



ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟ ΜΟΥΣΕΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Εργαστήριο Χημικών, Φυσικών Μελετών & Αρχαιομετρίας

ΑΡΧΑΙΟΜΕΤΡΙΑ

Η συμβολή του Χημικού
στη μελέτη – προστασία του Πολιτισμού

Χρήστος Κατσιφας

Χημικός (MSc) – Συντηρητής Αρχαιοτήτων & Έργων Τέχνης



Εισαγωγικά (I)

Χημεία
Φυσική
Μαθηματικά
Βιολογία
Γεωλογία
Επιστ. Η/Υ

*Διεπιστημονική
συνεργασία*

Μελέτη &
διάσωση
πολιτισμικού
υλικού

- 1906: χημική ανάλυση σφραγίδας κοπής αθηναϊκών τετράδραχμων.
- Παρίσι 1950: ανακοινώνεται η χρονολόγηση με ^{14}C σε αρχαιολογικό συνέδριο.
- 1958: «Υλικά Δομής», Ορλάνδος (αναλύσεις κονιαμάτων).
- 1984: η Αρχαιομετρία εισάγεται στο τμήμα Χημείας ΑΠΘ ως 50% του μαθήματος «Προχωρημένη Ποσοτική Ανάλυση» (Ι. Στράτης).
- 1987: διδάσκεται ως μάθημα επιλογής στο Τμήμα Αρχαιολογίας ΑΠΘ

Εισαγωγικά (II)

Οι **αρχαιομετρικές μελέτες** αποσκοπούν:

- Διερεύνηση και ανασύσταση των αρχαίων τεχνολογιών και τεχνικών.
- Δημιουργία βάσεων δεδομένων (αρχαίες τεχνολογίες – υλικά).
- Χρονολόγηση αντικειμένων και πολιτισμικών φάσεων.
- Έλεγχο αυθεντικότητας μνημείων και έργων τέχνης.
- Εντοπισμό προέλευσης και διακίνησης πρώτων υλών και τελικών προϊόντων.
- Ανάπτυξη υλικών και τεχνικών για την αποκατάσταση και συντήρηση μνημείων.
- Εντοπισμό αρχαιολογικών θέσεων.

Εργαστήρια Αρχαιομετρίας (I)

Ερευνητικά Ινστιτούτα

- Ε.Κ.Ε.Φ.Ε «Δημόκριτος», Εργαστήριο Αρχαιομετρίας (www.ims.demokritos.gr)
- Ινστιτούτο Ηλεκτρονικής Δομής & Λείζερ - Ι.Τ.Ε. Κρήτης, (www.forth.gr)
- Ινστιτούτο Πολιτιστικής & Εκπαιδευτικής Τεχνολογίας (Ι.Π.Ε.Τ.) , Ξάνθη (www.ceti.gr)
- Διαγνωστικό Κέντρο Έργων Τέχνης, Ίδρυμα Ορμύλια (www.artdiagnosis.gr)

Πανεπιστημιακά Ιδρύματα

- Εργαστήριο Αναλυτικής Χημείας, Τμήμα Χημείας, Α.Π.Θ.
- Τομέας Φυσικής Στερεάς Κατάστασης, Τμήμα Φυσικής. Α.Π.Θ.
- Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή, Α.Π.Θ.
- Εργαστήριο Μεταλλογνωσίας, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων -Μεταλλουργών ΕΜΠ. (www.metal.ntua.gr)
- Κέντρο Αρχαιομετρίας, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων (www.uoi.gr)
- Εργαστήριο Αρχαιομετρίας, Τμήμα Ιστορίας Αρχαιολογίας & Διαχείρισης Πολιτισμικών Αγαθών, Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου (www.uop.gr)
- Τμήμα Μεσογειακών Σπουδών, Πανεπιστήμιο Αιγαίου (www.aegean.gr)

Εργαστήρια Αρχαιομετρίας (II)

- Τμήμα Διαχείρισης Εκκλ. Κειμηλίων, Ανωτ. Εκκλ. Ακαδημία Θεσσαλονίκης (www.aeath.gr)
- Τμήμα Συντήρησης Αρχαιοτήτων & Έργων Τέχνης, Σ.Γ.Τ.Κ.Σ., Τ.Ε.Ι. Αθηνών (www.teiath.gr)

Υπουργείο Πολιτισμού

- Εργαστήριο Χημικών, Φυσικών Μελετών & Αρχαιομετρίας, Α.Μ.Θ. (www.amth.gr)
- Εργαστήριο Χημικών, Φυσικών Μελετών & Αρχαιομετρίας, Ε.Α.Μ. (www.eam.gr)
- Κέντρο Λίθου, ΔΣΑΝΜ, Αθήνα

- Ελληνική Αρχαιομετρική Εταιρία (ΕΑΕ) (www.archaeometry.org.gr)

Σπουδές στην Αρχαιομετρία

Μεταπτυχιακά Προγράμματα Σπουδών

- Δ.Π.Μ.Σ. «Προστασία , συντήρηση & αποκατάσταση μνημείων πολιτισμού» κατεύθυνση Β΄, Πολυτεχνική Σχολή, Α.Π.Θ.
- Δ.Π.Μ.Σ. «Προστασία μνημείων», Κατ. Α΄: «Συντήρηση & αποκατάσταση ιστορικών μνημείων και συνόλων», Κατ. Β΄ «Υλικά & επεμβάσεις συντήρησης», Ε.Μ.Π.
- «Εφαρμοσμένες αρχαιομετρικές επιστήμες», Πανεπιστήμιο Αιγαίου.
- «Διαχείριση & ανάδειξη πολιτισμικών αγαθών και περιβάλλοντος» Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου.

Επιμορφωτικά προγράμματα

- «e-learning στην Αρχαιομετρία – Νέες τεχνολογίες, συντήρησης & διαχείριση αρχαιοτήτων», Πανεπιστήμιο Αιγαίου.

Το πρόβλημα της δειγματοληψίας

Νόμος 3028/02

- Απαγορεύεται δειγματοληψία που απαιτεί αφαίρεση τμήματος από ολόκληρο αρχαιολογικό αντικείμενο.
- Η εφαρμογή της καταστρεπτικής τεχνικής είναι εφικτή μόνο σε θραύσματα που δεν μπορούν να συγκολληθούν .
- Δεν εξετάζεται αίτημα για εφαρμογή καταστρεπτικής τεχνικής όταν για τον ίδιο ερευνητικό στόχο προσφέρεται άλλη, μη καταστρεπτική.
- Εάν έχει χορηγηθεί άδεια δειγματοληψίας στο παρελθόν για ένα μνημείο, δεν δίνεται νέα άδεια εάν δεν τεκμηριωθεί επαρκώς.



Αντιμετώπιση του προβλήματος

- Εξάντληση δυνατοτήτων των μη επεμβατικών αναλυτικών τεχνικών (XRF, PIXE, LIBS, LA-ICP-MS).
- Επιλεκτική προσφυγή σε τεχνικές που προϋποθέτουν διαλυτοποίηση (AAS, ICP-AES, ICP-MS).

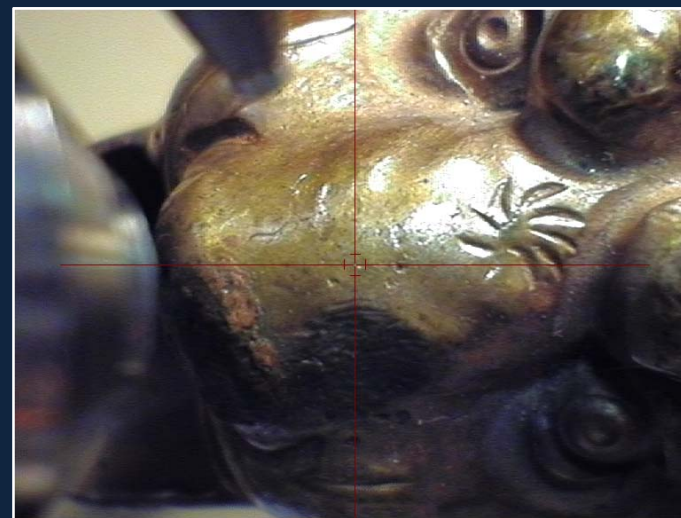
Μη επεμβατική εφαρμογή φασματοσκοπίας EDXRF



Οργανολογία φασματοσκοπίας EDXRF
Artax 400 Bruker



Ακτινοβόληση μετάλλινου αγγείου



Εικόνα από κάμερα οργάνου

Κρατήρας Δερβενίου

- Τάφος Β Δερβενίου
- Κρατήρας ύψους 90,5 cm, ≈40 kg
- Διακόσμηση: ύμνος στον θεό Διόνυσο
- 4^{ος} αι. π.Χ.
- Προϊόν προηγμένης τορευτικής
- Τεφροδόχος
- Αρχική χρήση: ανάμειξη κρασιού – νερού



Κρατήρας Δερβενίου

Ανάλυση με AAS

	Sn	Cu	Pb	Zn	Fe	Ni	Au	Ag	Sb	Co	As
Καπάκι	14,9	84,9	-	0,005	0,046	0,05	-	0,005	√	√	-
Κυρίως σώμα	14,88	85,03	-	0,009	0,10	-	-	-	-	-	-
Βάση	12,80	85,68	0,16	0,07	0,36	0,06	-	0,018	0,67	0,05	-
Επιδερμίδα Σειληνού	-	97,5	-	-	2,10	0,20	-	-	-	-	-
Κοιμώμενος σάτυρος	13,75	85,50	-	0,16	0,16	-	-	-	-	-	0,34

- Δείγματα της τάξης 0,006g
- Υψηλή ποσότητα Sn (χρυσίζουσα εντύπωση, ψαθυρότητα, διάβρωση, τήξη)
- Cu υψηλής καθαρότητας (πιθανή προέλευση: Κύπρος).
- Δεν ανιχνεύθηκε Au
- Επιδερμίδα Σειληνού: αισθητική διαφοροποίηση (κόκκινος Cu)

Κρατήρας Δερβενίου

Τεχνολογία κατασκευής

Μεταλλογραφική εξέταση

- Χυτά τμήματα: χερούλια, βάση, αγαλματίδια.
- Σφυρήλατα τμήματα: κυρίως σώμα, καπάκι.
- Θερμοκρασίες θέρμανσης: συγκρίσεις μικροδομής με πρότυπα.

X-Radiography

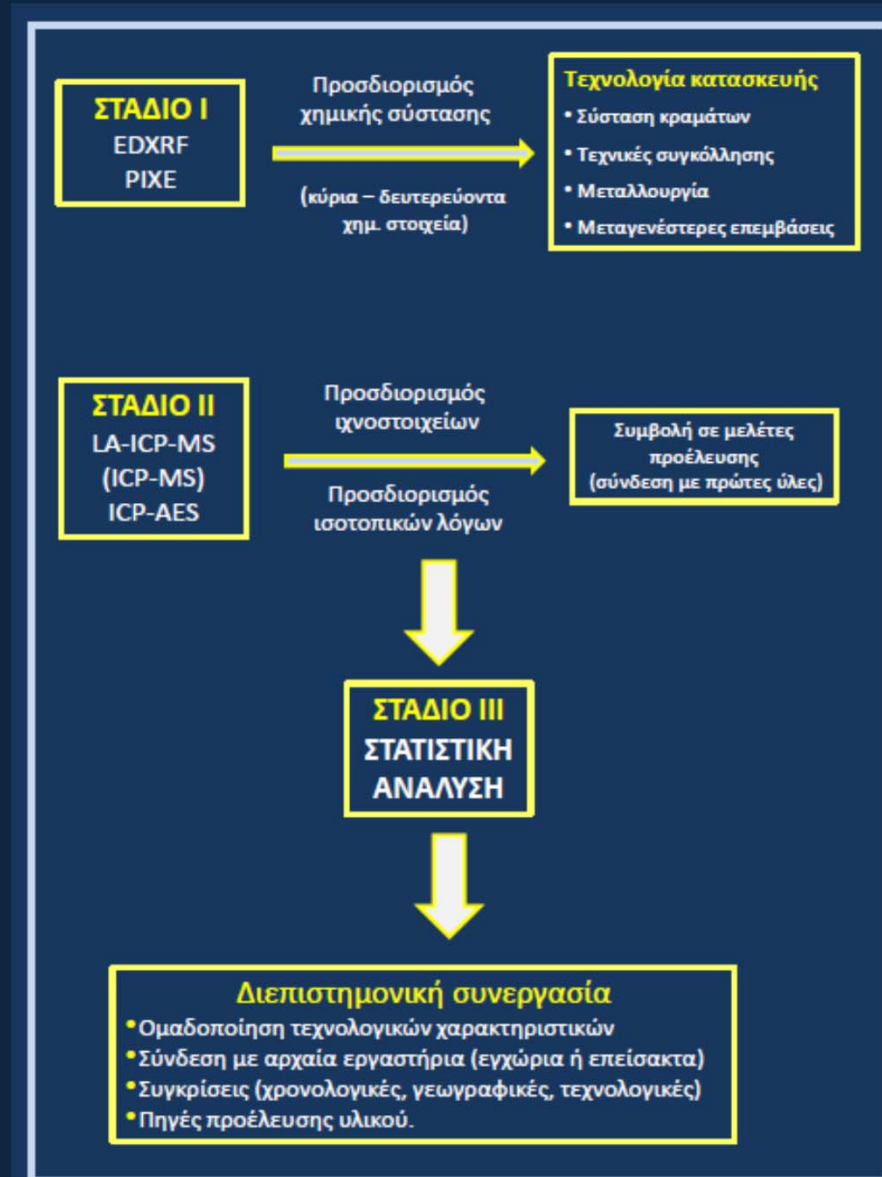
- Ενιαίο μεταλλικό φύλλο ως τη ζωφόρο.
- Κόλληση στην ζωφόρο (συνήθως καλύπτεται με διακόσμηση).
- Αγαλματίδια συμπαγή.
- Χρήση τόρνου (συμμετρία ως προς τον άξονα)
→ υψηλό επίπεδο μεταλλοτεχνίας
- Υψηλής τεχνικής ανάγλυφες παραστάσεις



**Μεταλλικά
αγγεία - τάφος
B Δερβενίου**

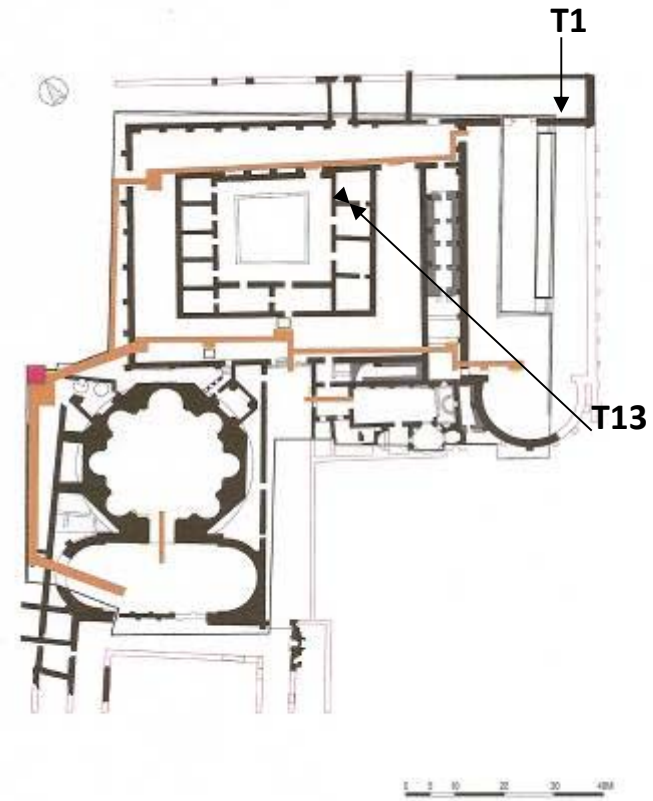


Μεθοδολογία μελέτης μεταλλικών τεχνουργημάτων



ΓΑΛΕΡΙΑΝΟ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑ - ΝΟΤΙΟ ΥΠΟΣΥΝΟΛΟ

- Ανασκαφή Πλ.Ναυρίνου 1964
- Βόρειο περιστύλιο: ανατολική πλευρά, διαχωριστικός τοίχος (T13) των δύο πρώτων από βορρά δωματίων
- Βασιλική: βόρεια όψη, βόρειος τοίχος (T1)

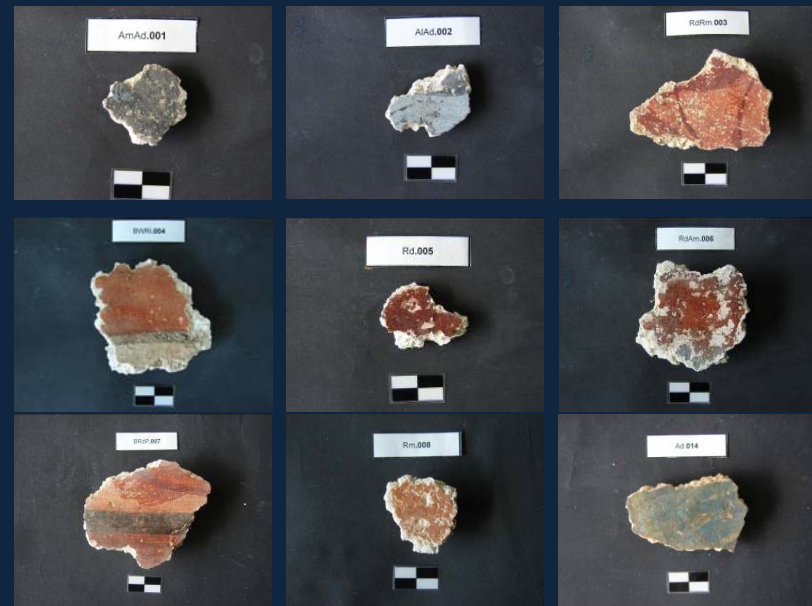


Ανασκαφή Πλ. Ναυαρίνου - Κάτοψη
ΙΣΤ'Ε.Π.Κ.Α

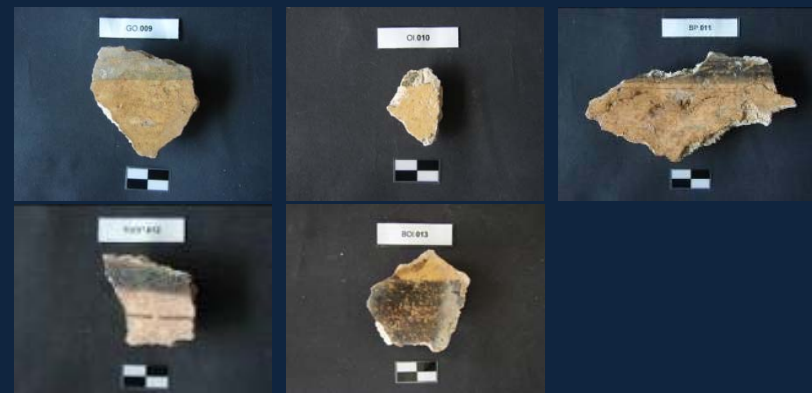
ΕΠΙΛΟΓΗ ΣΠΑΡΑΓΜΑΤΩΝ



T₁₃



T₁



ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ

- ΟΠΤΙΚΗ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ (ΟΜ)
- ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑ ΦΘΟΡΙΣΜΟΥ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ (μΧRF)
- ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ ΣΑΡΩΣΗΣ ΜΕ ΦΑΣΜΑΤΟΜΕΤΡΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ (SEM-EDX)
- ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑ μRaman

ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑ ΦΘΟΡΙΣΜΟΥ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ (XRF)

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Κωδικός σπαράγματος	Χρώμα ακτινοβολούμενης περιοχής	Ταυτοποιούμενα χημ. στοιχεία		Προτεινόμενη χρωστική	Χημικός τύπος
		Κύρια χημικά στοιχεία	Δευτερεύοντα χημικά στοιχεία		
T13-001	γαλάζιο	(Ca), Cu, Si	Zn, Pb	αιγυπτιακό κυανό	$\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$
T13-001	λευκό	(Ca)	Si, Fe, Zn	ασβεστίτης	CaCO_3
T13-002	κυανό	(Ca), Fe, Cu, Si	Zn, Pb	αιγυπτιακό κυανό + οξείδιο Fe	$\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10} + \text{Fe}_x\text{O}_y$
T13-002	γαλάζιο	(Ca), Fe, Cu, Si	Zn, Pb	αιγυπτιακό κυανό + οξείδιο Fe	$\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10} + \text{Fe}_x\text{O}_y$
T13-003	λευκό	(Ca)	Si, Fe	ασβεστίτης	CaCO_3
T13-003	κόκκινο	(Ca), Fe ,	Ba	οξείδιο Fe (αιματίτης)	Fe_2O_3
T13-003	σκούρο κόκκινο	(Ca), Fe	Ba	οξείδιο Fe (αιματίτης)	Fe_2O_3

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΤΙΚΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ

- Αδυναμία ανίχνευσης οργανικών ενώσεων (μαύρες χρωστικές, κ.α.)
- Αδυναμία ανίχνευσης συνδετικού υλικού
- Διάμετρος ακτινοβολούμενου spot: 0,650mm (σύγκριση με διάμετρο κόκκων χρωστικής)



Συμπληρωματικές τεχνικές

- SEM-EDX
- Φασματοσκοπία μRaman

ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑ μ Raman



Φασματόμετρο μ Raman οίκου Renishaw
Ανωτάτη Εκκλ. Ακαδημία Θεσ/νίκης

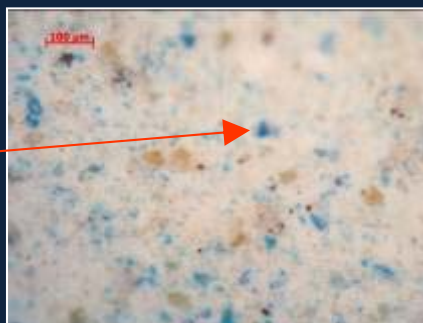
- Φασματοσκοπική διάταξη οίκου **Renishaw**
- (μικροσκόπιο)
- **Ανιχνευτής CCD** (Charge Couple Device)
- **Πηγή διέγερσης:** laser Ar+
- **Μήκος κύματος** ακτινοβολίας εκπομπής:
 $\lambda=488 \text{ nm}$
- **Εστίαση laser:** αντικειμενικός φακός 100x (ίχνος δέσμης: $\sim 1 \mu\text{m}$)
- **Πυκνότητα ισχύος:** $0,5 \text{ W}/\mu\text{m}^2$
- **Βαθμονόμηση:** πρότυπο δείγμα κρυσταλλικού πυριτίου (Si)

ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑ μ Raman

ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΦΑΣΜΑΤΩΝ (I)



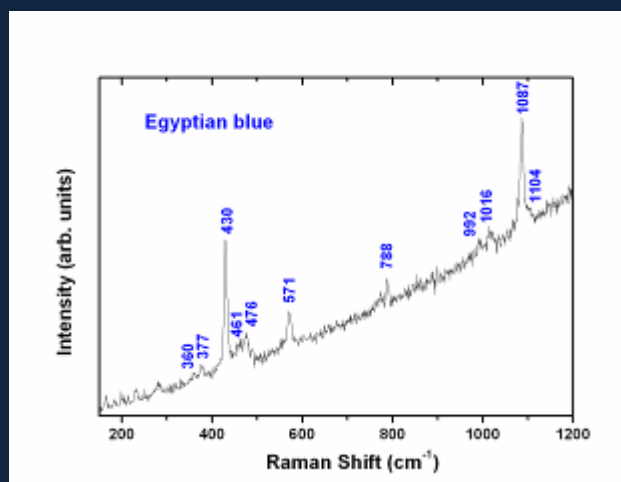
Σπάραγμα: T13-002



Αντικειμενικός φακός:10x



Αντικειμενικός φακός:100x



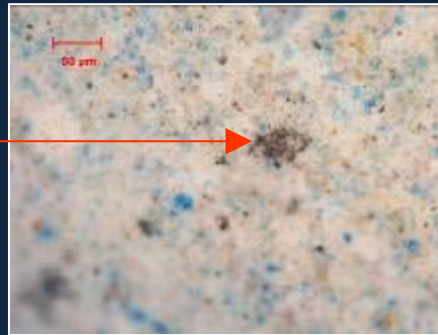
Αιγυπτιακό κυανό:
 1088 cm^{-1} , 431 cm^{-1}

ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑ μ Raman

ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΦΑΣΜΑΤΩΝ (II)



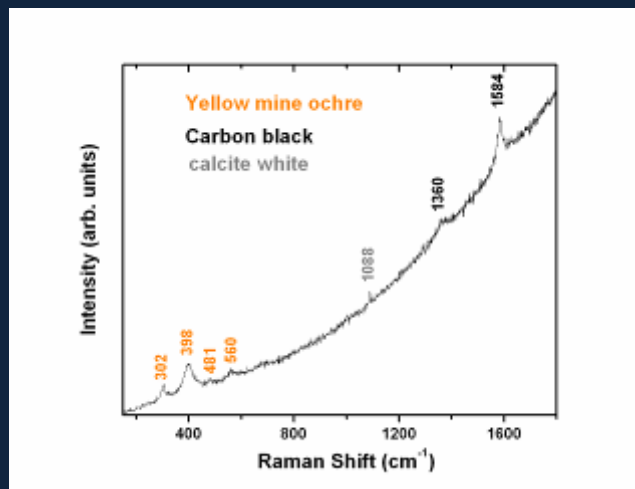
Σπάραγμα: T13-002



Αντικειμενικός φακός:10x



Αντικειμενικός φακός:100x



Κίτρινη ώχρα: 302 cm^{-1} , 398 cm^{-1}

Μαύρο του άνθρακα: 1360 cm^{-1} , 1584 cm^{-1}

Ασβεσίτης: 1088 cm^{-1}

ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑ μ Raman

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Βόρ. Περιστύλιο (τοίχος T13): ασβεστίτης, **μαύρο του άνθρακα**, κόκκινη ώχρα, **caput mortuum**, **κίτρινη ώχρα**, αιγυπτιακό κυανό

Βασιλική (τοίχος T1): ασβεστίτης, **μαύρο του άνθρακα**, κίτρινη ώχρα, αιγυπτιακό κυανό, **κόκκινη ώχρα**

Διαπιστώθηκε η **ανάμιξη χρωστικών**:

- αιγυπτιακό κυανό + κόκκινη ώχρα \rightarrow απόχρωση του μπλε
- αιγυπτιακό κυανό + κίτρινη ώχρα \rightarrow απόχρωση του μπλε
- αιγυπτιακό κυανό + caput mortuum \rightarrow απόχρωση του μπλε
- κόκκινη ώχρα + μαύρο του C \rightarrow απόχρωση του κόκκινου
- κόκκινη ώχρα + ασβεστίτη \rightarrow απόχρωση ροζ
- κίτρινη ώχρα + κόκκινη ώχρα \rightarrow απόχρωση του κίτρινου

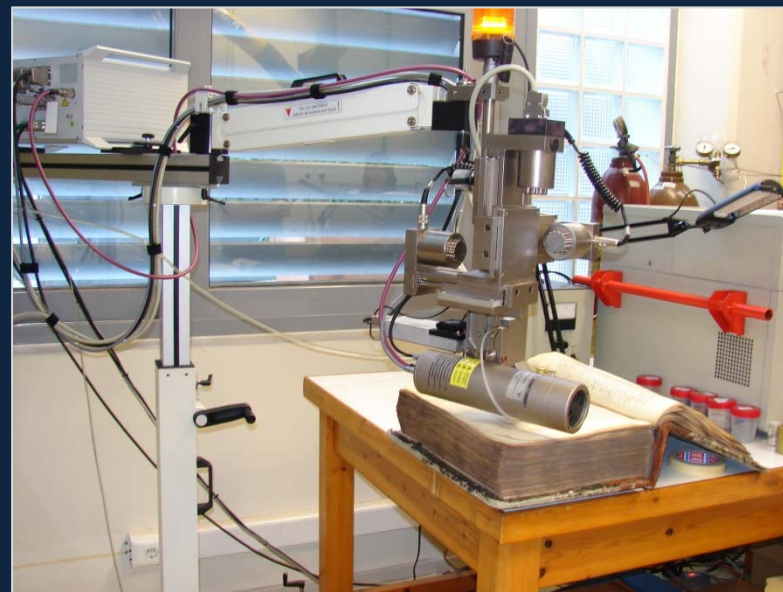
ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Μνημείο	ασβεστίτης	μαύρο του άνθρακα	κόκκινη ώχρα	caput mortuum	κιννάβαρη	μίνιο	κίτρινη ώχρα	αιγυπτιακό κυανό	πράσινη γη
Γαλεριανό συγκρότημα - νότιο υποσύνολο	X	X	X	X			X	X	
Roman villa Dietikon 3 rd century A.D.	X	X	X		X	X	X	X	X
Romano-British villa Rushton 200 A.D.	X	X	X	X	X		X		
Cripta del Museo Merida 2 nd century A.D.	X	X	X				X	X	X



ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟ ΜΟΥΣΕΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ Φ/Χ ΕΡΕΥΝΩΝ & ΑΡΧΑΙΟΜΕΤΡΙΑΣ



- Οργανολογίες: FAAS, EDXRF
- Μελέτη αρχαίας τεχνολογίας (σύσταση υλικών, μελέτη αρχαίων τεχνικών)
- Μελέτη παθολογίας
- Έλεγχος αυθεντικότητας
- Υποβοήθηση έργου συντήρησης
- Τεχνουργήματα μεταλλοτεχνίας, χρωστικές (σε κεραμική, φορητές εικόνες, τοιχογραφίες, γλυπτά κ.α.), ύαλο, λίθο, κεραμική.

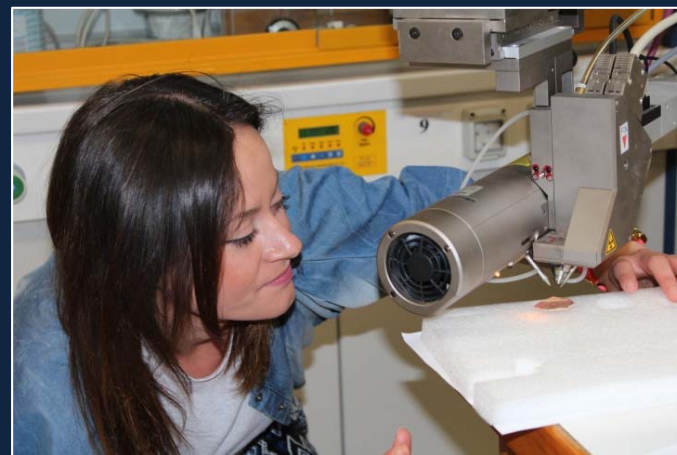




ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΧΗΜΙΚΩΝ, ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ & ΑΡΧΑΙΟΜΕΤΡΙΑΣ

ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΑΣΚΗΣΗ ΦΟΙΤΗΤΩΝ

α/α	Φοιτητής /-ητρια	α/α	Φοιτητής /-ητρια
1	Μ. Χανίδου	11	Ε. Βίσσο
2	Χ. Παλαιοχωρινού	12	Α. Ζαχαροπούλου
3	Μ. Σερεφίδου	13	Β. Ευσταθίου
4	Ν. Μιχαλέλη	14	Λ. Πατσιατζή
5	Ν. Καλογιούρη	15	Μ. Αυγενάκη
6	Γ. Γανίδης	16	Α. Παπαϊάννου
7	Β. Δεμερτζίδου	17	Ε. Μ. Ιγνατιάδου
8	Δ. Μελίδου	18	Ε. Βασιλειάδου
9	Δ. Σιδηροπούλου		
10	Σ. Ζαγανά		



Ευχαριστώ για την προσοχή σας