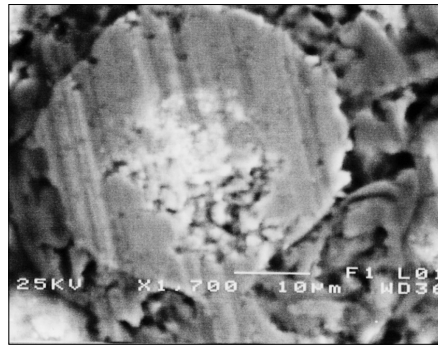
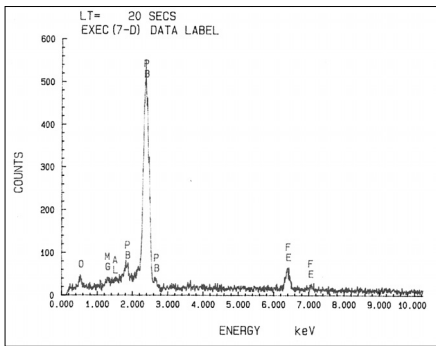


Σχ. 2. Έγκοιλο μορφής διπλού ταυ σκαλισμένο επάνω σε δύο δομικούς λίθους. Μέσα στο έγκοιλο είχε τοποθετηθεί σύνδεσμος ανάλογης μορφής (διπλού ταυ) που περιβάλλονταν με χυτό μολύβδο και συνέδεε οριζόντια τους δύο λίθους.

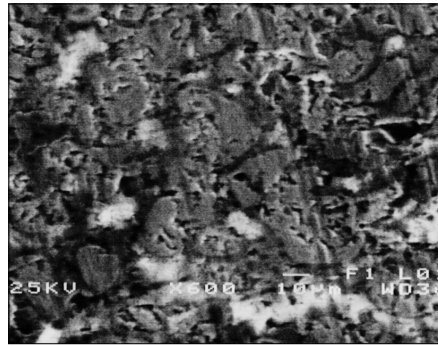
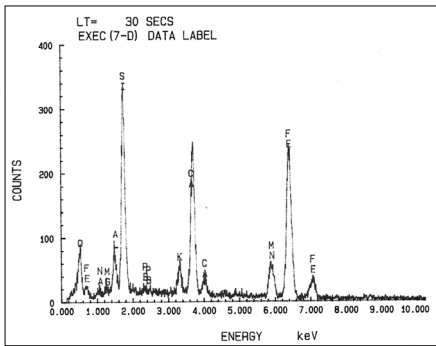


Σχ. 3. Κάτοψη του ναού του Απόλλωνα στους Δελφούς, στην οποία φαίνεται ο τεράστιος αριθμός συνδέσμων και γόμεφων που έχουν χρησιμοποιηθεί για τη σύνδεση των λίθων.

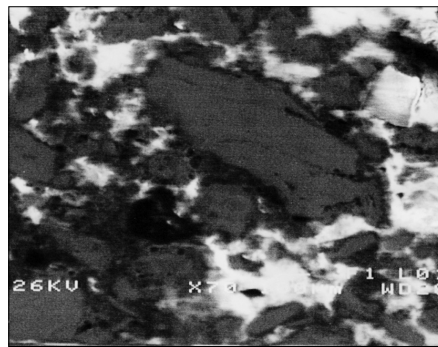
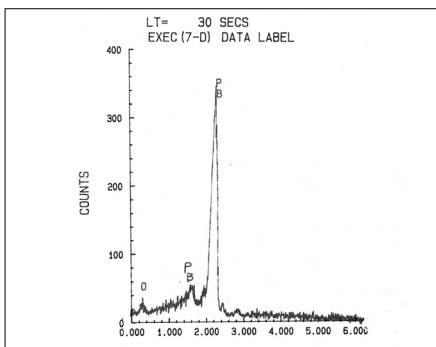




Σχ. 4. Ηλεκτρονική μικρογραφία σκουριάς παραγωγής μολύβδου από λιθάργυρο. Μέσα στη μάζα της σκουριάς παρατηρείται ένα σφαιρίδιο λιθαργύρου που εξωτερικά έχει μετατραπεί σε μολύβδο, ενώ εσωτερικά παραμένει καθαρότατος λιθάργυρος (Pb + O), όπως φαίνεται και από τη σχετική σημειακή ανάλυση (EDS) που έγινε στο κέντρο.



Σχ. 5. Ηλεκτρονική μικρογραφία σκουριάς παραγωγής μολύβδου και αντίστοιχη ανάλυση EDS. Η σκουριά περιέχει πολύ πυρίτιο (πιθανότητα από άμμο της θάλασσας), λίγο ασβέστιο, άργιλο, κάλιο από το συνδετικό υλικό της μπρικετοποίησης.



Σχ. 6. Ηλεκτρονική μικρογραφία ψευδοσυμπυκνώματος. Μεγάλα γωνιώδη τεμάχια λιθαργύρου, εξαλλοιωμένα στην περιφέρειά τους σε ανθρακικό μολύβδο και συνδεδεμένα μεταξύ τους με υλικό που προέρχεται πιθανώς από ανάμιξη ασβέστη και αργίλου.