

Γεώργιος Δημ. Παπαδημητρίου
Ομότιμος Καθηγητής Μεταλλογνωσίας Ε. Μ. Πολυτεχνείου

Λειτουργία και τεχνολογία των αρχαίων καμίνων της Λαυρεωτικής υπό το φως των ανασκαφών, των αρχαίων απεικονίσεων και κειμένων*

Εισαγωγή

Η ΠΑΡΟΥΣΑ ΕΡΓΑΣΙΑ έχει ως αντικείμενο τις μεταλλουργικές καμίνους της Λαυρεωτικής, εγκατεστημένες αρχικά κοντά στα Μεταλλεία και αργότερα κοντά στη θάλασσα, σε προστατευμένους όρμους, όπου έδεναν πλοία. Τα κατάλοιπα μερικών από αυτές διασώθηκαν και συνεπώς θα αντλήσω τις βασικές πληροφορίες από τις ανασκαφές τους καθώς και από την επιτόπου παρατήρηση. Τις πληροφορίες αυτές θα συμπληρώσω από την αρχαία αγγειογραφία και από γραπτές πηγές αρχαίων και νεότερων συγγραφέων, με σκοπό να τις αναπαραστήσω όσο το δυνατόν ακριβέστερα, σε συμφωνία πάντοτε με τη Μεταλλουργική επιστήμη και σε συγχρονία με το τεχνολογικό επίπεδο γνώσεων εκείνης της εποχής.

Στην αρχαία αγγειογραφία απεικονίζονται αποκλειστικά κάμινοι μεταλλοτεχνίας, στην πλειοψηφία τους σε αττικά αγγεία της Κλασικής και Αρχαϊκής περιόδου (Κ. Κονοφάγος και Γ. Παπαδημητρίου, 1980γ, Α. Χατζηδημητρίου, 2005, 57-59). Οι παραστάσεις καμίνων εξαγωγικής μεταλλουργίας απουσιάζουν τελείως από την αγγειογραφία, ωστόσο, πρέπει λογικά να θεωρήσουμε ότι είχαν πολλά κοινά με τις καμίνους της Μεταλλοτεχνίας, τις οποίες μπορούμε να δεχθούμε ως πρότυπο.

Όσον αφορά τα αρχαία κείμενα, είναι σχετικά ολιγάριθμα και στην πλειοψηφία τους περιέχουν απλές περιγραφές, παρόμοιες με δημοσιογραφικά ρεπορτάζ. Αυτές, όμως, όπως άλλωστε και οι αγγειογραφίες, υποκρύπτουν συχνά σημαντικές τεχνολογικές λεπτομέρειες, κάτω από επιφανειακές εντυπώσεις των δημιουργών τους.

Τύποι καμίνων

Για τους τύπους, την ιστορική και γεωγραφική εξέλιξη της τεχνολογίας των καμίνων μπορεί να συμβουλευθεί κανείς το σύγγραμμα του R. F. Tylecote (1976). Με μορφολογικά κριτήρια κατατάσσονται στις εξής κατηγορίες (σχ. 1):

* [Σ-03: 04-10-2018 20:40 / Ε-34]

Bowl furnace (ο όρος δεν έχει αποδοθεί στα ελληνικά), είναι μία αβαθής εκσκαφή στο έδαφος, σαν κύπελλο, διαμέτρου μέχρι 40 cm., στην οποία τοποθετείται το μετάλλευμα σε ανάμιξη με ξυλάνθρακα σε σωρό και καλύπτεται ελαφρά με τριμμένη σκωρία, τέφρα ή χώμα. Ενδεχομένως το υπέργειο τμήμα της, το οποίο δεν υπερβαίνει σε ύψος τη διάμετρό της, είναι κτιστό ή κατασκευασμένο από άργιλο. Είναι η πλέον πρωτόγονη μορφή καμίνου. Δεν έχει στόμιο εκροής για το ρευστό μέταλλο και τη σκωρία και το προϊόν παραλαμβάνεται μετά το τέλος της διεργασίας αφού καταστραφεί η κάμιнос. Η εμφύσηση αέρα γίνεται με φουσερό που καταλήγει μέσω ακροφυσίου στο εσωτερικό της καμίνου.

Οι *Φρεατώδεις κάμινοι* (shaft furnaces) είναι χαμηλές ή υψηλές.

Οι *χαμηλές* (low shaft furnaces) είναι άμεση εξέλιξη της bowl furnace. Έχουν μεγαλύτερη διάμετρο και ένα χαμηλό κτιστό φρέαρ με ύψος μέχρι ένα μέτρο. Έχουν στόμιο εκροής σκωρίας/μετάλλου και η εμφύσηση αέρα γίνεται με φουσερά. Εναλλακτικά, μπορεί να έχουν το στόμιο στραμμένο στον άνεμο και τα φουσερά να χρησιμοποιούνται μόνο βοηθητικά.

Οι *υψηλές φρεατώδεις κάμινοι* (high shaft furnaces) έχουν κυλινδρικό σώμα που συνήθως υπερβαίνει σε ύψος τα 2m. Αυτές απαντούν στη Λαυρεωτική και θα περιγραφούν λεπτομερώς στη συνέχεια.

Τέλος η *θολωτή κάμιнос* (domed furnace) ομοιάζει με τις αρχαίες κεραμικές καμίνους και χρησιμοποιήθηκε κυρίως ως κάμιнос κυπέλλωσης αργυρούχου μολύβδου. Αποτελείται από θόλο κατασκευασμένο πάνω σε επίπεδο δάπεδο, το οποίο στη Λαυρεωτική χρησίμευε ως εστία καύσης ξυλάνθρακα και για την τοποθέτηση της κουπέλας.

Οι κάμινοι των οποίων η χρήση από τους αρχαίους θεωρείται επιβεβαιωμένη στη Λαυρεωτική ήταν κάμινοι αναγωγής και τήξης μεταλλεύματος μολύβδου (*smelting furnaces*), κάμινοι κυπέλλωσης αργυρούχου μολύβδου (*cupellation furnaces*) και κάμινοι παραγωγής σιδήρου (*iron bloomery furnaces*). Τις καμίνους αυτές θα εξετάσουμε στη συνέχεια.

Οι κάμινοι παραγωγής μολύβδου (κάμινοι τήξης) στη Λαυρεωτική

Ασφαλές κριτήριο για τις θέσεις όπου υπήρξαν κατά την αρχαιότητα συγκροτήματα καμίνων τήξης (*smelting furnaces*) είναι η παρουσία αρχαίων σκωριών. Σωροί σκωριών μεταλλουργίας μολύβδου εντοπίστηκαν σε περίπου 25-30 θέσεις της Λαυρεωτικής από τον Α. Κορδέλλα το 1864 και από την Επιτροπή Βουγιούκα του 1865, η οποία κατέγραψε τα αποθέματά τους για λογαριασμό του Κράτους (Κ. Κονοφάγος, 1980, σελ. 140-141). Ωστόσο, μόνο σε έξι από αυτές τις θέσεις διασώθηκαν υπολείμματα καμίνων, συγκεκριμένα: στη θέση Οξυγόνο, στο Φραγκολιμάνι, στην

Πάνορμο (Κ. Κονοφάγος, 1976) και μία μεμονωμένη κάμινος στον Όρμο Ασημάκη (Μ. Οικονομάκου, 1997), όλες δίπλα στη θάλασσα. Επίσης στην ενδοχώρα, συγκροτήματα καμίνων βρέθηκαν στα Μεγάλα Πεύκα (Κ. Κονοφάγος, 1980) και στο Αρί (Κ. Τσάιμου, 2013). Οι περισσότερες κάμινοι είναι πιθανόν να κατασκευάστηκαν αρχικά κατά την Αρχαϊκή και την Κλασική περίοδο για την παραγωγή αργυρούχου μολύβδου, αλλά η τελευταία περίοδος της λειτουργίας τους τοποθετείται χρονικά στους ελληνιστικούς και ρωμαϊκούς χρόνους, οπότε χρησιμοποιήθηκαν κυρίως για την παραγωγή εμπορικού μολύβδου από λιθάργυρο και από φτωχά μεταλλεύματα (εκβολάδες), ενδεχομένως με την προσθήκη μικρών ποσοτήτων παλαιών σκωριών, πλούσιων σε μόλυβδο (Γ. Δ. Παπαδημητρίου, 2018). Αυτή η υπόθεση επιβεβαιώνεται από χρονολόγηση των καμίνων στο Αρί με C 14 (Tsaimou et al., 2015).

Μέχρι σήμερα δεν έχουν εντοπισθεί στο Λαύριο bowl furnaces για παραγωγή μολύβδου, είναι όμως πιθανό να χρησιμοποιήθηκαν πολύ παλαιά, ιδιαίτερα στα προϊστορικά χρόνια, για την αναγωγή μεταλλευμάτων προς παραγωγή αργυρούχου μολύβδου. Το ίδιο ισχύει και για χαμηλές φρεατώδεις καμίνους, ενδιάμεσο στάδιο κατά την τεχνολογική μετάβαση προς τις υψηλές φρεατώδεις καμίνους της κλασικής περιόδου.

Ένδειξη ότι μπορεί να υπήρξαν bowl furnaces (ή/και χαμηλές φρεατώδεις κάμινοι) είναι η εύρεση σκωριών με ευμεγέθη εγκλείσματα μολύβδου που συγκρατήθηκαν στο εσωτερικό τους λόγω χαμηλής ρευστότητας (A. Cordella, 1871, p. 98). Οι σκωρίες είναι χαμηλής ρευστότητας όταν η θερμοκρασία στην κάμινο είναι χαμηλή και δεν χρησιμοποιούνται συλλιπάσματα (fluxes), πράγμα που συμβαίνει συχνά στις bowl furnaces και στις μικρών διαστάσεων χαμηλές φρεατώδεις καμίνους.

Οι κάμινοι τήξης της Λαυρεωτικής ήταν φρεατώδεις, κυλινδρικής μορφής, εσωτερικής διαμέτρου περί το 1 m. και ύψους περί τα 2 έως 2.5 m. Σημαντικές πληροφορίες για την αρχιτεκτονική τους αντλούμε από το συγκρότημα καμίνων στα Μεγάλα Πεύκα, το οποίο περιελάμβανε πέντε καμίνους, όπως φαίνεται και σε γκραβούρα του 1880 (σχ. 2).

Σήμερα σε μία από αυτές ο τοίχος αντιστήριξης είναι σε ιδιαίτερα καλή κατάσταση και αποκαλύπτει σημαντικές λεπτομέρειες (σχ. 3). Το άνω μέρος αυτού του τοίχου, ύψους 2 m., παρουσιάζει χαρακτηριστική καμπυλότητα κυκλικής μορφής, ώστε να περιβάλλει το πίσω μέρος της κυλινδρικής καμίνου και να το στηρίζει. Το ιδιαίτερο, όμως, χαρακτηριστικό του είναι ότι αποτελεί μοναδική περίπτωση σε όλη τη Λαυρεωτική, όπου σώζεται το κανάλι εισόδου του αέρα στο πίσω μέρος της καμίνου (σχ. 4). Το κανάλι αυτό δεν είχε γίνει αντιληπτό κατά τις ανασκαφές. Το εντόπισα αναπάντεχα προ εικοσιπενταετίας περίπου κατά την επίσκεψή μου στον τόπο της καμίνου μετά από ισχυρή νεροποντή, της οποίας τα νερά είχαν ανοίξει δίοδο στο πίσω μέρος του τοίχου αντιστήριξης και είχαν καθαρίσει το κανάλι, καθιστώντας το ορατό.

Το συγκρότημα καμίνων στο Αρί, που ανέσκαψε η Κ. Τσάιμου (2013), αποτελείται από πέντε καμίους, διατεταγμένες κατά παράταξη μέσα σε χωριστά διαμερίσματα, τα οποία, όπως φαίνεται από την ύπαρξη βάσης σύλλου και από θραύσματα κεραμιδιών, έφεραν υπόστεγο ανοικτό στην μπροσινή πλευρά. Κάθε κάμιμος είναι χτισμένη στο βάθος ενός διαμερίσματος και στηρίζεται στο πίσω μέρος, όπως και στην περίπτωση των Μεγάλων Πεύκων, σε τοίχο αντιστήριξης. Τα διαμερίσματα χωρίζονται μεταξύ τους είτε με χοντρό τοίχο, είτε ανά διαστήματα δύο ή τριών καμίνων με ράμπα που οδηγεί στην πλατφόρμα των φυσερών στο πίσω μέρος της καμίνου.

Η όλη οργάνωση της εργασίας (απομετάλλωση, φόρτωση και εμφύσηση) εξυπηρετείται από διαφορετικά επίπεδα σε τρεις διαδοχικές στάθμες (σχ. 5): 1) Το επίπεδο του εδάφους στο οποίο εδράζεται η κάμιμος και όπου γίνεται η απομετάλλωση και αποσκωρίωση της καμίνου. 2) Δύο ενδιάμεσα επίπεδα, δεξιά και αριστερά της καμίνου και σε ύψος 50-60 cm, από όπου ο εργάτης φόρτωνε την κάμιμο. Τα επίπεδα αυτά είναι προσβάσιμα διαμέσου κτιστής σκάλας ή ράμπας, από τις οποίες ο εργάτης μετέφερε το μέταλλευμα και το ξυλοκάρβουνο από την αποθήκη που βρίσκεται στην προέκταση μπροστά από τον χώρο των καμίνων. 3) Το ανώτερο επίπεδο, πίσω από την κάμιμο και σε ύψος 1 έως 1.3 m., όπου ένας ή δύο εργάτες εργάζονταν τα φυσερά.

Η εσωτερική διάμετρος της καμίνου είναι περί το 1 m, όπως προκύπτει από τη λιθοδομή στη βάση της, η οποία αποτελείται από δύο ογκολίθους τοποθετημένους δεξιά και αριστερά, εσωτερικά λαξευμένους, ώστε να δίνουν στην κάμιμο την κυκλική της διατομή (σχ. 6). Οι ογκολίθοι της βάσης με την κυκλική λάξευση εσωτερικά παρατηρούνται και στις καμίους των Μεγάλων Πεύκων (σχ. 3). Πάνω στους ογκολίθους στηρίζονταν το φρέαρ της καμίνου χτισμένο, ασφαλώς, με μικρότερους λίθους. Το άνοιγμα που αφήνουν οι δύο ογκολίθοι μεταξύ τους στο εμπρόσθιο μέρος, πρέπει να χτίζονταν με ελαφρά λιθοδομή, ώστε να αφαιρείται εύκολα σε κάθε αναγκαία επέμβαση στο εσωτερικό της καμίνου.

Το ύψος του ανοίγματος τροφοδοσίας, με βάση τη θέση του 2ου επιπέδου (0.5-0.6 m. από το έδαφος) συν το ύψος ενός ανθρώπου μπορεί να εκτιμηθεί περί τα 2 έως 2.3 μέτρα. Αυτό είναι ουσιαστικά το ενεργό ύψος της καμίνου, καθώς από εκεί και πάνω αρχίζει η καμινάδα.

Υπολείμματα από το κατακόρυφο τμήμα του καναλιού που οδηγούσε τον αέρα από τα φυσερά στην κάμιμο σώζονται σε δύο καμίους στο Αρί (σχ. 7). Είναι κτιστό και ξεκινάει από την επιφάνεια του επιπέδου των φυσερών για να καταλήξει περίπου στην άνω στάθμη των ογκολίθων της βάσης, όπου κάμπεται οριζόντια για να εισέλθει μέσα στην κάμιμο. Η είσοδος του στην κάμιμο, δηλαδή το οριζόντιο τμήμα του καναλιού, πάντως, δεν σώζεται σε καμία από τις καμίους στο Αρί. Αξίζει να σημειωθεί ότι η ύπαρξη κατακόρυφου καναλιού έχει αποτυπωθεί στο πίσω μέρος των καμίνων και σε σχέδιο κάτοψης του συγκροτήματος στο Φραγκολίμανο (ερ-

γοστάσιο της ΔΕΗ), το οποίο δεν είναι πλέον προσβάσιμο (Κ. Κονοφάγος, 1976). Προκαλεί έκπληξη ότι ένα κτιστό κανάλι φαίνεται να υποκαθιστούσε τα συνήθη από τη βιβλιογραφία κεραμικά ακροφύσια. Κεραμικά ακροφύσια δεν βρέθηκαν και δεν αναφέρονται, εξ όσων γνωρίζω, ούτε από τον Κορδέλλα, ούτε από σύγχρονους ανασκαφείς.

Τα στοιχεία που περιγράψαμε, ιδιαίτερα οι εικόνες του κατακόρυφου τμήματος του καναλιού στο Αρί, σε συνδυασμό με την εικόνα του οριζόντιου τμήματός του που έχουμε από την κάμινο των Μεγάλων Πεύκων, μας επιτρέπουν να αναπαραστήσουμε την αρχιτεκτονική της καμίνου με ικανοποιητική, πιστεύω, ακρίβεια (σχ. 8).

Οι κάμινοι έχουν κατασκευασθεί με μεγάλη διάμετρο για να πετυχαίνουν υψηλές θερμοκρασίες. Πράγματι, οι απώλειες θερμότητας ανά μονάδα όγκου της καμίνου είναι ανάλογες της κυλινδρικής επιφάνειας και αντιστρόφως ανάλογες του εσωτερικού όγκου της, δηλ. του λόγου $1/d$, όπου d = διάμετρος της καμίνου.

Το μεγάλο ύψος είναι χρήσιμο για την καλύτερη εκμετάλλευση θερμότητας και οικονομία στον ξυλάνθρακα. Κατά την κάθοδο του φορτίου μέσα στο φρέαρ, η θερμοκρασία του αυξάνεται συνεχώς και διαδοχικά ξηραίνεται, χάνει το κρυσταλλικό του ύδωρ, υφίσταται διάσπαση των ανθρακικών ενώσεων και όταν φτάσει στον χώρο καύσης, γίνονται οι βασικές διεργασίες: αναγωγή του μεταλλεύματος σε μέταλλο, σκωριοποίηση (δηλ. σχηματισμός ενώσεων από τις άχρηστες προσμίξεις του φορτίου) και τήξη.

Η περιορισμένη δυναμικότητα των χειροκίνητων αρχαίων φυσερών τύπου ασκού αποτελούσε ανασταλτικό παράγοντα στην αύξηση των διαστάσεων της καμίνου. Για ύψος πέραν των 2-2.5 μέτρων η πίεση των φυσερών δεν ήταν αρκετή για να υπερνικήσει την αντίσταση της στήλης του φορτίου, ώστε τα αέρια να διασχίζουν την κάμινο για να εξέρχονται από την καμινάδα. Επίσης, για διάμετρο άνω του ενός μέτρου, η παροχή του αέρα δεν επαρκούσε για να συντηρήσει την καύση του άνθρακα σε ολόκληρη τη διατομή της καμίνου και να προκαλέσει την τήξη του φορτίου.

Για το είδος των φυσερών, τα οποία ήταν κατασκευασμένα από φθαρτά υλικά, μπορούμε να συμπεράνουμε αποκλειστικά από τις αρχαίες παραστάσεις, οι οποίες, στο σύνολό τους, εικονίζουν φυσερά τύπου ασκού (bag bellows). Αυτά κατασκευάζονταν από ακέραιο δέρμα, συνήθως αιγός, και στο κάτω άκρο τους έφεραν στόμιο για την έξοδο του αέρα προς την κάμινο. Στο άνω άκρο ο ασκός ήταν ανοιχτός και τερματίζονταν σε δύο ράβδους, στερεωμένες αντιδιαμετρικά στο χείλος του, που χρησίμευαν ως λαβές. Το άνοιγμα λειτουργούσε ως βαλβίδα για την αναρρόφηση αέρα και την επακόλουθη συμπίεσή του προς την κάμινο. Τη βαλβίδα άνοιγε και έκλεινε ο εργαζόμενος απομακρύνοντας ή πλησιάζοντας τις ράβδους μεταξύ τους, σε απόλυτο συγχρονισμό με την έκταση και τη συμπίεση του ασκού, αντιστοίχως.

Στην εικόνα του σχήματος 9 εμφανίζεται ο Ήφαιστος να σφυρηλατεί ένα κομμάτι σίδηρο καθισμένος μπροστά σε μία φρεατώδη κάμινο, καθώς και δύο Σάτυροι. Ο

ένας τον βοηθάει στη δουλειά του και ο δεύτερος του προσφέρει ένα μεγάλο φουσερό τύπου ασκού, στον οποίο διακρίνονται καθαρά οι ράβδοι που αναφέραμε στο επάνω μέρος και το στόμιο εξόδου του αέρα στο κάτω με δύο ακροφύσια.

Σε ανάγλυφο της βόρειας ζωφόρου στον Θησαυρό των Σιφνίων στους Δελφούς, εικονίζεται και πάλι ο Ήφαιστος να χειρίζεται δύο φουσερά, ένα σε κάθε χέρι: το ένα είναι σε έκταση και το άλλο σε συμπίεση. Η χρήση δύο φουσερών, τα οποία συμπιέζονται εναλλάξ εξασφαλίζει σταθερότερη ροή αέρα στην κάμινο, ενώ παρεμποδίζει την αναρρόφηση καυτών αερίων από την κάμινο στα φουσερά (σχ. 10). Είναι πολύ πιθανόν και στις καμίνους της Λαυρεωτικής να χρησιμοποιούνταν δύο φουσερά.

Αξίζει να αναφέρουμε ότι τα γνωστά μας φουσερά τύπου ακορντεόν (*concertina bellows*), που χρησιμοποιούσαν οι σιδεράδες στο καμίνι τους μέχρι τον περασμένο αιώνα, ήταν άγνωστα κατά την κλασική, ελληνιστική και ρωμαϊκή περίοδο και μάλλον επικράτησαν κατά τη βυζαντινή εποχή μαζί με τη χρήση της υδραυλικής κίνησης, όπως για παράδειγμα στο Άγκιστρο Σερρών (Chiotis et al., 1996).

Η εμφύσηση αέρα σε όλες τις καμίνους μεταλλοτεχνίας αστικών εργαστηρίων γινόταν από το πίσω μέρος της καμίνου όπως μαρτυρείται σε όλες τις αρχαίες παραστάσεις όπου εικονίζονται φουσερά. Αυτό φαίνεται, για παράδειγμα, στην παράσταση της περίφημης ερυθρόμορφης αττικής κύλικος του Βερολίνου, όπου ο εργάτης χειρίζεται φουσερό τύπου ασκού από το πίσω μέρος της καμίνου. Στην ίδια κάμινο εικονίζονται και οι βάσεις της που προεξέχουν δεξιά και αριστερά, ακριβώς όπως στις καμίνους των Μεγάλων Πεύκων και του Αρί (σχ. 11).

Η είσοδος του αέρα στο πίσω μέρος της καμίνου διατηρεί ζωνρή την καύση στον άξονα φουσερών-οπής αποσκωρίωσης και απομετάλλωσης, ώστε το μέταλλο και η σκωρία να διατηρούνται οπωσδήποτε σε κατάσταση τήγματος. Διαφορετικά, θα υπήρχε κίνδυνος να «παγώσει» η κάμινο. Πρόκειται για γνωστό ατύχημα (clogging), το οποίο, όταν συνέβαινε, απαιτούσε γκρέμισμα του τοιχώματος γύρω από την οπή απομετάλλωσης για επισκευή.

Στο Αρί βλέπουμε τα φουσερά να τοποθετούνται στο ανώτερο επίπεδο της καμίνου, υψηλότερα από τη ζώνη καύσης, όπου αναπτύσσονται πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Αυτό γίνονταν ασφαλώς για την άνεση των εργαζομένων. Μία τέτοια διάταξη, με τα φουσερά σε γειτονικό εφαπτόμενο της καμίνου χώρο, περιγράφει ο Διοσκουρίδης για κάμινο που σχετίζεται με μεταλλουργία χαλκού στην Κύπρο (Διοσκ. V, 85).

Στις αρχαίες παραστάσεις καμίνων το στόμιο τροφοδοσίας καταλήγει σε κεραμικό αγγείο με κάλυμμα στο μπροστινό μέρος της καμίνου, το οποίο ομοιάζει με χύτρα. Πολλές συζητήσεις έχουν γίνει για τον ρόλο του.

Στις παραστάσεις του σχήματος 9 και του σχήματος 12, όπου εικονίζονται κάμινοι σε πλάγια όψη, φαίνεται ότι το φρέαρ της καμίνου εξελίσσεται προς τα πάνω σε καμινάδα και ότι το θεωρούμενο ως «κεραμικό αγγείο» δεν είναι δοχείο που

κάθεται πάνω σε ολόκληρο το άνοιγμα της καμίνου για θέρμανση κάποιου υλικού, όπως υποστηρίχθηκε από πολλούς, αλλά κεραμικό επιστόμιο, χωρίς πυθμένα, ενσωματωμένο μπροστά από το φρέαρ της καμίνου: ανοίγεται για την φόρτωσή της και ξανακλείνει με το σκέπασμά του αμέσως μετά. Η άποψη αυτή είχε ήδη υποστηριχθεί πολύ παλαιότερα από τους Κ. Κονοφάγο και Γ. Παπαδημητρίου (1980γ), πριν γίνουν γνωστές οι παραστάσεις των σπημάτων 9 και 12.

Η αποσκωρίωση και απομετάλλωση γίνονται στο μπροστινό μέρος της καμίνου, μέσα σε λάκκο που σώζεται μπροστά σε αρκετές καμίνους (σχ. 5). Πρώτα εξέρχονταν το μέταλλο και στη συνέχεια η σκωρία από την ίδια οπή και διαχωρίζονταν σε δύο στοιβάδες λόγω διαφοράς ειδικού βάρους, μέσα στον λάκκο. Όταν η σκωρία ήταν πυκνότερη, συγκρατούσε εγκλείσματα μολύβδου. Γι' αυτό, μετά τη στερεοποίηση την έθραυαν σε τεμάχια με σκοπό να ανακτήσουν τον μολύβδο. Αυτό εξηγεί γιατί στη Λαυρεωτική παρατηρούνται σωροί σκωριών θραυσμένων σε μικρά τεμάχια.

Από τα προηγούμενα φαίνεται ότι η κάμιнос των αρχαίων είχε σχεδιασθεί εργονομικά, ώστε οι τρεις βασικές λειτουργίες της: απομετάλλωση/αποσκωρίωση, φόρτωση και εμφύσηση να πραγματοποιούνται σε διαφορετικούς χώρους. Όπως και τα πλυντήρια, ο σχεδιασμός τους είχε αριστοποιηθεί και άντεξε στον χρόνο, όπως αποδεικνύεται από τα κοινά χαρακτηριστικά που εμφανίζονται σε αγγειογραφίες του 500 περίπου π.Χ. και στα ερείπια των καμίνων της ύστερης ελληνιστικής περιόδου που αποκαλύπτονται με ανασκαφές.

Κάμινοι κυπέλλωσης

Κάμινοι κυπέλλωσης δεν έχουν διασωθεί μέχρι σήμερα. Ο Κορδέλλας (1890) αναφέρει ότι τις είχε εντοπίσει συχνά κοντά σε σωρούς σκωριών: «Ίκνη καμίνων κυπέλλωσης ευρεθέντα εν Λαυρείω μαρτυρούσιν ότι αύται ήσαν στρογγυλαί χθαμαλαί εν τω μέσω κοίλαι και κατασκευασμέναι εξ αργιλιδωδών υλών πλήρων λιθαργύρου». Ήταν, δηλαδή, θολωτές κάμινοι.

Σύμφωνα με μαρτυρίες παλιών εργαζομένων στα Μεταλλεία του Λαυρίου, συλλέκτες παλαιών μετάλλων τις εντόπιζαν κοντά σε σωρούς σκωριών και τις κατέστρεφαν, για να αποκομίσουν υπολείμματα μολύβδου και λιθάργυρο.

Γνωρίζω, ωστόσο δύο περιπτώσεις μικρών αυτοσχέδιων καμίνων που θα αναφέρω στη συνέχεια με επιφύλαξη ως καμίνους κυπέλλωσης.

Προ τριακονταετίας περίπου, είχα φωτογραφίσει μία πρόχειρη κατασκευή, κατά πάσα πιθανότητα μικρή θολωτή κάμινο κυπέλλωσης σκαμμένη σε έναν όχθο, στην κοιλάδα του Μπερτσέκου. Μου την είχε δείξει ο Ευάγγελος Κακαβογιάννης στη διάρκεια ξενάγησής μου στις ανασκαφές του, πολύ κοντά στα αρχαϊκά πλυντήρια. Η κάμιнос δεν αναφέρεται σε καμία δημοσίευση, ούτε είναι ευρύτερα γνωστή (σχ. 13).

Επίσης, υπολείμματα μιάς πολύ μικρής καμίνου υπάρχουν στον Χάρβαλο (σχ. 14). Αποτελείται από επίπεδα εργασίας σκαλισμένα στον βράχο και στο κατώτερο εξ αυτών μία βαθειά κοιλότητα με αυλάκι στο χείλος της, η οποία πιθανώς χρησίμευε ως κουπέλα. Θα υπήρχε ασφαλώς από πάνω θολωτή κατασκευή που έχει καταστραφεί. Η κάμιнос δεν μπορεί να θεωρηθεί κάμιнос παραγωγής μολύβδου, καθώς είναι πολύ μικρή, αλλά ούτε και κάμιнос παραγωγής σιδήρου, διότι δεν υπάρχουν γύρω της υπολείμματα που να το μαρτυρούν.

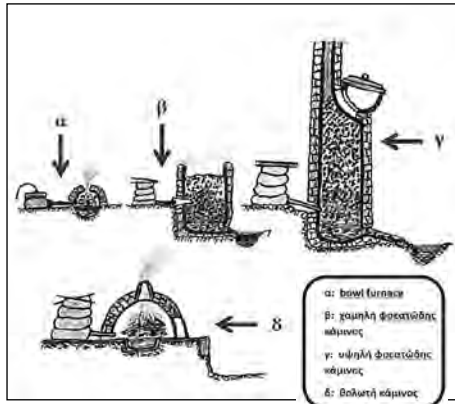
Κάμινοι παραγωγής σιδήρου

Κάμινοι παραγωγής σιδήρου δεν έχουν ευρεθεί μέχρι σήμερα στη Λαυρεωτική. Ωστόσο η χρήση τους επιβεβαιώνεται έμμεσα από την παρουσία ακατέργαστων μαζών σιδήρου που βρέθηκαν στην ανασκαφή της Σούρεζας, καθώς και σκωριών που βρέθηκαν διάσπαρτες σε περιοχές όπου υπήρχαν σιδηρομεταλλεύματα. Τα ευρήματα από τη Σούρεζα είναι τα πρώτα που μελετήθηκαν στον ελληνικό χώρο από τους Κ. Κονοφάγο και Γ. Δ. Παπαδημητρίου (1981α), οι οποίοι απέδειξαν ότι στο Λαύριο παράγονταν σίδηρος, από τον οποίον κατά πάσα πιθανότητα προέρχονταν και ο δομικός χάλυβας του Ερεχθείου (Κονοφάγος και Γ. Δ. Παπαδημητρίου, 1981β).

Οι συγγραφείς διετύπωσαν την άποψη ότι ο σίδηρος παράγονταν από τα τοπικά σιδηρομεταλλεύματα με ξυλοκάρβουνο ως θερμαντικό και αναγωγικό μέσο. Η αναγωγή γίνονταν σε στερεά κατάσταση μέσα σε φρεατώδεις καμίνους, παρόμοιες προς αυτές της τήξης μολύβδου, αλλά μικρότερες σε μέγεθος, και λαμβάνονταν ημισφαιρικές μάζες σιδήρου ανάμικτες με σκωρία (*blooms*) και μάζες σκωρίας στον πυθμένα της καμίνου (*furnace bottoms*), που απορρίπτονταν (σχ. 15). Οι μάζες σιδήρου κυκλοφορούσαν στο εμπόριο όπως έβγαιναν από την κάμινο και οι σιδηρουργοί πρώτα τις καθάρizαν από τη σκωρία με σφυρηλασία σε πολύ υψηλή θερμοκρασία της τάξεως των 1200°C και στη συνέχεια κατασκεύαζαν εργαλεία, όπλα και άλλα αντικείμενα. Το θέμα αναπτύσσεται διεξοδικά στις δημοσιεύσεις των Κ. Κονοφάγου και Γ. Δ. Παπαδημητρίου (1981α, 1981β).

Abstract

Excavation data of ancient furnaces in Lavreotiki during the last five decades, in combination with in situ observations and with the detailed study of their metallurgical residues, now allow composing a rational and comprehensive model of the architecture, operation and technology of ancient furnaces in the context of the technological level of knowledge in antiquity, but in strict agreement with actual metallurgical principles. As a result, a reconstruction of the furnaces of Lavreotiki is proposed, going hand in hand with both scientific knowledge as well as information coming from iconography of ancient pottery of the archaic and classical period, from ancient texts and from more recent testimonies of engineers and miners who worked in Lavreotiki during the 19th and 20th centuries. Furnaces for production of lead are high shaft furnaces with ergonomic design. Furnaces for cupellation of silver and for production of lead have not been preserved, but they are admittedly dome furnaces and high shaft furnaces respectively.



Σχ. 1. Τύποι καμίνων, βάσει των μορφολογικών χαρακτηριστικών τους.



Σχ. 2. Γκραβούρα του συγκροτήματος καμίνων στα Μεγάλα Πεύκα. Από *Illustrated London News*, 6 Nov. 1880, μέσω Γ. Μάνθος (1990).



Σχ. 3. Μεγάλα Πεύκα. Τοίχος αντιστήριξης καμίνου. Στη βάση του καταλήγει το κανάλι εμφύσησης αέρα.



Σχ. 4. Μεγάλα Πεύκα. Οπή εισόδου του αέρα στην κλίμακα. (Λεπτομέρεια Σχήματος 3).



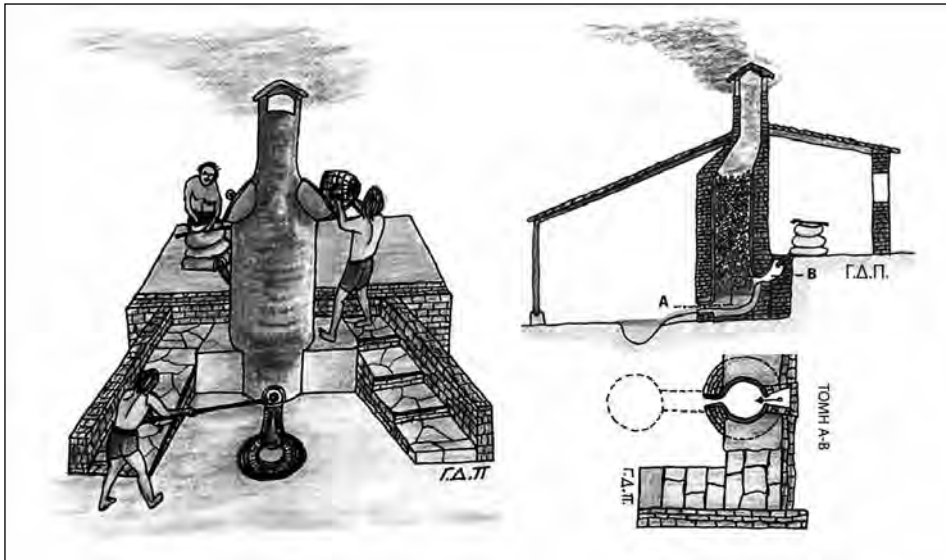
Σχ. 5. Αρί. Γενική άποψη καμίνου από μπροστά. Διακρίνονται οι δύο ογκόλιθοι-βάσεις του φρέατος της καμίνου, τα τρία επίπεδα εργασίας 1,2,3, ο λάκκος συλλογής μετάλλου/σκωρίας και η βάση σύλου.



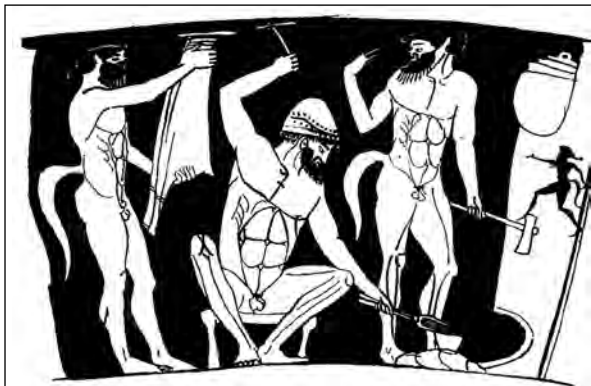
Σχ. 6. Αρί. Κυκλική διατομή και βάσεις καμίνου.



Σχ. 7. Αρί. Κατακόρυφο τμήμα του καναλιού εμφύσησης αέρα στην κάμινο.



Σχ. 8. Αριστερά αναπαράσταση της καμίνου.
 Άνω δεξιά τομή καθ' ύψος και κάτω δεξιά οριζόντια τομή Α-Β.



Σχ. 9. Σάτυρος προσφέρει στον Ήφαιστο φουσερό τύπου ασκού. Ερυθρόμορφος κρατήρας, 470-460 π.Χ., Σικελία, Ιταλία, Caltanissetta Museum.



Σχ. 10. Ο Ήφαιστος χειρίζεται δύο φουσερά. Ανάγλυφο από τη βόρεια ζωφόρο του Θησαυρού των Σιφνίων στους Δελφούς.



Σχ. 11. Εργάτης χειρίζεται φουσερό τύπου ασκού στο πίσω μέρος της καμίνου. Ερυθρόμορφη κύλιξ του 490-480 π.Χ., Βερολίνο, Staatliche Museen.



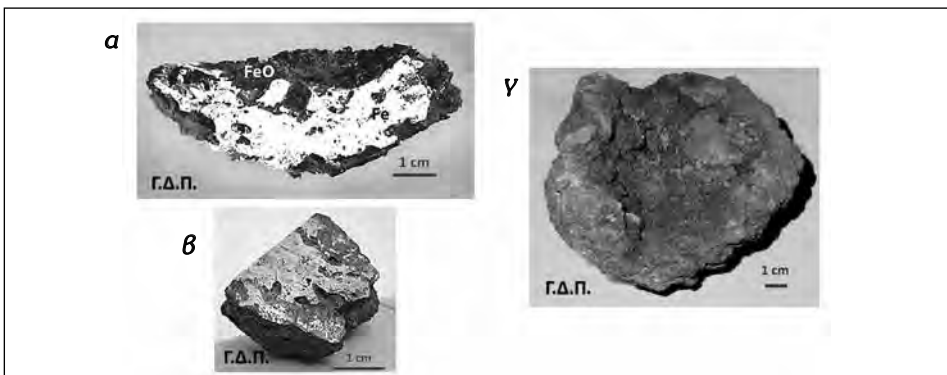
Σχ. 12. Κάμινος με καμινάδα και κεραμικό επιστόμιο. Λίκυθος, 470-460 π.Χ. Providence Museum of the Rhode Island.



Σχ. 13. Θολωτή κάμινος, Κοιλάδα Μπερτσέκο.



Σχ. 14. Υπολείμματα μικρής καμίνου στον Χάρβαλο.



Σχ. 15α και β: Κομμάτια από ημισφαιρικές μάζες σιδήρου (blooms) και γ: μάζα σκωρίας από τον πυθμένα της καμίνου (furnace bottom).

Βιβλιογραφία

- Chiotis E., C. Koukouzas and G. Papadimitriou, 1996, Old Mining and Metallurgical Activities in Agistron-Serres-Macedonia, *Proceedings of the 2nd Symposium of the Hellenic Archaeometrical Society* (26-28 March 1993), Thessaloniki, pp. 77-89.
- Cordella A. (1871), *Le Laurium*, Marseille.
- Κονοφάγος Κ. (1976), «Κάμινος τήξεως και τεχνική της τήξεως των αργυρούχων μεταλλευμάτων μολύβδου της Λαυρεωτικής υπό των Αρχαίων Ελλήνων», *Annales Géologiques des Pays Helléniques*, 331-366.
- Κονοφάγος Κ. (1980), *Το Αρχαίο Λαύριο και η ελληνική τεχνική παραγωγής του Λαυρίου*, Αθήνα: Εκδοτική Ελλάδος.
- Κονοφάγος Κ., Γ. Παπαδημητρίου (1981α), «Η τεχνική της παραγωγής σιδήρου και χάλυβος από τους αρχαίους Έλληνες στην Αττική κατά την Κλασσική περίοδο», *Πρακτικά της Ακαδημίας Αθηνών*, 56, 148-172.
- Κονοφάγος Κ., Γ. Παπαδημητρίου (1981β), «Οι καλύβδινος σύνδεσμοι του Ερεχθείου κατασκευάσθηκαν με τεχνική που ξαναβρίσκεται στα “Δαμασκνὰ Σπαθιά”», *Πρακτικά της Ακαδημίας Αθηνών*, 56, 172-190.
- Κονοφάγος Κ., Γ. Παπαδημητρίου (1981γ), «Ερμηνεία του χρησιμοποιουμένου αγγείου από τους αρχαίους Έλληνες στο στόμιο των καμίνων κατά την Κλασσική περίοδο», *Πρακτικά της Ακαδημίας Αθηνών*, 56, 190-211.
- Κορδέλλας Α. (1875), *Περιγραφή διαφόρων προϊόντων του Λαυρίου και Ωρωπού εις την έκθεσιν των Ολυμπίων*.
- Κορδέλλας Α. (1890), «Το Λαύριον και ο ελληνικός Άργυρος», Διάλεξις εις Παρνασσόν, Αθήναι, σελ. 1-97.
- Μάνθος Κ. Γ. (1990), Αναπαραγωγή από *Illustrated London News*, 6 Nov. 1880 στο Μεταλλευτικό, Μεταλλουργικό Λαύριο, Φωτογραφικό Λεύκωμα, Έκδοση Δήμου Λαυρεωτικής.
- Οικονομάκου Μ. (1997), «Εργαστήριο τήξεως μεταλλευμάτων στον Όρμος Ασημάκη Σουνίου», *Ορυκτός Πλούτος*, 103, 47-53.
- Παπαδημητρίου Γ. Δ. (2018), «Ανιχνεύοντας το μεταλλευτικό τοπίο και την ιστορία της Λαυρεωτικής από το τέλος του 4ου έως τον 1ο αιώνα π.Χ.», *Πρακτικά ΙΣΤ' ΕΣΝΑΑ στο Λαύριο, 18-22 Νοεμβρίου 2015*, Καλύβια Θορικού.
- Τσάιμου Κ. Γ. (2013), «Διαδικασία λειτουργίας καμίνων τήξεως μέσα από τις ανασκαφές του Ε.Μ.Π. στο Αρύ της Λαυρεωτικής», *Πρακτικά ΙΑ' ΕΣΝΑΑ*, Καλύβια Θορικού.
- Tsaimou C., Tsakiridis P. E., Oustadakis P. (2015), “Analytical and technological evaluation of ancient lead slags from Lavrion, Attika, Greece”, *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, 15,2, pp. 113-127.
- Tylecote R. F. (1976), *A History of Metallurgy*, The Metals Society, London.
- Χατζηδημητρίου Α. (2005), *Παραστάσεις Εργαστηρίων και Εμπορίου στην εικονογραφία των αρχαϊκών και κλασικών χρόνων*, Αθήνα: Ταμείο Αρχαιολογικών πόρων και Απαλλοτριώσεων.