

# Ο ΕΡΜΗΣ ΤΗΣ ΑΡΧΑΙΑΣ ΜΕΣΣΗΝΗΣ

## Εφαρμογή τεχνολογίας Laser για απομάκρυνση ζημιατογενών αποθέσεων

Αμερίμνη Γαλανού

Συντηρήτρια Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης

Ιωάννα Δογάνη

Συντηρήτρια Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης

Παρασκευή Πουλή

Δρ Φυσικός ΙΤΕ-ΙΗΔΛ

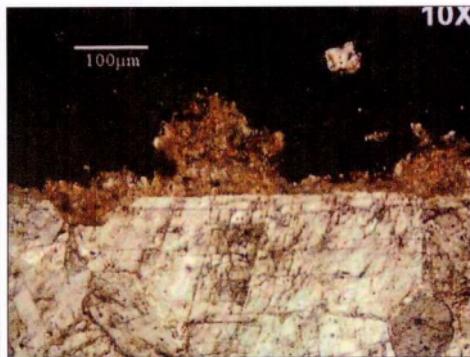
Κατά τη διάρκεια του εκτεταμένου ανασκαφικού προγράμματος που διενεργείται τα τελευταία χρόνια, υπό την εποπτεία του καθηγητή Πέτρου Θέμελη, στην αρχαία Μεσσήνη, αποκαλύφθηκε μαρμάρινο άγαλμα του Ερμή. Από το άγαλμα αυτό, που βρέθηκε κατακρηματισμένο, σώζεται το σύνολο σχεδόν των επιμέρους τμημάτων του, ενώ η επιφάνεια του καλυπτόταν ολόκληρη από ζημιατογενείς 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 πραγματοποήθηκε σε συνεργασία με το Ινστιτούτο Ηλεκτρονικής Δομής και Λέιζερ του Ιδρύματος Τεχνολογίας και Έρευνας στο Ηράκλειο Κρήτης.

Ζημιατογενείς αποθέσεις σχηματίζονται στην επιφάνεια των αρχαίων αντικεμένων κατά τη μακροχρόνια παραμονή τους εντός του εδάφους. Το νέρο, που μεταφέρει προϊόντα εξαλλοίωσής του εδάφους, αλληλεπιδρά με τη βασική δομή των περισσότερων υλικών, είτε διαβρώνοντάς τα είτε σχηματίζοντας αποθέσεις. Άλλοτε συμπαγείς 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 υποβάθμιζουν τις αξέις που αυτά αντιπροσωπεύουν.

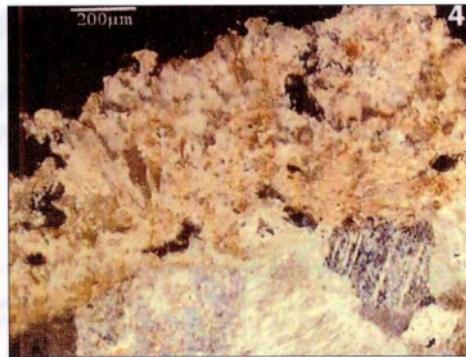
Οι λόγοι που συχνά ωθούν τους ειδικούς στην απόφαση για τον καθαρισμό σημαντικών έργων τέχνης είναι κυρίως αισθητικοί και καλλιτεχνικοί. Για πολλές δεκαετίες, η σάστη των πυευθύνων στο θέμα αυτό οδήγησε όλοτε σε άκμεση και δραστική επέμβαση και όλοτε στην πλήρη άρνηση όποιασδήποτε επέμβασης. Και στις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

1. Το άγαλμα πριν από την καθαρισμό  
(φωτ. Σ. Μαυρομάτης).





3. Εικόνες μικροσκοπίου, λεπτή τομή. Διακρίνεται η πορώδης ίζηματογενής κρούστα στην επιφάνεια των κρυστάλλων του μαρμάρου (διασταύρουμενά πριόματα Nicols).



τές στην επιφάνεια των έργων τέχνης αλλά και η ίδια η φύση των αποθέσεων οδήγησαν στην υιοθέτηση της μιας ή της άλλης απόψης. Στις μέρες μας, ωστόσο, οι βετερές επιπτήσεις 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 Μεσσηνής.

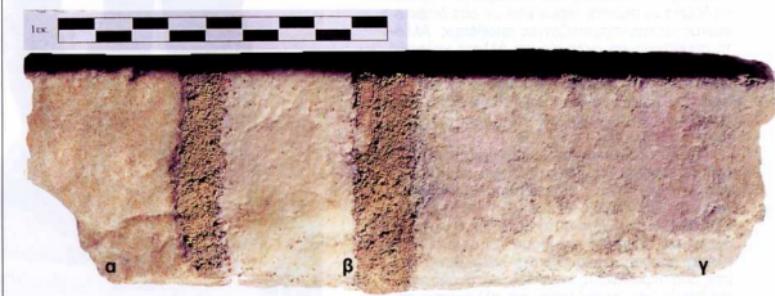
### Η αξία του αγάλματος

Το άγαλμα του Ερμή, με τις ισορροπημένες αναλογίες και τα ωραία χαρακτηριστικά, είναι αναντίρρητη έργο μεγάλης καλλιτεχνικής αξίας. Βρέθηκε το 1996, πεσμένο με το πρόσωπο προς τα κάτω, στο δωμάτιο IX της δυτικής στοάς του Γυμνασίου<sup>1</sup>. Σήμερα, εκτίθεται σε δεσπόζουσα θέση στο Αρχαιολογικό Μουσείο

το Μαυρομάτι της Μεσσηνίας (αίθουσα Α). Όπως υποστηρίζει ο ανασκαφέας Π. Θέμελης, αποτελεί αξέλογο αντίγραφο του 1ου αιώνα μ.Χ. ενός πρωτότυπου ορειχάλκινου αγάλματος της σχολής του Πολυκλείτου (4ος π.Χ.). Το γλυπτό, ύψους 2,07 μ., είναι κατασκευασμένο, οπως εδειχέαν οι αναλύσεις, από λευκό μεσόκοκκο δολομητικό 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 θραύσματα<sup>2</sup>. Η κατάσταση διατήρησης της επιφάνειας στην εμπρόσθια όψη του αγάλματος είναι διαφορετική από εκείνη της οπίσθιας όψης, φαινόμενο που μπορεί να αποδθεί 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 ίζηματογενής 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 ξέστρο,  
β. μικρομάρμαρο, γ. Laser.

άμορφες αργιλοπυριτικές ενώσεις, που αποτελούν συστατικά του εδάφους<sup>5</sup>. Ο έντονος ερυθροκάστανος χρωματισμός της κρούστας αποδίδεται στη σημαντική παρουσία οξειδίων και υπερεδιδών του στόρου. 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 παρατηρήση της κρούστας στο οπικό και πλεκτρονικό μικροσκόπιο διαπιστώθηκε ότι αυτή δεν είχε σχηματιστεί σε εναίαι στρώμα, αλλά αποτελούνταν από σφαροειδείς σχηματισμούς (Ø 20-50 μμ) οι οποίοι σχημάτιζαν μεγαλύτερα συσσωμάτωμα (ύψους 150-1000 μμ) (εικ. 2-3). Κάτω από την κρούστα, δύο είναι τα στοιχεία εκείνα που συνιστούν την αυθεντική επιδερμίδα του γάλματος: η αρχική κατεργασία, που άλλοτε είναι πολύ λεία (απόδοτο με τριπτήρες) και άλλοτε παραμένει αδρή (με τα ίχνη από τα οδοντωτά εργαλεία να διακρίνονται σαρώς), β. οι μικροσωμαλίες που παρατρέουνται στην επιφάνεια και οφελούνται σε κάποια προσοβολή πριν ή κατά το σχηματισμό της κρούστας.

Σπήν πίσω ώψη, που με τη διάβρωση του εδάφους ενδεχομένως ερχόταν στην επιφάνεια κατά διαστήματα, παρατηρήθηκε ότι το στρώμα των περιθεσών είναι λεπτότερο και σε εκτεταμένες περιοχές η διάβρωση είναι ζαχαροειδής<sup>4</sup>. Η μικροσκοπική παρατηρήση κατέδειξε ότι η επιφανειακή στιβάδα των κρυστάλλων έχει καταστραφεί, αποκαλύπτοντας μια εδαφική διαβρωσινήν επιφάνεια. Οι δεσμοί μεταξύ των κρυστάλλων είναι χαλαρώμενοι και περικυρωτικά είχαν παγίδευτει συστατικά του εδάφους (κυρίως αργιλώδη), τα οποία ωστόσο μυστάλλουν στη διατηρήση της συνοχής μεταξύ των κρυστάλλων.

Οι επεμβάσεις αποκατάστασης του γάλματος έγιναν λίγο καιρό μετά την αποκάλυψη του. Τα θραύσματα συγκαλλιθήκαν με λευκό τοιμέντο, ενώ για την ενίσχυση των κολλήσεων χρησιμοποιήθηκαν ράβδοι πατίνι. Οι αρμός συγκρυπτήσεων σφραγίστηκαν είτε με γύψο είτε με λευκή πολυεστερική ρητίνη. Επιφανειακά, οι σφραγίσεις καλύφθηκαν με ακρυλική βαφή σε παρόμια απόχρωση με αυτή του μαρμάρου.

## Η επιλογή της μεθόδου καθαρισμού

Ο καθαρισμός ενός έργου τέχνης αποτελεί σύνθετη δεργασία, καθώς πρέπει να εργαρχθούν οι άξεις που αντιπροσωπεύει το έργο, να αποσαρπινίστονται 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 διατηρηση και την αναγνωριστήρια του. Μια τέτοια δραστική και μη αντιστρεπτή επέμβαση πρέπει να επιχειρείται μόνο με βάση την κατανόηση των μορφών φθόρων και την αξιολόγηση της επίδρασης των μεθόδων καθαρισμού στα ολικά.

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 αλλά και για την αποτελεσματικότητα της κάθε μεθόδου. Για το σκοπό αυτόν επιλέχθηκε ένα μικρό μαρμάρινο θραύσμα από σαρκοφάγο (21,5 εκ. πλάτος, 8 εκ. μήκος, 0,3 εκ. πάχος) –με παρόμια κρούστα με αυτήν του Ερμή–, στο οποίο έγινε σειρά δοκιμαστικών καθαρισμών με τις τρεις επικρατέστερες μεθόδους, προκειμένου να γίνει η σύγκριση των αποτελεσμάτων.

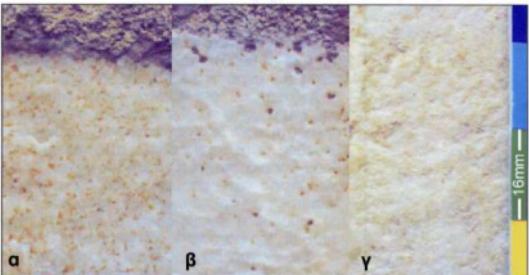
Το δείγμα αυτό καλυπτόταν επιφανειακά από σκληρή καστανή κρούστα, πάχους 150-1000 μμ. Εργαστηριακά<sup>5</sup> διαπιστώθηκε ότι η κρούστα του δείγματος περιείχε χαλαζία, ασβετίτη, διάφορες αργίλους και αστρίους, όπως αυτού του αγάλματος. Κατά τη μελέτη της σχέσης της κρούστας με το μάρμαρο έγινε έλεγχος 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 κρύσταλλοι του μαρμάρου, αποφασίστηκε να διατηρηθεί μια λεπτή, διαφανής σχεδόν, στρώση επικαθίσεων. Η στρώση αυτή, αν και δεν αποτελεί στοιχείο της αυθεντικής επιδερμίδας, ούτε και αποτελεί τη λεγόμενη ευγενή πατίνη<sup>6</sup>, προσφέρει στον παρατηρητή την αισθηση ότι το έργο διαθέτει τη γοητεία των αισθητικών από το πέρασμα του χρόνου, δίχως να υποβαθμίζεται η αισθητική και καλλιτεχνική αξία του.

Στο θραύσμα δοκιμάστηκαν τα επιθέματα νερού, το υπερηχτικό έστρο, η έρητη μικροσκοπική μεβολή και το Laser (εικ. 4). Εκτός από την πρώτη μεθόδο, οι άλλες τρεις είναι αρκετά χρονοβόρες και δαπανηρές, ενώ διαφέρουν ως προς το βαθμό της αποτελεσματικότήτάς τους, που σχετίζεται με: α. την κατάσταση της κρούστας, β. τη συνάφειά της με το μάρμαρο, γ. την κατάσταση του μαρμάρου.

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

Επιπλέον, η διαδικασία αποτελείται από την επιφανειακή διαπιστώση της κρούστας με την επικρατέστερη μεθόδου, προκειμένου να γίνει η σύγκριση των αποτελεσμάτων.

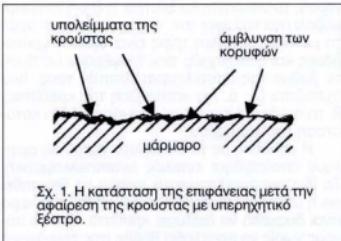
5. Εικόνες μικροσκοπίου (μεγεθύνση x10) από το ίδιο δοκίμιο.  
α. υπερηχτικό έστρο, β. μικροσκοπική μεβολή, γ. Laser. Διακρίνεται η κατάσταση της επιφάνειας μετά την αισθητική καθαρισμούς. Παρατέρεται ότι στη δοκιμή με τους υπερήχιους προμένουν υπολείμματα κρούστας στη σαρώση, στη δοκιμή με τη μικροσκοπική διαμορφωμένη νέο ανάγλυφο, ενώ στη δοκιμή με το Laser αισθητεύονται οι λεπτομέρειες της επιφάνειας χωρίς να παρατηρηθούν αλλοιώσεις.



## Το υπερχικτικό ξέστρο

Με τη μέθοδο αυτή οι επικαθίσεις απομακρύνονται με τη μετάδοση υπερχικτικών δύνησεων (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 ακουμτά 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  $12 \text{ cm}^2/\text{h}$  και απαιτήθηκαν συνολικά 5 l νερού. Μετά τον καθαρισμό φαίνεται μικροσκοπικά ότι είναι δυνατόν να απομακρυνθεί η κρούστα και να διατηρηθεί μια λεπτή διαφανή στρώση επικαθίσεων στην επιφάνεια. Ωστόσο, παραμένουν μικρά σκούπα καφέ στίγματα και η επιφάνεια αποκτά στιλνόπτητα. 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 φάνεται 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 διάρρωση, καθώς το νερό είναι δυνατόν να διαταράξει τη συνάρεια των κρυστάλλων (σχ. 1).



Σχ. 1. Η κατάσταση της επιφάνειας μετά την αφαίρεση της κρούστας με υπερχικτικό ξέστρο.

## Η ξηρή μικροαμμοβολή

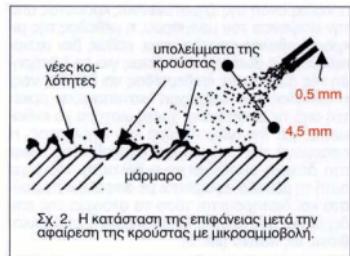
Με τη μέθοδο αυτή οι επικαθίσεις απομακρύνονται με λεπτή αποξεστική σκόνη που εκτοξεύεται από λεπτότατο επίστροφο ακροφύσιο ( $0.5 \text{ mm}$ ) με τη βοήθεια πειραμάτων αέρα. Τόσο η πίεση του αέρα όσο και η σχέση αέρα-σκόνης ρυθμίζονται. Η αποξεστική σκόνη επιλέγεται από ένα μεγάλο σύνολο υλικών με διαφορετική σκληρότητα και διαφορετικό μέγεθος κόκκων. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται στις περιπτώσεις όπου δεν ενδείκνυται η χρήση του νερού. Αν και σ' έπιπερα χέρια μπορεί να αποδειχθεί αποτελεσματική για ορισμένους τύπους κρούστες, η ξηρή αμμοβολή αναμφισβήτητα προκαλεί την απόξεση της επιφάνειας του μαρμάρου.

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



για καθαρισμούς παρόμιοιων 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 αμμοβολή κλειστού τύπου με ακροφύσιο καρβίδιου  $0.5 \text{ mm}$ . Η απόδοση της μεθόδου για την απομακρύνση της κρούστας υπολογίστηκε ότι είναι περίπου  $32 \text{ cm}^2/\text{h}$  και απαιτήθηκε 1 Kg αποξεστικής σκόνης.

Από την αρχή της εφαρμογής, φάνηκαν τα μειονεκτήματα της μεθόδου: η ανομοιογένεια και η σκληρότητα που χαρακτηρίζουν την κρούστα αποδείχθηκαν μοιραίες, τόσο για τη διαπίρηση μιας «πατίνας» στην επιφάνεια δύο 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. Προκεμένου ότι να απομακρύνθουν απαρτείται η δέσμη της σκόνης να κατευθυνθεί για περισσότερο χρόνο στα σημεία αυτά, με συνέπεια να ταπεινώνται το μαρμάρο γύρω από αυτά. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αποκαλυφθεί μία εντελώς νέα επιφάνεια, που αποκτά αδρή μορφή με κοιλότητες και ορείσεις κορυφών, στις οποίες μπορεί να παραμένουν ξήνη 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 αντίκει 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 πλήρης ελεγχόμενη.

Ο καθαρισμός της κρουύστας από μια επιφάνεια μαρμάρου βασίζεται στη μετατροπή της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας (ακτίνα Laser) σε θερμική, χημική και μηχανική ενέργεια, κα τη συνεπαγόμενη απομάκρυνση υλικού τη μορφή απόμνημα, μαρμάρινα στοιχείων, ιόντων, ηλεκτρονίων και φωτονίων. Η απομάκρυνση επιτυχανεται διότι η σκουρόδρωμη κρουύστα απορροφά υψηλά πιοστά ενέργειας, ενώ αντιθέτως η υποκειμενη επιφάνεια απορροφά μικρή ποσότητα ακτινοβολίας. Με την επίδραση της ακτινοβολίας αποδρογανωνεται τόσο η συνοχή των στοιχείων της κρουύστας όσο και η πρόσφυση της στο μαρμάρο, με αποτέλεσμα την εξάχνωση της.

Η δοκιμαστική εφαρμογή έγινε στην Ινστιτούτο Ηλεκτρονικής Δομής και Λέιζερ του Ιδρύματος Τεχνολογίας και Έρευνας στην Κρήτη<sup>8</sup>. 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 κρουύστας έγιναν σε δύο συχνότητες (355 nm και 1064 nm).

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



7. Λεπτομέρεια από τη χλαμόδια. Μετά την καθαρισμό αναδείχθηκαν τα ίχνη του οδοντωτού εργαλείου. Με τη μέθοδο του Laser ήταν δύνατον να προσεγγιστούν εξαιρετικά βαθιές εσοχές στις πτυχώσεις του υφασμάτου (φωτ. Σ. Μαυρομάτης).

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

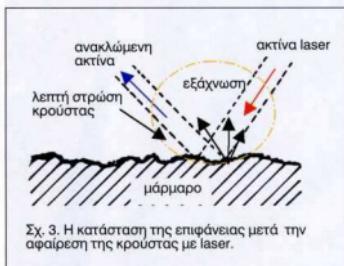
Η γενική παρατήρηση ορισμένων ερευνητών ότι η επιφάνεια του μαρμάρου μπορεί να κιτρίνισε ελαφρά μετά τον καθαρισμό, αφορά στις περιπτώσεις απομάκρυνσης μάρμης κρουύστας (κρουύστα που προέρχεται από την επίδραση περιβάλλοντος με έντονη ρύπανση) από γυ-

8. Κατά τη διάρκεια της επέμβασης. Λεπτομέρεια από τον οριστόρημα του σγάλιματος. Η ακτινοβολία Laser έχει τη δυνατότητα να σβέσει όλα εκείνα τα στοιχεία συνιστούν την αυθεντική επιδερμίδα του σγάλιματος.



πολιτισμού, παρατητικής και αρχαιολογικής σημασίας. Το μέλος της Διεθνούς Επιτροπής για την Αποτελεσματική Εφαρμογή της Λέιζερ στην Αρχαιολογία, ο Κώστας Σταύρου, επιβεβαίωσε ότι η εφαρμογή της λέιζερ στην αποκατάσταση της επιφάνειας των κρουόστας είναι αποτελεσματική.

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



### Η αξιολόγηση των μεθόδων

Τα τελευταία χρόνια ο τομέας της συντήρησης έχει λάβει επισπελικό χαρακτήρα με την ίρηση διεθνών οργανώσων, όπως το IIC, το ICOMOS, το ICCROM και άλλων, οι οποίοι θεωρούντουν τα πλαίσια της μεθόδους και της επέβασης διατυπώνοντας αρχές. Με βάση τις αρχές αυτές και τη διεθνή εμπειρία διαμορφωθήκαν κριτήρια για τη συγκριτική αξιολόγηση των μεθόδων: π.χ. η αποδοτικότητά τους, η επιδροσή τους σε υγεία ή διαβρωμένο μάρμαρο (άμεσα και μακροχρόνια) αποτελέσματα, η δυνατότητα ελέγχου, η πολυπλοκότητα κατά την εφαρμογή και, τέλος, η επιδροσή τους στο περιβάλλον και στο χειριστή (πιν. 1).

### Συμπεράσματα

Ανάμεσα στα κριτήρια για την επιλογή της μεθόδου καθαρισμού, καθοριστικής σημασίας υπήρξε αυτό που αφορούσε στην εικόνα που θα αποκτούσε 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 εξαφαλίστηκε τόσο η αβλαβής επιδρασης της μεθόδου στο μάρμαρο όσο και η απόδεκτη αισθητική απόδοση. Το όριο αυτό δεν υποδειχθήκε από κάποιο συγκεκριμένο στοιχείο, αλλά καθορίστηκε αυθαίρετα, καθώς δεν βρέθηκε μια διακριτή επιφανειακή επειρεγμασία ή αλλοίωση –πατίνα– με την οποία οι διακριτούς στρώματος μεταξύ του μαρμάρου και της κρουόστας. Αποφασίστηκε να παραμείνει στην επιφάνεια ένα λεπτότατο στρώμα κρουόστας, μία δηλαδή ηθελημένη διατήρηση πατίνας.

Από τις μεθόδους που εξετάστηκαν για την

απομάκρυνση της ιζηματογενούς κρουόστας από την επιφάνεια του μαρμάρου, η μεθόδος της μικροαυθισμού παπούλειστηκε καθώς έγινε ικανοποίησε τις βασικές απαιτήσεις για τη διατήρηση της αισθητικής επιδερμίδας και της πατίνας. Η μεθόδος των υπερήχων ικανοποίησε αρκετές από τις απαιτήσεις, χωρίς ωστόσο να ενδείκνυται για την πίσω πλευρά του αγάλματος. Η εφαρμογή της υπέρμηδρης ακτινοβολίας Laser στο δοκίμιο αποδείχθηκε η βέλτιστη. Μόνο με αυτή τη μεθόδο αφαιρείται με ασφάλεια η κρουόστα και διατηρούνται τόσο τα στοιχεία της επιδερμίδας όσο και μία λεπτή στρώση από επικαθίστας ως πατίνα (εικ. 5).

### Η εφαρμογή

Η επέβαση στο άγαλμα διήρκεσε από τα μέσα Φεβρουαρίου έως τον Μάρτιο του 2001. Στην ομάδα εργασίας συμμετείχαν οι συντρόπες Ά. Γαλανού, Ι. Δογάνη, Α. Λεγάκης και Σ. Πολυμενέα. 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 πατίνων 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 μεθόδος σε ολόκληρο το άγαλμα. Στο πλαίσιο των δοκιμών αυτών διαπιστώθηκε ότι τόση η λεπτίνηση της κρουόστας με νυστέρι όσο και η ελαφρή υγρασία της συμπαγών κρουόστας με νερό διευκόλυνε και επιτάχυνε τη διαδικασία. Η πυκνότητα της ενέργειας από 0,8-1,6 J/cm<sup>2</sup>:

Η πυκνότητα της ενέργειας

Πάχος κρουόστας	Κατάσταση επιφάνειας	Πυκνότητα ενέργειας J/cm <sup>2</sup>
>1mm	υγής και λεία	0,94-1,5
<1mm	υγής και λεία	0,58-0,68
>1mm	υγής και αδρή	1,2-2
<1mm	υγής 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 πιτσών της χλαμίδας, περιοχές που με άλλες μεθόδους θα ήταν αδύνατο να καθαριστούν με ασφάλεια και ελεγχμένα αποτελέσματα.

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

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

**Πίνακας 1. Συγκριτική αξιολόγηση των μεθόδων καθαρισμού**

Κριτήρια	Μέθοδοι	Υπέρχοι	Μικροφυσιοβόλη	Laser	Παραπηρήσεις
Επίδραση στην κρούστα		Απομακρύνεται, παρέμενον υπολείμματα στις κοιλότητες	Απομακρύνεται ολοσχερώς	Απομακρύνεται περνώντας από τη φάση του ποτογραμματισμού	
Διατηρηση «πατίνας»	Διατηρείται	Δεν διατηρείται		Διατηρείται	
Επίδραση στο μάρμαρο	Άμεση	Στα λεπτά λειαντικά αδιάλυντα ορισμένες προξεχές, εποχεία της αυθεντικής επιδερμίδας	Δεν διατηρούνται στοιχεία της επιδερμίδας, σηματίζεται ένα νέο αντίτυπο	Αποκαλυπτούνται τα (ήν) από την αρχική κατεργασία	
	Μακροχρόνια	Καμία	Αυξάνεται η ειδική επιφύσιος, με αποτέλεσμα την ταχύτερη προσβολή του αντικεμένου από περιβαλλοντικούς παραγόντες	Καμία:	
Επίδραση σε επιφάνεια μαρμάρου με ζάχαροειδή διάβρωση		Απομακρύνοντας την χαλαρώνουσαν κρυσταλλών	Δεν ενδεικνύεται	Καμία επίδραση	
Δυνατότητα ελέγχου	Ικανοποίηση:	στην ακρίτη θέση, ξεπερνάεται με την ρύθμιση της βίαιας της επιφάνειας, στο σημείο που καθαρίζεται	Σχετικά ικανοποίηση:	σε τερψιδέα δεν υπάρχει δυνατότητα διαγραφής των κλυρών εξεργάσματος από μαλακότερο υλικό, ακόμα και εάν ο καθαρισμός γίνεται με χρήση μαρτινού	Άμεση: η επέμβαση σταματά στον ή ακτίνα ανοικτότητας προκατόρισμα επιπλέον
Πολυπλοκότητα	Απαιτείται συγκεκριμένη υπερήφανη με αντιλία γερού, μεγεθυντικής φάσης και κατοκεκυρωμένου συμπλήρωμα για τη συγκέντρωση του γερού	Απαιτείται συγκεκριμένη μαρτινού με βούλα, συμπληρωματικής αύρα 50 ίλι, απορροφητική αντίλη για την απομάκρυνση της σκονής, μεγεθυντικής φάσης μεγεθυντικού ποσού, και γάντια για το χειριστή	Διατηρείται συσκευή Laser διατάξεων (βιβλίο 1εκ.), μάσκα και ειδικά γυαλιά για το χειριστή	Για την εργασία για την υπερήφανη σε αγάπη με τις όλες μεθόδους απαιτείται πολύ μικρότερος και σχετικά ευχρηστός εργατικός χώρος	
Απόδοση	12 cm <sup>2</sup> /h	35 cm <sup>2</sup> /h	12 cm <sup>2</sup> /h		
Ειδικά προβλήματα	Διατύπωση προσέγγισης στο εσωτερικό των ανάγλυφων λεπτομέρεων	Διατύπωση προσέγγισης στο εσωτερικό των ανάγλυφων λεπτομέρεων.	Διατύπωση προσέγγισης στο εσωτερικό των ανάγλυφων λεπτομέρεων.		
Δάρκες (η επιφάνεια του αγάλματος είναι ~3.000 cm <sup>2</sup> )	~250 ώρες	~105 ώρες	~250 ώρες	Εξαρτάται από το είδος της κρούστας	
Επίδραση στο χειριστή	Καμία	Υπάρχει κίνδυνος από την εισιτήρια της ακόντης ακόμα και αν ληφθούν όλα τα μέτρα προστασίας	Καμία εφόσον χρησιμοποιούνται προστατευτικά γυαλιά και μάσκα	Απαιτείται εξαιρεκαμένος χειριστής για την εφαρμογή όλων μεθόδων	



9. Λεπτομέρειες από το κεφάλι, πριν και μετά τον καθαρισμό. Μετά τον καθαρισμό αποκαλύψθηκαν οι λεπτομέρειες της κατεργασίας και οι διάφορες ποιότητες της επιφάνειας (φωτ. Σ. Μαυρομάτης).

## Βιβλιογραφία

AMOROSO G., FASSINA V., *Stone Decay and Conservation*, Elsevier, Amsterdam 1983.  
COOPER M., *Laser Cleaning*, Butterworth-Heinemann, London 1996.  
POULI P., *Laser Cleaning: Studies on Stonework and Polychromed Stone*, Ph.D. Thesis, Loughborough University, December 1999.

10. Το όγαλμα μετά τον καθρόμο (φωτ. Σ. Μαυρομάτης).

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

### Σημειώσεις

\* Από τη θέση αυτή, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον καθηγητή Πέτρο Θεμέλη και την έφορο της Ζ' ΕΠΚΑ Ξένια Αραπογάνη, που μας εμπιστεύτηκαν το έργο αυτό και μας παρείχαν όλες τις διευκολύνσεις, ώστε να γίνουν οι εργασίες κάτω από τις ιδινότερες συνθήκες. Επίσης ευχαριστούμε τον καθηγητή Κώνστα Φωτάκη για την υποστήριξη και την εκτόνωση του ερευνητικού προγράμματος στο Ινστι-

τούτο Ηλεκτρονικής Δομής και Laser του Ιδρύματος Τεχνολογίας και Ερευνών στην Κρήτη, καώς και τον δρα Βασίλη Περδικάτα και τον δρα Γιώργο Οικονόμου για την ορικοποιητική γνωμάτευσή τους στο ΙΓΜΕ, την ερευνητική ομάδα του εργαστηρίου της εταιρείας Τίταν και ιδιαιτέρα τον δρα Άρη Παπαγεωργίου για τις ανάλυσεις στο XRD. 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 μεράκι και γνώση μπορούν να προσφέρουν.

Δ. Θεμέλης, Η Αρχαία Μεσσηνία, ΥΠΠΟ-ΤΑΠ, Αθήνα 1999\* ο ίδιος, Ήρωες και ήρωαι στη Μεσσηνίη, Εν Αθηναῖς Αρχαιολογική Έταιρεια, Αθήναις 2000, σ. 147-156.

2. Από το άγαλμα δεν βρέθηκαν οραμένα βραύματα, όπως τη ποδαρίδη των δεξιών χεριού, που ήταν ένδεικνυτό, ο αριστερός βράχιοντας τρία από τα ακροβόλια των αριστερού χεριού, το κατωτέρω τμήμα στην απόληξη της λιχαδίας, μικρά βραύματα από τα πεπτήρια των δύο αυτών. Βραύματα από τις κινήσεις, αλλά και από την πλήρη στη βάση.

3. Μ. Γανουλάκη, Σ. Πολυανένα, «Μαχάων Ερμής-Παρούσιαστη, έρευνα και πρόταση για τη συντήρηση δύο αγαλμάτων από την αρχαία Μεσσηνίη», Πτυχιακή εργασία, υπεύθυνος καθηγητής: Π. Θεοδάκης, ΤΕΙ Αθηνών 2000, σ. 151-157.

4. Με τον δρόμο αυτό εννοείται η μορφή εκείνη φθόρων στην οποία η εξωτερική στρώση κρυσταλλών την αρχική κατεργασία απομακρύνεται, αποκαλύπτοντας τα άσρα περιστωτικά άκρα των κρυσταλλών (πριονιστικές επιφάνειες).

5. Ηλεκτρονική μικροσκοπία, τερβιθαλασμέτρια ακτίνων X, ορικοποίηση και πετρογραφική ανάντημα.

6. Ο όρος «εγενένη πάτνα» αναφέρεται σε αλλοιώσεις της επιφάνειας του μαρμάρου που παρατηρούνται σταν άνωμαρμάρινα αντικείμενα είναι εκτεθέμενο στην ατμόσφαιρα.

7. J. Larson, «The Conservation of Stone Sculpture in Museums», στο Ashurst J., Dimes F., *Conservation of Building and Decorative Stone*, 2, Butterworth-Heinemann, London 1990, σ. 200.

8. Δημοσιεύσεις που αφορούν στον καθιερώμα της Laser λιθίνων αντικείμενων καὶ τοιούτων έγιναν από το ΙΗΔΑ 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., Kiliaroglou V., Fotakis C., «Laser - Induced Breakdown 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* 157 (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 contrasts. 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.