

Αλ. Δημητριάδης
Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών

Αικ. Βέργου
Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών

Ν. Βλαχογιάννης
Κέντρο Υγείας Λαυρίου

Η ρύπανση της Λαυρεωτικής χερσονήσου και του αστικού περιβάλλοντος του Λαυρίου από τα μεταλλευτικά-μεταλλουργικά απορρίμματα και οι επιπτώσεις στην υγεία του τοπικού πληθυσμού

1. Εισαγωγή

Η ΛΑΥΡΕΩΤΙΚΗ ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΣ βρίσκεται στο νοτιοανατολικό άκρο του Νομού Αττικής. Το Λαύριο είναι μία βιομηχανική πόλη στην ανατολική ακτή της Λαυρεωτικής και βρίσκεται 55 km νοτιοανατολικά της Αθήνας (Σχ. 1). Οι μεταλλευτικές και μεταλλουργικές δραστηριότητες στη Λαυρεωτική χερσόνησο, οι οποίες άρχισαν πριν από το 3500 π.Χ. μέχρι το 1989 μ.Χ., ευθύνονται για την πολυστοιχειακή ρύπανση του εδάφους (Σχ. 2 & 4). Οι επιδημιολογικές μελέτες που πραγματοποιήθηκαν τη δεκαετία του 1980 έδειξαν ότι τα παιδιά και οι ενήλικες στο Λαύριο παρουσιάζουν υψηλές συγκεντρώσεις μολύβδου στο αίμα και αρσενικού στα ούρα (Δρόσος κ.ά. 1982, Benetou-Marantidou et al. 1985, Νάκου 1985, Hatzakis et al. 1987, Maravelias et al. 1989, Eikmann et al. 1991, Makropoulos et al. 1991, 1992a, b, Kafourou et al. 1997). Αυτά τα αποτελέσματα σε συνδυασμό με εκείνα της πρώτης αστικής γεωχημικής έρευνας στο Λαύριο (Demetriades 1992, Χ"Γεωργίου-Σταυράκη και Βέργου-Βήχου 1992, Χ"Γεωργίου-Σταυράκη κ.ά. 1993), που έγινε από το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.), έδωσαν το έναυσμα για το ανταγωνιστικό έργο LIFE «Αποκατάσταση Εδάφους στο Δήμο Λαυρίου», που συγχρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση και το Ελληνικό Δημόσιο.

Οι κυριότεροι στόχοι του έργου ήταν:

- η εκτίμηση της ρύπανσης του εδάφους και ο προσδιορισμός των σημαντικότερων πηγών ρύπανσης της αστικής περιοχής του Λαυρίου,
- η εφαρμογή, σε κλίμακα επίδειξης, κατάλληλων τεχνικών για την αποκατάσταση της έντονα ρυπασμένης βιομηχανικής περιοχής του Λαυρίου και
- η ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου σχεδίου περιβαλλοντικής διαχείρισης για την αστική περιοχή του Λαυρίου.

Οι εργασίες του έργου, που ήταν στην ευθύνη του Ι.Γ.Μ.Ε. ή/και σε συνεργασία με τους άλλους εταίρους, το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (Ε.Μ.Π.), το Δήμο Λαυρεωτικής και την εταιρεία PRISMA, όπως καθορίζονται από την εγκεκριμένη πρόταση, ήταν:

- η λεπτομερής εκτίμηση της υπάρχουσας κατάστασης στην ευρύτερη αστική περιοχή του Λαυρίου, εστιάζοντας κυρίως στη ρύπανση του εδάφους,
- ο καθορισμός των φυσικών συγκεντρώσεων των χημικών στοιχείων,
- ο καθορισμός και η χαρτογράφηση των κυριότερων πηγών ρύπανσης στην περιοχή,
- η κατασκευή χαρτών περιβαλλοντικών επιπτώσεων,
- η καταγραφή σε βιντεοταινία των μεθόδων που εφαρμόστηκαν,
- η πραγματοποίηση ανάλυσης κόστους-οφέλους των τεχνικών αποκατάστασης,
- η ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου σχεδίου περιβαλλοντικής διαχείρισης της ευρύτερης αστικής περιοχής του Λαυρίου και
- η ενημέρωση του πληθυσμού του Λαυρίου για τα αποτελέσματα του έργου.

Σ' αυτή την εργασία θα γίνει αναφορά στα κυριότερα αποτελέσματα και συμπεράσματα του έργου που εκτελέστηκε από το Ι.Γ.Μ.Ε. Για περισσότερες λεπτομέρειες ο κάθε ενδιαφερόμενος θα πρέπει να απευθυνθεί στην εξάτομη μελέτη του έργου (Δημητριάδης 1999α, β, γ, δ, ε, Ε.Μ.Π. 1999) και άλλες μελέτες (Δημητριάδης και Σταυράκη 1995α, β). Επίσης, θα αναφερθούν και ορισμένα αποτελέσματα από το έργο ΣΠΑ «Περιβαλλοντική Γεωχημική Μελέτη της Λαυρεωτικής Χερσονήσου Αττικής» (Δημητριάδης κ.ά. 1994α, β, γ, Σταυράκη κ.ά. 1994).

Μετά την αναφορά ορισμένων ιστορικών στοιχείων θα γίνει περιγραφή της διαχρονικής χημικής σύστασης του αστικού περιβάλλοντος του Λαυρίου χρησιμοποιώντας ως δείκτη το μόλυβδο, που είναι ο κύριος ρυπαντής, αν και σε ορισμένους πίνακες παραθέτονται και άλλα χημικά στοιχεία, ούτως ώστε ο κάθε ενδιαφερόμενος να έχει μία πιο ολοκληρωμένη εικόνα της κατάστασης. Στην αρχή εξετάζεται ο χημισμός ή η γεωχημεία των μητρικών πετρωμάτων, που υποδηλώνει τα φυσικά επίπεδα των χημικών στοιχείων στην αρχική κατάσταση (Πίν. 1, 2 & Σχ. 5). Οι συγκεντρώσεις των χημικών στοιχείων του πρώτου εδάφους της περιοχής (ορίζοντας-C), μπορεί να εικαστεί ότι θα είχε την ίδια περίπου γεωγραφική κατανομή μ' αυτή των μητρικών πετρωμάτων και τα επίπεδά τους θα ήταν

της ίδιας τάξεως μεγέθους. Έτσι, η γεωχημεία των μητρικών πετρωμάτων δίνει, σε γενικές γραμμές, το χημισμό του πρώτου εδάφους στο Λαύριο. Στη συνέχεια ακολουθεί η επέμβαση του ανθρώπου με την εκμετάλλευση του ορυκτού πλούτου της Λαυρεωτικής χερσονήσου και της ευρύτερης αστικής περιοχής του Λαυρίου (Πίν. 2, 3, 4, 5 & Σχ. 2, 4), η οποία είχε σοβαρή επίπτωση στο χημισμό του εδάφους (Πίν. 2, 3 & Σχ. 3, 6).

Η μεγάλη ποσότητα και εξάπλωση των μεταλλουργικών απορριμμάτων (Σχ. 2 & 4) και οι υψηλές συγκεντρώσεις των τοξικών στοιχείων που περιέχουν (Πίν. 3, 4 & 5), συνετέλεσαν, μαζί με άλλους παράγοντες, στη ρύπανση του εδάφους της Λαυρεωτικής χερσονήσου και ιδιαίτερα του αστικού περιβάλλοντος του Λαυρίου. Η γεωχημική έρευνα του εδαφικού καλύμματος αποκάλυψε την έκταση και την ένταση της ρύπανσης (Σχ. 3 & 6). Η σκόνη των σπιτιών στην αστική περιοχή του Λαυρίου, η οποία προέρχεται κυρίως από τη μεταφορά του λεπτόκοκκου υλικού των μεταλλουργικών απορριμμάτων και του ρυπασμένου εδάφους από τον άνεμο και τον ίδιο τον άνθρωπο μέσω των σκονισμένων ενδυμάτων και παπουτσιών του, είναι επίσης έντονα επιβαρυνόμενη (Σχ. 7). Παραθέτονται επίσης αναλύσεις του υπόγειου νερού, οι οποίες δείχνουν την έναρξη της επιβάρυνσής του από τοξικά στοιχεία (Πίν. 7). Οι επιπτώσεις της έκθεσης του πληθυσμού στις δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες, που επικρατούν στο Λαύριο, διαπιστώνονται από τις υψηλές συγκεντρώσεις μολύβδου στο αίμα των παιδιών, καθώς και αρσενικού στα ούρα των παιδιών και ενηλίκων (Σχ. 8-11). Τέλος, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εκτίμησης της επικινδυνότητας και έκθεσης του πληθυσμού στους περιβαλλοντικούς ρύπους (Σχ. 12, 13 & 14).

2. Ιστορικό

Η πρώτη δραστηριότητα εξόρυξης και εκκαμίνευσης των οξειδωμένων και θειούχων μεταλλευμάτων της Λαυρεωτικής χερσονήσου άρχισε, σύμφωνα με τον κλασικό ιστορικό Ξενοφώντα, πριν από το 3500 π.Χ., με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν τα πρώτα απορρίμματα. Η επέμβαση του ανθρώπου στο ανάγλυφο της Λαυρεωτικής άρχισε, όμως, συστηματικά από το 3500 π.Χ. παρουσιάζοντας έξαρση μεταξύ του 6ου και 4ου αιώνα π.Χ. (Κονοφάγος 1980, 1997, Μάνθος 1990, Δερμάτης 1994, Τσαϊμου 1997). Στα τέλη του 2ου π.Χ. αιώνα τα περισσότερα μεταλλεία έκλεισαν και ελάχιστη εκμετάλλευση έγινε κατά τον 1ο αιώνα π.Χ.

Έπειτα από δεκαεννιά αιώνες εγκατάλειψης, ο Ανδρέας Κορδέλλας, το 1860, ήταν ο πρώτος που διέβλεψε την προοπτική της αξιοποίησης των αρχαίων σκουριών και εκβολάδων, οι οποίες ανέρχονταν σε πολλά εκατομμύρια τόνους (Κορδέλλας 1993). Η νεότερη ιστορία της εκμετάλλευσης των κοιτασμάτων άρχισε το 1864, όταν ο Ιταλός Σερπιέρη ίδρυσε στη θέση «Εργαστήριο» στο λιμάνι του

Λαυρίου τη μεταλλουργική εταιρεία Roux Serpieri Fressynet C.A. Έτσι, δημιουργήθηκε η πρώτη μεταλλουργική βιομηχανία με καμίνοους τύπου καστιλλάνου, μικρά πλυντήρια, μηχανουργεία και σιδηρόδρομο. Το 1865 μ.Χ. άρχισε πάλι η παραγωγή αργυρούχου μολύβδου από την επεξεργασία των αρχαίων σκουριών και εκβολάδων και μετά δύο χρόνια ακολούθησαν νέες εξορύξεις.

Το 1873 η Roux Serpieri Fressynet C.A. αγοράστηκε από τον εκπρόσωπο της Τράπεζας Κωνσταντινουπόλεως Ανδρέα Συγγρό και μετονομάστηκε σε Εταιρεία των Μεταλλουργείων Λαυρίου. Το 1876 ο Σερπιέρη ίδρυσε στη θέση «Κυπριανός», μία μεγαλύτερης δυναμικότητας εταιρεία, τη Γαλλική Εταιρεία Μεταλλείων Λαυρίου, στην οποία γινόταν κατεργασία θειούχων κ.ά. μεταλλευμάτων, όπως σφαλερίτη, σιδηροπυρίτη, γαληνίτη, κερουσίτη και σμιθσονίτη. Το 1930 η Γαλλική Εταιρεία αγοράστηκε από το επίσης γαλλικό συγκρότημα «Penarroya». Με όλα αυτά το Λαύριο αναβίωσε και έγινε ένα από τα σπουδαιότερα μεταλλευτικά-μεταλλουργικά κέντρα στην Ευρώπη. Τα κύρια κέντρα εξόρυξης αυτής της περιόδου ήταν στην Καμάριζα-Σούριζα-Πλάκα (Σχ. 2).

Η Καμάριζα (ο σημερινός Άγιος Κωνσταντίνος) ήταν το κέντρο των μεταλλευτικών εργασιών, όχι μόνο στην αρχαιότητα, αλλά και στα νεότερα χρόνια. Εδώ κατασκευάστηκε το 1869 η πρώτη υπόγεια σήραγγα για να περάσει η πρώτη σιδηροδρομική γραμμή της Ελλάδας, που μετέφερε τα μεταλλεύματα στο λιμάνι του Λαυρίου (Μάνθος 1990).

Οι συνθήκες εργασίας και διαβίωσης των μεταλλωρύχων ήταν ιδιαίτερα σκληρές. Γι' αυτό το λόγο έγιναν αλλεπάλληλες απεργίες των εργατών για διεκδίκηση καλύτερων συνθηκών εργασίας. Τα «Λαυρεωτικά» αποτελούν μία κορυφαία στιγμή για το σύγχρονο εργατικό κίνημα στη χώρα μας, που δίνουν μία ιδιαίτερη αξία στην πόλη του Λαυρίου (Μάνθος 1990).

Το 1977 έκλεισαν οριστικά τα μεταλλεία και το 1989 η μεταλλουργία. Το 1992 οι εγκαταστάσεις της Γαλλικής εταιρείας αγοράστηκαν από το Ελληνικό Κράτος, με σκοπό τη δημιουργία ενός Τεχνολογικού-Πολιτιστικού Πάρκου, εγχείρημα που το ανέλαβε το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (Πολύζος 1996).

Όσον αφορά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, αν και οι αρχαίες εργασίες της εξόρυξης και εκκαμίνευσης ήταν σημαντικότερες σε έκταση και ένταση, δεν μπορούν σε καμία περίπτωση να συγκριθούν με τις καταστροφικές συνέπειες της νεότερης εκμετάλλευσης, που άρχισε το 1865 και τελείωσε το 1989. Τα μεταλλευτικά και μεταλλουργικά απορρίμματα καλύπτουν ένα μεγάλο τμήμα της Λαυρεωτικής χερσονήσου και της αστικής περιοχής του Λαυρίου ιδιαίτερα (Σχ. 2 & 4). Η διάβρωση και η εναπόθεσή τους στα πεδινά τμήματα της Λαυρεωτικής, η μεταφορά τους από τον άνεμο και τον άνθρωπο, έχουν ως συνέπεια τη ρύπανση του αλλουβιακού και υπολειμματικού εδάφους, καθώς και την πρόσληψη τοξικών χημικών στοιχείων από τα φυτά (Chronopoulos and Chronopoulou-Sereli, 1986a,

b, 1991, Chronopoulou-Sereli and Chronopoulos, 1991a, b, Xenidis et al. 1997, Χρονοπούλου-Σερρέλη κ.ά. 2001).

Γι' αυτούς τους λόγους σήμερα, το μεγαλύτερο τμήμα του επιφανειακού εδάφους της Λαυρεωτικής χερσονήσου και όλης της αστικής περιοχής του Λαυρίου, με το οποίο έρχονται σε άμεση επαφή οι κάτοικοι και ιδιαίτερα τα παιδιά, είναι έντονα ρυπασμένο από επικίνδυνα για την υγεία τοξικά στοιχεία, π.χ. μόλυβδο, αρσενικό, αντιμόνιο, κάδμιο, υδράργυρο κ.ά. Επίσης, η σκόνη στον αέρα που αναπνέεται από τους κατοίκους και μεταφέρεται σε όλους τους οικιστικούς χώρους είναι επιβαρυνμένη με τα ίδια τοξικά στοιχεία.

Τα αποτελέσματα των επιδημιολογικών ερευνών που έγιναν τη δεκαετία του 1980 (Δρόσος κ.ά. 1982, Benetou-Marantidou et al. 1985, Νάκου 1985, Hatzakis et al. 1987, Maravelias et al. 1989, Eikmann et al. 1991, Makropoulos et al. 1991, 1992a, b, Kafourou et al. 1997) έδειξαν, ότι υπάρχει ισχυρή συσχέτιση μεταξύ των υψηλών επιπέδων μολύβδου (Pb) στο αίμα των παιδιών (>10 μg Pb/100 ml αίμα) και των σύνθετων νοητικών λειτουργιών, δηλαδή του δείκτη νοημοσύνης και του λεκτικού νοητικού πηλίκου. Επίσης, οι ιατρικές έρευνες εντόπισαν συσχέτιση μεταξύ των συγκεντρώσεων του μολύβδου στο αίμα των παιδιών και σχετική μείωση της ανάπτυξής τους, όσον αφορά την περιφέρεια του κρανίου και του στήθους.

3. Η γεωγραφική κατανομή του μολύβδου στα μητρικά πετρώματα

Τα μητρικά πετρώματα της αστικής περιοχής του Λαυρίου αποτελούνται κυρίως από μάρμαρο και σχιστόλιθο. Υπάρχουν επίσης εμφανίσεις μικρής έκτασης από σχιστο-γνεύσιο, πρασινίτη, ανθρακικό ψαμμίτη και κροκαλοπαγές πέτρωμα. Η κατανομή του μολύβδου στα μητρικά πετρώματα, όπως έχει ήδη αναφερθεί, υποδηλεί τις φυσικές συνθήκες, όπου αναπτύχθηκε το πρώτο φυσικό υπολειμματικό έδαφος στο Λαύριο. Οι στατιστικές παράμετροι των συγκεντρώσεων του μολύβδου στα διάφορα πετρώματα δίνονται στον Πίνακα 2. Οι συγκεντρώσεις του μολύβδου σε όλα τα πετρώματα κυμαίνονται από <1 έως 1.850 mg/kg, με μέση τιμή 76,9 mg/kg, διάμεση τιμή 22 mg/kg και συντελεστή διακύμανσης (ΣΔ) 272% (n=140). Αυτά τα στατιστικά χαρακτηριστικά υποδηλούν ότι τα πετρώματα έχουν σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις μολύβδου μόνο σ' ένα μικρό ποσοστό της έκτασης της αστικής περιοχής του Λαυρίου, γεγονός που πιστοποιείται από τη γεωγραφική κατανομή του (Σχ. 5).

Το μάρμαρο, λόγω του ότι μεταλλοφορεί κατά τόπους, έχει τη μεγαλύτερη διακύμανση μολύβδου (0.5-1.850 mg/kg, ΣΔ 362,2%) με μέση τιμή 54,6 mg/kg και διάμεση τιμή 18 mg/kg (n=88). Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις μολύβδου απαντώνται σε περιοχές όπου το μάρμαρο έχει επηρεαστεί από μεταλλοφόρα διαλύ-

Πίνακας 1. Στατιστικές παράμετροι των συγκεντρώσεων του μολύβδου (Pb) στα δείγματα όλων των πετρωμάτων, μαρμάρου, σχιστόλιθου, σχιστογενεσίου, πρασι-νίτη, ψαμίτιη και κροκαλοπαγούς από την αστική περιοχή του Λαυρίου (μονάδες: χιλιοστόγραμμα μολύβδου ανά κιλό πετρώματος, mg/kg).

Στατιστικές παράμετροι	Όλα τα πετρώματα	Μάρμαρο	Σχιστόλιθος	Σχιστογενεσίος	Πρασι-νίτης	Ψαμίτιης	Κροκαλοπαγές
Γενική μέση τιμή των πετρωμάτων*	17,0	5,00	22,0	-	4,0	10,0	-
Αριθμός δειγμάτων	140	88	33	4	4	6	3
Ελάχιστη τιμή	0,5	0,5	8,0	6,0	0,5	22,0	37,0
Μέγιστη τιμή	1.850,0	1.850,0	810,0	54,0	60,0	58,0	1.040,0
Μέση τιμή	76,9	54,6	111,8	18,8	19,6	35,7	602,3
Διάμεση τιμή	22,0	18,0	39,0	7,5	9,0	31,0	730,0
Πρώτο τεταρτημόριο	11,5	10,0	16,5	6,0	3,3	24,0	-
Τρίτο τεταρτημόριο	54,0	39,5	72,3	31,5	36,0	48,0	-
Τυπικό σφάλμα της μέσης τιμής	17,7	21,1	33,5	11,8	13,7	6,0	296,5
95% διάστ. εμπ. μέσης τιμής**	35,0	41,9	68,3	37,5	43,5	15,5	1.275,8
99% διάστ. εμπ. μέσης τιμής**	46,2	55,5	91,8	68,8	79,8	24,3	2.942,7
Τυπική απόκλιση (±)	209,1	197,8	192,6	23,5	27,3	14,8	513,5
Συντελεστής διακύμανσης (%)	272,0	362,2	172,2	125,6	139,2	41,4	85,3

* Από Reimann et al. (1998) ** 95% & 99% διάστημα εμπιστοσύνης της μέσης τιμής

ματα (καφεκόκκινες αποχρώσεις), όπως από την περιοχή της Πυρκάλ προς Νόρια, Άγιο Ανδρέα και Πράσινη Αλεπού (Σχ. 5). Ενώ σε άλλες περιοχές το χρώμα του είναι γκριζωπό και οι συγκεντρώσεις του μολύβδου κυμαίνονται από 0.5 μέχρι 54 mg/kg, που είναι οι αναμενόμενες φυσικές τιμές για περιοχή με έντονη μεταλλοφορία, όπως είναι η Λαυρεωτική χερσόνησος. Ο σχιστόλιθος έχει επίσης μεγάλη σχετικά διακύμανση μολύβδου (8-819 mg/kg, ΣΔ 172,22%), η οποία οφείλεται στη γειννιάσή του με το μεταλλοφόρο καφεκόκκινο μάρμαρο, γεγονός που υποδηλώνει ότι τα μεταλλοφόρα διαλύματα εισχώρησαν και στο σχιστόλιθο.

Η γεωγραφική κατανομή του μολύβδου στα πετρώματα (Σχ. 5) δείχνει ότι, μόνο σε 10% της έκτασης της αστικής περιοχής του Λαυρίου που μελετήθηκε, υπάρχουν σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις (>135 mg/kg Pb), ενώ, στο 40% της

έκτασης του Λαυρίου οι τιμές του μολύβδου κυμαίνονται από 22 έως 135 mg/kg. Στο υπόλοιπο 50% της έκτασης τα δείγματα πετρώματος έχουν χαμηλές συγκεντρώσεις μολύβδου, οι οποίες κυμαίνονται από 0,5 μέχρι 22 mg/kg.

Στον Πίνακα 2 παραθέτονται στατιστικές παράμετροι των συγκεντρώσεων 25 χημικών στοιχείων σε όλα τα πετρώματα του Λαυρίου καθώς και οι αντίστοιχες διάμεσες τιμές των δειγμάτων του εδαφικού καλύμματος και μεταλλουργικών απορριμμάτων. Για συγκριτικούς λόγους δίνεται επίσης η Παγκόσμια γενική μέση τιμή των πετρωμάτων. Στην τελευταία στήλη του Πίνακα 2 παρατίθεται ο δείκτης εμπλουτισμού ή έκπλυσης των χημικών στοιχείων στα μητρικά πετρώματα του Λαυρίου, ο οποίος υπολογίστηκε από τη διαίρεση της μέσης τιμής του κάθε στοιχείου με την αντίστοιχη της Παγκόσμιας γενικής μέσης τιμής των πετρωμάτων. Τα πετρώματα του Λαυρίου είναι εμπλουτισμένα, λόγω της μεταλλοφορίας, στα στοιχεία: άργυρο, αρσενικό, βάριο, κάδμιο, κοβάλτιο, χρώμιο, χαλκό, υδράργυρο, μαγγάνιο, νικέλιο, μόλυβδο, θείο, αντιμόνιο, ουράνιο και ψευδάργυρο.

4. Τα μεταλλουργικά απορρίμματα

Τα μεταλλουργικά απορρίμματα καλύπτουν περίπου το 25% της αστικής περιοχής του Λαυρίου που μελετήθηκε (7,235 km²) και αποτελούν την κύρια πηγή ρύπανσης. Γι' αυτό το λόγο χαρτογραφήθηκαν λεπτομερώς (Σχ. 4). Οι τρεις κύριες κατηγορίες των μεταλλουργικών απορριμμάτων είναι τα απορρίμματα επίπλευσης, οι σκουριές και οι σιδηροπυρίτες ή πυρίτες, τα οποία περιγράφονται συνοπτικά παρακάτω με τις κυριότερες διαφοροποιήσεις τους (Demetriades and Vergou-Vichou 1999b).

Τα απορρίμματα επίπλευσης (ή εμπλουτισμού) του μεταλλεύματος, που ονομάζονται από τους κατοίκους του Λαυρίου «σαβούρα», καταλαμβάνουν τη μεγαλύτερη έκταση (Φωτ. 1). Αποτελούνται από άμμο και κροκάλες, που είναι τα άχρηστα θρυμματισμένα και λειοτριβημένα πετρώματα, τα οποία διαχωρίζονται από το μετάλλευμα. Τα απορρίμματα επίπλευσης εκτείνονται από το εργοστάσιο της

Πίνακας 2. Στατιστικές παράμετροι των συγκεντρώσεων των χημικών στοιχείων στα δείγματα του πετρώματος, εδαφικού καλύμματος, μεταλλουργικών απορριμμάτων του Λαυρίου, Παγκόσμιες μέσες τιμές των πετρωμάτων του ανώτερου τμήματος του γήινου φλοιού και ο δείκτης εμπλουτισμού/έκπλυσης των πετρωμάτων του Λαυρίου σε σχέση με τις Παγκόσμιες μέσες τιμές των πετρωμάτων. Οι διάμεσες τιμές των συγκεντρώσεων των στοιχείων στα δείγματα εδαφικού καλύμματος και μεταλλουργικών απορριμμάτων του Λαυρίου παραθέτονται για σύγκριση (από Demetriades and Vergou-Vichou 1999a, Πίνακας 4.1, σελ.94).

Χημικό στοιχείο	Πετρώματα (n=140)*, εδαφικό κάλυμμα (n=224)** και μεταλλουργικά απορρίμματα (n=62) της αστικής περιοχής του Λαυρίου										Παγκόσμια γενική μέση τιμή των πετρωμάτων του ανώτερου ηπειρωτικού φλοιού της γης*** (mg/kg)	Δείκτης Εμπλουτισμού/Εκπτώσεως των πετρωμάτων του Λαυρίου σε σχέση με την Παγκόσμια γενική μέση τιμή
	Όλοι οι τύποι των πετρωμάτων (τιμές σε mg/kg)						Εδαφικό κάλυμμα (mg/kg)	Μεταλλουργικά απορρίμματα (mg/kg)	Παγκόσμια γενική μέση τιμή των πετρωμάτων του ανώτερου ηπειρωτικού φλοιού της γης*** (mg/kg)	Δείκτης Εμπλουτισμού/Εκπτώσεως των πετρωμάτων του Λαυρίου σε σχέση με την Παγκόσμια γενική μέση τιμή		
	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Διάμεση τιμή	Διάμεση τιμή						
Άργυρος	<0,5	41,0	0,89	3,6	0,5	12,1	18,9	0,055	16,18			
Αρσενικό	<0,5	1.032,0	62,80	172,4	15,6	1.290,0	2.492,0	2,000	31,40			
Βόριο	0,3	5,2	0,52	0,9	0,3	136,0	43,0	17,000	0,03			
Βάριο	40,0	108.000,0	1.067,00	9.110,0	210,0	479,0	243,0	668,000	1,60			
Βηρύλλιο	<0,5	Κάτω από το όριο ανίχνευσης						1,0	0,5	3,100	-	
Βισμύθιο	<0,5	Κάτω από το όριο ανίχνευσης						11,0	2,5	0,120	-	
Κάδμιο	<1,0	41,0	1,89	5,0	0,5	38,0	20,6	0,102	18,53			
Κοβάλτιο	<1,0	104,0	26,90	26,1	20,5	16,0	23,8	11,600	2,32			
Χρómιο	<1,0	610,0	100,40	145,9	20,0	183,0	73,2	35,000	2,87			
Χαλκός	3,0	225,0	32,80	31,0	25,0	186,0	630,5	14,300	2,29			

Σίδηρος	Fe	979,0	107.016,0	23.790,00	20.660,0	19.515,0	44.771,0	234.500,0	30.890,000	0,77	
Υδράργυρος	Hg	<1,0	7,8	0,69	1,1	0,5	0,1	2,4	0,056	12,32	
Λανθάνιο	La	<2,0	30,7	10,21	6,5	8,9	22,7	27,3	32,300	0,32	
Λίθιο	Li	<1,0	106,0	9,10	12,1	5,0	17,4	14,5	22,000	0,41	
Μαγγάνιο	Mn	100,0	25.000,0	1.831,00	2.635,0	1.200,0	2.189,0	9.398,0	527,000	3,47	
Μολυβδαίνιο	Mo	<0,5	11,0	0,83	1,2	0,5	4,9	3,6	1,400	0,59	
Νικέλιο	Ni	<1,0	1.600,0	168,30	252,2	54,5	127,0	38,5	18,600	9,05	
Μόλυβδος	Pb	<1,0	1.850,0	76,85	209,1	22,0	7.305,0	20.750,0	17,000	4,52	
Θείο	S	100,0	3.000,0	1.100,00	600,0	1.200,0	12.690,0	20.581,2	953,000	1,15	
Αντιμόνιο	Sb	<5,0	71,0	6,94	12,1	2,5	121,0	189,0	0,310	22,39	
Κασσίτερος	Sn	<5,0	Κάτω από το όριο ανίχνευσης					18,5	27,7	2,000	-
Τιτάνιο	Ti	<120,0	7.014,0	920,00	1401,0	300,0	2.162,0	737,7	3.117,000	0,30	
Ουράνιο	U	2,5	6,1	2,75	0,9	2,5	3,0	2,5	2,500	1,10	
Βανάδιο	V	<1,0	71,0	13,10	13,0	9,0	75,0	46,3	53,000	0,25	
Ψευδάργυρος	Zn	<6,0	5.200,0	210,60	599,6	57,0	6.668,0	39.800,0	52,000	4,05	

*Πίεση: Ag, Mo (n=155); B, Be, Bi, Hg, La, S, Sb, Sn, U (n=48); **Εδαφος: B, Bi, Hg, S, Sn, U (n=50) και Sb (n=90); ***Από Reimann et al. (1998)

Αλάκο, καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής της «Πράσινης Αλεπούς», το χώρο με τις αθλητικές εγκαταστάσεις, το Ορυκτολογικό Μουσείο, το Γυμνάσιο-Λύκειο και φθάνουν μέχρι σχεδόν το εργοστάσιο της Γαλλικής Εταιρείας (Φωτ. 1). Περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις τοξικών στοιχείων, όπως μόλυβδος, κάδμιο, αρσενικό, αντιμόνιο κ.ά. (Πίν. 3). Η «σαβούρα» θεωρείται το πλέον επικίνδυνο μεταλλουργικό απόρριμμα, εφ' όσον ένα μεγάλο τμήμα της πόλης του Λαυρίου είναι κτισμένο πάνω σ' αυτή και ο τοπικός πληθυσμός και κυρίως τα παιδιά, έρχονται σε άμεση επαφή με το ρυπασμένο αυτό υλικό. Επίσης, η «σαβούρα» αποτελεί κηπευτικό έδαφος, δεδομένου ότι οι κάτοικοι φυτεύουν λαχανικά, αμπέλια, ελαιόδενδρα κ.ά. (Φωτ. 6). Επί πλέον χρησιμοποιείται και ως δομικό υλικό.

Οι *σκουριές* ή κοινώς *σκουριές* είναι τα απορρίμματα από την τήξη του μεταλλεύματος για την εξαγωγή του αργυρούχου μολύβδου (Φωτ. 2-5 & 8-10). Βρίσκονται γύρω από φυσικούς λόφους στο νότιο και βόρειο τμήμα του Λαυρίου και στις παραλίες. Έχουν λανθασμένα χρησιμοποιηθεί ως υλικό αμμοβολής, υπόστρωμα σε δρόμους και αυλές σχολείων (Φωτ. 3), ως υλικό πλήρωσης στα θεμέλια κτιρίων, στην κατασκευή του νέου λιμανιού κ.ά. Το *υλικό αμμοβολής* δημιουργείται από τη θραύση των σκουριών σε σπαστήρες. Χρησιμοποιείται ως λειαντικό υλικό για τον καθαρισμό λεβήτων κ.λπ. Στο Λαύριο χρησιμοποιείται επίσης για την επίστρωση δρόμων (Φωτ. 9), υπόστρωμα σε αγωγούς και ως υλικό μόνωσης στα θεμέλια κτιρίων. Το *γαιώδες* ή *χωμάτινο υλικό* εντός των σκουριών δημιουργήθηκε από την επί τόπου θραύση και τριβή των σκουριών καθώς και τη συσσώρευση χώματος μέσω αιολικής μεταφοράς (Φωτ. 10).

Οι *σιδηροπυρίτες* ή *πυρίτες* είναι απορρίμματα του εμπλουτισμού του μεταλλεύματος (Φωτ. 2 και 11). Ο σιδηροπυρίτης, εκτός από τις συγκεντρώσεις των τοξικών στοιχείων που περιέχει, οξειδώνεται με την επίδραση του αέρα και της βροχής και δημιουργεί όξινη απορροή, δηλαδή τα νερά που έρχονται σε επαφή μαζί του είναι όξινα (έχουν χαμηλό pH<3) και ιδιαίτερα ρυπασμένα. Οι σιδηροπυρίτες βρίσκονται κυρίως στην παραλία του κόλπου του Θορικού και στον Καβοδόκανο. Οι *πυριτούχοι άμμοι* είναι απορρίμματα του εμπλουτισμού του μεταλλεύματος με μικρό ποσοστό σιδηροπυρίτη.

Πίνακας 3. Στατιστικές παράμετροι των συγκεντρώσεων των στοιχείων στα δείγματα των μεταλλουργικών απορριμμάτων, πετρώματος και εδαφικού καλύμματος του Λαυρίου. Οι διάμεσες τιμές των συγκεντρώσεων των στοιχείων στα δείγματα πετρώματος και εδαφικού καλύμματος παραθέτονται για σύγκριση (από Demetriades and Vergou-Vichou 1999b, Πίνακας 5.1, σελ. 128).

Χημικό στοιχείο		Όλα τα δείγματα των μεταλλουργικών απορριμμάτων (n=62) (τιμές σε χιλιοστόγραμμα μετάλλου ανά κιλό εδάφους, mg/kg)						Πέτρωμα (n=140)*	Έδαφος (n=224)**
		Ελάχιστη τιμή.	Μέγιστη τιμή	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Συντελεστής διακύμανσης (%)	Διάμεση τιμή		
Αργυρος	Ag	3,2	96,0	33,8	28,2	83,5	18,9	0,5	12,1
Αρσενικό	As	283,0	26.063,0	4.593,0	5.383,0	117,2	2.492,0	15,6	1.290,0
Βόριο	B	<5,0	667,1	61,8	102,8	166,4	43,0	0,3	136,0
Βάριο	Ba	27,7	2.059,0	368,2	419,0	113,8	243,0	210,0	479,0
Βηρύλλιο	Be	<1,0	1,3	0,6	0,3	40,6	0,5	-	1,0
Βισμούθιο	Bi	<5,0	56,9	6,8	10,8	158,3	2,5	-	11,0
Κάδμιο	Cd	116,6	580,8	74,8	116,6	155,9	20,6	0,5	38,0
Κοβάλτιο	Co	3,0	84,0	26,4	16,0	60,6	23,8	20,5	16,0
Χρόμιο	Cr	8,1	299,2	83,5	60,0	71,9	73,2	20,0	183,0
Χαλκός	Cu	184,0	8.700,0	1.172,9	1.362,6	116,2	630,5	25,0	186,0
Σίδηρος	Fe	35.000,0	380.000,0	217.081,0	89.238,0	41,1	234.500,0	19.515,0	44.771,0
Υδράργυρος	Hg	<1,0	10,2	2,6	1,7	67,1	2,4	0,5	0,1
Λανθάνιο	La	<2,0	47,3	25,1	11,6	46,3	27,3	8,9	22,7
Λίθιο	Li	<1,0	25,8	12,2	7,2	58,9	14,5	5,0	17,4
Μαγγάνιο	Mn	182,0	35.354,0	11.913,0	9.925,0	83,3	9.398,0	1.200,0	2.189,0
Μολυβδαίνιο	Mo	<1,0	111,1	9,3	19,0	205,5	3,6	0,5	4,9
Νικέλιο	Ni	5,5	205,2	51,4	40,4	78,6	38,5	54,5	127,0
Μόλυβδος	Pb	3.800,0	85.200,0	24.451,0	18.085,4	74,0	20.750,0	22,0	7.305,0
Θείο	S	1.972,1	341.731,7	48.394,6	73.380,1	151,6	20.581,2	1.200,0	12.690,0
Αντιμόνιο	Sb	183,3	851,0	229,5	183,3	79,9	189,0	2,5	121,0
Κασσίτερος	Sn	5,7	332,3	37,5	43,7	116,4	27,7	-	18,5
Τιτάνιο	Ti	<10,0	2.031,0	799,8	682,5	85,3	737,7	300,0	2.162,0
Ουράνιο	U	<5,0	12,5	3,2	1,9	57,6	2,5	2,5	3,0
Βανάδιο	V	<2,0	104,2	44,4	23,8	53,7	46,3	9,0	75,0
Ψευδάργυρος	Zn	1.500,0	98.000,0	41.194,0	25.332,0	61,5	39.800,0	57,0	6.668,0

*Πέτρωμα: Ag, Mo (n=155). B, Be, Bi, Hg, La, S, Sb, Sn, U (n=48)

**Έδαφος: B, Bi, Hg, S, Sn, U (n=50). Sb (n=90)

Πίνακας 4. Στατιστικές παράμετροι των συγκεντρώσεων του μολύβδου (Pb) στα δείγματα των σκουριών, του γαιώδους υλικού (ή χώματος) εντός των σκουριών, του υλικού αμμοβολής, των απορριμμάτων επίπλευσης (σαβούρα), των απορριμμάτων πυρίτη και πυριτούχων άμμων από την αστική περιοχή του Λαυρίου (μονάδες: χιλιοστόγραμμα μολύβδου ανά κιλό μεταλλουργικού απορρίμματος, mg/kg).

Στατιστικές παράμετροι	Σκουριές	Χώμα σκουριών	Υλικό αμμοβολής	Απορρίμματα επίπλευσης (Σαβούρα)	Απορρίμματα πυρίτη	Πυριτούχοι άμμοι
Αριθμός δειγμάτων	21	7	8	8	12	6
Ελάχιστη τιμή	5.000	5.080	12.300	18.500	9.800	3.800
Μέγιστη τιμή	51.200	30.800	32.800	28.100	85.200	41.200
Μέση τιμή	16.500	19.480	19.700	24.540	47.040	19.130
Διάμεση τιμή	11.800	18.500	17.250	24.950	45.400	16.770
Πρώτο τεταρτημόριο	8.575	15.050	14.600	23.050	24.650	3.850
Τρίτο τεταρτημόριο	21.550	26.500	24.400	26.850	70.400	32.400
Τυπικό σφάλμα της μέσης τιμής	2.595	3.310	2.737	1.088	7.150	6.957
95% διάστ. εμπ. μέσης τιμής*	5.413	8.100	6.473	2.573	15.740	17.890
99% διάστ. εμπ. μέσης τιμής*	7.383	12.270	9.577	3.807	22.210	28.050
Τυπική απόκλιση (±)	11.890	8.758	7.741	3.078	24.770	17.040
Συντελεστής διακύμανσης (%)	72,1	45,0	39,3	12,5	52,7	89,1

* 95% & 99% διάστημα εμπιστοσύνης της μέσης τιμής

4.1. Ο χημισμός των μεταλλουργικών απορριμμάτων

Ο χημισμός των μεταλλουργικών απορριμμάτων παίζει σημαντικό ρόλο στη ρύπανση του περιβάλλοντος, δεδομένου ότι έχουν υψηλές συγκεντρώσεις τοξικών στοιχείων, όπως μόλυβδο (Pb), ψευδάργυρο (Zn), αρσενικό (As), αντιμόνιο (Sb), κάδμιο (Cd), χαλκό (Cu), υδράργυρο (Hg), βηρύλλιο (Be) κ.ά. (Πίν. 3). Για συγκριτικούς λόγους παραθέτονται οι αντίστοιχες διάμεσες τιμές των χημικών στοιχείων στα δείγματα πετρώματος και εδάφους.

Στον Πίνακα 4 παραθέτονται οι στατιστικές παράμετροι του μολύβδου των πέντε κατηγοριών των μεταλλουργικών απορριμμάτων και του γαιώδους υλικού ή χώματος, που απαντάται μέσα στις σκουριές. Οι συγκεντρώσεις του μολύβδου έχουν ως εξής:

- στις σκουριές από 5.000 έως 51.200 mg/kg Pb (μέση τιμή 16.500 και διάμεση τιμή 11.800 mg/kg, συντελεστής διακύμανσης, ΣΔ 72,1%),
- στο γαιώδες ή χωμάτινο υλικό που βρίσκεται μέσα στις σκουριές από 5.080 έως 30.800 mg/kg (μέση τιμή 19.480 και διάμεση τιμή 18.500 mg/kg, ΣΔ 45%),
- στο υλικό αμμοβολής, που προέρχεται από τη θραύση των σκουριών, από 12.300 έως 32.800 mg/kg (μέση τιμή 19.700 και διάμεση τιμή 17.250 mg/kg, ΣΔ 39,3%),
- στα απορρίμματα επίπλευσης (σαβούρα) από 18.500 έως 28.100 mg/kg Pb (μέση τιμή 24.540 και διάμεση τιμή 24.950 mg/kg, ΣΔ 12,5%),
- στα απορρίμματα πυρίτη από 9.800 έως 85.200 mg/kg Pb (μέση τιμή 47.040 και διάμεση τιμή 45.400 mg/kg, ΣΔ 52,7%) και
- στους πυριτούχους άμμους από 3.800 έως 41.200 mg/kg (μέση τιμή 19.130 και διάμεση τιμή 16.770 mg/kg, ΣΔ 89,1%).

Οι σκουριές, τα απορρίμματα πυρίτη και οι πυριτούχοι άμμοι έχουν τη μεγαλύτερη διακύμανση στις συγκεντρώσεις μολύβδου. Αυτό το χαρακτηριστικό οφείλεται σε διαφορές στη χημική σύσταση του αρχικού μεταλλεύματος και, όσον αφορά τις σκουριές, στη μεταλλουργική μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε κατά την εκκαμίνευση του μεταλλεύματος.

Ο μολύβδος έχει το μικρότερο εύρος τιμών και το χαμηλότερο συντελεστή διακύμανσης (12,54%) στα απορρίμματα επίπλευσης (σαβούρα), γεγονός που υποδηλεί ότι οι συγκεντρώσεις μολύβδου είναι σχετικά ομοιόμορφες σ' αυτό τον τύπο των απορριμμάτων. Ένα άλλο ενδιαφέρον χαρακτηριστικό είναι οι χαμηλότεροι συντελεστές διακύμανσης και οι σχετικά αυξημένες μέσες και διάμεσες τιμές του γαιώδους υλικού και του υλικού αμμοβολής σε σχέση με τις αντίστοιχες των σκουριών, από τις οποίες και τα δύο αυτά υλικά προέρχονται (Πίν. 4). Η ερμηνεία που δίνεται είναι ότι με τη θραύση των σκουριών σε λεπτότερα κλάσματα, η κατανομή του μολύβδου γίνεται περισσότερο ομοιόμορφη (χαμηλότερος συντελεστής διακύμανσης), με παράλληλη αύξηση της μέσης και διάμεσης τιμής.

Είναι εμφανές από την παραπάνω περιγραφή, ότι τα μεταλλουργικά απορρίμματα με τις υψηλές συγκεντρώσεις μολύβδου και άλλων τοξικών στοιχείων, σε συνδυασμό με τη μεγάλη έκταση που καταλαμβάνουν, είναι μία μεγάλη ρυπογόνος πηγή για το αστικό περιβάλλον του Λαυρίου.

4.2. Οι συγκεντρώσεις του μολύβδου σε διάφορα κοκκομετρικά κλάσματα των μεταλλουργικών απορριμμάτων και του ρυπασμένου εδάφους

Σε αντιπροσωπευτικά δείγματα του γαιώδους υλικού των σκουριών, των πυριτούχων άμμων, των απορριμμάτων επίπλευσης (σαβούρα) και του υπολειμματικού εδάφους μελετήθηκε η διαφοροποίηση του χημισμού σε διαφορετικά κοκκομετρικά κλάσματα (Πίν. 5) (Demetriades et al. 1999). Αν χρησιμοποιηθεί ως

δείκτης η διάμεση τιμή, που συνήθως είναι στατιστικά πιο ανθεκτική σε ακραίες τιμές, διαφαίνεται ότι οι υψηλότερες συγκεντρώσεις του μολύβδου σε όλα τα μεταλλουργικά απορρίμματα και στο έδαφος βρίσκονται στο λεπτόκοκκο κλάσμα (<0,063 mm). Αυτή η διαπίστωση επιδεινώνει το περιβαλλοντικό πρόβλημα στο Λαύριο, δεδομένου ότι το λεπτόκοκκο υλικό, που μεταφέρεται από τον άνεμο, εισέρχεται σε όλους τους οικιστικούς χώρους και εισπνέεται από τον άνθρωπο, είναι το πλέον επιβαρυνόμενο.

Πίνακας 5. Στατιστικές παράμετροι των συγκεντρώσεων του μολύβδου (Pb) στα διάφορα κοκκομετρικά κλάσματα των δειγμάτων του γαιώδους υλικού των σκουριών, των πυριτούχων άμμων, των απορριμμάτων επίπλευσης (σαβούρα) και του υπολειμματικού εδάφους από την αστική περιοχή του Λαυρίου (μονάδες: χιλιοστόγραμμα μολύβδου ανά κιλό μεταλλουργικού απορρίμματος, mg/kg).

Στατιστικές παράμετροι	Κοκκομετρικά κλάσματα σε χιλιοστά (mm)					
	<2 +1	<1 +0,5	<0,5 +0,25	<0,25 +0,125	<0,125 +0,063	<0,063
Γαιώδες υλικό σκουριών						
Αριθμός δειγμάτων	4	4	4	4	4	4
Ελάχιστη τιμή	9.595	8744	7.710	1.924	4.008	7.300
Μέγιστη τιμή	28.400	39600	42.000	42.400	49.600	65.000
Μέση τιμή	17.606	28186	22.739	22.065	27.464	37.875
Διάμεση τιμή	16.216	32200	20.624	21.968	28.123	39.600
Τυπική απόκλιση (±)	7.845	13777	14.614	17.548	20.708	26.853
Συντελεστής διακύμανσης %	44,6	48,9	64,3	79,5	75,4	70,9
Πυριτούχοι άμμοι						
Αριθμός δειγμάτων	3	3	3	3	3	3
Ελάχιστη τιμή	3.679	3.271	2.990	3.428	4.460	5.932
Μέγιστη τιμή	36.000	37.200	39.200	36.000	29.600	50.000
Μέση τιμή	15.106	14.585	15.078	14.658	13.724	21.842
Διάμεση τιμή	5.639	3.284	3.045	4.547	7.112	9.594
Τυπική απόκλιση (±)	18.121	19.585	20.890	18.491	13.813	24.454
Συντελεστής διακύμανσης %	120,0	134,3	138,5	126,1	100,6	112,0

Απορρίμματα επίπλευσης (σαβούρα)

Αριθμός δειγμάτων	3	3	3	3	3	3
Ελάχιστη τιμή	17.200	22.400	22.000	11.693	27.600	68.000
Μέγιστη τιμή	26.800	24.400	23.200	21.200	37.600	112.000
Μέση τιμή	22.530	23.470	22.670	17.180	32.670	89.670
Διάμεση τιμή	23.600	23.600	22.800	18.647	32.800	89.000
Τυπική απόκλιση (\pm)	4.888	1.007	611	4.920	5.001	22.010
Συντελεστής διακύμανσης %	21,7	4,3	2,7	28,6	15,3	24,5

Υπολειμματικό έδαφος

Αριθμός δειγμάτων	8	8	8	8	8	8
Ελάχιστη τιμή	1.390	1.614	1.832	2.163	2.341	2.947
Μέγιστη τιμή	13.486	15.188	16.601	17.386	15.731	14.415
Μέση τιμή	4.062	4.361	4.908	5.576	6.237	7.121
Διάμεση τιμή	3.004	3.031	3.602	4.310	4.868	5.903
Τυπική απόκλιση (\pm)	3.895	4.462	4.822	4.897	4.145	3.667
Συντελεστής διακύμανσης %	95,9	102,3	98,2	87,8	66,5	51,5

4.3. Οι μη-σιδηρούχες σκουριές του Λαυρίου

Οι σκουριές του Λαυρίου έχουν δημιουργήσει ένα από τα μεγάλα περιβαλλοντικά προβλήματα, δεδομένου ότι θεωρήθηκαν χημικά αδρανείς, λόγω των βραχομηχανικών ιδιοτήτων τους. Αυτή η λανθασμένη εντύπωση οφείλεται στο γεγονός ότι δεν έχει κατανοηθεί η ύπαρξη δύο κύριων τύπων μεταλλουργικών σκουριών: (α) των *σιδηρούχων*, και (β) των *μη-σιδηρούχων* (Flett and Riddler 1992).

Οι *σιδηρούχες σκουριές* προέρχονται από την εκκαμίνευση των σιδηρούχων ή σιδηρομαγνητιούχων μεταλλευμάτων και δεν περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις τοξικών στοιχείων και θείου. Έτσι, λόγω των προβλέψιμων χημικών και φυσικών ιδιοτήτων τους και της ανθεκτικότητάς τους στη λείανση και φθορά, σε σχέση με τα φυσικά συγκρίματα, χρησιμοποιούνται στην οδοποιία για την επικάλυψη δρόμων καθώς επίσης και ως μονωτικά υλικά.

Σε αντίθεση, οι *μη-σιδηρούχες σκουριές*, όπως είναι του Λαυρίου, προέρχονται από την εκκαμίνευση μικτών θειούχων ή πολυμεταλλικών μεταλλευμάτων, με συνέπεια να περιέχουν, εκτός από σίδηρο και μαγγάνιο, και υψηλές συγκεντρώσεις τοξικών στοιχείων, όπως αντιμονίου, αρσενικού, καδμίου, μολύβδου, χαλκού,

υδραργύρου, ψευδαργύρου κ.ά. (Πίν. 3). Η οξειδωση των σκουριών στο χερσαίο περιβάλλον έχει ως συνέπεια την αποδέσμευση τοξικών στοιχείων, τα οποία ρυπαίνουν το υπέδαφος (Tack et al. 1992, 1993, Tack and Verloo 1994, Δημητριάδης και Σταυράκη 1995β, Vangronsveld et al. 1995, Demetriades et al. 1997). Όσον αφορά τις *μη-σιδηρούχες σκουριές* που βρίσκονται στη θάλασσα, έχει παρατηρηθεί ότι αντιδρούν με το θαλασσίνο νερό και η συνέπεια είναι η δημιουργία νέων ορυκτών (Κατερινόπουλος και Ζησιμοπούλου 1994, Gelaude et al. 1996).

Οι Flett και Riddler (1992) επισημαίνουν ότι με τις αυστηρότερες περιβαλλοντικές νομοθεσίες, όσον αφορά τη διάθεση των απορριμμάτων, η απόρριψη ή/και χρησιμοποίηση των *μη-σιδηρούχων σκουριών* θα γίνει περισσότερο προβληματική, λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς τους σε τοξικά στοιχεία. Απ' όλα τα διαθέσιμα αποτελέσματα, *συμπεραίνεται ότι οι μη-σιδηρούχες σκουριές του Λαυρίου δεν είναι αδρανείς, αλλά χημικά ενεργές και ρυπαίνουν το περιβάλλον με επικίνδυνα υψηλές συγκεντρώσεις τοξικών στοιχείων.*

5. Η γεωγραφική κατανομή του μολύβδου στο εδαφικό κάλυμμα

5.1. Η κατανομή του μολύβδου στο έδαφος της Λαυρεωτικής χερσονήσου

Ο χάρτης της γεωγραφικής κατανομής του μολύβδου στη Λαυρεωτική χερσόνησο με συγκεντρώσεις >2.232 mg/kg οριοθετεί όλες τις γνωστές μεταλλοφόρες/μεταλλευτικές περιοχές από Άνω Σούνιον προς Αγία Τριάδα, Άγιο Κωνσταντίνο (Καμάριζα), Δημοουλάκι, Πλάκα και Φέριζα (Σχ. 3) (Demetriades et al. 1999). Οι περιοχές με τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις μολύβδου (>21.550 mg/kg) βρίσκονται σε έντονα μεταλλοφόρες περιοχές με παλιές εργασίες, όπως στην περιοχή Δημοουλάκι, Άγιο Κωνσταντίνο και Αγία Τριάδα (Σχ. 2). Ενώ, οι υψηλές συγκεντρώσεις μολύβδου στο Λαύριο οφείλονται στη ρύπανση από τα απορρίμματα της μεταλλουργίας (Σχ. 4), στην περιοχή δε της Αναβύσσου είναι μέσα σε προσχώσεις του ρέμματος, που πηγάζει από τη μεταλλοφόρο/μεταλλευτική περιοχή Δημοουλάκι.

Η νομοθετημένη ανώτατη τιμή του ολικού μολύβδου στο έδαφος των οικιστικών περιοχών με κήπο είναι 500 mg/kg (ICRCL 1987). Ενώ, η προτεινόμενη καθοδηγητική τιμή δράσης του μολύβδου για το έδαφος, που προκύπτει από το Μοντέλο Εκτίμησης της Έκθεσης σε Ρυπασμένη Γη και η οποία βασίζεται στο 95ο εκατοστημόριο της κατανομής έκθεσης για όλη τη διάρκεια ζωής ενός ατόμου, σε pH 7 και 10% οργανική ύλη, είναι 560 mg/kg (Ferguson 1995a, b, Taylor and Langley 1996). Είναι εμφανές ότι ένα μεγάλο ποσοστό (57-60%) της Λαυρεωτικής χερσονήσου είναι έντονα ρυπασμένο από μόλυβδο.

Όσον αφορά τους ανοικτούς χώρους, πάρκα και παιδικές χαρές, η προτεινόμενη νομοθετημένη τιμή του μολύβδου στο έδαφος είναι 2.000 mg/kg (ICRCL 1987). Σ' αυτή την περίπτωση περίπου το 26% της Λαυρεωτικής χερσονήσου έχει συγκεντρώσεις που υπερβαίνουν αυτό το όριο.

Κατά τους Kabata-Pendias και Pendias (1984), η προτεινόμενη συγκέντρωση μολύβδου στο έδαφος για την υγιή ανάπτυξη των φυτών είναι 200 mg/kg, με συνέπεια το μεγαλύτερο ποσοστό (85%) του εδάφους της Λαυρεωτικής να είναι ακατάλληλο για την καλλιέργεια εδώδιμων φυτών.

5.2. Η κατανομή του μολύβδου στο εδαφικό κάλυμμα της αστικής περιοχής του Λαυρίου

Στο Σχήμα 6 απεικονίζεται η γεωγραφική κατανομή του ολικού μολύβδου σε δείγματα του εδαφικού καλύμματος, συμπεριλαμβανομένου και του υπολειμματικού εδάφους. Το κυριότερο χαρακτηριστικό, που διέπει τη χωρική κατανομή του μολύβδου στο επιφανειακό περιβάλλον της αστικής περιοχής του Λαυρίου, είναι οι σωροί των μεταλλουργικών απορριμμάτων, δηλ. τα απορρίμματα επίπλευσης (σαβούρα), τα πυριτούχα απορρίμματα και οι σκουριές (Σχ. 4).

Οι συγκεντρώσεις του ολικού μολύβδου κυμαίνονται από 810 έως 151.579 mg/kg, με μέση τιμή 11.578, διάμεση τιμή 7.305 mg/kg και συντελεστή διακύμανσης 133,8%, ο οποίος υποδηλεί τη μεγάλη διακύμανση των τιμών του ολικού μολύβδου στα δείγματα του εδαφικού καλύμματος (Σχ. 6). Είναι εμφανές, ότι οι υψηλές συγκεντρώσεις του μολύβδου στο εδαφικό κάλυμμα, συμπεριλαμβανομένου και του υπολειμματικού εδάφους, οφείλονται στις δραστηριότητες των μεταλλουργικών διεργασιών και όχι σε φυσικά αίτια, δεδομένου ότι δεν υπάρχει καμμία συσχέτιση με τη γεωγραφική κατανομή του μολύβδου στα μητρικά πετρώματα (Σχ. 5). Οι εκπομπές από τις μονάδες εκκαμίνευσης του μεταλλεύματος και ο μεγάλος όγκος των μεταλλουργικών απορριμμάτων, που έχουν εναποτεθεί στο αστικό περιβάλλον του Λαυρίου, καθώς και η μετέπειτα μεταφορά του λεπτόκοκκου υλικού από τον αέρα, τη βροχή, τους χειμάρρους και τον ίδιο τον άνθρωπο, έχουν επιβαρύνει ακόμη και τις πιο απομακρυσμένες περιοχές, όπως τον Πάνορμο και Βιλανόιρα.

Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις του μολύβδου απαντώνται στις περιοχές που είναι καλυμμένες από τα μεταλλουργικά απορρίμματα. Το εργοστάσιο εμπλουτισμού και μεταλλουργίας της Γαλλικής Εταιρείας στον Κυπριανό και ο περιβάλλον χώρος έχουν τις υψηλότερες συγκεντρώσεις ολικού μολύβδου (21.615-151.579 mg/kg). Η επόμενη περιοχή με υψηλά επίπεδα μολύβδου είναι αυτή που καλύπτεται από τα απορρίμματα επίπλευσης (13.256-33.856 mg/kg) και εκτείνεται από την Αλάκο προς Νόρια, καλύπτει την περιοχή της Πράσινης Αλεπούς, το χώρο με τις αθλητικές εγκαταστάσεις, το Ορυκτολογικό Μουσείο, τα Ρουμάνικα, το Γυμνάσιο-Λύκειο και φθάνει μέχρι το εργοστάσιο της Γαλλικής Εταιρείας (Σχ. 6).

Οι συγκεντρώσεις του μολύβδου στο εδαφικό κάλυμμα της αστικής περιοχής του Λαυρίου (>810 mg/kg) υπερβαίνουν κατά πολύ τις νομοθετημένες ανώτατες τιμές του ολικού μολύβδου στο έδαφος των οικιστικών περιοχών, που είναι 500

mg/kg (ICRCL 1987), ή 560 mg/kg (Ferguson 1995a, b, Taylor and Langley 1996), καθώς επίσης και τη συνιστώμενη τιμή για την υγιή ανάπτυξη των φυτών (200 mg/kg). Γεγονός που υποδηλεί την έντονη ρύπανση στο Λαύριο.

6. Η γεωγραφική κατανομή του μολύβδου στη σκόνη σπιτιών

Το Σχήμα 7 απεικονίζει τη γεωγραφική κατανομή του ολικού μολύβδου στα δείγματα σκόνης σπιτιών. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις μολύβδου στη σκόνη των σπιτιών απαντώνται σε οικίες, που είναι κτισμένες πάνω στα μεταλλουργικά απορρίμματα και κυρίως του εμπλουτισμού (σαβούρα), όπως από Αλάκο προς Νόρια, Πράσινη Αλεπού και Σαντοριναίικα (Φωτ. 1 & 6). Είναι πραγματικά ανησυχητικό να υπάρχουν υψηλές συγκεντρώσεις μολύβδου μέσα στα σπίτια του Λαυρίου με τιμές που κυμαίνονται από 488 έως 18.617 mg/kg (μέση τιμή 4.006 και διάμεση τιμή 3.091 mg/kg Pb).

Φαίνεται ότι υπάρχει συσχέτιση μεταξύ της γεωγραφικής κατανομής των ολικών συγκεντρώσεων του μολύβδου στο εδαφικό κάλυμμα (Σχ. 6) και της σκόνης σπιτιών (Σχ. 7). Η γραμμική στατιστική συσχέτιση των λογαρίθμων (βάση 10) των συγκεντρώσεων του ολικού μολύβδου στα δείγματα σκόνης σπιτιών με τις αντίστοιχες του κηπευτικού εδάφους έχουν συντελεστή συσχέτισης, r , ίσο με 0,7. Συνεπώς, ο συντελεστής προσδιορισμού, r^2 %, δείχνει ότι το προσαρμοσμένο γραμμικό πρότυπο ερμηνεύει το 49% της μεταβλητότητας των ολικών συγκεντρώσεων του μολύβδου στα δείγματα σκόνης σπιτιών σε σχέση με τα αντίστοιχα του κηπευτικού εδάφους. Η εξίσωση του προσαρμοσμένου προτύπου είναι:

$$\log_{10} \text{Pb στη σκόνη σπιτιού} = 0,7812 + (0,7113 \times \log_{10} \text{Pb στο κηπευτικό έδαφος}).$$

Εφ' όσον η p -τιμή ελέγχου της διάσπορας είναι μικρότερη από 0,01, υπάρχει σημαντική στατιστική συσχέτιση μεταξύ της ολικής συγκέντρωσης του μολύβδου στη σκόνη σπιτιού και της αντίστοιχης του κηπευτικού εδάφους στο 99% επίπεδο εμπιστοσύνης. Έτσι, η παραπάνω εξίσωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της ολικής συγκέντρωσης του μολύβδου στη σκόνη των σπιτιών στα οποία δεν έχουν ληφθεί δείγματα σκόνης, ενώ έχουν ληφθεί δείγματα κηπευτικού εδάφους.

7. Η γεωγραφική κατανομή του μολύβδου στο αίμα των παιδιών

Τα αποτελέσματα της τελευταίας επιδημιολογικής μελέτης, που έγινε το 1987 (Μακροπούλος et al. 1991, 1992a, b), χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του χάρτη γεωγραφικής κατανομής του μολύβδου στο αίμα των παιδιών. Σημειώνεται, ότι από τα 255 παιδιά που συμμετείχαν σ' αυτή τη μελέτη, τα 235 κατοικούν στην αστική περιοχή του Λαυρίου.

Η γεωγραφική κατανομή του μολύβδου στο αίμα των παιδιών (Σχ. 8) σχεδιάστηκε με ειδική γεωστατιστική επεξεργασία παρεμβολής των πραγματικών συγκεντρώσεων και λαμβάνοντας υπ' όψη τη χωρική κατανομή των μεταλλουργικών απορριμμάτων (Σχ. 4), του ολικού μολύβδου στα δείγματα εδαφικού καλύμματος (Σχ. 6) και σκόνης σπιτιών (Σχ. 7). Η γεωγραφική κατανομή του μολύβδου στο αίμα των παιδιών δείχνει ότι:

- Τα παιδιά με συγκεντρώσεις μολύβδου στο αίμα τους, που είναι μικρότερες από 10 $\mu\text{g}/100\text{ ml}$, διαμένουν σε περιοχές όπου δεν υπάρχουν μεταλλουργικά απορρίμματα και το ρυπασμένο έδαφος έχει τις χαμηλότερες συγκεντρώσεις μολύβδου (Σχ. 6), όπως π.χ. η περιοχή Πάνορμος.

- Το μεγαλύτερο ποσοστό των παιδιών που μένουν στις περιοχές Νεάπολης και Αγίου Ανδρέα έχουν συγκεντρώσεις μολύβδου στο αίμα τους, που κυμαίνονται από 10 έως 22,73 $\mu\text{g}/100\text{ ml}$. Ένα μικρό ποσοστό όμως, έχει συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 22,73 $\mu\text{g Pb}/100\text{ ml}$. Τα σπίτια αυτών των παιδιών βρίσκονται στις ανατολικές παρυφές της περιοχής, τα οποία είναι πλησίον σε σωρούς από σκουριές και σιδηροπυρίτη (Σχ. 4), που σήμερα είναι σκεπασμένοι. Σημειώνεται, ότι (α) το έδαφος της περιοχής αυτής έχει συγκεντρώσεις μολύβδου που κυμαίνονται από 2.594 έως 7.305 mg/kg και (β) οι συγκεντρώσεις μολύβδου στη σκόνη σπιτιών είναι από 836 έως 4.935 mg/kg , δηλ. από τις χαμηλότερες σχετικά συγκεντρώσεις μολύβδου στην αστική περιοχή του Λαυρίου.

- Το μεγαλύτερο ποσοστό των παιδιών που μένουν στις περιοχές της Πράσινης Αλεπούς, Κυπριανό (Σαντοριναϊκά, Φοινικόδασος) και Καβοδόκανο έχουν συγκεντρώσεις μολύβδου στο αίμα τους που κυμαίνονται από 22,73 έως 60,5 $\mu\text{g}/100\text{ ml}$. Οι περιοχές αυτές είναι κοντά στο εργοστάσιο της Γαλλικής Εταιρείας, και επιπλέον σ' αυτές υπάρχουν πολλοί σωροί μεταλλουργικών απορριμμάτων (Σχ. 4).

- Στο Θορικό παρατηρείται μία περίπτωση παιδιού με συγκεντρώσεις μολύβδου μεγαλύτερες από 22,73 $\mu\text{g}/100\text{ ml}$. Το παιδί αυτό μένει σε σπίτι, που είναι πλησίον σωρού με μεταλλουργικά απορρίμματα (Σχ. 4 & 8), με υψηλές συγκεντρώσεις μολύβδου στο έδαφος της πέριξ περιοχής (7.305-13.256 mg/kg , Σχ. 6) και στη σκόνη του σπιτιού (4.935-8.598 mg/kg , Σχ. 7). Αυτή η μεμονωμένη και απομονωμένη περίπτωση δείχνει πόσο μπορεί να επηρεαστεί η υγεία ενός παιδιού από τη ρύπανση του χώρου όπου διαμένει.

7.1. Συγκεντρώσεις μολύβδου στο αίμα των παιδιών

Η στατιστική ανάλυση των συγκεντρώσεων του μολύβδου στο αίμα των 235 παιδιών, που κατοικούν στο Λαύριο, δείχνει ότι:

- Το 90% των παιδιών έχουν περισσότερο από 10 εκατομμυριοστά του γραμμαρίου μολύβδου ($\mu\text{g Pb}$) ανά 100 χιλιοστόλιτρα (ml) αίματος, δηλ. 212 από τα 235 παιδιά (Σχ. 9).

- Το 50% έχουν περισσότερο από 18 εκατομμυριοστά του γραμμαρίου μολύβδου ανά 100 χιλιοστόλιτρα αίματος, δηλ. 118 παιδιά.
- Το 10% έχουν περισσότερο από 31 εκατομμυριοστά του γραμμαρίου μολύβδου ανά 100 χιλιοστόλιτρα αίματος, δηλ. 24 παιδιά.
- Ενώ το 5% έχουν περισσότερο από 38 εκατομμυριοστά του γραμμαρίου μολύβδου ανά 100 χιλιοστόλιτρα αίματος, δηλ. 12 παιδιά.

Σημειώνεται ότι το ανώτατο αποδεκτό όριο μολύβδου (Pb) στο αίμα των παιδιών είναι 10 εκατομμυριοστά του γραμμαρίου μολύβδου ανά 100 χιλιοστόλιτρα αίματος (δηλ. 10 $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ ή 10 $\mu\text{g Pb/dl}$ ή 100 $\mu\text{g Pb/λίτρο αίματος}$). Συνεπώς, το 90% των παιδιών του Λαυρίου έχουν μολύβδο στο αίμα τους πάνω από το ανώτατο αποδεκτό όριο.

7.2. Συγκεντρώσεις μολύβδου στα νεογλά δόντια

Οι επιδημιολογικές μελέτες της δεκαετίας του 1980 αποδίδουν την επιβάρυνση των κατοίκων του Λαυρίου στις εκπομπές της καμινάδας του εργοστασίου εμπλουτισμού της Γαλλικής Εταιρείας στον Κυπριανό, χωρίς να λάβουν υπ' όψη τους τις υψηλές συγκεντρώσεις τοξικών στοιχείων, που βρίσκονται στα λεπτόκοκκα απορρίμματα της μεταλλουργικής επεξεργασίας και στο ρυπασμένο επιφανειακό έδαφος. Έτσι, οι πιο πολλοί άνθρωποι στο Λαύριο πίστεψαν ότι όλα τα σχετικά με την υγεία τους προβλήματα τελείωσαν το 1989 με το κλείσιμο του μεταλλουργικού συγκροτήματος.

Το 1991 συλλέχθηκαν στο Λαύριο νεογλά δόντια από παιδιά ηλικίας 6 έως 12 ετών για να εκτιμηθεί η απορρόφηση του μολύβδου (Stavrakis et al. 1994, Demetriades et al. 1996). Τα δόντια αναλύθηκαν στο Πανεπιστήμιο Μπέργκεν της Νορβηγίας.

Οι τιμές του μολύβδου στα δόντια των παιδιών του Λαυρίου κυμαίνονται από 0,97-153,26 $\mu\text{g/g}$ με μέση τιμή 9,88 $\mu\text{g/g}$ ($n=82$). Ενώ, οι συγκεντρώσεις μολύβδου, σε δείγματα νεογλών δοντιών παιδιών της ίδιας ηλικίας στην προβιομηχανική εποχή της Νορβηγίας, κυμαίνονται από 0,20-4,37 $\mu\text{g/g}$ με μέση τιμή 0,91 $\mu\text{g/g}$ (Fosse and Wesenberg 1981). Τα υψηλά επίπεδα μολύβδου στα νεογλά δόντια των παιδιών του Λαυρίου, δείχνουν ότι ο μολύβδος είναι ακόμη διαθέσιμος για απορρόφηση και μετά το κλείσιμο του μεταλλουργικού συγκροτήματος.

8. Συγκεντρώσεις Αρσενικού στα ούρα παιδιών και ενηλίκων

8.1. Συγκεντρώσεις Αρσενικού στα ούρα των παιδιών

Η στατιστική ανάλυση των συγκεντρώσεων του αρσενικού στα ούρα των παιδιών, που κατοικούν στην αστική περιοχή του Λαυρίου, βάσει των αποτελεσμάτων της επιδημιολογικής έρευνας του 1987, δείχνει ότι:

– Το 8,4% των παιδιών έχουν περισσότερο από 20 εκατομμυριοστά του γραμμαρίου αρσενικού (μg As) στα ούρα του 24ώρου, δηλ. 20 από τα 235 παιδιά (Σχ. 10).

– Ενώ το 5% έχουν περισσότερο από 65,9 εκατομμυριοστά του γραμμαρίου αρσενικού στα ούρα του 24ώρου, δηλ. 12 παιδιά.

Σημειώνεται ότι το ανώτατο αποδεκτό όριο Αρσενικού (As) στα ούρα των παιδιών είναι 20 εκατομμυριοστά του γραμμαρίου αρσενικού στα ούρα του 24ώρου (20 μg As/24 hr). Συνεπώς, το 8,4% των παιδιών έχουν αρσενικό στα ούρα πάνω από το ανώτατο αποδεκτό όριο.

8.2. Νέα δειγματοληψία ούρων

Στις 19 Νοεμβρίου 1998 έγινε νέα δειγματοληψία ούρων από 65 κατοίκους του Λαυρίου. Τα δείγματα αναλύθηκαν στο Ινστιτούτο Αναλυτικής Χημείας του Πανεπιστημίου Karl-Franzens στην πόλη Γκρατς της Αυστρίας, το οποίο είναι εξειδικευμένο στην πολυστοιχειακή ανάλυση ούρων και κυρίως του αρσενικού (As). Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων γίνεται με βάση τη συγκέντρωση των 100 μg As/ανά λίτρο ούρων, η οποία θεωρείται ως η μέγιστη για ενήλικες που δεν είναι εκτεθειμένοι σε αρσενικό λόγω εργασίας (Caroli et al. 1994). Βάσει αυτής της ανώτατης τιμής, το 37% των κατοίκων έχουν υψηλότερες συγκεντρώσεις αρσενικού στα ούρα τους (Πίν. 6).

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι υπάρχουν αυξημένες συγκεντρώσεις αρσενικού στα ούρα στις περιοχές: Πράσινη Αλεπού (23,7 έως 1279 μg As/l, μέση τιμή 229,5 και διάμεση τιμή 58,4 μg As/l) και Καβοδόκανο (29,7 έως 831,5 μg As/l, μέση τιμή 210,8 και διάμεση τιμή 192,7 μg As/l), όπου οι κάτοικοι βρίσκονται σε άμεση επαφή με τα μεταλλουργικά απορρίμματα (Πίν. 6, Σχ. 11). Σε ορισμένες περιοχές υπάρχουν αυξημένες συγκεντρώσεις αρσενικού σε ένα ή δύο δείγματα ούρων, τα οποία επηρεάζουν τη στατιστική εικόνα, όπως π.χ., στα Ρουμάνικα ένα δείγμα ούρων έχει συγκέντρωση 1.095 μg As/l, στο Νυχτοχώρι υπάρχει επίσης ένα δείγμα με 448 μg As/l και στην Αγία Παρασκευή δύο δείγματα ούρων με 244 και 285,6 μg As/l.

Οι περιοχές με τις χαμηλότερες συγκεντρώσεις είναι ο Κυπριανός (10,2 έως 28,5 μg As/l, μέση τιμή 18,3 και διάμεση τιμή 17,5 μg As/l) και η Νεάπολη (19,5 έως 59 μg As/l, μέση τιμή 42,9 και διάμεση τιμή 45,4 μg As/l), οι οποίες έχουν αντίστοιχα μικρή ποσότητα μεταλλουργικών απορριμμάτων (σκουριές) ή καθόλου.

Τα υψηλά επίπεδα αρσενικού στα ούρα των κατοίκων του Λαυρίου δείχνουν ότι το αρσενικό είναι ακόμη διαθέσιμο για απορρόφηση και εννέα χρόνια μετά το κλείσιμο του μεταλλουργικού συγκροτήματος. Έτσι, η πηγή του προβλήματος συνεχίζει να υπάρχει, η οποία είναι τα μεταλλουργικά απορρίμματα και το έντονα ρυπασμένο έδαφος.

9. Γεωχημεία του υπόγειου νερού

Επειδή τα μεταλλουργικά απορρίμματα και το ρυπασμένο έδαφος παρουσιάζουν πιθανό κίνδυνο ρύπανσης του υπόγειου νερού, ελήφθησαν δεκαπέντε δείγματα για προκαταρκτική εκτίμηση της γεωχημείας του (Πίν. 7). Το βάθος του υπόγειου νερού κυμαινόταν από 3,6 έως 12,5 μέτρα, με μόνο μία γεώτρηση να φθάνει τα 60 μέτρα. Το μικρό βάθος σημαίνει ότι το υπόγειο νερό είναι ευπρόσβλητο σε ανθρωπογενείς επιδράσεις.

Οι συγκεντρώσεις των νιτρικών αλάτων $[\text{NO}_3^-]$ είναι υψηλότερες του μέγιστου συνιστώμενου ορίου των 50 mg/l σε πηγάδια στο κέντρο της πόλης του Λαυρίου, όπου υπάρχουν βόθροι και χρησιμοποιείται κοπριά προβάτων ως λίπασμα στους κήπους των σπιτιών (Πίν. 7). Τα επίπεδα του αμμωνίου $[\text{NH}_4^+]$ και του οξειδίου του αζώτου $[\text{NO}_2^-]$ είναι υψηλά σε αγρόκτημα στο Θορικό και το δεύτερο είναι επίσης υψηλό σε αγρόκτημα μεταξύ της περιοχής Πανόρμου και Κούκου.

Οι συγκεντρώσεις των θειϊκών αλάτων $[\text{SO}_4^{2-}]$ είναι σχετικά υψηλές και υπερβαίνουν τη μέγιστη συνιστώσα τιμή των 250 mg/l στις αγροτικές περιοχές του Θορικού και Πανόρμου (Πίν. 7). Ένα πηγάδι νότια από τα Φουγάρα έχει 1.405 mg SO_4^{2-} /ανά λίτρο νερού. Αυτές οι υψηλές συγκεντρώσεις θειϊκών αλάτων υποδηλούν διείσδυση θαλασσινού νερού, λόγω υπεράντλησης στο παρελθόν, αλλά επίσης και πιθανή ρύπανση από τα μεταλλουργικά απορρίμματα.

Πίνακας 6. Στατιστικές παράμετροι του αρσενικού στα ούρα (μg As/l) των κατοίκων του Λαυρίου από διάφορες περιοχές.

Στατιστικές παράμετροι	Αγία Παρασκευή	Πράσινη Αλεπού	Καβοδόκανος	Κοπριανός	Νεάπολη	Νυχτοχώρι	Ρουμάνικα
Αριθμός δειγμάτων	7	18	17	7	6	6	4
Ελάχιστη τιμή	12.0	23.7	29.7	10.2	19.5	13.9	9.7
Μέγιστη τιμή	285.6	1279.0	831.5	28.5	59.0	448.0	1095.0
Μέση τιμή	106.8	229.5	210.8	18.3	42.9	98.0	291.0
Διάμεση τιμή	50.3	58.4	192.7	17.5	45.4	24.3	29.7
Πρώτο τεταρτημόριο	16.3	29.2	72.4	15.7	32.8	15.6	16.6
Τρίτο τεταρτημόριο	212.7	161.5	289.0	20.5	55.6	62.0	565.5
Τυπικό σφάλμα μέσης τιμής	43.3	86.9	46.6	2.1	6.5	70.4	268.1
95% διάστ. εμπ. μέσης τιμής	106.0	183.4	98.7	5.2	16.6	180.9	852.9
99% διάστ. εμπ. μέσης τιμής	160.5	251.9	136.0	7.8	26.0	283.7	1565.7
Τυπική απόκλιση (\pm)	114.6	368.7	192.0	5.6	15.8	172.4	536.1
Συντελεστής διακύμανσης (%)	107.3	160.6	91.1	30.5	36.8	175.9	184.2

Το μαγγάνιο υπερβαίνει τη μέγιστη συνιστώσα τιμή των 50 mg/l σε πηγάδι που βρίσκεται στο Θορικό βόρεια σωρού με οξειδωμένο πυρίτη (Πίν. 7). Το εν λόγω πηγάδι έχει επίσης αυξημένες σχετικά συγκεντρώσεις σιδήρου, νικελίου και θεϊκών αλάτων, γεγονός που υποδηλεί την έκπλυση αυτών των στοιχείων από την όξινη απορροή, η οποία δημιουργείται από την οξείδωση του πυρίτη.

Οι τιμές του μολύβδου, ψευδαργύρου και καδμίου είναι χαμηλότερες από τα αντίστοιχα μέγιστα συνιστώμενα όρια (Πίν. 7). Οι συγκεντρώσεις τους όμως είναι σχετικά υψηλές στα τρία πηγάδια, που βρίσκονται στην περιοχή με τα απορρίμματα εμπλουτισμού (Νόρια-Πράσινη Αλεπού). Αυτές οι σχετικά αυξημένες τιμές υποδηλούν ότι υπάρχει αποδέσμευση αυτών των στοιχείων από τα μεταλλουργικά απορρίμματα και ότι η κατείδυσή τους προς τον υδροφόρο ορίζοντα έχει αρχίσει.

Αυτή η προκαταρκτική μελέτη του υπόγειου νερού του Λαυρίου έδειξε ότι οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες έχουν ρυπάνει τον υδροφόρο ορίζοντα, π.χ., η υπεράντληση στο παρελθόν, βόθροι και αγροτικές δραστηριότητες. Η ρύπανση του υπόγειου νερού, από το μεγάλο όγκο των μεταλλουργικών απορριμμάτων και το ρυπασμένο έδαφος, φαίνεται να έχει αρχίσει, όσον αφορά το κάδμιο, μόλυβδο και ψευδάργυρο. Αν και οι συγκεντρώσεις τους δεν έχουν υπερβεί ακόμη τα μέγιστα συνιστώμενα όρια του πόσιμου νερού, οι σχετικά αυξημένες τιμές τους προειδοποιούν ότι η κατείδυσή τους έχει αρχίσει.

Πίνακας 7. Στατιστικές παράμετροι των χημικών μεταβλητών του υπόγειου νερού στην αστική περιοχή του Λαυρίου (n=15). Οι παράμετροι που υπερβαίνουν τα ανώτατα αποδεκτά όρια έχουν τονιστεί (από Demetriades and Vergou-Vichou, 1999c, Πίνακας 10.2β, σελ. 307).

Στατιστικές παράμετροι	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	SO ₄ ²⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺
	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	mg/l	μg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Όριο ανίχνευσης	1	10	10	1	1	10	10	10	0,1	0,001	0,3	0,001
Μέγιστη συνιστώσα συγκέντρωση	5,0	50,0	3000,0	200,0	50,0	50,0	50,0	5000,0	250,0	0,1	50,0	0,5
Ελάχιστη τιμή	<1,0	<10,0	<10,0	<1,0	19,0	<10,0	<10,0	10,0	18,6	0,0	<0,3	0,0
Μέγιστη τιμή	4,0	10,0	110,0	36,0	1970,0	10,0	30,0	1000,0	1405,0	14,0	137,7	0,8
Μέση τιμή	1,2	6,3	15,3	13,5	176,7	6,3	10,3	211,3	377,2	0,9	44,7	0,1
Διάμεση τιμή	1,0	5,0	5,0	9,0	32,0	5,0	5,0	60,0	317,5	0,0	37,4	0,1
Πρώτο τεταρτημόριο	0,5	5,0	5,0	2,8	25,0	5,0	5,0	30,0	207,6	0,0	21,9	0,0
Τρίτο τεταρτημόριο	1,0	8,8	10,0	24,3	40,8	8,8	10,0	165,0	423,8	0,0	52,4	0,1
Τυπικό σφάλμα μέσης τιμής	0,3	0,6	7,0	3,2	129,1	0,6	2,3	82,0	81,9	0,9	9,6	0,1
95% διάστ. εμπ. μέσης τιμής	0,7	1,3	14,9	7,0	277,0	1,3	5,0	175,8	175,7	2,0	20,6	0,1

Στατιστικές παράμετροι	<i>Cd</i>	<i>Cr</i>	<i>Cu</i>	<i>Fe</i>	<i>Mn</i>	<i>Ni</i>	<i>Pb</i>	<i>Zn</i>	<i>SO₄²⁻</i>	<i>NO₂⁻</i>	<i>NO₃⁻</i>	<i>NH₄⁺</i>
	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l
Τυπική απόκλιση (±)	1,2	2,3	27,0	12,6	500,1	2,3	9,0	317,4	317,2	3,6	37,2	0,2
Συντελεστής διακύμανσης (%)	96,7	36,1	175,8	93,0	283,1	36,1	86,7	150,2	84,1	386,5	83,2	158,2

Σημείωση: Οι τιμές είναι σε μg/l ή ppb και mg/l ή ppm

10. Εκτίμηση της επικινδυνότητας και έκθεσης

Η Εκτίμηση της Επικινδυνότητας και η Εκτίμηση της Έκθεσης των περιβαλλοντικών ρύπων είναι δύο θεμελιώδεις συνιστώσες της Εκτίμησης Περιβαλλοντικών Κινδύνων (DoE 1995, Callow 1998, Ferguson et al. 1998, Ferguson and Kasamas 1999, Tristán et al. 1998, 1999, 2000). Η Εκτίμηση Περιβαλλοντικών Κινδύνων είναι μία μεθοδολογία με την οποία αναγνωρίζονται οι κίνδυνοι, η Έκθεση ποσοτικοποιείται και προσδιορίζονται οι σχέσεις δόσης-αντίδρασης για το χαρακτηρισμό του κινδύνου (NAS 1983).

Οι μεθοδολογίες που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της επικινδυνότητας και άμεσης έκθεσης των παιδιών στη ρύπανση του περιβάλλοντος στα πλαίσια του ανταγωνιστικού έργου LIFE «Αποκατάσταση Εδάφους στο Δήμο Λαυρίου», περιλαμβάνουν ποσοτικές και ημιποσοτικές προσεγγίσεις (Tristán et al. 1998, 1999, 2000). Στην εργασία αυτή περιγράφονται μόνο οι χάρτες εκτίμησης της επικινδυνότητας ή κινδύνου και της έκθεσης (Σχ. 13 & 14). Η εκτίμηση της έκθεσης συμπεριλαμβάνει τα ίδια πολλαπλά κριτήρια, που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της επικινδυνότητας, με την προσθήκη ενός επιπλέον παράγοντα, ο οποίος είναι ο «χρόνος της έκθεσης» των παιδιών στους περιβαλλοντικούς ρύπους. Αυτός ο παράγοντας βασίζεται στα κοινωνικο-οικονομικά χαρακτηριστικά των οικογενειών των παιδιών, στην κατανομή του χρόνου τους και στο πρόγραμμα των δραστηριοτήτων τους.

Η «επικινδυνότητα» ή «κίνδυνος», όπως εφαρμόζεται στην εκτίμηση των ρύπων στο έδαφος, «υφίσταται εφ' όσον υπάρχει το ενδεχόμενο να προξενήσει βλάβη ή ζημιά λόγω των ιδιοτήτων της ουσίας και τον τρόπο με τον οποίο εμφανίζεται» (Ferguson and Denner 1994). Ο Douben (1998) θεωρεί ότι η «επικινδυνότητα είναι η ιδιότητα που σε μία ειδική περίπτωση μπορεί να οδηγήσει σε βλάβη». Βάσει αυτών των δύο ορισμών, ένα τοξικό χημικό συστατικό δεν είναι κατ' ανάγκη επικίνδυνο, εάν οι τρόποι που εμφανίζεται αποκλείουν το ενδεχόμενο της βλάβης. Στην περίπτωση του Λαυρίου, ο κίνδυνος που εξετάζεται είναι «ο μόλυβδος που είναι ευπρόσιτος στα παιδιά από υλικά του εδαφικού καλύμματος, συμπεριλαμβανομένου του εδάφους και της σκόνης».

Ο ορισμός της «εκτίμησης της έκθεσης του ανθρώπου στη ρύπανση καθορίζεται από τη συγκέντρωση ενός ρύπου (π.χ., στον αέρα, έδαφος, νερό) και τη διαθέσιμη για κατάποση, εισπνοή ή απορρόφηση από το δέρμα ποσότητα». Το σχηματικό πρότυπο ρύπανσης-διόδου-αποδέκτη (Σχ. 12), βασίζεται σε όλες τις διαθέσιμες πληροφορίες για την αστική περιοχή του Λαυρίου. Οι εξορυκτικές και μεταλλουργικές εργασίες των τελευταίων 5000 χρόνων, και ειδικά οι εντατικές μεταλλουργικές δραστηριότητες των τελευταίων εκατό χρόνων, έχουν δημιουργήσει, όπως έχει ήδη περιγραφεί, σωρούς απορριμμάτων που αποτελούν την κύρια πηγή ρύπανσης (Σχ. 4). Οι ανθρωπογενείς, αιολικές και υδάτινες διεργασίες, έχουν ως αποτέλεσμα την εξάπλωση της ρύπανσης και τη δημιουργία μίας εκτεταμένης δευτερεύουσας πηγής, που είναι το υπάρχον επιφανειακό έδαφος (Σχ. 6). Γενικά, σε τέτοιες περιπτώσεις, τα δυσμενή αποτελέσματα στην ανθρώπινη υγεία αποδίδονται στην άμεση έκθεση (δηλ., την εισπνοή σωματιδίων σκόνης και την κατάποση χρώματος και σκόνης) και στην κατανάλωση ρυπασμένου νερού και φρέσκων προϊόντων.

Στην περίπτωση της αστικής περιοχής του Λαυρίου, οι δίοδοι έκθεσης που μελετήθηκαν για την εκτίμηση της έκθεσης των παιδιών σε μόλυβδο ήταν:

- η απ' ευθείας λήψη εδάφους και σκόνης και
- η απ' ευθείας εισπνοή σωματιδίων σκόνης.

Άλλες πιθανοί δίοδοι έκθεσης, όπως η κατανάλωση τοπικών προϊόντων, λαχανικών, κρέατος, γάλακτος, γαλακτοκομικών προϊόντων και ψαριών, δεν μελετήθηκαν, λόγω της έλλειψης ουσιαστικής σημειακής πληροφόρησης. Επίσης, όσον αφορά το πόσιμο νερό, το Λαύριο είναι συνδεδεμένο από την 30 Απριλίου 1984 με το κεντρικό δίκτυο της ΕΥΔΑΠ, με το οποίο υδρεύεται και η Αθήνα (Κ. Πόγκας, προσ. πληροφ., 1999).

Η ημι-ποσοτική εκτίμηση της επικινδυνότητας και της έκθεσης χρησιμοποιήθηκε μία αξιολόγηση πολλαπλών κριτηρίων (Eastman 1997) για την ανάπτυξη της χωρικής τους ανάλυσης. Δηλαδή, στην πρώτη φάση εκτίμησης της επικινδυνότητας, καθορίστηκαν οι πιθανοί κίνδυνοι, οι οποίοι μπορούν να δημιουργήσουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία των παιδιών. Στη δεύτερη φάση εκτίμησης της έκθεσης, υπολογίστηκε η ένταση, η συχνότητα και ο χρόνος της έκθεσης στους εν λόγω παράγοντες.

Σ' αυτή την προσέγγιση χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικοί τύποι κριτηρίων (1) *παράγοντες* και (2) *περιορισμοί*. Οι *παράγοντες* είναι γενικά κριτήρια που είναι συνεχόμενα στη φύση και δείχνουν τη σχετική καταλληλότητα ορισμένων περιοχών. Σε αντίθεση, οι *περιορισμοί* είναι πάντοτε αλγεβρικοί κατά Boole (δηλ. ακολουθούν τη δίτιμη λογική – υπάρχουν, δεν υπάρχουν) και βοηθούν στον αποκλεισμό μίας συγκεκριμένης περιοχής προς εξέταση.

Οι οκτώ παράγοντες (συνεχόμενα κριτήρια), που χρησιμοποιήθηκαν στην εκτίμηση της επικινδυνότητας και της έκθεσης στο Λαύριο, είναι:

1. συγκέντρωση του ολικού μολύβδου (Pb) στο εδαφικό κάλυμμα,
2. βαθμός κονιορτοποίησης των μεταλλουργικών απορριμμάτων και του ρυπασμένου εδάφους,
3. γειτνίαση με μεταλλουργικά απορρίματα,
4. γειτνίαση με υπάρχουσες ή παλαιότερες καμινάδες των μεταλλουργικών συγκροτημάτων,
5. γειτνίαση με δρόμους (με έμφαση στους χωματόδρομους),
6. γειτνίαση με ρέματα,
7. γειτνίαση με βιομηχανίες μολύβδου και
8. ο χρόνος ή ο δείκτης έκθεσης των παιδιών (σημειώνεται ότι αυτός ο παράγοντας χρησιμοποιήθηκε μόνο για την εκτίμηση της έκθεσης).

Οι δύο περιορισμοί είναι:

1. περιοχές με βιομηχανίες σχετικές με μέταλλα και
2. περιοχές με Τεταρτογενείς αποθέσεις.

Η εκτίμηση της επικινδυνότητας και της έκθεσης υπολογίστηκαν με κάρνα-βο 50 x 50 μέτρων, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για τη γεωστατιστική προβολή (kriging) των ολικών συγκεντρώσεων μολύβδου σε δείγματα επιφανειακού καλύμματος/εδάφους (Δημητριάδης κ.ά. 1998, Tristán et al. 1998, 1999, 2000). Τα άλλα κριτήρια ελήφθησαν από τους διαθέσιμους ψηφιακούς χάρτες, όπως της λιθολογίας, των μεταλλουργικών απορριμμάτων, της χρήσης γης, του σχεδίου πόλεως και των καμινάδων των συγκροτημάτων μεταλλουργίας. Ο βαθμός κονιορτοποίησης των διαφόρων κατηγοριών των μεταλλουργικών απορριμμάτων και του ρυπασμένου εδάφους εκτιμήθηκε βάσει των υπαρχουσών πληροφοριών. Καθορίστηκαν βαρύτητες για τα προαναφερθέντα εννέα ή δέκα κριτήρια για την εκτίμηση της επικινδυνότητας και της έκθεσης αντίστοιχα. Αυτό το σύνθετο σύνολο πληροφοριών επεξεργάστηκε με το Idrisi[®] GIS, χρησιμοποιώντας τους αλγόριθμους των Παραγόντων σε Βαρυ-Γραμμικό Συνδυασμό (Eastman 1997). Στα σχολεία, στις αγροτικές και οικιστικές περιοχές, καθώς και στους χώρους άθλησης και αναψυχής, δόθηκαν τιμές «επικινδυνότητας» και «έκθεσης» σε μία αυθαίρετη χρωματική κλίμακα που κυμαίνεται από 0 έως 255. Όσον αφορά τους σκοπούς του περιβαλλοντικού σχεδίου διαχείρισης (Νικολαΐδης κ.ά. 1999), έγινε αναγωγή της αρχικής αυθαίρετης χρωματικής κλίμακας (από 0 μέχρι 255) του δείκτη επικινδυνότητας και έκθεσης σε αναλογία επί τοις εκατό (από 0 μέχρι 100).

Για την εκτίμηση της έκθεσης θεωρείται δεδομένο ότι ένα παιδί αφιερώνει μόνο ένα μέρος του χρόνου του στο σχολείο. Έτσι δημιουργήθηκαν ακόμη τρεις κατηγορίες, που βασίζονται στον επιμερισμό του χρόνου του παιδιού ανάλογα με το χώρο διαμονής του, δηλ. οικίες με κήπους, αγροτική περιοχή και χώροι αναψυχής. Στην υπόλοιπη αστική περιοχή του Λαυρίου θεωρείται ότι η έκθεση των παιδιών στους περιβαλλοντικούς ρύπους είναι ελάχιστη. Ο χάρτης χρήσης γης ήταν καθοριστικός για την εκτίμηση του «χρόνου έκθεσης» των παιδιών.

10.1. Διαβάθμιση της επικινδυνότητας και της έκθεσης

Η διάμεση τιμή του δείκτη επικινδυνότητας και έκθεσης, λόγω της ανθεκτικότητας της σε ακραίες τιμές (πολύ χαμηλές ή πολύ υψηλές), χρησιμοποιήθηκε ως ο πλέον αντικειμενικός τρόπος καθορισμού της σειράς επικινδυνότητας και έκθεσης (α) των μεταλλουργικών απορριμμάτων (Πίν. 8) και (β) των χρήσεων γης (Πίν. 9). Είναι εμφανές ότι ο παράγοντας του χρόνου έκθεσης, που συμπεριλαμβάνεται στην εκτίμηση του δείκτη έκθεσης των παιδιών, αλλάζει τη σειρά του δείκτη επικινδυνότητας. Έτσι, ο δείκτης έκθεσης χρησιμοποιήθηκε για τον καθορισμό της σειράς κινδύνου (μεγαλύτερος έως μικρότερος) των μεταλλουργικών απορριμμάτων και του ρυπασμένου εδάφους (Πίν. 8), καθώς και των χρήσεων γης (Πίν. 9). Σ' αυτούς τους πίνακες παρατίθεται, για συγκριτικούς λόγους, και η εκτιμηθείσα διάμεση τιμή του ολικού μολύβδου.

Πίνακας 8. Διάμεσες τιμές του δείκτη επικινδυνότητας και έκθεσης για τα μεταλλουργικά απορρίμματα και το ρυπασμένο έδαφος, καθώς και των εκτιμηθεισών τιμών *kriging* του ολικού μολύβδου (Pb) (από *Tristán et al. 1999*, Πίνακας 11.17, σελ. 347).

Κατηγορία μεταλλουργικού απορρίμματος και ρυπασμένο έδαφος		Διάμεση τιμή Δείκτη επικινδυνότητας		Διάμεση τιμή Δείκτη έκθεση		Εκτιμηθείσα διάμεση τιμή του ολικού μολύβδου mg/kg
		0-255	(%)	0-255	(%)	
(1)	Απορρίμματα επίπλευσης	206.04	80.8	161.93	63.5	15038
(2)	Πυριτούχα απορρίμματα	220.07	86.3	161.42	63.3	14124
(3)	Απορρίμματα εμπλουτισμού με διάσπαρτο πυρίτη	185.90	72.9	135.92	53.3	8608
(4)	Διάσπαρτες σκουριές με αδρόκοκκα απορρίμματα επίπλευσης	169.07	66.3	123.93	48.6	10571
(5)	Άμμοι επίπλευσης και αδρόκοκκα απορρίμματα	169.58	66.5	123.93	48.6	12089
(6)	Σκουριές με απορρίμματα υλικών αμμοβολής	154.02	60.4	112.97	44.3	9201
(7)	Απορρίμματα υλικών αμμοβολής	149.94	58.8	111.95	43.9	13449
(8)	Απορρίμματα επίπλευσης με διάσπαρτες σκουριές	142.04	55.7	104.55	41.0	8447
(9)	Διάσπαρτες σκουριές	134.13	52.6	101.49	39.8	4497
(2)	Σκουριές	134.13	52.6	98.94	38.8	7224
(0)	Ρυπασμένο έδαφος	106.08	41.6	85.94	33.7	6083

Πίνακας 9. Διάμεσες τιμές του δείκτη επικινδυνότητας και έκθεσης για τις διάφορες κατηγορίες χρήσης γης, καθώς και των εκτιμηθεισών τιμών kriging του ολικού μολύβδου (από Tristán et al. 1999, Πίν. 11.18, σελ. 348). Σημειώνεται ότι οι τιμές των δύο δεικτών δίνονται με την αυθαίρετη χρωματική κλίμακα (0-255) και της εκατοστιαίας αναλογίας τους.

Κατηγορίες χρήσης γης		Διάμεση τιμή Δείκτη επικινδυνότητας		Διάμεση τιμή Δείκτη έκθεσης		Εκτιμηθείσα διάμεση τιμή του ολικού μολύβδου
		0-255	(%)	0-255	(%)	mg/kg
(1)	Γήπεδο ποδοσφαίρου και χώρος άθλησης	186.99	73.33	173.50	68.04	8980.20
(2)	Αμπελώνας	139.00	54.51	171.00	67.06	10173.50
(3)	Χωράφι με σιτάρι	106.00	41.57	148.00	58.04	7051.30
(4)	Ελαιώνας	106.00	41.57	145.99	57.25	6313.10
(5)	Σχολείο	173.50	68.04	144.99	56.86	10252.15
(6)	Παιδική χαρά	167.51	65.69	141.50	55.49	11462.00
(7)	Κατοικία με περιβόλι/κήπο	106.00	41.57	135.99	53.33	4394.70
(8)	Χωράφι με κηπευτικά	89.51	35.10	135.99	53.33	3031.00
(9)	Κατοικία, κατάσταση & εκκλησία	107.00	41.96	135.00	52.94	5115.20
(10)	Πάρκο	126.00	49.41	130.99	51.37	6736.70
(11)	Εργοστάσιο κατεργασίας μεταλλεύματος και αποθήκη	172.99	67.84	129.00	50.59	36012.20
(12)	Αποθήκη οικοδομικών υλικών	168.99	66.27	124.01	48.63	15255.30
(13)	Εργοστάσιο υγρών μπαταριών μολύβδου	161.01	63.14	120.00	47.06	14586.85
(14)	Πρατήριο βενζίνης, γκαράζ & συνεργείο αυτοκινήτων	159.50	62.55	118.50	46.47	20565.65
(15)	Κλωστοϋφαντουργία	136.50	53.53	102.00	40.00	7849.05
(16)	Κοιμητήριο	126.99	49.80	94.99	37.25	13447.80
(17)	Καπναγωγός	123.01	48.24	92.00	36.08	14694.70
(18)	Σιδηροκατασκευές & εμπορία σιδήρου	123.01	48.24	92.00	36.08	2195.30
(19)	Λοιπές βιοτεχνίες & αποθήκες υλικών	117.99	46.27	88.00	34.51	2675.65
(20)	Λιμενικές εγκαταστάσεις	119.01	46.67	88.00	34.51	7951.40
(21)	Ανοικτός χώρος με δένδρα	116.51	45.69	87.49	34.31	6804.55
(22)	Ανοικτός χώρος	114.01	44.71	86.01	33.73	7092.30
(23)	Εργοστάσιο (πολεμοφόδια, όπλα, σπύρτα)	111.00	43.53	83.00	32.55	7980.70

(24)	Αρχαιολογικός χώρος	101.01	39.61	75.99	29.80	5930.90
(25)	Δάσος με πεύκα	98.00	38.43	73.01	28.63	5692.60
(26)	Λατομείο μαρμάρου	93.99	36.86	70.99	27.84	8400.45
(27)	Μονάδα αμμοβολής	<i>Δεν υπάρχουν τιμές λόγω της μικρής έκτασής τους</i>				
(28)	Αλουμινοκατασκευές	<i>Δεν υπάρχουν τιμές λόγω της μικρής έκτασής τους</i>				
(29)	Παλαιά μεταλλευτική εργασία	<i>Δεν υπάρχουν τιμές λόγω της μικρής έκτασής τους</i>				
(30)	Δημοτική χωματερή	<i>Δεν υπάρχουν τιμές λόγω της μικρής έκτασής τους</i>				

Τα απορρίμματα εμπλουτισμού (σαβούρα) είναι τα πλέον επικίνδυνα λόγω των φυσικών χαρακτηριστικών τους και των υψηλών συγκεντρώσεων μολύβδου που περιέχουν. Αν και το ρυπασμένο έδαφος έχει το χαμηλότερο δείκτη επικινδυνότητας, λόγω του ότι σ' αυτή την περίπτωση είναι δευτερεύουσα πηγή ρύπανσης, όμως θεωρείται υψηλής επικινδυνότητας, δεδομένου ότι η έκτασή του είναι μεγάλη (Σχ. 4).

Αν και η κατηγορία χρήσης γης «*Εργοστάσιο κατεργασίας μεταλλεύματος και αποθήκη*» έχει την υψηλότερη εκτιμηθείσα διάμεση τιμή του ολικού μολύβδου (Πίν. 9), κατατάσσεται στην ενδέκατη κατά σειρά θέση του δείκτη έκθεσης, διότι μόνο έμμεσα επηρεάζει την έκθεση των παιδιών. Η κατηγορία «*Γήπεδο ποδοσφαίρου και χώρος άθλησης*» έχει τις υψηλότερες τιμές επικινδυνότητας και έκθεσης, λόγω του ότι αυτοί οι χώροι βρίσκονται σε περιοχές υψηλού κινδύνου, οι οποίες είναι εκτεθειμένες στους περιβαλλοντικούς ρύπους. Στις δέκα πλέον εκτεθειμένες περιοχές συμπεριλαμβάνονται αγροτικές και οικιστικές περιοχές. Όπως αναμενόταν, σπίτια με κήπο έχουν υψηλότερο δείκτη έκθεσης απ' αυτά που δεν έχουν.

10.2. Χωρική κατανομή του δείκτη επικινδυνότητας και έκθεσης

Η χωρική κατανομή του δείκτη επικινδυνότητας και έκθεσης στους περιβαλλοντικούς ρύπους στην αστική περιοχή του Λαυρίου απεικονίζονται αντίστοιχα στα Σχήματα 12 και 13. Αυτοί οι δύο χάρτες δείχνουν ουσιαστικά τη διαβάθμιση του δείκτη επικινδυνότητας και έκθεσης, δεδομένου ότι ολόκληρη η αστική περιοχή του Λαυρίου, όπως έχει ήδη αναφερθεί, είναι έντονα ρυπασμένη. Είναι εμφανές ότι οι πλέον επικίνδυνες περιοχές είναι αυτές που καλύπτονται από τα απορρίμματα επίπλευσης (σαβούρα). Δηλαδή, η περιοχή που αρχίζει από την Αλάκο προς Νόρια, Πράσινη Αλεπού και Σαντοριναϊκά (Σχ. 4, 12 & 13).

Οι διαφορές που υπάρχουν μεταξύ των δύο χαρτών, εκτίμησης επικινδυνότητας και έκθεσης, οφείλονται στην προσθήκη του χρόνου έκθεσης. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι εμφανές σε περιοχές όπου υπάρχουν οικιστικές διαφορές, όπως π.χ.,

• Στην περιοχή από Νυχτοχώρι προς Κομομπίλ και Κυπριανό, όπου βρίσκονται τα απορρίμματα πυρίτη και πυριτούχων άμμων (Σχ. 4) και είναι ακατοίκητη, ο δείκτης επικινδυνότητας είναι μεγαλύτερος (164 έως >255, Σχ. 13) σε σχέση με το δείκτη έκθεσης (91-219, Σχ. 14). Παρόμοια είναι η περίπτωση στην περιοχή Αιγαίον και Φουγάρα.

• Στην οικιστική περιοχή Νεάπολης και Αγίου Ανδρέα ο δείκτης επικινδυνότητας (91-128) είναι χαμηλότερος από το δείκτη έκθεσης (73-164).

• Στην οικιστική και αγροτική περιοχή του Θορικού ο δείκτης επικινδυνότητας (55-128) είναι επίσης χαμηλότερος από το δείκτη έκθεσης (55-164).

Λόγω αυτών των ουσιαστικών διαφορών μεταξύ της εκτίμησης της επικινδυνότητας και της έκθεσης, η σειρά προτεραιότητας για την αποκατάσταση της ρυπασμένης γης στο Λαύριο, όπως έχει προαναφερθεί, πρέπει να λάβει υπ' όψη την έκθεση των παιδιών στους περιβαλλοντικούς ρύπους (Πίν. 9).

II. Συζήτηση

«Η μετάβαση στην αειφόρο ανάπτυξη απαιτεί μεταξύ των άλλων μία ικανοποιητική παροχή περιβαλλοντικής πληροφόρησης. Αναλυτικές εκθέσεις για το περιβάλλον μπορούν να βοηθήσουν στην εκτίμηση εναλλακτικών στρατηγικών, να βελτιώσουν την πολιτική αξιοπιστία και να ικανοποιήσουν το δικαίωμα των πολιτών να γνωρίζουν» (Stanners and Bourdeau, 1995, σελ. 2). Οι μελέτες που έχει εκτελέσει το Ι.Γ.Μ.Ε. στη Λαυρεωτική χερσόνησο και στην αστική περιοχή του Λαυρίου ικανοποιούν την παραπάνω απαίτηση, καθώς επίσης και το πέμπτο συμπέρασμα που προέκυψε κατά τη συνάντηση των Ευρωπαϊκών Υπουργών Περιβάλλοντος στο Κάστρο Dobříš (Ιούνιο 1991). Όμως, για να εφαρμοστεί στην κλίμακα μίας πόλης, από τη Δημοτική Αρχή, τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα της μελέτης πρέπει:

• να χρησιμοποιηθούν ως «..... βάση για την αποτελεσματική εφαρμογή της περιβαλλοντικής πολιτικής και στρατηγικής» και

• να λειτουργήσουν «... ως ένα χρήσιμο εργαλείο για την πληροφόρηση του κοινού και την ευαισθητοποίησή του σε περιβαλλοντικά προβλήματα».

Η νομική βάση για την περιβαλλοντική πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης περιγράφεται στα άρθρα 100Α και 130Ρ έως 130Τ της Συνθήκης. Αυτή η συνθήκη αφήνει ένα πεδίο ελευθερίας στα κράτη-μέλη για την καθιέρωση ακόμη αυστηρότερων μέτρων από αυτά που συμφωνούνται σε επίπεδο Ένωσης (Ε.Ο.Π. 2000). Η Συνθήκη ορίζει επίσης, ότι η πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης πρέπει να συμβάλλει στην επιδίωξη των εξής στόχων:

1. τη διατήρηση, προστασία και βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος,

2. την προστασία της υγείας του ανθρώπου,
3. τη συνετή και ορθολογική χρησιμοποίηση των φυσικών πόρων και
4. την προώθηση, σε διεθνές επίπεδο, μέτρων για την αντιμετώπιση των περιφερειακών ή παγκόσμιων περιβαλλοντικών προβλημάτων.

Ουσιαστικά ο πρώτος και δεύτερος στόχος απευθύνονται άμεσα στη βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος και των συνθηκών διαβίωσης του πληθυσμού της Λαυρεωτικής χερσονήσου και της πόλης του Λαυρίου.

Η Συνθήκη απαιτεί επίσης, η πολιτική της Ένωσης να έχει ως στόχο το υψηλό επίπεδο προστασίας, καθώς και την αποκατάσταση των περιβαλλοντικών ζημιών στην πηγή και να βασίζεται στην προληπτική δράση σύμφωνα με την αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει». Στην περίπτωση όμως του Λαυρίου και της Λαυρεωτικής χερσονήσου «ο ρυπαίνων» δεν υπάρχει. Έτσι, το κόστος της αποκατάστασης ή μεταφοράς του πληθυσμού σε καλύτερο περιβάλλον πρέπει να το επιβαρυνθεί το Ελληνικό Κράτος και η Ευρωπαϊκή Ένωση, δεδομένου ότι το ασήμι της Λαυρεωτικής βοήθησε στην ανάπτυξη του Ευρωπαϊκού πολιτισμού.

11.1. Η περίπτωση του οικισμού Λάμστεν, Γκλόρν Χόουλ, Ήστην, Πόρτσμουθ

Η παρακάτω περιγραφή της περίπτωσης του οικισμού Λάμστεν θεωρήθηκε σκόπιμο να συμπεριληφθεί σ' αυτή τη συζήτηση, δεδομένου ότι ο Δήμος του Πόρτσμουθ από τη στιγμή που εντοπίστηκε το πρόβλημα ρύπανσης, ενήργησε αμέσως για τη διασφάλιση της υγείας των κατοίκων και της ποιότητας ζωής τους (Walton and Higgins 1998). Ουσιαστικά είναι ένα παράδειγμα ευαισθησίας της Δημοτικής αρχής του Πόρτσμουθ, η οποία δείχνει το σεβασμό της προς τον άνθρωπο, της εφαρμογής των περιβαλλοντικών νομοθεσιών, αλλά και της πολιτικής βούλησης.

Το Πόρτσμουθ είναι παραλιακή πόλη της Αγγλίας στη πολιτεία Χάμσερ και βρίσκεται 110 km νοτιοδυτικά του Λονδίνου και 23 km νοτιοανατολικά του Σαουθάμπτον. Η βάση του Βασιλικού Ναύσταθμου καταλαμβάνει το νοτιοδυτικό τμήμα της Νήσου Πόρτση. Η Γκλόρν Χόουλ είναι προέκταση της λίμνης Ήστην στη νοτιοανατολική άκρη της Νήσου Πόρτση, την οποία το Βασιλικό Ναυτικό απέκοψε και χρησιμοποιούσε ως χώρο απόρριψης των απορριμμάτων του από το 1914 έως το 1955. Τα απορρίμματα συμπεριλάμβαναν αμίαντο από τη θερμομονωτική επένδυση λεβήτων και εξοπλισμών, μόλυβδο από μπαταρίες υποβρυχίων και άλλων αρμάτων, υδράργυρο από μηχανισμούς διακοπής, ψευδάργυρο και κάδμιο από επιμεταλλωμένα μεταλλικά αντικείμενα και πολλά άλλα στερεά υλικά. Σημειώνεται ότι δεν υπάρχει κατάλογος των απορριμμάτων που εναποτέθηκαν στην περιοχή.

Τα περίπου 20.000 m² αυτής της θέσης καλύφθηκαν από αρκετά εκατοστά εδάφους και παραχωρήθηκαν για την κατασκευή σπιτιών των οικογενειών των ναυτικών, τα οποία κτίστηκαν από το 1955 μέχρι το 1965. Μερικά από αυτά τα

σπίτια χαρακτηρίστηκαν αργότερα ως πλεονάζοντα για τις απαιτήσεις του Βασιλικού Ναυτικού και εκμισθώθηκαν στα μέσα της δεκαετίας του 1980 στο Δήμο του Πόρτσμουθ.

Στα τέλη της δεκαετίας του 1980, κατά τη διάρκεια εκσκαφών σε κοντινή περιοχή για την κατασκευή μαρίνας, εντοπίστηκε σημαντική ρύπανση, η οποία έθεσε σε συναγερμό το Υπουργείο Άμυνας και το Δήμο του Πόρτσμουθ για τα πιθανά περιβαλλοντικά προβλήματα που υπάρχουν στο έδαφος κάτω από τον οικισμό. Ακολούθησε μία σειρά επιτόπιων ερευνών, οι οποίες εντόπισαν μεγάλες ποσότητες αμιάντου και ενός αριθμού τοξικών βαρέων μετάλλων πλησίον της επιφάνειας, κάτω από το χορτοτάπητα. Σ' αυτή τη φάση το Υπουργείο Άμυνας δήλωσε ότι οι κίνδυνοι για τη δημόσια υγεία ήταν ελάχιστοι.

Τον Αύγουστο του 1991 μετά την υποβολή στο Δήμο του Πόρτσμουθ αποτελεσμάτων έρευνας από ενδεχόμενο αγοραστή, ο Δήμος αποφάσισε ότι ο χώρος ήταν ακατάλληλος για τη διαμονή οικογενειών και αμέσως πρότεινε την επαναστέγαση των οικογενειών σε άλλο χώρο. Τυπικά αποτελέσματα του εδάφους του οικισμού Λάμστεν παρουσιάζονται στον Πίνακα 10, όπου δίνονται και τα αντίστοιχα από την αστική περιοχή του Λαυρίου και της Λαυρεωτικής χερσονήσου. Αξίζει να σημειωθεί ότι, εκτός του υδραργύρου, οι συγκεντρώσεις των υπόλοιπων τοξικών στοιχείων στην αστική περιοχή του Λαυρίου και στη Λαυρεωτική χερσόνησο είναι πολύ πιο υψηλές από τις αντίστοιχες στον οικισμό Λάμστεν.

Πίνακας 10. Αποτελέσματα της ρύπανσης του επιφανειακού εδάφους του οικισμού Λάμστεν στο Πόρτσμουθ Αγγλίας, της Λαυρεωτικής χερσονήσου και της αστικής περιοχής του Λαυρίου (τιμές σε mg/kg) (αποτελέσματα του Οικισμού Λάμστεν από Walton and Higgins 1998, Πίνακας 1, σελ. 32).

Στοιχείο	Οικισμός Λάμστεν, Πόρτσμουθ		Αστική περιοχή Λαυρίου (n=224)		Λαυρεωτική χερσόνησος (n=697)		ICRCL (1987) τιμές για κήπους
	Διακύμανση	Μέση τιμή	Διακύμανση	Μέση τιμή	Διακύμανση	Μέση τιμή	
Αρσενικό	<3-700	13	50-24000	2494	<6-7066	222	10
Κάδμιο	<1-17	1	4-925	68	<3-233	12	3
Χαλκός	<6-10000	230	43-4445	357	7-1397	368	130
Μόλυβδος	<20-96000	1400	810-151579	11578	24-70032	2883	500
Υδράργυρος	<1-590	7	<3->0.8	0,21	<3->0.8	0,1	3
Ψευδάργυρος	<11-11000	440	591-76310	10872	28-51608	1958	50

Στη συνέχεια έγινε ποσοτική εκτίμηση του κινδύνου χρησιμοποιώντας το μοντέλο της Υπηρεσίας Προστασίας Περιβάλλοντος των Η.Π.Α. (Anon 1989), το οποίο επιβεβαίωσε ότι η επιφανειακή ρύπανση από μόλυβδο και αμίαντο συνιστούν σημαντικό κίνδυνο για τη δημόσια υγεία. Η λύση αποκατάστασης που εφαρμόστηκε ήταν το κοντό κόψιμο του χλωροτάπητα, η τοποθέτηση πλέγματος πολυπροπυλενίου 25-mm, η κάλυψη με καθαρό έδαφος πάχους 50-75 mm και στη συνέχεια η τοποθέτηση νέου χλωροτάπητα. Ο στόχος του πλέγματος ήταν να ισχυροποιήσει το δέσιμο των ριζών του γρασιδιού, ούτως ώστε να καταστήσει αδύνατο το ξερίζωμά του από τα παιδιά και την πρόσβασή τους στο υποκείμενο ρυπασμένο έδαφος. Αυτή η μεθοδολογία κρίθηκε η πλέον αποτελεσματική για τον εγκιβωτισμό και τη διατήρηση των ρύπων στο υπέδαφος. Σημειώνεται ότι στην προκειμένη περίπτωση δεν υπάρχει σημαντικός υπόγειος υδροφορέας για χρήση, έτσι η απομόνωση του ρυπασμένου εδάφους ήταν σχετικά μία απλή, αποτελεσματική και φθηνή λύση για την ελαχιστοποίηση της κύριας διόδου έκθεσης του πληθυσμού στους ρύπους.

12. Συμπεράσματα και προτάσεις

Παρακάτω συνοψίζονται τα πιο σημαντικά πρακτικά και γεωπεριβαλλοντικά επιστημονικά συμπεράσματα και προτάσεις αυτής της πολυστοιχειακής περιβαλλοντικής μελέτης, που έγινε στη Λαυρεωτική χερσόνησο και στην αστική περιοχή του Λαυρίου. Για πιο λεπτομερή συμπεράσματα και προτάσεις ο αναγνώστης πρέπει να ανατρέξει στις δύο εξάτομες μελέτες του έργου ΣΠΑ «Περιβαλλοντική Γεωχημική Μελέτη Λαυρεωτικής Χερσονήσου Αττικής» (Σταυράκη κ.ά. 1994, Δημητριάδης κ.ά. 1994α, β, γ, Ταρενίδης και Περδικάτσης 1994, Τσόμπος κ.ά. 1994) και του έργου LIFE «Αποκατάσταση Εδάφους στο Δήμο Λαυρίου» (Δημητριάδης 1999α, β, γ, δ, ε, Ε.Μ.Π. 1999).

Η εκατοστιαία αναλογία της έκτασης του εδάφους της Λαυρεωτικής χερσονήσου (170 km²) με δυνητικά επικίνδυνες συγκεντρώσεις των τοξικών στοιχείων για την ανθρώπινη υγεία είναι:

- Από 52-65% για αρσενικό (As>55 mg/kg), μόλυβδο (Pb>500 mg/kg), κάδμιο (Cd>4 mg/kg) και ψευδάργυρο (Zn>300 mg/kg),
- 26% για αντιμόνιο (Sb>27 mg/kg),
- 12-14% για χαλκό (Cu>150 mg/kg) και χρώμιο (Cr>600 mg/kg) και
- 3% νικέλιο (Ni>150 mg/kg).

Ενώ, η εκατοστιαία αναλογία της έκτασης του εδάφους της Λαυρεωτικής χερσονήσου με συγκεντρώσεις των χημικών στοιχείων που υπερβαίνουν τα προτεινόμενα φυτοτοξικά επίπεδα είναι:

- από 85 έως 95% για μόλυβδο (Pb>200 mg/kg) και χρώμιο (Cr>100 mg/kg),
- από 52 έως 71% για αρσενικό (As>50 mg/kg), νικέλιο (Ni>100 mg/kg) και ψευδάργυρο (Zn>400 mg/kg),
- 43% για αντιμόνιο (Sb>10 mg/kg),
- 29% για κάδμιο (Cd>8 mg/kg) και
- από 15 έως 17% για χαλκό (Cu>125 mg/kg) και μαγγάνιο (Mn>3000 mg/kg).

Η εκατοστιαία αναλογία της έκτασης του εδάφους της αστικής περιοχής του Λαυρίου (7,235 km²) με δυνητικά επικίνδυνες συγκεντρώσεις των τοξικών στοιχείων για την ανθρώπινη υγεία είναι:

- 100% για αρσενικό (As>55 mg/kg), μόλυβδο (Pb>500 mg/kg), κάδμιο (Cd>4 mg/kg) και ψευδάργυρο (Zn>300 mg/kg),
- από 90 έως 99% για άργυρο (Ag>2 mg/kg), βανάδιο (V>50 mg/kg) και αντιμόνιο (Sb>27 mg/kg),
- από 45 έως 68,8% για χαλκό (Cu>150 mg/kg) και μολυβδαίνιο (Mo>5 mg/kg) και
- από 13,8 έως 33% για βάριο (Ba>220 mg/kg), νικέλιο (Ni>150 mg/kg) και χρώμιο (Cr>600 mg/kg).

Ενώ, η εκατοστιαία αναλογία της έκτασης του εδάφους της αστικής περιοχής του Λαυρίου με συγκεντρώσεις των χημικών στοιχείων που υπερβαίνουν τα προτεινόμενα φυτοτοξικά επίπεδα είναι:

- 100% για αρσενικό (As>50 mg/kg), μόλυβδο (Pb>200 mg/kg) και ψευδάργυρο (Zn>400 mg/kg),
- από 90 έως 99% για άργυρο (Ag>2 mg/kg), κάδμιο (Cd>8 mg/kg) και αντιμόνιο (Sb>10 mg/kg),
- από 75 έως 90% για βάριο (Ba>600 mg/kg), χαλκό (Cu>125 mg/kg), χρώμιο (Cr>100 mg/kg) και νικέλιο (Ni>100 mg/kg)
- από 19 έως 31% για μαγγάνιο (Mn>3000 mg/kg) και βανάδιο (V>100 mg/kg) και
- 8% για μολυβδαίνιο (Mo>10 mg/kg).

Είναι εμφανές ότι το έδαφος της Λαυρεωτικής χερσονήσου και ιδιαίτερα της αστικής περιοχής του Λαυρίου είναι έντονα επιβαρυνμένο από τοξικά στοιχεία. Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί ότι το έδαφος είναι ένα πολύ σημαντικό τμήμα της βιόσφαιρας, γιατί δεν είναι μόνο ένας αποδέκτης ρυπαντικών φορτίων, αλλά ενεργεί και ως φυσικός ρυθμιστής, που ελέγχει τη μεταφορά των χημικών στοιχείων και ενώσεων στην ατμόσφαιρα, υδρόσφαιρα και στους ζωντανούς οργανισμούς. Τα ρυπαντικά φορτία παραμένουν στο έδαφος για πολύ περισσότερο χρόνο σε σύγκριση με άλλα συστατικά της βιόσφαιρας και η ρύπανση του εδάφους, ιδιαίτερα από βαρέα μέταλλα, θεωρείται ότι είναι σχεδόν μόνιμη, βάσει των υπολογισμών της ημιζωής των βαρέων μετάλλων στα εδάφη. Συνέπεια αυτών είναι η υποβάθμιση των βιολογικών και χημικών ιδιοτήτων του εδάφους.

Η ημιζωή των βαρέων μετάλλων στα εδάφη, όπως έχει υπολογιστεί με λυσιμετρικές συνθήκες, ποικίλλει σημαντικά, π.χ., για το ψευδάργυρο κυμαίνεται από 70 έως 510 χρόνια, για το κάδμιο από 13 έως 1100 χρόνια, για το χαλκό από 310 έως 1500 χρόνια, για το αρσενικό 2000 χρόνια και για το μόλυβδο από 740 έως 5900 χρόνια (Kabata-Pendias and Pendias 1984, Ferguson 1990). Έτσι, η ρύπανση των εδαφών της Λαυρεωτικής χερσονήσου και της αστικής περιοχής του Λαυρίου μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι σχεδόν μόνιμη.

Τα παρακάτω πρακτικά συμπεράσματα και προτάσεις απευθύνονται στη Δημοτική Αρχή του Δήμου Λαυρεωτικής, καθώς και των άλλων Δήμων και Κοινοτήτων της Λαυρεωτικής χερσονήσου (Κερατέας, Αγίου Κωνσταντίνου, Αναβύσσου και Παλαιάς Φώκαιας):

1. Οι εντατικές μεταλλουργικές δραστηριότητες, οι εκπομπές και οι σωροί των μεταλλουργικών απορριμμάτων ευθύνονται για τη ρύπανση του επιφανειακού και υπο-επιφανειακού εδαφικού καλύμματος στην αστική περιοχή του Λαυρίου.

2. Η ανακατανομή των μεταλλουργικών απορριμμάτων μέσω αιολικών, χειμάρριων και ανθρωπογενών διεργασιών ευθύνονται για τη ρύπανση ακόμη και των πιο απομακρυσμένων σημείων της αστικής περιοχής του Λαυρίου.

3. Το εσωτερικό περιβάλλον των σπιτιών της αστικής περιοχής του Λαυρίου είναι έντονα ρυπασμένο, όπως δείχνουν οι υψηλές συγκεντρώσεις των τοξικών στοιχείων στη σκόνη σπιτιών.

4. Οι επιδημιολογικές έρευνες στην πόλη του Λαυρίου έδειξαν ότι τα παιδιά και οι ενήλικες έχουν υψηλές συγκεντρώσεις μολύβδου στο αίμα και αρσενικού στα ούρα, οι οποίες συσχετίζονται με μία σειρά αρνητικών επιπτώσεων στην υγεία.

5. Ο τεράστιος όγκος των μεταλλουργικών απορριμμάτων και το ρυπασμένο έδαφος ευθύνονται για τις υψηλές συγκεντρώσεις μολύβδου στο αίμα και αρσενικού στα ούρα του πληθυσμού του Λαυρίου.

6. Η έκθεση του πληθυσμού στους περιβαλλοντικούς ρύπους πρέπει να μειωθεί σε αποδεκτά όρια. Κατά συνέπεια, η *αποκατάσταση* της Λαυρεωτικής χερσονήσου και ιδιαίτερα της ευρύτερης αστικής περιοχής του Λαυρίου *θεωρείται επείγουσα δράση*, διαφορετικά πρέπει να εξεταστούν σοβαρά εναλλακτικές λύσεις, όπως η μετεγκατάσταση του πληθυσμού σε καλύτερο και πιο υγιές περιβάλλον.

7. Ο τοπικός πληθυσμός πρέπει να ενημερωθεί για τις αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία του, οι οποίες οφείλονται στην πολύ μεγάλη περιβαλλοντική ρύπανση, καθώς και να του γίνουν υποδείξεις για την προσωρινή προστασία του (Πίν. 11).

8. Όλες οι αγροτικές δραστηριότητες στη Λαυρεωτική χερσονήσο και ιδιαίτερα στην αστική περιοχή του Λαυρίου πρέπει να σταματήσουν, διότι όλα τα εδώδιμα φυτά έχουν υψηλές συγκεντρώσεις τοξικών στοιχείων.

9. Ο Δήμος Λαυρεωτικής πρέπει να διασφαλίσει τη μη χρησιμοποίηση των απορριμμάτων εμπλουτισμού (σαβούρα), ως άμμο για οικοδομική χρήση, καθώς

και τη *μη* μεταφορά τους εκτός της πόλης του Λαυρίου, λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς τους σε τοξικά στοιχεία.

10. Ο Δήμος Λαυρεωτικής πρέπει να διασφαλίσει τη *μη* χρησιμοποίηση των μη-σιδηρούχων σκουριών (πλινθώματα και συσφαιρώματα) και των απορριμμάτων αμμοβολής στην κατασκευαστική βιομηχανία, καθώς και τη *μη* μεταφορά τους εκτός του Λαυρίου, λόγω των υψηλών συγκεντρώσεων τοξικών στοιχείων που περιέχουν. Επισημαίνεται ότι, παρ' όλο που οι βραχομηχανικές ιδιότητες των μη-σιδηρούχων σκουριών θεωρούνται ικανοποιητικές για κατασκευαστικούς σκοπούς, το υλικό αυτό είναι χημικά ενεργό, δεδομένου ότι αποδεσμεύει τοξικά στοιχεία στο περιβάλλον και μπορεί να δημιουργήσει σοβαρή φθορά στο μπετόν και σε άλλες κατασκευές (Δημητριάδης και Σταυράκη 1995β, Demetriades et al. 1997).

11. Ο Δήμος Λαυρεωτικής και οι άλλοι Δήμοι και Κοινότητες της Λαυρεωτικής χερσονήσου πρέπει να ελέγχουν τη γεωχημική ποιότητα του υπόγειου νερού και, εφ' όσον αυτό χρησιμοποιείται για αγροτικούς σκοπούς, να διασφαλίζεται ότι οι χημικές παράμετροι αυτού δεν υπερβαίνουν τα συνιστώμενα μέγιστα αποδεκτά όρια. Επισημαίνεται, ότι η πρόταση είναι να σταματήσουν άμεσα όλες οι αγροτικές δραστηριότητες.

12. Ο Δήμος Λαυρεωτικής, καθώς και οι άλλοι Δήμοι και Κοινότητες της Λαυρεωτικής χερσονήσου, σε συνεργασία με τα αντίστοιχα Κέντρα Υγείας και το Υπουργείο Υγείας, πρέπει να παρακολουθούν την υγεία των παιδιών και των ενηλίκων.

13. Κάθε νέος οικιστικός σχεδιασμός στο Λαύριο και τη Λαυρεωτική χερσόνησο πρέπει να λαμβάνει σοβαρά υπ' όψη το πρόβλημα του ρυπασμένου εδάφους και τις επιπτώσεις του στην ποιότητα ζωής του πληθυσμού.

14. Οι Δήμοι Λαυρεωτικής και Κερατέας, οι Κοινότητες Αγίου Κωνσταντίνου, Παλαιάς Φώκαιας και Αναβύσσου, καθώς και οι εμπλεκόμενοι Κρατικοί Φορείς δεσμεύονται νομικά να ενημερώνουν μελλοντικούς αγοραστές γης και οικιών, καθώς και βιομηχάνους, για τα προβλήματα ρύπανσης, τα οποία επιφέρουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία. Διαφορετικά, είναι δυνατόν να αντιμετωπίσουν μελλοντικά δικαστικές διεκδικήσεις και την καταβολή αποζημιώσεων στους ενδιαφερομένους.

Στόχος όλων μας είναι οι τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν στο έργο LIFE «Αποκατάσταση Εδάφους στο Δήμο Λαυρίου» για το χαρακτηρισμό της ρυπασμένης γης στο Λαύριο να αποτελέσουν βασικό άξονα μιάς τυποποιημένης μεθοδολογίας για την εκτίμηση της ρύπανσης σε άλλους χώρους. Όμως, για να μην μένουν αυτά τα αποτελέσματα, τα συμπεράσματα και οι προτάσεις «στα χαρτιά», βασιζόμαστε στη βούληση της Πολιτείας για τη λήψη ουσιαστικών μέτρων και αποφάσεων, όσο το δυνατόν συντομότερα, με στόχο τη βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης

του τοπικού πληθυσμού του Λαυρίου και της Λαυρεωτικής χερσονήσου. Ελπίζουμε, ότι ο νέος αιώνας θα σηματοδοτηθεί από τις συντονισμένες προσπάθειες όλων μας για την προστασία του περιβάλλοντος και της αναβάθμισης της ποιότητας ζωής σε περιοχές με έντονη ρύπανση, όπως το Λαύριο και η Λαυρεωτική χερσόνησος.

Επισημαίνεται, ότι έχουμε υποχρέωση να προσφέρουμε ένα καλύτερο και υγιέστερο περιβάλλον στη νέα γενιά. Διαφορετικά, είναι μαθηματικώς βέβαιο ότι θα οδηγηθούμε στο μέλλον σε αδιέξοδα, τα οποία για να ξεπεραστούν θα μας αναγκάσουν να καταφύγουμε σε ακραίες λύσεις, που θα περιλαμβάνουν, συγκεκριμένα για την έντονα ρυπασμένη περιοχή του Λαυρίου και της Λαυρεωτικής χερσονήσου, τη μετακίνηση και εγκατάσταση του πληθυσμού σε άλλη καταλληλότερη περιοχή.

Αναγνωρίσεις - Ευχαριστίες

Η παρούσα εργασία δημοσιεύεται με την έγκριση του Γενικού Διευθυντή του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.). Τα αποτελέσματά που παρουσιάζονται προέρχονται από (α) το έργο ΣΠΑ 202.088.000 «Περιβαλλοντική Γεωχημική Μελέτη Λαυρεωτικής Χερσονήσου Αττικής», που συγχρηματοδοτήθηκε από την Περιφέρεια Αττικής και την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.) και (β) το έργο LIFE 93/GR/A14/GR/4576 «Αποκατάσταση Εδάφους στο Δήμο Λαυρίου», που συγχρηματοδοτήθηκε από την XI Διεύθυνση της Ε.Ε. και το Ελληνικό Δημόσιο. Ευχαριστούμε όλο το επιστημονικό, τεχνικό, διοικητικο-οικονομικό και εργατικό προσωπικό, που βοήθησε για την υλοποίηση αυτών των δύο έργων.

Βιβλιογραφία

- Anon, 1989. Risk Assessment Guidance for Superfund: Human Health Evaluation Manual (Part A). US Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- Benetou-Marantidou, A., Nalou, S. and Micheloyiannis, I., 1985. The use of a battery of tests for the estimation of neurological effects of lead in children. In: T.D. Lekkas (Editor), International Conference Heavy Metals in the Environment, New Orleans, September, Vol. 1, CEP Consultants, Edinburgh, pp. 204-209.
- Callow, P., 1998. Environmental Risk Assessment and Management: the Whats, Whys and Hows? In: P. Callow (Ed.), "Handbook of Environmental Risk Assessment and Management". Blackwell Science Ltd., U.K.: 1-6.

- Caroli, S., Alimonti, A., Coni, E., Petrucci, F., Senofonte, O. and Violante, N., 1994. The Assessment of Reference Values for Elements in Human Biological Tissues and Fluids: A Systematic Review. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 24 (5 & 6): 363-398.
- Chronopoulos, J. and Chronopoulou-Sereli, C., 1986a. Scwermetalltoleranz von *Crocus sieberi*, *Arisarum vulgare* und *Cyclamen graecum* in Lavrion (Attika). *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie* (Hohenheim 1984), XIV: 357-360 (text in German with a synopsis in English).
- Chronopoulos, J. and Chronopoulou-Sereli, C., 1986b. Vegetational development of halophytes to heavy metals in industrial regions in Lavrion (Attika). *Landschaft u. Stadt*, 18 (1): 42-45 (text in German with a summary in English).
- Chronopoulos, J. and Chronopoulou-Sereli, C., 1991. Effects of the mining-metallurgical activity on the natural vegetation of Lavreotiki. In: *Abstracts of 1st Scientific Conference on Geosciences and the Environment*. University of Patras, Dept. of Geology, Patras: 147.
- Chronopoulou-Sereli, C. and Chronopoulos, J., 1991a. Untersuchungen über die Pb-belastung der vegetation in Lavreotiki (Attika). In: S. Riewenherm und H. Lieth (Editors), *Verhandlungen der gesellschaft für Ökologie* (Osnabrück 1989): XIX/III: 223-228 (text in German with a summary in English).
- Chronopoulou-Sereli, C. and Chronopoulos, J., 1991b. Umweltbelastung der Stadt Lavrion (Attika) und Umgebung durch ein Bleinhüttenwerk. *Natur und Landschaft*, 66 (9): 442-443 (text in German with a summary in English).
- Demetriades, A., 1992. Development of integrated collaborative research programmes between the U.K. (BGS) and Greece (IGME). *Environmental Geochemistry, Lavreotiki peninsula, and Multidisciplinary data interpretation, Eastern Macedonia and Thrace*. Vol. 1: Text, 165 pp.; Vol. 2: Maps, diagrams and tables, 128 pp. *Inst. Geol. Mineral Explor. (I.G.M.E.)*, Athens, Open File Report E-6700 (in English).
- Demetriades, A., Stavrakis, P., Vergou-Vichou, K., Makropoulos, V., Vlachoyiannis, N. and Fosse, G., 1996. Lead in the surface soil of Lavreotiki peninsula (Attiki, Greece) and its effects on human health. In: Aug. Anagnostopoulos, Ph. Day and D. Nicholls (Editors), *Proceedings Third International Conference on Environmental Pollution*. Aristotelean University of Thessaloniki, Thessaloniki, Greece: 143-146.
- Demetriades, A., Stavrakis, P. and Vergou-Vichou, K., 1997. Exploration geochemistry in environmental impact assessment: examples from Greece. In: P.G. Marinos, G.C. Koukis, G.C. Tsiambaos and G.C. Stournaras (Editors), *Engineering Geology and the Environment*, Balkema, Rotterdam, Vol. 2: 1757-1762.
- Demetriades, A. and Vergou-Vichou, K., 1999a. Geochemistry of parent rocks. Στην: Αλ. Δημητριάδης (Συντάκτης), *Γεωχημικός Άτλας της Αστικής Περιοχής του Λαυρίου για Περιβαλλοντική Προστασία και Σχεδιασμό*. Αποκατάσταση Εδάφους στο Δήμο Λαυρίου, Τόμος 1, Ερμηνευτικό Κείμενο: 92-100.

- Demetriades, A. and Vergou-Vichou, K., 1999b. Chemistry of metallurgical processing wastes. Στην: Αλ. Δημητριάδης (Συντάκτης), Γεωχημικός Άτλας της Αστικής Περιοχής του Λαυρίου για Περιβαλλοντική Προστασία και Σχεδιασμό. Αποκατάσταση Εδάφους στο Δήμο Λαυρίου, Τόμος 1, Ερμηνευτικό Κείμενο: 101-128.
- Demetriades, A. and Vergou-Vichou, K., 1999c. Geochemistry of ground-water: a preliminary assessment. Στην: Αλ. Δημητριάδης (Συντάκτης), Γεωχημικός Άτλας της Αστικής Περιοχής του Λαυρίου για Περιβαλλοντική Προστασία και Σχεδιασμό. Αποκατάσταση Εδάφους στο Δήμο Λαυρίου, Τόμος 1, Ερμηνευτικό Κείμενο: 304-310.
- Demetriades, A., Vergou-Vichou, K. and Vlachoyiannis, N., 1999. Distribution of lead in the Lavrion urban environment. Στην: Αλ. Δημητριάδης (Συντάκτης), Γεωχημικός Άτλας της Αστικής Περιοχής του Λαυρίου για Περιβαλλοντική Προστασία και Σχεδιασμό. Αποκατάσταση Εδάφους στο Δήμο Λαυρίου, Τόμος 1, Ερμηνευτικό Κείμενο: 63-91.
- Δερμάτης, Γ.Ν., 1994. Τοπίο και μνημεία της Λαυρεωτικής. Δήμος Λαυρεωτικής, Λαύριο, 298 σελ.
- Δημητριάδης, Αλ., Σταυράκη, Π. και Βέργου-Βήχου, Αικ., 1994α. Χάρτες Περιβαλλοντικής Γεωχημικής Μελέτης Χερσονήσου Λαυρεωτικής. Στην: Περιβαλλοντική Γεωχημική Μελέτη Λαυρεωτικής Χερσονήσου Αττικής, Τόμος 2. Έκθεση Ι.Γ.Μ.Ε. Ε7424, Αθήνα, 44 σελ.
- Δημητριάδης, Αλ., Σταυράκη, Π. και Βέργου-Βήχου, Αικ., 1994β. Περιβαλλοντική Εδαφογεωχημική Έρευνα στη Λαυρεωτική Χερσόνησο Αττικής. Στην: Περιβαλλοντική Γεωχημική Μελέτη Λαυρεωτικής Χερσονήσου Αττικής, Τόμος 3. Έκθεση Ι.Γ.Μ.Ε. Ε7424, Αθήνα, 147 σελ.
- Δημητριάδης, Αλ., Βέργου-Βήχου, Αικ. και Σταυράκη, Π., 1994γ. Προσανατολιστική Εδαφογεωχημική Έρευνα στη Λαυρεωτική Χερσόνησο Αττικής. Στην: Περιβαλλοντική Γεωχημική Μελέτη Λαυρεωτικής Χερσονήσου Αττικής, Τόμος 6. Έκθεση Ι.Γ.Μ.Ε. Ε7424, Αθήνα, 64 σελ.
- Δημητριάδης, Αλ. και Σταυράκη, Π., 1995α. Εκτίμηση της επικινδυνότητας και αποκατάσταση του μολυσμένου εδάφους του Φοινικοδάσους Λαυρίου. Έκθεση Ι.Γ.Μ.Ε. Ε7489, 38 σελ.
- Δημητριάδης, Αλ. και Σταυράκη, Π., 1995β. Η αποδέσμευση τοξικών στοιχείων από τις σκουριές του Λαυρίου. Έκθεση Ι.Γ.Μ.Ε. Ε7610, Αθήνα, 46 σελ.
- Δημητριάδης, Αλ. και Βασιλειάδης, Ε., Tristán, E., Rosenbaum M.S. και Ramsey, M.H. 1998. Η συγκέντρωση του μολύβδου στο αίμα των παιδιών σαν δείκτης για την εκτίμηση της επικινδυνότητας των μεταλλουργικών απορριμμάτων και του μολυσμένου εδάφους στο Λαύριο Αττικής. Έκθεση Ι.Γ.Μ.Ε. Ε7977, Αθήνα.
- Δημητριάδης, Αλ. (Συντάκτης), 1999α. Γεωχημικός Άτλας της Αστικής Περιοχής του Λαυρίου για Περιβαλλοντική Προστασία και Σχεδιασμό. Στην: Αποκατάσταση Εδάφους στο Δήμο Λαυρίου, Τόμος 1, Ερμηνευτικό Κείμενο. Έκθεση Ι.Γ.Μ.Ε. Ε8272, Αθήνα, 365 σελ.

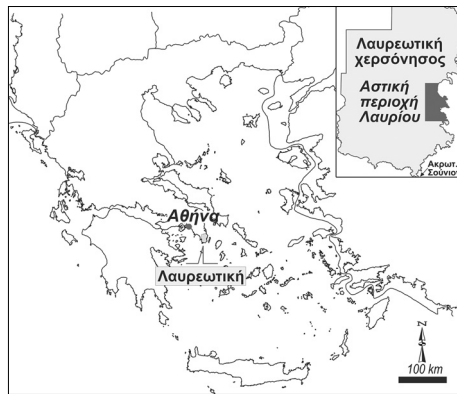
- Δημητριάδης, Αλ. (Συντάκτης), 1999β. Γεωχημικός Άτλας της Αστικής Περιοχής του Λαυρίου για Περιβαλλοντική Προστασία και Σχεδιασμό. Στην: Αποκατάσταση Εδάφους στο Δήμο Λαυρίου, Τόμος 1Α, Πίνακες και Σχήματα. Έκθεση Ι.Γ.Μ.Ε. Ε8272, Αθήνα, 210 σελ.
- Δημητριάδης, Αλ. (Συντάκτης), 1999γ. Γεωχημικός Άτλας της Αστικής Περιοχής του Λαυρίου για Περιβαλλοντική Προστασία και Σχεδιασμό. Στην: Αποκατάσταση Εδάφους στο Δήμο Λαυρίου, Τόμος 1Β, Εκθέσεις Παραρτήματος. Έκθεση Ι.Γ.Μ.Ε. Ε8272, Αθήνα, 176 σελ.
- Δημητριάδης, Αλ. (Συντάκτης), 1999δ. Γεωχημικός Άτλας της Αστικής Περιοχής του Λαυρίου για Περιβαλλοντική Προστασία και Σχεδιασμό. Στην: Αποκατάσταση Εδάφους στο Δήμο Λαυρίου, Τόμος 2. Έκθεση Ι.Γ.Μ.Ε. Ε8272, Αθήνα, 222 σελ.
- Δημητριάδης, Αλ. (Συντάκτης), 1999ε. Περιβαλλοντικό Σχέδιο Διαχείρισης για την Αποκατάσταση του Εδάφους στην Αστική Περιοχή του Λαυρίου. Στην: Αποκατάσταση Εδάφους στο Δήμο Λαυρίου, Τόμος 4. Έκθεση Ι.Γ.Μ.Ε. Ε8272, Αθήνα, 155 σελ.
- DoE (Department of Environment), 1995. "A guide to Risk Assessment and Risk Management for environmental protection". London, HSMO.
- Douben, P.E.T., 1998. Perspectives on pollution risk. In: P.E.T. Douben, Pollution risk assessment and management. J. Wiley & Sons, Chichester, U.K.: 1-20.
- Δρόσος, Χ., Παπαδοπούλου-Νταφιώτη, Ζ., Μαυροειδής, Κ., Μιχαλοδημητράκης, Δ., Σαλαμαλίκης, Λ., Γούναρης, Α. και Βαρόνος, Δ., 1982. Η ρύπανση του περιβάλλοντος με μόλυβδο στον Ελληνικό χώρο. Παιδιατρική, 45: 114-124.
- Eastman, J.R., 1997. Idrisi for Windows (version 2.0) (1997). Clark University, Massachusetts.
- Eikmann, Th., Michels, S., Makropoulos, V., Krieger, Th., Einbrodt, H.J., Tsomi, K., 1991. Cross-sectional epidemiological study on arsenic excretion in urine of children and workers in Greece. Gordon and Breach Science Publ., Toxicological and Environmental Chemistry, Vols, 31-32: 461-466.
- Ε.Μ.Π., 1999. Περιβαλλοντικός Χαρακτηρισμός Περιοχής Λαυρίου – Ανάπτυξη Τεχνικών Αποκατάστασης. Αποκατάσταση Εδάφους στο Δήμο Λαυρίου, Τόμος 3. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 175 σελ.
- Ε.Ο.Π., 2000. Πληροφορίες για τη βελτίωση του περιβάλλοντος στην Ευρώπη. Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος, Κοπεγχάγη, 17 σελ.
- Ferguson, C.C., 1995a. "The Contaminated Land Exposure Assessment Model (CLEA). Technical basis and algorithms". Draft report prepared for Department of the Environment under Contracts PECD 7/10/305, PECD 7/10/337 and EPG 1/6/18.
- Ferguson, C.C., 1995b. The Contaminated Land Exposure Assessment Model (CLEA). Technical basis and algorithms. Final report. Department of the Environment. U.K.

- Ferguson, C. and Denner, J., 1994. Developing guideline (trigger) values for contaminants in soil: underlying risk analysis and risk management concepts. *Land Contamination & Reclamation*, 2 (3): 117-123.
- Ferguson, C. and Kasamas, H. (Editors), 1999. Risk assessment for contaminated sites in Europe, Vol. 2, Policy Frameworks. LQM Press, Nottingham, U.K., 223 pp.
- Ferguson, C., Darmendrail, D., Freier, K., Jensen, B.K., Jensen, J., Kasamas, H., Urzelai, A. and Vegter, J. (Editors), 1998. Risk assessment for contaminated sites in Europe, Vol. 1, Scientific Basis. LQM Press, Nottingham, U.K., 165 pp.
- Ferguson, J.E., 1990. The heavy elements: Chemistry, Environmental Impact and Health Effects. Pergamon Press, Oxford, 614 pp.
- Flett, D.S. and Riddler, G.P., 1992. Implications of current and future regulations in the EC and North America for the utilisation or disposal of metallurgical slags. In: IMM, Minerals, metals and the environment. Elsevier Applied Science, London: 43-53.
- Fosse, G. and Wesenberg, G.B.R., 1981. Lead, cadmium, zinc and copper in deciduous teeth of Norwegian children in the pre-industrial age. *Intern. J. Environmental Studies*, 16: 163-170.
- Gelaude, P., Kalmthout, P.V. and Rewitzer, C., 1996. Laurion. The minerals in the ancient slags. Janssen Print, Nijmegen, The Netherlands, 195 pp.
- Hatzakis, A., Kokkevi, A., Katsouyanni, K., Maravelias, C., Salaminios, F., Kalandidi, A., Koutselinis, A., Stefanis K. and Trichopoulos, D., 1987. Psychometric intelligence and attentional performance deficits in lead-exposed children. In: S.E. Lindberg and T.C. Hutchinson (Editors), International Conference Heavy Metals in the Environment, New Orleans, September. CEP Consultants, Edinburgh, Vol. 1: 204-209.
- ICRCL, 1987. Guidance on the assessment and redevelopment of contaminated land. Interdepartmental Committee on the Redevelopment of Contaminated Land, Guidance Note 59/83 (2nd Edition), Department of the Environment, London, U.K..
- Kabata-Pendias, A. and Pendias, H., 1984. Trace elements in soils and plants. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, 315 pp.
- Kafourou, A., Touloumi, G., Makropoulos, V., Loutradi, A., Papanagioutou, A. and Hatzakis, A., 1997. Effects of lead on the somatic growth of children. *Archives of Environmental Health*, 52 (5): 377-383.
- Κατερινόπουλος, Αθ. Και Ζησιμοπούλου, Ευτ., 1994. Τα ορυκτά των μεταλλείων του Λαυρίου. Σύλλογος Ελλήνων Συλλεκτών Ορυκτών και Απολιθωμάτων, Αθήνα, 304 σελ.
- Κονοφάγος, Κ.Η., 1980. Το Αρχαίο Λαύριο και η Ελληνική Τεχνική Παραγωγής του Αργύρου. Εκδοτική Ελλάδος Α.Ε., Αθήνα, 458 σελ.
- Κονοφάγος, Κ.Η., 1997. Η Δημοκρατία της Αθήνας και οι παραχωρήσεις στους πολίτες της των μεταλλείων αργύρου της Λαυρεωτικής κατά τον 4ο αιώνα π.Χ.: Ο

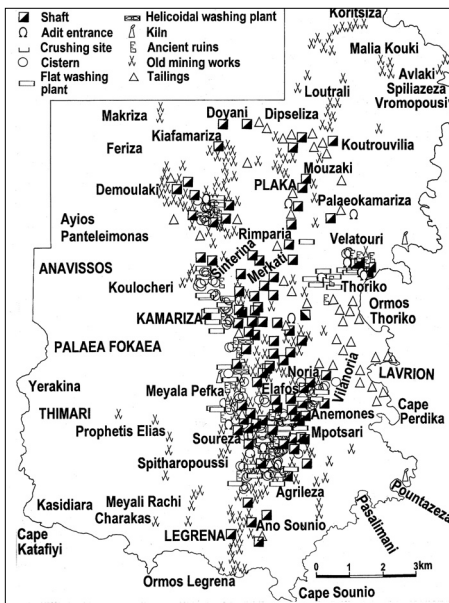
- βασικός ρόλος του αργύρου ου Λαυρίου στην ισχύ και τον πολιτισμό της Αθήνας. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 142 σελ.
- Κορδέλλας, Α., 1993. Το Λαύριον. Εταιρεία Μελετών Λαυρεωτικής, Λαύριο, Αριθμ. 6, 152 σελ.
- Makropoulos, V., Konteye, C., Eikmann, Th., Einbrodt, H.J., Hatzakis, A., Papanagioutou, G., 1991. Cross-sectional epidemiological study on the lead burden of children and workers in Greece. Gordon and Breach Science Publ., U.K., Toxicological and Environmental Chemistry, 31-32: 467-477.
- Makropoulos, W., Stilianakis, N., Eikmann, Th., Einbrodt, H.J., Hatzakis, A. and Nikolau-Papanagioutou, A., 1992a. Cross-sectional epidemiological study of the effect of various pollutants on the health of children in Greece. Fresenius Envir. Bull 1: 117-122.
- Makropoulos, W., Jakobi, K., Stilianakis, N., Vlachogiannis, N., Pesch, T. and Tambakis, S., 1992b. Blood and cadmium burden in pregnant women, newborns and schoolage children in Lavrion (Greece). Wissenschaft und Umwelt 3: 221-224 (in German with an abstract in English).
- Μάνθος, Γ.Κ., 1990. Μεταλλευτικό μεταλλουργικό Λαύριο. Δήμος Λαυρεωτικής, Λαύριο, 168 σελ.
- Maravelias, C., Hatzakis, A., Katsouyanni, K., Trichopoulos, D., Koutselinis, A., Ewers, U. and Brockhaus, A., 1989. Exposure to lead and cadmium of children living near a lead smelter at Lavrion, Greece. The Science of the Total Environment, 84: 61-70.
- Νάκου, Σ., 1985. Επίπεδα μόλυβδου αίματος και νεφρική λειτουργία παιδιών μιας περιοχής με αυξημένο περιβαλλοντικό μόλυβδο. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, 97 σελ.
- NAS (National Academy of Sciences), 1983. "Risk Assessment in the Federal Government: Managing the Process". National Academy Press, Washington, D.C.
- Νικολαΐδης, Ν., Δημητριάδης, Αλ., Βέργου-Βήγου, Αικ., Βασιλειάδης, Ε., Παπασιώπη, Ν., Θεοδωράτος, Π., Βαρελίδης, Ν. και Ζαμάνη, Αλ., 1999. Περιβαλλοντικό Σχέδιο Διαχείρισης για την Αποκατάσταση του Εδάφους στην Αστική Περιοχή του Λαυρίου. Στην: Αλ. Δημητριάδης (Συντάκτης), Αποκατάσταση Εδάφους στο Δήμο Λαυρίου, Τόμος 4. Έκθεση Ι.Γ.Μ.Ε. Ε8272, Αθήνα: 22-71.
- Πολύζος, Γ., 1996. Τεχνολογικό – Πολιτιστικό Πάρκο: Τολμηρό εγχείρημα ο μετασχηματισμός του βιομηχανικού συγκροτήματος της πρώην Γαλλικής Εταιρείας. Η Καθημερινή – Επτά Ημέρες, Αρ. Φύλλου 23.166, 6.-7.1.1996: 23.
- Reimann, C., Åyräs, M., Chekushin, V., Bogatyrev, I., Boyd, R., Caritat, P. de, Dutter, R., Finne, T.E., Halleraker, J.H., Jæger, Ø., Kashulina, G., Lehto, O., Niskavaara, H., Pavlov, V., Räsänen, M.L., Strand, T. and Volden, T., 1998. Environmental Geochemical Atlas of the Central Barents Region. Geological Survey of Norway, Trondheim, 745 pp.

- Stanners, D. and Bourdeau, P. (Editors), 1995. Europe's Environment. The Dobřis Assessment. European Environmental Agency, Copenhagen, 676 pp.
- Σταυράκη, Π., Δημητριάδης, Αλ. και Βέργου-Βήχου, Αικ., 1994. Εκτίμηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων στη Λαυρεωτική Χερσόνησο Αττικής. Στην: Περιβαλλοντική Γεωχημική Μελέτη Λαυρεωτικής Χερσονήσου Αττικής, Τόμος 1. Έκθεση Ι.Γ.Μ.Ε. Ε7424, Αθήνα, 44 σελ.
- Stavrakis, P., Vergou-Vichou, K., Fosse, G., Makropoulos, V., Demetriades, A., Vlachoyiannis, N., 1994. A multidisciplinary study on the effects of environmental contamination on the human population of the Lavrion urban area, Hellas. In: S.P. Varnavas (Editor), Environmental Contamination. 6th International Conference, Delphi, Greece, CEP Consultants, Edinburgh: 20-22.
- Tack, F.M.G., Masscheleyn, P.H. and Verloo, M.G., 1992. Assessment of the leaching behaviour of granulated non-ferrous metal slags. In: Environmental Contamination, 5th International Conference, Morges, Switzerland. CEP Consultants, Edinburgh: 133-135.
- Tack, F.M.G., Masscheleyn, P.H. and Verloo, M.G., 1993. Leaching behaviour of granulated non-ferrous metal slags. In: J.-P. Vernet (Editor), Environmental contamination. Elsevier, Amsterdam: 103-117.
- Tack, F.M. and Verloo, M.G., 1994. Metal leaching from granulated non-ferrous slags applied in road construction. In: S.P. Varnavas (Editor), Environmental Contamination. 6th International Conference, Delphi, Greece. CEP Consultants, Edinburgh: 25-27.
- Ταρενίδης, Δ. και Πεردικάτσης, Β., 1994. Αναλύσεις Δειγμάτων Εδάφους της Λαυρεωτικής Χερσονήσου Αττικής με Φασματόμετρο Ακτίνων-Χ. Στην: Περιβαλλοντική Γεωχημική Μελέτη Λαυρεωτικής Χερσονήσου Αττικής, Τόμος 5. Έκθεση Ι.Γ.Μ.Ε. Ε7424, Αθήνα, 25 σελ.
- Taylor, R. and Langley, A., 1996. Exposure scenarios and exposure settings. National Environmental Health Forum Monographs, Soil Series No. 2. South Australian Health Commission, 25 pp.
- Tristán, E., Rosenbaum, M.S. and Ramsey, M.H., 1998. Evaluation of child exposure to lead in Lavrion as a basis for risk assessment, Part II. Στην έκθεση: Αλ. Δημητριάδης, Ε. Βασιλειάδης, Ε. Tristán, M.S. Rosenbaum and M.H. Ramsey, Η συγκέντρωση του μολύβδου στο αίμα των παιδιών σαν δείκτης για την εκτίμηση της επικινδυνότητας των μεταλλουργικών απορριμμάτων και του μολυσμένου εδάφους στο Λαύριο Αττικής. Έκθεση Ι.Γ.Μ.Ε. Ε7977, Αθήνα, 69 pp.
- Tristán, E., Ramsey, M.H., Thornton, I., Kazantzis, G., Rosenbaum, M.S., Demetriades, A., Vassiliades, E. and Vergou-Vichou, K., 1999. Spatially resolved hazard and exposure assessments. Στην: Αλ. Δημητριάδης (Συντάκτης), Γεωχημικός Άτλας της Αστικής Περιοχής του Λαυρίου για Περιβαλλοντική Προστασία και Σχεδιασμό. Αποκατάσταση Εδάφους στο Δήμο Λαυρίου, Τόμος 1, Ερμηνευτικό Κείμενο: 311-349.

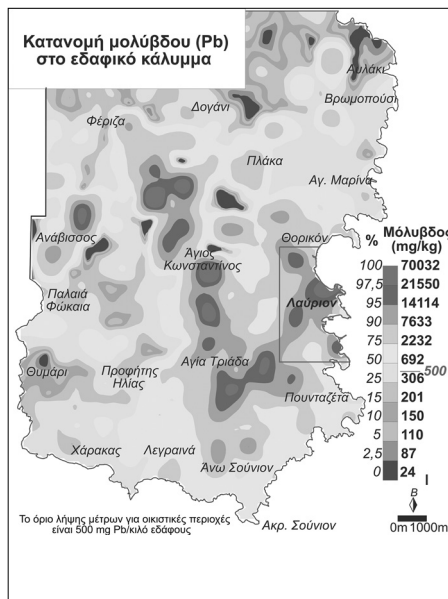
- Tristán, E., Demetriades, A., Ramsey, M.H., Rosenbaum, M.S., Stavrakis, P., Thornton, I., Vassiliades, E. and Vergou-Vichou, K., 2000. Spatially Resolved Hazard and Exposure Assessments: An Example of Lead in Soil at Lavrion, Greece. *Environmental Research, Section A*, 82: 33-45.
- Τσάιμου, Κ.Γ., 1997. Αρχαιογνωσία των μετάλλων: Αρχαία μεταλλευτική και μεταλλουργική τεχνική. Κ.Γ. Τσάιμου, Αθήνα, 237 σελ.
- Τσόμπος, Π., Στεφούλη, Μ. και Βασιλείου, Δ., 1994. Εντοπισμός και Οριοθέτηση Επιφανειακών Ρυπαντών από τη Μεταλλευτική Δραστηριότητα στη Λαυρεωτική Χερσόνησο Αττικής με Μεθόδους Τηλεπισκόπησης. Στην: Περιβαλλοντική Γεωχημική Μελέτη Λαυρεωτικής Χερσονήσου Αττικής, Τόμος 4. Έκθεση Ι.Γ.Μ.Ε. Ε7424, 25 σελ.
- Vansgronsveld, J., Sterckx, J., Van Assche, F. and Clijsters, H., 1995. Rehabilitation studies on an old non-ferrous waste dumping ground: effects of revegetation and metal immobilization by beringite. *J. Geochem. Explor.*, 52: 221-229.
- Walton, N.R.G. and Higgins, A., 1998. The legacy of contaminated land in Portsmouth: its identification and remediation within a socio-political context. In: D.N. Lerner and N.R.G. Walton (editors), *Contaminated Land and Groundwater: Future Directions*. Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications, 14: 29-36.
- Χ'Γεωργίου-Σταυράκη, Π. και Βέργου-Βήγου, Αικ., 1992. Περιβαλλοντική γεωχημική έρευνα στην περιοχή Λαυρίου και Αγ. Κων/νου (Καμάριζα) Αττικής. Έκθεση Ι.Γ.Μ.Ε. Ε6778, Αθήνα.
- Χ'Γεωργίου-Σταυράκη, Π., Βέργου-Βήγου, Αικ. και Δημητριάδης, Αλ., 1993. Η συμβολή της γεωχημικής έρευνας στη μελέτη της ποιότητας του εξωτερικού περιβάλλοντος και των εσωτερικών χώρων στις περιοχές Λαυρίου και Αγ. Κωνσταντίνου (Καμάριζα) Αττικής. Heleco'93, Πρακτικά «1η Διεθνής Έκθεση και Συνέδριο για την Τεχνολογία Περιβάλλοντος», Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Τόμος II: 301-313.
- Xenidis, A., Komnitsas, K., Papassiopi, N. and Kontopoulos, A., 1997. Environmental implications of mining activities in Lavrion. In: P.G. Marinos, G.C. Koukis, G.C. Tsiambaos and G.C. Stournaras (Editors), *Engineering Geology and the Environment*. A.A. Balkema, Rotterdam, Vol. 3: 2575-2580.
- Χρονοπούλου-Σερέλη, Αικ., Χρονόπουλος, Ι. Και Καναβού, Αν., 2001. Ενδημικά φυτά – Υπερσυσσωρευτές μολύβδου στη Λαυρεωτική. Σ' αυτό τον τόμο.



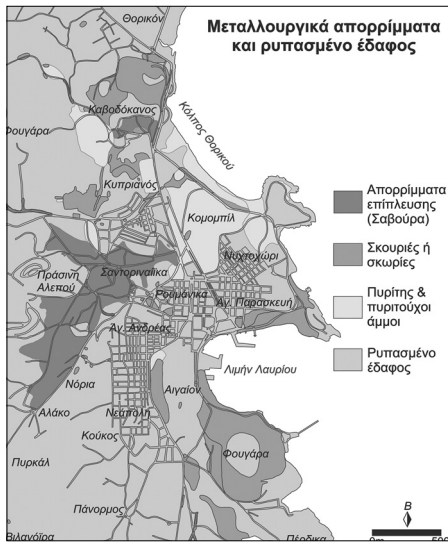
Σχ. 1. Χάρτης της Ελλάδας που δείχνει τη θέση της Λαυρεωτικής χερσονήσου και της αστικής περιοχής του Λαυρίου.



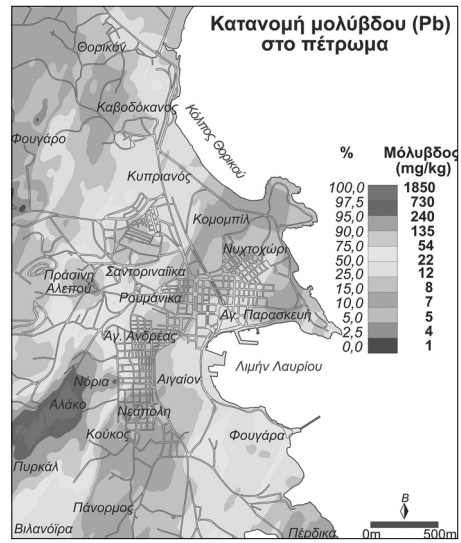
Σχ. 2. Αρχαίες και σύγχρονες μεταλλευτικές-μεταλλουργικές εργασίες (από Κονοφάγο 1990 και Δημητριάδη 1999δ, Σχ. 1.2, σελ. 1.3).



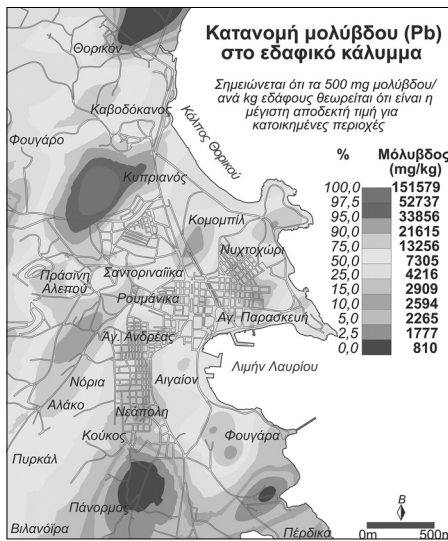
Σχ. 3. Γεωχημική κατανομή του ολικού μολύβδου (Pb) στο επιφανειακό έδαφος (0-10 cm) της Λαυρεωτικής χερσονήσου (από Δημητριάδη 1999δ, Σχ. 1.3, σελ. 1.3).



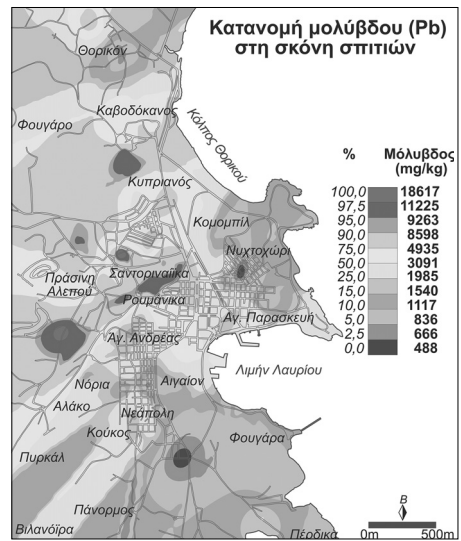
Σχ. 4. Μεταλλουργικά απορρίμματα και ρυπασμένο έδαφος



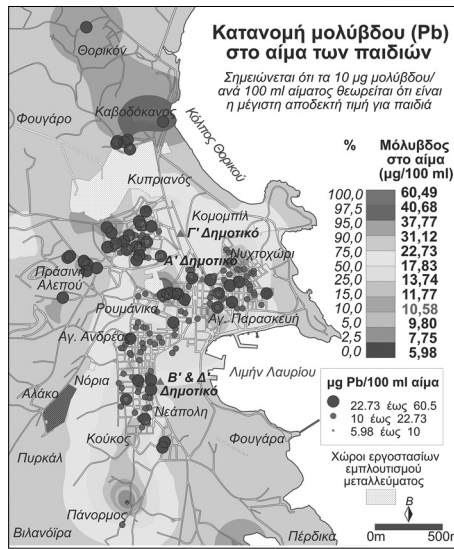
Σχ. 5. Γεωγραφική κατανομή του μολύβδου στα μητρικά πετρώματα του Λαυρίου (n=140)



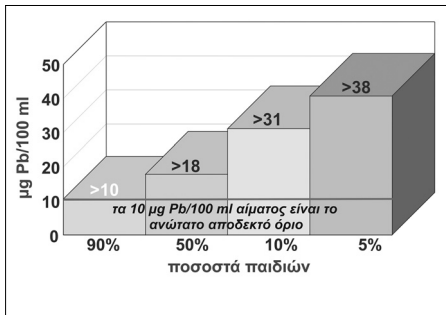
Σχ. 6. Γεωγραφική κατανομή του μολύβδου στο εδαφικό κάλυμμα του Λαυρίου (n=224).



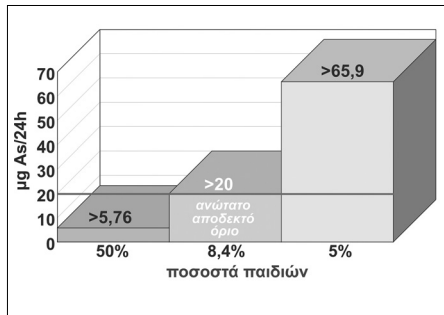
Σχ. 7. Γεωγραφική κατανομή του μολύβδου στη σκόνη σπιτιών του Λαυρίου (n=127).



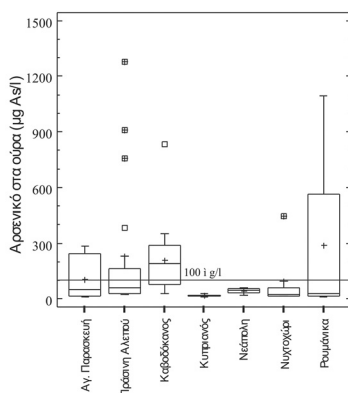
Σχ. 8. Γεωγραφική κατανομή του μολύβδου στο αίμα των παιδιών του Λαυρίου (n=235).



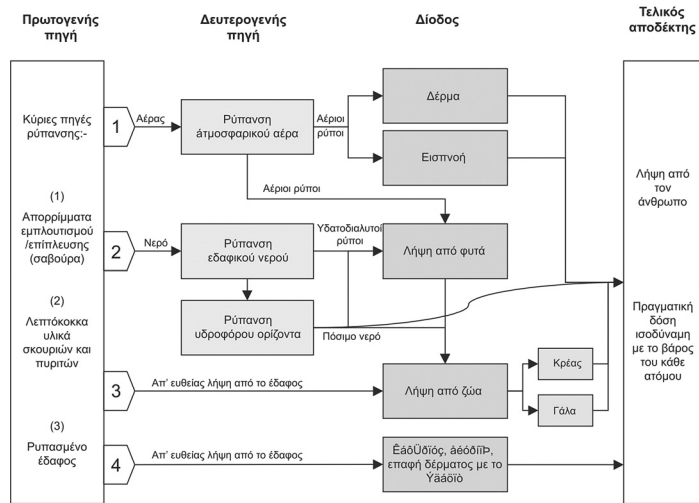
Σχ. 9. Κατανομή του μολύβδου (Pb) στο αίμα 235 παιδιών του Λαυρίου.



Σχ. 10. Κατανομή του αρσενικού (As) στα ούρα του 24ώρου σε 235 παιδιά του Λαυρίου.

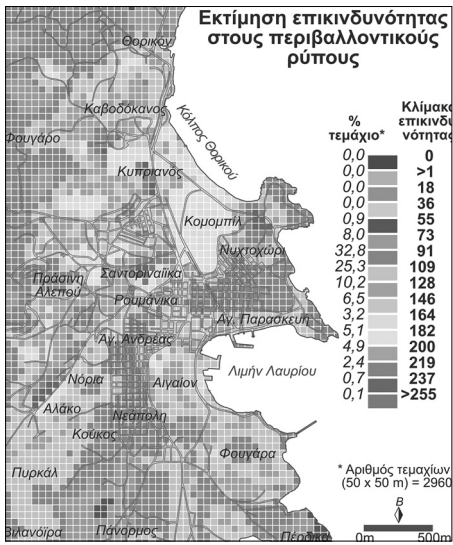


Σχ. 11. Πολλαπλό κυβελοειδές διάγραμμα της κατανομής του αρσενικού στα ούρα των κατοίκων του Λαυρίου από διάφορες περιοχές (n=65). Η ευθεία γραμμή στα 100 µg As/l δείχνει τη μέγιστη αποδεκτή συγκέντρωση αρσενικού στα ούρα των ενηλίκων. Το ορθογώνιο τιμήμα της κάθε κυβελίδας εκτείνεται από το 1ο τεταρτημόριο (25%) μέχρι το 3ο τεταρτημόριο (75%) των συγκεντρώσεων αρσενικού στα ούρα, καλύπτοντας έτσι το κεντρικό 50% της διακύμανσης των τιμών. Η κεντρική γραμμή μέσα σε κάθε κυβελίδα δείχνει τη διάμεση τιμή και το σύμβολο (+) δείχνει τη μέση τιμή. Οι κάθετες ευθείες γραμμές εκατέρωθεν της κάθε κυβελίδας επεκτείνονται προς τις ελάχιστες και μέγιστες τιμές, εκτός από κάποιες εξωτερικές ή πολύ μακρινές τιμές, οι οποίες αποτυπώνονται μεμονωμένες εκτός των ορίων των γραμμών. Οι εξωτερικές τιμές απέχουν περισσότερο από 1,5 φορά του εύρους του ορθογωνίου (δηλ. της διαφοράς μεταξύ των τιμών του 3ου και 1ου τεταρτημορίου) εκατέρωθεν της κυβελίδας και σχεδιάζονται ως μικρά τετράγωνα. Οι πολύ μακρινές εξωτερικές τιμές απέχουν περισσότερο από 3 φορές του εύρους του ορθογωνίου εκατέρωθεν της κυβελίδας και σχεδιάζονται ως μικρά τετράγωνα με ένα σταυρό σημειωμένο στο εσωτερικό τους.

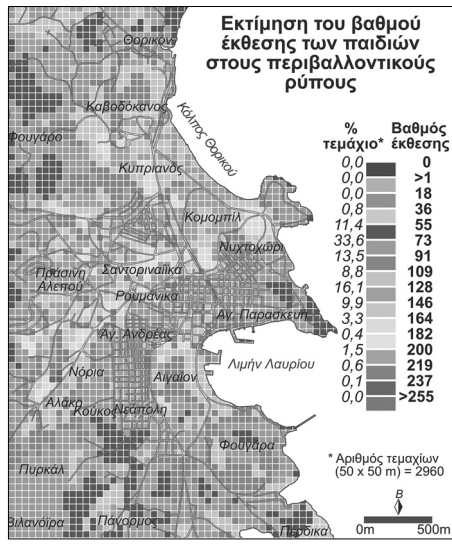


Σύνθεση από Αλ. Δημητριάδη

Σχ. 12. Σχηματικό μοντέλο «πηγής ρύπανσης-δίοδου-αποδέκτη» για την αστική περιοχή του Λαυρίου.



Σχ. 13. Χάρτης εκτίμησης επικινδυνότητας (από Tristán et al. 1999, 2000)



Χάρτης 14. Χάρτης εκτίμησης βαθμού έκθεσης (από Tristán et al. 1999, 2000).



Φωτ. 1. Το κεντρικό τμήμα της φωτογραφίας καλύπτεται από τα απορρίμματα εμπλουτισμού/επίπλευσης (σαβούρα).



Φωτ. 2. Πυρίτης (κόκκινο) και σκουριές (μαύρο).



Φωτ. 3. Σκουριές ως υπόστρωμα στην αυλή σχολείου.



Φωτ. 4. Σκουριές και κατοικίες.



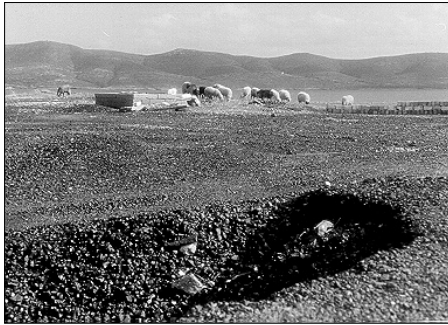
Φωτ. 5. Σκουριές και παραλία.



Φωτ. 6. Σαβούρα και κήπος.



Φωτ. 7. Σκουριές και σκόνη.



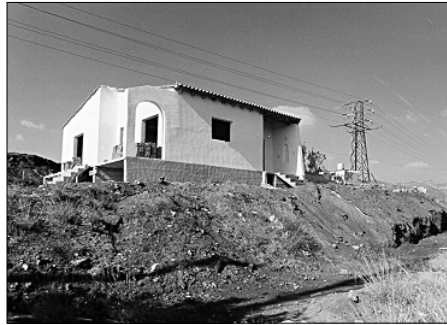
Φωτ. 8. Σκουριές και πρόβατα.



Φωτ. 9. Σκουριές και δρόμοι.



Φωτ. 10. Σκουριές και γαιώδες υλικό.



Φωτ. 11. Πυρίτης και σπίτι.

Βασικές οδηγίες προς τους κατοίκους του Λαυρίου

Μέχρι να ολοκληρωθεί η αποκατάσταση του περιβάλλοντος στο Λαύριο, πρέπει ο τοπικός πληθυσμός να αλλάξει ορισμένες συνήθειες και δραστηριότητες, όπως:



Να μην καλλιεργούνται λαχανικά, ελιές και αμπέλια. Είναι γνωστό, ότι όλα αυτά τα φυτά προσλαμβάνουν μεγάλες ποσότητες τοξικών στοιχείων.



Να σταματήσει η συλλογή άγριων χόρτων από όλη την περιοχή, δεδομένου ότι και αυτά τα φυτά προσλαμβάνουν μεγάλες ποσότητες τοξικών στοιχείων, οι οποίες είναι επικίνδυνες για την υγεία μας.



Το καθάρισμα του σπιτιού πρέπει να γίνεται με ηλεκτρική σκούπα ή με σφουγγάρισμα και όχι με τον παραδοσιακό τρόπο, δηλαδή με κοινή σκούπα, λόγω του ότι σηκώνεται σκόνη, η οποία εισπνέεται, και επί πλέον μεταφέρεται εύκολα σε άλλους χώρους του σπιτιού.



Να μην τινάζονται τα χαλιά και οι κουρελούδες.



Δεν πρέπει να γίνεται το ξεσκόνισμα με φτερό, αλλά να χρησιμοποιείται ελαφρώς βρεγμένο πανί.



Τα παιδιά δεν πρέπει να παίζουν με το χώμα, γιατί εκτός από την εισπνοή, τα τοξικά στοιχεία μπορούν να εισέλθουν στον οργανισμό τους με κατάποση, λόγω της συνήθειάς τους να βάζουν τα χέρια τους στο στόμα, καθώς και μέσω του δέρματος.



Τα παιδιά πρέπει να μάθουν να πλένουν συχνά τα χέρια τους και ιδιαίτερα πριν από το φαγητό.



Το φαγητό πρέπει να σκεπάζεται και να μην μένει ποτέ εκτεθειμένο στη σκόνη.