

Ο ΕΡΜΗΣ ΤΗΣ ΑΡΧΑΙΑΣ ΜΕΣΣΗΝΗΣ

Εφαρμογή τεχνολογίας Laser για απομάκρυνση ιζηματογενών αποθέσεων

Αμερίνη Γαλανού

Συντηρήτρια Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης

Ιωάννα Δογάνη

Συντηρήτρια Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης

Παρασκευή Πουλή

Δρ Φυσικός ΙΤΕ-ΙΗΛΔ

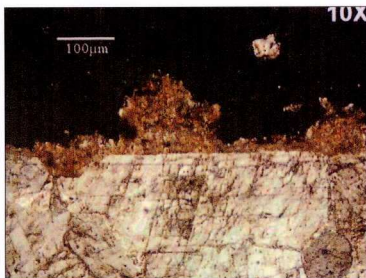
Κατά τη διάρκεια του εκτεταμένου ανασκαφικού προγράμματος που διενεργείται τα τελευταία χρόνια, υπό την εποπτεία του καθηγητή Πέτρου Θέμελη, στην αρχαία Μεσσήνη, αποκαλύφθηκε μαρμάρινο άγαλμα του Ερμή. Από το άγαλμα αυτό, που βρέθηκε κατακεραματισμένο, σώζεται το σύνολο σχεδόν των επιμέρους τμημάτων του, ενώ η επιφάνειά του καλυπτόταν ολόκληρη από ιζηματογενείς αποθέσεις (εικ.1). Για τον καθαρισμό του αγάλματος εξετάστηκαν, στο πλαίσιο ερευνητικού προγράμματος, όλες οι μέθοδοι που θεωρούνται κατάλληλες για την αντιμετώπιση τέτοιου είδους προβλημάτων. Από την έρευνα προέκυψε ότι μόνο το Laser ήταν δυνατόν να απομακρύνει τις αποθέσεις αυτές, αναδεικνύοντας τις αρετές του έργου χωρίς να προκληθούν βλάβες στο μάρμαρο. Το ερευνητικό πρόγραμμα πραγματοποιήθηκε σε συνεργασία με το Ινστιτούτο Ηλεκτρονικής Δομής και Λείζερ του Ιδρύματος Τεχνολογίας και Έρευνας στο Ηράκλειο Κρήτης.

Ιζηματογενείς αποθέσεις σχηματίζονται στην επιφάνεια των αρχαίων αντικειμένων κατά τη μακροχρόνια παραμονή τους εντός του εδάφους. Το νερό, που μεταφέρει προϊόντα εξαλλοίωσης του εδάφους, αλληλεπιδρά με τη βασική δομή των περισσότερων υλικών, είτε διαβρώνοντάς τα είτε σχηματίζοντας αποθέσεις. Άλλοτε συμπαιγείς και σκληρές και άλλοτε χαλαρές και μαλακές, οι αποθέσεις αυτές αλλοιώνουν σημαντικά την απόχρωση της επιφάνειας και την υφή των έργων τέχνης, καλύπτουν σημαντικά τεκμήρια και υποβαθμίζουν τις αξίες που αυτά αντιπροσωπεύουν.

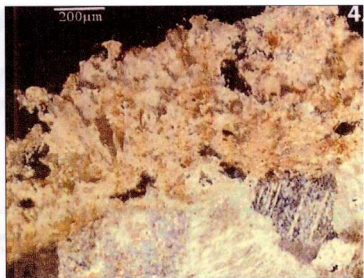
Οι λόγοι που συχνά ωθούν τους ειδικούς στην απόφαση για τον καθαρισμό σημαντικών έργων τέχνης είναι κυρίως αισθητικοί και καλλιτεχνικοί. Για πολλές δεκαετίες, η στάση των υπευθύνων στο θέμα αυτό οδήγησε άλλοτε σε άμεση και δραστική επέμβαση και άλλοτε στην πλήρη άρνηση οποιασδήποτε επέμβασης. Και στις δύο περιπτώσεις, η ελλιπής κατανόηση των συνθηκών που προκάλεσαν τις αλλοιώσεις αυ-



1. Το άγαλμα πριν από τον καθαρισμό (φωτ. Ζ. Μαυροματής).



2, 3. Εικόνες μικροσκοπίου, λεπτή τομή. Διακρίνεται η πορώδης κρυστατογενής κρούστα στην επιφάνεια των κρυστάλλων του μαρμάρου (διασταυρούμενα πρίσματα Nicols).



τές στην επιφάνεια των έργων τέχνης αλλά και η ίδια η φύση των αποθέσεων οδήγησαν στην υιοθέτηση της μιας ή της άλλης άποψης. Στις μέρες μας, ωστόσο, οι θετικές επιστήμες συμβάλλουν τόσο στην κατανόηση των φαινομένων φθοράς όσο και στη βελτίωση των μεθόδων συντήρησης, καθιστώντας ασφαλή την επιλογή σειράς επεμβάσεων σε ένα έργο τέχνης, σύμφωνα με τη διεθνή δεοντολογία.

Η διαδικασία του καθαρισμού, ή ορθότερα της απομάκρυνσης των επικαθίσεων από την επιφάνεια ενός έργου τέχνης αποτελεί αναπόσπαστο μέρος ενός ολοκληρωμένου προγράμματος συντήρησης, που περιλαμβάνει, επίσης, τη στερέωση και την προστασία του. Η διαδικασία αυτή ακολουθήθηκε και για την αποκατάσταση του αγάλματος του Ερμή της Μεσοήνης.

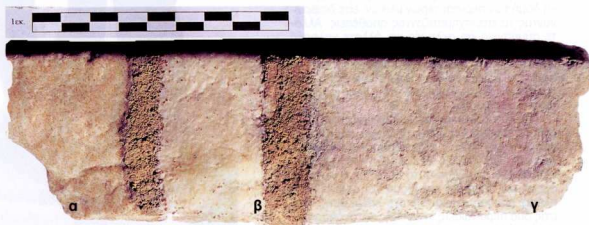
Η αξία του αγάλματος

Το άγαλμα του Ερμή, με τις ισορροπημένες αναλογίες και τα ωραία χαρακτηριστικά, είναι αναντίρρητα έργο μεγάλης καλλιτεχνικής αξίας. Βρέθηκε το 1996, πεσμένο με το πρόσωπο προς τα κάτω, στο δωμάτιο ΙΧ της δυτικής στοάς του Γυμνασίου¹. Σήμερα, εκτίθεται σε δεσποζούσα θέση στο Αρχαιολογικό Μουσείο

στο Μαυρομμάτι της Μεσοήνης (αίθουσα Α). Όπως υποστηρίζει ο ανασκαφέας Π. Θέμελης, αποτελεί αξιόλογο αντίγραφο του 1ου αιώνα μ.Χ. ενός πρωτότυπου ορειχάλκινου αγάλματος της σχολής του Πολυκλείτου (4ος αι. π.Χ.). Το γλυπτό, ύψους 2,07 μ., είναι κατασκευασμένο, όπως έδειξαν οι αναλύσεις, από λευκό μεσόκοκκο δολομιτικό μάρμαρο, το οποίο πιθανολογείται ότι προέρχεται από λατομείο στο Βαθύ της Θάσου.

Η κατάσταση διατήρησης

Το άγαλμα, που διατηρείται σε σχετικά καλή κατάσταση, αποτελείται από 37 συγκολλημένα μεταξύ τους θραύσματα². Η κατάσταση διατήρησης της επιφάνειας στην εμπρόσθια όψη του αγάλματος είναι διαφορετική από εκείνη της οπίσθιας όψης, φαινόμενο που μπορεί να αποδοθεί με ασφάλεια στη θέση του αγάλματος κατά τη μακρόχρονη παραμονή του εντός του εδάφους. Στην εμπρόσθια όψη, που ήταν στραμμένη προς τα κάτω, είχε σχηματιστεί κρυστατογενής κρούστα με διαφοροποιήσεις στο πάχος και στη μορφή από περιοχή σε περιοχή. Σύμφωνα με τις εργαστηριακές αναλύσεις, η κρούστα περιείχε κυρίως χαλαζία, ασβεστίτη και



4. Το δοκίμιο πάνω στο οποίο εφαρμόστηκαν οι μέθοδοι καθαρισμού: α. υπερηχητικό ζέστρο, β. μικροαμβολή, γ. Laser.

όμορφες αργιλοπυριτικές ενώσεις, που αποτελούν συστατικά του εδάφους³. Ο έντονος ερυθροκάστατος χρωματισμός της κρούστας αποδίδεται στη σημαντική παρουσία οξειδίων και υπεροξειδίων του σιδήρου. Η κρούστα αυτή ήταν εξαιρετικά σκληρή με ισχυρή πρόσφυση στο μάρμαρο, αλλά και ανομοιογενής και πορώδης, φαινόμενο που σχετίζεται με τον τρόπο απόθεσης του ζήματος, τη διάβρωση και τη μορφή της επιφάνειας του μαρμάρου. Κατά την παρατήρηση της κρούστας στο οπτικό και ηλεκτρονικό μικροσκόπιο διαπιστώθηκε ότι αυτή δεν είχε σχηματιστεί σε ενιαίο στρώμα, αλλά αποτελούνταν από σφαιροειδείς σχηματισμούς (0-20-50 μm) οι οποίοι σχηματίζουν μεγαλύτερα συσσωματώματα (ύψους 150-1000 μm) (εικ. 2-3). Κάτω από την κρούστα, δύο είναι τα στοιχεία εκείνα που συνιστούν την αυθεντική επιδερμίδα του αγάλματος: α. η αρχική κατεργασία, που άλλοτε είναι πολύ λεία (απόδοση με τριπτήρες) και άλλοτε παραμένει αδρή (με τα ίχνη από τα οδοντωτά εργαλεία να διακρίνονται σαφώς), β. οι μικροσωμαλίες που παρατηρούνται στην επιφάνεια και οφείλονται σε κάποια προσβολή πριν ή κατά το σχηματισμό της κρούστας.

Στην πόση όψη, που με τη διάβρωση του εδάφους ενδοχόμενως ερχόταν στην επιφάνεια κατά διαστήματα, παρατηρήθηκε ότι το στρώμα των επικαθίσεων είναι λεπτότερο και σε εκτεταμένες περιοχές η διάβρωση είναι ζαχαροειδής⁴. Η μικροσκοπική παρατήρηση κατέδειξε ότι η επιφανειακή στρώδα των κρυστάλλων έχει καταστραφεί, αποκαλύπτοντας μια εξαιρετικά διαβρωσιγενή επιφάνεια. Οι δεσμοί μεταξύ των κρυστάλλων είναι χαλαρωμένοι και περικρυσταλλικά είχαν παγιδευτεί συστατικά του εδάφους (κυρίως αργιλόδη), τα οποία ωστόσο συμβάλλουν στη διατήρηση της συνοχής μεταξύ των κρυστάλλων.

Οι επεμβάσεις αποκατάστασης του αγάλματος έγιναν λίγο καιρό μετά την αποκάλυψή του. Τα θραύσματα συγκολληθήκαν με λευκό τοιμάεντο, ενώ για την ενίσχυση των κολλήσεων χρησιμοποιήθηκαν ραβδοί τιτανίου. Οι αρμοί συγκόλλησης σφραγίστηκαν είτε με γύψο είτε με λευκή πολυεστερική ρητίνη. Επιφανειακά, οι σφραγιώσεις καλύφθηκαν με ακρυλική βαφή σε παρόμοια απόχρωση με αυτή του μαρμάρου.

Η επιλογή της μεθόδου καθαρισμού

Ο καθαρισμός ενός έργου τέχνης αποτελεί σύνθετη διαδικασία, καθώς πρέπει να ιεραρχηθούν οι αξίες που αντιπροσωπεύει το έργο, να αποσφηνιστούν οι στόχοι της επέμβασης και να διερευνηθούν οι δυνατότητες που παρέχονται. Ο ικανοποιητικός καθαρισμός στοχεύει στην απόδοση του έργου τέχνης στο κοινό, με κριτήρια την καλή του διατήρηση και την αναγνωσιμότητά του. Μια τέτοια δραστική και μη αντιστρεπτή επέμβαση πρέπει να επιχειρείται μόνο με βάση την κατανόηση των μορφών φθοράς και την αξιολόγηση της επίδρασης των μεθόδων καθαρισμού στα υλικά.

Καθοριστικό στάδιο των εργασιών αποτέλεσε η οργάνωση ενός προγράμματος συστηματικού ελέγχου, τόσο για την ταυτοποίηση της

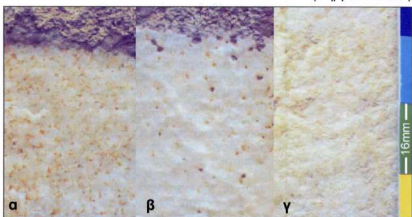
κρούστας και της σχέσης της με το υποκείμενο μάρμαρο όσο και για την αποτελεσματικότητα της κάθε μεθόδου. Για το σκοπό αυτόν επιλέχθηκε ένα μικρό μαρμαρινό θραύσμα από σαρκοκόφω (21,5 εκ. πλάτος, 8 εκ. μήκος, 0,3 εκ. πάχος) – με παρόμοια κρούστα με αυτήν του Ερμη-, στο οποίο έγινε σειρά δοκιμαστικών καθαρισμών με τις τρεις επικρατέστερες μεθόδους, προκειμένου να γίνει η σύγκριση των αποτελεσμάτων.

Το δείγμα αυτό καλυπτόταν επιφανειακά από σκληρή καστανή κρούστα, πάχους 150-1000 μm. Εργαστηριακά⁵ διαπιστώθηκε ότι η κρούστα του δείγματος περιείχε χαλαζία, ασβεστίτη, διάφορες αργίλους και αστρίους, όπως αυτή του αγάλματος. Κατά τη μελέτη της σχέσης της κρούστας με το μάρμαρο έγινε έλεγχος για τυχόν υπολείμματα επιφανειακής επεξεργασίας, ίχνη που θα μπορούσαν να αποτελέσουν ένα ασφαλές όριο για τον καθαρισμό, αλλά δεν εντοπίστηκαν τέτοια στοιχεία. Προκειμένου να εξασφαλιστεί ότι, κατά τον καθαρισμό, δεν θα υποστούν βλάβη οι επιφανειακοί κρυσταλλοί του μαρμάρου, αποφασίστηκε να διατηρηθεί μια λεπτή, διαφανή σκεδόν, στρώση επικαθίσεων. Η στρώση αυτή, αν και δεν αποτελεί στοιχείο της αυθεντικής επιδερμίδας, ούτε και αποτελεί τη λεγόμενη ευγενή παatina⁶, προσφέρει στον παρατηρητή την αίσθηση ότι το έργο διαθέτει τη γοητεία των αποτυπωμάτων από το πέρασμα του χρόνου, δίχως να υποβαθμίζεται η αισθητική και καλλιτεχνική αξία του.

Στο θραύσμα δοκιμάστηκαν τα επιθέματα νερού, το υπερηχητικό (έκστ. 9), η Ξηρή μικροαμβολή και το Laser (έκστ. 4). Εκτός από την πρώτη μέθοδο, οι άλλες τρεις είναι αρκετά χρονοβόρες και δαπανηρές, ενώ διαφέρουν ως προς το βαθμό της αποτελεσματικότητάς τους, που σχετίζεται με: α. την κατάσταση της κρούστας, β. τη συνάφειά της με το μάρμαρο, γ. την κατάσταση του μαρμάρου.

Η μέθοδος με τα επιθέματα νερού σε αργίλους αποδείχθηκε εντελώς αναποτελεσματική. Το ίδιο αναποτελεσματική πρέπει να θεωρηθεί και η μέθοδος με ατμούς νερού, καθώς το νερό είναι δύσκολο να διαλύσει κρούστα τέτοιου πάχους χωρίς να προκληθεί βλάβη στις επιφάνειες που έχουν ζαχαροειδή διάβρωση.

5. Εικόνας μικροσκοπίου (μεγέθυνση x10) από το ίδιο δείγμα α. υπερηχητικό Ξέστρο, β. μικροαμβολή, γ. Laser. Διακρίνεται η κατάσταση της επιφάνειας μετά τους δοκιμαστικούς καθαρισμούς. Παρατηρείται ότι στη δοκιμή με τους υπέρηχους παραμένουν υπολείμματα κρούστας στις σοχές, στη δοκιμή με τη μικροαμβολή δημιουργήθηκε νέο ανάγλυφο, ενώ στη δοκιμή με το Laser αναδείχθηκαν οι λεπτομέρειες της επιφάνειας χωρίς να παρατηρήθούν αλλοιώσεις.

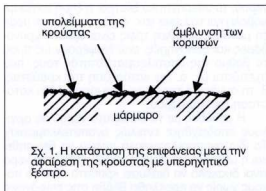


6. Κατά τη διάρκεια των εργασιών καθαρισμού.

Το υπερηχητικό ξέστρο

Με τη μέθοδο αυτή οι επικαθίσεις απομακρύνονται με τη μετάδοση υπερηχητικών δονήσεων (30.000 Hz/sec) μέσω του νερού, με αποτέλεσμα να σχηματίζονται μικροφυσαλίδες. Το νερό εκτοξεύεται με χαμηλή πίεση από το ακροφύσιο (ξέστρο) χωρίς αυτό να ακουμπά στην επιφάνεια. Στο πρόγραμμα αυτό χρησιμοποιήθηκε συσκευή ξέστρου «Cavitron 3000».

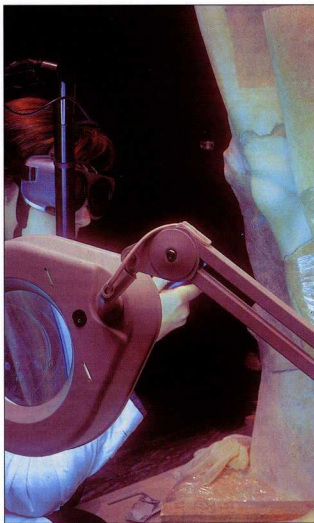
Κατά τον καθαρισμό διαπιστώθηκε ότι η πρόσφυση της κρούστας στην επιφάνεια ήταν αρκετά ισχυρή. Η απόδοση της μεθόδου υπολογίστηκε ότι είναι περίπου 12 cm²/h και απαιτήθηκαν συνολικά 5 lt νερού. Μετά τον καθαρισμό φαίνεται μακροσκοπικά ότι είναι δυνατόν να απομακρυνθεί η κρούστα και να διατηρηθεί μια λεπτή διαφανή στρώση επικαθίσεων στην επιφάνεια. Ωστόσο, παραμένουν μικρά σκούρα καφέ στίγματα και η επιφάνεια αποκτά σπλιγνότητα. Παρατηρώντας την καθαρισμένη επιφάνεια στο μικροσκόπιο, διαπιστώθηκε ότι το στρώμα της κρούστας που απέμεινε δεν ήταν ισοπαχές. Στις κοιλότητες του μαρμάρου η κρούστα ήταν αδιαφανής και διατηρούσε σημαντικό πάχος. Σε ορισμένες περιπτώσεις φαίνεται ότι το πάχος της κρούστας μηδενίζεται, χωρίς να αποκλείεται το γεγονός να αμβλύνονται τα άκρα ορισμένων κρυστάλλων. Με τη μέθοδο αυτή θα ήταν αδύνατο να απομακρυνθούν επικαθίσεις από επιφάνειες με ζαχαροειδή διάβρωση, καθώς το νερό είναι δυνατόν να διαταράξει τη συνάφεια των κρυστάλλων (σχ. 1).



Η Ξηρή μικροαμβολή

Με τη μέθοδο αυτή οι επικαθίσεις απομακρύνονται με λεπτή αποξεστική σκόνη που εκτοξεύεται από λεπτότατο επίσης ακροφύσιο (Ø 0,5 mm) με τη βοήθεια πεπιεσμένου αέρα. Τόσο η πίεση του αέρα όσο και η σχέση αέρα-σκόνης ρυθμίζονται. Η αποξεστική σκόνη επιλέγεται από ένα μεγάλο σύνολο υλικών με διαφορετική σκληρότητα και διαφορετικό μέγεθος κόκκων. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται στις περιπτώσεις όπου δεν ενδείκνυται η χρήση του νερού. Αν και σε έμπειρα χέρια μπορεί να αποδειχθεί αποτελεσματική για ορισμένου τύπου κρούστες, η ξηρή αμβολή αναμφισβήτητα προκαλεί την απόξεση της επιφάνειας του μαρμάρου⁷.

Στο δείγμα δοκιμάστηκαν δύο από τα πιο κοινά αποξεστικά υλικά που χρησιμοποιούνται



για καθαρισμούς παρόμοιων έργων τέχνης, τα υαλοσφαιρίδια 150 mesh και το οξείδιο αλουμινίου 180 mesh με πίεση του αέρα 1,4 bar και σχέση αέρα-σκόνης 30%. Από τις δύο σκόνες τελικά επιλέχθηκε η πιο αποδοτική, το οξείδιο του αλουμινίου. Η δοκιμή έγινε σε αμβολή κλειστού τύπου με ακροφύσιο καρβίδιου Ø 0,5 mm. Η απόδοση της μεθόδου για την απομάκρυνση της κρούστας υπολογίστηκε ότι είναι περίπου 32 cm²/h και απαιτήθηκε 1 Kg αποξεστικής σκόνης.

Από την αρχή της εφαρμογής, φάνηκαν τα μειονεκτήματά της μεθόδου: η ανομοιογένεια και η σκληρότητα που χαρακτηρίζουν την κρούστα αποδείχθηκαν μοιραίες, τόσο για τη διατήρηση μιας «πατίνας» στην επιφάνεια όσο και για τη διατήρηση της επιδερμίδας του μαρμάρου. Η αποξεστική σκόνη είναι δυνατόν να απομακρύνει με ευκολία τα λεπτά και μαλακά μέρη της κρούστας εξαιρώντας τα σκληρά. Προκειμένου αυτά να απομακρυνθούν απαιτείται η δέση της σκόνης να κατευθυνθεί για περισσότερο χρόνο στα σημεία αυτά, με συνέπεια να τεινώνεται το μάρμαρο γύρω από αυτά. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αποκαλυφθεί μία εντελώς νέα επιφάνεια, που αποκτά αδρή μορφή με κοιλότητες και οξείες κορυφές, στις οποίες μπορεί να παραμείνουν ίχνη κρούστας (σχ. 2).



To Laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)

Η ακτινοβολία Laser είναι μία εξαιρετικά έντονη μορφή μονοχρωματικού φωτός η οποία εκπέμπεται σε μία ευθυγραμμισμένη ακτίνα και μπορεί να αλληλεπιδράσει πολύ έντονα με ορισμένα υλικά και καθόλου με άλλα. Το φως αυτό μπορεί να ανήκει στο υπεριώδες, στο ορατό ή στο υπέρυθρο μέρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, και παράγεται είτε ως συνεχής ακτίνα είτε ως παλμός. Από την προσεκτική επιλογή του τύπου του φωτός, της πυκνότητας της ενέργειας και του τρόπου με τον οποίο αυτό εκπέμπεται, η επίδραση της ακτίνας Laser σε ένα υλικό είναι πλήρως ελεγχόμενη.

Ο καθαρισμός της κρούστας από μια επιφάνεια μαρμάρου βασίζεται στη μετατροπή της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας (ακτίνα Laser) σε θερμική, χημική και μηχανική ενέργεια, και τη συνεπαγόμενη απομάκρυνση υλικού με τη μορφή ατόμων, μορίων, στοιχείων, ιόντων, ηλεκτρονίων και φωτονίων. Η απομάκρυνση επιτυγχάνεται διότι η σκουρόχρωμη κρούστα απορροφά υψηλά ποσοστά ενέργειας, ενώ αντίθετα η υποκείμενη επιφάνεια απορροφά μικρή ποσότητα ακτινοβολίας. Με την επίδραση της ακτινοβολίας αποδιοργανώνεται τόσο η συνοχή των στοιχείων της κρούστας όσο και η πρόσφυση της στο μάρμαρο, με αποτέλεσμα την εξάχνωση της.

Η δοκιμαστική εφαρμογή έγινε στο Ινστιτούτο Ηλεκτρονικής Δομής και Λείζερ του Ιδρύματος Τεχνολογίας και Έρευνας στην Κρήτη⁸. Χρησιμοποιήθηκε συσκευή Nd: YAG, η οποία έχει τη δυνατότητα να εκπέμπει την ακτίνα, εκτός από τη βασική συχνότητα στο υπέρυθρο (1064 nm), σε δύο ακόμα συχνότητες στο ορατό (532 nm) και στο υπεριώδες (355 nm). Δοκιμές για την απομάκρυνση της κρούστας έγιναν σε δύο συχνότητες (355 nm και 1064 nm).

Από τις δοκιμαστικές εφαρμογές παρατηρήθηκε ότι με την υπέρυθρη ακτινοβολία η κρούστα απομακρύνεται ικανοποιητικά, αφήνοντας ένα επιθυμητό λεπτό και διαφανές στρώμα επικαθίσεων, το οποίο αποκαλύπτει και διατηρεί τα ίχνη των λιθοεξοικών εργαλείων που χρησιμοποιήθηκαν στην αρχική κατεργασία. Κατά τη διάρκεια του καθαρισμού, διαπιστώθηκε ότι η κρούστα μπορούσε να αποχρωματίζεται πριν την ολοσχερή της απομάκρυνση. Το χαρακτηρι-



στικό αυτό θεωρήθηκε πλεονέκτημα, καθώς στην περίπτωση της ζαχαροειδούς φθοράς το χρώμα που βρισκόταν περικρυσταλλικά, αλλά θα αποχρωματιζόταν, χωρίς να απομακρυνθεί ολοσχερώς, πράγμα που, αν συνέβαινε, θα μπορούσε να προκαλέσει αποσταθεροποίηση της επιφάνειας.

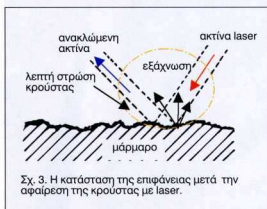
Η γενική παρατήρηση ορισμένων ερευνητών ότι η επιφάνεια του μαρμάρου μπορεί να κτρινίσει ελαφρά μετά τον καθαρισμό, αφορά στις περιπτώσεις απομάκρυνσης μαύρης κρούστας (κρούστα που προέρχεται από την επίδραση περιβάλλοντος με έντονη ρύπανση) από γυ-

7. Λεπτομέρεια από τη γλαύδα. Μετά τον καθαρισμό αναδείχθηκαν τα ίχνη του οδοντωτού εργαλείου. Με τη μέθοδο του Laser ήταν δυνατόν να προσεγγιστούν εξαιρετικά βαθιές εσοχές στις πτυχώσεις του υφάσματος (φωτ. Σ. Μαυροματτίς).

8. Κατά τη διάρκεια της επέμβασης, λεπτομέρεια από τον αριστερό μπόρο του σφάλματος. Η ακτινοβολία Laser έχει τη δυνατότητα να αεβείτα όλα εκείνα τα στοιχεία τα οποία συνιστούν την αυθεντική επιδερμίδα του σφάλματος.



ψοποιημένο μάρμαρο, όπου μπορεί να παραμείνουν κατάλοιπα από τα συστατικά της. Προκειμένου ωστόσο να τεκμηριωθεί αν και κατά πόσον το Laser αλλοιώνει χρωματικά την επιφάνεια του μαρμάρου, δοκιμάστηκε η εφαρμογή του στην πίσω επιφάνεια θράυσης του δείγματος και δεν παρατηρήθηκε κανενός είδους χρωματική αλλοίωση (σχ. 3).



Σχ. 3. Η κατάσταση της επιφάνειας μετά την αφαίρεση της κρούστας με laser.

Η αξιολόγηση των μεθόδων

Τα τελευταία χρόνια ο τομέας της συντήρησης έχει λάβει επιστημονικό χαρακτήρα με την ίδρυση διεθνών οργανισμών, όπως το IIC, το ICOMOS, το ICCROM και άλλων, οι οποίοι θεμοδοτούν τα πλαίσια της μεθοδολογίας και της επέμβασης διατυπώνοντας αρχές. Με βάση τις αρχές αυτές και τη διεθνή εμπειρία διαμορφώθηκαν κριτήρια για τη συγκριτική αξιολόγηση των μεθόδων: π.χ. η αποδοτικότητα τους, η επίδρασή τους σε υγιές ή διαβρωμένο μάρμαρο (άμεσα και μακροχρόνια αποτελέσματα), η δυνατότητα ελέγχου, η πολυπλοκότητα κατά την εφαρμογή και, τέλος, η επίδρασή τους στο περιβάλλον και στο χειριστή (πίν. 1).

Συμπεράσματα

Ανάμεσα στα κριτήρια για την επιλογή της μεθόδου καθαρισμού, καθοριστικής σημασίας υπήρξε αυτό που αφορούσε στην εικόνα που θα αποκοτούσε η επιφάνεια του αγάλματος μετά τον καθαρισμό. Η επιλεγμένη μέθοδος δεν θα έπρεπε να αλλοιώνει το μικροανάγλυφο της επιφάνειας, ούτε να προσβάλλει την αισθητική απόδοση του υλικού και να αφήνει βλαβερά κατάλοιπα στην επιφάνεια.

Στο πλαίσιο της διερεύνησης, προσδιορίστηκε το όριο του καθαρισμού, σύμφωνα με το οποίο εξασφαλίστηκε τόσο η αβλαβής επίδραση της μεθόδου στο μάρμαρο όσο και η αποδεκτή αισθητική απόδοση. Το όριο αυτό δεν υποδείχθηκε από κάποιο συγκεκριμένο στοιχείο, αλλά καθορίστηκε αυθαίρετα, καθώς δεν βρέθηκε μια διακριτή επιφανειακή επεξεργασία ή αλλοίωση –πατίνα– με την έννοια ενός διακριτού στρώματος μεταξύ του μαρμάρου και της κρούστας. Αποφασίστηκε να παραμείνει στην επιφάνεια ένα λεπτότατο στρώμα κρούστας, μία δηλαδή ηθελμένη διατήρηση πατίνας.

Από τις μεθόδους που εξετάστηκαν για την

απομάκρυνση της ιζηματογενούς κρούστας από την επιφάνεια του μαρμάρου, η μέθοδος της μικροαποβολής αποδείχθηκε καθώς δεν ικανοποίησε τις βασικές απαιτήσεις για τη διατήρηση της αυθεντικής επιδερμίδας και της πατίνας. Η μέθοδος των υπερήχων ικανοποίησε αρκετές από τις απαιτήσεις, χωρίς ωστόσο να ενδεικνυόταν για την πίσω πλευρά του αγάλματος. Η εφαρμογή της υπέρυθρης ακτινοβολίας Laser στο δοκίμιο αποδείχθηκε η βέλτιστη. Μόνο με αυτή τη μέθοδο αφαιρείται με ασφάλεια η κρούστα και διατηρούνται τόσο τα στοιχεία της επιδερμίδας όσο και μία λεπτή στρώση από επικαθίσεις ως πατίνα (εικ. 5).

Η εφαρμογή

Η επέμβαση στο άγαλμα διήρκεσε από τα μέσα Φεβρουαρίου έως τον Μάρτιο του 2001. Στην ομάδα εργασίας συμμετείχαν οι συντηρητές Α. Γαλανού, Ι. Δογάνη, Α. Λεγάκης και Σ. Πολυμενά. Κατά τη διάρκεια των εργασιών λήφθηκαν όλα τα αναγκαία μέτρα προστασίας, ώστε να εκτελούνται οι εργασίες με απόλυτη ασφάλεια τόσο για τους εργαζόμενους όσο και για το κοινό (εικ. 6).

Η απομάκρυνση των επικαθίσεων από το άγαλμα έγινε σε δύο φάσεις. Στην πρώτη φάση θεωρήθηκε αναγκαίο να ελεγχθεί η επιλεγμένη μέθοδος επί του αγάλματος, και μόνο εφόσον τα αποτελέσματα ήταν ικανοποιητικά να εφαρμοστεί η μέθοδος σε ολόκληρο το άγαλμα. Στο πλαίσιο των δοκιμών αυτών διαπιστώθηκε ότι τόσο η λεπτότητα της κρούστας με υστερεί όσο και η ελαφρά υγρασία της συμπαγούς κρούστας με νερό διευκόλυνε και επιτάχυνε τη διαδικασία. Η πυκνότητα της ενέργειας κυμαινόταν από 0,8-1,6 J/cm²:

Η πυκνότητα της ενέργειας

Πάχος κρούστας	Κατάσταση επιφάνειας	Πυκνότητα ενέργειας J/cm ²
> 1mm	υγιής και λεία	0,94-1,5
< 1mm	υγιής και λεία	0,58-0,68
> 1mm	υγιής και αδρή	1,2-2
< 1mm	υγιής και αδρή	0,96-1,6
Ζαχαροειδής διάβρωση		0,8-0,95

Πλεονέκτημα της μεθόδου ήταν η δυνατότητα προσέγγισης με τη δέσμη όλων των περιοχών, ακόμα και στο εσωτερικό των πτυχών της χλαμύδας, περιοχές που με άλλες μεθόδους θα ήταν αδύνατο να καθαριστούν με ασφάλεια και ελεγχόμενα αποτελέσματα.

Όπως επιβλήεται από τους κανόνες δεοντολογίας, διατηρήθηκαν μάρτυρες της αρχικής κατάστασης του αγάλματος σε δύο περιοχές, ενώ η φωτογραφική τεκμηρίωση υπήρξε λεπτομερής και συστηματική.

Μετά την αποκατάσταση του αγάλματος, αποκαλύφθηκαν σημαντικές λεπτομέρειες, εμφανίστηκαν οι διάφορες ποιότητες της επιφάνειας, αναδείχθηκαν οι αρετές του υλικού, και αμβλύθηκαν οι μεγάλες χρωματικές αντιθέσεις. Η εφαρμογή του Laser αποδείχθηκε ότι ήταν η μόνη που παρείχε τόσο τη δυνατότητα

Πίνακας 1. Συγκριτική αξιολόγηση των μεθόδων καθαρισμού

Κριτήρια	Μέθοδοι	Υπερήχοι	Μικροσφραβίδα	Laser	Παρατηρήσεις
Επίδραση στην κρούστα		Απομακρύνεται, παραμένουν υπολείμματα στις κοιλότητες	Απομακρύνεται ολοσχερώς	Απομακρύνεται περαιτέρω από τη φάση του αποχρωματισμού	
Διατήρηση «πατίνας»		Διατηρείται	Δεν διατηρείται	Διατηρείται	
Επίδραση στο μάρμαρο	Άμεση	Σε μακροκλίμακα αφαιρούνται ορατές προεξοχές, στοχαιία της αυθεντικής επιδερμίδας	Δεν διατηρούνται στοιχεία της αυθεντικής επιδερμίδας, σχηματίζεται ένα νέο ανάγλυφο	Αποκαλύπτονται τα ίχνη από την αρχική καταργασία	
	Μακροχρόνια	Καμία	Αυξάνεται η ελκική επιφάνεια, με αποτέλεσμα την ταχύτερη προώθηση του αντικαμένου από περιβαλλοντικούς παράγοντες	Καμία	
Επίδραση σε επιφάνεια μάρμαρου με (αχαρωσθή) διάβρωση		Απομάκρυνση των χαλαρωμένων κρυστάλλων	Δεν ενδείκνυται	Καμία επίδραση	
Δυνατότητα ελέγχου		Ικανοποιητική: στην άκρη του ζεστου σχηματίζεται μία δέσμη νερού που δεν επηρεάζει τη θέση της επιφάνειας στο σημείο που καθαρίζεται	Σχετικά ικανοποιητική, σε μακροκλίμακα δεν υπάρχει δυνατότητα διαχωρισμού των σκληρών εξαρτημάτων από μαλακότερο υλικό, ακόμα και εάν ο καθαρισμός γίνει με χρήση μακροσκοπία	Άμεση: η επέμβαση σταματά όταν η ακτίνα ανακλάται στα προκαθορισμένα επίπεδα	Ο έλεγχος όλων των μεθόδων υποκειται στην κρίση του χειριστή. Η δράση του Laser σταματά αυτόματα όταν οι σκωρίες επαρκώς απομακρυνθούν (self limited)
Πολυπλοκότητα		Απαιτείται σκευή υπερήχων με αντίδια νερού, μεγεθυντικός φακός και κατασκευή συστήματος για τη συγκέντρωση του νερού	Απαιτείται σκευή μακροσφραβίδας, συμπιεστής αέρα 50 lt, απορροφητική αντλία για την απομάκρυνση της σκόνης, μεγεθυντικός φακός, μάσκα, γυαλιά και γάντια για το χειριστή	Απαιτείται σκευή Laser διαστάσεων (80x90x80 εκ.), μάσκα και ειδικά γυαλιά για το χειριστή	Για την εφαρμογή των υπερήχων σε σχέση με τις άλλες μεθόδους απαιτείται πολύ μικρότερος και σχετικά εύχρηστος εξοπλισμός
Απόδοση		12 cm ² /h	35 cm ² /h	12 cm ² /h	
Ειδικά προβλήματα		Δυσχερεια προσέγγισης στο εσωτερικό των ανάγλυφων λεπτομερειών	Δυσχερεια προσέγγισης στο εσωτερικό των ανάγλυφων λεπτομερειών	Δυσχερεια προσέγγισης στο εσωτερικό των ανάγλυφων λεπτομερειών, η οποία μπορεί να ξεπεραστεί με τη χρήση κατόπτρων	
Δάρεια (η επιφάνεια του αγάλματος είναι ~3.000 cm ²)		~250 ώρες	~105 ώρες	~250 ώρες	Εξαρτάται από το είδος της κρούστας
Επίδραση στο χειριστή		Καμία	Υπάρχει κίνδυνος από την εισπνοή της σκόνης, ακόμα και αν ληφθούν όλα τα μέτρα προστασίας	Καμία ερώσην χρησιμοποιούνται προστατευτικά γυαλιά και μάσκα	Απαιτείται εξειδικευμένος χειριστής για την εφαρμογή όλων μεθόδων

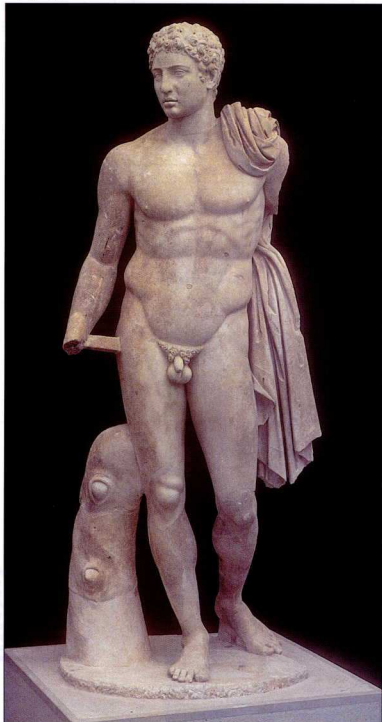


9. Λεπτομέρειες από το κεφάλι, πριν και μετά τον καθαρισμό. Μετά τον καθαρισμό αποκαλύφθηκαν οι λεπτομέρειες της καταργασίας και οι διάφορες ποιότητες της επιφάνειας (φωτ. Σ. Μαυρομμάτης).

Βιβλιογραφία

- AMOROSO G., FASSINA V., *Stone Decay and Conservation*, Elsevier, Amsterdam 1989.
COOPER M., *Laser Cleaning*, Butterworth-Heinemann, London 1998.
POULI P., «Laser Cleaning: Studies on Stone» and *Polychromatic Stone*, Ph.D. Thesis, Loughborough University, December 1999.

10. Το άγαλμα μετά τον καθαρισμό (φωτ. Σ. Μαυρομμάτης).



του πλήρους ελέγχου κατά την εφαρμογή όσο και του σεβασμού όλων εκείνων των στοιχείων που συνιστούσαν την αυθεντική μορφή-επιδερίδα του αγάλματος (εικ. 7-10).

Σημειώσεις

* Από τη θέση αυτή, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον καθηγητή Πέτρο Θέμελι και την έφορο της Ζ' ΕΠΚΑ Ξένα Αρσολιγάνη, που μας εμπιστεύθηκαν το έργο αυτό και μας παρέχον όλες τις διευκολύνσεις, ώστε να γίνουν οι εργασίες κάτω από τις ιδανικότερες συνθήκες. Επίσης ευχαριστούμε τον καθηγητή Κώστα Φιτάκη για την υποστήριξη και την εκπόνηση του ερευνητικού προγράμματος στο Ινστι-

τούτο Ηλεκτρονικής Δομής και Laser του Ιδρύματος Τεχνολογίας και Έρευνας στην Κρήτη, καθώς και τον δρ Βασιλί Ζαφειρόπουλο υπεύθυνο του τομέα, τον δρ Βασιλί Πεδικατή και τον δρ Γιώργο Οικονόμου για την ορυκτολογική γνωμάτευση τους στο ΙΓΜΕ, την ερευνητική ομάδα του εργαστηρίου της εταιρείας Τίταν και ιδιαίτερα τον δρ Άρη Παπαγεωργίου για τις αναλύσεις στο ΧΡΔ. Τέλος, ευχαριστούμε θερμά τους συνεργάτες μας, χάρη στους οποίους ολοκληρώθηκε το πρόγραμμα στο προκαθορισμένο χρονικό διάστημα, αποδίδοντας ένα αποτέλεσμα που χαρακτηρίζεται από την ποιότητα που μόνο επαγγελματίες με μερική και γνώση μπορούν να προσφέρουν.

1. Π. Θέμελις, *Η Αρχαία Μεσσήνη*, ΥΠΠΟ-ΤΑΠ, Αθήνα 1999, ο ίδιος, *Ηρώες και Ηρώα στη Μεσσήνη*, Η εν Αθήναις Αρχαιολογική Εταιρεία, Αθήνα 2000, σ. 147-156.
2. Από το άγαλμα δεν βρέθηκαν ορισμένα θραύσματα, όπως η παλάμη του δεξιού χεριού, που ήταν ενάπει, ο αριστερός βραχίονας, τρία από τα ακροδάκτυλα του αριστερού χεριού, το καλύτερο τμήμα στην απόληξη της χλαμύδας, μικρά θραύσματα από τα πτερόνια των δύο αυτιών, θραύσματα από τις κνήμες, αλλά και από την πλινόση στη βάση.
3. Μ. Γιαννουλάκη, Σ. Πολυμενάκη, «Μαχάριον Ερμιής-Παρουσίαση έρευνας και προτάσεις για τη συντήρηση δύο αγαλμάτων από την αρχαία Μεσσήνη», Πτυχιακή εργασία, υπεύθυνος καθηγητής: Π. Θεουλιάκης, ΤΕΙ, Αθήνα 2000, σ. 151-157.
4. Με τον όρο αυτό εννοείται η μορφή εκείνη εφόσον στην οποία η εξωτερική στρώση κρυστάλλων με την αρχική κρυσταλλογραφία απομακρύνεται, αποκαλύπτοντας τα αδρά περριπτικά άκρα των κρυστάλλων (πρισματικές επιφάνειες).
5. Ηλεκτρονική μικροσκοπία, περιβλασμετρία ακτίνων Χ, ορυκτολογική και πετρογραφική ανάλυση.
6. Ο όρος «ευγενής πατίνα» αναφέρεται σε αλλοιώσεις της επιφάνειας του μαρμάρου που παρατηρούνται όταν ένα μαρμάρινο αντικείμενο είναι εκτεθειμένο στην ατμόσφαιρα.
7. J. Larson, «The Conservation of Stone Sculpture in Museums», στο Asthurst J., Dimes F., *Conservation of Building and Decorative Stone*, 2, Butterworth-Heinemann, London 1990, σ. 200.
8. Δημοσιεύσεις που αφορούν στον καθαρισμό με Laser λιθίων αντικειμένων και οι οποίες έγιναν από το ΙΗΔΔ είναι οι εξής: Maravelaki-Kalaitzaki, P., Zafiroopoulos, V., Fotakis, C., «Excimer Laser Cleaning of Encrustation on Pentelic Marble: Procedure and Evaluation of the Effects», *Applied Surface Science Journal*, 148 (1999), σ. 92-104. Maravelaki P., Zafiroopoulos V., Kalaitzaki M., Kilkoglou V., Fotakis C., «Laser - Induced UV-Raman Backscattered Spectroscopy as a Diagnostic Technique for the Laser Cleaning of Marble», *Spectrochimica Acta*, Part B, 52 (1997), σ. 41-53. Klein S., Stratoudaki T., Marakis Y., Zafiroopoulos V., Dickmann K., «Comparative Study of Different Wavelengths from IR to UV Applied to Clean Sandstone», *Applied Surface Science Journal* 117 (2000), σ. 1-6.

Hermes of Ancient Messene: Application of Laser Technology for the Removal of Sediments from White Marble

Amerimni Galanou - Ioanna Dogani - Paraskevi Pouli

A rare marble statue of Hermes was revealed in ancient Messene in 1996, which, although it was found in fragmentary condition, is almost fully preserved. The statue is made of white dolomitic marble, however, when it was found, its surface was almost completely covered by dark-colored sediments. The cleaning of the work was necessary for its aesthetic elevation, so that it could be presented to the public fully restored and recognizable. All the satisfactory methods for handling similar problems were examined before the cleaning of the statue, and the laser method was selected on the basis of its positive properties: although it fully removes the sediments, it leaves intact a thin layer of patina on the thus perfectly restored marble surface. The application of the laser method also revealed important details of the work and the various qualities of its surface, elevated the virtues of the material and soothed the strong color contrast. The application of laser technology proved to be the only one that combined the capability of the complete control of the device during the cleaning procedure with the respect to all those elements, which compose the authentic "skin" of the statue.