

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ:
“ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ”

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
«ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ
ΕΓΚΑΤΑΛΕΛΕΙΜΜΕΝΟΥ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟΥ
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΧΡΥΣΟΥ ΚΑΙ ΑΡΓΥΡΟΥ ΣΤΟ ΧΩΡΙΟ
ΜΙΤΣΕΡΟ»

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ:

Δρ. Κ.Κωσταρέλος

Ακαδημαϊκός

Πολιτικός Μηχανικός, Μηχανικός Περιβάλλοντος Πανεπιστημίου Κύπρου

Δρ.Γ.Γεωργιάνου

Ακαδημαϊκός

Πολιτικός Μηχανικός, Μηχανικός Περιβάλλοντος Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου

Φοιτήτρια :

Λορτζιέ Κωνσταντίνα

Μηχανικός Μεταλλείων Μεταλλουργών



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ :
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ

**«ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ
ΕΓΚΑΤΑΛΕΛΕΙΜΜΕΝΟΥ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟΥ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ
ΧΡΥΣΟΥ ΚΑΙ ΑΡΓΥΡΟΥ ΣΤΟ ΧΩΡΙΟ ΜΙΤΣΕΡΟ»**

Λορτζιέ Κωνσταντίνα

Επιβλέπων: Κωσταρέλος Κωνσταντίνος

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις 25 /10/2012

Κωσταρέλος Κ., Επίκουρος Καθηγητής, (Υπογραφή)

Γεωργιάννου Β. , Αναπληρώτρια Καθηγήτρια,..... (Υπογραφή)

Δερματάς Δ., Επίκουρος Καθηγητής , (Υπογραφή)

ΑΘΗΝΑ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2012

Copyright © Λορτζιέ Κωνσταντίνα, έτος 2012
Με επιφύλαξη κάθε δικαιώματος. All rights reserved.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία δεν θα πραγματοποιούνταν χωρίς την συμβολή και την βοήθεια ορισμένων προσώπων. Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω την κα. Γεωργιάννου, Καθηγήτρια στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο που μεσολάβησε στο να εκπονήσω την διπλωματική μου στο Πανεπιστήμιο Κύπρου, τον Καθηγητή του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών και Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Κύπρου και υπεύθυνο καθηγητή μου, Δρ. Κωνσταντίνο Κωσταρέλο, για την σημαντική βοήθειά που μου παρείχε καθ'όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της μεταπτυχιακής διατριβής μου, καθώς και για την σωστή καθοδήγησή του προκειμένου να ολοκληρωθεί επιτυχώς η παρούσα μελέτη. Παράλληλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλο το εξειδικευμένο ακαδημαϊκό προσωπικό του τμήματος που με βοήθησε στην επίλυση ερωτημάτων που εμφανίστηκαν κατά την διάρκεια της διατριβής και ιδιαίτερα τον Δρ.Μαρίνο Στυλιανού, επιστημονικό συνεργάτη του τμήματος. Ακόμη πολύτιμη ήταν η βοήθεια του Τμήματος Γεωλογικής Επισκόπησης και ιδιαίτερα του κ. Χατζηγαλαλάμπους Κλεόπα, γεωλόγο, για την καθοδήγηση του στα θέματα γεωλογίας, καθώς και του Μεταλλείου της Σκουριώτισσας σε όλη την διάρκεια αυτής της μελέτης. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την στήριξη και τους φίλους μου στην Λευκωσία.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και προγράμματος Εράσμου στο Πανεπιστήμιο Κύπρου, στο τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος με θέμα: «Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Εγκαταλελειμμένου Εργοστασίου Επεξεργασίας Χρυσού και Αργυρού στο χωριό Μιτσερό». Στόχοι της εργασίας ήταν η διερεύνηση πιθανής περιβαλλοντικής ρύπανσης, η σημερινή κατάσταση του περιβάλλοντος στην περιοχή του εγκαταλελειμμένου εργοστασίου, η εκτίμηση επιπτώσεων στο περιβάλλον από την υφιστάμενη κατάσταση του, προτεινόμενα μέτρα μείωσης των πιθανόν επιπτώσεων στο περιβάλλον.

Στο πρώτο κεφάλαιο, γίνεται η ανάλυση της γεωλογίας του νησιού σε συνδυασμό με τον ορυκτό πλούτο, την μεταλλευτική ιστορία και την σημερινή κατάσταση μεταλλευτικής δραστηριότητας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, παρουσιάζεται η τοποθεσία και η γεωλογία της περιοχής μελέτης, το ιστορικό των μεταλλουργικών διεργασιών που συνέβαιναν στο εργοστάσιο επεξεργασίας των χρυσοφόρων μεταλλευμάτων. Ακόμη γίνεται μια αναφορά στην σημερινή κατάσταση του εργοστασίου και τις πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Το τρίτο κεφάλαιο αφορά το πειραματικό μέρος της εργασίας, όπου αναλύεται η μεθοδολογία δειγματοληψίας, η προετοιμασία των δειγμάτων και τέλος οι μέθοδοι χαρακτηρισμού των δειγμάτων. Αναλυτικότερα τα δείγματα αναλύθηκαν ως προς την οξύτητά τους, τη χημική τους σύσταση (XRF ανάλυση) καθώς και της εκχυλισιμότητα τους (SPLP ανάλυση). Τέλος τα δείγματα αναλύθηκαν ως προς τη περιεχόμενη σύσταση τους σε κυάνιο.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα των μεθόδων και γίνεται η σύγκρισή τους σύμφωνα με πρότυπα περιβαλλοντικά όρια, και οδηγίες από την Ευρωπαϊκή Ένωση.

Τέλος παρατίθενται τα γενικά συμπεράσματα της εργασίας αυτής και κάποιες προτεινόμενες λύσεις για αντιμετώπιση της περιβαλλοντικής ρύπανσης στην περιοχή.

ABSTRACT

Historically Cyprus was known around the world for its mine production. For that reason numerous mines were developed in the areas where sulfide deposits were located, with big profits for the mining companies and the people of Cyprus. Unfortunately, due to lack of legislation and perhaps knowledge no rehabilitation measurements were taken causing significant environmental pollution in the areas surrounding the mines.

The aims of the current study was to gather information and describe the extend of the environmental pollution at the abandoned gold-silver enrichment plant in the village of Mitsero, as well as to suggest ways of rehabilitation.

More analytically, the first chapter is an analysis of the geology of the island combined with the mineral wealth, mining history and current status of mining activity.

The second chapter, describes the location and geology of the study area, the history of metalworking processes happening in the factory processing of gold-bearing ores. Also, presents a reference to the current state of the plant and the potential environmental impacts.

The third chapter deals with the experimental part of the study, which analyzes the methodology of sampling, sample preparation and finally the methods of characterization of the samples. Specifically, the samples were analyzed for acidity, their chemical composition (XRF analysis) and of the extractability (SPLP analysis). Finally the samples were analyzed for content recommendation in Cyanide.

The fourth chapter details the methods and results of the comparison is made in accordance with standard environmental limits, and guidelines from the European Union.

Finally, are given the general conclusions of this work and some proposed solutions to deal with the environmental pollution in the area.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ABSTRACT	4
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	5
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	7
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1Ο : ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....	10
1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	10
1.2. Η ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΚΥΠΡΟΥ.....	10
1.3. Ο ΟΡΥΚΤΟΣ ΠΛΟΥΤΟΣ ΤΗΣ ΚΥΠΡΟΥ	14
1.4. Η ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΚΥΠΡΟΥ	16
1.5. Η ΣΗΜΕΡΙΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ.....	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^Ο : ΤΟ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΧΡΥΣΟΦΟΡΩΝ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ.....	21
2.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟΥ	21
2.2 Η ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	23
2.3 Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΧΡΥΣΟΦΟΡΟΥ ΜΕΤΑΛΛΕΥΜΑΤΟΣ	26
2.3.1 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	26
2.3.2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΜΕΘΟΔΩΝ.....	29
2.3.2 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΤΟ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟ	31
2.4 Η ΠΑΡΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΠΙΘΑΝΕΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ...	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3Ο: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	37
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	37
3.2 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ	37
3.2.1 <i>Εδαφική δειγματοληψία</i>	37
3.2.2 <i>Λήψη υγρών δειγμάτων</i>	43
3.2 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΣΤΕΡΕΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	43
3.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	44
3.3.1 <i>Μέτρηση pH πολφού (Μέθοδος 9045C, U.S. EPA SW-846)</i>	44
3.3.2 <i>Μέθοδος ανάλυσης XRF</i>	45
3.3.3 <i>Μέθοδος SPLP (synthetic precipitation leaching procedure)</i>	46
3.3.4 <i>Μέθοδος μέτρησης κυανίου (EPA – SW-846Q Method 9013A)</i>	47
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^Ο : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ.....	50
4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	50
4.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	50
4.2.1 <i>pH Στερεών Δειγμάτων</i>	50
4.2.2 <i>Αποτελέσματα XRF</i>	52
4.2.3 <i>Μέθοδος SPLP (Synthetic Precipitation Leaching Procedure)</i>	55
4.2.4 <i>Αποτελέσματα μετρήσεων κυανίου</i>	58
4.3. ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΝΕΡΟΥ	60
4.3.1 <i>Μέτρηση pH από επί τόπου δειγματοληψία</i>	60

4.3.2 Μέτρηση ανίχνευσης μετάλλων ICP-OES	60
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	62
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	66
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.....	70

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1: Χάρτης με μορφολογία Κύπρου	11
Εικόνα 1.2: Στρωματογραφία Οφιολιθικού συμπλέγματος	14
Εικόνα 1. 3: Μεταλλεία στην Κύπρο	19
Εικόνα 2. 1: Χάρτης περιοχής	21
Εικόνα 2.2.: Εργοστάσιο επεξεργασίας χρυσοφόρου μεταλλεύματος	22
Εικόνα 2.3: Γεωλογικός χάρτης εργοστασίου επεξεργασίας χρυσοφόρου μεταλλεύματος	24
Εικόνα 2. 4: Επικάλυψη ασβεστολίθου στις λάβες	25
Εικόνα 2.5:Μεθοδολογία περιβαλλοντικού χαρακτηρισμού απορριμμάτων	29
Εικόνα 2.6: Διάγραμμα ροής επεξεργασίας χρυσοφόρου μεταλλεύματος	33
Εικόνα 2.7: Διάγραμμα ροής για επεξεργασία χρυσοφόρου μεταλλεύματος των δεκαετιών 1920-1930-1940	34
Εικόνα 2.8: Διαβρωμένοι σωροί θειούχων τελμάτων	36
Εικόνα 3.1: Σημεία δειγματοληψίας στερεών και υγρών δειγμάτων	39
Εικόνα 3. 2: Εργαλεία δειγματοληψίας	40
Εικόνα 3.3:Επί τόπου καταγραφή και περιγραφή δειγμάτων	40
Εικόνα 3.4: Απεικόνιση περιοχής δειγματοληψίας δειγμάτων 18 και 19	43
Εικόνα 3.5 : Συσκευή δονούμενης λειοτρίβισης με αχάτη Fritch Vibrating Cup Mill (‘pulverisette 9’)	44
Εικόνα 3.6: Δοχείο λειοτρίβισης από αχάτη Vibrating Cup Mill	44
Εικόνα 3.7: Μηχανή λειοτρίβισης με αχάτη Agate 99.9% SiO2 grinding set	44

Εικόνα 3.8: όργανο μέτρησης pH	45
Εικόνα 3.9: όργανα μέτρησης εκχυλισιμότητας μετάλλων	47
Εικόνα 3.10: διαδικασία προσδιορισμού ελεύθερου κυανίου	48
Εικόνα 3.11 : διαδικασία προσδιορισμού κυανίου άμεσης απελευθέρωσης	49
Εικόνα 5.1: τοπογραφικός χάρτης περιοχής με την χρήση προγράμματος GIS	62
Εικόνα 5.2: διαχωρισμός εδαφών βάση οπτικών παρατηρήσεων, με την χρήση προγράμματος GIS	63
Εικόνα 5.3: Τιμές pH εδαφικών δειγμάτων	64

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1: Μεταλλεία επαρχίας Λευκωσίας	.....	16
Πίνακας 1. 2: Εξαγωγές Χρυσού-Αργυρού	.....	18
Πίνακας 2. 1: Παραγωγή χρυσού και αργυρού	.....	23
Πίνακας 3. 1: Γενική περιγραφή των δειγμάτων	.....	41
Πίνακας 4. 1: Αποτελέσματα pH	.....	51
Πίνακας 4.2: Καναδικά περιβαλλοντικά όρια, 2007	.....	51
Πίνακας 4.3: Αποτελέσματα XRF και όρια σύγκρισης	.....	53
Πίνακας 4. 1: Αναλύσεις μετάλλων με ICP-OES	.....	56
Πίνακας 4.5: όρια σύγκρισης αποτελεσμάτων για το κυάνιο	.....	58
Πίνακας 4.6: Αποτελέσματα για ανίχνευση κυανίου	.....	59
Πίνακας 4. 7: Αποτελέσματα καταγραφής και επεξεργασίας υγρών δειγμάτων	.....	60
Πίνακας 4.8: Αναλύσεις Μετάλλων με ICP-OES στα δείγματα νερού	.....	60

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Κύπρος είναι νησιωτική χώρα της ανατολικής Μεσογείου, μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης και βρίσκεται 270 χιλιόμετρα ανατολικά της Ελλάδας (Καστελόριζο), 70 περίπου χιλιόμετρα νότια της Τουρκίας και 120 χιλιόμετρα δυτικά της Συρίας. Είναι το τρίτο μεγαλύτερο σε έκταση νησί της Μεσογείου. Βρίσκεται ανατολικά των ακτών της Κρήτης και της Ρόδου, δυτικά των Συριακών ακτών, νότια των ακτών της Τουρκίας και βόρεια των ακτών της Αιγύπτου. Στα νοτιοδυτικά του νησιού δεσπόζει η οροσειρά Τρόοδος, ενώ στα βόρεια η οροσειρά του Πενταδάκτυλου ενώ ανάμεσά τους εκτείνεται η πεδιάδα της Μεσαορίας την οποία διασχίζουν δυο ποταμοί ο Πεδιαίος κι ο Γιαλιάς. Γεωγραφικά η Κύπρος μπορεί να θεωρηθεί ότι ανήκει στη νοτιοανατολική Ευρώπη ή στη νοτιοδυτική Ασία. Ωστόσο, επειδή πολιτιστικά και οικονομικά η Κύπρος έχει δεσμούς με την Ευρώπη και ιδιαίτερα με την Ελλάδα, θεωρείται μέρος μόνο της Δύσης και της Ευρώπης. Είναι σήμερα το νοτιοανατολικό άκρο της Ευρωπαϊκής Ένωσης αλλά και της Ευρώπης.

Η Κύπρος διαιρείται σε έξι επαρχίες: την Λευκωσία, την Αμμόχωστο, την Πάφο, την Λεμεσό, την Λάρνακα και την Κερύνεια.

Η πρωτεύουσα της Κύπρου όπου εκεί υπάγεται και το χωριό Μιτσερό, είναι γνωστή διεθνώς με το αγγλικό της όνομα Nicosia, είναι κτισμένη πάνω στον Πεδιαίο ποταμό και είναι η μόνη απομένουσα διχοτομημένη πρωτεύουσα στον κόσμο. Το βόρειο μέρος της εξακολουθεί να βρίσκεται υπό τουρκική κατοχή, όπως άλλωστε και το ένα τρίτο της Κύπρου. Είναι επίσης γνωστή και με το αρχαίο της όνομα, Λήδρα. (el.wikipedia.org,2012)

1.2. Η ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΚΥΠΡΟΥ

Η γεωλογία της Κύπρου έχει ως πυρήνα το οφιολιθικό σύμπλεγμα του Τρόοδους, ηλικίας 92 εκατομμυρίων χρόνων 8000 μέτρα κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας. Η δασώδης περιοχή του Τρόοδους είναι το βαθύτερο στρώμα ενός κομματιού ωκεάνιου φλοιού και του ανώτερου μανδύα της γης. Μετά την δημιουργία του το Τρόοδος αναδύθηκε σχηματίζοντας το σημερινό

νησί, μέσα από πολύπλοκες τεκτονικές διεργασίες που καθορίζονταν από την σύγκλιση των λιθοσφαιρικών πλακών της Ευρασιατικής στο βορρά και της Αφρικανικής στο νότο.

Στην γεωλογική εξέλιξη της Κύπρου προέχουν τρία κύρια τεκτονικά επεισόδια:

i. Η γένεση του συμπλέγματος του Τροόδους πάνω από μια ωκεάνια ζώνη καταβύθισης και η κατά τον ίδιο χρόνο προσκόλλησή σ' αυτό παλαιότερων πετρωμάτων ηλικίας 200 μέχρι 75 εκατομμυρίων χρόνων στα νότια και δυτικά περιθώρια του.

ii. Η τεκτονική ηρεμία που επικράτησε στην περίοδο από 75 μέχρι 10 εκατομμύρια χρόνια και χαρακτηρίζεται από την υποθαλάσσια εναπόθεση πελαγικών ασβεστολιθικών ιζημάτων και την βαθμιαία μείωση του βάθους των θαλασσών.

iii. Η προσκόλλησή της οροσειράς της Κερύνειας στην βόρεια πλευρά του συμπλέγματος του Τροόδους και η ανύψωση της νήσου στην σημερινή της μορφή.

Για την γεωλογική περιγραφή περιοχών της γης οι γεωλόγοι ομαδοποιούν περιοχές της ίδιας γεωλογικής δομής, εξέλιξης και ηλικίας σε αυτό που ονομάζουν γεωτεκτονικές ζώνες.



Εικόνα 1.1: Χάρτης με μορφολογία Κύπρου
(πηγή: Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης Κύπρου)

Η Κύπρος χωρίζεται σε τέσσερις γεωτεκτονικές ζώνες:

- την Ζώνη Πενταδακτύλου (Κερυνείας)
- την Ζώνη Τροόδους ή Οφιολιθική Τροόδους
- την Ζώνη ή Σύμπλεγμα των Μαμωνιών
- την Ζώνη των αυτοχθόνων ή ιζηματογενών πετρωμάτων

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στη ζώνη Τροόδους. Ο Οφιόλιθος Τροόδους ή Ζώνη Τροόδους κυριαρχεί στο κεντρικό τμήμα του νησιού και αποτελεί το γεωλογικό πυρήνα της Κύπρου. Δημιουργήθηκε κατά το Ανώτερο Κρητιδικό (90 εκ. χρόνια) και θεωρείται ως ο πιο πλήρης και καλά μελετημένος Οφιόλιθος στον κόσμο. Η στρωματογραφική σειρά αποτελείται από τα κατώτερα προς τα ανώτερα από τα εξής πετρώματα:

- Πλουτώνια (ακολουθία Μανδύα, Σωρευτικά)
- Φλεβικά
- Ηφαιστειακά και χημικά ιζήματα

Η στρωματογραφική σειρά του οφιολίθου του Τροόδους παρουσιάζεται αναλυτικά ακλουθώντας στην περιγραφή από τα στρωματογραφικά ανώτερα στα κατώτερα.

Ο σχηματισμός του Πέρα Πεδίου: Είναι ιζηματογενής σχηματισμός που αποτέθηκε πάνω στις προσκεφαλοειδείς λάβες γεμίζοντας τις επιφανειακές τους κοιλότητες. Έχουν πάχος από 20 μέχρι 35 μέτρα και περιλαμβάνουν φαιοχώματα (σύμπρες) αργιλικούς, σχιστόλιθους, ραδιολαρίτες και ραδιολαριτικούς πηλίτες.

Τα ηφαιστειακά πετρώματα: Είναι ουσιαστικά οι προσκεφαλοειδείς λάβες και ροές λαβών πάχους 1,5χλμ περίπου. Με βάση το χρώμα, την ορυκτολογικά σύσταση και το βαθμό συμμετοχής των φλεβών τα ηφαιστειακά πετρώματα χωρίζονται στον Ανώτερο (upper pillow lavas) και τον Κατώτερο ορίζοντα (lower pillow lavas) Προσκεφαλοειδών Λαβών. Ο ανώτερος ορίζοντας είναι κυρίως βασαλτικής σύστασης και αποτελείται από λάβες σε ποσοστό 80-90% και φλέβες 10-20%.%. Συνήθως παρουσιάζουν επιφανειακό κόκκινο χρωματισμό που οφείλεται σε οξειδία του σιδήρου. Ο κατώτερος ορίζοντας είναι βασαλτικής και ανδεσιτικής σύστασης με αναλογία λαβών προς φλέβες 1:1. Σε αυτόν τον ορίζοντα βρίσκονται τα κυριότερα κοιτάσματα θειούχων μεταλλευμάτων.

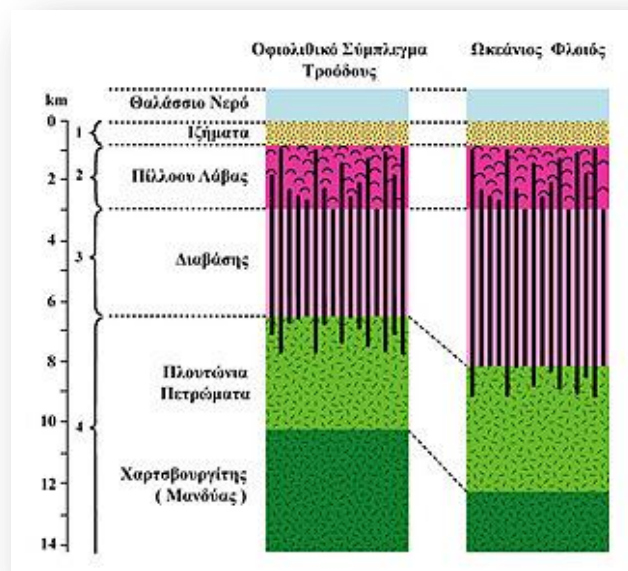
Το σύστημα πολλαπλών φλεβών (Διάβασης): Ο σχηματισμός αυτός αποτελείται μέχρι και 100% από φλέβες. Τα πετρώματα του είναι λεπτοκρυσταλλικά έως μεσοκρυσταλλικά με βασαλτική έως δολεριτική σύσταση. Παρουσιάζουν βορειοδυτική νοτιοανατολική διεύθυνση και είναι κυρίως κατακόρυφης διάταξης. Μεταξύ του σχηματισμού αυτού και των λαβών υπάρχει μια μεταβατική ζώνη (ορίζοντας βάσης) πάχους μέχρι και 2χλμ που αποτελείται από φλέβες με ποσοστό 95% περίπου και λάβες 5%.

Τα πλουτόνια πετρώματα: Τα πετρώματα αυτά είναι τα προϊόντα κρυσταλλοποίησης και συγκέντρωσης των κρυστάλλων των ορυκτών στον πυθμένα των μαγματικών θαλάμων. Στον οφιόλιθο του Τροόδους υπάρχει ο δουνίτης, ο βερλίτης, ο πυροξενίτης, ο γάββρος και πλαγιογρανίτης. Τα πρώτα ορυκτά που κρυσταλλώνονται είναι ο ολιβίνης και ο χρωμίτης και ακολουθεί η κρυστάλλωση του ορυκτού κλινοπυρόξενος. Τα τρία αυτά δίδουν το πέτρωμα βερλίτης, ενώ με την προσθήκη της κρυστάλλωσης του ορυκτού πλαγιόκλαστο σχηματίζονται οι διάφοροι τύποι γάββρου. Τέλος με την κρυστάλλωση του οξειδίου του πυριτίου σχηματίζεται το πέτρωμα πλαγιογρανίτης.

Η ακολουθία του Μανδύα: Τα πετρώματα που αποτελούν την ακολουθία αυτή είναι το δύστηκτο υλικό που παρέμεινε μετά την τήξη του ανώτερου μανδύα και τον σχηματισμό μάγματος βασαλτικής σύστασης, από το οποίο προήλθαν τα υπόλοιπα οφιολιθικά πετρώματα. Ο χαρτζβουργίτης είναι το επικρατέστερο(90%) πέτρωμα της ακολουθίας του μανδύα και ακολουθεί ο δουνίτης και ο χρωμίτης. Ποσοστό μεγαλύτερο του 50% των ορυκτών έχουν εξαλλοιωθεί σε σερμπεντίνη. Τα κυριότερα πλέον ορυκτά του σερμπεντίνη είναι ο χρυσοτίλης (ινώδης αμιάντος) που εμφανίζεται στην περιοχή του μεταλλείου του Αμιάντου, ο λιγαρδίτης και αντιγορίτης.

Οι γεωλογικές συγκυρίες συνέτειναν στο να διατηρηθεί σχεδόν ανέπαφη ολόκληρη η στρωματογραφία του οφιολίθου του Τροόδους, που είναι ακριβώς η ίδια με εκείνη του ωκεάνιου φλοιού. Ο Οφιόλιθος του Τροόδους έγινε γνωστός ανά το παγκόσμιο γιατί μπορείς να ξεναγηθείς σε όλη την λιθολογική του στρωματογραφία βαδίζοντας από τα κράσπεδα της Οροσειράς μέχρι και την κορυφή της. Η μοναδική του διαφορά σε σχέση με τον υποθαλάσσιο ωκεάνιο φλοιό είναι ότι εμφανίζεται με ακριβώς αντίθετη ηλικιακή στρωματογραφία. Αυτό οφείλεται στις διεργασίες διάβρωσης/αποσάθρωσης κατά την ανύψωση της οροσειράς του Τροόδους στο πρόσφατο γεωλογικό παρελθόν που προκάλεσαν την αποφλοιώση του και είχε σαν αποτέλεσμα τα παλαιότερα ηλικιακά πετρώματα να βρίσκονται ψηλότερα από τα νεότερα. Συγκεκριμένα το πέτρωμα χαρτζβουργίτης που είναι το παλαιότερο ηλικιακά πέτρωμα του

οφιολίθου βρίσκεται στην κορυφή του Τροόδους (Ολυμπος) ενώ οι νεότερες λάβες βρίσκονται στα χαμηλά τοπογραφικά του σημεία. Παρατίθενται αναλυτικά στην εικόνα 1.2 η στρωματογραφία του Οφιολιθικού Συμπλέγματος. (Κωνσταντίνου κ.ά, 2002)



Εικόνα 1.2: Στρωματογραφία Οφιολιθικού συμπλέγματος (πηγή: Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης Κύπρου)

1.3. Ο ΟΡΥΚΤΟΣ ΠΛΟΥΤΟΣ ΤΗΣ ΚΥΠΡΟΥ

Η ανόρυξη ορυκτών στην Κύπρο ανάγεται στους Ρωμαϊκούς και Αρχαιοελληνικούς χρόνους ενώ το νησί είναι από τα πρώτα μέρη του κόσμου όπου άρχισε η εντατική εκμετάλλευση, επεξεργασία και χρήση χαλκού. Η Κύπρος ουσιαστικά είναι συνώνυμη με το μέταλλο αυτό. Στα λατινικά ο χαλκός ονομάζεται *cuprum*. Η λέξη αυτή προέρχεται από το επίθετο *cuprium* που σημαίνει κυπριακός και αναφερόταν στον χαλκό της Κύπρου.

Οι συμπαγείς θειούχοι σχηματισμοί περιορίζονται στις Μαξιλαροειδείς Λάβες, αν και η διάσπαρτη μεταλλοποίηση εξαπλώνεται στα άλλα μέλη της Σειράς Οφιολίθων. Τα μεταλλοφόρα σώματα αποτέλεσαν την πρωταρχική πηγή ορυκτών όμως, ανακτήθηκαν και θειούχα κοιτάσματα από συναφή πλέγματα φλεβιδίων.

Τα περισσότερα κοιτάσματα παρουσιάζουν μια κάθετη ζωνώδη ανάπτυξη (σχήμα 1.2) Η στρωματογραφικά ψιλότερη ζώνη αποτελείται από συμπαγές μέταλλευμα και ονομάζεται ζώνη

συμπαγούς μεταλλεύματος. Κάτω από αυτή ακολουθεί η ενδιάμεση ζώνη και πιο κάτω η ζώνη χαμηλής περιεκτικότητας. Η ζώνη συμπαγούς μεταλλεύματος αποτελείται σχεδόν εξολοκλήρου από θείο και σίδηρο και σε μικρότερη αναλογία χαλκό και ψευδάργυρο. Η περιεκτικότητα σε θείο είναι 40-50% και σε χαλκό 0,5-4,5%. Τα πρωτογενή ορυκτά της ζώνης αυτής είναι ο σιδηροπυρίτης (FeS_2), ο χαλκοπυρίτης (CuFeS_2) και ο σφαλερίτης (ZnS). Δευτερογενή ορυκτά είναι ο μαρκασίτης (FeS_2), ο χαλκοσίνης (Cu_2S), ο κοβελλίνης (CuS), ο ιαδείτης (Cu_3FeS_4), ο τενορίτης (CuO) και ο κυπρίτης (Cu_2O).

Η ενδιάμεση ζώνη περιλαμβάνει εκτός από τα θειούχα και πυριτικά ορυκτά, τα οποία καθιστούν το μέταλλευμα πολύ σκληρό. Η περιεκτικότητα σε θείο είναι μικρότερη από αυτή της προηγούμενης ζώνης και κυμαίνεται στο 30-40%. Πολύ χαμηλότερη είναι και η περιεκτικότητα σε χαλκό. Η ζώνη χαμηλής περιεκτικότητας αποτελείται από φλέβες και φλεβείδια καθώς και εμποτισμούς σιδηροπυρίτη μέσα σε έντονα εξαλλοιωμένες λάβες. Το πάχος της ζώνης αυτής μπορεί να φθάσει τα 700 μέτρα. Η περιεκτικότητα σε θείο είναι 15-30%.

Οι ορυκτοί αυτοί πόροι αποτέλεσαν προϊόν εκμετάλλευσης από την αρχαιότητα, προήλθαν κατά το πλείστον από την Οροσειρά του Τροόδους και πιο συγκεκριμένα λόγω της διαφορετικής ανύψωσης του. Δηλαδή η ανύψωση σε συνδυασμό με την διάβρωση, έφερε τα κοιτάσματα πιο κοντά στην επιφάνεια.

Τα περισσότερα θειούχα ορυκτά που βρίσκονται στην επιφάνεια ή κοντά στην επιφάνεια έχουν υποστεί τις επιπτώσεις του χρόνου και έχουν οξειδωθεί με αποτέλεσμα τον σχηματισμό “gossans”, οξειδία και υδροξειδία του σιδήρου με εντυπωσιακά κόκκινα και κίτρινα χρώματα κυρίως σε περιοχές ηφαιστειακών πετρωμάτων και υποδηλώνουν την τοπική ανάπτυξη μεταλλοφορίας, πάχους κυρίως μικρότερου των 20 μέτρων. Με ελάχιστες εξαιρέσεις, είναι γνωστό ότι αυτές οι ζώνες εμπλουτισμού περιέχουν λεπτές λωρίδες «λάσπης του διαβόλου» (devil's mud) ένα γκρίζο χωμάτινο υλικό που έχει υψηλή περιεκτικότητα χρυσού και αργύρου. Το οφιολιθικό σύμπλεγμα του χρωμίτη έχει πλούσια κοιτάσματα αμιάντου, χρωμίτη, χαλκούχων σιδηροπυριτών καθώς και οικονομικά ενδιαφέρουσες συγκεντρώσεις χρυσού και αργυρού (Κωνσταντίνου κ.ά, 2002).

1.4. Η ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΚΥΠΡΟΥ

Σύμφωνα με το ιστορικό των μεταλλείων της Κύπρου, οι πρόσφατες μεταλλευτικές εκμεταλλεύσεις άρχισαν το 1882, όμως, η σύγχρονη ανόρυξη χαλκού και πυρίτη δεν άρχισε πριν το 1914 ενώ η πρώτη καταγραμμένη παραγωγή έγινε το 1922 ταυτόχρονα με την ανακάλυψη και την πρώτη ανόρυξη χρωμίτη. Όλες οι μεταλλευτικές εργασίες είχαν αναληφθεί από ιδιωτικές εταιρείες αν και η εκμετάλλευση ορυκτών γινόταν τόσο από μεταλλευτικές εταιρείες όσο και από το Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης. Ο υπολογισμός των κοιτασμάτων ορυκτών που ανακαλύφθηκαν γινόταν από τις ενδιαφερόμενες μεταλλευτικές εταιρείες.

Μέχρι την δεκαετία του 1970 τα θειούχα μεταλλεύματα ήταν τα σημαντικότερα κοιτάσματα τόσο από οικονομικής άποψης όσο και από μεγέθους εκμετάλλευσης. Τα κοιτάσματα αυτά είναι συνδεδεμένα με το οφιολιθικό σύμπλεγμα του Τροόδου και ειδικότερα με τους ορίζοντες των προσκεφαλοειδών λαβών (pillow lavas). Βρίσκονται σε 6 μεταλλευτικές περιοχές:

- Σκουριώτισσα-Μαυροβούνι
- Ταμασσός (Αγροκηπιά-Μιτσερό)
- Καλαβασός
- Λίμνη
- Κάμπια – Καπέδες
- Σια – Μαθιάτη

Πίνακας 1. 1: Μεταλλεία επαρχίας Λευκωσίας (Wardell Armstrong and ALA Planning Partnership, 2008)

Περιοχές	Μεταλλεία /Εγκαταστάσεις
Μέμι - Αλέστος	Μεμί Αλέστος
Μιτσερό - Αγροκηπιά	Κοκκινοπεζούλας Κοκκινόγια Αγροκηπιάς Εγκαταστάσεις Μιτσερού
Καμπιά-Καπέδες	Κοκκινόνερο Καπέδων Περιστέρκα-Πιθαρόχρωμα Μαθιάτη Σιας
Βρέτσια	Βρέτσια

Με την παραχώρηση της Κύπρου στην Βρετανία από την Οθωμανική Αυτοκρατορία (1978) επαναρχίζει το ενδιαφέρον για την έρευνα και την εκμετάλλευση του κυπριακού ορυκτού. Η περιοχή λίμνης, που βρίσκεται στον κόλπο της Χρυσοχούς, είναι η πρώτη που γίνεται αντικείμενο μεταλλευτικής έρευνας το 1882. Η έρευνα αρχίζει με βάση τα κατάλοιπα των αρχαίων εργασιών (σκουριές, αρχαίες γαλαρίες). Ακλουθώντας τις αρχαίες γαλαρίες η έρευνα εντοπίζει το 1908 κοιτάσματα χαλκούχου μεταλλεύματος τα αποθέματα υπολογίστηκαν σε 3.400.000 τόνους με μέση περιεκτικότητα χαλκού 1.1%. Για διάφορους όμως τεχνικούς και οικονομικούς λόγους η εκμετάλλευση άρχισε το 1937 από την Κυπριακή Εταιρεία Θείου και Χαλκού.

Το 1914 ο Charles G. Gunther εντοπίζει κοιτάσματα της Φουκάσας (Σκουριώτισσα), του οποίου τα αποθέματα υπολογίστηκαν σε 6,000,000 τόνους με μέση περιεκτικότητα χαλκού 2,5% και θείου 47%. Η εκμετάλλευση του κοιτάσματος αυτού αρχίζει το 1920 από την κυπριακή Μεταλλευτική Εταιρεία που ιδρύθηκε το 1916. Το 1919 η εταιρεία αυτή εντοπίζει το μεγαλύτερο και πλουσιότερο σε χαλκό κοιτάσμα που ανακαλύφθηκε ποτέ στην Κύπρο, αυτό του Μαυροβουνίου. Τα αποθέματα ήταν 17.000.000 τόννοι με μέση περιεκτικότητα χαλκού 4,5% και θείου 48%. Το 1927 η ισπανική εταιρεία Πυριτών αρχίζει έρευνα στις περιοχές Καλαβασσού και Σιας και στην συνέχεια πωλεί τα δικαιώματα της στην ανώνυμη Ελληνική Εταιρεία Χημικών Προϊόντων που την διαδέχθηκε αργότερα η Ελληνική Μεταλλευτική Εταιρεία.

Η σύγχρονη μεταλλευτική βιομηχανία αντιμετωπίζει τα πρώτα προβλήματα της κατά την οικονομική κρίση του 1931 λόγω μείωσης της τιμής του χαλκού. Τότε παράλληλα με το χαλκό στρέφεται στην εκμετάλλευση και παραγωγή χρυσού και αργυρού από την χρυσοφόρο ζώνη δευτερογενούς εμπλουτισμού .

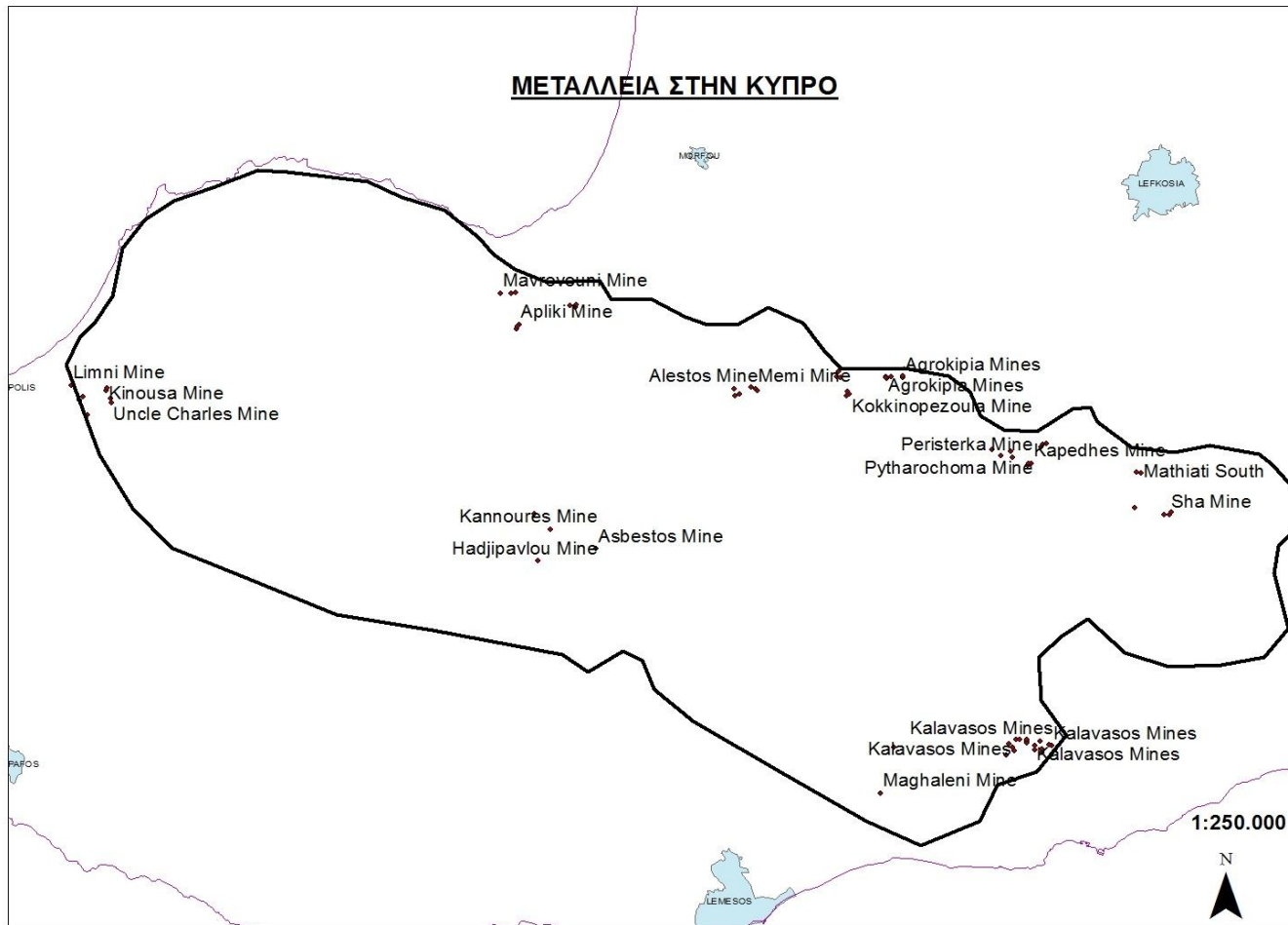
Μετά το Β Παγκόσμιο Πόλεμο και ιδιαίτερα μετά το 1950 η μεταλλευτική δραστηριότητα στην Κύπρο κορυφώνεται ως αποτέλεσμα της μηχανοποίησης και της εφαρμογής επιφανειακών μεθόδων εκμετάλλευσης των κοιτασμάτων. Η περίοδος 1950-1970 είναι η χρυσή εποχή της κυπριακής μεταλλευτικής βιομηχανίας. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι το 1966 οι εξαγωγές μεταλλευμάτων αντιπροσώπευαν το 45% της αξίας των ολικών εξαγωγών. Δυστυχώς η βιομηχανία αυτή αρχίζει να φθίνει με την έναρξη της δεκαετίας του 1970, λόγω των χαμηλών τιμών που επικρατούσαν αλλά και της εξάντλησης των γνωστών κοιτασμάτων χαλκού και σιδηροπυριτών.

Το τελικό χτύπημα προήλθε από την Τουρκική εισβολή το 1974 και την κατάληψη σημαντικών μεταλλευτικών περιοχών (μεταλλείο Μαυροβουνίου, Λεύκας Α και Ανατολικής Λεύκας) καθώς και μεταλλευτικών εγκαταστάσεων όπως το εργοστάσιο εμπλουτισμού στο Ξερό και λιμενικές εγκαταστάσεις φόρτωσης μεταλλευμάτων στο Καραβοστάσι (Κωνσταντίνου κ.ά, 2002).

Πίνακας 1. 2: Εξαγωγές Χρυσού-Αργυρού, στοιχεία από ΕΜΕ

ΕΞΑΓΩΓΕΣ	ΧΡΥΣΟΣ	ΑΡΓΥΡΟΣ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
ΕΤΟΣ	(Κιλά)	(Κιλά)	Προϊόντα, περιοχές, εταιρείες
1935	210	1.340	Εμπλουτισμένα μεταλλεύματα και ιζήματα από:
1936	630	3.770	1. Καλαβασό, Ασγάτα, Σιά,
1937	710	3.990	Καμπιά, Καπέδες, Μιτσερό,
1938	880	5.990	Αγροκηπιά (ΕΜΕ).
1939	590	4.090	2. Σκουριώτισσα, Απλίκι,
1940	390	1.780	Μαθιάτη (CMC).
1941	650	3.100	3. Λίμνη (CSCC).
1942	230	1.030	4. Τρούλλους (Berdy).
1943	125	400	5.: Κελλιά (CMD)
1944	40	230	
1980	85	250	Εμπλουτισμένα μεταλλεύματα,
1981	100	300	από Σκουριώτισσα, Σία (ΕΜΕ)
1982	25	75	
ΣΥΝΟΛΟ	4.665	26.345	

<i>CMC</i>	<i>Cyprus Mines Corporation</i>
<i>ΕΜΕ</i>	<i>Ελληνική Μεταλλευτική Εταιρεία</i>
<i>KM</i>	<i>Kambia Mines</i>
<i>Berdy</i>	<i>Berdy Mining Company</i>
<i>CSCC</i>	<i>Cyprus Sulphur and Copper Corporation</i>
<i>HCM</i>	<i>Hellenic Copper Mines</i>
<i>Maconda</i>	<i>Maconda Mining Company</i>
<i>CMD</i>	<i>Cyprus Development Co</i>



Εικόνα 1. 3: Μεταλλεία στην Κύπρο (πηγή: Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης)

1.5. Η ΣΗΜΕΡΙΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ

Σήμερα το μοναδικό μεταλλείο Θειούχων μεταλλευμάτων που λειτουργεί, είναι εκείνο της Σκουριώτισσας. Παρόλα αυτά οι μεταλλευτικές δραστηριότητες των μεταλλείων που είναι ανενεργά σήμερα, άφησαν πίσω τους περισσότερα από 200 εκατομμύρια τόνους αποβλήτων ορυκτών (Seal et al., 2008) και την ευκαιρία στην επιστημονική κοινότητα και όχι μόνο να ασχοληθούν με αυτά τα μεταλλευτικά κατάλοιπα.

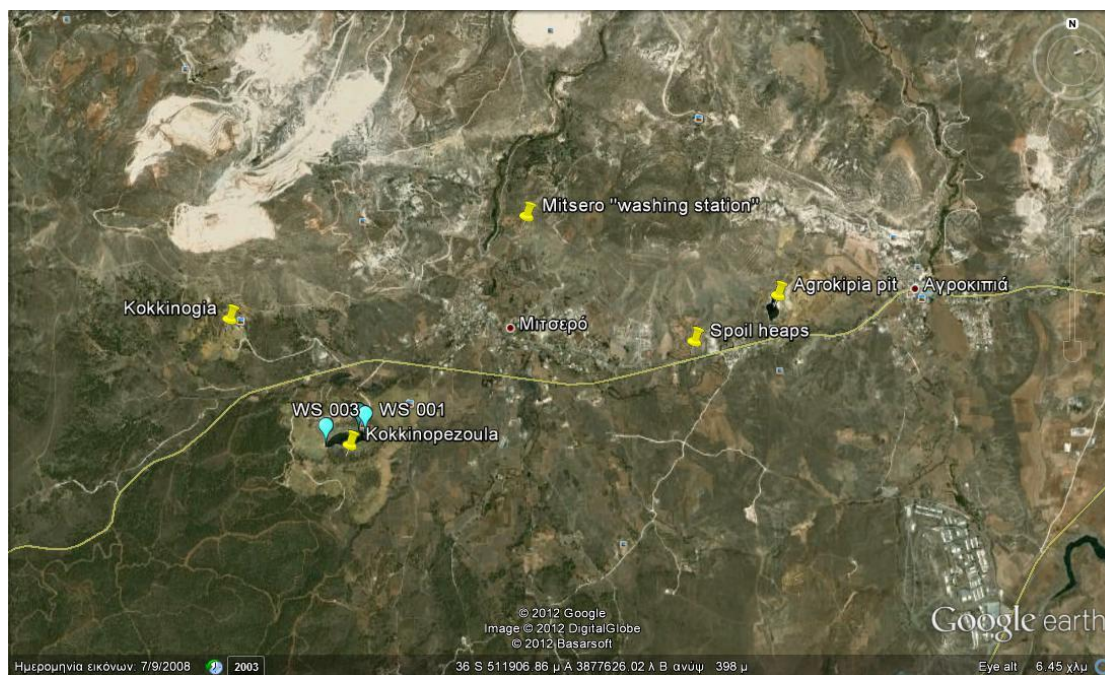
Τα τελευταία χρόνια έγιναν συντονισμένες προσπάθειες από την Κυπριακή Δημοκρατία να εκτιμήσει τον περιβαλλοντικό κίνδυνο από την μεταλλευτική δραστηριότητα και κατ'επέκταση να χρηματοδοτήσει και μελέτες για την καταγραφή και αντιμετώπιση του. Αρχικά η έκθεση LIFE (Εθνικός Κατάλογος Δυνητικών Πηγών Μόλυνσης του Εδάφους στην Κύπρο, 2007) σχολίασε γενικά τα απόβλητα ορυχείων στην Κύπρο και παρείχε δεδομένα για την απόθεση αποβλήτων των μεταλλείων. Στην συνέχεια τον Νοέμβριο του 2008 γίνεται μια συντονισμένη προσπάθεια εκπόνησης στρατηγικής μελέτης για την αποκατάσταση εγκαταλελειμμένων μεταλλείων στην Κύπρο, σε συνεργασία του Τμήματος Γεωλογικής Επισκόπησης και των εταιρειών Wardell Armstrong και ALA Partnership. Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης μελέτης προέκυψαν ύστερα από μελέτη 25 χώρων μεταλλείων οι οποίοι ταξινομήθηκαν σε πίνακα επιπτώσεων για επισήμανση ενεργειών αποκατάστασης. Τον ανώτατο βαθμό επικινδυνότητας έλαβε το μεταλλείο της Κοκκινοπεζούλας και έγινε η αφορμή για την τεχνικοοικονομική μελέτη της εταιρίας ECHMES Ltd (Νοέμβριος, 2010) για την εφαρμογή πιλοτικού προγράμματος αποκατάστασης του μεταλλείου της Κοκκινοπεζούλας .

Με βάση τα δεδομένα αυτά προέκυψε και η παρούσα διπλωματική εργασία στο κομμάτι του εργοστασίου δεδομένου της θέσης του στην ευρύτερης περιοχή του μεταλλείου της Κοκκινοπεζούλας του χωριού Μιτσερό.

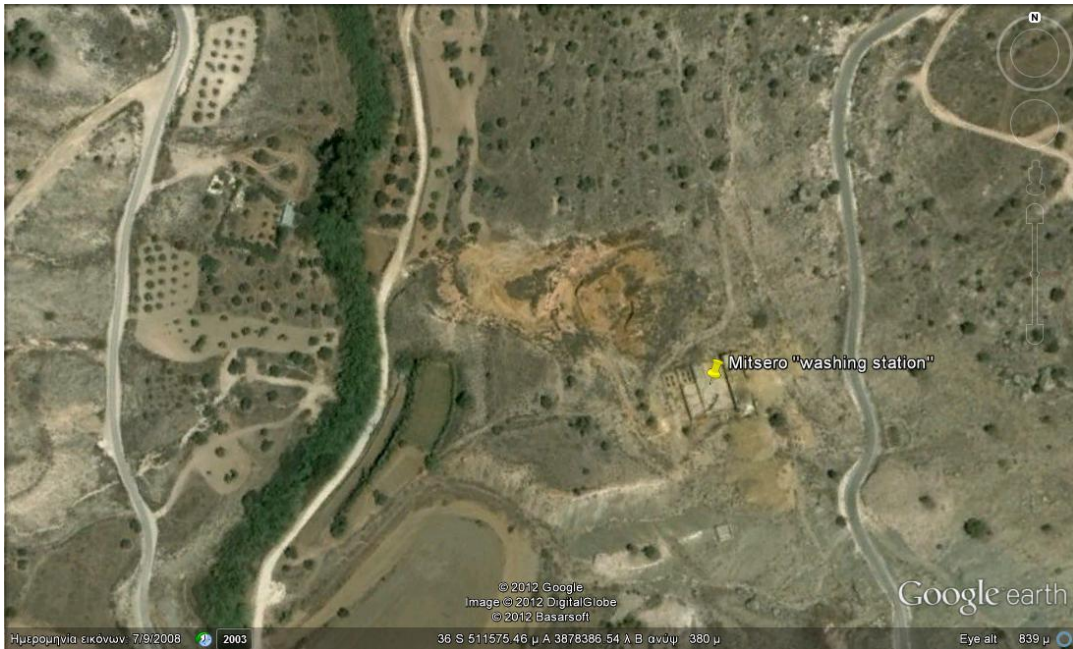
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: ΤΟ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΧΡΥΣΟΦΟΡΩΝ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ

2.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟΥ

Η περιοχή του εργοστασίου βρίσκεται στους πρόποδες μεγάλου υψώματος βόρεια της κοινότητας Μιτσερό και στην μεταλλευτική περιοχή της Ταμασσού. Οι κτιριακές εγκαταστάσεις του εργοστασίου βρίσκονται σε τοπογραφικά ψηλότερα σημεία, επί πλαγιάς, τα οποία παρουσιάζουν μικρή κλίση (30° περίπου) προς δυτικά. Όπως φαίνεται στις εικόνες 2.1 και 2.2, τα όρια του εργοστασίου και γενικά της περιοχής μελέτης καθορίζονται από τον παρακεείμενο δρόμο που βρίσκεται τοπογραφικά ψηλότερα (ανατολικά) από τη περιοχή του εργοστασίου και το μικρό εποχιακό ποταμάκι / ρυάκι που βρίσκεται τοπογραφικά χαμηλότερα (κοιλάδα - δυτικά).



Εικόνα 2.1: Χάρτης περιοχής (πηγή: Google earth, 2012)



Εικόνα 2.2: Εργοστάσιο επεξεργασίας χρυσοφόρου μεταλλεύματος (πηγή: Google earth 2012)

Σύμφωνα με την έκθεση του L. M. Bear (1975), η επεξεργασία και η εξόρυξη χρυσού και ασημιού ξεκίνησε το 1936 με την απόφαση της ΑΕΕΧΠΛ (ανώνυμη ελληνική εταιρεία χημικών προϊόντων και λιπασμάτων) να κατασκευάσει εργοστάσιο επεξεργασίας χρυσού και αργυρού με την μέθοδο κυάνωσης και καταβύθισης σκόνης ζίγκου, στα Κοκκινοβούνια τα οποία βρίσκονταν υπό την μίσθωση της Κάμπια-Σια. Αυτό ακολουθήθηκε από την έναρξη εκμετάλλευσης των αποκαλύψεων της Κοκκινοπεζούλας, Κοκκινόγιας, Καμπιά, Καπέδες και Αγροκητιά.

Το 1937 μια 50 τόνων μονάδα επεξεργασίας κυανίου (cyanide plant) ανεγέρθηκε κοντά στο Μιτσερό για την καλύτερη επεξεργασία του μεταλλεύματος από την Αγροκητιά- Μιτσερό καθώς και την έναρξη μεταφοράς μεταλλεύματος και από την Σιά. Ένα χρόνο αργότερα η χωρητικότητα του χώρου επεξεργασίας μεταλλεύματος αυξήθηκε από 50 τόνους σε 100 τόνους ανά ημέρα με συνέχιση της παραγωγής αυτής και το 1939, έως την έναρξη του Β Παγκοσμίου Πολέμου. Τελικά, προς το τέλος του 1940, όταν πολλά από αυτά τα κοιτάσματα εξαντλήθηκαν το εργοστάσιο έκλεισε και ο εξοπλισμός του μεταφέρθηκε στο Βασιλικό όπου η παραγωγή συνεχίστηκε μέχρι το 1943. Ο πίνακας 2.1 έχει παραχωρηθεί από την Υπηρεσία Μεταλλείων και δίνει την παραγωγή σε χρυσό και ασήμι από την Ελληνική Εταιρία Εξορύξεων.

Πίνακας 2.1: Παραγωγή χρυσού και αργυρού (Hellenic Mining Co. Ltd)

Χρονιά	Αγροκηπιά-Μιτσερό		Καμπιά-Σια	
	Au.	Ag.	Au.	Ag.
1937	151	1.003	3.386	21.472
1938	5,03	30,706	738	5,348
1939	6.231	27.834	968	8,856
1940	1.283	4.850	1.140	6.688
1941		-	381	1.588
1942		-	486	1.324
1943		-	760	1.957
Σύνολο	12.695	64.402	7.859	47.233
	Τοπικές πωλήσεις			
1942	-	-	1.130	4.106
1943	-	-	26	84
Σύνολο	-	-	1.156	4.190

2.2 Η ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στα ηφαιστειακά πετρώματα του Τροόδους που αποτελούνται από προσκεφαλοειδής λάβες και ροές λαβών που κατεξοχήν βρίσκονται κάτω από τα ιζήματα που αποτέθηκαν πάνω στα Οφιολιθικά πετρώματα και ειδικότερα πάνω από τις προσκεφαλοειδής λάβες και γεμίζουν κοιλώματα στην επιφάνεια τους.

Οι γεωλογία της περιοχής καθορίζεται από τους ακόλουθους τέσσερις (4) γεωλογικούς σχηματισμούς, παραθέτοντας τους από τον νεώτερο στο παλαιότερο:

- Αλλουβιακές προσχώσεις / αποθέσεις
- Σχηματισμός Κορωνιάς
- Σχηματισμός Πάχνας
- Σχηματισμός Λευκάρων
- Ανώτερες Προσκεφαλοειδείς Λάβες – Οφίολιθος του Τροόδους



Εικόνα 2.3: Γεωλογικός χάρτης εργοστασίου επεξεργασίας χρυσοφόρου μεταλλεύματος (πηγή: Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης)

Σχηματισμός Κορωνιάς: Ο σχηματισμός αυτός, εντοπίζεται ανατολικά και δυτικά της περιοχής μελέτης και θεωρείται ότι βρίσκεται στη κορυφή του Σχηματισμού της Πάχνας. Αντιπροσωπεύεται στη περιοχή από τον ευρύτερα γνωστό υφαλογενή Ασβεστόλιθο Κορωνιά που σε φυσιολογικές γεωλογικές συνθήκες, ο ασβεστόλιθος επικάθεται με συμφωνία στα πετρώματα του Σχηματισμού της Πάχνας. Όπως φαίνεται στο γεωλογικό χάρτη που δίνεται προηγουμένως η εμφάνιση των γεωλογικών σχηματισμών φαίνεται να ακολουθεί την κανονική στρωματογραφία. Όμως, όπως φαίνεται και από στην εικόνα 2.1 που λήφθηκαν σε επιτόπιες επισκέψεις ο ασβεστόλιθος φαίνεται να επικάθεται κατευθείαν πάνω στις προσκεφαλοειδείς λάβες της περιοχής, γεγονός που υποδηλώνει ένα έντονο παλαιοτεκτονισμό της περιοχής.

Σχηματισμός Πάχνας: Ο ιζηματογενής αυτός σχηματισμός, αντιπροσωπεύεται από σκληρά κρητιδικά (κιμωλίες) και ψαμμιτικά πετρώματα, κυρίως στις τοπογραφικά ψηλότερες περιοχές όπου υπάρχουν και λατομεία εξόρυξης των συγκεκριμένων πετρωμάτων για σκοπούς διοχέτευσης τους στη σκυροθραυστική βιομηχανία του νησιού.

Σχηματισμός Λευκάρων: Είναι ο παλαιότερος ιζηματογενής σχηματισμός, που αντιπροσωπεύεται στη περιοχή από τα κατώτερα μέλη του με κρητίδες / κερατόλιθους και τις γνωστές προβληματικές ροδόχροες μάργες. Εντοπίζονται μακριά από το εργοστάσιο στη ευρύτερη περιοχή μελέτης και δεν φαίνεται να έχει άμεση σχέση με το γεωλογικό περιβάλλον του εργοστασίου.

Ανώτερες Προσκεφαλοειδείς Λάβες: Το εργοστάσιο και γενικά η περιοχή μελέτης δομείται από τις Ανώτερες Προσκεφαλοειδείς Λάβες. Το χαρακτηριστικό σφαιρικό έως ελλειψοειδές σχήμα τους φαίνεται στις εικόνες όπως αυτές εντοπίστηκαν στα ανατολικά των κτιριακών εγκαταστάσεων του εργοστασίου, πλησίον του παρακείμενου δρόμου. Στις πιο πάνω φωτογραφίες διακρίνεται επίσης η τεκτονική επαφή των λαβών αυτών με τον υπερκείμενο ασβεστόλιθο κορωνιάς.



Εικόνα 2. 4: Επικάλυψη ασβεστόλιθου στις λάβες

Στη περιοχή μελέτης, οι λάβες είναι εμφανώς αποσαθρωμένες μέχρι εξαλλοιωμένες, με αποτέλεσμα να εμφανίζεται επιφανειακά, αγνώστου πάχους, λεπτόκοκκο αμμοϊλυώδες μέχρι αμμοαργιλώδες υλικό προϊόν αποσάθρωσης των υποκείμενων λαβών. Σε πολλές περιπτώσεις το λεπτόκοκκο αυτό υλικό είναι αναμιγμένο με ιζηματογενούς και οφιολιθικής προέλευσης ψηφίδες (ποικίλου μεγέθους) προερχόμενες από τα ψηλότερα τοπογραφικά σημεία της περιοχής. Πέραν όμως του πιο πάνω λεπτόκοκκου υλικού, θα πρέπει να αναφερθεί ότι πολλά σημεία της περιοχής μελέτης είναι καλυμμένα με μάζα που δημιούργησε το ίδιο το εργοστάσιο κατά τις ημέρες της παραγωγικής του δραστηριότητας.

Αλλουβιακές προσχώσεις / αποθέσεις : Οι προσχώσεις αυτές εντοπίζονται στα τοπογραφικά χαμηλότερα σημεία της περιοχής μελέτης και ιδιαίτερα στη πεδιάδα που διασχίζεται από το

μικρό εποχιακό ρυάκι. Αποτελούνται βασικά από αγνώστου πάχους, οφιολιθικής προέλευσης, ποικίλου μεγέθους, υποστρόγγυλους χάλικες, που μεταφέρθηκαν στη περιοχή διαμέσου των διεργασιών αποσάθρωσης / διάβρωσης με τη πάροδο των γεωλογικών χρόνων.

2.3 Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΧΡΥΣΟΦΟΡΟΥ ΜΕΤΑΛΛΕΥΜΑΤΟΣ

2.3.1 Θεωρητικό υπόβαθρο

Μετάλλευμα (ore) ορίζεται ως η ορυκτή πρώτη ύλη από την οποία μπορεί να εξαχθεί με οικονομική κατεργασία, μέταλλο η μεταλλική ένωση. Αποτελεί την ακατέργαστη πρώτη ύλη της μεταλλουργίας. Η Μεταλλουργία είναι κλάδος της επιστήμης των υλικών, σχετικός με την παρασκευή μετάλλων και κραμάτων από μεταλλεύματα ή άλλες πρώτες ύλες, καθώς και την κατεργασία των μετάλλων και των κραμάτων για την τροποποίηση των ιδιοτήτων αυτών των υλικών. Αναλόγως, ο κλάδος της μεταλλουργίας διακρίνεται σε εξαγωγική μεταλλουργία και μεταλλογονωσία ή φυσική μεταλλουργία. Η εξαγωγική μεταλλουργία περιλαμβάνει την πυρομεταλλουργία και την υδρομεταλλουργία:

Πυρομεταλλουργία: είναι ο κλάδος της εξαγωγικής μεταλλουργίας που ασχολείται με την παραγωγή (εξαγωγή) μετάλλων, κραμάτων ή καθαρών χημικών ενώσεων μεταλλικών στοιχείων από ορυκτά ή άλλες πρώτες ύλες, με την χρήση υψηλών θερμοκρασιών. Το παραγόμενο μέταλλο ή κράμα ή χημική ένωση έχει συνήθως την μορφή τήγματος. Όλα τα σιδηρούχα μέταλλα (χυτοσίδηρος, χάλυβας, σιδηροκράματα, ανοξείδωτος χάλυβας) παράγονται με πυρομεταλλουργικές τεχνικές. Επίσης, με πυρομεταλλουργικές τεχνικές παράγονται μεγάλες ποσότητες μη σιδηρούχων μετάλλων (χαλκός, μόλυβδος, κασσίτερος, κ.ά.).

Υδρομεταλλουργία: η εξαγωγή μετάλλων με την χρήση υδατικών διαλυμάτων (π.χ. εξαγωγή χρυσού με κυάνωση μεταλλευμάτων χρυσού, εξαγωγή χαλκού με εκχύλιση με θειικό οξύ, κ.λπ.). Υδρομεταλλουργικές διεργασίες χρησιμοποιούνται μόνον για την παραγωγή μη σιδηρούχων μετάλλων, όπως χαλκός, νικέλιο, κοβάλτιο, μόλυβδος, χρυσός, άργυρος, κ.ά. Σε μερικές περιπτώσεις οι υδρομεταλλουργικές διεργασίες χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με πυρομεταλλουργικές, όπως συμβαίνει στην περίπτωση του αλουμινίου ή του ψευδαργύρου.

Η κατεργασία μεταλλευμάτων χρυσού με κυανιούχα διαλύματα για την εξαγωγή του πολύτιμου μετάλλου άρχισε το 1887. Σήμερα, ο χρυσός παράγεται σχεδόν εξ ολοκλήρου με υδρομεταλλουργικές μεθόδους. (Arsdale Van G. D., 1953)

Ο εμπλουτισμός των μεταλλευμάτων αποτελεί το πρώτο στάδιο της εξαγωγικής μεταλλουργίας, κατά το οποίο ένα εξορυσσόμενο μέταλλευμα διαχωρίζεται, με μεθόδους φυσικές, σε ορυκτά με οικονομικό ενδιαφέρον (συμπύκνωμα) και σε ορυκτά με ελάχιστο ή κανένα οικονομικό ενδιαφέρον (απόρριμμα).

Με την εφαρμογή του εμπλουτισμού παράγονται συνήθως τα εξής προϊόντα:

- Το συμπύκνωμα ή το εμπλουτισμένο προϊόν
- Το απόρριμμα ή το απορριπτόμενο στείρο

Ακόμη παράγεται και ένα τρίτο προϊόν το λεγόμενο “ενδιάμεσο” ή “μεικτό” που δεν θεωρείται ούτε συμπύκνωμα ούτε απόρριμμα.

Η τεχνολογία του εμπλουτισμού διακρίνεται σε τέσσερις κύριες φάσεις:

Κατάτμηση. Η κατάτμηση περιλαμβάνει η οποία τη θραύση, τη λειοτριβήση και τη άλεση ανάλογα με το απαιτούμενο ή ζητούμενο τεμαχίων.

Ταξινόμηση. Η ταξινόμηση σε κοκκομετρικά μεγέθη είναι αναγκαία για να καλύψει προδιαγραφές εμπορίας ή τις δυνατότητες του μηχανήματος εμπλουτισμού.

Συγκέντρωση. Η συγκέντρωση αποτελεί την κύρια φάση, κατά την οποία εφαρμόζεται η μέθοδος (ή οι μέθοδοι) εμπλουτισμού για το διαχωρισμό του μεταλλεύματος ή των μεταλλευμάτων μεταξύ τους και από το στείρο και την παραγωγή εμπορεύσιμων προϊόντων.

Διάθεση προϊόντων. Η διάθεση προϊόντων αποτελεί σήμερα μία ακόμη απαραίτητη φάση προκειμένου το συμπύκνωμα να μπορεί να διατεθεί και το απόρριμμα να αποτεθεί (χωρίς να βλάψει ή να προσβάλει το περιβάλλον). Η διάθεση των προϊόντων ακολουθεί διεργασίες, οι κυριότερες από τις οποίες είναι:

- Διακίνηση τροφοδοσιών και προϊόντων εμπλουτισμού
- Αφυδάτωση προϊόντων στις υδρομηχανικές μεθόδους

- Αποκονίωση ή και σάκκευση των προϊόντων στις αερομεθόδους
- Έλεγχος και αυτοματισμός
- Απόθεση στείων, τελμάτων- προστασία περιβάλλοντος

Οι διεργασίες της **μηχανικής προπαρασκευής** περιλαμβάνουν :

- την θραύση
- την λειοτρίβηση
- την ταξινόμηση κατά μέγεθος.

Στην συνέχεια, γίνεται ο **εμπλουτισμός** με

- χειροδιαλογή,
- οπτικό διαχωρισμό,
- βαρυτομετρικό διαχωρισμό,
- ηλεκτροστατικό διαχωρισμό, μαγνητικό διαχωρισμό
- επίπλευση

Τα στερεά απόβλητα στην μεταλλουργική βιομηχανία είναι οι σκουριές στην πυρομεταλλουργία, τα αδιάλυτα στερεά στην υδρομεταλλουργία και τα προϊόντα καταβύθισης από το υδατικό διάλυμα μιας υδρομεταλλουργικής κατεργασίας όπως π.χ ο ζαροσίτης (jarosite) ο οποίος είναι μικτό θειικό αλάτι μονοσθενούς κατιόντος και τρισθενούς σιδήρου , ή ο γκαιτίτης ή ο αιματίτης. Το βάρος των στερεών αποβλήτων είναι συχνά πολλαπλάσιο του παραγόμενου μετάλλου. (Ζευγώλης ,2003)

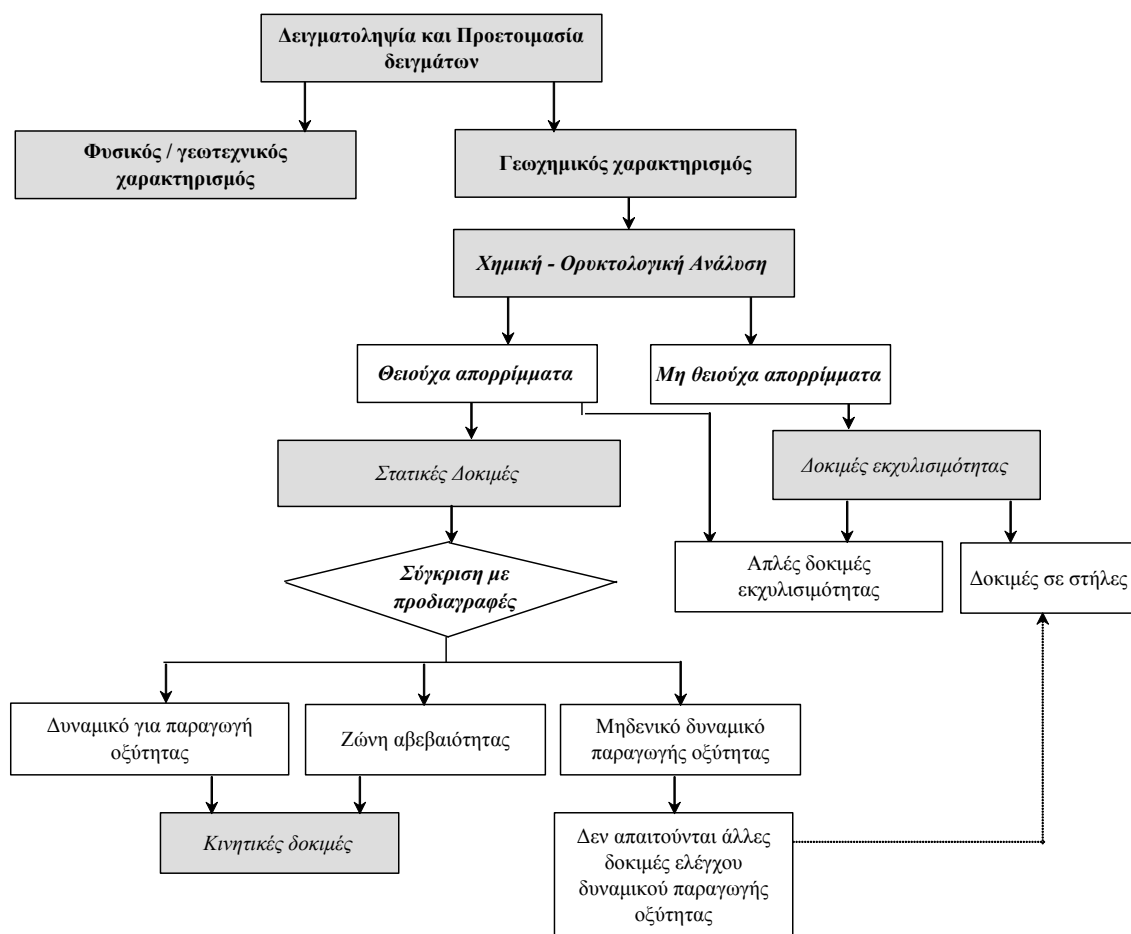
Το χημικό στοιχείο χρυσός (στα λατινικά *Aurum*) είναι ένα μέταλλο με ατομικό αριθμό 79 και ατομικό βάρος 196,966569. Έχει θερμοκρασία τήξης 1064,43 C° και θερμοκρασία βρασμού 2807 C°. Είναι μαλακό, πολύ ελατό και όλκιμο μέταλλο, μπορεί δηλαδή να γίνει (με κατεργασία) πάρα πολύ λεπτά φύλλα και λεπτά σύρματα. Θεωρείται το κατ' εξοχήν «ευγενές» μέταλλο, πράγμα που από χημική άποψη σημαίνει ότι έχει μεγάλη χημική αδράνεια, π.χ. δεν σκουριάζει (οξειδωση) και δεν προσβάλλεται από ισχυρά οξέα, με εξαίρεση το βασιλικό ύδωρ. Είναι, μαζί με τον χαλκό τα μοναδικά έγχρωμα μέταλλα. (Weiss N. L, 1985, Wills B. A, 1988)

Το χημικό στοιχείο Άργυρος ή Ασήμι είναι μέταλλο με σύμβολο Ag (λατινικά *argentum*, από την Ινδοευρωπαϊκή ρίζα *arg- για το "λευκό" ή το "λαμπερό") και ατομικό αριθμό 47. Είναι

μαλακό, λευκό, λαμπερό μέταλλο μετάπτωσης, (της 2ης κύριας σειράς), και έχει την υψηλότερη ηλεκτρική αγωγιμότητα από κάθε μέταλλο. Το μέταλλο βρίσκεται στην καθαρή, ελεύθερη μορφή του (αυτοφυής άργυρος), ως ένα κράμα με χρυσό και άλλα μέταλλα, και σε ορυκτά όπως ο αργεντίτης και ο χλωραργυρίτης. Ο περισσότερος άργυρος παράγεται ως παραπροϊόν επεξεργασίας ορυκτών του χαλκού, του χρυσού, του μολύβδου και του ψευδαργύρου (Weiss N. L, 1985; Wills B. A, 1988).

2.3.2 Θεωρητικό υπόβαθρο μεθόδων

Για την περιβαλλοντική ανάλυση των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκαν μελέτες χαρακτηρισμού τους μέσω διεθνών εργαστηριακών πρωτοκόλλων.



Εικόνα 2.5: Μεθοδολογία περιβαλλοντικού χαρακτηρισμού απορριμμάτων (Παπασιώπη κ.ά., 2009)

Για τον προσδιορισμό των γεωχημικών ιδιοτήτων, στις οποίες εστιάζεται κυρίως η εργασία αυτή, απαιτείται πέραν των χημικών και ορυκτολογικών αναλύσεων, η εκτέλεση μιας σειράς από περιβαλλοντικές δοκιμές, πρότυπες και μη. Οι δοκιμές αυτές έχουν αναπτυχθεί, κυρίως στις ΗΠΑ, Καναδά, Αυστραλία και σε χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, όπως Ολλανδία, Γερμανία κλπ. για το χαρακτηρισμό της επικινδυνότητας των στερεών αποβλήτων και τον προσδιορισμό των τρόπων διαχείρισής τους.

Παρόλη την έντονη ερευνητική δραστηριότητα στον τομέα διαχείρισης στερεών αποβλήτων και την ύπαρξη πολυάριθμων προτεινόμενων και θεσμοθετημένων εργαστηριακών δοκιμών, εντοπίζονται τα ακόλουθα προβλήματα:

Δεν είναι ακόμη σαφές ποιες δοκιμές πρέπει να εφαρμοστούν για την αξιόπιστη εκτίμηση της μακροπρόθεσμης περιβαλλοντικής συμπεριφοράς των μεταλλευτικών και μεταλλουργικών στερεών αποβλήτων.

Δεν υπάρχουν θεσμοθετημένα κριτήρια σε εθνικό και ευρωπαϊκό επίπεδο για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και τη λήψη αποφάσεων ως προς τον τρόπο διαχείρισης των μεταλλευτικών-μεταλλουργικών αποβλήτων και των πρακτικών αξιοποίησής τους σε εναλλακτικές χρήσεις και δευτερογενή προϊόντα.

Σε γενικές γραμμές υπάρχουν δύο βασικές **κατηγορίες περιβαλλοντικών δοκιμών χαρακτηρισμού** μεταλλευτικών και μεταλλουργικών απορριμμάτων:

α) δοκιμές πρόβλεψης του δυναμικού γένεσης όξινης απορροής μεταλλείων (OAM) που αφορούν την ειδική περίπτωση των απορριμμάτων που περιέχουν θειούχες ενώσεις.

β) δοκιμές εκχυλισιμότητας που έχουν αναπτυχθεί για την περιβαλλοντική αξιολόγηση ενός ευρέος φάσματος στερεών απορριμμάτων. (Clotadam, 2005)

Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγιναν δοκιμές μόνο για την δεύτερη κατηγορία και τα αποτελέσματα δίνονται στα κεφάλαια που ακολουθούν.

2.3.2 Διάγραμμα ροής επεξεργασίας στο εργοστάσιο

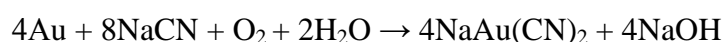
Σύμφωνα με όσα αναλύθηκαν προηγουμένως αλλά και με βάση ιστορικές καταγεγραμμένες αναφορές για το εργοστάσιο επεξεργασίας έγινε μια προσπάθεια ανάλυσης των μεταλλουργικών διεργασιών που πιθανότατα να ελάμβαναν χώρα για την παραγωγή χρυσοφόρων μεταλλευμάτων.

Η εξόρυξη του μεταλλεύματος γινόταν από μικρά κοιτάσματα κυρίως στις αποκαλύψεις των μεταλλείων θειούχων μεταλλευμάτων. Το πολύ πλούσιο μέταλλευμα εξαγόταν χωρίς επεξεργασία. Το φτωχότερο μέταλλευμα τύγχανε επεξεργασίας στο εργοστάσιο κύανωσης με εκχύλιση του χρυσού και του αργυρού και στην συνέχεια με καταβύθιση των πολύτιμων μετάλλων με την χρήση σκόνης ψευδαργύρου. Για την καλύτερη κατανόηση έγινε ο διαχωρισμός του διαγράμματος ροής σε τέσσερα στάδια (εικόνες 2.6 και 2.7) και περιγράφεται αναλυτικά:

1^ο στάδιο: κατά την διαδικασία της μηχανικής προπαρασκευής γινόταν η μεταφορά η θραύση και η κοσκίνιση και το αποδεκτό θραυσμένο μέταλλευμα ήταν σε τεμάχια μικρότερα των 150mm.

2^ο στάδιο: στην συνέχεια το μέταλλευμα έμπαινε σε σφαιρόμυλο άλεσης και εκεί του προσέθεταν κυανιούχο νάτριο και υδροξείδιο του ασβεστίου για αύξηση του pH ώστε να αποφευχθεί η δημιουργία υδροκυανίου (ισχυρό δηλητήριο). Στην συνέχεια οδηγείτο με αντλία πολφού σε υδροταξινομητή, όπου εκεί το πιο χονδρό μέταλλευμα (+)100μm επέστρεφε στον σφαιρόμυλο και το (-)100μm περνούσε για την επόμενη φάση.

3^ο στάδιο: το μέταλλευμα που είχε περάσει από τον υδροταξινομητή πήγαινε προς την πρώτη από τις τρεις δεξαμενές εκχύλισης με ανάδευση και εν συνεχεία στην δεύτερη και στην τρίτη όπου πραγματοποιείται η ακόλουθη αντίδραση:



(αντίδραση διάλυσης χρυσού περνάει από την στερεή φάση στην υγρή). Μετά την τρίτη δεξαμενή ανάδευσης το υλικό κατευθυνόταν στο σύστημα των παχυντών για την διάλυση και κατ'αντιροήν έκπλυση. Το σύστημα όπως φαίνεται και στο διάγραμμα αποτελούνταν από δύο παχυντές. Σκοπός τους ήταν να ληφθεί η υδατική φάση που είναι πλούσια σε χρυσό ώστε να

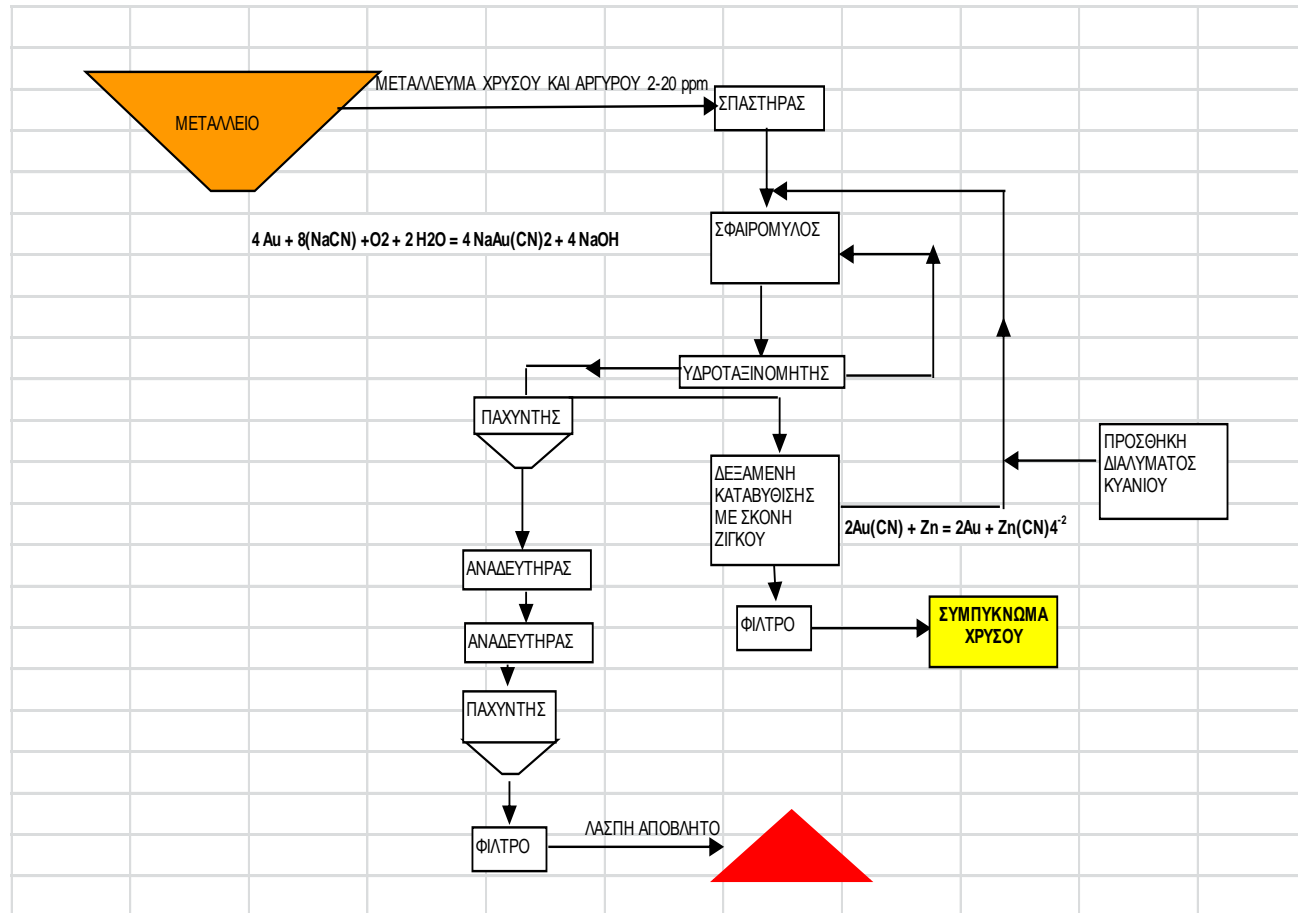
οδηγηθεί σε περαιτέρω διαδικασία και τα απορρίμματα (tailings) να οδηγηθούν σε σωρό τελμάτων απαλλαγμένα από υπολείμματα αντιδραστηρίων και χρυσού.

Όσον αφορά το σύστημα των παχυντών η διαδικασία ήταν ως εξής:

Κάθε παχυντής είχε μια υπερχείλιση και μία απορροή. Η υπερχείλιση του πρώτου είναι πιο πλούσια σε χρυσό και οδηγείται στο σύστημα απόκτησης του τελικού προϊόντος (χρυσός). Η απορροή με τη χρήση αντλίας πολφού οδηγούνται στον δεύτερο παχυντή για περαιτέρω διάλυση –έκπλυση. Και ακολούθως η υπερχείλιση του δεύτερου παχυντή οδηγείται στον πρώτο όπου μέσω της διάλυσης αυξάνεται η περιεκτικότητα σε χρυσό και η απορροή του 2^{ου} μέσω της αντλίας πολφού οδηγούσε στον σωρό τελμάτων.

4^ο στάδιο: στην συνέχεια η πλούσια σε χρυσό υπερχείλιση του 1^{ου} παχυντή οδηγείται σε δοχείο απαέρωσης CROW εκεί γινόταν προσθήκη σκόνης ψευδαργύρου Zn και νιτρικού μολύβδου Pd(NO)₃ και το διάλυμα κατευθυνόταν προς τον παχυντή ιζηματοποίησης Mairil Crown.

Τέλος η απορροή του παχυντή ιζηματοποίησης αποτελούμενη από το ίζημα χρυσού κ υγρασία οδηγείται σε φίλτρο τυμπάνου για αφαίρεση της υγρασίας , αυτή επέστρεφε πίσω στο παχυντή ως ανακυκλωμένο διάλυμα ενώ το ίζημα χρυσού αποτελούσε το τελικό προϊόν.



Εικόνα 2.6: Διάγραμμα ροής επεξεργασίας χρυσοφόρου μεταλλεύματος

(πηγή: HCM, Ελληνικά Μεταλλεία Χαλκού)



Εικόνα 2.7: Διάγραμμα ροής για επεξεργασία χρυσοφόρου μεταλλεύματος των δεκαετιών 1920-1930-1940 (πηγή: HCM, Ελληνικά Μεταλλεία Χαλκού)

2.4 Η ΠΑΡΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΠΙΘΑΝΕΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

Σήμερα, το εργοστάσιο επεξεργασίας του χρυσοφόρου μεταλλεύματος είναι εγκαταλελειμμένο εδώ και 70 χρόνια. Αναμφισβήτητα η ευρύτερη περιοχή του εργοστασίου έχει υποστεί σημαντική περιβαλλοντική επιβάρυνση τόσο κατά το στάδιο λειτουργίας του όσο και κατά την περίοδο εγκατάλειψής του καθώς δεν είχαν ληφθεί μέτρα αποκατάστασης και πρόληψης τυχόν περιβαλλοντικών επιπτώσεων των επεξεργασμένων και μη μεταλλευμάτων. Το εργοστάσιο έχει απογυμνωθεί πλήρως από τον εξοπλισμό του και οι κτιριακές εγκαταστάσεις έχουν υποστεί πλήρη κατάρρευση προκαλώντας σημαντική οπτική ρύπανση. Εκατέρωθεν του εργοστασίου υπάρχουνε σωροί τόσο μεταλλευτικών αποβλήτων (τέλματα) από τις μεταλλουργικές κατεργασίες όσο και μη επεξεργασμένου υλικού (στείρα) σχετικά μεγάλου ύψους και απότομης κλίσης με σοβαρή επιφανειακή διάβρωση και αυλάκια. Παράλληλα η οξύτητα των εδαφών παρεμποδίζει την δημιουργία φυσικής βλάστησης. Οι εργαστηριακές μέθοδοι που εκπονήθηκαν είχαν ως στόχο την εκτίμηση της περιβαλλοντικής κατάστασης χρήσιμες σε πιθανές εργασίες αποκατάστασης των σωρών για την πρόληψη του σχηματισμού όξινης απορροής.

Η όξινη απορροή μεταλλείων OAM είναι το αποτέλεσμα της οξειδωσης των θειούχων μεταλλευμάτων και αποβλήτων, όταν αυτά εκτίθενται στην συνδυασμένη δράση του νερού και του οξυγόνου. Θεωρείται το χειρότερο περιβαλλοντικό πρόβλημα που προκαλείται από τις μεταλλευτικές δραστηριότητες εξόρυξης άνθρακα, λιγνίτη και πολυμεταλλικών θειούχων μεταλλευμάτων (γαληνίτης, σφαλερίτης, αρσενοπυρίτης, σιδηροπυρίτης). Κύριες πηγές της OAM, οι οποίες συνήθως παραμένουν ενεργές για πολλές δεκαετίες μετά το πέρας της λειτουργίας των αντίστοιχων μονάδων, είναι οι επιφανειακές και υπόγειες μεταλλευτικές δραστηριότητες, οι σωροί υπερκείμενων και στείων και τα τέλματα εμπλουτισμού. Η OAM χαρακτηρίζεται από χαμηλό pH (1,5-3,5) και υψηλές συγκεντρώσεις τοξικών ιόντων με αποτέλεσμα να προκαλεί σημαντική περιβαλλοντική επιβάρυνση σε περίπτωση που έλθει σε επαφή με επιφανειακά και υπόγεια νερά ή με εδάφη. Από τους ανώτερες αποδέκτες είναι δυνατόν να προκληθεί σημαντική επιβάρυνση της υγείας των ανθρώπων και ζώων δια μέσου διαφόρων οδών έκθεσης στα τοξικά συστατικά, όπως βρώση, αναπνοή και δερματική επαφή ή διαμέσου κατανάλωσης νερών, αγροτικών προϊόντων και κρέατος. (Κοντόπουλος, 2000)

Με βάση όσα αναφέρθηκαν παραπάνω θεωρήθηκε αναγκαία η διερεύνηση της καταλληλότητας της χρήσεως γης καθώς χρησιμοποιείται από τους κατοίκους για καλλιέργεια καθώς και η ανίχνευση βαρέων μετάλλων επικίνδυνων για τον ανθρώπινο οργανισμό. Τέλος, σημαντική

παράμετρος για την κατάλληλη επιλογή των μεθόδων που ακολουθούν, στο επόμενο κεφάλαιο, ήταν η διερεύνηση της επίδρασης των όξινων απορροών στα ιζήματα και τα νερά παρακείμενου ρυακιού δεδομένου ότι το νερό αυτό χρησιμοποιείται για άρδευση και καταλήγει σε φράγμα της περιοχής.



Εικόνα 2. 8: Διαβρωμένοι σωροί θειούχων τελμάτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το εργοστάσιο επεξεργασίας χρυσοφόρου μεταλλεύματος περιλαμβάνει βασικές τοποθεσίες όπου χρειαζόταν να ληφθούν δείγματα για διερεύνηση ρύπανσης από βαρέα μέταλλα. Με τον όρο ρύπανση εννοείται η παρουσία στο έδαφος επικίνδυνων ουσιών που οφείλονται στην ανθρώπινη δραστηριότητα και όχι σε φυσικές διεργασίες. Συγκεκριμένα γίνεται ανάλυση των ανόργανων ρύπων (βαρέα μέταλλα, κυανιόντα) δεδομένου ότι οι παρουσίες τους στα εδάφη σχετίζεται με τις μεταλλευτικές και μεταλλουργικές δραστηριότητες. (Παπασιώπη, 2010)

Μερικές από αυτές τις τοποθεσίες είναι ο χώρος του ίδιου του εργοστασίου, οι σωροί τελμάτων και στείρων που το περιβάλλουν και του ποταμού ακριβώς από κάτω του. Για το πειραματικό μέρος της εργασίας λήφθηκαν στερεά και υγρά δείγματα από όλες αυτές τις περιοχές. Συνολικά πάρθηκαν από το χώρο του εργοστασίου και την γύρω περιοχή 17 εδαφικά δείγματα (15 + 2 επαλήθευσης) και 2 υγρά (εικόνα 3.1) δείγματα τα οποία στην συνέχεια υπέστησαν επεξεργασία και αναλύθηκαν βάση πρότυπων εργαστηριακών μεθόδων.

3.2 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ

3.2.1 Εδαφική δειγματοληψία

Για τον χαρακτηρισμό της υπό μελέτης περιοχής, λήφθηκαν δείγματα εδάφους σε επιλεγμένα σημεία που είχαν προκαθοριστεί με βάση την τοπογραφία, την γεωλογία της περιοχής αλλά και το μεταλλευτικό της ιστορικό. Τα δείγματα ελήφθησαν από βάθος 0-10cm και 10-20cm. Οι συντεταγμένες των σημείων δειγματοληψίας προσδιορίστηκαν με GPS (σύστημα συντεταγμένων UTM WGS84) και τοποθετήθηκαν σε χάρτη όπου τους δόθηκε αύξον αριθμός από το 1 μέχρι το 15 (εικόνα 3.1 και πίνακας 3.1). Για τα εδαφικά δείγματα η δειγματοληψία έγινε σε δύο χρονικές περιόδους (12/3/2012 και η δεύτερη στις 26/3/2012) καθώς και άλλη μια στις 3/8/2012 για επαλήθευση κάποιων αποτελεσμάτων στην μέθοδο κυανίου (σημεία 16,17), ώστε να μπορέσει να υπάρξει μια πιο σαφής εικόνα της περιβαλλοντικής κατάστασης εκμεταλλευόμενοι τις διαφορετικές κλιματολογικές συνθήκες (διαφορά θερμοκρασίας, έντονες βροχοπτώσεις κλπ).

Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε και στον τρόπο λήψης των δειγμάτων, έτσι ώστε να αποφευχθεί ρύπανση τους από βαρέα μέταλλα, για το λόγο αυτό τα εργαλεία και τα δοχεία δειγματοληψίας που χρησιμοποιήθηκαν ήταν μη μεταλλικά. (εικόνα 3.2) Στην συνέχεια, κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας τα δείγματα χαρακτηρίζονταν με βάση την τοποθεσία τους, την οπτική παρατήρηση και το γεωλογικό περιβάλλον στο οποίο βρίσκονταν (εικόνα 3.3 και πίνακας 3.1).

Βάση των παραπάνω, τα εδαφικά δείγματα κατανέμονται σε 5 ομάδες:

Ομάδα εργοστασίου: αποτελείται από τα δείγματα 1,2 και 3 τα οποία συλλέχθηκαν εντός του χώρου του εργοστασίου.

Ομάδα στείρων υλικών : περιλαμβάνει τα δείγματα 4,5,6 και 7 τα οποία συλλέχθηκαν από τους όγκους των στείρων νότια του εργοστασίου.

Ομάδα τελμάτων: αποτελείται από τα δείγματα 8 και 9 τα οποία λήφθηκαν από τον σωρό των θειούχων απορριμμάτων, που βρίσκονται χαμηλότερα από το τμήμα του εργοστασίου.

Ομάδα καλλιεργήσιμης γης: σε αυτήν την ομάδα ανήκουν τέσσερα δείγματα τα οποία συλλέχθηκαν εντός καλλιεργήσιμων εκτάσεων. Η περιοχή δειγματοληψίας 10 και 11 βρίσκεται βόρεια του εργοστασίου σε απόσταση 100 μέτρων ενώ οι περιοχές 12 και 13 βρίσκονται νότια του εργοστασίου σε μικρή απόσταση από τους σωρούς μπαζών.

Ομάδα ποταμού: στην ομάδα αυτή ανήκουν τα δείγματα 14 και 15 τα οποία συλλέχθηκαν από τη κοίτη του παρακείμενου ποταμού.



Εικόνα 3. 1: Σημεία δειματοληψίας στερεών και υγρών δειγμάτων



Εικόνα 3. 2: Εργαλεία δειγματοληψίας



Εικόνα 3. 3: Επί τόπου καταγραφή και περιγραφή δειγμάτων

Πίνακας 3. 1: Γενική περιγραφή των δειγμάτων {*περιγράφονται με βάση την εικόνα 3.1 τα εδαφικά δείγματα από 1-15, τα 16,17 είναι δείγματα επαλήθευσης για κάποιες μεθόδους}

ID	Περιγραφή Ζώνης	Περιοχή δείγματος	Βάθος	Χρώμα	Περιγραφή δείγματος
1	χωματώδης περιοχή κοντά στο εργοστάσιο	χωμάτινο έδαφος	10 cm	καστανοκαφέ	Ιλυώδης άργιλος, με υπολείματα σιδηροπυρίτη και οξειδώσεις σιδήρου. Εντοπίστηκαν καολινίτης, ιλλίτης και χαλαζίας
2	χωματώδης περιοχή κοντά στο εργοστάσιο	χωμάτινο έδαφος	20 cm	καστανοκαφέ	Ιλυώδης άργιλος, με υπολείματα σιδηροπυρίτη και οξειδώσεις σιδήρου. Εντοπίστηκαν καολινίτης, ιλλίτης και χαλαζίας
3	δεν υπάρχει μεγάλη βλάστηση	δειγματοληψία εντός του χώρου του εργοστασίου	5 cm	κοκκινοκαφέ	Αμμώδης ιλύς με λίγη άργιλο και έντονη μυρωδιά χόματος
4	υπάρχει βλάστηση στην γύρω περιοχή ,λουλούδια	κάτω από την δεξαμενή	10 cm	γκρίζο	Αποσαθρωμένη λάβα: Λεπτόκοκκη μέχρι μεσόκοκκη αργιλώδης άμμος. Εντοπίστηκαν μαύρος βασάλτης, ζεόλιθοι και ασβεστίτης.
5	υπάρχει βλάστηση στην γύρω περιοχή ,λουλούδια	κάτω από την δεξαμενή	20 cm	γκριζόμαυρη	Αποσαθρωμένη λάβα: Μεσόκοκκη αργιλώδης άμμος με οξειδώσεις λειμωνίτη. Εντοπίστηκαν μαύρος βασάλτης, μεγάλο ποσοστό ζεόλιθων και και κόκκινη ίασπις.
6	πυκνή βλάστηση με καλαμιές	δείγμα από χώμα στα πλάγια του ρυάκι σαν αποροή από δεξαμενή	10 cm	καστανολαδί	Χαλαρή λεπτόκοκκη άμμος με οξειδώσεις κυρίως λιμονίτη. Εντοπίστηκαν μαύρη βασαλτική λάβα, ασβεστίτης, ζεόλιθοι, χαλαζίας, καολινίτης, ιλλίτης, και πιθανό νατρόλιθος.
7	πυκνή βλάστηση με καλαμιές	δείγμα από χώμα στα πλάγια του ρυάκι σαν αποροή από δεξαμενή	20 cm	καστανολαδί	Χαλαρή λεπτόκοκκη άμμος με μεσόκοκκες ψηφίδες υφαλογενή ασβεστολίθου. Εντοπίστηκαν μαύρη βασαλτική λάβα, ασβεστίτης, ζεόλιθοι, κόκκινη και πράσινη ίασπις.
8	ξηρό τοπίο από τους σωρούς κα την μεταλλευτική δραστηριότητα	σωροί κάτω από το εργοστάσιο	10 cm	καστανοκαφέ	Ιλυώδης άργιλος με οξειδώσεις σιδήρου (λιμονίτη, ιαρουσίτη) και έντονη οσμή θείου. Εντοπίστηκαν καολινίτης, ιλλίτης, χαλαζίας.
9	ξηρό τοπίο από τους σωρούς κα την μεταλλευτική δραστηριότητα	σωροί κάτω από το εργοστάσιο	20cm	καστανοκαφέ	Ιλυώδης άργιλος με οξειδώσεις σιδήρου (λιμονίτη, ιαρουσίτη) και έντονη οσμή θείου. Εντοπίστηκαν καολινίτης, ιλλίτης, χαλαζίας.
10	επιφανειακή φυτική γή	χωμάτινες καλλιέργειες	10 cm	καστανό	Λεπτόκοκκη Ιλυώδης Άμμος με μικρές ψηφίδες υφαλογενή ασβεστολίθου και φυτικές ρίζες. Εντοπίστηκαν χαλαζίας, ασβεστίτης και μαύρη βασαλτική λάβα
11	επιφανειακή φυτική γή	χωμάτινες καλλιέργειες	20 cm	καστανό	Λεπτόκοκκη Ιλυώδης Άμμος με μικρές ψηφίδες υφαλογενή ασβεστολίθου και φυτικές ρίζες. Εντοπίστηκαν χαλαζίας, ασβεστίτης και μαύρη βασαλτική λάβα

12	ποτάμιες αποθέσεις	πιθανή λίμνη τελμάτων	10 cm	καστανολαδί	Χαλαρή λεπτόκοκκη άμμος με μεσόκοκκες λεπτές ψηφίδες υφαλογενή ασβεστολίθου. Εντοπίστηκαν μαύρη βασαλτική λάβα, ασβεστίτης, ζεόλιθοι, κόκκινη ίασις.
13	ποτάμιες αποθέσεις	πιθανή λίμνη τελμάτων	20 cm	καστανολαδί	Χαλαρή λεπτόκοκκη άμμος με μεσόκοκκες λεπτές ψηφίδες υφαλογενή ασβεστολίθου και οξειδώσεις σιδήρου (κυρίως λειμωνίτη) . Εντοπίστηκαν μαύρη βασαλτική λάβα, ασβεστίτης, ζεόλιθοι, κόκκινη ίασις.
14	πυκνή βλάστηση με καλαμιές	χώμα στα πλάγια του ρυάκι	10 cm	σκουρό καστανό	Λεπτόκοκκη πλαστική ιλυώδης άργιλος, με παρουσία οργανικών ουσιών (ρίζες και ριζίδια). Εντοπίστηκαν ιλλίτης, καολινίτης, μοντμοριλονίτης, ασβεστίτης, χαλαζίας.
15	πυκνή βλάστηση με καλαμιές	χώμα στα πλάγια του ρυάκι	10 cm	σκουρό καστανό	Λεπτόκοκκη πλαστική ιλυώδης άργιλος, με παρουσία οργανικών ουσιών (ρίζες και ριζίδια). Εντοπίστηκαν ιλλίτης, καολινίτης, μοντμοριλονίτης, ασβεστίτης, χαλαζίας.

3.2.2 Λήψη υγρών δειγμάτων

Τα δύο υγρά δείγματα (θέσεις 18 και 19) ελήφθησαν από το ρυάκι του ποταμού κάτω από το εργοστάσιο και από τις εκβολές των σωρών των θειούχων τελμάτων, σημειώνεται ότι η δειγματοληψία αυτών των δειγμάτων έγινε κατά την περίοδο βροχοπτώσεων. Η δειγματοληψία και η συντήρηση των δειγμάτων έγινε σύμφωνα με πρότυπες μεθόδους (US-EPA-600/4-82-029, 1982). Συγκεκριμένα, τα δείγματα εισήχθησαν σε πλαστικά μπουκάλια του ενός λίτρου και έγινε επι τόπου μέτρηση του pH τους (εικόνα 3.4). Στη συνέχεια, οξινίστηκαν σε pH 2 (με π. HNO_3) και αποθηκεύτηκαν σε ψυγείο θερμοκρασίας $<4^\circ\text{C}$.



Εικόνα 3. 4: Απεικόνιση περιοχής δειγματοληψίας δειγμάτων 18 και 19

3.2 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΣΤΕΡΕΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

Για την προετοιμασία των στερεών δειγμάτων ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία:

- τα δείγματα αρχικά ξηράθηκαν για περίπου ένα εικοσιτετράωρο σε φούρνο ξήρανσης 70 βαθμών κελσίου αφού πρώτα διαχωρίστηκαν σε ικανοποιητική ποσότητα.
- η διαιρεμένη ποσότητα μετά τον τετραμερισμό εισήχθηκε σε συσκευή άλεσης από αχάτη με την ονομασία: Fitch Laboratory Vibrating Disc Mill (“pulverisette 9”). Ο αχάτης 99,9% SiO_2 χρησιμοποιήθηκε ως μέσο λειοτρίβησης για την αποφυγή ρύπανσης από βαρέα μέταλλα των δειγμάτων μας. Μετά την λειοτρίβηση τα δείγματα κοσκινίστηκαν σε κόσκινο 0,125 mm ώσπου να παρθεί η απαιτούμενη πουδραρισμένη ποσότητα από κάθε δείγμα και στην συνέχεια αποθηκεύτηκαν σε πλαστικές σακούλες.



Εικόνα 3.5 :
Συσκευή δονούμενης λειοτριβίσης με αχάτη Fritch Vibrating Cup Mill (“pulverisette 9”),



Εικόνα 3. 6:
Δοχείο λειοτριβίσης από αχάτη Vibrating Cup Mill



Εικόνα 3. 7:
Μηχανή λειοτριβίσης με αχάτη Agate 99.9% SiO₂ grinding set

3.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

3.3.1 Μέτρηση pH πολφού (Μέθοδος 9045C, U.S. EPA SW-846)

Η μέθοδος 9045 είναι μια διαδικασία μέτρησης pH σε δείγματα εδαφών και στερεών αποβλήτων. Τα απόβλητα που εξετάζονται με τη μέθοδο αυτή μπορεί να είναι στερεά, λάσπες, ή μη υδατικά υγρά δείγματα. Το δείγμα αναμιγνύεται με απιονισμένο νερό σε αναλογία 1:1 και μετράται το pH του διαλύματος που προκύπτει.

Αναλυτικότερα σε ποτήρι ζέσεως των 50-mL τοποθετήθηκαν 20 gr δείγματος και προστέθηκαν 20 mL απιονισμένου νερού. Ακολούθως το μίγμα τοποθετήθηκε σε αναδευτήρα έτσι ώστε το αιώρημα να αναδεύεται συνεχόμενα επί 5 λεπτά.

Στην συνέχεια το μίγμα αφέθηκε σε ηρεμία για 1 ώρα και η μέτρηση του pH έγινε στο υπερκείμενο διάλυμα.



Εικόνα 3. 8: Όργανο μέτρησης pH, consort C864

3.3.2 Μέθοδος ανάλυσης XRF

Το (XRF) φασματόμετρο είναι ένα όργανο που χρησιμοποιείται για τη συνήθη, σχετικώς μη καταστρεπτική χημική ανάλυση των πετρωμάτων, ορυκτών, ιζημάτων και υγρών. Είναι ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος για την ανάλυση των ιχνοστοιχείων σε πετρώματα, ορυκτά, και ιζήματα. Στα στερεά δείγματα από 1-15 έγιναν μετρήσεις με φασματοσκόπιο φθορισμού ακτινών X (XRF). Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε ήταν τύπου Niton XL3E, GOLD D+, της ThermoScientific. Οι μετρήσεις έγιναν στο μεταλλείο της Σκουριώτισσας. Εντοπίστηκαν συνολικά 23 στοιχεία.

Αρχικά έγινε η επεξεργασία των δειγμάτων στο εργαστήριο όπως περιγράφηκε στην ενότητα 3.2 και στην συνέχεια έγινε η μέτρηση τους από το όργανο σε μορφή πούδρας, ώστε να είναι όσο το δυνατόν πιο ομογενοποιημένα για ακριβείς μέτρηση.

Το XRF είναι ιδιαίτερα κατάλληλο για τις έρευνες που αφορούν:

χημικές αναλύσεις των μεγάλων στοιχείων (Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, P).

χημικές αναλύσεις των ιχνοστοιχείων (> 1 ppm, Ba, Ce, Co, Cr, Cu, Ga, La, Nb, Ni, Rb, Sc, Sr, Rh, U, V, Y, Zr, Zn).

3.3.3 Μέθοδος SPLP (synthetic precipitation leaching procedure)

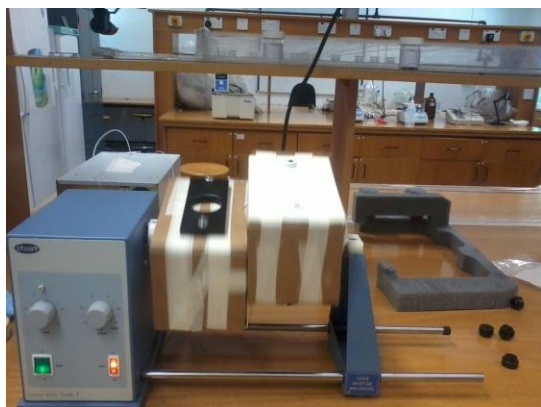
Μολονότι οι περιβαλλοντικές μελέτες που σχετίζονται με τη διαχείριση των μεταλλευτικών απορριμμάτων εστιάζονται κυρίως στο θέμα της όξινης απορροής, η εκχυλισσιμότητα των μετάλλων αποτελεί ένα άλλο σημαντικό περιβαλλοντικό πρόβλημα το οποίο δεν συνδυάζεται πάντα άμεσα με τη γένεση της όξινης απορροής. Έχουν αναπτυχθεί διεθνώς πολυάριθμες πρότυπες και μη δοκιμές εκχυλισσιμότητας, με τις οποίες επιδιώκεται η πρόβλεψη της συμπεριφοράς των υλικών κάτω από διαφορετικά σενάρια.

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος SPLP (EPA Method 1312, U.S. Environmental Protection Agency, 1986, update 1994) προσομοίωση όξινης βροχής και μετρήθηκαν οι συγκεντρώσεις των στοιχείων Cu, Fe, Zn, As, Cr, Pb, Mn με φασματοσκοπία επαγωγικά συζευγμένου πλάσματος ICP- OES.

Η μέθοδος που ακολουθήθηκε ήταν η εξής:

- Αρχικά ζυγίστηκαν 2,5gr στερεού δείγματος.
- Στην συνέχεια προστέθηκαν 50mL διαλύματος εκχύλισης (60/40 w/w H₂SO₄/HNO₃, pH 4.2±0.0 σε πλαστικά μπουκαλάκια (αναλογία στερεού/υγρού 1:20).
- Ακολούθως η φιάλη με το δείγμα σφραγίστηκε προσεκτικά και τοποθετήθηκε στον αναδευτήρα πλήρους περιστροφής. Ο αναδευτήρας ρυθμίστηκε στις 30±2 στροφές ανά λεπτό για 18±2 ώρες συνεχούς ανάδευσης. .
- Στη συνέχεια το δείγμα διηθείτε για συλλογή του υγρού διαλύματος. Η διαδικασία της διήθησης έγινε με φίλτρα GF/F (glass Microfibre Filters) 25mm.
- Η διαδικασία αυτή επαναλήφθηκε και για τα 15 δείγματα επι δύο φορές και στην συνέχεια έγινε μέτρηση των περιεχόμενων μετάλλων σε συσκευή ICP-OES (Teledyne Leeman Labs) prism ICP high dispersion.

Τέλος θα πρέπει να αναφερθεί ότι η SPLP παρέχει μια πιο ρεαλιστική εκτίμηση της κινητικότητας των μετάλλων υπό συνθήκες βροχής. Ακόμη έχει αποδειχθεί από μελέτες ότι η συγκεκριμένη μέθοδος μπορεί να δώσει σχετικά ακριβή αποτελέσματα για επιλεγμένα μέταλλα και απόβλητα όπως το νάτριο, το κάλιο, το ασβέστιο και το μαγνήσιο (Townsend, Jang and Tolaymant 2003a) αρσενικού, μολύβδου και ψευδαργύρου στο έδαφος (Lackovic et al 1997) και υποεκτιμά την εκχυλισσιμότητα του χρωμίου στα εδάφη (Lackovic et al 1997).



Εικόνα 3.9: Όργανα μέτρησης εκχυλισσιμότητας μετάλλων

3.3.4 Μέθοδος μέτρησης κυανίου (EPA – SW-846Q Method 9013A)

Η συγκεκριμένη διαδικασία εκχύλισης που περιγράφεται σε αυτήν την μέθοδο έχει σχεδιαστεί για την εξαγωγή διαλυτών και αδιάλυτων κυανίων από στερεά δείγματα.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν η εξής:

- Αρχικά τοποθετήθηκαν σε πλαστική φιάλη χωρητικότητας 1L 250 ml H₂O και 2,5 mL NaOH (καυστικό νάτριο)
- Στην συνέχεια ζυγίστηκε μια αντιπροσωπευτική ποσότητα των 12,5g από το δείγμα προς μέτρηση και τοποθετήθηκε στην φιάλη.
- Το pH του εκχυλίσματος πρέπει να διατηρείται μεταξύ 4.5-8 κατά την διάρκεια της εκχύλισης και ακολούθως της διήθησης. Δεδομένου ότι κάποια δείγματα μπορεί να απελευθερώσουν οξύ το pH ρυθμίζεται με προσθήκη αραιού καυστικού νατρίου NaOH (αύξηση του pH) ή πυκνού θειικού οξέος H₂SO₄ (μείωση τιμής pH).
- Ακολούθως τοποθετήθηκε το μπουκάλι στον παλινδρομητή (stuart,rotator drive,STR4) ώστε να αναδεύεται για 16h.
- Μετά το τέλος της εκχύλισης τα δείγμα διηθείτε και το υγρό διάλυμα χρησιμοποιείτε για να υπολογιστεί η περιεχόμενη συγκέντρωση κυανίου.

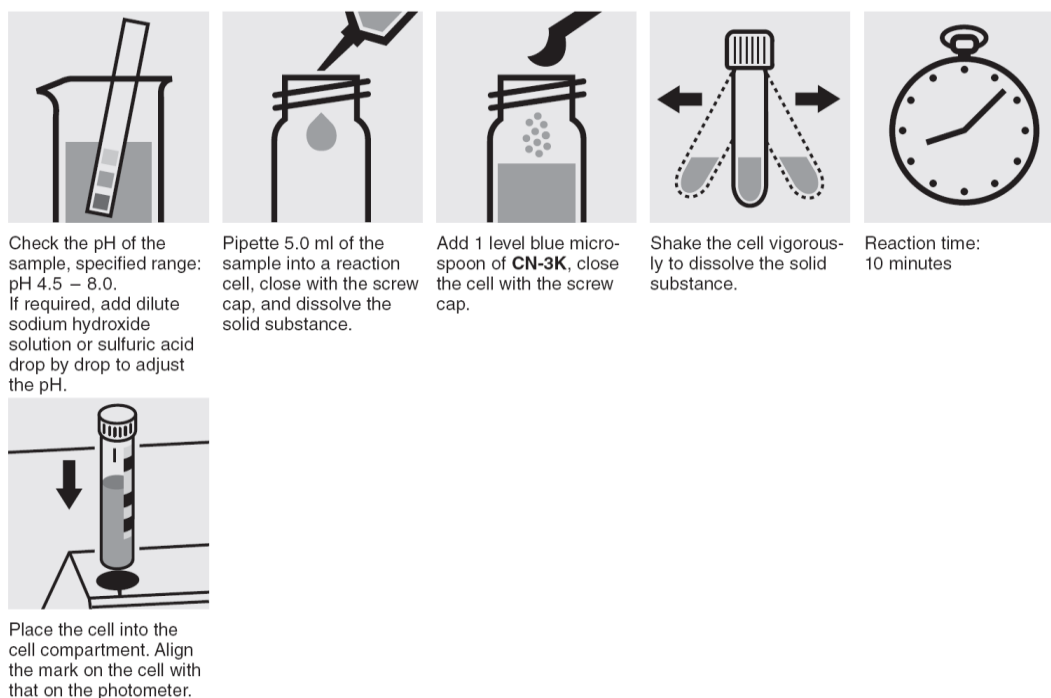
Η μέτρηση του περιεχόμενου κυανίου γίνεται με χρήση του **Spectroquant** Spectrophotometer Pharo 100 και της μεθόδου, Method: 114561, Cell Test. Στην συγκεκριμένη μέθοδο, γίνεται προσδιορισμός

(A) Ελεύθερου κυανίου (Determination of free cyanide)

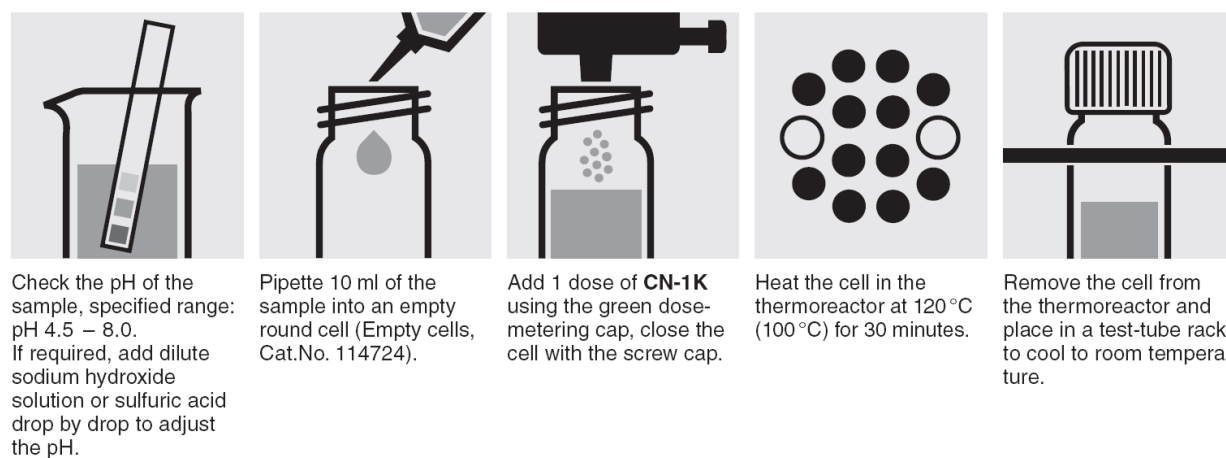
(B) Κυανίου άμεσης απελευθέρωσης (Determination of readily liberated cyanide)

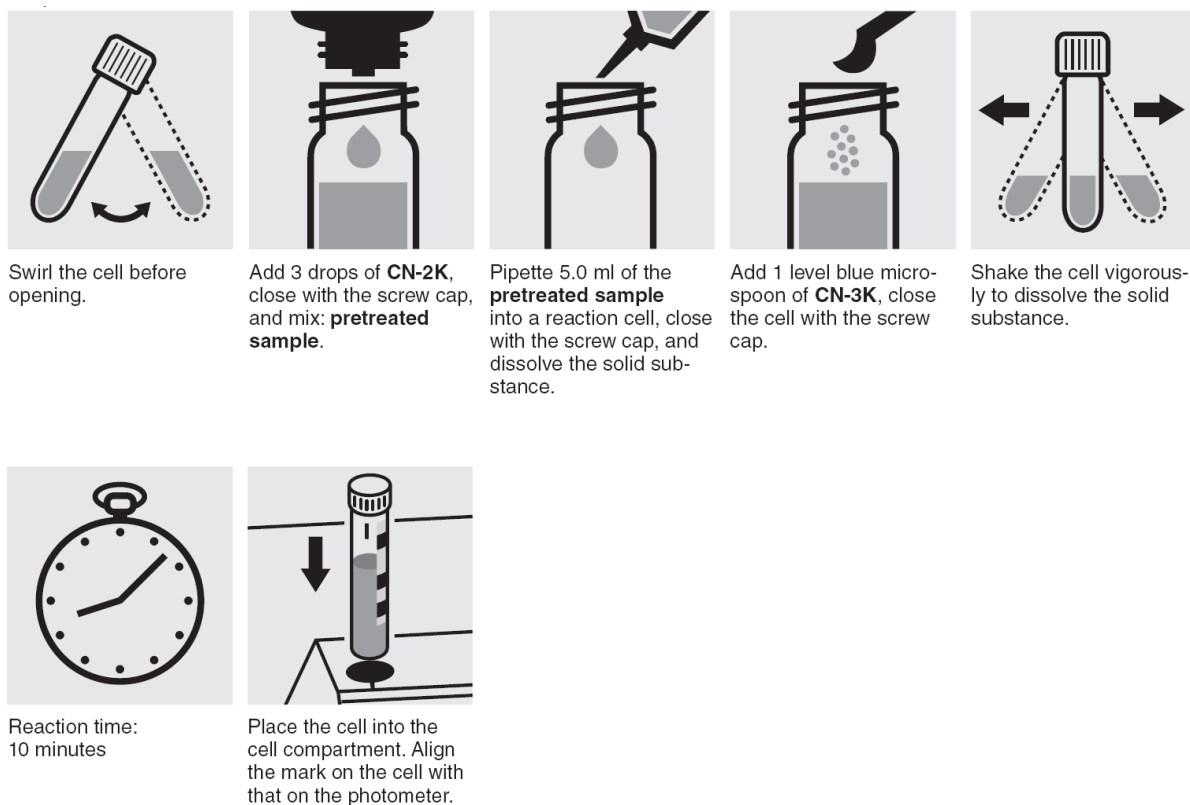
Το όριο μέτρησης της συγκεκριμένης μεθόδου είναι από 0.010 μέχρι 0.500 mg/l CN. Αναφέρεται ότι στον προσδιορισμό των free liberated cyanide προηγείται χώνευση του δείγματος για 30min στους 100°C.

Σημειώνεται ότι δεν μετρήθηκαν και τα 15 δείγματα αλλά μερικά από αυτά ύστερα από επιλογή με βάση την τοποθεσία τους και το ιστορικό του εργοστασίου.



Εικόνα 3.10: Διαδικασία προσδιορισμού ελεύθερου κυανίου (πηγή: EPA – SW-846Q Method 9013A)





Εικόνα 3.11 : Διαδικασία προσδιορισμού κυανίου άμεσης απελευθέρωσης(EPA – SW-846Q Method 9013A)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την πειραματική διαδικασία βάση των μεθόδων που ακολουθήθηκαν στο Κεφάλαιο 3. Τα αποτελέσματα αξιολογήθηκαν βάση προτύπων και νομοθεσιών από την διεθνή βιβλιογραφία. Απουσία μιας Ευρωπαϊκής νομοθεσίας όπως αυτής των EQS (Environmental Quality Standards, 2006) για το έδαφος, χρησιμοποιήθηκαν όρια μεμονωμένων χωρών.

4.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΛΑΦΙΚΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

4.2.1 pH Στερεών Δειγμάτων

Στον πίνακα 4.1 δίνονται αναλυτικά τα αποτελέσματα των μετρήσεων που έλαβαν χώρα στο εργαστήριο για την μέτρηση του pH των δειγμάτων. Ο πίνακας αυτός περιλαμβάνει τον μέσο όρο των δύο μετρήσεων τιμής pH που έγινε για κάθε δείγμα. Για τα αποτελέσματα της μέτρησης του pH, χρησιμοποιήθηκε η παραδοχή από τον Καναδά ότι τα αποδεκτά όρια είναι 6-8 για κάθε χρήση γης (Canadian Environmental Quality Guidelines, 2007), πίνακας 4.2.

Τα δείγματα παρουσίασαν ένα εύρος τιμών από 2 έως 8.7. Συγκεκριμένα, τα δείγματα που πάρθηκαν εντός του εργοστασίου (1,2,3) έδωσαν όξινες τιμές από 3.4 έως 5.4. Ισχυρά όξινες τιμές pH έδωσαν τα δύο δείγματα (8,9) από τους σωρούς τελμάτων με τιμές 1.97 και 2.0. Τα υπόλοιπα δείγματα ήταν ουδέτερα προς βασικά καθώς κυμάνθηκαν σε τιμές από 7.7-8.7. Τα δείγματα αυτά αφορούν τα δείγματα 4-7 και 10-15.

Με βάση τα αποτελέσματα των μετρήσεων του pH στα δείγματα, οι πλειοψηφία των τιμών είναι αποδεκτές με εξαίρεση τα δείγματα 1,2,3 και 8,9 τα οποία παρουσιάζονται ιδιαίτερα όξινα. Τα αποτελέσματα αυτά μπορούν να θεωρηθούν αναμενόμενα δεδομένου της θέσεως των δειγμάτων καθώς τα 1,2,3 είναι εδαφικά δείγματα μέσα στο εργοστάσιο στην πηγή δηλαδή της μεταλλουργικής δραστηριότητας και τα δείγματα 8,9 είναι στους σωρούς των θειούχων μεταλλευτικών αποβλήτων. Οι θειούχες ενώσεις με την παρουσία του νερού δημιουργούν όξινες θειικές ρίζες οι οποίες σε συνδυασμό με το νερό της βροχής σχηματίζουν διαλύματα με χαμηλό pH ικανά να διαλύσουν και να διατηρήσουν σε διαλυτή μορφή μέταλλα και ενώσεις τα οποία βρίσκονται στο έδαφος.

Πίνακας 4. 1: Αποτελέσματα pH, εδαφικών δειγμάτων

Δείγματα	pH	°C
1	3.409	24.3
2	3.278	25.0
3	5.479	24.6
4	8.635	24.4
5	8.740	24.2
6	8.523	24.7
7	8.431	24.7
8	2.007	25
9	1.972	24.7
10	7.817	25.2
11	7.840	24.4
12	8.585	24.7
13	8.424	24.8
14	7.733	24.7
15	7.729	24.6

Πίνακας 4.2: Καναδικά περιβαλλοντικά όρια (Canadian Environmental Quality Guidelines, 2007)

Χρήση γης	Αγροτική	Οικιστική	Εμπορική	Βιομηχανική
pH	6 έως 8	6 έως 8	6 έως 8	6 έως 8

4.2.2 Αποτελέσματα XRF

Στον πίνακα 4.3 δίνονται τα αποτελέσματα ανάλυσης XRF. Τα δείγματα αναλύθηκαν για 23 διαφορετικά στοιχεία, δέκα από τα οποία παρουσιάζονται στον πίνακα 4.3. συγκρινόμενα με διεθνή πρότυπα. Τα διεθνή πρότυπα που χρησιμοποιήθηκαν για σκοπούς σύγκρισης είναι, τα Ολλανδικά (The Ministry of Housing, 2000) και Καναδικά (Canadian Environmental Quality Guidelines, 2007) όρια εδαφών. Στα Ολλανδικά όρια η σύγκριση των τιμών έγινε με βάση την ανώτατη επιτρεπτή συγκέντρωση ενώ για του Καναδά τα όρια αφορούν τις χρήσεις γής: αγροτική, οικιστική και βιομηχανική, αφού αυτές αφορούν την περιοχή μελέτης.

Η επιλογή των 10 στοιχείων έγινε για λόγους σύγκρισης με τα διαθέσιμα περιβαλλοντικά όρια. Στο παράρτημα δίνεται αναλυτικός πίνακας και με τα 23 στοιχεία που μετρήθηκαν. Αυτά τα στοιχεία θεωρούνται “βαρέα μέταλλα”, με τον όρο αυτόν περιγράφεται μια ομάδα μετάλλων που σχετίζονται με ρύπανση και δυνητική τοξικότητα. Πρόκειται για μέταλλα, των οποίων η πυκνότητα είναι μεγαλύτερη από 6g/cm^3 ή έχουν ειδικό βάρος >5 . Ο όρος χρησιμοποιείται συνήθως για τα ακόλουθα μέταλλα: μόλυβδος, νικέλιο, χρώμιο, κάδμιο, χαλκός, ψευδάργυρος, βηρύλλιο, αρσενικό και υδράργυρος. Θεωρούνται τοξικά, καθώς έχουν δυσμενείς επιπτώσεις στους οργανισμούς ακόμη και όταν βρίσκονται σε χαμηλές συγκεντρώσεις. Οι εν λόγω ουσίες είναι μη βιοδιασπώμενες, δηλαδή δεν διασπώνται και δεν αποβάλλονται από τον οργανισμό, με αποτέλεσμα να συσσωρεύονται και να βρίσκονται τελικά σε υψηλές συγκεντρώσεις (Duffus JH., 2002).

Πίνακας 4.3: Αποτελέσματα XRF και όρια σύγκρισης

Στοιχεία	Καναδάς				Ολλανδία	Μετρήσεις του XRF ppm														
	Αγροτική	Οικιστική	Βιομηχανική	Ανότατη επιτρεπτή συγκέντρωση	Δείγματα															
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
As	12	12	12	55	*LOD	LOD	30	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	330	390	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD
Ag	20	20	40	-	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD
Cu	63	63	91	190	260	170	390	110	130	140	130	1280	1400	80	80	520	110	110	270	
Co	40	50	300	240	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	930	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD
Cr	0.4	0.4	1.4	380	410	340	390	320	210	320	350	480	560	10	120	290	330	370	LOD	
Mo	5	10	40	200	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	40	50	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD
Ni	50	50	50	210	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD
Pb	70	140	260	530	LOD	LOD	30	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	450	450	LOD	LOD	LOD	LOD	20	LOD
Se	1	1	2.9	-	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	420	540	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD
Zn	200	200	360	720	100	80	560	70	40	80	80	1060	910	70	60	380	60	80	250	

* ο συμβολισμός LOD αντιπροσωπεύει το όριο μέτρησης του οργάνου που είναι τα 10 ppm

Ακολουθώντας τον τρόπο ομαδοποίησης των δειγμάτων που παρατέθηκε στο κεφάλαιο 3 παράγραφος 3.2.1 γίνεται και η ανάλυση των μετρήσεων του οργάνου XRF.

Συγκεκριμένα για τα δείγματα της ομάδας του εργοστασίου (1,2,3) παρατηρήθηκαν χαμηλές συγκεντρώσεις για τα μέταλλα αρσενικό, άργυρο, κοβάλτιο, μολυβδαίνιο, νικέλιο, και σελήνιο. Στο δείγμα 3 μετρήθηκε (30 ppm) αρσενικό, το οποίο είναι πάνω από τα όρια επικινδυνότητας για τον Καναδά και για τις τρεις χρήσεις γης ενώ μετρήθηκε υψηλότερη τιμή (30 ppm) σε σχέση με τα δείγματα 1 και 2 για το μόλυβδο χωρίς ωστόσο να ξεπεράσει τα Καναδικά όρια χρήσης γης. Όσον αφορά τον χαλκό και το χρώμιο, και στα τρία δείγματα μετρήθηκαν υψηλές συγκεντρώσεις με τιμές από 170-390 ppm για τον χαλκό και 340-410 ppm για το χρώμιο ξεπερνώντας τα όρια επικινδυνότητας και για τις δύο χώρες. Ο ψευδάργυρος παρουσίασε αρκετά υψηλότερες συγκεντρώσεις στο δείγμα 3 με τιμή 560 ppm ξεπερνώντας τα όρια του Καναδά όχι όμως και της Ολλανδίας.

Για τα δείγματα της ομάδας των μπαζών (4,5,6,7), τα μέταλλα αρσενικό, άργυρος, κοβάλτιο μολυβδαίνιο, νικέλιο, μόλυβδος και σελήνιο έδωσαν μετρήσεις κάτω από το όριο μέτρησης του οργάνου. Ο ψευδάργυρος βρίσκεται σε συγκεντρώσεις από 40 – 80 ppm αρκετά χαμηλότερες από τα όρια επικινδυνότητας των δύο χωρών. Οι συγκεντρώσεις του χαλκού και του χρωμίου ξεπερνάνε τα όρια του Καναδά όχι όμως και της Ολλανδίας.

Την ομάδα τελμάτων αποτελούν τα δείγματα 8 και 9 τα οποία παρουσίασαν χαμηλές συγκεντρώσεις μόνο για τον άργυρο και το νικέλιο. Αντιθέτως, το αρσενικό, ο χαλκός, το χρώμιο, το μολυβδαίνιο, το σελήνιο και ο ψευδάργυρος μετρήθηκαν σε ιδιαίτερα υψηλές συγκεντρώσεις ξεπερνώντας τα όρια επικινδυνότητας του Καναδά. Το ίδιο συμβαίνει και με τα όρια της Ολλανδίας εκτός από το μολυβδαίνιο και τον μόλυβδο που είναι χαμηλότερα από τα όρια επικινδυνότητας. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το κοβάλτιο το οποίο εμφάνισε αυξημένη τιμή, 930ppm η οποία είναι πάνω από τα όρια και για τις δύο χώρες μόνο στο δείγμα 9 που λήφθηκε από μεγαλύτερο βάθος (20cm).

Για την ομάδα καλλιεργήσιμης γης (10,11,12,13) χαμηλές συγκεντρώσεις παρουσίασαν τα μέταλλα αρσενικό, άργυρος, κοβάλτιο, μολυβδαίνιο, νικέλιο, μόλυβδος, σελήνιο. Ο χαλκός ξεπερνά τα όρια αγροτικής και οικιστικής χρήσης του Καναδά για όλα τα δείγματα εύρος τιμών από 80 έως 520 ενώ για βιομηχανική χρήση τα όρια ξεπερνούνται μόνο από τα δείγματα 12 και 13. Ως προς τα όρια της Ολλανδίας, αυτά τα ξεπερνά μόνο το δείγμα 12. Το χρώμιο βρίσκεται σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες των ορίων του Καναδά για όλες της χρήσεις γης δεν ξεπερνά

ωστόσο τα όρια της Ολλανδίας. Τέλος, ως προς τον ψευδάργυρο, το δείγμα 12 είναι το μόνο που υπερβαίνει τα όρια του Καναδά για όλες τις χρήσεις ενώ κανένα άλλο δείγμα δεν υπερβαίνει τα όρια της Ολλανδίας.

Τέλος για την ομάδα ποταμού όπου ανήκουν τα δείγματα 14 και 15 τα οποία περιείχαν χαμηλές συγκεντρώσεις ως προς τον αρσενικό, άργυρο, κοβάλτιο, μολυβδαίνιο, νικέλιο, μόλυβδο και σελήνιο. Ο χαλκός με τιμές συγκέντρωσης από 110-270 ppm, ξεπερνά τα όρια επικινδυνότητας του Καναδά για όλες τις χρήσεις ενώ το δείγμα 15 λαμβανόμενο από μεγαλύτερο βάθος ξεπερνάει και τα όρια της Ολλανδίας που ορίζουν επιτρεπτή τιμή τα 190 ppm. Το χρώμιο παρουσίασε υψηλή τιμή στο δείγμα 14, 370ppm, ξεπερνά τα όρια του Καναδά και βρίσκεται πάνω στα όρια της Ολλανδίας. Για τον ψευδάργυρο το δείγμα 14 με συγκέντρωση 80 ppm βρίσκεται εντός των ορίων επικινδυνότητας για τις δύο χώρες ενώ το δείγμα 15 μετρήθηκε εκτός ορίων για αγροτική και οικιστική χρήση γης.

4.2.3 Μέθοδος SPLP (Synthetic Precipitation Leaching Procedure)

Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων από την μέθοδο της εκχυλισιμότητας των μετάλλων SPLP (1312) χρησιμοποιήθηκε η οδηγία 1998/83/EK της Ευρωπαϊκής Ένωσης του συμβουλίου της 3^{ης} Νοεμβρίου 1998 σχετικά με την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης (Council Directive 98/83/EC, 1998) καθώς και με την οδηγία 269/2005 περί έλεγχου ρύπανσης των νερών όπου χρησιμοποιήθηκαν τα μέγιστα επιτρεπτά όρια στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των επεξεργασμένων λυμάτων για απορρίψεις σε υδατοφράχτες και λιμνοδεξαμενές. Θεωρήθηκε προτιμότερο να συγκριθούν τα επτά στοιχεία (χαλκός, σίδηρος, ψευδάργυρος, αρσενικό, χρώμιο, μόλυβδος και μαγγάνιο) με αυτές τις οδηγίες αφού τα εκχυλίσματα είναι πιθανόν να καταλήγουν στο ρυάκι κάτω από το εργοστάσιο, έτσι όπως παρατηρήθηκε η ροή του νερού κατά την περίοδο των βροχοπτώσεων και από την τοπογραφία της περιοχής.

Πίνακας 4. 4: Αναλύσεις μετάλλων με ICP-OES, στα εκχυλίσματα εδαφικών δειγμάτων

Στοιχείο	Cu	Fe	Zn	As	Cr	Pb	Mn
Δείγματα	Συγκέντρωση στο εκχύλισμα µg/l	Συγκέντρωση στο εκχύλισμα µg/l	Συγκέντρωση στο εκχύλισμα Zn µg/l	Συγκέντρωση στο εκχύλισμα µg/l	Συγκέντρωση στο εκχύλισμα µg/l	Συγκέντρωση στο εκχύλισμα µg/l	Συγκέντρωση στο εκχύλισμα µg/l
1	54,1	1272,0	595,7	71,7	124,7	123,4	245,7
2	73,2	26,73	344,15	61,90	124,93	162,13	245,68
3	7,5	95,93	83,00	77,75	124,63	80,38	850,58
4	5,6	1275,85	101,43	72,70	129,58	75,33	2,10
5	4,6	822,08	102,45	80,80	128,75	80,08	1,00
6	24,1	905,63	88,25	76,88	130,20	65,15	5,10
7	3,7	1853,70	70,50	78,65	130,78	85,58	2,80
8	10371,3	1057683,33	44900,00	0,00	489,38	1587,75	1703,18
9	7852,8	397516,67	34391,67	0,00	222,60	721,85	1750,55
10	17,8	217,20	98,38	78,33	126,95	82,10	84,55
11	11,6	840,28	67,35	82,65	129,05	85,83	8,90
12	7,3	1934,10	81,03	76,25	131,90	81,60	9,65
13	5,1	991,50	56,53	78,73	130,55	83,05	6,95
14	19,4	403,28	100,93	78,43	126,90	81,33	6,30
15	14,9	701,48	45,60	79,80	127,73	80,65	9,10
Council Directive 98/83/EC	2000	200	*M.O	10	50	10	50
Οδηγία Κ.Α.Π 269/2005	200	5000	2000	100	100	5000	200

*M.O: Μη ορισμένο από την οδηγία

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του πίνακα 4.4, η εικόνα της εκχυλισσιμότητας των δειγμάτων διαμορφώνεται ως εξής:

- Σύμφωνα με την μέθοδο ο χαλκός παρουσίασε τιμές συγκέντρωσης στο εκχύλισμα από 0 έως 10,37 mg/l με όριο στο πόσιμο νερό τα 2000 µg/l και τα 200 µg/l για τα λύματα.
- Η εκχυλισσιμότητα του σιδήρου κυμάνθηκε από τιμές από 26,73 έως 1057683,33 με επιτρεπτή τιμή τα 200 µg/l και τα 5000 µg/l.
- Για τον ψευδάργυρο δεν αναφέρετε στην νομοθεσία όριο για το πόσιμο νερό, μόνο για τα λύματα το όριο είναι 2000 µg/l. Οι τιμές που έδωσε η μέθοδος ήταν από 45,60-44900,00 µg/l.
- Το αρσενικό έδωσε τιμές από 0-82,65 µg/l με όριο τα 10 µg/l και τα 100 µg/l.
- Το χρώμιο είχε τιμές από 124,63 έως 489,38 µg/l με όριο τα 50 µg/l και 100 µg/l.
- Ο μόλυβδος παρουσίασε τιμές από 65,15-1587,75 µg/l με τιμή ορίου τα 10 µg/l και τα 5000 µg/l αντίστοιχα.
- Τέλος το μαγγάνιο εμφάνισε τιμές από 1,00-1750,55 µg/l με όριο στο πόσιμο νερό τα 50 µg/l και τα 200 µg/l για τα επεξεργασμένα λύματα.

Γενικά τις μεγαλύτερες τιμές για όλα τα μέταλλα παρουσίασαν τα δείγματα 8 και 9 με εξαίρεση το αρσενικό που έδωσε μηδενικές τιμές και στα δύο δείγματα πιθανότατα να δεσμεύτηκε από το κυάνιο και συγκεντρώθηκε στο συμπύκνωμα του χρυσού κατά την μεταλλουργική διαδικασία.

Αναλύοντας τα δεδομένα βάση της κατηγοριοποίησης σε ομάδες προκύπτουν τα εξής:

- Η ομάδα του εργοστασίου (1,2,3) ξεπερνά τα επιτρεπτά όρια του πόσιμου νερού και των επεξεργασμένων λυμάτων, για τον ψευδάργυρο, το αρσενικό, το χρώμιο, το μόλυβδο και το μαγγάνιο ενώ οι συγκεντρώσεις του χαλκού και του σιδήρου βρίσκονται χαμηλότερα από τα αντίστοιχα όρια.
- Για την ομάδα των μπαζών (4,5,6,7) εμφανίζουν υψηλότερες τιμές από τα όρια ο σίδηρος, ο ψευδάργυρος, το αρσενικό το χρώμιο και ο μόλυβδος ενώ ο χαλκός και το μαγγάνιο εμφανίζουν ιδιαίτερα χαμηλές τιμές.
- Η ομάδα των τελμάτων (8,9) παρουσίασε τις υψηλότερες τιμές συγκέντρωσης των μετάλλων από όλες τις ομάδες ξεπερνώντας σε κάθε περίπτωση τα όρια του πόσιμου νερού και των επεξεργασμένων λυμάτων, εξαίρεση αποτέλεσε το αρσενικό όπως

αναφέρθηκε παραπάνω , πιθανότατα για το λόγο ότι, το σύνολο της ποσότητας να απομακρύνθηκε κατά την μεταλλουργική διαδικασία .

- Η ομάδα καλλιεργήσιμης γης (10,11,12,13) είναι η ομάδα που έδωσε το μεγαλύτερο εύρος αποτελεσμάτων για τον σίδηρο και το μαγγάνιο. Για το μεν σίδηρο όλα τα δείγματα έδωσαν αποτελέσματα πάνω από τα όρια ενώ για το μαγγάνιο μόνο το δείγμα 10 έδωσε τιμή συγκέντρωσης υψηλότερης των ορίων. Όσον αφορά τα υπόλοιπα μέταλλα όλα υπερβαίνουν τα όρια εκτός από το χαλκό που δεν τα ξεπερνά.
- Τέλος ,για την ομάδα του ποταμού (14,15) τα αποτελέσματα της μεθόδου έδωσαν τιμές κατώτερες των ορίων για τον χαλκό και το μαγγάνιο ενώ ο σίδηρος, ο ψευδάργυρος, το αρσενικό το χρώμιο και ο μόλυβδος ξεπέρασαν το όριο και στα δύο δείγματα.

4.2.4 Αποτελέσματα μετρήσεων κυανίου

Τα αποτελέσματα της μεθόδου για το κυάνιο συγκρίθηκαν με τα όρια της Ολλανδίας και του Καναδά τα οποία παρατίθενται στον πίνακα 4.6.

Το κριτήριο επιλογής των δειγμάτων που θα υπόκεινται σε μέτρηση κυανίου ήταν η τοποθεσία και το ιστορικό της μεταλλουργικής δραστηριότητας. Με βάση αυτό το κριτήριο μετρήθηκαν τα δείγματα εντός του εργοστασίου, τα δείγματα στους σωρούς τελμάτων, του νερού και μερικά στις καλλιεργήσιμες περιοχές που θεωρούνται καθαρές δεδομένου της χρήσης τους. Οι μετρήσεις έγιναν σε διαφορετικά βάθη βάσει της δειγματοληψίας και τα δείγματα 16 κι 17 είναι επαναληπτικά για επιβεβαίωση κάποιων τιμών.

Πίνακας 4.5: Όρια σύγκρισης αποτελεσμάτων για το κυάνιο (The Ministry of Housing, 2000 Canadian Environmental Quality Guidelines, 2007)

Σύμβολα	Ρύποι	Καναδάς mg/kg			Ολλανδία mg/kg
		Αγροτική	Οικιστική	Βιομηχανική	Ανώτατη επιτρεπτή συγκέντρωση
CN	κυάνιο	0.9	0.9	12	20

Πίνακας 4.6: Ανίχνευση ελεύθερου κυανίου σε εδαφικά δείγματα

Μέτρηση οργάνου 0.010 – 0.500 mg/l CN				
Δείγματα	Βάθος	mg/l	mg/kg	
8	10 cm	0,049	0,99	
9	20 cm	2,27	45,85	
10	10 cm	0,026	0,53	
11	20 cm	0,016	0,32	
6	10 cm	<0.010		
7	20 cm	<0.010		
14	10cm	0,011	0,22	
19	νερό	0	0,00	
3	5 cm	<0.010		
4	10 cm	<0.010		
5	20 cm	<0.010		
16	20 cm	1,24	25,05	
17	10 cm	0,202	4,08	

Αρχικά για τα δείγματα που βρίσκονται στο σωρό των αποθέσεων των τελμάτων υπήρξαν διαφορετικά αποτελέσματα ανάλογα με το βάθος. Το δείγμα 8 ενώ περιείχε κάποια ανιχνεύσιμη τιμή κυανίου, δεν παρουσιάζεται ανησυχητικό γιατί είναι κάτω από τα όρια του Καναδά και της Ολλανδίας. Ωστόσο το δείγμα 9, το οποίο λήφθηκε από μεγαλύτερο βάθος περιείχε κυάνιο, 45,85 mg/kg, τιμή πολύ μεγαλύτερη από το επιτρεπτό όριο του Καναδά και της Ολλανδίας.

Από την ίδια περιοχή συλλέχθηκαν και τα επαναληπτικά δείγματα 16 και 17 όπου έδωσαν τιμές πάνω από τα επιτρεπόμενα όρια για τον Καναδά για τις δύο πρώτες κατηγορίες χρήσης γης ενώ το δείγμα 17 που προέρχεται από μικρότερο βάθος εμφανίζει τιμή κάτω από τα όρια σύμφωνα με την Ολλανδία.

Σημαντικό είναι το γεγονός ότι τα υπόλοιπα δείγματα έδωσαν τιμές κάτω από το όριο μέτρησης του οργάνου και των ορίων και κυρίως το δείγμα του νερού (19). Επίσης, θα μπορούσε να τονισθεί το γεγονός ότι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις εμφανίστηκαν στα δείγματα που προήλθαν από μεγαλύτερα βάθη.

4.3. ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΝΕΡΟΥ

Τα αποτελέσματα των υγρών δειγμάτων (επί τόπου μέτρηση pH κατά την δειγματοληψία, ανίχνευση μετάλλων στα δείγματα νερού από ρυάκι) αξιολογήθηκαν με βάση τα θεσμοθετημένα όρια πόσιμου νερού από την Ευρωπαϊκή Ένωση οδηγία 1998/83/ΕΚ όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως.

4.3.1 Μέτρηση pH από επί τόπου δειγματοληψία

Τα αποτελέσματα αυτά αφορούν τα δύο δείγματα νερού (18,19) που συλλέχθηκαν και οι τιμές του πίνακα 4.7 αφορούν το pH τους πριν την οξίνιση τους στο εργαστήριο. Και τα δύο δείγματα είχαν τιμές pH παρόμοιες 7,61-7,63.

Πίνακας 4. 7: Καταγραφή επεξεργασίας υγρών δειγμάτων

Δείγματα	pH	Θερμοκρασία °C	Αγωγιμότητα μS/cm
18	7,63	18,1	1110 1.11
19	7,61	16,9	7.44

4.3.2 Μέτρηση ανίχνευσης μετάλλων ICP-OES

Τα αποτελέσματα αυτά αφορούν στην λήψη των δύο δειγμάτων νερού που πάρθηκαν από το ρυάκι του ποταμού.

Πίνακας 4.8: Αναλύσεις Μετάλλων με ICP-OES στα δείγματα νερού

Δείγματα	μg/l						
	Cu	Fe	Zn	As	Cr	Pb	Mn
18	173,95	263,55	421,9	80,3	120,225	89,35	3678,8
19	174,67	326,175	158,65	96,5	122,375	92,7	3093,25
Όριο πόσιμου νερού (Council Directive 98/83/EC)	2000	200	M.O	10	50	10	50
Οδηγία Κ.Α.Π 269/2005	200	5000	2000	100	100	500	200

*M.O: Μη ορισμένο από την οδηγία

Βάση των αποτελεσμάτων τα δύο δείγματα παρουσίασαν αυξημένες τιμές σε όλα τα υπό εξέταση μέταλλα για τα όρια του πόσιμου νερού ενώ διαφοροποιούνται μερικώς για τα όρια των επεξεργασμένων λυμάτων. Αναλυτικότερα, για το χαλκό τα δείγματα είναι κάτω από τα όρια του πόσιμου νερού αλλά πάνω από τα όρια των επεξεργασμένων λυμάτων. Το αντίθετο συνέβη για τις τιμές του σιδήρου, του ψευδαργύρου, του αρσενικού και του μολύβδου. Παρατηρήθηκε ακόμη ότι το μαγγάνιο και το χρώμιο έδωσαν πολύ μεγάλη συγκέντρωση τιμών πάνω από τα όρια και του πόσιμου νερού και των επεξεργασμένων λυμάτων.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα μελέτη είχε ως στόχο την καταγραφή των πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων, στην ευρύτερη περιοχή του εγκαταλελειμμένου εργοστασίου επεξεργασίας χρυσοφόρων θειούχων μεταλλευμάτων του χωριού Μιτσερού (Λευκωσία-Κύπρος). Η αρχική εκτίμηση της κατάστασης έγινε βάση οπτικών παρατηρήσεων.

Συγκεκριμένα καταγράφηκαν:

Η κλίση του εδάφους. Το έδαφος παρουσιάζει σημαντική κλίση (εικόνα 5.1) καθώς το εργοστάσιο βρίσκεται σε υψόμετρο 410 m ενώ ο ποταμός που αποτέλεσε και το κατώτερο όριο της υπομελέτης περιοχής στα 365m. Η κλίση αυτή καθορίζει την πορεία απορροής των υδάτων ομβρίων και βάση αυτού ορίστηκαν τα σημεία δειγματοληψίας.



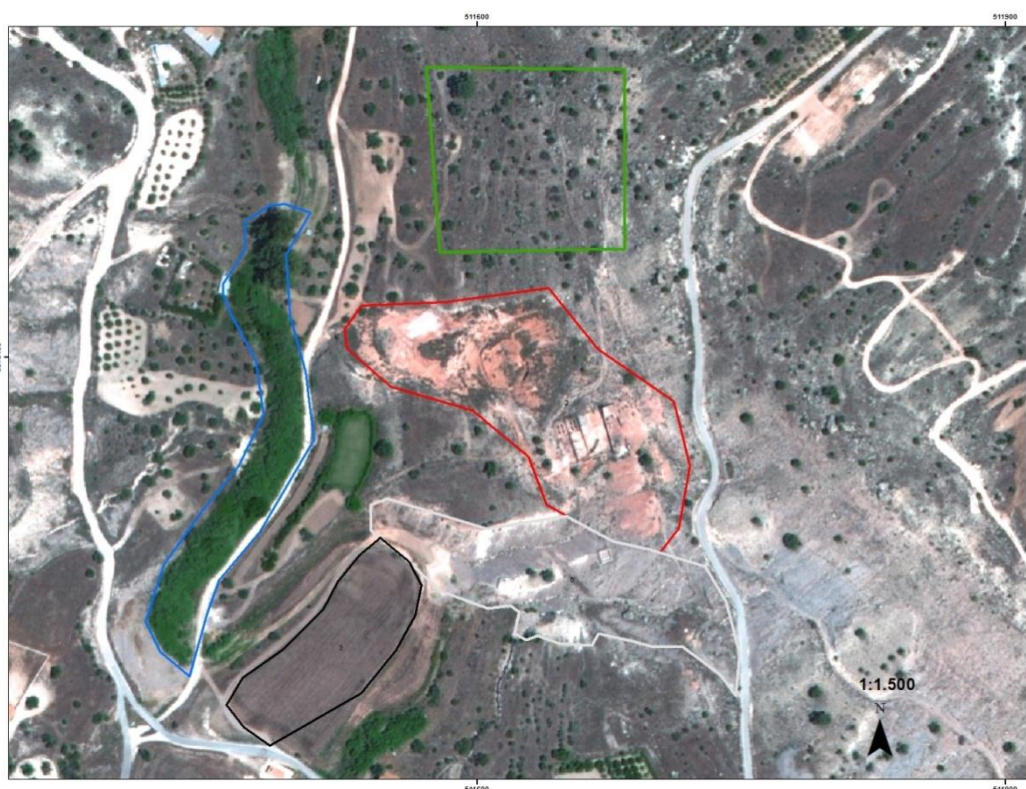
Εικόνα 5.1: Τοπογραφικός χάρτης περιοχής με την χρήση προγράμματος GIS

Χρωματικές διαφοροποιήσεις. Βάση του μεταλλευτικού ιστορικού της περιοχής (επεξεργασία μεταλλευμάτων πλούσια σε σιδηροπυρίτη) και των έντονων χρωματισμών (εργοστάσιο, τέλματα) επιβεβαιώθηκε η αρχική υπόθεση, της ύπαρξης έντονα οξειδωμένων εδαφών.

Βλάστηση. Δεν παρατηρήθηκε μεγάλη διαφοροποίηση ως προς την βλάστηση σε σχέση με της γύρω περιοχή, εκτός από τα σημεία έντονης διάβρωσης λόγω των καιρικών συνθηκών. Χαρακτηριστική ωστόσο είναι η απουσία βλάστησης στους σωρούς των τελμάτων και του εργοστασίου δεδομένου της οξύτητας του εδάφους.

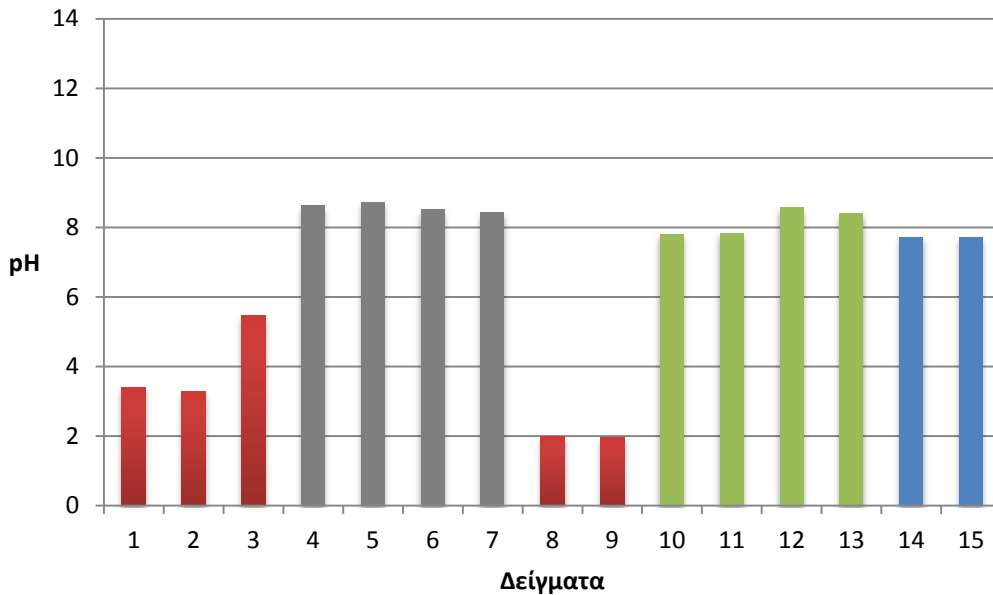
Εποχιακό ρυάκι. Παρατηρήθηκε η διέλευση ποταμού κάτω από το εργοστάσιο ο οποίος θεωρήθηκε ο αποδέκτης των όμβριων υδάτων της περιοχής.

Βάση αυτών των παρατηρήσεων (εικόνα 5.2) αποφασίστηκαν τα σημεία δειγματοληψίας (υγρών, στερεών) και οι εργαστηριακές αναλύσεις που θα υπόκεινταν. Οι αναλύσεις αυτές αφορούσαν μετρήσεις του pH, καταγραφή των συγκεντρώσεων στοιχείων και μετάλλων, την εκχυλισσιμότητα των εδαφών καθώς και την ύπαρξη κυανίου.



Εικόνα 5.2: Διαχωρισμός εδαφών βάση οπτικών παρατηρήσεων

Οι μετρήσεις του pH κατέταξαν ως όξινες τις περιοχές του εργοστασίου και των τελμάτων ενώ οι υπόλοιπες περιοχές (καλλιέργειες, μπάζα και όχθες ποταμού) χαρακτηρίζονται ως ουδέτερες (εικόνα 5.3)



Εικόνα 5.3: Τιμές pH εδαφικών δειγμάτων. Οι κόκκινες ράβδοι απεικονίζουν την ομάδα του εργοστασίου και των τελμάτων, οι γκριζες την ομάδα των στείρων, οι πράσινες της καλλιεργήσιμης γης και οι μπλε της ομάδας του ποταμού.

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων στις περιοχές εμφάνισαν σημαντικές συγκεντρώσεις σε βαρέα μέταλλα, τα οποία σε συνάρτηση με το χαμηλό pH του εδάφους δύναται να εμφανίσουν υψηλό δυναμικό σχηματισμού φαινομένων όξινης απορροής μεταλλείων (OAM). Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η απουσία αρσενικού στα αποτελέσματα της εκχυλισιμότητας των δειγμάτων από τις περιοχές των τελμάτων, σε σχέση με την συγκέντρωση του αρσενικού από τις αναλύσεις του XRF. Αυτό, πιθανόν να οφείλεται, στο γεγονός ότι τα οξείδια του σιδήρου, προσροφούν το αρσενικό δημιουργώντας σύμπλοκα: FeOH_2^+ , HAsO_4^{2-} , FeOH_2^+ , H_2AsO_4^- (Dermatas and Meng, 2004). Παράλληλα εμφανίστηκαν αυξημένες συγκεντρώσεις ενώσεων του κυανίου στα δείγματα των τελμάτων, ιδιαίτερα σε βάθος των 20cm. Την ίδια στιγμή οι αναλύσεις του νερού από εποχιακό ρυάκι έδειξαν αυξημένες συγκεντρώσεις σε βαρέα μέταλλα πάνω από τα επιτρεπόμενα όρια πόσιμου νερού.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, τόσο οι περιοχές του εργοστασίου, όσο και αυτές που γειτνιάζουν με αυτό μπορούν να χαρακτηριστούν ρυπασμένες και εξαιρετικά ρυπασμένες (χώροι τελμάτων και εργοστασίου). Το συμπέρασμα αυτό επαληθεύει την αρχική πρόβλεψη, που προήλθε από τις οπτικές παρατηρήσεις, ότι η περιοχή αντιμετωπίζει έντονα περιβαλλοντικά προβλήματα, λόγω των μεταλλουργικών διεργασιών που πραγματοποιήθηκαν για χρόνια στη περιοχή.

Συνοψίζοντας εμφανίζεται ανάγκη λήψης μέτρων αντιμετώπισης της υφιστάμενης κατάστασης προκειμένου να διασφαλιστεί η βιώσιμες συνθήκες ζωής στο ευρύτερο περιβάλλον.

Συγκεκριμένα θα μπορούσαν να εφαρμοστούν κατάλληλες τεχνικές πρόληψης και τεχνικής επέμβασης κυρίως για τον σωρό των τελμάτων που αποτελεί και τον μεγαλύτερο κίνδυνο. Οι τεχνικές πρόληψης θεωρούνται καταλληλότερες γιατί αποτρέπουν την εμφάνιση του φαινομένου αποκλείοντας την επαφή των θειούχων ορυκτών με το νερό και το οξυγόνο. Γίνονται με την εφαρμογή υγρών, στερεών ή οργανικών καλυμμάτων. Εναλλακτική λύση θα μπορούσε να είναι ο εγκιβωτισμός των αποβλήτων ώστε να παρεμποδιστεί η μεταφορά των ρύπων στο περιβάλλον. Ακόμη η περιφερειακή αποστράγγιση των νερών ώστε αν μην κατυσδεύουν από τα τέλματα στο ποτάμι θα ήταν αναγκαία.

Τέλος, όσον αφορά το πόσιμο νερό, για το καθαρισμό του από το αρσενικό, το χρώμιο και το κάδμιο έχει προταθεί η εφαρμογή μιας μεθόδου με την χρήση φίλτρων άμμου (Dermatas and Meng, 2004). Αναλυτικότερα, σύμφωνα με την δημοσίευση, το αρσενικό μειώθηκε από τα 2.000 ppb στα 5 ppb με την χρησιμοποίηση δύο φίλτρων άμμου εν σειρά εμποτισμένα με σιδηρούχα διαλύματα. Με την ίδια μέθοδο επιτεύχθηκαν παρόμοια αποτελέσματα και για το χρώμιο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αγγλική Βιβλιογραφία

- Bear, L.M. (1960), The geology and mineral resources of the Akaki-Lythrodondha area, Cyprus Geological Survey Department Memoir no.3, published by: Cyprus Geological Survey, 122 pages.
- Bear L.M. (1963), The Mineral Resources and Mining Industry of Cyprus: Cyprus Geological Bull No 1.
- Canadian Environmental Quality Guidelines (1999, updated 2007), Canadian Council of Ministers of the Environment.
- Charalambides A., Petrides G., Paschalidis I. (2003), Rainwater Characteristics over an old sulphide mine refuse in Sha, Cyprus, AE International-Europe, Atmospheric Environment 37 1921-1926.
- Charalambides, A., Kyriacou, E., Constantinou, C., Baker, J., van Os, B., Gurnari, G., Shiathas, A., van Dijk, P. and van der Meer, F. (1998), Mining Waste Management on Cyprus: Assessment, Strategy Development and Implementation. LIFE project final report, Cyprus Geological Survey Department, Nicosia.
- Clotadam (2004-2005), The treatment of mine waste to achieve cost effective engineered closure of tailings dam, EU project.
- Cornell Composting, Composting in Schools, Monitoring Compost pH, Available at: <http://compost.css.cornell.edu/monitor/monitorph.html> .
- Dermatas D., Meng X. (2004), Removal of As, Cr and Cd by adsorptive filtration, Global Nest : the Int.J.Vol 6, No 1, pp 73-80.
- Duffus JH. (2002), Heavy metals-a meaningless? Pure Appl Chem 2002, 74:793-807.
- Eckert Donald and J. Sims Thomas, (1995), Chapter 3: Recommended Soil pH and Lime Requirement Tests, RECOMMENDED SOIL TESTING PROCEDURES FOR THE NORTHEASTERN UNITED STATES 2nd Edition Northeastern Regional Publication No. 493 December 15, <http://ag.udel.edu/extension/agnr/soiltestingold.html>
- US EPA (1994), EPA Method 1312, report number SW-866 Ch.6, ALS environmental , Columbia S EPA, (YEAR), EPA method 9013A, U.S. Environmental Protection Agency, Wastes - Hazardous Waste - Test Methods, SW-846.
- US EPA (YEAR), EPA method 9045D, U.S. Environmental Protection Agency, Wastes - Hazardous Waste-Test Methods, SW-846, <http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/>

- sw846/online/index.htm.US EPA (1982), Handbook for Sampling and Sample Preservation of Water and Wastewater, US-EPA-600/4-82-029, September 1982.
- Herzic Peter M., Hannington Mark D., Scott Steven D., Malliotis George, Rona Petrer A. (1996), Gold-Rich Sea-Floor Gossans in the Troodos Ophiolites and on the Mid Atlantic Ridge, Economic Geology, Vol.86, pp 1747-1755.
- ICARDA, Soil and Plant Analysis Laboratory Manual, available at: http://www.icarda.org/publications/lab_manual/read.htm.
- International ophiolite symposium Nicosia, Cyprus (1979), Field excursion Guidebook, Geological Survey Department.
- Kim Ann G., CCB LEACHING SUMMARY: SURVEY OF METHODS AND RESULTS1, National Energy Technology Laboratory U.S. Department of Energy Pittsburgh, Pennsylvania.
- Kim H. Tan. (1996), Soil Sampling, Preparation and Analysis, Marcel Dekker,
- Kontopoulos A, Komnitsas K, Xenidis A., and Papasiwpi N. (1996), ‘Environmental management in polymetallic sulphide mines’. In: Environmental issues and waste management in energy and mineral production, DIGITA, Cagliari, vol1, pp 321-330.
- Leopold 2000-42: Optimizing swine hoop manure management for soil quality and crop system performance, Manure and Compost Sampling Preparation Protocols, 2012 Available at: http://openwetware.org/wiki/Manure_and_Compost_Sampling_Preparation_Protocols
- Papassiopi N., Mylona E., Xenidid and Paspaliaris I. (2009), Assessment of major acid generation sources in the mining site of Agios Filipos, Kirki, GR.
- Peters John, Recommended Methods of Manure Analysis, Wisconsin - Madison, A3769, Available at: <http://learningstore.uwex.edu/assets/pdfs/A3769.pdf>.
- Prichard H.M, Malliotis G. (1998), Gold mineralization associated with low-temperature, off axis, fluid activity in the Troodos ophiolite, Cyprus, Department of Earth Sciences, University of Wales, Hellenic Mining Company Ltd, Journal of the Geological Society, London, vol 155, , pp.223-231.
- The Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment Directorate-General for Environmental Protection (YEAR), The New Dutchlist, Department of Soil Protection (625), Rijnstraat 8, P.O.Box 30945 2500 GX, The Hague, The Netherlands.
- Thomas GW (1996), SSSA BOOK SERIES, Methods of Soil Analysis, Part 3 – Chemical Methods.
- Van Arsdale G. D (1953), Hydrometallurgy of Base Metals, McGraw–Hill, New York.

- Wan Zuhairi Wan Yaacob, Nur Syuhadah Mohd Pauzi, and Hazw ani Abdul Mutalib (2009), Acid mine drainage and heavy metals contamination at abandoned and active mine sites in Pahang, Bulletin of the Geological Society of Malaysia 5515 – 20, doi: 10.7186/bgsm2009003
- Wardell Armstrong LLP and ALA Planning Partnership (2008), The preparation of a Strategy for the restoration of abandoned Mines.
- Weiss N. L. (1985), SME Mineral Processing Handbook (2 volumes), Society of Mining Engineers, Littleton, Colorado, USA,
- Wills B. A. (1988), Mineral Processing Technology, 4th edition. Pergamon Press, Oxford, UK.
- US EPA (YEAR), EPA method 9045C, U.S. Environmental Protection Agency, Wastes - Hazardous Waste-Test Methods, SW-846, Available at: <http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/online/index.htm>.

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Οδηγία 98/83 ΕΚ του συμβουλίου της 3ης Νοεμβρίου 1998, σχετικά με την ποιότητα νερού ανθρώπινης κατανάλωσης (ΕΕ L 330 της 5.12.1998, σ. 32)
- Ζευγώλης Μ.Ν. (2003), Τεχνολογία Προστασίας Περιβάλλοντος στην Βιομηχανία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών, Εργαστήριο Μεταλλουργίας.
- Κ.Δ.Π 269/2005, Ο περί ελέγχου ρύπανσης των νερών νόμος (2002), αρ. 4000,3.6.2005, επίσημη εφημερίδα κυβερνήσεως.
- Κομνίτσα Κ. (2000), «Διαχείριση Επικόνδινων Αποβλήτων», Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών, Περιβαλλοντικές Σπουδές-Διαχείριση Αποβλήτων Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα.
- Κωνσταντίνου Γ, Παναγίδης Ι., Ξενοφόντος Κ., Αφροδίσης Σ., Μιχαηλίδης Π., Κραμβής Σ. (2002), Δελτίο Αρ.10, Η Γεωλογία της Κύπρου Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης, Λευκωσία,
- Παπασιώπη Ν.,(2010), Αποκατάσταση ρυπασμένων εδαφών, μάθημα σχολής Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών.
- Παπασιώπη Ν, Μυλωνά Ε, και Ξενίδης Α (2009), «Καταγραφή και αξιολόγηση διεθνώς εφαρμοσμένων περιβαλλοντικών δοκιμών εκχύλισης», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών, Εργαστήριο Μεταλλουργίας.

Τεχνοοικονομική Μελέτη για Εφαρμογή Πιλοτικού Προγράμματος Αποκατάστασης του Εγκαταλελειμμένου Μεταλλείου Κοκκινοπεζούλας στο Μιτσερό ,(2010),εταιρεία «ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ, ΧΗΜΙΚΕΣ & ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΚΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ Ε.Π.Ε. – ECHMES Ε.Π.Ε.».

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Π1: Πίνακας μετρήσεων XRF του εκχυλίσματος εδαφικών δειγμάτων, συμπεριλαμβάνει και τα 23 στοιχεία

ID	Ag ppm	Mo ppm	Nb ppm	Zr ppm	Sr ppm	Rb ppm	Bi ppm)	As ppm	Se ppm	Au ppm	Pb ppm	W ppm	Zn ppm	Cu ppm	Ni ppm	Co ppm	Fe ppm	Mn ppm	Cr ppm	V ppm	Ti ppm	Ca ppm	K ppm
1	LOD	LOD	LOD	30	40	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	100	260	LOD	LOD	129800	300	410	460	2590	15100	3730
2	LOD	LOD	LOD	LOD	30	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	80	170	LOD	LOD	118510	360	340	380	2220	20090	2540
3	LOD	LOD	LOD	30	50	LOD	LOD	30	LOD	LOD	30	LOD	560	390	LOD	LOD	110060	770	390	440	3510	13140	4270
4	LOD	LOD	LOD	LOD	60	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	70	110	LOD	LOD	65290	650	320	250	1920	39020	10380
5	LOD	LOD	LOD	LOD	60	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	40	130	LOD	LOD	45680	480	210	180	1410	28200	7510
6	LOD	LOD	LOD	LOD	70	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	80	140	LOD	LOD	66730	690	320	270	1890	40160	9850
7	LOD	LOD	LOD	LOD	70	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	80	130	LOD	LOD	68140	690	350	250	1910	39830	10270
8	LOD	40	LOD	LOD	20	LOD	LOD	330	420	LOD	450	LOD	1060	1280	LOD	LOD	341510	LOD	480	770	1570	15820	1850
9	LOD	50	LOD	LOD	20	LOD	LOD	390	540	LOD	450	LOD	910	1400	LOD	930	342060	LOD	560	870	1790	17280	2180
10	LOD	LOD	LOD	50	130	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	70	80	LOD	LOD	30420	1490	190	160	1610	164080	7130
11	LOD	LOD	LOD	50	140	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	60	80	LOD	LOD	31140	1570	120	190	1890	159850	7950
12	LOD	LOD	LOD	30	90	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	380	520	LOD	LOD	83710	2440	290	370	3370	42760	6010
13	LOD	LOD	LOD	LOD	110	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	60	110	LOD	LOD	63470	800	330	250	1820	61740	11300
14	LOD	LOD	LOD	20	90	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	20	LOD	80	110	LOD	LOD	63320	1010	370	290	2080	61690	11100
15	LOD	LOD	LOD	30	80	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	250	270	LOD	LOD	52070	1260	LOD	LOD	1030	65721	4156