

II. Η εξέλιξη της μεταλλουργίας του Χαλκού στην Κύπρο από την αρχαία Πυρομεταλλουργία μέχρι τη σύγχρονη Υδρομεταλλουργία



*Εορτασμός 70 ετών από την ίδρυση της
Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων
Μεταλλουργών ΕΜΠ
Παρασκευή, 24 Νοεμβρίου 2017*





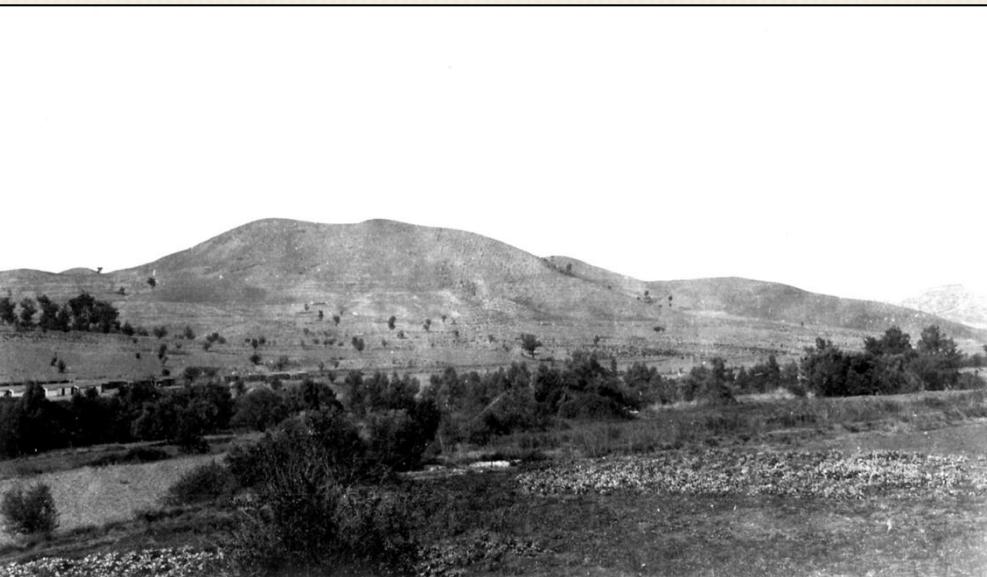
Κύπρος Χαλκός και Χρυσός

Μια ιστορική Απόδοση

«Ὅμοίως καὶ περὶ μετάλλων γῆς, γέγραπται ἐν τῷ περὶ λίθων διαφορᾷς Ἀριστοτέλους. Ὅτι χρυσίου μετάλλων ὄρος, ἡ Βούκασα, ἣ καὶ διακειμένη εἰς πόδοσιν τοῦ Τρογόδου. Καὶ ἐπιβλέπει ἐπὶ τὰ βορειότερα μέρη τῆς νήσου. Κατὰ θάλατταν δὲ, γίνεται δυτικώτερον αὐτῆς. Ἐχει δὲ διαφορᾷς μετάλλων καθὼς διηγῆσατο. Φημὶ, χρυσίου καὶ ἀργυρίου στυπτηρίας. Καὶ σῶρυ τὸ προζύμιον τοῦ χρυσαρίου. Καὶ μίσσυ καὶ ὁ χαλκίτης. Καὶ ἄλλα διάφορα μέταλλα. ἐν ἑτέροις δὲ ὄρεσι φασὶ τῆς κύπρου, γίνεται ὁ σίδηρος, ὁ ὕελος καὶ πᾶσα ὕλη τιμία»



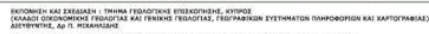
Θεός του ταλάντου
(Εγκωμη, 13ος αι. π.Χ.)



Η Φουκάσα ή Βούκασα (1930)



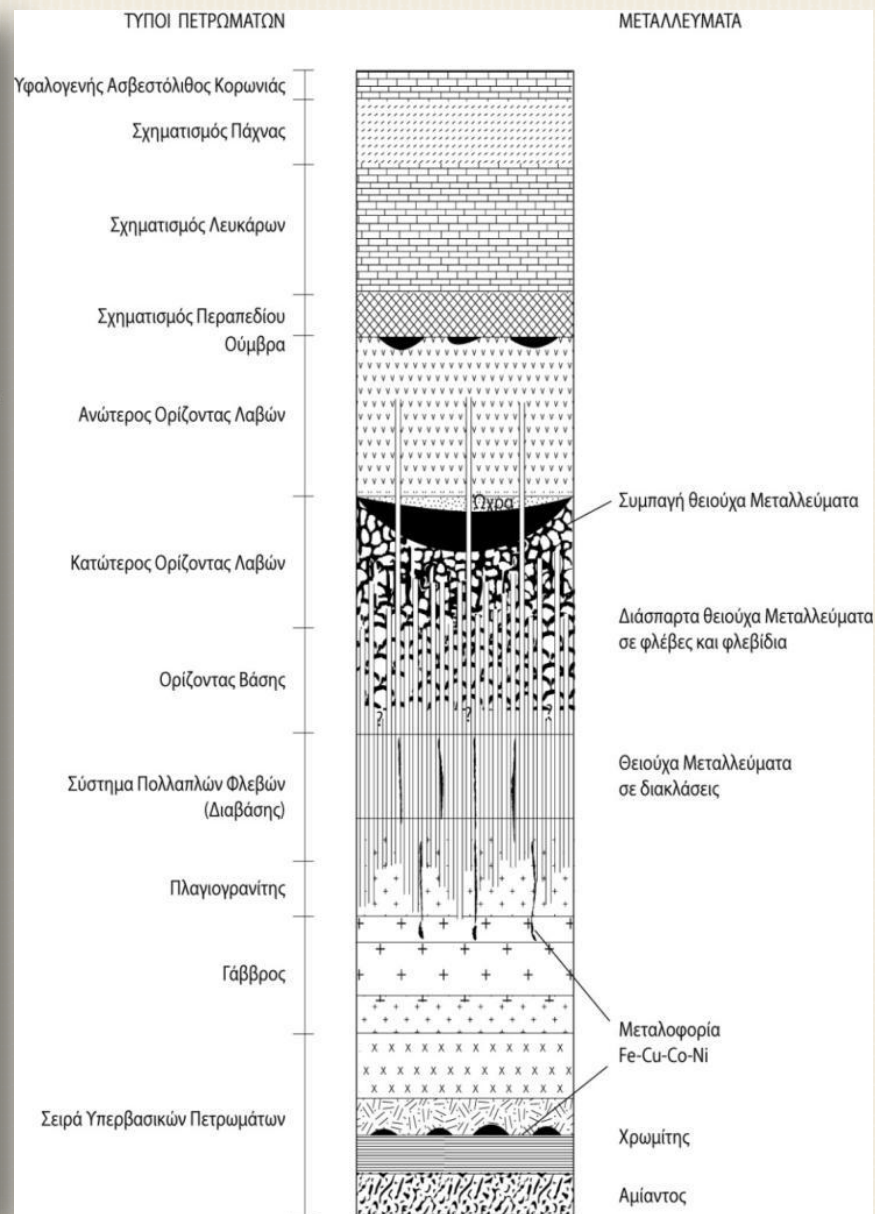
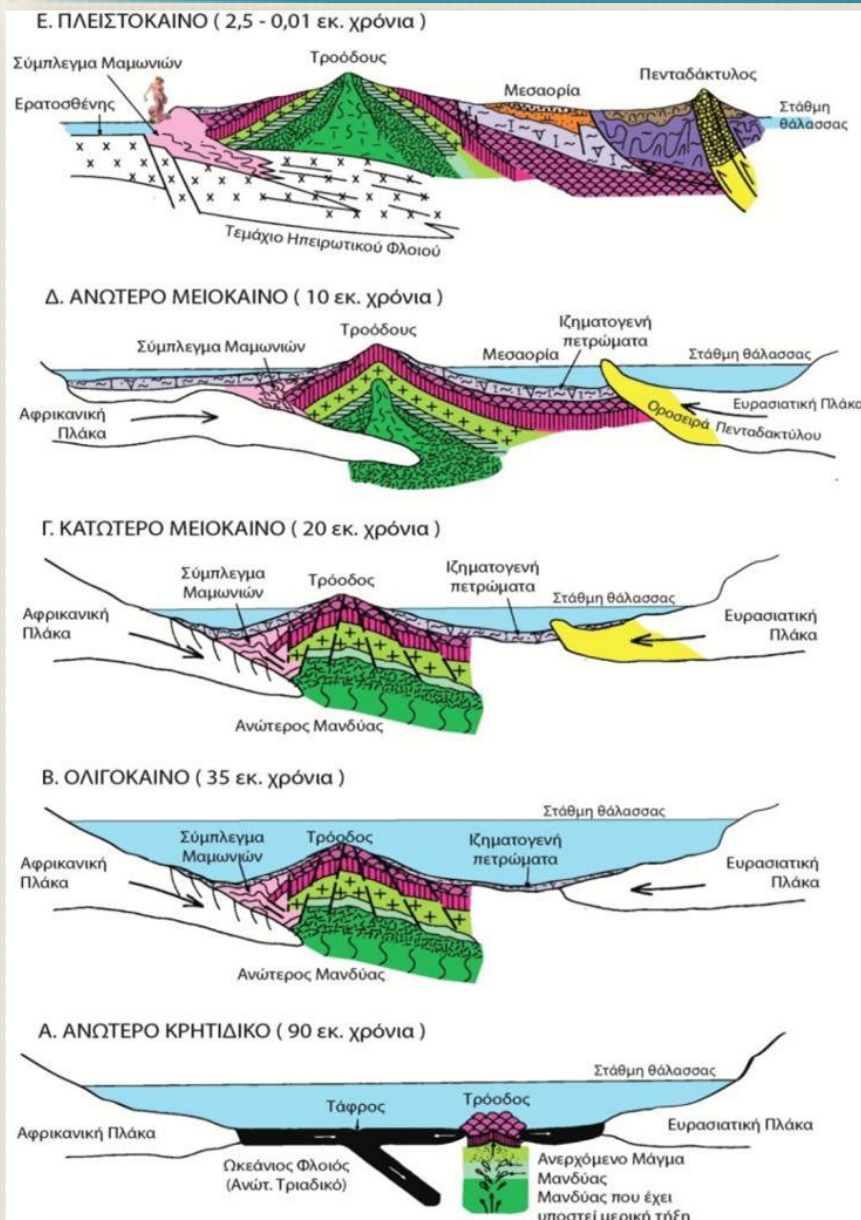
Η Φουκάσα σήμερα





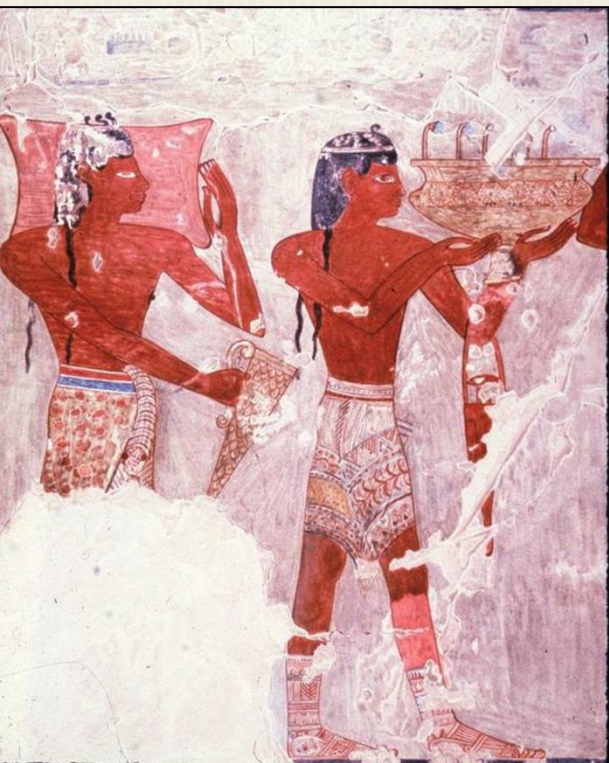
Οφιολιθικό Σύμπλεγμα του Τροόδους

Ανώτερο Κρητιδικό – 90 εκατ. χρόνια





Ιστορικοί σταθμοί στην παραγωγή Χαλκού στην Κύπρο



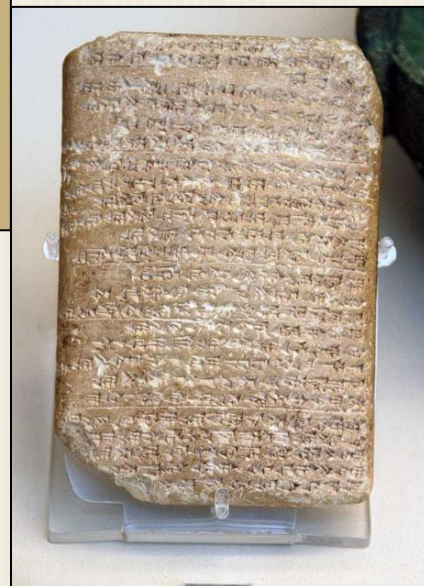
Άντρες που φέρνουν
τάλαντα στο Φαραώ

Τοιχογραφία από τον
τάφο του Rekhmire

Επιστολή της Τελ Αμάρνα μεταξύ του
Βασιλέα της Αλάσιας (Κύπρου) και του
Φαραώ της Αιγύπτου

Ο βασιλέας της Αλασίας χαιρετά τον Βασιλέα της Αιγύπτου προσφωνώντας τον «αδελφό» και υπόσχεται να του στείλει χαλκό σε αντάλλαγμα για ένα κρεβάτι από έβενο που έχει επικαλυφθεί με χρυσό, ένα χρυσό άρμα, άλογα, λινό και γλυκό λάδι.

Συνολικά οι επιστολές αναφέρουν ότι έστειλε **897 τάλαντα** χαλκού στην Αίγυπτο σε μια περίοδο 15-30 χρόνων, που αντιστοιχούν σε **26 τόνους** μετάλλου.

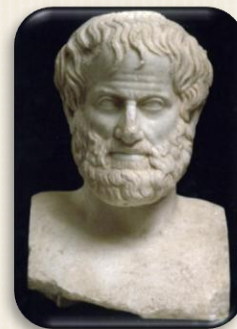
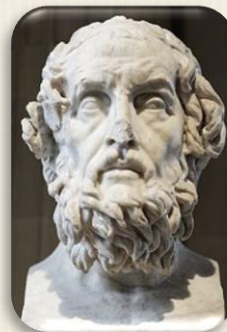


Επιστολή της Τελ Αμάρνα
(1375 π.χ) –
Βρετανικό Μουσείο



Ιστορικές αναφορές της Παραγωγής Χαλκού

- ✓ Όμηρος
- ✓ Αριστοτέλης
- ✓ Διοσκουρίδης
- ✓ Πλίνιος
- ✓ Γαληνός



Aes Cuprum – Το μέταλλο της Κύπρου



Τμήμα από τετράπλευρο μπρούντζινο υποστάτη που αναπαριστά έναν Κύπριο που φέρει ένα τάλαντο (12^{ος} αιώνας π.χ.) – Βασιλικό μουσείο Οντάριο

Το τάλαντο σε σχήμα δοράς βοδιού με χάραξη Συμβόλων Κυπρομινωικής γραφής



Τεχνολογίες κατεργασίας Χαλκούχων μεταλλευμάτων

- **4000 π.Χ.:** Αντικείμενα από αυτοφυή Χαλκό
- **2500 π.Χ.:** Έναρξη τήξης οξειδίων
- **2000 π.Χ.:** Παραγωγή μπρούντζου (Cu-Sn)
- **2000 π.Χ. – 700 μ.Χ.:** Συνεχής εξέλιξη της Μεταλλουργικής Τεχνολογίας. Επεξεργασία για παραγωγή αντικειμένων στις παραλιακές πόλεις – Εξαγωγές – Εμπόριο
- **166 μ.Χ.:** Περιγραφή υδρομεταλλουργικής παραγωγής



Σημαντικοί Ιστορικοί Σταθμοί I

2^η Χιλιετία – Σχέση Κυπριακού χαλκού με Ελληνικά Βασίλεια

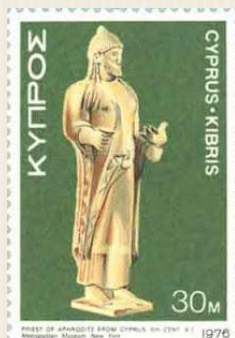
Κινύρας – Αγαμέμνωνας (λ - Ηλιάδος)

Ἀτρείδης δ' ἐβόησεν ἰδὲ ζώννυσθαι ἄνωγεν
Ἀργείους· ἐν δ' αὐτὸς ἐδύσετο νώροπα χαλκόν.
κνημίδας μὲν πρῶτα περὶ κνήμησιν ἔθηκε
καλὰς ἀργυρέοισιν ἐπισφυρίοις ἀραρυίας·
δεύτερον αὖ θώρηκα περὶ στήθεσιν ἔδυε,

τόν ποτέ οἱ Κινύρης δῶκε ξεινήϊον εἶναι.
πεύθετο γὰρ Κύπρον δὲ μέγα κλέος οὔνεκ' Ἀχαιοὶ
ἐς Τροίην νήεσσιν ἀναπλεύσεσθαι ἔμελλον·
τοὔνεκά οἱ τὸν δῶκε χαριζόμενος βασιλῆϊ.
τοῦ δ' ἦτοι δέκα οἶμοι ἔσαν μέλανος κυάνοιο,

Κι εβόησε των Αχαιῶν ν' αρματωθούν ο Ατρείδης.
Και με χαλκόν αστραφτερόν ο ίδιος οπλιζόταν.
Τα σκέλη πρώτα με λαμπρές κνημίδες έζωσ' όλα
όπου εθηλυκώνονταν με ολάργυρες περόνες.

Το στήθος σκέπασ' έπειτα με θώρακα οπού δώρον
φιλοξενίας άλλοτε του έδωκε ο Κινύρας,
ότι το μέγα άκουσμα στην Κύπρον είχε φθάσει
που αρμένιζαν οι Αχαιοί ν' ανέβουν εις την Τροίαν.
Όθεν εφιλοδώρησεν αυτός τον βασιλέα
και δώδεκα είχε ο θώρακας κλωστές από χρυσάφι,
δέκ' από μαύρον χάλυβα κι είκοσι κασσιτέρου.



Μετάφραση: Ιάκωβου Πολυλά

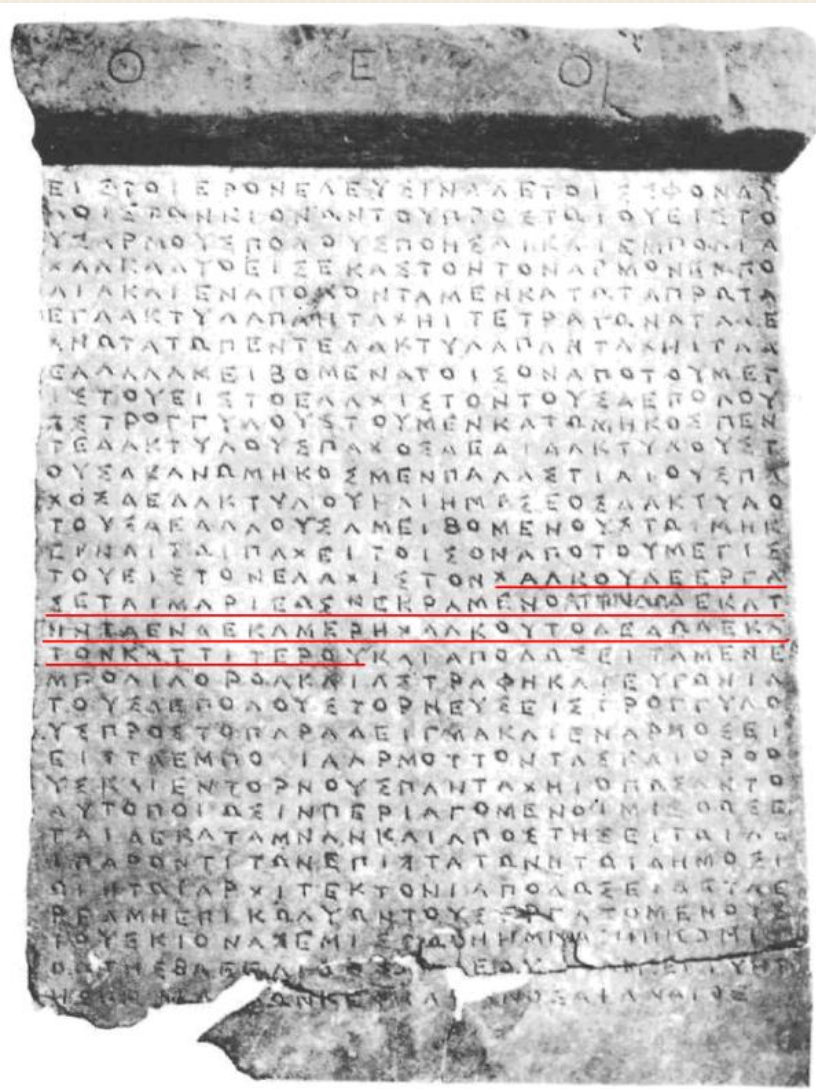


Σημαντικοί Ιστορικοί Σταθμοί II

Πτολεμαίοι – Αντιστράτηγος ηγέτης μεταλλείων –
Κλεοπάτρα

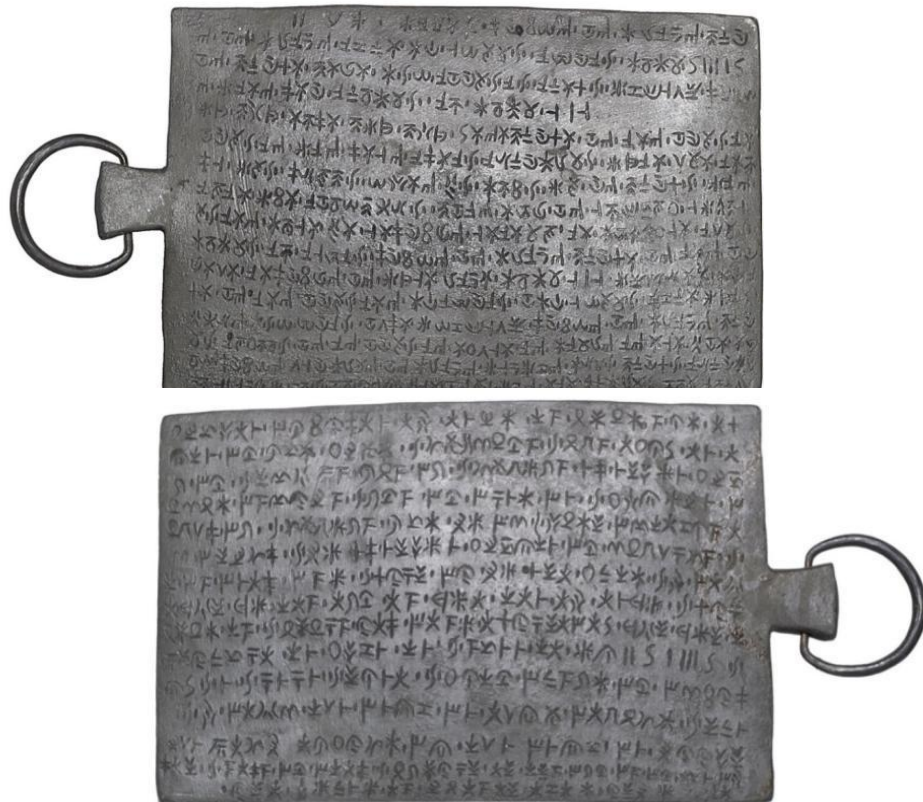
Μαρμάρινη πλάκα που εκτίθεται στο
Μουσείο της Ελευσίνας και στην οποία
αναγράφεται το πρότυπο για την κατασκευή
των μεταλλικών εμπολίων και πόλων της
Φιλώνειας Στοάς και οι συνέπειες μη
συμμόρφωσης (4^{ος} αιώνας π.Χ)

Το πρότυπο προνοεί την κατασκευή τους στο
Μάριο της Κύπρου, γνωστό για αιώνες
μεταλλευτικό και μεταλλουργικό κέντρο, με
μπρούντζο κατασκευασμένο με έντεκα μέρη
χαλκού και ένα κασσίτερου «...χαλκού δε
εργάζεται Μαριέως, κεκραμένου την δωδεκάτην
τα έντεκα μέρη χαλκού το δε δωδέκατον
καπτιτέρου...» (Βαρουφάκης, 1997).





Σημαντικοί Ιστορικοί Σταθμοί III



Ακριβές Αντίγραφο της Χάλκινης Πλάκας του Ιδαλίου σε κυπρο-συλλαβική γραφή

Πιστή αναπαραγωγή της πλάκας του Ιδαλίου από χαλκό της HCM με συμβολή των μεταλλουργών της Σκουριώτισσας

Η ορειχάλκινη πινακίδα του Ιδαλίου χαραγμένη και στις δύο πλευρές της με κυπροσυλλαβική Ελληνική γραφή – 5^{ος} αιώνας π.χ. – Αναφέρεται στη συμφωνία μεταξύ του ιατρού Ονάσιλου και του Βασιλιά του Ιδαλίου Στασίκυπρου και των κατοίκων της πόλης



Στάδια Μεταλλουργικής Κατεργασίας

- ✓ Φρύξη
- ✓ Τήξη προς Matte
- ✓ Καθαρισμός και παραγωγή Τελικού Προϊόντος



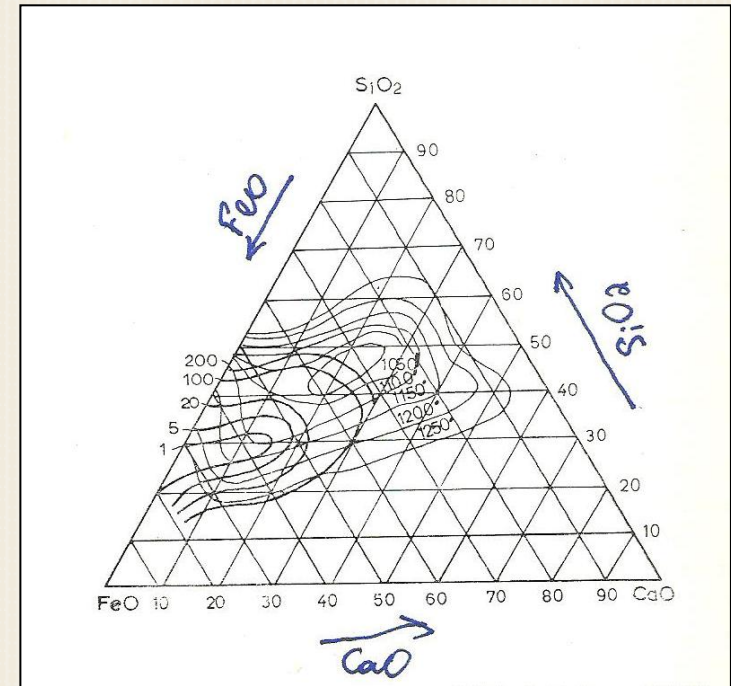


Μεταλλουργικά προβλήματα που αντιμετωπίστηκαν

- Σύσταση της σκουριάς
- Δημιουργία ευτηκτικού μείγματος
- Μείωση του ιξώδους της σκουριάς
- Μείωση ειδικού βάρους σκουριάς
- Μεταλλουργικός Καθαρισμός



Δείγμα σκουριάς από την περιοχή
Σκουριώτισσας



Ισόκομοι του συστήματος $\text{CaO-SiO}_2\text{-FeO}$
στους 1300°C και ισοθερμοκρασιακές
καμπύλες του σημείου τήξεως



Γαληνός και Υδρομεταλλουργία

“Αρχαία Υδρομεταλλουργία στη Σκουριώτισσα”

Περιγραφή από τον αρχαίο συγγραφέα Γαληνό

Ένα μεγάλο κτίριο, χαμηλοτάβανο, σκεπάζει την είσοδο του μεταλλείου. Μέσα απ' αυτό, σκάφτηκε μια γαλαρία, σαν σπηλιά, που έχει πλάτος αρκετό για να χωρά τρεις άντρες να περπατούν κι' ύψος τέτοιο που ο ψηλότερός τους να βαδίζει όρθιος χωρίς να αναγκάζεται να σκύβει. Η γαλαρία έχει ελαφριά κλίση προς τα μέσα. Στο βάθος, σε απόσταση 600 ποδιών από την είσοδο, υπάρχει μια λίμνη χλιαρού, παχύρευστου, πράσινου, ελαιώδους υγρού. Κατά μήκος της διαδρομής προς τη λίμνη, η θερμοκρασία είναι ίσα με εκείνη που έχει το πρώτο δωμάτιο στα δημόσια λουτρά, που συνήθως το λένε «προμαλακτήριο».

Το νερό που στάζει από τα πετρώματα του πορώδους λόφου, μαζεύεται σταγόνα-σταγόνα, μέρα-νύκτα, μέσα στους αμφορείς. Έτσι το κουβαλούν οι εργάτες και το αδειάζουν σε τετράγωνες χωματένιες σκάφες, που κατασκευάστηκαν στην είσοδο του κτιρίου. Μετά από μερικές μέρες, το υγρό συμπυκνώνεται ακόμη περισσότερο και μετατρέπεται σε χαλκανθίτη, που μοιάζει λουλούδι από χαλκό.

Στο βάθος του μεταλλείου, η οσμή είναι δηκτική και δύσκολα την ανέχεται κανένας. Και το υγρό έχει παρόμοια γεύση. Οι εργάτες, μισόγυμνοι, κουβαλούν τα δοχεία του υγρού με σπουδή, για να μην μείνουν για πολύ μέσα στο μεταλλείο. Που και που υπάρχουν φώτα, μα πολύ συχνά είναι σβησμένα. Η γαλαρία σκάφτηκε από τους εργάτες, εδώ και πάρα πολλά χρόνια λίγο-λίγο κάθε φορά. Όταν το νερό που στάζει λιγοστεύει, οι εργάτες σκάβουν βαθύτερα μέσα στο λόφο.





Μεσαίωνας – 19^{ος} αιώνας

Παραγωγή Υποπροϊόντων

- ✓ Φάρμακα
- ✓ Χρώματα - κίτρινη και κόκκινη ώχρα, ούμπρα, μπεντονίτης
- ✓ Μελάνια
- ✓ Πιθανή ανάτηξη αρχαίων σκουριών σε τοπική κλίμακα, για πρόσθετη ανάκτηση χαλκού



Κίτρινη και κόκκινη ώχρα



Χαλκανθίτης



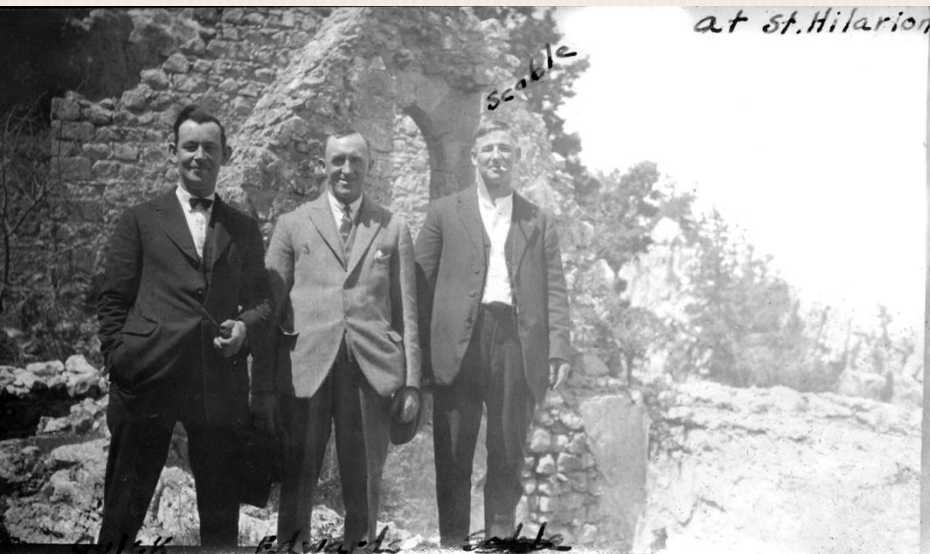
Αζουρίτης



Ούμπρα



Η έλευση της CMC (1913) και της ΑΕΕΧΠΛ (1925)



Διευθυντικά στελέχη της CMC



Εργαζόμενες γυναίκες της Κύπρου



Αμερικανάκια - 1922



Αγόρια της Κύπρου - 1922



Η έλευση της CMC (1913) και της ΑΕΕΧΠΛ (1925)



Η ζωή στο μεταλλείο



Μεταφορά μεταλλεύματος με βαγόνια -1922



Η ζωή στο μεταλλείο



Ημέρα πληρωμής στο μεταλλείο



Μεταλλευτικές δραστηριότητες την περίοδο 1913-1982

Περίοδος μεγάλων εγκαταστάσεων και υψηλής παραγωγής

- Κοιτάσματα
- Εγκαταστάσεις
- Προϊόντα
- Εκβιομηχανοποίηση της Κύπρου
- Επίλυση κοινωνικών θεμάτων



Μεταλλείο Μαυροβουνίου 1972



Μεταλλευτική περιοχή Μίτσερού



Μεταλλευτικές δραστηριότητες την περίοδο 1913-1982



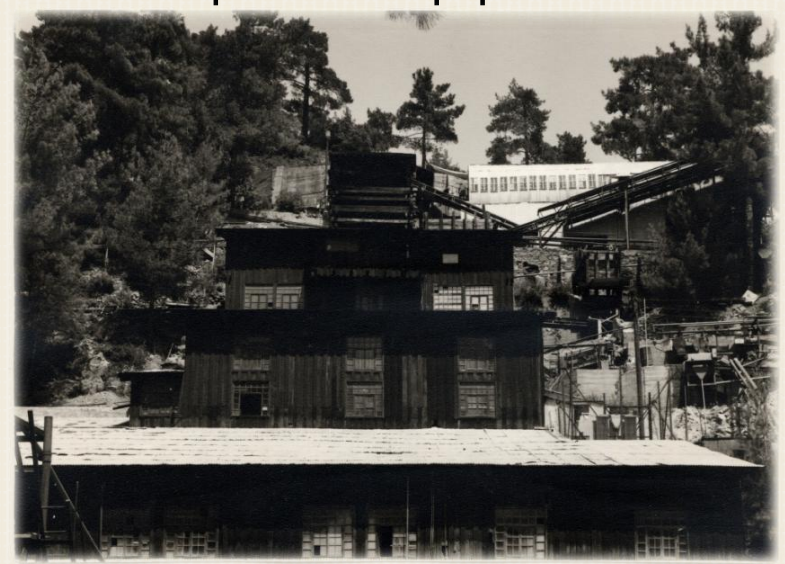
Εργοστάσιο της CMC στο Ξερό



Γαλαρία στο Μαυροβούνι



Αμίαντος 1920



Χρωμίτης 1924



Περίοδος 1982 – 1995

Απογοήτευση, εγκατάλειψη, περιβαλλοντικές αμαρτίες, απαξίωση

Η κατάσταση το 1982:

- Πτώση τιμών, μετά την περίοδο της μεγάλης ευφορίας και τις πρώτες πετρελαικές κρίσεις.
 - Εξάντληση των πλουσίων κοιτασμάτων
 - Επιπτώσεις από την τουρκική εισβολή και κατοχή.
 - Καταθλιπτικός απολογισμός από τις επιπτώσεις των περιβαλλοντικών προβλημάτων και εμφάνιση έντονων περιβαλλοντικών ευαισθησιών.
- 
- Εγκαταστάσεις παραγωγής cement copper στη Σκουριώτισσα (1980)
- Αλλαγή του χαρακτήρα της μεταλλευτικής βιομηχανίας, από εντάσεως εργασίας σε εντάσεως κεφαλαίου. Απώλεια του επιχειρήματος της σημαντικής προσφοράς εργασίας.
 - Στροφή της οικονομίας και των επενδύσεων σε άλλους τομείς.
 - Εγκατάλειψη ή/και κατεδάφιση όλων των εργοστασίων παραγωγής συμπυκνωμάτων χαλκού.
 - Μείωση του ενδιαφέροντος για σπουδές στον κλάδο ή άσκηση του επαγγέλματος του μεταλλωρύχου.



Στατιστικά παραγωγής Χαλκού στην Κύπρο

Χρονική Περίοδος	Χαλκός (τόνοι Cu)
1931-1940	111.840
1941-1950	87.080
1951-1960	297.990
1961-1970	213.160
1971-1980	89.330
1981-1990	6.130
1991-2000	21.460
2001-2010	14.710
2011-2016	18.600

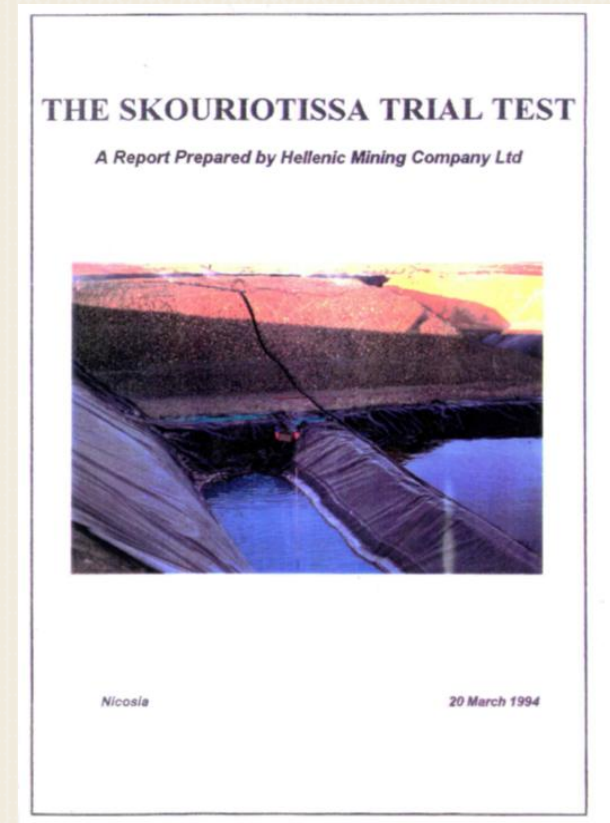
Κοίτασμα	Περιεχόμενο μέταλλο (τόνοι Cu)	Cu %
Μαυροβούνι	742.894	4,5
Φουκάσα	169.615	2,5
Λίμνη	90.392	1,11
Λεύκα Α	23.020	2,0
Κοκκινόγια	10.890	3,3
Καλαβασός	33.425	1,75
Μούσουλος	29.050	1,75



Η πρόταση για δημιουργία σύγχρονης υδρομεταλλουργίας

Η πρόταση για δημιουργία σύγχρονης υδρομεταλλουργικής μονάδας έγινε γιατί:

- Έπρεπε να δοθεί **βιώσιμη λύση**, με τις τρέχουσες τιμές χαλκού, για επεξεργασία μεταλλευμάτων από κοιτάσματα χαμηλής περιεκτικότητας.
- Έπρεπε το προϊόν να έχει υψηλή προστιθέμενη αξία (δηλαδή να είναι τελικό προϊόν - μέταλλο).
- Έπρεπε να αντιμετωπίζει πειστικά τα περιβαλλοντικά προβλήματα με σύγχρονες αντιλήψεις.
- Έπρεπε να διαλαμβάνει σύγχρονη, εφαρμόσιμη τεχνολογία.





Τα αντικείμενα της υδρομεταλλουργικής έρευνας

- Επιδεκτικότητα των μεταλλευμάτων της Κύπρου προς εκχύλιση
- Αντιμετώπιση του προβλήματος της διαπερατότητας στην εκχύλιση σωρών
- Βακτηριακή εκχύλιση θειούχων μεταλλευμάτων
- Αριστοποίηση μεθόδων εκχύλισης
- Δυνατότητα επεξεργασίας ακατέργαστων σωρών μεταλλευμάτων πολύ χαμηλής περιεκτικότητας
- Πηγές νερού σε νησί με ημίξηρο κλίμα
- Δυνατότητα «διαλογικής» εξόρυξης, μεταξύ μεταλλευμάτων χαμηλής και πολύ χαμηλής περιεκτικότητας
- Εξεύρεση χώρων απόθεσης μεγάλων σωρών εκχύλισης σε ημικατεχόμενο – τουριστικό νησί



Τα αντικείμενα της υδρομεταλλουργικής έρευνας

- Εκμάθηση και εξειδίκευση στην τεχνολογία Solvent – Extraction για επεξεργασία των κυοφορούντων διαλυμάτων
- Εκμάθηση και εξειδίκευση των σύγχρονων εξελίξεων στην τεχνολογία ηλεκτράνκτησης (Electrowinning)
- Εξειδίκευση στην πώληση μετάλλων (και όχι συμπυκνωμάτων)
- Εφαρμογή μεθόδων μείωσης του ρίσκου από τις ανεπιθύμητες διακυμάνσεις τιμών
- Εξασφάλιση χρηματοδότησης έργου εφαρμογής νέας τεχνολογίας σε ανεπιθύμητο κλάδο, σε μη βιομηχανική χώρα με πολύ συντηρητικό τραπεζικό σύστημα



Τα στάδια της μεταλλουργικής έρευνας μέχρι την προετοιμασία της τεχνοοικονομικής μελέτης



Εργαστηριακή κλίμακα



Πιλοτική κλίμακα



Πιλοτική κλίμακα



Ημιοβηχανική κλίμακα

Μεταλλουργική έρευνα βιοεκχύλισης



Τα στάδια της μεταλλουργικής έρευνας μέχρι την προετοιμασία της τεχνικοοικονομικής μελέτης



Συσσωματωμένο χρυσοφόρο μετάλλευμα



Στήλες εκχύλισης



Στήλες καρβούνου



Κυπέλλωση

Πιλοτική κλίμακα ερευνών έργου
αξιοποίησης χρυσοφόρων
μεταλλευμάτων



Από το μετάλλευμα στο
τελικό προϊόν



HELLENIC COPPER MINES LTD

Ευχαριστώ για την προσοχή σας