

ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΜΕΛΕΤΩΝ ΝΟΤΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

**ΠΡΑΚΤΙΚΑ  
I ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗΣ ΣΥΝΑΝΤΗΣΗΣ  
ΝΑ. ΑΤΤΙΚΗΣ**

*Καλύβια Θορικού Αττικής  
(28 Νοεμβρίου – 1 Δεκεμβρίου 2002)*



ΚΑΛΥΒΙΑ ΘΟΡΙΚΟΥ ΑΤΤΙΚΗΣ 2004

## ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

- ΑΛΕΞΑΚΗΣ ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΣ  
(Δρ. Εθνολόγος Λαογράφος)
- ΒΕΚΡΗΣ ΛΕΥΤΕΡΗΣ  
(Φιλολόγος)
- ΓΚΙΝΟΣΑΤΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ  
(Δικηγόρος)
- ΔΑΛΑΚΟΓΛΟΥ ΘΕΟΔΩΡΟΣ  
(Μαθηματικός)
- ΔΕΡΜΑΤΗΣ ΓΙΩΡΓΟΣ  
(Δρ. Βιομηχανικής Αρχαιολογίας)
- ΙΑΤΡΟΥ ΣΤΑΥΡΟΣ  
(Ηλεκτρολόγος Μηχανικός Ε.Μ.Π.)
- ΚΑΝΑΚΗΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ  
(Τοπογράφος)
- ΚΑΤΣΟΥΛΗ ΜΑΡΙΑ  
(Δημοσιογράφος)
- ΚΟΛΛΙΑΣ ΣΕΡΑΦΕΙΜ  
(Τοπογράφος Μηχανικός Ε.Μ.Π.)
- ΜΠΑΜΠΟΥΝΗΣ ΧΑΡΗΣ  
(Δέκτορας Νεότερης Ελληνικής Ιστορίας Παν/ου Αθηνών & νυν Πρόεδρος της ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ ΜΕΛΕΤΩΝ ΝΟΤΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΙΤΤΙΚΗΣ)
- ΠΑΠΑΓΙΑΝΝΑΚΟΣ ΝΙΚΟΣ  
(Αρχιτέκτων Μηχανικός Ε.Μ.Π.)
- ΠΟΓΚΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ  
(π. Δήμαρχος Λαυρίου)
- ΠΡΟΦΙΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ  
(Οικονομολόγος)
- ΠΡΙΦΤΗΣ ΚΩΣΤΑΣ  
(Ιατρός)
- ΡΩΜΑΣ ΧΡΙΣΤΟΣ  
(Φιλολόγος)
- ΦΙΛΙΠΠΟΥ-ΑΓΓΕΛΟΥ ΠΕΤΡΟΣ  
(Αρχαιολόγος, Φιλολόγος, Δήμαρχος Καλυβίων)

## ΟΡΓΑΝΩΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Πρόεδρος: Δέδε-Κολιαδήμα Ελένη  
Αντιπρόεδρος: Πόγκας Κων/νος  
Γεν. Γραμματέας: Ράλτη Ελένη  
Ταμίας: Πρόφης Δημήτρης

### Μέλη:

Αδάμη Λίτσα	Κοντογιάννης Γιάννης
Δαλάκογλου Θεόδωρος	Λιάσης Γιώργος
Διβάνης Δημήτριος	Παπαθανασίου Μιχαήλ
Ιατρού Σταύρος	Σούλη Ουρανία
Κατσούλη Μαρία	Σωτηρίου Αικατερίνη
Κόλλια Μαρία	Τσαλικίδης Μανώλης

Άννα-Ιωάννα ΓΟΥΝΙΑ-ΜΠΑΔΙΕΡΙΤΑΚΗ, <i>Τα μπελεζίκια. Ένα γυναικείο παραδοσιακό κόσμημα της Αττικής</i> .....	405
Χρήστος Π. ΜΠΑΛΟΓΛΟΥ, <i>Μία πρόταση οικονομικού ενδιαφέροντος για τα μεταλλεία του Λαυρίου. [Αριστοτέλους] Οικονομικών Β' II 36, 1353 a 15-18</i> .....	423
Χάρης ΜΠΑΜΠΟΥΝΗΣ, <i>Νέα στοιχεία για τη ζωή και την εκπαιδευτική δραστηριότητα του παιδαγωγού Κώστα Σωτηρίου (1889-1966)</i> .....	431
Δημήτριος ΝΙΚΟΛΑΟΥ, <i>Τα σπήλαια της Νοτιοανατολικής Αττικής. Διαχρονικές όψεις της χρήσης τους και προοπτικές</i> .....	469
Λεωνίδας ΟΙΚΟΝΟΜΟΥ, <i>Μερικές σκέψεις για τη Ν.Δ. παραλία της Αττικής με ειδική αναφορά στην παραλία της Βούλας</i> .....	473
Δέσποινα Κ. ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΙΟΥ, <i>Οι παράκτιοι οικισμοί της Αττικής στο σταυροδρόμι των θαλάσσιων οδών του προϊστορικού Αιγαίου</i> .....	499
Νίκος ΠΑΠΑΓΙΑΝΝΑΚΟΣ, <i>Το ιωνικό κιονόκρανο στην παλαιοχριστιανική βασιλική της Βραυρώνας</i> .....	517
Ελευθερία ΠΑΠΑΔΑΚΗ-ΛΑΠΠΑ, Ελένη ΚΟΤΣΟΒΟΥ, <i>Λαοί και Πολιτισμοί στην Ανατολική Αττική στις Αλιεργές του 21ου αιώνα. Πολυπολιτισμός και Τοπικός Πολιτισμός. Έργασία Περιβαλλοντικής Ομάδας του Λυκείου Καλυβίων-Θορικού Αττικής 2001-2002</i> .....	543
Κ. ΠΑΥΛΟΠΟΥΛΟΣ, Π. ΚΑΡΚΑΝΑΣ, Μ. ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΥ, Ε. ΚΑΡΥΜΠΙΑΛΗΣ, Θ. ΤΣΟΥΡΟΥ, Ν. ΠΑΛΥΒΟΣ, Β. ΠΕΡΑΕΡΟΣ, <i>Παλαιογεωγραφική εξέλιξη της πεδιάδας του Μαραθώνα κατά το Μέσο-Ανώτερο Ολόκαινο</i> .....	551
Αικατερίνη ΠΡΕΒΕΝΑ, <i>Το Λαυρεωτικό ζήτημα στην ελληνική ιστοριογραφία</i> ..	573
Θεοδόσιος ΠΥΛΑΡΙΝΟΣ, <i>Ο Υμηττός στη λογοτεχνία</i> .....	583
Γεωργία ΣΑΚΑΡΙΚΟΥ, Αθανάσιος ΚΑΡΑΜΠΟΤΣΟΣ, Βασίλειος ΛΑΜΠΡΟΠΟΥΛΟΣ, <i>Μορφές διάβρωσης και διαδικασία συντήρησης μαρμαρίνων γλυπτών από τη συλλογή της Ελληνικής Εταιρείας Μεταλλουργείων Λαυρίου (Ε.Ε.Μ.Λ.)</i> ..	589
Ιωάννης ΣΤΑΜΕΛΟΣ, <i>Η Κερατέα της Αττικής σε ψηφιακή τεχνολογία πολυμέσων</i> .....	603

Γεωργία Σακαρίκου

Συντηρήτρια Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης, Τ.Ε.Ι. Αθήνας

Αθανάσιος Καραμπότσος

Συντηρητής Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης, Τ.Ε.Ι. Αθήνας

Βασίλειος Λαμπρόπουλος

Δρ Χημικός Μηχανικός Ε.Μ.Π, Επίκουρος Καθηγητής Τ.Ε.Ι. Αθήνας

«Μορφές διάβρωσης και διαδικασία συντήρησης  
μαρμάρινων γλυπτών από τη συλλογή της Ελληνικής  
Εταιρείας Μεταλλουργείων Λαυρίου (Ε.Ε.Μ.Λ.)»

*Εισαγωγή*

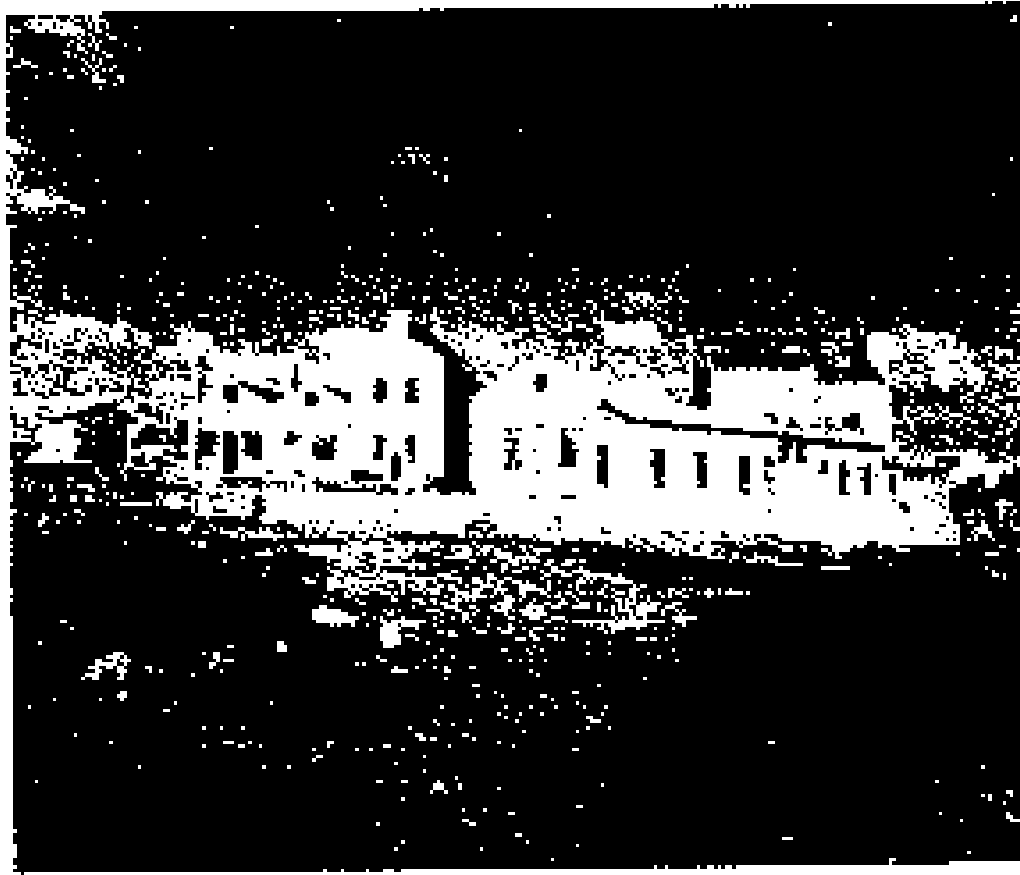
ΣΤΟ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟ Μουσείο Λαυρίου, το οποίο ως τον Οκτώβρη του 1999 λειτουργούσε σαν τόπος φύλαξης των ευρημάτων των ανασκαφών της Λαυρεωτικής, εκτίθενται μαρμάρινα γλυπτά τα οποία βρέθηκαν κατά τις εργασίες της Μεταλλευτικής Εταιρείας. Οι βασικότερες φθορές που παρατηρούνται, είναι η διάβρωση από την κρυστάλλωση ευδιάλυτων αλάτων, από την αιμοσφαιρική ρύπανση (μαύρη κρούστα) και από την ύπαρξη μεταλλικών συνδέσμων.

Στόχος της μελέτης είναι η ανάλυση με φυσικοχημικές μεθόδους των επικαθίσεων, που οφείλονται στις παραπάνω φθορές, διαδικασία απαραίτητη για τη σωστή επιλογή των υλικών και των μεθόδων που θα χρησιμοποιηθούν κατά τη διαδικασία συντήρησης των γλυπτών, καθώς και να ερευνηθεί κατά πόσο το ρυπασμένο περιβάλλον του Λαυρίου, εξαιτίας της αρχαίας μεταλλευτικής δραστηριότητας, είναι συνυπεύθυνο για τις μορφές διάβρωσης που παρουσιάζουν τα γλυπτά.

*Ιστορικά στοιχεία (βλ βιβλιογραφία 8)*

Όλη η περιοχή της Λαυρεωτικής ήταν σκεπασμένη με τόνους σκωριών και καταλοίπων της μεταλλευτικής δραστηριότητας των αρχαίων, ως τα μέσα πε-

ρίτου του 19ου αιώνα, οπότε άρχισε η δραστηριότητα των μεταλλευτικών εταιρειών.



*Εκ. 1 Εγκαταστάσεις της Γαλλικής Εταιρείας Μεταλλουργείων Λαυρίου.*

σε αποθήκες. Αργότερα, συγκεντρώθηκαν στο κτίριο του 2ου Δημοτικού Σχολείου (Σύλλογος Φίλομούσων Λαυρίου) και τη δημοτική αποθήκη. Μερικά προέρχονται από την παλαιά αποθήκη του Σουνίου, όπου είχαν συγκεντρωθεί ευρήματα από τις ανασκαφές ή από περιουλλογές. Άλλα φυλάσσονταν στα Μουσεία Πειραιώς και Βραυρώνος πριν μεταφερθούν πρόσφατα στο Μουσείο του Λαυρίου (βλ. βιβλιογραφία 9).



*Εκ. 2 Οι παλαιοί αριθμοί καταγραφής με μαύρη σινική μελάνη.*

Στο Λαύριο εργάστηκαν κυρίως η Γαλλική Εταιρεία Μεταλλείων Λαυρίου (Γ.Ε.Μ.Λ.) και η Ελληνική Εταιρεία Μεταλλουργείων Λαυρίου (Ε.Ε.Μ.Λ.), ξεκινώντας από την επανεκμετάλλευση των αρχαίων σκουριών και εκβολάδων.

Τα περισσότερα από τα μαρμαρίνα έργα που εκτίθενται στο μουσείο Λαυρίου βρέθηκαν τον ίδιο αιώνα, κατά τις εργασίες των εταιρειών αυτών και φυλάσσονταν στα κτίρια των γραφείων τους και

Οι άσχημες συνθήκες εύρεσης και φύλαξης καθώς και οι συχνές μεταφορές προκάλεσαν φθορές στα γλυπτά. Επίσης αντιασθητικοί είναι οι μεγάλοι αριθμοί καταγραφής από μαύρη σινική μελάνη, οι οποίοι αντιστοιχούν σε αριθμούς παλαιών συλλογών. Όπως, για παράδειγμα, η επιτύμβια στήλη 965, η διάβρωση της οποίας θα μελετηθεί παρακάτω, φέρει παλαιό αριθμό καταγραφής 1483 από το Μουσείο Βραυρώνος. Επίσης, στην ερμαϊκή στήλη 776, η οποία βρέθηκε στη βόρεια άκρη της Αγρωλέζας και σε σωρό εκβολάδων κοντά σε αρχαίες δεξιμένες, το κεφάλι αποκόπηκε από τη στήλη

και φυλάχθηκε χωριστά, ώσπου να συγκολληθεί πάλι από τον αξέχαστο γλύπτη Στ. Τριόντη (βλ. βιβλιογραφία 2). Όλα τα μαρμάρινα έργα χρονολογούνται περί τον Ύστερο 4ο π.Χ. αι.

### Στοιχεία περιβάλλοντος της περιοχής του Λαυρίου

Για τις κλιματολογικές συνθήκες στην περιοχή του Λαυρίου, δίνονται στοιχεία συγκεντρωτικά για το διάστημα Ιανουάριος 1970 έως και Ιανουάριος 1990 (Αγία Μαρίνα Λαυρίου σταθμός Δ.Ε.Η) με την παράθεση διαγράμματος που αφορούν: σχετική υγρασία, ύψος βροχόπτωσης, μέση θερμοκρασία αέρα, κατεύθυνση και ταχύτητα ανέμων (βλ. βιβλιογραφία 7).

Συχνότητα (%) ανά Διεύθυνση Ανέμων	Ζώνη ταχυτήτων (BEAUFORT)				
	1 - 2	3 - 5	6 - 7	7	Άθροισμα
N	2,15	10,83	4,29	0,61	17,88
NNE	1,61	12,42	7,02	0,38	21,43
NE	0,91	1,78	0,11	0,00	2,80
ENE	1,76	2,91	0,04	0,00	4,84
E	0,97	1,52	0,03	0,01	2,53
ESE	1,16	1,15	0,06	0,00	2,35
SE	0,42	0,56	0,10	0,00	1,04
SSE	0,63	2,20	0,13	0,00	2,94
S	1,00	3,43	0,38	0,01	4,56
SSW	1,46	3,25	0,12	0,01	5,10
SW	1,26	1,89	0,19	0,00	3,28
WSW	1,70	2,51	0,20	0,00	4,41
W	1,17	1,55	0,38	0,01	2,93
WNW	1,88	2,16	0,15	0,05	4,47
NW	1,69	1,81	1,07	0,02	3,67
NNW	2,61	8,08	1,20	0,10	11,86

Πίνακας καταγραφής συχνότητας (%) ανά διεύθυνση ανέμων-ζώνης ταχυτήτων (beaufort)

### Συμπεράσματα

1. Το κλίμα χαρακτηρίζεται από άφθονες βροχοπτώσεις κατά τη χειμερινή περίοδο, με πιο βροχερούς μήνες το Νοέμβριο, το Δεκέμβριο ή το Γενάρι. Η περιοχή διακρίνεται και για βροχοπτώσεις κατά τη θερινή περίοδο. Το ετήσιο βροχομετρικό ύψος κυμαίνεται από 700-1000 mm.

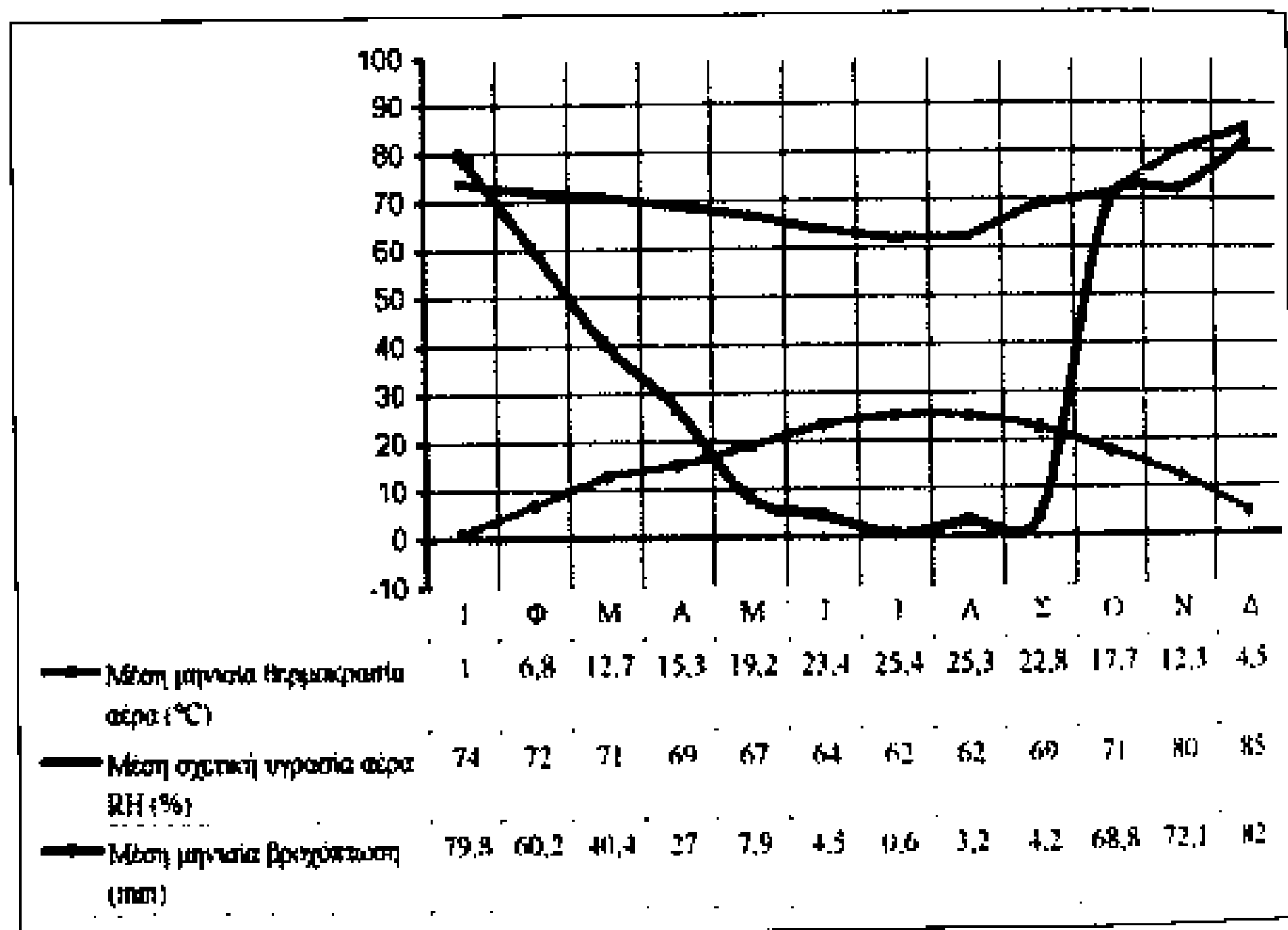
2. Στη διάρκεια της ψυχρής περιόδου σημειώνονται αρκετές χιονοπτώσεις και μικρές τιμές της θερμοκρασίας του αέρα, συχνά μικρότερες από 0 °C.

3. Το θέρος, η ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία σπάνια ξεπερνά τους 35 °C,

ενώ η αντίστοιχη ελάχιστη είναι δυνατόν να πέσει κάτω από τους 15 °C. Οι θερμοκρασιακές μεταβολές του 24ώρου είναι μεγάλες και φθάνουν στους 15 °C.

4. Η ταχύτητα του ανέμου παρουσιάζει απλή ετήσια κύμανση, με μέγιστη την ψυχρή περίοδο 3,5 m/sec και ελάχιστη τη θερμή 2,5 m/sec. Η κατεύθυνσή τους επηρεάζεται από το ανάγλυφο της περιοχής. Επικρατέστεροι άνεμοι είναι οι Βόρειοι (N), Βόρειοι-Βορειοανατολικοί (NNE), Νότιοι (S) και Νότιοι-Νοτιοανατολικοί (SSE). Σημαντικό είναι και το ποσοστό άπνοιας που επικρατεί στην περιοχή. Το ποσοστό των νηγεμιών διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στον τομέα της ρύπανσης της ατμόσφαιρας.

5. Η ετήσια πορεία της σχετικής υγρασίας παρουσιάζει απλή διακύμανση. Το μέγιστο (85%) και το ελάχιστο (50%) σημειώνεται το χειμώνα και το θέρος αντίστοιχα. Η τιμή της ετήσιας πορείας εξαρτάται από την τιμή του αντίστοιχου θερμοκρασιακού εύρους. Από το παραπάνω διάγραμμα διαπιστώνεται ότι η μέγιστη τιμή της RH σημειώνεται κυρίως την περίοδο Νοεμβρίου-Φεβρουαρίου, σε αντίθεση με την ελάχιστη τιμή της RH που σημειώνεται την περίοδο Ιουνίου-Σεπτεμβρίου.



Διάγραμμα 1. Μηνιαίο ύψος βροχής, σχετικής υγρασίας, μέσης θερμοκρασίας και ταχύτητας ανέμου στην περιοχή.

*Αναλύσεις υλικού και επικαθίσεων*

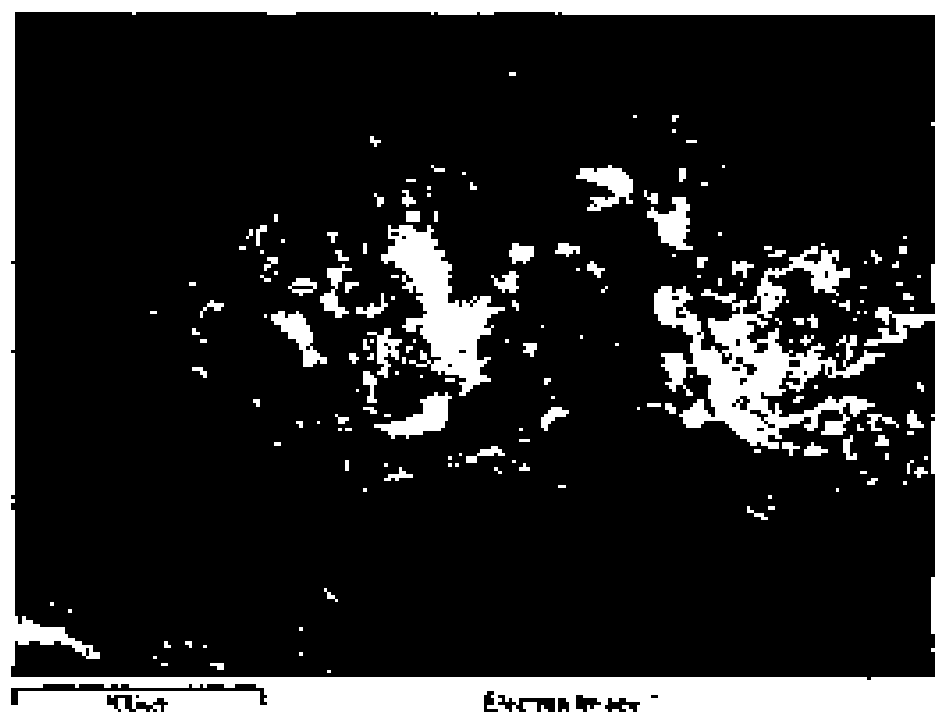
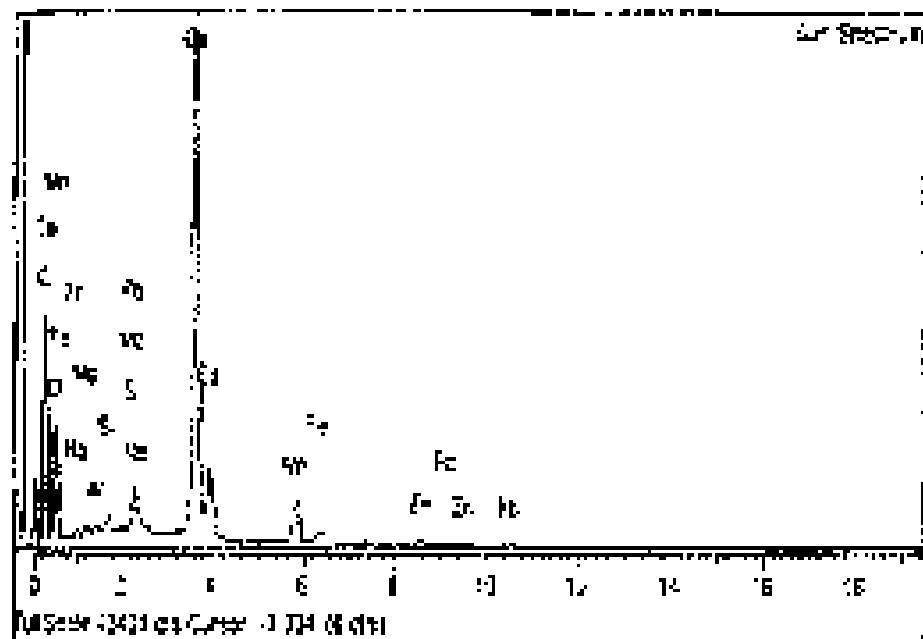
Φυσικοχημικές αναλύσεις για το ίδιο το υλικό των γλυπτών δεν έγιναν, όμως υπάρχουν μαρτυρίες πως χρησιμοποιήθηκε το λευκό μάρμαρο της Αγριλέζας στη Λαυρειωτική.

Για την ανίχνευση των διαφόρων στοιχείων της μαύρης κρούστας χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης (S.E.M.), σε τέσσερα δείγματα, και για την ταυτοποίηση των ορυκτών η περιθλασιμετρία ακτίνων Χ (X-R.D.), σε τρία δείγματα.

Τα αποτελέσματα της μεθόδου S.E.M. είναι τα παρακάτω:

Δείγμα/Πλάτη	Al	Fe	Mg	Mn	O	Pb	S	Si	Zn	C	K	Cl	Na	As	Ca
965	0.04	0.16	0.10	0.50	28.10	0.40	0.08	0.07	0.11						70.39
774	0.26	5.30	0.12		26.65		0.10	0.53	0.11		0.07	0.04	0.05		66.78
775	0.34	0.28	0.11		27.05		1.12	0.64	0.07	2.44	0.08		0.06	0.03	67.76
776	0.22	0.90	0.38	4.26	35.26	1.79	0.67	0.50	1.05	33.50			0.08		21.32

*Συγκεντρωτικός πίνακας ανίχνευσης χημικών στοιχείων με τη μέθοδο S.E.M. (ανάλυση κατά βάρος %).*

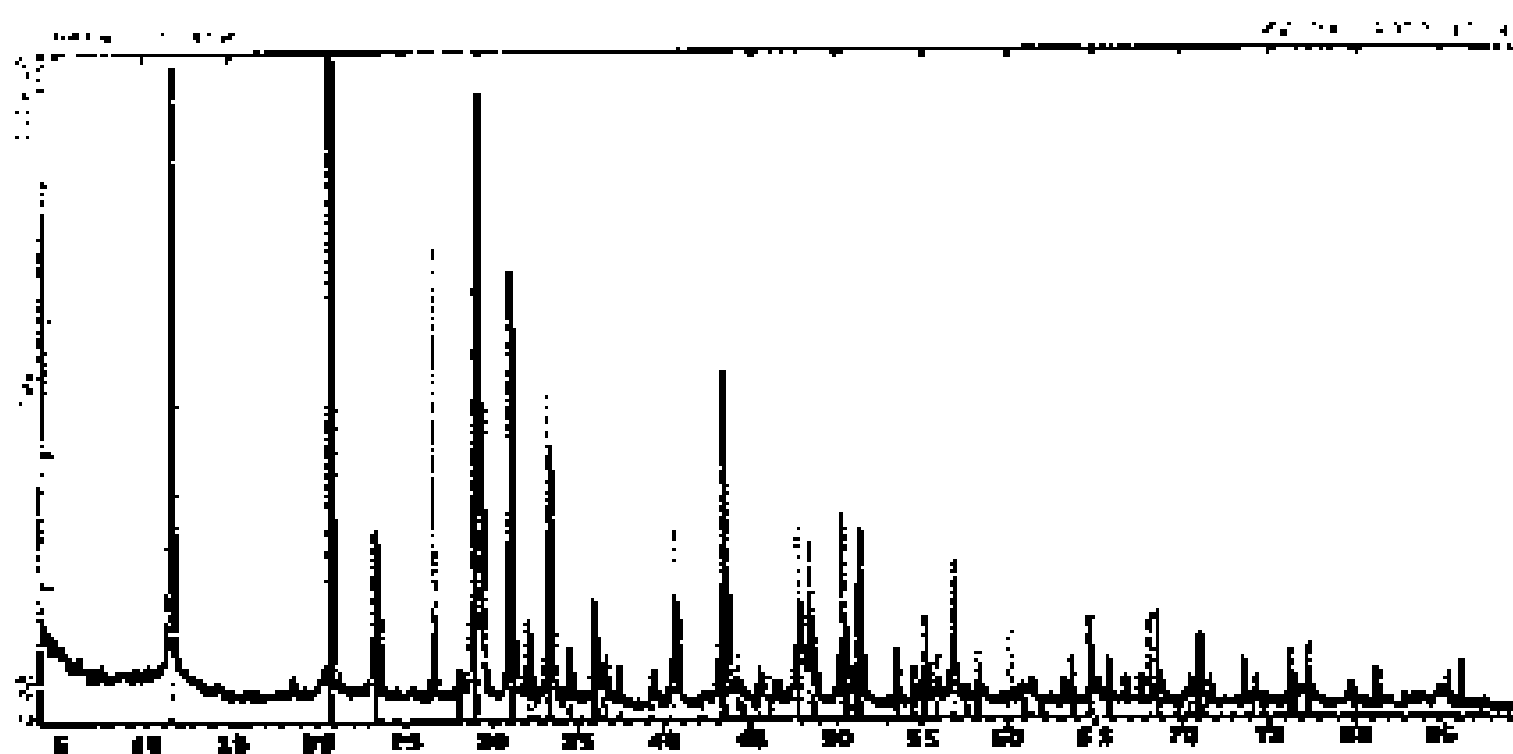


*Γράφημα και φωτογραφία με τη μέθοδο S.E.M..*



Τα αποτελέσματα της μεθόδου X-R.D είναι τα παρακάτω:

965	ασβεστίτης	χαλαζίας	οξείδια του σιδήρου
774	ασβεστίτης		
776	ασβεστίτης	χαλαζίας	γύψος



Συγκεντρωτικός πίνακας και φάσμα ανίχνευσης ενώσεων με τη μέθοδο X-R.D

Εξετάζοντας την προέλευση των διαφόρων συστατικών της μεύρης κροί-  
στας, διαπιστώνουμε ότι ο άνθρακας προέρχεται από τα υπολείμματα των  
καύσεων των πετρελαιοειδών που βρίσκονται σε διασπορά στη ρυπαυμένη  
ατμόσφαιρα αλλά και από τα αέρια που δημιουργούνται από τις τοξικές ου-  
σίες που λιώνουν, δηλαδή από την ατμοσφαιρική ρύπανση εξαιτίας της πε-  
χαίας μεταλλουργίας. Στο δείγμα 776, η τιμή του άνθρακα είναι αυξημένη  
εξαιτίας του τρόπου εγκιβωτισμού του δείγματος (επιγραφίτωση) για την αντί-  
ληψη στο S.E.M. Το ασβέστιο προέρχεται από το ασβεστολιθικό υλικό του  
μαρμάρου, αλλά και από ατμοσφαιρικά σωματίδια. Το κάλιο και νάτριο προ-  
έρχονται από το φαινόμενο της αλατονέφωσης από τη θάλασσα, με τη βοήθεια  
των ανέμων που επικρατούν στη περιοχή κατά καιρούς και το πυρίτιο από τις  
αργιλοπυριτικές προσμίξεις του υλικού, αλλά και από ατμοσφαιρικά σω-  
ματίδια (βλ. βιβλιογραφία 4).

Ο σίδηρος προέρχεται από τις επικαθίσεις των σκουριών, αλλά και από σι-  
δηρούχα υλικά των προϊόντων διάβρωσης των συνδέσμων ενώ ο ψευδάργυρος

(Zn), ο μόλυβδος (Pb) και το μαγνήσιο (Mg) από βιομηχανικούς ρύπους που υπάρχουν σε διασπορά στην ατμόσφαιρα ή στα μολυσμένα ύδατα του Λαυρίου, λόγω των αρχαίων εκβολάδων και σκαριών της μεταλλουργίας μολύβδου-αργύρου, μέσω των παραγόμενων όξινων νερών. Μάλιστα, μέρος των εκβολάδων και των πλυντιών (απορρίμματα εμπλουτισμού), μεταφέρθηκαν από τις βροχές και γέμισαν τις κοιλάδες και τις χαράδρες του Λαυρίου ή και παρασύρθηκαν μέχρι τη θάλασσα.

Δείγματα από σωρούς απορριμμάτων στη Λαυρεωτική υποβλήθηκαν σε χημική ανάλυση και σε προσδιορισμό τοξικότητας με τη δοκιμή TCLP/ΕΡΑ (Toxicity Characterization Leading Procedure), στο εργαστήριο Μεταλλουργίας του Ε.Μ.Π με διευθυντή τον αείμνηστο καθηγητή κ. Α. Κοντόπουλο. Συνοπτικά, μερικά από τα αποτελέσματα στις περιοχές, Μεγάλα Πεύκα, οικισμός Ν. Θορικού κ.ά. παρατίθενται παρακάτω (βλ. βιβλιογραφία 10):

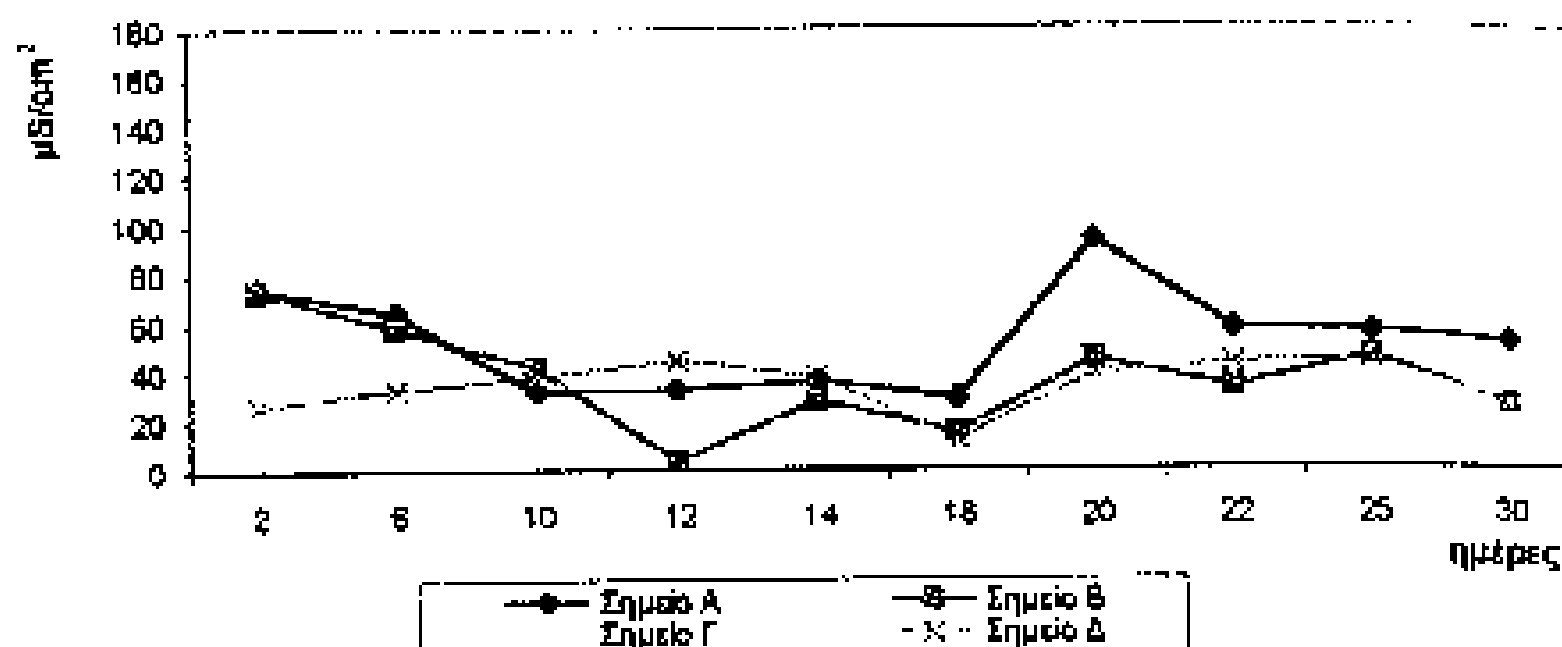
Pb(%)	Zn(%)	Cd(%)	As(%)	Fe(%)	Ca(%)	Mg(%)	Cu(%)	Αδιάλυτα
1.17	1.01	0.008	0.049	5.3	6.75	0.76	0.013	60.76
7.6	7.67	0.00485	0.027	8.505	16.12	0.595	0.033	21.18
9.57	5.32	0.035	0.042	6.75	21.69	0.43	0.037	

Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι οι σωροί των αρχαίων σκαριών και απορριμμάτων αποτελούνται από υλικά τοξικά για το περιβάλλον, γιατί η συγκέντρωση του μολύβδου υπερβαίνει σημαντικά τα επιτρεπόμενα περιβαλλοντικά όρια και επιπλέον παρουσιάζεται υψηλό βιοδιαθέσιμο κλάσμα ως προς μόλυβδο, ψευδάργυρο και κάδμιο.

Τέλος, πραγματοποιήθηκε ανίχνευση των διαλυτών αλάτων σε κάποια από τα γλυπτά που καθαρίστηκαν με τη μέθοδο της αφαλάτωσης. Η ανίχνευση έγινε σε τέσσερα διαφορετικά σημεία της μαρμαρίνης επιφάνειας. Τα αποτελέσματα είναι τα εξής:

Χρόνος (d)	Μέτρηση Ειδικής Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας (C) σε $\mu\text{S/cm}^2$			
	Σημείο Α	Σημείο Β	Σημείο Γ	Σημείο Δ
2	74	73	109	26
6	64	58	87	33
10	32	42	62	38
12	33	30	78	46
14	36	26	46	38
18	29	15	51	12
20	93	45	104	39
22	67	33	158	43
26	56	46	77	44
30	52	26	63	27

Διάγραμμα Ειδικής Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας - Χρόνου



\* η ειδική αγωγιμότητα του νερού: 11  $\mu\text{S}/\text{cm}^2$

Αν και οι τιμές δεν έχουν σταθεροποιηθεί όπως αναμενόταν, παρ' όλα αυτά, είναι μειωμένες αρκετά ως προς τις αρχικές. Οι πιθανές αυξομειώσεις των τιμών της αγωγιμότητας που παρατηρούνται, οφείλονται, κατά ένα μεγάλο μέρος, στην αστάθεια της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος του μουσείου, αφού οι μετρήσεις έγιναν σε θερινή περίοδο, και κατά δεύτερον, στις επικαθίσεις μικροσωματιδίων της ατμόσφαιρας στην επιφάνεια, αφού το πάνω μέρος του αιθρίου, όπου στεγάζονται τα γλυπτά, είναι ανοικτό, την περίοδο αυτή.

### Μορφές διάβρωσης

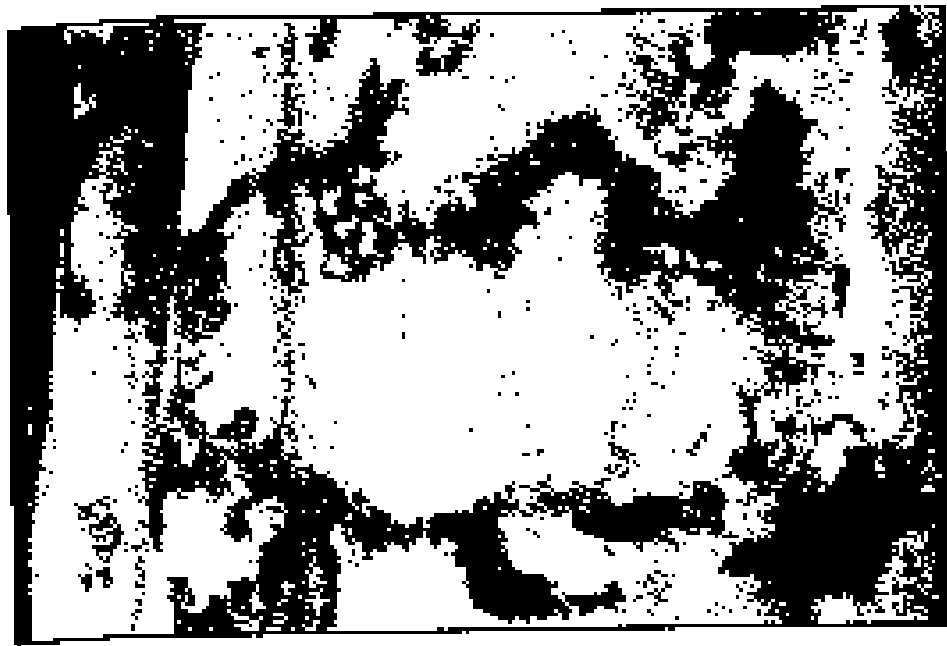
Η κυριότερη φθορά που παρατηρείται μακροσκοπικά στην επιφάνεια των γλυπτών είναι η ύπαρξη μαύρης κρούστας με μορφή εξογκωμάτων πάχους έως και 2 mm.

Στην ατμόσφαιρα της βιομηχανικής πόλης του Λαυρίου αιωρούνται στερεά σωματίδια, όπως αιθάλη, οξειδία διαφόρων μετάλλων, άργιλοι, γύψος, τσιμέντο, ανθρακικό ασβέστιο ( $\text{CaCO}_3$ ) και άμμος, που μεταφέρονται εύκολα από τον αέρα σε σκόνη ή σαν καπνός. Αυτά τα σωματίδια έχουν την τάση να επικαθίσουν στο μαρμάρινο υλικό μεταφέροντας μαζί ροφημένους υδρατμούς και άλλους ρυπαντές υγρούς ή αέριους.



Εικ. 3 Επικαθίσεις μαύρης κρούστας.

Οι ρυπαντές μαζί με τη γύψο, στα σημεία όπου η επιφάνεια δεν βρέχεται, σχηματίζουν μαύρη κρούστα, σκληρή ή συμπαγή, προσδίδοντας ένα αισθητικό αποτέλεσμα, αφού αλλάζει το φυσικό «παιχνίδισμα» του φωτός πάνω στις γλυπτές λεπτομέρειες. Μια άλλη μορφή διάβρωσης είναι η ύπαρξη των μεταλλικών συνδέσμων.



Εικ. 4. Μετανάστευση ιόντων σιδήρου στην επιφάνεια.

Η αύξηση του όγκου του σιδήρου έχει ως αποτέλεσμα τη ρυγμάτωση του υλικού και την απόσπαση κομματιών. Επίσης ιόντα σιδήρου κινούνται στην επιφάνεια και στο εσωτερικό του μαρμαρίνου υλικού, δημιουργώντας αρνητικά αισθητικά αποτελέσματα. Πρόκειται πιθανόν για υδροξυοξείδια του σιδήρου,  $Fe_2O_3 \cdot H_2O$ ,  $Fe_3O_4$ ,  $Fe(OH)_2$  και  $Fe(OH)_3$  τα οποία δημιουργούνται από τους μεταλλικούς συνδέσμους.



Εικ. 5. Απομείωση του υλικού λόγω της δράσης διαλυτών αλάτων.

Τέλος, η δράση της κρυστάλλωσης των ευδιάλυτων αλάτων προκάλεσε αλληπάλληλες αποφλοιώσεις και αποκολλήσεις ολόκληρων κομματιών της μαρμαρίνης επιφάνειας.

Πηγές αλάτων για τα γλυπτά αποτελούν:

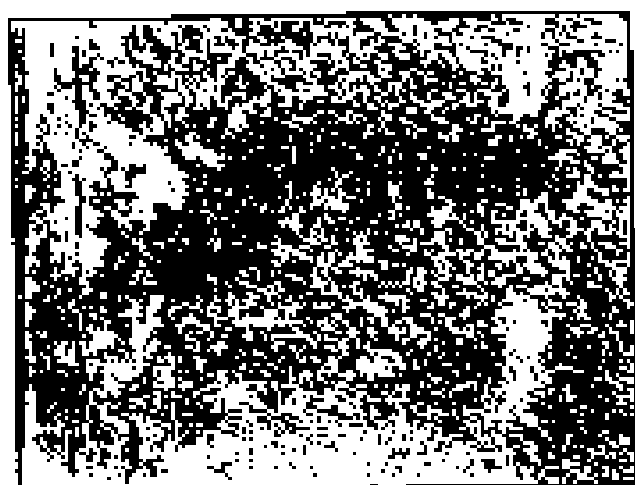
α. Τα μολυσμένα νερά του υπεδάφους της περιοχής, λόγω των αρχαίων οικισμών.

β. Η θάλασσα, από την οποία τα άλατα μεταφέρονται με το φαινόμενο της αλατονέφωσης, λόγω της κατεύθυνσης των ανέμων.

γ. Τα τοιμεντοκονιάματα που υπήρχαν στην επιφάνεια των γλυπτών από παλαιές εργασίες όσο αυτά φυλάσσονταν στις αποθήκες.

δ. Η ατμοσφαιρική ρύπανση με τους όξινους ρυπαντές, οξείδια του θείου, αζώτου και υδροχλωρικό οξύ που προσβάλλουν απ' ευθείας το μάρμαρο και σχηματίζουν τα αντίστοιχα άλατα του ασβεστίου και των αλκαλίων.

Είναι, επίσης, πιθανόν να συναντάται και διάβρωση από βιολογικούς παράγοντες παράλληλα με



Εικ. 6. Επικαθίσεις τοιμεντοκονιαμάτων.

τις παραπάνω μορφές, όμως είναι αδύνατον αυτή να προσδιοριστεί. Εξάλλου είναι δευτερεύουσας σημασίας απέναντι στα άλλα αίτια φθοράς.

### *Διαδικασία Συντήρησης*

Η απώλεια της καλλιτεχνικής ωραιότητας των γλυπτών, αφού οι φυσικές ανταύγειες του φωτός και οι αναγκαίες σκοτεινές σκιές, για την εκτίμησή της, έχουν καλυφθεί από το πάχος της μαύρης κρούστας καθώς και η προστασία των γλυπτών από περαιτέρω διάβρωση, αποτέλεσαν τους κυριότερους λόγους για την άμεση συντήρησή τους.

Οι μέθοδοι που αρχικά χρησιμοποιήθηκαν ήταν οι πλέον ανώδυνες. Τα γλυπτά αφαιρέθηκαν με τη τοποθέτηση κομπρεσών απιονισμένου νερού, έως ότου η αγωγιμότητα του νερού σταθεροποιηθεί σε χαμηλές τιμές. Στη συνέχεια, οι επιφάνειες καθαρίστηκαν με ουδέτερο απορρυπαντικό (Texarop), ενώ τα χώματα και οι επικαθίσεις των τσιμεντοκονιαμάτων αφαιρέθηκαν με μηχανικό τρόπο. Η αφαίρεση των παλαιών αριθμών καταγραφής, με μαύρη σιλική μελάνη, πραγματοποιήθηκε με τη χρήση μίγματος αιθυλικής αλκοόλης-ακετόνης αναλογίας 1:1.

Η μαύρη κρούστα αντιμετωπίστηκε αρχικά με την τοποθέτηση πολτού από σεπιολίτη και απιονισμένο νερό, για τέσσερις περίπου ώρες, δίχως αποτέλεσμα λόγω του πάχους και της σκληρότητάς της. Έτσι κρίθηκε αναγκαία η τοποθέτηση πάστας AB57 (100 cc H<sub>2</sub>O, 3 gr NH<sub>4</sub>HCO<sub>3</sub>, 5 gr NaHCO<sub>3</sub>, 2,5 gr E.D.T.A, 1 cc Desogen και σεπιολίτη) (βλ. βιβλιογραφία 5) και η τοποθέτησή της στο σημείο της επικάλυψης, σε τακτά χρονικά διαστήματα. Με την απομάκρυνσή της, η επιφάνεια αφαιρέθηκε με απιονισμένο νερό, μετρώντας το pH του νερού που φεύγει από την επιφάνεια, έτσι ώστε να μην μείνουν αλκαλικά υπολείμματα που θα μπορούσαν να προκαλέσουν επιφανειακή φθορά. Επίσης, ελέγχεται η αγωγιμότητα του νερού έκπλυσης ώστε να μην μείνουν διαλυτά άλατα στην επιφάνεια του μαρμάρου. Δυστυχώς τα αποτελέσματα δεν ήταν τα αναμενόμενα.

Τέλος, λόγω της εμφάνισης ιόντων σιδήρου στη σύσταση της μαύρης κρούστας, παρασκευάστηκε διάλυμαθειογλυκολικού οξέος 5% κ.ό, αφού εξουδετερώθηκε με πυκνή αμμωνία, έως ότου το διάλυμα αποκτήσει pH 7. Η εξουδετέρωση πραγματοποιείται για να μην αντιδράσει το οξύ με το αλκαλικό υλάκο (μάρμαρο) και παρακολουθείται με ηλεκτρονικό pH-μετρο. Το διάλυμα τοποθετήθηκε, τόσο στη μαύρη κρούστα όσο και σε άλλες επικαθίσεις σκουριάς, υπό μορφή πάστας με χαρτί και όταν αυτή χρωματίστηκε μοβ, απομακρύνθηκε αμέσως και η επιφάνεια ξεπλύθηκε με άφθονο απιονισμένο νερό. Τα αποτε-

λέομαιτα ήταν ικανοποιητικά (βλ. βιβλιογραφία 6).



Εικ. 7. Πρίν τον καθαρισμό με διάλυμα θειογλυκολικού οξέος 5% κ.ό.



Εικ. 8. Μετά τον καθαρισμό.

Οι επιφάνειες εκείνες που υπέστησαν ρωγμές, απόσπαση κομματιών και αποφλοιώσεις, στερεώθηκαν με ενέματα, τα οποία παρασκευάσθηκαν με τις εξής αναλογίες: 1 μέρος κ.β. λευκό τσιμέντο, 3 μέρη κ.β. ασβέστη, 6% κ.β. του βάρους του ασβέστη ανθρακικό ασβέστιο, ώχρα 12% κ.β. του βάρους του λευκού τσιμέντου, όμπρα ψημένη 8% κ.β. του βάρους του λευκού τσιμέντου. Το ένεμα τοποθετήθηκε με σύριγγα λεπτής διαμέτρου, ώστε να εισχωρήσει και κάτω από τη μαρμάρινη επιφάνεια, επειδή τα σημεία αυτά ήταν κενά και έτοιμα προς αποκόλληση. Επίσης, τοποθετήθηκε πάνω στο ένεμα κομπρέσα με απιονισμένο νερό, καλυπτόμενη με διαφανή μεμβράνη, ώστε αυτό να μην ρηγματώσει από το ατύτομο στέγνωμα.

Το τελικό στάδιο συντήρησης ήταν η στερέωση των γλυπτών με ψεκασμούς και κομπρέσες ουδέτερου χαρτιού, κορεσμένου διαλύματος υδροξειδίου του ασβεστίου ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) και με την ελάχιστη προσθήκη οξίνου ανθρακικού ασβεστίου ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ), το οποίο ενισχύει την αντοχή του μαρμάρινου υλικού.



Εικ. 9. Στάδιο συμπλήρωσης με ένεμα.



Εικ. 10. Μετά τη συμπλήρωση.

*Το μικροκλίμα του μουσείου Λαυρίου (βλ. βιβλιογραφία 3)*

Μετά το τέλος των εργασιών συντήρησης, θα πρέπει οι μεταβαλλόμενες συνθήκες περιβάλλοντος, στις οποίες θα εκτίθενται τα γλυπτά, να είναι ελεγχόμενες ώστε οι διαδικασίες διάβρωσης να ελαχιστοποιηθούν στο μέγιστο δυνατό.

Το σύνολο των περιβαλλοντικών παραμέτρων που επικρατούν στον εσωτερικό χώρο ενός μουσείου αποτελούν το «κλίμα» ή το «μικροκλίμα» του μουσείου και αυτό χωρίζεται στα εξής υποκλίματα: το θερμικό, το ατμοσφαιρικό, το οπτικό και το ακουστικό κλίμα.

Το ακουστικό κλίμα είναι η «σιτάθμη θορύβου», της οποίας το επιθυμητό επίπεδο πρέπει να κυμαίνεται από 35 ως 45 dB (decibel). Ακουστική πηγή για το μουσείο του Λαυρίου, αποτελεί η κυκλοφορία των αυτοκινήτων στους γειτονικούς δρόμους, αφού αυτό βρίσκεται στο κέντρο της πόλης. Οι συχνότητες της ακουστικής πηγής θέτουν σε συντονισμό, άρα σε ταλαντώσεις μεγάλου πλάτους, τα εκθέματα τα οποία απορροφούν αυτή τη μορφή ενέργειας.

Όσο αφορά το οπτικό κλίμα, πρέπει να ληφθεί υπόψη η ένταση της ακτινοβολίας που προσπίπτει στα γλυπτά και ο χρόνος έκθεσής τους σε αυτήν. Στο μουσείο του Λαυρίου το φως είναι φυσικό και πηγές υπεριώδους ακτινοβολίας χρησιμοποιούνται ελάχιστα και κατά περιοδικά διαστήματα.

Τα κυριότερα προβλήματα που αντιμετωπίζει το μουσείο είναι η σχετική υγρασία και η θερμοκρασία (θερμικό κλίμα), η οποία πρέπει να παραμένει σταθερή όλο το χρόνο στους 21 ± 1,5 C. Ο έλεγχος πρέπει να γίνεται με μηχανολογικό εξοπλισμό, όπως υγραντές, αφυγραντές, κλιματιστικές μονάδες κ.ά.

Επίσης, τα στοιχεία από τη ρύπανση της ατμόσφαιρας του Λαυρίου (ατμοσφαιρικό κλίμα), όπως αιωρούμενα σωματίδια, το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>), το διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>), η αμμωνία (NH<sub>3</sub>) και το υδροχλώριο (HCl), επηρεάζουν όλα τα εκθέματα του μουσείου (μάρμαρο, μέταλλο, χρωστικές ουσίες κ.λπ.), λόγω του ότι κατά τους θερινούς μήνες, η οροφή του αίθριου είναι ανοικτή. Αυτό, βέβαια προκαλεί και άλλα προβλήματα, όπως η εισβολή πουλιών, των οποίων τα οξείνα εκκρίματα φθείρουν το πέτρινο υλικό και δημιουργούν κατάλληλο έδαφος για την καλλιέργεια ετερότροφων μικροοργανισμών.

Πρέπει, λοιπόν, να προβλεφθεί μια τοπική ή κεντρική εγκατάσταση καθαρισμού του αέρα ή να χρησιμοποιηθούν φίλτρα ενεργού άνθρακα ή να τοποθετηθεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα κλιματισμού.

### Τελικά συμπεράσματα

Με βάση τις φυσικοχημικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν και τις ιστορικές μαρτυρίες που συλλέχθηκαν, διαπιστώνουμε ότι οι διάφορες μορφές διάβρωσης που συναντάμε στα γλυπτά οφείλονται κατά κύριο λόγο:

α. Στις συνθήκες εύρεσής τους. Είναι βέβαια, γνωστό ότι το περιβάλλον, στο οποίο βρέθηκαν τα γλυπτά, ήταν κορεσμένο από στοιχεία ρύπανσης (όπως σκωρίες, εκβολάδες κ.λπ.). Παρ' όλα αυτά, δεν γνωρίζουμε αν οι επικαθίσεις της μαύρης κρούστας στην επιφάνεια του μαρμάρου προϋπήρχαν ή δημιουργήθηκαν όταν τα γλυπτά ήρθαν στην επιφάνεια, τον 19ο αιώνα, από την Ελληνική Εταιρεία Μεταλλουργείων Λαυρίου. Αυτό χρήζει περαιτέρω έρευνας. Αν, όμως, οι επικαθίσεις δημιουργήθηκαν αργότερα, τότε αυτές οφείλονται:

β. Στη ρυπασμένη ατμόσφαιρα του Λαυρίου, στην οποία συνέβαλλε τόσο η αρχαία μεταλλουργία αργύρου-μολύβδου, όσο και η μετέπειτα μεταλλευτική δραστηριότητα των διαφόρων εταιρειών. Τεκμηρίωση όλων των παραπάνω προβληματισμών αποτελεί το γεγονός της ανάχνευσης όμοιων χημικών στοιχείων στα δείγματα της μαύρης κρούστας, με εκείνα των αρχαίων σκωριών, όπως μόλυβδος, σίδηρος κ.λπ.,

γ. Στις συνθήκες φύλαξης και αποθήκευσης καθώς και στις συχνές μεταφορές τους.

Επισημαίνεται, επίσης, πως πρέπει να γίνει περαιτέρω ανάλυση του υλικού των γλυπτών με φυσικοχημικές μεθόδους, ώστε να ταυτοποιηθεί με ακρίβεια η χημική και ορυκτολογική του σύσταση.

Από τις προηγούμενες μορφές φθορών και την αντίστοιχη τεκμηρίωσή τους επιλέχθηκαν οι διαδικασίες συντήρησης που εκτενώς αναφέρθηκαν. Για τις διαδικασίες αυτές χρήζει περαιτέρω έρευνα σε σχέση μετά τα συμπεράσματα της μορφολογίας και της προέλευσης των φθορών.

### Βιβλιογραφία

1. Κοντόπουλος Α., Κόμνιτσας Κ., Ξενίδης Α., Παλασιώτη Ν., *Παρούσα περιβαλλοντική κατάσταση στο Λαύριο και προοπτικές εξυγίανσης*.
2. Κορδέλλας Α., *Λαυρεωτικά αρχαιότητες AM (Athenische Mi Heilungen)*, 1894, σελ. 241.
3. Λαμπρόπουλος Β., Σημειώσεις στο μάθημα «Περιβαλλοντικές παράμετροι».



μήμα Συντήρησης Αρχαιοτήτων και Έργων, Τ.Ε.Ι. Αθήνας, Αθήνα 1998.

4. Λαμπρόπουλος Β.Ν., *Διάβρωση και συντήρηση της πέτρας*, Αθήνα 1992, σελ.55.

5. Λαμπρόπουλος Β.Ν., *ό.π.*, σελ. 60.

6. Λαμπρόπουλος Β.Ν., *ό.π.*, σελ. 65.

7. Μαυλιζα Γαρυελλή, *«Μουσείο Βιομηχανικής Ιστορίας στην Κεμιάριζα Λαυρίου»*, Οκτώβρης 1995, ΤΕΙ Αθήνας, Τμήμα ΣΑΕΤ, σελ. 96.

8. Milchhooter A., *Antikenbericht ans Attika*, *AM* 1887, 294-303.

9. Σαλλιώρα-Οικονομάκου Μ., *Λαυρεωτική. Το μουσείο του Λαυρίου*, Τ.Α.Π., ΥΠ.Π.Ο., Αθήνα 2002.

10. Τσαΐμου Κ.Γ., *Αρχαίο Λαύριο και περιβάλλον*, *Αρχαία Ελληνική Τεχνολογία*, 1997, σελ. 35-36.

## ABSTRACT

### TYPES OF EROSION AND PRESERVATION PROCEDURE OF SCULPTURES FROM THE COLLECTION OF THE GREEK METALLURGICAL COMPANY OF LAVRION (G.M.C.L).

Sacaricou G., Karabotsos A., Lampropoulos V.

The Greek Metallurgical Company of Lavrion has excavated a number of sculptures during its activities in the area of Lavreotiki, in the 19th century. The environmental conditions that the sculptures were found are characterized by toxic and hazardous spoils of mining and metallurgical wastes due to the intensive mining and the metallurgy of Argentum (Ag) - Lead (Pb).

The main types of deterioration that observed are corrosion from: crystallization of soluble salts, atmospheric pollution (black crust) and metallic bonds.

The object of this study is to analyze the deterioration lays of the surface with physicochemical methods, so it will be easier to select the appropriate materials and the preservation procedure and also to search the relationship between the stained environment of Lavrion, because of the ancient metallurgical activity, and the types of erosion that the sculptures present.