

Η ρύπανση του περιβάλλοντος από τη μεταλλευτική βιομηχανία στη Λαυρεωτική

A.Z. Φραγκίσκος, Ομ. Καθηγητής ΕΜΠ. τ. Πρύτανης.

Εισαγωγή.

Από τα βαριά μέταλλα ο μόλυβδος κατέχει μια εξέχουσα θέση βλαπτικότητας στην πανίδα και χλωρίδα. Είναι πολύ τοξικός και υπάρχει παντού. Απαντά σ' όλα τα πετρώματα σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις, μεταξύ 2-200 ppm, που αυξάνουν αρκετά σε περιοχές που υπάρχει μεταλλοφορία, όπως αυτή της Λαυρεωτικής. Τόσο τα επιφανειακά, όσο και τα υπόγεια νερά περιέχουν χαμηλές περιεκτικότητες εξαιτίας της χαμηλής διαλυτότητας του μολύβδου και των ορυκτών του στη φύση. Αντίθετα στην ατμόσφαιρα, εξαιτίας των ανέμων μεταφέρονται μεγαλύτερες ποσότητες λεπτομερών τεμαχιδίων και σκόνης με μόλυβδο, ιδιαίτερα εκεί που υπάρχει πρωτογενής και δευτερογενής παραγωγή του. Έχει εκτιμηθεί ότι η παγκόσμια εκπομπή μολύβδου στην ατμόσφαιρα κυμαίνεται μεταξύ 18,6 και 25,5 εκατομμύρια kg. Οι ποσότητες αυτές κατανομούνται: από τους ανέμους ως σκόνη το 60%-85% , από τη βλάστηση 5%-10% και το υπόλοιπο από τα ηφαίστεια, σταγονίδια θάλασσας και μετεωρίτες. Το νερό της βροχής (συνήθως όξινο) περιέχει μόλυβδο γύρω στα 20 μg/l το πόσιμο (συνήθως ουδέτερο) και το θαλασσινό (βασικό) περίπου 5 μg/l.

Οι ανθρωπογενείς πηγές προέρχονται από μεταλλευτικές-μεταλλουργικές δραστηριότητες, βιομηχανικές παραγωγές και μεταποιήσεις προϊόντων μολύβδου. Σημαντική επίσης ρύπανση γίνεται από τα στερεά απόβλητα που περιέχουν μολυβδόυχες ενώσεις. Η συμπεριφορά του μολύβδου στα αστικά απόβλητα εξαρτάται από τη μορφή που βρίσκεται, τη φύση του γειτνιάζοντος υλικού και την κατασκευή των ΧΥΤΑ. Και εδώ η διάλυση του μολύβδου εξαρτάται από το pH του σωρού. Οργανικά υλικά που κατά την αποσύνθεσή τους σχηματίζουν οξέα, πρέπει να αποφεύγονται να αποτίθενται με απορρίμματα μολύβδου γιατί μπορεί να διαλύσουν τις ενώσεις του. Γι' αυτό και η βάση του χώρου απόθεσης, ιδιαίτερα αν το πέτρωμα δεν υδατοστεγές, πρέπει να καλύπτεται με ελαστικές ή πλαστικές μεμβράνες ή με ένα στρώμα αργίλου και να έχει προβλεφθεί τρόπος παραλαβής των εκχυλισμάτων. Μετρήθηκαν εκχυλίσματα με συγκεντρώσεις 30-120 μg/l.

Η χρήση αλλά και η τοξικότητα του μολύβδου ήταν γνωστή στους αρχαίους λαούς, αλλά δεν έπαψε να χρησιμοποιείται, και μάλιστα με σημαντική και αυξανόμενη κατανάλωση τους τελευταίους αιώνες. Τα τελευταία χρόνια, με αποδειγμένη πια τη βλαπτικότητά του άρχισε σταδιακά η αντικατάστασή του από πολλές εφαρμογές.

Παρ' όλα αυτά, το 2009 η παγκόσμια παραγωγή σε συμπκνώματα μολύβδου εκφρασμένα σε περιεχόμενο μέταλλο ήταν 3.800.000 τόνοι. Σ' αυτούς πρέπει να προστεθεί και η ανακυκλούμενη ποσότητα που συνεχώς αυξάνει και αποτελεί σημαντικό ποσοστό της κατανάλωσης.

Ο μόλυβδος χρησιμοποιείται ως προσθετικό στη βενζίνη, αν και σήμερα έχει αποκλειστεί σε πολλές χώρες, στην παραγωγή χρωμάτων, σωλήνων, φύλλων,

συσσωρευτών, κάλυψη καλωδίων, και σφαιριδίων κυνηγίου (σκάγια-στη Γαλλία υπολογίστηκε ότι στη διάρκεια ενός χρόνου μολύνουν το έδαφος 6.500 τόνοι από τα σκάγια των κυνηγών), καθώς και στην επικασιτέρωση μαγειρικών σκευών και κυτίων συντήρησης τροφίμων (κονσερβών). Χρησιμοποιείται ακόμη ως πρόσθετο στο P.V.C. στην υαλουργία και κεραμική με σχηματιζόμενες ενώσεις σχεδόν αδιάλυτες στη χρήση τους. Οι περισσότερες από τις παραπάνω χρήσεις στα αναπτυγμένα κράτη τείνουν να περιοριστούν ή και να καταργηθούν.

Η συμπεριφορά του μολύβδου στο περιβάλλον εξαρτάται από τη χημική και ορυκτολογική του μορφή. Η φυσική αποσάθρωση μετατρέπει το μεταλλικό μόλυβδο, από τις παραπάνω χρήσεις, σε σταθερές και δυσδιάλυτες μορφές. Τα απορρίμματα από τα μεταλλεία και ορυκτουργία (εμπλουτισμό) περιέχουν τις δυσδιάλυτες μορφές των ορυκτών του, ενώ στις σκουριές της μεταλλουργίας, που αλλάζουν μορφή με τα συλλιπάσματα, σχηματίζονται και πάλι δυσδιάλυτες ενώσεις. Και στις δυο περιπτώσεις η διαλυτότητα αυξάνει με την αύξηση της οξύτητας του περιβάλλοντος χώρου.

Η γνώση της ολικής περιεκτικότητας μολύβδου στο έδαφος δεν αποτελεί δείκτη τοξικότητας στους έμβιους οργανισμούς, αφού εξαρτάται από τη διαλυτότητα των ορυκτών του. Μια ένωση που δεν απορροφάται από τα φυτά γιατί δε διαλύεται στο νερό, μπορεί να διαλυθεί στο όξινο στομάχι ενός ζώου, από τη σκόνη που έχει επικαθίσει στα φύλλα ή στο χορτάρι, κατά τη διάρκεια της βοσκής.

Από μολυβδόχο σκόνη μπορεί να μολυνθούν και οι άνθρωποι γιατί εισερχόμενη στο ισχυρό όξινο περιβάλλον του στομάχου θα διαλυθεί μια βλαπτική ποσότητα, ακόμη και από τις δυσδιάλυτες ενώσεις.

Η έκθεση του ανθρώπου στο μόλυβδο προξενεί εγκεφαλοπάθειες (εξασθένησης κρίσης και ανταπόκρισης), ισχαιμικές διαταραχές, υπέρταση, χρόνια νεφρική φλεγμονή, αναιμία, περιφερειακή νευροπάθεια και ελάττωση σπέρματος, επιδρά στο ανοσοποιητικό σύστημα, στο μεταβολισμό, στην κυοφορία, στο γαστρικό σύστημα και πιθανό να προαλείφεται καρκινογένεση.

Οι άνθρωποι εκτίθενται σε ποικίλες πηγές εκπομπής μολύβδου, γι' αυτό η μέτρηση μόνο μια πηγής, π.χ. του εδάφους ή του νερού, μπορεί να μη δώσει ακριβές επίπεδο έκθεσης. Συνήθως οι μετρήσεις εστιάζονται στο αίμα και εκφράζονται σε $\mu\text{g}/\text{dl}$. Πρέπει να είναι πρόσφατες γιατί ο μόλυβδος απορροφάται από τα κόκαλα και ελαττώνει την περιεκτικότητα που υπήρχε στο αίμα.

Έχει αποδειχθεί ότι ο μόλυβδος βλάπτει περισσότερο τα παιδιά γιατί βρίσκονται στην ανάπτυξη τους και έρχονται σε αμεσότερη επαφή μαζί του στην ύπαιθρο, από το έδαφος, αέρα και σκόνη (αναπνοή-χέρια- στόμα).

Οι τοξικές επιδράσεις στα παιδιά κυμαίνονται ανάλογα με την εκδήλωση από 7-80 $\mu\text{g}/\text{dl}$ και για τους ενήλικες 7-120 $\mu\text{g}/\text{dl}$. Δεν έχει ακόμη καθοριστεί η ελάχιστη μέτρηση που απαιτείται για να κάνει αισθητή την εκδήλωση της βλάβης. Δεν έχουν τεθεί ακόμη και τα όρια κινδύνου για τις συγκεντρώσεις μολύβδου, στο αίμα, αέρα, νερό και τρόφιμα, γι' αυτό και είναι διαφορετικά από χώρα σε χώρα. Ο διεθνής Οργανισμός Υγείας (W.H.O.) το 1980 έθεσε όριο μολύβδου στο αίμα, για τους άνδρες 40 $\mu\text{g}/\text{dl}$, ενώ για τα παιδιά και τις γυναίκες 30 $\mu\text{g}/\text{dl}$, αλλά από το 1990 το ελάττωσε στο 20 $\mu\text{g}/\text{dl}$. Στη Γερμανία είναι 15 μ και 10 μ αντίστοιχα, στην Ελβετία 10-15* $\mu\text{g}/\text{dl}$ για τις κυοφορούσες και 10* $\mu\text{g}/\text{dl}$ για τα παιδιά. Στην Αυστραλία, Καναδά και Η.Π.Α. 10 $\mu\text{g}/\text{dl}$. * Επίπεδα που προμηγύνουν χειροτέρευση.

Τα επιτρεπόμενα όρια του μολύβδου στον αέρα μειώθηκαν από παλαιότερες προδιαγραφές και αρχίζουν από 0,15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ στις Η.Π.Α. (USEPA 2008-μεση τιμή

μετρήσεων 1 έτους ή 3 μηνών) μέχρι $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ στην Κίνα (CAI-Asia 2009). Στην Ε.Ε. είναι $0,5\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ΕΕ 1999). Στο πόσιμο νερό είναι $10\mu\text{g}/\text{l}$ και για την Ε.Ε., Καναδά και την Ιαπωνία, και $15\mu\text{g}/\text{l}$ για τις Η.Π.Α. (ΕΕ 1998, USEA 2008, Canada 20012 και Japan 2004). Στο έδαφος τα υφιστάμενα όρια κυμαίνονται από 70 μέχρι 700 mg/kg με τις διαφορές να δικαιολογούνται ανάλογα με τη γεωγραφική θέση, τον τύπο του εδάφους, τη σύσταση (π.χ. περιεκτικότητα σε οργανικό άνθρακα και pH., καθώς και την υφιστάμενη ή μελλοντική χρήση γης (EC- JRC2007, Canada 2007).

Ο μόλυβδος εισέρχεται στον άνθρωπο από την τροφή που έχει ρυπανθεί από τη σκόνη του αέρα, ιδιαίτερα από εδάφη που είναι πλούσια σε ενώσεις του. Παλαιότερα ήταν πιθανή η πρόσληψη από τα επικασσιτερωμένα σκεύη και τις κονσέρβες. Το νερό ρυπαινόταν από τις μολυβδούχες σωλήνες που πλέον τείνουν να καταργηθούν. Στον αέρα η απευθείας εισπνοή μολύβδου είναι ελάχιστη. Μπορεί να γίνει απαγορευτική για τους εργαζόμενους σε χώρους παραγωγής μολύβδου, χωρίς τις κατάλληλες προφυλάξεις. Στα παιδιά η μόλυνση προέρχεται κύρια από το έδαφος για λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Στα σπίτια η ρύπανση οφείλεται στη σκόνη, στα μολυβδούχα χρώματα και στην αντίστοιχη βενζίνη, η οποία σε πολλές χώρες έχει καταργηθεί, σ' άλλες τείνει σταματήσει να διανέμεται και σ' άλλες παραμένει στην κατανάλωση.

Ο μόλυβδος που υπάρχει στο έδαφος δεν αναμένεται να ελαττωθεί με την πάροδο του χρόνου επειδή έχει σχετικά μικρή κινητικότητα. Ιόντα του μολύβδου στο έδαφος προσροφούνται σε μεγάλο βαθμό από αργιλικά τεμαχίδια και οργανικά υλικά (που δεν σχηματίζουν οξέα) και μετατρέπονται σε μορφές ελάχιστα διαλυτές.

Ο μόλυβδος όταν βρίσκεται στο έδαφος στη μορφή δυσδιάλυτων αλάτων φαίνεται να μην έχει άμεση επίδραση στους ζώντες οργανισμούς, όπως π.χ. στο Derbyshire της Αγγλίας με συγκεντρώσεις μολύβδου γύρω στο 1% ως πυρομορφίτης, δεν παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση στο αίμα των κατοίκων, σε συστηματικές δειγματοληπτικές μετρήσεις.

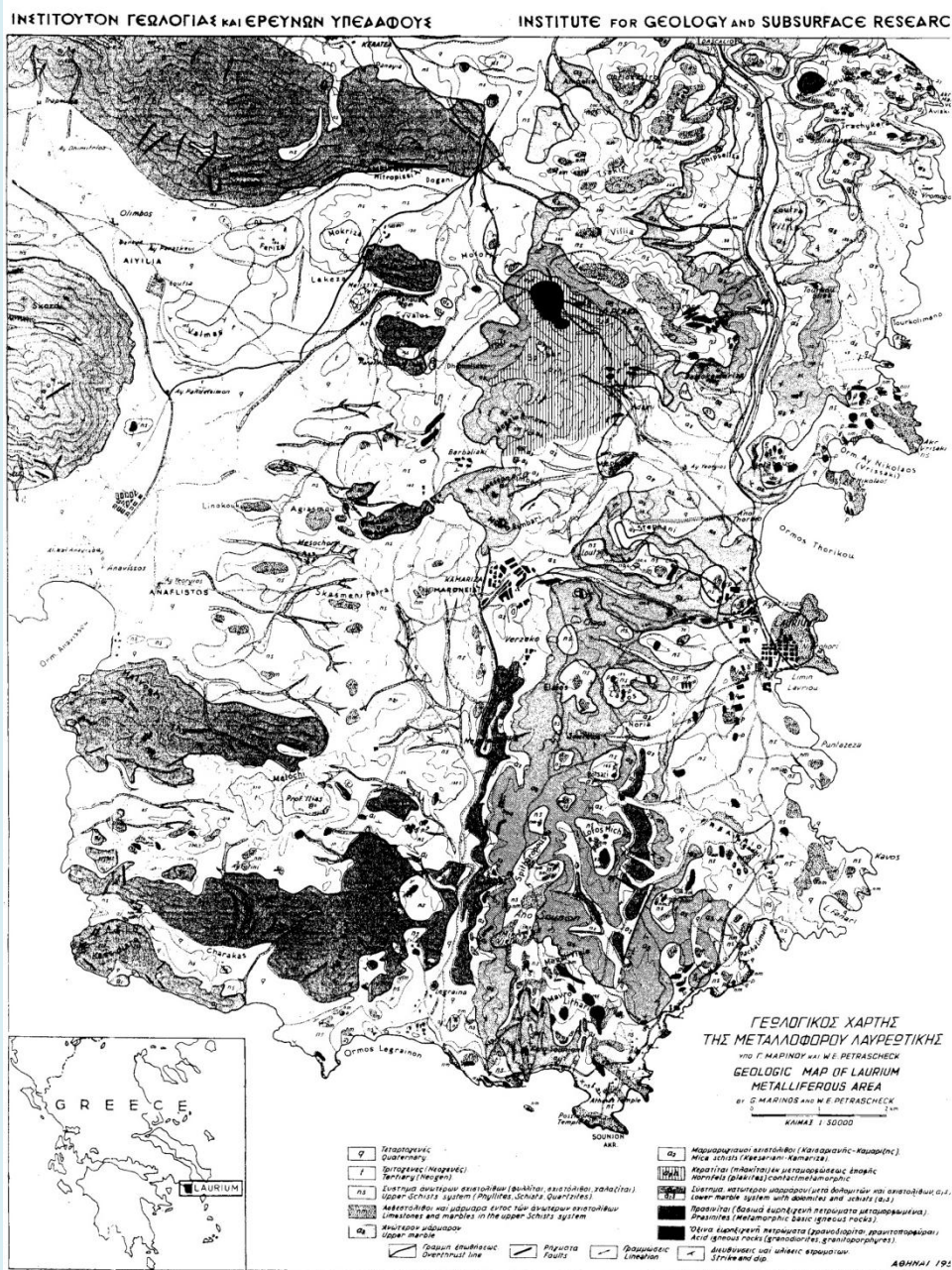
Ο μόλυβδος που απορροφάται από τα φυτά είναι περιορισμένος γιατί δένεται με τα τεμαχίδια του εδάφους και έτσι δεν είναι διαθέσιμος.

Οι περισσότερες ενώσεις του μολύβδου έχουν χαμηλές διαλυτότητες και δεν απορροφούνται με ευχέρεια από τους ζώντες οργανισμούς.

Μέχρι σήμερα δεν υπάρχουν τυποποιημένες αναλυτικές μέθοδοι με τις να προσδιορίζεται πόσος μόλυβδος είναι βιο-διαθέσιμος. Μια ένδειξη παίρνεται με τη μέτρηση της διαλυτότητας του εδάφους στο νερό και στα οξέα που τυχόν σχηματίζονται, (προσομοιώνουν συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες, π.χ. όξινη βροχή, απορροή χώρων ταφής αστικών απορριμμάτων κ. ά).

Η ρύπανση στη Λαυρεωτική.

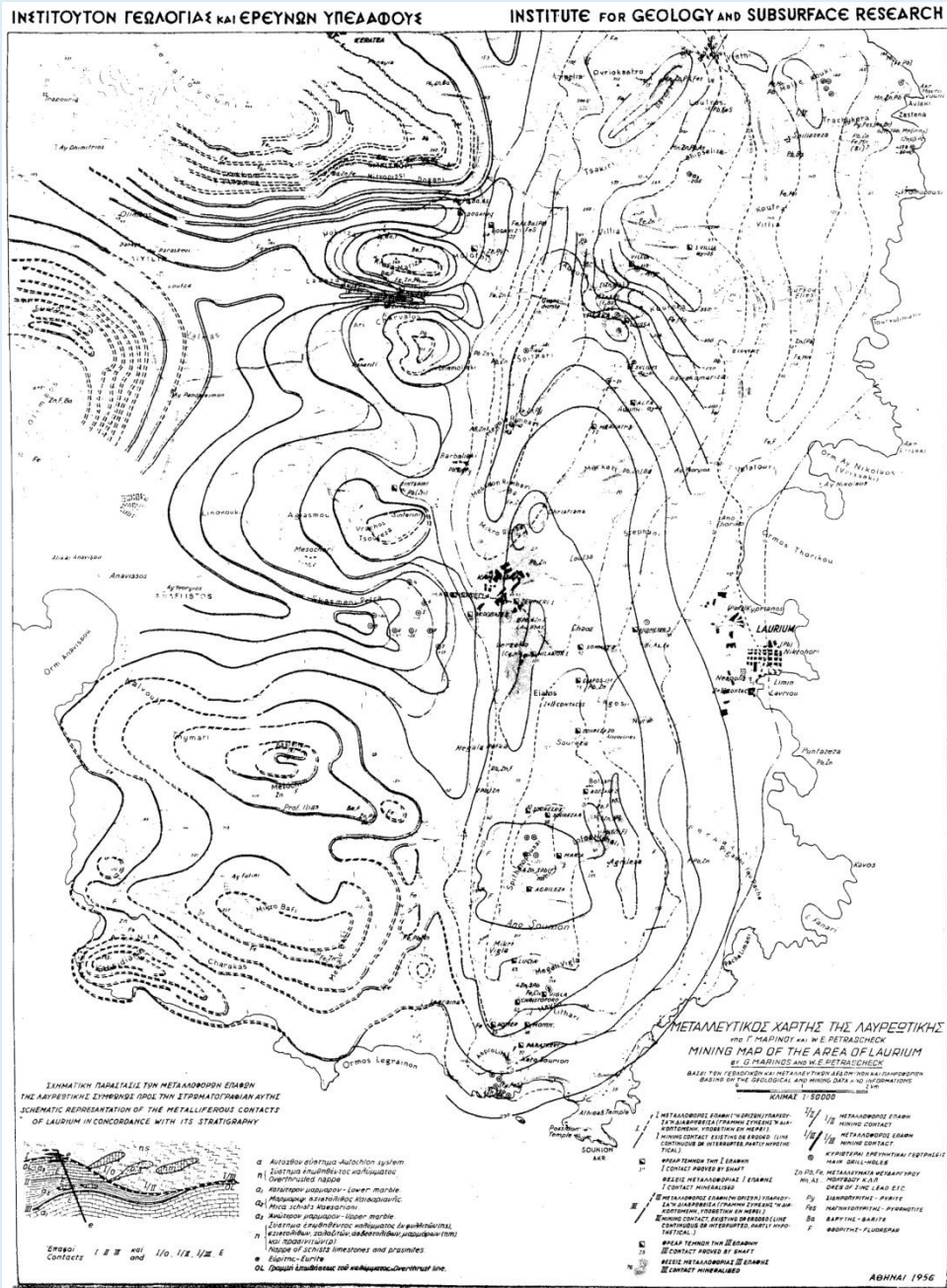
Στο γεωλογικό χάρτη 1 της Λαυρεωτικής από το ΙΓΜΕ (Μαρίνου-Petraschek), που αρχίζει από την Κερατέα και καταλήγει στο Σούνιο, φαίνονται η πατρολογική δομή και οι θέσεις των μεταλλοφόρων εμφανίσεων (που υπήρχαν εδώ και πολλά χρόνια πίσω), και οι οποίες καθόρισαν και τα κέντρα μεταλλευτικής δραστηριότητας.



Χάρτης 1. Γεωλογικός Χάρτης της Λαυρεωτικής από τον Μαρίνο-Petrascheck-1956

Στο μεταλλευτικό χάρτη 2 (Μαρίνου και Petrascheck) φαίνονται τα κυριότερα μέταλλα (που αντιπροσωπεύουν αντίστοιχα ορυκτά) που έτυχαν εκμετάλλευσης στο Λαύρειο, οι θέσεις γεωτρήσεων, στοών, φρεάτων (όσων μπόρεσαν να συμπεριληφθούν στο χάρτη αυτό) και των κυριότερων μεταλλευτικών κέντρων.

Η μεταλλευτική δραστηριότητα άρχισε πριν από τα προϊστορικά χρόνια, αναπτύχθηκε γύρω στο 500 π.Χ. και σημαντικά συνέβαλε στην ανάπτυξη και δημιουργία της Αθηναϊκής Δημοκρατίας (Χρυσός Αιών). Συνέχισε περιορισμένα στα ρωμαϊκά χρόνια για να ζωογονηθεί ξανά το 19^ο και 20^ο αιώνα από Ελληνικές και ξένες εταιρείες.



Χάρτης 2. Μεταλλευτικός Χάρτης Λαυρεωτικής από το Μαρίνο-Petraschek-1956

Τα ανεκτίμητα αρχαία απομεινάρια, από την ορυκτοργία (εμπλουτισμό) και τη μεταλλουργία, άντεξαν στο χρόνο, γιατί ήταν φτιαγμένα από πετρώματα της περιοχής (κύρια μάρμαρα) και κονίαμα (όπως οι δεξαμενές τους που μέχρι σήμερα δεν παρουσιάζουν διαρροές) και προφανώς από τη φυσική επιχλωμάτωση. Αντίθετα τα νεότερα, που είναι κατασκευασμένα από σίδηρο, σκουριάζουν, καταστρέφονται ή και λεηλατούνται. Κι' αυτά που έμειναν δεν θ' αντέξουν στο φθοροποιό χρόνο αν δε συντηρηθούν, όπως για παράδειγμα η σιδερένια γέφυρα της Γαλλικής εταιρείας για τη φόρτωση των φορτηγών πλοίων στο λιμάνι Λαυρείου, που παρ' ότι αποτελεί μουσειακό στοιχείο έχει ξεχαστεί και σε λίγο θα βρίσκεται στο πυθμένα του λιμανιού.

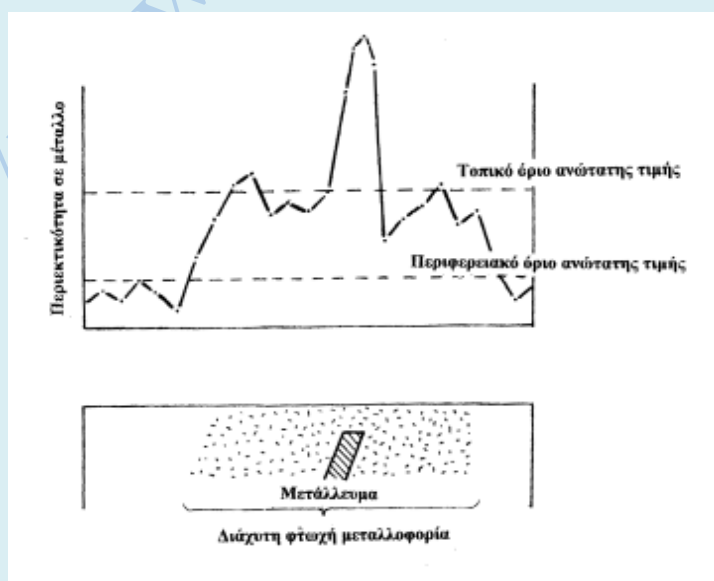
Τα αρχαία ευρήματα είναι αξιόλογα, αλλά απαιτείται η περιηγητική (τουριστική) αξιοποίηση. Τουλάχιστον τρεις μελέτες αξιοποίησης έχουν κατά καιρούς κατατεθεί στη Δημοτική Αρχή του Λαυρείου και στην Εφορία Αρχαιοτήτων, χωρίς καμία ανταπόκριση

για εκτέλεση του έργου. Το βιβλίο του Κονοφάγου για το Αρχαίο Λαύρειο αποτελεί μια πηγή με πλήρη ενημέρωση στον αναγνώστη, αλλά και φόρος τιμής στους αρχαίους μεταλλευτές για την υψηλή στάθμη τεχνολογικής σκέψης και στη δυνατότητα πρακτικής εφαρμογής στην ορυκτοурγία και μεταλλουργία.

Η μεταλλευτική δραστηριότητα, που άρχισε πριν από το 500 π.Χ. για να φθάσει μέχρι το πρόσφατο παρελθόν (1979), πέρα από την άμεση επιβάρυνση της υγείας των εργατών και του περιβάλλοντος χώρου κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους (σκόνη-καυσαέρια), άφησαν πίσω τους εκατομμύρια τόνους από στείρα πετρώματα εξόρυξης, απορρίμματα ορυκτοурγίας και σκουριές. Διάφορες μελέτες, ιδιαίτερα του Κονοφάγου στο βιβλίο του για το Αρχαίο Λαύρειο, υπολόγισαν τα παντοειδή αρχαία μεταλλοφόρα υλικά σε περισσότερους από 5.000.000 τόνους. Σ' αυτά υπήρχαν και οι πλούσιες «εκβολάδες» (όπως ονομάστηκαν), με 2,3%-11,0% Pb και Ag 1,9-5,0 kg/τόνο μολύβδου, που αποτέλεσαν έριδα κυριότητας μεταξύ Δήμου Κερατέας, Ελληνικού Δημοσίου και μεταλλευτικών ενδιαφερόντων. Η μετέπειτα εκμετάλλευσή τους δεν επέφερε σημαντική ελάττωση των αποτιθέμενων ποσοτήτων.

Όλα αυτά περιέχουν ακόμη, ως απώλειες των διεργασιών, μικρές ποσότητες Pb, Zn, Fe, Cd, As, F και άλλων στοιχείων που είναι βλαπτικά στην πανίδα και χλωρίδα της περιοχής.

Σε μια μεταλλοφόρο περιοχή υπάρχουν, τέσσερις διακεκριμένες πηγές μόλυνσης. Η πρώτη υπήρχε από τη μεταλλοφόρο εμφάνιση, η δεύτερη από τη διάχυση των μεταλλοφόρων διαλυμάτων και την απόθεση ορυκτών στα γύρω πετρώματα στη φάση της μεταλλογένεσης, η τρίτη από τη μετανάστευση ιόντων από τα μεταλλοφόρο υπόγειο σώμα, προς την επιφάνεια, όπως φαίνεται στο σχ. 1 και η τέταρτη οφείλεται άμεσα από την μεταλλευτική δραστηριότητα της περιοχής. Οι τρεις πρώτες είναι φυσικές και υπάρχουν στο χώρο από την εποχή της εναπόθεσης της μεταλλοφορίας στη διάρκεια του γεωλογικού χρόνου. Η τέταρτη είναι προϊόν της ανθρώπινης δραστηριότητας και παράχθηκε από τη διάνοιξη-εξόρυξη των μεταλλοφόρων συγκεντρώσεων και την απόθεση των παντοειδών απορριμμάτων από τα μεταλλεία, την ορυκτοурγία και τη μεταλλουργία.



Σχ.1. Εμφάνιση μεταλλικών ιόντων στην επιφάνεια από τη μετανάστευσή τους από υπόγειο μεταλλοφόρο κοίτασμα.

Η διασπορά μικρών ποσοτήτων ορυκτών στα περιβάλλοντα πετρώματα και ιδιαίτερα η μετανάστευση ιόντων προς την επιφάνεια έχει αποτελέσει μέθοδο έρευνας κοιτασμάτων, εδώ και πολλά χρόνια πίσω, τη γνωστή «γεωχημική έρευνα». Η γεωχημική έρευνα αποτέλεσε και αποτελεί εργαλείο της μεταλλευτικής έρευνας που καθοδηγεί ασφαλέστερα τις ακολουθούμενες ερευνητικές εργασίες (γεωτρήσεις, εκσκαφές, φρέατα, στοές κ.λ.π.) για τον εντοπισμό υπογείων κοιτασμάτων, χωρίς επιφανειακές εμφανίσεις. Στη γεωχημική έρευνα προσδιορίζεται το γεωχημικό υπόβαθρο της περιοχής σε ppm και κάθε τιμή υψηλότερη από αυτή, θεωρείται «γεωχημική ανωμαλία» και ονομάζεται «σημαντική» και πιθανόν να προέρχεται από μεταλλοφόρο σώμα.

Στη γεωχημεία, μετά την δειγματοληψία της περιοχής και την χημική ανάλυση των δειγμάτων, οι τιμές καταγράφονται στον τοπογραφικό ή αντίστοιχο γεωλογικό χάρτη, χαράσσονται οι γραμμές των ισοβαρών τιμών για να καθοριστεί ο χώρος των μέγιστων ανωμαλιών και σχεδιάζονται τα μετέπειτα ερευνητικά έργα. Με τη μέθοδο αυτή έχουν εντοπιστεί σημαντικά κοιτάσματα σ' ολόκληρο τον κόσμο.

Η διάχυση και η απόθεση ορυκτών στο περιβάλλοντα χώρο οφείλεται από τη μετανάστευση ιόντων από το μεταλλοφόρο σώμα προς την επιφάνεια, από τη διαλυτική ικανότητα του νερού. Το νερό διαλύει τα ορυκτά, στο μέτρο της διαλυτότητας και ελευθερώνει κατιόντα και ανιόντα. Ιόντα ακόμη βρίσκονται προσροφημένα σε αιωρούμενα τεμαχίδια με μια ισορροπία μεταξύ αυτών και των ιόντων στο διάλυμα. Πολλές ανόργανες ενώσεις μπορεί να βρεθούν σε υδατικά διαλύματα ως ουδέτερα μόρια. Π.χ. το πυριτικό βρίσκεται σε μορφή H_4SiO_4 . Πέρα από τα ανόργανα υλικά και τα οργανικά, όπως το χούμος (Humus) ή τύρφη, μπορεί να αντιδράσουν με απλά μεταλλικά ιόντα και να σχηματίσουν υδατοδιαλυτά μεταλλοργανικά σύμπλοκα.

Η ποσότητα μετάλλου που ταξιδεύει στο φυσικό νερό ως αδιάλυτο περιεχόμενο σε αιωρούμενο υλικό, ποικίλλει σημαντικά. Εξαρτάται από το στροβιλισμό του νερού, την αφθονία σε πολύ λεπτομερή τεμαχίδια και το ποσό της οργανικής δραστηριότητας που σχηματίζει ένυδρα κolloειδή οξείδια Fe, Mn, Si, και Al.

Στον πίνακα 1 δίνονται οι μέσοι όροι περιεκτικότητας σε ppm από τα συνήθη στοιχεία που υπάρχουν σε πυριγενή και ιζηματογενή πετρώματα.

Πίνακας 1

Μέσοι όροι περιεκτικότητας σε ppm διαφόρων στοιχείων

Στοιχείο	M.O.ppm	Διακύμανση	Στοιχείο	M.O. ppm	Διακύμανση
	Πυριγενή	Πυρ.Ιζηματ.		Πυριγενή	Πυρ.Ιζηματ.
Ti	7.000	1000-10000	Li	60	2-70
Mn	1.000	500-1000	Sn	30	5-50
S	900	550-8000	Co	20	1-200
F	70	50-850	Pb	15	5-60
Ba	650	20-900	B	13	10-200
Cr	150	5-1700	Be	4,5	0,2-6
Ni	100	2-1200	U	2,5	0,0-4
V	90	2-350	As	2,0	1,5-4

Στοιχείο	M.O.ppm	Διακύμανση	Στοιχείο	M.O. ppm	Διακύμανση
	Πυριγενή	Πυρ.Ιζηματ.		Πυριγενή	Πυρ.Ιζηματ.
Zn	80	4-300	Mo	1,5	0,0-2,5
Cu	70	5-200	Ag	0,2	0,0-0,4

Σημειώνεται ότι δείγματα που λήφθηκαν από προσχώσεις (εδάφη) που σχηματίστηκαν από την αποσάθρωση και διάβρωση των μητρικών πετρωμάτων, έδωσαν τα ίδια αποτελέσματα περίπου με τα αντίστοιχα μητρικά.

Τα υπόγεια νερά μεταφέρουν το μεγαλύτερο φορτίο των μετάλλων σε ιοντική διαλυτή φάση και λιγότερο ως κolloειδείς κροκίδες. Τα επιφανειακά νερά, από τις ηλιακές ακτίνες, τον αυξημένο αερισμό και την τυρβώδη ροή μεταφέρουν μεγάλη, μεταβαλλόμενη και απροσδιόριστη ποσότητα σε μη ιονισμένη διαλυτή οργανική ύλη και ανόργανα και οργανικά κolloειδή.

Τελείως διαφορετική είναι η περίπτωση της παράσυρσης λεπτομερών τεμαχιδίων (ακόμη και 2 mm) από την επιφανειακή αποσάθρωση-διάβρωση μεταλλοφόρων πετρωμάτων ή συγκεντρώσεων και κύρια από απορρίμματα μεταλλείων ιδιαίτερα υδρομηχανικού διαχωρισμού και επίπλευσης. Τέτοιες σκόνες μπορεί να βρεθούν χιλιόμετρα μακριά από το χώρο που έχουν αποθεθεί.

Αυτό έχει συμβεί στη Λαυρεωτική, αλλά και αλλού, όπως π.χ. στην περιοχή της Baia Mare, Zletna και Copsa Mica στη Ρουμανία όπου στα γύρω εδάφη και σε αποστάσεις 25-30 km από το μεταλλευτικό-μεταλλουργικό κέντρο, βρέθηκαν Pb, Zn, Cu, Cd και άλλα βλαπτικά μέταλλα, από την παράσυρση σκόνης της αντίστοιχης δραστηριότητας.

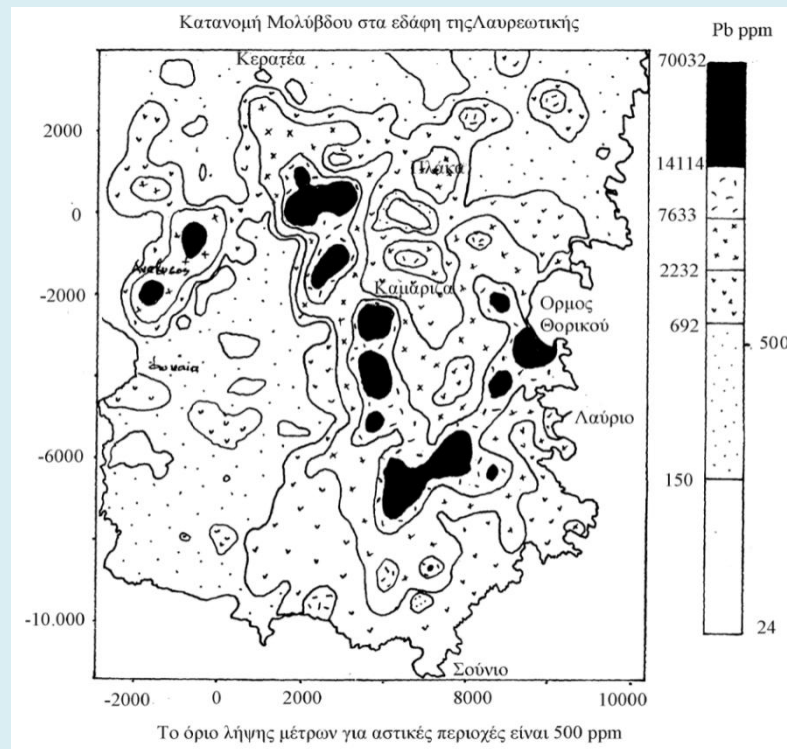
Η συνοπτική αυτή αναφορά για τη γεωχημεία έγινε για να βοηθήσει στην ορθολογική εκτίμηση της μόλυνσης μιας περιοχής από τη μεταλλευτική δραστηριότητα σε σύγκριση με αυτή καθαυτή που έχει επέλθει στην περιοχή από φυσικούς παράγοντες.

Το Ι.Γ.Μ.Ε. εξέδωσε μια εξαιρετική εργασία με τίτλο «Γεωχημικός Άτλας της αστικής περιοχής του Λαυρείου για περιβαλλοντική προστασία και σχεδιασμό». Η επίτονη και συστηματική μελέτη εκπονήθηκε από πλειάδα επιστημόνων-ερευνητών του Ινστιτούτου και συνεργατών του, αλλά η «Γεωχημεία των επιφανειακών εδαφών και των μητρικών πετρωμάτων» αποτέλεσε εργασία των Δημητριάδη, Βέργου-Βήχου και Σταυράκη. Πρόκειται για μια σημαντική και λεπτομερειακή εργασία, η οποία εξετάζει την ρύπανση της περιοχής Λαυρείου από κάθε πτυχή, και αναφέρεται σ' όλες τις σοβαρές επιπτώσεις στην πανίδα και στη χλωρίδα, ιδιαίτερα στα παιδιά, από το μόλυβδο και το αρσενικό με σημαντικά στατιστικά στοιχεία, χάρτες και διαγράμματα. Χρηματοδοτήθηκε από την τότε Ε.Ο.Κ. και το Ελληνικό Δημόσιο και επικουρική συμβολή του Ε.Μ.Π.

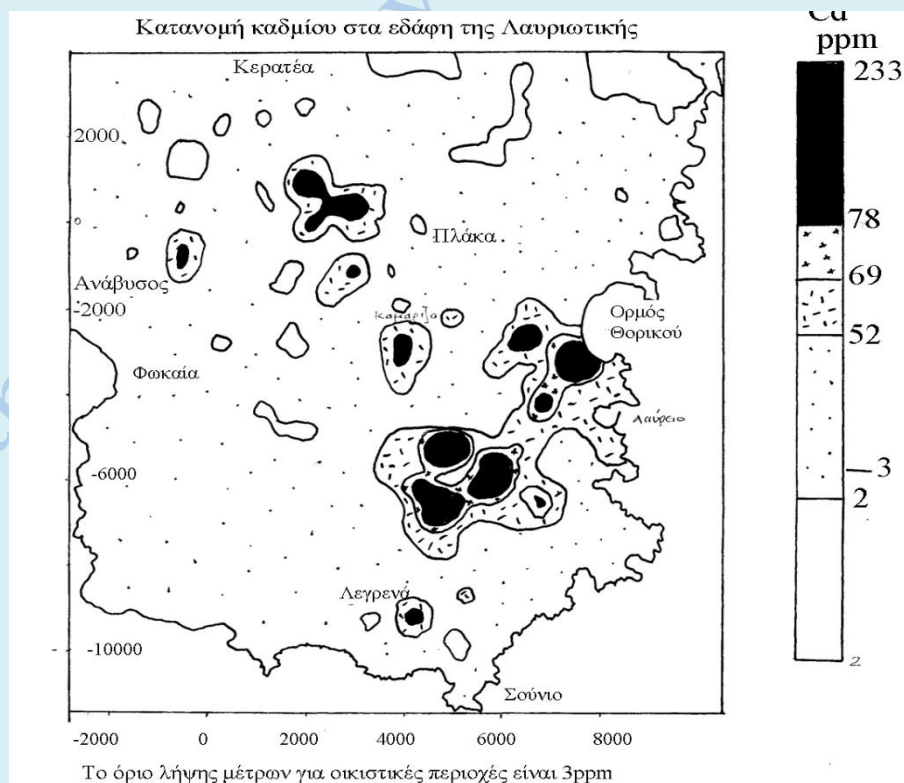
Οι παραπάνω ερευνητές σχεδίασαν τις ισορρυπαντικές καμπύλες της Λαυρεωτικής για το επιφανειακό έδαφος. Δηλ. στη φάση αυτή δεν επρόκειτο για γεωχημεία πετρωμάτων με σκοπό τη μεταλλευτική έρευνα, αλλά την κατανομή της ρύπανσης στο έδαφος της Λαυρεωτικής. Η έρευνά τους έγινε για οκτώ στοιχεία, το As το Cd το Pb το Sb το Cr ο Cu το Ni και τον Zn.

Από τα στοιχεία αυτά, για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας, επιλέχθηκαν δύο, ο Pb και το Cd, όπως φαίνεται στους χάρτες 3 και 4. Η επιλογή βασίστηκε στο ότι ο μόλυβδος βρισκόταν στα κύρια μεταλλεύματα της Λαυρεωτικής, είχε τη μεγαλύτερη ρυπαντική συγκέντρωση και με σχετική προσέγγιση των άλλων ορυκτών οι ισορρυπαντικές καμπύλες μοιάζουν με του μολύβδου, αλλά καλύπτουν μικρότερη έκταση. Το κάδμιο

επιλέχθηκε γιατί μόλις 3 ppm καθορίζουν το όριο της επικινδυνότητας για τη λήψη μέτρων σε οικιστικές περιοχές. Του μολύβδου το αντίστοιχο όριο είναι 500 ppm όπως φαίνεται στους χάρτες 3 και 4.



Χάρτης 3. Ισορροπαντικές καμπύλες μολύβδου στη Λαυρεωτική. (Από τη μελέτη του Ι.Γ.Μ.Ε. 1999)



Χάρτης 4. Ισορροπαντικές καμπύλες καδμίου στη Λαυρεωτική. (Από τη μελέτη του Ι.Γ.Μ.Ε. 1999)

Οι ισορροπιατικοί χάρτες 3 και 4 δείχνουν τη σοβαρή ρύπανση που έχει επέλθει στην περιοχή, περίπου από τον άξονα Σαρωνίδα-Αυλάκι και κάτω μέχρι το Σούνιο.

Για τη ρυπαντική αποτύπωση λήφθηκαν δείγματα από το εδαφικό χόμα που ήταν συγκεντρωμένο στις ρωγμές και βαθουλώματα των πετρωμάτων, καθώς και εκεί που είχαν σχηματιστεί προσχωματικά εδάφη (λιβάδια-αγροκτήματα) και είναι αποτέλεσμα μεταφορά σκόνης και αμμώδους υλικού από τους άνεμους που προσβάλλουν τις γύρω μεταλλευτικές ή μεταλλουργικές δραστηριότητες.

Η Δημοτική Επιχείρηση Ανάπτυξης Λαυρεωτικής Α.Ε και το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο χρηματοδοτούμενοι από την Ε.Ε. με συμβόλαιο Νο:BRPR-CT96-0297 εκπόνησαν μελέτη για την αποκατάσταση εδάφους ρυπασμένου από πολυμεταλλικά θειούχα ορυκτά. Στον Πίνακα 2 δίνονται τα αποτελέσματα από τις δειγματοληψίες και τις χημικές αναλύσεις των μεταλλευτικών απορριμμάτων και σκουριών που βρίσκονται σε μεγάλες αποθέσεις (σωρούς) σε διάφορες περιοχές στο Λαύρειο. Στο χάρτη 5 δείχνονται οι θέσεις (σωροί-αποθέσεις) που πάρθηκαν τα δείγματα.

Πίνακας 2

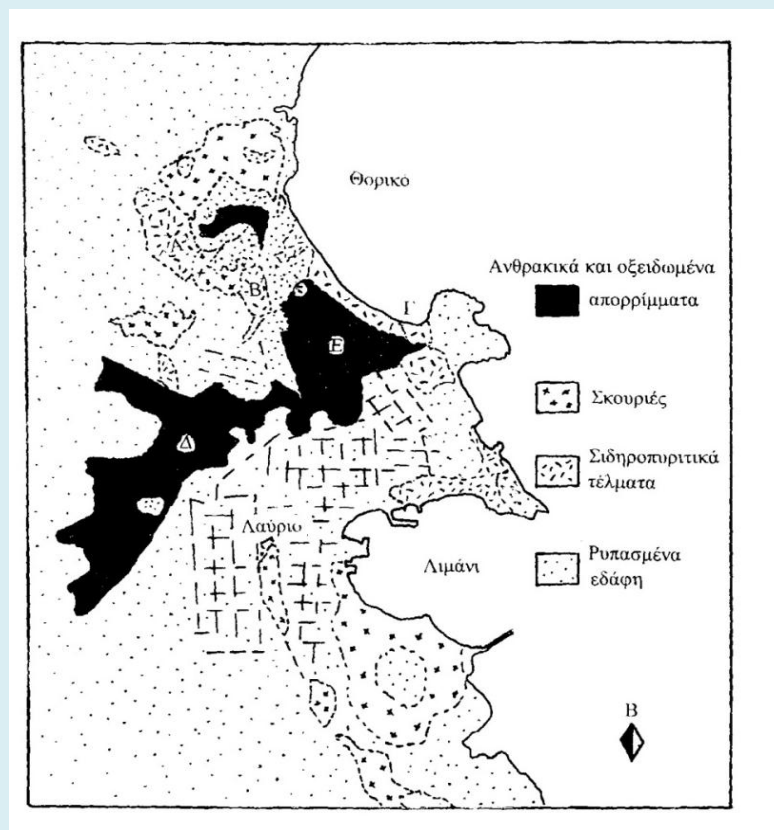
Αποθέματα και χημικές αναλύσεις μεταλλευτικών και μεταλλουργικών αποθέσεων

Περιοχή	A	B	Γ	Δ	E
Απόθεμα t	600.000	150.000	120.000	5.000.000	1.200.000
Fe %	5-17	3-15	18-28	7	6,2
S %	5-10	2-5	10-32	0,2	0,3
Pb %	0,2-1	1-3	0,6-6	2,4	3,7
Zn %	0,5-2,9	0,5-5	0,5-1,2	2,0	2,3
Cd ppm	40-100	50-200	10-60	130	130
As %	0,2-0,6	0,1-2,5	0,3-4,5	0,2	0,5
Ca %	13-15	4-6	1-10	12	7,5
Al %	0,6-1,0	1-4	0,1-1,0		
pH	2,5	7	3,5	7,3	7

A: Καβοδόκανος B: Τελματικό φράγμα (tailingdam) Γ: Μποδοσάκη

Δ: Σαβούρα E: Τέλματα.

(Από τη μελέτη του Ε.Μ.Π.- 1997)



Χάρτης 5. Θέσεις (σωροί-αποθέσεις) δειγματοληψίας στην περιοχή Λαυρείου. (Από τη μελέτη του Ε.Μ.Π. 1997)

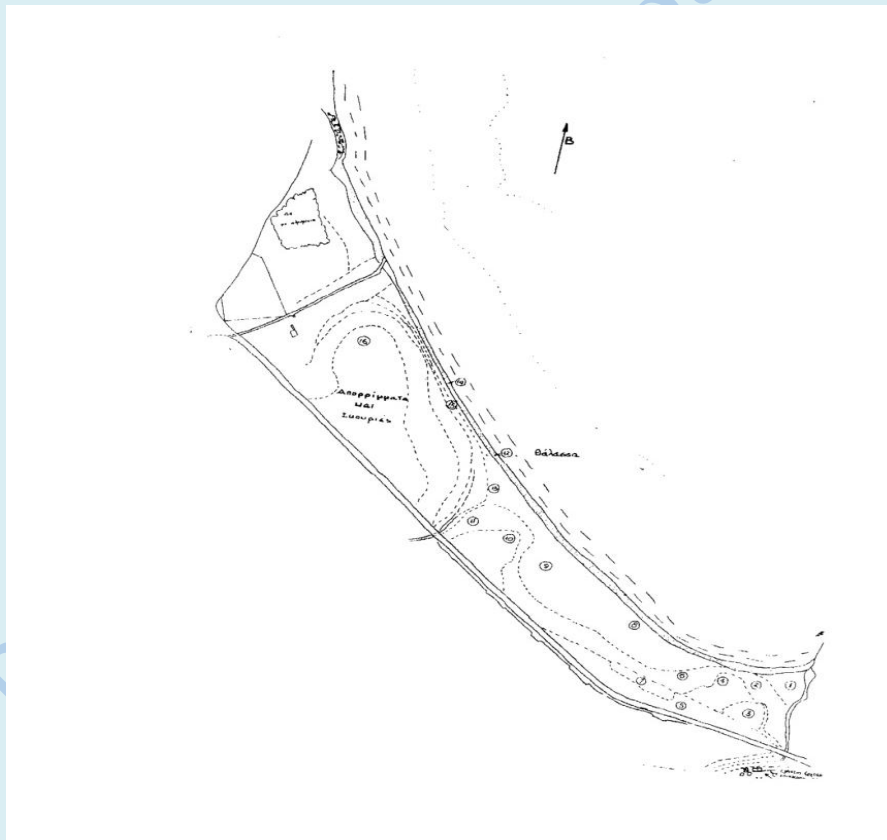
Σ' άλλη περίπτωση χημικές αναλύσεις δειγμάτων από απορρίμματα ορυκτουργίας και σκουριές μεταλλουργίας που έχουν αποτεθεί στην παράκτια ζώνη του «Κυπριανού» στον όρμο Θορικού, (αρχίζει από το Τεχνολογικό Πολιτιστικό Πάρκο και τελειώνει στο παλιό εργοστάσιο επίπλευσης της «Mediterraneanmines-A.E.X.Π.και Λ.), έδωσαν τα αποτελέσματα του Πίνακα 3. Τα δείγματα αυτά πάρθηκαν και οι αναλύσεις έγιναν για τις ανάγκες μελέτης διαμόρφωσης της παραλίας (αποκατάστασης) «Κυπριανού» για να ξαναγίνει προσιτή στο κοινό, η οποία εκπονήθηκε και υποβλήθηκε στο τότε Λιμενικό Ταμείο, σήμερα Οργανισμός Λιμένα Λαυρείου, από το 2002. Στο χάρτη 6 φαίνονται τα σημεία της δειγματοληψίας.

Πίνακας 3

Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων δειγμάτων από την παραλία «Κυπριανού».

Δείγμα	Zn %	Pb %	As %	Fe %	S %
K1	0,12	1,03	1,46		
K2	0,25	0,57	2,70		
K3	0,69	0,338	0,40		
K4	6,44	1,23	0,21		
K5	1,072	0,314	1,11		
K6	0,55	0,289	0,278		

Δείγμα	Zn %	Pb %	As %	Fe %	S %
K7	0,876	0,368	0,21		
K8	0,837	0,357	0,28		
K9	1,00	0,39	0,28	15,14	4,135
K10	0,22	0,356	0,38	26,5	11,78
K11	5,91	0,717	0,44	30,79	15,60
K12	0,192	0,13	0,088	7,92	2,124
K13	1,14	0,516	0,43	25,74	9,675
K14	0,98	0,42	0,275	17,19	5,494
K15	0,07	0,04	0,027	4,65	0,54
K16	1,13	0,553	0,49	29,56	9,668



Χάρτης 6. Σημεία δειγματοληψίας στην περιοχή Κυπριανού στον όρμο Θορικού.
(Από μελέτη αποκατάστασης -διαμόρφωσης- της παραλίας Κυπριανού. Α.Φραγκίσκου)

Από την άλλη μεριά, σκόνη που συλλέχθηκε από τα καταστρώματα σκαφών που βρίσκονταν στο γήπεδο παραμονής κατά τη χειμερινή περίοδο της «OlympicMarine», έδωσε τις αναλύσεις του Πίνακα 4, που βρίσκεται 6 km από την πόλη του Λαυρείου.

Πίνακας 4

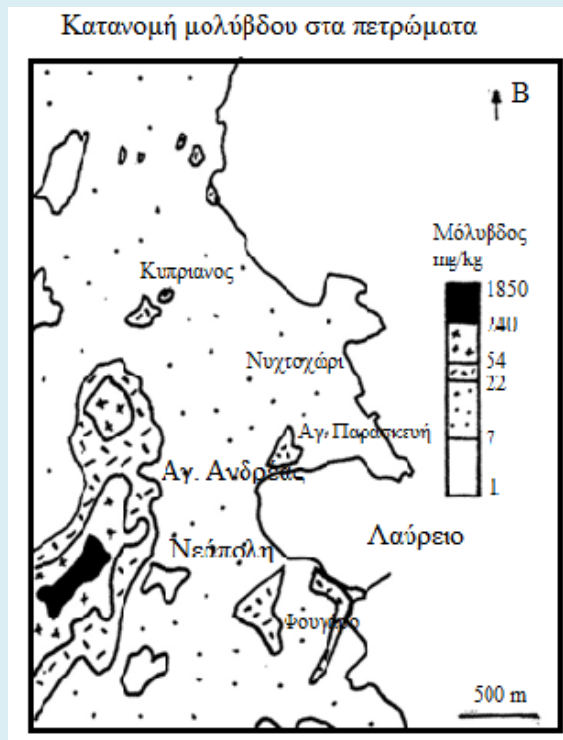
Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων δειγμάτων σκόνης από σκάφη στην
«OlympicMarine»

Δείγμα	Pb %ppm	Zn % ppm	Cd ppm	As ppm
1	0,193 1930	0,097 970	13,33	231,42
2	0,223 2230	0,196 1960	17,16	323,18

(Από την παραπάνω μελέτη του Α.Φραγκίσκου)

Η απόθεση παντός είδους μεταλλευτικών απορριμμάτων έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική αύξηση της επιφάνειας εμφάνισης των ορυκτών σε συνθήκες προσβολής και αποσάθρωσης. Σημειώνεται βέβαια ότι, η αύξηση της επιφάνειας προσβολής των ορυκτών, δεν έχει σχέση με τη διαλυτότητά τους που παραμένει σταθερή ανεξάρτητα από την επιφάνεια αντίδρασης δηλ. το μέγεθος των τεμαχίων και της περιεκτικότητας σε μέταλλο του ορυκτού. Η διαλυτότητα αυξάνει, όπως ειπώθηκε, μόνο σε επαφή με ενώσεις (π.χ. ανόργανα και οργανικά οξέα, οργανικά μόρια) που δημιουργούν οργανομεταλλικά σύμπλοκα που προσβάλλουν και διαλύουν τα ορυκτά.

Αντίθετα η γεωχημική έρευνα των μητρικών πετρωμάτων, όπως φαίνεται στο χάρτη 7 για την περιορισμένη περιοχή της πόλης του Λαυρείου, δείχνει τελείως διαφορετική εικόνα τόσο στις συγκεντρώσεις (1-1850 mg/kg για το μόλυβδο), όσο και στην εξάπλωση. Υψηλές περιεκτικότητες υπάρχουν γύρω και πάνω στη μεταλλοφορία. Παρόμοια εικόνα θα παρουσίαζε αν η γεωχημική έρευνα επεκτεινόταν στα μητρικά πετρώματα σε ολόκληρη την περιοχή. Έτσι επιβεβαιώθηκε ότι τα εδάφη που λήφθηκαν τα δείγματα επικαλύφθηκαν και αλλοιώθηκαν περιεκτικότητες των πετρωμάτων σε ρυπογόνα στοιχεία, από την μεταφορά λεπτομερούς υλικού (σκόνης) από τις διάφορες αποθέσεις και όχι από τη διάβρωση-αποσάθρωση, μητρικών πετρωμάτων.



Χάρτης 7. Γεωχημικός Χάρτης πετρωμάτων γύρω από την περιοχή Λαυρείου. (Από τη μελέτη του Ι.Γ.Μ.Ε. 1999)

Η σύγκριση των δύο γεωχημικών ερευνών (εδάφους-πετρωμάτων) αποδεικνύει ότι η ρύπανση της Λαυρεωτικής προέρχεται από τις δράσεις του ανθρώπου, δηλ. από τη μεταλλευτική δραστηριότητα.

Τα συμπεράσματα της μελέτης αυτής για τις επιπτώσεις στην καθόλου πανίδα και χλωρίδα της Λαυρεωτικής (όπως αναφέρει ο Δημητριάδης και οι συνεργάτες του-Μελέτη Ι.Γ.Μ.Ε.) είναι εξαιρετικά δυσμενή. Ως παράδειγμα αναφέρεται ότι η εκατοστιαία αναλογία της έκτασης της Λαυρεωτικής Χερσονήσου (170 km²) με δυνητικά επικίνδυνες συγκεντρώσεις των τοξικών στοιχείων για την ανθρώπινη υγεία είναι: Σε έκταση 52 %-56 %για το As (As>55mg/kg), για το Pb (Pb όριο 500mg/kg), για το Cd (Cd>3mg/kg), και για τον Zn (Zn όριο 500 mg/kg). Σε έκταση 26 % για το Sb (Sb>27 mg/kg), σε έκταση 12 %-14 % για το Cu (Cu> 600 mg/kg) και έκταση 3 % για το Ni (Ni >150 mg/kg).

Παρόμοια στοιχεία δίνονται για την έκταση του εδάφους με συγκεντρώσεις χημικών στοιχείων που υπερβαίνουν τα προτεινόμενα φυτό-τοξικά επίπεδα σε συνάρτηση με την ανθρώπινη υγεία και κάνουν συγκεκριμένες προτάσεις για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων.

Μερικά χρόνια πίσω, ομάδα του Ε.Μ.Π. (υπό την εποπτεία του καθ. Κοντόπουλου) προέβηκε σε εκτέλεση έργων βελτίωσης - εξυγίανσης (αποκατάστασης) των εδαφών ακολουθώντας τα διεθνή πρότυπα για την αντιμετώπιση τέτοιων καταστάσεων. Αμφότερες εργασίες εκτελέστηκαν στην περίοδο 1996 μέχρι το 2000. Τα τελευταία χρόνια έγιναν σημαντικά έργα για την εξυγίανση και βελτίωση των εδαφών μέσα στο χώρο του Τεχνολογικού- Πολιτιστικού Κέντρου (εγκαταστάσεις Γ.Ε.Μ.Ε.Λ.) του Ε.Μ.Π. με εκσκαφή μεγάλου λάκκου, μόνωση του πυθμένα, ταφή τοξικών απορριμμάτων, κάλυψη με μη υδατοπερατή μεμβράνη και τελικά με φυτική γη. Σημαντικά έργα για την

εξυγίανση των εδαφών, έστω και περιορισμένης έκτασης, αλλά πρέπει να ακολουθήσουν μελέτες για τα πρακτικά αποτελέσματα των έργων αυτών.

Εδώ πρέπει να επισημανθεί μια σημαντική διαφορά. Άλλο η χημική ανάλυση για τον προσδιορισμό στοιχείων η οποία, μαζί με την υπολογιστική και μικροσκοπική διαδικασία δίνουν και την ορυκτολογική σύσταση του συγκεκριμένου δείγματος και άλλο η διαλυτότητα των ορυκτών στο νερό ή από θειικό οξύ, που σχηματίζεται από την οξείδωση του σιδηροπυρίτη.

Όλες οι χημικές αναλύσεις στην παρούσα εργασία αναφέρονται στο ολικό περιεχόμενο μέταλλο μολύβδου, ψευδαργύρου κ.λ.π. των ληφθέντων δειγμάτων, εκτός εκείνων από τα υπόγεια νερά και πηγάδια, που οπωσδήποτε αναφέρονται σε διαλυμένες ανώσεις. Ανάλογα με την περιεκτικότητα, δίνονται και σε ppm ή bpp (μέρη στο εκατομμύριο ή στο δισεκατομμύριο) αλλά και σε mg/kg ή l και σε μg/l. Υπενθυμίζεται ότι 1000ppm είναι 0,1%.

Για σύγκριση με τις περιεκτικότητες δειγμάτων της Λαυρεωτικής (όπως φαίνονται στους χάρτες 4 και 5, αλλά και εκείνων που αναγράφονται στο κείμενο), δίνονται στον Πίνακα 5 οι διαλυτότητες ορισμένων ορυκτών που υπάρχουν και στη Λαυρεωτική. Στην τρίτη στήλη του πίνακα 5 δίνεται το γινόμενο διαλυτότητας, K_{sp} , των ορυκτών, το οποίο για ορυκτά με χημικό τύπο M_xA_y αντιστοιχεί το γινόμενο: $K_{sp}=[M]^x \cdot [A]^y$, όπου $[M]$ και $[A]$ είναι οι συγκεντρώσεις των κατιόντων και ανιόντων (σε mol/l) σε υδατικό διάλυμα που βρίσκεται σε επαφή με το συγκεκριμένο ορυκτό. Στην τέταρτη στήλη δίνονται οι συγκεντρώσεις των μεταλλοκατιόντων στο νερό, όπως υπολογίζονται από το γινόμενο διαλυτότητας, μονάδες μg/l (ppb) για να είναι δυνατή η σύγκριση με τα υφιστάμενα όρια ποιότητας των νερών. ρύπανσης στην πανίδα και χλωρίδα. Αλλά, δυστυχώς οι διαλυτότητες των ορυκτών εξαρτώνται και αυξάνουν από την οξύτητα του περιβάλλοντος χώρου. Αυτό συμβαίνει με την παρουσία του σιδηροπυρίτη (που συνυπάρχει σχεδόν πάντα με τα μικτά θειούχα), ο οποίος οξειδώνεται και παράγει θειικό οξύ, το οποίο στη συνέχεια διαλύει τα ορυκτά πάνω από τη φυσική διαλυτότητα του νερού. Τότε αυξάνεται η διαλυτότητα των ορυκτών αφού βρίσκονται στην επίδραση του όξινου περιβάλλοντος. Στα σχήματα 2 και 3 φαίνεται η επίδραση του όξινου περιβάλλοντος στη διαλυτότητα των ορυκτών.

Πίνακας 5

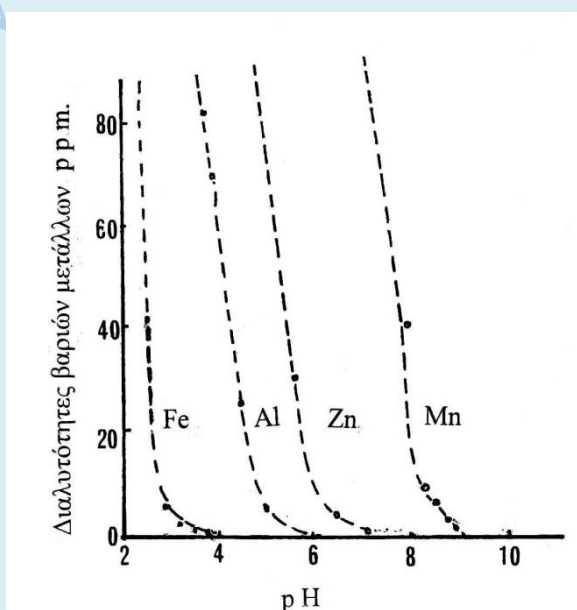
Γινόμενα διαλυτότητας ορυκτών που υπάρχουν και στη Λαυρεωτική και υπολογιζόμενη

Χημική Ένωση	Χημ. τύπος	K_{sp} (25 ⁰ C) *	[M] μg/l	mg/l	ppm
Θειϊκό Βάριο	BaSO ₄	1,1X10 ⁻¹⁰	1,44X10 ⁺³	1,44X10 ⁺⁰⁰	1,44
Θειούχο Κάδμιο	CdS	8,0X10 ⁻²⁷	1,01X10 ⁻⁰⁵	1,01X10 ⁻⁰⁸	1,01X10 ⁻⁰⁸
Ανθρακικό Ασβέστιο	CaCO ₃	3,8X10 ⁻⁹	2,47X10 ⁺⁰³	2,47X10 ⁺⁰⁰	2,47
Φθοριούχο Ασβέστιο	CaF ₂	5,3X10 ⁻⁹	4,40X10 ⁺⁰⁴	4,40X10 ⁺⁰¹	44
Θειϊκό Ασβέστιο	CaSO ₄	9,1X10 ⁻⁶	1,21X10 ⁺⁰⁵	1,21X10 ⁺⁰²	121
Θειούχος Χαλκός (I)	Cu ₂ S	2,5X 10 ⁻⁴⁸	1,09X10 ⁻⁰⁸	1,09X10 ⁻¹¹	1,09X10 ⁻¹¹
Θειούχος Χαλκός (II)	CuS	6,0X10 ⁻³⁷	4,92 X10 ⁻¹¹	4,92X10 ⁻¹⁴	4,92X10 ⁻¹⁴
Αρσενικός Χαλκός (II)	Cu ₃ (AsO ₄) ₂	7,6X10 ⁻³⁶	7,07 X 10 ⁺⁰⁰	7,07X10 ⁻⁰³	0.00707

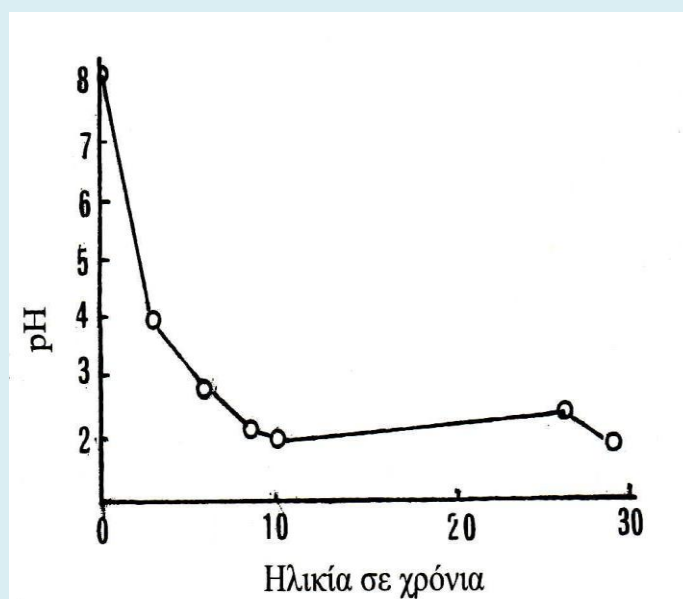
Χημική Ένωση	Χημ. τύπος	Ksp (25 ⁰ C) *	[M] µg/l	mg/l	ppm
Ανθρακικός Χαλκός (II)	CuCO ₃	1,4X10 ⁻¹⁰	7,52 X 10 ⁺⁰²	7,52X10 ⁻⁰¹	0,752
Ανθρακικός Σίδηρος	FeCO ₃	3,2X10 ⁻¹¹	3,16 X 10 ⁺⁰²	3,16X10 ⁻⁰¹	0,316
Θειούχος Σίδηρος	FeS	6,0X10 ⁻¹⁹	4,33 X 10 ⁻⁰²	4,33X10 ⁻⁰⁵	4,33X10 ⁻⁰⁵
Αρσενικός Σίδηρος	FeAsO ₄	5,7X10 ⁻²⁹	4,22 X 10 ⁻⁰³	4,22X10 ⁻⁰⁶	4,22X10 ⁻⁰⁶
Ανθρακικός Μόλυβδος	PbCO ₃	7,4X10 ⁻¹⁴	5,64 X 10 ⁺⁰¹	5,64X10 ⁻⁰²	0,0564
Θειικός Μόλυβδος	PbSO ₄	1,6X10 ⁻⁸	2,62 X 10 ⁺⁰⁴	2,62X10 ⁺⁰¹	26,2
Θειούχος Μόλυβδος	PbS	3,0X10 ⁻²⁹	1,13 X 10 ⁻⁰⁶	1,13X10 ⁻⁰⁹	1,13X10 ⁻⁰⁹
Ανθρακικό Μαγγάνιο	MnCO ₃	1,8X10 ⁻¹¹	2,33 X 10 ⁺⁰²	2,33X10 ⁻⁰¹	0,233
Θειούχο Νικέλιο	NiS	3,0X10 ⁻¹⁹	3,21 X 10 ⁺⁰²	3,21X10 ⁻⁰¹	0,321
Θειούχος Άργυρος	Ag ₂ S	6,0X10 ⁻⁵¹	2,47 X 10 ⁻⁰⁹	2,47X10 ⁻¹²	2,47X10 ⁻¹²
Θειικό Στρόντιο	SrSO ₄	3,2X10 ⁻⁷	4,96 X 10 ⁺⁰⁴	4,96X10 ⁺⁰¹	49,6
Ανθρακικό Στρόντιο	SrCO ₃	1,1X10 ⁻¹⁰	9,19 X 10 ⁺⁰²	9,19X10 ⁻⁰¹	0,919
Ανθρακικός Ψευδ/ρος	ZnCO ₃	1,4X10 ⁻¹¹	2,45 X 10 ⁺⁰²	2,45X10 ⁻⁰¹	0,245
Θειούχος Ψευδ/ρος	ZnS	1,2X10 ⁻²⁵	2,92 X 10 ⁻⁰⁵	2,92X10 ⁻⁰⁸	2,92X10 ⁻⁰⁸

Τιμές Ksp από <http://www.csudh.edu/oliver/chemdata/dada-Ksp.htm>

Από τον πίνακα 5 φαίνεται ότι τα θειούχα ορυκτά είναι πολύ πιο δυσδιάλυτα από τα οξειδωμένα, και δυστυχώς, ανεξάρτητα αν ήταν ή όχι θειούχα την εποχή της απόρριψής τους ως απορρίμματα ορυκτοαγωγίας, μετά από τόσα χρόνια σε σωρούς, θα έχουν σχηματίσει οξειδωμένες μορφές, και τα κατιόντα-ανιόντα θα βρίσκονται στα διαλύματα που δημιουργούνται από τη βροχή, στους υδροφόρους ορίζοντες, που γίνονται άμεσα βλαπτικά στα έμβια όντα, αλλά και από την εισπνεόμενη σκόνη από τους ανθρώπους και τα ζώα ή βρίσκονται στα φρούτα ή λαχανικά από την απορρόφηση των φυτών.



Σχ. 2. Αύξηση της διαλυτότητας σε συνάρτηση με την οξύτητα του περιβάλλοντος.



Σχ. 3. Απορρίμματα περιέχοντα σιδηροπυρίτη με την πάροδο ετών απολύουν οξύ και μειώνουν το pH. Τα απορρίμματα δεν περιείχαν ασβεστολιθικό υλικό.

(Hurley, New Mexico)

Η αναζήτηση της διαλυτότητας ορυκτών και σε άλλες βιβλιογραφικές πηγές έδειξε ότι υπάρχουν διαφορές μεταξύ των στοιχείων που παρουσιάζουν. Φαίνεται ότι υπάρχει δυσκολία στον προσδιορισμό ή δεν υπάρχει μια πρότυπη διαδικασία προσδιορισμού της διαλυτότητας ώστε τα αποτελέσματα να συμφωνούν μεταξύ τους.

Εδώ όμως παρουσιάζεται κάτι πιο σημαντικό. Ποια είναι επικίνδυνη περιεκτικότητα; Εκείνη του ολικού μετάλλου που περιέχεται (με διάφορες μορφές) στα ορυκτά, ή η αντίστοιχη διαλυτότητα στο νερό ή στο σχηματιζόμενο χημικό περιβάλλον;

Οι ασχολούμενοι με το περιβάλλον για λόγους αλληλοκατανόησης και συγκρισιμότητας στοιχείων και αποτελεσμάτων, έχουν θέσει όρια λήψης μέτρων, όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.

Πίνακας 6

Καναδικά όρια (2007) για την ανώτατη επιτρεπόμενη συγκέντρωση μεταλλικών ρύπων στα εδάφη (mg/kg)

Ρύποι	Χρήση γης			
	Αγροτική χρήση	Οικιστική χρήση	Εμπορική χρήση	Βιομηχανική χρήση
Pb	70	140	260	600
Zn	200	200	360	360
Cd	1,4	10	22	22
As	12	12	12	12

Cr _{ολικό}	64	64	87	87
Cr ₆	0,4	0,4	1,4	1,4
Va	130	130	130	130
Ni	50	50	50	50
Hg	6,6	6,6	24	24
Ba	750	500	2000	2000
Cu	63	63	91	91

Εξάλλου, για να έχουν κοινή γλώσσα (που φαίνεται δεν έχουν), εφαρμόζουν διάφορες μεθόδους με κάποια προσομοίωση ή παράλληλη ανταπόκριση στην αντίστοιχη δράση για το περιβάλλον. Δεν συγκρίνουν απευθείας μετρήσεις διαλυτότητας στο νερό. Φαίνεται ότι τα άλατα που περιέχονται στο νερό κάθε περιοχής, αλλά και τα περιεχόμενα ορυκτά, δεν δίνουν συγκρίσιμα αποτελέσματα. Γιατί όμως τα αποτελέσματα από τις μεθόδους που προτείνονται ή και τις προσομοιώσεις είναι πιο συγκρίσιμα; Ακόμη και οι διαλυτότητες διαφόρων ορυκτών, όπως βρέθηκε στη βιβλιογραφία, δεν συμφωνούν μεταξύ τους.

Οι απλούστερες μέθοδοι, όπως περιγράφονται στις εργαστηριακές ασκήσεις των Μηχανικών Μεταλλείων και Μεταλλουργών του Ε.Μ.Π. του μαθήματος «Αποκατάσταση Ρυπασμένων Εδαφών» περιλαμβάνουν ένα μόνο στάδιο και τα μέταλλα διαχωρίζονται σε δύο κλάσματα: το ευδιάλυτο και το σταθερό ή με τα πολλαπλά στάδια για περισσότερες πληροφορίες γύρω από τη ρύπανση του εδάφους.

Μέθοδοι με ένα στάδιο είναι:

1) Οι πρότυπες δοκιμές τοξικότητας TCLP (Toxicity Characterization Leaching Procedure) της USEPA., στις οποίες χρησιμοποιείται οξικό οξύ. Αναπτύχθηκαν κύρια για τον χαρακτηρισμό της τοξικότητας στερεών αποβλήτων, έχουν όμως εφαρμοστεί και στα εδάφη.

2) Η εκχύλιση με διαλύματα οργανικών συμπλοκοποιητών, όπως το EDTA. DTPA κ. ά. Εφαρμόζεται κύρια στα εδάφη για τον προσδιορισμό του φυτοδιαθέσιμου μέρους των μετάλλων.

Είναι απλές διαδικασίες, αλλά μειονεκτούν, γιατί είναι δύσκολο να βρεθούν τα κατάλληλα αντιδραστήρια, προκειμένου ποσοτικά να ληφθούν τα διαλυτά και να παραμείνουν τα αδιάλυτα μέρη του εδάφους.

Μέθοδοι πολλαπλών σταδίων:

Οι μέθοδοι πολλαπλών σταδίων κατανέμουν τα μέταλλα σε κλάσματα διαφορετικής διαθεσιμότητας, με τη διαδοχική εκχύλιση των δειγμάτων που λήφθηκαν από το έδαφος με κατάλληλα επιλεγμένους διαλύτες. Είναι χρονοβόρες, αλλά παρέχουν πληροφορίες για την προέλευση, τη βιολογική και φυσικοχημική διαθεσιμότητα και τους κινδύνους διασποράς των ρύπων.

Οι διαδοχικές εκχυλίσεις προσδιορίζουν:

α) Τη χημική μορφή των ρύπων, π.χ. προσροφημένα ιόντα, ανθρακικές ενώσεις κ. ά.

β) Τη γεωχημική φάση στο έδαφος (π.χ. οξείδια σιδήρου-μαγγανίου, οργανική ουσία, ανθρακικά ορυκτά, θειούχα ορυκτά κ. ά.) που παρουσιάζει τη μεγαλύτερη συσσώρευση των μεταλλικών ρύπων.

γ) Την τάση διαλυτοποίησης-αποδέσμευσης των ρύπων σε διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες, κύρια όσον αφορά στις μεταβολές του pH και του οξειδοαναγωγικού δυναμικού.

Οι μέθοδοι με ένα στάδιο, άλλωστε έγιναν για στερεά απόβλητα, δεν ανταποκρίνονται άμεσα για τους ρύπους που προέρχονται από την εξορυκτική βιομηχανία. Ίσως να παρερμηνευθούν τα αποτελέσματα της εφαρμογής τους στα εδάφη ρυπασμένα από μεταλλευτικές ή μεταλλουργικές δραστηριότητες. Αντίθετα, οι μέθοδοι των διαδοχικών εκχυλίσεων, με τους τρεις στόχους που επιδιώκουν, είναι άμεσα συνδεδεμένοι με τη ρύπανση της εξορυκτικής δραστηριότητας.

Και οι τρεις στόχοι, ιδιαίτερα ο τρίτος που στοχεύει στην τάση διαλυτοποίησης-αποδέσμευσης των ρύπων σε διάφορες περιβαλλοντικές συνθήκες, αποτελεί και την απάντηση στο ερώτημα: πόσο είναι ρυπασμένο το έδαφος και ποιους κινδύνους περικλείει για την πανίδα και χλωρίδα της περιοχής. Άλλωστε ο προσδιορισμός των διαλυτοποιημένων και αποδεσμευμένων μεταλλικών ιόντων είναι εκείνο που πρέπει να βρεθεί, ώστε να δώσει και κατευθυντήριες γραμμές για την αντιμετώπιση τους.

Από τα παραπάνω θα μπορούσε να διατυπωθεί ότι, εκείνο που ενδιαφέρει σε μια προσπάθεια εξυγίανσης εδαφών ρυπασμένων από κατάλοιπα μεταλλευτικής δραστηριότητας είναι ο ποσοτικός προσδιορισμός των μεταλλικών ιόντων (και όχι της ολικής περιεκτικότητας στα διάφορα μέταλλα), και η εύρεση της αιτίας που αυξήθηκαν τα ιόντα πέρα από τις διαλυτότητες των ορυκτών που περιέχονται στον Πίνακα 5. Με την εύρεση της αιτίας που αυξήθηκε η διαλυτότητα των ορυκτών, προδιαγράφονται και οι τρόποι αντιμετώπισης της ρύπανσης.

Η μέθοδος TCLP προσομοιώνει τις συνθήκες που επικρατούν σε χώρο απόθεσης των αστικών αποβλήτων. Η εφαρμογή της σε μεταλλευτικά, βιομηχανικά απορρίμματα ή και εδάφη προσομοιώνει το δυσμενέστερο σκηνικό διαχείρισης. Η μέθοδος αυτή εφαρμόστηκε εκεί που τα αστικά απόβλητα αποτίθενται μαζί με άχρηστα μολυβδούχα σκεύη, σωλήνες, επικασσιτερωμένα ή άλλα υλικά και τα περιεχόμενα οργανικά σχηματίζουν οξέα που διαλύουν τις ενώσεις του μολύβδου. Η μέθοδος αυτή επιτρέπει τον προσδιορισμό της μεγίστης εκχυλισιμότητας των βαρέων και τοξικών στοιχείων. Το σκηνικό αυτό είναι δύσκολο να συμβεί στην πράξη γιατί τα απορρίμματα από τα μεταλλεία ή τα μεταλλουργεία, δεν έχουν καμία σχέση με τα στερεά αστικά απόβλητα. Αυτό θα συμβεί μόνον εάν γίνει επίτηδες η απόθεση στερεών αστικών αποβλήτων με μεταλλευτικά απορρίμματα. Με το σκεπτικό αυτό η μέθοδος TCLP δεν είναι προσαρμοσμένη στις πρακτικές διαχείρισης των μεταλλευτικών ή μεταλλουργικών απορριμμάτων.

Γι' αυτό και τα όρια τοξικότητας που δίνονται στον Πίνακα 7 για μεταλλικά στοιχεία και ισχύουν για την αξιολόγηση των στερεών αποβλήτων με βάση τη δοκιμή TPCL, δεν αποτελούν ασφαλή κριτήρια για ενδεχόμενη επιβλαβή επίδραση στη πανίδα και χλωρίδα μιας περιοχής που είχε ή έχει μεταλλευτική δραστηριότητα.

Πίνακας 7

Όρια τοξικότητας της μεθόδου TCLP σε ppm.

Στοιχείο	ppm.
As	5,0
Cd	1,0
Pb	5,0
Cr	5,0
Se	1,0
Ag	5,0
Ba	100,0
Hg	0,2

Στα αποτελέσματα του Πίνακα 6 δεν διευκρινίζεται αν προέρχονται με εφαρμογή τις μεθόδου TCPL, σε εδάφη με μόνο μεταλλευτικά απορρίμματα (;) ή σε εδάφη που έχουν αποθεθεί αστικά απόβλητα με μεταλλευτικά απορρίμματα και πως αυτά τα όρια, που τέθηκαν από τους ερευνητές της μεθόδου, αποτελούν και τα όρια τοξικότητας μιας απόλυτα μεταλλευτικής περιοχής. Δεν σημειώνεται ακόμη η αντιστοιχία των ορίων αυτών, με τα όρια μιας άλλης μεθόδου που δίνει απευθείας ποσοτικά την επιτρεπόμενη τιμή, για τα ελεύθερα ιόντα που προέρχονται από την διάλυση των όποιων απορριμμάτων από τα νερά ή από το σχηματιζόμενο όξινο περιβάλλον της μεταλλευτικής περιοχής.

Η μέθοδος EDTA (EthyleneDiamineTetraaceticacid) αναπτύχθηκε για να προσομοιώσει τη διαθεσιμότητα στα φυτά των χημικών στοιχείων που περιέχονται στα εδάφη και αποτελεί την πιο διαδεδομένη και αποδεκτή μέθοδο προσδιορισμού του φυτοδιαθέσιμου κλάσματος μετάλλων σε εδάφη. Το κλάσμα του μετάλλου που εξάγεται με το εκχυλιστικό διάλυμα EDTA σχετίζεται με το κλάσμα του μετάλλου που απορροφάται από τα φυτά και ιδιαίτερα το φυτοδιαθέσιμο κλάσμα του Cd, Cu, Ni, Pb και Zn. Στην περίπτωση αυτή υπάρχει μια εξήγηση και ένας παραλληλισμός για τη φυτοδιαθεσιμότητα των μετάλλων, αλλά καμία αναφορά για τα ελεύθερα μεταλλικά ιόντα που με κάποιο τρόπο παράχθηκαν και ρυπαίνουν σε επικίνδυνη περιεκτικότητα την περιοχή. Δεν γίνεται μνεία αν το φυτοδιαθέσιμο κλάσμα μετάλλου είναι ισοδύναμο στην επικινδυνότητα για την πανίδα.

Η μέθοδος των σταδιακών εκχυλίσεων δίνει τις πληροφορίες που αναφέρονται παραπάνω και μέσα από αυτές να μπορεί να καθοριστεί, αν είναι δυνατή, η εξυγίανση της περιοχής από τα τοξικά μεταλλοιόντα. Χρησιμοποιεί τεχνικές για τον προσδιορισμό των διαφόρων πληροφοριών αλλά δεν αναφέρει πως τα στοιχεία αυτά συνδυάζονται με τις πραγματικές συνθήκες στη φύση ή πως αυτές οι τεχνικές συμβαίνουν στην πράξη. Είναι γνωστή η συγκράτηση μεταλλοιόντων στα λεπτομερή τεμαχίδια των απορριμμάτων και η ισορροπία που υπάρχει μεταξύ αυτών και της διαλυτότητας, αλλά ο προσδιορισμός με $MgCl_2$ δεν προσδιορίζει πόσο από αυτό ελευθερώνεται και γίνεται ρύπος στο φυσικό περιβάλλον της μεταλλευτικής δραστηριότητας. Δεν αμφιβάλλει κανείς ότι είναι σημαντικό να προσδιορίζονται οι ανθρακικές ενώσεις οι οξειδώσεις ή αναγωγές που μπορούν να συμβούν στα μεταλλευτικά απορρίμματα, αλλά πιο σημαντικό είναι η γνώση της ιοντικής περιεκτικότητας βλαπτικών μετάλλων σε ένα φυσικό

εκχύλισμα απορριμμάτων και η επίδρασή του στον υδροφόρο ορίζοντα και η βλαπτικότητα του στα έμβια όντα, δηλ. φυτά, ζώα ανθρώπους.

Από τα παραπάνω συνοπτικά εκτεθέντα για τον προσδιορισμό των ρύπων σε ρυπασμένα από μεταλλικές ενώσεις (ορυκτά) εδάφη, ή κατά τη διάρκεια της εκμετάλλευσης ενός μεταλλείου ή μετά το πέρας, από τα στείρα και απορρίμματα που άφησε πίσω της η μεταλλευτική δραστηριότητα, φαίνεται ότι ακόμη δεν έχει διατυπωθεί μια κάποια αποδεκτή γενικά διαδικασία προκειμένου να απαντήσει αν το έδαφος που εξετάζεται είναι ρυπασμένο και επιβλαβές και σε ποιο βαθμό για τα έμβια όντα.

Έχουν τεθεί διαφορετικά όρια, όπως φαίνεται στον Πίνακα 6, για τις αγροτικές, οικιστικές εμπορικές και βιομηχανικές περιοχές, ως και εάν στις δύο τελευταίες δεν υπάρχει πανίδα ή χλωρίδα. Εφόσον είναι απαγορευτικό τα 140 ppmPb για μια οικιστική περιοχή, έτσι έπρεπε να είναι και για τη βιομηχανική που φθάνει τα 600 ppm, εκτός αν αυτό αποτελεί προνόμιο ή απαίτηση της βιομηχανίας. Για τις διαφορές αυτές υπάρχουν και τα σχετικά επιχειρήματα. Τα φυτά, σε υψηλότερες συγκεντρώσεις απορροφούν ρύπους πέρα από το όριο και τις περνούν στα ζώα και στους ανθρώπους. Γι' αυτό και τα όρια είναι τα πιο χαμηλά. Η διαφορά για τις τρεις άλλες περιπτώσεις ανάγεται στο χρόνο παραμονής στην περιοχή του ρύπου. Στις οικιστικές περιοχές οι άνθρωποι και τα ζώα μένουν 24 ώρες ενώ, π.χ. στις βιομηχανικές περιοχές μόνο 8 ώρες και πιθανό να λαμβάνονται και επιπρόσθετες προφυλάξεις. Μπορεί η παραμονή να είναι μόνο 8 ώρες, αλλά η προσβολή είναι περίπου 4 φορές περισσότερη και στο 1/3 του χρόνου φθάνει τα 200 ppm για το Pb. Δεν είναι σοβαρές οι διαφορές, αλλά και μια συμφωνία στους αριθμούς θα ήταν περισσότερο πειστική. Οι ασχολούμενοι με την προστασία του περιβάλλοντος πρέπει να είναι απόλυτα τεκμηριωμένοι και πειστικοί σ' αυτά που γράφουν ή διατυπώνουν ώστε να μη καταντούν οικολογούντες ή περιβαλλοντολόγουντες.

Στον Πίνακα 8 δίνονται τα αποτελέσματα των εργαστηριακών μετρήσεων για απορρίμματα - σκουριές του πίνακα 2 (που υπάρχουν οι χημικές αναλύσεις) όσον αφορά στο EDTA, TCLP, και SL, με τα σχετικά σχόλια.

Στον Πίνακα 9 δίνονται τιμές ρύπων που έχουν θεσπίσει στην Ολλανδία. Ο Πίνακας περιέχει τις τιμές των ρύπων, μέχρι που μπορούν να φτάσουν, που πρέπει να γίνουν επεμβάσεις καθώς και οι περιεκτικότητες του υποβάθρου και υπόγειου νερού για ένα κοινό έδαφος με 10% οργανικό υλικό και 25% άργιλο.

Πίνακας 8

Αποτελέσματα μετρήσεων EDTA, TCLP, και SL για τις κυριότερες αποθέσεις μεταλλευτικών απορριμμάτων και σκουριών.(Από τη μελέτη του Ε.Μ.Π. 1997)

Περιοχή	Στοιχεία >	Pb	Zn	Cd	As
Μποδοσάκης	EDTA ppm	2781	386	4,5	220
	TCLP «	2-40		0,1-2	0,1-10
	SL	3436	360	6,4	280
Καβοδόκανος	EDTA ppm	124	10525	45	<20
	TCLP «	5-25		1-5	0,1-2
	SL	396	12526	51	<20

Περιοχή	Στοιχεία >	Pb	Zn	Cd	As
Φράγμα-τέλμα	ADTA ppm	302	442	3,8	<20
	TCLP «	1-18		0,1-4	0
	SL	272	737	9,2	<20
Σαβούρα	EDTA ppm	6152	5070	26,4	30
	TCLP «	87,9	201	2,5	1,0
	SL 1 ^η εκχύλιση	0	12	7,2	
	SL2 ^η «	602	6028	49,2	
Τέλματα	EDTA ppm	15672	5000	32,8	40
	TCLP «	86-210	185	0,7-2,4	0
	SL 1 ^η εκχύλιση	40	16	6,4	
	SL 2 ^η «	11848	6058	53,2	

Πίνακας 9

Επιθυμητές τιμές ρύπων, συστάσεις για τιμές επεμβάσεων, τιμές υποβάθρου και υπογειώνυδάτων για ένα έδαφος με 15% οργανικά και 25% άργιλο.

Εδάφη	Υπόγεια ύδατα						
	Υπόβαθρο	Ιζήματα Στόχος	Όριο παρέμβασης	Στόχος αβαθή	Υπόβαθρο	Στόχος βαθιά	Παρέμβαση
Μέταλλα	BC	BC incl.			BC	BC incl.	
Αντιμόνιο	3	3	15		0,09	0,15	20
Αρσενικό	29	29	55	10	7	7,2	60
Βάριο	160	160	625	50	200	200	625
Κάδμιο	0,8	0,8	12	0,4	0,06	0,06	6
Χρώμιο	100	100	380	1	2,4	2,5	30
Κοβάλτιο	9	9	240	20	0,6	0,7	100
Χαλκός	36	36	190	15	1,3	1,3	75
Υδράργυρος	0,3	0,3	10	0,05		0,01	0,3
Μόλυβδος	85	85	530	15	1,6	1,7	75
Μολυβδαίνιο	0,5	3	200	5	0,7	3,6	300
Νικέλιο	35	35	210	15	2,1	2,1	75
Ψευδάργυρος	140	140	720	65	24	24	800

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι υπάρχουν διαφορές ως προς τα επιτρεπόμενα όρια ή όρια παρέμβασης ή επικινδυνότητας. Ούτε, όπως φαίνεται έχει γίνει μια προσπάθεια καθορισμού ισοδύναμων τιμών μεταξύ των EDTA, TCPL, και SL σε ισοδυναμία με τους

γνωστούς δείκτες. Διαβάζοντας τις τιμές αυτών των μετρήσεων χρειάζεται και ειδικός να τις ερμηνεύσει.

Επίσης δεν έχει διευκρινιστεί, αν και διαφαίνεται ότι οι περιεκτικότητες αναφέρονται στην ολική ποσότητα περιεχομένου μετάλλου και όχι στη διαλυμένη με βάση τη διαλυτότητα του ορυκτού στο νερό ή τη διαλυτότητα που μετρήθηκε με βάση το χημικό περιβάλλον που έχει σχηματιστεί στην περιοχή με μεταλλευτική ρύπανση. Μπορεί πράγματι η ολική περιεκτικότητα σε μέταλλο να είναι η επικίνδυνη, αλλά δεν εξηγείται γιατί αυτή και όχι η διαλυμένη μορφή.

Από την άλλη άποψη, δειγματοληψίες και αναλύσεις με τοπικά νερά, μπορεί να μην έδιναν συγκρίσιμα αποτελέσματα με άλλες περιοχές, θα ήταν όμως οι πραγματικές διαλυτότητες για τα ορυκτά της εξεταζόμενης περιοχής.

Προς την κατεύθυνση αυτή, έγιναν από τους ερευνητές του Ι.Γ.Μ.Ε αναλύσεις από υπόγεια νερά και από πηγάδια που έδωσαν σχετικά χαμηλές τιμές, γιατί περιείχαν μόνο τα διαλυμένα ορυκτά, όπως φαίνεται στον Πίνακα 10. Ενώ μεγαλύτερη αύξηση έχουν, όπως ήταν αναμενόμενο, τα νιτρικά και νιτρώδη από τους βόθρους και λιπάσματα της περιοχής.

Πίνακας 10

Περιεκτικότητες σε μέταλλα ή άλλες χημικές ενώσεις σε υπόγεια νερά και πηγάδια.

(Μέση τιμή μετρήσεων-Από τη μελέτη του Ι.Γ.Μ.Ε. 1999)

Μέταλλο	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	SO ₄	NO ₂	NO ₃ N	NH ₄
Μονάδα	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Μέτρηση	1,2	6,3	15,3	13,5	176,7	6,3	10,3	211,3	377,2	0,9	44,7	0,1

µg/l=1/1000mg

mg/l=1/1000 g

Οι αναλύσεις του Πίνακα 10 δείχνουν αυξημένες τιμές διαλυτότητας για τα ορυκτά της Λαυρεωτικής που λήφθηκαν από το υπόγειο νερό ή τα πηγάδια. Όπως φαίνεται, η παρουσία σιδηροπυρίτη που οξειδώθηκε και έδωσε θειϊκό οξύ (πάντοτε υπήρχε στα απορρίμματα των εργοστασίων ορυκτουργίας στο Λαύρειο) αλλά και η παρουσία οξειδωμένων μορφών των ορυκτών, αύξησε τη διαλυτότητα τους. Είναι πιθανόν η επίδραση από τα ανθρακικά διαλύματα από τα μάρμαρα της περιοχής δεν είναι αρκετή για να εξουδετερώσουν την οξύτητα.

Από τα παραπάνω εκτεθέντα φαίνεται ότι το πρόβλημα της ρύπανσης στη Λαυρεωτική δεν προέρχεται απευθείας από τα μεταλλοφόρα κοιτάσματα, ούτε από τη μετανάστευση ιόντων προς την επιφάνεια από υπόγειες μεταλλοφορίες, αλλά από τη διάχυση της σκόνης σ' όλη σχεδόν τη Λαυρεωτική. Η εκτεταμένη μεταλλευτική δραστηριότητα σε πολλά σημεία διευκόλυνε τους πνέοντες ανέμους, ανεξάρτητα από διεύθυνση, να δημιουργήσουν γύρω από τα κέντρα παραγωγής ισοβαρείς καμπύλες περιεκτικότητας σε μέταλλα, που μειώνονται όσο απομακρύνονται από την πηγή, καθώς κατακάθεται η σκόνη. Μετρήσιμες ποσότητες ξεπέρασαν τα 25 km.

Ανεξάρτητα το πως σχηματίστηκε μια σχετικά μεγάλη ρυπασμένη περιοχή, σημασία έχει η μολυσματική της ικανότητα στον έμβιο κόσμο.

Ένα έδαφος με 500 mg/kgPb, πως επιδρά στον άνθρωπο; Με την εισπνοή ή την κατάποση; Βέβαια, όταν το πόσιμο νερό περιέχει μεταλλικά ιόντα περισσότερο από το επιτρεπόμενο όριο θα είναι άμεσα βλαπτικό στον οργανισμό, όταν όμως είναι κάτω από τα όρια, τότε τα 600 mg/kg που περιέχονται στο έδαφος (ολική περιεκτικότητα σε μέταλλο), πως γίνονται βλαπτικά και απαγορευτικά:

Οι συγκεντρώσεις των μεταλλικών ρίπων στα εδάφη της Λαυρεωτικής φαίνονται στον Πίνακα 11. Στον Πίνακα 12 δίνονται 4 κατηγορίες εδαφών από το Λαύρειο, ανάλογα με το ύψος των ρίπων. Στο κάτω μέρος του Πίνακα 12 καταγράφονται τα επιτρεπόμενα όρια, ενώ στο Πίνακα 13 υπάρχουν οι αναλύσεις σε βλαπτικά μέταλλα σε ελιές, κλήματα και προϊόντα που παράχθηκαν στο έδαφος του αποθέματος «Σαβούρα». Η σύγκριση των Πινάκων αυτών δείχνει τη σημαντική ρύπανση που υπάρχει στα εδάφη της Λαυρεωτικής, καθώς και στα προϊόντα που παράγονται σε αυτά. Κι' όμως στην αγορά ίσως διατίθενται προϊόντα από τη Λαυρεωτική, αλλά οπωσδήποτε καταναλίσκονται αυτά που παράγονται στους ιδιωτικούς κήπους. Δεν υπάρχουν γενικά στοιχεία για κάθε κήπο ή για κάθε προϊόν που καταναλίσκεται στο Λαύρειο.

Πίνακας 11

Αποτελέσματα ρύπανσης επιφανειακού εδάφους στη Λαυρεωτική.

Τιμές σε mg/kg (E.C. Contract N° BRPR-CT 96-0297-EMΠ)

Στοιχεία	Αστική περιοχή Λαυρείου		Λαυρεωτική		Τιμές για κήπους
	Αριθ. δειγμάτων: 224		Αριθ. δειγμάτων: 697		(ICRCL-1987)
	Διακύμανση	Μέση τιμή	Διακύμανση	Μέση τιμή	
Αρσενικό	50-24000	2494	<6-7066	222	10
Κάδμιο	4-925	68	<3-233	12	3
Χαλκός	43-4445	367	7-1397	368	130
Μόλυβδος	810-151579	11578	24-70032	2883	500
Ψευδάργυρος	591-76310	10872	28-51608	1958	50
Υδράργυρος	<3>0,8	0,21	<3>0,8	0,1	3

Πίνακας 12

Ολική περιεκτικότητα σε βλαπτικά και βιο-διαθεσιμότητα εδαφών στο Λαύρειο.

(αναφορά: όπως παραπάνω)

Περιεκτικότητα σε ppm	Pb	Pb	Zn	Zn	Cd	Cd	As	As
	Ολικό	Βιο- διαθ.*	Ολικό	Βιο- διαθ.*	Ολικό	Βιο- διαθ.*	Ολικό	Βιο- διαθ.*
Εδάφη Λαυρείου								
Χαμηλή	2260	350	935	51	22	19	400	<50

περιεκτ.								
Μέση χαμ. περιεκ.	3860	650	2630	255	28	23	550	<50
Μέση Υψηλ. περ.	6710	1520	6630	674	29,5	24	600	<50
Υψηλή περιεκτικ.	26900	4150	19800	3910	139	42,4	3050	<50
Όρια Ολλανδίας α	600		3000		20		50	
Όρια Καναδά β	375		600		3		20	

* : Δοκιμή εξαγωγής διαδοχικής Βιο-διαθεσιμότητας

α : Με τις τιμές αυτές απαιτείται αποκατάσταση του εδάφους.

β : Ειδικά όρια για αγροτική εφαρμογή.

Πίνακας 13
Περιεκτικότητα σε Pb Αγροτικών προϊόντων
(αναφορά: όπως παραπάνω)

Είδος	Περιεκτικότητα σε Pb mg/kg	Όρια E.E. mg/kg
Ελιές	5,6	0,1
Σταφύλια	8,7	0,1
Φύλ. ελιάς	386	-
Φυλ. κλημ.	175	-

Είναι φανερό από τα παραπάνω αναφερόμενα, ότι η ρύπανση της Λαυρεωτικής είναι σημαντική και το έργο της απορρύπανσης, αν όχι αδύνατο, πολύ δύσκολο αλλά και υπέρμετρα δαπανηρό. Δεν πρόκειται για μια συγκεκριμένη και περιορισμένη έκταση, αλλά για επιφάνεια γης που υπερβαίνει τα 170km².

Πρόσφατες χημικές αναλύσεις δειγμάτων σε αντίστοιχες περιοχές που έγιναν παλαιότερες δειγματοληψίες δίνονται στον Πίνακα 14 και όπως φαίνεται δεν παρουσιάζουν διαφορετική εικόνα από εκείνες της δεκαετίας του 1990.

Πίνακας14
Πρόσφατες αναλύσεις δειγμάτων από περιοχές γύρω από το Λαύρειο.

Δείγμα	Pb ppm	Zn ppm	Cdppm	As ppm	Fe%	S %	CaO %	SiO ₂ %
1	62	153	3	28	0,86	0,048	51,20	6,73
2	901	520	5	75	3,94	0,13	14,84	37,80

3	2488	2603	20	404	4,56	0,142	19,06	31,05
4	3568	8372	29	3971	5,12	1,79	20,57	17,67
5	3823	5496	19	1755	6,81	0,54	26,68	23,77
6	33840	12100	40	2387	13,13	0,61	28,57	21,53
7								
8	2982	6146	6	1200	7,50	3,05	4,93	36,98
9	555	733	12	97	1,36	0,124	49,17	8,45
10	15530	18840	84	4132	10,32	0,902	20,24	23,58
11	134	164	7	62	3,40	0,082	16,27	39,72

Οι αριθμοί αντιπροσωπεύουν δειγματοληψίες από τα παρακάτω σημεία.

1. Από πλατεία εναπόθεσης σκαφών. Δάπεδο στρωμένο με ασβεστολιθικό γαρμπίλι.
2. Από σωρό δεξιά του λιμανιού. Πίσω από παλιό καμίνι (τόρα καφετέρια).
3. Από έδαφος 2 χιλιομ. έξω από το Λαύρειο προς Σούνιο.
4. Από αμμώδες υλικό που συγκεντρώνεται στη βάση του πεζοδρόμιου στο αυτοκινητόδρομο. Η άμμος αυτή παρασύρεται με τον άνεμο από την παραλία Κυπριανού.
5. Από την έκταση παλιών αποθέσεων αριστερά του αυτοκινητόδρομου για την Αθήνα, πίσω από την παραλία Κυπριανού.
6. Από τη μεγάλη απόθεση απορριμμάτων στον Καβοντόκανο.
7. Από το σωρό απορρύπανσης του Κοντόπουλου.
8. Από χέρσο τμήμα (χωρίς άγρια βλάστηση) των αποθέσεων της παραλίας Κυπριανού.
9. Από το Τ.Π.Π.Λ. Δρόμος μπροστά από παλιές αποθήκες μεταλλεύματος στρωμένος με ασβεστολιθικό γαρμπίλι.
10. Από το Τ.Π.Π.Λ. Λόφος απορρύπανσης σε κενά από την άγρια βλάστηση.
11. Από το Τ.Π.Π.Λ. Παρτέρι κήπου στη κεντρική πλατεία.

Στον Πίνακα 15 παρουσιάζονται οι χημικές αναλύσεις για τα τέσσερα κύρια στοιχεία της ρύπανσης, από λιμνάζοντα νερά σε εκτάσεις απορριμμάτων (κατά τη διάρκεια του χειμώνα) και από το ρέμα που διασχίζει τα απορρίμματα της παραλίας Κυπριανού και καταλήγει στη θάλασσα.

Πίνακας 15

Χημικές αναλύσεις σε νερά της βροχής

Δείγμα	ppb	ppb	ppb	ppm
	Pb	Zn	Cd	As
1.1	87,80	0,20	0,40	13,82

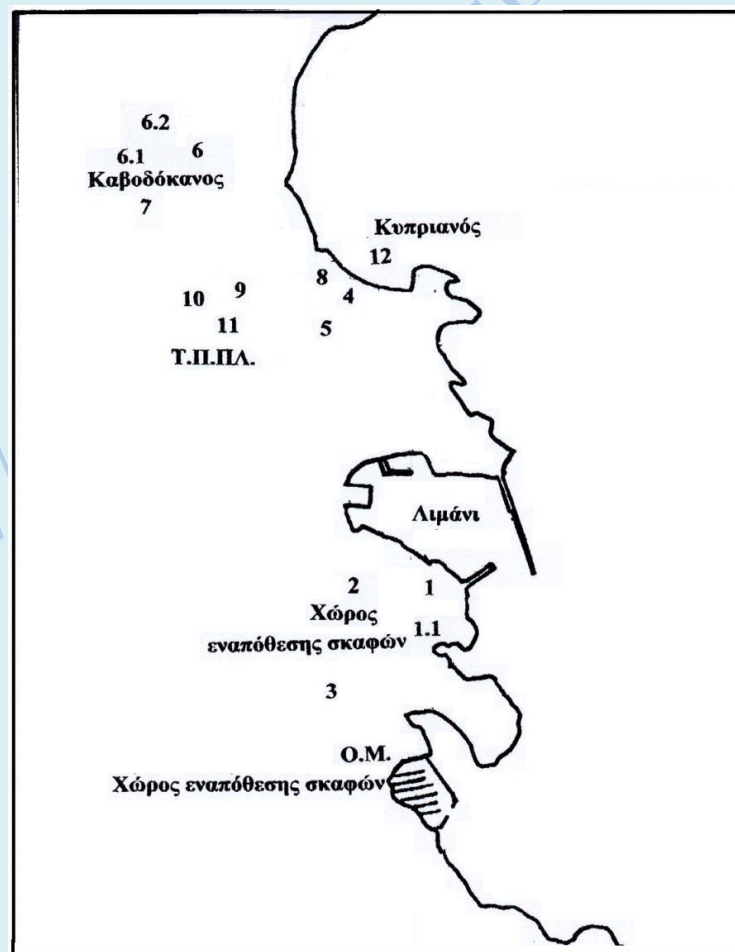
6.1	12,86	0,14	1,20	13,80
6.2	14,03	0,07	0,60	22,90
12	22,77	0,06	7,00	11,26

Οι αριθμοί αντιπροσωπεύουν δειγματοληψίες από τα παρακάτω σημεία.

- 1.1 Από συγκέντρωση νερού (λιμνάζον) στο χώρο εναπόθεσης σκαφών.
- 6.1 Από συγκέντρωση νερού (λιμνάζον) στο επίπεδο τμήμα της απόθεσης του Καβοδόκανου.
- 6.2 Από συγκέντρωση νερού σ' άλλη περιοχή της απόθεσης του Καβοδόκανου.
12. Από το νερό στο ρέμα που διασχίζει τα απορρίμματα της παραλίας του Κυπριανού και χύνεται στη θάλασσα.

(Η δειγματοληψία έγινε από τον γράφοντα και οι χημικές αναλύσεις από το εργαστήριο Μεταλλουργίας του ΕΜΠ).

Στο χάρτη 8 δείχνονται περίπου οι θέσεις που εκτελέστηκε η δειγματοληψία.



Χάρτης 8. Θέσεις πρόσφατης δειγματοληψίας (Πίνακας 14).

Συμπεράσματα

Από τα παραπάνω αποτελέσματα διαπιστώνεται ότι η εξάπλωση της ρύπανσης παραμένει σχεδόν σταθερή στην περιφέρεια του Λαυρείου, ανεξάρτητα από τις μικρές προδρομικές απορρυπάνσεις που έγιναν στη περιοχή. Ειδικότερα:

α) Το αμμώδες υλικό, ιδιαίτερα η σκόνη, παρασύρεται και διοχετεύεται παντού. Εκεί που βρίσκεται κάποια αντίσταση, χάνει την ταχύτητά του, πέφτει και συγκεντρώνεται στα σημεία αυτά. Πίσω από το πεζοδρόμιο του αυτοκινητόδρομου (δείγμα 4) και στο απόθεμα απορριμμάτων με άγρια βλάστηση, στην έκταση πίσω από την παραλία Κυπριανού (δείγμα 5).

β) Η βασική αιτία παράσυρσης σκόνης είναι οι αμμώδεις αποθέσεις της παραλίας Κυπριανού. Αυτό δείχνουν τα δείγματα 4 και 5. Και ίσως και από αλλού, ανάλογα με τη θέση και φύση του σωρού και την κατεύθυνση του πνέοντος ανέμου.

γ) Στις θέσεις που το έδαφος καλύφθηκε με ασβεστόλιθο, η αναλύσεις στα ρυπογόνα στοιχεία είναι πολύ χαμηλότερες, (δείγματα 1 και 9).

δ) Ο λόφος που σχηματίστηκε από τη συγκέντρωση και κάλυψη των ρυπασμένων εδαφών του Τ.Π.Π.Α., δημιούργησε άγρια βλάστηση (δεν έγινε σπορά ή φύτευση) και στα χέρσα σημεία συγκεντρώθηκαν αυξημένες περιεκτικότητες ρυπαντών, (δείγμα 10).

ε) Οι αποθέσεις στον Καβοντόκανο, με ελάχιστη άγρια βλάστηση, είναι άλλη μια πηγή ρύπανσης της περιοχής.

στ) Τα δείγματα 1 και 9 περιέχουν το στρώμα του ασβεστόλιθου αλλά και παλιό ρυπογόνο δάπεδο. Το στρώμα του ασβεστόλιθου δεν ήταν επαρκές ώστε να καλύψει με ασφάλεια το παλιό υπόστρωμα. Η κίνηση των τροχοφόρων είναι αρκετή (και στις δυο περιπτώσεις) να απομακρύνει μέρος του ασβεστόλιθου.

ζ) Άγρια βλάστηση φυτρώνει πάνω στα απορρίμματα.

η) Τα νερά της βροχής διαλύουν τα ρυπογόνα στοιχεία μέσα στα όρια της πιο αυστηρής προδιαγραφής, αφού αναφέρονται σε ppb ή ppm και δεν θεωρούνται επιβλαβή. Φαίνεται ότι οι μολυβδούχες και αρσενικούχες ενώσεις είναι περισσότερο διαλυτές από τις ψευδαργυρούχες και καδμιούχες. Η σχετικά αυξημένες περιεκτικότητες του δείγματος 1.1 ίσως να οφείλονται στη συνεχή αναμόχλευση του δαπέδου από τους τροχούς των οχημάτων και ταυτόχρονα στη δημιουργία πολύ λεπτού υλικού από την τριβή των ελαστικών με τα τεμάχια της πλατείας.

θ) Το κηπευτικό χώμα που προστέθηκε στα παρτέρια της πλατείας του Τ.Π.Π.Α. έχει πολύ χαμηλές περιεκτικότητες σε ρυπογόνα στοιχεία. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο ότι η σκόνη του Κυπριανού δεν προσβάλλει τα χαμηλά ή τα διάφορα κτήρια ή άλλες κατασκευές την αποτρέπουν. Αντίθετα, ο λόφος της απορρύπανσης (Υ.Τ.Ρ.Ε.) βρίσκεται απευθείας εκτεθειμένος σε νότιους ανέμους με αποτέλεσμα την υψηλή περιεκτικότητα σε ρυπογόνα στοιχεία.

Είναι αλήθεια ότι με βάση την επικινδυνότητα και μόνο του μολύβδου, η περιοχή αυτή της Λαυρεωτικής θα ήταν ακατοίκητη. Κι' όμως, «ζει και βασιλεύει». Έχει βέβαια διαπιστωθεί As στα ούρα των ενήλικων και ανηλίκων καθώς και Pb στο αίμα των παιδιών, αλλά από κει και πέρα δεν υπάρχουν δημοσιευμένα στατιστικά στοιχεία, ώστε να εκτιμηθεί μια κατάσταση και πρόβλεψη.

Και εδώ τίθεται ένα συγκεκριμένο ερώτημα: Τι συμβαίνει στη Λαυρεωτική; Από τη μια μεριά η ρύπανση είναι τέτοια που θα δικαιολογούσε την απομάκρυνση των κατοίκων από την περιοχή και από την άλλη, εκτός από το αρσενικό και το μόλυβδο που διαπιστώθηκε στα ούρα των ενηλίκων και στο αίμα των παιδιών, δεν υπάρχουν στοιχεία αυξημένης θνησιμότητας στη Λαυρεωτική.

Αν η βλαπτικότητα προέρχεται από την ιοντική μορφή των μετάλλων, δηλ. το πόσο έχουν διαλυθεί από το νερό, τότε το πρόβλημα αντιμετωπίζεται. Αν προέρχεται από το ολικό μέταλλο, όπως δείχνουν οι ισορροπιακές καμπύλες, τότε υπάρχει μεγάλο πρόβλημα.

Βρέθηκε μόλυβδος στο αίμα των παιδιών, καθώς και αρσενικό στα ούρα των παιδιών και των ενηλίκων, αλλά ποια είναι η χημική σύνθεση αυτών των ενώσεων; Είναι πραγματικά βλαπτική.

Ο Ferguson και Denver αναφέρουν ότι η «επικινδυνότητα ή κίνδυνος» όπως εμφανίζεται στην εκτίμηση των ρύπων στο έδαφος, «υφίσταται εφ' όσον υπάρχει το ενδεχόμενο να προκαλέσει βλάβη ή ζημιά λόγω των ιδιοτήτων της ουσίας και τον τρόπο που εμφανίζεται». Ο Douben θεωρεί ότι «η επικινδυνότητα είναι η ιδιότητα που σε μια ειδική περίπτωση μπορεί να οδηγήσει σε βλάβη». Με βάση τις παραπάνω απόψεις, ένα τοξικό χημικό συστατικό δεν είναι κατ' ανάγκη επικίνδυνο, εάν οι τρόποι που εμφανίζεται αποκλείουν το ενδεχόμενο της βλάβης.

Ο Δημητριάδης κ.α. στην εργασία τους επισημαίνουν ότι «ο μόλυβδος, που είναι ευπρόσιτος στα παιδιά από υλικά του εδαφικού καλύμματος, συμπεριλαμβανομένου του εδάφους και της σκόνης», επειδή καθημερινά εισπνέουν τη σκόνη, ή έρχονται σε επαφή με αυτά (στις αυλές, στους κήπους, στου δρόμους κ. ά).

Έτσι ο κύκλος της επικινδυνότητας στη Λαυρεωτική περιορίζεται. Είναι προφανές ότι ούτε η φυσική μεταλλοφορία, ή τα μεταλλευτικά ή μεταλλουργικά έργα ή τα απορρίμματά τους, αυτά καθ' αυτά, αλλά ούτε οι υψηλές περιεκτικότητες σε μέταλλα είναι εκείνες που προκαλούν τη «χημική» ρύπανση στην περιοχή. Η διαλυτότητά τους είναι τόσο χαμηλή που δεν καταλήγει βλαπτική για την υγεία.

Το στοιχείο που δημιουργεί «το ενδεχόμενο να προκαλέσει βλάβη ή ζημιά» είναι η σκόνη. Είναι πιθανό, η σκόνη καταλήγοντας στο στομάχι με το όξινο περιβάλλον, να προσδίδει τα μεταλλικά ιόντα, που ανιχνεύονται στα δόντια ή τα ούρα των ανθρώπων. Αυτό τονίζει και ο Δημητριάδης.

Βασική προσπάθεια στην απορρυπαντική πολιτική ή μεθοδολογία εξυγίανσης των εδαφών είναι η κάλυψη με φυτό-χώμα από άλλη περιοχή. Όπως φάνηκε από τις αναλύσεις του υπόγειου νερού, η διαλυτότητα δεν έχει αυξηθεί σημαντικά, αν και δικαιολογούταν η παρουσία θειϊκού οξέος. Αλλά όπως φαίνεται επέρχεται μια εξουδετέρωση από διαλύματα ανθρακικού ασβεστίου από τις μεγάλες μάζες μαρμάρου στην περιοχή. Η διαλυτότητα του CaCO_3 είναι μεγαλύτερη από εκείνη των θειούχων ενώσεων.



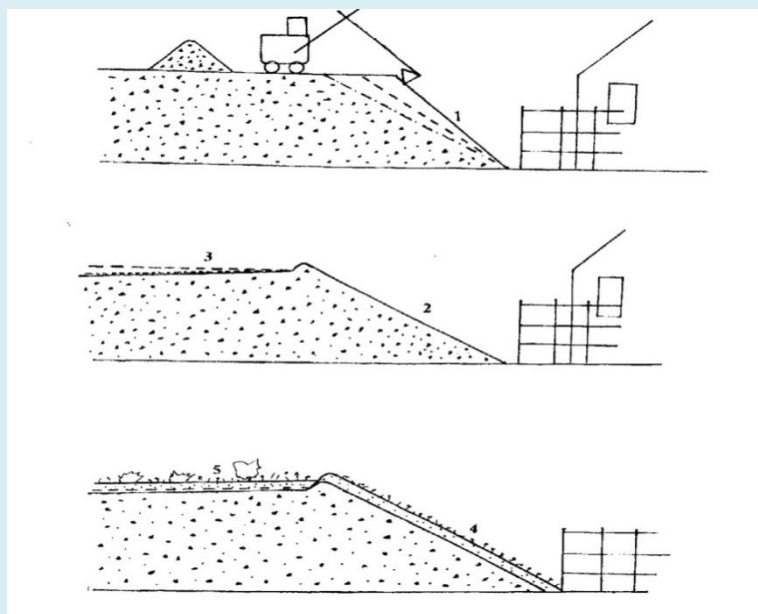
Φωτ. 1 Πετυχημένη βλάστηση σε πρανές με φυτική γη και σπορά.

Η φυτική γη αποτελεί την καλύτερη λύση, ιδιαίτερα αν πετύχει η χόρτο-θάμνο φύτευση. Μόνο τότε διατηρείται το φυτό-χώμα στη θέση του και δεν παρασύρεται από τα νερά της βροχής, όπως χαρακτηριστικά δείχνεται στη φωτ. 1, στις περιπτώσεις αποθέσεων με πρανή. Στη φωτ. 2, αν και το πρανές ήταν και είναι το ίδιο, δεν διατηρήθηκε το φυτό-χώμα και το νερό το παρέσυρε και δεν πρόλαβε να ριζώσει η βλάστηση. Μπορεί ακόμη να μην είχε σπαρθεί το τμήμα αυτό. Από τις φωτογραφίες αυτές φαίνεται ότι για να εξασφαλιστεί η επικάλυψη με φυτό-χώμα πρέπει να μειωθούν οι γωνίες του πρανούς, ή να διαμορφωθούν βαθμίδες ή να ανοιχθούν ξεχωριστοί λάκκοι. Αποτελεί όμως, απαραίτητη εργασία και η εκτέλεση αποστραγγιστικών έργων, ώστε τα νερά μη ρέουν προς το μέρος του πρανούς, αλλά με διάφορα κανάλια να διοχετεύεται σε άλλα αποστραγγιστικά έργα.



Φωτ. 2 Αποτυχημένη βλάστηση. Έλλειψη αποστραγγιστικών. Διατάραξη του πρανούς από τη διάνοιξη δρόμου.

Στο σχ.4 δείχνονται τα τρία στάδια εργασίας για την ελάττωση της γωνίας του πρανούς των σωρών (για να μην παρασύρεται από το νερό της βροχής η προσθετή φυτική γη), με μηχανικά μέσα και λήψη υλικού από το πάνω μέρος του σωρού.



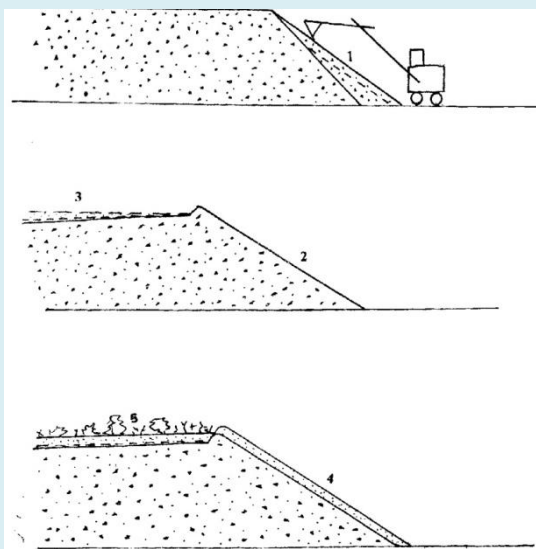
Σχ. 4. Μείωση γωνίας πρανούς σε απορρίμματα παλαιών εκμεταλλεύσεων.

Εκσκαπτικό μηχάνημα επάνω στο σωρό των απορριμμάτων.

(Γωνία φυσικού πρανούς: 38° - 42° Μετά από τη μείωση της γωνίας: 32° - 35° .)

1. Μείωση γωνίας πρανούς με σκαπτικό μηχάνημα και μεταφορά του υλικού επάνω στο σωρό
2. Διευθέτηση της επιφάνειας του σωρού με μικρή κλίση προς το εσωτερικό του, ώστε τα νερά της βροχής να μη ρέουν προς το πρανές και παρασύρουν τη φυτική γη.
3. Προσθήκη μικρού στρώματος ασβεστολιθικό υλικό (άμμο ή γαρμπύλι)
4. Προσθήκη φυτικής γης.
5. Χόρτο-θάμνο φύτευση.

Η εργασία αυτή (όπως δείχνει το σχ. 4) γίνεται από το πάνω μέρος του σωρού, επειδή εμποδίζεται η προέκταση του σωρού (που θα προέλθει από την αύξηση της συγκέντρωσης υλικού στη βάση του σωρού) από ιδιόκτητα κτήρια, δρόμους ή κατασκευές. Αντίθετα, αν ο χώρος για το μηχάνημα και τη συγκέντρωση του υλικού το επιτρέπουν, τότε η εργασία αυτή μπορεί να γίνει από τη βάση του σωρού όπως φαίνεται στο σχ.5.



Σχ. 5. Μείωση γωνίας πρανούς σε απορρίμματα παλαιών εκμεταλλεύσεων.

Εκσκαπτικό μηχάνημα στη βάση του σωρού των απορριμμάτων.

(Γωνία φυσικού πρανούς: 38° - 42° . Μετά από τη μείωση της γωνίας: 32° - 35°).

1: Μείωση γωνίας πρανούς και μεταφορά του υλικού στη βάση του σωρού.

2: Διευθέτηση της επιφάνειας του σωρού με κλίση προς το εσωτερικό του, ώστε τάνερά της βροχής να μη ρέουν προς το πρανές και να παρασύρουν τη φυτική γη.

3: Προσθήκη μικρού στρώματος ασβεστολιθικού υλικού (άμμο ή γαρμπύλι).

4: Προσθήκη φυτικής γης.

5: Χόρτο-θάμνο φύτευση.

Η μείωση της γωνίας του πρανούς αποτελεί μονιμότερη λύση, τη λιγότερο δαπανηρή (γιατί μπορεί να γίνει με μηχανήματα) και την ταχύτερη, αλλά η αναμόχλευση σε τόσο μεγάλη έκταση, η θρυμματίση των κάθε είδους τεμαχίων που θα επέλθει από τους τροχούς ή τις ερπύστριες των μηχανημάτων θα δημιουργήσουν βλαπτική σκόνη, που να καθιστούν αμφίβολο το αποτέλεσμα της επιδιωκόμενης απορρύπανσης εκτός αν αντιμετωπιστεί με καταιονισμό νερού κατά τη διακίνηση του υλικού, ή να θεωρηθεί προσωρινή ρύπανση.

Η διαμόρφωση μικρών βαθμίδων πλάτους μέχρι 50 cm θα πρέπει να γίνει χειρονακτικά, θα αφήσει κενά μεταξύ των βαθμίδων και θα ανεβάσει πολύ τη δαπάνη, χωρίς να εξασφαλίζει τέλεια την επιδιωκόμενη απορρύπανση, δηλ. να καλυφθεί όλο το ρυπογόνο μέρος της απόθεσης και να παρεμποδιστεί η παράσυρση της σκόνης.

Η διάνοιξη μικρών λάκκων και η θάμνο-φύτευση, ανεξάρτητα από το κόστος έχει μακροπρόθεσμα αποτελέσματα και είναι πιο κατάλληλη για πολύ μεγάλους σωρούς στείρων απορριμμάτων, (με μεγάλους μήκους γεννήτρια πρανούς).

Προτάσεις

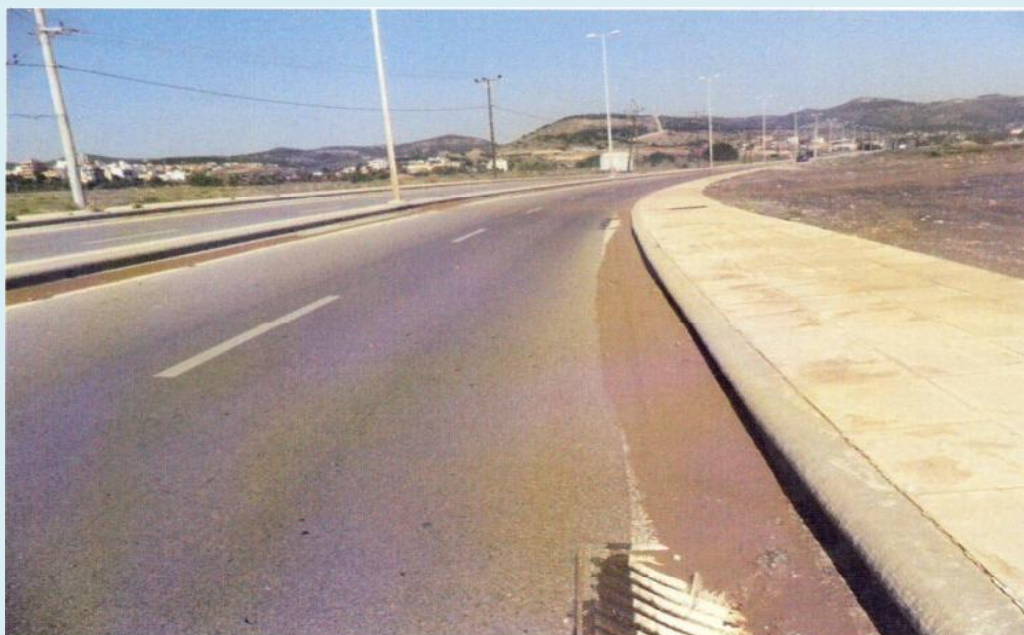
Η καταλληλότερη μέθοδος απορρύπανσης για τη περιοχή της Λαυρεωτικής είναι η κάλυψη της περιοχής με φυτική γη και σπορά με τον κατάλληλο και ταχείας ανάπτυξης χόρτο-τάπητα. Για τη σπορά πρέπει να επιλογή περίοδος χωρίς βροχές, (για να μη παρασυρθούν σπόροι και χώματα), αλλά με τεχνητό πότισμα μέχρι όπου αναπτυχθεί το ριζικό σύστημα. Επίσης στο επίπεδο μέρος των σωρών να υπάρχει μια σχετική κλίση προς το εσωτερικό και στο «φρύδι» του πρανούς να δημιουργείται ένα μικρό ανάχωμα με πρόσθετο χώμα, (το οποίο και θα σπαρθεί) ώστε να εμποδίζει την ροή των υδάτων προς το πρανές και την έκπλυση της φυτικής γης και καταστροφής του υπό δημιουργία πράσινου καλύμματος.

Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι, η κάλυψη μιας τόσο μεγάλης έκτασης με φυτική γη, αν όχι αδύνατο, είναι πολύ δύσκολο. Αλλά δεν είναι και εφικτή ή μεταφορά των αποθέσεων κάπου αλλού, γιατί πέρα από το υψηλό κόστος, δεν υπάρχει μέρος (και να αφήσουν οι περίοικοι) για να δεχθεί αυτές τις ποσότητες. Αλλά ούτε και η ταφή, με τους κανόνες της «επιστήμης και της τέχνης» θα ήταν η λύση. Αφενός θα είχε μεγάλο κόστος και αφετέρου, δεν είναι απόλυτα αποτελεσματική. Πάντα παραμένουν θρύμματα και σκόνες που συνεχίζουν τη ρύπανση. Άλλωστε η περίοδος της εκσκαφής-φόρτωσης-μεταφοράς και είναι άγνωστο για πόσο χρόνο μετά, η σκόνη που θα έχει παρασυρθεί θα συνεχίσει το βλαπτικό εφιάλτη στη γύρω περιοχή.

Επειδή, όπως έχει διαπιστωθεί, η μεγαλύτερη ρύπανση οφείλεται στην παρασυρόμενη σκόνη (λεπτομερή τεμαχίδια) πρέπει να βρεθούν όλες οι εστίες παραγωγής της και να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα. Μια διαπιστωμένη περίπτωση είναι τα λεπτομερή απορρίμματα της παραλίας Κυπριανού. Αυτό φαίνεται άμεσα αν παρατηρήσει κανείς τα πεζοδρόμια και τη διαχωριστική νησίδα του αυτοκινητόδρομου που περνά παράλληλα με την παραλία Κυπριανού, όπως φαίνεται και στη Φωτ. 3.

Μια πιο πρακτική λύση θα ήταν, σε πρώτη φάση, η επικάλυψη με ασβεστολιθική άμμο ή και γαρμπίλι του επιπέδου μέρους των αποθέσεων, (ίσως υπάρχει διαθέσιμη σε πολλά νταμάρια) σε πάχος 5-8cm που μπορεί να γίνεται σταδιακά, (όταν υπάρχουν χρήματα και μηχανήματα), με μικρή κλίση προς το εσωτερικό του σωρού και οπωσδήποτε, αποστραγγιστικά έργα. Η επικάλυψη μπορεί να αρχίσει στις βορειότερες περιοχές που προσβάλλονται από τους βόρειους άνεμους και να προστατευθεί το υπόλοιπο μέρος της περιοχής. Μ' αυτόν τον τρόπο θα καλυφθούν τα επίπεδα μέρη των αποθέσεων, θα περιοριστεί αρκετά η παράσυρσης της βλαπτικής σκόνης και θα μειωθεί η παραγωγή θεϊκού οξέος από την τυχόν παρουσία σιδηροπυρίτη.

Οι νότιοι άνεμοι έρχονται από τη θάλασσα και παρασύρουν και παρασύρουν σκόνη που έχει αποθεθεί. Δεν παρασύρουν νέα. Σε δεύτερη φάση μπορεί να καλυφθούν και τα πρανή, σε τρίτη φάση (και πάλι όταν υπάρχουν χρόνος και χρήματα), να εκτελεσθεί η επικάλυψη με φυτική γη στα πρανή και στα οριζόντια τμήματα (πάνω από το ασβεστολιθικό υλικό) των σωρών και σε τέταρτηφάση να προστεθεί το χώμα και η κάθε είδους βλάστηση. Άλλωστε, η δειγματοληψία σε στρωμένους με ασβεστολιθικό γαρμπίλι δρόμους (δείγματα 1, 1.1 και 9) αυτό δείχνει.

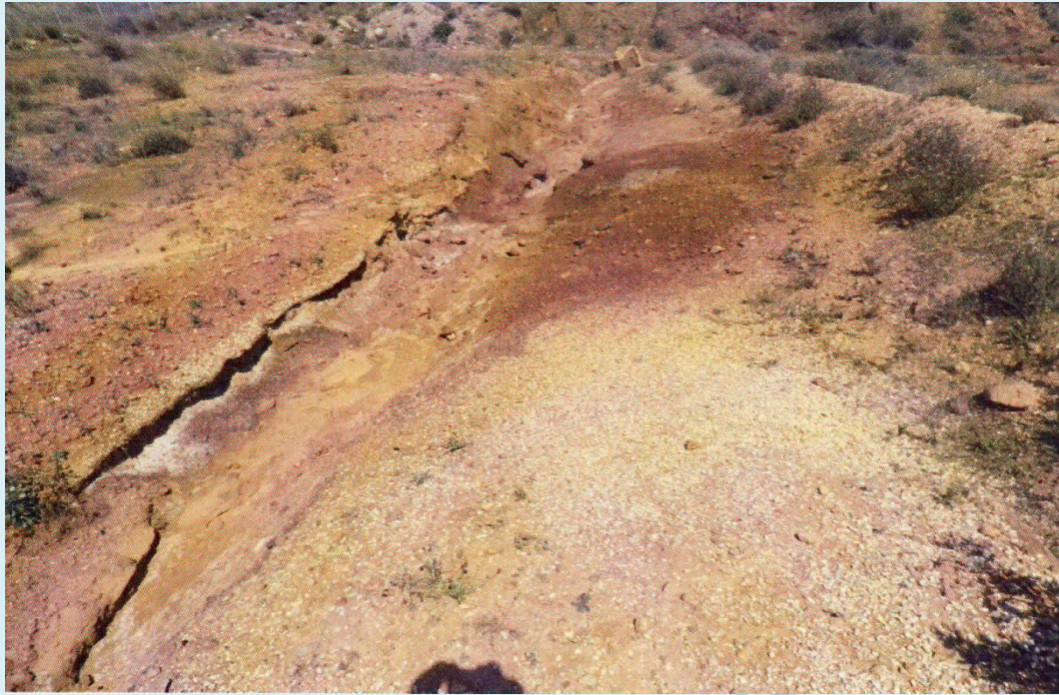


Φωτ.3 Συγκέντρωση ρυπασμένης άμμου πίσω από το πεζοδρόμιο του αυτοκινητόδρομου της παραλίας Κυπριανού από το πνέοντα άνεμο.

Μόνο με αυτή τη μεθοδολογία, και σε σχετικά μεγάλο χρονικό διάστημα, θα επιτευχθεί μια ολοκληρωτική απορρύπανση της περιοχής. Κάθε τι άλλο αποτελεί ημίμετρο. Άλλωστε η σκόνη που συλλέχθηκε πρόσφατα από διάφορα σημεία που διεξάγεται η καθημερινή ζωή των κατοίκων της περιοχής δεν έδειξε καμιά μείωση των βλαπτικών ρύπων, δηλαδή εκείνων που προέρχονται από την παράσυρση της σκόνης από τα παλιά απορρίμματα της μεταλλευτικής δραστηριότητας, τα οποία έχουν αποθεθεί σε διάφορα τμήματα της Λαυρεωτικής.

Παλαιότερα το Ε.Μ.Π. (Εργαστήριο Μεταλλουργίας) με τον Α. Κοντόπουλο είχαν εκτελέσει προδρομικές εργασίες απορρύπανσης (εξυγίανσης) σε δύο σωρούς που κρίθηκαν ως υψηλής επικινδυνότητας εξαιτίας της σχηματιζόμενης όξινης απορροής. Η μέθοδος της απορρύπανσης συνίστατο στην ανάμειξη του ανώτερου στρώματος των απορριμμάτων, πάχους 80 cm με λειοτριβημένο ασβεστόλιθο, σε ποσότητα που υπολογίστηκε σε 200 Kg/m², ώστε να περιοριστεί ο σχηματισμός της όξινης απορροής. Στη συνέχεια προστίθετο ένα στρώμα 10 cm με ασβεστολιθικό αμμοχάλικο και δύο εδαφικά χώματα 30 cm και 40 cm. Το ανώτερο στρώμα ήταν καλής ποιότητας φυτική γη κατάλληλο για βλάστηση. Το κόστος της εξυγίανσης αυτής έφτασε τα 3,6 ευρώ ανά m² και καλύφθηκε έκταση 65.000 m².

Δυστυχώς δεν έγιναν τα κατάλληλα αποστραγγιστικά έργα ή έγιναν ελλιπή, και με την πάροδο του χρόνου, ένα μέρος της βλάστησης καταστράφηκε, όπως φαίνεται στις Φωτ.4 και Φωτ.5 (2012).



Φωτ. 4 Έργα απορρύπανσης Κοντόπουλου. Βλάστηση αλλά και παράσυρση φυτικής γης.



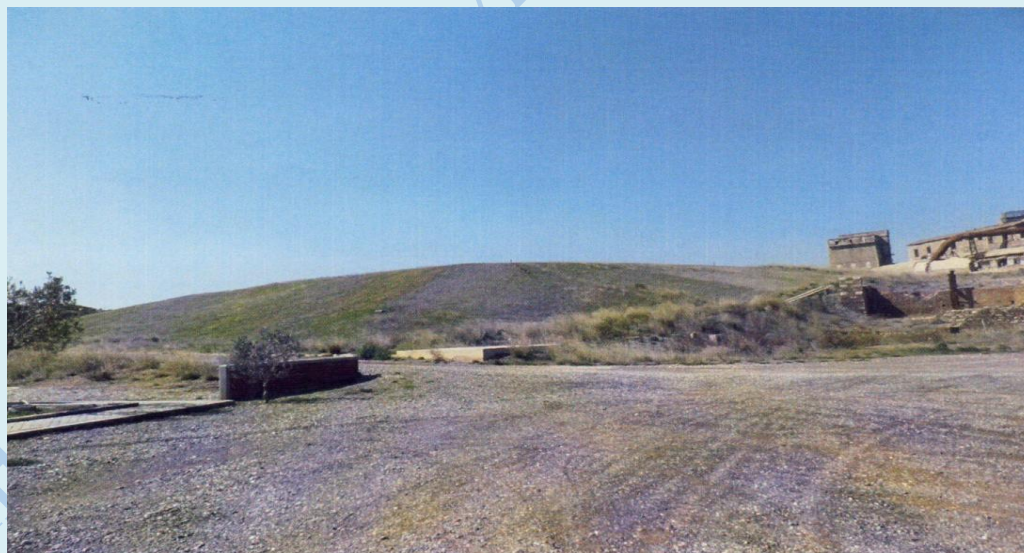
Φωτ. 5. Καταστροφή του έργου απορρύπανσης από την έλλειψη αποστραγγιστικών έργων.

Το 2007 ακολούθησε μια δεύτερη προδρομική αποκατάσταση ρυπασμένων εδαφών μέσα στον περίβολο του Τεχνολογικού Πολιτιστικού Πάρκου Λαυρείου από τον τομέα Μεταλλευτικής του Ε.Μ.Π., με διαφορετική μεθοδολογία. Κατ' αρχή δημιουργήθηκε μια μεγάλη εκσκαφή μέσα στην οποία μεταφέρθηκαν και αποτέθηκαν ρυπασμένα εδάφη (του πάρκου) συνολικού όγκου 120.000 m³. Η εκσκαφή έχει δημιουργηθεί σύμφωνα με την Υγειονομική Ταφή Ρυπασμένων Εδαφών (ΥΤΡΕ), κατά την οποία στεγανοποιείται ο

εσωτερικός χώρος με αλληπάλλληλα στρώματα προστασίας (γεωφάσμα, γεωμεμβράνη, άργιλος κ.ά.). Ακολουθεί η επαναφορά των ρυπασμένων εδαφών καθώς και κάθε άλλο ρυπογόνο υλικό που βρίσκεται εκεί γύρω. Η λοφοειδής μορφή που σχηματίζεται στην εκσκαφή από την περίσσεια των αποτιθεμένων υλικών, καλύπτεται από προστατευτική αδιάβροχη μεμβράνη και τελικά προστίθεται φυτικό χώμα για βλάστηση και ολόκληρο το έργο προστατεύεται από μόνιμα αποστραγγιστικά έργα. Στη Φωτ.6 φαίνεται εικόνα στο πέρας των εργασιών και στη Φωτ.7, όπως είναι σήμερα.



Φωτ. 6 Απορρύπανση με τη μέθοδο ΥΤΡΕ, στη διάρκεια τοποθέτησης της μεμβράνης απομόνωσης.



Φωτ. 7 Ο λόφος απορρύπανσης σε πρόσφατη φωτογραφία.

Ο σκοπός της ΥΤΡΕ ήταν η συγκέντρωση των ρυπασμένων εδαφών του Πάρκου, η απομόνωσή τους από τον περιβάλλοντα χώρο, αλλά και η παρεμπόδιση της εκχύλισης των μετάλλων από τα νερά της βροχής, τόσο από τα επιφανειακά όσον κι' αυτά που θα διέρχονταν μέσα από το σωρό, αφού τα προστατεύουν τα αδιαπέραστα γεωφάσματα. Η προσθήκη της φυτικής γης έγινε για να προστατευτεί η πλαστική μεμβράνη από τη φθορά, αλλά για να εξωραΐσει την αισθητική εικόνα του τμήματος αυτού.

Οι παραπάνω προσπάθειες απορρύπανσης, άριστες -από την άποψη της επιστήμης και της τεχνικής- κάλυψαν ένα πολύ μικρό τμήμα της ρυπασμένης επιφάνειας και μόνο ως προδρομική και ως άσκηση κατασκευής και εμπειρίας μπορεί να ληφθούν, καθ' όσον τα 170Km², παραμένουν ως έχει. Βέβαια, μια τέτοια συνολική απορρύπανση είναι πέρα από κάθε δυνατότητα χρηματοδότησης. Αλλά και το όφελος από την απορρύπανση αυτή είναι μικρής σημασίας, αφού η όλη προσπάθεια έγινε σχεδόν στο επίπεδο της θάλασσας, δηλαδή δεν προστατεύθηκε υδροφόρος ορίζοντας, αφού ο εγκλωβισμός των ρυπογόνων ουσιών βρίσκεται πολύ χαμηλά και οι συγκεντρώσεις σε βαριά βλαπτικά μέταλλα στο νερό της θάλασσας (όπως το έδειξαν πολλές αναλύσεις) όλα αυτά τα χρόνια είναι κάτω από τα επιτρεπόμενα όρια.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω μία μεγάλη ρύπανση του Λαυρείου οφείλεται στα λεπτομερή απορρίμματα που έχουν αποθεθεί στην παραλία Κυπριανού. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος έχει κατατεθεί μελέτη (από τον γράφοντα) στον Οργανισμό Λιμένος Λαυρείου από το 2002. Τελευταία παρατηρείται μια προσπάθεια απομόνωσης της μεταφερόμενης σκόνης με εγκλωβισμό των ρυπογόνων απορριμμάτων με τη μεθοδολογία που εφαρμόστηκε στο Πάρκο. Η επιχειρηματολογία που διατυπώθηκε για το Πάρκο, ισχύει και εδώ. Άλλωστε, το υπόλοιπο τμήμα του Κυπριανού, στην άλλη πλευρά του αυτοκινητόδρομου είναι εξίσου ρυπογόνο καθώς και όλη η επιφάνεια της Λαυρεωτικής, γεγονός που δείχνει ότι κάθε προσπάθεια εξυγίανσης, πρέπει να εξετάζεται για τα οφέλη που θα φέρει και να είναι απόλυτα και επιστημονικά τεκμηριωμένη για την επιτυχία της εφαρμογής της. Ανεξάρτητα από τη μέθοδο που εφαρμόστηκε για την εξυγίανση των ρύπων της Λαυρεωτικής, δεν έχουν διατυπωθεί συμπεράσματα για τα οφέλη αυτών των προσπαθειών, αλλά είναι και γεγονός ότι, δεν έχουν αναφερθεί θάνατοι από τους ρύπους.

Και είναι εξίσου πραγματικό ότι το Λαύρειο με τους κατοίκους του αλλά και τους ρυπαντές του, βρίσκονται εκεί πάνω από 2.500 χρόνια. Και σήμερα, μετά την κρίση από την αποβιομηχάνιση της περιοχής, «ζει και βασιλεύει» και σταθερά αναπτύσσεται, ιδιαίτερα με το λιμάνι του, που αργά ή γρήγορα, θα γίνει ένας κόμβος εμπορευμάτων και επιβατών, προς κάθε κατεύθυνση, με την αποπεράτωση και της σιδηροδρομικής γραμμής μέχρι στις αποβάθρες του.

Αλλά δεν μπορεί επίσης να παραβλεφθεί ότι, το Λαύρειο, όπως και σε κάθε πόλη που δημιουργήθηκε από μια μεταλλευτική ή μεταλλουργική επιχείρηση ή έτυχε να γειτνιάζει με αυτή, το θέμα της ρύπανσης από την εξόρυξη ή την κατεργασία μετατοπίζεται και στους κατοίκους. Δηλ. στους αμέτοχους από τη παραγωγική διαδικασία, αλλά άμεσα ή έμμεσα επωφελούμενους από αυτή. Οι κάτοικοι όμως, έχουν το αναφαίρετο δικαίωμα να ζουν υγιεινά, χωρίς να κινδυνεύει η ζωή τους από τους βλαπτικούς ρύπους ή από τα ρυπογόνα στείρα ή απορρίμματα που αφήνουν πίσω τους, όταν εγκαταλείπουν το χώρο εκμετάλλευσης. Και αυτοί που θα βλαφτούν δεν μπορούν να το αντιμετωπίσουν. Είναι, σχεδόν πάντοτε, πέρα από τις δυνατότητες που διαθέτουν. Και έτσι τίθεται ή παραμένει το ερώτημα; Βλάπτονται ή όχι οι κάτοικοι; Προσαρμόζονται με τα χρόνια στις συνθήκες των ρύπων ή δεν είναι τόσο βλαπτικές όσο αναφέρονται ότι είναι; Μετά από 2500 χρόνια ύπαρξης των ρύπων της Λαυρεωτικής, κάποια εμπειρία ή γραπτό έπρεπε να υπάρχει. Υπάρχουν στατιστικά στοιχεία τα οποία επεξεργαζόμενα να δώσουν τεκμηριωμένα συμπεράσματα; Γιατί, αυτή η έρευνα-μελέτη αποτελεί πράγματι υποχρέωση προς τους κατοίκους του Λαυρείου, αλλά και κάθε πόλης ή χωριό που γειτνιάζει με μεταλλευτικό χώρο. Είναι όμως απαραίτητο να πραγματοποιηθεί χωρίς προκαταλήψεις, χωρίς δογματισμούς, χωρίς περιβαλλοντικούς υστερισμούς, χωρίς τις επιδράσεις από τα ποικίλα συμφέροντα, μόνο με επιστημονικά τεκμηριωμένες απόψεις για τη βλαπτικότητα ή μη, τις πιθανές επιπτώσεις, αλλά και τα οφέλη προς την τοπική

κοινωνία, γραμμένη σε απλή και κατανοητή γλώσσα. Μόνο έτσι η τοπική κοινωνία θα σταματήσει να αποτελεί εμπόδιο σε οποιαδήποτε μεταλλευτική επένδυση. Δεν θέλει τίποτα άλλο παρά μόνο την αλήθεια.

Βιβλιογραφία

1. Lead-The facts 2001 Iain Thornton, RaduRautiu and Susan Brush
2. Lead exposure and human Health. Global opportunity for reducing of leaded Gasoline. Pb 7-16.
3. Δημητριάδης Αλ. (Συντάκτης) 1999α. Γεωχημικός Άτλας της Αστικής Περιοχής του Λαυρείου για Περιβαλλοντική Προστασία και Σχεδιασμό. Στην αποκατάσταση εδάφους στο Δήμο Λαυρείου. Ερμηνευτικό Κείμενο. Τόμος 1, Έκθεση Ι.Γ.Μ.Ε. Ε8272 Αθήνα.
4. Δημητριάδης Αλ. (Συντάκτης) Τόμος 1Α. Γεωχημικός Άτλας της Αστικής Περιοχής του Λαυρείου για Περιβαλλοντική Προστασία και Σχεδιασμό. Στην αποκατάσταση εδάφους στο Δήμο Λαυρείου. Τόμος 1Α. Πίνακες και σχήματα. Έκθεση Ι.Γ.Μ.Ε. Ε8272 Αθήνα.
5. Δημητριάδης Αλ. (Συντάκτης) 1999γ. Γεωχημικός Άτλας της Αστικής Περιοχής του Λαυρείου για Περιβαλλοντική Προστασία και Σχεδιασμό. Στην αποκατάσταση εδάφους στο Δήμο Λαυρείου. Τόμος 1Β.Εκθέσεις Παραρτήματος. Ι.Γ.Μ.Ε. Ε8272 Αθήνα.
6. Δημητριάδης Αλ. (Συντάκτης) 1999δ. Γεωχημικός Άτλας της Αστικής Περιοχής του Λαυρείου για Περιβαλλοντική Προστασία και Σχεδιασμό. Στην αποκατάσταση εδάφους στο Δήμο Λαυρείου. Τόμος 2. Έκθεση Ι.Γ.Μ.Ε. Ε8272 Αθήνα.
7. Δημητριάδης Αλ. (Συντάκτης) 1999ε. Γεωχημικός Άτλας της Αστικής Περιοχής του Λαυρείου για Περιβαλλοντική Προστασία και Σχεδιασμό. Στην αποκατάσταση εδάφους στο Δήμο Λαυρείου. Τόμος 4. Έκθεση Ι.Γ.Μ.Ε. Ε8272 Αθήνα.
8. Η ρύπανση της Λαυρεωτικής Χερσονήσου και του Αστικού Περιβάλλοντος του Λαυρείου από Μεταλλευτικά-Μεταλλουργικά απορρίμματα και οι επιπτώσεις στην υγεία του τοπικού πληθυσμού.Αλ. Δημητριάδης, Αικ. Βέργου και Ν. Βλαχογιάννης. Ι.Γ.Μ.Ε.
9. E.C. Contract No. BRPR-CT96-0297. Innovation industrial technologies for the rehabilitation of land contaminated from polymetallicsulphidemining and processing operations. (ROLCOSMOS) ProjectReport 1.1 30-5-97.Δημοτική Επιχείρηση Ανάπτυξης Λαυρεωτικής Α.Ε. και Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
10. Αποκατάσταση ρυπασμένων εδαφών.Ν. Παπασιώτη και Ι. Πασπαλιάρης. Ε.Μ.Π.2003.
11. The restoration of Land. The ecology and reclamation of derelict and degrade land.By A.D.Bradshaw and M.J.Chadwick. Blackwell Scientific Publications.Oxford-London-Edinburgh-Melbourne. 1980.
12. Geochemistry in mineral exploration. By H.E.Hawkes and J.S.Webb. Happer and Raw Publishers. New York and Evanston. 1962.
13. Hand book of chemistry and Physics. WEAST 54th Edition 1974.

14. Solubility product equilibrium constants. Chemistry BC2001 x
15. Solubility product constants. <http://www.ktf-split.hr/periodni/en/abc/kpt.html>
16. Selective Solubility products and formation constants at 25° C. <http://www.csudh.edu/oliver/chemdata/data-ksp.htm>
17. Evaluation of pollution with copper, lead, zinc and cadmium in the mining area Baia Mare. Emil Cordos, Cecilia Roman, Michaela Ponta, Tiberiu Frentui and Radu Rautiu. Rev. Chim-58-Nr. 5-2007.
18. Arsenic and Antimony content in soil and plants from Baia Mare Area, Romania.
19. Gabriela Oprea, Angela Michnea, Cristina Mihali, Marine Selina, et. alia. America Journal of Environmental Sciences. 6(1):33-40, 2010
20. Heavy metal concentration of the soils around Zlatna and Copsa Mica smelters, Romania Floarea Damian, Gheorghe Damian, Radu Lacatusu and Gheorghe Iepure. Carpath. J. of Earth and Environmental Sciences. 2008, Vol. 3 No 2 p.65-82.
21. Μελέτη αποκατάστασης (διαμόρφωσης) παραλίας Κυπριανού. 2002 (Προς δημοσίευση).
22. Νυμ. Παπασιώτη. Παρατηρήσεις-σημειώσεις στο κείμενο και προφορικές συζητήσεις.
23. Α.Ζ.Φραγκίσκος. Το περιβάλλον και η Μεταλλευτική-Μεταλλουργική Βιομηχανία. Εκδοτικός Οίκος Κάτοπτρο.