

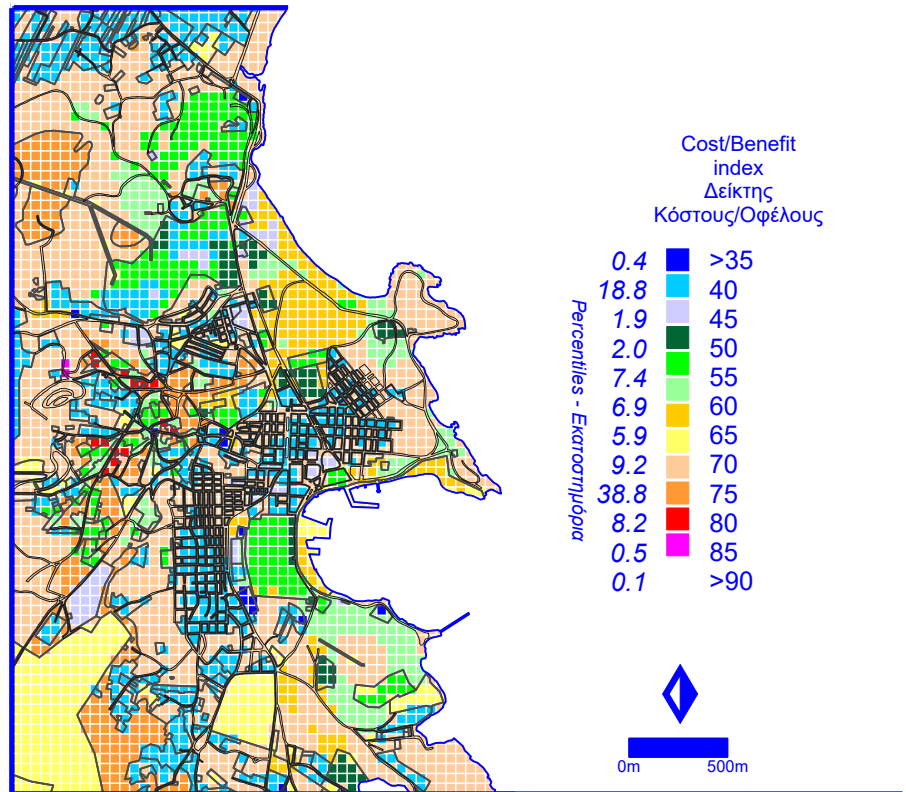


SOIL REHABILITATION IN THE MUNICIPALITY OF LAVRION ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΤΟ ΔΗΜΟ ΛΑΥΡΙΟΥ

LIFE Programme Contract No.: 93/GR/A14/GR/4576



Volume 4
Τόμος 4



ENVIRONMENTAL MANAGEMENT PLAN FOR THE REHABILITATION OF SOIL IN THE LAVRION URBAN AREA

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΤΗΝ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΛΑΥΡΙΟΥ

It is recommended that reference to this report should be made in the following way:

Demetriades, A. (Editor), 1999. *Geochemical Atlas of the Lavrion Urban Area for Environmental Protection and Planning. Volume 4: Environmental Management Plan for the Rehabilitation of Soil in the Lavrion Urban Area*. Project "Soil Rehabilitation in the Municipality of Lavrion", EU LIFE programme Contract No. 93/GR/A14/GR/4576. Institute of Geology and Mineral Exploration, Athens, Hellas, Open File Report E8272, 155 pp.

Η αναφορά σ' αυτή την έκθεση προτείνεται να γίνεται με τον παρακάτω τρόπο:

Δημητριάδης, Α. (Συντάκτης), 1999. *Γεωχημικός Άτλας της Αστικής Περιοχής του Λαυρίου για Περιβαλλοντική Προστασία και Σχεδιασμό. Τόμος 4: Περιβαλλοντικό Σχέδιο Διαχείρισης για την Αποκατάσταση του Εδάφους στην Αστική Περιοχή του Λαυρίου*. Έργο «Αποκατάσταση Εδάφους στο Δήμο Λαυρίου», Πρόγραμμα EU LIFE Αρ. Συμβολαίου 93/GR/A14/GR/4576. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Αθήνα, Ελλάδα, Τόμος 4, Αρ. Έκθεσης E8272, 155 σελ.

Reference to Chapters of this report should be made in the following way:

Nikolaidis, N., Demetriades, A., Papassiopi, N., Theodoratos, P., Vergou-Vichou, K., Vassiliades, E., Varelidis, N. and Zamani, A., 1999. *Environmental Management Plan for the Rehabilitation of Soil in the Lavrion Urban Area*. Volume 4 In: A. Demetriades (Editor), *Geochemical Atlas of the Lavrion Urban Area for Environmental Protection and Planning, Environmental Management Plan for the Rehabilitation of Soil in the Lavrion Urban Area*. Project "Soil Rehabilitation in the Municipality of Lavrion", EU LIFE programme Contract No. 93/GR/A14/GR/4576. Institute of Geology and Mineral Exploration, Athens, Hellas, Open File Report E8272, 72–121.

Η αναφορά σε Κεφάλαια αυτής της έκθεσης προτείνεται να γίνεται με τον παρακάτω τρόπο:

Νικολαΐδης, Ν., Δημητριάδης, Αλ., Παττασιώπη, Ν., Θεοδωράτος, Π., Βέργου-Βήχου, Αικ., Βασιλειάδης, Ε., Βαρελίδης, Ν. και Ζαμάνη, Αλ., 1999. *Περιβαλλοντικό Σχέδιο Διαχείρισης για την Αποκατάσταση του Εδάφους στην Αστική Περιοχή του Λαυρίου*. Στον Τόμο 4 Αλ. Δημητριάδης (Συντάκτης), *Γεωχημικός Άτλας της Αστικής Περιοχής του Λαυρίου για Περιβαλλοντική Προστασία και Σχεδιασμό, Περιβαλλοντικό Σχέδιο Διαχείρισης για την Αποκατάσταση του Εδάφους στην Αστική Περιοχή του Λαυρίου*. Έργο «Αποκατάσταση Εδάφους στο Δήμο Λαυρίου», Πρόγραμμα EU LIFE Αρ. Συμβολαίου 93/GR/A14/GR/4576. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Αθήνα, Ελλάδα, Αρ. Έκθεσης E8272, 22–71.



**SOIL REHABILITATION IN THE MUNICIPALITY OF LAVRION
ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΤΟ ΔΗΜΟ ΛΑΥΡΙΟΥ**

LIFE Programme Contract No.: 93/GR/A14/GR/4576



**Volume 4
Τόμος 4**

**ENVIRONMENTAL MANAGEMENT PLAN FOR THE
REHABILITATION OF SOIL IN THE
LAVRION URBAN AREA**

Edited by

Alecos Demetriades

**ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ
ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΤΗΝ
ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΛΑΥΡΙΟΥ**

Σύνταξη από

Αλέξανδρο Δημητριάδη

It is recommended that reference to all or part of this report should be made in one of the following ways:

Demetriades, A. (editor), 1999. Environmental management plan for the rehabilitation of soil in the Lavrion urban area. Inst. Geol. Mineral. Explor., Athens, Open File Report., Vol. 4, 155 pp.

Nikolaidis, N., Demetriades, A., Papassiopi, N., Theodoratos, P., Vergou-Vichou, K., Vassiliades, E., Varelidis, N. and Zamani, A., 1999. Environmental management plan for the rehabilitation of soil in the Lavrion urban area. In: A. Demetriades (editor), Environmental management plan for the rehabilitation of soil in the Lavrion urban area. Inst. Geol. Mineral Explor., Athens, Open File Report, Vol. 4: 72-121.

Η βιβλιογραφική αναφορά σε όλο ή τμήμα αυτής της έκθεσης μπορεί να γίνεται με έναν από τους παρακάτω τρόπους:

Δημητριάδης, Αλ. (συντάκτης), 1999. Περιβαλλοντικό σχέδιο διαχείρισης για την αποκατάσταση του εδάφους στην αστική περιοχή του Λαυρίου. Δημοσίευτη έκθεση, Ι.Γ.Μ.Ε., Αθήνα, Τόμος 4, 155 σελ.

Νικολαΐδης, Ν., Δημητριάδης, Αλ., Παττασιώπη, Ν., Θεοδωράτος, Π., Βέργου-Βήχου, Αικ., Βασιλειάδης, Ε., Βαρελίδης, Ν. και Ζαμάνη, Αλ., 1999. Περιβαλλοντικό σχέδιο διαχείρισης για την αποκατάσταση του εδάφους στην αστική περιοχή του Λαυρίου. Στο: Αλ. Δημητριάδης (συντάκτης), Περιβαλλοντικό σχέδιο διαχείρισης για την αποκατάσταση του εδάφους στην αστική περιοχή του Λαυρίου. Δημοσίευτη έκθεση, Ι.Γ.Μ.Ε., Αθήνα, Τόμος 4: 22-71.



I.G.M.E. - I.G.M.E.
Athens, December 1999
Αθήνα, Δεκέμβριος 1999



Preface

This is the final volume of the report of project “**Soil rehabilitation in the Municipality of Lavrion**”, which has been part-financed by the European Union (LIFE Programme, DG-XI) with contract number 93/GR/A14/GR/4576, and the Hellenic State. In this volume are included:

- a summary of the whole project,
- an environmental management plan for the rehabilitation of soil, which is the principal report of this volume, and is based on project results,
- a short report on landscape rehabilitation of metallurgical processing wastes with emphasis on covering with clean soil and vegetation, and
- a concise report on the socio-economic features of the Municipality of Lavreotiki.

It is noted that the four parts of this volume are written in Greek and English. The original plan was to present them in two separate volumes, *i.e.*, Volume 4 in English and Volume 5 in Greek. Finally, for technical reasons, it was decided to present all parts in one volume.

For a more detailed account of project results the other five volumes of the report should be consulted, *i.e.*,

- **Volume 1**:- Geochemical atlas of the Lavrion urban area for environmental protection and planning: Explanatory text.
- **Volume 1A**:- Geochemical atlas of the Lavrion urban area for environmental protection and planning: Tables and figures.
- **Volume 1B**:- Geochemical atlas of the Lavrion urban area for environmental protection and planning: Appendix reports.
- **Volume 2**:- Geochemical atlas of the Lavrion urban area for environmental protection and planning, and
- **Volume 3**: Environmental characterisation of Lavrion site – Development of remediation techniques

Alecos Demetriades
Editor

This report is dedicated to the Lavrion children for a better quality of life, and to the memories of Professor Antonis Kontopoulos and Nicos Demetriades, whose wish is fulfilled by this dedication

Εισαγωγή

Αυτό είναι ο τελευταίος τόμος της έκθεσης του έργου «**Αποκατάσταση εδάφους στο Δήμο Λαυρίου**», το οποίο χρηματοδοτήθηκε μερικώς από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Πρόγραμμα LIFE της XI Διεύθυνσης) με τον αριθμό σύμβασης 93/GR/A14/GR/4576, και το Ελληνικό Δημόσιο. Σ' αυτό τον τόμο συμπεριλαμβάνονται:

- Περίληψη ολόκληρου του έργου,
- Περιβαλλοντικό σχέδιο διαχείρισης για την αποκατάσταση του εδάφους, που αποτελεί την κύρια έκθεση αυτού του τόμου και βασίζεται στα αποτελέσματα του έργου,
- Σύντομη έκθεση για την αποκατάσταση του τοπίου στις αποθέσεις των μεταλλουργικών απορριμμάτων, με έμφαση στην κάλυψη με καθαρό έδαφος και φυτοκάλυψη και
- Περιεκτική έκθεση των κοινωνικο-οικονομικών χαρακτηριστικών του Δήμου Λαυρεωτικής.

Σημειώνεται, ότι και τα τέσσερα (4) τμήματα αυτού του τόμου είναι γραμμένα στα Ελληνικά και στα Αγγλικά. Το αρχικό σχέδιο ήταν η παρουσίασή τους σε δύο ξεχωριστούς τόμους, δηλ. Τόμος 4 στα Αγγλικά και Τόμος 5 στα Ελληνικά. Τελικά, αποφασίστηκε η παρουσίαση των επί μέρους εκθέσεων σε έναν τόμο για τεχνικούς λόγους.

Για πιο λεπτομερή περιγραφή των αποτελεσμάτων του έργου πρέπει να ανατρέχει κανείς στους άλλους πέντε (5) τόμους της έκθεσης, δηλ.:

- **Τόμος 1**:- Γεωχημικός άτλας της αστικής περιοχής του Λαυρίου για περιβαλλοντική προστασία και σχεδιασμό: Ερμηνευτικό κείμενο.
- **Τόμος 1A**:- Γεωχημικός άτλας της αστικής περιοχής του Λαυρίου για περιβαλλοντική προστασία και σχεδιασμό: Πίνακες και σχήματα.
- **Τόμος 1B**:- Γεωχημικός άτλας της αστικής περιοχής του Λαυρίου για περιβαλλοντική προστασία και σχεδιασμό: Εκθέσεις παραρτήματος.
- **Τόμος 2**:- Γεωχημικός άτλας της αστικής περιοχής του Λαυρίου για περιβαλλοντική προστασία και σχεδιασμό και
- **Τόμος 3**:- Περιβαλλοντικός χαρακτηρισμός περιοχής Λαυρίου – Ανάπτυξη τεχνικών αποκατάστασης

Αλέξανδρος Δημητριάδης
Συντάκτης

Αυτή η μελέτη είναι αφιερωμένη στα παιδιά του Λαυρίου για καλύτερη ποιότητα ζωής και στη μνήμη Του καθηγητή Αντώνη Κοντόπουλου και του Νίκου Δημητριάδη, η επιθυμία του οποίου εκπληρώνεται με αυτή την αφιέρωση

CONTENTS	Page
Summary – Περίληψη	1
Figures – Σχέδια	9
ENVIRONMENTAL MANAGEMENT PLAN FOR THE REHABILITATION OF SOIL IN THE LAVRION URBAN AREA	72
<i>Nikolaos Nikolaidis, Alecos Demetriades, Nymphodora Papassiopi, Panayiotis Theodoratos, Katerina Vergou-Vichou, Evripides Vassiliades, Nikos Varelidis and Alexandra Zamani</i>	
1.0. Introduction and project background	72
2.0. Project objectives	73
3.0. Evaluation of existing conditions	74
3.1. Overburden including residual soil	75
3.1.1. Establishing soil Screening Action Levels for Lavrion	75
3.2. Air	80
3.3. Ground water	80
3.4. Local produce	81
3.5. Health effects	82
4.0. Development of an environmental management plan	86
4.1. Environmental management plan objectives	86
4.2. Methodology for surgical remediation	86
4.3. Cost/benefit analysis for surgical remediation	94
4.4. Education – lifestyle	105
4.5. Legislative action	107
5.0. Discussion and conclusions	108
5.1. Evaluation of existing conditions	108
5.2. Environmental management plan	110
5.2.1. Cost/benefit analysis for surgical remediation	111
5.2.2. Education – lifestyle	112
5.2.3. Legislative action	112
References	113
Appendix A: Equations of Screening Action Levels	116
Appendix B: Calculations for direct exposure Screening Action Levels for Lavrion	120
Appendix 1A: LANDSCAPE REHABILITATION OF METALLURGICAL PROCESSING WASTES FROM THE TREATMENT OF ORE IN LAVRION	131
<i>Georgios Brofas</i>	
1.0. Introduction	131
2.0. Landscape modification	131
3.0. Covering of metallurgical wastes	132
4.0. Selection of plant species and plantation methods	133
4.1. Sowing by hand	134
4.2. Sowing by agricultural tractor	134
4.3. Simple hydro-sowing	134
4.4. Hydro-sowing with consolidator	134
4.5. Hydro-sowing with cellulose and fixative	135
4.6. Hydro-sowing with chaff covering and fixative	135
5.0. Planting	135
5.1. Seeding and planting	137
6.0. Conservation of surfaces	138
Acknowledgements	139
References	139

..... CONTENTS	Page
Appendix 2A: SOCIO-ECONOMIC CHARACTERISTICS OF THE MUNICIPALITY OF LAVREOTIKI	148
<i>Nikos Varelidis and Alexandra Zamani</i>	
1.0. Introduction	148
2.0. Population characteristics	148
3.0. Employment	150
4.0. Mortality	153
References	154

TITLE - ΤΙΤΛΟΣ	TABLES ΠΙΝΑΚΕΣ	FIGURES ΣΧΕΔΙΑ	PAGES ΣΕΛΙΔΕΣ
Summary – Περίληψη	-	-	8
Figures – Σχέδια	-	16	13
Περιβαλλοντικό σχέδιο διαχείρισης για την αποκατάσταση του Εδάφους στην αστική περιοχή του Λαυρίου	18	2	50
Παράρτημα 1: Αποκατάσταση του τοπίου στις αποθέσεις απορριμμάτων μεταλλουργικής επεξεργασίας ορυκτών στο Λαύριο	-	-	9
Παράρτημα 2: Κοινωνικο-Οικονομικά χαρακτηριστικά Δήμου Λαυρεωτικής	5	5	8
Environmental management plan for the rehabilitation of soil in the Lavrion urban area	18	2	50
Appendix 1A: Landscape rehabilitation of metallurgical processing wastes from the treatment of ore in Lavrion	-	-	9
Appendix 2A: Socio-economic characteristics of the Municipality of Lavreotiki	5	5	8
Total – Σύνολο:	46	30	155

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	Σελίδα
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΤΗΝ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΛΑΥΡΙΟΥ	22
<i>Νικόλαος Νικολαΐδης, Αλέξανδρος Δημητριάδης, Νυμφοδώρα Παττασιώπη, Παναγιώτης Θεοδωράτος, Αικατερίνη Βέργου-Βήγου, Ευριπίδης Βασιλειάδης, Νίκος Βαρελίδης και Αλεξάνδρα Ζαμάνη</i>	
1.0. Εισαγωγή και ιστορικό	22
2.0. Στόχοι του προγράμματος	23
3.0. Εκτίμηση των υπαρχουσών συνθηκών	24
3.1. Εδαφικό κάλυμμα συμπεριλαμβανομένου και του υπολειμματικού εδάφους	25
3.1.1. Θέσπιση Ορίων Λήψης Μέτρων για τα εδάφη του Λαυρίου	25
3.2. Αέρας	30
3.3. Υπόγεια ύδατα	31
3.4. Τοπική παραγωγή	32
3.5. Επιπτώσεις στην υγεία	33
4.0. Ανάπτυξη ενός περιβαλλοντικού σχεδίου διαχείρισης	37
4.1. Στόχοι του περιβαλλοντικού σχεδίου διαχείρισης	37
4.2. Μεθοδολογία για τις επεμβάσεις αποκατάστασης	37
4.3. Ανάλυση κόστους/οφέλους των επεμβάσεων αποκατάστασης	45
4.4. Επιμόρφωση – τρόπος ζωής	57
4.5. Νομοθετικές δράσεις	58
5.0. Συζήτηση και συμπεράσματα	60
5.1. Εκτίμηση της υπάρχουσας κατάστασης	60
5.2. Περιβαλλοντικό σχέδιο διαχείρισης	63
5.2.1. Ανάλυση κόστους/οφέλους για επεμβάσεις αποκατάστασης	64
5.2.2. Επιμόρφωση-τρόπος ζωής	65
5.2.3. Νομοθετικές δράσεις	65
Βιβλιογραφία	65
Παράρτημα Α: Εξισώσεις για Όρια Λήψης Μέτρων	66
Παράρτημα Β: Υπολογισμοί για Όρια Λήψης Μέτρων απ' ευθείας έκθεσης του πληθυσμού στο Λαύριο	70
Παράρτημα 1: ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΤΟΠΙΟΥ ΣΤΙΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΟΡΥΚΤΩΝ ΣΤΟ ΛΑΥΡΙΟ	122
<i>Γεώργιος Μπρόφας</i>	
1.0. Εισαγωγή	122
2.0. Διαμόρφωση αποθέσεων	123
3.0. Επικάλυψη των μεταλλουργικών απορριμμάτων	123
4.0. Επιλογή φυτικών ειδών και μεθόδων εγκατάστασης	124
4.1. Σπορά με το χέρι	125
4.2. Σπορά με γεωργικό ελκυστήρα	125
4.3. Απλή υδροσπορά	125
4.4. Υδροσπορά με στερεωτικό	126
4.5. Υδροσπορά με κυτταρίνη και στερεωτικό	126
4.6. Υδροσπορά με αχυροκάλυψη και στερέωση	126
5.0. Φύτευση	127
5.1. Η σπορά και η φύτευση	129
6.0. Συντήρηση των επιφανειών	129
Βιβλιογραφία	130

..... ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	Σελίδα
Παράρτημα 2: ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΗΜΟΥ ΛΑΥΡΕΩΤΙΚΗΣ	140
<i>Νίκος Βαρελίδης και Αλεξάνδρα Ζαμάνη</i>	
1.0. Εισαγωγή	140
2.0. Πληθυσμιακή κατάσταση	140
3.0. Απασχόληση του πληθυσμού	142
4.0. Θνησιμότητα	145
Βιβλιογραφία	146

SOIL REHABILITATION IN THE MUNICIPALITY OF LAVRION ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΤΟ ΔΗΜΟ ΛΑΥΡΙΟΥ

SUMMARY	ΠΕΡΙΛΗΨΗ
<p>Alecos Demetriades and Katerina Vergou-Vichou Institute of Geology and Mineral Exploration, 70 Messoghion Street, Athens Gr-115 27, Greece</p> <p>Nimphodora Papassiopi and Panayiotis Theodoratos Laboratory of Metallurgy, Department of Mining and Metallurgical Engineering, National Technical University of Athens, Zografou Campus, Gr-157 80 Athens, Greece</p> <p>Nikos Varelides and Alexandra Zamani PRISMA, Centre for Development Studies, 17 Empedocleous Street, Gr-116 35 Athens, Greece</p>	<p>Αλέξανδρος Δημητριάδης και Αικατερίνη Βέργου-Βήχου Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Μεσογείων 70, Αθήνα 115 27, Ελλάδα</p> <p>Νυμφοδώρα Παττασιώπη και Παναγιώτης Θεοδωράτος Εργαστήριο Μεταλλουργίας, Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Πολυτεχνειούπολη, Ζωγράφου, Αθήνα 157 80, Ελλάδα</p> <p>Νίκος Βαρελίδης και Αλεξάνδρα Ζαμάνη PRISMA, Κέντρο Αναπτυξιακών Μελετών, Εμπεδοκλέους 17, Αθήνα 116 35, Ελλάδα</p>
SOURCES OF FINANCE	ΠΗΓΕΣ ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗΣ
<p>The project “Soil Rehabilitation in the Municipality of Lavrion” with a budget of 1,362,910.54 Euro was financed by the LIFE programme of the XI Directorate of the European Union (Contract No.: 93/GR/A14/GR/4576) and Hellenic State Authorities (Municipality of Lavreotiki, Ministry of National Economy, Ministry of Environment, Planning and Public Works and General Secretariat of Science and Technology).</p>	<p>Το έργο «Αποκατάσταση Εδάφους στο Δήμο Λαυρίου» με προϋπολογισμό 1.362.910,54 Ευρώ χρηματοδοτείται από το πρόγραμμα LIFE της Ενδέκατης Διεύθυνσης της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Αρ. Σύμβασης: 93/GR/A14/GR/4576) και το Ελληνικό Δημόσιο (Δήμος Λαυρεωτικής, Υπουργείο Εθνικής Οικονομίας, Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων, Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας).</p>
PROJECT OBJECTIVES	ΣΤΟΧΟΙ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ
<p>The main objectives of the project were:</p> <ul style="list-style-type: none"> • To determine the present state of environmental pollution in the greater Lavrion area, focusing mainly on soil contamination, with respect to lead and other toxic elements. • To define the main sources of contamination in the area. • To select and apply methods, which will hinder the further contamination of soil by applying preventive measures at the contamination sources. • To select and apply remedial measures for the rehabilitation or neutralisation of contaminated land, and • To develop an integrated environmental management scheme for the greater Lavrion area. 	<p>Οι κύριοι στόχοι του έργου ήσαν:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ο προσδιορισμός της υπάρχουσας κατάστασης του περιβάλλοντος στην ευρύτερη αστική περιοχή του Λαυρίου, εστιάζοντας κυρίως στη ρύπανση του εδάφους από μόλυβδο και άλλα τοξικά στοιχεία. • Ο προσδιορισμός των κυριότερων πηγών ρύπανσης της περιοχής. • Η επιλογή και εφαρμογή μεθόδων, οι οποίες θα αποτρέψουν την περαιτέρω ρύπανση των εδαφών μέσω της εφαρμογής προληπτικών μέτρων στις πηγές της ρύπανσης. • Η επιλογή και εφαρμογή μέτρων αποκατάστασης για την εξυγίανση ή αδρανοποίηση των ρυπασμένων εδαφών και • Η ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου σχεδίου περιβαλλοντικής διαχείρισης της ευρύτερης αστικής περιοχής του Λαυρίου

INSTITUTIONS EXECUTING THE PROJECT	ΦΟΡΕΙΣ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ
<p>Project Coordinator: Municipality of Lavreotiki</p> <p>Project Management: PRISMA</p> <p>Scientific partners: Institute of Geology and Mineral Exploration (IGME) and National Technical University of Athens (NTUA)</p> <p>Project manager: Nikos Varelidis</p> <p>Project scientific team:</p> <p>IGME: Alecos Demetriades, Penelope Stavrakis, Katerina Vergou-Vichou and Evripides Vassiliades</p> <p>NTUA: Ioannis Paspaliaris, Nimphodora Papassiopi, Panayiotis Theodoratos and Stelios Tampouris</p> <p>PRISMA: Nikos Varelidis, Julia Drossinou, Georgios Brofas and Alexandra Zamani</p> <p>Collaborating scientists: Nicos Vlachoyiannis and Vassilis Makropoulos</p> <p>Consultants:</p> <p>British Geological Survey Imperial College of Science, Technology and Medicine, University of London, Knight, Piesold & Partners, United Kingdom Nikos Nikolaidis, University of Connecticut</p>	<p>Ανάδοχος του έργου: Δήμος Λαυρεωτικής</p> <p>Διαχείριση του Έργου: Εταιρεία PRISMA</p> <p>Επιστημονικοί εταίροι: Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (IGME) και Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ)</p> <p>Συντονιστής του Έργου: Νίκος Βαρελίδης</p> <p>Επιστημονική ομάδα έργου:</p> <p>IGME: Αλέξανδρος Δημητριάδης, Πηνελόπη Σταυράκη, Αικατερίνη Βέργου-Βήχου και Ευριπίδης Βασιλειάδης</p> <p>ΕΜΠ: Ιωάννης Πασπαλιάρης, Νυμφοδώρα Παπασιώπη, Παναγιώτης Θεοδωράτος και Στέλιος Ταμππούρης</p> <p>PRISMA: Νίκος Βαρελίδης, Τζούλια Δροσινού, Γεώργιος Μπρόφας και Αλεξάνδρα Ζαμάνη</p> <p>Συνεργαζόμενοι Επιστήμονες: Νίκος Βλαχογιάννης και Βασίλης Μακρόπουλος</p> <p>Εμπειρογνώμονες:</p> <p>Βρετανική Γεωλογική Υπηρεσία Βασιλικό Κολλέγιο Επιστήμης, Τεχνολογίας και Ιατρικής, Πανεπιστήμιο Λονδίνου Knight, Piesold & Partners, Ηνωμένο Βασίλειο Νίκος Νικολαΐδης, University of Connecticut</p>
HISTORY	ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ
<p>The Municipality of Lavreotiki, with centre the town of Lavrion, occupies the eastern part of Lavreotiki peninsula (Fig. 1), which is situated in the south-eastern tip of Attiki Prefecture.</p> <p>According to archaeological evidence, it is certain that mining of the valuable mineral, silver bearing galena, which provided the financial means for the civilisations that flourished in the ancient Aegean, began about 3500 BC. The mines closed at the end of the 2nd century BC.</p> <p>Andreas Cordellas in 1860 AD, was the first to foresee the potential of exploitation of ancient slag and mine tailings, which were estimated to be a few million tonnes. The recent history of ore exploitation began in 1864 AD, when the Italian J.B. Serpieri founded at “Ergastiri”, the present port of Lavrion, the metallurgical company Roux</p>	<p>Ο Δήμος Λαυρεωτικής, με κέντρο την πόλη του Λαυρίου, καταλαμβάνει το ανατολικό τμήμα της Λαυρεωτικής χερσονήσου (Σχ. 1), η οποία βρίσκεται στο νοτιοανατολικό άκρο του Νομού Αττικής.</p> <p>Σύμφωνα με τα αρχαιολογικά ευρήματα, είναι βέβαιο ότι η εξαγωγή του πολύτιμου ορυκτού, του αργυρούχου γαληνίτη, το οποίο τροφοδότησε οικονομικά όλους τους μεγάλους πολιτισμούς που άνθισαν στο αρχαίο Αιγαίο, άρχισε περίπου στα 3500 π.Χ. Στα τέλη του 2ου π.Χ. αιώνα τα μεταλλεία έκλεισαν.</p> <p>Ο Ανδρέας Κορδέλας, το 1860, ήταν ο πρώτος που διέβλεψε την προοπτική της εκμετάλλευσης των αρχαίων σκουριών και εκβολάδων, οι οποίες ανέρχονταν σε πολλά εκατομμύρια τόνους. Η νεώτερη ιστορία της εκμετάλλευσης των κοιτασμάτων άρχισε το 1864 μ.Χ. όταν ο Ιταλός Σερπιέρη ίδρυσε στη</p>

Serpieri Fressynet C.A. Hence, the first metallurgical company was created with castillian type kilns, small washing plants, engineering section, and a train. In 1865 AD the production of silver bearing lead began once again from the treatment of ancient slag and mine tailings, and after the second year new ore exploitation followed.

In 1873 AD the company Roux Serpieri Fressynet C.A. was purchased by the representative of the Bank of Constantinople, Anreas Syngros, and was renamed Société des Usines du Laurium. In 1876 AD Serpieri founded at "Kiprianos", a larger company, the Compagnie Française des Mines du Laurium, at which sulphide and other ore were treated, such as sphalerite, pyrite, galena, cerussite and smithsonite. The main centres of ore exploitation were Kamariza, Souriza and Plaka. Lavrion with all these activities was revived, and became one of the most significant mining-metallurgical centres in Europe.

Kamariza (the present Ayios Constantinos) was the centre of mining operations, not only in ancient times, but in recent years. Here in 1869 AD the first tunnel was excavated for the first railway line in Greece, which transported ore to the port of Lavrion.

The working and living conditions of the miners were particularly hard. For this reason there were repetitive strikes demanding better working conditions. The "Lavreotiki events" were very significant for the current workers movement in Greece, which gives a special value to the town of Lavrion.

In 1977 the mines closed completely and in 1989 the metallurgy. In 1992 the installations of Compagnie Française des Mines du Laurium were purchased by the Hellenic State with the aim to create a Technological-Cultural Park, a project undertaken by the National Technical University of Athens.

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

Το 1873 μ.Χ. η Roux Serpieri Fressynet C.A. αγοράστηκε από τον εκπρόσωπο της Τράπεζας Κωνσταντινουπόλεως Ανδρέα Συγγρό και μετωνομάστηκε σε Εταιρεία των Μεταλλουργείων Λαυρίου. Το 1876 μ.Χ. 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. Τα κύρια κέντρα εξόρυξης ήσαν στην Καμάριζα-Σούριζα-Πλάκα. Με όλα αυτά το Λαύριο αναβίωσε και έγινε ένα από τα σπουδαιότερα μεταλλευτικά-μεταλλουργικά κέντρα στην Ευρώπη.

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 μ.Χ. η πρώτη υπόγεια σήραγγα για να περάσει η πρώτη σιδηροδρομική γραμμή της Ελλάδας, που μετέφερε τα μεταλλεύματα στο λιμάνι του Λαυρίου.

Οι συνθήκες εργασίας και διαβίωσης των μεταλλωρύχων ήταν ιδιαίτερα σκληρές. Γι' αυτό το λόγο έγιναν αλληπάλληλες 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.

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.

EPIDEMIOLOGICAL STUDIES

The problems and effects of contamination in the Lavrion urban area were detected to begin with by cross-sectional epidemiological studies in the 1980's, with the conclusion that children

ΕΠΙΔΗΜΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ

Το πρόβλημα και οι συνέπειες της ρύπανσης στην περιοχή του Λαυρίου επισημάνθηκαν αρχικά με επιδημιολογικές έρευνες κατά τη δεκαετία του '80, οι οποίες κατέληξαν στο

of nursery and primary school age had a severe problem of Pb-poisoning (plumbosis). Their system, had also, high concentrations of arsenic. The last cross-sectional epidemiological study, which was carried out in 1988 on 235 children from Lavrion, has shown that (Fig. 10):-

Concentrations of Lead in child blood:

- 90% of children had more than 100 micrograms of lead per litre of blood
- 50% had more than 180 micrograms of lead per litre of blood
- 10% had more than 310 micrograms of lead per litre of blood, whereas
- 5% had more than 380 micrograms of lead per litre of blood.

It is noted that 100 µg Pb/litre of blood is the upper acceptable limit for children (i.e., 10 µg Pb/100 ml or 10 µg Pb/decilitre).

Concentrations of Arsenic in child urine:

- 8.4% of children had more than 20 micrograms of arsenic in 24 hour urine
- 5.0% had more than 65.9 micrograms of arsenic in 24 hour urine.

It is noted that 20 µg of Arsenic (As) in 24 hour urine is the upper acceptable limit for children (20 µg As/24 hr).

Results of the cross-sectional epidemiological studies have shown that there is a strong correlation between high blood lead levels in children and their composite mental functions, i.e., intelligent quotient, etc. Further, medical research has observed a correlation between blood lead contents and a comparative reduction in their development, especially with respect to the circumference of their head and chest.

συμπέρασμα, ότι τα παιδιά προσχολικής και σχολικής ηλικίας της περιοχής έχουν σημαντικό πρόβλημα μολυβδίασης. Ο οργανισμός τους περιέχει, επίσης, υψηλές συγκεντρώσεις αρσενικού. Η τελευταία επιδημιολογική έρευνα, που έγινε το 1988 σε 235 παιδιά του Λαυρίου, έδειξε ότι (Σχ. 10):

Συγκεντρώσεις Μολύβδου στο αίμα των παιδιών:

- Το 90% των παιδιών έχουν περισσότερο από 100 εκατομμυριοστά του γραμμαρίου μολύβδου ανά λίτρο αίματος.
- Το 50% έχουν περισσότερο από 180 εκατομμυριοστά του γραμμαρίου μολύβδου ανά λίτρο αίματος.
- Το 10% έχουν περισσότερο από 310 εκατομμυριοστά του γραμμαρίου μολύβδου ανά λίτρο αίματος.
- Ενώ το 5% έχουν περισσότερο από 380 εκατομμυριοστά του γραμμαρίου μολύβδου ανά λίτρο αίματος.

Σημειώνεται ότι το ανώτατο αποδεκτό όριο Μολύβδου (Pb) στο αίμα των παιδιών είναι 100 εκατομμυριοστά του γραμμαρίου μολύβδου ανά λίτρο αίματος (δηλ., 100 µg Pb/litre ή 10 µg/100 ml ή 10 µg Pb/dl).

Συγκεντρώσεις Αρσενικού στα ούρα των παιδιών:

- Το 8,4% των παιδιών έχουν περισσότερο από 20 εκατομμυριοστά του γραμμαρίου αρσενικού στα ούρα του 24ώρου.
- Ενώ το 5% έχουν περισσότερο από 65,9 εκατομμυριοστά του γραμμαρίου αρσενικού στα ούρα του 24ώρου.

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).

Τα αποτελέσματα των επιδημιολογικών ερευνών έδειξαν, ότι υπάρχει ισχυρή συσχέτιση μεταξύ των επιπέδων μολύβδου στο αίμα των παιδιών 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.

METALLURGICAL WASTES AND SOIL CONTAMINATION

The geographical distribution of contamination in relation to metallurgical processing wastes, has been mapped in detail by IGME. The metallurgical wastes, constitute the major source of contamination, and can be grouped into three broad categories.

The **flotation residues** or tailings from the beneficiation of ore, which are called “savoura” by the inhabitants of Lavrion, cover a significant part of the residential area (Figs. 4-8). They extend from the Alako factory, cover the larger part of “Prasini Alepou”, the area with the sports installations, the Mineralogical Museum, the Secondary School, and almost reach the smelter of the French Company. They contain high concentrations of toxic elements, such as lead, cadmium, arsenic, antimony, etc. The flotation residues are considered the most hazardous metallurgical processing waste, because a large part of the town of Lavrion is built over it, and the local population, and children especially, come in contact with the contaminated material (Figs. 5-8).

Pyritiferous tailings are wastes from the beneficiation of ore. Pyrite, apart from high toxic element contents, is oxidised by the action of air and rain, and produces acid drainage, i.e., the water coming into contact with pyrite becomes acid and highly contaminated. Pyritiferous tailings are found mainly along the coastal part of Thorikon and at Kavodokanos.

Slag is the waste from the melting of ore for the production of silver bearing lead. They are found round natural hills in the southern and northern part of Lavrion and on beaches. They have been used as hardcore for road construction, etc.

The great area covered by the metallurgical processing wastes, their continuous shifting from one place to another, and their use by the inhabitants, as well as transportation of their fine-grained component by strong winds, blowing in the area, has resulted in the multi-element contamination of soil (Fig. 9).

Due to the above mentioned reasons the soil of the Lavrion urban area is at the present time, as a whole, heavily contaminated.

ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΚΑ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΑ ΚΑΙ ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Η γεωγραφική κατανομή της ρύπανσης, σε σχέση με τα μεταλλουργικά απορρίμματα, χαρτογραφήθηκε λεπτομερώς από το ΙΓΜΕ. Τα μεταλλουργικά απορρίμματα, που αποτελούν την κύρια πηγή ρύπανσης μπορούν να ομαδοποιηθούν σε τρεις κύριες κατηγορίες:

Τα **απορρίμματα επίπλευσης** του μεταλλεύματος, που ονομάζονται από τους κατοίκους του Λαυρίου «σαβούρα», κατέχουν τη μεγαλύτερη έκταση (Σχ. 4-8). Εκτείνονται από το εργοστάσιο της 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. Περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις τοξικών στοιχείων, όπως μόλυβδος, κάδμιο, αρσενικό, αντιμόνιο κ.ά. Η «σαβούρα» θεωρείται το πλέον επικίνδυνο μεταλλουργικό απόρριμμα, δεδομένου ότι 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 (Σχ. 5-8).

Οι **σκωρίες** ή κοινώς **σκουριές** είναι τα απορρίμματα από τη τήξη του μεταλλεύματος για την παραγωγή του αργυρούχου μολύβδου. Βρίσκονται γύρω από φυσικούς λόφους στο νότιο και βόρειο τμήμα του Λαυρίου και στις παραλίες. Έχουν χρησιμοποιηθεί ως υλικό επίστρωσης δρόμων, κ.ά.

Οι **σιδηροπυρίτες** είναι απορρίμματα του εμπλουτισμού του μεταλλεύματος. 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 και ιδιαίτερα ρυπασμένα. Οι σιδηροπυρίτες βρίσκονται κυρίως στην παραλία του κόλπου του Θορικού και στον Καβοδόκανο.

Η μεγάλη έκταση που καταλαμβάνουν τα μεταλλουργικά απορρίμματα, η συνεχής μεταφορά τους από μία θέση σε άλλη και η χρησιμοποίησή τους από τους κατοίκους, καθώς και η μεταφορά του λεπτόκοκκου υλικού αυτών από τους δυνατούς ανέμους που πνέουν στην περιοχή, έχουν ως αποτέλεσμα την πολυστοιχειακή ρύπανση του εδάφους (Σχ. 9).

Γι' αυτούς τους λόγους σήμερα το έδαφος της αστικής και ευρύτερης περιοχής του Λαυρίου είναι στο σύνολό του έντονα ρυπασμένο.

DEMONSTRATION SCALE REHABILITATION PROJECTS

At the NTUA laboratory different rehabilitation technologies were studied, and the most efficient applied at a demonstration scale at the following sites (Figs. 7-8):

Site rehabilitation

1. At the “Kavodokanos” site for the neutralisation of pyrite or sulphide tailings, and
2. At the “Neraki” site for the stabilisation of flotation residues or the oxidised carbonate wastes.

Site description

“**Kavodokanos**”: The site was flattened and divided into four equal sections. One was kept as control site and covered only by clean soil. The remaining three sections were encapsulated by:

- synthetic geomembrane
- compacted clay, and
- carbonate material,

and subsequently covered by clean soil. Appropriate lysimeters were constructed below the four sections to measure the amount, and control the quality, of percolated water.

“**Neraki**”: The site was flattened and divided into six longitudinal equidimensional sections, separated by a strip of one metre width. One section was kept as a control site, and in the other five, the flotation residues were thoroughly mixed with five different mixtures of organic and inorganic materials, and a mixture of seeds sowed, to concurrently achieve chemical stabilisation of contaminants and to develop a plant cover. The same mixture of seeds were sowed also in the control section. The five different stabilisers were:

- phosphate fertiliser and compost
- fly ash and compost
- biological sludge and fly ash
- biological sludge and phosphate fertiliser
- biological sludge.

ΠΙΛΟΤΙΚΑ ΕΡΓΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Στο Εργαστήριο του ΕΜΠ εξετάστηκαν διάφορες τεχνολογίες αποκατάστασης και οι αποτελεσματικότερες εφαρμόστηκαν, σε επιδεικτική κλίμακα, στις ακόλουθες επιλεγμένες θέσεις:

Τοποθεσίες Επεμβάσεων

1. Στη θέση «Καβοδόκανος», για την αδρανοποίηση των σιδηροπυριτών ή των θειούχων απορριμμάτων, και
2. Στη θέση «Νεράκι», για τη σταθεροποίηση της σαβούρας ή των οξειδωμένων-ανθρακικών απορριμμάτων.

Περιγραφή θέσης

«**Καβοδόκανος**»: Η περιοχή εξομαλύνθηκε και χωρίστηκε σε τέσσερα ίσα επίπεδα τμήματα. Το ένα διατηρήθηκε ως περιοχή ελέγχου και καλύφθηκε μόνο με έδαφος. Τα υπόλοιπα τρία καλύφθηκαν με:

- Συνθετική γεωμεμβράνη,
- Συμπιεσμένη άργιλο, και
- Ασβεστολιθικό υλικό

και ακολούθως καλύφθηκαν με καθαρό έδαφος. Κάτω από τα τέσσερα τμήματα κατασκευάστηκαν ειδικά λυσίμετρα για τη μέτρηση της ποσότητας των νερών κατεύθυνσης και τον έλεγχο της ποιότητάς τους.

«**Νεράκι**»: Η περιοχή εξομαλύνθηκε και διαχωρίστηκε σε έξι επιμήκη τμήματα ίσων διαστάσεων. Το ένα διατηρήθηκε ως περιοχή ελέγχου και στα υπόλοιπα πέντε, τα απορρίμματα εμπλουτισμού (σαβούρα) αναμίχθηκαν με πέντε διαφορετικά μίγματα οργανικών και ανόργανων υλικών και στη συνέχεια έγινε η σπορά μίγματος σπόρων, για να επιτευχθεί ταυτόχρονα η χημική σταθεροποίηση των ρύπων και η ανάπτυξη φυτοκαλύμματος. Το ίδιο μίγμα σπόρων χρησιμοποιήθηκε στο τμήμα ελέγχου. Τα πέντε διαφορετικά υλικά σταθεροποίησης ήταν:

- Φωσφορικό λίπασμα και compost
- ιπτάμενη τέφρα και compost
- βιολογική λάσπη και ιπτάμενη τέφρα
- βιολογική λάσπη και φωσφορικό λίπασμα
- βιολογική λάσπη.

Effectiveness of rehabilitation methods**Αποτελεσματικότητα των μεθόδων αποκατάστασης**

“**Kavodokanos**”: The pilot project works were completed in October 1996, and since then the project is under continuous monitoring. At the control site, as from January 1998, continuous infiltration of water is observed. The volume of collected water corresponds to approximately 21 cubic metres per year per 1000 m², and its contaminant load is considerably high. Covering of pyrite with synthetic geomembrane and compacted clay proved to be very effective techniques. During the three years of continuous monitoring of the project, infiltration of water from both sections was essentially zero.

“**Neraki**”: The plant cover was completed in December 1997. The project is at present going through its the second year of development. The control section remains completely bare, whereas in the five stabilised sections vegetation is successfully being reproduced, thus creating the necessary protective cover for reducing the aerial transportation of material.

«**Καβοδόκανος**»: Οι πιλοτικές εργασίες ολοκληρώθηκαν τον Οκτώβριο του 1996 και από τότε το έργο βρίσκεται υπό συνεχή παρακολούθηση. Στην περιοχή ελέγχου παρατηρείται από τον Ιανουάριο του '98 συνεχής αποστράγγιση νερών. Η ποσότητα του ληφθέντος νερού αντιστοιχεί περίπου σε 21 κυβικά μέτρα το χρόνο ανά στρέμμα και η επιβάρυνσή του σε ρύπους είναι εξαιρετικά υψηλή. Η κάλυψη των σιδηροπυριτών με συνθετική γεωμεμβράνη και συμπιεσμένη άργιλο αποδείχτηκαν αποτελεσματικές. Στα τρία χρόνια παρακολούθησης του έργου η αποστράγγιση νερών και στις δύο περιοχές είναι ουσιαστικά μηδενική.

«**Νεράκι**»: Οι εργασίες φυτοκάλυψης πραγματοποιήθηκαν τον Δεκέμβριο του 1997. Βρισκόμαστε σήμερα στο τέλος της δεύτερης περιόδου ανάπτυξης. Η περιοχή ελέγχου έχει μείνει τελείως γυμνή, ενώ στις 5 σταθεροποιημένες ζώνες η βλάστηση αναπαράγεται με επιτυχία, δημιουργώντας το απαραίτητο προστατευτικό κάλυμμα, για την καταστολή της αέριας μεταφοράς του υλικού.

INTEGRATED ENVIRONMENTAL MANAGEMENT SCHEME**ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟ ΣΧΕΔΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ**

Development of an integrated environmental management scheme for the greater Lavrion urban area constitutes the ultimate aim of the whole study. For its realisation appropriate data, generated during the project, were used, *i.e.*, geochemical distribution maps of toxic elements, metallurgical processing wastes map, land use map, hazard and child exposure assessment maps, pilot project rehabilitation techniques, *etc.* (Figs. 7, 9, 11 & 16).

The map of the degree of child exposure to different contamination sources, shows exposure ratings in the Lavrion urban area (Fig. 11).

Human exposure assessment to environmental contamination is defined by the concentration of a contaminant (e.g., in air, soil, water) and the available quantity for inhalation and ingestion or dermal absorption.

Utilisation of conclusions, resulting from the work carried out, and after considering the effectiveness and cost of alternative technologies for rehabilitation (Fig. 13), the planning and gradual application of remediation actions could start.

Η ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου σχεδίου περιβαλλοντικής διαχείρισης της ευρύτερης αστικής περιοχής του Λαυρίου αποτελεί το στόχο της όλης μελέτης. Για την επίτευξή του χρησιμοποιήθηκαν όλα τα στοιχεία (π.χ. γεωχημικοί χάρτες κατανομής των τοξικών στοιχείων, χάρτης μεταλλουργικών απορριμμάτων, χάρτης χρήσης γης, χάρτης εκτίμησης της επικινδυνότητας και του βαθμού έκθεσης των παιδιών, πιλοτικές εφαρμογές τεχνικών αποκατάστασης κ.ά.), που προέκυψαν από την υλοποίηση του έργου (Σχ. 7, 9, 11 & 16).

Ο χάρτης εκτίμησης του βαθμού έκθεσης των παιδιών στις διάφορες πηγές ρύπανσης, απεικονίζει τη διαβάθμιση της έκθεσης στην αστική περιοχή του Λαυρίου (Σχ. 11).

Η εκτίμηση της έκθεσης του ανθρώπου στην περιβαλλοντική ρύπανση ορίζεται από τη συγκέντρωση ενός ρύπου (π.χ. στον αέρα, έδαφος, νερό) και τη διαθέσιμη για κατάποση, εισπνοή ή απορρόφηση από το δέρμα ποσότητα.

Αξιοποιώντας τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τις πραγματοποιηθείσες εργασίες και λαμβάνοντας υπόψη την αποτελεσματι-

The cost/benefit index map (Fig. 14) shows the distribution of the ratio of the cost index (Fig. 13) in relation to the benefit index (Fig. 12) of the recommended rehabilitation methods for the Lavrion urban environment (Fig. 14). For its compilation the degree of child exposure to environmental contaminants (Fig. 11), and other parameters were used, taking into account that the required objective is the rehabilitation of the environment, in an appropriate manner, to reduce child exposure to toxic elements derived from the metallurgical processing wastes and contaminated soil.

It is noted that the lower the cost/benefit index, the higher is the priority for rehabilitation of that particular site.

κότητα και το κόστος των εναλλακτικών τεχνολογιών αποκατάστασης (Σχ. 13), μπορεί να αρχίσει άμεσα ο προγραμματισμός και η σταδιακή υλοποίηση των έργων εξυγίανσης της περιοχής.

Ο χάρτης του δείκτη κόστους/οφέλους (Σχ. 14) δείχνει την κατανομή του λόγου του δείκτη κόστους (Σχ. 13) ως προς το δείκτη οφέλους (Σχ. 12) των προτεινόμενων μεθόδων αποκατάστασης της αστικής περιοχής του Λαυρίου. Για την κατασκευή αυτού του χάρτη χρησιμοποιήθηκε ο βαθμός έκθεσης των παιδιών στους περιβαλλοντικούς ρύπους (Σχ. 11), καθώς και άλλοι παράμετροι, δεδομένου ότι το ζητούμενο είναι η αποκατάσταση του περιβάλλοντος με τρόπο ώστε, να ελαχιστοποιηθεί η έκθεση των παιδιών στα τοξικά στοιχεία προερχόμενα από τα απορρίμματα της μεταλλουργίας και του ρυπασμένου εδάφους.

Διευκρινίζεται, ότι όσο πιο χαμηλή είναι η τιμή του δείκτη κόστους/οφέλους, τόσο μεγαλύτερη προτεραιότητα για αποκατάσταση έχει η συγκεκριμένη περιοχή.

The cost of rehabilitation of the Lavrion urban area is very high, but the investment is worth while for the health of children and the local population in general is of far greater significance.

Το κόστος για την αποκατάσταση της αστικής περιοχής του Λαυρίου είναι πολύ μεγάλο, όμως αξίζει να γίνει αυτή η επένδυση, δεδομένου ότι η υγεία των παιδιών και γενικότερα του τοπικού πληθυσμού είναι ανεκτίμητη.

However, until the completion of rehabilitation of the environment in Lavrion, the local population must change its habits. For this purpose, some basic instructions are given on the next two pages. Further, the video film with project work and results could help the inhabitants to realise the serious problems of environmental contamination, and the reasons that impose changes to their life-styles.

Μέχρι όμως να ολοκληρωθεί η αποκατάσταση του περιβάλλοντος στο Λαύριο, ο τοπικός πληθυσμός πρέπει να αλλάξει τις συνήθειές του. Για αυτό το σκοπό στις επόμενες δύο σελίδες δίνονται μερικές βασικές οδηγίες. Επίσης, η βιντεοταινία με τις εργασίες και τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής μπορεί να βοηθήσει τους κατοίκους να κατανοήσουν τα σοβαρά προβλήματα ρύπανσης του περιβάλλοντος και τους λόγους που επιβάλλουν την αλλαγή του τρόπου ζωής τους.

ΒΑΣΙΚΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ ΠΡΟΣ ΤΟΥΣ ΚΑΤΟΙΚΟΥΣ BASIC INSTRUCTIONS TO THE INHABITANTS

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

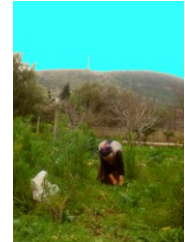
Until the rehabilitation of the Lavrion urban environment is completed, the local population must change certain habits and activities, such as:



X

- Να μην καλλιεργούνται λαχανικά, ελιές και αμπέλια. Είναι γνωστό, ότι όλα αυτά τα φυτά προσλαμβάνουν μεγάλες ποσότητες τοξικών στοιχείων.
- Not to cultivate vegetables, olive trees and vines. It is known that all these plants accumulate large quantities of toxic elements.

X



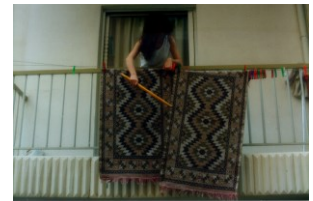
- Να σταματήσει η συλλογή άγριων χόρτων από όλη την περιοχή, δεδομένου ότι και αυτά τα φυτά προσλαμβάνουν μεγάλες ποσότητες τοξικών στοιχείων, οι οποίες είναι επικίνδυνες για την υγεία μας.
- Gathering and consumption of wild green plants should stop, for these plants also accumulate large quantities of toxic elements, which are hazardous to human health.



✓

- 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.
- House cleaning must be done with an electric vacuum cleaner or wet moping, and not with traditional methods, i.e., common broom, because dust is created, which is inhaled and, further, it is transported to other places within the home.

X



- Να μην τινάζονται τα χαλιά και οι κουρελούδες.
- Carpets and rugs must not be shaken or beaten with a stick.



✓

- Δεν πρέπει να γίνεται το ξεσκόνισμα με φτερό, αλλά να χρησιμοποιείται ελαφρώς βρεγμένο πανί.
- Dusting must not be done with a feather, but a lightly moist cloth should be used instead.

- 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.
- Children must not play with soil, for apart from inhalation, toxic elements could enter their body through ingestion, because of hand-to-mouth activity, as well as by dermal absorption.

X



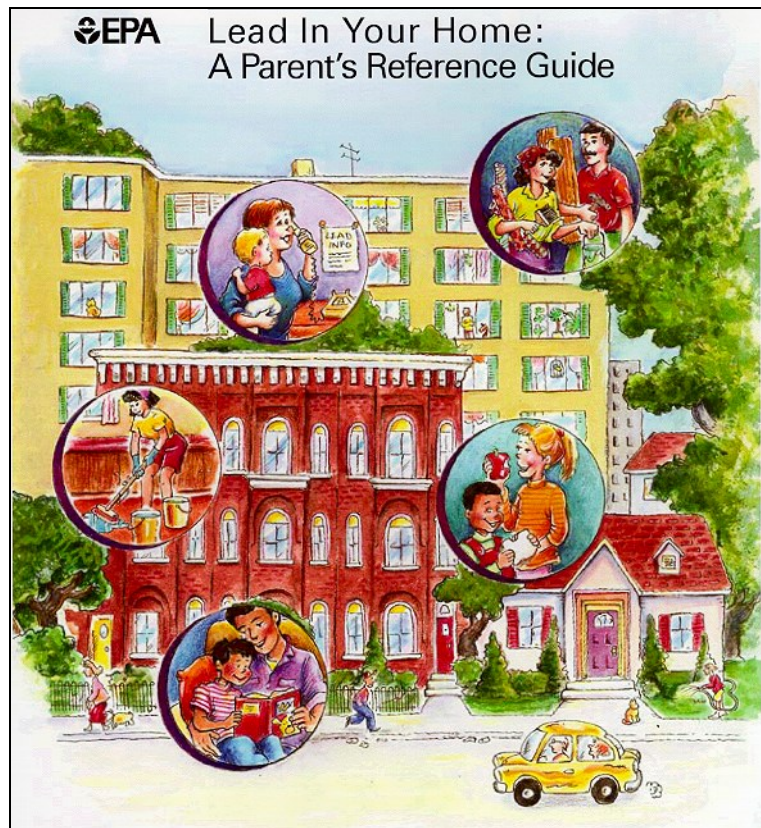
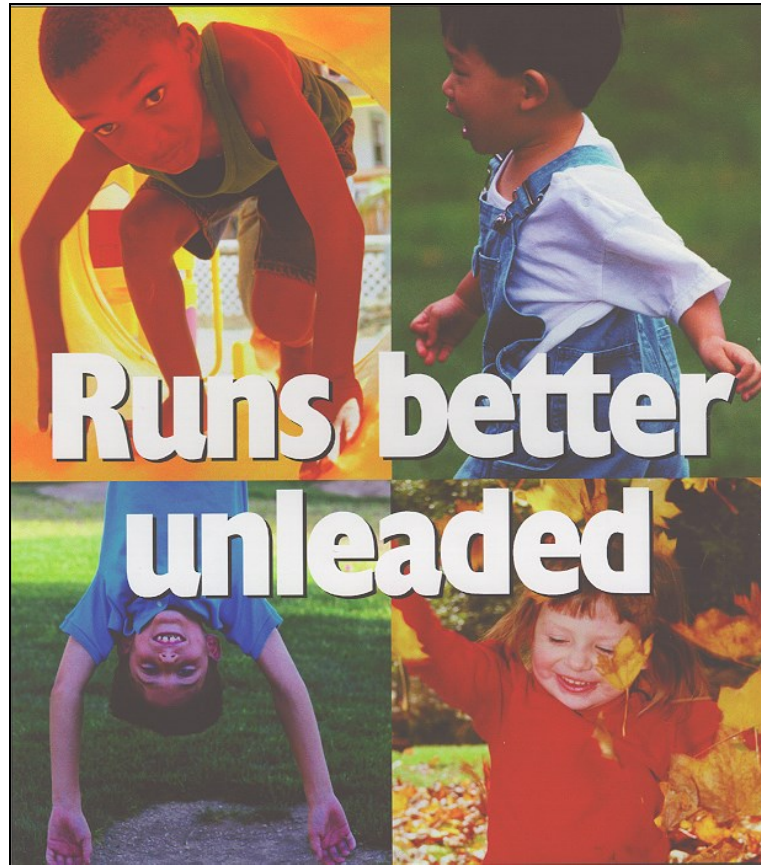
✓

- Τα παιδιά πρέπει να μάθουν να πλένουν συχνά τα χέρια τους και ιδιαίτερα πριν το φαγητό.
- Children must learn to wash their hands often and, especially before meals.

- Το φαγητό πρέπει να σκεπάζεται και να μην μένει ποτέ εκτεθειμένο στη σκόνη για μεγάλο χρονικό διάστημα.
- Food must be covered, and should not remain expose to dust for a long time.

✓





The Environmental Protection Agency of the United States of America stresses that children **“Run better unleaded”** and has published a very useful Guide for parents. The Municipality of Lavreotiki should translate this Guide into Greek and distribute it to Lavrion residents.

Η Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής επισημαίνει ότι τα παιδιά **«Τρέχουν καλύτερα αμόλυβδα»** και έχει εκδόσει ένα πολύ χρήσιμο Οδηγό για γονείς. Ο Δήμος Λαυρεωτικής πρέπει να μεταφράσει αυτό τον Οδηγό στα Ελληνικά και να τον διανείμει στους κατοίκους του Λαυρίου.



Fig. 1. Maps showing the location of Lavrion and the study area.
 Σχ. 1. Χάρτες που δείχνουν τη γεωγραφική θέση του Λαυρίου και την περιοχή μελέτης.

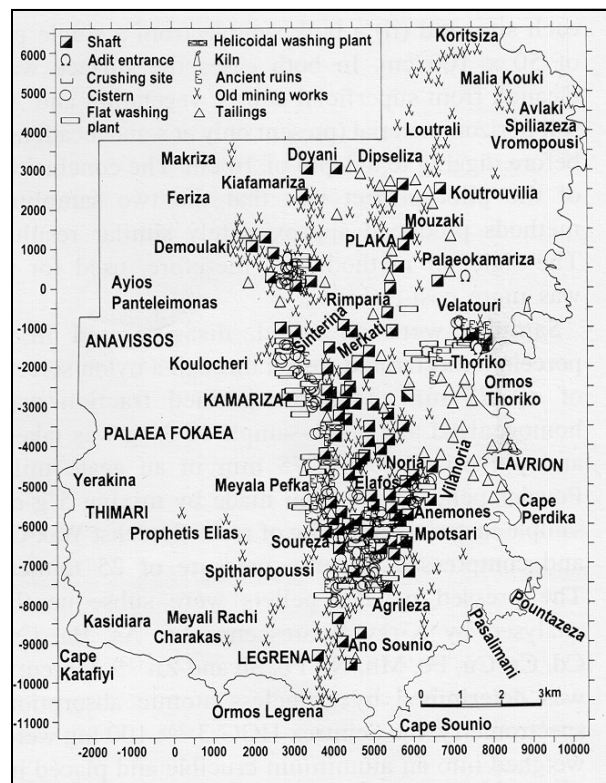


Fig. 2. Map of Lavreotiki peninsula showing ancient and recent mining and metallurgical sites (from Demetriades *et al.*, 1996, Fig. 3, p.9; see also Map 1.2 in Volume 2. Information from Conophagos, 1980, and observations by A. Demetriades, K. Vergou-Vichou and P. Stavrakis).
 Σχ. 2. Χάρτης της Λαυρεωτικής χερσονήσου με αρχαίες και σύγχρονες μεταλλευτικές και μεταλλουργικές εργασίες (από Demetriades *et al.*, 1996, Fig. 3, p.9. Πληροφορίες από Κονοφάγο, 1980, και παρατηρήσεις από Αλ. Δημητριάδη, Αικ. Βέργου-Βήχου και Π. Σταυράκη).



Fig. 3. Mines and disposed mining wastes in the valley of Agios Constantinos.
Σχ. 3. Μεταλλεία και μεταλλευτικά απορρίμματα στην κοιλάδα του Αγίου Κωνσταντίνου.



Fig. 4. Metallurgical processing wastes at Kavodokanos-Thorikon in Lavrion. In the foreground pyritiferous tailings (red to yellow-brown) on which the demonstration scale rehabilitation techniques were applied, and in the central part lumpy and pelletised slag, and sand-blast wastes (black to grey-black).

Σχ. 4. Μεταλλουργικά απορρίμματα στις περιοχές Καβοδόκανο-Θορικό του Λαυρίου. Στο πρώτο πλάνο είναι τα πυριτούχα απορρίμματα (κόκκινο έως κιτρινοκαφέ), όπου εφαρμόστηκαν οι τεχνικές αποκατάστασης σε κλίμακα επίδειξης και στο κεντρικό πλάνο τα πλινθώματα και συσφαιρώματα σκουριάς και τα υλικά αμμοβολής (μαύρο έως γκριζόμαυρο).



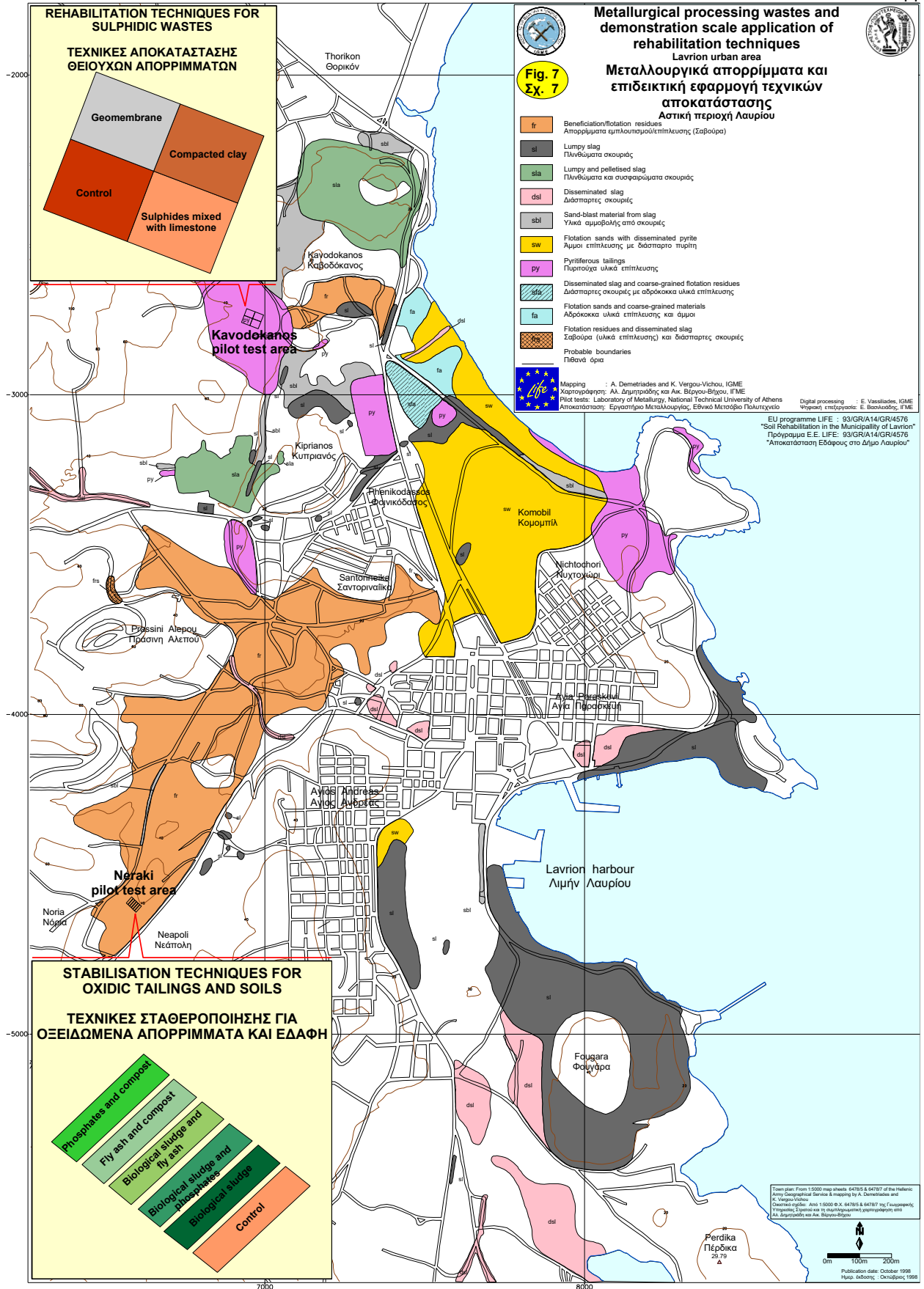
Fig. 5. Houses sited on and olive trees and vines (dark brown stumps) grown on flotation residues.

Σχ. 5. Σπίτια κτισμένα πάνω στα απορρίμματα εμπλουτισμού και ελαιόδενδρα και αμπέλια που καλλιεργούνται πάνω σ' αυτά.



Fig 6. A local lady collecting wild green vegetables from a contaminated area in Lavrion.

Σχ. 6. Κάτοικος του Λαυρίου μαζεύει άγρια χόρτα από ρυπασμένη περιοχή.



PILOT SCALE REHABILITATION OF PYRITIFEROUS TAILINGS, ΚΑΒΟΔΟΚΑΝΟΣ
ΠΙΛΟΤΙΚΟ ΕΡΓΟ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΠΥΡΙΤΟΥΧΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ, ΚΑΒΟΔΟΚΑΝΟΣ



(a) Pyritiferous tailings.
Πυριτούχα απορρίμματα.



(b) Acid drainage (pH~1.5-2.8).
Οξινή απορροή (pH~1.5-2.8).



(c) Limestone cover
Κάλυμμα ασβεστολίθου.



(d) Geomembrane cover.
Κάλυμμα γεωμεμβράνης.

PILOT SCALE REHABILITATION OF FLOTATION TAILINGS, ΝΕΡΑΚΙ
ΠΙΛΟΤΙΚΟ ΕΡΓΟ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ, ΝΕΡΑΚΙ



(e) Landscaping of flotation tailings.
Διαμόρφωση των απορριμμάτων επίπλευσης.



(f) Sowing the seed mixture.
Σπορά μίγματος σπόρων.



(g) Plant cover.
Φυτοκάλυψη.



(h) Control area with no plants. ↗
Περιοχή ελέγχου χωρίς φυτοκάλυψη.

Fig. 8. Pilot project application of rehabilitation techniques.
Σχ. 8. Πιλοτικά έργα εφαρμογής τεχνικών αποκατάστασης.

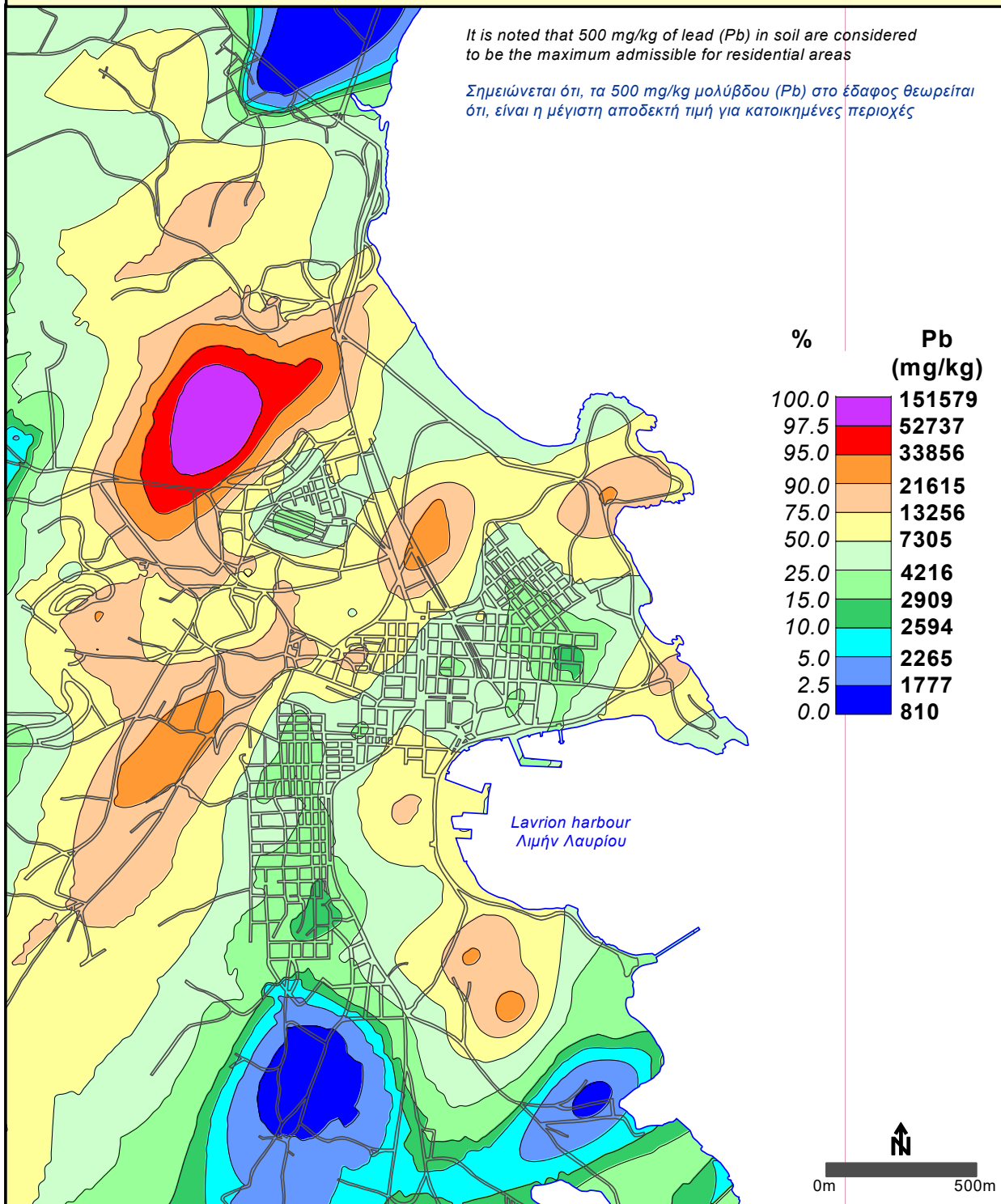


Fig. 9
Distribution of total lead (Pb) in overburden
Lavrion urban area

Σχ. 9



Κατανομή του ολικού μολύβδου (Pb) στο εδαφικό κάλυμμα της αστικής περιοχής Λαυρίου



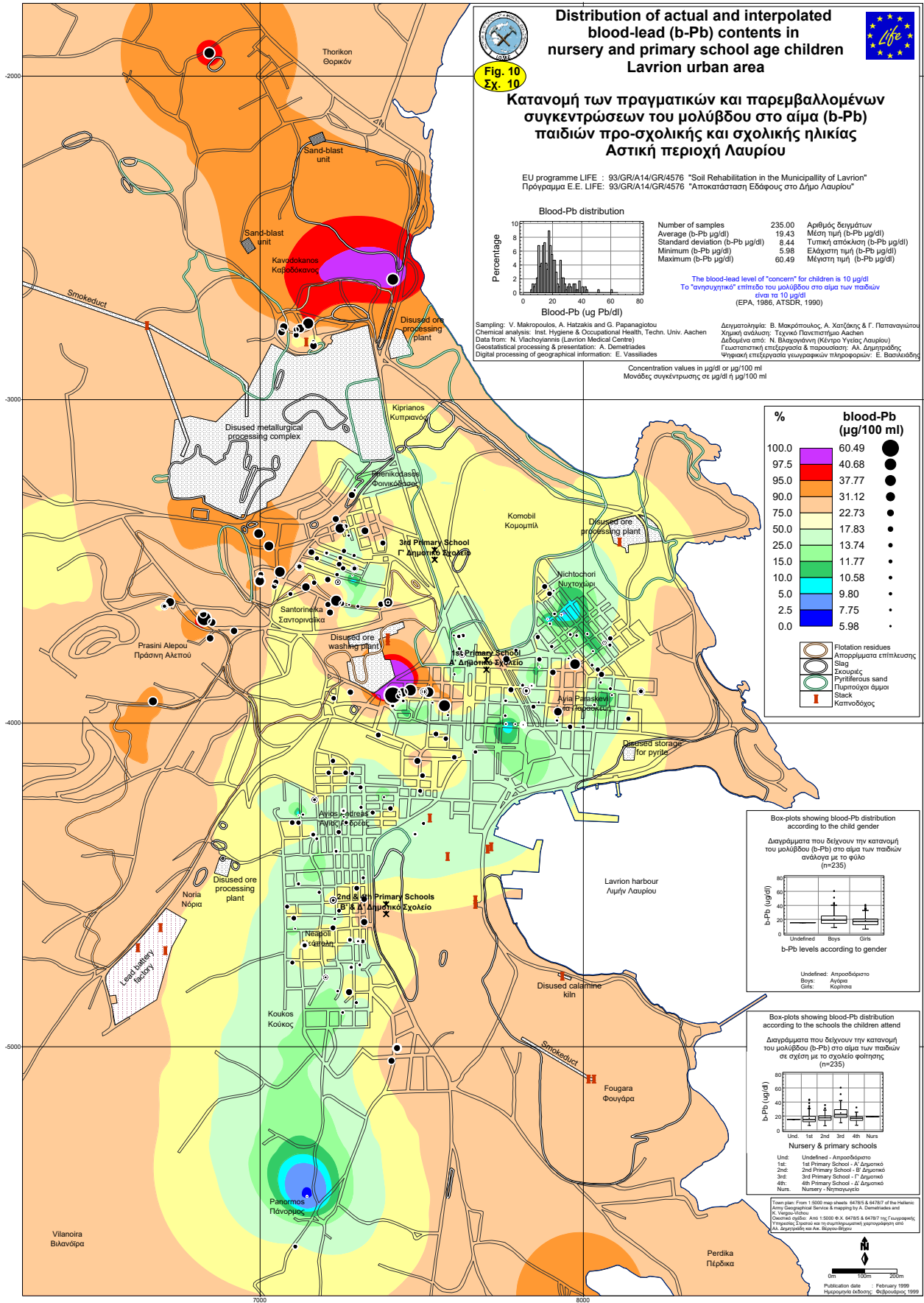
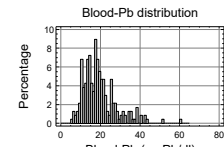


Fig. 10
Σχ. 10

Distribution of actual and interpolated blood-lead (b-Pb) contents in nursery and primary school age children Lavrion urban area

Κατανομή των πραγματικών και παρεμβλλομένων συγκεντρώσεων του μολύβδου στο αίμα (b-Pb) παιδιών προ-σχολικής και σχολικής ηλικίας Αστική περιοχή Λαυρίου

EU programme LIFE : 93/GR/A14/GR/4576 "Soil Rehabilitation in the Municipality of Lavrion"
Πρόγραμμα Ε.Ε. LIFE: 93/GR/A14/GR/4576 "Αποκατάσταση Εδάφους στο Λαύριο"

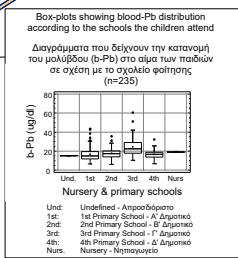
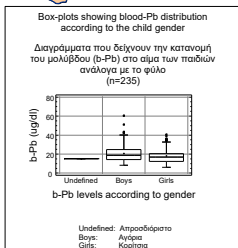
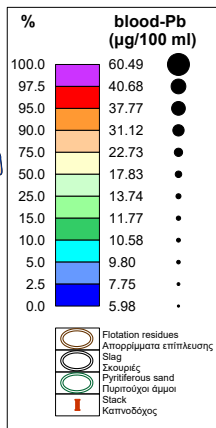


Number of samples	235.00	Αριθμός δειγμάτων	235
Average (b-Pb μg/dl)	19.43	Μέση τιμή (b-Pb μg/dl)	19.43
Standard deviation (b-Pb μg/dl)	8.44	Τυπική απόκλιση (b-Pb μg/dl)	8.44
Minimum (b-Pb μg/dl)	5.98	Ελάχιστη τιμή (b-Pb μg/dl)	5.98
Maximum (b-Pb μg/dl)	60.49	Μέγιστη τιμή (b-Pb μg/dl)	60.49

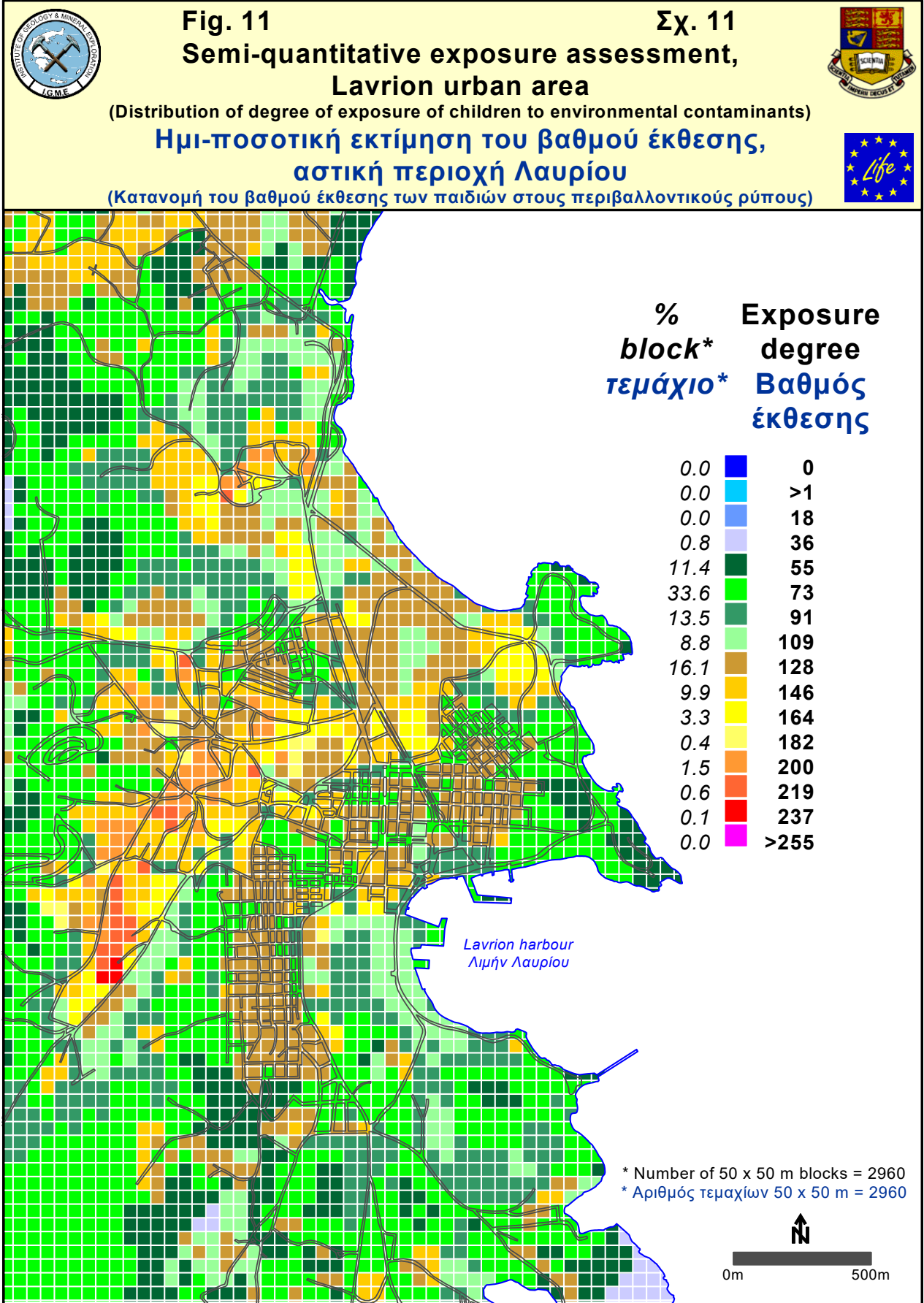
The blood-lead level of "concern" for children is 10 μg/dl
Το "ανησυχητικό" επίπεδο του μολύβδου στο αίμα των παιδιών είναι τα 10 μg/dl
(EPA, 1986, ATSDR, 1990)

Sampling: V. Makropoulos, A. Hatzidakis and G. Papanagiou
Chemical analysis: Inst. Hygiene & Occupational Health, Techn. Univ. Aachen
Data from: N. Vlachoyannis (Lavrion Medical Centre)
Geostatistical processing & presentation: A. Demetriades
Digital processing of geographical information: E. Vassiliades
Διαγματοληψία: Β. Μακροπούλου, Α. Χατζάκης & Γ. Παναγιώτου
Χημική ανάλυση: Τεχνικό Πανεπιστήμιο Ααχέν
Δεδομένα από: Ν. Βλαχογιάννη (Κέντρο Υγείας Λαυρίου)
Γεωστατιστική επεξεργασία & παρουσίαση: Αλ. Δημητριάδης
Ψηφιακή επεξεργασία γεωγραφικών πληροφοριών: Ε. Βασιλειάδης

Concentration values in μg/dl or μg/100 ml
Μονάδες συγκεντρώσεως σε μg/dl ή μg/100 ml



From plan: From 1:5000 map sheets 64785 & 64787 of the Institute for Geographical Services & reports by A. Demetriades and K. Vergou-Πέδου
Scale: 1:50000 © X. 64785 & 64787 της Γεωγραφικής Υπηρεσίας, Σχολικό και το περιβαλλοντικό περιστατικό από Α. Δημητριάδη και Κ. Βεργού-Πέδου



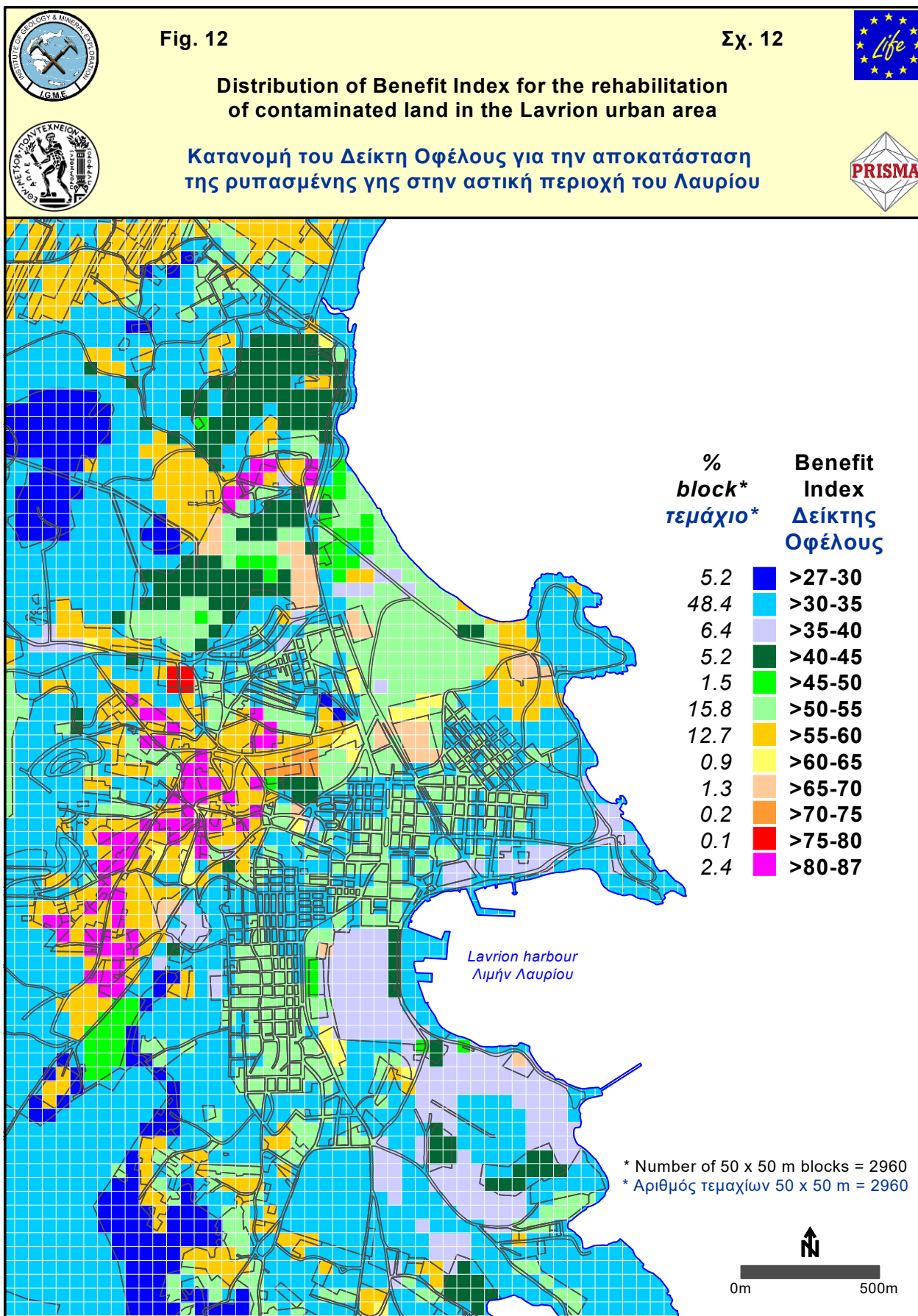


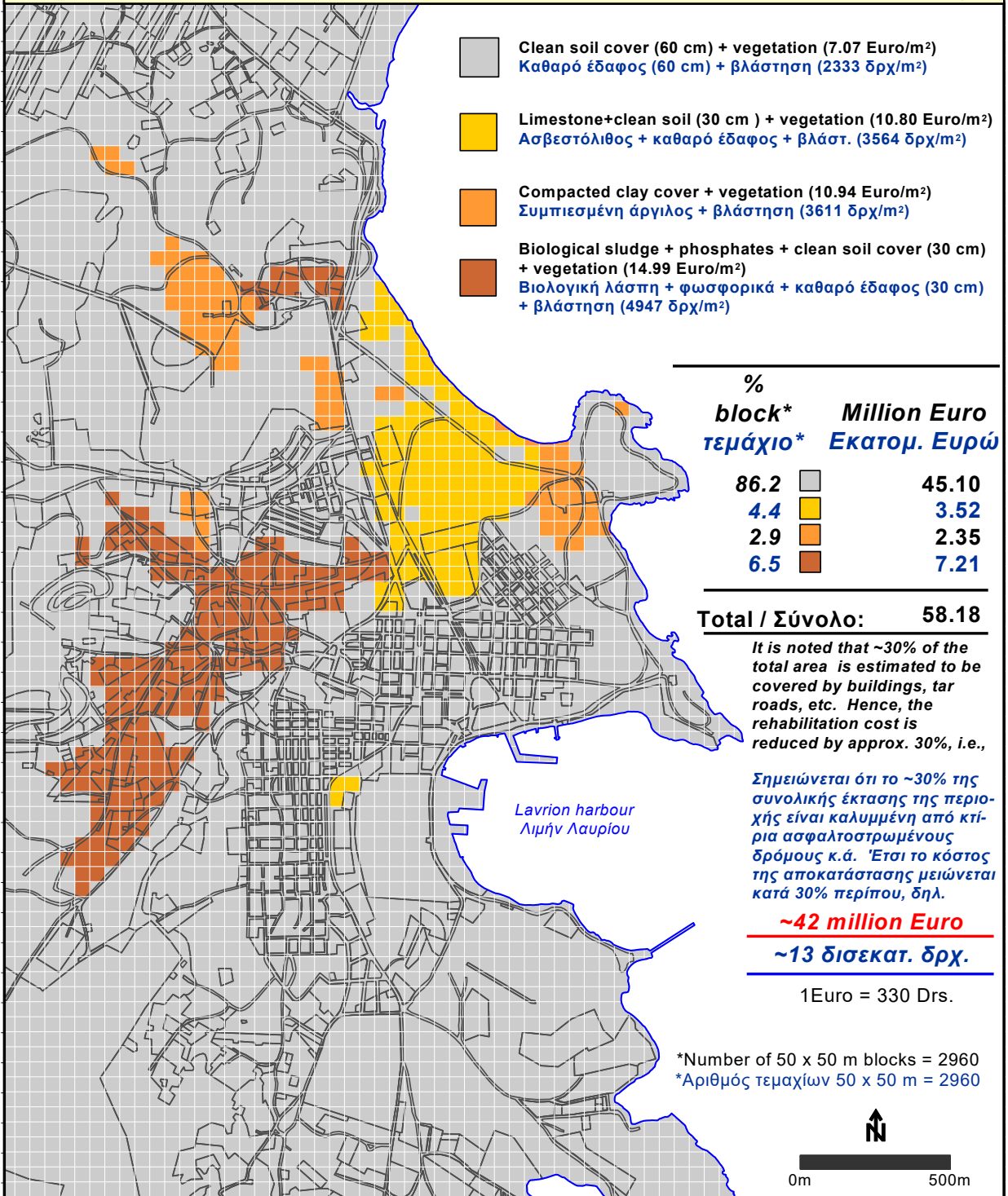


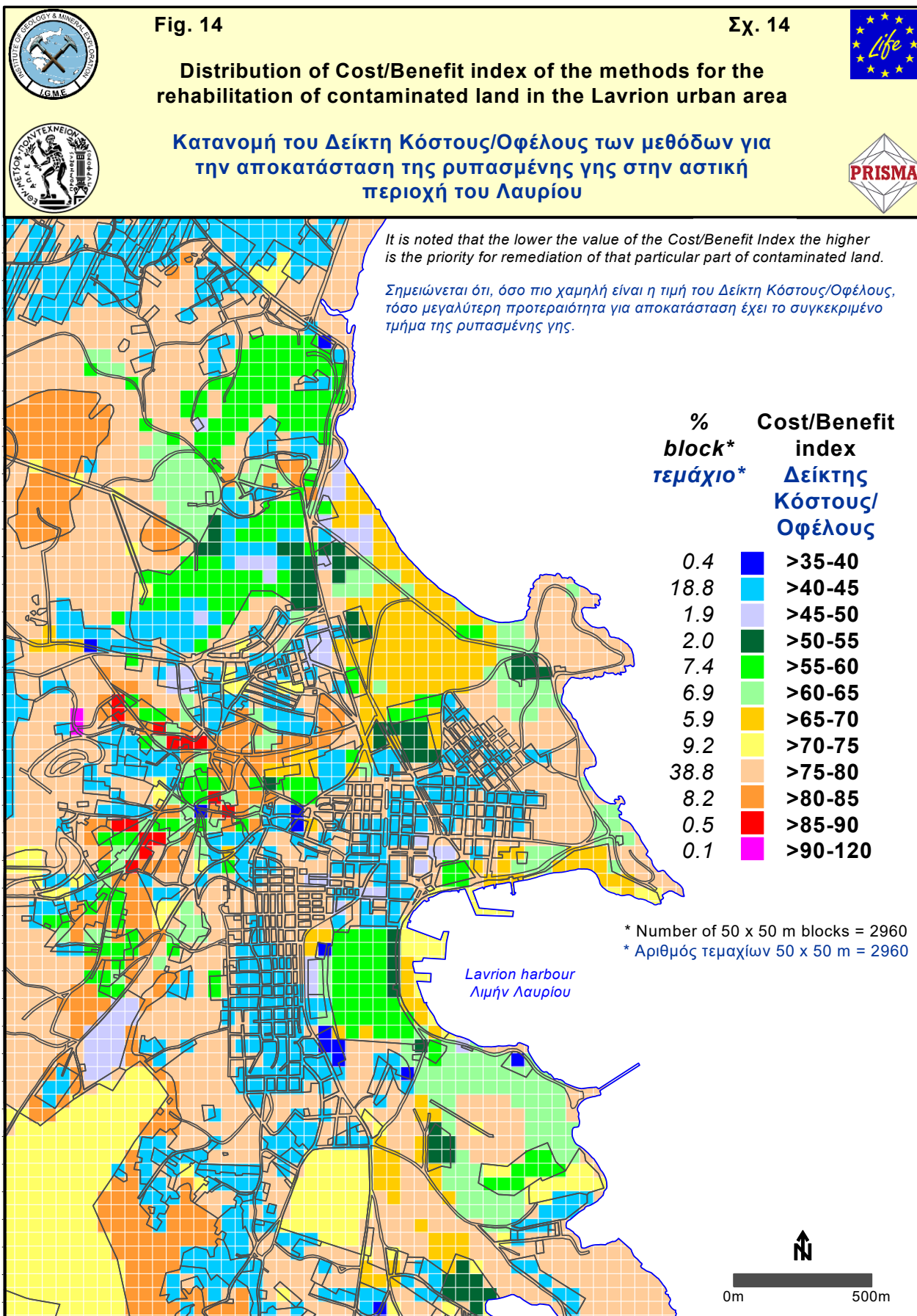
Fig. 13

Least cost technologies for the rehabilitation of metallurgical wastes and contaminated soil in the Lavrion urban area
(distribution of Cost Index of the rehabilitation methods)



Τεχνολογίες χαμηλότερου κόστους για την αποκατάσταση των μεταλλουργικών απορριμμάτων και του ρυπασμένου εδάφους της αστικής περιοχής του Λαυρίου
(κατανομή του Δείκτη Κόστους των τεχνολογιών αποκατάστασης)





ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΤΗΝ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΛΑΥΡΙΟΥ

Νικόλαος Νικολαΐδης

School of Engineering, Department of Civil & Environmental Engineering, University of Connecticut, 261 Glenbrook Road, U-37, Storrs, Connecticut 06269-2037, U.S.A.

Αλέξανδρος Δημητριάδης, Αικατερίνη Βέργου-Βήχου και Ευριπίδης Βασιλειάδης
Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Μεσογείων 70, Αθήνα 115 27, Ελλάδα

Νυμφοδώρα Παπασιώπη και Παναγιώτης Θεοδωράτος

Εργαστήριο Μεταλλουργίας, Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Πολυτεχνειούπολη, Ζωγράφου, Αθήνα 157 80, Ελλάδα

Νίκος Βαρελίδης και Αλεξάνδρα Ζαμάνη

PRISMA, Κέντρο Αναπτυξιακών Μελετών, Εμπειδοκλέους 17, Αθήνα 116 35, Αθήνα, Ελλάδα

1.0. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΙΣΤΟΡΙΚΟ

Η πόλη του Λαυρίου βρίσκεται περίπου 55 χιλιόμετρα νοτιοανατολικά της Αθήνας (Σχ. 1 & Χάρτης 1.1, Τόμος 2). Η μεταλλευτική και μεταλλουργική δραστηριότητα στη χερσόνησο της Λαυρεωτικής, η οποία αποτελεί το νοτιότερο τμήμα του Νομού Αττικής και καταλήγει στο ναό του Ποσειδώνα στο Ακρωτήριο του Σουνίου, ξεκίνησε περίπου το 3500 π.Χ. (Κονοφάγος, 1980; Μάνθος, 1990). Στην περιοχή υπάρχουν εκατοντάδες μεταλλευτικές θέσεις (Σχ. 2) από τις οποίες οι Αθηναίοι και οι περισσότεροι από τους αρχαίους πολιτισμούς της Μεσογείου προμηθεύονταν ασήμι, μόλυβδο και χαλκό. Τα μεταλλεία του Λαυρίου έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη του Αθηναϊκού κράτους κατά τη διάρκεια του 6^{ου} και 5^{ου} αιώνα π.Χ. Το πρώτο νόμισμα, η Αθηναϊκή Γλαύκη (ή κουκουβάγια) αποτελείτο από ασήμι (97,8%), το οποίο προερχόταν από τα προαναφερόμενα μεταλλεία. Ο Χρυσός Αιώνας των Αθηνών στηριζόταν κυρίως στο ασήμι της Λαυρεωτικής. Μετά τον 5^ο αιώνα π.Χ., η μεταλλευτική δραστηριότητα παρήκμασε και διακόπηκε τελικά κατά την Ελληνιστική Περίοδο. Η λειτουργία της ξεκίνησε πάλι το 1864, όταν ο Ιταλός Σερπιέρι ενδιαφέρθηκε για την εκμετάλλευση των μεταλλείων. Η μεταλλευτική και μεταλλουργική δραστηριότητα πέρασε από διάφορες φάσεις μέχρι το 1977, οπότε όλα τα μεταλλεία έκλεισαν. Εντούτοις οι εκκαμινεύσεις συνέχισαν μέχρι το 1989 κυρίως με εισαγόμενα μεταλλεύματα από άλλες περιοχές.

Η εκμετάλλευση των κοιτασμάτων της περιοχής επηρέασε σημαντικά την ισορροπία του τοπικού οικοσυστήματος. Τα μεταλλευτικά και μεταλλουργικά απορρίμματα που άφησαν οι αρχαίοι Έλληνες, κατά την εκμετάλλευση των πλούσιων μεταλλευμάτων, ήταν οι σωροί από σκουριές, εκβολάδες, χαμηλής περιεκτικότητας μεταλλεύματα, λιθάργυρο και στείρα πετρώματα. Τα υλικά αυτά μεταφέρονταν τα τελευταία 5,000 χρόνια με υδάτινες και αέριες διεργασίες και επηρέασαν τα χερσαία και τα υδατικά οικοσυστήματα της περιοχής. Από το 1868, οι μεταλλευτικές και μεταλλουργικές εργασίες, με την κατεργασία των αρχαίων σκουριών και εκβολάδων, δημιούργησαν με τη σειρά τους νέα απορρίμματα. Αυτά τα νέα απορρίμματα περιλαμβάνουν τα μεταλλουργικά υπολείμματα από την επεξεργασία των αρχαίων σκουριών, των εκβολάδων και των χαμηλής περιεκτικότητας μεταλλευμάτων σε σχέση με τον άργυρο (Ag), αλλά πλούσια σε ψευδάργυρο (Zn), σίδηρο (Fe) και χαλκό (Cu) (Σχ. 3), καθώς και τα μεταλλευτικά και μεταλλουργικά απορρίμματα των νέων εξορύξεων (Σχ. 4). Τα

απορρίμματα των μεταλλουργικών επεξεργασιών είναι διασκορπισμένα σε πολλά μέρη της αστικής περιοχής του Λαυρίου. Σπίτια, σχολεία, πάρκα, παιδικές χαρές και δρόμοι βρίσκονται πάνω ή πολύ κοντά στα απορρίμματα (βλ. Χάρτη 2.3 στον Τόμο 2 αυτής της έκθεσης).

Επιδημιολογικές μελέτες, που διεξήχθησαν κατά τη δεκαετία του 1980, έδειξαν ότι ο τοπικός πληθυσμός, και ιδιαίτερα τα παιδιά, έχουν μόλυβδο στο αίμα (b-Pb) και αρσενικό στα ούρα (u-As) σε συγκεντρώσεις που υπερβαίνουν τα ανώτατα αποδεκτά όρια των 10 μg b-Pb/100 ml και 20 μg u-As/24 ώρες (Benetou-Marantidou et al., 1985; Nakos, 1985; Hatzakis et al., 1987; Maravelias et al., 1989; Eikmann et al., 1991; Makropoulos et al., 1991, 1992; Kafourou et al., 1997). Οι επιδημιολογικές μελέτες αποδίδουν την επιβάρυνση του ανθρώπου στις εκπομπές της καμινάδας του εργοστασίου εμπλουτισμού και δεν έλαβαν υπόψη 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 νεογηλά δόντια από παιδιά ηλικίας 6 έως 12 ετών για να εκτιμηθεί η απορρόφηση μολύβδου (Stavrakis et al., 1994; Demetriades et al., 1996). Οι τιμές του μολύβδου στα δόντια των παιδιών του Λαυρίου κυμαίνονται από 0,97-153,26 μg/g με μέσο όρο 9,88 μg/g (n=82). Οι συγκεντρώσεις μολύβδου σε δείγματα νεογηλών δοντιών της ίδιας ηλικίας στην προβιομηχανική εποχή της Νορβηγίας κυμαίνονται από 0,20-4,37 μg/g με μέσο όρο 0,91 μg/g (Fosse and Wesenberg, 1981). Τα υψηλά επίπεδα μολύβδου στα νεογηλά δόντια των παιδιών του Λαυρίου δείχνουν καθαρά ότι ο μόλυβδος ήταν ακόμη διαθέσιμος για απορρόφηση και μετά το κλείσιμο του μεταλλουργικού συγκροτήματος.

Κατά το 1990-91 διεξήχθη αστική περιβαλλοντική γεωχημική μελέτη στο Λαύριο από το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ) με κύριο στόχο την εκτίμηση του βαθμού και της έκτασης της επιφανειακής ρύπανσης. Δείγματα από κηπευτικά εδάφη, και σκόνες από το δρόμο και τα σπίτια συλλέχθηκαν και αναλύθηκαν για αρσενικό (As), κάδμιο (Cd), υδράργυρο (Hg), μόλυβδο (Pb) και ψευδάργυρο (Zn). Η γεωγραφική κατανομή αυτών των στοιχείων οριοθέτησε τις περισσότερο επικίνδυνες περιοχές, οι οποίες κυρίως βρίσκονται πάνω στα λεπτόκοκκα απορρίμματα της μεταλλουργικής επεξεργασίας και κοντά στο εργοστάσιο εμπλουτισμού, όπου απαντώνται μεγάλες ποσότητες από απορρίμματα (Σταυράκη και Βέργου-Βήχου, 1992; Σταυράκη κ.ά., 1993; Stavrakis et al., 1994; Demetriades et al., 1996). Αυτή η μελέτη έδειξε το σημαντικό ρόλο, που έπαιξε το ρυπασμένο έδαφος και τα πιο λεπτόκοκκα απορρίμματα της μεταλλουργικής επεξεργασίας στην επιβάρυνση των μικρών παιδιών με μόλυβδο και αρσενικό. Τα αποτελέσματα αυτά μαζί με τα αντίστοιχα βιοϊατρικά χρησιμοποιήθηκαν στο σχεδιασμό του παρόντος προγράμματος.

2.0. ΣΤΟΧΟΙ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Ο τελικός στόχος του έργου είναι η ανάπτυξη ενός **Ολοκληρωμένου Περιβαλλοντικού Σχεδίου Διαχείρισης** της αστικής περιοχής του Λαυρίου για τη βελτίωση των σημερινών συνθηκών διαβίωσης. Για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος, εκτελέστηκαν οι παρακάτω δράσεις:

- Εκτίμηση της υπάρχουσας κατάστασης του περιβάλλοντος της ευρύτερης περιοχής του Λαυρίου με έμφαση στη ρύπανση του εδάφους. Οι συνθήκες των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων ελήφθησαν επίσης υπόψη, εφόσον ο μηχανισμός που εμπλέκεται στη μετακίνηση των ρύπων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις υδάτινες διεργασίες,
- Αναγνώριση των κύριων πηγών ρύπανσης στην περιοχή. Αυτές είναι κυρίως τα μεταλλουργικά απορρίμματα, που συμπεριλαμβάνουν τα απορρίμματα επίπλευσης ή εμπλουτισμού (σαβούρα), σκουριές, κ.ά., που δημιουργήθηκαν από τις προηγούμενες μεταλλουργικές δραστηριότητες (βλ. Τόμους 1, 1Α, 1Β & 2). Η φυσική τους διάσπαση και η χημική τους εξαλλοίωση είχαν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία σωματιδίων, τα οποία μεταφέρονται με αέριες και υδάτινες διεργασίες,
- Επιλογή και εκτίμηση των κατάλληλων μεθόδων για τον περιορισμό της περαιτέρω ρύπανσης του εδάφους εφαρμόζοντας διορθωτικά μέτρα στις πηγές της ρύπανσης (βλ. Τόμο 3),
- Επιλογή και εκτίμηση μέτρων αποκατάστασης για να εξουδετερώσουν ή να καταστήσουν αβλαβή τα ρυπασμένα εδάφη (βλ. Τόμο 3),
- Εφαρμογή σε κλίμακα επίδειξης στο πεδίο των τεχνολογιών αποκατάστασης, που έχουν ήδη ερευνηθεί και αναπτυχθεί ειδικά για την έντονα ρυπασμένη αστική περιοχή του Λαυρίου (βλ. Τόμο 3), και
- Ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου περιβαλλοντικού σχεδίου διαχείρισης για την ευρύτερη περιοχή του Λαυρίου.

Η παρούσα έκθεση αποτελεί τμήμα της τελικής φάσης του έργου (Φάση III, Δράση 5), που είναι η ανάπτυξη ενός **Ολοκληρωμένου Περιβαλλοντικού Σχεδίου Διαχείρισης για την περιοχή του Λαυρίου**. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προηγούμενες εργασίες χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη αυτού του σχεδίου. Η έκθεσηπραγματεύεται:

- Την υπάρχουσα κατάσταση του περιβάλλοντος,
- προληπτικά μέτρα για τον περιορισμό-(ελαχιστοποίηση) της περαιτέρω ρύπανσης του εδάφους στις μελετούμενες περιοχές,
- κατάλληλες τεχνικές για αποκατάσταση του ρυπασμένου εδάφους, των πυριτούχων υλικών και των απορριμμάτων εμπλουτισμού/επίπλευσης, καθώς και το κατά προσέγγιση κόστος, και
- πρόσθετες ερευνητικές απαιτήσεις.

3.0. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΥΠΑΡΧΟΥΣΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ

Η εκτίμηση των θέσεων με επικίνδυνα απορρίμματα (Gilpin, 1995; ICME, 1997; Douben, 1998; Ferguson et al., 1998; Noakes, 1998; Nikolaidis and Lackovic, 1999) περιλαμβάνει:

(α) Χαρακτηρισμό και οριοθέτηση της ρύπανσης,

(β) Εκτίμηση της κινητικότητας των ρύπων,

(γ) Εκτίμηση των συνεπειών της ρύπανσης στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον.

Τέτοιες πληροφορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αρχική επιλογή των τεχνικών αποκατάστασης, την επιλογή των πλέον καταλλήλων τεχνικών για πιλοτικές εφαρμογές και τέλος την επιλογή της καλύτερης ή καλύτερων τεχνολογιών για την αποκατάσταση της περιοχής.

Κατά την εκτέλεση των διαφόρων σταδίων για την εκτίμηση της ρύπανσης της περιοχής, οι ερευνητές πρέπει να έχουν υπόψη τους

- τους διάφορους τρόπους έκθεσης του πληθυσμού στη ρύπανση,
- το βαθμό σημαντικότητας του κάθε τρόπου έκθεσης,
- καθώς και τις επιπτώσεις του στον πληθυσμό.

Γενικώς τα θέματα που πρέπει να μας απασχολήσουν είναι η κινητικότητα των ρύπων και η άμεση έκθεση του ανθρώπου σ' αυτούς. Στην περίπτωση της ρύπανσης των εδαφών, η Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος (EPA) των Η.Π.Α. λαμβάνει υπόψη της το ανώτερο τμήμα πάχους 1,2 m του εδάφους για την εφαρμογή των κριτηρίων της άμεσης έκθεσης και το βαθύτερο έδαφος για την εφαρμογή των κριτηρίων της κινητικότητας των ρύπων. Παρόμοιες προδιαγραφές έχουν θεσμοθετηθεί από διάφορες Πολιτείες των Η.Π.Α., όπως η Πολιτεία του Κονέκτικατ, κατά τη διάρκεια θεσμοθέτησης των δικών τους Διατάξεων για τα πρότυπα Αποκατάστασης (US Connecticut, 1997). Για την εκτίμηση των επιπτώσεων της απ' ευθείας έκθεσης του ανθρώπου στη ρύπανση μίας περιοχής, πρέπει να ληφθεί υπόψη η άμεση κατάποση του εδάφους, του νερού και των τοπικών προϊόντων, η εισπνοή αερίων και σωματιδίων, καθώς και η απορρόφηση μέσω του δέρματος. Η εκτίμηση της κινητικότητας των ρύπων περιλαμβάνει τον καθορισμό της πιθανής ρύπανσης των υπόγειων υδάτων και της μεταφοράς της, καθώς και τις επιπτώσεις της στα γειτονικά επιφανειακά ύδατα.

3.1. ΕΔΑΦΙΚΟ ΚΑΛΥΜΜΑ ΣΥΜΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΙΚΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Μία λεπτομερής γεωχημική έρευνα διεξήχθη, ως τμήμα του παρόντος έργου, για την εκτίμηση της έκτασης και του βαθμού ρύπανσης των επιφανειακών εδαφών στην πόλη του Λαυρίου (Demetriades et al., 1996, 1998; *Τόμοι 1, 1A, 1B & 2 αυτής της έκθεσης*). Συλλέχθηκαν 224 δείγματα επιφανειακού εδάφους χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία που περιγράφεται στο Κεφάλαιο 2A του Τόμου 1 της παρούσας μελέτης. Επιπρόσθετα, συλλέχθηκαν 127 δείγματα σκόνης σπιτιών για τον προσδιορισμό του βαθμού έκθεσης του τοπικού πληθυσμού (Χ"Γεωργίου-Σταυράκη και Βέργου-Βήχου, 1992). Τα δείγματα υπέστησαν χημική ανάλυση για τον προσδιορισμό των ολικών συγκεντρώσεων 24 χημικών στοιχείων και στη συνέχεια εφαρμόστηκε η μέθοδος των διαδοχικών εκχυλίσεων και προσδιορίστηκε η συγκέντρωση 22 στοιχείων στα εκχυλίματα των πέντε σταδίων της μεθόδου (βλ. Τόμους 1, 1A & 2 αυτής της μελέτης). Επειδή το επιφανειακό περιβάλλον του Λαυρίου είναι σημαντικά ρυπασμένο από παλαιότερες και νεώτερες μεταλλευτικές και μεταλλουργικές εργασίες, μία πραγματική εκτίμηση του βαθμού και της έκτασης της ρύπανσης στη συγκεκριμένη περιοχή, μπορεί να γίνει μόνο εάν θεσπιστούν ανώτατα Όρια Λήψης Μέτρων (Screening Action Levels, SALs) ειδικά για την περιοχή του Λαυρίου.

3.1.1. Θέσπιση Ορίων Λήψης Μέτρων για τα εδάφη του Λαυρίου

Η θέσπιση Ορίων Λήψης Μέτρων (SALs) για την περιοχή του Λαυρίου, απαιτεί να ληφθούν υπόψη διάφορες μεθοδολογίες ανάλυσης επικινδυνότητας καθώς και οι τοπικές συνθήκες, όπως είναι οι συγκεντρώσεις του γεωχημικού υπόβαθρου των στοιχείων (geochemical background). Το Σχήμα 9 παρουσιάζει την έκταση της ρύπανσης των ολικών συγκεντρώσεων του μολύβδου στην αστική περιοχή του Λαυρίου. Οι ολικές συγκεντρώσεις μολύβδου στα επιφανειακά εδάφη κυμαίνονται από 810 mg/kg έως 151.579 mg/kg με μέσο όρο 11.578 mg/kg και διάμεσο 7.305 mg/kg.

Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι όλο το εδαφικό κάλυμμα είναι ρυπασμένο και δεν υπάρχουν θέσεις συλλογής δειγμάτων για τον προσδιορισμό του γεωχημικού υποβάθρου των στοιχείων. Βασιζόμενοι σε αυτή την παρατήρηση αποφασίστηκε η συλλογή δειγμάτων από τα μητρικά πετρώματα για τον προσδιορισμό του τοπικού γεωχημικού υποστρώματος (βλ. Κεφάλαιο 4 στους τόμους 1 & 2 αυτής της μελέτης). Συλλέχθηκαν συνολικά 140 δείγματα πετρώματος και προσδιορίστηκαν 25 μακρο- και ιχνο-στοιχεία. Επιπρόσθετα, 39 δείγματα ελέγχου από τα πετρώματα αναλύθηκαν για 44 μακρο- και ιχνο-στοιχεία. Μέρος αυτών των αποτελεσμάτων παρουσιάζεται στον Πίνακα 1. Επισημαίνεται ότι τα μητρικά πετρώματα της περιοχής του Λαυρίου, λόγω της ύπαρξης εκτεταμένης μεταλλοφορίας, είναι περισσότερο εμπλουτισμένα σε βαρέα μέταλλα, σε σύγκριση με αυτά άλλων περιοχών χωρίς μεταλλοφορία.

Πίνακας 1. Συγκεντρώσεις του «γεωχημικού υποβάθρου» των τοξικών χημικών στοιχείων σε δείγματα πετρώματος από το Λαύριο (n=39).

Ανόργανα Στοιχεία	Συγκέντρωση τοξικών στοιχείων σε mg/kg			
	Κατώτερο	Ανώτερο	Αριθμητικός μέσος	Διάμεση τιμή
Αντιμόνιο (Sb)	5	71	6	5
Αρσενικό (As)	2.5	540	42	11
Βάριο (Ba)	3	4087	244	78
Βυρήλλιο (Be)	-	-	-	-
Κάδμιο (Cd)	1	41	2	1
Χρώμιο, σύνολο (Cr)	1	610	100	20
Αργυρος (Ag)	0.5	41	1	0.5
Μαγγάνιο (Mn)	100	25000	1830	1200
Χαλκός (Cu)	3	225	33	25
Μόλυβδος (Pb)	1	1850	77	22
Υδράργυρος (Hg)	1	8	1	1
Νικέλιο (Ni)	1	1600	168	55
Βανάδιο (V)	1	71	13	9
Ψευδάργυρος (Zn)	6	5200	211	57

Για τη θέσπιση ορίων λήψης μέτρων, σε συγκεκριμένες θέσεις, εξετάστηκαν οι οδηγίες για την εκτίμηση της επικινδυνότητας της ρύπανσης της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ferguson et al., 1998) και των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής (US EPA, 1996). Οι οδηγίες είναι παρόμοιες σε γενικές γραμμές, η δε διαφορά έγκειται στο ότι η Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος των Η.Π.Α. (US EPA) έχει αναπτύξει συγκεκριμένες εξισώσεις, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθεί η μεθοδολογία της εκτίμησης της επικινδυνότητας της EPA για τους παρακάτω λόγους:

1. είναι δημοσιευμένη,
2. είναι βασισμένη στην επικινδυνότητα,
3. είναι παρόμοια με την Ευρωπαϊκή,
4. υπάρχει πρόσβαση στις πληροφορίες μέσω της ηλεκτρονικής σελίδας της US EPA's IRIS στο διαδίκτυο,
5. μπορεί να εφαρμοστεί για συγκεκριμένη τοποθεσία, και
6. ενημερώνεται συνεχώς με νέα διαθέσιμα στοιχεία.

Η μεθοδολογία διαφοροποιείται μεταξύ των καρκινογόνων και των μη-καρκινογόνων στοιχείων. Γενικά το αρσενικό και το βηρύλλιο είναι καρκινογόνα στοιχεία και τα υπόλοιπα βαρέα μέταλλα θεωρούνται μη-καρκινογόνα. Η US EPA καθόρισε Όρια Λήψης Μέτρων (SALs) για τα καρκινογόνα στοιχεία, αποδεχόμενη την επικινδυνότητα του ενός στο εκατομμύριο (10^{-6} , δηλ., ένα πρόσθετο καρκίνο για κάθε εκατομμύριο

ανθρώπων) για κάθε στοιχείο, και δείκτη επικινδυνότητας 1 για τα μη καρκινογόνα στοιχεία. Η εξίσωση λαμβάνει υπόψη την κατάποση και την εισπνοή των σωματιδίων. Η απορρόφηση μέσω του δέρματος δεν ελήφθη υπ' όψη, εφ' όσον τα διαθέσιμα στοιχεία είναι πολύ περιορισμένα. Στο Παράρτημα Α αυτού του τόμου παρουσιάζονται οι εξισώσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση και τα φύλλα εργασίας για τον υπολογισμό των ορίων λήψης μέτρων του Λαυρίου.

Επιπρόσθετα, για τη δημιουργία των Ορίων Λήψης Μέτρων (SALs) για τα Βιομηχανικά/Εμπορικά εδάφη του Λαυρίου χρησιμοποιήθηκαν οι εξισώσεις εκτίμησης κινδύνου, που εφήρμοσε η Πολιτεία του Κονέκτικατ. Στην περίπτωση που οι συγκεντρώσεις του γεωχημικού υποβάθρου ενός στοιχείου (geochemical background) ήσαν σημαντικά μεγαλύτερες από τα υπολογιζόμενα επίπεδα, τότε χρησιμοποιούνται οι τιμές του υποβάθρου (background). Αυτή η διαδικασία καθορίζει το ανώτατο Όριο Λήψης Μέτρων του εδάφους να είναι ίδιο με το φυσικό υπόβαθρο. Τα υπολογισθέντα Όρια Λήψης Μέτρων (SALs) στρογγυλοποιήθηκαν. Το Παράρτημα Α αυτού του τόμου περιέχει όλους τους υπολογισμούς για τον καθορισμό των τιμών αναφοράς.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι οι υπολογισθείσες τιμές του αρσενικού, του βυρηλλίου και του εξασθενούς χρωμίου ήσαν χαμηλότερες από αυτές του γεωχημικού υποβάθρου για τα Όρια λήψης Μέτρων, που υπολογίστηκαν για τις αστικές περιοχές, καθώς και σε μερικές περιπτώσεις από εκείνα των βιομηχανικών. Συνεπώς, για τα συγκεκριμένα στοιχεία, ως Όρια Λήψης Μέτρων χρησιμοποιήθηκαν οι γεωχημικές τιμές του υποβάθρου. Επιπρόσθετα, εφόσον τα τρία αυτά στοιχεία είναι καρκινογόνα, τόσο τα αστικά όσο και τα βιομηχανικά Όρια Λήψης Μέτρων καθορίστηκαν σύμφωνα με τις τιμές του γεωχημικού υποβάθρου. Η άλλη εξαίρεση του κανόνα ήταν ο μόλυβδος, για τον οποίο η τιμή των 500 mg/kg για τα αστικά και 1000 mg/kg για τα βιομηχανικά Όρια Λήψης Μέτρων, βασίστηκαν σε διαιτητικές μελέτες (US EPA, 1996). Αυτές οι τιμές είναι όμοιες με τα αποδεκτά όρια σε διάφορες Ευρωπαϊκές χώρες.

Όσον αφορά το χρώμιο, ακολουθήθηκε μία διαδικασία προσδιορισμού των μορφών του, βασιζόμενη στις διαφορές της τοξικότητας μεταξύ του τρισθενούς και του εξασθενούς. Το εξασθενές χρώμιο είναι γνωστό καρκινογόνο στοιχείο. Η EPA των ΗΠΑ συνιστά ότι οι τιμές του εξασθενούς χρωμίου, υπολογισμένες από τις εξισώσεις ανάλυσης επικινδυνότητας, πρέπει να τροποποιηθούν με το δείκτη 3, για να ληφθεί υπόψη η αναμενόμενη μεταβλητότητα της τοξικότητας, που οφείλεται στις διαφορές μεταξύ των ανθρώπων και μεταξύ των μορφών του χρωμίου, βάσει της μελέτης των Zhang και Li (1987). Ωστόσο, όπως προαναφέρθηκε, το υπολογιζόμενο Όριο Λήψης Μέτρων (SAL) για το χρώμιο ήταν χαμηλότερο απ' αυτό του γεωχημικού υποβάθρου (geochemical background), και γι' αυτό χρησιμοποιήθηκε η τιμή του «background». Όσον αφορά το τρισθενές χρώμιο, οι υπολογισθείσες τιμές τροποποιήθηκαν με δείκτη 4 για να καλύψουν την αβεβαιότητα στον υπολογισμό του λόγου Cr (III)/Cr(VI) στα εδάφη αφ' ενός, και αφ' ετέρου διότι ήσαν πολύ υψηλές και δύσκολο να βρεθούν κάτω από φυσικές συνθήκες. Ο Πίνακας 2 παρουσιάζει μία σύγκριση των Ορίων Λήψης Μέτρων στα εδάφη με τις μέσες συγκεντρώσεις των τοξικών στοιχείων στο Λαύριο. Επίσης, ο Πίνακας 3 παρουσιάζει μία σύγκριση των αστικών Ορίων Λήψης Μέτρων με τις τυπικές συγκεντρώσεις των τοξικών στοιχείων στη σκόνη των σπιτιών. Για να εκτιμηθεί ποιά στοιχεία μπορεί να έχουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων και στο περιβάλλον, υπολογίστηκε ο Δείκτης Μέσης Πολλαπλής Χημικής Δυνητικής Επίπτωσης (Mean Multiple Chemical Potential Impact Index), τόσο για τα αστικά όσο και για τα βιομηχανικά εδάφη, καθώς και για τη σκόνη των σπιτιών. Ο δείκτης αυτός υπολογίστηκε προσθέτοντας το μέσο δείκτη επικινδυνότητας [(μέση συγκέντρωση δείγματος / Όρια Λήψης Μέτρων) - 1] για κάθε στοιχείο που έχει λόγο μεγαλύτερο του 1.

Οι Πίνακες 4 και 5 παρουσιάζουν τα αποτελέσματα για τα εδάφη και τη σκόνη των σπιτιών.

Πίνακας 2. Σύγκριση της ρύπανσης του εδάφους σύμφωνα με τα Όρια Λήψης Μέτρων άμεσης έκθεσης του πληθυσμού της αστικής και βιομηχανικής/εμπορικής περιοχής του Λαυρίου (n=50).

Ανόργανα Στοιχεία	Δείγματα Εδάφους του Λαυρίου (N=50) (mg/kg)				Αστικά Κριτήρια	Βιομηχανικά Κριτήρια
	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή	Αριθμητικός μέσος	Διάμεση τιμή	mg/kg	mg/kg
Αντιμόνιο	28	567	192	151	30	800
Αρσενικό	50	24000	2494	1290	25	25
Βάριο	64	4555	663	479	5500	140000
Βυρήλλιο	0.2	2.7	1.1	1	2	2
Κάδμιο	4	925	68	38	40	1000
Χρώμιο, σύνολο	2	1083	264	183	140	140
Χρώμιο, τρισθενές			-		20000	500000
Χρώμιο, εξαθενές			-		140	140
Χαλκός	43	4445	357	186	2300	60000
Μόλυβδος	810	151579	11578	7305	500	1000
Υδράργυρος* (μg/kg)	1*	728*	189*	117*	20*	600*
Νικέλιο	40	591	141	127	1500	40000
Βανάδιο	26	325	86	75	550	14000
Ψευδάργυρος	591	76310	10872	6668	20000	610000

* Τιμές υδραργύρου σε μg/g ή μg/kg ή ppb

Πίνακας 3. Σύγκριση της ρύπανσης της σκόνης των σπιτιών με τα Όρια Λήψης Μέτρων (SALs) της άμεσης έκθεσης του πληθυσμού στην αστική περιοχή του Λαυρίου (n=127).

Ανόργανα Στοιχεία	Δείγματα Σκόνης Σπιτιών			Αστικά Κριτήρια σε mg/kg (ppm)
	Κατώτερο	Ανώτερο	Διάμεσος	
Αντιμόνιο	-	-	-	30
Αρσενικό	275	3820	750	25
Βάριο	-	-	-	5500
Βυρήλλιο	-	-	-	2
Κάδμιο	5	140	16	40
Χρώμιο, σύνολο	-	-	-	140
Χρώμιο, τρισθενές	-	-	-	20000
Χρώμιο, εξαθενές	-	-	-	140
Χαλκός	30	5050	187	2300
Μόλυβδος	610	19500	3220	500
Υδράργυρος	3	375	88	20
Νικέλιο	-	-	-	1500
Βανάδιο	-	-	-	550
Ψευδάργυρος	480	34200	3050	20000

Πίνακας 4. Υπολογισμός του Δείκτη Μέσης Πολλαπλής Χημικής Δυνητικής Επίπτωσης για τα εδάφη του Λαυρίου.

<i>Ανόργανα Στοιχεία</i>	<i>Μέσος Όρος Δείκτη Επικινδυνότητας Αστικών εδαφών</i>	<i>Μέσος Όρος Δείκτη Επικινδυνότητας Βιομηχανικών/ Εμπορικών εδαφών</i>
Αντιμόνιο (Sb)	5	-1
Αρσενικό (As)	99	99
Βάριο (Ba)	-1	-1
Βυρήλλιο (Be)	0	0
Κάδμιο (Cd)	1	-1
Χρώμιο, σύνολο (Cr)	-	-
Χρώμιο, τρισθενές (Cr ³⁺)	-1	-1
Χρώμιο, εξασθενές (Cr ⁶⁺)	1	-1
Χαλκός (Cu)	-1	-1
Μόλυβδος (Pb)	22	11
Υδράργυρος (Hg)	8	-1
Νικέλιο (Ni)	-1	-1
Βανάδιο (V)	-1	-1
Ψευδάργυρος (Zn)	0	0
Δείκτης Πολλαπλής Χημικής Δυνητικής Επίπτωσης	127	109

Πίνακας 5. Υπολογισμός του Δείκτη Μέσης Πολλαπλής Χημικής Δυνητικής Επίπτωσης για τη σκόνη των σπιτιών στο Λαύριο.

<i>Ανόργανα Στοιχεία</i>	<i>Σκόνη Σπιτιών Αριθμητικός μέσος του Δείκτη Επικινδυνότητας των αστικών εδαφών</i>
Αντιμόνιο (Sb)	-
Αρσενικό (As)	29
Βάριο (Ba)	-
Βυρήλλιο (Be)	-
Κάδμιο (Cd)	-1
Χρώμιο (Cr), σύνολο	-
Χρώμιο, τρισθενές (Cr ³⁺)	-
Χρώμιο, εξασθενές (Cr ⁶⁺)	-
Χαλκός (Cu)	-1
Μόλυβδος (Pb)	5
Υδράργυρος (Hg)	3
Νικέλιο (Ni)	-
Βανάδιο (V)	-
Ψευδάργυρος (Zn)	-1
Δείκτης Πολλαπλής Χημικής Δυνητικής Επίπτωσης	37

Κατά μέσο όρο, υπάρχουν τέσσερα στοιχεία (αντιμόνιο, αρσενικό, μόλυβδος και υδράργυρος), που έχουν μέσο δείκτη επικινδυνότητας μεγαλύτερο από 1 στα αστικά εδάφη. Σημειώνεται ότι προσδιορίστηκε μικρότερος αριθμός χημικών στοιχείων στα δείγματα της σκόνης των σπιτιών σε σύγκριση με τα δείγματα των εδαφών. Για τα εδάφη των βιομηχανικών και εμπορικών περιοχών τα στοιχεία που ενδιαφέρουν είναι το αρσενικό και ο μόλυβδος. Ο πιθανός Δείκτης Πολλαπλής Χημικής Δυνητικής Επίπτωσης στα αστικά εδάφη είναι υψηλότερος (127) από των εμπορικών περιοχών (109) και από τη σκόνη των σπιτιών (37), υποδεικνύοντας ότι μεγαλύτερη προτεραιότητα θα πρέπει να δοθεί στην αποκατάσταση των αστικών περιοχών.

Η παραπάνω ανάλυση δείχνει ότι τα δύο στοιχεία ενδιαφέροντος με τον μεγαλύτερο δείκτη επικινδυνότητας είναι το αρσενικό και ο μόλυβδος. Οι Δημητριάδης και Βασιλειάδης (1998) διεξήγαγαν γεωστατιστική δομική ανάλυση για το αρσενικό και το μόλυβδο και βρήκαν ότι τα δύο στοιχεία ακολουθούσαν παρόμοια χωρική κατανομή (βλ. Χάρτες 3.4 και 6.3 στον Τόμο 2 της παρούσας μελέτης). Αυτό διευκόλυνε την εκτίμηση επικινδυνότητας, δεδομένου ότι μπορεί να λάβουμε υπόψη την επίπτωση του κινδύνου μόνο για ένα στοιχείο και όχι για όλα τα στοιχεία. Εφόσον, η γεωγραφική κατανομή των άλλων τοξικών στοιχείων είναι σχεδόν παρόμοια, ο Δείκτης Πολλαπλής Χημικής Δυνητικής Επίπτωσης αυξάνει αναλογικά στο χώρο, αλλά τα ποσοστά παραμένουν σχετικά σταθερά. Τέλος, ο βαθμός ρύπανσης των εδαφών της αστικής περιοχής του Λαυρίου από τοξικά στοιχεία είναι πολύ υψηλός και δημιουργεί σημαντικό κίνδυνο για την υγεία.

3.2. ΑΕΡΑΣ

Στο Λαύριο υπάρχουν πολύ λίγες μετρήσεις παρακολούθησης του ατμοσφαιρικού αέρα. Τα στοιχεία που παρουσιάζονται, συλλέχθηκαν κατά το τέλος της δεκαετίας του 1980, αλλά δυστυχώς ο σταθμός στη συνέχεια έπαυσε να λειτουργεί. Οι Makropoulos et al. (1991) αναφέρουν ότι οι συγκεντρώσεις Pb στον ατμοσφαιρικό αέρα ήσαν ως εξής. Το 1987, ο μέσος όρος τιμών ήταν $1,62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (διακύμανση: 0,38 έως $2,54 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Τον Ιανουάριο του 1988, ο μέσος όρος των συγκεντρώσεων ήταν $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (μέγιστη τιμή $0,36 \mu\text{g}/\text{m}^3$), τον Φεβρουάριο $5,07 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (μέγιστη τιμή $22,44 \mu\text{g}/\text{m}^3$) και τον Μάρτιο $1,59 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (μέγιστη τιμή $4,04 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Οι συγγραφείς δεν αναφέρουν τις πηγές των δεδομένων. Οι συγκεντρώσεις του ατμοσφαιρικού αέρα δεν δίδονται σε καθιερωμένες μονάδες ατμοσφαιρικής ρύπανσης (όπως μέσος όρος 8 ωρών), και έτσι δεν μπορούν να συγκριθούν άμεσα με τις οδηγίες άλλων χωρών. Ωστόσο, η Πολιτεία του Κονέκτικατ των ΗΠΑ θέσπισε Όρια Επικινδύνων Τιμών για τον μόλυβδο (ανόργανη μορφή, εκπομπή αερίων και σκόνη) στα $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για μέσο όρο-8 ωρών και $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για μέσο όρο 30-λεπτών. Οι τιμές αυτές δείχνουν ότι η ρύπανση στον αέρα του Λαυρίου ήταν σε επικίνδυνα επίπεδα κατά το τέλος της δεκαετίας του 1980. Προτείνεται η εκπόνηση νέων μελετών για την εκτίμηση της υπάρχουσας κατάστασης των επιπέδων ρύπανσης του αέρα.

Δεδομένης της ύπαρξης του λεπτόκοκκου υλικού ορισμένων μεταλλουργικών απορριμμάτων, η εισπνοή μπορεί να είναι η βασική δίοδος των βαρέων μετάλλων για την πρόσληψή τους από τους κατοίκους, και ιδιαίτερα από τα παιδιά. *Συνιστάται η εγκατάσταση ενός σταθμού παρακολούθησης και συλλογής ατμοσφαιρικών δεδομένων, τα οποία θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της υπάρχουσας κατάστασης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.*

3.3. ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΑΤΑ

Οι υδάτινοι πόροι της αστικής περιοχής του Λαυρίου αποτελούνται κυρίως από υπόγεια ύδατα. Δεν υπάρχουν ποτάμια (εκτός από μερικούς χειμάρρους που αποστραγγίζουν την περιοχή) ή λίμνες στο Δήμο του Λαυρίου. Οι επιπτώσεις της ρύπανσης των υπογείων υδάτων από βαρέα μέταλλα δεν έχουν εκτιμηθεί ακόμη συστηματικά. Έγιναν μόνο λίγες μετρήσεις της ποιότητας των υπογείων υδάτων. Οι κατοικίες της περιοχής στο παρελθόν χρησιμοποιούσαν τα τοπικά υπόγεια ύδατα ως πηγή ύδρευσης. Από τις 30 Απριλίου 1984 (Κ. Πόγκας, προσ. πληροφ., 1999), ο Δήμος Λαυρεωτικής συνδέθηκε με το ίδιο δίκτυο ύδρευσης με την Αθήνα. Σήμερα υπάρχουν τουλάχιστον 15 πηγάδια στην περιοχή, τα οποία χρησιμοποιούν το υπόγειο νερό για αρδευτικούς σκοπούς.

Οι Κοντοπουλος κ.ά. (1995a) συνόψισαν τα υπάρχοντα δεδομένα για την ποιότητα των υπογείων υδάτων του Λαυρίου (Πίνακας 6) (βλ. επίσης Κεφάλαιο 10 στους Τόμους 1 & 2, και Τόμο 1B αυτής της μελέτης). Τα δεδομένα δείχνουν ότι τα υπόγεια υδάτινα αποθέματα έχουν υπερχρησιμοποιηθεί στο παρελθόν, προκαλώντας σημαντική διείσδυση θαλάσσιου νερού στον υδροφόρο ορίζοντα. Οι υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών δείχνουν επιπτώσεις από τις γεωργικές δραστηριότητες (λιπάσματα) και την ακατάλληλη απόθεση των υγρών αστικών λυμάτων (σηπτική δεξαμενή) σε ένα εγκαταλελειμένο μεταλλείο κοντά στο Στεφάνι. Η απόθεση των υγρών αποβλήτων γινόταν για περισσότερο από 15 χρόνια και εναποτίθενταν λύματα, όχι μόνο από τους κατοίκους του Λαυρίου, αλλά από πολλούς οικισμούς της ανατολικής Αττικής. Στις αρχές της δεκαετίας του 1980, οι μετρήσεις ποιότητας του νερού έδειξαν υψηλές συγκεντρώσεις αμμωνίας οφειλόμενες στην απόθεση λυμάτων και αυτό έδωσε την ώθηση για να συνδεθεί το Λαύριο με το δίκτυο ύδρευσης των Αθηνών. Το ΙΓΜΕ πήρε μετρήσεις από 15 πηγάδια στην περιοχή του Λαυρίου το 1998, τα αποτελέσματα των οποίων παρουσιάζονται στον Πίνακα 6 (βλ. Κεφάλαιο 10 στους Τόμους 1 & 2, και Τόμο 1B αυτής της μελέτης). Αυτά τα δεδομένα αποτελούνται από υψηλές συγκεντρώσεις ανιόντων εξ' αιτίας της διείσδυσης του θαλάσσιου νερού και από συγκεντρώσεις νιτρικών λόγω ρύπανσης.

Πίνακας 6. Δεδομένα ποιότητας Υπογείων Υδάτων του Λαυρίου.

Παράμετρος	Δούνας (1967)	Κούνης (1981)	ΕΜΠ (1994)*	ΙΓΜΕ (αυτή η μελέτη) (1999)**
pH	7.45	7.90	7.0- 7.98	6.96- 7.72
Ασβέστιο (Ca, mg/l)	148.80	166.73	57.0- 180.00	41.68- 298.19
Μαγνήσιο (Mg, mg/l)	79.91	86.62	16.7- 100.00	37.42- 176.90
Χλωρίδια (Cl ⁻ , mg/l)	1063.71	1099.29	-	131.20-1851.01
Νάτριο (Na, mg/l)	601.22	625.86	-	110.00-1300.00
Θειικό άλας (SO ₃ ²⁻ , mg/l)	206.30	297.59	20.0- 640.00	18.60-1405.00
Νιτρικό άλας (NO ₃ ⁻ , mg/l)	18.92	66.46	-	0.15- 137.72
Χαλκός (Cu, mg/l)	-	0.060	<0.1	0.005- 0.110
Κάδμιο (Cd, mg/l)	-	0.016	<0.05	0.001- 0.004
Ψευδάργυρος (Zn, mg/l)	-	1.048	0.07-3.7	0.010- 1.000
Νικέλιο (Ni, mg/l)	-	0.019	-	0.005- 0.010
Μόλυβδος (Pb, mg/l)	-	0.094	<0.5	0.005- 0.030
Αρσενικό (As, mg/l)	-	-	<2.0	-
Αντιμόνιο (Sb, mg/l)	-	-	<1.0	-

* οι μετρήσεις έγιναν σε 7 διαφορετικές τοποθεσίες

** οι μετρήσεις έγιναν σε 15 διαφορετικές τοποθεσίες (βλ. Κεφάλαιο 10 στους Τόμους 1 & 2, και Τόμο 1B)

Οι λίγες μετρήσεις δείχνουν ότι οι συγκεντρώσεις χαλκού, καδμίου και μολύβδου πιθανόν να ξεπερνούν τα κριτήρια ποιότητας νερού της ΕΡΑ. Περισσότερες μετρήσεις ποιότητας νερού είναι απαραίτητες για μία πλήρη εκτίμηση της ποιότητας των υπογείων

υδάτων, έτσι ώστε να δοθούν οι απαραίτητες οδηγίες στους κατοίκους του Λαυρίου. Οι μετρήσεις πρέπει να περιλαμβάνουν και αρσενικό, βυρήλλιο και αντιμόνιο, εξ' αιτίας της πιθανής έκπλυσης των στοιχείων αυτών από το ρυπασμένο έδαφος και τα μεταλλουργικά απορρίμματα, καθώς και για τη γνωστή καρκινογόνο τους ιδιότητα. Υπάρχει πιθανότητα η ποιότητα των τοπικών υπογείων υδάτων προοδευτικά να χειροτερεύει εξ' αιτίας της συνεχούς κατείσδυσης των ρύπων από τα ακόρεστα και ασύνδετα υλικά. Οι περιορισμένες βροχοπτώσεις και η χαμηλή διαπερατότητα των υλικών, σε συνδυασμό με την αυξημένη ικανότητα κατακράτησης των βαρέων μετάλλων (οφειλόμενη στην υψηλή περιεκτικότητα ανθρακικών), έχουν εμποδίσει την εκτεταμένη ρύπανση των υπογείων υδάτων. Ωστόσο, υπάρχουν ενδείξεις ότι οι ρύποι κατεισδύουν διά μέσου του εδαφικού καλύμματος (Kontopoulos *et al.*, 1995b), και μπορεί να διαπεράσουν την ακόρεστη ζώνη (βλ. Κεφάλαιο 10 στους Τόμους 1 & 2, και Τόμο 1B αυτής της μελέτης).

Οι υδάτινοι πόροι γίνονται όλο και περισσότερο σπάνιοι και πολύτιμοι. Για τους λόγους αυτούς η ρύπανση των υπογείων υδάτινων πόρων είναι πολύ σοβαρή, δεδομένου ότι χρειάζεται μεγάλο χρονικό διάστημα για να αυτοκαθαριστούν με φυσικές διεργασίες. Τα υπόγεια ύδατα μπορεί να χρησιμοποιηθούν και από τις επόμενες γενιές ως πηγή ύδρευσης και γι' αυτό θα πρέπει να προστατευτούν.

3.4. ΤΟΠΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ

Οι γεωργικές δραστηριότητες του Δήμου αποτελούνται από ιδιωτικούς κήπους με λαχανικά και μικρής έκτασης ελαιώνες και αμπέλια (Σχ. 5). Δυστυχώς οι περισσότερες από αυτές τις γεωργικές δραστηριότητες λαμβάνουν χώρα σε περιοχές που υπάρχουν μεταλλουργικά απορρίμματα (Σχ. 5-6 & βλ. Χάρτες 2.3 & 2.4, Τόμος 2 αυτής της μελέτης). Οι μελέτες πρόσληψης βαρέων μετάλλων από τα φυτά της περιοχής είναι περιορισμένες και μη συστηματικές.

Υπάρχουν μόνο επιλεγμένες μετρήσεις, που αναφέρονται σε συγκεκριμένα είδη φυτών από τους ερευνητές του Ινστιτούτου Δασικών Ερευνών (Nakos, 1979a, b), του Γεωργικού Πανεπιστημίου Αθηνών (Chronopoulos and Chronopoulou-Sereli, 1986a, 1986b, 1991; Chronopoulou-Sereli and Chronopoulos, 1991a, 1991b;) και του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου (Kontopoulos *et al.*, 1996; Xenidis *et al.*, 1997; Kontopoulos and Theodoratos, 1998), και δεν υπάρχουν λεπτομερείς μελέτες για την εποχιακή διακύμανση της πρόσληψης των μετάλλων από τα φυτά, καθώς και για τα πρότυπα κατανάλωσης από τον άνθρωπο.

Οι Kontopoulos κ.ά. (1996) αναφέρουν εξαιρετικά υψηλές συγκεντρώσεις μολύβδου στα φυτά που αναπτύσσονται στα απορρίμματα εμπλουτισμού/επίπλευσης (ή «σαβούρα» όπως ονομάζονται από τους κατοίκους της περιοχής) από την επεξεργασία των οξειδωμένων μεταλλευμάτων. Οι Πίνακες 7 και 8 παρουσιάζουν τα αποτελέσματα και τα συγκρίνουν με τις οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Οι συγκεντρώσεις μολύβδου ήταν πολύ υψηλότερες από τις αντίστοιχες συνιστώμενες οδηγίες. Οι Kontopoulos and Theodoratos (1998) αναφέρουν συγκεντρώσεις τοξικών στοιχείων (Pb, Zn, Cd, και As) σε φυτά που αναπτύσσονται σε περιοχές με απορρίμματα εμπλουτισμού/επίπλευσης (σαβούρα), όπου οι συγκεντρώσεις όλων των στοιχείων είναι υψηλές. Αυτό είναι πολύ επικίνδυνο για την υγεία των κατοίκων, διότι δύο από τα στοιχεία είναι γνωστά καρκινογόνα. Το Σχήμα 6 δείχνει μια γηραιά κυρία από την περιοχή, η οποία συλλέγει άγρια χόρτα που αναπτύσσονται στο υλικό της σαβούρας. Ο Οργανισμός Food and Drug των ΗΠΑ συνιστά ότι η ανεκτή καθημερινή ποσότητα πρόσληψης μολύβδου είναι 6 μg για παιδιά κάτω της ηλικίας των 6 ετών, 25 μg για

έγκυες γυναίκες, και 75 μg για ενήλικες. Αυτή η συνιστώμενη ημερήσια δόση μπορεί να καλυφθεί τρώγοντας μόλις 5-6 g ελιές. Δεδομένου ότι η τοπική παραγωγή καταναλώνεται πιθανότατα από τους παραγωγούς και τις οικογένειές τους, είναι απαραίτητο ο πληθυσμός αυτός να προειδοποιηθεί για τους κινδύνους των υψηλών συγκεντρώσεων μολύβδου και να σταματήσουν άμεσα την παραγωγή και την κατανάλωσή της.

Πίνακας 7. Πρόσληψη μολύβδου (Pb) από φυτά που αναπτύσσονται στα απορρίμματα επίπλευσης/εμπλουτισμού («σαβούρα»).

Τύπος βλάστησης	Φρούτα Pb (mg/kg)	Φύλλα Pb (mg/kg)
Ελιές	5.6	386
Αμπέλια	8.7	175
Οδηγίες Ευρωπαϊκής Ένωσης	0.1	0.3*

* Για φυλλώδη βλάστηση

Πίνακας 8. Απορρόφηση μολύβδου από φυτά που καλλιεργούνται σε υλικά εμπλουτισμού (υλικό «σαβούρα»).

Στοιχείο	Εληές	Σταφύλια	Φύλλα αμπελιών
Μόλυβδος, Pb (mg/kg)	1.1	0.20	35.0
Ψευδάργυρος, Zn (mg/kg)	11.0	0.80	37.0
Κάδμιο, Cd (mg/kg)	0.6	0.06	0.6
Αρσενικό, As (mg/kg)	0.4	0.06	3.3

3.5. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ

Οι επιπτώσεις της εντατικής μεταλλουργικής δραστηριότητας και η επακόλουθη φυσική και ανθρωπογενής διασπορά των απορριμμάτων εξετάστηκαν λεπτομερώς στην αστική περιοχή του Λαυρίου τα τελευταία 20 χρόνια. Επανεξέταση των επιδημιολογικών αποτελεσμάτων έδειξε ότι υπάρχει στενή γεωγραφική συσχέτιση μεταξύ του βαθμού ρύπανσης των επιφανειακών εδαφών και των συγκεντρώσεων μολύβδου (b-Pb) στο αίμα των παιδιών (βλ. Τόμους 1 & 2 αυτής της μελέτης). Οι συγκεντρώσεις μολύβδου (Pb) στο αίμα και αρσενικού (As) στα ούρα, καθώς και μολύβδου στα νεογνά δόντια των παιδιών θεωρήθηκαν τοξικές (Benetou-Marantidou et al., 1985; Nakos, 1985; Hatzakis et al. 1987; Maravelias et al., 1989; Eikmann et al., 1991; Makropoulos, 1991, 1992; Stavrakis et al., 1994; Kafourou, 1997). Στην έκθεση αυτή, θα γίνει προσπάθεια να συνοψισθούν όλες αυτές οι μελέτες και να προσδιοριστεί η σχέση μεταξύ της περιβαλλοντικής ρύπανσης και των αρνητικών επιπτώσεων της στην υγεία του πληθυσμού.

Κατά τη διάρκεια του Μαρτίου και Απριλίου 1985, οι Maravelias et al. (1989) πήραν δείγματα αίματος από 514 παιδιά, μαθητές των τεσσάρων δημοτικών σχολείων (274 αγόρια και 240 κορίτσια, ηλικίας από 5 έως 12 ετών), τα οποία βρίσκονται σε διαφορετική απόσταση από το μεταλλουργικό συγκρότημα. Το ένα σχολείο απέχει 500 m, το άλλο 900 m και τα υπόλοιπα δύο περισσότερο από 1500 m από το εργοστάσιο. Τα αποτελέσματα της μελέτης παρουσιάζονται στον Πίνακα 9. Τα σημαντικότερα αποτελέσματα της μελέτης συνοψίζονται παρακάτω:

1. η μέση συγκέντρωση στο αίμα ήταν 21,7 mg/dl για τον μόλυβδο (Pb) και 0,36 mg/dl για το κάδμιο (Cd),

2. τα αγόρια είχαν σημαντικά υψηλότερες συγκεντρώσεις μολύβδου και καδμίου στο αίμα τους από τα κορίτσια,
3. οι συγκεντρώσεις μολύβδου (Pb) στο αίμα δεν επηρεάζονται από την ηλικία, ενώ οι συγκεντρώσεις καδμίου (Cd) στο αίμα αυξάνονται εμφανώς με την ηλικία,
4. οι συγκεντρώσεις του μολύβδου (Pb) και του καδμίου (Cd) στο αίμα αυξάνονται όσο μικρότερη είναι η απόσταση του σχολείου από την καμινάδα του εργοστασίου εμπλουτισμού, συμπέρασμα το οποίο έρχεται σε αντίθεση με τα αποτελέσματα των πρόσφατων μελετών (Stavrakis et al., 1994; Demetriades et al., 1997; Τόμοι 1 & 2 αυτής της μελέτης), και
5. Τα παιδιά των ανειδίκευτων εργατών (οι οποίοι εργάζονταν στο μεταλλουργικό συγκρότημα μολύβδου-ψευδαργύρου) είχαν υψηλότερες συγκεντρώσεις μολύβδου (Pb) στο αίμα από τα υπόλοιπα παιδιά, των οποίων οι πατέρες είχαν άλλο είδος απασχόλησης ή υψηλότερο επίπεδο μόρφωσης. Τα επίπεδα συγκεντρώσεων καδμίου (Cd) στο αίμα των παιδιών δεν παρουσίασαν σημαντικές διαφοροποιήσεις ανάλογα με την κοινωνική τάξη.

Οι Maravelias και συνεργάτες (1989) συμπέραναν ότι τα αποτελέσματα των μελετών τους, σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα των δύο προηγούμενων μελετών από τους

- Hatzakis et al. (1987), οι οποίοι συμπέραναν ότι «*υπάρχει αρνητική σχέση μεταξύ των συγκεντρώσεων μολύβδου (Pb) στο αίμα και των σύνθετων νοητικών λειτουργιών και της ικανότητας συγκέντρωσης*» στα παιδιά του Λαυρίου, και
- Benetou-Marantidou et al. (1985), οι οποίες έδειξαν ότι «*τα παιδιά που είχαν ζήσει όλη τη ζωή τους κοντά στην καμινάδα παρουσίαζαν σημαντική επιβάρυνση παθολογικών χαρακτηριστικών και έντονες ενδείξεις οργανικής εγκεφαλικής βλάβης, συνδεδεμένες με επιπτώσεις στη συμπεριφορά τους*»,

δείχνουν ότι **“επείγει να γίνουν οι απαραίτητες ενέργειες για τη μείωση του βαθμού έκθεσης στον μόλυβδο των παιδιών του Λαυρίου”**. Το Σχήμα 10 παρουσιάζει την κατανομή των επιπέδων του μολύβδου στο αίμα των παιδιών του Λαυρίου. Όπως έχει ήδη τονιστεί, η επανεξέταση των επιδημιολογικών δεδομένων σε συνδυασμό με τα γεωχημικά αποτελέσματα και τη χαρτογράφηση των μεταλλουργικών απορριμμάτων (Σχ. 7 & 9 και Χάρτες 2.3 & 3.4 στον Τόμο 2 αυτής της μελέτης), δείχνει ότι υπάρχει στενή γεωγραφική σχέση μεταξύ της κατανομής των επιπέδων μολύβδου (Pb) στο αίμα των παιδιών και της κατανομής των έντονα ρυπασμένων περιοχών. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις μολύβδου στο αίμα βρέθηκαν στα παιδιά, των οποίων τα σπίτια ήσαν χτισμένα σε σωρούς υπολειμμάτων της μεταλλουργικής κατεργασίας, ειδικά στα λεπτόκοκκα και μεσόκοκκα απορρίμματα εμπλουτισμού («σαβούρα»).

Πίνακας 9. Επίπεδα συγκεντρώσεων μολύβδου ($\mu\text{g Pb/dl}$) και καδμίου ($\mu\text{g Cd/dl}$) στο αίμα σε δείγμα 514 παιδιών του Λαυρίου (Maravelias et al., 1989, Πίνακες 1 και 2, σελ. 64).

Ομάδα	N	Μέσος b-Pb	Εύρος b-Pb	Μέσος b-Cd	Εύρος b-Cd
Αγόρια	274	23.4	9.4-79.8	0.37	0.1-2.8
Κορίτσια	240	19.9	7.4-59.3	0.34	0.1-0.7
Σύνολο	514	21.7	7.4-79.8	0.36	0.1-2.8

Οι Makropoulos κ.ά. (1991) πήραν δείγματα από 255 παιδιά του Λαυρίου και τα σύγκριναν με δύο άλλες πόλεις της Ελλάδας, η μία είναι γνωστή λουτρόπολη χωρίς βιομηχανία (Λουτράκι) και η άλλη με διύλιστήρια (Ασπρόπυργος-Ελευσίνα). Τα παιδιά του Λαυρίου παρουσίασαν πολύ μεγαλύτερες συγκεντρώσεις μολύβδου στο αίμα (μέση

τιμή = 19,24 µg Pb/dl, διακύμανση = 5,98-60,49 µg Pb/dl), από το Λουτράκι (μέση τιμή = 5,14 µg Pb/dl, διακύμανση = 1,33-13,58 µg Pb/dl) και τον Ασπρόπυργο (μέση τιμή = 7,45 µg Pb/dl, διακύμανση = 2,77-20,45 µg Pb/dl).

Οι Eikmann κ.ά. (1991) μελέτησαν τα επίπεδα αρσενικού στα ούρα εργατών και παιδιών του Λαυρίου. Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται στον Πίνακα 10. Περισσότερο από το 70% των εργατών στο εργοστάσιο κατεργασίας μολύβδου και 45% των εργατών στο εργοστάσιο μπαταριών παρουσίασαν ρυθμούς απέκκρισης αρσενικού μεγαλύτερους από τα επιτρεπόμενα όρια για ενήλικες και περισσότερα από 8% των παιδιών παρουσίασαν ρυθμούς απέκκρισης αρσενικού μεγαλύτερους από το όριο των 20 µg As/24 h. Αυτές οι τιμές είναι πάρα πολύ υψηλές.

Παρόμοιες τιμές παρατηρήθηκαν στο Μπανγκλαντές και στη Δυτική Βεγγάλη στην Ινδία, όπου υπήρχαν εκτεταμένοι δηλητηριασμοί από αρσενικό εξ' αιτίας της διαλυτοποίησης του αρσενοπυρίτη και αποδέσμευσης του αρσενικού στα υπόγεια ύδατα. Υπολογίζεται ότι περισσότεροι από 77 εκατομμύρια άνθρωποι από το Μπανγκλαντές (Biswas et al., 1998; Dhar et al., 1997) εκτέθηκαν μέσω του πόσιμου νερού σε επίπεδα αρσενικού (As) μεγαλύτερα από τα αποδεκτά επιτρεπόμενα όρια (10 ppb As) του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO). Υπάρχουν χιλιάδες περιπτώσεις ασθενειών σχετιζόμενες με το αρσενικό, οι οποίες τελικά οδηγούν σε καρκίνο και σε θάνατο. Το ίδιο συμβαίνει και στην επαρχία της Δυτικής Βεγγάλης (Chatterjee et al., 1995; Das et al., 1995; Mandal et al., 1996) στην Ινδία (38 εκατομμύρια άνθρωποι εκτίθενται στον κίνδυνο της ρύπανσης από αρσενικό). Αν και το αρσενικό στα εδάφη του Λαυρίου δεν είναι τόσο βιοδιαθέσιμο, όπως στην περίπτωση του Μπανγκλαντές και της Ινδίας (όπου βρέθηκε στο νερό) και καμμία σύγκριση δοσολογιών δεν έγινε, ο υψηλός ρυθμός απέκκρισης αρσενικού, που εμφανίστηκε στα δείγματα ούρων των ενηλίκων και των παιδιών, απαιτεί οι υπηρεσίες παροχής υγείας της περιοχής να είναι ενήμερες για τα συμπτώματα της επιβάρυνσης από αρσενικό και να είναι ικανές να προβούν σε άμεση διάγνωση.

Πίνακας 10. Επίπεδα Αρσενικού στα ούρα (µg As/24 h) των εργατών και των παιδιών του Λαυρίου (Eikmann et al., 1991, Table 1, σελ. 464).

Ομάδα/Εργοστάσιο	N	Μέση διακύμανση	>20 µg As/24 h	>40µg As/24 h
Εργάτες				
Εργοστάσιο επεξεργασίας μολύβδου	34	77,42	1,84-192,95	70,6%
Εργοστάσιο μπαταριών	31	43,97	8,54-173,12	45,2%
Παιδιά	261	8,59	0,53-77,23	8.4%

Άλλες παρόμοιες επιδημιολογικές μελέτες (Makrooulos et al., 1992a, 1992b; Kafourou et al., 1997), έδειξαν επίσης ότι, η εκτεταμένη περιβαλλοντική ρύπανση στο Λαύριο επηρέασε αρνητικά τη σωματική ανάπτυξη των παιδιών πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης. Μία πιο λεπτομερής περίληψη των επιδημιολογικών μελετών που εκπονήθηκαν βρίσκεται σε άλλες έκθεσεις (Demetriades, 1992), καθώς και στην ενδιάμεση και τελική αυτού του έργου (Demetriades et al., 1996; βλ. Τόμους 1 και 2 αυτής της μελέτης).

Το Κέντρο Ελέγχου Νοσημάτων των ΗΠΑ θεωρεί ότι, επίπεδα μολύβδου στο αίμα που υπερβαίνουν τη συγκέντρωση των 25 µg Pb/dl στους ενήλικους είναι ανησυχητικά, ενώ για τα παιδιά η τιμή μειώνεται στα 10 µg Pb/dl. Εάν χρησιμοποιηθούν αυτά τα όρια

για τη σύγκριση, τότε το 95% των παιδιών του Λαυρίου έχουν συγκεντρώσεις μολύβδου (Pb) στο αίμα τους σε επίπεδα ανησυχητικά.

Ο Πίνακας 11 παρουσιάζει τις τοξικότητες των επιλεγμένων βαρέων μετάλλων. Ο πίνακας προέρχεται από την εργασία των Johnson και DeRosa (1997) και παρουσιάζει τη δοσολογία και τους τρόπους έκθεσης, με τους οποίους διάφορα βαρέα μέταλλα μπορούν να βλάψουν τα ανθρώπινα όργανα και συστήματα. Πέντε από τα βαρέα μέταλλα και μεταλλοειδή που παρουσιάζονται (και είναι παρόντα στην επιφανειακή ρύπανση του Λαυρίου) θεωρούνται ή είναι ύποπτα ως καρκινογόνα. Όλα αυτά τα στοιχεία, σε διάφορες δοσολογίες, μπορούν να προκαλέσουν βλάβες σε ανθρώπινα όργανα και συστήματα. Γενικά αποδεικνύεται ως συμπέρασμα, ότι υπάρχουν επαρκείς αποδείξεις, οι οποίες συνδέουν τις αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων με την επιφανειακή ρύπανση των εδαφών (υλικά του εδαφικού καλύμματος) στην πόλη του Λαυρίου.

Πίνακας 11. Τοξικότητα των συστημάτων του ανθρώπινου οργανισμού από επιλεγμένα τοξικά στοιχεία (από Johnson και DeRosa, 1997, προσαρμοσμένα για την παρούσα μελέτη). Δοσολογία και δίοδοι της έκθεσης για την πρόκληση βλαβών σε ανθρώπινα όργανα και συστήματα.

Στοιχείο	Θνησιμότητα	Σηκώτι	Νεφρά	Πνεύμονες	Αναπαραγωγικό σύστημα	Νευρικό σύστημα	Καρδιοαγγειακό σύστημα	Ανοσοποιητικό σύστημα	Δέρμα	Καρκινογόνα
Pb	VH(o,i)	-	L(o,i)	-	L(o,i)	L(o,i)	VH(o,i)	L(o,l)	H(d)	Όχι
As	VH(o)	-	-	H(i)	-	H(o)	VH(o,i)	-	H(o) L(i)	Ναι
Cd	VH(i)	-	L(o,i)	L(o,i)	-	-	-	-	-	Υποψία
Cr	VH(o)	VH(o)	VH(o)	VH(i)	H(o)	VH(o)	H(o)	-	-	Ναι
Zn	-	-	-	-	VH(o)	-	H(o)	H(i)	H(d)	Όχι
Hg	-	-	H(i)	H(i)	H(i)	H(i)	H(i)	-	H(i)	Όχι
Cu	VH(o)	H(i)	H(o)	H(i)	-	H(i)	H(o) M(i)	-	H(i)	Όχι
Ni	VH(o)	-	H(o,i)	H(i)	-	-	H(i)	-	H(d,i)	Υποψία
Ba	-	H(o)	H(o)	H(o)	-	H(o)	H(o)	-	-	Όχι
Sb	VH(o,i,d)	VH(o) H(i)	H(i)	VH(i)	VH(i)	VH(o)	VH(o) H(i)	-	VH(d)	Όχι
Be	VH(o,i)	-	-	H(i)	-	-	VH(i)	H(i) L(o,d)	H(d)	Υποψία

Υπόμνημα: Βαθμός έκθεσης: VH = πολύ υψηλός βαθμός έκθεσης, H = υψηλός βαθμός έκθεσης, M = μέσος βαθμός έκθεσης, L = χαμηλός βαθμός έκθεσης,
 Δίοδος έκθεσης: i = εισπνοή, o = κατάποση, d = δερματική

4.0. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΝΟΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΟΥ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

4.1. ΣΤΟΧΟΙ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΟΥ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Οι στόχοι του περιβαλλοντικού σχεδίου διαχείρισης για την πόλη του Λαυρίου είναι:

1. Πρωτεύοντας στόχος είναι η βαθμιαία ελαχιστοποίηση της έκθεσης του ανθρώπου σε τοξικά στοιχεία μέσω:
 - επεμβάσεων αποκατάστασης βασισμένων στην ανάλυση κόστους/οφέλους,
 - αλλαγών του τρόπου ζωής διά της επιμόρφωσης,
 - νομοθετικών ρυθμίσεων σε θέματα αλλαγής των χρήσεων γης,
 - οδηγιών για υγιεινή και ασφάλεια, και
 - εξάλειψης της κατανάλωσης μολυσμένων καρπών και νερού.
2. Δευτερεύοντας στόχος είναι η προστασία των υδάτινων πόρων και του οικοσυστήματος, καθώς και η πλήρης αποκατάσταση του εδάφους.

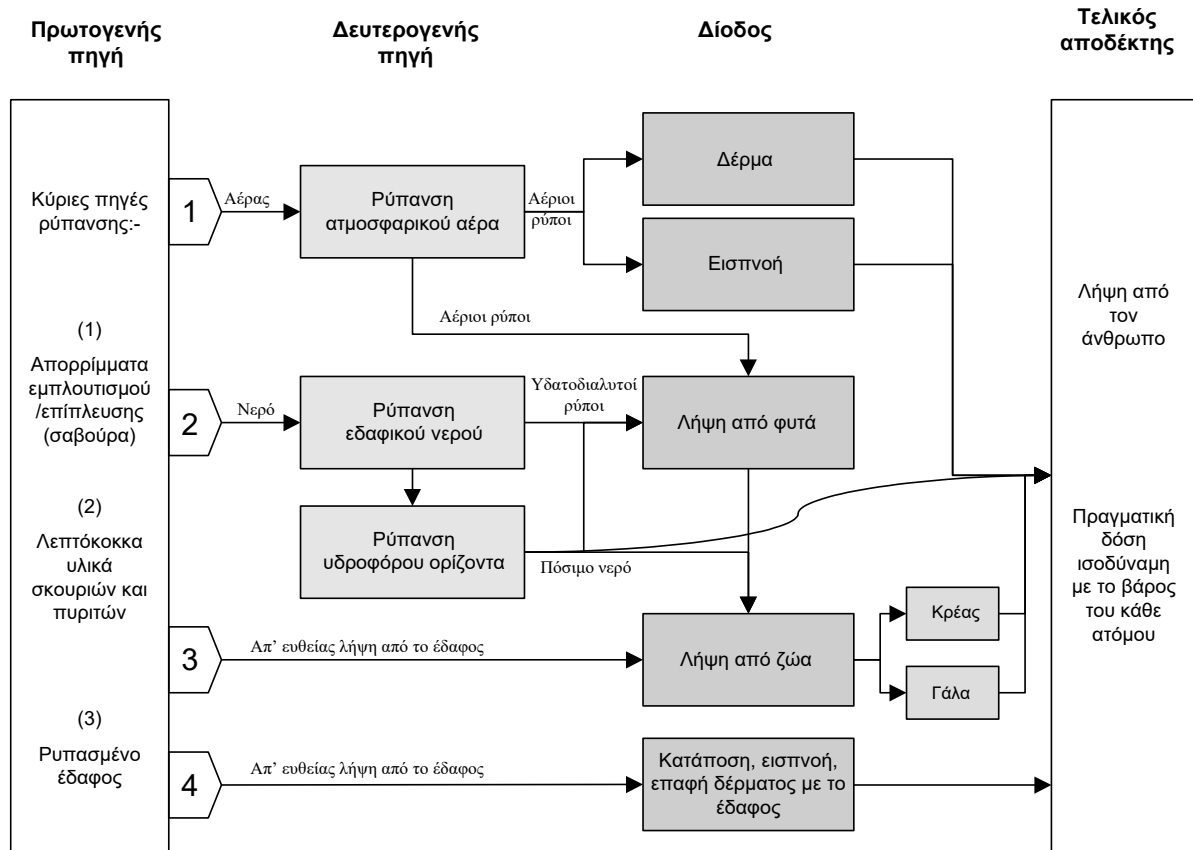
Με δεδομένο το βαθμό ρύπανσης της περιοχής, το σχέδιο περιβαλλοντικής διαχείρισης θα εστιαστεί αποκλειστικά στον πρωταρχικό στόχο. Η εφαρμογή των προτάσεων, για την εκπλήρωση του πρωταρχικού στόχου, θα προστατέψει μερικώς τους υδάτινους πόρους και τα οικοσυστήματα, αλλά και θα αποκαταστήσει τα επιφανειακά εδάφη. Ο πρωταρχικός σκοπός αυτού του σχεδίου σχετίζεται περισσότερο με τις επιπτώσεις της *“άμεσης έκθεσης του ανθρώπου”* στους ρυπαντές, παρά με τις επιπτώσεις της *“κινητικότητας”* των ρύπων από το έδαφος προς άλλους αποδέκτες. Αυτή η διάκριση είναι εξαιρετικά σημαντικό να κατανοηθεί, γιατί καθορίζει τον τύπο ανάλυσης που θα διεξαχθεί, δηλαδή μία ανάλυση βασισμένη στην επικινδυνότητα, παρά μία ανάλυση του μηχανισμού μεταφοράς των ρύπων.

4.2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Το σχηματικό μοντέλο ρύπανσης, που συμβαδίζει με τον πρωτεύοντα στόχο αυτής της μελέτης, παρουσιάζεται στο Σχ. 15. Το μοντέλο αυτό σχετίζεται με την ιστορία της περιοχής. Οι εξορυκτικές και μεταλλουργικές εργασίες των τελευταίων 5000 χρόνων, και ειδικά οι εντατικές μεταλλουργικές δραστηριότητες των τελευταίων εκατό χρόνων, έχουν δημιουργήσει σωρούς απορριμμάτων που αποτελούν την κύρια πηγή ρύπανσης. Οι ανθρωπογενείς, αιολικές και υδάτινες διεργασίες, έχουν ως αποτέλεσμα την εξάπλωση της ρύπανσης και έχουν δημιουργήσει μία εκτεταμένη δευτερεύουσα πηγή ρύπανσης, που είναι το υπάρχον επιφανειακό έδαφος. Τα δυσμενή αποτελέσματα στην ανθρώπινη υγεία αποδίδονται στην άμεση έκθεση (εισπνοή σωματιδίων σκόνης και κατάποση χώματος και σκόνης) και στην κατανάλωση μολυσμένου νερού και φρέσκων προϊόντων.

Η επέμβαση αποκατάστασης βασίζεται σε μία μεθοδολογία για την κατάταξη (με ποσοτικό τρόπο) των ρυπασμένων περιοχών, που απαιτείται να αποκατασταθούν. Τυπικά αυτή η προτεραιότητα κατευθύνεται από την ανάλυση του κόστους/οφέλους. Οι παράμετροι που χρειάζεται να ληφθούν υπ' όψη σε μια τέτοια ανάλυση είναι οι ακόλουθοι:

- βαθμός επικινδυνότητας (πιθανές επιπτώσεις)
- πηγές ρύπανσης
- δίοδοι της έκθεσης (εισπνοή, κατάποση κλπ.)



Σύνθεση από Αλ. Δημητριάδη

Σχήμα 15. Σχηματικό μοντέλο πηγής ρύπανσης-δίοδου-αποδέκτη για την αστική περιοχή του Λαυρίου.

- κατηγορίες χρήσεων γης
- επίδραση στον πληθυσμό
- μέθοδοι αποκατάστασης και η αποτελεσματικότητά τους
- δυνατότητα υλοποίησης της τεχνολογίας (μπορεί τεχνικά να είναι δυνατή, αλλά πολιτικά αδύνατη) και
- κοινωνικό κόστος και όφελος της αποκατάστασης.

Χρησιμοποιήθηκαν 30 διαφορετικές κατηγορίες χρήσεων γης (βλ. Κεφάλαιο 2 στον Τόμο 1 και Χάρτη 2.4 στον Τόμο 2 αυτής της μελέτης). Αυτές είναι:

- Κατοικία, κατάστημα και εκκλησία
- Κατοικία με περιβόλι
- Σχολείο
- Παιδική Χαρά
- Πάρκο
- Γήπεδο ποδοσφαίρου και χώρος άθλησης
- Ελαιώνας
- Αμπελώνας
- Κηπευτικά
- Σιτάρι
- Δάσος με πεύκα

- Ανοικτός χώρος με δένδρα ± (ελιές, συκιές, κ.ά.)
- Ανοικτός χώρος ± (θάμνοι, δένδρα)
- Αρχαιολογικός χώρος
- Κοιμητήριο
- Εργοστάσιο κατεργασίας μεταλλεύματος & αποθήκη
- Καπναγωγός
- Μονάδα αμμοβολής από μη-σιδηρούχες σκουριές
- Εργοστάσιο υγρών μπαταριών μολύβδου
- Εργοστάσιο (πολεμοφόδια, όπλα, σπύρτα), αποθήκη
- Πρατήριο βενζίνης, γκαράζ & συνεργείο αυτοκινήτων
- Σιδηροκατασκευές και εμπορία σιδήρου
- Αλουμινοκατασκευές
- Κλωστοϋφαντουργία
- Λοιπές βιοτεχνίες και αποθήκες υλικών
- Αποθήκη οικοδομικών υλικών
- Λιμενικές εγκαταστάσεις
- Λατομείο μαρμάρου
- Παλαιά μεταλλευτική εργασία
- Δημοτική χωματερή

Καθορίστηκαν 11 διαφορετικές κατηγορίες ρύπανσης, οι οποίες έχουν διαφορετικά γεωχημικά χαρακτηριστικά (Σχ. 7, βλ. Κεφάλαιο 2 στον Τόμο 1, και το Χάρτη 2.3 στον Τόμο 2 αυτής της μελέτης):

- Απορρίμματα εμπλουτισμού/επίπλευσης (*σαβούρα*)
- Πλινθώματα σκουριάς ή σκωρίας (ή *σκουριές*)
- Πλινθώματα και συσφαιρώματα σκουριάς ή σκωρίας
- Διάσπαρτες σκουριές
- Υλικά αμμοβολής από σκουριές και συσφαιρώματα σκουριών (ή *απορρίμματα αμμοβολής*)
- Άμμοι εμπλουτισμού/επίπλευσης με διάσπαρτο πυρίτη
- Πυριτούχα απορρίμματα επίπλευσης
- Διάσπαρτες σκουριές με αδρόκοκκα απορρίμματα επίπλευσης
- Αδρόκοκκα απορρίμματα εμπλουτισμού/επίπλευσης και άμμοι
- Απορρίμματα εμπλουτισμού/επίπλευσης (*σαβούρα*) και διάσπαρτες σκουριές
- Ρυπασμένο εδαφικό κάλυμμα - δευτερογενής πηγή ρύπανσης.

Για κάθε χρήση γης που ενυπάρχει σε κάθε πηγή ρύπανσης, δημιουργήθηκαν δύο δείκτες:

- ο δείκτης οφέλους, BI, αφορά τα οφέλη που επιτυγχάνονται από την αποκατάσταση της περιοχής, και
- ο δείκτης κόστους, CI, αφορά τα κόστη που σχετίζονται με διάφορες τεχνολογίες, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποκατάσταση της περιοχής, σε ικανοποιητικό επίπεδο, ώστε να επιτευχθούν τα αντίστοιχα οφέλη.

Ο λόγος του δείκτη κόστους/οφέλους, CI/BI, χρησιμοποιήθηκε για την κατάταξη των περιοχών ανάλογα με την προτεραιότητα που υπάρχει για αποκατάσταση. Όσο χαμηλότερη είναι η τιμή, τόσο μεγαλύτερη είναι η προτεραιότητα για αποκατάσταση.

Ο Δείκτης Οφέλους καθορίζεται με τον ακόλουθο τρόπο:

$$BI_i = EI_i * SBI_i$$

Όπου: EI_i είναι ο Δείκτης Έκθεσης της περιοχής i , και
 SBI_i είναι ο Δείκτης Κοινωνικού Οφέλους της περιοχής i .

Ο Δείκτης Κόστους καθορίζεται ως ακολούθως:

$$CI_i = (FI_j / DE_j) * SCI_i$$

Όπου: FI_j είναι η Οικονομική Επένδυση της χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας j ,
 DE_j είναι ο Βαθμός Αποτελεσματικότητας της τεχνολογίας j , και
 SCI_i είναι ο Δείκτης Κοινωνικού Κόστους.

Η χωρική ανάλυση εκτίμησης της επικινδυνότητας και έκθεσης υλοποιήθηκε ως τμήμα αυτού του έργου (Tristan et al., 1999, βλ. επίσης Κεφάλαιο 11 στους Τόμους 1 & 2, και Τόμο 1Α αυτής της μελέτης). Οι μεθοδολογίες που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της άμεσης έκθεσης του πληθυσμού στη ρύπανση του περιβάλλοντος, περιλαμβάνουν ποσοτικές και ημιποσοτικές προσεγγίσεις. Η ποσοτική προσέγγιση χρησιμοποίησε τα μοντέλα Ολοκληρωμένης Βιοκινητικής Προσομοίωσης Έκθεσης-Λήψης (Integrated Exposure Uptake BioKinetic, IEUBK) και Προσομοίωσης της Ανθρώπινης Έκθεσης σε Ρύπους του Εδάφους (Human Exposure from Soil Pollutants, HESP), ώστε να προβλέψει τη χωρική εκτίμηση των συγκεντρώσεων του μολύβδου στο αίμα των παιδιών και να τις συγκρίνει με τις υπάρχουσες μετρήσεις των επιδημιολογικών μελετών. Αυτή η προσέγγιση εξασφάλισε την εις βάθος ανάλυση των γεωγραφικών και βιοϊατρικών παραγόντων, οι οποίοι επηρεάζουν τις συγκεντρώσεις μολύβδου στο αίμα, καθώς επίσης και τον προσδιορισμό ενός μέτρου αβεβαιότητας με την εκπόνηση χαρτών πιθανής επικινδυνότητας για την περιοχή (βλ. Χάρτες στο Κεφάλαιο 11 του Τόμου 2 αυτής της μελέτης). Η ημί-ποσοτική προσέγγιση χρησιμοποίησε μία αξιολόγηση πολλαπλών κριτηρίων (Eastman, 1997) για την ανάπτυξη της χωρικής ανάλυσης του δείκτη έκθεσης. Σε αυτή την προσέγγιση χρησιμοποιήθηκαν συνεχόμενα κριτήρια (παράγοντες) και αλγεβρικοί περιορισμοί κατά Boole (δηλ. ακολουθούν τη δίτιμη λογική – υπάρχουν δεν υπάρχουν), τα οποία τυποποιήθηκαν σε κοινή αριθμητική κλίμακα και στη συνέχεια ενωποιήθηκαν με βαρυ-γραμμικό συνδυασμό για τον υπολογισμό του δείκτη έκθεσης. Κάποια κριτήρια έχουν συγκεκριμένες κατηγορίες (όπως βαθμός κονιορτοποίησης των απορριμμάτων ή περιοχές με Τεταρτογενείς αποθέσεις) και άλλα είναι συνεχόμενα (όπως γειτνίαση με απορρίμματα ή δρόμους). Οι οκτώ παράγοντες είναι:

- (1) συγκέντρωση του μολύβδου (Pb) στο εδαφικό κάλυμμα,
- (2) βαθμός κονιορτοποίησης των μεταλλουργικών απορριμμάτων,
- (3) γειτνίαση με μεταλλουργικά απορρίμματα,
- (4) γειτνίαση με υπάρχουσες ή παλαιότερες καμινάδες,
- (5) γειτνίαση με δρόμους,
- (6) γειτνίαση με ρέματα,
- (7) γειτνίαση με βιομηχανίες μολύβδου, και
- (8) βαθμός έκθεσης των παιδιών.

Οι δύο περιορισμοί είναι:

- (1) περιοχές με βιομηχανίες σχετικές με μέταλλα, και
- (2) περιοχές με Τεταρτογενείς αποθέσεις.

Ο δείκτης έκθεσης υπολογίστηκε με κάρναβο 50 x 50 μ, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για τη γεωστατιστική προβολή (kriging) των ολικών συγκεντρώσεων μολύβδου σε δείγματα επιφανειακού καλύμματος/εδάφους (Δημητριάδης και Βασιλειάδης, 1998; Tristan et al., 1999, βλ. επίσης Κεφάλαιο 11 στους Τόμους 1, 1A & 2 αυτής της μελέτης). Τα άλλα κριτήρια ελήφθησαν από τους διαθέσιμους ψηφιακούς χάρτες, όπως της λιθολογίας, των μεταλλουργικών απορριμμάτων, της χρήσης γης, του σχεδίου πόλεως και των καμινάδων (βλ. Τόμο 2 αυτής της μελέτης). Ο βαθμός κονιορτοποίησης των διαφόρων κατηγοριών των μεταλλουργικών απορριμμάτων εκτιμήθηκε βάσει των υπαρχουσών πληροφοριών. Καθορίστηκαν βαρύτητες για τα δέκα κριτήρια (*συγκέντρωση του μολύβδου στο εδαφικό κάλυμμα, βαθμός κονιορτοποίησης των μεταλλουργικών απορριμμάτων, γειτνίαση με μεταλλουργικά απορρίμματα, γειτνίαση με υπάρχουσες ή παλαιότερες καμινάδες, γειτνίαση με δρόμους, γειτνίαση με ρέματα, γειτνίαση με βιομηχανίες μολύβδου, χρόνος έκθεσης των παιδιών, περιοχές με βιομηχανίες σχετικές με μέταλλα και περιοχές με Τεταρτογενείς αποθέσεις*). Αυτό το σύνθετο σύνολο πληροφοριών επεξεργάστηκε με το Idrisi® GIS, χρησιμοποιώντας τους αλγόριθμους των Παραγόντων σε Βαρυ-Γραμμικό Συνδυασμό (Eastman, 1997), για τον υπολογισμό του δείκτη έκθεσης. Για τους σκοπούς του περιβαλλοντικού σχεδίου διαχείρισης έγινε αναγωγή της αρχικής αυθαίρετης κλίμακας (από 0 μέχρι 255) του δείκτη έκθεσης σε αναλογία επί τοις εκατό (από 0 μέχρι 100).

Δώδεκα (12) τεχνολογίες θεωρήθηκαν ως εναλλακτικές μέθοδοι για βιώσιμη αποκατάσταση στο πρόγραμμα αυτό. Ο κατάλογος αυτός δεν είναι πλήρης. Αυτές είναι οι τεχνολογίες, οι οποίες είναι άμεσα εφαρμόσιμες για την επίλυση του προβλήματος της ρύπανσης του Λαυρίου, συνδυάζοντας την αποδεκτή αποτελεσματικότητα και το χαμηλό κόστος. Οι περισσότερες από τις τεχνολογίες αναπτύχθηκαν και αξιολογήθηκαν σε επιδεικτική κλίμακα στα πλαίσια αυτού του έργου, δηλ.

- Ασφαλτόστρωση
- Πλακόστρωση
- Φύτευση
- Επιφανειακό κάλυμμα καθαρού εδάφους (60 cm) και φύτευση
- Κάλυμμα γεωμεμβράνης και φύτευση του ανωτέρου στρώματος
- Κάλυμμα συμπιεσμένης αργίλου και φύτευση του ανωτέρου στρώματος
- Προσθήκη ασβεστόλιθου (80 cm), κάλυψη με χώμα και φύτευση
- Χημική σταθεροποίηση με βιολογική λάσπη και φύτευση
- Χημική σταθεροποίηση με βιολογική λάσπη και φωσφορικά και φύτευση
- Χημική σταθεροποίηση με βιολογική λάσπη και ιπτάμενη τέφρα και φύτευση
- Χημική σταθεροποίηση με compost και ιπτάμενη τέφρα και φύτευση
- Χημική σταθεροποίηση με compost και φωσφορικά και φύτευση.

Ο Πίνακας 12 παρουσιάζει το βαθμό της αποτελεσματικότητας των διαφόρων τεχνολογιών αποκατάστασης που εξετάστηκαν σε αυτό το έργο. Η εφαρμογή της κάθε τεχνολογίας εξαρτάται από τα χημικά χαρακτηριστικά του ρυπαίνοντος υλικού και από την υπάρχουσα ή σχεδιαζόμενη χρήση γης της περιοχής. Η εφαρμογή της στεγανούς κάλυψης και της προσθήκης ασβεστόλιθου είναι κατάλληλη για απορρίμματα που περιέχουν θειούχα ορυκτά (πυρίτες και πυριτούχους άμμους). Οι τεχνικές χημικής σταθεροποίησης είναι κατάλληλες για ανθρακικά απορρίμματα επίπλευσης και εδάφη. Ασφαλτόστρωση και πλακόστρωση μπορούν να εφαρμοστούν μόνο σε αστικές και βιομηχανικές περιοχές.

Πίνακας 12. Βαθμός αποτελεσματικότητας των τεχνικών αποκατάστασης που εκτιμήθηκε από τις τεχνικές που εφαρμόστηκαν σε κλίμακα επίδειξης στο Λαύριο.

Δράσεις αποκατάστασης – Τεχνολογίες	Ρυπασμένο υλικό	Πηγή του προβλήματος	Αποδέκτης	Δίοδος έκθεσης	Στόχος ελέγχου	Μέτρηση της αποτελεσματικότητας	Παράγοντας Μακροβιοτικής	Βαθμός αποτελεσματικότητας	Σημειώσεις
						Ej	LFj	DEj=Ej*LFj	
Κάλυμμα γεωμεμβράνης	Πυρίτης	Οξείδωση των θειούχων, μετακίνηση των ρύπων	Νερό, επιφανειακό έδαφος	-	Αποκλεισμός νερού/ οξυγόνου	100	0,9	90	Αβέβαια μακροχρόνια συμπεριφορά του συνθετικού υλικού. Ανέκκλητες μηχανικές ζημιές.
Συμπιεσμένη άργιλος	Πυρίτης	Οξείδωση των θειούχων, μετακίνηση των ρύπων	Νερό, επιφανειακό έδαφος	-	Αποκλεισμός νερού/ οξυγόνου	95	0,95	90	Μπορεί να προξενηθεί Ρωγμάτωση και διαίδωση ριζών
Προσθήκη ασβεστολιθού	Πυρίτης με χαμηλό S<10%	Οξείδωση των θειούχων, μετακίνηση των ρύπων	Νερό, επιφανειακό έδαφος	-	Εξουδετέρωση της οξύτητας	95	0,99	94	-
Χημική Σταθεροποίηση με Βιολογική λάσπη και φύτευση	Απορρίμματα εμπλουτισμού (μη όξινα) και έδαφος	Μεταφορά των ρύπων από το νερό	Νερό, επιφανειακό έδαφος	-	Μετατροπή σε αδιάλυτες ενώσεις	88	0,80	70	Η πιθανή μακροχρόνια αποσύνθεση της βιολογικής λάσπης
		Αέρια μεταφορά σωματιδίων, ρυπασμένο υλικό	Ανθρωποι	Εισπνοή/Άμεση επαφή	Απομόνωση της επιφάνειας	97	0,80	74	Φυτική βιομάζα στην περιοχή σταθεροποίησης σε σύγκριση με την περιοχή ελέγχου στο τέλος της 1ης περιόδου ανάπτυξης
Χημική Σταθεροποίηση με βιολογική λάσπη+φωσφορικά και φύτευση	Απορρίμματα εμπλουτισμού (μη όξινα) και έδαφος	Μεταφορά των ρύπων από το νερό	Νερό, επιφανειακό έδαφος	-	Μετατροπή σε αδιάλυτες ενώσεις	89	0,95	85	-
		Αέρια μεταφορά σωματιδίων, ρυπασμένο υλικό	Ανθρωποι	Εισπνοή/Άμεση επαφή	Απομόνωση της επιφάνειας	95	0,95	87	Φυτική βιομάζα στην περιοχή σταθεροποίησης σε σύγκριση με την περιοχή ελέγχου στο τέλος της 1ης περιόδου ανάπτυξης
Χημική Σταθεροποίηση με βιολογική λάσπη+πτάμενη τέφρα και φύτευση	Απορρίμματα εμπλουτισμού (μη όξινα) και έδαφος	Μεταφορά των ρύπων από το νερό	Νερό, επιφανειακό έδαφος	-	Μετατροπή σε αδιάλυτες ενώσεις	89	0,95	85	-
		Αέρια μεταφορά σωματιδίων, ρυπασμένο υλικό	Ανθρωποι	Εισπνοή/Άμεση επαφή	Απομόνωση της επιφάνειας	82	0,95	81	Φυτική βιομάζα στην περιοχή σταθεροποίησης σε σύγκριση με την περιοχή ελέγχου στο τέλος της 1ης περιόδου ανάπτυξης
Χημική Σταθεροποίηση με Compost+πτάμενη Τέφρα και φύτευση	Απορρίμματα εμπλουτισμού (μη όξινα) και έδαφος	Μεταφορά των ρύπων από το νερό	Νερό, επιφανειακό έδαφος	-	Μετατροπή σε αδιάλυτες ενώσεις	84	0,95	80	-
		Αέρια μεταφορά σωματιδίων, ρυπασμένο υλικό	Ανθρωποι	Εισπνοή/Άμεση επαφή	Απομόνωση της επιφάνειας	74	0,95	75	Φυτική βιομάζα στην περιοχή σταθεροποίησης σε σύγκριση με την περιοχή ελέγχου στο τέλος της 1ης περιόδου ανάπτυξης
Χημική Σταθεροποίηση με Compost + Φωσφορικά και φύτευση	Απορρίμματα εμπλουτισμού (μη όξινα) και έδαφος	Μεταφορά των ρύπων από το νερό	Νερό, επιφανειακό έδαφος	-	Μετατροπή σε αδιάλυτες ενώσεις	84	0,95	80	-
		Αέρια μεταφορά σωματιδίων, ρυπασμένο υλικό	Ανθρωποι	Εισπνοή/Άμεση επαφή	Απομόνωση της επιφάνειας	84	0,95	80	Φυτική βιομάζα στην περιοχή σταθεροποίησης σε σύγκριση με την περιοχή ελέγχου στο τέλος της 1ης περιόδου ανάπτυξης. Φαίνεται να έχει την καλύτερη απόδοση στο τέλος της 2ης περιόδου ανάπτυξης

Η κάλυψη με καθαρό έδαφος είναι βασικά μία εφαρμόσιμη τεχνική σε όλους τους τύπους του ρυπασμένου υλικού με εξαίρεση τον πυρίτη, αν και αυτός ο τύπος απορρίμματος μπορεί να καλυφθεί προσωρινά για τη μείωση της αέριας μεταφοράς ρυπασμένων σωματιδίων (βλ. έκθεση στο Παράρτημα 2 αυτού του Τόμου). Με την κάλυψη ρυπασμένων περιοχών με καθαρό έδαφος σε αποδεκτό πάχος, μειώνεται ο κίνδυνος της άμεσης έκθεσης του πληθυσμού. Ο μεγαλύτερος περιορισμός για αυτή την τεχνική είναι η *διαθεσιμότητα καθαρού εδάφους* στη χερσόνησο της Λαυρεωτικής. Για τη διευκρίνιση αυτών των αναγκών απλά αναφέρεται ότι περισσότερα από 4 εκατομμύρια m³ καθαρού εδάφους θα χρειαζόντουσαν για να καλυφθεί η επιφάνεια των 7,2 km², η οποία μελετήθηκε στα πλαίσια του παρόντος έργου LIFE της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Τελικά, φύτευση χωρίς προηγούμενη σταθεροποίηση είναι μία εναλλακτική λύση με αβέβαιη αποτελεσματικότητα και εξαρτάται από το επίπεδο ρύπανσης. Βρέθηκε πως αυτή η τεχνική είναι ανεπιτυχής για να εφαρμοστεί στην περιοχή που καλύπτεται από τα έντονα ρυπασμένα απορρίμματα εμπλουτισμού (“σαβούρα”, βλ. Τόμο 3 αυτής της μελέτης).

Ο *Βαθμός Αποτελεσματικότητας*, DE_j, ορίζεται για κάθε τεχνολογία j, λαμβάνοντας υπόψη δύο συνιστώσες:

$$DE_j = E_j * LF_j$$

Όπου: E_j είναι η *Αποτελεσματικότητα* όπως μετρήθηκε στις δοκιμές πεδίου για κάθε τεχνολογία κατά τη διάρκεια της περιόδου δύο χρόνων παρακολούθησης και βασίζεται σε ποσοτικές παραμέτρους.

LF_j είναι ένας παράγοντας που σχετίζεται με την μακροχρόνια αποτελεσματικότητα της τεχνολογίας.

Για τις τεχνικές που δοκιμάστηκαν στο πεδίο χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθες *ποσοτικές παράμετροι*:

- μείωση της κατείδυσης νερών για τη στεγανή κάλυψη,
- μείωση της οξύτητας για την τεχνική προσθήκης ασβεστολίθου, και
- μείωση της τοξικότητας όπως υπολογίστηκε με το TCLP τεστ και ανάπτυξη της φυτικής βιομάζας για τις τεχνικές χημικής σταθεροποίησης.

Ποσοτικές παράμετροι από πραγματικές μετρήσεις ήσαν διαθέσιμες μόνο για τις τεχνολογίες που μελετήθηκαν με δοκιμές επιδεικτικής κλίμακας στο Λαύριο. Για τις υπόλοιπες τεχνολογίες αποκατάστασης ο βαθμός αποτελεσματικότητας εκτιμήθηκε ως ακολούθως:

1. Ένα ποσοστό αποτελεσματικότητας 90% αποδόθηκε στην ασφαλτόστρωση, στην πλακόστρωση και στις μεθόδους κάλυψης με καθαρό έδαφος. Εφαρμόζοντας αυτές τις τεχνικές, οι πηγές ρύπανσης είναι απομονωμένες αποτελεσματικά και το ανθρώπινο περιβάλλον προστατεύεται από εισπνοή, κατάποση ή άμεση έκθεση στο ρυπασμένο υλικό. Όμως αυτά τα υλικά υπόκεινται σε διεργασίες αποσάθρωσης ή μηχανικές καταστροφές, οι οποίες μειώνουν τη μακροχρόνια αποτελεσματικότητά τους.
2. Η επιτυχία του φυτικού καλύμματος μόνο, εξαρτάται από τον πραγματικό βαθμό της ρύπανσης. Για αυτό το λόγο ένα ποσοστό 50% αποτελεσματικότητας αποδόθηκε σε αυτή την τεχνική.

Ο Πίνακας 13 παρουσιάζει ένα σύνολο από δυνατές τεχνολογίες αποκατάστασης για τις διάφορες κατηγορίες απορριμμάτων, την οικονομική επένδυση που χρειάζεται για εφαρμογή και το βαθμό αποτελεσματικότητας. Απλές τεχνικές κάλυψης, όπως ασφαλτόστρωση, πλακόστρωση και καθαρό έδαφος, θεωρούνται κατάλληλες για όλα τα απορρίμματα, με εξαίρεση τον πυρίτη, αν και, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ακόμη και τα πυριτούχα υλικά μπορούν να καλυφθούν προσωρινά για να εμποδίσουν την αέρια μεταφορά των ρυπασμένων σωματιδίων. Τεχνικές σταθεροποίησης δεν είναι κατάλληλες για τις σκουριές και τους πυρίτες. Κάθε τεχνολογία υπολογίζεται με τον ίδιο βαθμό αποτελεσματικότητας για όλα τα υλικά. Όμως μερικές τεχνολογίες, όπως φύτευση, προσθήκη ασβεστολίθου και τεχνικές σταθεροποίησης, σχετίζονται στενά με τα χημικά χαρακτηριστικά του ρυπασμένου υλικού. Πριν από κάθε ολοκληρωμένη δράση αποκατάστασης, απαιτείται μία λεπτομερής εξέταση του ρυπασμένου υλικού και δοκιμές εργαστηριακής κλίμακας, προκειμένου να προσαρμοστεί η κάθε τεχνολογία στις ιδιαιτερότητες του εδαφικού υλικού, όπως π.χ. η ποσότητα των σταθεροποιητικών προσθέτων και να επιβεβαιωθεί η αποτελεσματικότητά της.

Ο δείκτης *Οικονομικής Επένδυσης*, F_{Ij} , για κάθε τεχνολογία δίνεται επίσης στον Πίνακα 13. Εκφράζεται σε δραχμές ανά τετραγωνικό μέτρο και βασίζεται σε

Πίνακας 13. Κατάλογος των πιθανών εναλλακτικών τεχνολογιών αποκατάστασης για τους διαφορετικούς τύπους των πηγών ρύπανσης, η σχετική οικονομική επένδυση και η αποτελεσματικότητά τους.

	Πλακόστρωση	Φυτοκάλυψη χωρίς καθαρό έδαφος ή σταθετοποιητικά	Κάλυψη με καθαρό έδαφος + φύτευση	Κάλυψη με γεωμεμβράνη+φύτευση	Κάλυψη με συμπεριεσμένη άργιλο + φύτευση	Προσθήκη ασβεστολιθού + φύτευση	Βιολογική λάσπη	Βιολογική λάσπη + φωσφορικά	Βιολογική λάσπη + Ιπτάμενη τέφρα	Compost + Ιπτάμενη τέφρα	Compost + φωσφορικά
Οικονομική Επένδυση, Fij, Δρχ/m ²	5000	900	2100	3450	3250	3350	1550	4050	6250	6950	4650
Πηγές ρύπανσης/έδαφος	Επιφάνεια, m ²										
Απορ. εμπλουτισμού/επίπλευσης	472672	0,99	-	0,9	-	-	-	-	-	-	-
Πλινθώματα σκουριών	399349	0,99	-	0,9	-	-	-	-	-	-	-
Πλινθ. & συσφαιρώματα σκουριών	135768	0,99	-	0,9	-	-	-	-	-	-	-
Διάσπαρτες σκουριές	145768	0,99	-	0,9	-	-	-	-	-	-	-
Υλικά αμμοβολής & συσφ. σκουριών	103375	0,99	-	0,9	-	-	-	-	-	-	-
Απορ. εμπλουτισμού με διάσ. πυρίτη	305053	0,99	0,5	0,9	0,9	0,9	0,74	0,87	0,81	0,75	0,8
Πυριτούχα υλικά επίπλευσης	209029	-	-	-	0,9	0,9	0,94	-	-	-	-
Σκουριές & Απορρίμματα εμπλουτ.	17344	0,99	0,5	0,9	-	-	0,74	0,87	0,81	0,75	0,8
Απορρίμ. εμπλουτισμού & άλλα υλ.	23274	0,99	0,5	0,9	-	-	0,74	0,87	0,81	0,75	0,8
Απορρίμ. εμπλουτισμού & σκουριές	2316	0,99	-	0,9	-	-	0,74	0,87	0,81	0,75	0,8
Ρυπασμένο έδαφος	5419644	0,99	0,5	0,9	-	-	0,74	0,87	0,81	0,75	0,8

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ:

- Οι έντονοι χαρακτήρες δείχνουν την τεχνολογία που ελέγχθηκε σε κλίμακα επίδειξης επί της συγκεκριμένης πηγής ρύπανσης.
- Οι τεχνικές αποκατάστασης για την κατηγορία «Απορρίμματα εμπλουτισμού με διάσπαρτο πυρίτη» βασίζονται στο ισοζύγιο ανθρακικών/πυρίτη. Η κάλυψη με καθαρό έδαφος και προσθήκη ασβεστολιθού είναι κατάλληλες για πυριτούχα απορρίμματα. Τεχνικές σταθεροποίησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε περιοχές πλούσιες σε ανθρακικά.
- Η κάλυψη με καθαρό έδαφος βασίζεται στη **διαθεσιμότητα καθαρού εδάφους**.

πραγματικά δεδομένα κόστους, που συγκεντρώθηκαν κατά τη διάρκεια των δοκιμών πιλοτικής κλίμακας. Για τον υπολογισμό του συμπεριελήφθησαν τα παρακάτω στοιχεία κόστους:

- κόστος υλικών,
- κόστος μεταφορών,
- χωματουργικά έργα για απόθεση και ανάμιξη πρώτων υλών,
- διαμόρφωση τοπίου,
- γενικά έξοδα για κατασκευαστικά έργα (18%), και
- φύτευση.

Ο Φόρος Προστιθέμενης Αξίας δεν συμπεριελήφθη στο εκτιμώμενο κόστος. Επιπροσθέτως, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι όλα τα κόστη υπολογίστηκαν για την κάτοψη της επιφάνειας της περιοχής. Η **λοφώδης** μορφολογία του Λαυρίου θα αυξήσει την πραγματική επιφάνεια αποκατάστασης. Το **μοναδιαίο κόστος** κάθε τεχνολογίας δεν επηρεάζεται. Όμως, **το συνολικό κόστος θα αυξηθεί αν η πραγματική επιφάνεια της περιοχής είναι μεγαλύτερη**. Για μία εκτίμηση αυτού του παράγοντα της αβεβαιότητας, υπολογίστηκε ότι η αύξηση της απόστασης, που οφείλεται στην κλίση των σωρών με τα απορρίμματα επίπλευσης (σαβούρα), κυμαίνεται μεταξύ 7-27% και για τους σωρούς των σκουριών μεταξύ 16-19%. Ο λόγος της κάτοψης ως προς την πραγματική επιφάνεια εκτιμάται ότι είναι της τάξης του 0,9 και υποδηλώνει ότι υπάρχει ένα 10% σφάλμα στους υπολογισμούς του κόστους αποκατάστασης λόγω της μορφολογίας του αναγλύφου των απορριμμάτων.

Ο *Δείκτης Κοινωνικού Οφέλους* είναι ένας δείκτης ο οποίος λαμβάνει υπόψη την κοινή γνώμη ως προς το όφελος αποκατάστασης μίας συγκεκριμένης περιοχής χρησιμοποιώντας μία ειδική τεχνολογία. Για παράδειγμα, μία συγκεκριμένη τεχνολογία αποκατάστασης μπορεί να προτιμάται από το κοινό περισσότερο από μία άλλη με παρόμοια *οικονομική επένδυση και βαθμό αποτελεσματικότητας*, λόγω αισθητικών αιτιών. Στην περίπτωση αυτή ο *Δείκτης Κοινωνικού Οφέλους* μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να αυξηθεί ο *Δείκτης Οφέλους* για χάρη της τεχνολογίας, η οποία έχει το καλύτερο αισθητικό αποτέλεσμα. Επίσης, μία συγκεκριμένη τεχνολογία αποκατάστασης μπορεί να είναι τεχνικά δυνατή, αλλά μη αποδεκτή από το κοινό. Σε αυτή την περίπτωση ο *Δείκτης Κοινωνικού Κόστους* μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αλλάξει τον *Δείκτη Κόστους* της τεχνολογίας αυτής, προκειμένου να προτιμηθούν άλλες τεχνολογίες.

Ο *Δείκτης Κοινωνικού Κόστους* για τις διάφορες τεχνολογίες αποκατάστασης ορίστηκε αυτή τη φορά ίσος με 1, λόγω της έλλειψης δεδομένων. Επίσης, η μονάδα αποδόθηκε και στο *Δείκτη Κοινωνικού Οφέλους*. Και οι δύο δείκτες μπορούν να αναθεωρηθούν, αφού ο Δήμος διεξάγει μία έρευνα, πληροφορώντας το κοινό για τις διάφορες εναλλακτικές λύσεις αποκατάστασης και καταγράφοντας τις θετικές και αρνητικές τους αντιδράσεις. Όπως εξηγήθηκε προηγουμένως, αμφότεροι οι *Δείκτες του Κοινωνικού Κόστους* και του *Κοινωνικού Οφέλους* μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ληφθεί υπ' όψη η τοποθέτηση του κοινού στη διαδικασία αποκατάστασης. Είναι εξαιρετικά σημαντικό να εξασφαλιστεί η συμμετοχή του κοινού στη διαδικασία λήψης αποφάσεων για τις μεθόδους αποκατάστασης που θα χρησιμοποιηθούν και να επιτευχθεί η δημόσια συναίνεση, πριν οριστικοποιηθεί ένα ολοκληρωμένο σχέδιο αποκατάστασης. Αυτό είναι πολύ σημαντικό και θα εξασφαλίσει την επιτυχία του σχεδίου.

Η Δημοτική αρχή της πόλης του Λαυρίου πρέπει να αναγνωρίσει από την έναρξη της διαδικασίας τη χρησιμότητα της ενεργού συμμετοχής του κοινού και όλων των σχετικών *«εμπλεκόμενων»*. Ο όρος *«εμπλεκόμενοι»* αναφέρεται σε όλα τα ενδιαφερόμενα μέρη, όπως το δημόσιο, βιομηχανικούς και μη κερδοσκοπικούς οργανισμούς και γενικά κάθε άτομο, που μπορεί να έχει άμεσο ενδιαφέρον για την επίλυση του προβλήματος. Τέτοιου είδους συμμετοχή ενθαρρύνει τη διαδικασία λήψης αποφάσεων, η οποία είναι δίκαια και διαφανής και καταλήγει σε λύσεις που είναι αποδεκτές από την πλειοψηφία. Αυτή η ενεργός συμμετοχή των εμπλεκόμενων θα πρέπει να καθοδηγείται από επαγγελματίες επιστήμονες, οι οποίοι θα εξηγήσουν στους συμμετέχοντες τις τεχνικές πλευρές της διαδικασίας λήψης αποφάσεων και από άλλους επαγγελματίες εξειδικευμένους στην επίλυση αντιπαραθέσεων. Αυτό θα βοηθήσει στην καθιέρωση αποδεκτών κανόνων συμπεριφοράς και ως εκ τούτου θα διευκολυνθεί η διαδικασία της λήψης αποφάσεων. Η Δημοτική αρχή της πόλης του Λαυρίου θα αυξήσει την αξιοπιστία της στους κατοίκους με την εφαρμογή μίας τέτοιας μεθοδολογίας. Παρόμοιες μεθοδολογίες είναι ευρέως αποδεκτές και επιτυχείς στην Ευρώπη, στη Βόρεια Αμερική και στην Αυστραλία (Gilbin, 1995). Ο Δήμος Λαυρεωτικής έχει ήδη κάποια εμπειρία στη διαδικασία αυτή μέσω της διημερίδας, που οργανώθηκε για την κατάρτιση της Περιβαλλοντικής Χάρτας (Lavriou, 1995a, 1995b).

4.3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ/ΟΦΕΛΟΥΣ ΤΩΝ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Το πολλαπλό θηκόγραμμα (Σχ. 16) παρουσιάζει τις διακυμάνσεις του δείκτη έκθεσης για το ρυπασμένο έδαφος και τις δέκα κατηγορίες των μεταλλουργικών απορριμμάτων. Το ορθογώνιο τμήμα του διαγράμματος εκτείνεται από το 1ο τεταρτημόριο (25%) μέχρι το

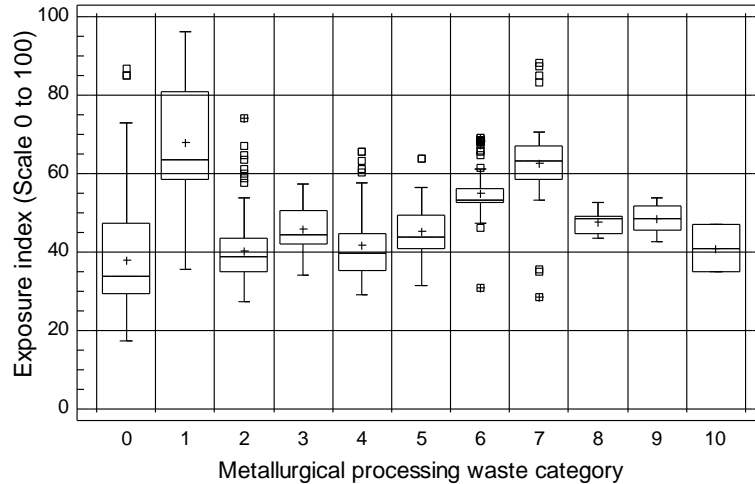
3ο τεταρτημόριο (75%) του δείκτη έκθεσης, καλύπτοντας το κεντρικό 50% της διακύμανσης για κάθε τύπο απορριμμάτων και το ρυπασμένο έδαφος. Η κεντρική γραμμή μέσα σε κάθε θηκόγραμμα ορίζει τη διάμεση τιμή και το σύμβολο (+) δείχνει τη μέση τιμή. Οι ευθείες γραμμές εκατέρωθεν του θηκογράμματος επεκτείνονται προς τις ελάχιστες και μέγιστες τιμές για κάθε τύπο ρύπανσης, 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 εκατέρωθεν του θηκογράμματος και σχεδιάζονται ως μικρά τετράγωνα. Οι μακρινές εξωτερικές τιμές απέχουν περισσότερο από 3 φορές του εύρους του ορθογωνίου εκατέρωθεν του θηκογράμματος και σχεδιάζονται ως μικρά τετράγωνα με ένα σταυρό σημειωμένο στο εσωτερικό τους.

Είναι ξεκάθαρο από το πολλαπλό θηκόγραμμα του δείκτη έκθεσης (Σχ. 16) ότι τα περισσότερο επικίνδυνα απορρίμματα της μεταλλουργικής επεξεργασίας είναι τα υπολείμματα εμπλουτισμού/επίπλευσης (1) και ακολουθούν τα πυριτούχα υλικά επίπλευσης (7). Η διάμεση τιμή του δείκτη έκθεσης της κάθε μίας κατηγορίας των μεταλλουργικών απορριμμάτων και του ρυπασμένου εδάφους χρησιμοποιήθηκε ως αντικειμενικός δείκτης για τον καθορισμό της σειράς επικινδυνότητας από τα περισσότερο έως τα λιγότερο επικίνδυνα απορρίμματα. Έτσι καθορίζεται η ακόλουθη σειρά επικινδυνότητας των απορριμμάτων, βάσει της διάμεσης τιμής του δείκτη έκθεσης σε ποσοστά, ο δε αριθμός στην παρένθεση αφορά τον χαρακτηρισμό της κάθε κατηγορίας των απορριμμάτων σε αντιστοιχία με το υπόμνημα του Σχ. 16:

- Απορρίμματα εμπλουτισμού/επίπλευσης, 63.5% (1) >
- Πυριτούχα απορρίμματα επίπλευσης, 63.3% (7) >
- Απορρίμματα εμπλουτισμού/επίπλευσης με διάσπαρτο πυρίτη, 53.3% (6) >
- Διάσπαρτες σκουριές με αδρόκοκκα υλικά εμπλουτισμού/επίπλευσης, 48.6% (8) =
- Άμμοι εμπλουτισμού/επίπλευσης και αδρόκοκκα υλικά, 48.6% (9) >
- Σκουριές με απορρίμματα υλικών αμμοβολής, 44.3% (3) >
- Απορρίμματα υλικών αμμοβολής, 43.9% (5) >
- Απορρίμματα εμπλουτισμού/επίπλευσης με διάσπαρτες σκουριές, 41.0% (10) >
- Διάσπαρτες σκουριές 39.8% (4) >
- Σκουριές, 38.8% (2) >
- Ρυπασμένο έδαφος, 33.7% (0).

Η μέγιστη διακύμανση του βαθμού έκθεσης παρουσιάζεται από τα απορρίμματα εμπλουτισμού/επίπλευσης και το ρυπασμένο έδαφος, υποδεικνύοντας την ετερογένεια των δύο υλικών σε σχέση με τις συγκεντρώσεις μολύβδου και με τα άλλα κριτήρια, που χρησιμοποιούνται στην εκτίμηση του δείκτη έκθεσης. Μία πιο λεπτομερής περιγραφή της εκτίμησης του βαθμού έκθεσης δίδεται από τους Tristan et al. (1999, βλ. Κεφάλαιο 11 στους Τόμους 1 & 2 αυτής της μελέτης).

Στα φύλλα εργασίας που παρουσιάζονται στους Πίνακες 14 έως 17 συνοψίζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης κόστους/οφέλους, που περιγράφηκε προηγουμένως. Ο Πίνακας 14 παρουσιάζει το δείκτη έκθεσης για κάθε χρήση γης και το σταθμισμένο δείκτη έκθεσης, ανάλογα με την έκταση της κάθε κατηγορίας χρήσης γης για κάθε μία από τις κατηγορίες των μεταλλουργικών απορριμμάτων. Ο δείκτης έκθεσης κυμαίνεται από 27 έως 87. Εφόσον ο Δείκτης Κοινωνικού Οφέλους έχει καθοριστεί να είναι μονάδα γι' αυτή τη μελέτη, η διακύμανση του δείκτη έκθεσης αντιπροσωπεύει επίσης τη διακύμανση του Δείκτη Οφέλους για κάθε κατηγορία χρήσης γης. Ομοίως, ο μέσος σταθμισμένος, ανάλογα με την έκταση, Δείκτης Έκθεσης και Δείκτης Οφέλους για κάθε κατηγορία μεταλλουργικών απορριμμάτων κυμαίνεται από 37 έως 68. Ο υψηλότερος



Υπόμνημα: 0 = Ρυπασμένο έδαφος; 1 = Απορρίμματα εμπλουτισμού/επίπλευσης; 2 = Σκουριές; 3 = Σκουριές με απορρίμματα υλικών αμμοβολής; 4 = Διάσπαρτες σκουριές; 5 = Απορρίμματα υλικών αμμοβολής; 6 = Απορρίμματα εμπλουτισμού/επίπλευσης με διάσπαρτο πυρίτη; 7 = Πυριτούχα απορρίμματα επίπλευσης; 8 = Διάσπαρτες σκουριές και αδρόκοκκα υλικά εμπλουτισμού/επίπλευσης; 9 = Άμμοι εμπλουτισμού/επίπλευσης και αδρόκοκκα υλικά; 10 = Απορρίμματα εμπλουτισμού/επίπλευσης με διάσπαρτες σκουριές.

Σχ. 16. Πολλαπλό θηκόγραμμα του δείκτη έκθεσης για τις δέκα (10) κατηγορίες των μεταλλουργικών απορριμμάτων και το ρυπασμένο έδαφος.

μέσος σταθμισμένος, ανάλογα με την έκταση, Δείκτης Οφέλους (ΔΟ) δίνεται για την αποκατάσταση της περιοχής, που καλύπτεται, κατά σειρά προτεραιότητας, από

- τα απορρίμματα εμπλουτισμού/επίπλευσης, *το υλικό της σαβούρας* (ΔΟ 68),
- τα πυριτούχα απορρίμματα επίπλευσης στον Καβοδόκανο (ΔΟ 62), και
- τις πυριτούχους άμμους επίπλευσης (ΔΟ 55).

Οι υπόλοιπες ρυπασμένες περιοχές έχουν τιμές του μέσου σταθμισμένου, ανάλογα με την έκταση, δείκτη οφέλους από 37 έως 48. Αυτή η ταξινόμηση φαίνεται να είναι βάσιμη, δεδομένου ότι τα απορρίμματα εμπλουτισμού καλύπτουν έναν τεχνητό λόφο, όπου οι άνθρωποι έχουν χτίσει τα σπίτια τους, καλλιεργούν ελιές, αμπέλια και κήπους με λαχανικά. Η δεύτερη υψηλότερη τιμή του μέσου σταθμισμένου, ανάλογα με την έκταση, δείκτη οφέλους αποδίδεται σε περιοχές που καλύπτονται (α) από λόφους με πυριτούχα απορρίμματα επίπλευσης, τα οποία είναι λεπτόκοκκα και (β) από μέσο- έως λεπτόκοκκες σκουριές (υλικά αμμοβολής και συσφαιρώματα σκουριών). Η πρώτη είναι πηγή όξινης απορροής και η δεύτερη λεπτόκοκκης σκόνης. Το Σχ. 12 απεικονίζει το χάρτη της γεωγραφικής κατανομής του Δείκτη Οφέλους για την αποκατάσταση του εδαφικού καλύμματος στο Λαύριο (βλ. επίσης Χάρτη 12.3 στον Τόμο 2 αυτής της μελέτης).

Πίνακας 14. Πίνακας Δείκτη Έκθεσης για το σχέδιο αποκατάστασης της ρυπασμένης γης στο Λαύριο

ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΚΑ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΑ	Έκταση (m²)	Διάμεσος Δείκτης Έκθεσης	Διάμεση Τιμή Δείκτη Έκθεσης σταθμισμένη ανάλογα με την έκταση
1. ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΑ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ/ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ	474211.83		67.9
1. Αστικός χώρος, Καλλιέργειες, Δάσος, Ανοικτός χώρος			
Κατοικία, κατάστημα και εκκλησία	21134.33	81.0	1711881
Κατοικία με περιβόλι	56725.11	80.2	4549354
Σχολείο	1546.28	62.4	96488
Παιδική Χαρά	2159.92	60.4	130459
Γήπεδο ποδοσφαίρου και χώρος άθλησης	2992.68	72.9	218166
Ελαιώνας	32475.22	82.9	2692196
Αμπελώνας	64325.71	84.7	5448388
Δάσος με πεύκα	5184.30	62.0	321427
Ανοικτός χώρος με δένδρα + (ελιές, συκιές, κ.ά.)	32830.31	58.2	1910724
Ανοικτός χώρος + (θάμνοι, δένδρα)	226319.20	58.8	13307569
2. Βιομηχανίες, Εμπορικά			
Εργοστάσιο κατεργασίας μεταλλεύματος & αποθήκη	7997.45	72.5	579815
Πρατήριο βενζίνης, γκαράζ & συνεργείο αυτοκινήτων	1040.34	63.5	66062
Σιδηροκατασκευές και εμπορία σιδήρου	6367.88	66.3	422190
Λοιπές βιοτεχνίες και αποθήκες υλικών	1546.21		
Αποθήκη οικοδομικών υλικών	11566.89	62.4	721774
2. ΠΛΙΝΘΩΜΑΤΑ ΣΚΟΥΡΙΑΣ	397568.97		39.1
1. Αστικός χώρος, Καλλιέργειες, Δάσος, Ανοικτός χώρος			
Κατοικία, κατάστημα και εκκλησία	8578.57	66.5	570475
Κατοικία με περιβόλι	9448.96	63.5	600009
Σχολείο	6867.05	48.6	333739
Γήπεδο ποδοσφαίρου και χώρος άθλησης	4987.05	53.7	267805
Ελαιώνας	1358.63		
Δάσος με πεύκα	404.89		
Ανοικτός χώρος με δένδρα + (ελιές, συκιές, κ.ά.)	273.34		
Ανοικτός χώρος + (θάμνοι, δένδρα)	263317.90	37.3	9821758
2. Βιομηχανίες, Εμπορικά			
Εργοστάσιο κατεργασίας μεταλλεύματος & αποθήκη	15712.56	47.8	751060
Καπναγωγός	927.09		
Εργοστάσιο (πολεμοφόδια, όπλα, σπύρτα), αποθήκη	27370.74	41.6	1138623
Πρατήριο βενζίνης, γκαράζ & συνεργείο αυτοκινήτων	131.59		
Σιδηροκατασκευές και εμπορία σιδήρου	1815.31	43.7	79329
Κλωστοϋφαντουργία	4604.09	35.7	164366
Λοιπές βιοτεχνίες και αποθήκες υλικών		45.9	
Αποθήκη οικοδομικών υλικών	4321.04	42.2	182348
Λιμενικές εγκαταστάσεις	46572.83	34.5	1606763
Λατομείο μαρμάρου	877.33	27.8	24390
3. ΠΛΙΝΘΩΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΣΦΑΙΡΩΜΑΤΑ ΣΚΟΥΡΙΑΣ	135764.79		43.8
1. Αστικός χώρος, Καλλιέργειες, Δάσος, Ανοικτός χώρος			
Κατοικία, κατάστημα και εκκλησία	431.53		
Ελαιώνας	1329.72		
Ανοικτός χώρος με δένδρα + (ελιές, συκιές, κ.ά.)	96513.36	41.2	3976350
2. Βιομηχανίες, Εμπορικά			
Εργοστάσιο κατεργασίας μεταλλεύματος & αποθήκη	37348.66	52.9	1975744
Παλαιά μεταλλευτική εργασία	141.52		

..... Πίνακας 14. Πίνακας Δείκτη Έκθεσης για το σχέδιο αποκατάστασης της ρυπασμένης γης στο Λαύριο

ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΚΑ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΑ	Έκταση (m²)	Διάμεσος Δείκτη Έκθεσης	Διάμεση Τιμή Δείκτη Έκθεσης σταθμισμένη ανάλογα με την έκταση
4. ΔΙΑΣΠΑΡΤΕΣ ΣΚΟΥΡΙΕΣ	145008.07		39
1. Αστικός χώρος, Καλλιέργειες, Δάσος, Ανοικτός χώρος			
Κατοικία, κατάσταση και εκκλησία	6290.20	60.4	379928
Κατοικία με περιβόλι	1030.78	65.5	67516
Σχολείο	8.91		
Πάρκο	105.29		
Ελαιώνας	4552.25	60.8	276777
Αμπελώνας	1058.77		
Ανοικτός χώρος με δένδρα + (ελιές, συκίες, κ.ά.)	1387.82		
Ανοικτός χώρος + (θάμνοι, δένδρα)	93252.70	35.5	3310471
2. Βιομηχανίες, Εμπορικά			
Εργοστάσιο κατεργασίας μεταλλεύματος & αποθήκη	656.82	34.9	22923
Εργοστάσιο (πολεμοφόδια, όπλα, σπύρτα), αποθήκη	25422.13	44.3	1126200
Σιδηροκατασκευές και εμπορία σιδήρου	9881.61	44.7	441708
Λοιπές βιοτεχνίες και αποθήκες υλικών	49.42		
Αποθήκη οικοδομικών υλικών	1308.63		
Λατομείο μαρμάρου	2.74		
5. ΥΛΙΚΑ ΑΜΜΟΒΟΛΗΣ ΑΠΟ ΣΚΟΥΡΙΕΣ & ΣΥΣΦ. ΣΚΟΥΡΙΩΝ	105813.29		44
1. Αστικός χώρος, Καλλιέργειες, Δάσος, Ανοικτός χώρος			
Κατοικία, κατάσταση και εκκλησία	2270.96	63.9	145114
Κατοικία με περιβόλι	637.30		
Ελαιώνας	626.92		
Αμπελώνας	27.01		
Ανοικτός χώρος + (θάμνοι, δένδρα)	67878.50	41.2	2796594
2. Βιομηχανίες, Εμπορικά			
Εργοστάσιο κατεργασίας μεταλλεύματος & αποθήκη	28682.82	52.3	1500111
Μονάδα αμμοβολής από μη-σιδηρούχες σκουριές	2436.98	47.5	115757
Εργοστάσιο (πολεμοφόδια, όπλα, σπύρτα), αποθήκη		31.4	
Κλωστοϋφαντουργία	3252.80	43.9	142798
6. ΑΜΜΟΙ ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ ΜΕ ΔΙΑΣΠΑΡΤΟ ΠΥΡΙΤΗ	305047.01		55
1. Αστικός χώρος, Καλλιέργειες, Δάσος, Ανοικτός χώρος			
Κατοικία, κατάσταση και εκκλησία	2664.05	54.9	146256
Σχολείο	21397.48	60.2	1288128
Πάρκο	4962.74	68.8	341437
Γήπεδο ποδοσφαίρου και χώρος άθλησης	28825.46	68.2	1965896
Δάσος με πεύκα	141.10		
Ανοικτός χώρος + (θάμνοι, δένδρα)	246937.10	53.3	13161747
2. Βιομηχανίες, Εμπορικά			
Εργοστάσιο κατεργασίας μεταλλεύματος & αποθήκη	42.65		
Κλωστοϋφαντουργία	76.43		
7. ΠΥΡΙΤΟΥΧΑ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΑ ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ	209029.94		62
1. Αστικός χώρος, Καλλιέργειες, Δάσος, Ανοικτός χώρος			
Κατοικία, κατάσταση και εκκλησία	3353.50	86.7	290748
Κατοικία με περιβόλι	729.18		
Ελαιώνας	6773.52	75.3	510046
Δάσος με πεύκα	9.41		
Ανοικτός χώρος + (θάμνοι, δένδρα)	149967.80	59.8	8968074
2. Βιομηχανίες, Εμπορικά			
Εργοστάσιο κατεργασίας μεταλλεύματος & αποθήκη	44935.70	67.5	3033160
Καπναγωγός	2113.96	57.3	121130
Αλουμινοκατασκευές	1146.87		

..... Πίνακας 14. Πίνακας Δείκτη Έκθεσης για το σχέδιο αποκατάστασης της ρυπασμένης γης στο Λαύριο.

ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΚΑ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΑ	Έκταση (m²)	Διάμεσος Δείκτη Έκθεσης	Διάμεση Τιμή Δείκτη Έκθεσης σταθμισμένη ανάλογα με την έκταση
8. ΔΙΑΣΠΑΡΤΕΣ ΣΚΟΥΡΙΕΣ ΚΑΙ ΑΔΡΟΚΟΚΚΑ ΥΛΙΚΑ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ/ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ	17492.64		47
1. Αστικός χώρος, Καλλιέργιες, Δάσος, Ανοικτός χώρος			
Κατοικία με περιβόλι	146.42		
Ανοικτός χώρος + (θάμνοι, δένδρα)	12215.16	45.5	555790
2. Βιομηχανίες, Εμπορικά			
Πρατήριο βενζίνης, γκαράζ & συνεργείο αυτοκινήτων	3948.60	52.5	207302
Αποθήκη οικοδομικών υλικών	1182.46	48.6	57468
9. ΑΜΜΟΙ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ/ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΑΔΡΟΚΟΚΚΑ ΥΛΙΚΑ	23279.59		48
1. Αστικός χώρος, Καλλιέργιες, Δάσος, Ανοικτός χώρος			
Ανοικτός χώρος + (θάμνοι, δένδρα)	23208.43	48.6	1127930
2. Βιομηχανίες, Εμπορικά			
Εργοστάσιο κατεργασίας μεταλλεύματος & αποθήκη	71.16		
10. ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΑ ΕΜΠΛ./ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΣΠΑΡΤΕΣ ΣΚΟΥΡΙΕΣ	2169.52		41
1. Αστικός χώρος, Καλλιέργιες, Δάσος, Ανοικτός χώρος			
Ανοικτός χώρος + (θάμνοι, δένδρα)	2169.52	41.0	88950
11. ΡΥΠΑΣΜΕΝΟ ΕΔΑΦΟΣ	5419643.83		37
1. Αστικός χώρος, Καλλιέργιες, Δάσος, Ανοικτός χώρος			
Κατοικία, κατάστημα και εκκλησία	436463.31	52.2	22783385
Κατοικία με περιβόλι	347921.46	52.2	18161500
Σχολείο	14793.44	52.7	779614
Παιδική Χαρά	4564.69	50.6	230973
Πάρκο	35803.98	51.0	1826003
Γήπεδο ποδοσφαίρου και χώρος άθλησης	2732.12	46.3	126497
Ελαιώνας	392859.16	56.1	22039399
Αμπελώνας	57788.55	56.5	3265053
Κηπευτικά	14681.36	53.3	782516
Σιτάρι	11222.18	58.0	650886
Δάσος με πεύκα	366758.76	28.6	10489301
Ανοικτός χώρος με δένδρα + (ελιές, συκιές, κ.ά.)	77231.18	31.8	2455952
Ανοικτός χώρος + (θάμνοι, δένδρα)	2714862.83	31.0	84160748
Αρχαιολογικός χώρος	4243.66	29.8	126461
Κοιμητήριο	13537.25	37.3	504939
2. Βιομηχανίες, Εμπορικά			
Εργοστάσιο κατεργασίας μεταλλεύματος & αποθήκη	137775.64	42.4	5841687
Καπναγωγός	20317.89	33.1	672522
Εργοστάσιο υγρών μπαταριών μολύβδου	41403.68	47.1	1950113
Εργοστάσιο (πολεμοφόδια, όπλα, σπύρα), αποθήκη	385204.11	32.5	12519134
Πρατήριο βενζίνης, γκαράζ & συνεργείο αυτοκινήτων	7070.45	40.0	282818
Σιδηροκατασκευές και εμπορία σιδήρου	101571.84	31.4	3189356
Αλουμινοκατασκευές	1913.51		
Κλωστούφαντουργία	111298.73	39.6	4407430
Λοιπές βιοτεχνίες και αποθήκες υλικών	8310.96	34.5	286728
Αποθήκη οικοδομικών υλικών	8720.35	32.5	283411
Λιμενικές εγκαταστάσεις	95002.07	33.3	3163569
Λατομείο μαρμάρου	3779.06	27.8	105058
Παλαιά μεταλλευτική εργασία	915.89		
Δημοτική χωματερή	895.72		

Ο Πίνακας 15 παρουσιάζει το δείκτη κόστους για τις διάφορες κατηγορίες των μεταλλουργικών απορριμμάτων. Οι τεχνικές αποκατάστασης με το χαμηλότερο κόστος που ελαχιστοποιούν την άμεση έκθεση είναι:

- η φυτοκάλυψη (δείκτης κόστους 1800) και
- η κάλυψη με καθαρό έδαφος (δείκτης κόστους 2333).

η φυτοκάλυψη με την εφαρμογή της τεχνικής της ανάμιξης των απορριμμάτων επίπλευσης (σαβούρα) με βιολογική λάσπη, δίνει επίσης χαμηλό δείκτη κόστους (2095). Οι υπόλοιπες τεχνικές δίνουν δείκτη κόστους που κυμαίνεται από 3611 έως 9267. Εδώ είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η φυτοκάλυψη έχει αμφίβολη αποτελεσματικότητα 50%, και η κάλυψη με καθαρό έδαφος είναι περιορισμένη, λόγω της μη ύπαρξης επαρκούς ποσότητας καθαρού εδάφους.

Προτείνεται να δημιουργηθεί κριτήριο ελάχιστης αποδεκτής αποτελεσματικότητας για τον αποκλεισμό των μη αποδοτικών τεχνολογιών αποκατάστασης. Αυτό το ελάχιστο κριτήριο μπορεί να καθοριστεί στο 90% αποτελεσματικότητας. Κάτω από αυτές τις συνθήκες, πέντε απο τις τεχνολογίες:

- φυτοκάλυψη,
- βιολογική λάσπη,
- βιολογική λάσπη + ιπτάμενη τέφρα,
- compost + φωσφορικά, και
- compost + ιπτάμενη τέφρα

αποκλείονται από περαιτέρω υπολογισμούς εξ' αιτίας της μη αποδεκτής απόδοσης. Η μέθοδος της βιολογικής λάσπης και των φωσφορικών έχει περίπου 90% αποτελεσματικότητα. Αποφασίστηκε, ως εκ τούτου, να παραμείνει ως επιλογή, δεδομένου ότι έδειξε να έχει καλή απόδοση κατά την εφαρμογή σε κλίμακα επίδειξης στα απορρίμματα εμπλουτισμού/επίπλευσης («σαβούρας»). Για να διασφαλίσουμε αποτελεσματικότητα μεγαλύτερη από 90%, αποφασίστηκε η προσθήκη 30-cm καθαρού εδάφους σ' αυτή την τεχνολογία, με πρόσθετο κόστος 600 δρχ./m². Αυτό αυξάνει την αποτελεσματικότητά της σε 0,94 και το δείκτη κόστους σε 4947. Το Σχήμα 13 είναι ο χάρτης που δείχνει τη γεωγραφική κατανομή του δείκτη κόστους της Βέλτιστης Διαθέσιμης Τεχνολογίας για την αποκατάσταση του ρυπασμένου εδαφικού καλύμματος του Λαυρίου (βλ. επίσης Χάρτη 12.2 στον Τόμο 2 αυτής της μελέτης).

Τα παρακάτω απεικονίζουν τον τρόπο, με τον οποίο μία ανάλυση κόστους/οφέλους μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον καθορισμό της *Βέλτιστης Διαθέσιμης Τεχνολογίας (BΔΤ)* για την αποκατάσταση της αστικής περιοχής του Λαυρίου. Σε όλες τις περιπτώσεις, με εξαίρεση τους πυρίτες, η βέλτιστη διαθέσιμη τεχνολογία με το χαμηλότερο κόστος είναι η επικάλυψη με καθαρό έδαφος και φυτοκάλυψη. Για τα απορρίμματα εμπλουτισμού με χαμηλό ποσοστό πυριτών η βέλτιστη διαθέσιμη τεχνολογία με το χαμηλότερο κόστος είναι προσθήκη ασβεστολίθου με επικάλυψη καθαρού εδάφους και φυτοκάλυψη. Αντίστοιχα στα απορρίμματα υψηλής περιεκτικότητας σε πυρίτες, η βέλτιστη διαθέσιμη τεχνολογία χαμηλού κόστους είναι το κάλυμμα συμπιεσμένης αργίλου και φυτοκάλυψη. Για να διασφαλίσουμε τη μέγιστη προστασία του πληθυσμού, καθώς και τη μακροβιότητα και την αποτελεσματικότητα της τεχνολογίας, αποφασίστηκε ότι η καλύτερη λύση για τα απορρίμματα εμπλουτισμού/επίπλευσης («σαβούρα») είναι η βιολογική λάσπη και τα φωσφορικά με προσθήκη καλύμματος καθαρού εδάφους. Με τον ίδιο τρόπο, τα απορρίμματα

Πίνακας 15. Δείκτης κόστους για το σχέδιο αποκατάστασης.

	Πλακίστρωση	Φυτοκάλυψη χωρίς καθαρό έδαφος ή σταθετοποιητικά	Κάλυψη με καθαρό έδαφος + φύτευση	Κάλυψη με γεωμεμβράνη+φύτευση	Κάλυψη με συμπίεσιμένη άργιλο + φύτευση	Προσθήκη ασβεστολίθου + φύτευση	Βιολογική λάσπη	Βιολογική λάσπη + Φωσφορικά	Βιολογική λάσπη + Ιπτάμενη τέφρα	Compost + Ιπτάμενη τέφρα	Compost + Φωσφορικά	
Οικονομική Επένδυση, Fij, Δρχ/m ²	5000	900	2100	3450	3250	3350	1550	4050	6250	6950	4650	
Πηγές ρύπανσης/έδαφος	Επιφάνεια, m²											
Απορ. εμπλουτισμού/επίπλευσης	472672	5051	-	2333	-	-	-	2095	4655	7716	9267	5813
Πλινθώματα σκουριών	399349	5051	-	2333	-	-	-	-	-	-	-	-
Πλινθ. & συσφαιρώματα σκουριών	135768	5051	-	2333	-	-	-	-	-	-	-	-
Διάσπαρτες σκουριές	145768	5051	-	2333	-	-	-	-	-	-	-	-
Υλικά αμμοβολής & συσφ. σκουριών	103375	5051	-	2333	-	-	-	-	-	-	-	-
Απορ. εμπλουτισμού με διάσ. πυρίτη	305053	5051	1800	2333	3833	3611	3564	2095	4655	7716	9267	5813
Πυριτούχα υλικά επίπλευσης	209029	-	-	-	3833	3611	-	-	-	-	-	-
Σκουριές & Απορρίμματα εμπλουτ.	17344	5051	1800	2333	-	-	-	2095	4655	7716	9267	5813
Απορρίμ. εμπλουτισμού & άλλα υλ.	23274	5051	1800	2333	-	-	-	2095	4655	7716	9267	5813
Απορρίμ. εμπλουτισμού & σκουριές	2316	5051	-	2333	-	-	-	2095	4655	7716	9267	5813
Ρυπασμένο έδαφος	5419644	5051	1800	2333	-	-	-	2095	4655	7716	9267	5813

Πίνακας 16. Ανάλυση Κόστους/Οφέλους για το σχέδιο αποκατάστασης βασισμένο στις πηγές ρύπανσης.

Πηγές ρύπανσης/έδαφος	Επιφάνεια m ²	Δείκτης Έκθεσης	Δείκτης Κοινωνικού Οφέλους	Δείκτης Οφέλους BI	Τεχνολογία χαμηλότερου κόστους	Δείκτης Κόστους CI	Λόγος Κόστους/Οφέλους Λόγος CI/BI	Κόστος σε εκατομμύρια Δραχμές
Απορ. εμπλουτισμού/επίπλευσης	474211.83	67.9	1	67.9	Βιολ. λάσπη+Φωσφ.+έδαφος	4947	72.9	2205
Πλινθώματα σκουριών	397568.97	39.1	1	39.1	Κάλυμ. καθ. εδάφους+Φύτευση	2333	59.7	835
Πλινθ. & συσφαιρώματα σκουριών	135764.79	43.8	1	43.8	Κάλυμ. καθ. εδάφους+Φύτευση	2333	53.3	285
Διάσπαρτες σκουριές	145008.07	39	1	39	Κάλυμ. καθ. εδάφους+Φύτευση	2333	59.8	305
Υλικά αμμοβολής & συσφ. σκουριών	105813.29	44	1	44	Κάλυμ. καθ. εδάφους+Φύτευση	2333	53.0	222
Απορ. εμπλουτισμού με διάσ. πυρίτη	305047.01	55	1	55	Ασβεστόλιθος + Φύτευση	3564	64.8	1022
Πυριτούχα υλικά επίπλευσης	209029.94	62	1	62	Συμπ. άργιλος+Φύτευση	3611	58.2	679
Σκουριές & Απορρίμματα εμπλουτ.	17492.64	47	1	47	Κάλυμ. καθ. εδάφους+Φύτευση	2333	49.6	37
Απορρίμ. εμπλουτισμού & άλλα υλ.	23279.59	48	1	48	Κάλυμ. καθ. εδάφους+Φύτευση	2333	48.6	49
Απορρίμ. εμπλουτισμού & σκουριές	2169.52	41	1	41	Βιολ. λάσπη+Φωσφ.+έδαφος	4947	120.7	10
Ρυπασμένο έδαφος	5419643.83	37	1	37	Κάλυμ. καθ. εδάφους+Φύτευση*	2333	63.1	6829

*Υπολογίζοντας 60% ακάλυπτο εδαφικό καλύμματις (το υπόλοιπο είναι μητέταν, κ.ά.)

Ολική έκταση σε εκτάρια 723.5

Συνολικό Κόστος Αποκατάστασης:

12478

εμπλουτισμού/επίπλευσης με διάσπαρτο πυρίτη θα αποκατασταθούν καλύτερα χρησιμοποιώντας ασβεστόλιθο μαζί με κάλυμμα καθαρού εδάφους και φύτευση.

Ο Πίνακας 16 παρουσιάζει το λόγο κόστους/οφέλους για κάθε κατηγορία μεταλλουργικών απορριμμάτων, χρησιμοποιώντας τη βέλτιστη διαθέσιμη τεχνολογία, που επελέγη. Σε αυτή την περίπτωση, ο περιορισμός που αναφέρθηκε παραπάνω, όσον αφορά τη διαθεσιμότητα του καθαρού εδάφους, δεν ελήφθη υπ' όψη. Ο βασισμένος στη χρήση γης μέσος σταθμισμένος, ανάλογα με την έκταση, Δείκτης Οφέλους για κάθε κατηγορία μεταλλουργικών απορριμμάτων, υπολογίστηκε και συγκρίθηκε με το δείκτη κόστους της κάθε χρήσης γης αντίστοιχα. Στη συνέχεια υπολογίστηκε ο δείκτης κόστους/οφέλους για κάθε κατηγορία μεταλλουργικών απορριμμάτων. Ο δείκτης κόστους/οφέλους κυμαίνεται από 35 έως 121. Τα αποτελέσματα μπορούν να ομαδοποιηθούν ως εξής. Οι πηγές ρύπανσης 2, 3, 4, 5, 7, 8 και 9 έχουν δείκτη κόστους/οφέλους (CBI) μικρότερο από 60 (βλ. Σχ. 16 με το υπόμνημα

αρίθμησης των απορριμμάτων). Η περιοχή που καταλαμβάνουν είναι 103,3 εκτάρια. Οι πηγές ρύπανσης 1, 6 και 11 έχουν δείκτη κόστους/οφέλους μεταξύ 60 και 80 και καταλαμβάνουν έκταση 403 εκταρίων (υποθέτοντας ότι το 40% του ρυπασμένου εδάφους, που αποτελεί δευτερογενή πηγή ρύπανσης, είναι καλυμμένο με τσιμέντο η άσφαλτο). Σε μία πολύ μικρή περιοχή της τάξης των 0,2 εκταρίων, τα απορρίμματα εμπλουτισμού/επίπλευσης με τις διάσπαρτες σκουριές έχουν το μεγαλύτερο δείκτη κόστους/οφέλους, που είναι 120,7.

Ο Πίνακας 17 παρουσιάζει μία ανάλυση κόστους/οφέλους που βασίζεται στις χρήσεις γης. Ο δείκτης οφέλους για κάθε χρήση γης, που εντοπίζεται στις διάφορες κατηγορίες μεταλλουργικών απορριμμάτων, υπολογίστηκε και συγκρίθηκε με το δείκτη του κόστους για την αντίστοιχη κατηγορία απορριμμάτων, για να υπολογιστεί ο λόγος κόστους/οφέλους με βάση τις χρήσεις γης. Οι λόγοι κόστους/οφέλους κυμαίνονται από 23 έως 72. Η ανάλυση αυτή παρουσιάζει τον κίνδυνο να εξαχθούν λανθασμένα συμπεράσματα, εάν κάποιος χρησιμοποιήσει τα αποτελέσματά της απερίσκεπτα. Επιπλέον, πρέπει να χρησιμοποιείται για να κατευθύνει τη διαδικασία αποκατάστασης και να παρέχει πληροφορίες για τον καθορισμό των προτεραιοτήτων για αποκατάσταση. Το Σχήμα 14 είναι χάρτης που δείχνει τη γεωγραφική κατανομή του δείκτη Κόστους/Οφέλους της Βέλτιστης Διαθέσιμης Τεχνολογίας για την αποκατάσταση του ρυπασμένου εδαφικού καλύμματος στο Λαύριο (βλ. επίσης Χάρτη 12.4 στον Τόμο 2 αυτής της μελέτης).

Η ανάλυση αυτή βασίζεται στις διαθέσιμες μέχρι σήμερα πληροφορίες. Το προτεινόμενο σχέδιο επεμβάσεων αποκατάστασης θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ως ένα δυναμικό εργαλείο ανάλυσης και όχι ως στατικό. Κάθε νέα διαθέσιμη πληροφορία για τεχνολογίες αποκατάστασης, πρέπει να ενσωματώνεται στο σχέδιο και το σχέδιο να αναθεωρείται. Το συνολικό κόστος αποκατάστασης με τις χαμηλότερου κόστους τεχνολογίες είναι 12,5 δισ. δραχμές (37 εκ. Ευρώ με σημερινή τιμή αντιστοιχίας). Η πιο ακριβή περιοχή για αποκατάσταση είναι αυτή που καλύπτεται από το ρυπασμένο έδαφος, διότι έχει τη μεγαλύτερη έκταση. Η περιοχή με το χαμηλότερο κόστος καλύπτεται από απορρίμματα επίπλευσης/εμπλουτισμού με διάσπαρτες σκουριές, διότι έχει τη μικρότερη έκταση. Αυτό αντιστοιχεί σε 73.000 Ευρώ/εκτάριο (δεν περιλαμβάνεται ΦΠΑ).

Προτείνεται ότι, ο καλύτερος τρόπος επίλυσης του προβλήματος είναι ο σχεδιασμός ενός 11-χρονου οικονομικού προγράμματος, το οποίο συμπεριλαμβάνει μία αρχική επένδυση 2-3 δισεκατομμύρια δραχμές για την ελαχιστοποίηση της σκόνης και την αντιμετώπιση των θεμάτων υψηλής προτεραιότητας και μία ετήσια επένδυση της τάξης του 1 δισεκατομμυρίου δραχμές για τα υπόλοιπα 10 χρόνια. Η αρχική ετήσια επένδυση θα μπορούσε να αποκαταστήσει ένα τμήμα του ρυπασμένου εδάφους της αστικής περιοχής, την περιοχή που καλύπτεται από τους εκτεταμένους σωρούς απορριμμάτων εμπλουτισμού («σαβούρα») και τα πυριτούχα υλικά στην περιοχή του Καβοδόκανου. Οι υπόλοιπες ετήσιες επενδύσεις μπορούν να ακολουθήσουν τις προτεραιότητες της ανάλυσης κόστους/οφέλους.

Πίνακας 17. Ανάλυση Κόστους/Οφέλους για το σχέδιο αποκατάστασης – βασισμένη στην ανάλυση οφέλους της χρήσης γης

ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΚΑ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΑ	Έκταση (m²)	Διάμεση Τιμή Δείκτη Έκθεσης	Δείκτης Κοινωνικού Οφέλους	Δείκτης Οφέλους BI	Δείκτης Κόστους CI	Λόγος Κόστους/Οφέλους Λόγος CI/BI
1. ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΑ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ/ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ	474211.83				4947	
1. Αστικός χώρος, Καλλιέργειες, Δάσος, Ανοικτός χώρος	Έκταση (m²)	Διάμεσος EI	SBI	BI	CI	Λόγος CI/BI
Κατοικία, κατάστημα και εκκλησία	21134.33	81.0	1	81.0		61.1
Κατοικία με περιβόλι	56725.11	80.2	1	80.2		61.7
Σχολείο	1546.28	62.4	1	62.4		79.3
Παιδική Χαρά	2159.92	60.4	1	60.4		81.9
Γήπεδο ποδοσφαίρου και χώρος άθλησης	2992.68	72.9	1	72.9		67.9
Ελαιώνας	32475.22	82.9	1	82.9		59.7
Αμπελώνας	64325.71	84.7	1	84.7		58.4
Δάσος με πεύκα	5184.30	62.0	1	62.0		79.8
Ανοικτός χώρος με δένδρα + (ελιές, συκιές, κ.ά.)	32830.31	58.2	1	58.2		85.0
Ανοικτός χώρος + (θάμνοι, δένδρα)	226319.20	58.8	1	58.8		84.1
2. Βιομηχανίες, Εμπορικά						
Εργοστάσιο κατεργασίας μεταλλεύματος & αποθήκη	7997.45	72.5	1	72.5		68.2
Πρατήριο βενζίνης, γκαράζ & συνεργείο αυτοκινήτων	1040.34	63.5	1	63.5		77.9
Σιδηροκατασκευές και εμπορία σιδήρου	6367.88	66.3	1	66.3		74.6
Λοιπές βιοτεχνίες και αποθήκες υλικών	1546.21		1			
Αποθήκη οικοδομικών υλικών	11566.89	62.4	1	62.4		79.3
2. ΠΛΙΝΘΩΜΑΤΑ ΣΚΟΥΡΙΑΣ	397568.97				2333	
1. Αστικός χώρος, Καλλιέργειες, Δάσος, Ανοικτός χώρος	Έκταση (m²)	Διάμεσος EI	SBI	BI	CI	Λόγος CI/BI
Κατοικία, κατάστημα και εκκλησία	8578.57	66.5	1	66.5		35.1
Κατοικία με περιβόλι	9448.96	63.5	1	63.5		36.7
Σχολείο	6867.05	48.6	1	48.6		48.0
Γήπεδο ποδοσφαίρου και χώρος άθλησης	4987.05	53.7	1	53.7		43.4
Ελαιώνας	1358.63		1			
Δάσος με πεύκα	404.89		1			
Ανοικτός χώρος με δένδρα + (ελιές, συκιές, κ.ά.)	273.34		1			
Ανοικτός χώρος + (θάμνοι, δένδρα)	263317.90	37.3	1	37.3		62.5
2. Βιομηχανίες, Εμπορικά						
Εργοστάσιο κατεργασίας μεταλλεύματος & αποθήκη	15712.56	47.8	1	47.8		48.8
Καπναγωγός	927.09		1			
Εργοστάσιο (πολεμοφόδια, όπλα, σπύρτα), αποθήκη	27370.74	41.6	1	41.6		56.1
Πρατήριο βενζίνης, γκαράζ & συνεργείο αυτοκινήτων	131.59		1			
Σιδηροκατασκευές και εμπορία σιδήρου	1815.31	43.7	1	43.7		53.4
Κλωστοϋφαντουργία	4604.09	35.7	1	35.7		65.4
Λοιπές βιοτεχνίες και αποθήκες υλικών		45.9	1	45.9		50.8
Αποθήκη οικοδομικών υλικών	4321.04	42.2	1	42.2		55.3
Λιμενικές εγκαταστάσεις	46572.83	34.5	1	34.5		67.6
Λατομείο μαρμάρου	877.33	27.8	1	27.8		83.9
3. ΠΛΙΝΘΩΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΣΦΑΙΡΩΜΑΤΑ ΣΚΟΥΡΙΑΣ	135764.79				2333	
1. Αστικός χώρος, Καλλιέργειες, Δάσος, Ανοικτός χώρος	Έκταση (m²)	Διάμεσος EI	SBI	BI	CI	Λόγος CI/BI
Κατοικία, κατάστημα και εκκλησία	431.53		1			
Ελαιώνας	1329.72		1			
Ανοικτός χώρος με δένδρα + (ελιές, συκιές, κ.ά.)	96513.36	41.2	1	41.2		56.6
2. Βιομηχανίες, Εμπορικά						
Εργοστάσιο κατεργασίας μεταλλεύματος & αποθήκη	37348.66	52.9	1	52.9		44.1
Παλαιά μεταλλευτική εργασία	141.52		1			

..... Πίνακας 17. Ανάλυση Κόστους/Οφέλους για το σχέδιο αποκατάστασης – βασισμένη στην ανάλυση οφέλους της χρήσης γης

ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΚΑ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΑ	Έκταση (m²)	Διάμεση Τιμή Δείκτη Έκθεσης	Δείκτης Κοινωνικού Οφέλους	Δείκτης Οφέλους BI	Δείκτης Κόστους CI	Λόγος Κόστους/Οφέλους Λόγος CI/BI
4. ΔΙΑΣΠΑΡΤΕΣ ΣΚΟΥΡΙΕΣ	145008.07				2333	
1. Αστικός χώρος, Καλλιέργειες, Δάσος, Ανοικτός χώρος	Έκταση (m²)	Διάμεσος EI	SBI	BI	CI	Λόγος CI/BI
Κατοικία, κατάσταση και εκκλησία	6290.20	60.4	1	60.4		38.6
Κατοικία με περιβόλι	1030.78	65.5	1	65.5		35.6
Σχολείο	8.91		1			
Πάρκο	105.29		1			
Ελαιώνας	4552.25	60.8	1	60.8		38.4
Αμπελώνας	1058.77		1			
Ανοικτός χώρος με δένδρα + (ελιές, συκιές, κ.ά.)	1387.82		1			
Ανοικτός χώρος + (θάμνοι, δένδρα)	93252.70	35.5	1	35.5		65.7
2. Βιομηχανίες, Εμπορικά						
Εργοστάσιο κατεργασίας μεταλλεύματος & αποθήκη	656.82	34.9	1	34.9		66.8
Εργοστάσιο (πολεμοφόδια, όπλα, σπέρτα), αποθήκη	25422.13	44.3	1	44.3		52.7
Σιδηροκατασκευές και εμπορία σιδήρου	9881.61	44.7	1	44.7		52.2
Λοιπές βιοτεχνίες και αποθήκες υλικών	49.42		1			
Αποθήκη οικοδομικών υλικών	1308.63		1			
Λατομείο μαρμάρου	2.74		1			
5. ΥΛΙΚΑ ΑΜΜΟΒΟΛΗΣ ΑΠΟ ΣΚΟΥΡΙΕΣ & ΣΥΣΦ. ΣΚΟΥΡΙΩΝ	105813.29				2333	
1. Αστικός χώρος, Καλλιέργειες, Δάσος, Ανοικτός χώρος	Έκταση (m²)	Διάμεσος EI	SBI	BI	CI	Λόγος CI/BI
Κατοικία, κατάσταση και εκκλησία	2270.96	63.9	1	63.9		36.5
Κατοικία με περιβόλι	637.30		1			
Ελαιώνας	626.92		1			
Αμπελώνας	27.01		1			
Ανοικτός χώρος + (θάμνοι, δένδρα)	67878.50	41.2	1	41.2		56.6
2. Βιομηχανίες, Εμπορικά						
Εργοστάσιο κατεργασίας μεταλλεύματος & αποθήκη	28682.82	52.3	1	52.3		44.6
Μονάδα αμμοβολής από μη-σιδηρούχες σκουριές	2436.98	47.5	1	47.5		49.1
Εργοστάσιο (πολεμοφόδια, όπλα, σπέρτα), αποθήκη		31.4	1	31.4		74.3
Κλωστούφαντουργία	3252.80	43.9	1	43.9		53.1
6. ΑΜΜΟΙ ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ ΜΕ ΔΙΑΣΠΑΡΤΟ ΠΥΡΙΤΗ	305047.01				3564	
1. Αστικός χώρος, Καλλιέργειες, Δάσος, Ανοικτός χώρος	Έκταση (m²)	Διάμεσος EI	SBI	BI	CI	Λόγος CI/BI
Κατοικία, κατάσταση και εκκλησία	2664.05	54.9	1	54.9		64.9
Κατοικία με περιβόλι	21397.48	60.2	1	60.2		59.2
Σχολείο	4962.74	68.8	1	68.8		51.8
Πάρκο	28825.46	68.2	1	68.2		52.3
Γήπεδο ποδοσφαίρου και χώρος άθλησης	141.10		1			
Δάσος με πεύκα	246937.10	53.3	1	53.3		66.9
Ανοικτός χώρος + (θάμνοι, δένδρα)						
2. Βιομηχανίες, Εμπορικά						
Εργοστάσιο κατεργασίας μεταλλεύματος & αποθήκη	42.65		1			
Κλωστούφαντουργία	76.43		1			
7. ΠΥΡΙΤΟΥΧΑ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΑ ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ	209029.94				3564	
1. Αστικός χώρος, Καλλιέργειες, Δάσος, Ανοικτός χώρος	Έκταση (m²)	Διάμεσος EI	SBI	BI	CI	Λόγος CI/BI
Κατοικία, κατάσταση και εκκλησία	3353.50	86.7	1	86.7		41.1
Κατοικία με περιβόλι	729.18		1			
Ελαιώνας	6773.52	75.3	1	75.3		47.3
Δάσος με πεύκα	9.41		1			
Ανοικτός χώρος + (θάμνοι, δένδρα)	149967.80	59.8	1	59.8		59.6
2. Βιομηχανίες, Εμπορικά						
Εργοστάσιο κατεργασίας μεταλλεύματος & αποθήκη	44935.70	67.5	1	67.5		52.8
Καπναγωγός	2113.96	57.3	1	57.3		62.2
Αλουμινοκατασκευές	1146.87		1			

..... Πίνακας 17. Ανάλυση Κόστους/Οφέλους για το σχέδιο αποκατάστασης – βασισμένη στην ανάλυση οφέλους της χρήσης γης.

ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΚΑ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΑ	Έκταση (m²)	Διάμεση Τιμή Δείκτη Έκθεσης	Δείκτης Κοινωνικού Οφέλους	Δείκτης Οφέλους ΒΙ	Δείκτης Κόστους CI	Λόγος Κόστους/Οφέλους Λόγος CI/ΒΙ
8. ΔΙΑΣΠΑΡΤΕΣ ΣΚΟΥΡΙΕΣ ΚΑΙ ΑΔΡΟΚΟΚΚΑ ΥΛΙΚΑ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ/ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ	17492.64				2333	
1. Αστικός χώρος, Καλλιέργειες, Δάσος, Ανοικτός χώρος	Έκταση (m²)	Διάμεσος EI	SBI	BI	CI	Λόγος CI/ΒΙ
Κατοικία με περιβόλι	146.42		1			
Ανοικτός χώρος + (θάμνοι, δένδρα)	12215.16	45.5	1	45.5		51.3
2. Βιομηχανίες, Εμπορικά						
Πρατήριο βενζίνης, γκαράζ & συνεργείο αυτοκινήτων	3948.60	52.5	1	52.5		44.4
Αποθήκη οικοδομικών υλικών	1182.46	48.6	1	48.6		48.0
9. ΑΜΜΟΙ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ/ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΑΔΡΟΚΟΚΚΑ ΥΛΙΚΑ	23279.59				2333	
1. Αστικός χώρος, Καλλιέργειες, Δάσος, Ανοικτός χώρος	Έκταση (m²)	Διάμεσος EI	SBI	BI	CI	Λόγος CI/ΒΙ
Ανοικτός χώρος + (θάμνοι, δένδρα)	23208.43	48.6	1	48.6		48.0
2. Βιομηχανίες, Εμπορικά						
Εργοστάσιο κατεργασίας μεταλλεύματος & αποθήκη	71.16		1			
10. ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΑ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ/ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΣΠΑΡΤΕΣ ΣΚΟΥΡΙΕΣ	2169.52				4947	
1. Αστικός χώρος, Καλλιέργειες, Δάσος, Ανοικτός χώρος	Έκταση (m²)	Διάμεσος EI	SBI	BI	CI	Λόγος CI/ΒΙ
Ανοικτός χώρος + (θάμνοι, δένδρα)	2169.52	41.0	1	41.0		120.7
11. ΡΥΠΑΣΜΕΝΟ ΕΔΑΦΟΣ	5419643.83				2333	
1. Αστικός χώρος, Καλλιέργειες, Δάσος, Ανοικτός χώρος	Έκταση (m²)	Διάμεσος EI	SBI	BI	CI	Λόγος CI/ΒΙ
Κατοικία, κατάσταση και εκκλησία	436463.31	52.2	1	52.2		44.7
Κατοικία με περιβόλι	347921.46	52.2	1	52.2		44.7
Σχολείο	14793.44	52.7	1	52.7		44.3
Παιδική Χαρά	4564.69	50.6	1	50.6		46.1
Πάρκο	35803.98	51.0	1	51.0		45.7
Γήπεδο ποδοσφαίρου και χώρος άθλησης	2732.12	46.3	1	46.3		50.4
Ελαιώνας	392859.16	56.1	1	56.1		41.6
Αμπελώνας	57788.55	56.5	1	56.5		41.3
Κηπευτικά	14681.36	53.3	1	53.3		43.8
Σιτάρι	11222.18	58.0	1	58.0		40.2
Δάσος με πεύκα	366758.76	28.6	1	28.6		81.6
Ανοικτός χώρος με δένδρα + (ελιές, συκιές, κ.ά.)	77231.18	31.8	1	31.8		73.4
Ανοικτός χώρος + (θάμνοι, δένδρα)	2714862.83	31.0	1	31.0		75.3
Αρχαιολογικός χώρος	4243.66	29.8	1	29.8		78.3
Κοιμητήριο	13537.25	37.3	1	37.3		62.5
2. Βιομηχανίες, Εμπορικά						
Εργοστάσιο κατεργασίας μεταλλεύματος & αποθήκη	137775.64	42.4	1	42.4		55.0
Καταγωγός	20317.89	33.1	1	33.1		70.5
Εργοστάσιο υγρών μπαταριών μολύβδου	41403.68	47.1	1	47.1		49.5
Εργοστάσιο (πολεμοφόδια, όπλα, σπύρτα), αποθήκη	385204.11	32.5	1	32.5		71.8
Πρατήριο βενζίνης, γκαράζ & συνεργείο αυτοκινήτων	7070.45	40.0	1	40.0		58.3
Σιδηροκατασκευές και εμπορία σιδήρου	101571.84	31.4	1	31.4		74.3
Αλουμινοκατασκευές	1913.51		1			
Κλωστοϋφαντουργία	111298.73	39.6	1	39.6		58.9
Λοιπές βιοτεχνίες και αποθήκες υλικών	8310.96	34.5	1	34.5		67.6
Αποθήκη οικοδομικών υλικών	8720.35	32.5	1	32.5		71.8
Λιμενικές εγκαταστάσεις	95002.07	33.3	1	33.3		70.1
Λατομείο μαρμάρου	3779.06	27.8	1	27.8		83.9
Παλιά μεταλλευτική εργασία	915.89		1			
Δημοτική χωματερή	895.72		1			

Δίνεται έμφαση στο ότι πρέπει συνεχώς να διερευνώνται και άλλες τεχνικές αποκατάστασης για την εφαρμογή εναλλακτικών λύσεων με χαμηλότερο κόστος. Τέτοιες πρακτικές αποκατάστασης μπορούν να συμπεριλάβουν:

α. Σκάψιμο και διάθεση των απορριμμάτων στα παλιά εγκαταλελειμένα μεταλλεία ή σε χωματερές ειδικές για τη διάθεση επικίνδυνων τοξικών απορριμμάτων,

- Σ' αυτή την περίπτωση πρέπει να εκπονηθεί μελέτη για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

β. Εξέταση τρόπων εναλλακτικής χρησιμοποίησης των απορριμμάτων επίπλευσης χωρίς να δημιουργούν απειλή για το περιβάλλον.

- Τα επικίνδυνα μεταλλουργικά απορρίμματα έχουν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν στην κατασκευαστική βιομηχανία. Τα συγκεκριμένα υλικά επίπλευσης, ωστόσο, εκτός από τις υψηλές συγκεντρώσεις τοξικών στοιχείων, περιέχουν και υψηλές συγκεντρώσεις θείου κάνοντας ακατάλληλη τη χρήση τους στην κατασκευή μπετόν. Υπάρχει όμως πιθανότητα τα υλικά αυτά, εάν αναμιχθούν με τα κατάλληλα πρόσθετα, να ικανοποιούν τις προδιαγραφές ποιότητας, όσον αφορά τις μηχανικές ιδιότητες και τα **περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά** των τελικών προϊόντων.

γ. Άλλες μεθόδους για τη μείωση της άμεσης έκθεσης του πληθυσμού στους επιφανειακούς ρυπαντές.

- Αυτές οι μέθοδοι μπορούν να συμπεριλάβουν το συνδυασμό της αποκατάστασης με θεσμικού τύπου δράσεις. Ένα παράδειγμα μπορεί να είναι η φυσική σταθεροποίηση του λεπτόκοκκου υλικού στην περιοχή του Καβοδόκανου σε συνδυασμό με νομοθεσία για τις χρήσεις γης, που να απογορεύει τη χρησιμοποίησή της από τον πληθυσμό.

4.4. ΕΠΙΜΟΡΦΩΣΗ – ΤΡΟΠΟΣ ΖΩΗΣ

Στο Λαύριο τα προβλήματα της περιβαλλοντικής ρύπανσης και των αρνητικών επιπτώσεών τους στην υγεία του πληθυσμού είναι τεράστια. Δεν είναι ρεαλιστικό να πιστέψουμε ότι θα επιτευχθεί μία πλήρης λύση σε μικρό χρονικό διάστημα. Η επίλυση του προβλήματος απαιτεί, εκτός από τις επεμβάσεις αποκατάστασης και άλλες προσεγγίσεις, όπως αλλαγή του τρόπου ζωής μέσω της επιμόρφωσης. Η επιμόρφωση είναι εξαιρετικά σημαντική, διότι μπορεί να ελαχιστοποιήσει αποτελεσματικά την άμεση έκθεση του πληθυσμού. Η επιμόρφωση πρέπει να απευθύνεται σε συγκεκριμένο κοινό, που στην προκειμένη περίπτωση αποτελείται από τις εξής ομάδες:

- παιδιά,
- «εκτιθέμενοι» εργάτες,
- πληθυσμός που ζει σε «υψηλού κινδύνου» περιοχές, και
- γενικός πληθυσμός.

Η αποτελεσματικότητα της επιμόρφωσης εξαρτάται από την ικανότητα του συγκεκριμένου κοινού να κατανοήσει το επιμορφωτικό υλικό (επίπεδο μόρφωσης), καθώς και από τη θέλησή του να δεχτεί το αποτέλεσμα. Γενικά, είναι δύσκολο για τους πιο ηλικιωμένους ανθρώπους (με χαμηλότερο επίπεδο μόρφωσης) να αποδεχτούν τις προτεινόμενες αλλαγές του τρόπου ζωής τους εύκολα. Από την άλλη πλευρά, τα παιδιά μπορούν να διαπαιδαγωγηθούν πιο εύκολα και να υιοθετήσουν νέο τρόπο ζωής, ο οποίος ελαχιστοποιεί την έκθεσή τους στους ρυπαντές. Επίσης και άλλοι κοινωνικοί παράγοντες παίζουν σημαντικό ρόλο. Ομοίως, τμήμα του πληθυσμού είναι εξαιρετικά ευαίσθητο, είτε διότι ζει σε περιοχές που καλύπτονται από μεταλλουργικά απορρίμματα, είτε γιατί εργάζεται σε αυτές. Οι εκπαιδευτικές δράσεις πρέπει να στοχεύουν στις ανάγκες τους. Ο Πίνακας 19 παρουσιάζει ένα σύνολο από εκπαιδευτικά θέματα για επιμόρφωση ομάδων του πληθυσμού, ώστε να ελαχιστοποιηθεί η έκθεσή τους στους ρυπαντές.

Μερικές από τις συστάσεις του Πίνακα 18 είναι ιδιαίτερης σημασίας και επείγουσες, όσον αφορά την ανθρώπινη ασφάλεια σε θέματα υγείας. Είναι άκρως απαραίτητο ο Δήμος, σε συνεργασία με το Κέντρο Υγείας Λαυρίου και άλλους ειδικούς, να καταρτίσει οδηγίες σχετικές με την προστασία της υγείας και ασφάλειας των ανθρώπων, που

εργάζονται και εκτίθενται στα μεταλλουργικά απορρίμματα. Αυτοί οι άνθρωποι πρέπει να ενημερωθούν για τους κινδύνους που διατρέχουν κατά την εργασία τους στις εν

λόγω επικίνδυνες περιοχές, ενώ παράλληλα πρέπει να τους παρέχεται εκπαίδευση πάνω σε θέματα υγείας και ασφάλειας. Σε πολλές περιπτώσεις, οι βιομηχανικές περιοχές παρουσιάζουν υψηλό δείκτη κόστους/οφέλους, υποδεικνύοντας μικρή προτεραιότητα για αποκατάσταση (εξ' αιτίας του μικρού αριθμού ανθρώπων που εκτίθενται στα απορρίμματα). Η εκπαίδευση σε θέματα υγείας και ασφάλειας θα μειώσει τον κίνδυνο της απ' ευθείας έκθεσης αυτού του μικρού, αλλά πολύ ευαίσθητου, τμήματος του πληθυσμού. Προτείνεται επίσης ο Δήμος, σε συνεργασία με την Κυβέρνηση, να παρέχει βιομηχανικά κίνητρα (π.χ. φορολογικές απαλλαγές, δημοσιοποίηση της συμμετοχής με διαφημιστικά φυλλάδια κ.λπ.) για να διασφαλίσει τη συνεργασία της τοπικής βιομηχανίας στην εκπόνηση του προγράμματος υγείας και ασφάλειας.

Η χρηματοδότηση τέτοιων έργων αποκατάστασης αποτελεί πάντα μία πρόκληση. Προτείνεται ο Δήμος να καταρτίσει ένα εκπαιδευτικό πρόγραμμα, το οποίο θα βοηθά τους κατοίκους που επιθυμούν να αποκαταστήσουν με σωστό και κατάλληλο τρόπο τις περιουσίες τους (με δικά τους έξοδα). Αυτό το πρόγραμμα δεν πρέπει να αποτελείται μόνο από φυλλάδια, τα οποία αναλύουν τις χαμηλού κόστους εναλλακτικές λύσεις αποκατάστασης και τον τρόπο υλοποίησής τους, αλλά επίσης θα πρέπει να παρέχει τεχνική υποστήριξη με τη μορφή ειδικών, οι οποίοι θα καθοδηγούν την αποκατάσταση. Για παράδειγμα, ο Δήμος θα μπορούσε να προσλάβει ειδικούς στην περιβαλλοντική ρύπανση, οι οποίοι, μετά από ειδική αίτηση, θα μπορούσαν να επισκεφθούν τις διάφορες περιουσίες και να κάνουν αναλύσεις του εδάφους (χρησιμοποιώντας φορητά φασματόμετρα ακτίνων-Χ), να εκτιμήσουν το βαθμό του προβλήματος και να προτείνουν, ειδικά για την κάθε περιοχή, χαμηλού κόστους εναλλακτικές λύσεις αποκατάστασης. Με αυτό τον τρόπο, ο Δήμος θα μπορούσε να μοιραστεί το κόστος αποκατάστασης ενός μεγάλου τμήματος της αστικής περιοχής και ταυτόχρονα να μειώσει τον κίνδυνο για την υγεία των κατοίκων. Τέτοιο πρόγραμμα πρέπει να γίνει διαθέσιμο και, αν υλοποιηθεί σωστά, θα είναι πολύ επιτυχημένο. Αξιοσημείωτα παραδείγματα είναι η ρυπασμένη από μόλυβδο περιοχή σε προάστια της Βαλτιμόρης (Chisolm and Harrison, 1956) και της Νέας Υόρκης των Η.Π.Α. (Jacobziner, 1966), καθώς και η ρύπανση από την εκκαμίνευση μολύβδου/ψευδαργύρου στην πόλη Τρέιλ (της Βρετανικής Κολομβίας στον Καναδά), την οποία διαχειρίζεται η Κοινωνική Ομάδα Μολύβδου του Τρέιλ (Hilts, 1996).

4.5. ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ

Οι νομοθετικές δράσεις πρέπει να είναι κατεπείγον θέμα για μακροπρόθεσμη βιώσιμη λύση αποκατάστασης του εδάφους στο Λαύριο, δεδομένου ότι μερικά θέματα απαιτούν τέτοιες πράξεις. Προτείνεται ο Δήμος Λαυρεωτικής να συστήσει άμεσα μία ομάδα εργασίας από όλα τα ενδιαφερόμενα μέρη, για να μελετήσει κάθε θέμα από τα προτεινόμενα νομοθετικά ζητήματα. Η ομάδα εργασίας θα πρέπει να περιλαμβάνει εκπροσώπους συλλόγων, επιστήμονες, αντιπροσώπους βιομηχανιών και μέλη δημοσίων και μη κερδοσκοπικών οργανισμών. Άμεσα θέματα νομοθεσίας πρέπει να συμπεριλαμβάνουν:

- Αλλαγή στις χρήσεις γης που θα ελαχιστοποιούν την ανθρώπινη έκθεση και θα διευκολύνουν την αποκατάσταση του εδάφους
- Κανονισμούς για θέματα υγείας και ασφάλειας των εργαζομένων, και
- Νομοθεσία για τον καθορισμό της ποσότητας των υπογείων υδάτων και της κατανάλωσης των προϊόντων των τοπικών καλλιεργειών.

Πίνακας 18. Θέματα δράσης που αφορούν την επιμόρφωση διαφόρων ομάδων πληθυσμού για την ελαχιστοποίηση της έκθεσής τους στους ρυπαντές.

♦ **Επιμόρφωση των Παιδιών**

Θέματα Δράσης:

- Διοργάνωση σεμιναρίων για τους δασκάλους και καθηγητές
- Εκτύπωση φυλλαδίων και βιβλίων για το περιβαλλοντικό πρόβλημα και τις προτεινόμενες λύσεις
- Παραγωγή βίντεο, CD-Roms και παιχνιδιών σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές, σχετικά με το περιβαλλοντικό πρόβλημα και τις προτεινόμενες λύσεις

♦ **Επιμόρφωση των «Εκτιθέμενων» Εργατών**

Θέματα Δράσης:

- Σύνταξη οδηγιών για την προστασία της υγείας των εργαζομένων στους χώρους εργασίας τους
- Διοργάνωση εκπαιδευτικών σεμιναρίων με θέμα την υγεία και ασφάλεια και σύνταξη εκπαιδευτικού υλικού
- Κίνητρα στις επιχειρήσεις για την προαγωγή της εκπαίδευσης πάνω σε θέματα υγείας και ασφάλειας

♦ **Επιμόρφωση του Πληθυσμού που ζει σε «υψηλού κινδύνου» περιοχές με μεταλλουργικά απορρίμματα**

Θέματα Δράσης

- Σύνταξη επιμορφωτικού υλικού με θέμα εναλλακτικές διορθωτικές επεμβάσεις χαμηλού κόστους για συγκεκριμένες τοποθεσίες
- Εκτύπωση φυλλαδίων και βιβλίων με θέμα τους τρόπους μείωσης του κόστους εναλλακτικών μεθόδων αποκατάστασης και παροχής τεχνικής υποστήριξης για την υλοποίησή τους
- Οικονομικά κίνητρα μετεγκατάστασης

♦ **Επιμόρφωση των Πολιτών**

Θέματα Δράσης:

- Σύνταξη εκπαιδευτικού υλικού για χαμηλού κόστους εναλλακτικές μεθόδους αποκατάστασης
- Εκτύπωση φυλλαδίων και βιβλίων με θέμα το περιβαλλοντικό πρόβλημα και τους τρόπους μείωσης του κόστους εναλλακτικών μεθόδων αποκατάστασης
- Παροχή τεχνικής υποστήριξης για την υλοποίηση χαμηλού κόστους εναλλακτικών μεθόδων αποκατάστασης

Σε αυτή τη μελέτη αποδείχτηκε ότι η διαμονή σε περιοχές με μεταλλουργικά απορρίμματα εκθέτει την υγεία του πληθυσμού σε μεγάλο κίνδυνο. Προηγούμενες ενέργειες του Δήμου Λαυρεωτικής για παροχή κινήτρων μετεγκατάστασης των κατοίκων (από την περιοχή που καλύπτεται από τη «σαβούρα» σε λιγότερο ρυπασμένες περιοχές) αποδείχτηκαν ανεπιτυχείς. Από την άλλη πλευρά, εθελοντικές μετεγκαταστάσεις ήταν επίσης ανεπιτυχείς. Ένας συνδυασμός της ενημέρωσης και της αντίστοιχης νομοθεσίας σε θέματα αλλαγών χρήσεων γης θα μπορούσε να παρέχει

καλύτερα μακροπρόθεσμα αποτελέσματα. Προτείνεται ότι, η νομοθεσία σχετικά με τις χρήσεις γης, θα πρέπει να εστιάζει στην ελαχιστοποίηση της έκθεσης του ανθρώπου και στη διευκόλυνση της αποκατάστασης των εδαφών.

Για τη διασφάλιση της διάρκειας των προγραμμάτων επιμόρφωσης που απευθύνονται στους εκτιθέμενους εργαζόμενους, προτείνεται η θέσπιση κανονισμών υγιεινής και ασφάλειας. Η υλοποίηση των κανονισμών πρέπει να διασφαλίζει τη συμμετοχή της τοπικής βιομηχανίας, να διαμορφώνει διάφορα κίνητρα και να παρέχει την επίσημη οδό για τη θεσμοθέτηση οδηγιών υγιεινής και ασφάλειας.

Τέλος, θα πρέπει να θεσπιστεί νομοθεσία, η οποία να καθορίζει τη χρησιμοποίηση των υπογείων υδάτων και την κατανάλωση των τοπικών προϊόντων. Αυτή η μελέτη έδειξε ότι, οι υπόγειοι υδάτινοι πόροι της περιοχής βρίσκονται κάτω από την απειλή επικείμενης ρύπανσης (βλ. Κεφάλαιο 10 στους Τόμους 1 & 2 αυτής της μελέτης και Τόμο 1B). Ομοίως, περιορισμένη δειγματοληψία των τοπικών προϊόντων έδειξε ότι υπάρχει μεγάλη συγκέντρωση μολύβδου και αρσενικού. Τόσο τα υπόγεια ύδατα όσο και τα προϊόντα της τοπικής παραγωγής μπορούν να είναι δίοδοι έκθεσης του τοπικού πληθυσμού. Για την ελαχιστοποίηση αυτού του κινδύνου θα πρέπει να τεθούν περιορισμοί τόσο στη διαχείριση των υπόγειων υδάτων, όσο και στην τοπική παραγωγή εδώδιμων προϊόντων. Αυτοί οι περιορισμοί θα πρέπει να διασφαλίζουν ότι δεν θα γίνεται κατανάλωση επικίνδυνων υπογείων υδάτων και ακατάλληλων εδώδιμων τοπικών προϊόντων.

5.0. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αυτή η μελέτη παρουσιάζει την ανάπτυξη ενός **Ολοκληρωμένου Περιβαλλοντικού Σχεδίου Διαχείρισης για την αστική περιοχή του Λαυρίου**. Διενεργήθηκε μία ολοκληρωμένη εκτίμηση των γεωχημικών και ιατρικών δεδομένων που είναι διαθέσιμα για την περιοχή, ενώ επίσης έγινε και μία αποτίμηση της υπάρχουσας κατάστασης του περιβάλλοντος. Ακόμη, έγινε ανάλυση κόστους/οφέλους με στόχο να τεθούν οι προτεραιότητες των επεμβάσεων αποκατάστασης. Η ανάλυση αυτή έλαβε υπ' όψη τις διάφορες πρωτογενείς και δευτερογενείς πηγές ρύπανσης (δηλ. τα μεταλλουργικά απορρίμματα και το ρυπασμένο έδαφος), τις χρήσεις γης, και τις κατάλληλες τεχνικές για την αποκατάσταση του ρυπασμένου εδάφους, των πυριτούχων απορριμμάτων και των υπολειμμάτων της επίπλευσης/εμπλουτισμού, καθώς και το κόστος τους, κατά προσέγγιση. Επιπλέον, ελήφθησαν υπ' όψη προστατευτικά μέτρα για την εξάλειψη της περαιτέρω ρύπανσης των εδαφών στην περιοχή μελέτης. Τα συμπεράσματα αυτής της μελέτης είναι τα ακόλουθα:

5.1. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΥΠΑΡΧΟΥΣΑΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Για την εκτίμηση των επιπτώσεων από την άμεση έκθεση του πληθυσμού ελήφθησαν υπ' όψη:

- η άμεση κατάποση χώματος,
- τα υπόγεια ύδατα
- η τοπική γεωργική παραγωγή,
- η εισπνοή αιωρούμενων σωματιδίων, και
- η δερματική απορρόφηση.

- 1. Έδαφος:** Για να εκτιμηθεί η άμεση έκθεση του πληθυσμού στο ρυπασμένο έδαφος, εκπονήθηκε λεπτομερής γεωχημική έρευνα ως τμήμα αυτού του έργου, προκειμένου να καθορισθεί η έκταση και ο βαθμός ρύπανσης των επιφανειακών εδαφών της πόλης του Λαυρίου. Για το σκοπό αυτό συλλέχθηκαν 224 δείγματα επιφανειακού εδάφους, τα οποία υποβλήθηκαν σε χημική ανάλυση για τον προσδιορισμό των ολικών συγκεντρώσεων των στοιχείων, καθώς και σε ανάλυση με την εφαρμογή της μεθόδου των διαδοχικών εκχυλίσεων (βλ. Τόμους 1 & 2 αυτής της μελέτης). Η ολική συγκέντρωση του μολύβδου στα επιφανειακά εδάφη κυμαίνεται από 810 έως 151.579 mg/kg με μέση τιμή 11.578 mg/kg και διάμεσο 7.305 mg/kg (Χάρτης 3.4 στον Τόμο 2 αυτής της μελέτης). Τα αποτελέσματα έδειξαν έντονη ρύπανση του εδάφους και ως εκ τούτου δεν ήταν δυνατόν να καθορισθεί το γεωχημικό υπόβαθρο (background) της περιοχής. Γι' αυτό το λόγο, συλλέχθηκαν 140 δείγματα πετρώματος, αναλύθηκαν για τα ίδια στοιχεία όπως τα δείγματα εδάφους και καθορίστηκε το γεωχημικό υπόβαθρο της περιοχής, π.χ., οι συγκεντρώσεις του μολύβδου στα δείγματα πετρώματος κυμαίνονται από 1 έως 1.850 mg/kg, με μέση τιμή 76,9 mg/kg και διάμεση τιμή 22 mg/kg (Χάρτης 3.1 στον Τόμο 2 αυτής της μελέτης). Η σύγκριση των αποτελεσμάτων εδάφους-πετρώματος δείχνουν την έντονη ρύπανση του επιφανειακού περιβάλλοντος του Λαυρίου.

Ακολουθήθηκε η μεθοδολογία ανάλυσης επικινδυνότητας της Υπηρεσίας Περιβαλλοντικής Προστασίας των ΗΠΑ (US EPA) για τον καθορισμό των «Ορίων Λήψης Μέτρων» ειδικά για την αστική περιοχή του Λαυρίου. Επί πλέον, χρησιμοποιήθηκαν οι εξισώσεις εκτίμησης κινδύνου της Πολιτείας του Κοννέκτικατ των ΗΠΑ για την ανάπτυξη των Εμπορικών/Βιομηχανικών Ορίων Λήψης Μέτρων. Σε περίπτωση που οι συγκεντρώσεις των χημικών στοιχείων του γεωχημικού υποβάθρου (background) ήσαν υψηλότερες από τα υπολογισθέντα επίπεδα, τότε χρησιμοποιήθηκε η τιμή του υποβάθρου (background). Αυτή η διαδικασία καθορίζει το ανώτατο αποδεκτό όριο, πέραν του οποίου απαιτείται η λήψη μέτρων για την εξυγίανση του εδάφους, ώστε το έδαφος να αποκτήσει τα κανονικά επίπεδα συγκέντρωσης για κάθε στοιχείο. Τούτο σημαίνει, ότι το εξυγιασμένο έδαφος θα έχει την ίδια περίπου συγκέντρωση με αυτή του γεωχημικού υποβάθρου.

Γενικά, υπάρχουν τέσσερα στοιχεία (αντιμόνιο, αρσενικό, μόλυβδος και υδράργυρος), τα οποία παρουσιάζουν για τα αστικά εδάφη μέσο δείκτη επικινδυνότητας μεγαλύτερο από 1. Τα στοιχεία που υπερβαίνουν τα όρια για τα Βιομηχανικά/Εμπορικά εδάφη είναι το αρσενικό και ο μόλυβδος. Τα αστικά εδάφη έχουν υψηλότερο Δείκτη Πολλαπλών Χημικών Δυνητικών Επιπτώσεων (127) από τα βιομηχανικά (109) και τη σκόνη των σπιτιών (37), δείχνοντας έτσι ότι μεγαλύτερη προτεραιότητα πρέπει να δοθεί στην αποκατάσταση κατ' αρχήν των αστικών περιοχών. *Ο βαθμός της ρύπανσης των εδαφών της αστικής περιοχής του Λαυρίου από τοξικά στοιχεία είναι πολύ υψηλός και δημιουργεί σημαντικούς κινδύνους στην υγεία του τοπικού πληθυσμού.*

- 2. Αέρας:** Υπάρχουν πολύ λίγες μετρήσεις ελέγχου του ατμοσφαιρικού αέρα στο Λαύριο. Τα υπάρχοντα δεδομένα δείχνουν ότι η αέρια ρύπανση στο Λαύριο βρισκόταν σε επικίνδυνα επίπεδα στο τέλος της δεκαετίας του 1980. Προτείνεται να εκπονηθούν νέες μελέτες για να εκτιμηθεί η υπάρχουσα κατάσταση των επιπέδων ρύπανσης του αέρα. Δεδομένου ότι ένα μεγάλο ποσοστό των μεταλλουργικών απορριμμάτων αποτελείται από λεπτόκοκκα σωματίδια, η εισπνοή μπορεί να είναι ένας από τους βασικούς τρόπους πρόσληψης των τοξικών στοιχείων από τους κατοίκους. Συνιστάται η εγκατάσταση σταθμού παρακολούθησης της αέριας

ρύπανσης για τη συλλογή δεδομένων, τα οποία θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της υπάρχουσας κατάστασης της ποιότητας του αέρα.

3. **Υπόγεια ύδατα:** Οι υδάτινοι πόροι της περιοχής αποτελούνται από τα υπόγεια τα ύδατα. Δεν υπάρχουν ποτάμια (εκτός από μερικούς χειμάρρους) ή λίμνες στην περιοχή. Οι επιπτώσεις της ρύπανσης από τοξικά στοιχεία στα υπόγεια ύδατα δεν έχουν εκτιμηθεί πλήρως ακόμη. Υπήρξαν μόνο λίγες μετρήσεις ποιότητας των υπογείων υδάτων. Οι μετρήσεις έδειξαν υψηλές συγκεντρώσεις ανιόντων οφειλόμενες στη διεύθυνση του θαλάσσιου νερού και στη ρύπανση από νιτρικά. Οι μετρήσεις των συγκεντρώσεων των τοξικών στοιχείων ήταν περιορισμένες. Οι λίγες μετρήσεις που έγιναν δείχνουν ότι οι συγκεντρώσεις χαλκού, καδμίου και μολύβδου ενδέχεται να ξεπερνούν τα κριτήρια ποιότητας υδάτων της US EPA. *Χρειάζεται να γίνουν περισσότερες μετρήσεις για την πλήρη εκτίμηση της ποιότητας των υπόγειων υδάτων προκειμένου να δοθούν οι κατάλληλες οδηγίες.* Οι μετρήσεις πρέπει να συμπεριλαμβάνουν και το αρσενικό, το βηρύλλιο και το αντιμόνιο, αφ' ενός διότι υπάρχει η πιθανότητα να κατεισδύουν από το ρυπασμένο έδαφος και τα άλλα υλικά του εδαφικού καλύμματος, και αφ' ετέρου λόγω της γνωστής καρκινογόνου φύσης τους. Υπάρχει πιθανότητα η ποιότητα των τοπικών υπόγειων υδάτων να χειροτερεύει σταδιακά εξ' αιτίας της συνεχούς κατείσδυσης των ρυπαντών από τα ακόρεστα διαπερατά υλικά. Η μικρή συχνότητα βροχοπτώσεων και η χαμηλή διαπερατότητα των υλικών, σε συνδυασμό με την υψηλή ικανότητά τους να παρακρατούν τα τοξικά στοιχεία (εξ' αιτίας της υψηλής περιεκτικότητας σε ανθρακικά), προστάτευσαν την εκτεταμένη ρύπανση των υπόγειων υδάτων. Εντούτοις, υπάρχουν ενδείξεις ότι η ρύπανση μεταφέρεται προς τα κάτω και μπορεί πιθανότατα να διαπεράσει την ακόρεστη ζώνη (βλ. Κεφάλαιο 10 στους Τόμους 1 & 2 αυτής της μελέτης, & Τόμο 1B).
4. **Τοπική παραγωγή:** Οι γεωργικές δραστηριότητες στο Δήμο Λαυρίου αποτελούνται από ιδιωτικούς κήπους με λαχανικά, μικρές εκτάσεις με ελαιόδενδρα και αμπέλια. Δυστυχώς, οι περισσότερες από αυτές τις γεωργικές δραστηριότητες βρίσκονται σε περιοχές με μεταλλουργικά απορρίμματα. Οι μελέτες που έγιναν για την πρόσληψη τοξικών στοιχείων από τα φυτά στην περιοχή του Λαυρίου είναι περιορισμένες και απλώς ενδεικτικές. Τα δεδομένα αυτά έδειξαν υψηλή συγκέντρωση τοξικών στοιχείων. Δεδομένου ότι η παραγωγή αυτή το πιθανότερο είναι να καταναλωθεί από τους ίδιους του παραγωγούς και τις οικογένειές τους, συνιστάται αυτοί να ενημερωθούν για τους κινδύνους της υψηλής συγκέντρωσης μολύβδου και να προταθεί να σταματήσουν άμεσα οι καλλιέργειες των εδώδιμων προϊόντων.
5. **Επιπτώσεις στην υγεία:** Τα αποτελέσματα της εντατικής μεταλλουργικής δραστηριότητας και η επακόλουθη φυσική και ανθρωπογενής διασπορά των απορριμμάτων, μελετήθηκαν εκτενώς στην αστική περιοχή του Λαυρίου τα τελευταία 20 χρόνια. Επανεξέταση των επιδημιολογικών αποτελεσμάτων, έδειξε ότι υπάρχει στενή γεωγραφική συσχέτιση μεταξύ του βαθμού ρύπανσης των επιφανειακών εδαφών και των παρατηρουμένων ασθενειών, δηλ. μείωση των νοσητικών λειτουργιών και χαμηλοί χρόνοι ανταπόκρισης των παιδιών, καθώς και της αύξησης των ασθενειών και της θνησιμότητας στους ενήλικες που εργάζονται στο εργοστάσιο μεταλλουργίας μολύβδου. Οι συγκεντρώσεις στο αίμα, στα ούρα και στα νεογλά δόντια των παιδιών θεωρήθηκαν τοξικές.

Οι επιδημιολογικές μελέτες έχουν βρει σημαντικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία όπως ότι:

- «υπάρχει αρνητική σχέση μεταξύ των συγκεντρώσεων μολύβδου (Pb) στο αίμα και των σύνθετων νοητικών λειτουργιών και της ικανότητας συγκέντρωσης» στα παιδιά του Λαυρίου, και
- «τα παιδιά που είχαν ζήσει όλη τη ζωή τους κοντά στην καμινάδα παρουσίαζαν σημαντική επιβάρυνση παθολογικών χαρακτηριστικών και έντονες ενδείξεις οργανικής εγκεφαλικής βλάβης, συνδεδεμένες με επιπτώσεις στη συμπεριφορά τους».

Αυτά τα συμπεράσματα δείχνουν ότι «επείγει να γίνουν οι απαραίτητες ενέργειες για τη μείωση του βαθμού έκθεσης στον μόλυβδο των παιδιών του Λαυρίου».

Τα επίπεδα αρσενικού είναι επίσης υψηλά και οι άνθρωποι βρίσκονται σε υψηλό κίνδυνο επιβάρυνσης από αρσενικό. Αν και το αρσενικό στα εδάφη του Λαυρίου δεν είναι τόσο βιοδιαθέσιμο, όσο σε άλλες περιοχές στον κόσμο, όπως στην περίπτωση του Μπανγκλαντές και της Ινδίας (όπου το αρσενικό βρέθηκε στο νερό) και επιπλέον καμμία σύγκριση δοσολογιών δεν έγινε, ο υψηλός ρυθμός απέκκρισης αρσενικού που εμφανίστηκε στα δείγματα ούρων των ενηλίκων και των παιδιών επιβάλλουν οι υπηρεσίες παροχής υγείας της περιοχής να είναι ενήμερες για τα συμπτώματα της επιβάρυνσης από αρσενικό και να είναι ικανές να προβούν σε άμεση διάγνωση.

Γενικά, επιβεβαιώνεται ως συμπέρασμα ότι υπάρχουν επαρκείς αποδείξεις, οι οποίες δείχνουν τη σύνδεση μεταξύ των αρνητικών επιπτώσεων στην υγεία των ανθρώπων και της επιφανειακής ρύπανσης των εδαφών (υλικά του εδαφικού καλύμματος) στην πόλη του Λαυρίου.

5.2. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Το περιβαλλοντικό σχέδιο διαχείρισης για την πόλη του Λαυρίου στοχεύει να επιτύχει τη βαθμιαία ελαχιστοποίηση της έκθεσης του ανθρώπου σε τοξικά στοιχεία μέσω:

- επεμβάσεων αποκατάστασης βασισμένων στην ανάλυση κόστους/οφέλους,
- αλλαγών του τρόπου ζωής μέσω της επιμόρφωσης,
- νομοθετικών ρυθμίσεων σε θέματα αλλαγής χρήσεων γης,
- οδηγιών υγιεινής και ασφάλειας, και
- εξάλειψης της κατανάλωσης μολυσμένων καρπών και υπόγειου νερού.

Αναπτύχθηκε μεθοδολογία η οποία θέτει προτεραιότητες στις περιοχές αποκατάστασης με βάση μία ανάλυση κόστους/οφέλους. Η μεθοδολογία αυτή ενσωματώνει τους *Δείκτες Κοινωνικού Κόστους και Οφέλους* και μπορεί να χρησιμοποιηθεί με τρόπο που να συμπεριλαμβάνει τη συμμετοχή του κοινού στη διαδικασία της αποκατάστασης. Είναι πάρα πολύ σημαντικό το κοινό να εμπλακεί στη διαδικασία λήψης αποφάσεων και να επιτευχθεί η δημόσια αποδοχή πριν οριστικοποιηθεί ένα ολοκληρωμένο σχέδιο αποκατάστασης. Πράγματι αυτό είναι πολύ σημαντικό και εγγυάται την επιτυχία του προγράμματος. Η Δημοτική Αρχή της πόλης του Λαυρίου θα πρέπει να αναγνωρίσει από την αρχή της πορείας, ότι είναι απαραίτητη η ενεργός συμμετοχή του κοινού και όλων των σχετικών «εμπλεκόμενων». Ο όρος «εμπλεκόμενοι» αναφέρεται σε όλα τα ενδιαφερόμενα μέρη, π.χ. κοινό, βιομηχανικοί και μη κερδοσκοπικοί οργανισμοί και γενικότερα σε οποιονδήποτε ενδιαφέρεται για τη λύση του προβλήματος. Τέτοια συμμετοχή ενδυναμώνει τη διαδικασία λήψης αποφάσεων, είναι δίκαιη και διαφανής και καταλήγει σε λύσεις αποδεκτές από την πλειοψηφία. Η ενεργός συμμετοχή των ενδιαφερομένων πρέπει να καθοδηγείται από επαγγελματίες επιστήμονες, οι οποίοι θα εξηγήσουν στους συμμετέχοντες τις τεχνικές πλευρές της διαδικασίας λήψης απόφασης, καθώς και από άλλους επαγγελματίες εξειδικευμένους

στην επίλυση των διαφωνιών. Αυτό θα βοηθήσει στην καθιέρωση αποδεκτών κανόνων συμπεριφοράς και ως εκ τούτου θα διευκολυνθεί η όλη διαδικασία λήψης απόφασης. Η Δημοτική Αρχή της πόλης του Λαυρίου θα αυξήσει την αξιοπιστία της στην κοινή γνώμη, εάν ακολουθηθεί μια τέτοια πορεία.

5.2.1. Ανάλυση Κόστους/Οφέλους για επεμβάσεις αποκατάστασης

Η μεθοδολογία της ανάλυσης κόστους/οφέλους βασίζεται στις διαθέσιμες μέχρι σήμερα πληροφορίες. Το προτεινόμενο σχέδιο επεμβάσεων αποκατάστασης θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως ένα δυναμικό εργαλείο ανάλυσης και όχι ως στατικό. Κάθε νέα διαθέσιμη πληροφορία για τεχνολογίες αποκατάστασης, πρέπει να ενσωματώνεται στο σχέδιο και αυτό να αναθεωρείται.

Ένα παράδειγμα, που δείχνει πώς μπορεί η ανάλυση κόστους/οφέλους να χρησιμοποιηθεί για τον καθορισμό της Καλύτερης Διαθέσιμης Τεχνολογίας για την αποκατάσταση της αστικής περιοχής του Λαυρίου, παρουσιάζεται σε αυτή την έκθεση. Το συνολικό κόστος αποκατάστασης με τις χαμηλότερου κόστους τεχνολογίες είναι 12,5 δισ. δραχμές (37 εκατομμύρια Ευρώ - με σημερινή τιμή αντιστοιχίας). Η πιο ακριβή περιοχή για αποκατάσταση είναι αυτή που καλύπτεται με το ρυπασμένο έδαφος, διότι έχει τη μεγαλύτερη έκταση. Η λιγότερο ακριβή περιοχή είναι αυτή που καλύπτεται από τα υπολείμματα εμπλουτισμού/επίπλευσης με διάσπαρτες σκουριές, διότι έχει τη μικρότερη έκταση. Αυτό αντιστοιχεί σε 73.000 Ευρώ/εκτάριο (δεν συμπεριλαμβάνεται ΦΠΑ). Προτείνεται ότι, ο καλύτερος τρόπος επίλυσης του προβλήματος είναι ο σχεδιασμός ενός 11-χρονου οικονομικού προγράμματος, το οποίο συμπεριλαμβάνει μία αρχική επένδυση 2-3 δισεκατομμύρια δραχμές για την ελαχιστοποίηση της σκόνης και την αντιμετώπιση των θεμάτων υψηλής προτεραιότητας, καθώς και μία ετήσια επένδυση της τάξης του 1 δισεκατομμυρίου δραχμές για τα υπόλοιπα 10 χρόνια. Η αρχική ετήσια επένδυση θα μπορούσε να αποκαταστήσει

- ένα τμήμα του ρυπασμένου εδάφους της αστικής περιοχής,
- την περιοχή που καλύπτεται από τους εκτεταμένους σωρούς απορριμμάτων εμπλουτισμού («σαβούρα»), και
- τα πυριτούχα απορρίμματα στην περιοχή του Καβοδόκανου.

Οι υπόλοιπες ετήσιες επενδύσεις μπορούν να ακολουθήσουν τις προτεραιότητες της ανάλυσης κόστους/οφέλους. Δίνεται έμφαση στο ότι πρέπει συνεχώς να διερευνώνται και άλλες τεχνικές αποκατάστασης για την εφαρμογή εναλλακτικών λύσεων με χαμηλότερο κόστος. Τέτοιες πρακτικές αποκατάστασης μπορούν να συμπεριλάβουν:

- Σκάψιμο και απόθεση των απορριμμάτων στα παλιά εγκαταλελειμένα μεταλλεία ή σε χωματερές ειδικές για τη διάθεση επικίνδυνων τοξικών απορριμμάτων,
- Εκπόνηση μελέτης για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της διάθεσης των μεταλλουργικών απορριμμάτων σε παλιά μεταλλεία ή σε χωματερές ειδικές για τη διάθεση επικίνδυνων τοξικών απορριμμάτων,
- Εξέταση τρόπων εναλλακτικής χρησιμοποίησης των απορριμμάτων επίπλευσης χωρίς να δημιουργούν απειλή για το περιβάλλον,
- Τα επικίνδυνα μεταλλουργικά απορρίμματα έχουν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν στην κατασκευαστική βιομηχανία. Τα συγκεκριμένα υλικά επίπλευσης, ωστόσο, εκτός από τις υψηλές συγκεντρώσεις τοξικών στοιχείων, περιέχουν και υψηλές συγκεντρώσεις θείου, κάνοντας ακατάλληλη τη χρήση τους στην κατασκευή μπετόν. Υπάρχει όμως πιθανότητα τα υλικά αυτά, αν αναμιχθούν με τα κατάλληλα πρόσθετα,

να ικανοποιούν τις προδιαγραφές ποιότητας, όσον αφορά τις μηχανικές ιδιότητες και τα **περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά** των τελικών προϊόντων.

- Άλλες μεθόδους για τη μείωση της άμεσης έκθεσης του πληθυσμού στους επιφανειακούς ρυπαντές.
- Μεθόδους που συνδυάζουν δράσεις αποκατάστασης και θεσμικού τύπου. Ένα παράδειγμα μπορεί να είναι η μερική αποκατάσταση μίας περιοχής, με κύριο στόχο την καταστολή της αέριας μεταφοράς ρυπασμένων σωματιδίων, σε συνδυασμό με θεσμικού τύπου μέτρα, που να περιορίζουν την πρόσβαση και να απομονώσουν την περιοχή από το κοινό, π.χ., περίφραξη, απαγόρευση σε κάθε χρήση γης κ.λπ.

5.2.2. Επιμόρφωση-Τρόπος Ζωής

Στο Λαύριο τα προβλήματα της περιβαλλοντικής ρύπανσης και των αρνητικών επιπτώσεών τους στην υγεία του πληθυσμού είναι τεράστια. Δεν είναι ρεαλιστικό να πιστέψουμε ότι θα επιτευχθεί μία ολοκληρωμένη λύση σε μικρό χρονικό διάστημα. Η επίλυση του προβλήματος απαιτεί, εκτός από τις επεμβάσεις αποκατάστασης και άλλες προσεγγίσεις, όπως αλλαγή του τρόπου ζωής μέσω της επιμόρφωσης. Η επιμόρφωση είναι άκρως απαραίτητη, διότι μπορεί να ελαχιστοποιήσει αποτελεσματικά την άμεση έκθεση του πληθυσμού. Η επιμόρφωση πρέπει να απευθύνεται σε συγκεκριμένο κοινό, όπως παιδιά, «εκτιθέμενοι» εργάτες, πληθυσμός που ζει σε «υψηλού κινδύνου» περιοχές και γενικός πληθυσμός.

5.2.3. Νομοθετικές Δράσεις

Οι νομοθετικές δράσεις αποτελούν στοιχείο άμεσης προτεραιότητας σε όλη τη διαδικασία για μακροπρόθεσμη βιώσιμη λύση αποκατάστασης του εδάφους στο Λαύριο. Άμεσα θέματα νομοθεσίας πρέπει να συμπεριλαμβάνουν:

- Αλλαγή στις χρήσεις γης που θα ελαχιστοποιούν την έκθεση του ανθρώπου και θα διευκολύνουν την αποκατάσταση εδάφους,
- Κανονισμούς για θέματα υγείας και ασφάλειας των εργαζομένων σε περιοχές «υψηλού κινδύνου», και
- Νομοθεσία που θα θέτει υπό έλεγχο το ενδεχόμενο χρήσης των υπογείων υδάτων προς πόση και της κατανάλωσης προϊόντων από τις τοπικές καλλιέργειες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Η βιβλιογραφία βρίσκεται στο τέλος του Αγγλικού κειμένου της έκθεσης (σελ. 113-115).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΓΙΑ ΟΡΙΑ ΛΗΨΗΣ ΜΕΤΡΩΝ**Α. ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΓΙΑ ΑΣΤΙΚΑ ΕΔΑΦΗ – ΚΑΤΑΠΟΣΗ****1. Εξίσωση Ορίων Λήψης Μέτρων για Κατάποση μη Καρκινογόνων Ρύπων στα Αστικά Εδάφη** (Πηγή: U.S. EPA, 1996)

$$\text{ScreeningLevel}(\text{mg} / \text{kg}) = \frac{\text{THQ} * \text{BW} * \text{AT} * 365\text{d} / \text{yr}}{1 / \text{RfD}_o * 10^{-6} \text{kg} / \text{mg} * \text{EF} * \text{ED} * \text{IR}}$$

Όπου:

Screening Level (mg/kg) = Όριο Λήψης Μέτρων (mg/kg)	-
THQ = λόγος ορίου επικινδυνότητας (χωρίς μονάδες)	= 1
BW = βάρος σώματος (kg)	= 15
AT = μέση χρονική διάρκεια σε έτη (yr)	= 6
RfD _o = ημερήσια δόση αναφοράς διά της τροφής (mg/kg-ανά ημέρα)	= ανάλογα με το κάθε χημικό στοιχείο (βλέπε Παράρτημα Β)
EF = συχνότητα έκθεσης [ημέρες/έτος (d/yr)]	= 350
ED = διάρκεια έκθεσης σε έτη (yr)	= 6
IR = αναλογία κατάποσης εδάφους [mg/ημέρα (mg/d)]	= 200

2. Εξίσωση Ορίων Λήψης Μέτρων για Κατάποση Καρκινογόνων Ρύπων στα Αστικά Εδάφη (Πηγή: U.S. EPA, 1996)

$$\text{ScreeningLevel}(\text{mg} / \text{kg}) = \frac{\text{TR} * \text{AT} * 365\text{d} / \text{yr}}{\text{SF}_o * 10^{-6} \text{kg} / \text{mg} * \text{EF} * \text{IR}_{\text{soil/adj}}}$$

Όπου:

Screening level (mg/kg) = Όριο Λήψης Μέτρων (mg/kg)	= 10 ⁻⁶
TR = όριο επικινδυνότητας για καρκίνο (χωρίς μονάδες)	= 70
AT = μέση χρονική διάρκεια σε έτη (yr)	= 70
Sf _o = παράγοντας κλίσης ημερήσιας δόσης διά της τροφής (mg/kg-ανά ημέρα) ⁻¹	= ανάλογα με το κάθε χημικό στοιχείο (βλέπε Παράρτημα Β)
EF = συχνότητα έκθεσης [ημέρες/έτος (d/yr)]	= 350
IF _{soil/adj} = παράγοντας κατάποσης εδάφους προσαρμοσμένος ανάλογα με την ηλικία (mg-yr/kg-d)	= 114

Εξίσωση για τον υπολογισμό του Παράγοντα Κατάποσης Εδάφους προσαρμοσμένου ανάλογα με την ηλικία, $IF_{soil/adj}$

$$IF_{soil/adj} (mg - yr / kg - d) = \frac{IR_{soil/age1-6} * ED_{age1-6}}{BW_{age1-6}} + \frac{IR_{soil/age7-31} * ED_{age7-31}}{BW_{age7-31}}$$

Όπου:

$IR_{soil/age1-6}$	= αναλογία κατάποσης εδάφους παιδιών ηλικίας 1-6 ετών [mg/ημέρα (mg/d)]	= 200
ED_{age1-6}	= χρονική διάρκεια έκθεσης ηλικιών 1-6 ετών (yr)	= 6
BW_{age1-6}	= μέσο βάρος σώματος των ηλικιών 1-6 ετών (kg)	= 15
$IR_{soil/age7-31}$	= αναλογία κατάποσης εδάφους παιδιών και ενηλίκων ηλικίας 7-31 ετών [mg/ημέρα (mg/d)]	= 100
$ED_{age7-31}$	= χρονική διάρκεια έκθεσης ηλικιών 7-31 ετών (yr)	= 24
$BW_{age7-31}$	= μέσο βάρος σώματος των ηλικιών 7-31 ετών (kg)	= 70

B. ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΓΙΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ/ΕΜΠΟΡΙΚΑ ΕΔΑΦΗ – ΚΑΤΑΠΟΣΗ**1. Εξίσωση Ορίων Λήψης Μέτρων για Κατάποση μη Καρκινογόνων Ρύπων στα Βιομηχανικά/Εμπορικά Εδάφη** (Πηγή: State of Connecticut, Remediation Standards Regulations, Section 22a-133k-1, January 1997; US Connecticut, 1997):

$$\text{ScreeningLevel}(mg/kg) = \frac{THQ * BW * AT * 365d / yr}{1 / RfD_o * 10^{-6} kg / mg * EF * ED * IR}$$

Όπου:

Screening Level (mg/kg)	= Όριο Λήψης Μέτρων (mg/kg)	-
THQ	= λόγος ορίου επικινδυνότητας (χωρίς μονάδες)	= 1
BW	= βάρος σώματος (kg)	= 70
AT	= μέση χρονική διάρκεια σε έτη (yr)	= 25
RfD _o	= ημερήσια δόση αναφοράς διά της τροφής (mg/kg-ανά ημέρα)	= ανάλογα με το κάθε χημικό στοιχείο (βλέπε Παράρτημα Β)
EF	= συχνότητα έκθεσης [ημέρες/έτος (d/yr)]	= 250
ED	= διάρκεια έκθεσης σε έτη (yr)	= 25
IR	= αναλογία κατάποσης εδάφους [mg/ημέρα (mg/d)]	= 50

2. Εξίσωση Ορίων Λήψης Μέτρων για Κατάποση Καρκινογόνων Ρύπων στα Βιομηχανικά/Εμπορικά εδάφη (Source: State of Connecticut, Remediation Standards Regulations, Section 22a-133k-1, January 1997; US Connecticut, 1997):

$$\text{ScreeningLevel}(mg/kg) = \frac{TR * AT * BW * 365d / yr}{SF_o * 10^{-6} kg / mg * IR * ED * EF}$$

Όπου:

Screening level (mg/kg)	= Όριο Λήψης Μέτρων (mg/kg)	-
TR	= όριο επικινδυνότητας για καρκίνο (χωρίς μονάδες)	= 10 ⁻⁶
AT	= μέση χρονική διάρκεια σε έτη (yr)	= 70
Sf _o	= παράγοντας κλίσης ημερήσιας δόσης διά της τροφής (mg/kg-ανά ημέρα) ⁻¹	= ανάλογα με το κάθε χημικό στοιχείο (βλέπε Παράρτημα Β)
EF	= συχνότητα έκθεσης [ημέρες/έτος (d/yr)]	= 250
IR	= αναλογία κατάποσης εδάφους [mg/ημέρα (mg/d)]	= 50
ED	= διάρκεια έκθεσης σε έτη (yr)	= 25
BW	= μέσο βάρος σώματος (kg)	= 70

Γ. ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΓΙΑ ΑΣΤΙΚΑ ΕΔΑΦΗ – ΕΙΣΠΝΟΗ**1. Εξίσωση Ορίων Λήψης Μέτρων για Εισπνοή μη Καρκινογόνων Ρύπων στα Αστικά Εδάφη** (Πηγή: U.S. EPA, 1996)

$$ParticulateScreeningLevel(mg / kg) = \frac{THQ * AT * 365d / yr}{1 / RfC * EF * ED * 1 / PEF}$$

Όπου:

ParticulateScreeningLevel (mg/kg)	= Όριο Λήψης Μέτρων για σωματίδια (mg/kg)	-
THQ	= λόγος ορίου επικινδυνότητας (χωρίς μονάδες)	= 1
AT	= μέση χρονική διάρκεια σε έτη (yr)	= 70
RfC	= ημερήσια δόση αναφοράς διά της εισπνοής (mg/m ³)	= ανάλογα με το κάθε χημικό στοιχείο (βλέπε Παράρτημα Β)
EF	= συχνότητα έκθεσης [ημέρες/έτος (d/yr)]	= 350
ED	= διάρκεια έκθεσης σε έτη (yr)	= 30
PEF	= παράγοντας εκπομπής σωματιδίων (m ³ /kg)	= 0.66*10 ⁹

2. Εξίσωση Ορίων Λήψης Μέτρων για Εισπνοή Καρκινογόνων Ρύπων στα Αστικά Εδάφη (Πηγή: U.S. EPA, 1996)

$$ParticulateScreeningLevel(mg / kg) = \frac{TR * AT * 365d / yr}{URF * 1000 \mu g / mg * (1 / PEF) * ED * EF}$$

Όπου:

ParticulateScreeningLevel (mg/kg)	= Όριο Λήψης Μέτρων για σωματίδια (mg/kg)	-
TR	= όριο επικινδυνότητας για καρκίνο (χωρίς μονάδες)	= 10 ⁻⁶
AT	= μέση χρονική διάρκεια σε έτη (yr)	= 70
URF	= μοναδιαίος παράγοντας επικινδυνότητας για την εισπνοή (μg/m ³) ⁻¹	= ανάλογα με το κάθε χημικό στοιχείο (βλέπε Παράρτημα Β)
EF	= συχνότητα έκθεσης [ημέρες/έτος (d/yr)]	= 350
ED	= διάρκεια έκθεσης σε έτη (yr)	= 30

Και

$$PEF(m^3/kg) = \frac{Q/C * 3600s/hr}{0.036 * (1-V) * (U_m/U_t)^3 * F(x)}$$

Όπου:

PEF = παράγοντας εκπομπής σωματιδίων (m ³ /kg)	-
Q/C = το αντίστροφο της συγκέντρωσης στο κέντρο της τετράγωνης πηγής (g/m ² -s per kg/m ³)	= 90,8
V = το ποσοστό φυτοκάλυψης	= 0
U _m = μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου	= 4,69
U _t = ισοδύναμη τιμή κατωφλίου της ταχύτητας του ανέμου στα 7m (m/s)	= 11,32
F(x) = συνάρτηση εξαρτώμενη από το λόγο U _m /U _t προερχόμενο από την εργασία των Cawherd et al. (1985) (χωρίς μονάδες)	= 0,194

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΌΡΙΑ ΛΗΨΗΣ ΜΕΤΡΩΝ ΑΠ' ΕΥΘΕΙΑΣ ΈΚΘΕΣΗΣ ΤΟΥ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ ΣΤΟ ΛΑΥΡΙΟ

Αντικαθιστώντας τις μεταβλητές στις εξισώσεις Ορίων Λήψης Μέτρων που παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α, προκύπτουν οι αναγόμενες εξισώσεις που φαίνονται στον Πίνακα Β1. Ο Πίνακας Β2 παρουσιάζει τα υπολογισθέντα Όρια Λήψης Μέτρων για το Λαύριο (SALs). Οι διάφορες προσαρμογές που έγιναν στα υπολογισθέντα Όρια Λήψης Μέτρων (SALs) αναφέρονται στο κείμενο.

Πίνακας Β1. Εξισώσεις των Ορίων Λήψης Μέτρων για απ' ευθείας έκθεση του πληθυσμού στο Λαύριο.

Εξίσωση για Αστικά Εδάφη – Κατάποση

Καρκινογόνες ουσίες:	SAL = 0,6404/CSF
Μη καρκινογόνες ουσίες:	SAL = 78500 * RfD

Εξίσωση για Βιομηχανικά/Εμπορικά Εδάφη – Κατάποση

Καρκινογόνες ουσίες:	SAL = 5,723/CSF
Μη καρκινογόνες ουσίες:	SAL = 2,044*10 ⁶ * RfD

Εξίσωση Σωματιδίων – Εισπνοή

Καρκινογόνες ουσίες:	SAL = 1,6/URF
Μη καρκινογόνες ουσίες:	SAL = 6,86*10 ⁸ * Rfc

Πίνακας Β2. Όρια Λήψης Μέτρων (SALs) για το έδαφος στο Λαύριο.

Στοιχείο	Μέγιστα Επίπεδα Ρύπων [MCL] (mg/kg)	Ομάδα	Κλίση του Παράγοντα του Καρκίνου	Μοναδιαίος Παράγοντας Επικινδυνότητας	Δόση Αναφοράς (mg/kg-d)	Συγκέντρωση Αναφοράς (mg/m3)	Κατάποση βασισμένη στην Αστική Επικινδυνότητα Κριτήρια απ' ευθείας Έκθεσης του πληθυσμού [DEC] (mg/kg)		Κατάποση βασισμένη στην Βιομηχανική/Επαγγελματική Επικινδυνότητα Κριτήρια απ' ευθείας Έκθεσης του πληθυσμού [DEC] (mg/kg)		Εισπνοή Σωματιδίων βασισμένη στην Επικινδυνότητα Κριτήρια απ' ευθείας Έκθεσης του πληθυσμού [DEC] (mg/kg)		Στοιχείο	Τιμές του Υποβάθρου (background) στο Λαύριο (mg/kg)
							Καρκινογόνο	Μη-καρκινογόνο	Καρκινογόνο	Μη-καρκινογόνο	Καρκινογόνο	Μη-καρκινογόνο		
Αντιμόνιο	6	-	-	-	4.00E-04	-	31	-	818	-	-	Αντιμόνιο	-	
Αρσενικό	50	A	1.5	4.30E-03	3.00E-04	0,4	-	3,8	-	372	-	Αρσενικό	25	
Βάριο	2000	-	-	-	7.00E-02	5.00E-04	-	-	143080	-	343000	Βάριο	-	
Βηρύλλιο	4	B2	4.3	2.40E-03	5.00E-03	0,1	-	1,3	-	667	-	Βηρύλλιο	2	
Κάδμιο	5	B1	-	1.80E-03	5.00E-04	-	39	-	1022	-	-	Κάδμιο	-	
Χρώμιο, ολικό	100	A	-	1.20E-02	5.00E-03	-	131	-	3407	-	-	Χρώμιο, ολικό	140	
Χρώμιο, τρισθενές	-	-	-	-	1	-	19625	-	511000	-	-	Χρώμιο, τρισθενές	-	
Χρώμιο, εξασθενές	100	A	-	1.20E-02	5.00E-03	-	131	-	3407	-	-	Χρώμιο, εξασθενές	140	
Χαλκός	-	-	-	-	3.00E-02	-	2355	-	61320	-	-	Χαλκός	-	
Μόλυβδος	-	-	-	-	5.00E-02	-	500**	-	1000**	-	-	Μόλυβδος	-	
Υδράργυρος	2	D	-	-	3.00E-04	3.00E-04	-	24	-	613	205800	Υδράργυρος	-	
Νικέλιο	-	A	-	2.40E-04	2.00E-02	-	1570	-	40880	-	-	Νικέλιο	-	
Άργυρος	-	D	-	-	5.00E-03	-	393	-	10220	-	-	Άργυρος	-	
Βανάδιο	-	-	-	-	7.00E-03	-	550	-	14308	-	-	Βανάδιο	-	
Ψευδάργυρος	-	-	-	-	3.00E-01	-	23550	-	613200	-	-	Ψευδάργυρος	-	

Όρια Λήψης Μέτρων για το Λαύριο (mg/kg)			
Στοιχείο	SAL (RES)	SAL (IND)	Σχόλια
	(Αστικά)	(Βιομηχανικά)	
Αντιμόνιο	30	800	
Αρσενικό	25	25	Τιμή υποβάθρου (background)
Βάριο	5500	140000	
Βηρύλλιο	2	2	Τιμή υποβάθρου (background)
Κάδμιο	40	1000	
Χρώμιο, ολικό	140	140	Τιμή υποβάθρου (background)
Χρώμιο, τρισθενές	20000	500000	Παράγοντας Ασφάλειας: 4
Χρώμιο, εξασθενές	140	140	Τιμή υποβάθρου (background)
Χαλκός	2300	60000	
Μόλυβδος	500	1000	Τιμή Πολιτείας Κοντέκτικα (CT DEP)
Υδράργυρος	20	600	
Νικέλιο	1500	40000	
Άργυρος	390	10000	
Βανάδιο	550	14000	
Ψευδάργυρος	20000	610000	

Χρησιμοποιούνται οι τιμές της EPA Χρησιμοποιούνται οι τιμές του CT DEP Χρησιμοποιούνται οι τιμές της EPA

** Χρησιμοποιούνται οι τιμές του CT DEP

ΥΠΟΜΝΗΜΑ:

- MCL = Μέγιστο Επίπεδο Ρύπανσης
- DEC = Κριτήρια απ' Ευθείας Έκθεσης
- Ομάδα A = Καρκινογόνο για τον άνθρωπο
- Ομάδα B = Πιθανό καρκινογόνο για τον άνθρωπο
- Ομάδα B1 = περιορίζεται σε αποδεικτικά στοιχεία από επιδημιολογικές μελέτες
- Ομάδα B2 = "ικανοποιητικά" αποδεικτικά στοιχεία από μελέτες σε ζώα και "μη ικανοποιητικά" μέχρι "ανύπαρκτα" αποδεικτικά στοιχεία από επιδημιολογικές μελέτες
- Ομάδα D = δεν θεωρείται ως καρκινογόνο

EPA = Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος των ΗΠΑ
CT DEP = Τμήμα Προστασίας του Περιβάλλοντος της Πολιτείας Κοντέκτικα των ΗΠΑ

Σημ.: οι τιμές του τρισθενούς χρωμίου ήταν το ένα τέταρτο της εκτιμηθείσας επικινδυνότητας λόγω της αβεβαιότητας στην εκτίμηση των λόγων Cr(III)/Cr(VI) στα εδάφη.
Σημ.: η US EPA προτείνει την τροποποίηση των τιμών του εξασθενούς χρωμίου με ένα παράγοντα 3 για να ληφθεί υπ' όψη η αναμενόμενη μεταβλητότητα μεταξύ των ανθρώπων και των ειδών, που αναφέρεται στην μελέτη των Zhang και Li (1987).

ENVIRONMENTAL MANAGEMENT PLAN FOR THE REHABILITATION OF SOIL IN THE LAVRION URBAN AREA

Nikolaos Nikolaidis,

School of Engineering, Department of Civil & Environmental Engineering, University of Connecticut, 261 Glenbrook Road, U-37, Storrs, Connecticut 06269-2037, U.S.A.

Alecos Demetriades, Katerina Vergou-Vichou and Evripides Vassiliades

Institute of Geology and Mineral Exploration, 70 Messoghion Street, Athens Gr-115 27, Greece

Nimphodora Papassiopi and Panayiotis Theodoratos

Laboratory of Metallurgy, Department of Mining and Metallurgical Engineering, National Technical University of Athens, Zografou Campus, Gr-157 80 Athens, Greece

Nikos Varelidis and Alexandra Zamani

PRISMA, Centre for Development Studies, 17 Empedocleous Street, Gr-116 35 Athens, Greece

1.0. INTRODUCTION AND PROJECT BACKGROUND

The town of Lavrion is located about 55-km southeast of Athens (Fig. 1 & Map 1.1, Volume 2). Mining and metallurgical activities in the Lavreotiki peninsula, which is the lower portion of Attiki peninsula that ends at the temple of Poseidon at Cape Sounion, started about 3500 B.C (Conophagos, 1980; Manthos, 1990). The area has hundreds of mining sites (Fig. 2) from where the Athenians, and most of the ancient civilisations in the Mediterranean area obtained their silver, lead and copper. The Lavrion mines played a decisive role in the rise of the Athenian State in the 6th and 5th centuries BC. The first coin, the Athenian Owl, was minted out of silver (97.8%) obtained from these mines. The Golden Age of Athens largely depended on the Lavreotiki silver. After the 5th century BC, the mining activity declined gradually, and ceased completely in the Hellenistic period. It started again in 1864, when the Italian, J. Serpieri, became interested in the exploitation of the mines. Mining and metallurgical activities passed through different phases until 1977, when all mining ceased. However, smelting continued until 1989 with mainly imported ore.

Exploitation of the mineral deposits of the area has affected significantly the natural balance of the local ecosystem. Mining and metallurgical wastes left by the ancient Greeks, during the exploitation of the richest ore, were the dumps of slag, low-grade ore, litharge and waste rock. These materials were transported, during the past 5,000 years, by fluvial and aeolian processes, and have affected the terrestrial and aquatic ecosystems of the region. As from 1868, the mining and smelting operations created new wastes, while utilising the ancient ones. These new wastes include the metallurgical residues from the processing of antiquarian slag, tailings and low grade ore with respect to Ag, but rich in Zn, Fe and Cu (Fig. 3), and the mining and metallurgical processing of new ore. The metallurgical processing wastes are dispersed haphazardly in many parts of the Lavrion urban area. Houses, schools, parks, playgrounds and roads either are situated on or are very close to these wastes (Figs. 4-5; see also Map 2.3 in Volume 2 of this report).

Cross-sectional epidemiological studies, carried out during the 1980's, showed that the local population, and children especially, have blood-lead (b-Pb) and urine-arsenic (u-As) concentrations above the recommended upper levels of 10 µg b-Pb/100 ml and 20 µg u-As/24 hours (Benetou-Marantidou *et al.*, 1985; Nakos, 1985; Hatzakis *et al.*, 1987; Maravelias *et al.*, 1989; Eikmann *et al.*, 1991; Makropoulos *et al.*, 1991, 1992; Kafourou *et al.*, 1997). Epidemiological studies ascribed the human body burden to smelter emissions, and did not take into account the high concentrations of toxic elements in the fine-grained metallurgical processing residues and contaminated surface soil. In fact, most people in Lavrion believed that their health related problems have ended in 1989 with the closure of the metallurgical complex.

In 1991 deciduous teeth were collected from Lavrion children, between the ages of 6 and 12, to assess lead absorption (Stavrakis *et al.*, 1994; Demetriades *et al.*, 1996). The deciduous teeth lead values of Lavrion children varied from 0.97-153.26 µg/g with a mean of 9.88 µg/g (n=82). The pre-industrial Norwegian deciduous teeth lead concentrations in children of the same age range as Lavrion vary from 0.20-4.37 µg/g with a mean of 0.91 µg/g (Fosse and Wesenberg, 1981). The high lead levels in deciduous teeth of Lavrion children clearly shows that lead was still available for absorption, even after the closure of the metallurgical complex.

During 1990-91, the Institute of Geology and Mineral Exploration (IGME) carried out an urban environmental geochemistry study in Lavrion with the aim to assess the level and extent of surficial contamination. Samples of garden soil, road dust and house dust were collected, and analysed for arsenic (As), cadmium (Cd), mercury (Hg), lead (Pb) and zinc (Zn). The spatial distribution of these elements delineated the most hazardous areas, which are mainly located over the finer grained metallurgical processing residues, and near the smelter, where large amounts of smelter wastes occur (Hatzigeorgiou-Stavrakis and Vergou-Vichou, 1992; Stavrakis *et al.*, 1993; Stavrakis *et al.*, 1994; Demetriades *et al.*, 1996). This study has shown the significant role played by the contaminated soil and finer-grained metallurgical processing residues on the lead and arsenic burdens in young children. These results, together with the biomedical ones, were used in planning the current project.

2.0. PROJECT OBJECTIVES

The ultimate objective of the project is to develop an ***Integrated Environmental Management Scheme*** for the Lavrion urban area, in order to improve the present living conditions. To achieve this objective, the following tasks were performed:

- Evaluation of current status of the greater Lavrion area environment, with an emphasis on soil contamination. Surface and ground water conditions were also taken into account, since the mechanisms involved in the migration of pollutants depends to a great degree on aqueous processes (see Volumes 1, 1A and 2 of this report),
- Identification of the main pollution sources in the area. These are mainly metallurgical processing wastes, including flotation tailings, slag, *etc.*, generated by the past metallurgical activities (see Volumes 1, 1A & 2). Their physical breakdown and chemical

alteration results in the generation of particles that are transported by aeolian and fluvial processes,

- Selection and evaluation of appropriate methods to prevent further contamination of soil by applying preventive measures at the pollution sources (see Volume 3 of this report),
- Selection and evaluation of remedial measures to decontaminate or render harmless the contaminated soil (see Volume 3),
- Field scale demonstration of remedial technologies already researched and developed specifically for the heavily contaminated Lavrion urban area (see Volume 3), and
- Development of an *integrated environmental management scheme* for the greater Lavrion area.

The present report is part of the final project phase (Phase III, Task 5), which is the development of an ***Integrated Environmental Management Scheme for the Lavrion area***. Results obtained during the preceding tasks are utilised for the development of the required scheme. The report discusses:

- the current state of the environment;
- preventive measures to eliminate further soil contamination in the studied areas;
- techniques suitable for rehabilitation of contaminated soil, pyritiferous tailings and beneficiation/flotation residues, and their approximate cost, and
- additional research requirements.

3.0. EVALUATION OF EXISTING CONDITIONS

Assessment of hazardous waste sites (Gilpin, 1995; ICME, 1997; Douben, 1998; Ferguson *et al.*, 1998; Noakes, 1998; Nikolaidis and Lackovic, 1999) involves:

- (a) characterisation and delineation of contamination,
- (b) evaluation of contaminant mobility, and
- (c) evaluation of the impacts of contamination to human health and the environment.

Such information can then be used to perform an initial screening of remedial technologies, selection of the most promising technologies for pilot testing and, finally, selection of the optimal technology or technologies for restoration of the site.

While performing the various steps of site assessment, investigators should keep in mind:

- the various routes of exposure of the population,
- the degree of significance of each exposure route, and
- the impacts on the population.

In general, one should be concerned with issues of contaminant mobility and direct human exposure. In the case of soil contamination, the US Environmental Protection Agency (EPA) considers the top 1.2 m of the soil column for application of direct exposure criteria, and the deeper soil column for contaminant mobility criteria. Similar guidelines have been established by the various States, such as the State of Connecticut, when they established their Remediation Standards Regulations [RSRs Section 22a-133k-1 (US

Connecticut, 1997). To assess the impacts due to direct exposure during a site assessment, one needs to consider direct ingestion of soil, water and local grown produce, inhalation of gaseous and particulate matter, and dermal absorption. Assessment of contaminant mobility involves evaluation of the potential of contamination of ground water and transport and impacts to near-by surface waters.

3.1. OVERBURDEN INCLUDING RESIDUAL SOIL

A detailed overburden/soil geochemical survey was conducted as part of this project to assess the extent and degree of contamination of surficial soil in the town of Lavrion (Demetriades *et al.*, 1996, 1998; see also Volumes 1 & 2 of this report). A total of 224 surface overburden (including residual soil) samples were collected, using the methodologies described in Chapter 2A of Volume 1 of this report. In addition, 127 house dust samples were collected to identify the degree of exposure of the local population (Hatzigeorgiou-Stavrakis and Vergou-Vichou, 1992). The samples underwent chemical analysis for determination of total concentrations for 24 elements and, subsequently analysed for 22 elements by a five-step sequential extraction procedure (refer to Volumes 1 & 2 of this report). Since, the Lavrion surficial environment is seriously contaminated by past and recent mining and metallurgical activities, a realistic, site specific assessment of the degree and extent of contamination, can only be made if Screening Action Levels (SALs) are established specifically for the Lavrion area.

3.1.1. Establishing soil Screening Action Levels for Lavrion

To formulate site-specific Screening Action Levels (SALs) for Lavrion, one needs to take into consideration established risk assessment methodologies and local conditions, such as the geochemical background concentration of elements. Figure 9 presents the extent of lead contamination in the Lavrion urban area. Total lead concentrations in surficial soil range from 810 mg/kg to 151,579 mg/kg (mg/kg), with a mean of 11,578 mg/kg and a median of 7,305 mg/kg. These results suggest extensive soil contamination, and lack of locations to collect background samples. Based on this premise, it was decided to collect samples from the underlying bedrock to establish the local background conditions (refer to Chapter 4 in Volumes 1 and 2 of this report). A total of 140 bedrock samples were collected and analysed for 25 major and trace elements. In addition, the 39 duplicate rock samples were analysed for 44 major and trace elements. A selected portion of these results is presented in Table 1. It is stressed, that the Lavrion area bedrock, because of the different mineralising events is enriched in heavy metals, compared to other areas without mineralisation.

The European Union (Ferguson *et al.*, 1998) and the United States (US EPA, 1996) risk assessment guidelines for establishing site-specific screening action levels were reviewed. The general guidelines are similar in nature, the difference is that US EPA has developed specific equations that can be used in environmental impact assessment. It was decided to follow the US EPA risk assessment methodology for the following reasons:

- (a) it is published,
- (b) it is risk based,

- (c) it is similar to EU's,
- (d) it has accessible data through the US EPA's IRIS web page,
- (e) it is site-specific adaptable, and
- (f) it is continuously updated, as more data become available.

The methodology differentiates between carcinogen and non-carcinogens. In general, arsenic and beryllium are the carcinogenic elements, and the rest of the heavy metals are considered non-carcinogenic. US EPA establishes SALs for carcinogenic elements, allowing a risk of one-in-a-million (10^{-6} , *i.e.*, one additional cancer for every million people) for each element, and a hazard index of one for the non-carcinogenic elements. The equation accounts for ingestion and inhalation of particulates. Dermal absorption was not considered, since very limited data are available. The equations used for the estimation and the actual spreadsheet for the calculation of Lavrion's SALs are in Appendix A of this volume.

Further, the State of Connecticut adaptation of the risk assessment equations to develop the Commercial/Industrial SALs were used. In case the background concentration of an element was significantly higher than the calculated levels, then, the background value was used. This procedure limits the clean-up level of the soil to be the natural background level. The calculated SAL values were rounded. Appendix A contains all the calculations for the derivation of the reference values.

It is important to mention that the calculated values of arsenic, beryllium and hexavalent chromium were lower than the geochemical background for residential calculated SALs and in some cases of the industrial SALs. Consequently, the geochemical background levels for these elements were used as the SALs. In addition, since all three elements are carcinogens, both residential and industrial SALs were set at their background values. The other deviation from the rule was lead for which the values of 500 mg/kg for residential and 1000 mg/kg for industrial SALs were used, based on dietary studies (US EPA, 1996). These values are similar to acceptable levels in various European countries.

Regarding chromium, a speciation approach was followed given the differences in toxicity of the trivalent and hexavalent species. Hexavalent chromium is a known carcinogen. US EPA recommends that hexavalent chromium values calculated by the risk equations be modified by a factor of 3 to account for expected inter-human and inter-species variability in toxicity raised by the study of Zhang and Li (1987). However, as it was mentioned earlier, the calculated SAL of chromium was lower than its background and, therefore, the background value was used. With respect to trivalent chromium, calculated values were augmented by a factor of 4 to account for the uncertainty in estimating Cr(III)/Cr(VI) ratios in soil, and the fact that estimated values were very high and almost impossible to find under natural conditions. Table 2 presents a comparison of the soil SALs with average concentrations of toxic elements in Lavrion. Similarly, Table 3 shows a comparison of the residential SALs with typical concentrations of toxic elements in house dust. To evaluate which elements might adversely affect human health and have a negative impact on the environment, the Mean Multiple Chemical Potential Impact Index

Table 1. Toxic elements “background concentrations” in bedrock samples from Lavrion (n=39).

<i>Inorganic Substance</i>	<i>Heavy Metal Concentration, mg/kg</i>			
	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>Mean</i>	<i>Median</i>
Antimony (Sb)	5	71	6	5
Arsenic (As)	2.5	540	42	11
Barium (Ba)	3	4087	244	78
Beryllium (Be)	-	-	-	-
Cadmium (Cd)	1	41	2	1
Chromium, total (Cr)	1	610	100	20
Silver (Ag)	0.5	41	1	0.5
Manganese (Mn)	100	25000	1830	1200
Copper (Cu)	3	225	33	25
Lead (Pb)	1	1850	77	22
Mercury (Hg)	1	8	1	1
Nickel (Ni)	1	1600	168	55
Vanadium (V)	1	71	13	9
Zinc (Zn)	6	5200	211	57

Table 2. Comparison of soil contamination levels with residential and industrial/commercial direct exposure Soil Action Levels (SALs) for Lavrion (n=50).

<i>Inorganic Substance</i>	<i>Lavrion Soil Samples</i>				<i>Residential Criteria (mg/kg)</i>	<i>Industrial Criteria (mg/kg)</i>
	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>Mean</i>	<i>Median</i>		
Antimony	28	567	192	151	30	800
Arsenic	50	24,000	2,494	1,290	25	25
Barium	64	4,555	663	479	5,500	140,000
Beryllium	0.2	2.7	1.1	1	2	2
Cadmium	4	925	68	38	40	1,000
Chromium, total	2	1,083	264	183	140	140
Chromium, trivalent	-	-	-	-	20,000	500,000
Chromium, hexavalent	-	-	-	-	140	140
Copper	43	4,445	357	186	2,300	60,000
Lead	810	151,579	11,578	7,305	500	1,000
Mercury*	1*	728*	189*	117*	20*	600*
Nickel	40	591	141	127	1,500	40,000
Vanadium	26	325	86	75	550	14,000
Zinc	591	76,310	10,872	6,668	20,000	610,000

*Values of mercury in µg/g or mg/kg or ppb

Table 3. Comparison of house dust contamination to residential direct exposure Soil Action Levels (SALs) for Lavrion (n=127).

<i>Inorganic Substance</i>	<i>House Dust Samples</i>			<i>Residential Criteria in mg/kg (mg/kg)</i>
	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>Median</i>	
Antimony	-	-	-	30
Arsenic	275	3820	750	25
Barium	-	-	-	5,500
Beryllium	-	-	-	2
Cadmium	5	140	16	40
Chromium, total	-	-	-	140
Chromium, trivalent	-	-	-	20,000
Chromium, hexavalent	-	-	-	140
Copper	30	5,050	187	2,300
Lead	610	19,500	3,220	500
Mercury*	3*	375*	88*	20*
Nickel	-	-	-	1,500
Vanadium	-	-	-	550
Zinc	480	34,200	3050	20,000

* Values of Hg in µg/kg or ppb

Table 4. Evaluation of Mean Multiple Chemical Potential Impact Index for soil in Lavrion.

<i>Inorganic Substance</i>	<i>Mean Residential Hazard Index</i>	<i>Mean Industrial Hazard Index</i>
Antimony	5	-1
Arsenic	99	99
Barium	-1	-1
Beryllium	0	0
Cadmium	1	-1
Chromium, total	-	-
Chromium, trivalent	-1	-1
Chromium, hexavalent	1	-1
Copper	-1	-1
Lead	22	11
Mercury	8	-1
Nickel	-1	-1
Vanadium	-1	-1
Zinc	0	0
Multiple Chemical Potential Impact Index	127	109

Table 5. Evaluation of Mean Multiple Chemical Potential Impact Index for house dust in Lavrion.

<i>Inorganic Substance</i>	<i>House Dust Mean Residential Hazard Index</i>
Antimony (Sb)	-
Arsenic (As)	29
Barium (Ba)	-
Beryllium (Be)	
Cadmium (Cd)	-1
Chromium, total (Cr)	-
Chromium, trivalent (Cr ³⁺)	-
Chromium, hexavalent (Cr ⁶⁺)	-
Copper (Cu)	-1
Lead (Pb)	5
Mercury (Hg)	3
Nickel (Ni)	-
Vanadium (V)	-
Zinc (Zn)	-1
Multiple Chemical Potential Impact Index	37

for both residential and industrial soils and house dust was calculated. This factor is estimated by adding the mean hazard index [(mean sample concentration/SAL) – 1] of all elements with a ratio above 1. Tables 4 and 5 present the results for soil and house dust.

On average, there are four elements (Antimony, Arsenic, Lead and Mercury) that have a mean hazard index greater than 1 in residential soil. It is noted that fewer elements were measured in house dust samples compared to soil. The elements of interest for industrial and commercial soils were arsenic and lead. Residential soil has a higher Multiple Chemical Potential Impact Index (127) than commercial soil (109) and house dust (37), indicating that a higher priority should be placed to remediate the residential areas first.

The above analysis indicates that the two elements of concern with the highest hazard index are arsenic and lead. Demetriades and Vassiliades (1998) conducted a geostatistical structural analysis on arsenic and lead and found that the two elements exhibited approximately similar spatial distribution patterns (refer to Maps 3.4 and 6.3 in Volume 2 of this report). This finding facilitates risk analysis, because it is only necessary to consider the hazard impact of one element and not of all. Since, the spatial distribution of other toxic elements is also approximately similar, the Multiple Chemical Potential Impact Index increases proportionally spatially, but the percent remains relatively constant. Finally, the degree of toxic element contamination of soil in the Lavrion urban area is very high, and it poses a significant health hazard concern.

3.2. AIR

Few ambient air monitoring measurements in Lavrion are readily available. The data presented were collected in the late 1980's and unfortunately, the station was discontinued after that. Makropoulos *et al.* (1991) reported that ambient air Pb concentrations were as follows. In 1987, the mean value was $1.62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (range: 0.38 to $2.54 \mu\text{g}/\text{m}^3$). In January of 1988, the mean concentration was $0.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (maximum of $0.36 \mu\text{g}/\text{m}^3$), in February $5.07 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (maximum of $22.44 \mu\text{g}/\text{m}^3$) and in March $1.59 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (maximum of $4.04 \mu\text{g}/\text{m}^3$). The authors did not report the source of the data. Since, ambient air concentrations were not given in traditional air pollution units (such as 8-h mean), they cannot be compared directly to guidelines from other countries. However, the State of Connecticut, USA, has established a Hazard Limiting Value for lead (inorganic, fumes and dust) of $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for an 8-hours average, and $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for a 30-minute average. These values suggest that the air in Lavrion was at hazardous levels in the late 1980's. It is proposed that new studies should evaluate current air pollution levels.

Given the fine-grained nature of some of the metallurgical waste residues, inhalation could be a predominant pathway of heavy metal intake by the residents, and children in particular. *Installation of a Municipal – Lavrion Medical Centre monitoring station for the collection of data, that would be used to assess the current air pollution situation is highly recommended.*

3.3. GROUND WATER

The water resources of the Lavrion urban area consist primarily of ground water. There are no rivers (other than some ephemeral streams that carry excess runoff as overland flow) or lakes in the municipality. The impacts of heavy metal contamination of ground water have not been assessed properly yet. There have only been a few ground water quality measurements. Residents of the area used in the past local ground water as their drinking water supply source. As from the 30th April 1984 (K. Pogkas, pers. commun., 1999) the municipality is connected to the same water supply as Athens. Today, there are at least fifteen ground water wells in the region, which are used for irrigation purposes only.

Kontopoulos *et al.* (1995a) summarised the existing ground water quality data for Lavrion (Table 6) (see also Chapter 10 in Volumes 1 and 2 of this report). The data indicate that ground water resources have been overutilised in the past, causing significant seawater intrusion. The high nitrate concentration indicates impacts from agricultural activities (fertilisers), and inappropriate disposal of residential (septic tank) waste water in an abandoned mine adit near Stefani. This waste water disposal practice was used for more than 15 years, not only by Lavrion residents, but by many other residences all over eastern Attiki. In the early 1980's, water quality measurements indicated high ammonia concentrations due to waste water disposal. This provided the impetus for connecting Lavrion to the Athens water supply network. The Institute of Geology and Mineral Exploration (IGME) measured 15 wells in the region in 1998 (refer to Chapter 10 of Volumes 1 & 2 of this report; also Volume 1A). The results are summarised in Table 6. These data are consistent with high anion concentrations due to seawater intrusion and nitrate contamination.

The few measurements appear to indicate that copper, cadmium and lead concentrations might be exceeding US EPA's water quality criteria. *More water quality measurements are warranted to fully assess the quality of ground water in order to issue appropriate warnings to the inhabitants of Lavrion.* Measurements should also include arsenic, beryllium and antimony, because of the potential of being leached from contaminated soil and metallurgical processing wastes, and their known carcinogenic nature. There is the potential of local ground water quality to progressively worsen, due to continuous breakthrough of contaminants from the unsaturated unconsolidated material. Low rainfall rates, and low permeability of the material, combined with its high capacity to attenuate heavy metals (due to high carbonate content), have prevented extensive contamination of ground water. However, there is some indication that contaminants are being leached downwards into the soil (Kontopoulos *et al.*, 1995b), and they could potentially breakthrough the unsaturated zone (refer to Chapter 10 in Volumes 1 and 2 of this study).

Water resources are becoming continuously more scarce and more valuable. It cannot, therefore, be afforded to contaminate ground water resources, because of the long time required to clean themselves up naturally. This ground water could be used by the next generations as their water supply, and it should, consequently, be protected.

Table 6. Ground water quality data for Lavrion.

<i>Determinant</i>	<i>Dounas (1967)</i>	<i>Kounis (1981)</i>	<i>NTUA (1994)*</i>	<i>IGME (this project) (1999)**</i>
pH	7.45	7.90	7.0- 7.98	6.96- 7.72
Calcium, Ca (mg/l or ppm)	148.80	166.73	57.0- 180.00	41.68- 298.19
Magnesium, Mg (mg/l)	79.91	86.62	16.7- 100.00	37.42- 176.90
Chloride, Cl ⁻ (mg/l)	1063.71	1099.29	-	131.20-1851.01
Sodium, Na (mg/l)	601.22	625.86	-	110.00-1300.00
Sulphate, SO ₄ ²⁻ (mg/l)	206.30	297.59	20.0- 640.00	18.60-1405.00
Nitrate, NO ₃ ⁻ (mg/l)	18.92	66.46	-	0.15- 137.72
Copper, Cu (mg/l)	-	0.060	<0.1	0.005- 0.110
Cadmium, Cd (mg/l)	-	0.016	<0.05	0.001- 0.004
Zinc, Zn (mg/l)	-	1.048	0.07-3.7	0.010- 1.000
Nickel, Ni (mg/l)	-	0.019	-	0.005- 0.010
Lead, Pb (mg/l)	-	0.094	<0.5	0.005- 0.030
Arsenic, As (mg/l)	-	-	<2.0	-
Antimony, Sb (mg/l)	-	-	<1.0	-

* measurements made at 7 different locations

**measurements made at 15 different locations (See Chapter 10 in Vols. 1 & 2, & Vol. 1B)

3.4. LOCAL PRODUCE

Agricultural activities within the Municipality consist of private gardens with vegetables, small size olive tree groves and vineyards (Fig. 5). Unfortunately, most of these agricultural activities are taking place in areas with metallurgical wastes (Maps 2.3 & 2.4, Volume 2). Studies on vegetation uptake of heavy metals grown in the area are limited and not systematic.

There are only selected measurements reported on specific plant species by researchers of the Forest Research Institute (Nakos, 1979a, b), Agricultural University of

Athens (Chronopoulos and Chronopoulou-Sereli, 1986a, 1986b, 1991; Chronopoulou-Sereli and Chronopoulos, 1991a, 1991b;) and the National Technical University of Athens (Kontopoulos *et al.*, 1996; Xenidis *et al.*, 1997; Kontopoulos and Theodoratos, 1998), and no comprehensive studies exist on seasonal variations of metal uptake by plants, and human consumption patterns.

Kontopoulos *et al.* (1996) reported extremely high accumulations of lead by plants cultivated on flotation or beneficiation tailings (*or "savoura" as is called by the local inhabitants*) from the treatment of oxidised ores. Tables 7 and 8 present the results and compare them with EU guidelines. Lead accumulation was significantly higher than recommended guidelines. Kontopoulos and Theodoratos (1998) reported toxic element (Pb, Zn, Cd, and As) accumulation by crops grown over the flotation tailings, where the concentration of all elements is high. This is extremely dangerous to the health of residents, because two of the elements are known carcinogens. Figure 6 shows a local lady that was found during one of our visits to be collecting wild green plants grown over the flotation tailings. The US Food and Drug Administration recommends that the tolerable daily diet lead intake is 6 µg for children under the age of 6, 25 µg for pregnant women, and 75 µg for adults. Children eating just 5-6 g of olives can satisfy this recommended daily intake. Given that this produce is more likely to be consumed by the owners of the groves and their families, *it is advisable to warn these people of the dangers of high lead accumulation, and to suggest that this practice be discontinued immediately.*

Table 7. Lead uptake by vegetation cultivated on beneficiation/flotation tailings ("savoura" material).

<i>Vegetation type</i>	<i>Fruit lead (mg Pb/kg)</i>	<i>Plant leaf lead (mg Pb/kg)</i>
Olive trees	5.6	386
Vines	8.7	175
EU Guidelines	0.1	0.3*

* For leafy vegetables

Table 8. Lead uptake by crops cultivated on beneficiation/flotation tailings ("savoura" material).

<i>Element</i>	<i>Olives</i>	<i>Grapes</i>	<i>Vine leaf</i>
Lead, Pb (mg/kg)	1.1	0.20	35.0
Zinc, Zn (mg/kg)	11.0	0.80	37.0
Cadmium, Cd (mg/kg)	0.6	0.06	0.6
Arsenic, As (mg/kg)	0.4	0.06	3.3

3.5. HEALTH EFFECTS

The effects of intensive metallurgical activity, and subsequent natural and anthropogenic dispersal of waste material, have been extensively studied in the Lavrion urban area in the past 20 years. Reinterpretation of the cross-sectional epidemiological results, found a strong geographical link between the degree of surficial soil contamination, and observed blood-lead (b-Pb) concentrations in children (refer to Volumes 1 & 2 of this report). Blood, urine and deciduous teeth concentrations of lead and arsenic in children were considered toxic (Benetou-Marantidou *et al.*, 1985; Nakos, 1985; Hatzakis *et al.* 1987; Maravelias *et al.*, 1989; Eikmann *et al.*, 1991; Makropoulos, 1991, 1992; Stavrakis *et al.*, 1994; Kafourou,

1997). In this report, an attempt will be made to summarise these studies, and identify the link between environmental contamination and adverse health effects on the population.

During the months of March and April 1985, Maravelias *et al.* (1989) sampled blood from 514 primary school age children (274 boys and 240 girls; ages from 5 to 12), attending the four primary schools, which are at different distances from the then active metallurgical industrial complex. One school is 500 m, another 900 m and two more about 1500 m away from the plant. The results of the study are tabulated in Table 9. The most significant findings of the study are summarised below:

1. mean blood concentrations were 21.7 µg/dl for lead (Pb) and 0.36 µg/dl for cadmium (Cd);
2. boys had significantly higher concentrations of lead and cadmium in their blood than girls;
3. blood-Pb concentration was not affected by age, but blood-Cd apparently increases with age;
4. both blood-Pb and -Cd concentrations increased with proximity of school to the smelter emissions from the stack, a conclusion which is in contradiction with the findings of recent studies (Stavrakis *et al.*, 1994; Demetriades *et al.*, 1997; Volumes 1 & 2 of this study), and
5. children of unskilled workers (who were employed at the lead-zinc metallurgical complex) had higher blood-Pb than children whose fathers had a higher level of occupation or education. Blood-Cd levels were not significantly different between the social groups.

Table 9. Blood-Pb and Cd levels (µg/dl) of 514 children from Lavrion, Greece (from Maravelias *et al.*, 1989, Tables 1 and 2, p.64)

Group	Number	blood-lead (µg Pb/dl)		blood-cadmium (µg Cd/dl)	
		Mean	Range	Mean	Range
Boys	274	23.4	9.4-79.8	0.37	0.1-2.8
Girls	240	19.9	7.4-59.3	0.34	0.1-0.7
Total	514	21.7	7.4-79.8	0.36	0.1-2.8

Maravelias *et al.* (1989) concluded that the results of their study, in conjunction with two previous studies by

- Hatzakis *et al.* (1987), who found that “*there is a negative relationship between blood-Pb and the psychometric intelligence and attentional performance*” in the children of Lavrion, and
- Benetou-Marantidou *et al.* (1985), that showed that “*children who have lived all their life near the smelter exhibited a significant excess of pathological features and persistent evidence of organic brain damage and associated behavioural effects*”,

indicate that “**urgent action is required to reduce the degree of lead exposure of children from Lavrion**”. Figure 10 presents the distribution of blood-Pb level in children from Lavrion. As has already been stressed, reinterpretation of cross-sectional epidemiological data with overburden geochemical results and mapping of metallurgical

processing wastes (Figs. 7 & 9; see also Maps 2.3 & 3.4 in Volume 2 of this report), shows that there is a close relationship between the spatial distribution of blood-Pb levels in children and the distribution of highly contaminated areas. The greatest blood-Pb concentrations are found in children living in houses built on heaps of metallurgical processing residues, especially the fine to medium-grained beneficiation wastes (“*savoura*” material).

Makropoulos *et al.* (1991) sampled 255 children from Lavrion and compared them with two other towns in Greece, one well-known spa resort without industry (Loutraki), and the other with refineries (Aspropyrgos-Elefsina). Children in Lavrion exhibited much higher blood-Pb concentrations (mean = 19.24 µg Pb/dl, range = 5.98-60.49 µg Pb/dl) than Loutraki (mean = 5.14 µg Pb/dl, range = 1.33-13.58 µg Pb/dl) or Aspropyrgos (mean = 7.45 µg Pb/dl, range = 2.77-20.45 µg Pb/dl).

Eikmann *et al.* (1991) studied the arsenic level in urine from workers and children in Lavrion. The results are presented in Table 10. More than 70% of the workers at the lead smelting plant, and 45% of the workers in the lead-battery factory had arsenic excretion rates above the recommended levels of 40 µg As/24 h for adults limit, and more than 8% of the children had arsenic excretion rates above the limit of 20 µg As/24 h. These values are indeed very high. Similar values were observed in Bangladesh and West Bengal in India, where extensive arsenic poisoning occurs, due to dissolution of arsenopyrite and release of arsenic to ground water. It is estimated that more than 77 million people in Bangladesh (Dhar *et al.*, 1997; Biswas *et al.*, 1998) are exposed to arsenic level in their drinking water, which exceeds the maximum admissible level of 10 ppb As set by the World Health Organisation (WHO). Thousands of cases with arsenic related illnesses, ultimately contract cancer, which leads to death. The same is true in the province of West Bengal (Chatterjee *et al.*, 1995; Das *et al.*, 1995, 1996; Mandal *et al.*, 1996) in India (38 million people are at risk to arsenic contamination). Even though, arsenic in the soil of Lavrion is not as bioavailable as in the case of Bangladesh and India (which is found in water), and no dosage comparisons have been made, the high arsenic excretion rates reported in urine samples of adults and children, requires that physicians at the Lavrion Medical Centre and other medical practitioners in the region be aware of the symptoms of arsenicosis and be capable of diagnosing it promptly.

Table 10. Arsenic levels in urine (µg As/24 h) of workers and children from Lavrion, Greece (from Eikmann *et al.*, 1991, Tables 1 & 2, p. 464; Tables 3 & 4, p. 465).

Group/Industry	Number of samples	Mean	Range	>40 µg As/24hr	
				N	%
Workers					
- Lead smelter	34	77.42	1.84-192.95	24	70.6
- Battery factory	31	43.97	8.54-173.12	14	45.2
Children	261	8.59	0.53- 77.23	22*	8.4*

* For children the recommended maximum limit is 20 µg As/24hr, hence quoted number of persons and percentage are above this limit.

Other cross-sectional epidemiological studies (Makropoulos *et al.*, 1992a, 1992b; Kafourou *et al.*, 1997) also indicated, that excessive environmental contamination in

Lavrion has affected adversely the somatic growth of primary-school-age children. A more detailed summary of the epidemiological studies conducted can be found in other reports, the interim and final technical reports of this project (Demetriades, 1992; Demetriades *et al.*, 1996; refer to Volumes 1 and 2 of this project report).

The US Centre for Disease Control considers that blood lead levels in excess of 25 µg/dl in adults is of concern, and the value drops down to 10 µg/dl for children. If these limits are used for comparison, then 95% of the children in Lavrion have blood-Pb levels of concern.

Table 11 presents a list of systemic toxicities of selected heavy metals. The list is adapted from the work of Johnson and DeRosa (1997), and presents the dosage and exposure route that various heavy metals can cause damage to human organs and systems. Five of the heavy metals and metalloids presented are established or suspected carcinogens, and are found in the surficial contamination of Lavrion. All of these elements can cause damage to various human organs and systems at various dosages. Overall, it is justified, to conclude that there is sufficient evidence that links adverse human health effects with the surficial contamination of soils (overburden materials) at the town of Lavrion.

Table 11. Systemic toxicities of selected heavy metals and metalloids (adapted from Johnson and DeRosa, 1997). Dosage and route of exposure to cause damage to human organs and systems.

Metal	Death	Liver	Kidneys	Lungs	Reproductive system	Nervous system	Cardio-vascular system	Immune system	Skin	Carcinogen
Pb	VH(o,i)	-	L(o,i)	-	L(o,i)	L(o,i)	VH(o,i)	L(o,i)	H(d)	No
As	VH(o)	-	-	H(i)	-	H(o)	VH(o,i)	-	H(o) L(i)	Yes
Cd	VH(i)	-	L(o,i)	L(o,i)	-	-	-	-	-	Suspected
Cr	VH(o)	VH(o)	VH(o)	VH(i)	H(o)	VH(o)	H(o)	-	-	Yes
Zn	-	-	-	-	VH(o)	-	H(o)	H(i)	H(d)	No
Hg	-	-	H(i)	H(i)	H(i)	H(i)	H(i)	-	H(i)	No
Cu	VH(o)	H(i)	H(o)	H(i)	-	H(i)	H(o) M(i)	-	H(i)	No
Ni	VH(o)	-	H(o,i)	H(i)	-	-	H(i)	-	H(d,i)	Suspected
Ba	-	H(o)	H(o)	H(o)	-	H(o)	H(o)	-	-	No
Sb	VH(o,i,d)	VH(o) H(i)	H(i)	VH(i)	VH(i)	VH(o)	VH(o) H(i)	-	VH(d)	No
Be	VH(o,i)	-	-	H(i)	-	-	VH(i)	H(i) L(o,d)	H(d)	Suspected

Legend: Exposure dosage: VH = very high exposure dosage; H = high exposure dosage;
M = medium exposure dosage; L = low exposure dosage;
Exposure route: i = inhalation; o = oral; d = dermal

4.0. DEVELOPMENT OF AN ENVIRONMENTAL MANAGEMENT PLAN

4.1. ENVIRONMENTAL MANAGEMENT PLAN OBJECTIVES

The objectives of the environmental management plan for the town of Lavrion are:

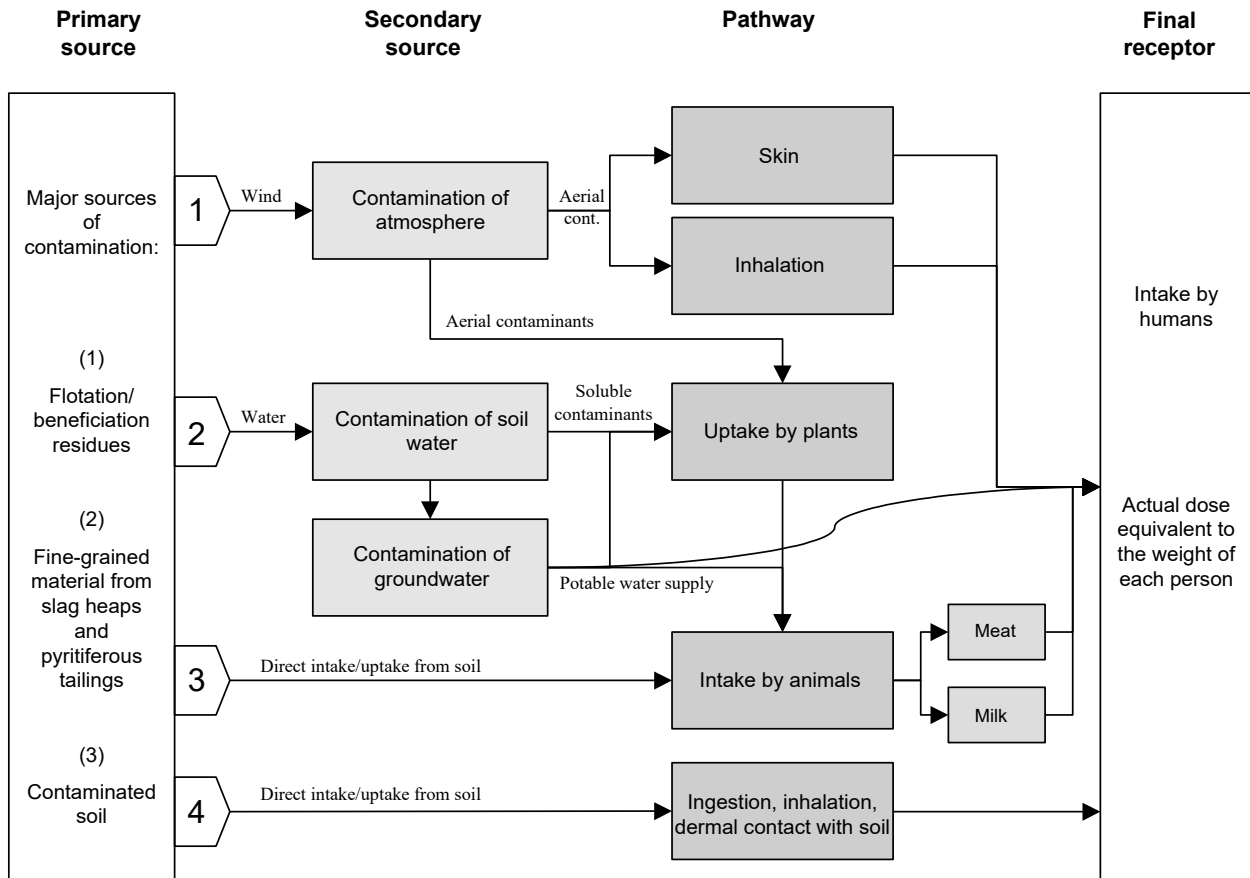
1. The primary objective is to gradually minimise human exposure to toxic elements through:
 - surgical remediation based on cost-benefit analysis,
 - lifestyle changes through education,
 - legislative action for land use change,
 - health and safety guidelines, and
 - eliminating consumption of polluted crops and water.
2. The secondary objective is to protect water resources and biota, and to rehabilitate surface soil.

Given the degree of contamination of the Lavrion urban area, the environmental management plan will focus exclusively on the primary objective. Implementation of the recommendations to achieve the primary objective will partially protect water resources and biota, as well as rehabilitating surficial soil. The primary objective of this plan relates to the impacts due to “*direct human exposure*” to pollutants, than to the “*mobility*” of contaminants from soil to other receptors. This distinction is extremely important to comprehend, because it determines the type of analysis conducted, namely a risk based analysis, rather than a deterministic fate and transport exposure analysis.

4.2. METHODOLOGY FOR SURGICAL REMEDIATION

A Conceptual Site Model (CSM) that is consistent with the primary objective of this study is presented in Fig. 15. The model is consistent with the history of the area. The mining and metallurgical activities of the past 5000 years, and especially the intensive metallurgical activities of the past hundred years, have created “waste” piles that constitute the primary pollution source. Anthropogenic, aeolian and fluvial processes have spread this contamination and have created the secondary pollution source, that is the present day surficial soil. The adverse human health effects are attributed to direct exposure (inhalation of dust particles and ingestion of soil and dust), and consumption of contaminated water and locally produced agricultural products (e.g., green vegetables, fruit, etc).

Surgical remediation is a methodology for ranking (in a quantitative manner) contaminated areas, which need to be remediated. Typically, this prioritisation is conducted through a cost-benefit analysis. The parameters that need to be considered in such an analysis are the following:



Compiled by A. Demetriades

Fig. 15. Conceptual contamination source-pathway-receptor model for the Lavrion urban area.

- degree of risk (potential impact),
- sources of contamination,
- route of exposure (inhalation, ingestion *etc.*),
- land use type,
- population affected,
- remedial technologies and their effectiveness,
- feasibility of implementation of technology (it might be technically viable, but politically impossible), and
- social costs and benefits of remediation.

Thirty different land use categories were used (refer to Chapter 2 in Volume 1, and Map 2.4 in Volume 2 of this report). These are:

- House, shop and church
- House with garden
- School
- Playground

- Park
- Football pitch and sports field
- Olive grove
- Vineyard
- Vegetables
- Wheat
- Pine forest
- Open space with trees \pm (olives, figs, *etc.*)
- Open space \pm (bushes, trees)
- Archaeological site
- Cemetery
- Ore treatment plant and storeroom
- Smokeduct
- Sand blasting unit with non-ferrous slag
- Lead-acid battery factory
- Factory (ammunition, weapons, matches), storeroom
- Petrol station, garage and motor repairs
- Iron converter industry and trading
- Aluminium converter industry
- Cotton-weaving industry
- Other industries and storage sites
- Building materials wholesaler
- Port installations
- Marble quarry
- Old mining works
- Municipal waste site (landfill).

Eleven categories with different contaminants and geochemical characteristics have been defined (refer to Chapter 2 in Volume 1, and Map 2.3 in Volume 2 of this report):

- Beneficiation/flotation residues
- Lumpy slag (or *slag*)
- Lumpy and pelletised slag
- Disseminated slag
- Sand-blast material from slag and pelletised slag (or *sand-blast wastes*)
- Beneficiation/flotation sand with disseminated pyrite (or *pyritiferous flotation sands*)
- Pyritiferous tailings
- Disseminated slag and coarse-grained beneficiation/flotation residues
- Beneficiation/flotation sand and coarse-grained materials
- Beneficiation/flotation residues and disseminated slag
- Contaminated overburden, including soil (secondary source).

For each land use category over each source of contamination two indices were developed:

- a benefit index, BI, of benefits obtained from remediating the area, and

- a cost index, CI, of costs relating to various technologies that can remediate the area to a clean-up level required to obtain the corresponding benefits.

The ratio of cost to benefit index, CI/BI ratio, was used to rank the areas in terms of priority for remediation. *The lower the ratio, the higher is the priority for remediation.*

The Benefit Index is defined as follows:

$$BI_i = EI_i * SBI_i$$

Where: EI_i is the *Exposure Index* of area i, and
 SBI_i is the *Social Benefit Index* of area i.

The Cost Index is defined as follows:

$$CI_i = (FI_j / DE_j) * SCI_i$$

Where: FI_j is the *Financial Investment* of using technology j,
 DE_j is the *Degree of Effectiveness* of technology j, and
 SCI_i is the *Social Cost Index*.

Spatially resolved hazard and exposure assessments were performed as part of this EU LIFE project (Tristán *et al.*, 1999; see also Chapter 11 in Volumes 1 & 2 of this report). The methodologies used to assess direct exposure of the population to environmental pollutants included both quantitative and semi-quantitative approaches. The quantitative approach used the Integrated Exposure Uptake BioKinetic (IEUBK) and Human Exposure from Soil Pollutants (HESP) models to predict the spatially resolved blood-lead (b-Pb) concentrations in children, and compared them to measured epidemiological data. This approach provided an insight to the spatial and biomedical factors, that affect blood-Pb concentrations, and also a measure of uncertainty by producing probabilistic hazard maps for the area (refer to Maps of Chapter 11, Volume 2 of this report). The semi-quantitative approach used a multi-criteria evaluation (Eastman, 1997) for the development of a spatially resolved exposure index. In this approach, continuous criteria (factors) and Boolean constraints are standardised to a common numeric range and then combined in a weighted linear fashion to produce the exposure index. Some criteria have discrete categories (*e.g.*, degree of dustiness of the wastes, or site overlying Quaternary deposits), and others are continuous (*e.g.*, proximity to wastes or roads). The eight factors are:

- (1) lead concentration in overburden/soil;
- (2) degree of dustiness of the metallurgical waste;
- (3) proximity to metallurgical wastes;
- (4) proximity to current or previous stacks;
- (5) proximity to roads;
- (6) proximity to rivers;
- (7) proximity to lead-industry, and
- (8) degree of exposure of children.

The two constraints include:

- (1) area with metal-related industry, and
- (2) area over Quaternary deposits.

Exposure index was estimated on a grid of 50 x 50 m, which is the grid used for the geostatistical interpolation (kriging) of total lead concentrations in overburden/soil samples (Demetriades and Vassiliades, 1998; Tristán *et al.*, 1999; see also Chapter 11 in Volumes 1 and 2 of this report). Other criteria were obtained from the available digital map information, *i.e.*, lithology, metallurgical processing wastes, land use, town plan and stacks. A value for the degree of dustiness was estimated for the different types of metallurgical processing residues, based on available information (see Vol. 2 of this report). Weights were assigned to the ten criteria (*lead concentration in overburden, degree of dustiness of waste, proximity to smelter wastes, proximity to current or previous stacks, proximity to roads, proximity to rivers, proximity to lead industry, time of exposure of children, area with metal related industry and over Quaternary deposits*). This complex set of information was processed by the Idrisi® GIS using the Weighted Factors in Linear Combination module (Eastman, 1997) for estimation of the exposure index (refer to Map 11.17 in Volume 2 of this report). The original arbitrary exposure index scale of 0 to 255 was reduced to percent (0 to 100) for the purposes of the environmental management scheme.

Twelve (12) technologies were considered as viable remedial alternatives for this project. The list is not exhaustive. These are the technologies, which are imminently applicable to the solution of the Lavrion contamination problem, combining acceptable efficiency and low cost. Most of the technologies mentioned below were demonstrated as part of this project, *i.e.*,

- Coverage with asphalt
- Paving
- Vegetation
- Clean soil coverage (60 cm) and vegetation
- Geomembrane cover including vegetation of the upper layer
- Compacted clay cover including vegetation of the upper layer
- Addition of limestone (80 cm), coverage with soil and vegetation
- Chemical stabilisation with biological sludge and vegetation
- Chemical stabilisation with biological sludge and phosphates and vegetation
- Chemical stabilisation with biological sludge and fly ash and vegetation
- Chemical stabilisation with compost and fly ash and vegetation
- Chemical stabilisation with compost and phosphates and vegetation.

Table 12 presents the degree of effectiveness of the various remedial technologies considered in this project. Applicability of each technology depends on the chemical characteristics of contaminated material, and on the actual or planned land use of the area. Application of impermeable covers and addition of limestone are appropriate for sulphide containing wastes (pyrite and pyritiferous sands). Chemical stabilisation techniques are suitable for calcareous flotation tailings and soils. Asphalt and paving can be applied only in urban and industrial areas.

Table 12. Degree of effectiveness for remedial technologies evaluated by demonstration scale tests.

REMEDIAL ACTIONS - TECHNOLOGIES	Contaminated matrix	Source of problem	Receiver	Route of exposure	Control objective	Measured effectiveness	Long term factor	Degree of effectiveness	Notes
						% Ej	LFj	% Dej=Ej*LFj	
Geomembrane cover	Pyrite	Oxidation of sulphides, mobilisation of contaminants	Water, surface soil		Exclusion of water/oxygen	100	0.9	90	Uncertain long term performance of synthetic material. Irreversible mechanical damages
Compacted clay	Pyrite	Oxidation of sulphides, mobilisation of contaminants	Water, surface soil		Exclusion of water/oxygen	95	0.95	90	Cracking and root penetration may occur
Limestone addition (stoichiometric)	Pyrite with low S=<10%	Oxidation of sulphides, mobilisation of contaminants	Water, surface soil		Neutralisation of acidity	95	0.99	94	
Chemical stabilisation with biological sludge and vegetative cover	Beneficiation tailings (non acidic) and soil	Water transfer of contaminants	Water, surface soil		Conversion to insoluble species	88	0.8	70	Long term decomposition of biological sludge may occur.
		Airborne particulates, contaminated material	Humans	Inhalation/ Direct contact	Surface isolation	97	0.8	74	Plant biomass in stabilised area vs control area at the end of the 1st growing period
Chemical stabilisation with biological sludge+phosphates and vegetative cover	Beneficiation tailings (non acidic) and soil	Water transfer of contaminants	Water, surface soil		Conversion to insoluble species	89	0.95	85	
		Airborne particulates, contaminated material	Humans	Inhalation/ Direct contact	Surface isolation	95	0.95	87	Plant biomass in stabilised area vs control area at the end of the 1st growing period
Chemical stabilisation with biological sludge+fly ash and vegetative cover	Beneficiation tailings (non acidic) and soil	Water transfer of contaminants	Water, surface soil		Conversion to insoluble species	89	0.95	85	
		Airborne particulates, contaminated material	Humans	Inhalation/ Direct contact	Surface isolation	82	0.95	81	Plant biomass in stabilised area vs control area at the end of the 1st growing period
Chemical stabilisation with compost+fly ash and vegetative cover	Beneficiation tailings (non acidic) and soil	Water transfer of contaminants	Water, surface soil		Conversion to insoluble species	84	0.95	80	
		Airborne particulates, contaminated material	Humans	Inhalation/ Direct contact	Surface isolation	74	0.95	75	Plant biomass in stabilised area vs control area at the end of the 1st growing period
Chemical stabilisation with compost+phosphates and vegetative cover	Beneficiation tailings (non acidic) and soil	Water transfer of contaminants	Water, surface soil		Conversion to insoluble species	84	0.95	80	
		Airborne particulates, contaminated material	Humans	Inhalation/ Direct contact	Surface isolation	84	0.95	80	Plant biomass in stabilised area vs control area at the end of the 1st growing period. Seems to have the best performance during the 2nd year

Coverage with clean soil is in principle a technique applicable to all types of contaminated material, except the pyritiferous wastes, although even this type of waste can be covered temporarily to prevent the aerial transportation of contaminated particles (refer to Appendix report 1 in this volume). By covering contaminated areas with clean soil to an acceptable thickness, the risk for direct exposure of the population is minimised. The major constraint for this technique is the *availability of clean soil* in the Lavreotiki Peninsula. To illustrate the needs, it is simply mentioned that more than 4 million m³ of clean soil would be required to cover the surface of 7.2 km², which was examined within the framework of the present EU LIFE project.

Finally, vegetation without prior stabilisation is an option with uncertain efficiency, and it largely depends on the level of contamination. It was found to be totally unsuccessful on the highly contaminated flotation residues ("Savoura" material; refer to Volume 3).

A *Degree of Effectiveness*, DE_j , was defined for each technology j , considering two components:

$$DE_j = E_j * LF_j$$

Where: E_j is the *Effectiveness* as measured in the field tests for each technology during the two years monitoring period, and it is based on *quantitative* parameters; LF_j is a factor related to the long-term efficiency of the technology.

The following *quantitative parameters* were used for the techniques tested in the field:

- reduction of water infiltration for the impermeable covers,
- reduction of acidity for the limestone addition technique, and
- reduction of toxicity as estimated with the TCLP test, and development of plant biomass for the chemical stabilisation techniques.

Quantitative parameters from actual measurements were available only for technologies evaluated by demonstration scale tests at Lavrion. The remaining remedial technologies were rated as follows:

- a) A 90% effectiveness was attributed to the asphalt, paving and clean soil coverage methods. By applying these techniques, the sources of contamination are efficiently isolated, and the human population is protected from inhalation, ingestion or direct exposure of contaminated material. However, these materials are prone to weathering and mechanical damage, which reduce their long-term effectiveness.
- b) the success of vegetation cover only, depends on the actual degree of contamination. For this reason, a 50% effectiveness was attributed to this technique.

Table 13 presents a matrix of the potential remedial technologies for the various waste categories, the financial investment required for implementation, and the degree of effectiveness. Simple coverage techniques, *i.e.*, asphalt, paving and clean soil are considered suitable for all the materials, with the exception of pyrites, although as it was mentioned above, even pyritiferous material can be covered temporarily to prevent deflation of contaminated particles. Stabilisation techniques are not suitable for slag and pyrite. Each technology is rated with the same *Degree of Effectiveness* for all the materials. However, some technologies, *i.e.*, vegetation, limestone addition and stabilisation techniques, are closely related to the chemical characteristics of the contaminated matrix. Prior to any full remedial action, a close examination of the matrix, and laboratory scale tests, are required to adapt each technology to the peculiarities of overburden materials, *i.e.*, amount of additives, and to define a site specific effectiveness.

The *Financial Investment* index, FI_j , for each technology is also given in Table 13. It is expressed in drachmas (GRD) per square metre, and is based on actual cost data, collected during the implementation of demonstration-scale tests. The following cost elements were included in the calculation:

- materials costs,
- transfer costs,

Table 13. List of potential remedial alternatives for the various sources of contamination and related financial investment and effectiveness.

		Paving	Vegetative cover without clean soil or stabilisers	Clean soil coverage + vegetation	Geomembrane cover + vegetation	Compacted clay cover + vegetation	Limestone addition + vegetation	Biol. Sludge	Biol. Sludge + Phosphates	Biol. Sludge + Fly ash	Compost + Fly ash	Compost + Phosphates
<i>Financial Investment, Flj, GRD/m²</i>		5000	900	2100	3450	3250	3350	1550	4050	6250	6950	4650
Contamination sources/soil	Surface, m²											
Beneficiation/flotation residues	472672	0.99	-	0.9	-	-	-	0.74	0.87	0.81	0.75	0.8
Lumpy slag	399349	0.99	-	0.9	-	-	-	-	-	-	-	-
Lumpy & pelletised slag	135768	0.99	-	0.9	-	-	-	-	-	-	-	-
Disseminated slag	145768	0.99	-	0.9	-	-	-	-	-	-	-	-
Sandblast material & pelletised slag	103375	0.99	-	0.9	-	-	-	-	-	-	-	-
Beneficiation tailings with pyrite	305053	0.99	0.5	0.9	0.9	0.9	0.94	0.74	0.87	0.81	0.75	0.8
Pyritiferous tailings	209029	-	-	-	0.9	0.9	0.94	-	-	-	-	-
Slag and beneficiation tailings	17344	0.99	0.5	0.9	-	-	-	0.74	0.87	0.81	0.75	0.8
Beneficiation tailings & other mat.	23274	0.99	0.5	0.9	-	-	-	0.74	0.87	0.81	0.75	0.8
Beneficiation tailings & slag	2316	0.99	-	0.9	-	-	-	0.74	0.87	0.81	0.75	0.8
Contaminated soil	5419644	0.99	0.5	0.9	-	-	-	0.74	0.87	0.81	0.75	0.8

NOTES:

1. Bold characters indicate that the technology has been tested at the field scale on that contamination source.
2. Remedial techniques on the category "Beneficiation tailings with pyrite" depend on the carbonate/pyrite balance. Soil cover and limestone addition are suitable for pyrite rich hotspots. Stabilisation techniques can be used in carbonate rich areas.
3. Clean soil coverage depends on the **availability of clean soil**.

- earthworks for material deposition and mixing,
- landscaping,
- overheads for construction works (18%), and
- vegetation.

Value Added Tax was not included in the estimated cost. In addition, it is important to notice that all costs were calculated on a projected surface area. The **hilly** morphology in Lavrion will **increase the real surface** for remediation. The **unit cost** per technology is **not affected**. However, **the total cost will increase, since the actual surface area is larger**. To obtain an estimate of this uncertainty, it was calculated that the distance increase, due to the inclination of flotation residues heaps, to be between 7-27%, and for the slag heaps between 16-19%. The ratio of projected to actual surface area is estimated to be in the order of 0.9, which indicates that there is a 10% error in the estimated remediation cost, due to the wastes morphology terrain.

The *Social Benefit Index* is an index that weighs public opinion on the benefit of remediating a particular area using a specific technology. For instance, the public, due to aesthetic reasons, might favour a particular remedial technology over another one with a similar *financial investment* and *degree of effectiveness*. In this case, the *Social Benefit Index* can be used to raise the *Benefit Index* in favour of the technology producing a more

aesthetically pleasing outcome. Similarly, a particular remedial technology might be technically viable, but publicly unacceptable. In this case, the *Social Cost Index* can be used to change the *Cost Index* of the technology in order that other technologies are favoured.

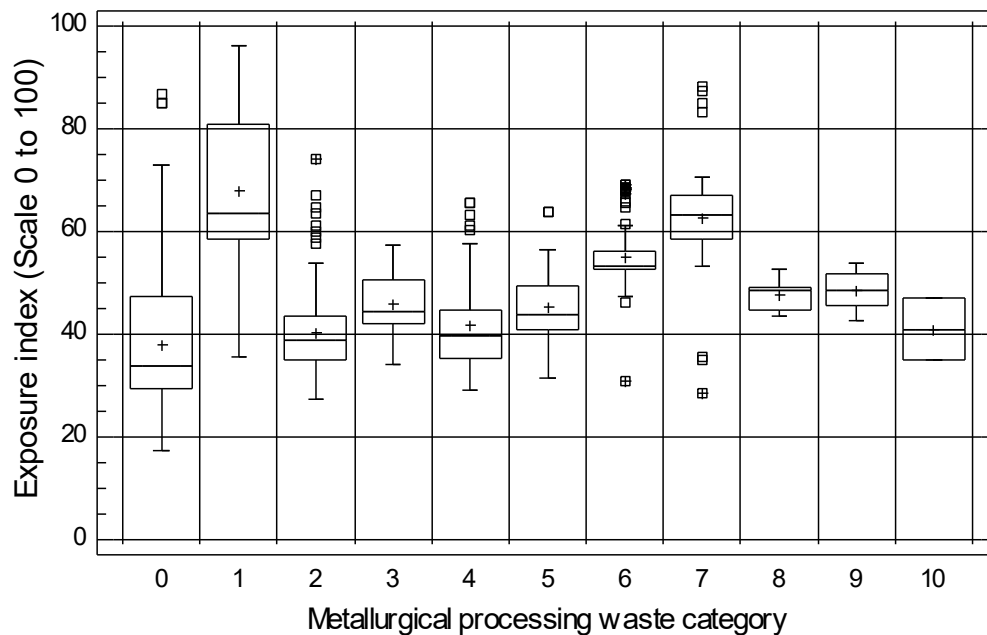
The *Social Cost Index* for the various remediation technologies was set at this time equal to 1, due to lack of data. Similarly, unity was ascribed to the *Social Benefit Index*. Both indices can be revised, after the municipal officers conduct a survey informing the public of the various remedial alternatives, and recording their positive and negative feedback. As it was explained earlier, both the *Social Cost* and *Social Benefit Indices* can be used to weigh public input into the process of rehabilitation. It is extremely important to engage the public in the decision making process, and obtain public approval before a comprehensive rehabilitation plan is established. This is extremely significant, and it will ensure the success of the plan.

The civic leaders of the town of Lavrion should recognise early in the process the usefulness of actively engaging the public and all appropriate “stakeholders”. The term “stakeholders” applies to all interested parties, e.g., public, industrial and non-profit organisations, and in general any person who may have a vested interest in the solution of the problem. Such participation encourages a decision making process that is fair and transparent, and arrives at solutions that are acceptable to the majority. Professional scientists, who will explain to the participants the technical aspects of the decision-making process, and other professionals specialising in conflict resolution, should guide this active engagement of stakeholders. This will help to establish acceptable rules of conduct, and facilitate, therefore, the decision-making process. Officials of the town of Lavrion will raise their credibility profile in the opinion of the citizens, if such a process is followed. Similar procedures are widely acceptable, and successful in Europe, North America, and Australia (Gilbin, 1995). The Municipality of Lavreotiki has already some experience in this procedure through the Workshop organised for the compilation of the Environmental Charter (Lavrion, 1995a, 1995b).

4.3. COST/BENEFIT ANALYSIS FOR SURGICAL REMEDIATION

The box-and-whisker plot (Fig. 16) displays the variation of the exposure index for contaminated soil and the ten categories of metallurgical processing wastes. The rectangular part of the plot extends from the lower quartile (25%) to the upper quartile (75%) of the exposure index, covering the central half of the variation for each type of waste and contaminated soil. The centre line within each box shows the location of the median, and the plus (+) sign that of the mean. The whiskers extend from the box to the minimum and maximum exposure index values for each waste type and contaminated soil, except for any outside or far outside points, which are plotted separately. Outside points are points, which lie more than 1.5 times the interquartile range of the exposure index, above or below the box and are shown as small squares. Far outside points are points, which lie more than 3.0 times the interquartile range of the exposure index, above or below the box and are shown as small squares with a plus sign through them.

It is clear from the box-and-whisker plot of the exposure index (Fig. 16) that the most hazardous metallurgical processing waste is the beneficiation/flotation residues (1)



Legend: 0 = Contaminated soil; 1 = Beneficiation/flotation residues; 2 = Slag; 3 = Slag with sand-blast wastes; 4 = Disseminated slag; 5 = Sand-blast wastes; 6 = Beneficiation/ flotation residues with disseminated pyrite; 7 = Pyritiferous tailings; 8 = Disseminated slag and coarse-grained beneficiation/flotation residues; 9 = Beneficiation/ flotation sands and coarse-grained materials; 10 = Beneficiation/flotation residues with disseminated slag.

Fig. 16. Box-and-whisker plot of the exposure index for the ten categories of metallurgical processing wastes and contaminated soil.

followed by the pyritiferous flotation tailings (7). The median value of the exposure index of each of the ten metallurgical processing wastes categories and contaminated soil is used as a robust indicator to define the order from the most to the less hazardous waste. The following order gives the name of the waste, and its median exposure index value in percent; the number in parentheses is the legend value ascribed to each waste in Fig. 16:

- (1) Beneficiation/flotation residues, 63.5% >
- (7) Pyritiferous tailings, 63.3% >
- (6) Beneficiation/flotation residues with disseminated pyrite, 53.3% >
- (8) Disseminated slag and coarse-grained beneficiation/flotation residues, 48.6% =
- (9) Beneficiation/flotation sands and coarse-grained materials, 48.6% >
- (3) Slag with sand-blast wastes, 44.3% >
- (5) Sand-blast wastes, 43.9% >
- (10) Beneficiation/flotation residues with disseminated slag, 41.0% >
- (11) Disseminated slag 39.8% >
- (2) Slag, 38.8% >
- (0) Contaminated soil, 33.7%.

The greatest exposure variation is exhibited by the beneficiation/flotation residues and contaminated soil, indicating the heterogeneity of the two materials with respect to lead

concentration and the other criteria used in the estimation of the exposure index. A more detailed discussion of exposure assessment is given by Tristán *et al.* (2000; see also Chapter 11 in Volumes 1 & 2 of this report).

The spreadsheets presented in Tables 14 through 17 summarise the results of cost/benefit analysis described previously. Table 14 presents the exposure index for each land use and the areal weighted exposure index for each metallurgical waste category. The exposure index ranges from 27 to 87. Since the Social Benefit Index was considered to be unity for this study, the range of exposure index also represents the range of the Benefit Index for each land use category. Similarly, the areal weighted mean Exposure Index and Benefit Index for each metallurgical waste category varies from 37 to 68. The highest areal weighted mean Benefit Index was given to the remediation of the area covered in consecutive order by the

- beneficiation residues, *savoura material* (68),
- pyritiferous tailings of Kavodokanos (62), and
- pyritiferous flotation sands (55).

The remaining contamination source areas had areal weighted mean benefit indices ranging from 37 to 48. This classification appears to be valid, because the beneficiation tailings cover an artificial hill, on which people have built their houses, and have established olive groves, vineyards and vegetable gardens. The second highest areal weighted mean Benefit Index is ascribed to areas covered by (a) heaps of pyritiferous flotation residues, that are very fine-grained, and (b) medium- to fine-grained slag (sand-blast material and pelletised slag). The former is a source of acid drainage and the latter of fine dust. Figure 12 is a map showing the geographical distribution of the Benefit Index for the rehabilitation of contaminated land in Lavrion (see also Map 12.3 in Volume 2 of this report).

Table 15 presents the cost index for the various metallurgical wastes categories. The lowest cost remedial technologies that minimise direct exposure are:

- vegetation cover (cost index of 1800), and
- clean soil coverage (cost index of 2333).

Vegetation cover with biological sludge application also gives a low cost index (2095). The remaining technologies give a cost index that ranges from 3611 to 9267. It is important to note at this point, that vegetation cover has dubious efficiency, 50%, and that clean soil coverage of the area is limited, due to non-availability of large quantities of clean soil.

It is suggested to establish minimum acceptable effectiveness criteria, to eliminate non-effective remedial technologies. These minimum criteria can be set at 90% effectiveness. Under this condition, five of the technologies:

- vegetative cover,
- biological sludge,
- biological sludge + fly ash,
- compost + phosphates, and
- compost + fly ash

Table 14. Exposure index matrix for surgical remediation.

SMELTER WASTES	Area (m ²)	Exposure Index Median	Areal Weighted Median Exposure Index
1. BENEFICIATION/FLOTATION RESIDUES	474211.83		67.9
1. Residential area, Tillage, Forest, Open Space			
House, shop, church	21134.33	81.0	1711881
House with a garden	56725.11	80.2	4549354
School	1546.28	62.4	96488
Playground	2159.92	60.4	130459
Football pitch, sports field	2992.68	72.9	218166
Olive grove	32475.22	82.9	2692196
Vineyard	64325.71	84.7	5448388
Pine forest	5184.30	62.0	321427
Open space with trees ± (olives, figs, etc.)	32830.31	58.2	1910724
Open space with trees ± (bushes, trees)	226319.20	58.8	13307569
2. Industrial, Commercial			
Ore treatment plant & storeroom	7997.45	72.5	579815
Petrol station, garage & motor repairs	1040.34	63.5	66062
Iron converter industry & trading	6367.88	66.3	422190
Other industries, storage sites	1546.21		
Building materials storehouses	11566.89	62.4	721774
2. LUMPY SLAG	397568.97		39.1
1. Residential area, Tillage, Forest, Open Space			
House, shop, church	8578.57	66.5	570475
House with a garden	9448.96	63.5	600009
School	6867.05	48.6	333739
Football pitch, athletic ground	4987.05	53.7	267805
Olive grove	1358.63		
Pine forest	404.89		
Open space with trees ± (olives, figs, etc.)	273.34		
Open space with trees ± (bushes, trees)	263317.90	37.3	9821758
2. Industrial, Commercial			
Ore treatment plant & storeroom	15712.56	47.8	751060
Smokeduct	927.09		
Factory (ammunition, weapons, matches), storerooms	27370.74	41.6	1138623
Petrol station, garage & motor repairs	131.59		
Iron converter industry & trading	1815.31	43.7	79329
Cotton weaving industries	4604.09	35.7	164366
Other industries, storage sites		45.9	
Building materials storehouses	4321.04	42.2	182348
Port installations	46572.83	34.5	1606763
Marble quarry	877.33	27.8	24390
3. LUMPY AND PELLETISED SLAG	135764.79		43.8
1. Residential area, Tillage, Forest, Open Space			
House, shop, church	431.53		
Olive grove	1329.72		
Open space with trees ± (bushes, trees)	96513.36	41.2	3976350
2. Industrial, Commercial			
Ore treatment plant & storeroom	37348.66	52.9	1975744
Old mining works	141.52		

..... Table 14. Exposure index matrix for surgical remediation

SMELTER WASTES	Area (m²)	Exposure Index Median	Areal Weighted Median Exposure Index
4. DISSEMINATED SLAG	145008.07		39
1. Residential area, Tillage, Forest, Open Space			
House, shop, church	6290.20	60.4	379928
House with a garden	1030.78	65.5	67516
School	8.91		
Park	105.29		
Olive grove	4552.25	60.8	276777
Vineyard	1058.77		
Open space with trees ± (olives, figs, etc.)	1387.82		
Open space with trees ± (bushes, trees)	93252.70	35.5	3310471
2. Industrial, Commercial			
Ore treatment plant & storeroom	656.82	34.9	22923
Factory (ammunition, weapons, matches), storerooms	25422.13	44.3	1126200
Iron converter industry & trading	9881.61	44.7	441708
Other industries, storage sites	49.42		
Building materials storehouses	1308.63		
Marble quarry	2.74		
5. SAND-BLAST WASTES	105813.29		44
1. Residential area, Tillage, Forest, Open Space			
House, shop, church	2270.96	63.9	145114
House with a garden	637.30		
Olive grove	626.92		
Vineyard	27.01		
Open space with trees ± (bushes, trees)	67878.50	41.2	2796594
2. Industrial, Commercial			
Ore treatment plant & storeroom	28682.82	52.3	1500111
Sandblasting units with slags	2436.98	47.5	115757
Factory (ammunition, weapons, matches), storerooms		31.4	
Cotton weaving industries	3252.80	43.9	142798
6. BENEFICIATION/FLOTATION SAND WITH DISSEMINATED PYRITE	305047.01		55
1. Residential area, Tillage, Forest, Open Space			
House, shop, church	2664.05	54.9	146256
School	21397.48	60.2	1288128
Park	4962.74	68.8	341437
Football pitch, athletic ground	28825.46	68.2	1965896
Pine forest	141.10		
Open space with trees ± (bushes, trees)	246937.10	53.3	13161747
2. Industrial, Commercial			
Ore treatment plant & storeroom	42.65		
Cotton weaving industries	76.43		
7. PYRITIFEROUS TAILINGS	209029.94		62
1. Residential area, Tillage, Forest, Open Space			
House, shop, church	3353.50	86.7	290748
House with a garden	729.18		
Olive grove	6773.52	75.3	510046
Pine forest	9.41		
Open space with trees ± (bushes, trees)	149967.80	59.8	8968074
2. Industrial, Commercial			
Ore treatment plant & storeroom	44935.70	67.5	3033160
Smokeduct	2113.96	57.3	121130
Aluminium converter industries	1146.87		

..... Table 14. Exposure index matrix for surgical remediation.

SMELTER WASTES	Area (m²)	Exposure Index Median	Areal Weighted Median Exposure Index
8. DISSEMINATED SLAG AND COARSE-GRAINED BENEFICIATION/FLOTATION RESIDUES	17492.64		47
1. Residential area, Tillage, Forest, Open Space			
House with a garden	146.42		
Open space with trees ± (bushes, trees)	12215.16	45.5	555790
2. Industrial, Commercial			
Petrol station, garage & motor repairs	3948.60	52.5	207302
Building materials storehouses	1182.46	48.6	57468
9. BENEFICIATION/FLOTATION SAND AND COARSE-GRAINED MATERIALS	23279.59		48
1. Residential area, Tillage, Forest, Open Space			
Open space with trees ± (bushes, trees)	23208.43	48.6	1127930
2. Industrial, Commercial			
Ore treatment plant & storeroom	71.16		
10. BENEFICIATION/FLOTATION RESIDUES WITH DISSEMINATED SLAG	2169.52		41
1. Residential area, Tillage, Forest, Open Space			
Open space with trees ± (bushes, trees)	2169.52	41.0	88950
11. CONTAMINATED SOIL	5419643.83		37
1. Residential area, Tillage, Forest, Open Space			
House, shop, church	436463.31	52.2	22783385
House with a garden	347921.46	52.2	18161500
School	14793.44	52.7	779614
Playground	4564.69	50.6	230973
Park	35803.98	51.0	1826003
Football pitch, sports field	2732.12	46.3	126497
Olive grove	392859.16	56.1	22039399
Vineyard	57788.55	56.5	3265053
Vegetables	14681.36	53.3	782516
Wheat	11222.18	58.0	650886
Pine forest	366758.76	28.6	10489301
Open space with trees ± (olives, figs, etc.)	77231.18	31.8	2455952
Open space with trees ± (bushes, trees)	2714862.83	31.0	84160748
Archaeological site	4243.66	29.8	126461
Cemetery	13537.25	37.3	504939
2. Industrial, Commercial			
Ore treatment plant & storeroom	137775.64	42.4	5841687
Smokeduct	20317.89	33.1	672522
Lead-acid battery factory	41403.68	47.1	1950113
Factory (ammunition, weapons, matches), storerooms	385204.11	32.5	12519134
Petrol station, garage & motor repairs	7070.45	40.0	282818
Iron converter industry & trading	101571.84	31.4	3189356
Aluminium converter industries	1913.51		
Cotton weaving industries	111298.73	39.6	4407430
Other industries, storage sites	8310.96	34.5	286728
Building materials storehouses	8720.35	32.5	283411
Port installations	95002.07	33.3	3163569
Marble quarry	3779.06	27.8	105058
Old mining works	915.89		
Municipal waste Site	895.72		

were *eliminated* from further consideration due to unacceptable performance. The technology of biological sludge and phosphates has a close to 90% effectiveness. It was, therefore, decided to keep it under consideration, because it was shown to perform well in the demonstration scale application on flotation residues (“*savoura*”). To ensure effectiveness greater than 90%, it was decided to augment the technology with a 30-cm thick clean soil at an additional cost of 600 drachmas/m². This increases its effectiveness to 0.94 and the cost index to 4947. Figure 13 is a map showing the geographical distribution of the cost index of the best available technology for the rehabilitation of contaminated land in Lavrion (see also Map 12.2 in Volume 2 of this report).

The following is an illustration of how cost/benefit analysis can be used to identify the *Best Available Technology (BAT)* for remediation of the Lavrion urban area. In all cases, with exception of the pyritiferous wastes, the least cost BAT is clean soil cover and vegetation. The least cost BAT for beneficiation tailings with a low proportion of pyrite is limestone addition with clean soil cover and vegetation. Correspondingly, the least cost BAT for wastes with a high proportion of pyrite is compacted clay cover and vegetation. To ensure maximum protection of the population as well as longevity and effectiveness of the technology, it was decided that the best solution for the beneficiation/flotation residues (“*savoura*”) is the biological sludge and phosphates technology, augmented by clean soil cover. Similarly, the beneficiation/flotation sand with disseminated pyrite would be best restored using limestone addition with clean soil cover and vegetation.

Table 16 presents the cost/benefit ratio for each metallurgical waste category using the *BAT alternative* selected. In this case, the constraint mentioned earlier, namely the availability of clean soil was not taken under consideration. The land use based areal weighted mean Benefit Index for each metallurgical waste category was obtained, and compared to the cost index for the respective land use to compute a metallurgical waste based cost/benefit index. The cost/benefit index ranged from 35 to 121. The results can be grouped as follows. Waste sources 2, 3, 4, 5, 7, 8, and 9 have a Cost/Benefit Index (CBI) that is less than 60 (refer to Fig. 16 for number code of wastes). The area they occupy is 103.3 ha. Waste sources 1, 6, and 11 have a CBI between 60 and 80 and an area of 403 ha (assuming 40% of the contaminated soil source is covered with concrete or asphalt). A very small area of 0.2 ha, the beneficiation/flotation residues with disseminated slag have the largest CBI of 120.7.

Table 17 presents a land use based cost/benefit analysis. The Benefit Index for each land use located over a metallurgical waste category was obtained, and compared to the cost index for the respective waste category, to compute a land use based cost/benefit ratio. These cost/benefit ratios ranged from 23 to 72. This analysis illustrates the danger of arriving to an inappropriate result, if one uses it as a black box. This analysis should be used to guide the rehabilitation process and provide an insight on setting up priorities for remediation. Figure 14 is a map showing the geographical distribution of the Cost/Benefit index of the Best Available Technologies for the rehabilitation of contaminated land in Lavrion (see also Map 12.4 in Volume 2 of this study).

Table 15. Cost index matrix for surgical remediation.

		Paving	Vegetative cover without clean soil or stabilisers	Clean soil coverage + Vegetation	Geomembrane cover + vegetation	Compacted clay cover + vegetation	Limestone addition + vegetation	Biol. Sludge	Biol. Sludge + Phosphates	Biol. Sludge + Fly ash	Compost + Fly ash	Compost + Phosphates
<i>Financial Investment, FIj, GRD/m²</i>		5000	900	2100	3450	3250	3350	1550	4050	6250	6950	4650
Contamination sources/soil	Surface, m ²											
Beneficiation/flotation residues	472672	5051	-	2333	-	-	-	2095	4655	7716	9267	5813
Lumpy slag	399349	5051	-	2333	-	-	-	-	-	-	-	-
Lumpy & pelletised slag	135768	5051	-	2333	-	-	-	-	-	-	-	-
Disseminated slag	145768	5051	-	2333	-	-	-	-	-	-	-	-
Sandblast material & pelletised slag	103375	5051	-	2333	-	-	-	-	-	-	-	-
Beneficiation tailings with pyrite	305053	5051	1800	2333	3833	3611	3564	2095	4655	7716	9267	5813
Pyritiferous tailings	209029	-	-	-	3833	3611	-	-	-	-	-	-
Dissem. slag and beneficiation tailings	17344	5051	1800	2333	-	-	-	2095	4655	7716	9267	5813
Beneficiation tailings & other materials	23274	5051	1800	2333	-	-	-	2095	4655	7716	9267	5813
Beneficiation tailings & dissem. slag	2316	5051	-	2333	-	-	-	2095	4655	7716	9267	5813
Contaminated soil	5419644	5051	1800	2333	-	-	-	2095	4655	7716	9267	5813

Table 16. Cost/Benefit analysis for surgical remediation based on contamination sources.

Contamination sources/soil	Surface, m ²	Exposure Index	Social Benefit Index	Benefit Index BI	Least Cost Technology	Cost Index CI	Cost/Benefit Ratio CI/BI Ratio	Cost in Million Drachmas
Beneficiation/flotation residues	474211.83	67.9	1	67.9	Bio sludge+Phosphates+soil	4947	72.9	2205
Lumpy slag	397568.97	39.1	1	39.1	Clean soil cover + Vegetation	2333	59.7	835
Lumpy & pelletised slag	135764.79	43.8	1	43.8	Clean soil cover + Vegetation	2333	53.3	285
Disseminated slag	145008.07	39	1	39	Clean soil cover + Vegetation	2333	59.8	305
Sandblast material & pelletised slag	105813.29	44	1	44	Clean soil cover + Vegetation	2333	53.0	222
Beneficiation tailings with pyrite	305047.01	55	1	55	Limestone + Vegetation	3564	64.8	1022
Pyritiferous tailings	209029.94	62	1	62	Compact clay + Vegetation	3611	58.2	679
Dissem. slag and beneficiation tailings	17492.64	47	1	47	Clean soil cover + Vegetation	2333	49.6	37
Beneficiation tailings & other materials	23279.59	48	1	48	Clean soil cover + Vegetation	2333	48.6	49
Beneficiation tailings & dissem. slag	2169.52	41	1	41	Bio sludge+Phosphates+soil	4947	120.7	10
Contaminated soil	5419643.83	37	1	37	Clean soil cover + Vegetation*	2333	63.1	6829

*Using a 60% soil coverage (the rest is concrete)

Total Surface Area, ha	723.5	Total Remediation Cost	12478
-------------------------------	--------------	-------------------------------	--------------

This analysis is based on the present-day available information. The proposed surgical remediation plan should be used as a dynamic analysis tool, and not a static one. As new information is made available for remedial technologies, it should be incorporated into the plan and the plan revised. The total cost of rehabilitation using the least cost technology is 12.5 billion drachmas (37 million Euro at the present exchange rate). The most expensive area for remediation is that covered by contaminated soil, because it has the largest surface area. The least expensive area is covered by beneficiation/flotation residues with disseminated slag, because it has the smallest surface area. This corresponds to 73,000 Euro/ha (VAT is not included).

Table 17. Cost/Benefit analysis matrix for surgical remediation – Land use based analysis benefit matrix

SMELTER WASTES		Area (m ²)	Exposure Index Median	Social Benefit Index	Benefit Index BI	Cost Index CI	Cost/Benefit Ratio CI/BI Ratio
1. BENEFICIATION/FLOTATION RESIDUES (Savoura)		474211.83				4947	
1. Residential area, Tillage, Forest, Open space		Area (m²)	Median EI	SBI	BI	CI	CI/BI Ratio
House, shop, church	21134.33	81.0	1	81.0		61.1	
House with a garden	56725.11	80.2	1	80.2		61.7	
School	1546.28	62.4	1	62.4		79.3	
Playground	2159.92	60.4	1	60.4		81.9	
Football pitch, sports field	2992.68	72.9	1	72.9		67.9	
Olive grove	32475.22	82.9	1	82.9		59.7	
Vineyard	64325.71	84.7	1	84.7		58.4	
Pine forest	5184.30	62.0	1	62.0		79.8	
Open space with trees ± (olives, figs, etc.)	32830.31	58.2	1	58.2		85.0	
Open space with trees ± (bushes, trees)	226319.20	58.8	1	58.8		84.1	
2. Industrial, Commercial							
Ore treatment plant & storeroom	7997.45	72.5	1	72.5		68.2	
Petrol station, garage & motor repairs	1040.34	63.5	1	63.5		77.9	
Iron converter industry & trading	6367.88	66.3	1	66.3		74.6	
Other industries, storage sites	1546.21		1				
Building materials storehouses	11566.89	62.4	1	62.4		79.3	
2. LUMPY SLAG		397568.97				2333	
1. Residential area, Tillage, Forest, Open space		Area (m²)	Median EI	SBI	BI	CI	CI/BI Ratio
House, shop, church	8578.57	66.5	1	66.5		35.1	
House with a garden	9448.96	63.5	1	63.5		36.7	
School	6867.05	48.6	1	48.6		48.0	
Football pitch, athletic ground	4987.05	53.7	1	53.7		43.4	
Olive grove	1358.63		1				
Pine forest	404.89		1				
Open space with trees ± (olives, figs, etc.)	273.34		1				
Open space with trees ± (bushes, trees)	263317.90	37.3	1	37.3		62.5	
2. Industrial, Commercial							
Ore treatment plant & storeroom	15712.56	47.8	1	47.8		48.8	
Smokeduct	927.09		1				
Factory (ammunition, weapons, matches), storerooms	27370.74	41.6	1	41.6		56.1	
Petrol station, garage & motor repairs	131.59		1				
Iron converter industry & trading	1815.31	43.7	1	43.7		53.4	
Cotton weaving industries	4604.09	35.7	1	35.7		65.4	
Other industries, storage sites		45.9	1	45.9		50.8	
Building materials storehouses	4321.04	42.2	1	42.2		55.3	
Port installations	46572.83	34.5	1	34.5		67.6	
Marble quarry	877.33	27.8	1	27.8		83.9	
3. LUMPY AND PELLETISED SLAG		135764.79				2333	
1. Residential area, Tillage, Forest, Open space		Area (m²)	Median EI	SBI	BI	CI	CI/BI Ratio
House, shop, church	431.53		1				
Olive grove	1329.72		1				
Open space with trees ± (bushes, trees)	96513.36	41.2	1	41.2		56.6	
2. Industrial, Commercial							
Ore treatment plant & storeroom	37348.66	52.9	1	52.9		44.1	
Old mining works	141.52		1				

..... Table 17. Cost/Benefit analysis matrix for surgical remediation – Land use based analysis benefit matrix

SMELTER WASTES		Area (m ²)	Exposure Index Median	Social Benefit Index	Benefit Index BI	Cost Index CI	Cost/Benefit Ratio CI/BI Ratio
4. DISSEMINATED SLAG		145008.07			2333		
1. Residential area, Tillage, Forest, Open space		Area (m²)	Median EI	SBI	BI	CI	CI/BI Ratio
House, shop, church		6290.20	60.4	1	60.4		38.6
House with a garden		1030.78	65.5	1	65.5		35.6
School		8.91		1			
Park		105.29		1			
Olive grove		4552.25	60.8	1	60.8		38.4
Vineyard		1058.77		1			
Open space with trees ± (olives, figs, etc.)		1387.82		1			
Open space with trees ± (bushes, trees)		93252.70	35.5	1	35.5		65.7
2. Industrial, Commercial							
Ore treatment plant & storeroom		656.82	34.9	1	34.9		66.8
Factory (ammunition, weapons, matches), storerooms		25422.13	44.3	1	44.3		52.7
Iron converter industry & trading		9881.61	44.7	1	44.7		52.2
Other industries, storage sites		49.42		1			
Building materials storehouses		1308.63		1			
Marble quarry		2.74		1			
5. SAND-BLAST WASTES		105813.29			2333		
1. Residential area, Tillage, Forest, Open space		Area (m²)	Median EI	SBI	BI	CI	CI/BI Ratio
House, shop, church		2270.96	63.9	1	63.9		36.5
House with a garden		637.30		1			
Olive grove		626.92		1			
Vineyard		27.01		1			
Open space with trees ± (bushes, trees)		67878.50	41.2	1	41.2		56.6
2. Industrial, Commercial							
Ore treatment plant & storeroom		28682.82	52.3	1	52.3		44.6
Sandblasting units with slags		2436.98	47.5	1	47.5		49.1
Factory (ammunition, weapons, matches), storerooms			31.4	1	31.4		74.3
Cotton weaving industries		3252.80	43.9	1	43.9		53.1
6. BENEFICIATION/FLOTATION SAND WITH WITH DISSEMINATED PYRITE		305047.01			3564		
1. Residential area, Tillage, Forest, Open space		Area (m²)	Median EI	SBI	BI	CI	CI/BI Ratio
House, shop, church		2664.05	54.9	1	54.9		64.9
School		21397.48	60.2	1	60.2		59.2
Park		4962.74	68.8	1	68.8		51.8
Football pitch, athletic ground		28825.46	68.2	1	68.2		52.3
Pine forest		141.10		1			
Open space with trees ± (bushes, trees)		246937.10	53.3	1	53.3		66.9
2. Industrial, Commercial							
Ore treatment plant & storeroom		42.65		1			
Cotton weaving industries		76.43		1			
7. PYRITIFEROUS TAILINGS		209029.94			3564		
1. Residential area, Tillage, Forest, Open space		Area (m²)	Median EI	SBI	BI	CI	CI/BI Ratio
House, shop, church		3353.50	86.7	1	86.7		41.1
House with a garden		729.18		1			
Olive grove		6773.52	75.3	1	75.3		47.3
Pine forest		9.41		1			
Open space with trees ± (bushes, trees)		149967.80	59.8	1	59.8		59.6
2. Industrial, Commercial							
Ore treatment plant & storeroom		44935.70	67.5	1	67.5		52.8
Smokeduct		2113.96	57.3	1	57.3		62.2
Aluminium converter industries		1146.87		1			

..... Table 17. Cost/Benefit analysis matrix for surgical remediation – Land use based analysis benefit matrix.

SMELTER WASTES		Area (m ²)	Exposure Index Median	Social Benefit Index	Benefit Index BI	Cost Index CI	Cost/Benefit Ratio CI/BI Ratio
8. DISSEMINATED SLAG AND COARSE-GRAINED BENEFICIATION/FLOTATION RESIDUES		17492.64				2333	
1. Residential area, Tillage, Forest, Open space		Area (m²)	Median EI	SBI	BI	CI	CI/BI Ratio
House with a garden		146.42		1			
Open space with trees ± (bushes, trees)		12215.16	45.5	1	45.5		51.3
2. Industrial, Commercial							
Petrol station, garage & motor repairs		3948.60	52.5	1	52.5		44.4
Building materials storehouses		1182.46	48.6	1	48.6		48.0
9. BENEFICIATION/FLOTATION SAND AND COARSE-GRAINED MATERIALS		23279.59				2333	
1. Residential area, Tillage, Forest, Open space		Area (m²)	Median EI	SBI	BI	CI	CI/BI Ratio
Open space with trees ± (bushes, trees)		23208.43	48.6	1	48.6		48.0
2. Industrial, Commercial							
Ore treatment plant & storeroom		71.16		1			
10. BENEFICIATION/FLOTATION RESIDUES WITH DISSEMINATED SLAG		2169.52				4947	
1. Residential area, Tillage, Forest, Open space		Area (m²)	Median EI	SBI	BI	CI	CI/BI Ratio
Open space with trees ± (bushes, trees)		2169.52	41.0	1	41.0		120.7
11. CONTAMINATED SOIL		5419643.83				2333	
1. Residential area, Tillage, Forest, Open space		Area (m²)	Median EI	SBI	BI	CI	CI/BI Ratio
House, shop, church		436463.31	52.2	1	52.2		44.7
House with a garden		347921.46	52.2	1	52.2		44.7
School		14793.44	52.7	1	52.7		44.3
Playground		4564.69	50.6	1	50.6		46.1
Park		35803.98	51.0	1	51.0		45.7
Football pitch, sports field		2732.12	46.3	1	46.3		50.4
Olive grove		392859.16	56.1	1	56.1		41.6
Vineyard		57788.55	56.5	1	56.5		41.3
Vegetables		14681.36	53.3	1	53.3		43.8
Wheat		11222.18	58.0	1	58.0		40.2
Pine forest		366758.76	28.6	1	28.6		81.6
Open space with trees ± (olives, figs, etc.)		77231.18	31.8	1	31.8		73.4
Open space with trees ± (bushes, trees)		2714862.83	31.0	1	31.0		75.3
Archaeological site		4243.66	29.8	1	29.8		78.3
Cemetery		13537.25	37.3	1	37.3		62.5
2. Industrial, Commercial							
Ore treatment plant & storeroom		137775.64	42.4	1	42.4		55.0
Smokeduct		20317.89	33.1	1	33.1		70.5
Lead-acid battery factory		41403.68	47.1	1	47.1		49.5
Factory (ammunition, weapons, matches), storerooms		385204.11	32.5	1	32.5		71.8
Petrol station, garage & motor repairs		7070.45	40.0	1	40.0		58.3
Iron converter industry & trading		101571.84	31.4	1	31.4		74.3
Aluminium converter industries		1913.51		1			
Cotton weaving industries		111298.73	39.6	1	39.6		58.9
Other industries, storage sites		8310.96	34.5	1	34.5		67.6
Building materials storehouses		8720.35	32.5	1	32.5		71.8
Port installations		95002.07	33.3	1	33.3		70.1
Marble quarry		3779.06	27.8	1	27.8		83.9
Old mining works		915.89		1			
Municipal waste Site		895.72		1			

It is suggested that the best way to solve the problem is to plan an 11 year financial commitment, that would include an initial investment of 2-3 billion drachmas to minimise dust, and address the highest priority issues, and an annual 10 year-1 billion drachmas investment. The initial first year investment could rehabilitate a large portion of contaminated soil in the residential area, the area covered by the extensive pile of

beneficiation residues (“*savoura*”), and the pyritiferous tailings of Kavodokanos area. The remaining annual investment can follow the cost/benefit analysis priorities.

It is emphasised that other remedial alternatives should be continuously investigated, in order to apply alternative solutions with a lower cost. Such remedial practices could include:

- a. Dig and dispose the residue in the old abandoned mines or hazardous waste landfills,
 - In such a case, a study should be performed to evaluate the environmental impacts.
- b. Examine ways to beneficially utilise the flotation residues without creating any threat to the environment,
 - Hazardous metallurgical wastes have been used in the past by the construction industry. These particular flotation residues, however, apart from their high toxic element concentrations have a high sulphur content, rendering it inappropriate for use in concrete construction. There is, however, the possibility to mix these materials with appropriate additives to satisfy the quality specifications, with respect to the mechanical properties and **environmental characteristics** of the final products.
- c. Other methods for reducing direct exposure of the population to surficial contaminants.
 - These methods might include a combination of remedial and legal actions. An example might be the physical stabilisation of fine-grained materials dust in the Kavodokanos area in conjunction with land use legislation of prohibiting its use by the population.

4.4. EDUCATION – LIFESTYLE

The environmental contamination problem in Lavrion and its adverse health effects on the population are enormous. It is unrealistic to believe that a comprehensive solution will be achieved in a short period. The solution of the problem will require, in addition to surgical remediation, other approaches, such as life-style changes through education. Education is extremely important because it can minimise effectively the direct exposure of the population. Education should be directed towards a specific audience, and in this particular case, it consists of the following groups:

- children,
- “exposed” labour,
- population living on “high risk” areas, and
- general public.

The effectiveness of education depends on the ability of the target audience to comprehend the educational material (level of education) as well as their willingness to accept the outcome. In general, it is hard for older people, set in their one way of living (with lower level of education), to accept suggested life-style changes easily. On the other hand, children can be moulded more easily, and adapt to new life-styles that minimise exposure to contaminants. Further, other sociological factors play an important role. Similarly, segments of the population are highly susceptible, either because they are living on areas with metallurgical wastes or are working on them. Educational actions should be targeted to address their needs. Table 18 presents a set of action items for educating target populations to minimise exposure to contaminants.

Table 18. Action items for educating target populations to minimise exposure to contaminants.

<p>◆ Education of Children</p> <p><u>Action Items:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Develop workshops for teachers ▪ Produce brochures and books on the health related environmental problems and suggested solutions ▪ Produce video films, CD-Roms and computer games that address the health related environmental problem and suggested solutions <p>◆ Education of “Exposed” Labour</p> <p><u>Action Items:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Develop guidelines of human health protection for workers at their work place ▪ Conduct health and safety training workshops and develop training material ▪ Incentives for companies to promote health and safety training <p>◆ Education of Population living on “high risk” areas with metallurgical waste residues</p> <p><u>Action Items:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Develop targeted educational material for site-specific low cost remedial alternatives ▪ Produce brochures and books on low cost remedial alternatives and technical support for their implementation ▪ Financial incentives for relocation <p>◆ Education of General Public</p> <p><u>Action Items:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Develop targeted educational material for low cost remedial alternatives ▪ Produce brochures and books on the health related environmental problem and how-to low cost remedial alternatives ▪ Provide technical support for implementation of low cost remedial alternatives

Some of the recommendations in Table 18 are of particular importance and urgency regarding human safety with respect to health. It is extremely urgent that the Municipality establishes, in collaboration with the Lavrion Medical Centre and other experts, guidelines on human health and safety for people working on the metallurgical processing wastes. These people should be aware of the dangers of working in a hazardous area, and should be provided with health and safety training. In many cases, industrial areas show a high cost/benefit ratio, indicating low priority for remediation (due to small number of people exposed to the wastes). Health and safety training will reduce, however, the direct exposure risk of this small, but extremely sensitive segment of the population. It is also suggested, that the Municipality, in collaboration with Central Government, provides industrial incentives (*e.g.*, income-tax allowance, publicity of participation in brochures, *etc.*) in order to ensure the co-operation of the local industry in the health and safety programme.

To finance such a rehabilitation project is always a challenge. It is suggested, that the Municipality establishes an educational programme to help residents, who want to remediate their own property (at their expense), to do it properly. This programme should consist of, not only brochures that would analyse low-cost remedial alternatives and how to implement them, but it must also provide technical support in the form of experts that would guide their restoration. For instance, the Municipality could hire environmental contamination experts, that upon a particular request, they could go to the property conduct soil analysis (using portable X-Ray Fluorescence spectrometers) to evaluate the degree of the problem, and suggest site-specific, low cost remedial alternatives. In this way, the Municipality can be spared the remediation cost of a large portion of the urban area, and at the same time reduce the health risk of the inhabitants. Such a programme

should be made available, and if implemented correctly, it will be very successful. Notable examples are the lead contaminated area of a Baltimore and New York suburbs in U.S.A. (Chisolm and Harrison, 1956; Jacobziner, 1966), and the land contaminated by lead/zinc smelting in the town of Trail (British Columbia, Canada), which is managed by the Trail Community Lead Task Force (Hilts, 1996).

4.5. LEGISLATIVE ACTION

Legislative action should be an urgent item in the long-term viable solution of rehabilitation of soil in Lavrion, because several issues require such action. It is suggested that the Municipality of Lavreotiki creates immediately a task group, from all interested parties, to study each item of the proposed legislative agenda. The task group should comprise civic leaders, scientists, industry representatives, and members of public and non-profit organisations. Immediate issues for legislative action include:

- Land use changes to minimise human exposure and facilitate soil rehabilitation,
- Health and safety regulations for labour, and
- Legislation to regulate drinking of ground water and consumption of locally grown crops.

It has been established in this project, that living on metallurgical wastes exposes the population to a very high health risk. Previous actions taken by the Municipality of Lavreotiki to provide incentives for relocation of residential houses [from the area covered by the flotation residues (“savoura”) to a less contaminated area] have proven unsuccessful. Voluntary relocation has also been unsuccessful. A combination of an educational approach, together with specific legislation on land use changes, should produce better long-term results. It is suggested that legislation on land use changes should focus on minimising human exposure and facilitating soil rehabilitation.

To ensure longevity of the educational programme for “exposed” labour, health and safety regulations are also suggested. Their implementation should guarantee participation of local industry, formalise the various incentives, and provide the formal avenue for establishing health and safety training guidelines.

Finally, legislation should be established to regulate utilisation of local ground water, and consumption of local produce. In this study, it was shown that ground water resources in the area are under an imminent threat of contamination (refer to Chapter 10 in Volumes 1 and 2 of this report). Similarly, limited sampling of local produce indicated extensive accumulation of lead and arsenic. Both ground water and locally grown produce can provide a route of exposure of the local population. To minimise such a risk, it is suggested that both ground water and locally grown produce be regulated. This regulation should ensure the elimination of drinking unsafe ground water and eating locally grown produce.

5.0. DISCUSSION AND CONCLUSIONS

This report presented the development of an ***Integrated Environmental Management Scheme for the Lavrion urban area***. A comprehensive evaluation of all the geochemical and medical data available for the area was conducted, and an assessment of the status of the environment was carried out. In addition, a cost/benefit analysis was performed to establish priorities for surgical remediation. This analysis took under consideration the various primary and secondary sources of contamination (*i.e.*, metallurgical processing wastes and contaminated soil), land use, and techniques suitable for rehabilitation of contaminated soil, pyritiferous tailings and beneficiation/flotation residues, and their approximate cost. Furthermore, preventive measures to eliminate further soil contamination in the studied area were also considered. The conclusions of this study are outlined below.

5.1. EVALUATION OF EXISTING CONDITIONS

To assess the impacts, due to direct exposure of the population, the following pathways were considered:

- direct ingestion of soil,
- ground water,
- local grown produce,
- inhalation of particulate matter, and
- dermal absorption.

1. **Soil**: To assess direct exposure of the population to contaminated soil, a detailed geochemical survey was conducted, as part of this project, in order to map the extent and degree of contamination of surficial “soil” in the town of Lavrion. For this purpose, 224 surface overburden/soil samples were collected. The samples underwent chemical analysis for total element concentrations and sequential chemical extraction fractionations (refer to Volumes 1 & 2 of this report). Total lead concentrations in surficial soil range from 810 to 151,579 mg/kg, with a mean of 11,578 mg/kg and a median of 7,305 mg/kg (Map 3.4 in Volume 2 of this report). Results have shown that soil is seriously contaminated, and local geochemical background conditions could not be assessed. Hence, 140 rock geochemical samples were collected, and the local natural geochemical baseline conditions determined, *e.g.*, lead in rock samples varies from 1 to 1,850 mg/kg, with a mean of 76.9 mg/kg and a median of 22 mg/kg (Map 3.1 in Volume 2 of this report). Comparison of rock and soil geochemical results shows the extreme contamination of the Lavrion surface environment.

The US EPA risk assessment methodology for establishing site-specific screening action levels was followed for the Lavrion urban area. Further, the State of Connecticut adaptation, of the risk assessment equations to develop its Commercial/Industrial SALs, was used. In case the background concentration of chemical elements is significantly higher than the calculated levels, then the background value was used. This procedure determines the clean-up level of soil to be at the local natural geochemical background level.

Generally, there are four elements (Antimony, Arsenic, Lead and Mercury) that have a mean hazard index greater than 1 in residential soil. Elements, which exceed the Commercial/Industrial SALs for soil, were arsenic and lead. Residential soil has a higher Multiple Chemical Potential Impact Index (127) than industrial soil (109) and house dust (37), indicating that a higher priority should be placed on remediating the residential areas first. *The degree of toxic element contamination of the soil in the Lavrion urban area is very high and it poses a significant health hazard concern.*

2. **Air:** There are very few ambient air monitoring measurements in Lavrion. The existing data suggest that air in Lavrion was at hazardous levels in the late 1980's. It is proposed, that new studies should be carried out to evaluate current air pollution levels. Given the fine-grained nature of some of the metallurgical waste residues, inhalation could be a predominant pathway of heavy metal intake of the residents. *Installation of a monitoring station for the collection of data that would be used to assess the current air pollution situation is highly recommended.*
3. **Ground water:** The water resources of the region consist primarily of ground water. There are no rivers (other than some ephemeral streams that carry excess runoff as overland flow) or lakes in the Municipality. The impacts of heavy metal contamination to ground water have not been assessed properly yet. There have been only few ground water quality measurements. These data are consistent with high anion concentrations due to sea-water intrusion and nitrate contamination. Heavy metal concentration measurements are limited. The few measurements appear to indicate that copper, cadmium and lead concentrations might be exceeding US EPA's water quality criteria. *More water quality measurements are warranted to fully assess the quality of ground water in order to issue appropriate warnings.* The measurements should also include arsenic, beryllium and antimony, because of the potential of being leached from contaminated soil and other overburden materials, and their known carcinogenic nature. There is the potential that local ground water quality to progressively worsen due to continuous infiltration of contaminants through the unsaturated permeable materials. Low rainfall rates and low permeability of the material, combined with its high capacity to attenuate heavy metals (due to high carbonate content), have prevented extensive contamination of ground water. However, there is some indication that contaminant elements are being slowly leached downwards into the soil, and they could potentially breakthrough the unsaturated zone (refer to Chapter 10 of Volumes 1 & 2 of this report, and Volume 1B).
4. **Local Produce:** Agricultural activities within the Municipality consist of private vegetable gardens, and small size olive groves and vineyards. Unfortunately, most of these agricultural activities are taking place in areas where metallurgical residues exist. Studies on the uptake of heavy metals of vegetation grown in the area are limited and sketchy at best. These data indicated, however, high toxic element accumulation. Given that this produce is more likely to be consumed by the owners of the groves and their families, *it is advisable that these people be warned of the dangers of high lead accumulation and to suggest that this practice be discontinued immediately.*
5. **Health Effects:** The effects of intensive metallurgical activity, and subsequent natural and anthropogenic dispersal of waste materials, have been extensively studied in the

Lavrion urban area in the past 20 years. Reinterpretation of the cross-sectional epidemiological results found a strong geographical link between the degree of surficial soil contamination and observed illnesses, *i.e.*, mental retardation and slower response time in children, and increase in sickness and mortality rates in adults working in the Pb metallurgical plant. Blood, urine and deciduous teeth concentrations of lead and arsenic in children were considered to be within the toxicity range.

Epidemiological studies have found significant impacts on human health such as

- *“there is a negative relationship between blood-Pb and the psychometric intelligence and attentional performance”* in the children of Lavrion, and
- *“children who have lived all their life near the smelter exhibited a significant excess of pathological features and persistent evidence of organic brain damage and associated behavioural effects”*.

These conclusions indicate that *“urgent action is required to reduce the degree of lead exposure of children in Lavrion”*.

Arsenic levels are also high and the people are at risk to arsenicosis. Even though, the arsenic in the soil of Lavrion is not so bioavailable, as in other areas of the world, such as Bangladesh and India (which is found in the water), and no dosage comparisons have been made, the high arsenic excretion rates reported in urine samples of adults and children, require that medical practitioners in the region be aware of the symptoms of arsenicosis, and be capable of diagnosing it promptly.

Overall, it is justified to conclude that there is sufficient evidence that links adverse human health effects with the surficial contamination of soil (overburden materials) at the town of Lavrion.

5.2. ENVIRONMENTAL MANAGEMENT PLAN

The environmental management plan for the town of Lavrion aims to achieve a gradual minimisation of human exposure to toxic elements through:

- surgical remediation based on cost-benefit analysis,
- life style changes through education, and
- legislative action for land use change,
- health and safety guidelines, and
- eliminating consumption of contaminated crops and ground water.

A methodology was developed, which sets priorities to areas for remediation based on a cost/benefit analysis. The methodology incorporated *Social Cost and Benefit Indices that* can be used to weigh public input into the process of rehabilitation. It is extremely important to engage the public in the decision making process, and to obtain public approval before a comprehensive rehabilitation plan is established. This is indeed significant, and it will ensure the success of the plan. The civic leaders of the town of Lavrion should recognise, early in the process, the usefulness of actively engaging the

public and all appropriate “stakeholders”. The term “stakeholders” applies to all interested parties, e.g., public, industrial and non-profit organisations, and in general any person who may have a vested interest in the solution of the problem. Such participation encourages a decision making process that is fair and transparent, and results in solutions that are acceptable to the majority. This active engagement of stakeholders should be guided by professional scientists, who will explain to the participants the technical aspects of the decision-making process, and professionals that specialise in conflict resolution that will establish acceptable rules of conduct and facilitate the decision-making process. Further, the town of Lavrion officials will raise their credibility profile in the opinion of the citizens if such a process is followed.

5.2.1. Cost/Benefit Analysis for Surgical Remediation

The cost/benefit methodology is based on present-day available information. The surgical remediation plan should, therefore, be used as a dynamic analysis tool and not as a static one. As new information about remedial technologies is made available, it should be incorporated into the plan and the plan revised.

An example of how cost/benefit analysis can be used to identify the *Best Available Technology (BAT)* for remediation of the Lavrion urban area was presented in this report. The total cost of rehabilitation using the least cost technology is 12.5 billion drachmas (37 million Euro at the present exchange rate). The most expensive area to be remediated is the contaminated soil, because it has the largest surface area. The least expensive area is covered by beneficiation/flotation residues with disseminated slag, because it has the smallest surface area. This corresponds to 73,000 Euro/ha (VAT is not included). It is suggested that the best way to solve the problem is to plan an 11 year financial commitment, that would include an initial investment of 2-3 billion drachmas to minimise dust and address the highest priority issues, and an annual 10 year-1 billion drachmas investment. The initial first year investment could rehabilitate:

- a portion of the contaminated soil in the residential area,
- the area covered by the extensive pile of beneficiation residues (“*savoura*”), and
- the pyritiferous tailings of the Kavodokanos area.

The remaining annual investment can follow the cost/benefit analysis priorities. It is emphasised that other remedial alternatives should be continuously investigated in order to produce an alternative with a lower cost. Such remedial practices could include:

- Dig and dispose the wastes in old abandoned mines or hazardous waste landfills;
- A study should be performed to evaluate the environmental impacts of disposing the metallurgical processing wastes in old mines or hazardous waste landfills;
- Examine ways to beneficially utilise the flotation residue material without creating any threat to the environment;
- Hazardous waste residues have been used in the past as part of the construction industry. This particular flotation residue, however, apart from its high toxic element levels has a high sulphur content, rendering it inappropriate for sole use in concrete construction. There is, however, the possibility to mix these materials with appropriate

additives to satisfy the quality specifications, with respect to the mechanical properties and **environmental characteristics** of the final products.

- Other methods for reducing direct exposure of the population to surficial contaminants;
- Methods combining remedial and legal actions. An example might be the partial remediation of a site, in order to suppress air transfer of contaminated particles, and legal measures to restrict access, and isolate the site from the population, *i.e.*, fencing, restriction of hazardous land use practices, *etc.*

5.2.2. Education – Lifestyle

The environmental contamination problem in Lavrion and its adverse health effects on the population are enormous. It is unrealistic to believe that a comprehensive solution will be achieved in a short period. Solution of the problem will require, in addition to surgical remediation, other approaches such as life-style changes through education. Education is extremely important, because it can minimise direct exposure effectively. Education should be directed towards a specific audience such as children, “exposed” labour, population living and working on “high risk” areas, and the public in general.

5.2.3. Legislative Action

Legislative action should be an urgent item in the long-term viable solution of the rehabilitation of soil in Lavrion. Immediate issues for legislative action include:

- Land use changes to minimise human exposure and facilitate soil rehabilitation,
- Health and safety regulations for labour working on “*high risk*” areas , and
- Legislation that would regulate the probable potable use of ground water, and consumption of locally grown crops.

REFERENCES

- 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.
- Biswas, B.K., Dhar, R.K., Samanta, G., Mandal, B.K., Faruk, I., Islam, K.S., Chowdhury, Md.M., Islam, A., Roy S. and Chakraborti, D., 1997. Detailed study report of Samta one of the arsenic affected villages of Jessore district, Bangladesh. *Current Science*, 73 (1): 48-58.
- Chatterjee, A., Das, D, Mandal, B.K., Chowdhury, T.R., Samanta, G. and Chakraborti, D., 1995. Arsenic in Ground water in Six Districts of West Bengal, India: The Biggest Arsenic Calamity in the World. Part 1. Arsenic Species in drinking water and urine of the affected people. *The Analyst*, Royal Society of Chemistry, UK, 120 (3): 643-650.
- Chisolm, J.J. and Harrison, H.E., 1956. The exposure of children to lead. *Pediatrics*, 18 (6): 943-950.
- Chronopoulos, J. and Chronopoulou-Sereli, C., 1986a. Scwermmetalltoleranz 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 Bleihüttenwerk. *Natur und Landschaft*, 66 (9): 442-443 (text in German with a summary in English).
- Conophagos, E.C., 1980. *Le Laurium antique et la technique Grecque de la production deo l'argent*. National Technical University, Athens, 458 pp. (In French).
- Das, D., Chatterjee, A., Mandal, B., Samanta, G., Chanda, B. and Chakraborti, D., 1995. Arsenic in Ground water in Six Districts of West Bengal, India: The Biggest Arsenic Calamity in the World. Part 2. Arsenic concentration in drinking water, hair, nails, urine, skin-scale and liver tissue (biopsy) of the affected people. *The Analyst*, Royal Society of Chemistry, UK, 120 (3): 917-924.
- Das, D., Samanta, G., Mandal, B.K., Chowdhury, T.R., Chanda, C.R., Chowdhury, P.P., Basu, G.K. and Chakraborti, D., 1996. Arsenic in groundwater in six districts of West Bengal, India. *Environ. Geochemistry and Health*, 18: 5-15.
- 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. Open File Report No. E6700, Inst. Min. Mineral Explor., Athens, Greece.
- Demetriades, A., Stavrakis, P., Vergou-Vichou, K. and Vassiliades, E., 1996. Soil rehabilitation in the Municipality of Lavrion, Environmental geochemistry, biomedicine and data management. Interim Technical Report, EU LIFE Programme 93/GR/A14/GR/4576, Institute of Geology and Mineral Explorations, Athens, Greece.
- Demetriades, A. and Vassiliades, E., 1998. Child blood lead content as a basis for risk assessment of the metallurgical processing residues and contaminated soil in Lavrion Attiki. Part I: Software, data bases, quality control, digital, statistical and geostatistical processing of data; Part II: Evaluation of child exposure to Lead in Lavrion as a basis for risk assessment (by E. Tristán, M.S. Rosenbaum, and M.H. Ramsey). Technical Report, Institute of Geology and Mineral Explorations, Athens, Greece.
- Dhar, R.K., Biswas, B.K.R., Samanta, G., Mandal, B.K.R., Chakraborti, D., Roy, S., Jafar, A., Islam, A., Ara, G., Kabir, S., Khan, A.W., Ahmed, S.A. and Hadi, S.A., 1997. Groundwater arsenic calamity in Bangladesh. *Current Sci.*, 73: 48-58.
- Douben, P.E.T. (Editor), 1998. *Pollution risk assessment and management*. J. Wiley & Sons, Chichester, U.K., 464 pp.

- Dounas, A., 1967. Hydrogeological conditions in the area of Lavrion municipality. Technical Report, Institute of Geology and Mineral Explorations, Athens, Greece. (In Greek).
- Eikmann, Th., Michels, S., Makropoulos, V., Krieger, Th. and Einbrodt, H.J., 1991. Cross-sectional epidemiological study on arsenic excretion in Urine of Children and workers in Greece. *Toxicological and Environmental Chemistry*, 31-32: 461-466.
- Eastman, J.R., (1997). Idrisi for Windows (version 2.0). Clark University, Massachusetts.
- 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: Volume 1, Scientific Basis. LQM Press, Nottingham, U.K.
- Fosse and Wesenberg, 1981. Lead, cadmium, zinc and copper in deciduous teeth of Norwegian children in the pre-industrial age. *Intern. J. Environmental Studies*, 16:163-170.
- Gilpin, A., 1995. Environmental impact assessment (EIA): Cutting edge for the twenty-first century. Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 182 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.
- Hatzigeorgiou-Stavrakis, P. and Vergou-Vichou, K., 1992. Environmental geochemistry study of the Lavrion and Agios Constantinos (Kamariza) area of Attica. Inst. Geol. Min. Expl., Athens, Greece, Open File Report E6778, 33 pp. (in Greek with English summary).
- Hilts, S.R., 1996. A co-operative approach to risk management in an active lead/zinc smelter community. *Environ. Geochemistry and Health*, 18: 17-24.
- ICME, 1997. Risk assessment and risk management of non-ferrous metals: Realizing the benefits and managing the risks. International Council on Metals and the Environment, Ottawa, Ontario, Canada, 114 pp.
- Jacobziner, H., 1966. Lead poisoning in childhood: epidemiology, manifestations and prevention. *Clin. Pediatr.*, 5 (5): 277-283.
- Johnson, B.L. and DeRosa, C.T., 1997. The toxicological hazard of Superfund hazardous waste sites. *Reviews on Environmental Health*, Vol. 12 (4): 235-251.
- Kafourou, A., Touloumi, G., Makropoulos, V., Loutradi, A., Papanagiotou A. and Hatzakis, A., 1997. Effects of Lead on the somatic growth of children. *Archives of Environmental Health*, 52 (5): 377-383.
- Kontopoulos, A., Komnitsas, K., Xenidis, A. and Kolitsa, D., 1995a. Biorehabilitation of the acid mine drainage phenomenon by accelerated bioleaching of mine waste. Progress Report, National Technical University of Athens, Athens, Greece.
- Kontopoulos, A., Papassiopi, N., Theodoratos, P. and Lianas, Z., 1995b. Technical Report, EU LIFE Programme 93/GR/A14/GR/4576, National Technical University of Athens, Athens, Greece.
- Kontopoulos, A., 1996. Soil rehabilitation in the municipality of Lavrion. Interim Technical Report, EU LIFE Programme 93/GR/A14/GR/4576, National Technical University of Athens, Athens, Greece.
- Kontopoulos, A. and Theodoratos, P., 1998. Rehabilitation of heavy metal-contaminated land by stabilisation methods. IV International Conference on "Clean Technologies for the Mining Industry, Environment and Innovation in Mining and Mineral Technology, M.A. Sanchez, F. Vegara and S.H. Castro (Eds.), University of Concepcion. May 13-15, Santiago, Chile.
- Kounis, G., 1981. Hydrogeological conditions in Lavrion. Technical Report, Institute of Geology and Mineral Explorations, Athens, Greece. (In Greek).
- Mandal, B.K., T. R. Chowdhury, G. Samanta, G. K.Basu, P. P. Chowdhury, C. R. Chanda, D. Lodh, N. K.Karan, R. K.Dhar, D. K.Tamili, D. Das, K.C.Saha, and D.Chakraborti, 1996. Arsenic in groundwater in seven districts of West Bengal, India-The biggest arsenic calamity in the world. *Current Science*, 70: 11,976-986.
- Manthos, G.K., 1990. The mining and metallurgical Lavrion. Municipality of Lavreotiki, Lavrion, 168 pp. (in Greek).
- 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.
- Makropoulos, W., Konteye, C., Eikmann Th. and Einbrodt, H.J., 1991. Cross-sectional epidemiological study on the lead burden of children and workers in Greece. *Toxicological and Environmental Chemistry*, 31-32; 467-477.

- Makropoulos, W., Stilianakis, N., Eikmann, Th., Einbrodt, H.J., Hatzakis A. and Nikolau-Papanagiotou, A., 1992. Cross-sectional epidemiological study of the effects of various pollutants on the health of children in Greece. *Fresenius Environ. Bull.*, 1: 117-122.
- Nakos, G., 1979a. Environmental contamination by lead: The fate of lead lead in soil and its effects on *Pinus halepensis*. Ministry of Agriculture, Hellenic Forestry Research Institute, Report No. 105, Athens, 34 pp. (in Greek with an English summary).
- Nakos, G., 1979b. Lead pollution: Fate of lead in the soil and its effects on *Pinus halepensis*. *Plant and Soil*, 53: 427-443.
- Nakos, S., 1985. Blood lead levels and renal tubular function in children living in an area polluted with lead. University of Ioannina, Greece. Unpublished Ph.D. thesis. 97 pp. (in Greek with English summary).
- Nikolaidis, N.P. and Lackovic, J.A., 1999. Development and application of a conceptual site model for evaluating contaminant mobility. *Global NEST: The International Journal*, (*In Review*).
- Noakes, M.J., 1998. Innovative use of minerals processing technologies for remediation of contaminated soils and other wastes. *Intern. Mining & Mineras*, 1 (1): 5-11.
- Stavrakis, P. Vergou-Vichou, K. and Demetriades, A., 1993. The contribution of geochemical exploration in the study of interior and exterior quality of the Lavrion and Ayios Constantinos (Kamariza) urban areas Attiki. In: *Proceedings Heleco'93, First International Exhibition and Conference of Environmental Technology for the Mediterranean Region*. Technical Chamber of Greece, Athens, Greece, II: 301-313 (in Greek with an English abstract).
- Stavrakis, P., Vergou-Vichou, K., Fosse, G., Makropoulos, V., Demetriades, A. and 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.*
- Tristán, E., Demetriades, A., Ramsey, M.H., Rosenbaum, M.S., Stavrakis, P., Thornton, I., Vassiliades, E. and Vergou, K., 2000. Spatially resolved hazard and exposure assessments: An example of Lead in soil at Lavrion, Greece. *Journal of Environmental Research* (in press).
- US Environmental Protection Agency, 1996. Soil screening guidance: Technical background document. EPA/540/R-95/128, PB96-963502, Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington, DC.
- US Connecticut, 1997. State of Connecticut regulation of Department of Environmental Protection, Section 22a-133k-1, January 1997, 66 pp.
- Xenidis, A., Komnitsas, K., Papassiopi, N. and Kontopoulos, A., 1997. Environmental implications of the 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, 3: 2575-2580.
- Zhang, J. and Li, X., 1987. Chromium pollution of soil and water in Jinzhou. *J. of Chinese Preventive Med.*, 21: 262-264.

APPENDIX A: EQUATIONS OF SCREENING ACTION LEVELS

A. EQUATIONS FOR RESIDENTIAL SOIL - INGESTION

1. Screening Level Equation for Ingestion of Noncarcinogenic Contaminants in Residential Soil (Source: U.S. EPA, 1996)

$$\text{ScreeningLevel}(mg/kg) = \frac{THQ * BW * AT * 365d / yr}{1 / RfD_o * 10^{-6} kg/mg * EF * ED * IR}$$

where:

THQ	= target hazard quotient (unitless)	= 1
BW	= body weight (kg)	= 15
AT	= averaging time (yr)	= 6
RfD _o	= oral reference dose (mg/kg-d)	= chemical specific (see appendix B)
EF	= exposure frequency (d/yr)	= 350
ED	= exposure duration (yr)	= 6
IR	= soil ingestion rate (mg/d)	= 200

2. Screening Level Equation for Ingestion of Carcinogenic Contaminants in Residential Soil (Source: U.S. EPA, 1996):

$$\text{ScreeningLevel}(mg/kg) = \frac{TR * AT * 365d / yr}{SF_o * 10^{-6} kg/mg * EF * IR_{soil/adj}}$$

where:

TR	= target cancer risk (unitless)	= 10 ⁻⁶
AT	= averaging time (yr)	= 70
SF _o	= oral slope factor (mg/kg-d) ⁻¹	= chemical specific (see appendix B)
EF	= exposure frequency (d/yr)	= 350
IF _{soil/adj}	= age adjusted soil ingestion factor (mg-yr/kg-d)	= 114

Equation for Age-Adjusted Soil Ingestion Factor, $IF_{soil/adj}$

$$IF_{soil/adj} (mg - yr / kg - d) = \frac{IR_{soil/age1-6} * ED_{age1-6}}{BW_{age1-6}} + \frac{IR_{soil/age7-31} * ED_{age7-31}}{BW_{age7-31}}$$

where:

$IR_{soil/age1-6}$	= ingestion rate of soil by children, age 1-6 (mg/d)	= 200
ED_{age1-6}	= exposure duration of ages 1-6 (yr)	= 6
BW_{age1-6}	= average body weight of ages 1-6 (kg)	= 15
$IR_{soil/age7-31}$	= ingestion rate of soil by children & adults age 7-31 (mg/d)	= 100
$ED_{age7-31}$	= exposure duration of ages 7-31 (yr)	= 24
$BW_{age7-31}$	= average body weight of ages 7-31 (kg)	= 70

B. EQUATIONS FOR INDUSTRIAL/COMMERCIAL SOIL – INGESTION

1. Screening Level Equation for Ingestion of Noncarcinogenic Contaminants in Industrial/Commercial Soil [Source: State of Connecticut, Remediation Standards Regulations, Section 22a-133k-1, January 1997(US Connecticut, 1997)]

$$\text{ScreeningLevel}(mg/kg) = \frac{THQ * BW * AT * 365d / yr}{1 / RfDo * 10^{-6} kg / mg * EF * ED * IR}$$

where:

THQ	= target hazard quotient (unitless)	= 1
BW	= body weight (kg)	= 70
AT	= averaging time (yr)	= 25
RfDo	= oral reference dose (mg/kg-d)	= chemical specific (see appendix B)
EF	= exposure frequency (d/yr)	= 250
ED	= exposure duration (yr)	= 25
IR	= soil ingestion rate (mg/d)	= 50

2. Screening Level Equation for Ingestion of Carcinogenic Contaminants in Industrial/Commercial Soil [Source: State of Connecticut, Remediation Standards Regulations, Section 22a-133k-1, January 1997(US Connecticut, 1997)]

$$\text{ScreeningLevel}(mg/kg) = \frac{TR * AT * BW * 365d / yr}{SF_o * 10^{-6} kg / mg * IR * ED * EF}$$

where:

TR	= target cancer risk (unitless)	= 10 ⁻⁶
AT	= averaging time (yr)	= 70
SF _o	= oral slope factor (mg/kg-d) ⁻¹	= chemical specific (see appendix B)
EF	= exposure frequency (d/yr)	= 250
IR	= ingestion rate of soil (mg/d)	= 50
ED	= exposure duration	= 25
BW	= average body weight (kg)	= 70

C. EQUATIONS FOR RESIDENTIAL SOIL – INHALATION

1. Screening Level Equation for Inhalation of Noncarcinogenic Contaminants in Residential Soil (Source: U.S. EPA, 1996)

$$\text{ParticulateScreeningLevel}(mg / kg) = \frac{THQ * AT * 365d / yr}{1 / RfC * EF * ED * 1 / PEF}$$

where:

THQ	= target hazard quotient (unitless)	= 1
AT	= averaging time (yr)	= 70
RfC	= inhalation reference dose(mg/m ³)	= chemical specific (see appendix B)
EF	= exposure frequency (d/yr)	= 350
ED	= exposure duration (yr)	= 30
PEF	= particulate emission factor (m ³ /kg)	= 0.66*10 ⁹

2. Screening Level Equation for Ingestion of Carcinogenic Contaminants in Residential Soil (Source: U.S. EPA, 1996)

$$\text{ParticulateScreeningLevel}(mg / kg) = \frac{TR * AT * 365d / yr}{URF * 1000 \mu g / mg * (1 / PEF) * ED * EF}$$

where:

TR	= target cancer risk (unitless)	= 10 ⁻⁶
AT	= averaging time (yr)	= 70
URF	= inhalation unit risk factor (μg/m ³) ⁻¹	= chemical specific (see appendix B)
EF	= exposure frequency (d/yr)	= 350
ED	= exposure duration	= 30

And,

$$PEF(m^3/kg) = \frac{Q/C * 3600s/hr}{0.036 * (1-V) * (U_m/U_t)^3 * F(x)}$$

where:

Q/C = inverse of concentration at centre of square source (g/m ² -s per kg/m ³)	=	90.8
V = fraction of vegetative cover	=	0
U _m = mean annual windspeed	=	4.69
U _t = equivalent threshold value of windspeed at 7m (m/s)	=	11.32
F(x) = function dependent on U _m /U _t derived by using Cawherd <i>et al.</i> (1985) (unitless)	=	0.194

APPENDIX B. CALCULATIONS FOR DIRECT EXPOSURE SCREENING ACTION LEVELS FOR LAVRION

Substituting the default values to SAL equation presented in Appendix A, the reduced equations shown in Table B1 are obtained.

Table B2 presents the calculated SALs for Lavrion. The various adjustments made to the calculated SALs are discussed in the text.

Table B1. Equations for direct exposure screening action levels for Lavrion

Residential Equation- Ingestion:

Carcinogenic Substance	SAL = 0.6404/CSF
Non-carcinogenic	SAL = 78500 * RfD

Industrial Equation –Ingestion:

Carcinogenic Substance	SAL = 5.723/CSF
Non-carcinogenic	SAL = 2.044*10 ⁶ * RfD

Particulate Equation – Inhalation:

Carcinogenic Substance	SAL = 1.6/URF
Non-carcinogenic	SAL = 6.86*10 ⁸ * RfC

Table B2. Soil Screening Action Levels (SALs) for Lavrion.

Element	MCL (mg/kg)	Group	Cancer Slope Factor	Unit Risk Factor [(µg/m ³)-1]	Reference Dose (mg/kg-d)	Reference Concentration (mg/m ³)	Injection Residential Risk Based Direct Exposure Criteria [DEC] (mg/kg)		Injection Industrial/Commercial Risk Based Direct Exposure Criteria [DEC] (mg/kg)		Particulate Inhalation Risk Based Direct Exposure Criteria [DEC] (mg/kg)		Element	Lavrion's Background Values (mg/kg)
							Carcinogenic	Non-carcinogenic	Carcinogenic	Non-carcinogenic	Carcinogenic	Non-carcinogenic		
Antimony	6	-	-	-	4.00E-04	-	-	31	-	818	-	-	Antimony	-
Arsenic	50	A	1.5	4.30E-03	3.00E-04	-	0.4	-	3.8	-	372	-	Arsenic	25
Barium	2000	-	-	-	7.00E-02	5.00E-04	-	5495	-	143080	-	343000	Barium	-
Beryllium	4	B2	4.3	2.40E-03	5.00E-03	-	0.1	-	1.3	-	667	-	Beryllium	2
Cadmium	5	B1	-	1.80E-03	5.00E-04	-	-	39	-	1022	-	-	Cadmium	-
Chromium, total	100	A	-	1.20E-02	5.00E-03	-	-	131	-	3407	-	-	Chromium, total	140
Chromium, trivalent	-	-	-	-	1	-	-	19625	-	511000	-	-	Chromium, trivalent	-
Chromium, hexavalent	100	A	-	1.20E-02	5.00E-03	-	-	131	-	3407	-	-	Chromium, hexavalent	140
Copper	-	-	-	-	3.00E-02	-	-	2355	-	61320	-	-	Copper	-
Lead	-	-	-	-	5.00E-02	-	-	500**	-	1000**	-	-	Lead	-
Mercury	2	D	-	-	3.00E-04	3.00E-04	-	24	-	613	-	205800	Mercury	-
Nickel	-	A	-	2.40E-04	2.00E-02	-	-	1570	-	40880	-	-	Nickel	-
Silver	-	D	-	-	5.00E-03	-	-	393	-	10220	-	-	Silver	-
Vanadium	-	-	-	-	7.00E-03	-	-	550	-	14308	-	-	Vanadium	-
Zinc	-	-	-	-	3.00E-01	-	-	23550	-	613200	-	-	Zinc	-

Soil Screening Action Levels for Lavrion (mg/kg)			
Element	SAL(RES) (Residential)	SAL(IND) (Industrial)	Comments
Antimony	30	800	-
Arsenic	25	25	Background
Barium	5500	140000	-
Beryllium	2	2	Background
Cadmium	40	1000	-
Chromium, total	140	140	Background
Chromium, trivalent	20000	500000	Safety Factor of 4
Chromium, hexavalent	140	140	Background
Copper	2300	60000	-
Lead	500	1000	CT DEP's Value
Mercury	20	600	-
Nickel	1500	40000	-
Silver	390	10000	-
Vanadium	550	14000	-
Zinc	20000	610000	-

using EPA's values

using CT DEP's values

using EPA's values

** using CT DEP's values

LEGEND:

MCL = Maximum Contaminant Level

Group A = Human Carcinogen

Group B = Probable human carcinogen

Group B1 = limited evidence from epidemiological studies

Group B2 = "sufficient" evidence from animal studies and "inadequate" to no evidence from epidemiological studies

Group D = not classified as carcinogen

Note: trivalent chromium values were a quarter of their calculated risk due to the uncertainty in estimating Cr(III)/Cr(VI) ratios in soils.

Note: US EPA recommends that hexavalent chromium values be modified by a factor of 3 to account for expected interhuman and interspecies variability in toxicity raised by the study of Zhang and Li (1987).

Παράρτημα 1

ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΤΟΠΙΟΥ ΣΤΙΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΟΡΥΚΤΩΝ ΣΤΟ ΛΑΥΡΙΟ

Γεώργιος Μπρόφας

PRISMA, Κέντρο Αναπτυξιακών Μελετών, Εμπεδοκλέους 17, Αθήνα 116 35, Αθήνα, Ελλάδα

1.0. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Από την ομαδοποίηση των αποθέσεων υποπροϊόντων και παραπροϊόντων της μεταλλουργικής επεξεργασίας στο Λαύριο προκύπτουν ουσιαστικά τρεις κύριες κατηγορίες:

1. τα θειούχα απορρίμματα (πυρίτες) των οποίων η επιφάνεια περιορίζεται σε τρεις σωρούς (Καβοδόκανος, Φράγμα απορριμμάτων και πυρίτες Μποδοσάκη στον όρμο του Θορικού),
2. τα οξειδωμένα απορρίμματα (ανθρακικά) της επίπλευσης (σαβούρα), που καταλαμβάνουν ένα μεγάλο τμήμα της οικιστικής περιοχής του Λαυρίου, και
3. τις σκωρίες ή σκουρίες από τη μεταλλουργία μολύβδου, που απαντώνται σε τρεις κύρια περιοχές, βόρεια και νότια του λιμανιού του Λαυρίου και στον Καβοδόκανο (βλ. Χάρτης 2.3, Τόμο 2).

Τα παραπάνω υλικά αποτελούν, όχι μόνο στοιχεία οπτικής υποβάθμισης του τοπίου, αλλά κυρίως εστίες περιβαλλοντικής ρύπανσης και επιβαρύνουν σοβαρά την υγεία των κατοίκων (βλ. Τόμο 1 και 2). Κατά συνέπεια, οι χώροι αυτοί επιβάλλεται να αποκατασταθούν, με τρόπο ώστε να δεθούν με το τοπίο της περιοχής, και να πάψουν να αποτελούν συνεχή πηγή ρύπανσης του περιβάλλοντος και απειλή για την υγεία των κατοίκων.

Η αποκατάσταση των επιφανειών αυτών μπορεί να επιτευχθεί με αρκετούς τρόπους, που έχουν περιγραφεί διεξοδικά (βλ. Τόμο 3), και δεν αποτελούν αντικείμενο της παρούσας εργασίας, η οποία αναφέρεται κυρίως

- στα φυτικά είδη που θα επιλεγούν,
- στους τρόπους εγκατάστασης της βλάστησης, και
- στην εκτίμηση του κόστους.

Θεωρούμε όμως απαραίτητο να αναφερθούμε στη διαμόρφωση των αποθέσεων, που δεν έχει συζητηθεί, καθώς και σε μερικές παρατηρήσεις, οι οποίες αφορούν στην επικάλυψη με επιφανειακό έδαφος.

2.0. ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ

Πέρα από τις μεθόδους απομόνωσης ή εξυγίανσης/αδρανοποίησης των μεταλλουργικών απορριμμάτων, φρονούμε ότι θα πρέπει να προηγηθεί διαμόρφωση των αποθέσεων, έτσι ώστε να αποκτήσουν ηπιότερο ανάγλυφο, όπου θα επικρατούν μικρότερες κλίσεις και βέβαια όπου αυτό είναι απαραίτητο. Οι ηπιότερες κλίσεις (ανάλογες με τις κλίσεις του γύρωθε φυσικού εδάφους), που θα δημιουργηθούν

- θα επιτρέψουν στις αποθέσεις να αφομοιωθούν καλλίτερα στο τοπίο,
- θα καταστήσουν τις επιφάνειες προσπελάσιμες,
- θα αυξήσουν τον αριθμό των δυνατών χρήσεων της επιφάνειας,
- οι εργασίες αποκατάστασης θα γίνουν ευκολότερες-οικονομικότερες και
- κυρίως τα αποτελέσματα θα είναι περισσότερο σταθερά (διαρκή) με τον περιορισμό των διαβρώσεων και μετακινήσεων των υλικών.

Η διαμόρφωση των αποθέσεων μπορεί να γίνει αφαιρετικά, με φόρτωση και μεταφορά μέρους των απορριμμάτων σε παρακείμενες διαταραγμένες θέσεις (εκσκαφές, κ.λπ.) ή ισοπεδωτικά με τη χρήση προωθητήρα. Τα τοξικά μεταλλουργικά απορρίμματα να τοποθετούνται στους βαθύτερους ορίζοντες και να σκεπάζονται από μη ρυπασμένο έδαφος. **Επισημαίνεται ότι αυτά τα τοξικά υλικά πρέπει να χρησιμοποιούνται, αποκλειστικά εντός της αστικής περιοχής του Λαυρίου, για τη διαμόρφωση περιοχών με προϋπάρχοντα μεταλλουργικά απορρίμματα, και δεν πρέπει να μεταφερθούν σε άλλες τοποθεσίες εκτός του Λαυρίου, δεδομένου ότι θεωρούνται τοξικά και επικίνδυνα για τη δημόσια υγεία** (βλ. Τόμους 1 και 2).

Κατά τη διαμόρφωση των μεταλλουργικών απορριμμάτων λαμβάνεται πρόνοια ώστε τα χονδρά υλικά να καταλαμβάνουν τα βαθύτερα στρώματα. Για τις εργασίες αυτές δεν υπάρχουν επίσημες τιμές (ΑΤΑΕ), και για την εκτίμησή τους χρησιμοποιήθηκαν τιμές, που έχουν προκύψει από την κοστολόγηση αναλόγων διαμορφώσεων που πραγματοποιούν οι ιδιωτικές μεταλλευτικές εταιρείες. Σύμφωνα με τις κοστολογήσεις αυτές (1997-1998) οι τιμές ανέρχονται σε:

- 250.000 δρχ./ στρέμμα, στη περίπτωση αφαιρετικής διαμόρφωσης των αποθέσεων. Αυτή όμως η μέθοδος δεν συνιστάται, δεδομένου ότι κατά την εκσκαφή, φόρτωση, μεταφορά και εναπόθεση δημιουργούνται επιπρόσθετα προβλήματα ρύπανσης, και σε
- 150.000 δρχ./στρέμμα στην περίπτωση διαμόρφωσης με ισοπέδωση.

*Αυτονόητο είναι βέβαια ότι κατά την διάρκεια των εργασιών **διαμόρφωσης τα υλικά των αποθέσεων θα διαβρέχονται διαρκώς**, έτσι ώστε να αποφευχθεί η δημιουργία σκόνης και η διασπορά της στον περιβάλλοντα χώρο.*

3.0. ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΚΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ

Η επικάλυψη των μεταλλουργικών αποθέσεων με επιφανειακό έδαφος προβλέπεται στην περίπτωση των θειούχων απορριμμάτων, πέραν των άλλων τεχνικών απομόνωσης. Το πάχος εδάφους που πρέπει να διαστρωθεί ποικίλλει ανάλογα με την περιοχή και το είδος των φυτών που θα χρησιμοποιηθούν. Για την επιβίωση δενδρωδών ειδών της ζώνης αυτής (π.χ. χαλέπιος πεύκη) απαιτείται ελάχιστο βάθος εδάφους 30 εκ. Μεγαλύτερο βάθος εδάφους θα επιτρέψει την καλλίτερη ανάπτυξη των φυτών και θα τα βοηθήσει να ριζώσουν καλλίτερα και βαθύτερα στο έδαφος ώστε να ανθίστανται στους ισχυρούς ανέμους που επικρατούν στην περιοχή. Στην περίπτωση ισχυρά κεκλιμένων επιφανειών (κλίση ισορροπίας των υλικών), το πάχος της

επικάλυψης με έδαφος δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 15 εκ., γιατί αυξάνεται η αστάθειά του και εμφανίζονται ολισθήσεις. Στις επιφάνειες αυτές η κάλυψη του εδάφους με βλάστηση θα προβλέπει μόνο αναχλόαση και οριακά τη χρήση φρυγανικών φυτικών ειδών.

Εκτός όμως από τα θειούχα, επικάλυψη μπορεί να εφαρμοσθεί επίσης στις σκωρίες καθώς και στα οξειδωμένα απορρίμματα (σαβούρα). Στις σκωρίες το ελάχιστο πάχος εδάφους θα είναι όπως παραπάνω, 30 εκ., ενώ στα οξειδωμένα απορρίμματα μπορεί να είναι και 10 εκ. Η τελευταία παρατήρηση συνδέεται με το γεγονός ότι η φυσική βλάστηση, όπως και καλλιεργούμενα είδη, αναπτύσσονται σχετικά καλά πάνω στα ανθρακικά (σαβούρα) και το επιφανειακό ρυπασμένο έδαφος. Αυτό πέρα από τη βελτίωση των εδαφικών συνθηκών, θα χρησιμεύσει κυρίως στην αποτελεσματική απομόνωση των ανθρακικών. Κατά την εκτίμησή μας δε η επικάλυψη με καθαρό έδαφος των ανθρακικών απορριμμάτων (σαβούρα) αποτελεί μια από τις καλλίτερες (αποτελεσματικότερες και οικονομικότερες) μεθόδους, αν όχι την καλλίτερη μέθοδο αποκατάστασης των ανθρακικών απορριμμάτων. Το κόστος της επικάλυψης με χώμα περιλαμβάνει την αγορά, την μεταφορά και τη διάστρωση του χώματος με μηχάνημα και αναλύεται ως εξής:

- προμήθεια και μεταφορά χώματος (σχ. αρθρ. 1710 ΠΡΣ) 2.000 δρχ./κ.μ.
- διαμόρφωση χώματος με ισοπεδωτήρα (σχ. Αρθρ 1140 ΑΤΕΟ) 5,2 δρχ./τ.μ.

Το κόστος αποκατάστασης ανά στρέμμα εξαρτάται από το πάχος του εδάφους, που θα διαστρωθεί. Έτσι στην περίπτωση διάστρωσης 30 εκ. ανέρχεται σε

- Κόστος χώματος 2.000 δρχ. x 0,30 μ. x 1.000 τ.μ.= 600.000 δρχ/στρέμμα
 - Διαμόρφωση χώματος 5,20 δρχ. x 1.000 τ.μ.= 5.200 δρχ/στρέμμα
- Σύνολο = 605.200 δρχ/στρέμμα

4.0. ΕΠΙΛΟΓΗ ΦΥΤΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Αφού διαμορφωθεί η επιφάνεια φύτευσης με μία από τις παραπάνω μεθόδους, θα ακολουθήσει η εγκατάσταση της βλάστησης. Προκειμένου να σταθεροποιηθούν τα εδάφη, πριν από τις φυτεύσεις, θα πρέπει να επιταχυνθεί η εγκατάσταση της ποώδους βλάστησης και αυτό μπορεί να γίνει με παραδοσιακή σπορά (στις οριζόντιες επιφάνειες) ή υδροσπορά με ή χωρίς επικάλυψη (mulching). Η ποώδης βλάστηση παρέχει γρήγορη προστασία των εδαφών με το υπέργειο τμήμα της. Τα είδη που θα δημιουργήσουν το μίγμα της σποράς θα πρέπει να περιλαμβάνουν πολυετή και ετήσια αγρωστώδη και ψυχανθή.

- Τα ψυχανθή με τα αζωτοβακτήρια του ριζικού τους συστήματος εμπλουτίζουν το έδαφος με τη δέσμευση του ατμοσφαιρικού αζώτου που φθάνει στο έδαφος.
- Τα αγρωστώδη σταθεροποιούν το επιφανειακό στρώμα του εδάφους με το πυκνό ριζικό τους σύστημα.
- Τα ετήσια είδη είναι απαραίτητα γιατί με την ξήρανση του υπέργειου τμήματος δημιουργούν άφθονη επικείμενη οργανική ουσία η οποία προστατεύει και εμπλουτίζει το έδαφος.

Το προτεινόμενο μίγμα σπόρων για σπορά ή υδροσπορά μπορεί να περιλαμβάνει μίγματα από τα παρακάτω είδη:

<i>Melilotus officinalis</i>	<i>Lolium rigidum</i>
<i>Medicago lupulina</i>	<i>Agrostis tenuis</i>
<i>Trifolium subterraneum</i>	<i>Dactylis glomerata</i>
<i>Anthyllis vulneraria</i>	<i>Festuca ovina</i>
<i>Sanguisorba minor</i>	<i>Cynodon dactylon</i>
<i>Phacelia tanacetifolia</i>	<i>Festuca rubra</i>

Ο αριθμός των ειδών στο μίγμα δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα 6 περίπου και θα γίνεται με μίξη αγρωστωδών και πλατυφύλλων, στα οποία θα περιλαμβάνονται οπωσδήποτε ψυχανθή, το ποσοστό των οποίων θα είναι μεγαλύτερο του 20% του συνόλου.

Η σπορά θα γίνεται ενωρίς το φθινόπωρο, με την έναρξη των πρώτων βροχών, έτσι ώστε με την ανάπτυξη της βλάστησης να καλυφθούν οι διαμορφωμένες επιφάνειες και να προστατευθούν από τις βροχοπτώσεις του φθινοπώρου και του χειμώνα. Ας ληφθεί υπόψη ότι, κατά το πρώτο έτος σχηματισμού των πρηνών, λαμβάνει χώρα το 80% της συνολικής διάβρωσης (για μία περίοδο μετρήσεων 8 ετών). Παράλληλα τα πολυετή φυτά, με τη φθινοπωρινή σπορά, θα προλάβουν να αναπτύξουν επαρκώς το ριζικό τους σύστημα, ώστε να αντιμετωπίσουν επιτυχώς την μακρά ξηροθερμική περίοδο του καλοκαιριού.

Η καταλληλότητα, αλλά και η αποτελεσματικότητα των διαφόρων μεθόδων σποράς και των παραλλαγών τους, ποικίλλει ανάλογα με τις συνθήκες, ενώ διαφορετικό είναι και το κόστος ανάλογα με τα υλικά και τα μηχανήματα που χρησιμοποιούν. Οι τιμές αυτές στηρίζονται σε εκτιμήσεις, υπολογισμούς και πληροφορίες, δεδομένου ότι δεν υπάρχουν τιμές εφαρμογής από επίσημο κρατικό φορέα. Παρακάτω παρουσιάζονται η καταλληλότητα των κυριωτέρων μεθόδων και οι παραλλαγές τους με το εκτιμώμενο κόστος για κάθε μία από αυτές.

4.1. ΣΠΟΡΑ ΜΕ ΤΟ ΧΕΡΙ

Η μέθοδος αυτή είναι η πιό φθηνή, η εφαρμογή της όμως είναι περιορισμένη και χρησιμοποιείται όταν δεν υπάρχει άλλη πιο πρόσφορη μέθοδος.

Το κόστος ανά στρέμμα με εργασία και υλικά 20 κιλά σπόρων και 50 κιλά λιπάσματος βάσης το φθινόπωρο [άζωτο:φωσφόρος:κάλιο (NPK):- 11:15:15] και 40 κιλά νιτρικής αμμωνίας (NH₄NO₃) την άνοιξη, ανέρχεται σε 60.000 δρχ.

4.2. ΣΠΟΡΑ ΜΕ ΓΕΩΡΓΙΚΟ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ

Η μηχανική σπορά γίνεται είτε ως ευρυσπορά και αφορά κυρίως το κάτω μέρος των πρηνών ή όλη την επιφάνεια, εφόσον πρόκειται για ήπιες κλίσεις, είτε ως σπορά σε αυλακίδια και αφορά επίσης ήπιες κλίσεις, η οποία θα πρέπει να προτιμάται, δεδομένου ότι θεωρείται από τις αποτελεσματικότερες μεθόδους σποράς.

Το κόστος των παραπάνω εργασιών, με τα ίδια υλικά και την εργασία του ελκυστήρα, ανέρχεται σε 70.000 δρχ./στρέμμα.

4.3. ΑΠΛΗ ΥΔΡΟΣΠΟΡΑ

Αυτή περιορίζεται στην εκτόξευση από τον υδροσπορέα υδατικού διαλύματος, που περιέχει μόνο σπόρους και λιπάσματα. Η παραλλαγή αυτή έχει περίπου τα ίδια

χαρακτηριστικά με την απλή ευροσπορά και δεν συνιστάται, ιδιαίτερα για το μεσογειακό κλίμα, εκτός από τις περιπτώσεις που οι συνθήκες είναι λίαν ευνοϊκές, ή δεν μπορεί να εφαρμοστεί άλλη μέθοδος.

Το κόστος της απλής υδροσποράς, μόνο με σπόρους, λίπασμα και την εργασία του υδροσπορέα, ανέρχεται σε 100.000 δρχ. περίπου το στρέμμα.

4.4. ΥΔΡΟΣΠΟΡΑ ΜΕ ΣΤΕΡΕΩΤΙΚΟ

Η παραλλαγή αυτή, σε σχέση με την προηγούμενη, περιλαμβάνει και στερεωτικό (κόλλα) στο μείγμα της υδροσποράς. Το στερεωτικό βοηθά στη συγκόλληση των σπόρων στο έδαφος και στερεώνει τα συσσωματώματα του εδάφους. Αυτός ο συνδυασμός ενισχύει την αντίσταση του εδάφους στη διάβρωση και προστατεύει τους σπόρους από την έκπλυση.

Αυτή η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί στην Ελλάδα, έχει δε καλλίτερη επιτυχία σε χαλαρά εδάφη με αμμώδη υφή και εφόσον χρησιμοποιηθεί πριν από την έναρξη των βροχών του φθινοπώρου.

Το κόστος της μεθόδου αυτής ποικίλλει ανάλογα με τη τιμή του στερεωτικού και ανέρχεται περίπου σε 160.000 δρχ. ανά στρέμμα. Εφόσον προστεθεί στο υδατικό διάλυμα της υδροσποράς και εδαφοβελτιωτικό η τιμή ανά στρέμμα αυξάνεται ανάλογα με την τιμή του εδαφοβελτιωτικού.

4.5. ΥΔΡΟΣΠΟΡΑ ΜΕ ΚΥΤΤΑΡΙΝΗ ΚΑΙ ΣΤΕΡΕΩΤΙΚΟ

Το μίγμα της υδροσποράς στην περίπτωση αυτή περιλαμβάνει νερό, σπόρους, λίπασμα, κυτταρίνη με μακρές ίνες (350-600 κιλά/εκτάριο), το οποίο εκτοξεύεται στην σπειρόμενη επιφάνεια και ακολουθεί δεύτερο πέρασμα της επιφάνειας με το διάλυμα του στερεωτικού.

Σε πολλές όμως περιπτώσεις η διαδικασία εφαρμόζεται σε ένα στάδιο, δηλ.το διάλυμα της υδροσποράς που περιλαμβάνει νερό, σπόρους, λίπασμα, κυτταρίνη και στερεωτικό (κόλλα) εκτοξεύεται συνολικά στη σπειρόμενη επιφάνεια.

Αυτή η μέθοδος είναι οπωσδήποτε καλλίτερη από τις προηγούμενες, γιατί δημιουργεί καλλίτερες συνθήκες φύτευσης των σπόρων και ανάπτυξης των φυτών και προστατεύει αποτελεσματικότερα τις επιφάνειες από τη διάβρωση.

Το κόστος της μεθόδου αυτής με τα παραπάνω υλικά και την εργασία ανέρχεται σε 190.000 δρχ. το στρέμμα περίπου.

4.6. ΥΔΡΟΣΠΟΡΑ ΜΕ ΑΧΥΡΟΚΑΛΥΨΗ ΚΑΙ ΣΤΕΡΕΩΣΗ

Στην περίπτωση αυτή το μίγμα της υδροσποράς περιλαμβάνει νερό, σπόρους, λίπασμα και ενδεχόμενα κάποια άλλα προϊόντα, που εκτοξεύονται στην επιφάνεια σποράς. Ακολουθεί επικάλυψη με άχυρο και στη συνέχεια ένα τρίτο πέρασμα της επιφάνειας του άχυρου με ασφαλικό διάλυμα, που στερεώνει το άχυρο. Θεωρείται από τις πλέον αποτελεσματικές μεθόδους, τόσο όσον αφορά στη δημιουργία ευνοϊκών συνθηκών για τη φύτευση των σπόρων και ανάπτυξη των φυτών, όσο και στην προστασία του εδάφους από τη διάβρωση.

Οι ποσότητες των υλικών που χρησιμοποιούνται ανά στρέμμα είναι: 20 κιλά σπόρων, 50 κιλά λιπάσματος βάσης, 600 κιλά αχύρου και 50-100 κιλά ασφαλτικού προϊόντος διαλυμένου σε 900 κιλά νερό.

Η μέθοδος αυτή συνιστάται για τις κλιματεδαφικές συνθήκες της Ελλάδας και γενικά έχει πολύ καλά αποτελέσματα. Εφαρμόζεται σχεδόν σε όλα τα εδάφη με περίοδο εφαρμογής από τις αρχές Σεπτεμβρίου μέχρι τέλος Νοεμβρίου και με τις προϋποθέσεις, που αναφέρονται αναλυτικά παραπάνω.

Το κόστος εφαρμογής της μεθόδου αυτής ανέρχεται σε 250.000 δρχ. το στρέμμα και περιλαμβάνει όλα τα στάδια.

5.0. ΦΥΤΕΥΣΗ

Αφού διαμορφωθούν και σταθεροποιηθούν τα εδάφη με την αναχλόαση θα ακολουθήσει φύτευση των επιφανειών αυτών το επόμενο έτος. Τα φυτά που θα χρησιμοποιηθούν προτείνεται να είναι μονοετή, γιατί έτσι θα έχουν λιγότερες απαιτήσεις σε νερό και θρεπτικά συστατικά και θα προσαρμοστούν ευκολότερα στο νέο τους περιβάλλον. Η φύτευση θα γίνεται ενωρίς το φθινόπωρο αμέσως μετά τις πρώτες βροχές.

Τα είδη που θα χρησιμοποιηθούν για την αναδάσωση είναι: *Pinus halepensis* (χαλέπιος πεύκη), *Cupressus sempervirens* v. *horizontalis* (οριζοντιόκλαδο κυπαρίσσι), *Ceratonia siliqua* (χαρουπιά), *Styrax officinalis* (αγριοκυδωνιά) και *Cercis siliquastrum* (κουτσουπιά) στις καλλίτερες θέσεις, *Spartium junceum* (σπάρτο), *Colutea arborescens* (κολουτέα), *Nerium oleander* (πικροδάφνη, στα όρια κυρίως), *Olea oleaster* (αγριελιά), *Pistacia lentiscus* (σχίνος), *Erica manipuliflora* (ρείκι), *Medicago arborea* (μηδική). Η *Robinia pseudoacacia* (ψευδακακία), όπως και η *Acacia cyanophylla*, αν και ξενικά είδη, θα μπορούσαν να προταθούν για βελτιωτικούς του εδάφους και αντιπυρικούς λόγους.

Επίσης, μπορεί να περιληφθούν και φρυγανικά είδη όπως περιγράφονται παρακάτω. Σε επιφάνειες κοντά στη θάλασσα θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν τα είδη *Tamarix* sp. (αρμυρίκι), *Eleagnus angustifolia* (τζιτζιφιά) και το μυόπωρο, τα οποία είναι ανθεκτικά σε αλατούχα εδάφη και στους αλατοφόρους ανέμους. Τα δύο πρώτα είδη θα χρησιμοποιούνται κυρίως ως ανεμοφράκτες για να προστατεύουν τα υπόλοιπα είδη στο εσωτερικό, ενώ το τρίτο θα χρησιμοποιείται κυρίως ως διακοσμητικό (π.χ., κατά μήκος των δρόμων).

Για τα πρηνή των θειούχων απορριμμάτων και των σκωριών, όπου το έδαφος επικάλυψης δεν θα είναι αρκετά βαθύ ώστε να επιτρέψει τη φύτευση δένδρων και θάμνων, θα χρησιμοποιηθούν φρυγανικά είδη όπως τα *Coridothymus capitatus* (θυμάρι), *Satureja thymbra* (θρούμπι), *Hypericum empetrifolium*, *Thymelea hirsuta*, *Lavandula stoechas* (λεβάντα) για όξινα εδάφη, *Cistus* sp. (λαδανιές), *Salvia* sp. (φασκόμηλο), κ.α., που θα είναι διαθέσιμα στα φυτώρια.

Η φύτευση των ειδών αυτών θα γίνει με μίξη κατά ομάδες 1, 3, 5 και 7 ατόμων για οικολογικούς και τοπιακούς λόγους, ενώ θα πρέπει να δημιουργηθούν και ζώνες με το οριζοντιόκλαδο κυπαρίσσι και τα πλατύφυλλα για αντιπυρικούς σκοπούς. Κυρίαρχο είδος όμως θα είναι η χαλέπιος πεύκη, η οποία θα αποτελεί το 60% του συνόλου των προς φύτευση δένδρων.

Το κόστος ανά στρέμμα της προτεινόμενης αναδάσωσης περιλαμβάνει τη δαπάνη φύτευσης και συντήρησης κατά τα πρώτα έτη των φυταρίων και αναλύεται ως εξής:

- α) Για τον υπολογισμό της τιμής διάνοιξης λάκκου 0,40 x 0,50 x 0,50 μ. σχετικά είναι τα άρθρα 2120, 2221 και 2222 (ΑΤΑΕ) και 5150 (ΠΡΣ).

Τιμή εφαρμογής- Διάνοιξης λάκκου: 371 δρχ. ανά φυτό.

- β) Φύτευση βωλοφύτων φυτών μέχρι ένα βάθος 0,50 μ. Σχετικό το άρθρο 3112 (ΑΤΑΕ)

Τιμή εφαρμογής- Φύτευσης: 330 δρχ. ανά φυτό.

- γ) Διαμόρφωση λάκκου συντήρησης(λεκάνη συγκράτησης νερού) βάθους 0.10μ και εμβαδού 0,30-0,50 τ.μ. (Σχετικό άρθρο 4200 ΑΤΑΕ).

Τιμή εφαρμογής - Διαμόρφωσης λάκκου συντήρησης: 82 δρχ. ανά φυτό.

- δ) Βοτάνισμα - Σκάλισμα σε επιφάνεια 1τ.μ. γύρω από το φυτό και σε βάθος 0,10μ (Σχετικό άρθρο 4100 ΑΤΑΕ).

Τιμή εφαρμογής βοτανίσματος-σκαλίσματος: 115 δρχ. ανά φυτό.

- ε) Λίπανση φυτών με 100 γρ. λιπάσματος ΝΡΚ (11:15:15) (Σχετικό άρθρο 5340 ΠΡΣ).

Τιμή εφαρμογής λίπανσης: 26 δρχ. ανά φυτό.

- στ) Πότισμα με 15 λίτρα νερό με μεταφορά μέχρι 5χλμ. (Σχετικό άρθρο 4300 ΑΤΑΕ).

Τιμή εφαρμογής ποτίσματος: 86 δρχ. ανά φυτό.

Για τον υπολογισμό του κόστους ανά στρέμμα θα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας ότι:

1. το σκάλισμα ανά φυτό θα επαναληφθεί δύο φορές,
2. το πότισμα το πρώτο έτος θα επαναλαμβάνεται κάθε 15 ημέρες για 5 μήνες, το δεύτερο έτος κάθε μήνα για τους ίδιους μήνες και το τρίτο έτος θα γίνουν δύο ποτίσματα (συνολικά 17 ποτίσματα ανά φυτό),
3. η λίπανση θα επαναληφθεί τουλάχιστον 3 φορές,
4. με φυτευτικό σύνδεσμο 2 x 2 μ. θα απαιτηθούν 250 φυτά ανά στρέμμα, και
5. η τιμή κάθε φυτού στα δασικά φυτώρια ανέρχεται σε 300 δρχ.

Με δεδομένα τα παραπάνω το κόστος φύτευσης και περιποίησης των φυτών ανά στρέμμα διαμορφώνεται ως εξής:

Αγορά:	250 φυτών x 300 δρχ	= 75.000 δρχ./στρ.
Διάνοιξη λάκκου:	250 φυτά x 371 δρχ.	= 92.750 δρχ./στρ.
Φύτευση ανά φυτό:	250 φυτά x 330 δρχ.	= 82.500 δρχ./στρ.
Διαμόρφωση λάκκου συντήρησης:	250 φυτά x 82 δρχ.	= 20.500 δρχ./στρ.
Σκάλισμα ανά φυτό:	250 φυτά x 2φορές x 115 δρχ.	= 57.500 δρχ./στρ.
Λίπανση ανά φυτό:	250 φυτά x 3 φορές x 26 δρχ.	= 19.500 δρχ./στρ.
<u>Πότισμα ανά φυτό:</u>	<u>250 φυτά x 17 φορές x 86 δρχ.</u>	<u>= 365.500 δρχ./στρ.</u>
	<u>Συνολικό κόστος φύτευσης-περιποίησης:</u>	<u>= 713.250 δρχ./στρ.</u>

5.1. Η ΣΠΟΡΑ ΚΑΙ Η ΦΥΤΕΥΣΗ

Η φύτευση των πρηνών με θάμνους και δένδρα συνήθως ακολουθεί την αναχλόαση και γίνεται την πρώτη ή τη δεύτερη, μετά τη σπορά, φυτευτική περίοδο, όταν θεωρηθεί ότι έχουν σταθεροποιηθεί οι επιφάνειες. Η φύτευση των ξυλωδών φυτών είναι μία ξεχωριστή διαδικασία και τα φυτά απαιτούν περιποίηση για 2-3 χρόνια μετά τη φύτευσή τους (πότισμα, σκάλισμα και ενδεχόμενα λίπανση).

Η παραπάνω διαδικασία της σποράς και φύτευσης θα μπορούσε να τροποποιηθεί, και κατά την εκτίμησή μας, να γίνει περισσότερο αποτελεσματική και με μικρότερο κόστος συντήρησης. Έτσι μετά τη διαμόρφωση της επιφάνειας, ακολουθεί η φύτευση των δένδρων και θάμνων και καλύπτεται ο λάκκος φύτευσης με πλαστικό διαμέτρου 40-50 εκ., από την οπή στο κέντρο του οποίου διέρχεται το φυτό. Το πλαστικό στη συνέχεια καλύπτεται με έδαφος και ακολουθεί η σπορά των ποωδών φυτών, με τη μέθοδο που έχει επιλεγεί. Με την παραπάνω διαδικασία τελειώνει με μία επέμβαση η αναχλόαση και αναδάσωση, ενώ προστατεύονται τα φυτά από το συναγωνισμό των ζιζανίων και μειώνεται ή και καταργείται το πότισμα των δένδρων. Η προτεινόμενη τεχνική της φύτευσης μπορεί να εφαρμοσθεί και στην περίπτωση, που η φύτευση ακολουθήσει την αναχλόαση.

Η μέθοδος της επικάλυψης του λάκκου συντήρησης με πλαστικό έχει εφαρμοστεί σε χώρες της Ευρώπης με καλά αποτελέσματα. Στη χώρα μας εφαρμόστηκε σε αναδάσωση (με Ψευδακακία και Ελάτη) αποθέσεων ασβεστολιθικών στείρων υλικών από εκμεταλλεύσεις βωξίτη (Μπρόφας, 1998). Οι μετρήσεις στο δεύτερο από τη φύτευση φθινόπωρο έδωσαν ποσοστά επιβίωσης 90% για την ελάτη και 98% για την ψευδακακία (Γ.Μπρόφας, αδημοσίευτα αποτελέσματα Ινστιτούτο Μεσογειακών Δασικών Οικοσυστημάτων και Τεχνολογία Δασικών Προϊόντων). Ας σημειωθεί δε, ότι κατά την διάρκεια των 2 ετών, τα φυτά δεν ποτίστηκαν.

6.0. ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ

Οι νεοσχηματιζόμενες εδαφικές επιφάνειες είναι συνήθως πολύ ευαίσθητες και πρέπει να διαχειρίζονται με προσοχή και να παρακολουθούνται μέχρι να σταθεροποιηθούν.

Οι παράμετροι που θα πρέπει να ελέγχονται είναι:

- τα σημαντικότερα θρεπτικά στοιχεία του εδάφους και κυρίως τα N, P, K, και
- η κατάσταση και σύνθεση της βλάστησης.

Έλλειψη θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος και κυρίως αζώτου μπορεί να οδηγήσει στην καταστροφή της βλάστησης που εγκαταστάθηκε (Chorpin & Bradshaw, 1984). Επειδή στα βαθύτερα εδαφικά στρώματα, όπως και στα πρηνή των επιχωμάτων που σχηματίζονται από τα στρώματα αυτά, παρατηρείται σχεδόν πάντα έλλειψη αζώτου και συχνά P και K, απαιτείται για μερικά χρόνια μετά την εγκατάσταση της βλάστησης φθινοπωρινή λίπανση με 40-50 χλγ. λιπάσματος NPK 11:15:15, ενδεχόμενα δε και ανοιξιάτικη με 30-40 κιλά νιτρικής αμμωνίας. Το διάστημα, κατά το οποίο θα γίνονται λιπάνσεις, ποικίλλει ανάλογα με τα εδάφη και θα κριθεί από τα αποτελέσματα των εδαφικών αναλύσεων που θα διενεργούνται. Θεωρείται πάντως ότι η διάρκεια των λιπάνσεων θα πρέπει να είναι 3ετής περίπου.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τη βελτίωση της περιεκτικότητας του εδάφους σε N παρουσιάζουν, όπως αναφέρθηκε, παρουσιάζουν τα ψυχανθή που δεσμεύουν το N με τα αζωτοβακτήρια του ριζικού συστήματος. Κατά τους Chorpin & Bradshaw (1984), εδαφοκάλυψη με 20% από ψυχανθή εφοδιάζει κάθε χρόνο το έδαφος με 50-100 χλγ. N/εκτάριο. Αυτό προϋποθέτει ότι στο έδαφος υπάρχουν τα κατάλληλα αζωτοβακτήρια για τα ψυχανθή που σπάρθηκαν. Επειδή όμως τα πρηνή, ως νεοσχηματισθέντα εδάφη, είναι φτωχά σε μικροοργανισμούς και κατά συνέπεια και σε αζωτοβακτήρια, συνιστάται ο εμβολιασμός των σπόρων με τα κατάλληλα αζωτοβακτήρια.

Όσον αφορά στη βλάστηση, θα πρέπει επίσης να παρακολουθείται, ώστε να διατηρεί υψηλό επίπεδο εδαφοκάλυψης. Φροντίδα επίσης θα πρέπει να υπάρχει και για την σύνθεση της βλάστησης με προσπάθεια διατήρησης και εξάπλωσης των πολυετών πλατυφύλλων (ψυχανθών και άλλων), τα οποία διατηρούν το πράσινο χρώμα όλο το χρόνο και μειώνουν τους κινδύνους έναρξης και εξάπλωσης των πυρκαγιών.

Η επίτευξη των παραπάνω στόχων σημαίνει ότι πρέπει να υπάρχει παρακολούθηση της βλάστησης και επέμβαση όπου και όταν υπάρχει ανάγκη.

Σε ορισμένα ευαίσθητα πρηνή θα πρέπει να προβλεφθεί περίφραξη, που να αποτρέπει την είσοδο ανθρώπων και ζώων για μακρύ χρονικό διάστημα. Εξυπακούεται βεβαίως, ότι τουλάχιστον για τα πρώτα χρόνια, θα πρέπει να προστατεύονται από τη βόσκηση όλες οι επιφάνειες που έχουν αναχλωασθεί και φυτευθεί.

Θεωρείται επίσης αναγκαίο η τελική παράδοση και παραλαβή των αναχλωάσεων να γίνεται στο τέλος της δεύτερης, από τη σπορά, άνοιξης και να υπάρχει υποχρέωση για τυχόν διορθωτικές επεμβάσεις, εκ μέρους της εταιρείας που διενήργησε τις αναχλωάσεις αυτές. Το ίδιο βέβαια θα πρέπει να ισχύσει και για τις φυτεύσεις.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Chorpin, N.J. and Bradshaw, A.D., 1984. A guide to quarry reclamation. M.J. Brooks, London, 79 pp.
Μπρόφας, Γ.Λ., 1998. Η αποτελεσματικότητα της ιλύος βιολογικού καθαρισμού στην αποκατάσταση διαταραγμένων από μεταλλευτική εκμετάλλευση επιφανειών. Γεωεπιστημονικά Επιστημονικά Θέματα (Γεωτεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας), 9 (3): 47-55.

Appendix 1A

LANDSCAPE REHABILITATION OF METALLURGICAL PROCESSING WASTES FROM THE TREATMENT OF ORE IN LAVRION

Georgios Brofas

PRISMA, Centre for Development Studies, 17 Empedocleous Street, Gr-116 35 Athens, Greece

1.0. INTRODUCTION

The metallurgical processing wastes in Lavrion can be classified into three broad categories:

1. sulphide wastes (pyrite), which mainly occur in three areas, Kavodokanos, pyrite tailings pond within the premises of the French company smelter, and the so-called Bodossakis pyrite at Thorikon bay (Komobil, refer to Map 2.3, Volume 2).
2. flotation tailings (carbonates/oxides), which cover a large part of the inhabited part of Lavrion, and
3. slag from the metallurgical processing of sulphide-ore, which is mainly found in three areas, to the north and south parts of Lavrion harbour and at Kavodokanos.

The above mentioned wastes make-up the elements of aesthetic landscape degradation (visual pollution), and they are the main source of environmental contamination that cause adverse health effects on the inhabitants (refer to Volumes 1 and 2). Consequently, contaminated areas should be rehabilitated by appropriate techniques in order to prevent them of being a continuous source of contamination, and to threaten the health of inhabitants. Rehabilitation of metallurgical wastes can be achieved by different methods, which have already been described in detail elsewhere (refer to Volume 3), and will not be discussed in this work, which concerns:

- the selection of plant species,
- plantation methodology, and
- an estimation of cost.

It is considered essential to refer to landscaping of metallurgical processing wastes, which has not yet been discussed, as well as to make a few comments on the isolation of contaminated soil by covering with clean soil.

2.0. LANDSCAPE MODIFICATION

Before isolation or rehabilitation/neutralisation of the metallurgical processing wastes, it is considered essential to modify the landscape to begin with, in order to make a more moderate relief, where lower gradient slopes will dominate. Such action will, of course, be undertaken wherever is absolutely necessary. The creation of lower gradient slopes, which follow the natural inclination of the surrounding area, will

- allow the wastes to blend with the natural landscape;
- make the area more accessible;
- increase the number of possible land-uses in the specific areas;
- make the application of remediation techniques easier and more economical, and
- make the final results more durable by limiting erosion and transportation of material.

Landscaping could be achieved by either removing (excavation, loading and transporting) part of the waste and to fill in nearby disturbed sites or by flattening with a caterpillar. The toxic metallurgical processing wastes could be placed at the bottom, and covered with uncontaminated soil. **It is stressed that these toxic materials should only be used to landscape areas with pre-existing metallurgical processing wastes within Lavrion, and are not to be transported elsewhere, for they are considered toxic and a public health hazard.**

During landscaping of the metallurgical wastes, coarse-grained materials should occupy the deeper layers. Official costs do not exist for these activities, and for cost estimation, prices derived from the costing of similar activities by private mining-metallurgical companies have been used. According to this costing (1997-1998) the prices are:

- 250,000 Drs/1000 m² in case of removal of wastes (excavation/loading/transportation/unloading/ground modelling). *This method, is however, not recommended, for during excavation, transportation and unloading, additional contamination problems are created.*
- 150,000 Drs/1000 m², in case of flattening/ground modelling of the wastes.

*It is stressed that, during all landscaping activities, the metallurgical **wastes must be continuously sprinkled with water** to avoid the creation of dust, and its subsequent dispersal to the surrounding environment.*

3.0. COVERING OF METALLURGICAL WASTES

Covering of metallurgical wastes with uncontaminated soil is recommended even in the case of sulphides, apart from other isolation techniques. The thickness of soil cover varies according to area type and the plant species that will be used. For the survival of arborescent species of this zone (ex. *Halepios Pinus*) the depth of soil must be at least 30 cm. A thicker soil cover will permit better growth of plants, and it will help all new plants to take root better and deeper in the soil, in order to resist the force of prevailing strong winds blowing in the area. In case of high gradient slopes (slope of repose of wastes) the thickness of soil cover, should not exceed 15 cm. Otherwise, its instability increases, and signs of soil creep appear. On these surfaces, covering of soil with vegetation should only be restricted to regrassing and limited to the use of phreaginic species.

Besides the sulphides, a soil cover can be applied on slag as well as the oxidised wastes (flotation residues or tailings). Minimum soil thickness over slag should be more than 30 cm, whereas for the flotation residues it could be as little as 10 cm. The last remark is related to the fact that natural vegetation, as well as cultivated plant species, are growing quite well on carbonates (flotation residues) and contaminated surface soil.

Beyond the improvement of soil conditions, it will mainly achieve an effective isolation of carbonates (flotation residues). According to our evaluation, covering the flotation tailings with clean soil, constitutes one of the best, if not the best, cost-effective method for the rehabilitation of carbonates. The cost of covering with clean soil, includes its purchase, transport and laying out by the use of machinery, and is analysed as follows:

- purchase and transportation of soil (relevant Article 1710 ΠΠΣ): 2000 Drs/m³
- soil landscaping with leveler (relevant Article 1140 ΑΓΕΟ): 5.2 Drs/m².

The cost of rehabilitation per 1000 m² depends on the thickness of soil to be laid out. Therefore, in the case of a 30-cm thick soil cover the cost is:

- cost of soil: 2,000 Drs x 0.30 m x 1,000 m²= 600,000 Drs/1000 m²
 - soil cover landscaping: 5.20 Drs x 1,000 m² = 5,200 Drs/1000 m²
- Total sum = 605,200 Drs/1000 m²

4.0. SELECTION OF PLANT SPECIES AND PLANTATION METHODS

Following landscaping of the ground surface by one of the above methods, suitable plants will be planted. Before planting, it is necessary to hasten the sowing of mossy vegetation, which will stabilise the soil cover. This can be achieved by traditional sowing (on horizontal surfaces) or hydro-sowing with or without mulching. Mossy vegetation provides an early protection of soil with its exposed, above ground level, part. The mixture of plant seeds must include perennial and annual grasses and legumes.

- Legumes with nitrogen active bacteria at their root system enrich soil by capturing atmospheric nitrogen, which reaches the ground surface.
- Grasses with their thick root system stabilise the surface soil layer.
- Annual species are necessary, because by withering of their exposed part, create enough organic matter to protect and enrich soil.

The proposed seed mixture for sowing or hydro-sowing can include the following plant species:

<i>Melilotus officinalis</i>	<i>Lolium rigidum</i>
<i>Medicago lupulina</i>	<i>Agrostis tenuis</i>
<i>Trifolium subterraneum</i>	<i>Dactylis glomerata</i>
<i>Anthyllis vulneraria</i>	<i>Festuca ovina</i>
<i>Sanguisorba minor</i>	<i>Cynodon dactylon</i>
<i>Phacelia tanacetifolia</i>	<i>Festuca rubra</i>

The number of plant species in the mixture must not be more than about six, and it should be made by mixing grasses and broad-leafed plants, which must definitely include legumes, the percentage of which to be more than 20% of the total.

Sowing to be done in early autumn, after the first rain, so that vegetation will grow and cover the newly landscaped ground surfaces to protect them from autumn and winter rainfall. It must be taken into account that 80% of total erosion (for an 8-year measuring period) occurs during the first year of slope modification. Simultaneously,

the perennial plants, with autumn sowing, will succeed in developing their root system, so that they can face successfully the long xerothermal summer period.

The suitability, but also the effectiveness, of various sowing methods and their variations differ according to the prevailing conditions. Whereas, cost depends on materials and machinery used. These prices are based on private company estimations, calculations and information, because there are no guideline prices from an official state authority. The suitability of the most important methods, and their variations, together with the estimated cost for each are given below.

4.1. SOWING BY HAND

This method is the cheapest, but its application is limited, and it is only used if another suitable method is not available.

The cost per 1000 m², including work and materials of 20 kg of seeds, 50 kg of fertiliser base in the autumn [Nitrogen : Phosphorus : Potassium (NPK):- 11:15:15], and 40 kg of ammonium nitrate (NH₄NO₃) in the spring, it reaches an approximate cost of 60,000 Drs.

4.2. SOWING BY AGRICULTURAL TRACTOR

Mechanical sowing can be done either by wide sowing, and mainly concerns, the lower side of slopes or the whole surface, provided slopes are of moderate inclination, or by sowing in ditches, and refers again to moderate slopes, which should be preferred, because it is considered to be the most effective method of sowing.

The cost of the above-mentioned work, using the same materials, and the tractor work, is up to 70,000 Drs/1000 m².

4.3. SIMPLE HYDRO-SOWING

This is limited to hurling from the hydro-seeder of a watery mixture, which contains only seeds and fertilisers. This method, has approximately the same characteristics as the simple wide sowing, and it is not recommended, especially for Mediterranean type climate, except in the case where conditions are quite favourable, or if another method cannot be applied.

The cost of simple hydro-sowing, only with seeds, fertiliser and the work of the hydro-seeder, is 100,000 Drs/1000 m² approximately.

4.4. HYDRO-SOWING WITH CONSOLIDATOR

This method, in relation with the previous one, includes a fixative (thixotropic gel), in the hydro-sowing mixture. The fixative helps to paste seeds on soil, and fixes the aggregates of soil. This combination reinforces soil resistance to erosion, and protects seeds from being leached away.

This method can be applied in Greece, and is successful in loose soil with sandy texture, provided it is applied before autumn rains start.

The cost of this specific method depends on the price of fixative, and it is presently 160,000 Drs/1000 m² approximately. If the watery mixture of hydro-seed is supplemented with a soil improvement additive, then the cost is augmented according to the price of the latter.

4.5. HYDRO-SOWING WITH CELLULOSE AND FIXATIVE

In this case, the hydro-sowing mixture, includes water, seeds, fertiliser, cellulose with long fibres (350-600 kg/hectare), which is launched on the seeding surface and, subsequently, a second spraying of the surface follows with the solution of fixative.

In most cases, however, the procedure is applied in one stage, meaning that the hydro-sowing mixture, which includes water, seeds, fertiliser, cellulose and fixative (glue), is launched totally on the seeding surface. This method is, of course, better than the previous one, because it creates suitable conditions for the seeds to sprout, the plants to grow, and it protects more effectively the surfaces from erosion.

The cost of this method, with the above mentioned materials and work, is approximately 190,000 Drs/1000 m².

4.6. HYDRO-SOWING WITH CHAFF COVERING AND FIXATIVE

In this case, the hydro-sowing mixture includes water, seed, fertiliser, and possibly some other products, which are launched on the seeding surface. Covering with chaff is followed, and then the chaff surface is covered by a third layer of asphaltic solution, which fixes the chaff. This is considered as one of the most effective methods, not only regarding the creation of suitable conditions for sprouting of seeds and growth of plants, but also for protection of soil from erosion.

The quantities of materials, which are used per 1000 m² are: 20 kg of seeds, 50 kg fertiliser base, 600 kg of chaff and 50-100 kg asphaltic material dissolved in 900 kg of water.

This method is appropriate for the climatic and soil conditions of Greece, and generally, it has very good results. It is applied on almost all soil types. The application period is from the beginning of September to the end of November, and the conditions are referred to in detail above.

The cost of this method for all stages is 250,000 Drs/1000 m².

5.0. PLANTING

After landscaping and stabilisation of soil by regrassing, planting of these surfaces is next, and should be carried out the following year. The plants that will be used are proposed to last one year, because in such a case they will have fewer demands on water and nutrients, and will adapt better in their new environment. Planting to be done early in the autumn, immediately after the first rain.

The species that will be used for reforestation are: *Pinus halepensis*, *Cupressus sempervivens v. horizontalis*, *Ceratonia siliqua*, *Styrax officinalis* and *Cercis siliquastrum* at the best places; *Spartium junceum*, *Colutea arborescens*, *Nerium*

oleander (mainly at the boundaries), *Olea oleaster*, *Pistacia lentiscus*, *Erica manipuliflora*, *Medicago arborea*. The *Robinia pseudoacacia* as well as *Acacia cyanophylla* even though they are allocthonous species, they could be proposed for improvement and for fire fighting purposes. It is also possible to include phregeanic species, as described below.

On surfaces located near the sea the species *Tamarix* sp., *Eleagnus angustifolia* and *Myoporum* sp. must be used, since they can thrive on saline soil and withstand strong winds. The first two species will be used mainly as windbreakers, in order to protect the inner species, and the third type will be used mainly for decoration (e.g., along the roads).

For the slopes of sulphides and slag heaps, where the soil cover is not thick enough to allow planting of trees and bushes, it is recommended to use phregeanic species like *Coridothymus capitatus*, *Satureja thymbra*, *Hypericum empetrifolium*, *Thymelea hirsuta*, *Lavandula stoechas*, and for acid soils *Cistus* sp., *Salvia* sp., etc., which are available at horticultural centres. Planting of these species should be done by mixing in groups of 1, 3, 5, and 7 items for ecological and local reasons, whereas it is necessary to create fire protection zones with horizontal branched cypress and broad-leaved plants. However, the dominant type to be *Pinus halepensis* (pine-tree), which should comprise 60% of the total number of trees to be planted.

The cost per 1000 m² of the proposed reforestation, includes planting and conservation expenses for the first years of the seedlings, and it is analysed below:

- a) For the calculation of cost for the excavation of a pit with dimensions 0.40 x 0.50 m, the relevant articles are 2120, 2221 and 2222 (ATAE) and 5150 (ΠΡΣ).

Cost of digging a pit for planting: 371 Drs per plant.

- b) Planting of plants in polyethylene bags up to 0.50 m depth. The relevant article is 3112 (ATAE).

Cost of planting: 330 Drs per plant.

- c) Configuration and conservation of pit (basin for holding water) with a depth of 0.10 m and an area of 0.30-0.50 m² (relevant article: 4200 ATAE).

Cost of configuration and conservation of pit: 82 Drs per plant.

- d) Weeding and hoeing over a circular surface of 1 m² about the plant, and of 0.10 m depth (relevant article: 4100 ATAE).

Cost of weeding-hoeing: 115 Drs per plant.

- e) Fertilisation of plants with 100 gr of NPK fertiliser 11:15:15 (relevant article 5340 ΠΡΣ).

Cost of fertilisation: 26 Drs per plant.

- f) Watering with 15 litres of water with transportation up to 5 km (relevant article 4300 ATAE).

Cost of watering: 86 Drs per plant.

In order to estimate the cost per 1000 m² the following information must be taken into account:

1. hoeing per plant will be repeated two times;
2. watering of plants, during the first year, will be repeated every 15 days for the first 5 months; in the second year to be repeated every month for the same 5 month period, and in the third year the watering to be repeated two times (a total of 17 watering sessions per plant);
3. fertilisation will be repeated at least 3 times;
4. with a plant spacing of 2 x 2 m, 250 plants per 1000 m² will be required, and
5. the price of each plant from forest seedbeds is 300 Drs.

Based on the above information, planting and caring costs of plants per 1000 m² is as follows:

Purchase of plants:	250 plants x 300 Drs =	75,000 Drs/1000 m ²
Pit excavation:	250 plants x 371 Drs =	92,750 Drs/1000 m ²
Planting per plant:	250 plants x 330 Drs =	82,500 Drs/1000 m ²
Configuration of conservation pit:	250 plants x 82 Drs =	20,500 Drs/ 1000 m ²
Hoeing per plant:	250 plants x 2 times x 115 Drs =	57,500 Drs/1000 m ²
Fertilisation per plant:	250 plants x 3 times x 26 Drs =	19,500 Drs/1000 m ²
<u>Watering per plant:</u>	<u>250 plants x 17 times x 86 Drs =</u>	<u>365,500 Drs/1000 m²</u>
<u>Total cost of planting and caring:</u>		<u>= 713,250 Drs/1000 m²</u>

5.1. SEEDING AND PLANTING

Planting of slopes with bushes and trees usually follows regrassing, and should be done during the first or second planting period, after sowing, when it is considered that all surfaces have been stabilised. Planting of woody plants is a special process for the plants require looking after for 2-3 years following their planting (watering, hoeing and probably fertilisation).

According to our evaluation, the above process of seeding and planting could be modified and become more effective and with less conservation costs. Hence, after landscaping of the ground surface, planting of trees and bushes follows, and the planting pit is covered with plastic, the diameter of which is 40-50 cm from the central hole the plant passes through. The plastic is then covered by soil and the sowing of herbs follows (according to the selected method). With the above procedure, regrassing and reforestation are completed by one action, and on the other hand plants are protected from competing with weeds, watering is either reduced or completely stopped. The proposed planting method can be applied even in case planting follows regrassing.

The method of covering the conservation pits with a plastic sheet has been applied in European countries with good results. In Greece, it was applied in reforestation (with *Robinea pseudoacacia* and fir) of calcareous barren wastes from the exploitation of bauxite (Brofas, 1998). Measurements on the second autumn from the planting period have given a percentage of survival of 90% for fir and 98% for *Robinea pseudoacacia* (G. Brofas, unpublished results, Institute of Mediterranean Forest Ecosystems and Forest Products Technology). It must be mentioned that during these two years, the plants were not watered.

6.0. CONSERVATION OF SURFACES

The new ground surfaces are normally very sensitive, and must be perfectly managed and carefully observed until they become stabilised. The following parameters must be checked:

- the most important nutrient elements of soil and in particular nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K), and
- the condition and composition of vegetation.

Deficiency in nutrient elements of soil, and particularly nitrogen, can lead to the destruction of planted vegetation (Choppin and Bradshaw, 1984). Since, at the deeper soil layers, as well as the back-up slopes, which are formed from these layers, a deficiency of N, and often P and K, is almost always observed. Therefore, after planting of vegetation, fertilisation is required, for the next few years, in the autumn with 40-50 kg of NPK (11:15:15) fertiliser, and probably in the spring too with 30-40 kg of NH_4NO_3 . The period of fertilisation varies, and depends on soil type, and will be judged by the results of soil analysis, which will be performed. However, it is regarded that the duration of fertilisation must be about 3 years.

Of specific interest for the improvement of soil N content, as has already been mentioned, is exhibited by legumes, which uptake N through the nitrogen active bacteria of their root system. According to Choppin and Bradshaw (1984), plant coverage with 20% legumes, an annual enrichment of soil with 50-100 kg N/hectare is achieved. This presupposes that there exist in the soil the appropriate nitrogen active bacteria for the planted legumes. However, on these slopes the newly formed soil is poor in micro-organisms and, consequently, in nitrogen active bacteria. It is recommended, therefore, that seeds be vaccinated with the appropriate nitrogen active bacteria.

Regarding the vegetation, it must also be monitored, so that it retains a high percentage of ground cover. Care must also be provided, and for the composition of vegetation, with an attempt to preserve the spreading of perennial broad-leafed plants (legumes, etc.), which retain their green colour all the year, and reduce the outbreak and spread of fires.

Success in the above objectives means that the vegetation cover must be monitored, and interventions made when and if required.

At some sensitive slopes fencing must be foreseen, to prevent the entrance of people and animals for a long period. It is, of course, understood that during the first few years all ground surfaces, which have been regressed and planted, must be protected from grazing.

It is also considered necessary, the final delivery and acceptance of regrassing operations to be done at the end of the second spring, after the sowing, and an obligation must exist for corrective measures to be undertaken by the company, which was responsible for the regrassing. The same must, of course, apply for the planting of vegetation.

ACKNOWLEDGEMENTS

Translation of the original Greek text into English was done by Alexandra Zamani (PRISMA, Centre for Development Studies), and corrected by Katerina Vergou (Institute of Geology and Mineral Exploration, IGME); corrections to the English text and final editing were carried out by Alecos Demetriades (IGME).

REFERENCES

- Brofas, G., 1998. The effectiveness of sewage sludge in mine spoils reclamation. *Geotechnical Scientific Issues (Geotechnical Chamber of Greece)*, 9 (3): 47-55.
- Choppin, N.J. and Bradshaw, A.D., 1984. *A guide to quarry reclamation*. M.J. Brooks, London, 79 pp.

Παράρτημα 2

ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΗΜΟΥ ΛΑΥΡΕΩΤΙΚΗΣ

Νίκος Βαρελίδης και Αλεξάνδρα Ζαμάνη
PRISMA, Κέντρο Αναπτυξιακών Μελετών, Εμπεδοκλέους 17, Αθήνα 116 35

1.0. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με σκοπό τη διευκόλυνση της κατανόησης των επιπτώσεων της περιβαλλοντικής ρύπανσης στην ανθρώπινη υγεία και θνησιμότητα, αναφέρονται σε συντομία τα κοινωνικο-οικονομικά χαρακτηριστικά του Δήμου Λαυρεωτικής. Τα στοιχεία αυτά προέρχονται από την Εθνική Στατιστική Υπηρεσία της Ελλάδας (ΕΣΥΕ). Συγκεκριμένα εξετάζονται τα ακόλουθα θέματα:

- η πληθυσμιακή εξέλιξη του Δήμου Λαυρεωτικής από το 1951 έως και το 1991,
- η ηλικιακή κατανομή του πληθυσμού σύμφωνα με τα στοιχεία της απογραφής του 1991,
- ο ενεργός πληθυσμός και η ανεργία από 1971 έως το 1991, και
- η θνησιμότητα και οι αιτίες θανάτων από το 1980 έως το 1993.

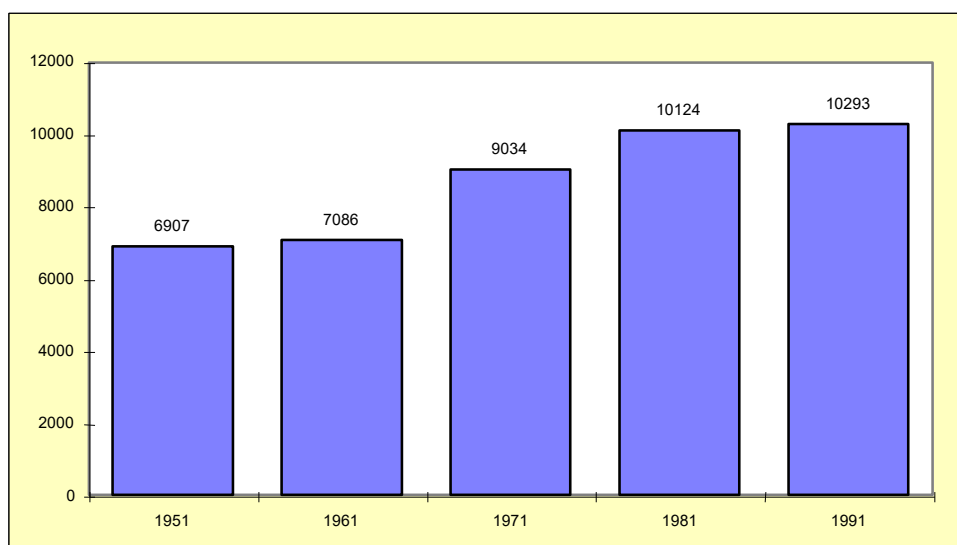
2.0. ΠΛΗΘΥΣΜΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Ο μόνιμος πληθυσμός του Δήμου Λαυρεωτικής, ο οποίος περιλαμβάνει το Λαύριο και τους οικισμούς Άνω Θορικό, Θορικό Κάτω Ποσειδωνία, Κάτω Σούνιο και Λεγρενά (Χάρτης 1.1, Τόμος 2), βάσει των επίσημων στοιχείων της απογραφής του 1991 είναι 10.293 κάτοικοι. Σύμφωνα με τα στοιχεία του Πίνακα 1, ο πληθυσμός του Δήμου Λαυρεωτικής παρουσίασε μια αύξηση κατά τις περιόδους 1960-1970 και 1970-1980 σε ποσοστό 27,49% και 12,07% αντίστοιχα. Ενώ κατά τις χρονικές περιόδους 1950-1960 και 1980-1990 παρατηρήθηκαν πολύ μικρές αυξήσεις σε ποσοστό 2,59% και 1,67% αντίστοιχα (Σχ. 1 & 2).

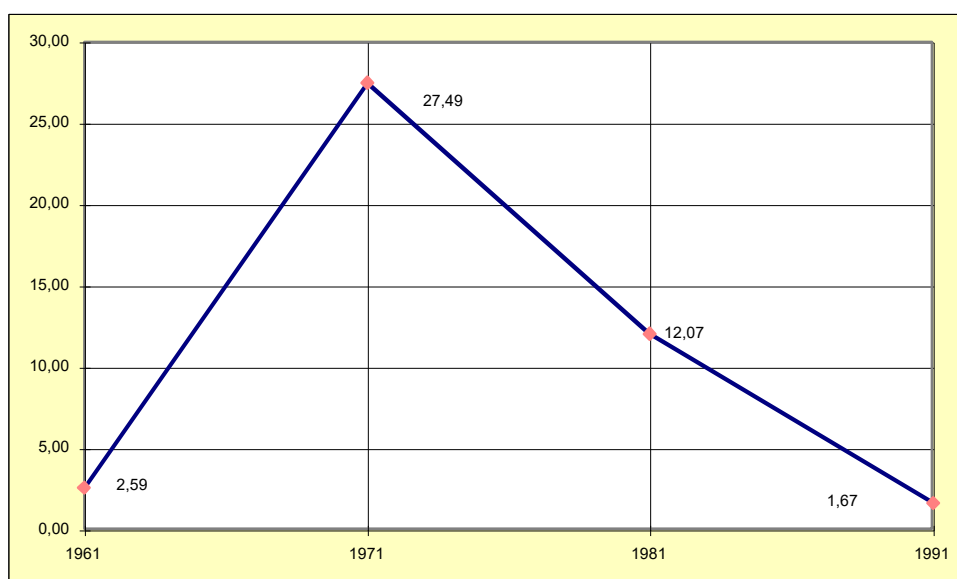
Η πληθυσμιακή άνοδος των δεκαετιών 1960-1980 οφείλεται στο μεταναστευτικό ρεύμα, το οποίο δημιουργήθηκε για την κάλυψη των θέσεων εργασίας, που προσέφερε

Πίνακας 1. Πληθυσμιακή εξέλιξη του Δ. Λαυρεωτικής 1951-1991					
	1951	1961	1971	1981	1991
Σύνολο	6907	7086	9034	10124	10293
Λαύριον	6725	6553	8283	8921	8846
Άνω Θορικών	-	-	-	186	247
Θορικών	49	59	245	176	254
Κάτω Ποσειδωνία	-	-	-	34	441
Κάτω Σούνιο	133	248	247	401	162
Λεγρενά	-	226	259	406	343
Ποσοστιαία (%) Μεταβολή	-	2,59	27,49	12,07	1,67

ΠΗΓΗ : ΕΣΥΕ



Σχ. 1. Πληθυσμιακή εξέλιξη Δήμου Λαυρεωτικής 1951-1991.



Σχ. 2. Ποσοστιαία (%) μεταβολή πληθυσμού Δήμου Λαυρεωτικής 1951-1991.

η μεταλλευτική δραστηριότητα και η ανάπτυξη της μεταποίησης στην περιοχή. Από την άλλη πλευρά, η πληθυσμιακή στασιμότητα της επόμενης δεκαετίας, οφείλεται στην ένταση της αποβιομηχάνισης και της ανεργίας, που επικρατεί στην περιοχή και αναγκάζει τους κατοίκους να μετακινηθούν, προσωρινά ή μόνιμα, εκτός του Λαυρίου προκειμένου να εξασφαλίσουν απασχόληση.

Στον Πίνακα 2 παρουσιάζεται η δομή του πληθυσμού του Δήμου Λαυρεωτικής για το έτος 1991 ανά φύλλο και ηλικία. Σύμφωνα με τα ανωτέρω στοιχεία η ανάλυση του πληθυσμού ανά ηλικιακές κλάσεις ακολουθεί κυρίως κατανομή «σταθερής» ηλικιακής πυραμίδας (Σχ. 3). Εξαίρεση αποτελεί το «πληθυσμιακό έλλειμμα» που παρατηρείται στην ηλικιακή κλάση 15-24. Η γενιά αυτής της κλάσης είναι γεννημένη το χρονικό διάστημα 1967-1976, περίοδος που παρατηρείται αύξηση του πληθυσμού του Δήμου Λαυρεωτικής (Πίνακας 1, Σχ. 1). Η ηλικιακή πυραμίδα επιβεβαιώνει ότι η αύξηση της συγκεκριμένης περιόδου δεν οφείλεται σε φυσικά αίτια (γεννήσεις), αλλά στην μετανάστευση πληθυσμού.

3.0. ΑΠΑΣΧΟΛΗΣΗ ΤΟΥ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ

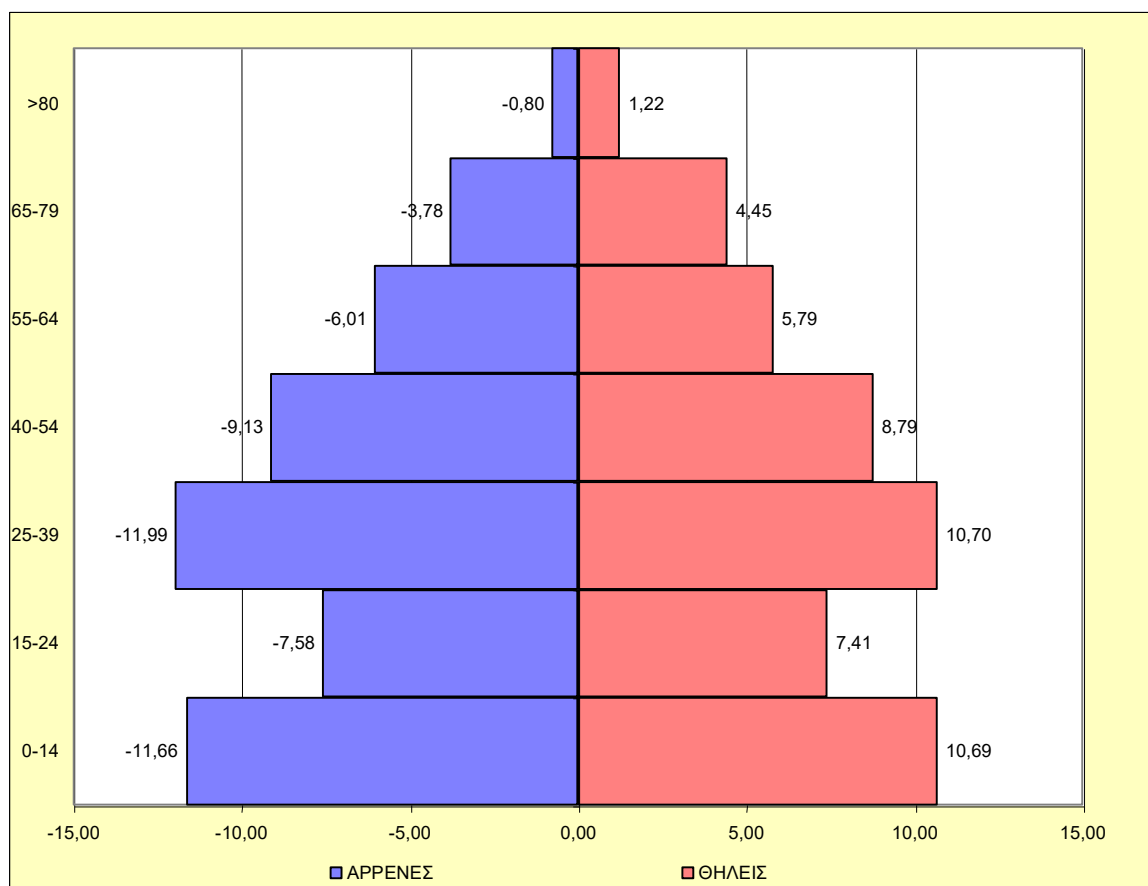
Ο ενεργός πληθυσμός του Λαυρίου απαρτίζεται κυρίως από άνδρες (2.817 άτομα, 70,92%) οι οποίοι κατά κύριο λόγο απασχολούνται ως μισθωτοί στις μεταποιητικές βιομηχανίες και τις κατασκευές και είναι τεχνίτες, εργάτες και χειριστές μεταφορικών μέσων. Οι γυναίκες αντίστοιχα αποτελούν το 29,08% του ενεργού πληθυσμού (1.155 άτομα) και έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά με τους άντρες, με τη διαφορά ότι δεν απασχολούνται στις κατασκευές, κάτι το οποίο είναι και αναμενόμενο. Τα παραπάνω χαρακτηριστικά καθορίζουν τον εργατικό χαρακτήρα της περιοχής.

Όσον αφορά την ανεργία στο Λαύριο, παρατηρούμε ότι παρουσιάζει έξαρση από το 1991, σύμφωνα με τα στοιχεία της ΕΣΥΕ. Έτσι, ενώ ο ενεργός πληθυσμός δεν έχει ιδιαίτερος μεταβληθεί (από 3.791 άτομα το 1981 σε 3.972 το 1991), η ανεργία από 3,69% το 1981 ανέρχεται σε 24,82% το 1991 (Πίνακας 3, Σχ. 4). Αυτή η μεγάλη αύξηση οφείλεται στην αποβιομηχάνιση της περιοχής και ειδικότερα στο κλείσιμο της Γαλλικής Εταιρείας Λαυρίου το 1989, καθώς και των κλωστοϋφαντουργικών μονάδων, στις οποίες απασχολείτο μεγάλο τμήμα του πληθυσμού.

Πίνακας 2. Ηλικιακή κατανομή Δ. Λαυρεωτικής κατά φύλλο και ηλικία 1991		
Κλάσεις	Άρρενες	Θήλεις
0-14	1200	1100
15-24	780	763
25-39	1234	1101
40-54	940	905
55-64	619	596
65-79	389	458
>80	82	126
Σύνολο	5244	5049

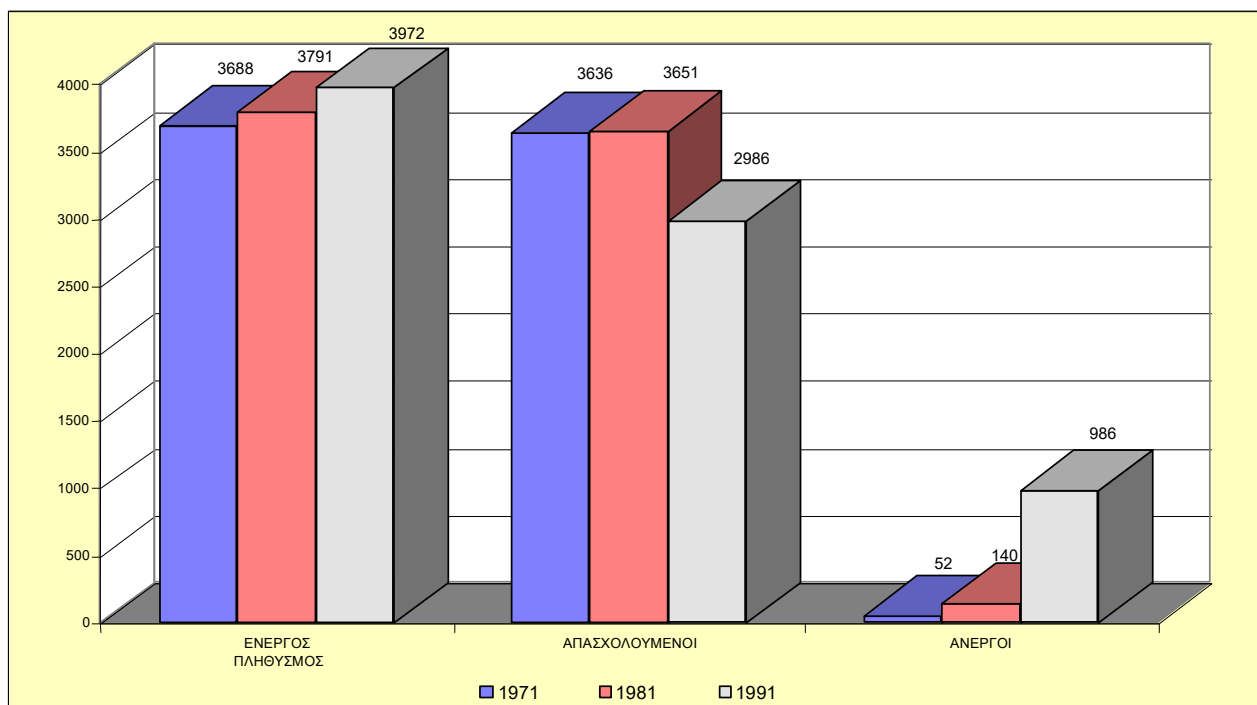
Ποσοστιαία (%) ηλικιακή κατανομή Δ. Λαυρεωτικής κατά φύλλο και ηλικία 1991		
Κλάσεις	Άρρενες	Θήλεις
0-14	11,66	10,69
15-24	7,58	7,41
25-39	11,99	10,70
40-54	9,13	8,79
55-64	6,01	5,79
65-79	3,78	4,45
>80	0,80	1,22
Σύνολο	50,95	49,05

ΠΗΓΗ : ΕΣΥΕ



Σχ. 3. Ηλικιακή κατανομή πληθυσμού Δ. Λαυρεωτικής κατά φύλλο και ηλικία 1991.

Πίνακας 3. Οικονομικά ενεργός πληθυσμός, απασχολούμενοι-άνεργοι, Δήμου Λαυρεωτικής									
	1971			1981			1991		
	ΕΝΕΡΓΟΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ	ΑΠΑΣΧΟΛΟΥΜΕΝ.	ΑΝΕΡΓΟΙ	ΕΝΕΡΓΟΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ	ΑΠΑΣΧΟΛΟΥΜΕΝ.	ΑΝΕΡΓΟΙ	ΕΝΕΡΓΟΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ	ΑΠΑΣΧΟΛΟΥΜΕΝ.	ΑΝΕΡΓΟΙ
ΣΥΝΟΛΟ	3688	3636	52	3791	3651	140	3972	2986	986
ΑΝΔΡΕΣ	2700	2660	40	2766	2626	140	2817	2293	524
ΓΥΝΑΙΚΕΣ	988	976	12	1025	1025	0	1155	693	462
Ποσοστιαία (%) κατανομή οικονομικά ενεργού πληθυσμού Δήμου Λαυρεωτικής: απασχολούμενοι-άνεργοι									
	1971			1981			1991		
	ΕΝΕΡΓΟΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ	ΑΠΑΣΧΟΛΟΥΜΕΝ.	ΑΝΕΡΓΟΙ	ΕΝΕΡΓΟΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ	ΑΠΑΣΧΟΛΟΥΜΕΝ.	ΑΝΕΡΓΟΙ	ΕΝΕΡΓΟΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ	ΑΠΑΣΧΟΛΟΥΜΕΝ.	ΑΝΕΡΓΟΙ
ΣΥΝΟΛΟ	100	98,59	1,41	100	96,31	3,69	100	75,18	24,82
ΑΝΔΡΕΣ	73,21	98,52	1,48	72,96	94,94	5,06	70,92	81,40	18,60
ΓΥΝΑΙΚΕΣ	26,79	98,79	1,21	27,04	100,00	0,00	29,08	60,00	40,00



Σχ. 4. Οικονομικά ενεργός πληθυσμός, απασχολούμενοι-άνεργοι, Δήμου Λαυρεωτικής 1971 –1991.

4.0. ΘΝΗΣΙΜΟΤΗΤΑ

Η μακροχρόνια μεταλλευτική-μεταλλουργική δραστηριότητα του Λαυρίου είχε ως αποτέλεσμα τη ρύπανση της περιοχής από μόλυβδο και άλλα βαρέα μέταλλα και τοξικά στοιχεία σε επίπεδα πολύ υψηλότερα των αποδεκτών ορίων, που έχουν θεσπιστεί τόσο από την Ευρωπαϊκή Ένωση όσο και από την Διεθνή Οργάνωση Υγείας (βλ. Τόμους 1 & 2). Τα υψηλά επίπεδα ρύπανσης της εν λόγω περιοχής και τα αποτελέσματα των επιδημιολογικών μελετών, αποτέλεσαν την αφορμή για την πραγματοποίηση της ανάλυσης θνησιμότητας στην περιοχή, καθώς και για τη διερεύνηση των αιτίων των θανάτων που παρατηρήθηκαν κατά την περίοδο 1980-1993.

Σύμφωνα με την ανάλυση της θνησιμότητας στην περιοχή του Δήμου Λαυρεωτικής (Πίνακας 4), προκύπτει ότι για το 1991 το ποσοστό θνησιμότητας είναι 0,0063, το οποίο αναγόμενο επί των 1000 κατοίκων δείχνει ότι υπάρχουν περίπου 6,32 θάνατοι. Συγκρινόμενο δε, με το αντίστοιχο ποσοστό του συνόλου της Ελλάδας (9,32 θάνατοι ανά 1000 κατοίκους), παρατηρούμε ότι είναι αισθητά χαμηλότερο.

Πίνακας 4. Θνησιμότητα των κατοίκων του Δήμου Λαυρεωτικής για το 1980-1991

	Πληθυσμός (P)	Θάνατοι (d)	Ποσοστό Θνησιμότητας $m=d/P$	Θάνατοι Επί 1000 κατοίκων $m*1000$
Σύνολο	10293	65	0,006314971	6,31497134
Κάτω των 15	2300	2	0,000869565	0,869565217
15-24	1543	1	0,000648088	0,64808814
25-39	2335	1	0,000428266	0,428265525
40-54	1845	1	0,000542005	0,54200542
55-64	1215	14	0,011522634	11,52263374
Άνω των 65	1055	46	0,043601896	43,60189573

Η κατανομή των θανάτων, ανά αιτία στο Δήμο Λαυρεωτικής, για την χρονική περίοδο 1980-1993, παρουσιάζεται στον Πίνακα 5 και στο Σχήμα 5. Σύμφωνα με τα στοιχεία των απογραφών, κύριες αιτίες θανάτων στην περιοχή μελέτης για τη συγκεκριμένη περίοδο, αποτελούν κατά κύριο λόγο τα νοσήματα κυκλοφορικού και οι νεοπλασίες. Συγκεκριμένα το ποσοστό θνησιμότητας, με κύρια αιτία τις νεοπλασίες είναι 22%, δηλαδή ελαφρά ενισχυμένο σε σχέση με το μέσο όρο της Ελλάδας

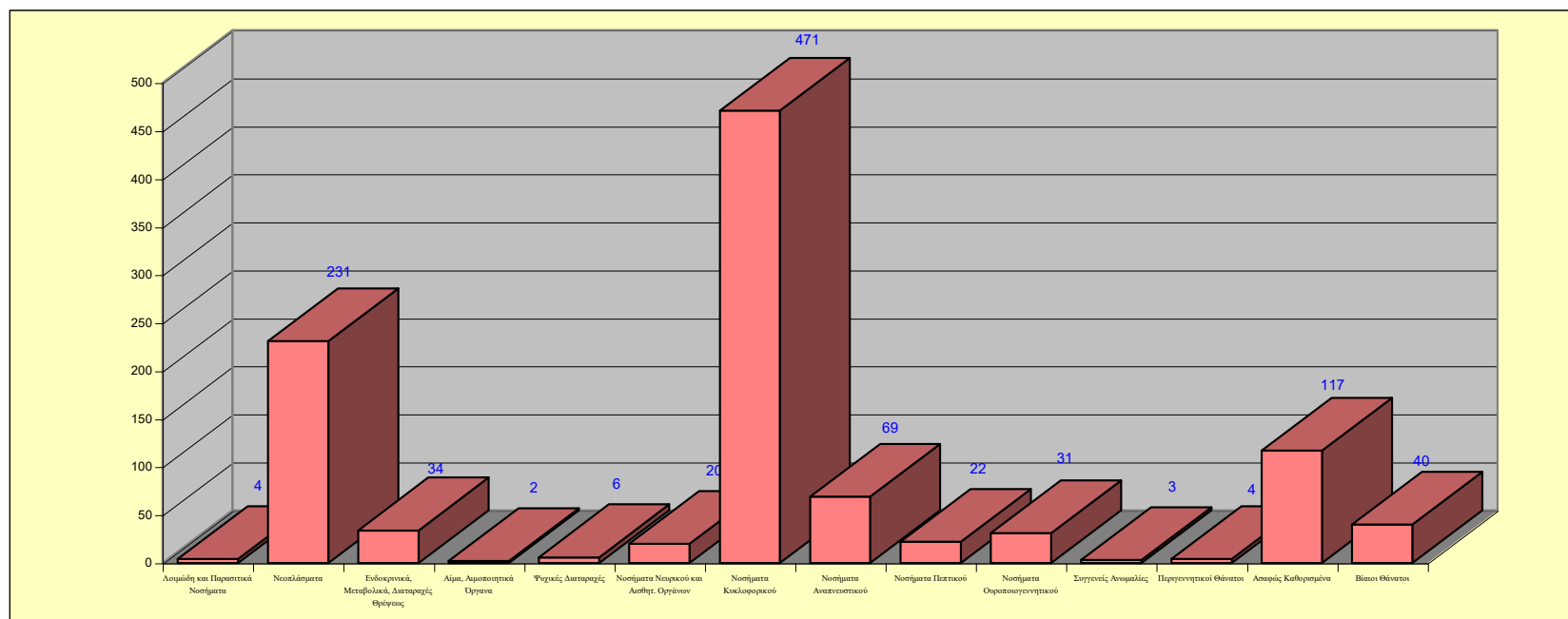
(20,96%). Αντίθετα το αντίστοιχο ποσοστό θνησιμότητας, που οφείλεται σε νοσήματα του κυκλοφορικού είναι 44,68% και επομένως μικρότερο από αυτό του συνόλου της Ελλάδας (50,69%).

Κλείνοντας θα πρέπει να διευκρινιστεί ότι, βάσει των επισήμων στοιχείων της ΕΣΥΕ, η θνησιμότητα στο Δήμο Λαυρεωτικής είναι μικρότερη του εθνικού μέσου όρου. Σύμφωνα όμως, με τα αποτελέσματα των επιδημιολογικών μελετών (Maravelias et al., 1989; Eikmann et al., 1991; Makropoulos, 1991, 1992; Nakos, 1985; Stavrakis et al., 1994; Kafourou, 1997), και των γεωχημικών ερευνών, που έγιναν στα πλαίσια αυτού του έργου (βλ. Τόμους 1 & 2), προκύπτει ότι τα πολύ υψηλά επίπεδα ρύπανσης έχουν σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία των κατοίκων και ιδιαίτερα των παιδιών, υποβαθμίζοντας σοβαρά την ποιότητα της ζωής τους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 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.
- Kafourou, A., Touloumi, G., Makropoulos, V., Loutradi, A., Papanagiotou, A. and Hatzakis, A., 1997. Effects of lead on the somatic growth of children. Archives of Environmental Health, 52 (5): 377-383.
- Makropoulos, V., Konteye, C., Eikmann, Th., Einbrodt, H.J., Hatzakis, A., Papanagiotou, 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-Papanagiotou, A., 1992. Cross-sectional epidemiological study of the effect of various pollutants on the health of children in Greece. Fresenius Envir. Bull 1: 117-122.
- 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.
- Nakos, S., 1985. Blood lead levels and renal tubular function in children living in an area polluted with lead. University of Ioannina, Greece. Unpublished Ph.D. thesis. 97 pp. (in Greek with English summary).
- 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.

Πίνακας 5. Θάνατοι ανά αιτία στο Δήμο Λαυρεωτικής κατά τη χρονική περίοδο 1980-1993															
ΑΙΤΙΑ	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1980-1993
Γενικό Σύνολο Θανάτων	75	65	67	73	86	95	70	82	68	73	77	65	76	82	1054
Λοιμώδη και Παρασιτικά Νοσήματα	1	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
Νεοπλάσματα	10	14	8	19	15	27	16	17	17	25	19	14	15	15	231
Ενδοκρινικά, Μεταβολικά, Διαταραχές Θρέψεως	3	5	6	4	3	3	1	2	0	0	1	1	2	3	34
Αίμα, Αιμοποιητικά Όργανα	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2
Ψυχικές Διαταραχές	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	6
Νοσήματα Νευρικού και Αισθητ. Οργάνων	2	1	1	2	4	1	1	0	1	3	0	2	1	1	20
Νοσήματα Κυκλοφορικού	37	29	32	26	31	36	31	40	30	26	35	34	41	43	471
Νοσήματα Αναπνευστικού	3	0	5	5	4	7	7	5	3	6	6	3	6	9	69
Νοσήματα Πεπτικού	0	2	3	2	4	1	0	1	0	2	2	2	3	0	22
Νοσήματα Ουροποιογεννητικού	3	2	3	4	2	2	1	4	3	3	3	0	0	1	31
Συγγενείς Ανωμαλίες	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	3
Περιγεννητικοί Θάνατοι	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	4
Ασαφώς Καθορισμένα	14	8	7	6	13	12	10	9	8	6	7	6	5	6	117
Βίαιοι Θάνατοι	2	3	2	3	5	5	1	4	6	1	3	1	1	3	40



Σχ. 5. Κατανομή θανάτων ανά αιτία στο Δήμο Λαυρεωτικής κατά τη χρονική περίοδο 1980 - 1993.

Appendix 2A

SOCIO-ECONOMIC CHARACTERISTICS OF THE MUNICIPALITY OF LAVREOTIKI

Nikos Varelidis and Alexandra Zamani

PRISMA, Centre for Development Studies, 17 Empedocleous Street, Gr-116 35 Athens

1.0. INTRODUCTION

The socio-economic characteristics of the Municipality of Lavreotiki are concisely presented in this final part of the report, in order to understand the implications of health related problems caused by environmental contamination. The data for this analysis were obtained from the official census, published by the National Statistics Service of Greece. In particular, the following items are discussed:

- population development in the Municipality of Lavreotiki for the period 1951-1991;
- population distribution with respect to sex and age according to the census data of 1991;
- active population and unemployment data for the period 1971-1991, and
- mortality and causes of deaths for the period 1980-1993.

2.0. POPULATION CHARACTERISTICS

According to the National Statistics Service of Greece, the permanent population of the Municipality of Lavreotiki, which includes, under its jurisdiction, the town of Lavrion and the settlements of Ano Thorikon, Thorikon, Kato Posidonia, Kato Sounion and Legrena (Map 1.1, Volume 2), in 1991 was 10,293 inhabitants. The data of Table 1 show that there was a population increase for the periods 1960-1970 and 1970-1980 at a rate of 27.49% and 12.07% respectively. While during the periods 1950-1960 and 1980-1990, there are correspondingly very small increases of 2.59% and 1.67% (Figs. 1 & 2).

The population increase during the decades 1960-1980 is attributed to the immigration influx, induced by the availability of jobs at the local mines and metallurgical plants as well as the manufacturing industry. Whereas, the

Table 1. Population development in the Municipality of Lavreotiki, 1951-1991					
	1951	1961	1971	1981	1991
Total	6907	7086	9034	10124	10293
Lavrion	6725	6553	8283	8921	8846
Ano Thorikon	-	-	-	186	247
Thorikon	49	59	245	176	254
Kato Posidonia	-	-	-	34	441
Kato Sounio	133	248	247	401	162
Legrena	-	226	259	406	343
Percent change (%)	-	2.59	27.49	12.07	1.67

Source: National Statistics Service of Greece

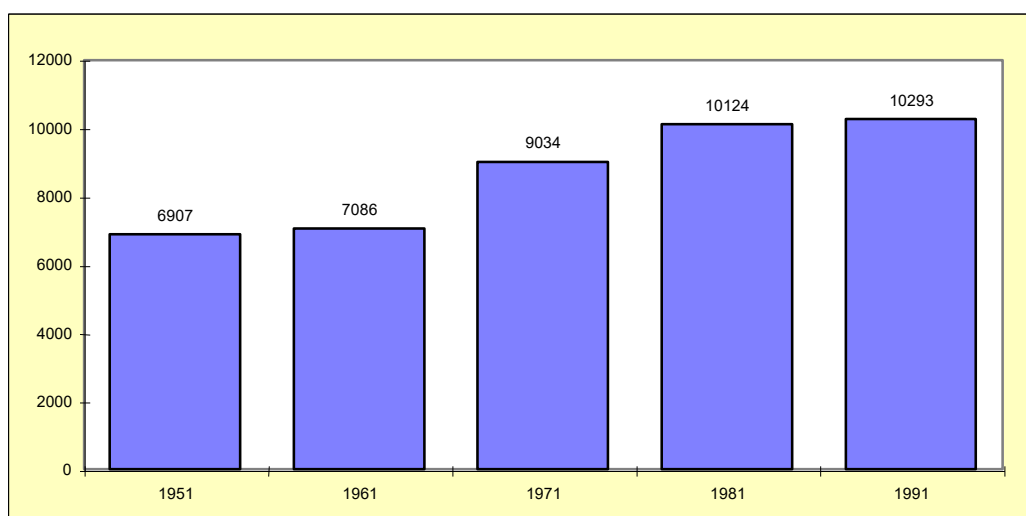


Fig. 1. Population development in the Municipality of Lavreotiki, 1951-1991.



Fig. 2. Percentage change (%) of the population in the Municipality of Lavreotiki, 1951-1991.

relative population stability during the decade 1980-1990 is attributed to de-industrialisation and unemployment that the area is facing. These factors forced the movement of population outside the town of Lavrion, either temporally or permanently, in search of employment.

Table 2 presents the population distribution of the Municipality of Lavreotiki for the year 1991 with respect to sex and age. According to these data, the population analysis per age class follows a distribution of a “*stable*” age pyramid (Fig. 3). An exception is the “*population decline*” in the age class of 15-24. The generation of this class was born during the time interval 1967-1976, a period in which the Municipality of Lavreotiki experienced a population increase (Table 1, Fig. 1). The age pyramid confirms, however, that the population increase at this specific period is not attributed to natural factors (births) but to the influx of immigrants.

3.0. EMPLOYMENT

The active population of Lavrion consists of men (2,817 persons, 70.92%), who are mainly employed in the manufacturing, converter and construction industries as technicians, workers, heavy machines operators and drivers. Women make up 29.08% of the active population (1,155 persons), and they maintain the same employment characteristics with men, except the construction sector, iron and aluminium converter industries. The above characteristics illustrate the labour profile of the region.

As far as the unemployment situation in the Municipality of Lavreotiki is concerned, a large increase is observed from 1991, according to the data of the National Statistics Service of Greece. Although the active population has not changed drastically (from 3,791 persons in 1981 to 3,972 persons in 1991), there is a large unemployment from 3.69% in 1981 to 24.82% in 1991 (Table 3, Fig. 4). This large increase in unemployment is attributed to de-industrialisation of the area, and especially to the closure of the French Metallurgical factory in 1989 and the textile industries, where a large part of the local population was employed.

Table 2. Population distribution of the Municipality of Lavreotiki per sex and age for 1991		
Class	Men	Women
0-14	1200	1100
15-24	780	763
25-39	1234	1101
40-54	940	905
55-64	619	596
65-79	389	458
>80	82	126
Total	5244	5049
(%) population of the Municipality of Lavreotiki per sex and age for 1991		
Class	Men	Women
0-14	11.66	10.69
15-24	7.58	7.41
25-39	11.99	10.70
40-54	9.13	8.79
55-64	6.01	5.79
65-79	3.78	4.45
>80	0.80	1.22
Total	50.95	49.05

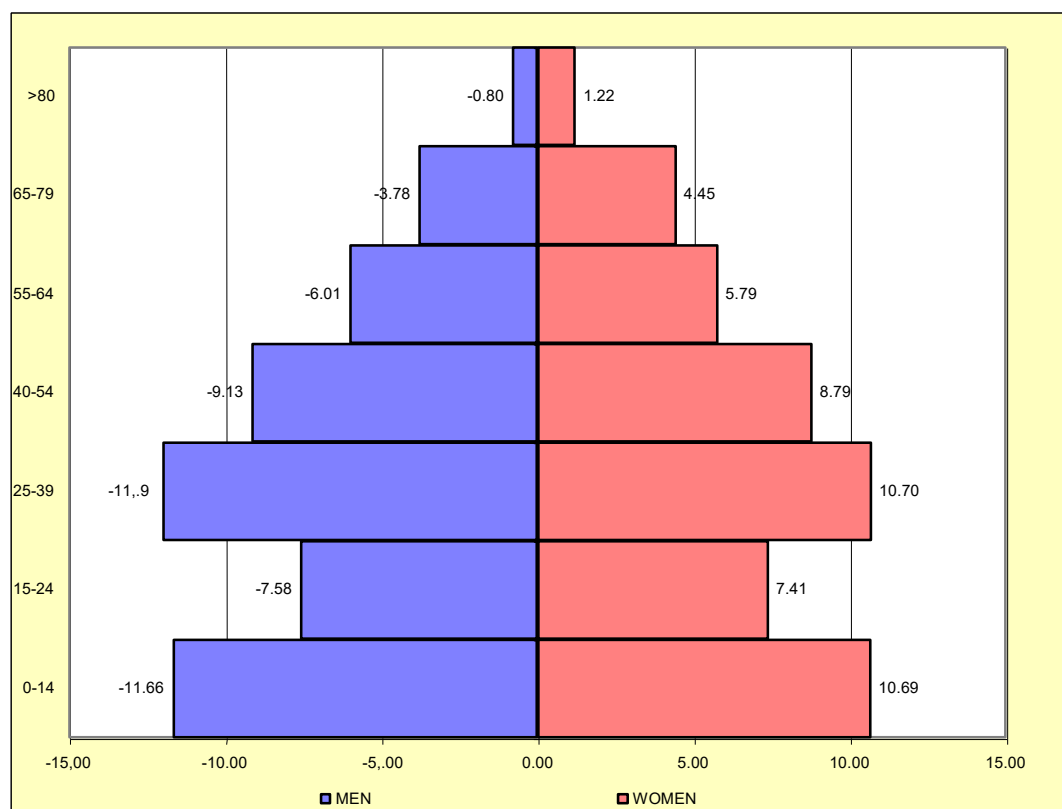


Fig. 3. Age pyramid of the population of the Municipality of Lavreotiki for 1991.

Table 3. Economically active population of the Municipality of Lavreotiki. Employed-unemployed.									
	1971			1981			1991		
	ACTIVE POPULATION	EMPLOYED	UNEMPLOYED	ACTIVE POPULATION	EMPLOYED	UNEMPLOYED	ACTIVE POPULATION	EMPLOYED	UNEMPLOYED
TOTAL	3688	3636	52	3791	3651	140	3972	2986	986
MEN	2700	2660	40	2766	2626	140	2817	2293	524
WOMEN	988	976	12	1025	1025	0	1155	693	462
Percentage (%) distribution of economically active population of the Municipality of Lavreotiki. Employed-unemployed									
	1971			1981			1991		
	ACTIVE POPULATION	EMPLOYED	UNEMPLOYED	ACTIVE POPULATION	EMPLOYED	UNEMPLOYED	ACTIVE POPULATION	EMPLOYED	UNEMPLOYED
TOTAL	100	98.59	1.41	100	96.31	3.69	100	75.18	24.82
MEN	73.21	98.52	1.48	72.96	94.94	5.06	70.92	81.40	18.60
WOMEN	26.79	98.79	1.21	27.04	100.00	0.00	29.08	60.00	40.00

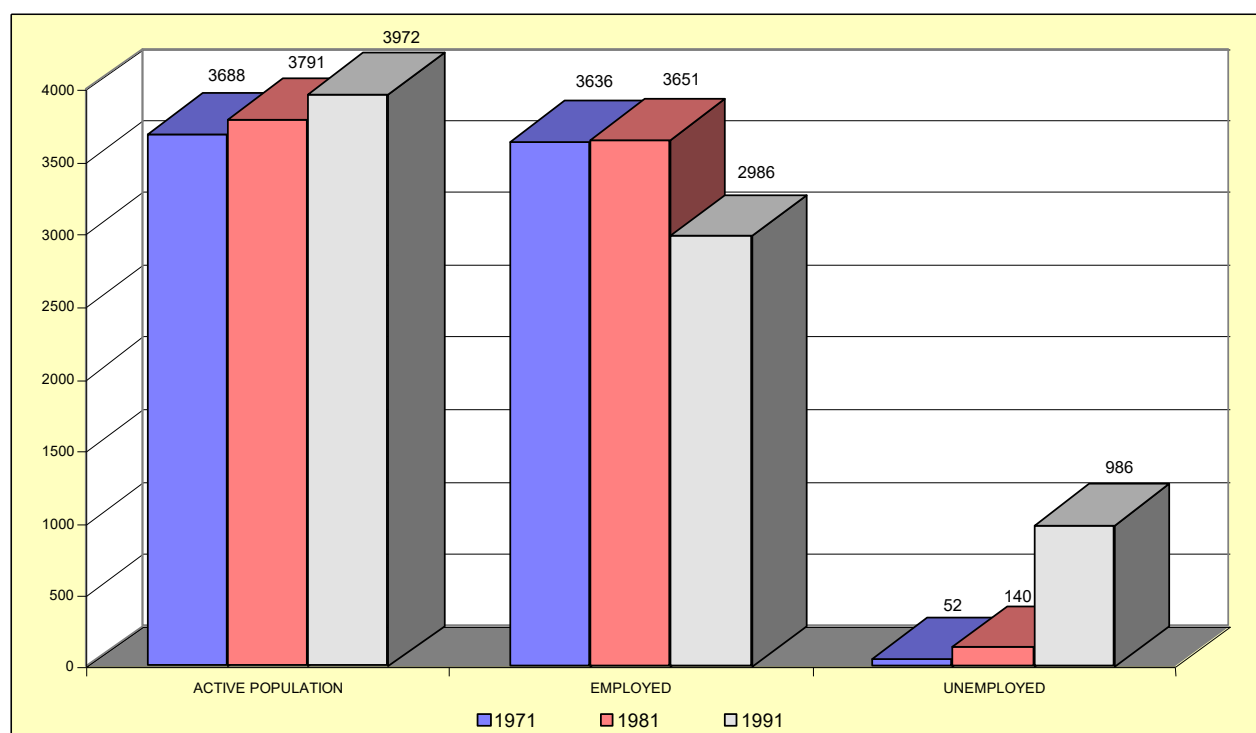


Fig. 4. Economically active population, employed-unemployed, of the Municipality of Lavreotiki between 1971-1991.

4.0. MORTALITY

The long period of mining and metallurgical processing in Lavrion caused extensive contamination of the area with lead (Pb) and other heavy metals and toxic elements. Contamination levels are considerably higher than the acceptable statutory limits set by the European Union and the World Health Organisation (WHO) (see Volumes 1 & 2). The heavily contaminated environment of Lavrion, and the results of the epidemiological studies, have given the incentive for mortality analysis, as well as an investigation on the causes of deaths for the time period 1980-1993.

According to the mortality analysis of Table 4, the mortality rate in the Municipality of Lavreotiki for 1991 is 0.0063. This means that in every 1000 inhabitants of the area, there are 6.32 deaths. Comparing this value with the respective national average for the whole Greece (9.32 deaths per 1000 inhabitants), the mortality rate in the Municipality of Lavreotiki is perceptively lower.

Table 4. Mortality of population in the Municipality of Lavreotiki for 1980-1991

	Population (P)	Deaths (d)	Percentage of Mortality $m=d/P$	Deaths per 1000 inhabitants $m*1000$
Total	10293	65	0.006314971	6.31497134
> 15	2300	2	0.000869565	0.869565217
15-24	1543	1	0.000648088	0.64808814
25-39	2335	1	0.000428266	0.428265525
40-54	1845	1	0.000542005	0.54200542
55-64	1215	14	0.011522634	11.52263374
>65	1055	46	0.043601896	43.60189573

The distribution of deaths according to different causes in the Municipality of Lavreotiki for the period 1980-1991 is shown in Table 4 and Figure 5. According to the census, the main causes of death in the study area for the specific period, are mainly due to diseases of the circulatory system and to neoplasms. Specifically, the mortality rate attributed mainly to neoplasms is 22%, *i.e.*, there is a slight increase compared to

the national average (20.96%). Whereas, the mortality rate caused by circulatory diseases is 44.68%, which is less than the national average of Greece (50.69%).

It should be clarified that according to the official data of the National Statistics Service of Greece, mortality in the Municipality of Lavreotiki is less than the national average. Nevertheless, the results of several epidemiological studies (Nakos, 1985; Maravelias *et al.*, 1989; Eikmann *et al.*, 1991; Makropoulos, 1991, 1992; Stavrakis *et al.*, 1994; Kafourou, 1997), and of environmental geochemical surveys, carried out during this project (refer to Volumes 1 & 2), show that the extremely high contamination levels in the area are seriously affecting the health of the inhabitants, and children especially, resulting in the degradation of the quality of life in the area (refer to Volumes 1 & 2).

REFERENCES

- 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.
- Kafourou, A., Touloumi, G., Makropoulos, V., Loutradi, A., Papanagiotou, A. and Hatzakis, A., 1997. Effects of lead on the somatic growth of children. Archives of Environmental Health, 52 (5): 377-383.
- Makropoulos, V., Konteye, C., Eikmann, Th., Einbrodt, H.J., Hatzakis, A., Papanagiotou, 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-Papanagiotou, A., 1992. Cross-sectional epidemiological study of the effect of various pollutants on the health of children in Greece. Fresenius Envir. Bull 1: 117-122.
- 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.
- Nakos, S., 1985. Blood lead levels and renal tubular function in children living in an area polluted with lead. University of Ioannina, Greece. Unpublished Ph.D. thesis. 97 pp. (in Greek with English summary).
- 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.

Causes of deaths	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1980-1993
Total	75	65	67	73	86	95	70	82	68	73	77	65	76	82	1054
Infectious and Parasitic diseases	1	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
Neoplasms	10	14	8	19	15	27	16	17	17	25	19	14	15	15	231
Endocrine and Metabolic diseases and Nutritional disorders	3	5	6	4	3	3	1	2	0	0	1	1	2	3	34
Diseases of blood and blood-forming organs	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2
Mental disorders	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	6
Diseases of nervous system	2	1	1	2	4	1	1	0	1	3	0	2	1	1	20
Diseases of circulatory system	37	29	32	26	31	36	31	40	30	26	35	34	41	43	471
Diseases of respiratory system	3	0	5	5	4	7	7	5	3	6	6	3	6	9	69
Diseases of digestive system	0	2	3	2	4	1	0	1	0	2	2	2	3	0	22
Diseases of urinary system	3	2	3	4	2	2	1	4	3	3	3	0	0	1	31
Congenital anomalies	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	3
Deaths originating in the perinatal period	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	4
Ill-defined conditions	14	8	7	6	13	12	10	9	8	6	7	6	5	6	117
Other violence	2	3	2	3	5	5	1	4	6	1	3	1	1	3	40

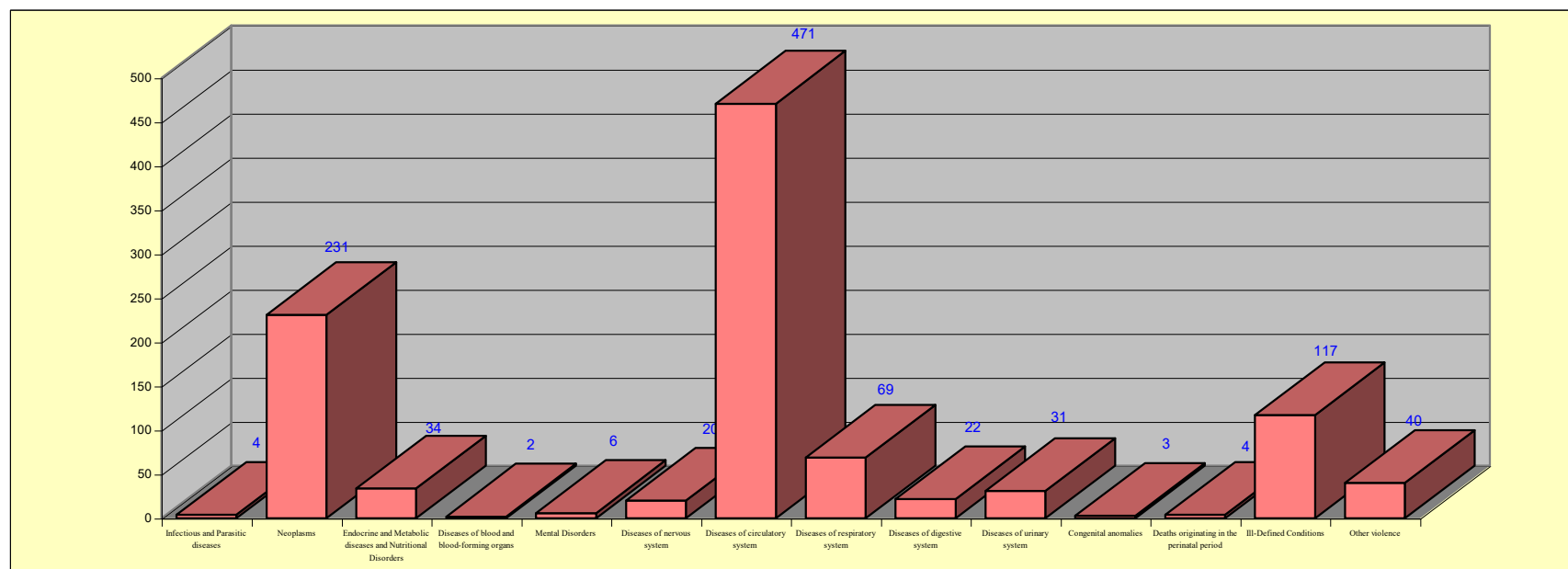


Fig. 5. Deaths per cause in the Municipality of Lavreotiki 1980 - 1993.