

ΕΝΑ ΝΕΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΡΧΑΙΟΜΕΤΡΙΑΣ ΣΤΗ ΘΡΑΚΗ ΕΡΕΥΝΕΣ ΣΤΟΝ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟ ΧΩΡΟ ΑΒΔΗΡΩΝ

Νέστορ Τσιρλιγκάνης¹, Κωνσταντίνα Καλλιτζή²

¹ *Ινστιτούτο Πολιτιστικής και Εκπαιδευτικής Τεχνολογίας, Τσιμισκή 48, 671 00 Ξάνθη*

² *ΙΘ' Εφορεία Προϊστορικών και Κλασικών Αρχαιοτήτων, Α. Συμεωνίδη 4, 691 00 Κομοτηνή*

Εισαγωγή

Το 1998 ιδρύθηκε στην Ξάνθη το Ινστιτούτο Πολιτιστικής και Εκπαιδευτικής Τεχνολογίας (Ι.Π.Ε.Τ.), ένας μη κερδοσκοπικός οργανισμός, υπό την αιγίδα της Γενικής Γραμματείας Έρευνας και Τεχνολογίας (Υπουργείο Ανάπτυξης) με στόχο τη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου ερευνητικού περιβάλλοντος, με συνεχή αλληλεπίδραση και υποστήριξη από τον ακαδημαϊκό χώρο, την Ελληνική και διεθνή επιστημονική κοινότητα της εκπαιδευτικής και πολιτιστικής τεχνολογίας καθώς και τους κρατικούς φορείς. Σκοπός του Ι.Π.Ε.Τ. είναι η ενίσχυση ερευνητικών και τεχνολογικών δραστηριοτήτων και η εφαρμογή των νέων τεχνολογιών στους τομείς των ανθρωπιστικών επιστημών, του πολιτισμού και της εκπαίδευσης. Ειδικότερα, το Ι.Π.Ε.Τ. επικεντρώνει τις ερευνητικές του δραστηριότητες: α) στην εφαρμογή των τεχνολογιών πληροφόρησης σε μελέτες κειμένων, αναλύσεις και καταγραφές γλώσσας, έργων τέχνης, μνημείων κ.τ.λ., β) στη μελέτη των σχετικών υλικών και ειδικότερα των κεραμικών, του χάρτου και της περγαμηνής και γ) στην εφαρμογή των τεχνολογιών πληροφόρησης στην εκπαίδευση και ειδικότερα στην μάθηση εξ-αποστάσεως και στην παροχή εκπαίδευσης-κατά-ζήτηση.

Για την επίτευξη των στόχων του το Ι.Π.Ε.Τ. επιδιώκει την συνύπαρξη διακλαδικών μικτών ομάδων από ανθρώπους των γραμμάτων και της τεχνολογίας με απώτερο στόχο την ενίσχυση της προσπάθειας που γίνεται για την ανάδειξη του Πολιτισμού με τη χρησιμοποίηση της πλέον σύγχρονης δυνατής τεχνολογικής υποστήριξης. Η συνύπαρξη ανθρώπων με δύο διαφορετικές κουλτούρες για τον ίδιο σκοπό μπορεί να συντελέσει στη αναβάθμιση της όλης προσπάθειας. Επί πλέον θα δώσει τη δυνατότητα στους μη τεχνολόγους να κατανοήσουν καλύτερα και να ενστερνιστούν τις δυνατότητες που προσφέρει η τεχνολογία για την ισχυρότερη υποστήριξη του έργου τους.

Στα πλαίσια των παραπάνω ενδιαφερόντων, το Ι.Π.Ε.Τ., προχώρησε το 1999 στην ίδρυση του Εργαστηρίου Αρχαιομετρίας με σκοπό να λειτουργήσει ως ένα τεχνολογικό και ερευνητικό κέντρο για την προώθηση της επιστημονικής έρευνας στο πεδίο της αρχαιομετρίας, την υποστήριξη των αρχαιολογικών ερευνών και την κάλυψη των αναγκών των ενδιαφερομένων φορέων με εξειδικευμένες εγκαταστάσεις, εξοπλισμό και επιστημονικό προσωπικό.

Εργαστήριο Αρχαιομετρίας του Ι.Π.Ε.Τ.

Το Εργαστήριο Αρχαιομετρίας του Ι.Π.Ε.Τ. είναι ένα από τα δύο εργαστήρια σήμερα στην Ελλάδα (το δεύτερο είναι αυτό του Ερευνητικού Κέντρου «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ») που είναι αφιερωμένα στην Αρχαιομετρία και τη σχετική έρευνα. Σκοπός του εργαστηρίου είναι η προώθηση της επιστημονικής έρευνας στο πεδίο της Αρχαιομετρίας, η μεταφορά των αποτελεσμάτων της έρευνας από συναφή επιστημονικά πεδία με στόχο τη βελτίωση των υπαρχόντων και την ανάπτυξη νέων τεχνικών στον κλάδο, η προσφορά εξειδικευμένων υπηρεσιών στον Δημόσιο και Ιδιωτικό τομέα, καθώς και η ενημέρωση και εκπαίδευση νέων επιστημόνων από διάφορες επιστημονικές περιοχές, μέσω σεμιναρίων, workshops και διαλέξεων πάνω σε θέματα Αρχαιολογίας και Αρχαιομετρίας. Κύρια επιδίωξη του εργαστηρίου αποτελεί η ανάδειξή του ως εξειδικευμένου εθνικού τεχνολογικού κέντρου για την υποστήριξη των αρχαιολογικών ερευνών και η εξέλιξή του σε μία πρότυπη μονάδα αρχαιομετρίας διεθνούς εμβέλειας γνωστής για την εγκυρότητα και την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων της.

Το εργαστήριο έρχεται να καλύψει ένα κενό που υπάρχει μεταξύ των φορέων που αναπτύσσουν συγγενείς δραστηριότητες, με εξειδικευμένες εγκαταστάσεις και εξοπλισμό τα οποία θα βρίσκονται πάντα στη διάθεση των ενδιαφερόμενων φορέων, εξειδικευμένο επιστημονικό προσωπικό και γενικότερες δραστηριότητες που θα επικεντρώνονται στο συγκεκριμένο χώρο της Αρχαιομετρίας. Στο σημείο αυτό εντοπίζονται και τα συγκριτικά πλεονεκτήματα του εργαστηρίου έναντι των συγγενικών φορέων καθώς στην πλειοψηφία τους οι κύριοι εκπρόσωποι αυτών κινούνται σε άλλους ερευνητικούς τομείς, δεν είναι πάντα διαθέσιμοι για τις ανάγκες των αρχαιολόγων και/ή δεν διαθέτουν τα εξειδικευμένα εκείνα όργανα που απαιτούνται για τους συγκεκριμένους σκοπούς ενίοτε δε δεν είναι διατιθέμενοι να αφιερώσουν σημαντικό χρόνο για την πραγματοποίηση μετρήσεων ρουτίνας. Εξαίρεση στα παραπάνω αποτελεί το Εργαστήριο του «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΥ» που κινείται συστηματικά στον χώρο της Αρχαιομετρίας με αξιόλογο ποιοτικά και ποσοτικά έργο, το οποίο και αντιμετωπίζει ένα σημαντικό φόρτο εργασίας με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται καθυστερήσεις στην παροχή αποτελεσμάτων και στο σημείο αυτό το Εργαστήριο Αρχαιομετρίας του Ι.Π.Ε.Τ. έρχεται να λειτουργήσει ως συμπληρωματικό.

Το εργαστήριο διαθέτει σημαντικότερη επιστημονική και υλικοτεχνική υποδομή προηγμένης τεχνολογίας και υποστηρίζεται άμεσα και από τις υπόλοιπες μονάδες του Ι.Π.Ε.Τ.. Οι δυνατότητές του επεκτείνονται σημαντικά χάρη στη στενή συνεργασία με τον Καθηγητή κύριο Ιωάννη Στράτη και τους συνεργάτες του στο Εργαστήριο Αναλυτικής Χημείας του Χημικού Τμήματος του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (Α.Π.Θ.), καθώς και με άλλα συναφή εργαστήρια του Δημοκριτείου Πανεπιστημίου Θράκης (Δ.Π.Θ.). Για την επίτευξη των στόχων του, την αξιοποίηση των δυνατοτήτων του και την καλύτερη δυνατή παροχή υπηρεσιών το εργαστήριο έχει δημιουργήσει διασυνδέσεις και προχωρά στη συνεργασία και με άλλους ενδιαφερόμενους φορείς και παρεμφερή ερευνητικά κέντρα και πανεπιστημιακά τμήματα., τόσο σε εθνικό όσο και διεθνές επίπεδο. Ο τεχνολογικός και ερευνητικός χαρακτήρας του εργαστηρίου αναμένεται να συμβάλει σημαντικά στη μεταφορά τεχνολογίας και τεχνογνωσίας στην Ελλάδα, την τεχνική υποστήριξη των αρχαιολόγων, την ενημέρωση και επιμόρφωσή τους σε νέες τεχνολογίες και μεθόδους χρονολόγησης και αρχαιομετρίας γενικότερα.

Δραστηριότητες του Εργαστηρίου

Οι δραστηριότητες του Εργαστηρίου Αρχαιομετρίας του Ι.Π.Ε.Τ. αποβλέπουν στην εξαγωγή πληροφοριών με τις πλέον σύγχρονες φυσικές και χημικές μεθόδους κατά κύριο λόγο από αρχαιολογικά αντικείμενα, μνημεία, έργα τέχνης και υλικά, με στόχο τη συμβολή στην πληρέστερη γνώση και βαθύτερη κατανόηση της εξέλιξης του Πολιτισμού.

Ιδιαίτερη έμφαση στην παρούσα φάση λειτουργίας του Εργαστηρίου έχει δοθεί στην μελέτη κεραμικών αντικειμένων και υάλων. Οι δυνατότητες που παρέχονται περιλαμβάνουν:

- Τη χρονολόγηση και τον έλεγχο και πιστοποίηση της αυθεντικότητας μουσειακών ή συλλεκτικών κεραμικών και υάλινων αντικειμένων με μεθόδους Θερμοφωταύγειας (TL) και Οπτικά Διεγείρομενης Φωταύγειας (OSL).
- Τη χημική ανάλυση των αντικειμένων (σε συνεργασία με το Εργαστήριο Αναλυτικής Χημείας του Α.Π.Θ.) για τον προσδιορισμό της προέλευσης, τη γεωχημική μελέτη του πηλού, τη μελέτη τεχνικών κατασκευής και των μορφών εμπορίου, τη μελέτη των κοινωνικών και διατροφικών συνηθειών.
- Τη στερεοσκοπική μελέτη επιφανειών για τον προσδιορισμό της ποιότητας των πρώτων υλών και της κατασκευής των αντικειμένων, τον προσδιορισμό διάβρωσης τους κ.τ.λ.
- Την στοιχειακή ανάλυση των αντικειμένων με ραδιομετρικές μη καταστροφικές τεχνικές με ακτίνες-Χ για τον προσδιορισμό της προέλευσης, τη μελέτη των τεχνικών κατασκευής και των μορφών εμπορίου, τον προσδιορισμό της θερμοκρασίας κατεργασίας και όπτησης, την έρευνα της τεχνολογικής γνώσης της εποχής (αρχαία τεχνολογία), τη μελέτη της διάβρωσης κ.τ.λ.

- Την πολυμεσική καταγραφή των αντικειμένων σε βάσεις δεδομένων (πολυφασματικές εικόνες, δελτία, δεδομένα αναλύσεων και λοιπών μετρήσεων) για την συγκριτική μελέτη των ευρημάτων, τη διερεύνηση της σύστασης και της φύσης των χρησιμοποιούμενων υλών, την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τη χρησιμοποιούμενη τεχνολογία της εποχής, και τις κοινωνικές και διατροφικές συνήθειες.

Όλες οι παραπάνω διαδικασίες ακολουθούν τα πρότυπα GLP και ISO για την εξασφάλιση της καλύτερης δυνατής ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών και αποτελεσμάτων.

Εξοπλισμός του Εργαστηρίου

Στον διαθέσιμο εξοπλισμό του εργαστηρίου περιλαμβάνονται: πλήρες εργαστήριο Θερμοφωταύγειας και Οπτικά Διεγείρομενης Φωταύγειας με state-of-the-art συστήματα, φορητά και εργαστηριακά συστήματα μέτρησης ακτινοβολιών και ραδιενέργειας περιβάλλοντος, αυτόνομο κλειστό σύστημα ραδιογραφικής απεικόνισης με ακτίνες-Χ και φορητό σύστημα φθορισμού ακτίνων-Χ (XRF), στερεοσκόπιο με σύστημα μελέτης-ανάλυσης επιφανειών, πλήρες εργαστήριο παρασκευής και προ-κατεργασίας δειγμάτων με σύγχρονους εργαστηριακούς κλιβάνους και συσκευές πέψης-διαλυτοποίησης με μικροκύματα.

Ο παραπάνω εξοπλισμός συμπληρώνεται από συστήματα ψηφιακής καταγραφής και ταξινόμησης αντικειμένων (ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές υψηλής ανάλυσης, τρισδιάστατος σαρωτής υψηλής ακρίβειας, τρισδιάστατη φωτογραφική camera, πολυφασματική camera κλπ) που διατίθενται στο εργαστήριο από τα εργαστήρια της Μονάδας Πολυμέσων του Ι.Π.Ε.Τ., καθώς και συστήματα φασματομετρίας ατομικής απορρόφησης (AAS) και εκπομπής (ICP-AES), αέριας χρωματογραφίας (GC-MS) και περίθλασης ακτίνων-Χ στα οποία το εργαστήριο έχει πρόσβαση μέσω των συνεργασιών του κυρίως με το Εργαστήριο Αναλυτικής Χημείας του Α.Π.Θ. και το Εργαστήριο Φυσικής του Δ.Π.Θ..

Σύστημα χρονολόγησης TL/OSL

Η θερμοφωταύγεια (TL) χρησιμοποιείται από τις αρχές της δεκαετίας του '70 για την χρονολόγηση κεραμικών και υάλινων αντικειμένων και γενικότερα υλικών με εσωτερική κρυσταλλική δομή. Η μέθοδος της οπτικά διεγείρομενης φωταύγειας (OSL) χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά στα μέσα της δεκαετίας του '90 για την χρονολόγηση γεωλογικών υλικών αλλά έχει δοκιμαστεί και στη χρονολόγηση κεραμικών και υάλων

Πρόκειται ουσιαστικά για μεθόδους ραδιοχρονολόγησης που στηρίζονται στην ικανότητα που έχουν μη αγώγιμα υλικά με κρυσταλλική δομή, να «αποθηκεύουν» στο κρυσταλλικό τους πλέγμα το ποσό της ραδιενεργού ακτινοβολίας που δέχονται από το περιβάλλον και στη συνέχεια, με κατάλληλο εξωτερικό ερέθισμα (θέρμανση-TL ή ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία-OSL) να αποδίδουν υπό μορφήν φωτός την πληροφορία για τη συνολική δόση που έχουν δεχθεί.

Η ηλικία προκύπτει από τη σύγκριση της συνολικής δόσης που έχει δεχθεί το υλικό με τη μέση ετήσια δόση που δέχεται από το περιβάλλον. Ο «χρόνος μηδέν» στην μέθοδο TL είναι ο χρόνος ψησίματος του υλικού οπότε και κάθε προηγούμενη πληροφορία σχετικά με τη δόση που είχε δεχθεί το πρωτογενές υλικό εξαλείφεται (προϋπόθεση αποτελεί το υλικό να έχει ψηθεί σε περισσότερους από 400 °C) ενώ στη μέθοδο OSL είναι ο χρόνος κατά τον οποίο το υλικό εκτέθηκε για τελευταία φορά στο ηλιακό φως. Λόγω του διαφορετικού εξωτερικού ερεθίσματος στην περίπτωση της OSL, αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για μη ψημένα δείγματα (έχει εφαρμοστεί με επιτυχία στη χρονολόγηση πλίνθων για τον προσδιορισμό της ηλικίας κτιρίων).

Η μέση ετήσια δόση πρέπει να μετρηθεί στο τόπο όπου βρέθηκε το υλικό, είτε με επιτόπια μέτρηση, είτε με μέτρηση ποσότητας χώματος (περίπου 1000 cc) από τη θέση όπου βρέθηκε το υλικό (σε μία ακτίνα 20-30 cm). Η γνώση της υγρασίας του υλικού και της περιοχής είναι σημαντική για τον προσδιορισμό της μέσης ετήσιας δόσης.

Ο προσδιορισμός της ηλικίας εξαρτάται από τη συγκεκριμένη μέθοδο που θα χρησιμοποιηθεί και το υπό εξέταση υλικό. Ενδεικτικά αναφέρεται στην περίπτωση της TL και για υλικό:

- Χαλαζία η προσδιοριζόμενη ηλικία είναι 50-100.000 έτη

- Άσβηστο η προσδιοριζόμενη ηλικία είναι 500-500.000 έτη
- Πυρόλιθο η προσδιοριζόμενη ηλικία είναι 5.000-500.000 έτη
- Ασβεστίτη η προσδιοριζόμενη ηλικία είναι 10.000-500.000 έτη

Με την OSL μπορούν να προσδιοριστούν ηλικίες και πέραν των 500.000 ετών.

Η ακρίβεια της μεθόδου κυμαίνεται για μεν την TL στο 5%-7% και μπορεί να φθάσει έως και 3% εφόσον διατίθενται περισσότερα δείγματα (τουλάχιστον έξι) που είναι γνωστό ότι είναι της ίδιας περίπου ηλικίας, ενώ για την OSL η ακρίβεια που επιτυγχάνεται είναι τυπικά της τάξης του 5% ή καλύτερη.

Και οι δύο μέθοδοι είναι καταστρεπτικές και μη επαναλήψιμες. Το δείγμα κονιορτοποιείται και μετά την αρχική μέτρηση η πληροφορία που αποκομίζεται από τη μέτρηση έχει οριστικά χαθεί από αυτό οπότε και η μέτρηση δεν μπορεί να επαναληφθεί στο ίδιο δείγμα.

Το σύστημα χρονολόγησης TL/OSL του Εργαστηρίου Αρχαιομετρίας του Ι.Π.Ε.Τ. είναι ένα πλήρως αυτοματοποιημένο σύστημα (εικόνα 1), ελεγχόμενο από ηλεκτρονικό υπολογιστή, με δυνατότητα μέτρησης πολλαπλών δειγμάτων (48 δείγματα που αντιστοιχούν στην μέτρηση-χρονολόγηση τριών διαφορετικών οστράκων). Είναι το μοναδικό αυτή τη στιγμή στον ελληνικό χώρο με δυνατότητα χρονολόγησης με OSL με μπλε και υπέρυθη (IR) ακτινοβολία. Το σύστημα χρησιμοποιείται για:

- Τη χρονολόγηση κεραμικών και υάλινων αντικειμένων
- Τη χρονολόγηση γεωλογικών υλικών (πετρωμάτων, ιζημάτων κ.τ.λ.)
- Τον έλεγχο και πιστοποίηση της αυθεντικότητας κεραμικών και υάλινων αντικειμένων

Για χρονολογήσεις με θερμοφωταύγεια μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι τεχνικές:

- Των λεπτών κόκκων
- Των χονδρών κόκκων (ή μέθοδος χαλαζία)
- Της προ-δόσης (για ηλικίες έως 1.000 έτη)

Αντίστοιχα για χρονολογήσεις με οπτικά διεγερόμενη φωταύγεια μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι τεχνικές:

- Των πολλαπλών μερών (multi-aliquot)
- Του απλού μέρους (single-aliquot)

Ο εξοπλισμός χρονολόγησης συμπληρώνεται από συστήματα α- και β-ακτινοβολίας, ανιχνευτές ραδιενεργών ακτινοβολιών και ένα ηλιακό προσομοιωτή.

Για μία ικανοποιητική μέτρηση το μέγεθος του δείγματος (οστράκου) πρέπει να είναι διαστάσεων κατά προσέγγιση 4x4x1 cm και/ή βάρους 10-100 γραμμαρίων. Δεν πρέπει να έχει υποστεί δε καμία προηγούμενη επεξεργασία. Επιπλέον στην περίπτωση της OSL η δειγματοληψία πρέπει να έχει γίνει στο σκοτάδι.

Συστήματα ακτίνων-X

Στον εξοπλισμό του Εργαστηρίου Αρχαιομετρίας του Ι.Π.Ε.Τ. περιλαμβάνονται ένα κλειστό σύστημα ραδιογραφίας ακτίνων-X (εικόνα 2) μεταβλητής ενέργειας και υψηλής διακριτικής ικανότητας, και ένα φορητό σύστημα μ-XRF (φθορισμού ακτίνων-X) (εικόνα 3) με δυνατότητα ανίχνευσης ακόμη και ελαφρών στοιχείων (π.χ. νάτριο).

Η ραδιογραφία ακτίνων-X επιτρέπει τη μελέτη του εσωτερικού των αντικειμένων, χωρίς την καταστροφή ή την οιαδήποτε επέμβαση σε αυτά (χαρακτηριστικό παράδειγμα χρήσης της μεθόδου είναι η περίπτωση του υπολογιστικού μηχανισμού των Αντικυθήρων). Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται μεταξύ άλλων η διερεύνηση της δομής των αντικειμένων, αποκαλύπτεται η ύπαρξη επικαλύψεων και επιχρισμάτων, και προσδιορίζεται το βάθος της διάβρωσης που αυτά έχουν υποστεί. Οι πληροφορίες που παρέχονται βοηθούν την ανασκαφική έρευνα στον προσδιορισμό της θέσης και του σχήματος ενός αντικειμένου μέσα σε μία μάζα χώματος ή μέσα σε άλλο περιέχον

αντικείμενο και διευκολύνουν τον καθαρισμό και τη συντήρησή του, ιδίως σε περιπτώσεις αντικειμένων με άγνωστο και πολύπλοκο σχήμα καθώς και σε περιπτώσεις σοβαρά διαβρωμένων αντικειμένων. Επιπλέον με τη μέθοδο αυτή καθίσταται δυνατή η διερεύνηση του περιεχομένου κλειστών, σφραγισμένων αγγείων χωρίς αυτά να ανοιχθούν.

Ο φθορισμός ακτίνων-X είναι μία στοιχειομετρική, αναλυτική μη καταστροφική τεχνική που επιτρέπει τον προσδιορισμό της σύστασης των αντικειμένων. Ειδικότερα τα συστήματα μ-XRF παρουσιάζουν πολύ υψηλή διακριτική ικανότητα και είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικά για τον εντοπισμό ιχνοστοιχείων χαρακτηριστικών του τύπου προέλευσης των αντικειμένων και/ή της διάβρωσης που έχουν υποστεί. Το μ-XRF σύστημα που διαθέτει το Εργαστήριο είναι ένα από τα πρώτα που κατασκευάστηκαν με χαρακτηριστικά που ανταποκρίνονται πλήρως στις ανάγκες της σύγχρονης Αρχαιομετρίας. Το σύστημα αυτό είναι επιπλέον φορητό και επιτρέπει επιτόπιες μετρήσεις επομένως καθίσταται δυνατή η μελέτη αντικειμένων χωρίς να απαιτείται η απομάκρυνση τους από ένα συγκεκριμένο χώρο (π.χ. μουσείο).

Χημική επεξεργασία-αναλύσεις

Το Εργαστήριο Αρχαιομετρίας του Ι.Π.Ε.Τ. διαθέτει ακόμη τον απαραίτητο εξοπλισμό για την παρασκευή και προκατεργασία των υάλινων και κεραμικών δειγμάτων με σύγχρονες τεχνικές και συστήματα, στην πλειοψηφία τους ελεγχόμενα από ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Στον εξοπλισμό περιλαμβάνονται (εικόνα 4) ηλεκτρονικοί αναλυτικοί ζυγοί τριών και πέντε δεκαδικών ψηφίων, εργαστηριακοί κλίβανοι που παρέχουν τη δυνατότητα όπτησης των δειγμάτων σε θερμοκρασίες άνω των 1.000 °C, σύστημα διαλυτοποίησης – πέψης με μικροκύματα κλπ.

Ο ανωτέρω εξοπλισμός χρησιμοποιείται τόσο για την προετοιμασία των δειγμάτων για TL/OSL χρονολόγηση, όσο και για στοιχειομετρικές αναλύσεις, καθώς επίσης και για απλές μετρήσεις κοκκομετρίας και πορώδους των υλικών με βάση τον όγκο νερού που απαιτείται για την πλήρωση των ανοιχτών πόρων. Οι μετρήσεις αυτές στην περίπτωση των κεραμικών επιτρέπουν και μια πρώτη αξιολόγηση όσον αφορά την ποιότητα του κεραμικού, την τεχνική του ψησίματος και τον τύπο της αργίλου.

Περαιτέρω χημικές αναλύσεις για τον ποσοτικό προσδιορισμό των κύριων, δευτερευουσών χημικών στοιχείων και των ιχνοστοιχείων που περιέχονται στα κεραμικά και υάλινα αντικείμενα γίνονται σε συνεργασία με τον καθηγητή Ι. Στράτη και την ομάδα του στο Εργαστήριο Αναλυτικής Χημείας του Α.Π.Θ.. Ο εξοπλισμός που διατίθεται περιλαμβάνει (εικόνα 4) συστήματα:

- Φασματομετρίας ατομικής απορρόφησης (AAS)
- Φασματομετρίας ατομικής εκπομπής με χρήση συζευγμένου πλάσματος (ICP-AES)
- Αέριας χρωματογραφίας (GC-MS)

Οι μέθοδοι χημικής ανάλυσης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν χαρακτηρίζονται από υψηλή σταθερότητα και επαναληψιμότητα ενώ υπάρχει η δυνατότητα ταυτόχρονου προσδιορισμού πολλών χημικών στοιχείων. Η υψηλή ευαισθησία τους αυτών επιτρέπει τον ποσοτικό προσδιορισμό πολύ χαμηλών συγκεντρώσεων (ppm, ppb).

Αν και οι μέθοδοι αυτές είναι καταστροφικές, απαιτείται ελάχιστη ποσότητα (0,1-1 γραμμαρίου) υλικού η οποία μπορεί να συλλεχθεί και από μη εμφανές σημείο του υπό μελέτη αντικείμενου, σε κάθε δε περίπτωση η αλλοίωση που επέρχεται από τη συλλογή του δείγματος είναι αμελητέα.

Τα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την γεωχημική μελέτη του πηλού, τον προσδιορισμό της προέλευσης του υλικού συγκριτικά με κάποια ανάλογη βάση δεδομένων, τη μελέτη των τεχνικών κατασκευής και για να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με τις μορφές εμπορίου, τις κοινωνικές συνήθειες, τις συνήθειες διατροφής κ.τ.λ.

Στερεοσκόπιο

Ο εξοπλισμός του εργαστηρίου συμπληρώνεται επίσης και από ένα πλήρως αποχρωματικό στερεομικροσκόπιο (εικόνα 4) ψυχρού και διερχόμενου φωτισμού που συνοδεύεται από σύστημα ανάλυσης εικόνας για τη στερεομικροσκοπική παρατήρηση, τη μελέτη και τη φωτογράφιση των

αντικειμένων. Με το σύστημα αυτό είναι δυνατή η μελέτη τόσο μικρών όσο και μεγάλων διαστάσεων αντικειμένων χάρη στον ανεξάρτητο φορέα οπτικών που διαθέτει. Το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί:

- Στη μελέτη επιφανειών για τον εντοπισμό χρωστικών ουσιών, επιχρισμάτων, επιζωογραφίσεων, τον προσδιορισμό της ποιότητας των κόκκων κεραμικού κ.τ.λ.
- Στη μελέτη της κατάστασης των αντικειμένων και τον προσδιορισμό της διάβρωσης που αυτά έχουν υποστεί.
- Για τον προσδιορισμό των απαιτήσεων συντήρησης των αντικειμένων.

Έρευνες στον αρχαιολογικό χώρο Αβδήρων

Μεταξύ των πρώτων έργων του Εργαστηρίου Αρχαιομετρίας του Ι.Π.Ε.Τ. συγκαταλέγεται η συνεργασία του με την ΙΘ' Εφορεία Προϊστορικών και Κλασικών Αρχαιοτήτων για τη διεξαγωγή ερευνών στον αρχαιολογικό χώρο των Αβδήρων. Τα αποτελέσματα των ερευνών αυτών θα καταγραφούν σε πολυμεσικές βάσεις δεδομένων. Αναλυτικότερα οι τομείς συνεργασίας είναι οι παρακάτω:

Χημικές αναλύσεις πηλού

Τα δείγματα κεραμικής θα προέρχονται κυρίως από αγγεία, πιθάρια, κεραμίδια στέγης και σαρκοφάγους που βρέθηκαν στο αρχαίο νεκροταφείο. Η μελέτη θα εστιαστεί στη διερεύνηση της τεχνολογίας κατασκευής των αντικειμένων και στην προέλευση του πηλού μέσα από τη χημική ανάλυση και τη μαθηματική επεξεργασία των δεδομένων.

Μελέτη κονιαμάτων

Ένα από τα είδη των τάφων κατά τον 4ο και 3ο αιώνα π.Χ. στο νεκροταφείο των Αβδήρων είναι οι χτιστοί κιβωτιόσχημοι που το εσωτερικό τους είναι επιχρισμένο με κονίαμα λευκό ή σπανιότερα χρωματιστό (εικόνα 5). Η μελέτη των κονιαμάτων αυτών θα γίνει με τους εξής στόχους: α. τη χημική σύσταση του κονιάματος. β. τον εντοπισμό τυχόν γραπτής παράστασης που δεν είναι πλέον ορατή. γ. τη μελέτη των αποτελεσμάτων που προξενεί πάνω στα κτερίσματα του τάφου η διάβρωση από τα χημικά συστατικά του κονιάματος. Ως παράδειγμα αναφέρουμε την περίπτωση ενός γυάλινου αλάβαστρου με ιδιαίτερα διαβρωμένη την εξωτερική του επιφάνεια, το οποίο βρέθηκε τοποθετημένο σχεδόν σε επαφή με το επιχρισμένο με κονίαμα τοίχωμα του τάφου¹ (εικόνα 6).

Διαπίστωση του περιεχομένου αγγείων

Μακροπρόθεσμα θα ενταχθούν στο πρόγραμμα αναλύσεις για διαπίστωση του περιεχομένου αγγείων που βρίσκονται μέσα στους τάφους ή σε περιοχές προσφορών γύρω από αυτούς. Τα αποτελέσματα θα είναι ιδιαίτερα σημαντικά για τα ταφικά έθιμα των Αβδηριτών, τις διατροφικές τους συνήθειες κτλ.

Χρονολόγησεις TL/OSL

Αφορά την προϊστορική κεραμική από την ευρύτερη περιοχή των Αβδήρων. Η κεραμική αυτή προέρχεται από θέσεις της Νεολιθικής και Πρώιμης Εποχής του Χαλκού που βρίσκονται στο νότιο τμήμα του Νομού Ξάνθης. Πρόκειται για τούμπες (όπως της Διομήδειας) ή για εγκαταστάσεις σε φυσικά υψώματα (Πετρόλοφος Μέλισσας, Πετρόλοφος Μάνδρας). Εκεί δεν έχει γίνει ανασκαφή και η κεραμική προς το παρόν προέρχεται αποκλειστικά από επιφανειακή έρευνα. Μερικές από τις θέσεις αυτές ενδέχεται μελλοντικά να ενταχθούν σε ανασκαφικό πρόγραμμα, και οι TL και OSL μέθοδοι χρονολόγησης θα είναι εφικτό να εφαρμοστούν στην κεραμική που θα προκύψει. Εκτός από την κεραμική σε μερικές θέσεις υπάρχουν εργαλεία από πυριτόλιθο. Στην περίπτωση που θα βρεθούν και άλλα κατά την ανασκαφή, θα μπορούσε να επιχειρηθεί χρονολόγηση με τις ίδιες μεθόδους. Τα αποτελέσματα θα ήταν ιδιαίτερα χρήσιμα για την πληρέστερη διαμόρφωση του αρχαιολογικού χάρτη της περιοχής. Δεδομένου ότι θα είναι η πρώτη φορά που θα υπάρξει

¹ Η πληροφορία για την αιτία της διάβρωσης οφείλεται στον Ιωάννη Στράτη, καθηγητή Αναλυτικής Χημείας του ΑΠΘ ο οποίος βρισκόταν στα Αβδηρα τις μέρες της ανασκαφής και είδε το αντικείμενο.

χρονολόγηση με θερμοφωταύγεια και/ή οπτικά διεγερόμενη φωταύγεια στην περιοχή αυτή, δημιουργείται ταυτόχρονα βάση δεδομένων για μελλοντική έρευνα.

Πιο άμεσα είναι εφικτό να προχωρήσει η έρευνα με τις αναλύσεις πηλού. Η μελέτη της κεραμικής στο χώρο των Αβδήρων μπορεί να καλύψει ένα ευρύ χρονολογικό φάσμα από τον 7 ο αιώνα π.Χ. μέχρι την ελληνιστική περίοδο και να επεκταθεί αργότερα στα αυτοκρατορικά χρόνια.

Α. Θα μπορούσε καταρχήν να διερευνηθεί ο τόπος παραγωγής και ενδεχομένως να ταυτιστούν τα εργαστήρια κατασκευής των επείσακτων αγγείων του 7 ου και των αρχών του 6 ου αιώνα π.Χ. τα οποία βρίσκονται στα νεκροταφεία των Κλαζομενίων².

Η πρώτη ομάδα από τα αγγεία αυτά αποτελείται από μεγάλα σχήματα αποθηκευτικών σκευών (πιθάρια, αμφορείς, χυτροειδή κτλ) που χρησιμοποιήθηκαν για τον ενταφιασμό βρεφών, παιδιών και σπανιότερα ενηλίκων ατόμων (εικόνα 7).

Η δεύτερη ομάδα περιλαμβάνει μικρά επιτραπέζια αγγεία (κύλικες, κύπελλα, οινοχόες, όλπες κτλ), θήλαστρα και ελαιοδοχεία για αρωματικά έλαια (δακτυλιόσχημους ασκούς, ληκύθια, αρύβαλλους, αλάβαστρα) (εικόνα 8). Από τη στιλιστική μελέτη σχημάτων και διακόσμησης γνωρίζουμε ότι τα αγγεία αυτά προέρχονται από την Κόρινθο, τη Ρόδο, τις Κυκλάδες, νησιωτικές και ηπειρωτικές πόλεις της Ιωνίας· μας διαφεύγει όμως ο ακριβής προσδιορισμός του εργαστηρίου. Με τις αναλύσεις αυτές θα μπορούσε ενδεχομένως να γίνει γνωστό τι έφεραν μαζί τους οι Κλαζομενιοί κατά την ίδρυση της αποικίας, τι εισαγωγές έκαναν στη συνέχεια και τι μιμήθηκαν αργότερα στα δικά τους εργαστήρια. Οι έρευνες αυτές θα μπορούσαν να γίνουν συγκριτικά και σε συνεργασία με τους ανασκαφείς των Κλαζομενίων, με τους οποίους προγραμματίζεται να έλθουμε σύντομα σε επαφή με συνάντηση που θα διεξαχθεί στα Άβδηρα τον Οκτώβριο του 2001.

Β. Ενδιαφέρον επίσης παρουσιάζει η προέλευση μιας κατηγορίας κεραμικής που περιλαμβάνει κυρίως κύλικες ακτινωτές και ταινιωτές, (εικόνα 9,10) οι οποίες θεωρούνται επιβίωση των αντίστοιχων κυλίκων με πουλιά και με στιγμορόδακες που παρήγαγαν κατά τον 7ο και 6ο αιώνα π.Χ. τα ιωνικά εργαστήρια. Υπάρχουν επίσης ταινιωτά άωτα σκυφίδια, οινοχόες (εικόνα 11), επιτραπέζιοι αμφορείς κτλ. Τα αγγεία αυτά βρίσκονται σε κλειστά ταφικά σύνολα και αρχαιολογικά στρώματα από το τέλος του 6ου μέχρι τον 3ο αιώνα π.Χ. Αναφερόμενοι σ' αυτά συνήθως μιλούμε για "τοπική παραγωγή ιωνικού τύπου αγγείων".

Γ. Κατά τον 5ο και 4ο αιώνα π.Χ. υπάρχει μεγάλος αριθμός από μελαμβαφή αττικά σχήματα (κυρίως σκυφίδια, φιαλίδια, πινάκια, σκύφους, ασκούς, ληκύθια, αλατοδοχεία) τα οποία είναι φανερό ότι δεν έχουν κατασκευαστεί σε αττικά εργαστήρια.

Δ. Υπάρχει επίσης μεγάλη παραγωγή άλλων αντικειμένων από πηλό, όπως τα κεραμίδια στέγης, τα ειδώλια, τα υφαντικά βάρη, οι πήλινες σαρκοφάγοι (εικόνα 12), τα μαγειρικά σκεύη και οι εμπορικοί αμφορείς.

Όλα αυτά τα προϊόντα, θα μπορούσαν να είχαν κατασκευαστεί στα Άβδηρα³ ή σε άλλα κέντρα, όπως π.χ. τη Μαρώνεια ή τη Θάσο. Μέχρι τώρα η έρευνα για την προέλευση και τη χρονολόγησή

² Οι Κλαζομενιοί είναι οι πρώτοι άποικοι των Αβδήρων, οι οποίοι εγκαταστάθηκαν στην περιοχή γύρω στο 652 π.Χ. Τα νεκροταφεία τους εντοπίστηκαν σε τέσσερα σημεία. Για το πρώτο βλ. Χ. Κουκούλη-Χρυσανθάκη, Οι ανασκαφικές έρευνες στα αρχαία Άβδηρα, ΣΥΜΠΟΣΙΟ, Η Ιστορική, αρχαιολογική και λαογραφική έρευνα για τη Θράκη, Ξάνθη-Κομοτηνή-Αλεξανδρούπολη, 1985, (Θεσσαλονίκη 1988), 53-54, για το δεύτερο, το οποίο έχει ανασκαφεί και μελετηθεί πληρέστερα από όλα, Ε. Σκαρλατίδου, Ανασκαφή στο αρχαϊκό νεκροταφείο Αβδήρων, ΑΕΜΘ 1, 1987, 421-429 και Ε. Σκαρλατίδου, Από το αρχαϊκό νεκροταφείο των Αβδήρων. Συμβολή στην έρευνα της αποικίας των Κλαζομενίων στα Άβδηρα, Θεσσαλονίκη 2000 (πρόσφατη, ανέκδοτη ακόμα, διδακτορική διατριβή), το τρίτο Λ. Κρασιώτη, Τύμβος από τη βορειοδυτική νεκρόπολη των Αβδήρων, ΑΕΜΘ 1, 1987, 431 - 438, και το τέταρτο Ντ. Καλλιντζή, Άβδηρα 1997. Ανεύρεση τάφων κατά τη διάνοιξη καναλιού. ΑΕΜΘ 11, 1997, 638-641.

³ Δ. Λαζαρίδης, Πήλινα ειδώλια Αβδήρων, Αθήνα 1960, Δ. Τριαντάφυλλος, Σαρκοφάγος κλαζομενιακού τύπου από τα Άβδηρα της Θράκης, Αρχαία Θράκη, Πρακτικά Β' Διεθνούς Συνεδρίου Θρακικών Σπουδών, Κομοτηνή 1992, (1997),

τους, βασιζόταν στη συγκριτική μελέτη με αντίστοιχα αντικείμενα από τη βιβλιογραφία ή επείσακτα στα Άβδηρα προερχόμενα από γνωστά κέντρα. Ο βέβαιος προσδιορισμός του τόπου παραγωγής τους θα οδηγήσει την έρευνα σε ανάλογα συμπεράσματα για την βιοτεχνική δραστηριότητα των Αβδηριτών, τα εργαστήρια και τις τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν, τις εμπορικές τους σχέσεις, τις πολιτιστικές επιρροές από άλλα κέντρα παραγωγής, την καταγωγή και εξέλιξη των διακοσμητικών μοτίβων ή την εμμόνη της μακροχρόνιας παραμονής σε αυτά κτλ.

Ένα παράδειγμα για μια υπόθεση εργασίας είναι το εξής: στα άβαφα αγγεία καθημερινής χρήσης μπορούμε να διακρίνουμε δύο είδη πηλού. Έναν κοκκινωπό, που δημιουργεί κακή επιδερμίδα στο αγγείο και απολεπίζεται πάρα πολύ εύκολα (2,5 YR, 6/8 στην κλίμακα Munsell), και έναν πηλό ωχροκίτρινου χρώματος και μεγαλύτερης συνοχής (7,5 YR, 7/8). Πρόκειται για Αβδηρίτικα προϊόντα εργαστηρίου ή εργαστηρίων που χρησιμοποίησαν διαφορετικές πηγές πηλού και ενδεχομένως διαφορετική τεχνική κατασκευής ή είχαν εισαχθεί από διαφορετικές περιοχές και από ποιες;

Αναλύσεις πηλού κεραμικών προϊόντων των Αβδήρων έχουν ήδη γίνει στα πλαίσια ανάλογης έρευνας της Χάιδως Κουκούλη-Χρυσανθάκη από το εργαστήριο κεραμολογίας του Εθνικού Κέντρου Επιστημονικών Ερευνών της Γαλλίας.⁴ Το ίδιο εργαστήριο έχει κάνει ανάλογες αναλύσεις για την Εφορεία Αρχαιοτήτων Θράκης με δείγματα από τους αρχαιολογικούς χώρους της Στρώμης, της Μαρώνειας, της Μεσημβρίας και της Σαμοθράκης. Έτσι η τράπεζα δεδομένων που έχει δημιουργηθεί θα ήταν χρήσιμη για τα συγκριτικά στοιχεία που θα μπορούσε να προσφέρει στην προώθηση της έρευνας.

Μια ανάλογη προσπάθεια έγινε από τον Ν. Καλτσά στο πλαίσιο μελέτης του για τις Κλαζομενιакές σαρκοφάγους της Ακάνθου.⁵ Οι αναλύσεις για τη χημική σύσταση του πηλού κλαζομενιакών σαρκοφάγων από τα Άβδηρα, την Άκανθο, και τις Κλαζομενές, έδειξε ότι κάθε ομάδα είναι αυτόνομη, επομένως οι σαρκοφάγοι των Αβδήρων (εικόνα 12) δεν κατασκευάστηκαν στις Κλαζομενές και πρέπει να αναζητήσουμε με μεγαλύτερη πιθανότητα τώρα⁶ το εργαστήριό τους στα Άβδηρα.

Προς την ίδια ερευνητική κατεύθυνση στρέφεται και η επιστημονική εργασία που διεξάγεται στα πλαίσια της διδακτορικής διατριβής της κας Παπαδοπούλου Δέσποινας (υπό την επίβλεψη του Καθηγητή κου Ιωάννη Στράτη στο Εργαστήριο Αναλυτικής Χημείας του Α.Π.Θ.), που αφορά στην εφαρμογή σύγχρονων αναλυτικών μεθόδων χημικής ανάλυσης τόσο στο στάδιο της προκατεργασίας (διαλυτοποίηση-πέψη με μικροκύματα) των δειγμάτων αρχαίων κεραμικών και δειγμάτων πηλού διαφορετικής προέλευσης, όσο και στο στάδιο του τελικού προσδιορισμού των χημικών συστατικών με την εφαρμογή φασματικών τεχνικών (AAS, ICP-AES). Οι παραπάνω μετρήσεις αναμένεται να συμβάλουν στην πληρέστερη περιγραφή της τεχνολογίας κατασκευής των κεραμικών στην περιοχή των αρχαίων Αβδήρων, στη διερεύνηση της προέλευσης των κεραμικών και στον εντοπισμό πιθανών πηγών πρώτων υλών που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή των κεραμικών.

741-773, Λ. Κρανιώτη, Άβδηρα: τόπος παραγωγής ελληνιστικής ανάγλυφης κεραμικής, Αρχαία Θράκη, Πρακτικά Β' Διεθνούς Συνεδρίου Θρακικών Σπουδών, Κομοτηνή 1992, (1997), 789-806.

⁴ Francin Blonde-Maurice Picon, Autour de la ceramique du IVe siecle dans le Nord-Est de l' Egee: quelques approches differentes, 161-188.

⁵ Ν. Καλτσάς, Κλαζομενιакές σαρκοφάγοι από το νεκροταφείο της Ακάνθου, ΑΔ 51-52(1996-1997), Α, 35-50.

⁶ Δ. Τριαντάφυλλος, ο.π..762-764 και σημ. 83.