ePublishing
ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ NATIONAL DOCUMENTATION CENTRE

Μουσείο Μπενάκη

Τόμ. 9, Αρ. 9 (2009)

Διασφάλιση της ταυτότητας αρχαιολογικών αντικειμένων, έργων τέχνης και τεχνολογικά πιστών αντιγράφων με μη καταστρεπτικές τεχνικές και τεχνολογίες ενσωματωμένης στοιχειακής σήμανσης (ΤΕΣΣ)

Ιωάννα Ασλάνη, Ελένη Αλούπη - Σιώτη, Ανδρέας-Γερμανός Καρύδας, Βασίλης Πασχάλης

doi: 10.12681/benaki.10

Βιβλιογραφική αναφορά:

Ασλάνη Ι., Αλούπη - Σιώτη Ε., Καρύδας Α.-Γ., & Πασχάλης Β. (2013). Διασφάλιση της ταυτότητας αρχαιολογικών αντικειμένων, έργων τέχνης και τεχνολογικά πιστών αντιγράφων με μη καταστρεπτικές τεχνικές και τεχνολογίες ενσωματωμένης στοιχειακής σήμανσης (ΤΕΣΣ). *Μουσείο Μπενάκη*, *9*(9), 61–69. https://doi.org/10.12681/benaki.10

ΜΟΥΣΕΙΟ
ΜΠΕΝΑΚΗ
9, 2009

ΙΩΑΝΝΑ ΑΣΛΑΝΗ – ΕΛΕΝΗ ΑΛΟΥΠΗ-ΣΙΩΤΗ –
ΑΝΔΡΕΑΣ-ΓΕΡΜΑΝΟΣ ΚΑΡΥΔΑΣ –
ΒΑΣΙΛΗΣ ΠΑΣΧΑΛΗΣ

Διασφάλιση της ταυτότητας αρχαιολογικών αντικειμένων, έργων τέχνης και τεχνολογικά πιστών αντιγράφων με μη καταστρεπτικές τεχνικές και τεχνολογίες ενσωματωμένης στοιχειακής σήμανσης (ΤΕΣΣ)

ΑΝΑΤΥΠΟ

ΑΘΗΝΑ 2010

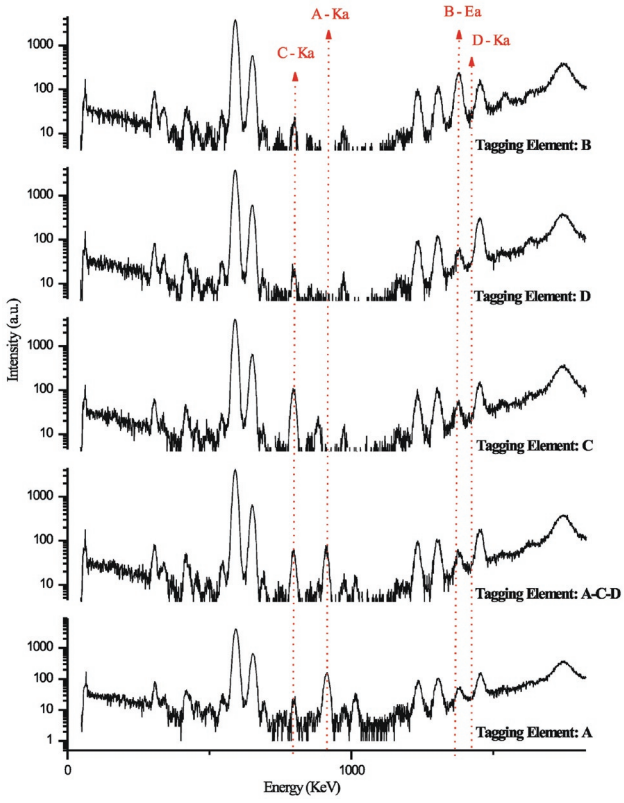
ΙΩΑΝΝΑ ΑΣΛΑΝΗ – ΕΛΕΝΗ ΑΛΟΥΠΗ-ΣΙΩΤΗ –
ΑΝΔΡΕΑΣ-ΓΕΡΜΑΝΟΣ ΚΑΡΥΔΑΣ – ΒΑΣΙΛΗΣ ΠΑΣΧΑΛΗΣ

Διασφάλιση της ταυτότητας αρχαιολογικών αντικειμένων, έργων τέχνης και τεχνολογικά πιστών αντιγράφων με μη καταστρεπτικές τεχνικές και τεχνολογίες ενσωματωμένης στοιχειακής σήμανσης (ΤΕΣΣ)

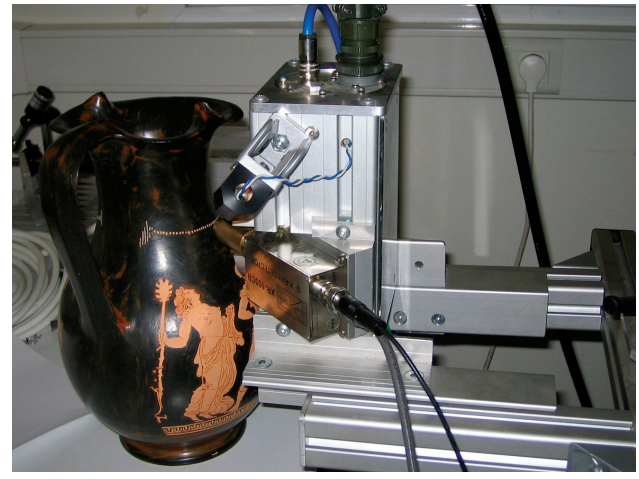
Ο ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΑΥΘΕΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ και ο προσδιορισμός της ταυτότητας έργων τέχνης και αρχαιολογικών αντικειμένων αποτελεί σταθερά δυσεπίλυτο ζήτημα για τους ασχολούμενους με την τέχνη (συλλέκτες, ερευνητές, συντηρητές, εκτιμητές). Για την αντιμετώπιση ζητημάτων αυθεντικότητας απαιτείται η συμβολή φυσικοχημικών τεχνικών που συνήθως είναι χρονοβόρες και καταστρεπτικές, καθώς χρειάζεται μια ποσότητα δείγματος, έστω και ελάχιστη. Παράλληλα, τα τελευταία χρόνια με την πρόοδο της γνώσης μας σε θέματα αρχαίας τεχνολογίας μέσω της επιστήμης της αρχαιομετρίας, δίνεται πλέον η δυνατότητα παραγωγής «*τεχνολογικά πιστών αντιγράφων*», με τα ίδια υλικά και τις τεχνικές των πρωτότυπων αντικειμένων.[1] Η "αναπαραγωγή"[2] πρωτοτύπων θέτει ερωτήματα ηθικής και δεοντολογίας, κυρίως όσον αφορά τη διοχέτευση στην αγορά σύγχρονων τέχνεργων ως αυθεντικών στο μέλλον. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η ανάπτυξη τεχνικών ενσωματωμένης στοιχειακής σήμανσης (ΤΕΣΣ), που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο ερευνητικού προγράμματος για τη διασφάλιση της ταυτότητας έργων τέχνης, αρχαιολογικών αντικειμένων καθώς και τεχνολογικά πιστών αντιγράφων, με τρόπο που θα λειτουργεί αποτρεπτικά σε περίπτωση αντικατάστασης ή κλοπής τους. Η στοιχειακή αυτή σήμανση αντικειμένων είναι εύκολα ανιχνεύσιμη από ειδικευμένο προσωπικό και δεν αλλοιώνει τον χαρακτήρα των έργων και των τέχνεργων. Για την επίτευξη αυτού του σκοπού συνεργάστηκαν φορείς από τον ερευνητικό, μουσειακό και παραγωγικό τομέα στο πλαίσιο του διετούς ερευνητικού προγράμματος με την επωνυμία «Έλεγχος Αυθεντικότητας και Διασφάλιση Ταυτότητας Αρχαιολογικών Αντικειμένων, Έργων Τέχνης και Τεχνολογικά Πιστών Αντιγράφων με Μη Καταστρεπτικές Τεχνικές και Τεχνολογίες Ενσωματωμένης Στοιχειακής Σήμανσης (ΤΕΣΣ)».[3] Για την υλοποίηση των πειραματικών δοκιμών που απαιτούνταν από το ερευνητικό πρόγραμμα, δημιουργήθηκε το Εργαστήριο Χαρακτηρισμού και Σήμανσης Υλικών, το οποίο στεγάστηκε σε χώρο του Μουσείου Μπενάκη, λειτούργησε με ερευνητικό προσωπικό από την εταιρία ΘΕΤΙΣ Authentics και την επιστημονική επίβλεψη του Ινστιτούτου Πυρηνικής Φυσικής του ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος.

Βασική αρχή της μεθόδου ΤΕΣΣ αποτελεί η ενσωμάτωση χημικών ιχνηθετών στο σώμα ή και στο υάλωμα τεχνολογικά αυθεντικών αντιγράφων αρχαίων κεραμικών, καθώς και σε υλικά που χρησιμοποιούνται κατά τη συντήρηση και αποκατάσταση αρχαιολογικών αντικειμένων και έργων τέχνης. Για την εύκολη ανίχνευση της στοιχειακής σήμανσης και τον προσδιορισμό των υλικών κατασκευής των αντικειμένων, χρησιμοποιήθηκαν μη καταστρεπτικές τεχνικές ανάλυσης. Ειδικότερα χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος φθορισμού ακτίνων Χ (XRF) καθώς και ιοντικές αναλυτικές τεχνικές που απαιτούν μεγάλης κλίμακας εγκαταστάσεις.[4] Παράλληλα, στο πλαίσιο του προγράμματος ΤΕΣΣ συγκεντρώθηκαν αναλυτικά δεδομένα που αφορούν τα υλικά κατασκευής επιλεγμένων έργων, κυρίως μεταλλικών και ζωγραφικών, από τις συλλογές του Μουσείου Μπενάκη.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται συνοπτικά οι εργασίες που πραγματοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό της βέλτιστης μεθοδολογίας ως προς την ενσωματωμένη στοιχειακή σήμανση, καθώς και η διερεύνηση της αξιοπιστίας της μεθόδου.



Εικ. 1. Φάσματα XRF, όπου σημειώνονται χαρακτηριστικές κορυφές υποψήφιων ιχνηθετών για την επιλογή του καταλληλότερου από αυτούς.



Εικ. 2α. Τεχνολογικά πιστό αντίγραφο αγγείου, κατά τη διαδικασία ανάλυσης με φθορισμό ακτίνων X (XRF).

Εικ. 2β. Δείγματα αργιλικών βαφών με ενσωματωμένο χημικό ιχνηθέτη.

Μεθοδολογία και αποτελέσματα

Η μεθοδολογία[5] της ΤΕΣΣ στηρίζεται στην ενσωμάτωση ενός ή περισσότερων χημικών ιχνηθετών σε ελάχιστες ποσότητες στα προς σήμανση αντικείμενα. Αυτή η ενσωμάτωση πρέπει να ικανοποιεί τρία κριτήρια: α) τη δυνατότητα εφαρμογής αντιστρεπτής ή μόνιμης ιχνηθέτησης ανάλογα με τις απαιτήσεις του αιτούντος (π.χ. αντιστρεπτή για τα μουσειακά αντικείμενα, μόνιμη –μη αφαιρούμενη– για τα αντίγραφα)· β) την απλή διαδικασία ιχνηλασίας, δηλαδή γρήγορη, εύκολη και μη καταστρεπτική ανίχνευση από εκπαιδευμένο αλλά όχι ιδιαίτερα εξειδικευμένο τεχνικό προσωπικό· γ) την ελάχιστη επέμβαση στο υλικό –με εξαίρεση τη σύσταση σε ιχνοστοιχεία– που δεν αλλοιώνει τις ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά (μακροσκοπικά και φυσικοχημικά) του ιχνηθετημένου αντικειμένου.

Παράλληλα, οι ιχνηθέτες θα πρέπει και αυτοί να πληρούν συγκεκριμένες προδιαγραφές: α) τα στοιχεία που θα επιλεχθούν είναι απαραίτητο να απουσιάζουν από τις συστάσεις των προς σήμανση αντικειμένων, έτσι ώστε να μη συγχέεται η αναλυτική πληροφορία που δίνει ο ιχνηθέτης, με αυτή της σύστασης των αντικειμένων· β) να μην είναι τοξικοί, για την προστασία του προσωπικού που εφαρμόζει τη διαδικασία· γ) να είναι χαμηλού κόστους, καθώς η σήμανση εφαρμόζεται στην καθημερινή παραγωγή κεραμικών αντικειμένων και κατά τη συντήρηση, διαδικασίες που δεν θα ήταν δόκιμο να επιβαρυνθούν οικονομικά· δ) τέλος, πρέπει να ανιχνεύονται από την τεχνική XRF σε περιοχές με υψηλό λόγο σήματος προς το υπόβαθρο και να έχουν χαμηλά όρια ανιχνευσιμότητας (εικ. 1).

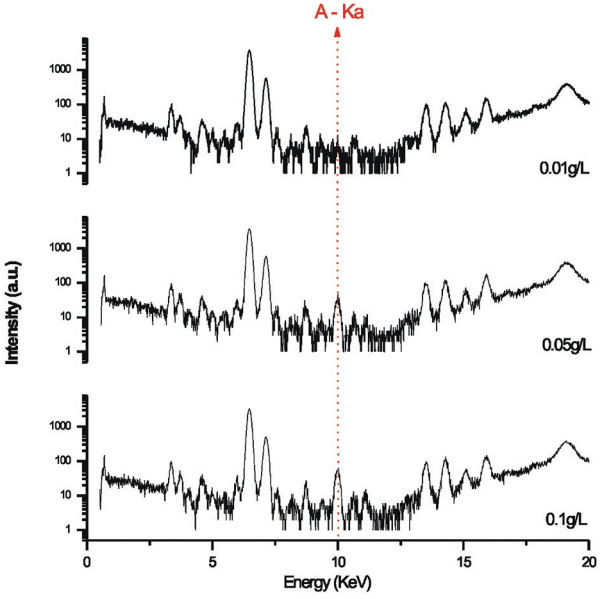
Εφαρμογή ΤΕΣΣ σε τεχνολογικά αυθεντικά αντίγραφα

Η ΤΕΣΣ εφαρμόστηκε με επιτυχία στο σώμα και το υάλωμα τεχνολογικά αυθεντικών αντιγράφων από αρχαία κεραμικά που διατίθενται σε πωλητήρια μουσείων, ή κατασκευάζονται στο πλαίσιο ειδικών αρχαιολογικών εκθέσεων. Η μεθοδολογία στην περίπτωση αυτή στηρίχθηκε στη μονιμότητα, ώστε να αποκλείεται τόσο η δυνατότητα αφαίρεσης του ιχνηθέτη από το αντίγραφο, όσο και η πιθανότητα προώθησής του ως αυθεντικού στο μέλλον.

Η μεθοδολογία ενσωμάτωσης χημικού ιχνηθέτη αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε στις αναπαραγωγές της εταιρείας ΘΕΤΙΣ Authentics, οι οποίες περιλαμβάνουν όλους τους τύπους αρχαίας κεραμικής (αγγεία, ειδώλια, παιχνίδια κ.ά.) από τη νεολιθική έως τη ρωμαϊκή περίοδο, συμπεριλαμβανομένων και των υψηλής ποιότητας αγγείων της κλασικής περιόδου (μελαμβαφή, μελανόμορφα, ερυθρόμορφα) (εικ. 2α). Τα αντικείμενα χαρακτηρίζονται διακοσμημένα και ακόσμητα ανάλογα με την ύπαρξη ή μη γραπτής διακόσμησης με αργιλική βαφή. Οι αργιλικές βαφές που προέρχονται από τη συμπύκνωση κολλοειδών αιωρημάτων φυσικών αργίλων, παρασκευάζονται στο εργαστήριο της ΘΕΤΙΣ και εφαρμόζονται στο αντικείμενο πριν από την όπτηση (εικ. 2β).

Κατά την όπτηση, σε οξειδωτικές ή μεικτές οξειδοαναγωγικές συνθήκες η αργιλική βαφή "υαλοποείται" και προκύπτει το ερυθρό ή μελανό χρώμα της ζωγραφικής διακόσμησης. Με την εξειδικευμένη τεχνική της αναγωγής του σιδήρου προκύπτει το χαρακτηριστικό μελανό υάλωμα των αγγείων της κλασικής περιόδου. Στην περίπτωση των διακοσμημένων κεραμικών αντιγράφων, η ενσωμάτωση του χημικού ιχνηθέτη πραγματοποιείται με προσθήκη ιχνοποσοτήτων από επιλεγμένες ανόργανες ενώσεις στην αργιλική βαφή κατά την παρασκευή της. Κατά την όπτηση του αντικειμένου ο ιχνηθέτης παγιδεύεται στην αργιλοπυριτική μήτρα του χρωματικού στρώματος και γίνεται αδύνατη η αφαίρεσή του. Στην περίπτωση των ακόσμητων αντικειμένων (εικ. 3α) η στοιχειακή σήμανση γίνεται αντιστοίχως στο κεραμικό σώμα με εμβάπτιση του αντικειμένου σε διάλυμα που περιέχει τον επιλεγμένο ιχνηθέτη και με τρόπο ώστε να παγιδεύεται ο ιχνηθέτης στους πόρους του κεραμικού αντιγράφου και να είναι δύσκολη η αφαίρεσή του (εικ. 3β).

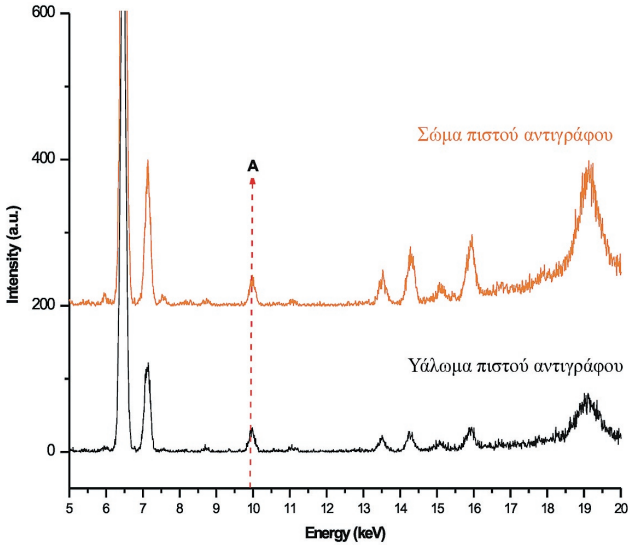
Για την επιβεβαίωση της επιτυχούς σήμανσης εφαρμόζεται η τεχνική XRF, η οποία ανιχνεύει εύκολα και γρήγορα τον εκάστοτε ιχνηθέτη. Η δυνατότητα επανάληψης

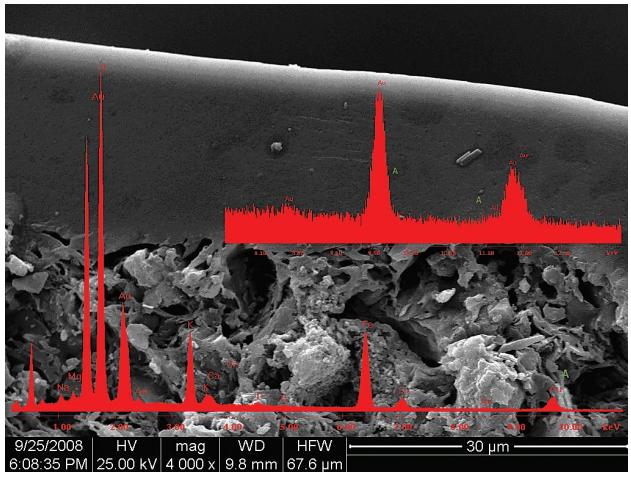


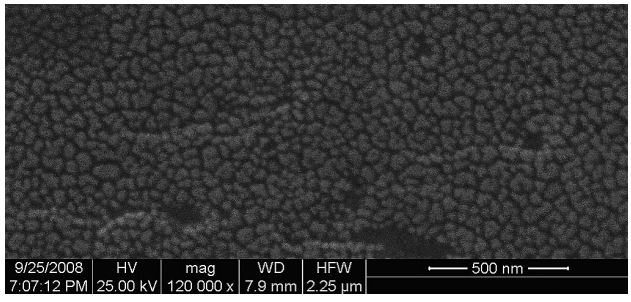
Εικ. 3α. Δείγματα ακόσμητων κεραμικών προτύπων.

Εικ. 3β. Φάσματα XRF ακόσμητων κεραμικών προτύπων που έχουν εμβαπτισθεί σε διαφορετική συγκέντρωση ιχνηθέτη.

της μεθόδου επιβεβαιώνεται επίσης με την τεχνική XRF, καθώς αυτή ανιχνεύει τις εν λόγω ουσίες σε σταθερή αναλογία και στο σύνολο των ιχνηθετημένων επιφανειών (εικ. 4). Η συμβατότητα των ιχνηθετών με την υαλώδη αργιλοπυριτική μήτρα του χρωματικού στρώματος επιβεβαιώθηκε με την εξέταση δειγμάτων με ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης και μικροανάλυση. Στις εικόνες δευτερογενών ηλεκτρονίων διακρίνουμε το μελανό υάλωμα επάνω στο κεραμικό υπόβαθρο δοκιμίου, σε μεγέθυνση 4.000x(εικ. 5α) και 120.000x (εικ. 5β). Στην εικόνα 5β διακρίνονται νανοκρύσταλλοι μαγνητίτη που είναι υπεύ-







Εικ. 4. Φάσματα XRF από ανάλυση ιχνηθετημένου σώματος κεραμικού και υαλώματος.

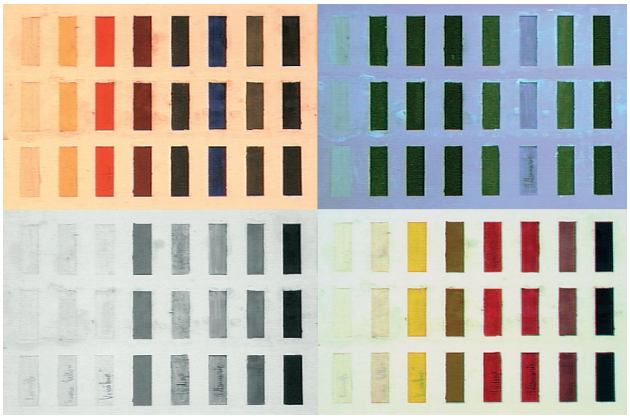
Εικ. 5α-5β. Μικρομορφολογία του υαλώματος από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM) 4.000x και 120.000x, καθώς και φάσματα ακτίνων-Χ (ηλεκτρονική μικροανάλυση-EDX) όπου δεν ανιχνεύεται ο ιχνηθέτης (σημεία Α). Στην εικ. 5β διακρίνονται νανοκρύσταλλοι μαγνητίτη που σχηματίζονται κατά την όπτηση και ευθύνονται για τον χρωματισμό του υαλώματος.

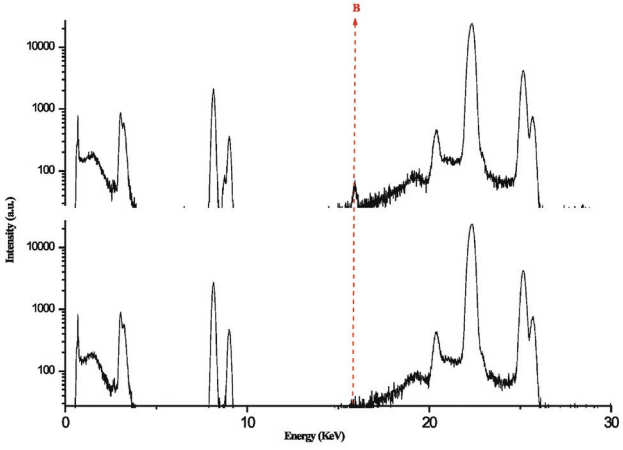
θυνοι για τον μελανό χρωματισμό του αργιλοπυριτικού υαλώματος και σχηματίζονται κατά το αναγωγικό στάδιο της όπτησης (τεχνική αναγωγής του σιδήρου). Ο ιχνηθέτης, διαχεόμενος ομοιογενώς στο υάλωμα σε πολύ μικρή συγκέντρωση, δεν επηρεάζει τις φυσικοχημικές ιδιότητες του υαλώματος, ούτε τα μακροσκοπικά και μικροσκοπικά χαρακτηριστικά του.

Μετά το πέρας της τυποποίησης της διαδικασίας ΤΕΣΣ στα αντίγραφα αρχαίων κεραμικών αντικειμένων, ακολούθησε η εφαρμογή της στην καθημερινή παραγωγή των κεραμικών αντικειμένων που προορίζονται για μουσεία και ειδικές αρχαιολογικές εκθέσεις. Το εργαστήριο ΘΕΤΙΣ αναπαράγει αγγεία και άλλα τέχνεργα (ειδώλια, παιχνίδια κ.λπ.) από τον 7ο έως τον 4ο αι. π.Χ. που ανήκουν στη συλλογή του Μουσείου Μπενάκη και διατίθενται από το πωλητήριό του. Τα διακοσμημένα αντικείμενα φέρουν ενσωματωμένη στοιχειακή σήμανση στο μελανό υάλωμα, ενώ τα ακόσμητα στο κεραμικό σώμα τους και συνοδεύονται από έντυπο με την περιγραφή του προγράμματος ΤΕΣΣ (εικ. 6). Επίσης για το Μουσείο Κυκλαδικής Τέχνης αναπαράγονται κυρίως μελαμβαφή, μελανόμορφα και ερυθρόμορφα αγγεία του 6ου και του 5ου αι. π.Χ. που φέρουν στοιχειακή σήμανση στο μελανό υάλωμα της επιφάνειας.

Η ΤΕΣΣ εφαρμόστηκε επιπλέον πιλοτικά στις εξής περιπτώσεις αντικείμενων που: α) εκτίθενται μόνιμα σε δημόσιους χώρους όπου αφενός δεν παρέχεται η δυνατότητα φύλαξης αρχαιολογικών ευρημάτων, αφετέρου τα αντίγραφα συνεκτίθενται με πρωτότυπα αρχαιολογικά ευρήματα (σιδηροδρομικός σταθμός Σικυώνας, 2007, έκθεση σταθμού ΜΕΤΡΟ Αιγάλεω, 2009)· β) περιλαμβάνονται σε ειδικές εκθέσεις αντικαθιστώντας τα πρωτότυπα αντικείμενα (*Το Μουσείο και η Ανασκαφή* του νέου Μουσείου Ακρόπολης, Πεκίνο, Ιούλιος-Αύγουστος 2008)· γ) κατασκευάζονται για ιδιωτικούς φορείς –είτε πρόκειται για απομιμήσεις, είτε για ακριβείς αναπαραγωγές– και πλαισιώνουν μια έκθεση, ένα πρόγραμμα ή μια δράση εκπαιδευτικού χαρακτήρα (*Συνάντηση στην Αρχαία Αγορά,* Ίδρυμα Μείζονος Ελληνισμού, Μάρτιος 2007).

Στην πρώτη περίπτωση εφαρμογής, η αναπαραγωγή των ευρημάτων που προέρχονται από τις ανασκαφές της Ιεράς Οδού, κατά την επέκταση της υπόγειας γραμμής από τον Κεραμεικό προς το Αιγάλεω, έγινε σε στενή συνεργασία με τη Γ΄ Εφορεία Προϊστορικών και Κλασικών Αρχαιοτήτων του Υπουργείου Πολιτισμού και Τουρισμού, προκειμένου τα αντικείμενα αυτά να εκτεθούν στους χώρους υποδοχής του κοινού στον καινούριο σταθμό. Πρό-





Εικ. 6. Δείγμα από πιστό αντίγραφο αρχαίου κεραμικού από τη συλλογή του Μουσείου Μπενάκη.

Εικ. 7. Δείγμα πρότυπων πινάκων χρωστικών σε διάφορα μήκη κύματος (ορατό, υπεριώδες, υπέρυθρο): πρώτη σειρά χωρίς ιχνηθέτη· τέταρτη και τρίτη σειρά με διαφορετικούς ιχνηθέτες.

Εικ. 8. Φάσματα XRF από την ανάλυση ιχνηθετημένου και μη πρότυπου χρωματικού δείγματος.

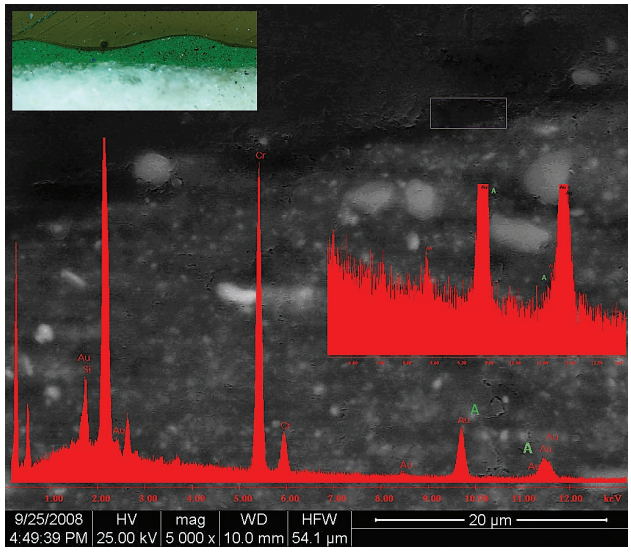
κειται για την αναπαραγωγή 93 αντικειμένων από τη γεωμετρική έως και την ελληνιστική περίοδο, που καλύπτουν μεγάλη ποικιλία σκευών καθημερινής χρήσης (π.χ. μαγειρικά σκεύη και αγγεία πόσης), ταφικών (λήκυθοι, οινοχόες, παιδικά αγγεία), τελετουργικών αγγείων (π.χ. κέρνοι για τα Ελευσίνια Μυστήρια). Τα διακοσμημένα αντικείμενα φέρουν ενσωματωμένη στοιχειακή σήμανση στη γραπτή διακόσμηση ή στο μελανό υάλωμα, ενώ τα ακόσμητα στο κεραμικό σώμα τους.

ΤΕΣΣ σε υλικά συντήρησης

Σε αντίθεση με τα κεραμικά αντίγραφα, η ιχνηθέτηση των υλικών συντήρησης των μουσειακών αντικειμένων προϋποθέτει τη δυνατότητα αντιστροφής, έτσι ώστε να αποφεύγεται η μόνιμη αλλοίωση της φυσικοχημικής σύστασης της επιφάνειας του μουσειακού αντικειμένου. Τα υλικά συντήρησης που χρησιμοποιήθηκαν είναι ακρυλικές ρητίνες, ακρυλικές βαφές και μικροκρυσταλλικά κεριά που εφαρμόζονται καθημερινά από το εργαστήριο συντήρησης του Μουσείου Μπενάκη.

Η δυνατότητα ολοκληρωτικής αντιστροφής της διαδικασίας επαληθεύθηκε με επαναληπτικές δοκιμές εφαρμογής και αφαίρεσης ιχνηθετημένων υλικών συντήρησης σε πρότυπους χρωματικούς πίνακες και μεταλλικά δείγματα (εικ. 7, 8). Η ανάλυση XRF μετά την αφαίρεση της σήμανσης επιβεβαίωσε την απουσία επιμόλυνσης του πρότυπου δείγματος από τον ιχνηθέτη. Εκτενέστερη μελέτη των περιθωρίων αντιστροφής της διαδικασίας στην περίπτωση των ζωγραφικών έργων έγινε σε λεπτές τομές ιχνηθετημένων με ακρυλική ρητίνη paraloid B72 προτύπων χρωματικών δειγμάτων (εικ. 9), τόσο με την εφαρμογή αναλυτικών τεχνικών (ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης- μικροανάλυσης, SEM/EDX), όσο και με την παρατήρηση σε ορατή, υπεριώδη και υπέρυθρη ακτινοβολία (εικ. 7). Όλες οι δοκιμές αποδεικνύουν ότι με την εφαρμογή της ιχνηθέτησης δεν αλλοιώνεται η οπτική πληροφορία των έργων.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι δεν παρατηρείται βραχυπρόθεσμη αλληλεπίδραση του ιχνηθέτη με τα χρωματικά στρώματα των έργων τέχνης. Παραμένει όμως η διερεύνηση της τυχόν διαφυγής του ιχνηθέτη στα επιφανειακά χρωματικά στρώματα, υπό την επίδραση υγρασίας και φωτός μακροπρόθεσμα. Για τον λόγο αυτό αποφασίστηκε η εφαρμογή της ΤΕΣΣ σε περιορισμένο



Εικ. 9. Ανάλυση μικροστρωματογραφικής τομής SEM/EDX, όπου δεν ανιχνεύεται ο ιχνηθέτης.

Εικ. 10. Μεταλλική επένδυση βυζαντινής εικόνας από τη συλλογή του Μουσείου Μπενάκη.

αριθμό ειδικά επιλεγμένων αντικειμένων από τη συλλογή του Μουσείου Μπενάκη.

Παράδειγμα εφαρμογής αποτελεί το αργυρό τμήμα βυζαντινής εικόνας (εικ. 10) στο οποίο έγινε σήμανση με μικροκρυσταλλικό κερί μέσα στο οποίο είχε προστεθεί ιχνηθέτης. Πριν από την προσθήκη του ιχνηθέτη, το αντικείμενο αναλύθηκε με την τεχνική XRF για τον προσδιορισμό της σύστασής του. Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στον πίνακα 1.

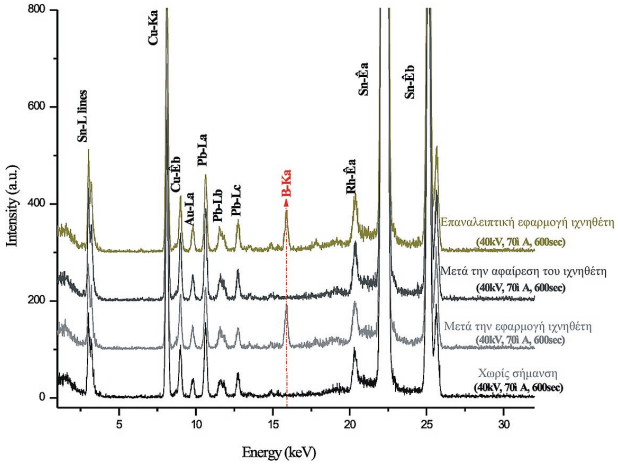
Στη συνέχεια εφαρμόστηκε η ιχνηθέτηση, η οποία επαληθεύθηκε με την τεχνική XRF και ακολούθησε αφαίρεση του ιχνηθέτη και επανέλεγχος με XRF για επιβεβαίωση της δυνατότητας αντιστροφής της επέμβασης. Τελικά η διαδικασία επαναλήφθηκε για τη μελέτη της συμπεριφοράς του ιχνηθέτη σε βάθος χρόνου (εικ. 11). Αντίστοιχη διαδικασία εφαρμόστηκε και στη χρωματική επιφάνεια μιας φορητής εικόνας. Για τον προσδιορισμό των υλικών κατασκευής του έργου, πριν από την εφαρμογή της σήμανσης, πραγματοποιήθηκε μη καταστρεπτική ανάλυση με την τεχνική XRF (εικ. 12). Οι χρωστικές που έχουν χρησιμοποιηθεί ακολουθούν την τυπική παλέτα της χρονικής περιόδου στην οποία κατασκευάστηκε το έργο. Για το στρώμα προετοιμασίας έχει χρησιμοποιηθεί γύψος και ακολούθησε η εφαρμογή των χρωματικών στρωμάτων. Για τις καφέ αποχρώσεις της εικόνας χρησιμοποιήθηκε σιδηρούχος χρωστική που περιέχει μαγγάνιο και συνεπώς

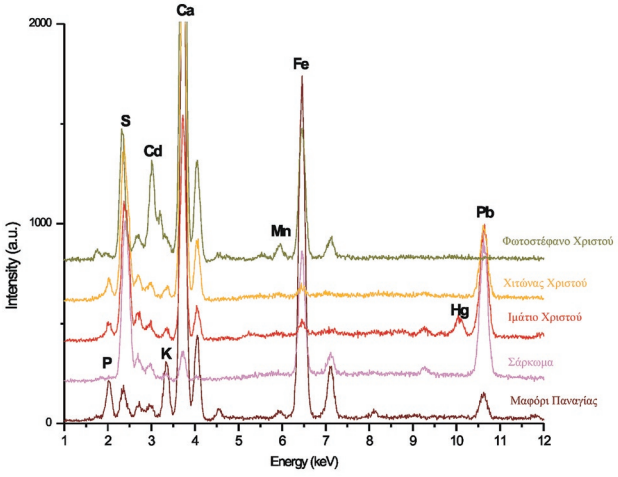
	Τμήμα αργυρής εικόνας		
	Συγκέντρωση	Σφάλμα	
Cu	6.7	±0.4	%
Zn	1070	±50	ppm
As	4920	±250	ppm
Ag	91.8	±0.4	%
Au	4620	±230	ppm
Pb	3840	±190	ppm

Πίν. 1. Αποτελέσματα αναλύσεων με XRF της σύστασης της μεταλλικής επένδυσης πριν από την εφαρμογή του ιχνηθέτη.

ταυτίζεται με όμπρα. Πιο ανοικτές καφέ αποχρώσεις επιτυγχάνονται με μείξη της ώχρας και λευκού του μόλυβδου. Η κόκκινη απόχρωση έχει επιτευχθεί με μείξη κινναβάρεως και λευκού του μόλυβδου, και για τον φωτοστέφανο του Χριστού χρησιμοποιήθηκε θειούχο κάδμιο (εικ. 13).

Στη συνέχεια προστέθηκε διάλυμα ιχνηθετημένης ακρυλικής ρητίνης, το οποίο εφαρμόζεται για προστασία των χρωματικών στρωμάτων. Η επιτυχής εφαρμογή της ιχνηθέτησης ΤΕΣΣ επιβεβαιώνεται με την τεχνική XRF στα σημεία που είχαν αναλυθεί πριν από την εφαρμογή της ακρυλικής ρητίνης (εικ. 14).

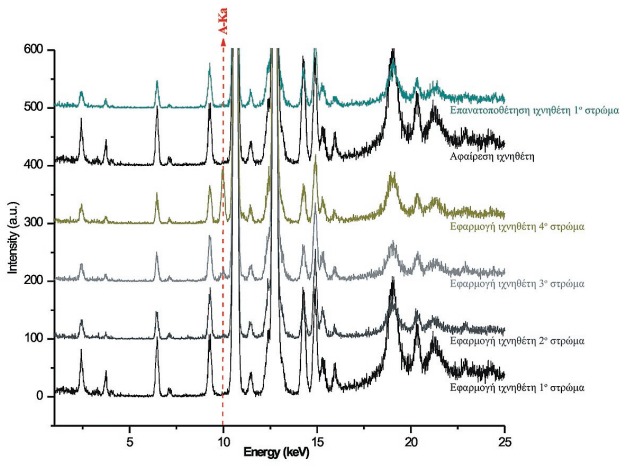


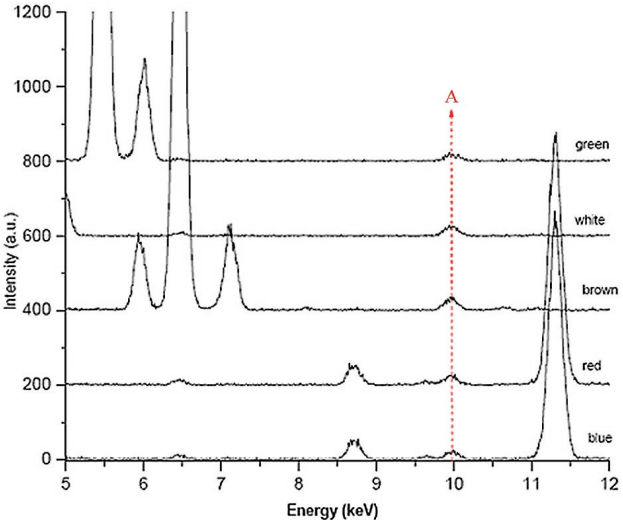


Εικ. 11. Φάσματα XRF πριν και μετά την εφαρμογή ιχνηθέτη, καθώς και μετά την αφαίρεσή του για τον έλεγχο των δυνατοτήτων αντιστροφής.

Εικ. 12. Η φορητή εικόνα στον αναλυτή φθορισμού ακτίνων Χ.

Εικ. 13. Φάσματα XRF από την ανάλυση διαφόρων χρωστικών της φορητής εικόνας.





Εικ. 14. Φάσματα XRF πριν και μετά την εφαρμογή ιχνηθέτη, καθώς και μετά την αφαίρεσή του για τον έλεγχο των δυνατοτήτων αντιστροφής.

Εικ. 15. Φάσματα από αναλυτή XRF χειρός, όπου ανιχνεύεται ο ιχνηθέτης σε διάφορες χρωματικές περιοχές.

Έλεγχος αξιοπιστίας ΤΕΣΣ

Για τη διασφάλιση της αξιοπιστίας του ελέγχου, δοκίμια από σειρά μελαμβαφών κεραμικών και ένας πρότυπος πίνακας με χρωστικές αναλύθηκαν από την Brucker AXS με αναλυτή χειρός XRF (Tracer III-V/III-SD), που αποτελεί εξέλιξη στην ανάπτυξη φορητών συστημάτων μη καταστρεπτικών αναλύσεων. Τα αποτελέσματα δίνονται στο διάγραμμα της εικόνας 15, όπου αναδεικνύεται η αξιοπιστία της τεχνικής σήμανσης και η ευκολία ανίχνευσής της.

Συμπεράσματα

Η τεχνολογία ενσωματωμένης στοιχειακής σήμανσης (ΤΕΣΣ) είναι μια εύκολη στην εφαρμογή μέθοδος που διασφαλίζει την προέλευση των ιχνηθετημένων αντικειμένων και αποτρέπει τυχόν προσπάθειες αλλοίωσης της ταυτότητάς τους. Σε περίπτωση εφαρμογής στη διαδικασία συντήρησης ενός αντικειμένου, διασφαλίζει τη δυνατότητα αντικατάστασής του και συνδέει το έργο με το εργαστήριο στο οποίο συντηρήθηκε.

Επιπλέον, μπορεί να εφαρμοστεί και να ανιχνευθεί εύκολα από ειδικευμένο προσωπικό, είναι χαμηλού κόστους και πληροί όλα τα κριτήρια αντιστρεψιμότητας ή μη, για την εφαρμογή της σε μουσειακά αντικείμενα ή αναπαραγωγές τους.

Ως επόμενο βήμα, για την υλοποίηση των διευκολύνσεων που παρέχει η τεχνολογία αυτή, είναι απαραίτητο να δημιουργηθεί θεσμικό πλαίσιο εφαρμογής της, με συμφωνία δημόσιων και ιδιωτικών φορέων και εφαρμογή της μεθόδου σε ευρύ αριθμό μουσειακών αντικειμένων και αντιγράφων.

Ιωάννα Ασλάνη
Χημικός μηχανικός
ΘΕΤΙΣ authentics ΕΠΕ
aslanii@thetis.gr

Δρ Ελένη Αλούπη-Σιώτη
Χημικός-αρχαιομέτρης
ΘΕΤΙΣ authentics ΕΠΕ
aloupie@thetis.gr

Δρ Ανδρέας-Γερμανός Καρύδας
Φυσικός
Ινστιτούτο Πυρηνικής Φυσικής
ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος
karydas@inp.demokritos.gr

Βασίλης Πασχάλης
Τμήμα Συντήρησης Έργων Τέχνης
Μουσείο Μπενάκη
paschalis@benaki.gr

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ

* Θερμές ευχαριστίες εκφράζονται προς τον κύριο Δ. Σωκαρά του Ινστιτούτου Πυρηνικής Φυσικής του ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος και την κυρία Δ. Κοτζαμάνη του Εργαστηρίου Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων του Μουσείου Μπενάκη για τη συμβολή τους στα πειράματα και την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Οι κ.κ. Γιώργος Αλεξόπουλος και Σταματία Ελευθεράτου, αρχαιολόγοι της Γ΄ ΕΠΚΑ και του νέου Μουσείου Ακρόπολης, αντίστοιχα, υποστήριξαν θερμά την αναπαραγωγή, με στοιχειακή σήμανση, αρχαιολογικών κεραμικών ευρημάτων και αντάλλαξαν μαζί μας απόψεις για θέματα δεοντολογίας και διαχείρισης της πληροφορίας.

1. Ε. Αλούπη, «Με τη μέθοδο των αρχαίων» - Αντίγραφα αρχαίων κεραμικών στο Πωλητήριο του Μουσείου Μπενάκη, *Οι Φίλοι του Μουσείου Μπενάκη* 3 (2003) 8-11.

2. Οι όροι "αντίγραφο" (ομοίωμα), "[από]μίμηση", "αναπαραγωγή" χρησιμοποιούνται στο κείμενο σε αντιστοιχία με τους αγγλικούς copy, replica, reproduction και εκφράζουν την κατασκευή αντικειμένων τα οποία: α) μιμούνται με ακρίβεια την εξωτερική εμφάνιση ενός πρωτοτύπου, συνήθως εκμαγεία σε ρητίνη ή άλλο υλικό· β) αποτελούν ελεύθερη μίμηση πρωτοτύπων με όποια υλικά και τεχνικές· γ) προκύπτουν από τα ίδια υλικά και με τις ίδιες τεχνικές με τα πρωτότυπα και ακολουθούν κοινή τυπολογία.

3. Έλεγχος Αυθεντικότητας και Διασφάλιση Ταυτότητας Αρχαιολογικών Αντικειμένων, Έργων Τέχνης και Τεχνολογικά Πιστών Αντιγράφων με Μη Καταστρεπτικές Τεχνικές και Τεχνολογίες Ενσωματωμένης Στοιχειακής Σήμανσης (ΤΕΣΣ), Ερευνητικό Πρόγραμμα ΓΓΕΤ/ ΠΕΠ Ν. Αττικής, Συγχρηματοδότηση ΕΕ / ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΤΑΜΕΙΟ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ, Φορείς: ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος, Μουσείο Μπενάκη, ΘΕΤΙΣ authentics Μ. ΕΠΕ, Διάρκεια: Ιούνιος 2006 - Μάιος 2008.

4. Η ανάπτυξη του Ολοκληρωμένου Συστήματος Ιοντικών Μη Καταστρεπτικών Τεχνικών (ΟΣΙ-ΜΚΤ) έγινε στο εργαστήριο του Επιταχυντή Tandem του Ινστιτούτου Πυρηνικής Φυσικής του ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος στο πλαίσιο του Προγράμματος ΤΕΣΣ. Το όφελος από την ανάπτυξη τέτοιων πειραματικών διατάξεων για τη μελέτη της πολιτισμικής κληρονομιάς στη χώρα μας μπορεί να είναι μεγάλο, αφού προσφέρουν με μη καταστρεπτική ανάλυση σημαντικά και συχνά μοναδικά αναλυτικά δεδομένα για την τεχνολογία κατασκευής και χρήσης πρώτων υλών σε αρχαία αντικείμενα και τέχνεργα, αλλά και υποβοηθώντας την κατανόηση των μηχανισμών διάβρωσης της επιφάνειάς τους. Αντίστοιχες υποδομές λειτουργούν εδώ και χρόνια με μεγάλη επιτυχία σε μεγάλα μουσεία και ερευνητικά κέντρα του εξωτερικού.

5. Στην περιγραφή της μεθοδολογίας παραλείπονται βασικές πληροφορίες ως προς τη στοιχειακή και ποσοτική σύσταση του ιχνηθέτη και τη διαδικασία εφαρμογής του, με σκοπό την προστασία της μοναδικότητας της μεθόδου. Η αρχή της μεθοδολογίας υπαγορεύει την περιορισμένη πρόσβαση στις πληροφορίες αυτές, στον ελάχιστο αριθμό ατόμων που εργάζονται στο εργαστήριο παραγωγής και συντήρησης.

IOANNA ASLANI – ELENI ALOUPI-SIOTI – ANDREAS-GERMANOS KARYDAS – VASSILIS PASCHALIS

Elemental tagging technology for the authentication of artworks

The authentication and identity verification of artwork is a multidimensional issue that typically needs time-consuming approaches and extended sampling. The goal of the present study was the development of an easily identifiable elemental tagging technique, which could be applied for the identification of archaeological artefacts, works of art and museum quality technologically authentic copies. The main body of the work was realised within the framework of a Research Program* which involved the collaboration of three different partners from the scientific, museum and commercial sector. The principle of the method is the incorporation of a combination of chemical 'markers' in the body or glazed decoration of the ceramic replicas during manufacture or in the materials applied during the conservation process of an artefact/artwork. The concentration and the relative abundance of the embedded elements, as well as the detailed integration procedure remain known only to the involved specialists, the manufacturers of the ancient ceramic replicas and/or the conservators. The marker is easily identifiable with the application of hand-held X-Ray fluorescence technique (XRF), a spectroscopic method used for non-destructive and fast elemental analysis.

In cases of ancient ceramic replicas, the incorporation of the elemental 'barcode' is usually introduced in the black glaze of the ceramics, before the firing of the object, thus securing the irreversibility of the method. When applied on original works of art and specifically on metal objects and paintings, the elemental markers are introduced in the conservation materials used for restoration. These are typically varnishes, resins and acrylic paints. For such original objects, the reversibility of the method must be ensured, so as not to permanently modify the unique work of art.

In either case the chemicals used are non toxic, and do not alter the optical and physicochemical properties of the tagged objects/artworks. The success of the marking techniques is always identified and confirmed with the implementation of the XRF analysis.

Various applications of the elemental tagging technology have been realised and assessed during the timeframe of the Research Program. Modern authentically reproduced ceramic artefacts have been either sold as replicas in museum shops, or especially produced for public archaeological exhibitions in Greece and abroad. In the case of the original works, the method has been implemented up to now on a limited group of objects, which have been marked and stored under monitored conditions in order to evaluate the long term stability of the tagging element(s) or any effect on their physicochemical properties. For this purpose, a group of 19th-century egg-tempera icons, as well as silver revetments have been selected. This is an important step, before the proposed elemental tagging technique is further applied to a larger number of original artefacts and artworks.

**General Secretariat for Research and Technology (GSRT) Research Program - Operational Program Attica Region, co-funded by EU / European Regional Development Fund / Embodied Elemental Tagging Technologies and non-destructive techniques for authentication and identity verification of archaeological artefacts, works of art and Museum quality technologically authentic copies (2006-2008).*