

ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΜΑΤΩΝ ΜΕ JIG ΣΤΗΝ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΤΟ ΜΕΣΑΙΩΝΑ

(Μια απλή θεωρητική παρουσίαση της λειτουργίας του)

Η παρούσα ανακοίνωση έχει σκοπό να δώσει την εφαρμογή της μεθόδου εμπλουτισμού με τσίνκ* (JIG) των διαφόρων μεταλλευμάτων στην αρχαιότητα στη Μεσόγειο και κατόπιν στο Μεσαίωνα.

Θα δούμε ότι η μέθοδος του τσίνκ εφαρμόστηκε ασφαλώς στην Καρχηδόνα την εποχή του Πολύβιου. Αντίθετα δεν εφαρμόστηκε παραγωγικά στην Ισπανία στον εμπλουτισμό του χρυσού. Όσο για το Λαύριο οι μέθοδοι των ρείθρων που είχαν φθάσει σε μεγάλη τελειότητα ήταν τέτοια ώστε η μέθοδος του τσίνκ δεν μπορούσε να συγκριθεί σε αποτελεσματικότητα. Έτσι στο Λαύριο δεν εφαρμόστηκε.

Στο Μεσαίωνα εφαρμόστηκε μετά το 1500 και ο AGRICOLA δίνει λεπτομέρειες στο βιβλίο του DE RE METALLICA.

Υποστηρίζει πάντως στη σελίδα 304 ότι η μέθοδος εμπλουτισμού με τα διάφορα ρείθρα είναι ανώτερη.

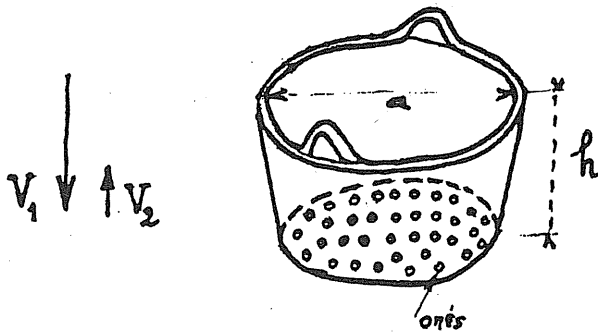
Η μέθοδος του «τσικνίσματος» (JIGGING) είναι σίγουρα τόσο παλιά όσο και η ιστορία του εμπλουτισμού των μεταλλευμάτων απ' την αρχή της, που ήταν ο εμπλουτισμός στο προσχωματικό χρυσό. Θα επινοήθηκε ασφαλώς κατά το κοσκίνισμα της χρυσοφόρου άμμου των ποταμών.

* Η λέξη JIG έχει γίνει διεθνής. Είναι σύντομη και μπορεί να διατηρηθεί και στα Ελληνικά: το «Τσίνκι» ή το «Τσίνκ».

Ιδού η μέθοδος του (τσινκίσματος)

Το τσινκ (JIG) είναι ένας κύλινδρος ξύλινος ή μεταλλικός, διαμέτρου a cm ύψους h cm ανοικτός πάνω και κλειστός κάτω με ένα επίπεδο μεταλλικό με οπές σαν ένα κόσκινο. Στο άνω χείλος υπάρχουν δύο χειρολαβές. Το αρχαίο JIG ήταν χειροκίνητο.

Οι διαστάσεις ενός χειροκίνητου JIG είναι π.χ. $a = 30 - 50$ cm και $h = 10 - 25$ cm.



Σχήμα Νο 1.

Τρόπος εμπλουτισμού με το χειροκίνητο «τσινκ»

Το τσινκ γεμίζεται με το τριμμένο μετάλλευμα προς εμπλουτισμό μέχρι ύψος $2/3 - 3/4$ του h .

Κατόπιν ο εργάτης κρατώντας το στα χέρια, το βυθίζει ολόκληρο μέσα στο νερό, σε ένα βαρέλι γεμάτο νερό.

Του δίνει τότε ρυθμικά μια χαρακτηριστική κατακόρυφη παλμική κίνηση. Αυτή η παλμική κίνηση αποτελείται από μία απότομη κάθοδο μερικών cm με μεγάλη ταχύτητα V_1 που επακολουθεί μια αργή κίνηση ανόδου στην προτέρα θέση του μικρής ταχύτητας V_2 .

Αυτή η παλμική κίνηση γίνεται με μία συχνότητα 60 - 80 το λεπτό και διαρκεί μερικά λεπτά της ώρας αναλόγως του είδους του μεταλλεύματος.

Στην παλμική κίνηση του τσίγκ από τον εργάτη συμβαίνουν τα ακόλουθα: Κατά την απότομη κάθοδο του τσίγκ μπαίνει με ορμή το νερό από τις οπές του «κόσκινου» μέσα στο τσίγκ που έχει ως αποτέλεσμα να σηκώνει το μετάλλευμα μέσα στο τσίγκ που μένει αιωρούμενο, μέσα στο νερό του τσίγκ, με τους κόκκους του ελεύθερους μεταξύ τους. Αμέσως τότε και κατά το χρόνο της αργής καθόδου το μετάλλευμα «πέφτει» μέσα στο νερό του τσίγκ. Οι βαρείς κόκκοι πέφτουν πιο γρήγορα από τους ελαφρείς και με τις επανειλημμένες παλμικές κινήσεις το βαρύτερο μέρος του μεταλλεύματος κατατάσσεται σε στρώσεις στο βάθος του τσίγκ κοντά στο κόσκινο. Το ελαφρότερο μέρος κατατάσσεται πάνω στις ανώτατες στρώσεις.

Μετά την επανάληψη των παλμικών κινήσεων ύστερα από ένα ορισμένο χρονικό διάστημα έχουμε τελικώς μέσα στο τσίγκ στις κατώτατες στρώσεις ένα «συμπύκνωμα» και στις ανώτατες στο χείλος ένα «απόρριμμα». Μεταξύ των υπάρχουν τα μικτά.

Ο εργάτης τότε σταματάει την κίνηση του τσίγκ. Αφαιρεί από πάνω με ένα φτιαράκι το απόρριμμα που απομακρύνει σε ένα στοκ άχρηστου υλικού.

Το χώρο του απορρίμματος αντικαθιστά με νέο μετάλλευμα. Μ' αυτό τον τρόπο λίγο - λίγο το συμπύκνωμα καταλαμβάνει σχεδόν ολόκληρο το χώρο του τσίγκ.

Τότε σταματάει την εργασία του και αδειάζει το τσίγκ, γεμάτο σχεδόν συμπύκνωμα, σε ένα χώρο αποθηκείσεως του συμπυκνώματος.



Σχήμα Νο 2.

Ο τρόπος αυτός λειτουργίας του τσινκ όπως τον δίδω, εφαρμόστηκε στην αρχαιότητα αλλά και στο Μεσαίωνα, όπως τον περιγράφει ο Agricola, που είναι γενικά απλός.

Όσο για τη θεωρητική ανάλυση των φυσικών φαινομένων δίδω απλά, πιο πέρα, σε ειδικό κεφάλαιο τη θεωρία της πτώσεως των κόκκων ενός μεταλλεύματος μέσα στο νερό.

ΤΟ ΤΣΙΝΚ ΣΤΗΝ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΑ

Θα αναφέρω κατωτέρω ό,τι γνωρίζουμε από τη χρήση ή μη χρήση του τσινκ στην ΚΑΡΧΗΔΟΝΑ, την ΙΣΠΑΝΙΑ και το ΛΑΥΡΙΟ.

Το Τσινκ στην Καρχηδόνα

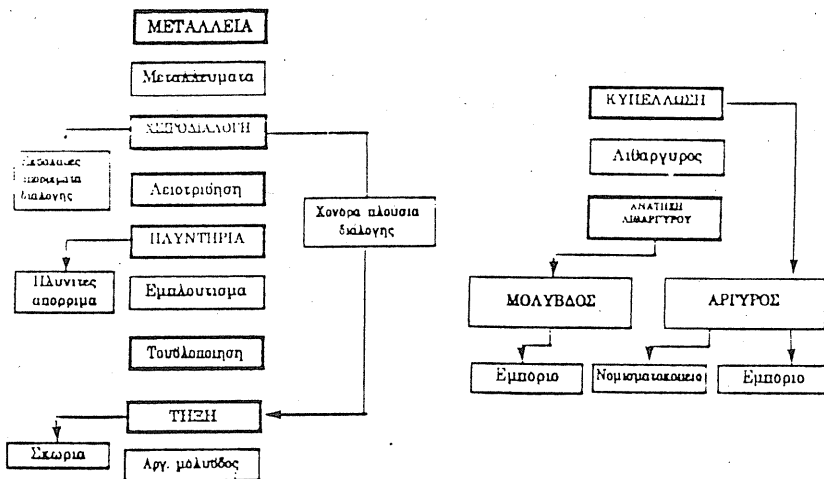
Στο βιβλίο μου το «ΑΡΧΑΙΟ ΛΑΥΡΙΟ. Η ελληνική τεχνική παραγωγής Αργύρου», 1980, σελίδα 423, ομιλώ λεπτομερώς γι' αυτήν

την περίπτωση της Καρχηδόνας. Ο Στράβων στο γραπτό κείμενο 3,2-10 λέγει τα εξής όπως το έχω μεταφράσει.

«Ο δε Πολύβιος αναφέρει τα μεταλλεία αργύρου που θυμάται κοντά στη Νέα Καρχηδόνα και λέει πως είναι σημαντικότερα. Απέχουν από την πόλη 20 στάδια και έχουν περίμετρο 40 στάδια, εργάζονται δε εκεί 4.000 άνθρωποι και αποφέρουν ημερησίως στη Ρώμη 25.000 δραχμές.

Από τη μακρά περιγραφή που δίνει ο Πολύβιος της κατεργασίας, θα αναφέρω μονάχα πώς γίνεται η κατεργασία των αργυρούχων βόλων που μεταφέρουν ρεύματα. Τους βόλους αυτούς πρώτα τους θρυμματίζουν και ύστερα τους κατατάσσουν μέσα στο νερό με κόσκινα. Παιρνουν την κατώτατη στρώση (την υπόσταση) και την ξαναθρυμματίζουν. Την κατεργάζονται (διηθούν) εκ νέου και μετά την έκχυση του νερού την ξανατρίβουν. Την πέμπτη δε υπόσταση την καμινεύουν. Αφού αποχύσουν το μόλυβδο, παίρνουν τον άργυρο καθαρό».

Στο «Αρχαίο Λαύριο» στη σελίδα 423 δίνω σε σχέδιο και λεζάντα την έννοια των όσων λέγει ο Στράβων, που επαναλαμβάνω εδώ.



Σχέδιο Νο 3. Πρόκειται για κατεργασία μεταλλεύματος αργυρούχου μολύβδου που τελικά στέλνεται για τήξη και κατόπιν για κυπέλλωση κατά την παραγωγή του αργύρου.

Θα προσθέσω εδώ μια βασική λεπτομέρεια. Η κατεργασία του εμπλουτισμού στο τσινκ όπως τη δίνει ο Πολύβιος είναι διαφορετική από αυτή που ανέφερα πως γίνεται γενικά. Προέρχεται από το γεγονός ότι το μέταλλευμα που κατεργάζονταν ήταν μέταλλευμα αργυρούχου μολύβδου, ασφαλώς γαληνίτης, αλλά σε κόκκους πάχους π.χ. 3 - 4 mm. Σ' αυτή την περίπτωση δεν συμφέρει λόγω μεγάλων απωλειών στο τσινκ να τρίψεις αμέσως το μέταλλευμα κάτω των 3 mm.

Το τρίψιμο δίνει πάντα και μερικά πολύ ψιλά τεμάχια του μεταλλεύματος κάτω από 0,01 mm (εδώ του γαληνίτη), που φεύγουν στο νερό και αποτελούν οριστικές απώλειες, γι' αυτό συμφέρει να το τρίψεις στην αρχή π.χ. στα 5 mm. Τότε η «υπόσταση» που παίρνεις έχει πολλά μικρά και το συμπύκνωμα είναι *μικρής περιεκτικότητας* σε μόλυβδο.

Έτσι στην Καρχηδόνα τρίβανε την υπόσταση κάθε φορά περισσότερο και έτσι φτάνανε με μικρές απώλειες στην πέμπτη υπόσταση σε πλούσιο «συμπύκνωμα» κατάλληλο για την τήξη π.χ. 40 - 45 % σε μόλυβδο.

Το Τσινκ στην Ισπανία

Στο διεθνές συνέδριο στη Μαδρίτη της 24 - 28 Οκτωβρίου 1985 με θέμα «Μεταλλευτική και Μεταλλουργία στους αρχαίους πολιτισμούς στη Μεσόγειο και την Ευρώπη» στο οποίο συμμετείχε ο συγγραφέας του παρόντος μελετήθηκε κατά βάθος και ο εμπλουτισμός των κοιτασμάτων χρυσού στην Ισπανία στα Ρωμαϊκά χρόνια.

Συγκεκριμένα παρουσιάστηκαν σχετικές εργασίες των Ισπανών μηχανικών U. Ruiz Espinosa και P. J. Sancez Palencia. Τα πρακτικά του συνεδρίου θα κυκλοφορήσουν εφέτος.

Στα έργα αυτά μελετάται η μέθοδος εμπλουτισμού του προσχωματικού και μη χρυσού. Ο εμπλουτισμός αυτός στηρίζεται στη χρησιμοποίηση των πιάτων και διαφόρων ρείθρων.

Ο Πλίνιος περιγράφει εκτεταμένα την εκμετάλλευση του χρυσού στην Ισπανία, που είχε ζήσει από κοντά, και όσα λέει είναι σωστά ό-

πως απέδειξαν οι εργασίες τελευταία των Ισπανών. Δεν αναφέρει το τσίνκ. Το τσίνκ δεν χρησιμοποιήθηκε κατά τον συγγραφέα.

Ο Halleux στο έργο του «La metallurgie des metaux non ferreux dans l' antiquite» υποστηρίζει ότι πιθανά χρησιμοποιείτο στην Καρχηδόνα στα μεταλλεύματα αργύρου μολύβδου.

Προσωπικά νομίζω ότι οι Ισπανοί συγγραφείς έχουν δίκιο γιατί αν χρησιμοποιείτο το τσίνκ στην Ισπανία θα το ανέφερε ο Πλίνιος.

Το Τσινκ στο αρχαίο Λαύριο

Όπως εξήγησα στο «ΑΡΧΑΙΟ ΛΑΥΡΙΟ» το ΤΣΙΝΚ δεν χρησιμοποιήθηκε στην παραγωγή στο Αρχαίο Λαύριο αν και το γνώριζαν ασφαλώς. Θα δώσω εδώ περισσότερες λεπτομέρειες.

Το μέταλλευμα του Λαυρίου τρίβονταν ουσιαστικά σε διάσταση κάτω από 1/2 mm γιατί τότε και μόνο απελευθερώνονταν οι κόκκοι του γαληνίτη (PbS) και του κερουσίτη (CO₃Pb₂).

Στο «ΑΡΧΑΙΟ ΛΑΥΡΙΟ» στη φωτογραφία του απορρίμματος (πλυνίτου) (10 - 15α) του Λαυρίου η κοκκομετρική σύσταση είναι η ακόλουθη:

+0,6 mm = 5,1%, 0,6 - 0,25 mm = 18,8%, 0,25 - 0,15 mm = 32,2 % κάτω του 0,15 mm = 43,9 %.

Δηλαδή ουσιαστικά το μέταλλευμα τρίβονταν σε διάσταση κόκκου κάτω του 1/2 mm. Σε μια τέτοια διάσταση κόκκου το χειροκίνητο τσίνκ δεν μπορεί να εφαρμοστεί γιατί έχει πολύ χαμηλές αποδόσεις.

Ο Taggart που αφιερώνει 50 σελίδες για το τσίνκ τονίζει στη σελίδα 11 - 68 ότι το τσίνκ εργάζεται αποτελεσματικά σε διάσταση κόκκου πάνω από 1 mm που είναι ένα minimum. Όσο για το maximum είναι περίπου 13 mm. «Για το βαρυτομετρικό διαχωρισμό σε διάσταση κάτω από 2 mm», όπως λέει, για τη σύγχρονη τεχνική, «οι κινούμενες τράπεζες» είναι προτιμότερες.

Στην αρχαιότητα οι «κινούμενες τράπεζες» ήταν τα διάφορα ρείθρα διαφόρων τύπων ανάλογα με το είδος του τριμμένου μεταλλεύματος.

Γι' αυτό το λόγο τα τσίνκ δεν χρησιμοποιήθηκαν στο Λαύριο.

Αν είχαν χρησιμοποιηθεί θα υπήρχαν απορρίμματα χαρακτηριστικά του τσίγκ και χώρος κατάλληλος για τη χρήση τους. Τέτοια απορρίμματα δεν βρέθηκαν.

Το ότι το τσίγκ δεν χρησιμοποιήθηκε στο Λαύριο ούτε για τυχόν προεμπλουτισμό του μεταλλεύματος όπου μπορούσε να αποδώσει* ήταν και για άλλες τρεις αιτίες:

1ο) Το τσίγκ είναι χειροκίνητο και απαιτεί πολλούς εργάτες που ήταν πολύ ακριβοί στο Λαύριο παρ' όλο που ήταν δούλοι.

2ο) Το τσίγκ είναι ασυνεχής μέθοδος.

3ο) Οι μέθοδοι με τα ρείθρα ήταν πολύ ανώτερες σε κάθε περίπτωση ακόμα και για προεμπλουτισμό.

Αυτό είχε παρατηρήσει και ο Agricola στο Μεσαίωνα, που λέει στη σελίδα 304 του DE RE METALLICA: «Αυτή η μέθοδος πλυσίματος (με ρείθρα διαφόρων ειδών εν ανάγκη με εμπόδια με ύφασμα καναβάτσου) εφευρέθηκε κατά πρώτον από τους μεταλλευτές μεταλλεύματος κασιτιέρου που πέρασε ύστερα στους μεταλλευτές μεταλλεύματος αργύρου όπως και σε άλλους.

«Αυτό το σύστημα είναι πιο αξιόπιστο από τη μέθοδο του τσίγκ».

Όσο για το Λαύριο πρέπει να τονίσω ότι οι αρχαίοι Έλληνες με τη μέθοδο των ρείθρων που χρησιμοποιούσαν στις μόνιμες χτιστές εγκαταστάσεις των επιπέδων πλυντηρίων (ακόμα και μερικών χτι-

* Το 1950 ο συγγραφέας του παρόντος εγκατέστησε στη «Γαλλική Εταιρεία Μεταλλείων Λαυρίου» της οποίας ήταν Αρχιμηχανικός παραγωγής, ένα σύγχρονο ηλεκτροκίνητο μεγάλο «Hancock JIG» (βλ. Taggart, σελ. 11 - 33) για τον προεμπλουτισμό του μεταλλεύματος BPG της Πλάκας που είχε 3% μόλυβδο. Το μέταλλευμα τριβόταν σε διάσταση 10 - 20 χιλ. Από το «Hancock jig» το συμπύκνωμα με 6% μόλυβδο τριβόταν σε διάσταση κάτω του 1 χιλ. και τροφοδοτείτο σε εγκατάσταση ΕΠΙ-ΠΛΕΥΣΕΩΣ. Στο «Hancock jig» η τροφοδοσία και η παραγωγή είναι συνεχής. Περιττό να πω ότι η σκέψη για προεμπλουτισμό του μεταλλεύματος στην αρχαιότητα με χειροκίνητα τσίγκ ήταν αδιανόητη λόγω της ασυνέχειας της παραγωγής και των μειονεκτημάτων που προέκυπταν από την πολυπλοκότητα της κατεργασίας απ' αυτήν την ασυνέχεια.

στών εγκαταστάσεων ελικοειδών πλυντηρίων) αποτέλεσαν ένα τεχνικό έργο μεγάλης τελειότητας και ευφύιας (Σχήμα Νο 4α). Στη μέθοδο που εφήρμοσαν δεν υπήρχε τίποτα το χειροκίνητο (εκτός από την τριβή του μεταλλεύματος) μια μέθοδο που έδινε συνεχώς και αμέσως απ' το τριμμένο μέταλλευμα τα δύο προϊόντα. Το «συμπύκνωμα» και το «απόρριμμα». Μάλιστα το συμπύκνωμα πάνω σε ξύλινο ρείθρο που απομακρυνόταν αμέσως ενώ το ρείθρο αντικαθίστατο με ένα άλλο κενό. Η απώλεια χρόνου ήταν ελάχιστη.

Μόνιμες εγκαταστάσεις όπως τα επίπεδα πλυντήρια του Λαυρίου δεν βρέθηκαν πουθενά. Ήταν όλα ξύλινα στην αρχαιότητα ή το Μεσαίωνα και καταστράφηκαν. Η μονιμότης των εγκαταστάσεων προέρχονταν από την πεποίθηση των Αρχαίων Ελλήνων ότι η μέθοδος των είχε φτάσει στην τελειότητα (βλ. «ΑΡΧΑΙΟ ΛΑΥΡΙΟ», σελίδες 212 - 273).

Μπορούμε να το καταλάβουμε αυτό αν παραβάλουμε (όπως το κάνω στο Σχήμα 4) μια εγκατάσταση του Agricola του Μεσαίωνα (σελ. 350) ενός πλυντηρίου με δύο ρείθρα και ενός ανάλογου επιπέδου πλυντηρίου του Λαυρίου με δύο ρείθρα 2.000 χρόνια πριν!!

Το πλυντήριο του Λαυρίου είναι ασυγκρίτως ανώτερο!

Τα ακροφύσια στο Λαύριο είναι υδροδυναμικά και η πίεση του νερού σ' αυτά είναι μεγάλη, που όπως απέδειξα* τελευταία, ρυθμίζεται σε κατάλληλη τιμή.

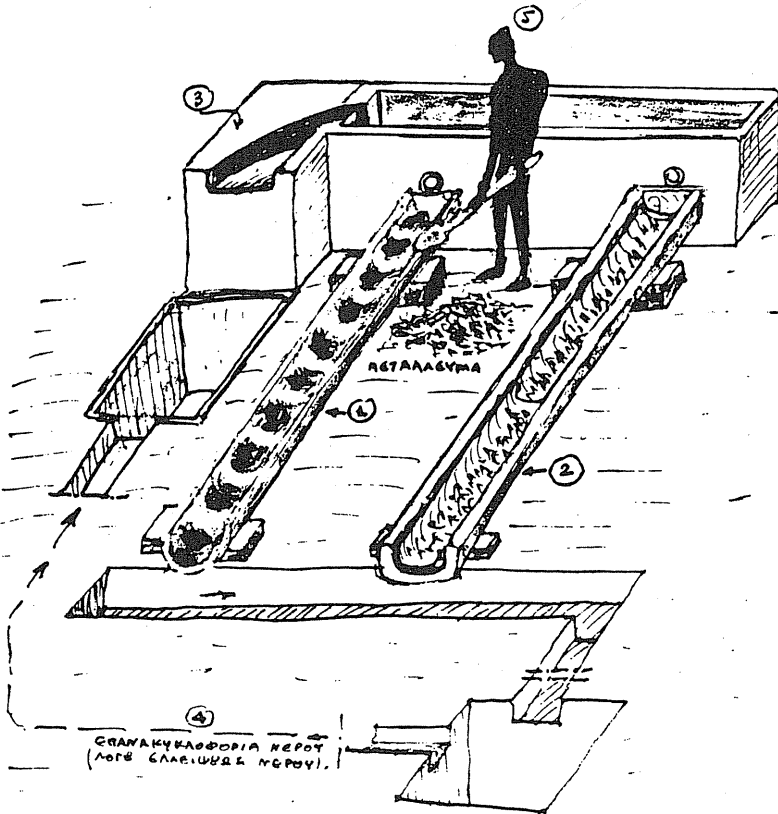
Όσο για τα ρείθρα ήταν ξύλινα από κορμούς δέντρων με κοιλότητες όπου η μορφή και το βάθος των κοιλωμάτων ήταν έργα θαύμασιας μορφής και τέχνης όπως το πιστοποιούμε στα ελικοειδή μαρμάρινα πλυντήρια του Λαυρίου. Γιατί εκεί διασώθηκαν. Σε τέτοια ρείθρα μπορείς να κατεργαστείς ακόμα και λεπτότατους κόκκους γιατί μπορείς νάχεις μικρά βάθη κοιλότητας ή να κάμεις το ξύλο να έχει ολιγοβαθείς παράλληλες ραβδώσεις.

* Τούτο αποδείξαμε σε άρθρο μας υπό εκτύπωση που κατατέθηκε στην «Εν Αθήναις Αρχαιολογικήν Εταιρείαν» από μελέτη μας του πλυντηρίου αριθμ. 1 της Ανασκαφής στην κοιλιά της Σούρεζας του Ε.Μ. Πολυτεχνείου.

Σύγκριση των ρείθρων και μεθόδων στην
ελληνική αρχαιότητα (Σχ. 4α) και το μεσαίωνα (Σχ. 4)

Σχήμα Νο 4α

1. Ρείθρο ξύλινο με λαξευμένες κοιλότητες όπως στα ελικοειδή πλυ-
ντήρια.
2. Ξύλινο ρείθρο για πολύ ψιλά μεταλλεύματα με επίστρωμα με τρι-
χωτά δέρματα.
3. Σύστημα σταθερής πίεσης νερού στα ακροφύσια.
4. Επανακυκλοφορία νερού.
5. Εργάτης που τροφοδοτεί το μετάλλευμα στη ροή.



Η εξυπνάδα των Ελλήνων της εποχής εκείνης από ό,τι πιστοποιούμε στα επίπεδα πλυντήρια και μάλιστα τα ελικοειδή, ήταν αξιοθαύμαστη!! Το αποδεικνύει και η δυσκολία που αντιμετωπίσαμε για να φθάσουμε τελικά να ανακαλύψουμε τις αρχαίες μεθόδους των Ελλήνων.

ΤΟ ΤΣΙΝΚ ΣΤΟ ΜΕΣΑΙΩΝΑ

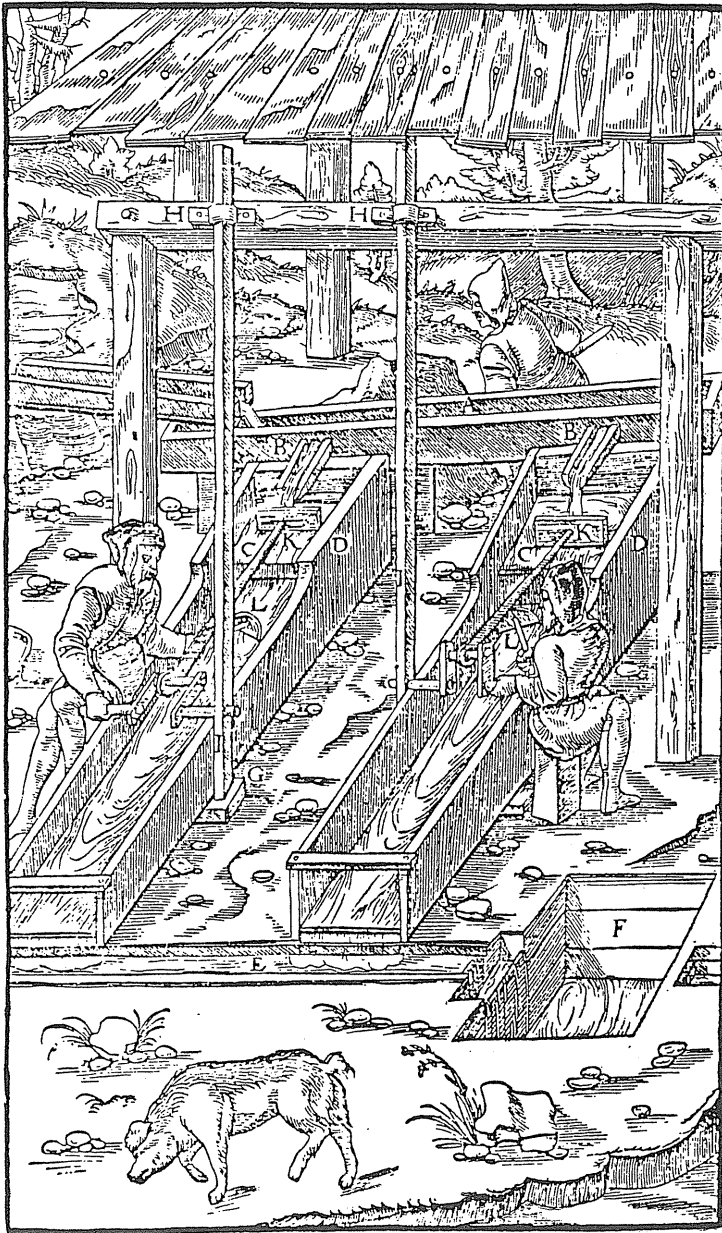
Ο Agricola στο περίφημο έργο του DE RE METALLICA, σελ. 310 εκθέτει λεπτομερώς ότι ο εμπλουτισμός των μεταλλευμάτων μέχρι και το 1500 μ.Χ. στηριζόταν σε τελειοποιήσεις των ρειθρών για τα διάφορα μεταλλεύματα. Ο Agricola αναφέρει ότι κατά το 1500 άρχισε να εφαρμόζεται και ο εμπλουτισμός με το τσινκ.

Δίνει μια λεπτομερή περιγραφή του τρόπου εμπλουτισμού με ΤΣΙΝΚ και μια γκραβούρα για τον τρόπο αυτό.

Δίδω παρακάτω την μετάφραση από τα Λατινικά του κειμένου μαζί με τη σχετική γκραβούρα του Agricola (Σχήμα Νο 5).

ΤΟ ΚΕΙΜΕΝΟ ΤΟΥ Agricola

«Το τσινκ με κόσκινο εφαρμόσθηκε τελευταία από τους μεταλλευτές. Το μετάλλευμα ρίχνεται μέσα σ' αυτό το τσινκ και κοσκινίζεται (βυθισμένο στο νερό) μέσα σε ένα κάδο, γεμάτο νερό. Το τσινκ το κινούν κάτω - πάνω και μ' αυτή την κίνηση όλο το μετάλλευμα κάτω από τη διάσταση κόκκου μπιζελιού περνά (από το κόσκινο) και πέφτει μέσα στον κάδο, ενώ το υπόλοιπο μένει στο τσινκ. Αυτό που μένει είναι δύο ειδών, τὸ μεταλλοφόρο μέρος που βρίσκεται στην κατώτερη στρώση και το μέρος από χώμα και στείρο των ορυκτών που κατέχει τις ανώτατες στρώσεις αφού όλα τα βαριά πάντα καθιζάνουν και τα ελαφρά μένουν ψηλά από τη δύναμη του νερού.



Σχήμα Νο 4

— Βασική άλλη διαφορά είναι ότι στο Μεσαίωνα στα ρείθρα έρρεε παραναμειγμένο μείγμα νερού και μεταλλεύματος ενώ στο Αρχαίο Λαύριο τροφοδοτείτο το μέταλλευμα στο ρεύμα νερού. Έτσι σε κάθε ακροφύσιο στο Λαύριο μπορούσε να τροφοδοτηθεί διαφορετικό μέταλλευμα σε διαφορετικό ρείθρο.

— Στο σκεπτικό αυτό νομίζουμε πως φαίνονται καθαρά η τεχνικά καθαρή σκέψη των αρχαίων και η τελειότητα στην απλότητα.

Θα προσθέσω εδώ το γεγονός ότι χρησιμοποιούσαν τσίνκ με διάφορα «κόσκινα» από απόψεως διαστάσεων οπών. Οι διαστάσεις των οπών ήταν μικρότερες όταν το μέταλλευμα ήταν ψιλόκοκκο αν και στην πραγματικότητα οι οπές του κόσκινου κλείνανε ουσιαστικά από το βαρύ υπερκείμενο στο κόσκινο συμπύκνωμα. Διέφευγε πάντως οπωσδήποτε ένα μέρος του ψιλόκοκκου συμπυκνώματος διά μέσου του κοσκίνου που έπεφτε στο βαρέλι.



Σχήμα Νο 5

Το ελαφρό μέρος τραβιέται από πάνω με ένα ξύλινο ξύστρο που έχει μορφή ημικυκλική $3/4$ του ποδιού στο μήκος και $1/2$ ποδιού στο πλάτος.

Μετά ταύτα νέο μετάλλευμα τροφοδοτείται μέσα στο τσινκ και κινείται πάλι κάτω - πάνω και όταν μια μεγάλη ποσότητα από βαρείς μεταλλοφόρους κόκκους μαζεύεται τότε αυτό το συμπύκνωμα αδειάζεται σε ένα τραπέζι που βρίσκεται κοντά.

Επειδή αυτό που διαφεύγει από το κόσκινο του τσινκ και έχει πέσει μέσα στον κάδο και βρίσκεται εκεί σε λάσπη, περιέχει κόκκους χρυσού και αργύρου αλλά και άμμο από πυρίτη, καδμία, γαλένα και χαλαζία και άλλα υλικά, πρέπει να πλυθεί για δεύτερη φορά και να πεταχτεί το άχρηστο μέρος.

Για να εμποδίσει κανείς αυτή τη λάσπη να περάσει για δεύτερη φορά από το κόσκινο του τσινκ ο πλύντης ρίχνει μικρές πέτρες ή χαλίκι στο βάθος του κόσκινου.

Πάντως εάν το τσινκ δεν κινείται κάτω - πάνω αλλά γέρνει, οι πέτρες ή το τριμμένο μετάλλευμα κινείται από μία μεριά στην άλλη και η κατεργασία αποτυγχάνει.

Οι μεταλλευτές του τόπου μας χρησιμοποιούν ένα ψιλό κόσκινο που δεν αποτυγχάνει ακόμα κι αν οι εργάτες είναι άπειροι. Όταν το τσινκ έχει ψιλό κόσκινο δεν υπάρχει ανάγκη νάχει πάνω του χαλίκια. Μ' αυτή τη μέθοδο η λάσπη φεύγει από το τσινκ στον κάδο με τα πολύ λεπτά σε κόκκους μέρη ενώ τα πιο χοντρά μένουν πάνω στο κόσκινο· τα στείρα (από ανώτερα στρώματα) τα τραβούνε έξω με ξέστρο.

Το συμπύκνωμα που παίρνεται, λιώνεται μαζί με όλο το άλλο (συμπύκνωμα). Εάν το μετάλλευμα είναι πλούσιο όλο το ελαφρύ υλικό που βγήκε με το ξέστρο πλένεται σε τράπεζες (ρείθρα) με επίστρωση από καναβάτσο. Αν το υλικό είναι φτωχό σε μέταλλο απορρίπτεται».

ΤΟ ΤΣΙΝΚ ΣΤΟ 19ο και 20ο ΑΙΩΝΑ Μ.Χ.

Από τα τέλη του 19ου αιώνα έχουμε τη βιομηχανική επανάσταση με τη χρησιμοποίηση νέων μορφών ενέργειας και μάλιστα της ηλεκτρικής ενέργειας για την κίνηση με κινητήρες.

Το χειροκίνητο τσινκ γίνεται ηλεκτροκίνητο και χρησιμοποιείται συνήθως σταθερό με παλλόμενο μέσα του νερό με ένα πιστόνι ή με ένα κινούμενο διάφραγμα. Γίνεται επίσης κατεργασία σε συνεχή τροφοδοσία ώστε πάνω από το τσινκ να φεύγει συνεχώς το απόρριμ-

μα ενώ από κάτω να ανοίγει περιοδικά το κόσκινο και να παίρνεται το συμπύκνωμα. Το τσίνκ χρησιμοποιείται αποτελεσματικά κυρίως σε προεμπλουτισμό του μεταλλεύματος. Για τα σύγχρονα τσίνκ και τις αποδόσεις των παραπέμπω και πάλι στο έργο του Taggart.

Η θεωρία του βαρυμετρικού εμπλουτισμού

Θεωρώ εδώ ενδεδειγμένο να δώσω κατά τρόπο απλό με τα μαθηματικά του Γυμνασίου, τη βασική θεωρία του διαχωρισμού των κόκκων ενός μεταλλεύματος κατά την πτώση του μέσα στο νερό ή γενικότερα σε ένα υγρό. Η θεωρία αυτή είναι αρκετή για μια στοιχειώδη κατανόηση του τσίνκ. Όσο για την απλοποίηση νομίζω ότι είναι ενδιαφέρουσα για κάθε ειδικό μηχανικό στην παραγωγή και πολύτιμη για ένα μη ειδικό όπως οι αρχαιολόγοι που ασχολούνται με ανασκαφές στο Λαύριο των πλυντηρίων και θέλουν να εμβαθύνουν στα φαινόμενα.

Ο Βαρυμετρικός εμπλουτισμός στηρίζεται στο διαφορετικό ειδικό βάρος των διαφόρων κόκκων ενός μεταλλεύματος.

Πράγματι αν αφήσουμε να πέσουν διάφοροι κόκκοι μέσα στο νερό παρατηρούμε ότι οι βαρύτεροι κόκκοι είτε γιατί είναι μεγάλοι σε όγκο είτε γιατί έχουν μεγάλο ειδικό βάρος ή και για τα δύο, πέφτουν γρηγορότερα, δηλ. πέφτουν με μεγαλύτερη ταχύτητα μέσα στο νερό.

Θα μελετήσουμε κυτό το φαινόμενο και μάλιστα για κόκκους με ίση ή μεγαλύτερη διάμετρο από 1 mm. Πράγματι κάτω από ένα χιλιοστό περίπου έχουμε διαφορετικά φαινόμενα στην πτώση μέσα σε νερό που μελετώνται με τη θεωρία του STOCK (Taggart, σελ. 8 - 62).

Η πτώση κόκκων με διάμετρο πρακτικά ίση ή πάνω από 1 χιλιοστό μελετάται κατά τη θεωρία του Νεύτωνα.

Έστω ένας κόκκος σφαιρικός διαμέτρου D και με ειδικό βάρος δ . D εις cm και δ εις γραμμάρια κατά κυβικό εκατοστό. Έστω ότι το υγρό έχει ειδικό βάρος $\rho > 1$ γραμ. κατά cm^3 . Αν είναι νερό $\rho = 1$.

Ας πάρουμε αυτό τον κόκκο και ας τον ρίξουμε πάνω στη γη θεωρώντες ότι δεν υπάρχει αέρας.

Πρώτα ο Γαλιλαίος απέδειξε ότι τότε όλα τα σώματα πέφτουν με την ίδια ταχύτητα οποιοδήποτε και αν είναι το D ή το δ . (πείραμα στον κεκλιμένο πύργο της Πίζας).

Συγκεκριμένα αν αφήσουμε αυτό τον κόκκο M να πέσει από ένα σημείο O το διάστημα $X = OM$ (σε cm) που θα διανύσει σε ένα χρόνο t (σε s), δίνεται με τον τύπο $OM = X = 1/2gt^2$ όπου $g = 981 \text{ cm/s}^2$ ο συντελεστής επιταχύνσεως πάνω στη γη.

Η ταχύτητα V αρχίζει από το μηδέν και μετά χρόνο t είναι $V = gt$ (είναι η παράγωγος του X , $dx/dt = gt$). Η ταχύτητα είναι ανεξάρτητη του σώματος που πέφτει και αυξάνει συνεχώς ευθύγραμμο σε συνάρτηση με το χρόνο.

Ας πάρουμε τώρα τον κόκκο και ας τον ρίξουμε μέσα σε ένα υγρό με ειδικό βάρος ρ μεγαλύτερο του 1 ($\rho = 1$ για το νερό). Θα παρατηρήσουμε ότι αν δ είναι μεγαλύτερο του ρ ο κόκκος πέφτει με αυξανόμενη ταχύτητα V . Αλλά σε μερικά δέκατα του δευτερολέπτου αποκτά μια ταχύτητα V' σταθερή.

Πέφτει δηλαδή τελικά με σταθερή ταχύτητα. Κι αυτή η ταχύτητα V' είναι τόσο πιο μεγάλη όσο πιο μεγάλο είναι το βάρος του κόκκου.

Ας δούμε τι συμβαίνει ακριβώς αν ο κόκκος είναι σφαιρικός διαμέτρου d .

Ο κόκκος βρίσκεται στο πεδίο βαρύτητας της γης επιταχύνσεως g δηλαδή υπό την επιρροή μιας δυνάμεως F .

$$F = (\Omega \cdot \delta) \cdot g \quad \text{όπου } \Omega \text{ όγκος και } \delta \text{ το ειδικό βάρος του} \\ \text{όπως όμως } \Omega = \pi d^3/6 \quad F = (\pi d^3/6) \cdot g$$

Συγχρόνως όμως έχουμε και μια δύναμη, την ΑΝΩΣΗ (έστω A) του Αρχιμήδους, ίση με το βάρος του εκτοπιζόμενου νερού.

$$A = (\Omega \cdot \rho) \cdot g = (\pi d^3/6) \cdot \rho \cdot g$$

Η συνιστώσα δύναμη είναι:

$$F - A = (\pi d^3/6) (\delta - \rho)g \quad (\text{Σχήμα No 4})$$

Η συνιστώσα δύναμη προκαλεί την συνεχή πτώση.

Κατά την πτώση όμως εμφανίζεται μια άλλη δύναμη R που είναι η αντίσταση που παρουσιάζει το υγρό πάνω στον κόκκο που πέφτει μέσα του.

Ο Νεύτων υπολόγισε ότι η αντίσταση αυτή είναι ανάλογη με το τετράγωνο της ταχύτητας πτώσης V και ανάλογη της επιφάνειας του μεγίστου κύκλου του κόκκου όπως και του ειδικού βάρους του υγρού ρ .

$$R = (1/5) \cdot \rho \cdot (\pi D^2/4) \cdot V^2$$

$$R = (\pi/20) \cdot \rho \cdot D^2 \cdot V^2$$

R μεγαλώνει συνεχώς. Όταν όμως φτάσει στην τιμή του βάρους $F - A$ εξουδετερώνει αυτή τη δύναμη και έτσι ο κόκκος πέφτει συνεχώς με σταθερή ταχύτητα V' .

Η V' δίνεται λοιπόν από την ισότητα $R = F - A$

$$\begin{aligned} (\pi/20) \cdot \rho \cdot D^2 \cdot V'^2 &= (\pi D^3/6) \cdot (\delta - \rho) \cdot g \\ V'^2 &= (20/6) \cdot g \cdot D \cdot [(\delta - \rho)/g] = 3,33 \cdot g \cdot D [(\delta - \rho)/\rho] \\ V' &= \sqrt{3,33 \cdot g \cdot D [(\delta - \rho)/\rho]} \end{aligned}$$

V' όπως βλέπουμε εξαρτάται από τη διάμετρο D και το ειδικό βάρος δ του κόκκου. Για την περίπτωση του νερού ($\rho = 1$).

$$V' = \sqrt{3,33 \cdot g \cdot D (\delta - 1)}$$

Παράδειγμα: Δια ένα κόκκο χαλαζία (quartz) = $2,65/\text{cm}^3$ και $D = 0,1 \text{ cm} = (1\text{mm})$.

$$V' = \sqrt{3,33 \cdot 981 \cdot 0,1 \cdot (2,65 - 1)} = 23,2 \text{ cm/s}$$

Για ένα κόκκο γαληνίτου $\delta = 7,5\text{g}/\text{cm}^3$ και $D = 0,1 \text{ cm} = (1\text{mm})$

$$V' = \sqrt{3,33 \cdot 981 \cdot 0,1 \cdot (7,5 - 1)} = 46,07 \text{ cm/s}$$

Ο κόκκος του γαληνίτου ίδιας διαμέτρου με τον κόκκο του χαλαζία πέφτει δύο φορές γρηγορότερα.

Ας πάρουμε τώρα ένα μέταλλευμα που αποτελείται από κόκκους ενός μεταλλίτη (π.χ. γαληνίτη) ειδικού βάρους $\delta\mu$ και ενός στείρου ειδικού βάρους μικρότερου $\delta\sigma$. Ας ονομάσουμε $D\mu$ τη διάμετρο κόκ-

κων του πρώτου (που διαφέρουν βεβαίως μεταξύ τους) και $D\sigma$ τη διάμετρο των κόκκων του στείρου. Έστω $V'\mu$ και $V'\sigma$ οι ταχύτητες πτώσης στο νερό των κόκκων.

Ο λόγος:

$$V'\mu/V'\sigma = \sqrt{(D\mu/D\sigma) \cdot [(\delta\mu - 1)/(\delta\sigma - 1)]} = \sqrt{D\mu/D\sigma} \cdot \sqrt{(\delta\mu - 1)/(\delta\sigma - 1)}$$

$$\text{εάν } D\mu = D\sigma, (V'\mu/V'\sigma) \cdot \sqrt{(\delta\mu - 1)/(\delta\sigma - 1)}$$

Ο λόγος $(\delta\mu - 1)/(\delta\sigma - 1)$ ονομάζεται «κριτήριο εμπλουτισμού».

Πράγματι όσο μεγαλύτερο είναι αυτό το κριτήριο τόσο μεγαλύτερη η διαφορά της ταχύτητας πτώσης και ο διαχωρισμός αποτελεσματικός.

Συγκεκριμένα για ίδια διάμετρο κόκκων του μεταλλίτη και του στείρου ο λόγος των ταχυτήτων θα είναι ίσος με την τετραγωνική ρίζα του «κριτηρίου εμπλουτισμού».

Ονομάζουμε «ισοδύναμους κόκκους», τους κόκκους που πέφτουν με την ίδια ταχύτητα.

Σ' αυτή την περίπτωση έχουμε $D\sigma/D\mu = (\delta\mu - 1)/(\delta\sigma - 1) =$ κριτήριο εμπλουτισμού.

Ας πάρουμε ένα παράδειγμα: του γαληνίτη ($\delta\mu = 7,5$) και του χαλαζία ($\delta\sigma = 2,65$):

$$(D\sigma/D\mu) = (7,5 - 1)/(2,65 - 1) = 6,5/2,65 = 3,94$$

$$D\sigma = 3,94D\mu$$

Αν $D\mu = 1$ mm ο κόκκος του γαληνίτη, πέφτει συγχρόνως με ένα κόκκο του χαλαζία διαμέτρου $D\sigma = 3,94$ mm.

Η διαφορά όγκου είναι μεγάλη και ο διαχωρισμός εύκολος αν φροντίζουμε κάθε φορά το μέταλλευμα με κατάλληλα κόσκινα να διαχωρίζεται σε τμήματα μικρής διαφοράς σε διαμέτρους των κόκκων μεταξύ τους.

Το κριτήριο εμπλουτισμού είναι μεγάλης σημασίας. Στην τιμή του κριτηρίου εμπλουτισμού, στηρίζεται γενικώς ο βαρυτομετρικός εμπλουτισμός.

Κατά τον Taggart (σελ. 11 - 02) με βαρυτομετρικές μεθόδους με τα σύγχρονα σήμερα μέσα (ρείθρα, τσίνκ, τράπεζες, βαρέα υγρά κ.λπ.) μπορούμε να πούμε τα επόμενα:

— Αν $(\delta\mu - 1)/(\delta\sigma - 1) > 2,5$ ο διαχωρισμός είναι εύκολος και για λεπτότατους κόκκους.

— με $(\delta\mu - 1)/(\delta\sigma - 1) > 1,75$ ο διαχωρισμός δυνατός μέχρι και κόκκους 0,25 mm

— με $(\delta\mu - 1)/(\delta\sigma - 1) > 1,50$ ο διαχωρισμός δυνατός μέχρι και κόκκους 2,5 mm

— με $(\delta\mu - 1)/(\delta\sigma - 1) > 1,25$ ο διαχωρισμός, με βαρυτομετρική μέθοδο είναι σήμερα αδύνατος.

Οι μέθοδοι εμπλουτισμού στην εποχή μας είναι οι ακόλουθες:

— εμπλουτισμός ΒΑΡΥΜΕΤΡΙΚΟΣ που στηρίζεται στο ειδικό βάρος των κόκκων·

— εμπλουτισμός με ΕΠΙΠΛΕΥΣΗ που στηρίζεται στη διαφορά επιπλεύσεως του είδους των κόκκων μέσα στο νερό με φυσαλλίδες αέρος και ορισμένα χημικά αντιδραστήρια·

— εμπλουτισμός ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΣ επί τη βάση της μαγνητικής διαφοράς των κόκκων·

— εμπλουτισμός ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΟΣ επί τη βάση των φαινομένων στατικού ηλεκτρισμού.

Συμπληρωματικές μέθοδοι στηρίζονται στη διαφορά μορφής, χρώματος, λάμψεως ραδιενέργειας κ.λπ., με χρήση αυτοματισμών και κομπιούτερς.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Όπως προκύπτει από την παραπάνω ανάλυσή μας για τον εμπλουτισμό στην Αρχαιότητα και το Μεσαίωνα η μέθοδος του «Jigging» δεν θα πρέπει να εφαρμόσθηκε σε βιομηχανική κλίμακα στο Αρχαίο Λαύριο ούτε για προεμπλουτισμό. Θα πρέπει πιθανότατα να δοκιμάσθηκε μόνο σε ειδικές μεμονομένες περιπτώσεις όπως ίσως και άλλες πανάρχαιες μέθοδοι εμπλουτισμού όπως η μέθοδος εμπλουτισμού με πιάτα.

Σε γενικές γραμμές πιστεύουμε ότι η μέθοδος του «Jigging» δεν θα επέτρεπε στο Αρχαίο Λαύριο - λόγω μη ελεγχόμενων υψηλών απωλειών - ικανοποιητικό εμπλουτισμό διότι η κατανομή των κόκκων του μεταλλίτη (γαλλινίτη ή κερουσίτη μόνο και όχι η κατανομή όλων των κόκκων που θα συμπεριελάμβανε και το αδρανές υλικό η διάσταση των κόκκων του οποίου μπορεί σε ειδικές περιπτώσεις να υπερβεί τα 1 mm διάμετρο) εμφανίζεται στην περιοχή να είναι διαμέτρου μικρότερης ή ίσης του 1 mm.

Πιστεύουμε ότι οι περαιτέρω έρευνες στο Αρχαίο Λαύριο θα πρέπει να ολοκληρώσουν πιο λεπτομερέστερα και από στατιστική άποψη τη χρήση των ξύλινων ρείθρων. Πιο συγκεκριμένα η μη ύπαρξη σαφών αποτυπωμάτων των βάσεων στήριξης των ξύλινων ρείθρων στα επίπεδα πλυντήρια θα πρέπει να ωφείλεται στην επιμέλεια των Αρχαίων Ελλήνων να επιδιορθώνουν σχεδόν καθημερινά με αδιάβροχο κονίαμα το επικλινές δάπεδο μπροστά στα ακροφύσια των επιπέδων πλυντηρίων ώστε να μην υπάρχουν απώλειες νερού (αυτό θα μπορούσε να αποδειχθεί ερευνώντας τον αριθμό και το πάχος των επιστρωμάτων στη συγκεκριμένη θέση των πλυντηρίων) κατά τη διάρκεια της ροής.

Τέλος ο πολύ υψηλός ρυθμός παραγωγής που εξασφάλιζαν τα ξύλινα ρείθρα στο Αρχαίο Λαύριο, σε σύγκριση με τη μέθοδο του «Jigging» η οποιαδήποτε παρόμοια ή παραπλήσια μέθοδος, οδηγούσε σε ελαχιστοποίηση του κόστους εμπλουτισμού με ταυτόχρονη μεγιστοποίηση του κέρδους εκμετάλλευσης που ως γνωστόν γίνονταν από ιδιώτες.

ΚΩΝ/ΝΟΣ ΚΟΝΟΦΑΓΟΣ

*Summary***ORE ENRICHMENT THROUGH
THE "JIG METHOD" IN ANCIENT
TIMES AND THE MIDDLE AGE**

The present work investigated cases in the ancient Classical or Roman Period where the "Jig Method" was applied.

Through the above analysis we come to the conclusion that the ancient Carthidonians produced Silver through Jig Ore enrichment.

In contrary due to different Ore grain sizes this method was not used by the Romans in Spain or the ancient Greeks in Lavrion for Silver production.

In the Middle Age the "Jig Method" was applied around 1500 a.c. AGRICOLA in his book "DE RE METALLICA" mentioned that Ore enrichment by washing it through wooden sluices - method used by the ancient Greeks in Lavrion - was a much more efficient method than the Jig's one.

A Mathematical analysis of Ore particles gravity separation during jigging into water is also analysed.

Pr. C. CONOPHAGOS