

ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ ΚΑΙ ΕΡΕΥΝΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΑΠΟΛΙΘΩΜΕΝΟΥ ΞΥΛΟΥ

Ε. Κυριαζή, Ν. Ζαχαριάς

Εργαστήριο Αρχαιομετρίας, Τμήμα Ιστορίας, Αρχαιολογίας και Διαχείρισης Πολιτισμικών Αγαθών,
Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, Ανατολικό Κέντρο, 24 100 Καλαμάτα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η συντήρηση απολιθωμάτων και κυρίως απολιθωμένων δασών *in situ* αποτελεί έναν όχι ιδιαίτερα ανεπτυγμένο κλάδο. Αναζητώντας απαντήσεις σε ερωτήματα όπως ποιοι είναι οι κύριοι παράγοντες φθοράς των απολιθωμένων δασών, ποια πρέπει να είναι η ενδεδειγμένη μεθοδολογία εξέτασής τους για σκοπούς συντήρησης και ποιοι είναι οι βέλτιστοι τρόποι συντήρησης πυριτιωμένων απολιθωμένων δέντρων στο φυσικό τους περιβάλλον, στο εργαστήριο Αρχαιομετρίας του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου διενεργείται έρευνα με αντικείμενο μελέτης το πάρκο του απολιθωμένου δάσους του Τακ στην Ταυλάνδη. Πρόκειται για μία πρόσφατα ανασκαμμένη απολιθωματοφόρα θέση, που παρουσιάζει τάχιστο ρυθμό διάβρωσης. Ο σκοπός της έρευνας είναι η κατανόηση του υλικού των απολιθωμάτων, η κατανόηση της παθολογίας τους και η πρόταση μεθόδων για τη συντήρησή τους. Οι προκλήσεις του τροπικού κλίματος, της ευαισθησίας των συγκεκριμένων απολιθωμάτων και η έως τώρα απουσία δράσης συντήρησης, καθιστούν το υλικό μελέτης μοναδικό και την έρευνα πρωτοποριακή, αφού ενδέχεται να ανοίξει νέους δρόμους για την επιστήμη της συντήρησης.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η συντήρηση αντικειμένων πολιτισμικής κληρονομιάς με τη μορφή που τη γνωρίζουμε σήμερα είναι μια σχετικά νέα επιστήμη. Για την επιτυχή εκτέλεση μιας ολοκληρωμένης επέμβασης ενεργητικής αλλά και προληπτικής συντήρησης προαπαιτείται η ενδελεχής καταγραφή και μελέτη του πάσχοντος αντικειμένου, φυσικοχημικές αναλύσεις, κατανόηση της τεχνολογίας κατασκευής και ιδιοτήτων των υλικών του, καθώς και κατανόηση των φυσικοχημικών, μηχανικών και άλλων διεργασιών που συνέβαλαν στη φθορά του. Τα παραπάνω είναι στάδια που στον ένα ή στον άλλο βαθμό ακολουθούνται για τα αντικείμενα της υλικής πολιτισμικής κληρονομιάς. Σε αυτό συνδράμει η πολιτιστική, ιστορική και αρχαιολογική αξία των αντικειμένων αυτών, τα οποία προστατεύονται από τη νομοθεσία, τους κώδικες δεοντολογίας και τις επαγγελματικές οδηγίες για τη συντήρηση και προστασία τους.

Για τα απολιθώματα όμως, τόσο τα φυτικά όσο και τα ζωικά, τις περισσότερες φορές δεν ακολουθείται η ίδια πρακτική. Το επάγγελμα του συντηρητή απολιθωμάτων δεν είναι συνήθως θεσμοθετημένο, ενώ στις περισσότερες σχολές συντήρησης των τριτοβάθμιων εκπαιδευτικών ιδρυμάτων δεν προσφέρονται μαθήματα φυσικοχημικών αναλύσεων απολιθωμάτων και συντήρησης απολιθωμάτων στο κύριο πρόγραμμα σπουδών τους. Η κατάσταση αυτή εγείρει πολλά προβλήματα για τη συντήρηση και διατήρηση απολιθωμάτων τόσο σε μουσειακούς χώρους όσο και *in situ* σε απολιθωματοφόρες θέσεις, καθώς οι ανάγκες είναι πολλές και το προσωπικό μη επαρκώς καταρτισμένο.

ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΕΛΛΕΙΨΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΤΩΝ ΑΠΟΛΙΘΩΜΑΤΩΝ

Η συντήρηση αρχαιοτήτων και έργων τέχνης είναι ένας σχετικά νέος κλάδος, αν και διασώζονται μέτρα προληπτικής ή ενεργητικής συντήρησης ήδη από την κλασική περίοδο. Γνωρίζουμε για παράδειγμα ότι φρόντιζαν να ενυδατώνουν με νερό τα χρυσελεφάντινα αγάλματα των ναών σε περιοχές με ξηρασία, και να τα επαλείφουν με ελαιόλαδο σε περιοχές με αυξημένη υγρασία. Στο απώτερο παρελθόν, τη «συντήρηση» των έργων αναλάμβαναν καλλιτέχνες ή μοναχοί, με μεθόδους πολύ παρεμβατικές, που απέχουν κατά πολύ από τις σημερινές προσεγγίσεις, την ηθική και δεοντολογία του σύγχρονου επαγγέλματος του συντηρητή. Το επάγγελμα του συντηρητή εμφανίστηκε το 18ο αι. στην Ιταλία, ενώ από το 19ο αι. ξεκινούν οι πρώτες εργαστηριακές αναλύσεις σε έργα ζωγραφικής από επιστήμονες όπως ο Faraday και ο Pasteur. Στα τέλη του 19ου αι. ιδρύθηκε στην Αγγλία από τους William Morris και Phillip Webb η Society for the Conservation of Ancient Buildings με στόχο τη συντήρηση της αρχιτεκτονικής κληρονομιάς, ενώ στη Γαλλία έγιναν παρόμοιες προσπάθειες από τον Eugene Viollet-le-Duc, με αμφιλεγόμενα για τα σημερινά δεδομένα αποτελέσματα. Ο πρώτος χημικός ο οποίος εργάστηκε σε μουσείο, ανέπτυξε επιστημονική προσέγγιση στη θεραπεία των αντικειμένων και εξέδωσε εγχειρίδιο συντήρησης ήταν ο Γερμανός Friedrich Rathgen το 1888, ενώ το 1924 ιδρύθηκε στο Βρετανικό μουσείο τμήμα για την επιστημονική έρευνα των τέχνηργων. Η ανάπτυξη του κλάδου της συντήρησης

αρχαιοτήτων και έργων τέχνης ήταν ραγδαία μέσα στον 20ό αι, και κυρίως μετά τις καταστροφικές συνέπειες του Β' Παγκοσμίου Πολέμου, καθώς έγινε επιτακτική η ανάγκη προστασίας και θεραπείας της πολιτισμικής κληρονομιάς. Παρά ταύτα, για αρκετά χρόνια, οι επεμβάσεις συντήρησης γίνονταν με μη αναστρέψιμα υλικά, και από μη συντηρητές, όπως για παράδειγμα από καλλιτέχνες και εργατοτεχνίτες. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα πλήθος αρνητικών και πολλές φορές μη αναστρέψιμων ή και καταστρεπτικών συνεπειών για τα έργα τέχνης, τα μνημεία και τις αρχαιότητες.

Ενώ στον τομέα της συντήρησης αρχαιοτήτων και έργων τέχνης έχουν γίνει πολύ θετικά και εντυπωσιακά βήματα, ιδίως μετά τη δεκαετία του 1950, η συντήρηση απολιθωμάτων δεν ακολούθησε παρόμοια τροπή. Η κατάσταση όσον αφορά στη θεραπεία των απολιθωμάτων ομοιάζει αυτήν της συντήρησης τέχνηρων πριν από έναν αιώνα. Τη συντήρηση απολιθωμάτων πολλές φορές αναλαμβάνουν τεχνίτες, παλαιοντολόγοι, ακόμη και καλλιτέχνες, οι οποίοι δεν έχουν λάβει ειδική εκπαίδευση στη συντήρηση απολιθωμάτων. Πολλές φορές χρησιμοποιούνται μη εγκεκριμένα υλικά και μέθοδοι, που σε κανονικές συνθήκες δε χρησιμοποιούνται από έναν επαγγελματία και καλά ενημερωμένο συντηρητή. Η συντήρηση απολιθωμάτων είναι ένας τομέας που δε διδάσκεται συστηματικά στις σχολές συντήρησης, ενώ σε πολλές περιπτώσεις, δεν είναι κατανοητή η ανάγκη της ύπαρξης εξειδικευμένων συντηρητών απολιθωμάτων. Για την πλειοψηφία των απολιθωμάτων, προς το παρόν παρατηρείται έλλειψη αντίστοιχων διαδικασιών και εξειδικευμένων συντηρητών σε παγκόσμιο επίπεδο. Τα περισσότερα απολιθώματα δεν προστατεύονται από κάποιο νομικό πλαίσιο, ενώ οι επεμβάσεις συντήρησης τελούνται κυρίως από άτομα χωρίς ειδικές σπουδές συντήρησης. Ως επί το πλείστον δεν πραγματοποιούνται φυσικοχημικές αναλύσεις και μελέτες συντήρησης, και σε αρκετές περιπτώσεις εφαρμόζονται επεμβάσεις και υλικά τα οποία δεν είναι τα πλέον ενδεδειγμένα.

Οι παραπάνω τάσεις έχουν αρχίσει να αντιστρέφονται καθώς κατέστη κατανοητό ότι για την ορθή θεραπεία των απολιθωμάτων απαραίτητες είναι όχι μόνο οι χειροπρακτικές δεξιότητες, αλλά και η συνδυαστική εφαρμογή θεωρητικών, τεχνικών και τεχνολογικών γνώσεων που άπτονται των πεδίων της συντήρησης, ανατομίας, παλαιοντολογίας, χημείας, παλαιομετρίας, βιολογίας, παλαιοβοτανικής, παλαιοζωολογίας κ.ά. Στην Ελλάδα, ένα θετικό βήμα προς αυτήν την κατεύθυνση αποτελεί η λειτουργία του Κέντρου Επαγγελματικής Κατάρτισης του Μουσείου Φυσικής Ιστορίας Απολιθωμένου Δάσους της Λέσβου, στο οποίο κατά την περίοδο 2003-2007 προσφέρθηκαν κύκλοι εκπαίδευσης ανέργων στη συντήρηση απολιθωμάτων.

Γενικά πάντως, σε παγκόσμιο επίπεδο, οι επιστημονικές δημοσιεύσεις για τη συντήρηση απολιθωμένου ξύλου ή απολιθωμένων δασών είναι πολύ λίγες σε αριθμό, ενώ δεν έχει δοθεί έμφαση σε φυσικοχημικές αναλύσεις απολιθωμένου ξύλου για σκοπούς συντήρησης. Στις περισσότερες των περιπτώσεων, οι επεμβάσεις συντήρησης αφορούν εκθέματα εντός μουσείου, και άρα προστατευμένα από ακραίες αλλαγές περιβαλλοντικών παραμέτρων. Λίγες είναι οι προσπάθειες *in situ* θεραπείας απολιθωμένων δασών, όπως για παράδειγμα στο Απολιθωμένο Δάσος Λέσβου, ενώ στα προσεχή έτη αναμένεται πρόγραμμα έρευνας και συντήρησης στην απολιθωματοφόρα θέση Florissant Fossil Beds στο Colorado των ΗΠΑ. Η μόνη γνωστή δημοσίευση που αφορά σε εργασίες συντήρησης πυριτωμένου απολιθωμένου δάσους στην ύπαιθρο είναι των Kyriazi and Zouros, 2008 [1].

ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΑΠΟΛΙΘΩΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΡΧΑΙΟΜΕΤΡΙΑΣ ΤΟΥ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ

Λαμβάνοντας υπ' όψιν το κενό αυτό στην παγκόσμια επιστημονική βιβλιογραφία και έρευνα, στο εργαστήριο Αρχαιομετρίας του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου διενεργείται έρευνα για τον εντοπισμό και καταγραφή φθοροποιών παραγόντων των πυριτωμένων κορμών του πάρκου του απολιθωμένου δάσους του Τακ στην Ταυλάνδη, σε συνεργασία με το Πανεπιστήμιο Νακόν Ρατσασίμα Ρατζαμπάτ και το Μουσείο Απολιθωμένου Ξύλου και το Βορειοανατολικό Ινστιτούτο Ερευνών Απολιθωμένου Ξύλου και Ορυκτών Πόρων στο Κοράτ της Ταυλάνδης. Πρόκειται για απολιθωμένο δάσος το οποίο ανασκάφηκε κατά τα τελευταία έτη, στα απολιθώματα του οποίου δεν έχει εφαρμοστεί καμία μέθοδος συντήρησης από την ημέρα ανασκαφής τους, και στα οποία παρατηρείται ραγδαία φθορά. Μεταξύ των απολιθωμάτων, τα οποία είναι ηλικίας πάνω από 800.000 ετών, είναι και ο πιθανότατα μακρύτερος *in situ* απολιθωμένος κορμός του κόσμου, η φθορά του οποίου είναι τάχιστα και σε τμήματά του μη αναστρέψιμη.

Η μελέτη και έρευνα συντήρησης απολιθωμάτων που διενεργείται από το εργαστήριο αρχαιομετρίας του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου αναφέρεται ως Παλαιομετρική, διαφοροποιούμενη έτσι από τις αντίστοιχες Αρχαιομετρικές που υλοποιούνται σε αρχαιολογικά υλικά. Η υλοποίησή της γίνεται τόσο σε εργαστηριακούς χώρους στην Ελλάδα, για τις φυσικοχημικές αναλύσεις και δοκιμές σε δείγματα απολιθωμένου ξύλου που έχουν συλλεγεί από το απολιθωμένο δάσος του Τακ, όσο και *in situ* στην Ταυλάνδη, για την καταγραφή της παθολογίας των απολιθωμάτων και τις συνθήκες που επικρατούν στις ανασκαφικές τους θέσεις. Για τη διευκόλυνση της έρευνας, την άνοιξη του 2014 οργανώθηκε στο Πάρκο Απολιθωμένου Δάσους του Τακ ένα μικρό εργαστήριο συντήρησης.

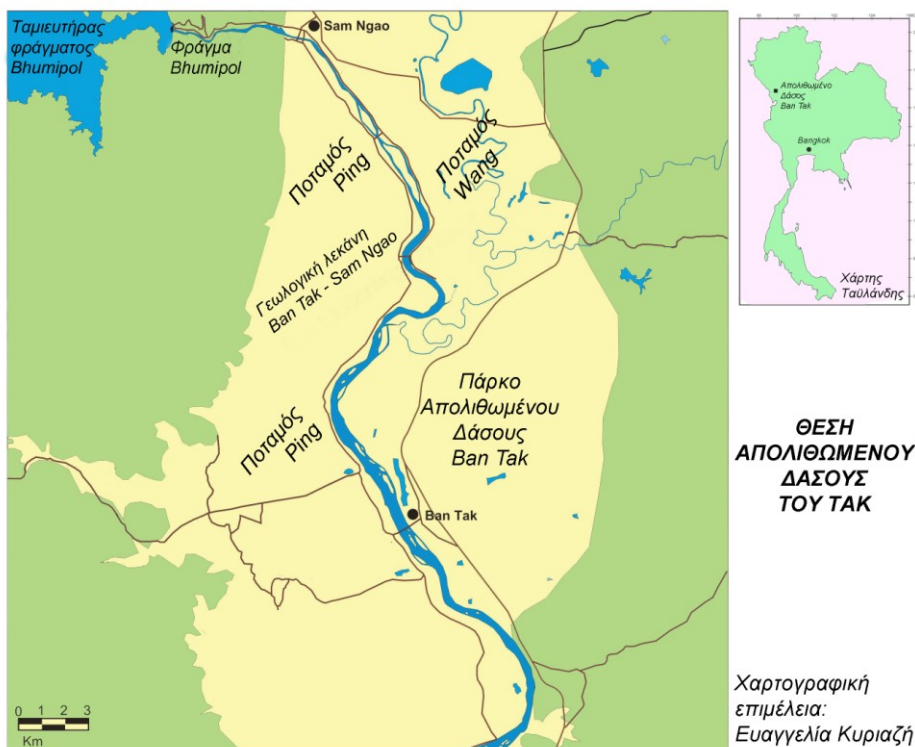
ΤΟ ΑΠΟΛΙΘΩΜΕΝΟ ΔΑΣΟΣ ΤΟΥ ΤΑΚ ΣΤΗΝ ΤΑΪΛΑΝΔΗ

Το απολιθωμένο δάσος του Τακ έχει οργανωθεί ως επισκέψιμο πάρκο με την επωνυμία Ban Tak Petrified Forest Park. Βρίσκεται στη βορειοδυτική Ταϊλάνδη και αποτελεί απολιθωματοφόρο θέση του Καινοζωικού αιώνα [2] στην ανατολική πλευρά της ιζηματογενούς λεκάνης του Ban Tak-Sam Ngao (βλ. Χάρτη 1). Η ιζηματογενής λεκάνη η οποία περιστοιχίζεται από λοφοσειρές και οροσειρές τα πετρώματα των οποίων είναι πλούσια σε πλουτώνιο γρανίτη, καλύπτει έκταση 435 km², έχει πλάτος από ανατολή προς δύση 16 km και μήκος 27 km από βορρά προς νότο, είναι πληρωμένη με ιζήματα του Τεταρτογενούς που περιλαμβάνουν προσχωσιγενείς και ποτάμιες αποθέσεις, και έχει σχηματιστεί κατά μεγάλο βαθμό από τους ποταμούς Ping και Wang, που ρέουν από το Βορρά [3].

Τα δέντρα του προϊστορικού δάσους απολιθώθηκαν μετά την ταφή τους σε ποτάμια ιζήματα άμμου και κροκάλων που χρονολογούνται στο Πρώιμο/Κατώτερο Πλειστόκαινο, ηλικίας πλέον των 800.000 ετών [3]. Η απολίθωση των κορμών, ριζικών συστημάτων και κατώτερων τμημάτων των κλάδων πραγματοποιήθηκε μέσω της διήθησης και αντικατάστασης του οργανικού υλικού των ξυλωδών κυττάρων από πυρίτιο και άλλα ορυκτά που εμπεριέχονταν στο πλούσιο σε πυρίτιο νερό της περιοχής. Πρόκειται για κατακείμενους κορμούς δέντρων, κάποιοι από τους οποίους διατηρούν τμήμα του ριζικού τους συστήματος και τα κατώτερα τμήματα των κλάδων τους. Οι κορμοί και τα τμήματα κορμών που βρίσκονται διάσπαρτα στο σύγχρονο δάσος που καλύπτει την περιοχή, είναι όλοι κατακείμενοι, γεγονός που μαρτυρά ότι στην περιοχή έλαβε χώρα κατά τους προϊστορικούς χρόνους, μεγάλη πλημμύρα, που παρέσυρε τους πολύ μεγάλους σε μήκος κορμούς και τους απέθεσε σε περιοχή διαφορετική από αυτήν που φύονταν αρχικά. Το μέγεθος των απολιθωμάτων αλλά και το μέγεθος των ποτάμιων κροκάλων, μαρτυρούν ότι ο προϊστορικός ποταμός που επέφερε την καταστροφή του παλαιοδάσους, ήταν υψηλού δυναμικού.

Ο τρόπος απολίθωσης απέδωσε απολιθώματα σχεδόν λευκού χρώματος που διατηρούν τα μακροσκοπικά και μικροσκοπικά μορφολογικά τους χαρακτηριστικά, γεγονός που επιτρέπει την παλαιοβοτανική τους αναγνώριση. Μέχρι στιγμής έχουν ανασκαφτεί επτά κορμοί που ανήκουν σε προγονικές μορφές δέντρων, συγγενείς των οποίων ζουν σήμερα στην Ταϊλάνδη. Τα είδη των δέντρων που έχουν αναγνωριστεί ως σήμερα είναι *Koompassioxylon elegans* Kramer και *Pahudioxylon cf. sahnii* Ghosh & Kazmi [3]. Το πρώτο πλησιάζει από βοτανικής απόψεως το σύγχρονο είδος *Koompassia malaccensis* [3], δέντρο το οποίο φύεται σήμερα σε τροπικά δάση του νοτίου άκρου της Ταϊλάνδης, και παράγει ξύλο το οποίο είναι γνωστό και στην Ελλάδα με την εμπορική ονομασία κεμπάς. Το δεύτερο μοιάζει με το σύγχρονο *Azelia xylocarpa* [3], το οποίο βρίσκεται υπό εξαφάνιση [4], αλλά φύεται ακόμη σε φυλλοβόλλα δάση της Ταϊλάνδης, και παράγει ξύλο γνωστό με την εμπορική ονομασία αφτζέλια.

Χάρτης 1. Θέση του Απολιθωμένου Δάσους του Τακ



Η ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΠΑΛΑΙΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΟΗΣΗ ΤΗΣ ΠΑΘΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΑΠΟΛΙΘΩΜΑΤΩΝ

Για την υπόδειξη των βέλτιστων μεθόδων συντήρησης, η έρευνα θα πρέπει να περιλαμβάνει χαρακτηρισμό του υλικού των απολιθωμάτων, της χημικής τους σύστασης, της ορυκτολογικής τους σύστασης, των χημικών και φυσικών τους ιδιοτήτων και καταγραφή χαρακτηριστικών όπως επιφανειακή σκληρότητα, πορώδες, απορροφητικότητα, ρίκνωση-διόγκωση, συστολή-διαστολή, μέγεθος κατανομής πόρων, μηχανική αντοχή, ανθεκτικότητα σε κρυστάλλωση αλάτων κ.ά., και περιγραφή χαρακτηριστικών όπως ομοιογένεια και υφή σε λιγότερο και περισσότερο προσβεβλημένες επιφάνειες.

Τα παραπάνω στοιχεία, σε συνδυασμό με την περιγραφή, καταγραφή της έκτασης, της σοβαρότητας και του ρυθμού της διάβρωσης, θα οδηγήσουν στην κατανόηση των φθοροποιών παραγόντων, ανοίγοντας το δρόμο για τη μελέτη πιθανών υλικών συντήρησης και την πραγματοποίηση δοκιμών σε υλικά και μεθόδους καθαρισμού, στερέωσης, συγκόλλησης, συμπλήρωσης, υποστήριξης, υδροφοβίωσης κτλ, και τη σωστή επιλογή τους αναλόγως των αναγκών του κάθε απολιθώματος.

Οι συντηρημένες επιφάνειες των απολιθωμάτων θα πρέπει να έχουν τις ίδιες ή παρόμοιες τιμές υγρασιακής διαστολής, θερμικής διαστολής, ελαστικότητας κτλ με τις μη συντηρημένες επιφάνειες, για να αποφευχθούν εσωτερικές τάσεις που θα οδηγήσουν σε επιπλέον φθορά. Λαμβάνοντας υπ'όψιν το μεγάλο όγκο των απολιθωμάτων, καθίσταται κατανοητό ότι η διεύθυνση συντηρητικών ουσιών στις περισσότερες περιπτώσεις δε θα μπορεί να φτάσει στις πλέον εσωτερικές περιοχές των απολιθωμάτων, τα οποία σε αρκετές περιπτώσεις ξεπερνούν τη διάμετρο του ενός μέτρου, οπότε η εύρεση συμβατών αλλά και αναστρέψιμων υλικών και μεθόδων συντήρησης είναι ιδιαιτέρως επιτακτική.

Η ΠΟΡΕΙΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΜΕΧΡΙ ΣΤΙΓΜΗΣ

Για την ασφαλή πρόταση συντήρησής τους, προέχει να δοθούν απαντήσεις σε ερωτήματα όπως για ποιους λόγους, με ποιες διεργασίες και με τι ρυθμό εξελίσσονται οι παρατηρούμενες φθορές. Για το λόγο αυτό, τον Αύγουστο του 2014 στήθηκε στο Πάρκο Απολιθωμένου Δάσους του Τακ μετεωρολογικός σταθμός για την καταγραφή των περιβαλλοντικών παραμέτρων της περιοχής και των διαφοροποιήσεων των τιμών τους κατά τη διάρκεια του έτους και της ημέρας. Τα δεδομένα που συλλέγονται ανά 5 λεπτά περιλαμβάνουν θερμοκρασία, σχετική υγρασία, ταχύτητα και διεύθυνση ανέμου, ύψος βροχής, ηλιακή ακτινοβολία και βαρομετρική πίεση.

Για την καταγραφή των φθορών πραγματοποιήθηκε επίσης λεπτομερής μακροφωτογράφιση και γραφή περιγραφή της παθολογίας των απολιθωμάτων. Ως μία πρώτη ένδειξη του ρυθμού διάβρωσης, πραγματοποιήθηκε έρευνα για τον εντοπισμό παλαιότερων φωτογραφιών των απολιθωμάτων, για τη σύγκριση της υπάρχουσας με την προγενέστερη κατάσταση κατά την περίοδο των ανασκαφών.

Δείγματα απολιθωμένου ξύλου που προέρχονται από όλο το μήκος και των επτά ανεσκαμμένων κορμών αναλύονται και παρατηρούνται σε ηλεκτρονικό μικροκόπιο σάρωσης (SEM) τύπου Jeol JSM-6510LV, εξοπλισμένο με αναλυτή ενεργειακής διασποράς (EDS) τύπου OXFORD Inca energy 250 X-ct systems. Για την πλήρη καταγραφή της επιφανειακής κατάστασης διατήρησης των απολιθωμάτων, συμπεριλαμβανομένων επιφανειακών επικαθίσεων, τα δείγματα μελετώνται χωρίς να έχει προηγηθεί μηχανικός ή χημικός τους καθαρισμός, και χωρίς να έχει πραγματοποιηθεί στύλωση ή κάλυψη με αγωγίμο υλικό. Για την αύξηση της αγωγιμότητάς τους, χρησιμοποιείται ανθρακοταινία, επιτυγχάνοντας έτσι τα επιθυμητά αποτελέσματα χωρίς την καταστροφή των δειγμάτων. Το μηχάνημα ρυθμίζεται σε υψηλό κενό (HV) και η μικροχημική ανάλυση πραγματοποιείται στα 20 kV με εστιακή απόσταση της τάξης των 15mm. Ο χρόνος συλλογής είναι 100 sec για σημειακές αναλύσεις, και 300 sec, για αναλύσεις μεγαλύτερων περιοχών. Η οπτική παρατήρηση επιτυγχάνεται σε διάφορες μεγεθύνσεις, αναλόγως του παρατηρούμενου φαινομένου. Ξεκινώντας από x50 για παρατήρηση των μεγαλύτερων ρωγμών, καταλήγει στα x15000 για την παρατήρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών μικροοργανισμών που έχουν εντοπιστεί στην επιφάνεια των απολιθωμάτων.

ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα απολιθώματα του Τακ παρουσιάζουν ποικιλία έντονων φθορών, σε μικρό χρονικό διάστημα από την ανασκαφή τους, που ποικίλουν από μικρορωγμές έως οριστικές απώλειες ολόκληρων ριζικών συστημάτων. Στις φθορές περιλαμβάνονται αποκολλήσεις τμημάτων, αποσπάσεις, θραύσεις, ρηγματώσεις, κονιορτοποίηση, αποσάθρωση, βιολογικές προσβολές, αλλά και οξείδωση του ίδιου του απολιθωμένου υλικού λόγω του συνδυασμού της παρουσίας σιδήρου στη σύστασή του και των αυξημένων επιπέδων υγρασίας.

Τα μέχρι τώρα συμπεράσματα από τη μακροσκοπική και μικροσκοπική παρατήρηση, φυσικοχημικές αναλύσεις και καταγραφή περιβαλλοντικών παραμέτρων, υποδεικνύουν ότι οι φθορές που παρουσιάζονται είναι μηχανικής, χημικής και βιολογικής προέλευσης και οφείλονται στη συνδυαστική δράση πολλών επιμέρους παραμέτρων. Στις παράμετρους αυτές περιλαμβάνονται τα υψηλά επίπεδα υγρασίας και θερμοκρασίας και οι

έντονες διακυμάνσεις των τιμών τους, τα έντονα καιρικά φαινόμενα που περιλαμβάνουν μουσώνες και περιόδους ξηρασίας με έρπουσες δασικές πυρκαγιές, η δράση βιολογικών παραμέτρων όπως μικροοργανισμοί, χλωρίδα, πανίδα και άνθρωπος κ.ά. Κατά την επιτόπια έρευνα στις ανασκαφικές θέσεις εντοπίστηκαν φαινόμενα κατολισθήσεων, εισροής υδάτων κ.ά. (βλ. εικόνα 1)

Η μακροσκοπική και μικροσκοπική παρατήρηση δειγμάτων, αλλά και των ίδιων των απολιθωμάτων *in situ*, καταδεικνύουν ότι τα απολιθώματα ποικίλουν σε μορφολογία, κατάσταση διατήρησης και παθολογία κατά μήκος (βλ. εικόνα 1), με ιδιότητες όπως πορώδες, σκληρότητα, υδατοαπορροφητικότητα, να ενδέχεται να ποικίλουν, εξαρτώμενες από τη θέση του σημείου στο απολιθώμα, το βάθος στο οποίο βρίσκεται η περιοχή (κάποιοι κορμοί είναι κεκλιμένοι με τα δύο άκρα να βρίσκονται σε σεβαστή υψομετρική διαφορά), την έκθεση στον ήλιο και άρα υψηλότερες θερμοκρασίες, την έκθεση στις τροπικές βροχές, πλημμυρικά φαινόμενα κ.ά.

Η μικροσκοπική παρατήρηση αποκάλυψε τύπους μορφολογίας και παθολογίας που δεν ήταν ορατοί διά γυμνού οφθαλμού, όπως μικρορωγμές, ανομοιογένεια επιφάνειας και μικροβιολογικές προσβολές (βλ. εικόνα 2).

Οι μικροχημικές αναλύσεις καταδεικνύουν ότι τα απολιθώματα του Τακ είναι πυριτικά σε ποσοστό άνω του 70%, αποτελούμενα κυρίως από άμορφο πυρίτιο με σποραδικές εμφανίσεις πυριτικών κρυστάλλων. Στη σύστασή τους περιέχεται επίσης μαγνήσιο και σίδηρος. Το μαγνήσιο δίνει στο απολιθώμα κατά τόπους χαρακτηριστικό ροδαλό χρώμα και αποτελεί μέρος της σύστασης του απολιθώματος. Ο σίδηρος φαίνεται να ευθύνεται για τους κατά τόπους πορτοκαλί χρωματισμούς, οι οποίοι σε πολλές περιπτώσεις είναι προϊόν χημικής διάβρωσης λόγω υψηλών εποχιακών συγκεντρώσεων νερού, και ευθύνεται για αποσπάσεις κομματιών κατά μήκος των ινών του ξύλου.

Η παρατήρηση και μικροχημική ανάλυση στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης αποκάλυψε πάνω από 20 είδη μικροοργανισμών τα οποία αναπτύσσονται στα απολιθώματα, με διαφοροποιήσεις όσον αφορά στα ενδιαίτηματα, στη μορφολογία, στη χημική σύσταση, στη δυνατότητα κίνησης στην επιφάνεια του απολιθώματος κτλ [5]. Με βάση τα μορφολογικά τους χαρακτηριστικά, μπορούν να καταταχθούν ως επί το πλείστον στα βακτήρια και στα άλγη, ενώ έχουν εντοπιστεί μικροοργανισμοί υψηλής περιεκτικότητας σε σίδηρο ή πυρίτιο, εγείροντας ερωτήματα για το εάν πρόκειται για χημιολιθότροφους, βιοορυκτοποιητικούς ή βιοαπολιθωτικούς μικροοργανισμούς.

Τα πρώτα αποτελέσματα καταμέτρησης πυκνότητας υποδεικνύουν τιμές γύρω στα 2 gr/cm³ για τα περισσότερα δείγματα, ενδεικτικό των μικρορωγμών και κυρίως των κενών χώρων στο εσωτερικό των απολιθωμάτων. Οι χαμηλές αυτές τιμές είναι ενδεικτικές της ικανότητας των απολιθωμάτων να κατακρατούν νερό, ιδιότητα που έχει συμβάλλει κατά πολύ στην ταχεία τους διάβρωση.

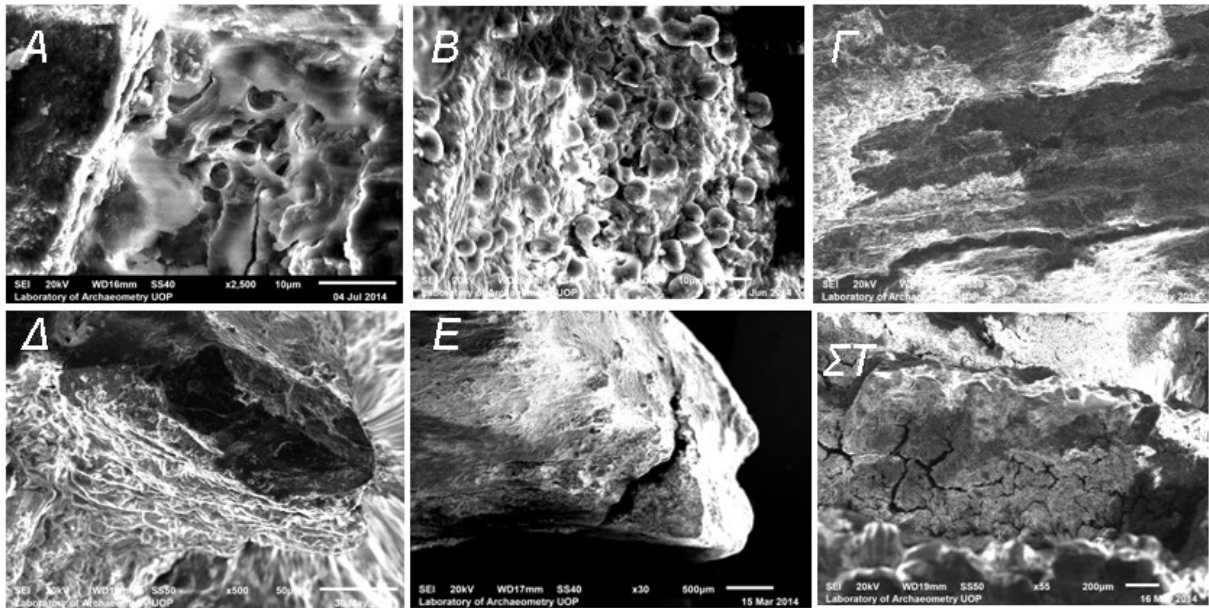
ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Η έρευνα με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης η οποία αναμένεται να ολοκληρωθεί εντός του 2015 θα αποδώσει την πλήρη φυσικοχημική χαρτογράφηση υγιών και πάσχουσων περιοχών των δειγμάτων και την δημιουργία μια βάσης δεδομένων για την παθολογία του απολιθωμένου ξύλου.

Η παράλληλη ολοκλήρωση της καταγραφής των περιβαλλοντικών παραμέτρων, και των δεδομένων πορώδους και υδατοαπορροφητικότητας, θα οδηγήσει στην ανάπτυξη μια ολοκληρωμένης μεθοδολογίας μελέτης των σχετικών απολιθωμάτων.



Εικόνα 1. Απολιθωμένος κορμός Νο 1 – διαφορετική κατάσταση διατήρησης παρατηρείται σε όλο του το μήκος Α-εισροή υδάτων στον ανασκαφικό χώρο. Β-κατολίσθιση. Γ-βιολογική προσβολή



Εικόνα 2. Εικόνες από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης.

A- Βελονισμός, πιθανόν λόγω δράσης χημολιθότροφων μικροοργανισμών.

B- Βακτηριδιακή αποικία.

Γ- Μικρορωγμές

Δ- Ετερογένεια υλικού: πυριτικός κρύσταλλος στο άμορφο απολίθωμα

Ε-Απόπλυση επιφανείας λόγω έκθεσης σε μετεωρικά ύδατα και μικρορωγμή

ΣΤ- Εδαφικές επικαθίσεις και πρόκληση μηχανικών τάσεων στην επιφάνεια

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

- κο. **Suriya Prasatbuntitya**, πρώην κυβερνήτη του Τακ, νυν κυβερνήτη της επαρχίας Τσιανγκμάι, Ταϊλάνδη
- κα. **Chuleewan Saisingthong**, υποκυβερνήτρια του Τακ, Ταϊλάνδη
- Αν. Καθ. Δρ. **Sauwanit Saunanda**, πρώην πρόεδρο του Πανεπιστημίου Nakhon Ratchasima Rajabat, Ταϊλάνδη
- Αν. Καθ. Δρ. **Pratueng Jintasakul**, δ/ντή του Μουσείου Απολιθωμένου Ξύλου στην επαρχία Νακόν Ρατσασίμα (Κοράτ), Ταϊλάνδη
- Δρ. **Nareerat Boonchai**, παλαιοανατόμο απολιθωμένου ξύλου, Northeastern Research Institute of Petrified Wood and Mineral Resources, Πανεπιστήμιο Nakhon Ratchasima Rajabat, Ταϊλάνδη
- κο. **Surapon Gawee**, πρώην δ/ντή του Πάρκου Απολιθωμένου Δάσους του Τακ, Ταϊλάνδη
- κο. **Russell Gray**, πρώην εθελοντή στο Πάρκο Απολιθωμένου Δάσους του Τακ, Ταϊλάνδη
- το προσωπικό του Πάρκου Απολιθωμένου Δάσους του Τακ, Ταϊλάνδη

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Kyriazi E., Zouros N. 'Conserving the Lesvos Petrified Forest', *Studies in Conservation* 53 (Supplement-1 - Conservation and Access: Contributions to the 2008 IIC Congress), London, pp.141-145
- [2] Boonchai N., Grote P. J., Jintasakul P., (2009) *Paleontological parks and museums and prominent fossil sites in Thailand and their importance in the conservation of fossils*, Carnets de Géologie / Notebooks on Geology – Book 2009/03 (CG2009_B03), Chapter 7, pp.75-95
- [3] Songtham W., Mildenhall D. C., Ratanasthien B., (2012) *Petrified Tree Trunks from a Gravel Deposit, Ban Tak Petrified Forest Park, BanTak–Sam Ngao Basin, Tak Province, Northern Thailand*, J Sci Technol MSU, Vol 31, No 1, Jun-Feb 2012, pp. 93-100
- [4] Nghia, N.H. (1998) *Afzelia xylocarpa*. The IUCN Red List of Threatened Species. Έκδοση 2014.3. <www.iucnredlist.org>. Ημ/νία πρόσβασης 9 Μαρτίου 2015
- [5] Kyriazi E., Zacharias N., Palamara E., Boonchai N. (2014) "Preliminary SEM-EDS Observations on Microorganisms present on Petrified Wood Samples from the possibly World's Longest Fossil Tree", στο Zacharias N, Palamara E (επιμ.) 4th Symposium ARCH_RNT Archaeological Research & New Technologies, σελ. 52