ΘΑΛΗΣ • ΑΕΙΣ

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Ιστορική Πρυτανεία, Πολυτεχνείο Πατησίων

Επιστημονικό Συνέδριο

Επιστημονική Υποστήριξη στη Λήψη Αποφάσεων για Αειφόρα και Συμβατά Υλικά και Επεμβάσεις Συντήρησης και Προστασίας της Πολιτιστικής Κληρονομιάς

28 και 29 Σεπτεμβρίου 2015

Οργάνωση

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΘΑΛΗΣ • ΑΕΙΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ «ΘΑΛΗΣ-ΑΕΙΣ»
«Αειφορία και συμβατότητα προηγμένων υλικών και τεχνολογιών για την προστασία μνημείων της Πολιτιστικής Κληρονομιάς: Ανάπτυξη κριτηρίων και μεθοδολογιών ελέγχου»

«ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΜΝΗΜΕΙΩΝ»
Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
Επιστπεύδουσα: Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών
Συνεργαζόμενη: Σχολή Χημικών Μηχανικών
Συμμετέχουσες: Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ

ΕΜΠ | ΑΠΘ | Πανεπιστήμιο Πατρών | Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων | Πολυτεχνείο Κρήτης | ΤΕΙ Αθήνας | ΙΗΔΛ-ΙΤΕ | ΕΚΕΦΕ ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ

Συνδιοργανωτές

ΤΕΕ — ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ

Η.Σ.Τ.Π.Ε. — ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Marie Sklodowska-Curie Project "Initial Training Network for Digital Cultural Heritage"

ΕΘΝΙΚΟ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟ ΜΟΥΣΕΙΟ

Υπό την αιγίδα

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ, ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ

Με τη συγχρηματοδότηση

Ευρωπαϊκή Ένωση — Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΕΣΠΑ 2007-2013
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΕΙΣ ΣΕΛ.

Θεματική Ενότητα 1 **Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές**

"Η μεθοδολογία της Αντίστροφης Μηχανικής Προσέγγισης για τον χαρακτηρισμό του αυθεντικού κονιάματος του Γεφυριού της Πλάκας στην Ήπειρο και πρόταση συμβατών και επιτελεστικών κονιαμάτων αποκατάστασης", Α. Μοροπούλου, Π. Μούνδουλας, Αικ. Δελέγκου, Α. Μπακόλας, Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ. 1

"Ανάλυση κονιαμάτων από την αρχαία πόλη Αλίκυρνα με χρήση TXRF και φασματοσκοπίας Raman", Ε. Καμηλάρη, Χ. Κοντογιάννης, Τμήμα Φαρμακευτικής, Πανεπιστήμιο Πατρών ΙΤΕ/ΙΕΧΜΗ, Πάτρα. 18

"Ταυτοποίηση αντιπροσωπευτικών δομικών υλικών που απαντώνται σε αρχιτεκτονικά μνημεία της Αθήνας και της Ρόδου", Β. Κυλίκογλου, Ι. Καρατάσιος, Π. Θεουλάκης, Ε. Βιντζηλαίου, Εργαστήριο Αρχαιολογικών Υλικών, Ινστιτούτο Νανοεπιστήμης & Νανοτεχνολογίας, Ε.Κ.Ε.Φ.Ε. Δημόκριτος, Εργαστήριο Συντήρησης Λίθου, Τμήμα Συντήρησης Αρχαιοτήτων & Έργων Τέχνης, ΤΕΙ Αθήνας, Εργαστήριο Μικροκυμάτων και Οπτικών Ινών, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, ΕΜΠ. 28

"Η πρώτη χρήση ωμόπλινθων στην Κύπρο. Ζητήματα προέλευσης και χρήσης", Μ. Φιλοκύπρου, Τμήμα Αρχιτεκτονικής, Πανεπιστήμιο Κύπρου. 39

Θεματική Ενότητα 2 **Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές**

"Περιγραφή φθοράς δομικών υλικών μνημείων", Β. Χρηστάρας, Ε. Παπανικολάου, Εργ. Τεχν. Γεωλογίας & Υδρογεωλογίας, Τμ. Γεωλογίας, ΑΠΘ. 53

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

	ΣΕΛ.
"Φθορά δομικών στοιχείων ιστορικών μνημείων: κινητική της διάλυσης και μελέτη του σχηματισμού ευδιάλυτων αλάτων", Π. Γ. Κουτσούκος, Δ. Κανελλοπούλου, Αικ. Βαβουράκη, Σ. Ροκίδη, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών ΙΤΕ/ΙΕΧΜΗ, Πάτρα	62
"Γυαλί και Υαλώδη Υλικά σε ψηφιδωτά ιστορικών μνημείων. Ζητήματα Χαρακτηρισμού και Διάβρωσης", Α. Μοροπούλου, Ν. Ζαχαριάς, Ε. Παλαμαρά, Αικ. Δελέγκου, Π. Λουκοπούλου, Υπουργείο Πολιτισμού, Παιδείας και Θρησκευμάτων, Διεύθυνση Συντήρησης Αρχαίων και Νεωτέρων Μνημείων, Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ.	72
"Η γεωμετρική τεκμηρίωση ως υποστήριξη για την αποκατάσταση του Μεγάρου Σ. Ανάργυρου στην Ντάπια Σπετσών", Λ. Κωτούλα, Α. Γεωργόπουλος, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ.	98
"Η πεντάτοξη μαρμάρινη γέφυρα της Δούκισσας της Πλακεντίας στα Μελίσσια", Μ. Πανακάκη, Μ. Κορρές, Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών ΕΜΠ.	108
"Η ενετική μονή Santa Maria dei Miracoli Χανίων. Τεκμηρίωση και μελέτη ανάδειξης", Ε. Ο. Δεληγιάννη, Γ. Μαρίνου, Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών ΕΜΠ.	120
"Παθολογία και μέτρα αποκατάστασης πέτρινης τοξωτής γέφυρας στη θέση "Νερούτσου Μύλος" στον άνω ρου του Βοιωτικού Κηφισού", Χ. Γιαννέλος, Ε. Βιντζηλαίου, Γ. Μαρίνου, Εργαστήριο Οπλισμένου Σκυροδέματος, Εργαστήριο Ιστορίας της Αρχιτεκτονικής, ΕΜΠ.	131
"Φυσικοχημική διαγνωστική μελέτη του θολωτού τάφου των Αχαρνών", Γ. Μωραϊτου, Κ. Κουζέλη, Β 'Εφορεία προϊστορικών και κλασσικών αρχαιοτήτων, κέντρο λίθου.	147

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΣΕΛ.

"Διαγνωστική τεκμηρίωση της Πολιτιστικής Κληρονομιάς: Το παράδειγμα της Βίλλας Κλωναρίδη" στην Αθήνα, Ε. Τσιλιμαντού, Αικ. Δελέγκου, Α. Νικητάκος, Σ. Σοϊλέ, Σ. Ταπεινάκη, Χ. Ιωαννίδης, Α. Μοροπούλου, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ. 162

"Ανάπτυξη και Διαχείριση Δικτύων για την Προστασία και Ανάδειξη της Πολιτιστικής Κληρονομιάς", Ε. Οικονομοπούλου, Α. Θ. Δελέγκου, Ι. Σαγιάς, Α. Μοροπούλου, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, ΕΜΠ. 170

"Συσχέτιση του συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης ιστορικών και παραδοσιακών δομικών υλικών με τη θερμοκρασία", Ν. Καραγιάννης, Μ. Καρόγλου, Α. Μπακόλας, Α. Μοροπούλου, Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ. 181

Θεματική Ενότητα 3 **Νέα προηγμένα υλικά, τεχνολογίες και επεμβάσεις αποκατάστασης**

"Η ασφαλής χρήση της τεχνολογίας λέιζερ στη συντήρηση των Μνημείων της Ακρόπολης αναφορικά με την ανάδειξη της αρχικής επιφάνειας και των λεπτομερειών της", Γ. Φραντζή, Κ. Φραντζικινάκη, Π. Πουλή, Α. Πάνου, Α. Μαριδάκη, Ε. Παπακωνσταντίνου, Κ. Φωτάκης, ΥΣΜΑ, ΙΗΔΛ-ΙΤΕ, ΥΠΠΟΠΑΙΘ. 191

"Ο ρόλος των σωματιδίων νανο-SiO2 στις παραδοσιακές κονίες", Μ. Στεφανίδου, Εργαστήριο Δομικών Υλικών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, ΑΠΘ. 203

"Συμβατά, αειφόρα νανο-υλικά στερέωσης και προστασίας μνημείων, σύγχρονων και παραδοσιακών κτιρίων", Χ. Καπριδάκη, Α. Βεργανελάκη, Ν. Καλλίθρακας-Κόντος, Π. Μαραβελάκη, Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, Πολυτεχνείο Κρήτης. 212

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΣΕΛ.

Θεματική Ενότητα 4 **Σύνταξη προδιαγραφών-οδηγιών εφαρμογής για τη διασφάλιση της συμβατότητας υλικών και επεμβάσεων συντήρησης με τα αυθεντικά υλικά και δομικά συστήματα**

"Η κοινωνική και επιχειρηματική διαδικασία συγκρότησης κριτηρίων αποτελεσματικότητας στις νέες τεχνολογίες" Π. Χρυσός, Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ. 223

"Σύστημα Ελέγχου Ποιότητας Επεμβάσεων σε Μνημεία και Ιστορικά Κτίρια. Εφαρμογή σε Αρμολογήματα – Επιχρίσματα – Ενέματα πλήρωσης ασυνεχειών", Ι. Παπαγιάννη, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή ΑΠΘ. 229

Θεματική Ενότητα 5 **Τεχνικές και μέθοδοι ελέγχου ανθεκτικότητας και αντοχής υλικών και επεμβάσεων συντήρησης/αποκατάστασης στο εργαστήριο και στην κλίμακα του μνημείου**

"Βιομηχανικά κτίρια από ωπλισμένο σκυρόδεμα ενισχυμένα με ελκυστήρες: Μια αριθμητική αποτίμηση της απόκρισης για σεισμικές ακολουθίες", Ά. Λιώλιος, Κ. Χαλιορής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης. 244

"Καταγραφή δημιουργίας και μορφολογίας ρωγμής πέτρας με ψηφιακή συμβολομετρία κοκκιδίωσης", Β. Τορνάρη, Α. Μοροπούλου, Ινστιτούτο Ηλεκτρονικής Δομής & Λέϊζερ, ΙΤΕ. 258

"Ανέπαφη και μη-καταστρεπτική εκτίμηση βλαβών σε ιστορικές κατασκευές με τη χρήση Σάρωσης Δονήσεων με Laser", Κ. Π. Προβιδάκης, Ε. Β. Λιαράκος, Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, Πολυτεχνείο Κρήτης. 273

Θεματική Ενότητα 6 **Εφαρμογές συμβατής και αειφόρας αποκατάστασης των μνημείων**

"Κατάσταση διατήρησης και επεμβάσεις συντήρησης στην πρόσοψη του καθολικού της Μονής Αρκαδίου", Α. Τρουλλινού, Μ. Τρουλλινός, Αρχαιολογικό Μουσείο Ρεθύμνου. 283

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΣΕΛ.

"Αποκατάσταση και πρόταση ανάδειξης του Πύργου της Αγιάς στη Νάξο", Ν. Ξάνθος, Ε. Εφεσίου, Ε. Βιντζηλαίου, Α. Μονεμβασίτου, Ε. Τσακανίκα, Φ. Κόνδης, Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ. 294

"Παρεμβάσεις στο δημόσιο χώρο ιστορικών πόλεων και οικισμών στην Ελλάδα Διοικητική παθογένεια, αδυναμίες, δυνατότητες και προοπτικές - Η εμπειρία του Συνηγόρου του Πολίτη", Ε. Γ. Μαυρομάτη, Ε. Ν. Σταματίου, Συνήγορος του Πολίτη. 305

"Έρευνα και καινοτομία στην υπηρεσία της πολιτιστικής κληρονομιάς: Η περίπτωση του Καθολικού της Μονής Δαφνίου", Α. Μιλτιάδου-Fezans, Ειδική Υπηρεσία Προβολής και Αξιοποίησης της Πολιτιστικής Κληρονομιάς και Σύγχρονης Δημιουργίας, ΥΠΠΟΠΑΙΘ. 315

Θεματική Ενότητα 7 **Επιλογή υλικών και μεθοδολογιών για την αποκατάσταση: η εικόνα του μνημείου και οι παρεμβάσεις στο δημόσιο χώρο ιστορικών πόλεων και οικισμών**

"Έργα αναβάθμισης του δημοσίου χώρου σε ιστορικές πόλεις και οικισμούς. Επιλογή υλικών και μορφών", **Ε. Μαϊστρου,** Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, ΕΜΠ. 327

Θεματική Ενότητα 8 **Ανάπτυξη διεπιστημονικής και δι-ιδρυματικής εκπαίδευσης και έρευνας στρατηγικής σημασίας στον τομέα της προστασίας των μνημείων της πολιτιστικής κληρονομιάς**

"Η αποκατάσταση της γέφυρας του Αράχθου στην Πλάκα", **Μανόλης Κορρές,** Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών ΕΜΠ 335

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΣΕΛ.

"Έργο ΜΕΔΝΕΤΑ: Ένα Μεσογειακό πολιτιστικό δίκτυο για την προώθηση της δημιουργικότητας στις τέχνες, την χειροτεχνία και τον σχεδιασμό και την κοινωνική αναζωογόνηση των ιστορικών πόλεων", **Σ. Αυγερινού- Κολώνια,** Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών ΕΜΠ. 346

Θεματική Ενότητα 9 **Μεθοδολογίες, προδιαγραφές και καινοτόμες εφαρμογές μη καταστρεπτικών και αναλυτικών τεχνικών αποτίμησης υλικών και επεμβάσεων συντήρησης**

"Χρήση μη καταστρεπτικών τεχνικών για την τεκμηρίωση του τρόπου δόμησης ιστορικών κτιρίων και μνημείων. Παραδείγματα εφαρμογής", Ε. Βιντζηλαίου, Β. Παλιεράκη, Χ. -Ε. Αδάμη, Β. Νικολοπούλου, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, ΕΜΠ. 356

"Τρισδιάστατη (3D) ανακατασκευή της φθοράς των υλικών πολιτιστικής κληρονομιάς ως ένα συμπληρωματικό εργαλείο διάγνωσης", Ε. Αλεξάκης, Α. Μοροπούλου, Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ. 365

"Μη καταστρεπτική μεθοδολογία έρευνας για τη μελέτη των χρυσών και αργυρών ψηφίδων από τα ψηφιδωτά του καθολικού της Μονής Δαφνίου", Π. Λουκοπούλου, Α. Μοροπούλου, Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ,Δ/Α Συντήρησης, ΥΠΠΟΠΑΙΘ. 381

Θεματική Ενότητα 10 **Κριτήρια και μεθοδολογία αποτίμησης υλικών και επεμβάσεων συντήρησης και αποκατάστασης**

"Κριτήρια και μεθοδολογία αποτίμησης προηγμένων υλικών και επεμβάσεων συντήρησης και αποκατάστασης", Π. Θεουλάκης, Ν.Α. Στεφανής, ΤΕΙ Αθηνών. 393

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΣΕΛ.

"Υλικά και Επεμβάσεις για την Αποκατάσταση, Συντήρηση και την Προστασία των Αρχιτεκτονικών Επιφανειών του κτιρίου της Ιστορικής Πρυτανείας του Ιστορικού Συγκροτήματος του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου στην Πατησίων", Αικ. Δελέγκου, Π. Μούνδουλας, Μ. Μερτζάνη, Α. Μοροπούλου, Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ 404

Θεματική Ενότητα 11 — Επιστημονική υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων για υλικά και επεμβάσεις συντήρησης και αποκατάστασης

"Κρίσιμες παράμετροι για τη λήψη αποφάσεων για συμβατά και επιτελεστικά κονιάματα αποκατάστασης", Μ. Αποστολοπούλου, Π. Μούνδουλας Ε. Αγγελακοπούλου, Α Μπακόλας, Α. Μοροπούλου, Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ. 415

"Επιστημονική υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων για υλικά και επεμβάσεις στερέωσης", Α. Κιούση, Μ. Καρόγλου, Ε. Ξυνοπούλου, Α. Μπακόλας, Α. Μοροπούλου, Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ. 424

"Πλατφόρμα γνώσης για την υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων σε σχέση με την Προστασία της Πολιτιστικής Κληρονομιάς: Αποτίμηση Επεμβάσεων Καθαρισμού", Αικ. Δελέγκου, Α. Δουλάμης, Α. Μοροπούλου, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, ΕΜΠ. 432

"Σύστημα αξιολόγησης μεθόδων συντήρησης και αξιολόγησης εναλλακτικών δράσεων αποκατάστασης μνημείων πολιτισμικής κληρονομίας", Ε. Πρωτοπαπαδάκης, Κ. Μακαντάσης, Α. Κιούση, Α. Δουλάμης, Μ. Καρόγλου, Α. Μοροπούλου, Πολυτεχνείο Κρήτης, ΕΜΠ. 444

"Γνωσιακές Βάσεις Δεδομένων για τη Συγκρότηση της Πλατφόρμας ΘΑΛΗΣ ΑΕΙΣ", Α. Δουλάμης, Κ. Μακαντάσης, Χ. Φραγκουδάκης, Π. Πότικας, Α. Κιούση, Αικ. Δελέγκου, Ε. Αλεξάκης, Α. Μοροπούλου, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Κέντρο Η/Υ, ΕΜΠ. 456

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΑΦΙΣΕΣ ΣΕΛ.

Θεματική Ενότητα 1 **Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές**

"Παραδοσιακά ασβεστοκονιάματα με Υλικά Αλλαγής Φάσης", Μ. Θεοδωρίδου, Λ. Κυριάκου, Ι. Ιωάννου, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Κύπρου. 469

"Ιστορικά δομικά υλικά: ενώσεις θειικού ασβεστίου σε μεταβυζαντινά έργα", Γ.Π. Μαστροθεόδωρος, Κ.Γ. Μπέλτσιος, Β. Παπαδοπούλου, Τμήμα Μηχανικών Επιστήμης Υλικών, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Εργαστήριο Αρχαιομετρίας, ΙΝΝ, ΕΚΕΦΕ 'Δημόκριτος, Εφορεία Αρχαιοτήτων Άρτας. 479

"Ιστορική αναδρομή στις εργασίες αναστήλωσης των τοιχογραφιών του καθολικού της Μονής Παναγίας Σκοπιώτισσας στη Ζάκυνθο", Κ. Στουπάθης, Εργαστηρίων Συντήρησης Μουσείου Ελληνικής Λαϊκής Τέχνης/Μουσείου Λαικών Οργάνων & Συλλογή Φοίβου Ανωγειανάκη, ΥΠΠΟ. 490

"Επιστημονική υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων για αειφόρα και συμβατά υλικά και επεμβάσεις συντήρησης και προστασίας της πολιτιστικής κληρονομιάς – Βάση Δεδομένων Ιστορικών δομικών Υλικών", Θ. Μαρκόπουλος, Π. Μαραβελάκη, Φ. Μαλούχου-Tufano, Π. Ροτόντο, Γ. Τριανταφύλλου, Α. Κιούση, Α. Μοροπούλου, Πολυτεχνείο Κρήτης, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. 507

Θεματική Ενότητα 2 **Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές**

"Καινοτόμος διαγνωστική μελέτη του ιστορικού κτιρίου του ISIA στη Φλωρεντία", Μ. Καρόγλου, Αικ. Δελέγκου, Κ. Λαμπρόπουλος, Α. Μοροπούλου, Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ. 519

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΣΕΛ.

"Αξιολόγηση της κατάστασης διατήρησης της ιστορικής πύλης της Τύνιδας - Medina " Souk des Chesias ", Α. Μοροπούλου, Αικ. Δελέγκου, Κ. Λαμπρόπουλος, Δ. Αθανασίου, Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ. 527

"Πολιτιστική κληρονομιά σε κίνδυνο και πληθοπορισμός", Ε. Κ. Σταθοπούλου, Α. Γεωργόπουλος, Γ. Παναγιωτόπουλος, Δ. Καλιαμπάκος, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, ΕΜΠ. 540

"Keratin and collagen polypeptide models as a means for assessing the deterioration of organic materials of cultural heritage" Ε. Φώτου, Ε. Πάνου-Πομόνης, Ε. Ιωακειμόγλου , Κ. Μαλέα, Γ. Παναγιάρης, Μ. Σακαρέλλος-Δαϊτσιώτης, Τμήμα Οργανικής Χημείας και Βιοχημείας, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Τμήμα Συντήρησης Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης, ΤΕΙ Αθήνας 554

Θεματική Ενότητα 3 **Νέα προηγμένα υλικά, τεχνολογίες και επεμβάσεις αποκατάστασης**

"Τροποποιημένα σωματιδιακά πυριτικά υλικά για τη στερέωση πορωδών λίθων", Ε. Ξυνοπούλου, Α. Μπακόλας, Α. Μοροπούλου, Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ. 561

"Χαρακτηρισμός καμένων έργων τέχνης μετά από διεργασία καθαρισμού με λέιζερ", Α. Γουσέτης, Α.Α. Σεραφετινίδης, Χρ. Ευαγγελάτος, Μ. Μακροπούλου, Ν. Αντωνοπούλου-Αθέρα, Η. Χατζηθεοδωρίδης, Μ. Δουλγερίδης, Α. Τερλιξή, Σχολή Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών, ΕΜΠ. 570

Θεματική Ενότητα 7 **Επιλογή υλικών και μεθοδολογιών για την αποκατάσταση: η εικόνα του μνημείου και οι παρεμβάσεις στο δημόσιο χώρο ιστορικών πόλεων και οικισμών**

"Συνέργεια παλιού και νέου ιστορική φρουριακή αρχιτεκτονική – σύγχρονες επεμβάσεις", Α. Λαλαούνη, Λ. Στεφανίδου, Τμήμα Αρχιτεκτόνων, Πολυτεχνική Σχολή ΑΠΘ. 580

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΣΕΛ.

Θεματική Ενότητα 8 — **Ανάπτυξη διεπιστημονικής και διιδρυματικής εκπαίδευσης και έρευνας στρατηγικής σημασίας στον τομέα της προστασίας των μνημείων της πολιτιστικής κληρονομιάς**

"Αποτίμηση του ¨Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών του ΕΜΠ στην "Προστασία Μνημείων" - Κατεύθυνση "Υλικά και Επεμβάσεις Συντήρησης" Α. Μοροπούλου, Α. Λαμπροπούλου, Σχολή Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ. 597

"Η συνεισφορά των ΓΣΠ για την ολοκληρωμένη προστασία των μνημείων: Η περίπτωση της Ακρόπολης του Ερημόκαστρου και της Ακρόπολης του Σαραντάπηχου, Ρόδος, Ελλάδα". Ε. Τσιλιμαντού, Ε. Οικονομοπούλου, Αικ. Δελέγκου, Ι. Σαγίας, Χ. Ιωαννίδης, Α. Μοροπούλου, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ. 607

"Πλατφόρμα ηλεκτρονικής εκπαίδευσης μαθητών σε θέματα δομημένης πολιτιστικής κληρονομιάς", Α. Μοροπούλου, Α. Κωνσταντή, Κ. Λαμπρόπουλος, Α. Lobovikov – Katz, Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ Technion - Israel Institute of Technology. 615

"Οικολογικά Έξυπνες Ανθεκτικές Στρατηγικές και Καινοτόμες Τεχνολογίες στην Προστασία της Πολιτισμικής Κληρονομιάς", Α. Δουλάμης, Κ. Λαμπρόπουλος, Δ. Κυριαζής και Α. Μοροπούλου, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Πανεπιστήμιο Πειραιά. 625

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΣΕΛ.

Θεματική Ενότητα 9 **Μεθοδολογίες, προδιαγραφές και καινοτόμες εφαρμογές μη καταστρεπτικών και αναλυτικών τεχνικών αποτίμησης υλικών και επεμβάσεων συντήρησης**

"Παρακολούθηση της υγείας των μεταβυζαντινών μνημείων με χρήση θερμογραφίας υπερύθρων" Δ. Έξαρχος, Ε. Κορδάτος, Χ. Σταυράκος, Α. Μοροπούλου, Τ. Ματίκας, Τμήμα Επιστήμης Υλικών και Μηχανικής, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Sheffield Hallam Univ. (United Kingdom), Τμήμα Ιστορίας και Αρχαιολογίας, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων. 636

"Αποτίμηση ασύμβατων επεμβάσεων συντήρησης στον Πανίερο Ναό της Αναστάσεως στα Ιεροσόλυμα, με χρήση μη καταστρεπικών τεχνικών", Α. Μοροπούλου, Α. Μπακόλας, Μ. Καρόγλου Αικ. Δελέγκου, Κ. Λαμπρόπουλος, Δ. Διαμαντίδου, Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ. 648

"Προστασία και Διατήρηση της Πολιτιστικής Κληρονομιάς βάσει έρευνας, μη καταστρεπτικών δοκιμών στην εκκλησία της Παναγιάς της Φορβιώτισσας στην Ασίνου (Κύπρος)", Ε. Αλεξάκης, Μ. Ιωαννίδης, Α. Μοροπούλου, Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ, Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου. 658

ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΤΥΠΟΥ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗΣ

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Η μεθοδολογία της Αντίστροφης Μηχανικής Προσέγγισης για τον χαρακτηρισμό του αυθεντικού κονιάματος του Γεφυριού της Πλάκας στην Ήπειρο, και πρόταση συμβατών και επιτελεστικών κονιαμάτων αποκατάστασης (Reverse Engineering Methodology for the characterization of the Authentic mortar of Plaka Bridge in Epirus, and compatible restoration mortar proposal)

Α. Μοροπούλου, Π. Μούνδουλας, Α. Δελέγκου, Α. Μπακόλας

Abstract

After an extensive rainfall on February 2015, Plaka Bridge on river Arahthos had collapsed. The need for restructuring the bridge renders the necessity for the characterization of the authentic materials of the bridge.

Reverse engineering methodology, which is followed by the Materials Science and Engineering Laboratory, allows the characterization and evaluation of the physicochemical and physicomechanical properties of the historic – authentic mortars.

The steps of this methodology are: characterization of historic mortars, production of restoration mortars, and evaluation of restoration mortars during setting and hardening, optimization of mortars syntheses and finally pilot application in situ.

In this research Thermal Analysis for quality and quantity evaluation was used, along with XRay Diffraction for detection of crystalline phases, Mercury Intrusion Porosimetry for evaluating the microstructure and Scanning Electron Microscopy along with EDX.

The results indicate that the historic mortars have followed the hot lime technology mortars, which allow the proposal for compatible restoration mortars.

Περίληψη

Τον Φεβρουάριο του 2015 μετά από παρατεταμένες βροχοπτώσεις το γεφύρι στην Άραχθο Άρτας, γνωστό και ως γεφύρι της Πλάκας κατέρρευσε. Κατέρρευσε σχεδόν πλήρως το κεντρικό τόξο και το μεγαλύτερο τμήμα του ανατολικού βάθρου της γέφυρας περίπου κατά 50%. Παρά την πρώτη εντύπωση ολικής κατάρρευσης το απομένον 50% της όψης της γέφυρας ευρίσκεται στη θέση του.

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Η ανάγκη της αναγνώρισης των παραδοσιακών δομικών υλικών είναι πολύ σημαντική έτσι ώστε η αναστήλωση του να είναι επιτυχής, αλλά και συμβατή με την αυθεντική κατασκευή, αλλά και τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν να είναι επιτελεστικά.

Η μεθοδολογία της Αντίστροφης Μηχανικής Προσέγγισης, που αποδείχθηκε αξιόπιστη για την αξιολόγηση των φυσικοχημικών και μηχανικών ιδιοτήτων παραδοσιακών υλικών, ακολουθήθηκε στο Εργαστήριο Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Η μεθοδολογία της αντίστροφης μηχανικής ξεκινά από την αναγνώριση των ιστορικών κονιαμάτων μέχρι και τη φάση της εφαρμογής των λαμβανόμενων αποτελεσμάτων σε πιλοτική κλίμακα.

Συνοπτικά τα βήματα της μεθοδολογίας της αντίστροφης μηχανικής προσέγγισης είναι: Ο Χαρακτηρισμός Ιστορικών Κονιαμάτων, η Παρασκευή Κονιαμάτων Αποκατάστασης, η Αποτίμηση των Χαρακτηριστικών των Κονιαμάτων Αποκατάστασης, η Αριστοποίηση Παρασκευής Κονιαμάτων Αποκατάστασης και τέλος η πιλοτική εφαρμογή επί τόπου.

Ακολουθώντας την παραπάνω μεθοδολογία, είναι δυνατός ο χαρακτηρισμός των ιστορικών κονιαμάτων, όσον αφορά τις χαρακτηριστικές παραμέτρους μικροδομής τους, την αναλογία συνδετικής ύλης/αδρανών, το είδος της συνδετικής ύλης αλλά και των χρησιμοποιούμενων αδρανών, καθώς και τα μηχανικά τους χαρακτηριστικά, βάσει αναλυτικών μεθόδων.

Στη συγκεκριμένη εργαστηριακή μελέτη πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω εργαστηριακές μετρήσεις: Θερμικές Μέθοδοι Ανάλυσης για ποιοτική και ποσοτική ανάλυση, Ποροσιμετρία Hg για την έρευση των χαρακτηριστικών παραμέτρων της μικροδομής των κονιαμάτων. Περίθλαση ακτίνων Χ (XRD) για ανίχνευση κρυσταλλικών ενώσεων σε δείγμα κονιοποιημένου κονιάματος

Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης (SEM). Η τεχνική αυτή επιτρέπει την παρατήρηση των κονιαμάτων σε μεγάλες μεγεθύνσεις. Με τη βοήθεια της μικροανάλυσης (EDX) είναι δυνατό να ταυτοποιηθούν πολλές από τις ενώσεις που συναντώνται στα κονιάματα, μέσω στοιχειακής ημι-ποσοτικής ανάλυσης.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι τα αυθεντικά κονιάματα στο Γεφύρι της Πλάκας είναι της κατηγορίας της επί τόπου έσβεσης της ασβέστου, αποτέλεσμα που επιτρέπει να γίνει πρόταση για συμβατά κονιάματα αποκατάστασης.

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Χαρακτηρισμός Αυθεντικού Κονιάματος Γεφυριού Πλάκας και πρόταση για κονίαμα αποκατάστασης

Η μεθοδολογία της αντίστροφης μηχανικής προσέγγισης (reverse engineering)

Τον Φεβρουάριο του 2015 μετά από παρατεταμένες βροχοπτώσεις το γεφύρι στην Άραχθο Άρτας, γνωστό και ως γεφύρι της Πλάκας κατέρρευσε. Κατέρρευσε σχεδόν πλήρως το κεντρικό τόξο και το μεγαλύτερο τμήμα του ανατολικού βάθρου της γέφυρας περίπου κατά 50%. Παρά την πρώτη εντύπωση ολικής κατάρρευσης το απομένον 50% της όψης της γέφυρας ευρίσκεται στη θέση του.

Η ανάγκη της αναγνώρισης των παραδοσιακών δομικών υλικών είναι πολύ σημαντική έτσι ώστε η αναστήλωση του να είναι επιτυχής, αλλά και συμβατή με την αυθεντική κατασκευή, αλλά και τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν να είναι επιτελεστικά. Αρνητικά αποτελέσματα σε πρόσφατα αποκατεστημένα κτίρια, λόγω της χρήσης ακατάλληλων υλικών, οδήγησαν στην επιτακτική ανάγκη έρευνας των ιστορικών υλικών.

Η τεχνολογία παραγωγής των παραδοσιακών δομικών υλικών, όπως κονίες αρμών, επιχρίσματα, στεγανωτικά κονιάματα κλπ., ενώ έχει αποδείξει αξιοσημείωτη μακροβιότητα, έχει απολεσθεί, δεδομένου ότι τα παραδοσιακά υλικά έχουν εκτοπισθεί από σύγχρονα υλικά ευρείας εφαρμογής, όπως τσιμέντο και τεχνητά πολυμερή, μη συμβατά με τα αυθεντικά υλικά, με αποτέλεσμα να έχουν προκληθεί ανεπανόρθωτες ζημιές σε πολλά μνημεία της αρχιτεκτονικής κληρονομιάς. Πρόσφατες επεμβάσεις σε ιστορικές τοιχοποιίες χρησιμοποιώντας μοντέρνα υλικά απέδειξαν ότι τα υλικά αυτά είναι ασύμβατα με τα αυθεντικά, προκαλώντας συχνά σοβαρές καταστροφές φυσικοχημικής και μηχανικής φύσεως.

Μια συστηματική έρευνα, που έγινε τα τελευταία χρόνια σε αρχιτεκτονικά μνημεία στην περιοχή της Μεσογείου, αποκάλυψε την ακολουθούμενη τεχνογνωσία και προχώρησε στην ταξινόμηση των υλικών αυτών σε κατηγορίες ανά ιστορικές περιόδους, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους. Η έρευνα αυτή πραγματοποιήθηκε πάνω σε ένα μεγάλο αριθμό δειγμάτων κονιαμάτων, προερχόμενα από μνημεία της αρχαίας Ελληνικής και Ελληνιστικής περιόδου, Ρωμαϊκά, Βυζαντινά, Μεταβυζαντινά και Ενετικά μνημεία, καθώς και σε δείγματα κονιαμάτων μεταγενέστερων αποκαταστάσεων από οχυρωματικά έργα, μοναστήρια κι εκκλησίες και ιστορικά κτίρια της Μεγάλης Ελλάδας, της Ρόδου, της Κρήτης, της Κέρκυρας, του Αγίου Όρους, της Βενετίας και της Κωνσταντινούπολης.[1-18]

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Η μεθοδολογία, που αποδείχθηκε αξιόπιστη για την αξιολόγηση των φυσικοχημικών και μηχανικών ιδιοτήτων αυτών των παραδοσιακών υλικών, είναι η μεθοδολογία της αντίστροφης μηχανικής προσέγγισης (Reverse Engineering), η οποία ακολουθείται στο Εργαστήριο Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Πρόκειται για τεχνολογία η οποία αφορά στην ολοκληρωμένη προσέγγιση των αυθεντικών υλικών. Με χρήση νέων τεχνικών είναι δυνατή η ανάλυση των ιστορικών κονιαμάτων και η εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τις πρώτες ύλες που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και την τεχνολογία παραγωγής τους. Η μεθοδολογία της αντίστροφης μηχανικής ξεκινά από την αναγνώριση των ιστορικών κονιαμάτων μέχρι και τη φάση της εφαρμογής των λαμβανόμενων αποτελεσμάτων σε πιλοτική κλίμακα.

Τα σημαντικότερα σημεία της αντίστροφης μηχανικής και οι ακολουθούμενες φάσεις - από τη φάση της εξέτασης των ιστορικών υλικών μέχρι και την παρασκευή κονιαμάτων αποκατάστασης- συνοψίζονται παρακάτω:

1. Δειγματοληψία αντιπροσωπευτικών δειγμάτων κονιαμάτων, που έχουν υποστεί φθορά (περιβαλλοντική, φυσική, μηχανική) στο μικρότερο δυνατό βαθμό
2. Φυσικοχημικές και ορυκτολογικές αναλύσεις, στα συνολικά δείγματα και σε επιμέρους κλάσματα των δειγμάτων μετά από φυσικό διαχωρισμό.
3. Δοκιμές για τον προσδιορισμό των μηχανικών ιδιοτήτων. Αποτίμηση των μηχανικών αντοχών των κονιαμάτων, καθώς και κονιαμάτων/δομικών υλικών, με ενόργανες και μη καταστρεπτικές μεθόδους (στατικές και δυναμικές).

Συνοπτικά τα βήματα της μεθοδολογίας της αντίστροφης μηχανικής προσέγγισης είναι: Ο Χαρακτηρισμός Ιστορικών Κονιαμάτων, η Παρασκευή Κονιαμάτων Αποκατάστασης, η Αποτίμηση των Χαρακτηριστικών των Κονιαμάτων Αποκατάστασης, η Αριστοποίηση Παρασκευής Κονιαμάτων Αποκατάστασης και τέλος η πιλοτική εφαρμογή επί τόπου.

Εργαστηριακοί έλεγχοι για την αναγνώριση της τεχνολογίας των ιστορικών κονιαμάτων

Ακολουθώντας την παραπάνω μεθοδολογία, είναι δυνατός ο χαρακτηρισμός των ιστορικών κονιαμάτων, όσον αφορά τις χαρακτηριστικές παραμέτρους μικροδομής τους, την αναλογία συνδετικής ύλης/αδρανών, το είδος της συνδετικής ύλης αλλά και των

χρησιμοποιούμενων αδρανών, καθώς και τα μηχανικά τους χαρακτηριστικά, βάσει αναλυτικών μεθόδων.[19-23]

Στη συγκεκριμένη εργαστηριακή μελέτη πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω εργαστηριακές μετρήσεις:

Θερμικές Μέθοδοι σε μια θερμοκρασιακή κλίμακα 25-1000°C και με ρυθμό 10°C/min, για ποιοτική και ποσοτική ανάλυση.

Ποροσιμετρία Hg για την έρευση των χαρακτηριστικών παραμέτρων της μικροδομής των κονιαμάτων. Τα μεγέθη που καταγράφονται είναι ο ολικός ειδικός όγκος, η φαινόμενη πυκνότητα, η ειδική επιφάνεια, η μέση ακτίνα των πόρων και το ολικό πορώδες.

Περίθλαση ακτίνων Χ (XRD) για ανίχνευση κρυσταλλικών ενώσεων σε δείγμα κονιοποιημένου κονιάματος σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες του 5%

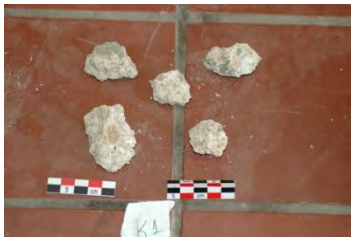
Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης (SEM). Η τεχνική αυτή επιτρέπει την παρατήρηση των κονιαμάτων σε μεγάλες μεγεθύνσεις. Λαμβάνονται πληροφορίες για την μικροδομή, τη φύση των αδρανών και της μήτρας, τα φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα στη διεπιφάνεια αδρανών-μήτρας και κονιάματος-δομικού λίθου. Με τη βοήθεια της μικροανάλυσης (EDX) είναι δυνατό να ταυτοποιηθούν πολλές από τις ενώσεις που συναντώνται στα κονιάματα, μέσω στοιχειακής ημι-ποσοτικής ανάλυσης.

Το εργαστήριο Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών έχει πραγματοποιήσει επίσης μετρήσεις σε αρκετά παραδοσιακά γεφύρια της Ηπείρου, (της Κόνιτσας, της Κλειδονιάβιστας, του Αγίου Μηνά, του Κόκκορου, το Καλογερικό, του Κοντοδήμου, της Παναγιάς, του Καμπέρ Αγά κ.ά)

Η μελέτη αυτή σε συνδυασμό με την βάση δεδομένων που έχει προκύψει με την μεθοδολογία χαρακτηρισμού του Εργαστηρίου Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών, μας δίνει τη δυνατότητα να αξιοποιήσουμε τα δεδομένα αυτά για τον χαρακτηρισμό των εν’ λόγω κονιαμάτων.

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Δειγματοληψία – Μακροσκοπικές παρατηρήσεις



K1 Κονίαμα Γεμίσματος

K2 Κονίαμα από τύμπανο

K3 Κονίαμα κυρίως τόξου

K4 Κονίαμα γύρω από οριζόντια ξυλεία εντός σώματος βάθρου

K5 Κονίαμα γύρω από ξυλεία εσχάρας τόξου

K7

Όλα τα δείγματα κονιαμάτων, ανεξάρτητα από το που προέρχονται παρουσιάζουν κοινά χαρακτηριστικά. Σε όλες τις περιπτώσεις διακρίνονται εμφανώς συσσωματώματα ασβέστη, τα οποία πιθανόν να οφείλονται στις συνθήκες ανάμιξής τους. Δεν παρουσιάζονται τουλάχιστον στα δείγματα που είχαμε στη διάθεσή μας προϊόντα βιοδιάβρωσης, ενώ ήδη μακροσκοπικά φαίνεται ότι έχουν κοινά αδρανή με μεγάλα ποσοστά κονίας

σε σχέση με τα αδρανή. Επίσης όλα τα δείγματα των κονιαμάτων είναι ελαφροβαρή, κάτι που σημαίνει ότι έχει γίνει χρήση ελαφροβαρών αδρανών, πέραν της ποταμίσιας πυριτικής άμμου.

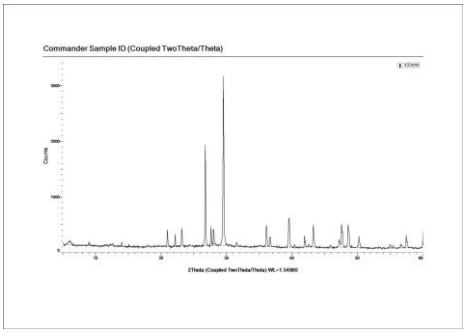
Αποτελέσματα Περίθλασης Ακτίνων Χ

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι κύριες ορυκτολογικές φάσεις των δειγμάτων που εξετάστηκαν με τη μέθοδο της Περίθλασης Ακτίνων Χ (XRD). Στη συνέχεια ακολουθούν τα αντίστοιχα γωνιογράμματά τους.

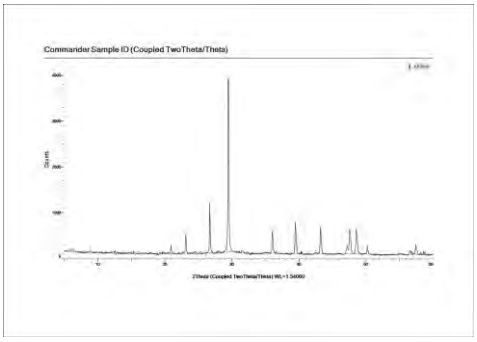
Ονομασία/Κωδικός Δείγματος	**Ορυκτολογική Σύσταση**
Πωρόλιθος	Μαγνησιακός Καλσίτης, Χαλαζίας, Μοσχοβίτης, Μοντμοριλονίτης - Χλωρίτης
Λίθος 3 (Λ3)	Χαλαζίας, Καλσίτης, Μοσχοβίτης, Μοντμοριλονίτης – Χλωρίτης
Κονίαμα 1 (Κ1)	Καλσίτης, Χαλαζίας, Μοσχοβίτης, Μοντμοριλονίτης-Χλωρίτης,
Κονίαμα 2 (Κ2)	Καλσίτης, Χαλαζίας, Αλβίτης, Μοντμοριλονίτης, Μοντμοριλονίτης – Χλωρίτης, Μοσχοβίτης, Χλωρίτης - Σερπεντίτης
Κονίαμα 3 (Κ3)	Καλσίτης, Χαλαζίας, Αλβίτης, Χλωρίτης Σερπεντίτης, Μοντμοριλονίτης, Μοντμοριλονίτης – Χλωρίτης
Κονίαμα 4 (Κ4)	Καλσίτης, Χαλαζίας, Μοσχοβίτης, Μοντμοριλονίτης – Χλωρίτης, Μοντμοριλονίτης, Χλωρίτης – Σερπεντίτης
Κονίαμα 5 (Κ5)	Καλσίτης, Χαλαζίας, Χριστοβαλίτης
Κονίαμα 7 (Κ7-ΚΑΣΚ)	Καλσίτης, Χαλαζίας, Μοντμοριλονίτης, Μοντμοριλονίτης – Χλωρίτης, Μοσχοβίτης
Κονίαμα Ξύλου 2 (ΚΞ2)	Καλσίτης, Χαλαζίας, Αλβίτης

Τόσο τα δείγματα των κονιαμάτων όσο και τα δείγματα των λίθων έχουν κυρίως ασβεστιτική και χαλαζιακή σύσταση με παρουσία σε όλα ή στα περισσότερα δείγματα Μοσχοβίτη, Μοντμοριλονίτη, Σερπεντίτη και Μοντμοριλονίτη – Χλωρίτη. Αυτό το γεγονός επιβεβαιώνει σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα που θα παρουσιαστούν παρακάτω, ότι πρόκειται για κονιάματα επί τόπου έσβεσης της ασβέστου και επί τόπου ανάμιξης με υλικά, τα οποία δρουν ως ενεργά αδρανή ή πρόσθετα.

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές



Γωνιόγραμμα Κονιάματος 3 (K3)



Γωνιόγραμμα Κονιάματος 4 (K4)

Αποτελέσματα Θερμικών Μεθόδων Ανάλυσης (Διαφορική Θερμική Ανάλυση – Θερμοβαρυμετρία)

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα των δειγμάτων που εξετάστηκαν με Θερμικές Μεθόδους Ανάλυσης (Διαφορική Θερμική Ανάλυση – Θερμοβαρυμετρία).

Όρια αποδοχής με βάση τις θερμικές μεθόδους ανάλυσης.

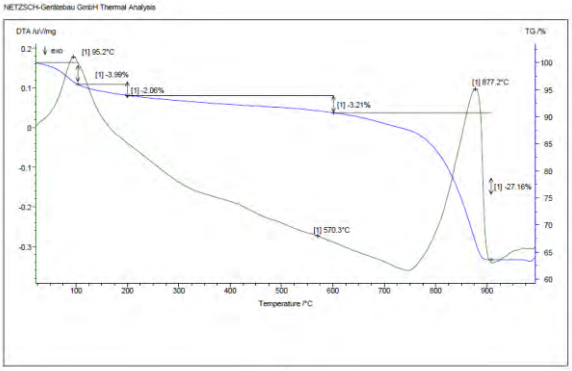
Δείγματα	Υγροσκοπικό Νερό (%)	Χημικά Δεσμευμένο νερό (%)	Περιεχόμενο CO_2 (%)	Λόγος CO_2/H_2O
K1	5,17	3,96	26,86	6,78
K2	1,66	4,87	15,05	3,09
K3	4,69	2,76	19,54	7,07
K4	4,75	3,98	28,07	7,05
K5	17,57	5,99	13,77	2,29
K7	4,06	4,19	13,40	3,19
Kw	1,62	3,30	16,65	5,04

Από τα παραπάνω δεδομένα και σε συνδυασμό με τις υπόλοιπες τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν για τον χαρακτηρισμό των κονιαμάτων καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι τα κονιαμάτα παρουσιάζουν έντονο υδραυλικό χαρακτήρα, έχουν παρασκευαστεί από υδράσβεστο και ενεργά πρόσθετα (ποζολάνη), με μέση τιμή αναλογίας συνδετικής ύλης/αδρανή 1:2 ίσως και χαμηλότερα. Τα κονιάματα αυτά θα έπρεπε να παρουσιάζουν αξιόλογες μηχανικές αντοχές, λόγω της ανάπτυξης ενώσεων με υδραυλικό χαρακτήρα αναπτύσσοντας ταυτόχρονα συμβατές μικροδομές με τα ιστορικά δομικά στοιχεία των τοιχοποιιών, καθώς επίσης και αξιόλογη

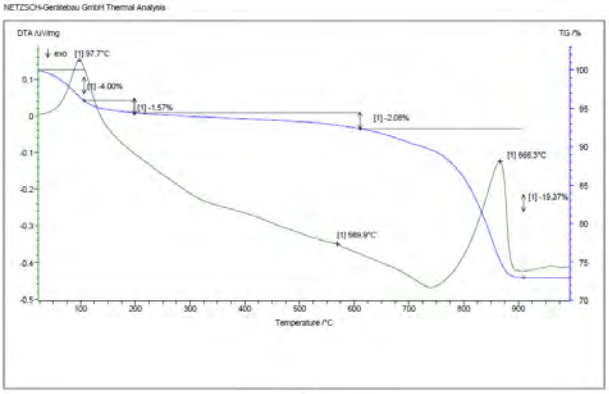
μακροβιότητα. Το χαρακτηριστικό των εν λόγω κονιαμάτων είναι το πολύ μεγάλο ποσοστό φυσικά ροφημένου νερού (λογικό λόγω της θέσης των κονιαμάτων), το οποίο μπορεί να εξηγεί και τις μικρότερες του αναμενομένου μηχανικές αντοχές. Τόσο η συνεχής έκθεση των κονιαμάτων στα καιρικά φαινόμενα όσο και η έντονη παρουσία φυσικής υγρασίας μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι τα κονιάματα αυτά ως επιδεκτικά στη φθορά έχουν υποστεί απομείωση των μηχανικών τους αντοχών με την πάροδο του χρόνου. Πέραν του υψηλού ποσοστού χημικά δεσμευμένου νερού και λόγω της ύπαρξης συσσωματωμάτων ασβέστη, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι η τεχνολογία παρασκευής στα εργοτάξια της εποχής ήταν η επί τόπου ανάμιξη της ασβέστου επί τόπου. Από τις θερμικές μεθόδους ανάλυσης προκύπτει επίσης ότι τα αδρανή είναι κυρίως πυριτικής φύσης και μπορεί κάποιος να εικάσει ότι προέρχονται από το ποτάμι.

Ακολουθούν τα αποτελέσματα των θερμικών αναλύσεων όπου φαίνονται οι χαρακτηριστικές κορυφές της φυσικής υγρασίας και της διάσπασης του ανθρακικού ασβεστίου στους 100 και πάνω από του 600 βαθμούς αντίστοιχα, και στις περισσότερες περιπτώσεις φαίνεται η κορυφή που αντιστοιχεί στον χαλαζία, μετασχηματισμός από φάση α σε φάση β, η οποία δεν συνεπάγεται μεταβολή βάρους. Στη θερμοβαρυμετρική καμπύλη φαίνεται ο έντονος υδραυλικός χαρακτήρας των κονιαμάτων, ήδη από την θερμοκρασιακή περιοχή πάνω από τους 120 βαθμούς Κελσίου. Πρέπει να σημειωθεί όμως ότι εκτός από τον έντονο υδραυλικό χαρακτήρα των κονιαμάτων υπάρχει διαφορετικός βαθμός ενανθράκωσης και ενυδάτωσης, γεγονός που ενισχύει την εκδοχή για την τεχνολογία παρασκευής των κονιαμάτων με επί τόπου έσβεση της ασβέστου και ανάμιξη και χρήση των υλικών επί τόπου. Ο συγκεκριμένος τύπος κονιάματος σε συνδυασμό με την ανάγκη αποκατάστασης του συγκεκριμένου μνημείου αποτελεί πρόκληση, για την πρόταση κονιάματος αποκατάστασης, αφού όπως φαίνεται το αυθεντικό κονίαμα είναι μεν υδραυλικό, αλλά τόσο η τεχνολογία παρασκευής του, όσο και η έκθεση του σε αυτό το ιδιαίτερα διαβρωτικό περιβάλλον, έχει απομειώσει τις μηχανικές του αντοχές και έχει διαμορφώσει όπως φαίνεται παρακάτω μικροδομές, οι οποίες είναι επιδεκτικές στη φθορά ειδικά από άλατα κατά τη διαδικασία ύγρανσης – ξήρανσης. Παρακάτω φαίνονται χαρακτηριστικά διαγράμματα θερμικής ανάλυσης

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές



K1



K3

Αποτελέσματα Εξέτασης Μικροδομής (Ποροσιμετρία Υδραργύρου)

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα των δειγμάτων που εξετάστηκαν με τη μέθοδο της Ποροσιμετρίας Υδραργύρου για την εξέταση της Μικροδομής.

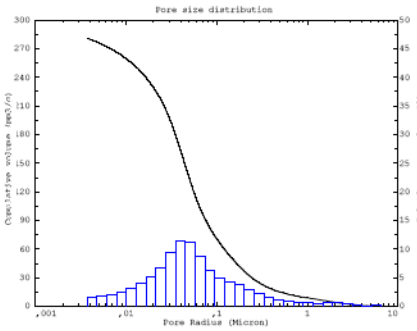
Όρια αποδοχής με βάση τα χαρακτηριστικά της μικροδομής.

Δείγμα	Ολικός ειδικός όγκος (mm^3/g)	Φαινόμενη πυκνότητα (g/cm^3)	Μέση ακτίνα πόρων (μm)	Ειδική επιφάνεια (m^2/g)	Ολικό πορώδες (%)
K1	280.9	1.48	0.047	19.47	41.8
K2	193.8	1.63	0.013	36.01	31.6
K3	387.5	1.24	0.046	29.69	48.1

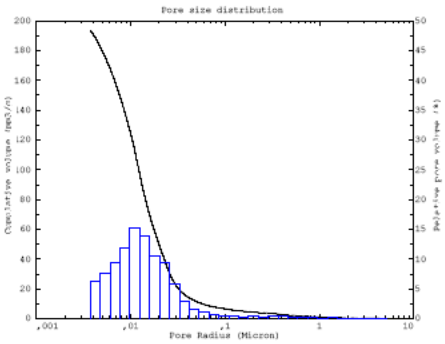
Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

K4	389.3	1.19	0.017	49.49	46.6
K5	418.1	1.11	0.025	41.66	46.6
K7	333.8	1.32	0.017	45.05	44.0

Τα αποτελέσματα της μελέτης μικροδομής των κονιαμάτων, δείχνουν ότι τα χαρακτηριστικά τους τα κατατάσσουν στην κατηγορία των κονιαμάτων επί τόπου έσβεσης της ασβέστου. Τα συγκεκριμένα κονιάματα παρουσιάζονται εξαιρετικά ελαφριά, με υψηλές τιμές ειδικής επιφάνειας. Τα αποτελέσματα της ποροσιμετρίας υδραργύρου επιβεβαιώνουν τα αποτελέσματα των Θερμικών Μεθόδων Ανάλυσης. Οι μικροδομές που έχουν διαμορφωθεί τόσο από την τεχνολογία παρασκευής όσο και από τη διαβρωτική δράση του νερού και των αλάτων τα έχουν καταστήσει ακόμη πιο επιδεκτικές στη φθορά από τους διαβρωτικούς παράγοντες.



K1

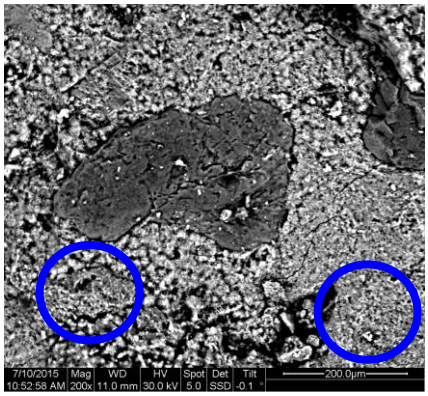


K2

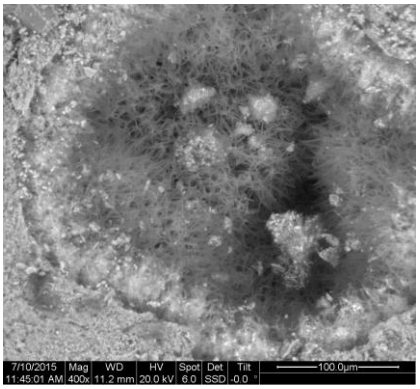
Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Αποτελέσματα Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας Σάρωσης με Μικροανάλυση Ακτίνων Χ

Δείγμα Κ2



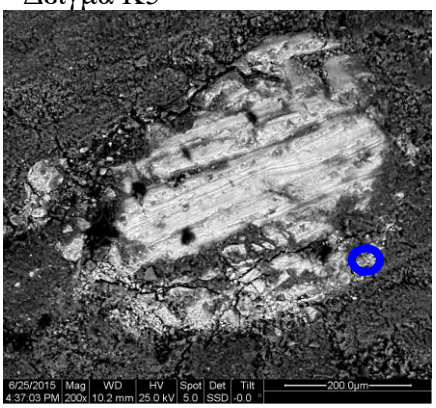
K2 BSE x200



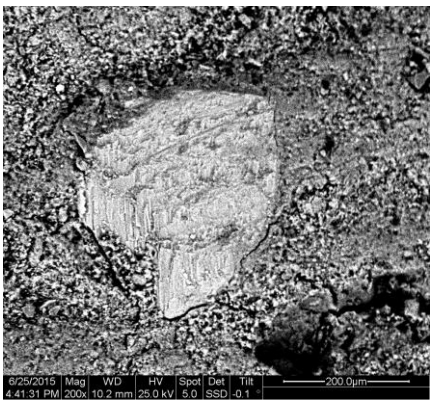
K2 x400 bse ines

Αποτελέσματα Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας Σάρωσης με Μικροανάλυση Ακτίνων Χ

Δείγμα Κ5



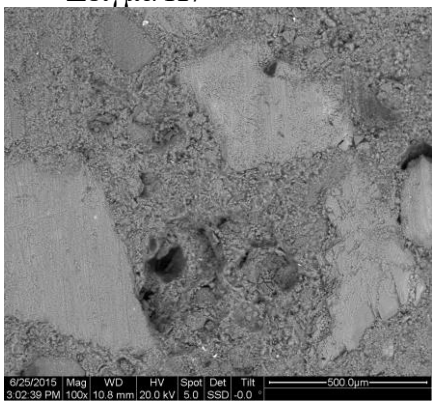
K5 BSE white rock spot 1



K5 BSE white rock spot2

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Δείγμα Κ7



K7 BSE general

K7 BSE adranes spot 1

Τα αποτελέσματα που φαίνονται παραπάνω αφορούν σε δείγματα κονιαμάτων σε μετρήσεις τόσο στη μήτρα όσο και στα αδρανή τόσο με εικόνες όσο και με χημική μικροανάλυση. Από τις εικόνες φαίνεται ότι η μήτρες των κονιαμάτων είναι συνεκτικές ιδιαίτερα πορώδεις με αδρανή, ή με πρόσθετα που έχουν αντιδράσει με τον ασβέστη και τα οποία έχουν διαμορφώσει φυλλώδεις κρυσταλλικές δομές που ευθύνονται για την απομείωση των μηχανικών αντοχών. Ουσιαστικά με όλα τα αποτελέσματα επιβεβαιώνεται το συμπέρασμα για τη φύση του αυθεντικού κονιάματος

Πρόταση για την παρασκευή κονιάματος αποκατάστασης

Αποτελεί πρόκληση η πρόταση για την παρασκευή ενός κονιάματος αποκατάστασης, το οποίο να είναι συμβατό με την παραδοσιακή κατασκευή και τα υλικά της από τη μία, αλλά και να είναι ανθεκτικό και να βελτιώνει τις ιδιότητες του υφιστάμενου κονιάματος χωρίς να προκαλεί ανισοτροπία και να είναι όσο ελαφρύ είναι το αυθεντικό κονίαμα της κατασκευής.

Το αυθεντικό κονίαμα του Γεφυριού είναι τυπικό παράδειγμα κονιάματος επί τόπου έσβεσης της ασβέστου με επί τόπου ανάμιξη των υλικών και άμεση εφαρμογή του. Είναι χαρακτηριστικές τόσο οι μικροδομές που προκύπτουν όσο και τα αποτελέσματα των Θερμικών Μεθόδων Ανάλυσης.

Λαμβάνεται υπόψη το γεγονός της φθοράς του χρόνου στη διαμόρφωση των τελικών συστημάτων όπως αυτά εμφανίζονται σήμερα. Όλα τα δείγματα τα οποία εξετάστηκαν κρίνονται ως αυθεντικά και δεν εμφανίζονται πουθενά ενδείξεις μεταγενέστερων επεμβάσεων με τσιμέντο ή

ενέματα. Επίσης έγινε προσπάθεια να επιβεβαιωθεί ή να διαψευστεί ο θρύλος που θέλει χιλιάδες αυγά να έχουν σπάσει, ώστε να βοηθήσουν στην κατασκευή του μνημείου. Πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφική έρευνα έτσι ώστε να βρεθεί η κατάλληλη μέθοδος, η οποία θα μπορούσε να αποκαλύψει την ύπαρξη αυγού.

Το χρονικό όμως διάστημα που έχει περάσει μαζί με την αναπόφευκτη αλλοίωση που έχει επέλθει δεν ήταν δυνατόν να επιτρέψει κάτι τέτοιο. Από την άλλη πλευρά, χωρίς αυτό να αποτελεί απόδειξη απόρριψης του θρύλου, σε καμία φάση του ελέγχου των κονιαμάτων, δηλαδή επεξεργασία δειγμάτων, παρασκευή σκόνης, λείανση ή κόψιμο δειγμάτων, τη γενικότερη μακροσκοπική θεώρησή τους, αλλά και από τα αποτελέσματα των μεθόδων που πραγματοποιήθηκαν δεν βρέθηκαν στοιχεία που να οδηγούν σε συμπέρασμα ύπαρξης οργανικών συστατικών. Η υπόθεση εργασίας πάντως χρήζει περαιτέρω διερεύνησης.

Το κονίαμα αποκατάστασης που προτείνεται από την ερευνητική ομάδα του Εργαστηρίου Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών πληροί τις παρακάτω προϋποθέσεις: συμβατότητα υλικών, συγκεκριμένα φυσικοχημικά και φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά δεδομένου του συστήματος που θα εφαρμοστεί, αισθητική, μακροβιότητα

Προτείνεται η χρήση ποζολανικού κονιάματος με υδράσβεστο και πυριτικά αδρανή σε αναλογία κατά βάρος περίπου (15% υδράσβεστος, 15% ποζολάνη, 70% αδρανή)

Η υδράσβεστος η οποία θα χρησιμοποιηθεί θα πρέπει να έχει επιλεγεί αφού πληροί συγκεκριμένα χαρακτηριστικά που αναφέρονται παρακάτω και αποτελούν κριτήριο επιλογής σε κάθε βήμα της διαδικασίας

Ο ασβεστόλιθος από τον οποίο προέρχεται πρέπει να περιέχει τουλάχιστον 98-99% $CaCO3$, Η θερμοκρασία έψησης του ασβεστόλιθου πρέπει να είναι γύρω στους 900°C, έτσι ώστε να παράγεται μικροκρυσταλλικό CaO με υψηλή τιμή ειδικής επιφάνειας, επαρκώς ενεργό, χωρίς προβλήματα στην σβέση, κατάλληλη σβέση του CaO για την παραγωγή $Ca(OH)2$ σε μορφή πολτού, υψηλή περιεκτικότητα σε $CaCO3$ (~50%), το ποζολανικό πρόσθετο το οποίο θα επιλεγεί (φυσικό ή τεχνητό) θα πρέπει να πληροί τα παρακάτω κριτήρια

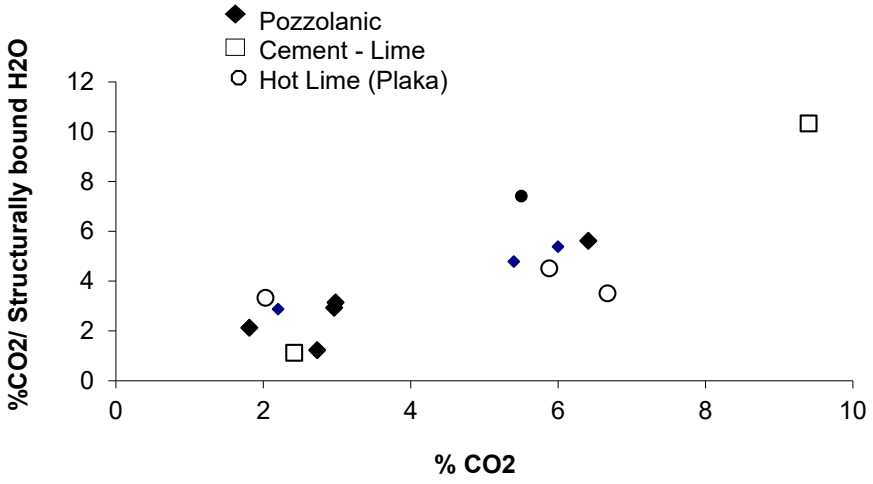
Φυσικές και Τεχνητές Ποζολάνες: Αντοχή σε θλίψη > 5N/mm2, περιεχόμενο ποσοστό σε ενεργό πυρίτιο > 20%, μεγάλη καθαρότητα από ανεπιθύμητες προσμίξεις, μεγάλη λεπτότητα.

Τέλος για τα αδρανή θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η βέλτιστη καμπύλη κόκκων των αδρανών και όχι η υφιστάμενη καμπύλη, καθώς αυτή έχει υποστεί φθορά κατά τη διάρκεια των χρόνων. Προτείνεται τα αδρανή να είναι πυριτικά.

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Ως συνδετική κονία μπορεί να χρησιμοποιηθεί υδράσβεστος σε σκόνη, καθώς είναι εύκολα και εργαστηριακά ελεγχόμενη για την ποιότητά της, αλλά και υδράσβεστος σε σκόνη μετά από πολύ μεγάλο έλεγχο όσον αφορά στα στάδια παρασκευής της.

Ως ποζολανικό ή ενεργό πρόσθετο μπορεί να χρησιμοποιηθεί, μετακαολίνης ο οποίος μπορεί να δώσει τόσο επιθυμητές μικροδομές, παρουσιάζει χημική συγγένεια με το υφιστάμενο κονίαμα και παρουσιάζει επίσης τόσο υψηλή μηχανική αντοχή, όσο και είναι υλικό ελαφρύ και με μεγάλη ανθεκτικότητα.



Πρέπει να σημειωθεί ότι η χρήση τσιμέντου, οποιασδήποτε μορφής δεν συνίσταται, καθώς εκτός της ασυμβατότητας της μικροδομής και των φυσικοχημικών – φυσικομηχανικών χαρακτηριστικών, θα οδηγούσε σε τέτοια ανισοτροπία, η οποία με επιταχυνόμενο ρυθμό θα αποσάρθρωνε το αυθεντικό κονίαμα, αλλά και τα παραδοσιακά δομικά υλικά με τα ποία θα γειτνίαζε.

Στο διάγραμμα που φαίνεται παραπάνω φαίνεται που βρίσκονται στο διάγραμμα που παρουσιάζει την υδραυλικότητα ποζολανικά κονιάματα αποκατάστασης, τα αυθεντικά κονιάματα που μελετήθηκαν καθώς και μετρήσεις από διάφορα είδη τσιμεντιτικών κονιαμάτων.

Ενδεικτική Βιβλιογραφία

Moropoulou, A., Cakmak, A.S., Biscontin, G., Bakolas, A., Zendri, E., “Advanced Byzantine cement based composites resisting earthquake stresses: The crushed brick/lime mortars of Justinian’s Hagia Sophia.”

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Moropoulou, A., Cakmak, A.S., Biscontin, G., "Crushed brick/lime mortars of Justinian's Hagia Sophia."
Cakmak, A.S., Moropoulou, A., Mullen, C.A., "Interdisciplinary study of the Dynamic Analysis and Earthquake response of Hagia Sophia", Journal of Soil Dynamics and Earthquake Engineering, No 14, pp. 125-133 (1995)
Moropoulou, A., Bakolas, A., Michailidis, P., Chronopoulos, M., Spanos, Ch., "Traditional Technologies in Crete providing mortars with effective mechanical properties", Structural Studies of Historical Buildings IV, edited by C.A.Brebbia and B.Leftheris, Computational Mechanics Publications, Southampton, Boston, vol. 1, 1995, pp. 151-161
Μπακόλας Καραγιάννης Αστέριος «Κριτήρια και μέθοδοι Χαρακτηρισμού Ιστορικών Κονιαμάτων» ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ, Αθήνα 2002
Moropoulou, A., Bakolas, A., Bisbikou, K., "Characterization of ancient, byzantine and later historic mortars by thermal analysis and X-ray diffraction techniques", Thermochimica Acta, 269/270 (1995), pp. 779-795
Moropoulou, A., Bakolas, A., Bisbikou, K., "Thermal analysis as a method of characterizing ancient ceramic technologies", Thermochimica Acta, 2570 (1995), pp. 743-753
Biscontin, G., Bakolas, A., Moropoulou, A., Zendri, E., "Microstructural characterization of the historical mortars in Venice", 3rd International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin, Conference Proceedings, edited by V. Fassina, H. Ott & F. Zezza, Venice, 1994, pp. 405-410
Bakolas, A., Biscontin, G., Moropoulou, A., Zendri, E., "Physicochemical characteristics of traditional mortars in Venice", Structural Studies of Historical Buildings IV, edited by C.A. Brebbia and B. Leftheris, Computational Mechanics Publications, Southampton, vol. 1, 1995, pp. 187-194
Bakolas, A., Biscontin, G., Moropoulou, A., Zendri, E., "Characterization of Structural Byzantine Mortars by thermogravimetric analysis", Thermochimica Acta, 321 (1998), pp. 151-160
Moropoulou, A., Biscontin, G., Bisbikou, K., Bakolas, A., Theoulakis, P., Theodoraki, A., Tsiourva, Th., "Physicochemical study of adhesion mechanisms among binding material and brick fragments in 'cocciopesto'", Scienza e Beni Culturali IX, 1993, pp. 415-429
Moropoulou, A., Biscontin, G., Theoulakis, P., Zendri, E., Bakolas, A., Bisbikou, K., Theodoraki, A., "Study of mortars in the Medieval City of Rhodes", In Proc. Int. Congress on the Conservation of Stone and Other Materials, UNESCO-RILEM, Paris, 1993, pp. 394-401
Moropoulou, A., Biscontin, G., Bakolas, A., Michailidis, P., Basiotis, J., "Historic Mortars in Mediterranean Monuments", 4th Int. Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin, Conference Proceedings, Publ. Technical Chamber of Greece, Rhodes, vol.3 (1997), pp. 213-237
Moropoulou, A., Theodoraki, A., Bisbikou, K., Michailidis, P., "Restoration Synthesis of crushed brick mortars simulating Byzantine lime and Material

Technologies in Crete", Materials Issues in Art and Archeology, Materials Research Society, vol. 352 (1995), pp. 759-769
Moropoulou, A., Tsiourva, Th., Bisbikou, A., Bakolas, A., "Hot lime technology imparting high strength to historic mortars", Construction and Building Materials, vol. 2, 1996, pp. 151-159
Moropoulou, A., Cakmak, A.S., Biscontin, G., "Crushed brick lime mortars of Justinian's Hagia Sophia", Materials Issues in Art and Archeology V, Mat. Res. Soc., Pittsburgh, 1996, pp. 317-322
Moropoulou, A., Biscontin, G., Bakolas, A., Bisbikou, A., "Technology and behavior of rubble masonry mortars", Construction and Building Materials, 11 (2), 1997, pp. 119-129
Moropoulou, A., Bakolas, A., "Range of acceptability limits of Physical, Chemical and Mechanical Characteristics deriving from the Evaluation of Historic Mortars", Compatible Materials for the Restoration of European Cultural Heritage, Pact 56, 1998, pp. 165-178
Allesandrini, G., "Gli intonaci nell' edilizia storica: metodologie analitiche per la caratterizzazione chimica e fisica", Scienza e Beni Culturali I, 1985, pp. 147-166
Chiari, G., Santarelli, M.L., Torraca, G., "Charatterizzazione delle malte antiche mediante l' analisi di campioni non frazionati", Materiali e Strutture 3, 1992, pp. 111-137
Mackenzie, R.C., "Differential Thermal Analysis 2", 1st ed., Academic Press, London, 1970
Adams, J.E., Kneller, A.W., "Thermal Analysis of medieval Mortars from Gothic Cathedrals in France", in Engineering Geology of Ancient Works, Balkema, Rotterdam, 1988, pp. 1019-1026
Tassios, Th., Vachliotis, C., Spanos, C., "In situ strength measurements of masonry mortars", In Proc. Int. Conference on Repair and strengthening of Stone Masonries, ICCROM, Athens, 1989, pp. 53-61

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Ανάλυση κονιαμάτων από την αρχαία πόλη Αλίκυρνα με χρήση TXRF και φασματοσκοπίας Raman (Analysis of mortars from the ancient city Alikyrna using TXRF and Raman Spectroscopy)

Ε. Καμηλάρη[1] ,Χ. Κοντογιάννης[1, 2]

[1]Τμήμα Φαρμακευτικής, Πανεπιστήμιο Πατρών
[2]ΙΤΕ/ΙΕΧΜΗ, Πάτρα

Abstract

Mortars are responsible for the cohesion of building materials of monuments or historical buildings. A structural characterization of these kinds of materials is useful for the development of preservation methods and rehabilitation of wears in monuments of cultural heritage since one of the most important factors is the compatibility of the new mortar with the existing one as to their chemical composition.

In research fields such as archaeometry, the use of analytical methods which yield maximum information while causing minimum damage to the examined specimen is essential.

A non-destructive analytical technique which would be suitable for the study of monuments, for artwork and archaeological objects, as it yields information on the molecular composition of the examined samples, is Raman spectroscopy. An additional advantage for Raman spectroscopy is that by focusing the laser beam to different spots of the sample a chemical "mapping" can be obtained.

A technique widely used for the simultaneous analysis of elements in a sample which is also minimally destructive, as it requires approximately 1-2 mg of pulverized sample, is Total Reflection X-Ray Fluorescence (T-XRF). This technique is characterized by increased sensitivity due to reduced matrix effects and very low limits of detection.

In the present work, mortars from different places of ancient city Alikyrna were examined for restoration purposes using both Raman spectroscopy and Total Reflection X-Ray Fluorescence (T-XRF). Based on characteristic Raman vibrations the presence of construction materials such as calcite and quartz was verified. Results of elemental analysis showed relatively high contents of calcium (Ca) and silicon (Si). Magnesium (Mg) was also determined in some samples, suggesting probably the presence of

dolomite. Some of the other elements that were present in the samples were: aluminium (Al), phosphorus (P), sulfur (S), titanium (Ti) and zirconium (Zr).

Περίληψη

Τα κονιάματα είναι υπεύθυνα για τη σύνδεση των δομικών υλικών μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς και ιστορικών κτιρίων. Ο δομικός χαρακτηρισμός τους είναι απαραίτητος, δεδομένου ότι σημαντικός παράγοντας για την επιτυχή ανάπτυξη μεθοδολογίας συντήρησης μνημείων και την αποκατάσταση των φθορών είναι η συμβατότητα του νέου κονιάματος με το ήδη υπάρχον ως προς τη χημική σύσταση.

Στο ερευνητικό πεδίο της Αρχαιομετρίας η χρήση αναλυτικών μεθόδων που παρέχουν τη μέγιστη δυνατή πληροφορία με ελάχιστη φθορά του εξεταζόμενου δείγματος είναι απαραίτητη.

Μία μη-καταστροφική τεχνική κατάλληλη για τη μελέτη μνημείων, ιστορικών αντικειμένων ή έργων τέχνης είναι η φασματοσκοπία Raman, η οποία προσφέρει πληροφορίες για τη χημική σύσταση του υλικού. Επιπλέον, η χαρτογράφηση της επιφάνειας του δείγματος είναι δυνατή με εστίαση της δέσμης του laser σε διαφορετικά σημεία πάνω στο δείγμα.

Μία τεχνική που χρησιμοποιείται ευρέως για την ταυτόχρονη ανάλυση στοιχείων σε πληθώρα δειγμάτων διαφορετικής φύσεως είναι η Φασματοσκοπία Φθορισμού Ακτίνων Χ Ολικής Ανάκλασης (T-XRF). Η μέθοδος χαρακτηρίζεται από αυξημένη ευαισθησία, πολύ χαμηλά όρια ανίχνευσης και είναι ελάχιστα καταστροφική, αφού απαιτείται ποσότητα περίπου 1-2 mg κονιοποιημένου δείγματος.

Στην παρούσα εργασία, κονιάματα που απομονώθηκαν από διάφορα μέρη της αρχαίας πόλης Αλίκυρνα μελετήθηκαν με φασματοσκοπία Raman για προσδιορισμό της σύστασής τους, καθώς και με Φασματοσκοπία Φθορισμού Ακτίνων Χ Ολικής Ανάκλασης (T-XRF). Με βάση τις χαρακτηριστικές συχνότητες δονήσεων Raman διαπιστώθηκε η παρουσία δομικών υλικών όπως ο ασβεστίτης και ο χαλαζίας στα κονιάματα. Τα αποτελέσματα της στοιχειακής ανάλυσης έδειξαν σχετικά υψηλά ποσοστά ασβεστίου (Ca) και πυριτίου (Si). Η παρουσία μαγνησίου (Mg) σε ορισμένα δείγματα υποδηλώνει την ύπαρξη δολομίτη. Μερικά από τα υπόλοιπα στοιχεία που προσδιορίστηκαν είναι: αλουμίνιο (Al), φώσφορος (P), θείο (S), τιτάνιο (Ti) και ζιρκόνιο (Zr).

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Introduction

Monuments of cultural heritage and historical buildings are comprised of various building materials. Mortars are widely used for the cohesion of those building materials and for protective and aesthetic purposes to a monument's structure. In the course of time, all monuments are affected by weathering and other mechanical (e.g. emergence of cracks, deterioration), biological (growth of microorganisms) (Warscheid and Braams 2000) or chemical damages (e.g. sulfation) (Gauri and Holdren 1981). One of the most important factors to be considered in restoration processes is the compatibility of the intervention mortars with the existing ones as to their characteristics and chemical composition.

Thus, in order to develop sustainable preservation methods, mortars should be structurally characterized and analyzed. Several analytical techniques have been used for the study of properties of mortars. In particular, chemical composition of mortars has been determined by X-Ray Fluorescence (XRF) (Velosa, Coroado et al. 2007; Miriello, Barca et al. 2010) and Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) (Maravelaki-Kalaitzaki, Bakolas et al. 2003; Middendorf, Hughes et al. 2005), whereas mineralogical composition is designated using X-Ray Diffraction (XRD) (Middendorf, Hughes et al. 2005; Velosa, Coroado et al. 2007; Miriello, Barca et al. 2010). Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDS) is used to identify the topography, morphology and crystallographic information of mortars (van Hees, Binda et al. 2004; Rai and Dhanapal 2013). Thermal analysis (Thermogravimetric, TGA and Differential Scanning Calorimetry, DSC) finds application as an additional tool for the determination of composition of mortar samples (Moropoulou, Polikreti et al. 2003; Stefanidou, Papayianni et al. 2012). Petrographic analysis is a means of identifying sources of raw materials (van Hees, Binda et al. 2004; Pavia and Caro 2008). Mercury porosity analysis is used as a tool to determine pore size distribution and pore volume (Moropoulou, Polikreti et al. 2003; Stefanidou, Pachta et al. 2015), while mechanical properties are defined by various mechanical tests (Baronio, Binda et al. 2003; Moropoulou, Polikreti et al. 2003).

It is worth noting that in research fields such as archaeometry, the development of analytical methods which yield maximum information while causing minimum damage to the examined specimen is essential.

Raman spectroscopy is a spectroscopic technique which yields information regarding the chemical bonds and thus the structure of the molecules that are present in the examined specimen. Consequently, Raman

spectroscopy permits the simultaneous qualitative and quantitative analysis of individual components of a sample (Das and Agrawal 2011). Its non-destructive nature makes it suitable for the study of precious monuments, artwork and archaeological objects. Nowadays, portable spectrometers have been designed and are widely used for the *in situ* characterization and identification of materials in art and archaeometry (Jimenez-Sandoval 2000). The selective analysis of individual components of samples on a micrometer scale by focusing the laser beam on selected spots is possible and thus a 'mapping' of the sample's surface, while the amount of the sample required is even more reduced. The use of fiber optic Raman instrumentation has been adapted also for the *in situ* study of objects of historical importance (Vandenabeele, Castro et al. 2007).

A technique widely used for the simultaneous analysis of elements in a sample and is minimum destructive as it requires approximately 1-2 mg of the pulverized specimen is Total Reflection X-Ray Fluorescence (T-XRF). The sample is illuminated in grazing incidence conditions (below the critical angle for total reflection) (Streli 2006). The particular technique is characterized by increased sensitivity due to reduced matrix effects and very low limits of detection. Quantitative analysis is also possible using an internal standard.

Both techniques have major benefits in various research areas due to high efficiency, speed of analysis and ease of use. Compositional data can be acquired rapidly from solid, liquid or aqueous materials with little sample preparation, requiring only a minimum quantity of the sample.

The present work focuses on the application of the above techniques in mortar samples taken from different places of the ancient city of Alikyrna, which was discovered during works for the construction of Ionian Road.

Materials and methods

Mortar samples were collected from various sites of Alikyrna monuments. Representative mortars are presented in the figure 1. Before data acquisition, specimens were placed under a stereoscope (DFC295, Leica) for a better and more in-depth observation of the variations from point to point of the mortars. The samples are comprised of a mosaike like structure of different building materials including stones and clays.

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

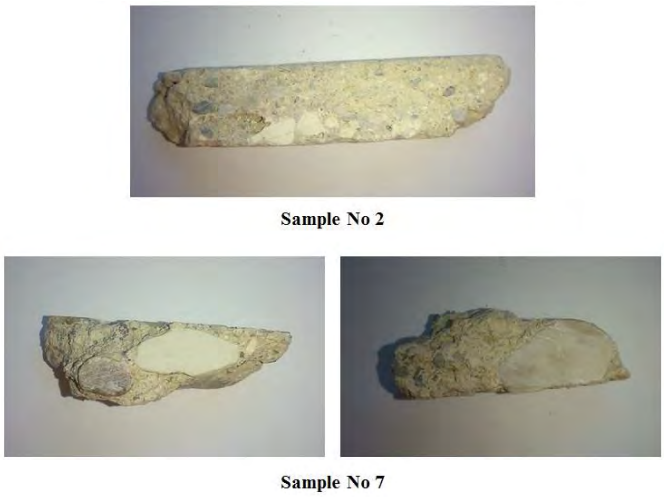


Figure 1. Mortars from the ancient city Alikyrna.

Raman data acquisition was performed without any sample pretreatment with a Renishaw spectrometer coupled with an optic microscope (Renishaw, InVia, Raman microscope). A laser line at 785 nm (diode laser) was used for excitation. The system was equipped with a charge-coupled device (CCD) air-cooled detector. Raman spectra were acquired from various points of the specimen under the same conditions, by focusing the laser line through the objective lens (50x) of the optic microscope onto the sample's surface.

The fluorescence spectrometer used in this work was a portable S2 Picofox TXRF spectrometer, featuring an air-cooled low power X-Ray metal-ceramic tube with a molybdenum (Mo) target and a Peltier cooled Silicon Drift Detector (SSD). An amount of approximately 100 mg of each finely pulverized sample was suspended at 5 mL HNO_3 solution and shaked in ultrasonic bath to obtain a homogenous suspension. The mixture was then spiked with 10 μL of 1000 mg/L Selenium (Se) solution (internal standard). The samples were prepared as thin films on sample carriers.

Results and Discussion

Raman data

Representative Raman spectra acquired from mortar samples (samples No 2 and No 7) are depicted in the following figures.

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

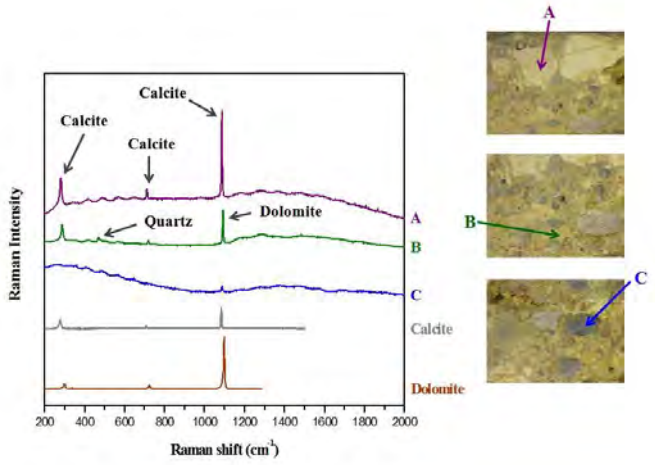


Figure 2. Raman spectra of mortar No 2. At the right side a photo from the stereoscope showing the exact location where the laser beam of micro-Raman spectrometer was focused.

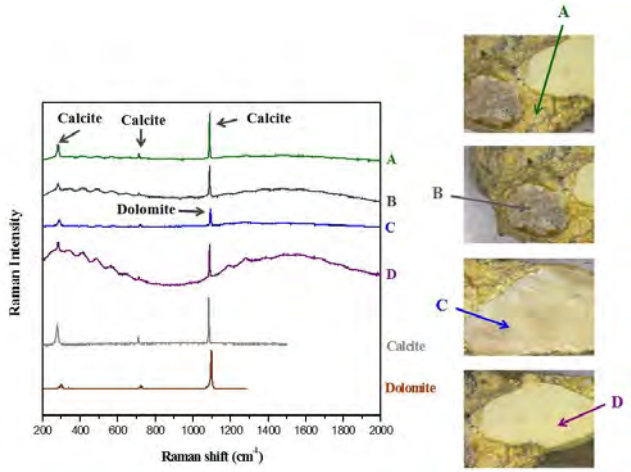


Figure 3. Raman spectra of mortar No 7. At the right side a photo from the stereoscope showing the exact location where the laser beam of micro-Raman spectrometer was focused.

The bands at 280 cm^{-1}, 710 cm^{-1} and 1085 cm^{-1} represent the lattice vibration mode, the v_4 internal mode and the v_1 internal mode (symmetric stretching) respectively of calcite (Behrens, Kuhn et al. 1995). Bands at 1094 cm^{-1} are attributed to dolomite (figures 2B and 3C) (Vagenas and Kontoyannis 2003). A band distinguished at 466 cm^{-1} in the Raman

spectrum of mortar No 2 (figure 2B) arises from the vibration of quartz (Kobayashi, Hirajima et al. 2008).

Elemental analysis data

Representative TXRF spectra from mortar samples are presented in the figures above.

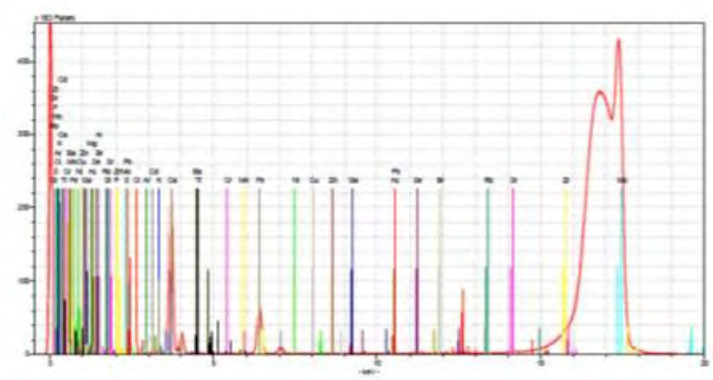


Figure 4. TXRF spectrum of sample No 2.

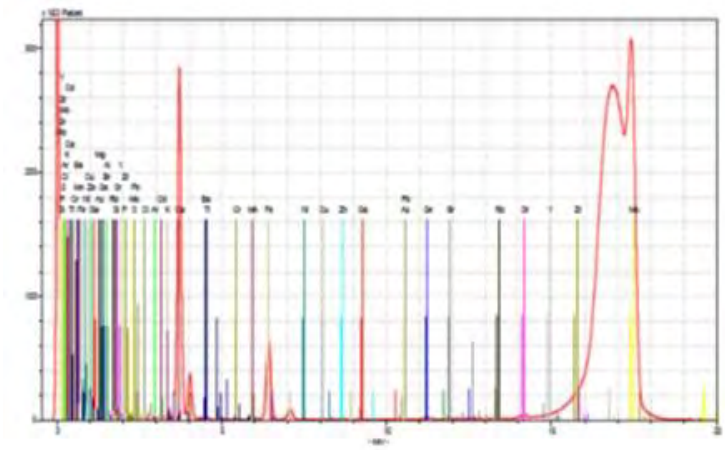


Figure 5. TXRF spectrum of sample No 7.

Elements identified in mortar samples include: aluminum (Al), silicon (Si), phosphorus (P), sulfur (S), chlorine (Cl), potassium (K), calcium (Ca), titanium (Ti), chromium (Cr), manganese (Mn), nickel (Ni), copper (Cu), zinc (Zn), gallium (Ga), arsenic (As), selenium (Se), bromine (Br), rubidium

(Rb), strontium (Sr), zirconium (Zr), cadmium (Cd), barium (Ba) and lead (Pb).

Cumulative data

Results acquired from the techniques used in this work for the structural characterization of mortars are summarized in the following table.

Table 1. Cumulative data from Raman spectroscopy and TXRF in mortar samples.

Sample	Raman Spectroscopy	TXRF Elements and mean concentration (mg/kg)
1	Calcite, dolomite	Al: 4860 , Si: 24610, P: 1543, S: 2334, Ca: 126890, Ti: 6000, Mn: 522, Zr: 11800
2	Calcite, dolomite, quartz	Al: 3100, Si: 16320, P: 1640, S: 5092, Ca: 131400,Ti: 614, Mn: 269, Zr: 3800
5	Calcite, quartz	Al: 3570, Si: 19690, P: 983, S: 538, Ca: 127100, Ti: 934, Mn: 437, Zr: 8110
7	Calcite, dolomite	Mg: 2400, Al: 4290, Si: 11020, P: 1586, S: 2663, Ca: 141270, Ti: 508, Mn: 357, Zr: 21500
9	Calcite	Mg: 1330, Al: 9540, Si: 30820, P: 602, S: 1082, Ca: 44700, Ti: 1224, Mn: 476, Zr: 2990
10	Calcite	Mg: 2800, Al: 9660, Si: 34440, P: 973, S: 3108, Ca: 67500, Ti: 1563, Mn: 590, Zr: 9600
13	Calcite	Al: 3520, Si: 14950, P: 1242, S: 1198, Ca: 165630, Ti: 785, Mn: 700, Zr: 11260

Conclusions

Micro-raman spectroscopy was successfully employed for ‘mapping’ of mortar samples from the ancient city Alikyrna. Mortars used in Alikyrna were comprised mainly of calcite and quartz, but in some samples dolomite was identified. Results are in agreement with those of Total X-ray Fluorescence Spectroscopy by which aluminum (Al), silicon (Si) and calcium (Ca) were determined. The content of some samples in magnesium suggests presumably the use of dolomite.

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Acknowledgements

The research has been carried out under the support of the research program: THALIS-NTUA-Sustainability and Compatibility of advanced materials and technologies for the protection of cultural heritage monuments: Development of investigation criteria and monitoring methodologies - COMASUCH. This research has been co-financed by the Greek national funds through the Operational Program "Education and Lifelong Learning" of the Ministry of Culture, Education and Religious Affairs. Scientific responsible: Prof. A. Moropoulou.

References

Baronio, G., L. Binda, et al. (2003). "Characterisation of the materials used in the construction of the Noto Cathedral." Construction and Building Materials 17(8): 557-571.

Behrens, G., L. T. Kuhn, et al. (1995). "Raman Spectra of Vateritic CalciumCarbonate." Spectroscopy Letters 28(6): 983-995.

Das, R. S. and Y. K. Agrawal (2011). "Raman spectroscopy: Recent advancements, techniques and applications." Vibrational Spectroscopy 57(2): 163-176.

Gauri, K. L. and G. C. Holdren (1981). "Pollutant Effects on Stone Monuments." Environmental Science & Technology 15(4): 386-390.

Jimenez-Sandoval, S. (2000). "Micro-Raman spectroscopy: a powerful technique for materials research." Microelectronics Journal 31(6): 419-427.

Kobayashi, T., T. Hirajima, et al. (2008). "Determination of SiO2 Raman spectrum indicating the transformation from coesite to quartz in Gfohl migmatitic gneisses in the Moldanubian Zone, Czech Republic." Journal of Mineralogical and Petrological Sciences 103(2): 105-111.

Maravelaki-Kalaitzaki, P., A. Bakolas, et al. (2003). "Physico-chemical study of Cretan ancient mortars." Cement and Concrete Research 33(5): 651-661.

Middendorf, B., J. J. Hughes, et al. (2005). "Investigative methods for the characterisation of historic mortars - Part 1: Mineralogical characterisation." Materials and Structures 38(282): 761-769.

Middendorf, B., J. J. Hughes, et al. (2005). "Investigative methods for the characterisation of historic mortars - Part 2: Chemical characterisation." Materials and Structures 38(282): 771-780.

Miriello, D., D. Barca, et al. (2010). "Characterisation of archaeological mortars from Pompeii (Campania, Italy) and identification of construction

phases by compositional data analysis." Journal of Archaeological Science 37(9): 2207-2223.
Moropoulou, A., K. Polikreti, et al. (2003). "Correlation of physicochemical and mechanical properties of historical mortars and classification by multivariate statistics." Cement and Concrete Research 33(6): 891-898.
Pavia, S. and S. Caro (2008). "An investigation of Roman mortar technology through the petrographic analysis of archaeological material." Construction and Building Materials 22(8): 1807-1811.
Rai, D. C. and S. Dhanapal (2013). "Bricks and mortars in Lucknow monuments of c. 17-18 century." Current Science 104(2): 238-244.
Stefanidou, M., V. Pachta, et al. (2015). "Design and testing of artificial stone for the restoration of stone elements in monuments and historic buildings." Construction and Building Materials 93: 957-965.
Stefanidou, M., I. Papayianni, et al. (2012). "Evaluation of Inclusions in Mortars of Different Historical Periods from Greek Monuments." Archaeometry 54: 737-751.
Streli, C. (2006). "Recent advances in TXRF." Applied Spectroscopy Reviews 41(5): 473-489.
Vagenas, N. V. and C. G. Kontoyannis (2003). "A methodology for quantitative determination of minor components in minerals based on FT-Raman spectroscopy - The case of calcite in dolomitic marble." Vibrational Spectroscopy 32(2): 261-264.
van Hees, R. P. J., L. Binda, et al. (2004). "Characterisation and damage analysis of old mortars." Materials and Structures 37(273): 644-648.
Vandenabeele, P., K. Castro, et al. (2007). "Comparative study of mobile Raman instrumentation for art analysis." Analytica Chimica Acta 588(1): 108-116.
Velosa, A. L., J. Coroado, et al. (2007). "Characterisation of Roman mortars from Conimbriga with respect to their repair." Materials Characterization 58(11-12): 1208-1216.
Warscheid, T. and J. Braams (2000). "Biodeterioration of stone: a review." International Biodeterioration & Biodegradation 46(4): 343-368.

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Ταυτοποίηση αντιπροσωπευτικών δομικών υλικών που απαντώνται σε αρχιτεκτονικά μνημεία της Αθήνας και της Ρόδου (Identification of representative building materials found in architectural monuments of Athens and Rhodes)

Β. Κυλίκογλου[1], Ι. Καρατάσιος[1], Π. Θεουλάκης[2], Ε. Βιντζηλαίου[3]

[1]Εργαστήριο Αρχαιολογικών Υλικών, Ινστιτούτο Νανοεπιστήμης & Νανοτεχνολογίας, Ε.Κ.Ε.Φ.Ε. Δημόκριτος, Αγία Παρασκευή, Αθήνα
[2]Εργαστήριο Συντήρησης Λίθου, Τμήμα Συντήρησης Αρχαιοτήτων & Έργων Τέχνης, ΤΕΙ Αθήνας, Αιγάλεω, Αθήνα (ptheoul@teiath.gr)
[3]Εργασήριο Μικροκυμάτων και Οπτικών Ινών, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα

Abstract

The aim of this study is to present the results and the conclusions drawn from the identification, the physico-chemical analysis and characterization of representative samples of building stones from the monuments of the Medieval City of Rhodes and I. M. Daphni, Athens. The characterization of structural materials of these monuments are particularly important for maintenance operations both in particular monuments, and more generally for the monuments maintenance operations of natural stone, as well as the structural their material represents the majority of natural stones found on monuments Mediterranean.

The characterization of structural materials focused on petrographic examination, the study of microstructure and mechanical properties of natural stones.

In the majority of monuments of the medieval city (fortifications, religious and public buildings, houses), the main building material used is the local limestone. It is a bioclastic sandy limestone of Neogene.

Similarly, the stones of Daphni Monastery belong to Pliocene sediments (marls) of the Neogene period. A characteristic of these types of marls is the presence of various transitional lithological types, which are determined mainly by the change in the percentage of sand (quartz) and carbonate fractions (calcite / dolomite).

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας αποτελεί η παρουσίαση των αποτελεσμάτων και των συμπερασμάτων που προέκυψαν από την ταυτοποίηση, τη φυσικοχημική ανάλυση και το χαρακτηρισμό αντιπροσωπευτικών δειγμάτων των δομικών λίθων από τα μνημεία της Μεσαιωνικής Πόλης της Ρόδου και της Ι. Μ. Δαφνίου, στην Αθήνα.

Ο χαρακτηρισμός των δομικών υλικών των εν λόγω μνημείων είναι ιδιαιτέρως σημαντικός για τις επεμβάσεις συντήρησης τόσο στα συγκεκριμένα μνημεία, όσο και γενικότερα για τις επεμβάσεις συντήρησης των μνημείων από φυσικό λίθο, καθώς το δομικό τους υλικό αντιπροσωπεύει την πλειοψηφία των φυσικών λίθων που απαντάται στα μνημεία της Μεσογείου.

Ο χαρακτηρισμός των δομικών υλικών επικεντρώθηκε στην πετρογραφική εξέταση, στη μελέτη της μικροδομής και των μηχανικών ιδιοτήτων των φυσικών λίθων.

Στην πλειονότητα των μνημείων της μεσαιωνικής πόλης (οχυρωματικά έργα, λατρευτικά και δημόσια κτήρια, κατοικίες), έχει χρησιμοποιηθεί ως κύριο δομικό υλικό ο τοπικός πωρόλιθος. Πρόκειται δηλαδή για βιοκλαστικό, ψαμμιτικό ασβεστόλιθο του Νεογενούς, με ασβεστιτική συγκολλητική ύλη.

Αντίστοιχα, το σύνολο των λίθων της Ι.Μ. Δαφνίου ανήκουν στα ιζήματα (μάργες) της πλειοκαινικής περιόδου του Νεογενούς. Χαρακτηριστικό των παραπάνω τύπων μαργών είναι η παρουσία διάφορων μεταβατικών λιθολογικών τύπων, οι οποίοι προκύπτουν κυρίως από τη μεταβολή του ποσοστού της άμμου (χαλαζία) και των ανθρακικών κλασμάτων (ασβεστίτη / δολομίτη).

Εισαγωγή

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας αποτελεί η παρουσίαση των αποτελεσμάτων και των συμπερασμάτων που προέκυψαν από την ταυτοποίηση, τη φυσικοχημική ανάλυση και το χαρακτηρισμό αντιπροσωπευτικών δειγμάτων των δομικών λίθων από τα μνημεία της Μεσαιωνικής Πόλης της Ρόδου και της Ι. Μ. Δαφνίου, στην Αθήνα.

Ο χαρακτηρισμός των δομικών υλικών των εν λόγω μνημείων είναι ιδιαιτέρως σημαντικός για τις επεμβάσεις συντήρησης τόσο στα συγκεκριμένα μνημεία, όσο και γενικότερα για τις επεμβάσεις συντήρησης των μνημείων από φυσικό λίθο, καθώς το δομικό τους υλικό

αντιπροσωπεύει την πλειοψηφία των φυσικών λίθων που απαντάται στα μνημεία της Μεσογείου.

Σκοπός της εργασίας, μεταξύ άλλων, είναι η φυσικοχημική-αναλυτική αποτίμηση και η επιστημονική τεκμηρίωση των εργαστηριακών δοκιμών που έχουν γίνει κατά περιόδους στα διάφορα μνημεία και αφορούν στην ταυτοποίηση των δομικών υλικών, στο διαχωρισμό των διαφορετικών ιστορικών φάσεων του μνημείου και στην κατανόηση της τεχνολογίας δόμησης, καθώς και στην μελέτη της επιτελεστικότητας διαφόρων μεθόδων και υλικών συντήρησης.

Λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις που τίθενται διεθνώς στο χώρο της συντήρησης, προκείμενου να σχεδιαστεί και να αποφασιστεί μια οργανωμένη επιχείρηση αποκατάστασης, καθώς και την ανάγκη για επιστημονικά τεκμηριωμένες επεμβάσεις προληπτικής ή ενεργητικής συντήρησης, η φάση της μελέτης της σύστασης και των ιδιοτήτων των αυθεντικών υλικών δομής καθώς και των μηχανισμών φθοράς τους θεωρείται ιδιαιτέρως σημαντική και επιβεβλημένη.

Μια τέτοια προσέγγιση γίνεται φανερό ότι εκτός από την ορθότερη προσέγγιση του ζητήματος της συντήρησης, αντιμετωπίζει και πολύ σημαντικά θέματα που σχετίζονται με:

- τον εμπλουτισμό των γνώσεών μας γύρω από την οικοδομική τεχνολογία και τα υλικά κατασκευής,
- την κατανόηση του τρόπου που οι περιβαλλοντικές δράσεις επηρεάζουν τη διατήρησή τους στο συγκεκριμένο περιβάλλον και σ' αυτού του είδους τις κατασκευές,
- μέτρα, παθητικού ή ενεργητικού χαρακτήρα, που θα έχουν ως αποτέλεσμα την ανάσχεση δράσεων που συμβάλλουν στη φθορά τους (αναρρίχηση υγρασίας από το έδαφος, συμπύκνωση και απορρόφηση υγρασίας από την ατμόσφαιρα, μεταφορά και εξάτμιση διαλυμάτων στις ζωγραφικές επιφάνειες κλπ),

Η μελέτη των παραπάνω στοιχείων είναι απαραίτητη προϋπόθεση προκειμένου να αξιολογηθούν η κατάσταση διατήρησης και οι διαφορετικές ανάγκες και ιδιαιτερότητες κάθε γεωγραφικής περιοχής και μνημείου, ώστε να καταλήξει κανείς σε μια ολοκληρωμένη μελέτη και σε μια τεκμηριωμένη επιλογή των υλικών και των μεθόδων επέμβασης.

Μεθοδολογία

Ο χαρακτηρισμός των δομικών υλικών επικεντρώθηκε στην πετρογραφική εξέταση, στη μελέτη της μικροδομής και των μηχανικών ιδιοτήτων των φυσικών λίθων.

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Πετρογραφική Εξέταση

Περιλαμβάνεται η εξέταση παρασκευασμάτων λεπτών και στιλπνών τομών των λίθων στο πετρογραφικό μικροσκόπιο.

Ορυκτολογική Ανάλυση

Η ορυκτολογική σύσταση των λίθων προσδιορίστηκε με περιθλασιμετρία ακτίνων Χ (XRD). Πραγματοποιήθηκαν δύο σειρές αναλύσεων, η πρώτη σε μη επεξεργασμένα δείγματα και η δεύτερη σε δείγματα τα οποία είχαν υποστεί προσβολή με αραιό οξικό οξύ (CH_3COOH, 5% w/v), για την διαλυτοποίηση των ανθρακικών φάσεων και εμπλουτισμό των αργιλοπυριτικών.

Φυσικά χαρακτηριστικά και της μικροδομή

Αφορά στον προσδιορισμό της φαινόμενης και πραγματικής πυκνότητας, του ανοιχτού πορώδους και της κατανομής του μεγέθους των πόρων. Η εξέταση της μικροδομής έγινε τόσο σε αδιατάρακτα δείγματα, όσο και σε ειδικά προετοιμασμένα δείγματα στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM), σε παρασκευάσματα στιλπνών και λεπτών τομών, με εφαρμογή μεθόδων μικροσκοπίας και ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας (image analysis).

Στοιχειακή ανάλυση

Η στοιχειακή ανάλυση πραγματοποιήθηκε με φασματοσκοπία ακτίνων Χ (EDX), ταυτόχρονα με την εξέταση των δειγμάτων στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM/EDX). Στόχος των αναλύσεων ήταν ο προσδιορισμός της χημικής σύστασης των φυσικών λίθων και ο προσδιορισμός πιθανών προϊόντων αλλοίωσης.

Διερεύνηση μηχανικών χαρακτηριστικών

Αφορά στον μη καταστρεπτικό έλεγχο των δειγμάτων κονιαμάτων με μετρήσεις διέλευσης υπερήχων (ultrasonic velocity), με στόχο τον προσδιορισμό του μέτρου ελαστικότητας των συνθέσεων.

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Αποτελέσματα

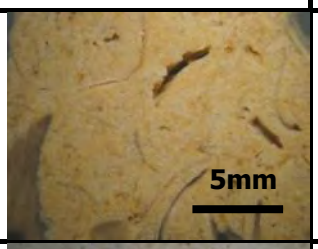
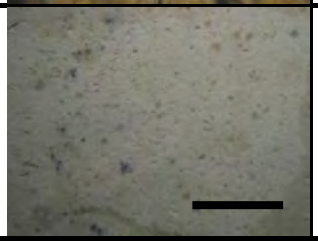
Πετρογραφική εξέταση και ορυκτολογική σύσταση

Στον Πίνακα 1 παρατίθενται μια σύντομη περιγραφή των όλων των δειγμάτων φυσικών λίθων από τη Μονή Δαφνίου και τα μνημεία της Μεσαιωνικής πόλης της Ρόδου που μελετήθηκαν, μαζί με τα αποτελέσματα της ορυκτολογικής τους ανάλυσης. Οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στο Siemens D500 Difractometer, από 2° έως 60°. Στην Εικόνα 1, παρουσιάζονται τα πετρογραφικά χαρακτηριστικά των φυλικών λίθων.

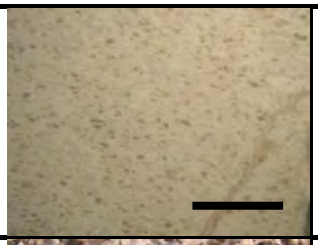
Οι δομικοί λίθοι της Ι.Μ. Δαφνίου χαρακτηρίζονται ως απολιθωματοφόρες Μάργες, με διαφορετική συνοχή και μικροδομή ενώ, οι δομικοί λίθοι των μνημείων της Ρόδου ως Βιοκλαστικοί ψαμμιτικοί ασβεστόλιθοι, πλούσιοι σε κελύφη οστράκων.

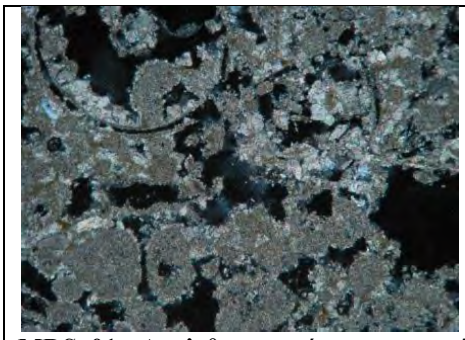
Από την παρατήρηση λεπτών τομών στο πολωτικό μικροσκόπιο διαπιστώνουμε πως τα ανόργανα θραύσματα των δειγμάτων (Rh) είναι τεμάχια πετρωμάτων και μεμονωμένων ορυκτών όπως τεμάχη πυριτικών, χαλαζίας, και αργιλοπυριτικές ενώσεις, χλωρίτης μοντμοριλλονίτης, καολινίτης, βερμικουλίτης, με συμμετοχή ενώσεων του σιδήρου (οξείδια - υδροξείδια). Η συγκολλητική ύλη που ενώνει τα διάφορα αυτά θραύσματα είναι σπαριτικός ασβεστίτης.

Πίνακας 1. Περιγραφή δειγμάτων και αποτελέσματα ορυκτολογικής ανάλυσης κατεργασμένων δειγμάτων λίθων.

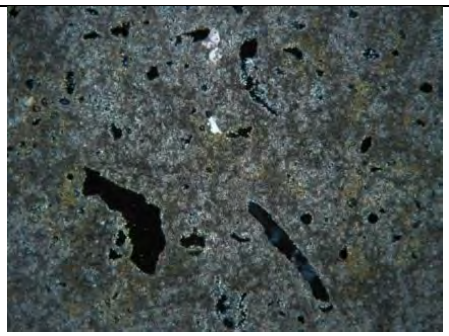
α/α	Κωδικός	Περιγραφή	Φωτογραφία τομής	Ορυκτά
1	**MDS_01:** *Κογχυλιάτης λίθος*	Απολιθωματοφόρος μάργα με μεγάλα απολιθώματα, κυρίως ελασματοβράγχια, μεγέθους έως 3 cm.		Ασβεστίτης
2	**MDS_02:** *Απολιθ/φόρος μάργα*	Απολιθωματοφόρος μάργα με μικρά απολιθώματα, έως 0,5 cm.		Ασβεστίτης Βιοτίτης - 1M1 Ένυδρο Χλωριούχο Ασβέστιο

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

3	**MDS_03:** *Μαργαϊκός Ασβεστόλιθος*	Υπόλευκος, συμπαγής, μαργαϊκός ασβεστόλιθος.		Δολομίτης Ασβεστίτης Μοντμοριλλονίτης
4	**Rh_01:** *πωρόλιθος*	βιοκλαστικός ασβεστόλιθος		Ασβεστίτης Χαλαζίας Πυρόξενοι Οξείδια σιδήρου
5	**Rh_02:** *πωρόλιθος*	βιοκλαστικός ασβεστόλιθος		Ασβεστίτης Χαλαζίας Πυρόξενοι Οξείδια σιδήρου
6	**Rh_03:** *πωρόλιθος*	Βιοκλαστικός ασβεστόλιθος		Ασβεστίτης Χαλαζίας Πυρόξενοι Οξείδια σιδήρου

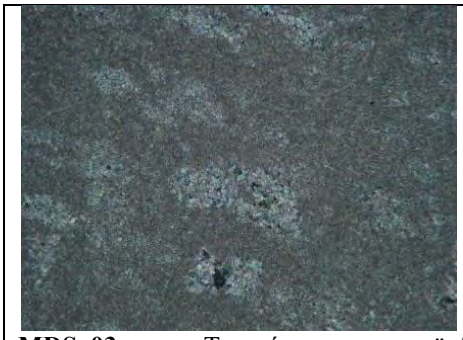


MDS_01: Απολιθωματοφόρος μαργαϊκός ασβεστόλιθος, πλούσιος σε μακροαπολιθώματα.

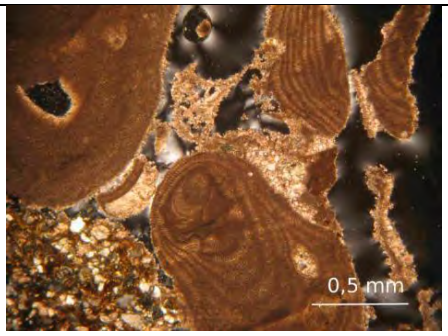


MDS_02: Απολιθωματοφόρος μαργαϊκός ασβεστόλιθος, πορώδης, με περιορισμένη συνεκτικότητα.

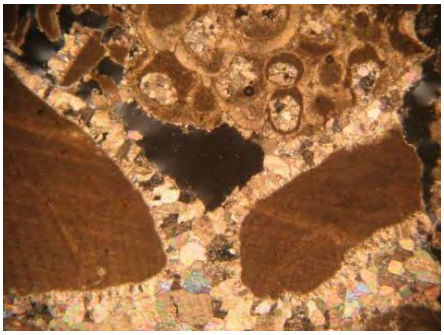
Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές



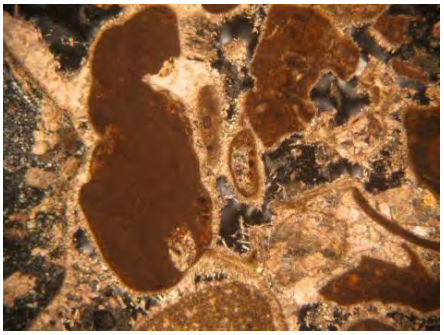
MDS_03: Τυπικός μαργαϊκός ασβεστόλιθος, στιφρός, συμπαγής με περιορισμένο πορώδες.



Rh_01: Βιοκλαστικός ασβεστόλιθος, πλούσιος σε κελύφη οστράκων συνδεδεμένα με μικρή ποσότητα σπαριτικού ασβεστίτη.



Rh_02: Βιοκλαστικός ασβεστόλιθος, πλούσιος σε κελύφη οστράκων συνδεδεμένα με σπαριτικό ασβεστίτη. Περιορισμένη παρουσία χαλαζία, χλωρίτη και οξειδίων/ υδροξειδίων του σιδήρου.



Rh_03: Βιοκλαστικός ασβεστόλιθος, πλούσιος σε κελύφη οστράκων συνδεδεμένα με σπαριτικό ασβεστίτη. Περιορισμένη παρουσία χαλαζία, χλωρίτη και οξειδίων/ υδροξειδίων του σιδήρου.

Εικόνα 1. Εξέταση λεπτών τομών στο πετρογραφικό μικροσκόπιο.

Φυσικές ιδιότητες

Το ενεργό πορώδες και η κατανομή του μεγέθους των πόρων των διαφόρων λίθων μετρήθηκαν με ποροσιμετρία υδραργύρου. Η φαινόμενη πυκνότητα, η πραγματική πυκνότητα, το ποσοστό υδατοαπορρόφησης και ο συντελεστής τριχοειδούς αναρρίχησης υπολογίστηκαν βάσει της μεθοδολογίας που περιγράφεται στα αντίστοιχα πρότυπα (EN 13755:2002, 1925:1999, 1936:1999). Από τις τιμές της φαινόμενης πυκνότητας και του ποσοστού υδατοκορεσμού των δοκιμίων υπολογίστηκε, επιπροσθέτως, το ενεργό πορώδες.

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Πίνακας 2: Φυσικά χαρακτηριστικά λίθων.

ΔΕΙΓΜΑ	***Ενεργό Πορώδες (%)***		***Φαινόμενη Πυκνότητα***	**Απορρόφηση Νερού**
	Απορρόφηση Νερού	Ποροσιμετρία Hg	(g/cm^3)	(%)
MDS-1	25,7	15,4	1,2	21,3
MDS-2	27,7	12,2	1,4	19,3
MDS-3	5,7	5,3	2,5	2,3
Rh-01	33,4	22,9	1,7	20,7
Rh-02	30,7	19,5	1,5	18,5
Rh-03	37,8	38,4	1,5	24,6

Τα ανωτέρω αποτελέσματα δίδουν μία τάξη μεγέθους για τις αναμενόμενες μηχανικές αντοχές των λίθων του μνημείου, ήτοι, κατά μέσο όρο, αντοχή σε κάμψη 1,5 MPa, αντοχή σε θλίψη 3,3 MPa και δυναμικό μέτρο ελαστικότητας 6010 MPa, καθώς επίσης κια για το ποσοστό υδατοκορεσμού και τον συντελεστή υδατοαπορρόφησης που εκτιμώνται αντίστοιχα σε 34% και 52 $mg/cm^2s^{1/2}$.

Οι διαφορές στις τιμές του ενεργού πορώδους μεταξύ των διαφορετικών μεθόδων προσδιορισμού οφείλονται στο γεγονός ότι με την ποροσιμετρία υδραργύρου (Hg) υπολογίζονται οι πόροι μεγέθους από 10^{-8} έως 10^{-4}m ενώ, με την απορρόφηση του νερού συνυπολογίζονται και οι μάκρο-πόροι των λίθων.

Μηχανικές ιδιότητες

Η μηχανική συμπεριφορά δειγμάτων λίθων και οπτόπλινθων μελετήθηκε μέσω του υπολογισμού της αντοχής τους σε κατακόρυφη μονοαξονική φόρτιση. Λόγω της έλλειψης μεγάλων όγκων λίθων και κεραμικών, οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε μικροδείγματα, κατά το δυνατόν αντιπροσωπευτικά της δομής των υλικών, σχήματος κύβου διαστάσεων 2X2X2cm ή 3X3X3cm.

Για κάθε δείγμα υπολογίστηκε η μέγιστη αντοχή του (Fc), καταστρώθηκε διάγραμμα τάσης – παραμόρφωσης και υπολογίστηκε το μέτρο ελαστικότητάς του στο 30% της μέγιστης τάσης (Ecs). Τα

αποτελέσματα παρουσιάζονται στον παρακάτω συγκεντρωτικό πίνακα και σε ξεχωριστά διαγράμματα.

Πίνακας 3: Μηχανικά χαρακτηριστικά των διαφορετικών τύπων λίθων.

Δείγμα	**Αντοχή σε Θλίψη** σ_c (MPa)	**Αντοχή σε κάμψη** σ_f (MPa)	E_{cs} (MPa)
MDS-1	8,9	2,8	279,7
MDS-2	9,5	0,3	285,1
MDS-3	8,1	1,4	385,8
Rh-01	4,5	1,8	694,6
Rh-02	2,6	0,6	498,3
Rh-03	2,8	1,4	610,1

Συμπεράσματα

Στην πλειονότητα των μνημείων της μεσαιωνικής πόλης (οχυρωματικά έργα, λατρευτικά και δημόσια κτήρια, κατοικίες), έχει χρησιμοποιηθεί ως κύριο δομικό υλικό ο τοπικός πωρόλιθος. Πρόκειται για βιοκλαστικό ασβεστόλιθο με ηλικία που τοποθετείται στο άνω πλειόκαινο – κάτω πλειστόκαινο.

Στα δείγματα από το λατομείο Στεγνά, πιστοποιείται η συμμετοχή κλαστικού χαλαζία στην σύνθεση των κόκκων. Αποτελείται κατά κύριο λόγο απο αποστρογγυλωμένα οργανικά θραύσματα (απολιθώματα) και λιγότερα ημιαποστρογγυλωμένα ανόργανα θραύσματα (τεμάχη πετρωμάτων) τα οποία είναι ενωμένα με λίγο ανθρακικής σύστασης, συγκολλητικό υλικό. Τα υπόλοιπα θραύσματα είναι τεμάχη πετρωμάτων και μεμονωμένων ορυκτών. Παρατηρήθηκαν τεμάχη πυριτικών πετρωμάτων (ραδιολαρίτης, εκλογίτης) τεμάχη μαγματικών πετρωμάτων (σερπεντίτης, διαβάσης), τεμάχη προγενέστερων ανθρακικών πετρωμάτων καθώς και θραύσματα ορυκτών όπως πυρόξενοι και χαλαζίας. Προκειται δηλαδή για βιοκλαστικό, ψαμμιτικό ασβεστόλιθο του Νεογενούς, με ασβεστιτική συγκολλητική ύλή.

Αντίστοιχα, το σύνολο των μαργών από τη Ι.Μ. Δαφνίου, ανήκουν στην πλειοκαινική περίοδο του Νεογενούς. Χαρακτηριστικό των παραπάνω τύπων μαργών είναι η παρουσία διάφορων μεταβατικών λιθολογικών τύπων, οι οποίοι προκύπτουν κυρίως από τη μεταβολή του ποσοστού της άμμου (χαλαζία) και των ανθρακικών κλασμάτων (ασβεστίτη / δολομίτη). Η λεγόμενη «Μάργα του Πειραιά» αποτελεί την πιο χαρακτηριστική σειρά

Νεογενών ιζημάτων. Η σύσταση τέτοιων σχηματισμών ποικίλει, καθώς εξαρτάται από παράγοντες όπως ο λόγος μεταξύ ασβεστίτη και αργίλων, η παρουσία δολομίτη και απολιθωμάτων, η κοκκομετρική διαβάθμιση του κλαστικού υλικού. Έτσι, τα δείγματα που μελετήθηκαν, όσο κι αν διαφέρουν ως δομικό υλικό, συνιστούν παραπλήσιους λιθολογικούς τύπους. Ορυκτολογικά, επικρατούν τα ορυκτά του ασβεστίτη και δευτερευόντως του χαλαζία, του ιλλίτη, του μοντμοριλλονίτη και τέλος, σε ελάχιστη περιεκτικότητα του δολομίτη. Η παρουσία αργιλικού υλικού και ενώσεων του σιδήρου προσδίδουν στο λίθο τη διακύμανση της απόχρωσής του από υπόλευκη έως υποκίτρινη.

Ευχαριστίες

Η εργασία πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του Προγράμματος ΘΑΛΗΣ-ΑΕΙΣ "Αειφορία και συμβατότητα προηγμένων υλικών και τεχνολογιών για την προστασία μνημείων της Πολιτιστικής Κληρονομιάς: ανάπτυξη κριτηρίων και μεθοδολογιών ελέγχου" με επιστημονικά υπεύθυνη την Καθ. Α. Μοροπούλου, με τη χρηματοδότηση του Επιχειρησιακού Προγράμματος "Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση" του Υπουργείου Πολιτισμού, Παιδείας και Θρησκευμάτων.

Βιβλιογραφία

Theoulakis P., Moropoulou A., “Porous stone decay by salt crystallization – The case of the building material of the Medieval City of Rhodes”, Proceed. 4th Int. Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean, Rhodes, Greece, (1997) 647-673

Theoulakis, P., Moropoulou, A., “Salt crystal growth as weathering mechanism of porous stone on historic masonry”, J. Porous Materials, 6 (1999) 345-358

Theoulakis, P., Moropoulou, A., “Mechanism of deterioration of the sandstone of the Medieval City and the Castle of Rhodes”, Proceed. 6th Int. Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Torun, Poland (1988) 86-96

Theoulakis, P., Moropoulou, A., “Microstructural and mechanical parameters determining the susceptibility of porous building stones to salt decay”, J. Construction and Building Materials, 11-1 (1997) 65-71

Karatasios, I., Theoulakis, P., Kalagri, A., Sapalides, A., Kilikoglou, V., “Evaluation of consolidation treatments of marly-limestones used in archaeological monuments”, Construction and Building Materials, 23 (2009) 2803-2812.

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Theoulakis, P., Karatasios, I., Stefanis, N.A., "Performance criteria and evaluation parameters for the consolidation of stone", Int. Symposium "Stone consolidation in cultural heritage. Research and practice". Lisbon, 6-7 May 2008, 279-288

Theoulakis, P., Stefanis, N.A., Karatasios, I., Kilikoglou, V., Pilinis, C., "Performance Evaluation of Surface Coatings Against the Degradation of Stone Monuments Caused by the Deposition of Airborne Particulate Matter", 11th International Congress on the deterioration and Conservation *of Stone*, Torun, 15-20 Sept. 2008, 1071-1076.

Theoulakis, P., Karatasios, I., Stefanis, N.A., Kilikoglou, V., "Environmental Monitoring and Deterioration Phenomena of Historic Buildings: The Case of Retzep Pasha Mosque in Rhodes, Greece", Proceedings of the International Conference on Environmental Monitoring of our Cultural Heritage – Sustainable Conservation Solutions, 13 - 14 November 2003, Edinburgh, UK. Chapter 9, pp 1-34.

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Η πρώτη χρήση ωμόπλινθων στην Κύπρο. Ζητήματα προέλευσης και χρήσης (The earliest use of mudbricks in Cyprus. Issues of provenance and use)

Μ.Φιλοκύπρου

Επίκουρη Καθηγήτρια, Τμήμα Αρχιτεκτονικής, Πανεπιστήμιο Κύπρου,

Abstract

Mudbricks constitute one of the primary building materials in Cyprus as well as in many other countries throughout antiquity especially in the Eastern Mediterranean area. The initial appearance of mudbricks did not take place simultaneously in all civilizations. Although the production of mudbricks in Cyprus seems to have been known since the Neolithic period, coinciding with the first permanent habitation on the island, the use of moulds during their preparation was identified during later periods (especially during the Late Bronze Age) when the first urban centres appeared in the island.

The aim of this research is the detailed investigation of the different types and uses of earth structures and the techniques followed during very early periods of antiquity in Cyprus (Neolithic to Late Bronze Age) in comparison with other Mediterranean countries. This research is the first all-encompassing investigation involving macroscopic and microscopic observations as well as laboratory analyses (chemical, mineral, petrographic) of more than 40 samples collected from various prehistoric sites (Neolithic, Chalcolithic, Early, Middle and Late Bronze Age).

The macroscopic and microscopic examination of selected samples showed that although a variety of soils and additives were used for the preparation of mudbricks most of the soils used are characterized by a high content of calcite. It has been noted that some characteristic methods of the preparation of mudbricks (preparation of soil, addition of straw and other organic additives) are to be found not only in prehistoric settlements but also in more recent examples of traditional structures of the 19th and 20th centuries.

Through this research the chronological development of the use of mudbricks and other earth structures on the island was identified. The

position of Cyprus with respect to the rest of the ancient world regarding the technology of earth building materials was investigated, and matters were examined with regard to the origin, manufacture and selective use of earth materials in combination with other materials and especially with stone (rubble and ashlar).

Περίληψη

Οι ωμόπλινθοι αποτελούν ένα από τα πρωιμότερα και βασικότερα υλικά δόμησης σε πολλούς αρχαίους πολιτισμούς ιδιαίτερα στην Ανατολική Μεσόγειο. Η εμφάνιση και χρήση ωμόπλινθων δεν παρατηρήθηκε ταυτόχρονα σε όλους τους πολιτισμούς. Στην Κύπρο η εμφάνιση των ωμόπλινθων σε ακανόνιστη μορφή παρατηρείται κατά τη Νεολιθική περίοδο και συμπίπτει με την πρώτη μόνιμη κατοίκηση στο νησί. Εξελικτικά γίνεται χρήση καλουπιών κατά την παρασκευή τους σε μεταγενέστερες περιόδους και συγκεκριμένα κατά την Εποχή του Χαλκού, όταν εμφανίζονται στο νησί τα πρώτα αστικά κέντρα.

Στόχος της έρευνας αυτής είναι η διερεύνηση των διαφορετικών τύπων και τρόπων χρήσης των κατασκευών από ωμή γη και των τεχνικών που ακολουθήθηκαν κατά τις πρωιμότερες περιόδους της αρχαιότητας σε σχέση με άλλες περιοχές της Ανατολικής Μεσογείου. Στα πλαίσια της έρευνας αυτής έγιναν μακροσκοπικές και μικροσκοπικές παρατηρήσεις και χρησιμοποιήθηκαν εργαστηριακές αναλύσεις (χημικές, ορυκτολογικές) για διερεύνηση περισσότερων από 40 δειγμάτων ωμόπλινθων από διαφορετικές αρχαιολογικές θέσεις (Νεολιθικές, Χαλκολιθικές θέσεις καθώς και θέσεις της Εποχής του Χαλκού) του νησιού.

Η μακροσκοπική και μικροσκοπική εξέταση των δειγμάτων έδειξε μια ποικιλία στα είδη των χωμάτων, των οργανικών και των ανόργανων πρόσθετων που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή των ωμόπλινθων. Διαπιστώθηκε χρήση κυρίως τοπικών ασβεστιτικών χωμάτων με σχετικά υψηλή περιεκτικότητα σε πυριτικές και αργιλικές ενώσεις καθώς και συχνή ανάμειξη διαφορετικών ειδών χωμάτων για την παρασκευή τους. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι κάποιες ιδιαίτερες χαρακτηριστικές μέθοδοι παρασκευής ωμόπλινθων μπορούν να παρατηρηθούν όχι μόνο κατά την αρχαιότητα αλλά και σε πιο πρόσφατες παραδοσιακές κατασκευές στο νησί.

Διαμέσου της έρευνας αυτής διαπιστώθηκε η χρονολογική εξέλιξη της χρήσης των ωμόπλιθων και άλλων κατασκευών από ωμή γη στο νησί (δάπεδα κλπ.), εξετάστηκε η θέση της Κύπρου σε συνάρτηση με τον υπόλοιπο αρχαίο κόσμο όσον αφορά την τεχνολογία των δομικών υλικών από πηλό, και διερευνήθηκαν ζητήματα σχετικά με την προέλευση, την

παρασκευή, την επιλεκτική χρήση των υλικών αυτών σε συνδυασμό κυρίως με την πέτρα.

Εισαγωγή

Κατά την Προϊστορική περίοδο, στην αρχιτεκτονική της Κύπρου παρατηρείται ευρεία χρήση ωμού πηλού κυρίως ωμόπλινθων, σε ακανόνιστη μορφή (πλάσιμο με το χέρι) κατά τη Νεολιθική περίοδο και σε κανονική μορφή με χρήση καλουπιών αργότερα κατά την Εποχή του Χαλκού (Φιλοκύπρου 1998). Αντίθετα η κατασκευή τοίχων από πηλό σε διαδοχικές στρώσεις (μια τεχνική που ομοιάζει με την τεχνική *pisé*) είναι πολύ περιορισμένη στο νησί και παρατηρείται κυρίως κατά τη Χαλκολιθική περίοδο ενώ εγκαταλείπεται αμέσως μετά.

Ευρεία χρήση ωμόπλινθων την προϊστορική περίοδο παρατηρείται και στον ευρύτερο χώρο της Ανατολικής Μεσογείου, στο Αιγαίο και την Ανατολή (Συροπαλαιστίνη, Ανατολία, Ινδία, Κίνα – Houben and Guillaud 1994, 6-15). Στον Αιγαιακό χώρο, χρήση ωμόπλινθων παρατηρείται από τη Νεολιθική περίοδο. Σύμφωνα με την A. Guest-Papamanoli (1978, 8, 17), η κατασκευή ωμόπλινθων σε καλούπια στο χώρο του Αιγαίου άρχισε κατά την Πρώιμη Χαλκοκρατία, χωρίς όμως να αποκλείεται και η χρήση τους από τη Νεολιθική περίοδο κατά την οποία φαίνεται να συνυπάρχει με την τεχνική πλασίματος πλίνθων με το χέρι. Στο χώρο του Αιγαίου αναφέρεται και η ύπαρξη της τεχνικής *pisé,* σε μικρότερη όμως κλίμακα από τις ωμόπλινθους (Shear 1968, 433).

Ωμόπλινθοι που πλάθονται με το χέρι παρατηρούνται σε μεγάλη κλίμακα στο χώρο της Συροπαλαιστίνης, όπου εμφανίζονται από τη Νατουφιακή-Ακεραμική περίοδο (8000 π.Χ.), ως επίσης και αργότερα κατά την Κεραμική Νεολιθική και Χαλκολιθική περίοδο, ενώ από την Πρώιμη Χαλκοκρατία εμφανίζονται ωμόπλινθοι σε καλούπια (Thomas 1995, 134. Wright 1985, 350-351. Reich 1992, 5). Στο χώρο της Ανατολίας, της Αιγύπτου και της Μεσοποταμίας ωμόπλινθοι κανονικού σχήματος εμφανίζονται σε πρωιμότερες ακόμη περιόδους (από την 6η χιλιετία) (Wright 1985, 353). Αναφορά σε χρήση *pisé* στο χώρο της Ανατολής γίνεται για κατασκευές που χρονολογούνται από τη Νεολιθική και τη Νατουφιακή περίοδο (Aurenche 1981, 54-55). Η χρήση της τεχνικής *pisé* στο χώρο της Μεσοποταμίας και της Συροπαλαιστίνης προηγήθηκε ίσως των κατασκευών από ωμόπλινθους (9η χιλιετία), αλλά συνέχισε να εμφανίζεται και αργότερα (Leich 1988, 165. Wright 1985, 353. Thomas 1995, 136). Σε μερικές όμως περιοχές, οι δύο αυτές τεχνικές εμφανίζονται ταυτόχρονα (Aurenche 1981, 69).

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Τρόπος παρασκευής

Η διαδικασία επιλογής και προετοιμασίας του χώματος για την παρασκευή των ωμόπλινθων εμφανίζεται βασικά η ίδια τόσο κατά την αρχαιότητα όσο και σε νεότερους χρόνους (Μιχαηλίδης 1992, 79-81). Αρχικά, το χώμα εξορύσσεται από την επιφάνεια του εδάφους ή από κάποιο βάθος. Το χώμα, αφού καθαριστεί (και συχνά κοσκινιστεί), τοποθετείται σε ένα φυσικό όρυγμα, σκάμμα ή μεγάλη λεκάνη. Στη συνέχεια προστίθεται το απαιτούμενο νερό και το μείγμα ζυμώνεται με πίεση. Στις πλείστες περιπτώσεις, στο μείγμα προστίθεται και ποσότητα αχύρου ή άλλου φυτικού καταλοίπου (*κόντυλα*, λινάχυρο, χόρτο, καλάμια, φύκια θάλασσας, τρίχες αιγοπροβάτων κ.ά.) και αφήνεται στο σκάμμα για αρκετό χρόνο πριν τη χρησιμοποίησή του, για να επιτευχθεί η έκκριση της κολλοειδούς ουσίας των φυτικών καταλοίπων και η ζύμωση, η οποία αυξάνει τη συνοχή του και βελτιώνει τις ιδιότητές του.

Το φύραμα μετά τη ζύμωση πλάθεται είτε με το χέρι είτε με τη βοήθεια κατάλληλων καλουπιών. Κατά την κατασκευή ωμόπλινθων με καλούπια, την Προϊστορική περίοδο αναφέρεται η χρήση δύο μεθόδων. Σύμφωνα με την πρώτη, που ήταν και η πιο συνήθης, το καλούπι ετοποθετείτο στο έδαφος, το γέμιζαν με λάσπη, εξομαλύνετο η άνω επιφάνειά του και το μείγμα αφηνόταν να στεγνώσει. Κατά τη δεύτερη μέθοδο προηγείτο η διαμόρφωση με το χέρι μιας μάζας από λάσπη, πάνω από την οποία πιεζόταν ένα ορθογώνιο καλούπι. Η δεύτερη μέθοδος ήταν μεν πιο γρήγορη, αλλά είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ωμόπλινθων με ευθείες πλευρές αλλά καμπύλο το άνω μέρος (*plano*-convex) (Leick 1988, 144. Guest-Papamanoli 1978, 7). Μετά την αφαίρεση των καλουπιών και στις δύο μεθόδους οι ωμόπλινθοι παρέμεναν στη θέση τους να στεγνώσουν και να ξηρανθούν. Μετά από δύο-τρεις μέρες αναποδογυρίζονταν για να στεγνώσει η κάτω επιφάνειά τους και μετά τοποθετούνταν όρθιες στη μια πλευρά τους (Ορλάνδος 1955, 71-72. Adam 1989, 62-63).

Τύποι κατασκευών από πηλό

Στην Κύπρο, κατά την Προϊστορική περίοδο ο βασικότερος τύπος κατασκευής τοίχων από πηλό αποτελεί η δόμηση με ωμόπλινθους. Η κατασκευή τοίχων από άμορφο πηλό σε διαδοχικές στρώσεις είναι πιο περιορισμένη και εμφανίζεται σε μικρό αριθμό οικοδομών κατά τη Νεολιθική περίοδο (Χοιροκοιτία, Καλαβασός-*Τέντα*) όπου συνυπάρχει με τις ακανόνιστες ωμόπλινους με ευρύτερη όμως διάδοση κατά τη Χαλκολιθική περίοδο κατά την οποία φαίνεται ότι είναι η επικρατέστερη

μέθοδος κατασκευής τοιχοποιίας από πηλό σε οικισμούς κυρίως της επαρχίας Πάφου (Λέμπα-*Λάκκους*, Κισσόνεργα-*Μοσφήλια* - Thomas 1995, 23). Σημειώνεται επίσης ότι ελάχιστες ενδείξεις υπάρχουν για ύπαρξη της τεχνικής *pisé* στο νησί (Μαρώνι-*Βούρνες*- Cadogan 1984, 7).

Οι πρωιμότερες ωμόπλινθοι που εμφανίστηκαν στο νησί είχαν παρόμοιο σχήμα με τους αργούς λίθους, αφού κατασκευάζονταν από ανθρώπους που γνώριζαν να κτίζουν αργολιθοδομές (Εικ. 1 και 2). Ήταν δηλ. ακανόνιστου σχήματος και ποικίλων διαστάσεων, αφού πλάθονταν με το χέρι σε μορφή ψωμιού. Είναι ο πιο διαδομένος τύπος τοιχοποιίας από πηλό και εμφανίζεται στο νησί κυρίως κατά τη Νεολιθική περίοδο και σε περιορισμένη κλίμακα κατά την Πρώιμη και Μέση Χαλκοκρατία, οπότε και αντικαθίσταται από ωμόπλινθους κανονικού σχήματος.

Στη Χοιροκοιτία παρατηρείται μεγάλη ποικιλία στις διαστάσεις των ωμόπλινθων στις διάφορες κατασκευές, ως επίσης και σε κάθε τοιχοποιία. (Le Brun 1984, 23). Το μήκος των περισσότερων κυμαίνεται από 0,21 μέχρι 0,30 μ., το πλάτος τους από 0,12 μέχρι 0,26 μ. και το πάχος τους από 0,06 μέχρι 0,08 μ. Στην Καλαβασό-*Τέντα* οι ωμόπλινθοι εμφανίζουν επίσης μεγάλη ποικιλία σε μέγεθος με στενόμακρο συνήθως σχήμα. Κατά μέσο όρο έχουν διαστάσεις 0,35Χ0,24 μ. και πάχος 0,07 μ. Τα μεγέθη τους είναι παρόμοια ή λίγο μεγαλύτερα από εκείνα της Χοιροκοιτίας (Todd 1987, 35-36). Στον Απ. Ανδρέα-*Κάστρος* ήρθε στο φως μια στρώση ωμόπλινθων στο άνω μέρος ενός θεμελίου από αργολιθοδομή. Οι ωμόπλινθοι είναι κάπως μικρότερες σε σύγκριση με εκείνες της Χοιροκοιτίας, με διαστάσεις περίπου 0,30Χ0,15Χ0,085 μ. και με μια οπή διαμέτρου 0,04 μ. και βάθους 0.08 μ. Στις οπές αυτές πιθανόν να στηριζόταν ένα ελαφρύ κεκλιμένο πλαίσιο από κλαδιά (Φιλοκύπρου 1998).

Οι ωμόπλινθοι κανονικού σχήματος κατασκευάζονται πάντοτε με τη βοήθεια ξύλινων ορθογώνιων καλουπιών, γι΄ αυτό και έχουν κανονικό ορθογώνιο (σπανιότερα τετράγωνο) σχήμα και σταθερές συνήθως διαστάσεις. Ωμόπλινθοι του τύπου αυτού εμφανίζονται στο νησί κατά την Πρώιμη και Μέση Χαλκοκρατία όπου συνυπάρχουν με ωμόπλινθους ακονόνιστου σχήματος, ενώ χρησιμοποιούνται ευρέως κατά την Ύστερη Χαλκοκρατία σε μεγάλο αριθμό θέσεων (Εικ.3).

Ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι διαστάσεις των ωμόπλινθων που βρέθηκαν στο Δάλι-*Αμπελερή*. Χωρίζονται γενικά σε τρεις τύπους, και εμφανίζουν τέτοια μεγέθη που, όταν συνδυαστούν μεταξύ τους, μπορούν να δημιουργήσουν μια συμπαγή κατασκευή. Το πάχος και των τριών τύπων είναι σταθερό, το πλάτος του τύπου 3 ισούται με το μήκος του 1 και του 2, και το μήκος του 3 ισούται με το άθροισμα του πλάτους του 1 και του 2 (Φιλοκύπρου 1998).

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Η έρευνα έδειξε ότι στους περισσότερους οικισμούς της Ύστερης Χαλκοκρατίας επικρατούν ωμόπλινθοι ορθογώνιου σχήματος. Οι διαστάσεις μήκους και πλάτους δε διαφέρουν πολύ μεταξύ τους και το σχήμα τους πλησιάζει το τετράγωνο. Οι ωμόπλινθοι έχουν γενικά σημαντικό πάχος 0,10-0,15 μ. Παρατηρείται μεγάλη ποικιλία στις διαστάσεις τους και δε διακρίνεται καθαρά η χρήση σταθερής μονάδας μέτρησης. Πιθανόν ως μέτρο να χρησιμοποιήθηκε η ανθρώπινη παλάμη, γι΄ αυτό και δεν εμφανίζεται ομοιομορφία στα μεγέθη. Παρατηρούνται όμως κάποιες σταθερές αναλογίες όπως 4:3:1, 4:2:1, 2:3:1, 5:4:1, 5:6:1 και σε μερικές περιπτώσεις επανάληψη των ίδιων μεγεθών, σε διαφορετικούς οικισμούς, όπως 0,50Χ0,60Χ0,10 μ. και 0,60Χ0,40Χ0,12 μ., με κάποια ίσως προτίμηση σε μερικές διαστάσεις όπως 0,40 μ., 0,50 μ., 0,60 μ.

Γενικά οι κανονικού σχήματος ωμόπλινθοι εμφανίζουν μεγαλύτερο μέγεθος και πάχος από τις πρωιμότερες πλίνθους που πλάθονται με το χέρι. Οι μικρότερες διαστάσεις των πρωιμότερων πλίνθων σίγουρα συνδέονται και με τον τρόπο κατασκευής τους.

Είδη χωμάτων και οργανικών προσθέτων που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή ωμόπλινθων και προέλευση των πρώτων υλών

Για τον προσδιορισμό της φύσης και της προέλευσης του υλικού παρασκευής των ωμόπλινθων έγινε τόσο επιτόπου παρατήρηση στους διάφορους οικισμούς όσο και λήψη δειγμάτων για περαιτέρω εργαστηριακή έρευνα. Με τη μακροσκοπική και μικροσκοπική εξέταση των ωμόπλινθων προσδιορίστηκε το είδος των φυτικών πρόσθετων και η παρουσία χαλικιών, μικρών λίθων και άλλων ξένων σωμάτων στο εσωτερικό τους. Για τον ακριβή προσδιορισμό της σύστασης του χώματος που χρησιμοποιήθηκε για την παρασκευή τους έγιναν χημικές αναλύσεις καθώς και ορυκτολογικές αναλύσεις με περίθλαση ακτίνων Χ.

Οι χημικές αναλύσεις έδειξαν πως για την παρασκευή των ωμόπλινθων κατά την προϊστορική περίοδο χρησιμοποιήθηκαν χώματα με υψηλή περιεκτικότητα σε ασβεστίτη ($CaCO_3$) με ποσοστά οξειδίων του ασβεστίου στα πλείστα δείγματα από 30 μέχρι 40%. Οι πλίνθοι εμφανίζουν επίσης υψηλή περιεκτικότητα οξειδίων του πυριτίου (SiO_2) με ποσοστά από 10-20%. Παρατηρούνται όμως και παραδείγματα με μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε πυρίτιο, όπως μερικές ωμόπλινθοι που βρέθηκαν στη Χοιροκοιτία (δείγμα ΚΗ.14: 49,03%), στο Μαρκί-*Αλώνια* (δείγμα ΜΑ.3: 30,84%), στην Αλάμπρα-*Μούττες* (δείγμα ΑΜ.9: 38,46%), στον προϊστορικό οικισμό κοντά στο Χαλά Σουλτάν Τεκκέ (δείγμα HST.1:

32,28%) και στη Μάα-*Παλαιόκαστρο* (δείγμα ΜΡ.10: 26,71%). Το ποσοστό των οξειδίων του αλουμινίου (Al_2O_3) συνήθως κυμαίνεται από 2 μέχρι 5%. Σε αρκετές περιπτώσεις παρατηρήθηκαν μεγαλύτερα ποσοστά από 7,45 μέχρι 10% (δείγματα από Μάα-*Παλαιόκαστρο* - ΜΡ.10, από Μαρκί-*Αλώνια* - ΜΑ.3, Χαλά Σουλτάν Τεκκέ - ΗΣΤ.1 και Αλάμπρα-*Μούττες* - ΑΜ.9), και σπάνια αυτά ανέρχονται στο 12,4% (δείγμα ΚΗ.14). Τα οξείδια του πυριτίου και του αλουμινίου προέρχονται από τα αργιλικά ορυκτά, τα οποία προσδίδουν στον πηλό τις συνεκτικές του ιδιότητες.

Στις ορυκτολογικές αναλύσεις με περίθλαση ακτίνων Χ, εκτός από την υψηλή περιεκτικότητα ασβεστίτη, εντοπίστηκε συχνή παρουσία και άλλων ορυκτών, όπως χαλαζία, αστρίων (αλβίτη) και ορισμένων αργιλικών ορυκτών (μοντμοριλλονίτη, καολινίτη, νοντρονίτη κ.ά.). Στα περισσότερα δείγματα που εξετάστηκαν, κυριότερο ορυκτό αποτελεί ο ασβεστίτης και μόνο σε ελάχιστες περιπτώσεις οι ωμόπλινθοι παρουσίασαν υψηλό ποσοστό αλβίτη (Πιν.1).

Η σύσταση των ωμόπλινθων της Καλαβασού-*Τέντα* εμφανίζει μία ιδιαιτερότητα. Οι χημικές και ορυκτολογικές αναλύσεις έδειξαν υψηλό ποσοστό γύψου (20-30% SO_3). Η ύπαρξη γύψου στις πλίνθους είναι αρκετά ασυνήθιστο φαινόμενο και η έρευνα έδειξε πως οφείλεται στη χρησιμοποίηση χωμάτων του άμεσου περιβάλλοντος του οικισμού. Οι αναλύσεις γεωλογικών δειγμάτων της περιοχής έδειξαν πως το χώμα γύρω από τον οικισμό αποτελείται από ασβέστη ανάμεικτο με γύψο (Πιν.1). Χώρο κατοίκησης του οικισμού αποτελεί ένας λόφος που έχει πυρήνα από γύψο και καλύπτεται από δευτερογενείς εναποθέσεις σύστασης ασβέστη και γύψου (Todd 1987, 11).

Μία άλλη ιδιαιτερότητα που διαπιστώθηκε στις χημικές και ορυκτολογικές αναλύσεις είναι η ύπαρξη υψηλού ποσοστού θειϊκού στροντίου - σελεστίτη ($SrSO_3$) στις ωμοπλίνθους της Χοιροκοιτίας. Το ορυκτό αυτό είναι αρκετά σπάνιο στο νησί και παρατηρείται κυρίως στα γεωλογικά στρώματα της περιοχής κοντά στο νεολιθικό οικισμό της Χοιροκοιτίας. Την παρουσία θειϊκού στροντίου έδειξαν και οι αναλύσεις γεωλογικών δειγμάτων που πάρθηκαν από το λόφο του οικισμού (Πιν.1). Αυτό υποδηλώνει και πάλι την προμήθεια των χρησιμοποιηθέντων πρώτων υλών από το άμεσο περιβάλλον των οικισμών.

Οι αναλύσεις τοπικών χωμάτων από τον περιβάλλοντα χώρο προϊστορικών θέσεων του νησιού των υπό εξέταση περιόδων έδειξε ότι για την παρασκευή των ωμόπλινθων γινόταν πάντοτε χρήση τοπικών διαθέσιμων χωμάτων από το άμεσο περιβάλλον των οικισμών για ελαχιστοποίηση του κόστους μεταφοράς. Συχνά παρατηρείται χρήση δύο ή περισσότερων διαφορετικών ειδών χωμάτων ή και ανάμειξή τους για

παρασκευή πηλού, κατάλληλης περιεκτικότητας σε άργιλο. Κατά συνέπεια η ασβεστιτική σύσταση των περισσότερων ωμόπλινθων οφείλεται στη χρήση των τοπικών χωμάτων, των οποίων η σύσταση ήταν σχεδόν πάντοτε ασβεστιτική.

Αρκετά συχνά, στις ωμόπλινθους διακρίνεται η ύπαρξη πρόσθετων φυτικών καταλοίπων, που σκοπό είχαν τη βελτίωση των ιδιοτήτων τους. Το πιο κοινό πρόσθετο των ωμόπλινθων, που συχνά αναφέρεται στις ανασκαφικές περιγραφές και εντοπίστηκε στην επιτόπια έρευνα, αποτελεί το άχυρο (Εικ.1) και τα κόντυλα (Χοιροκοιτία, Καλαβασός-*Τέντα*, Απ. Ανδρέα-*Κάστρος*, Μαρκί-*Αλώνια*, Αλάμπρα-*Μούττες*, Καλαβασός-*Άγιος Δημήτριος*, Μαρώνι-*Βούρνες*). Ίχνη από χόρτα και άλλα φυτικά κατάλοιπα εμφανίζονται σε ωμόπλινθους στην Καλαβασό-*Τέντα*, στο Χαλά Σουλτάν Τεκκέ, καλάμια στη Μόρφου-*Τούμπα του Σκούρου* και φύκια σε παραθαλάσσιους οικισμούς, όπως στη Μάα-*Παλαιόκαστρο* (ΜΡ.9, ΜΡ.12) και στη Λέμπα-*Λάκκους*. Εκτός από τα φυτικά πρόσθετα, στις ωμόπλινθους συχνά παρατηρούνται βότσαλα και χαλίκια, που είτε προέρχονται από το χώμα που χρησιμοποιήθηκε για την παρασκευή τους, είτε αποτελούν σκόπιμη προσθήκη. Χρήση φυτικών καταλοίπων αναγνωρίστηκε σε μεγάλο αριθμό ωμόπλινθων που βρέθηκαν και στο χώρο του Αιγαίου (Guest-Papamanoli 1978, 6. Graham 1987, 148. Shaw 1973, 187) και της Συροπαλαιστίνης (Leick 1988, 143. Reich 1992, 5).

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Πίνακας 1. Ορυκτολογικές αναλύσεις με περίθλαση ακτίνων Χ προϊστορικών ωμόπλινθων από την Καλαβασό-*Τέντα* (ΚΤ), τη Χοιροκοιτία (ΚΗ), το Μαρκί-*Αλώνια* (ΜΑ), την Αλάμπρα-*Μούττες* (ΑΜ), τη Μάα-*Παλαιόκαστρο* (ΜΡ), το Χαλά Σουλτάν Τεκκέ (HST), την Καλαβασό-*΄Αγιο Δημήτριο* (AD), το Μαρώνι-*Βούρνες* (MV) και γεωλογικών δειγμάτων από την περιοχή κοντά στην Καλαβασό-*Τέντα* (Q.KT) και το λόφο της Χοιροκοιτίας (Q.KH)

	Γύψος	Ασβεστίτης	Χαλαζίας	Σελεστίτης	Αλβίτης	Palygorskite	Μοντμοριλλονίτης	Νοντρονίτης	Μουσκοβίτης	Καολινίτης
KT.29	✓	✓								
KT.31	✓	✓	✓							
KT.33	✓	✓	✓							
KH.2		✓	✓	✓						
KH.3		✓	✓	✓						
KH.5		✓	✓	✓	✓					
KH.14		✓	✓		✓					
KH.16		✓	✓	✓						
MA.1		✓	✓		✓					
MA.3		✓	✓		✓			✓		
MA.9		✓	✓							
AM.7		✓	✓		✓	✓		✓		
AM.9		✓	✓		✓			✓		
MP.6		✓	✓							
MP.10		✓	✓						✓	
HST.1		✓	✓		✓		✓			
AD.2		✓	✓							
AD.9		✓	✓							
MV.6		✓	✓		✓		✓			
MV.16		✓	✓		✓					✓
Q.KT.1	✓	✓	✓							
Q.KT.3	✓	✓								
Q.KT.5	✓	✓								
Q.KH.2		✓	✓	✓						

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Εικόνες 1-3. Προϊστορικοί ωμόπλινθοι - (1) Ωμόπλινθος από τη Χοιροκοιτία (Νεολιθική περίοδος) όπου φαίνεται η παρουσία αχύρου, (2) Ωμόπλινθοι από τη Χοιροκοιτία με ακανόνιστο σχήμα, (3) Ωμόπλινθοι από το Μαρώνι-Βούρνες (Υστερη Χαλκοκρατία) με κανονικό σχήμα.

Τρόποι δόμησης

Οι ωμόπλινθοι χρησιμοποιήθηκαν κυρίως στην ανωδομή τοίχων και στην κατασκευή διαχωριστικών στο εσωτερικό των κτιρίων καθώς και σε τροποποιήσεις οικοδομών, όπως για παράδειγμα σε τοίχους που έφρασσαν υφιστάμενα ανοίγματα ή υποδιαιρούσαν υφιστάμενους χώρους. Η κατασκευή εξωτερικών τοίχων είτε από ωμόπλινθους είτε από πηλό σε διαδοχικές στρώσεις, συνδυαζόταν σχεδόν πάντοτε με λιθοδομές οι οποίες αποτελούσαν τη βάση (κατώτερο τμήμα) σε μορφή ακατέργαστη (αργολιθοδομή) ή πελεκητή. Σε ελάχιστες περιπτώσεις εμφανίζονται τοιχοποιίες εξ ολοκλήρου από πηλό, κυρίως δε στο εσωτερικό οικοδομημάτων. Σε ορισμένες περιπτώσεις η τελευταία στρώση της τοιχοποιίας από αργολιθοδομή διαμορφώνεται κατάλληλα σε οριζόντιο επίπεδο, για να διευκολύνει την τοποθέτηση των ωμόπλινθων ή γίνεται χρήση λίθινων πλακών (Μάα-*Παλαιόκαστρο*: Karageorghis and Demas 1988, 93). Όταν η βάση είναι από πελεκητή πέτρα το άνω μέρος της διαμορφωνόταν με τη χρήση οριζόντιων πελεκητών λίθινων πλακών, για ευκολότερη τοποθέτηση των ωμόπλινθων (Φιλοκύπρου 1998).

Οι ωμόπλινθοι βρίσκονται τοποθετημένες σε κανονικές διαδοχικές στρώσεις με τέτοιο τρόπο, ώστε οι κατακόρυφοι αρμοί κάθε στρώσης να διχοτομούν τις πλίνθους της υποκείμενης, για αποφυγή συνεχόμενων αρμών. Κατά τη Νεολιθική κυρίως περίοδο εμφανίζονται συχνά τοιχοποιίες κατασκευασμένες με ποικίλους συνδυασμούς αργολιθοδομής και ωμόπλινθων τόσο καθ΄ ύψος όσο και κατά πλάτος. Τέτοιες σύνθετες κατασκευές παρατηρούνται στην Καλαβασό-*Τέντα* και κυρίως στη Χοιροκοιτία. Στις νεολιθικές κυκλικές κατοικίες (Χοιροκοιτία, Καλαβασός-*Τέντα*) παρατηρείται μια μεγάλη ποικιλία ως προς τις διατάξεις των τοιχοποιιών από πλίνθους και λίθους. Συχνά παρατηρούνται 2, 3 ή ακόμη

και 4 εφαπτομενικοί δακτύλιοι με τους εξωτερικούς συνήθως από λίθους και τους εσωτερικούς από πλίνθους με συνολικό πάχος 0,70-1,70 μ.

Σε νεώτερες περιόδους και κυρίως κατά την Ύστερη Χαλκοκρατία οι ωμόπλινθοι τοποθετούνται είτε δρομικά δημιουργώντας τοιχοποιίες μικρού πάχους ή διάτονα για επίτευξη τοιχοποιίας μεγαλύτερου πάχους. Συχνά παρατηρούνται και πιο σύνθετες διατάξεις με την τοποθέτηση 2, 3 ή και 4 σειρών ωμόπλινθων δρομικά ή διάτονα ή με συνδυασμό δρομικών και διάτονων διατάξεων (Κίτιον-*Καθαρή*, Μάα-*Παλαιόκαστρο*, Μαρώνι-*Βούρνες*).

Σε αντίθεση με την ευρεία χρήση ωμόπλινθων στις τοιχοποιίες, η χρήση τους στην κατασκευή δαπέδων είναι κάπως περιορισμένη και εμφανίζεται μόνο κατά την Ύστερη Χαλκοκρατία. Οι ωμόπλινθοι, εκτός από τις τοιχοποιίες και τα δάπεδα, έχουν χρησιμοποιηθεί και σε άλλες κατασκευές όπως σε πεσσούς, αντηρίδες, κλίμακες, θρανία, εστίες, βωμούς κ.ά. Παρατηρήθηκε και ένα παράδειγμα κατασκευής με ωμόπλινθους ενός ημικυλινδρικού θόλου μιας υπόγειας σήραγγας στην Έγκωμη (Dikaios 1969, 68, 71-73).

Συμπεράσματα - Συγκριτική θεώρηση

Συμπερασματικά μπορεί να σημειωθεί ότι η πρώτη χρήση ωμόπλινθων στο νησί συμπίπτει με την εμφάνιση μόνιμης αρχιτεκτονικής η οποία αντικατέστησε τις πιο εφήμερες κατασκευές από ξύλο που είχαν προηγηθεί χρονολογικά. Παράλληλα κατά την Προϊστορική περίοδο στην Κύπρο μπορεί να διαφανεί μία εξέλιξη στην κατασκευή τοίχων από πηλό. Κατά τη Νεολιθική περίοδο γίνεται χρήση χειροποίητων ωμόπλινθων και πηλού σε στρώσεις, κατά τη Χαλκολιθική περίοδο επικρατεί η κατασκευή τοίχων από πηλό σε στρώσεις και τέλος κατά την Πρώιμη, Μέση και Ύστερη Χαλκοκρατία εμφανίζονται και σταδιακά διαδίδονται ευρέως οι ωμόπλινθοι κανονικού σχήματος, κατασκευασμένες σε καλούπια. Η επικράτηση της τοιχοποιίας με πηλό σε διαδοχικές στρώσεις κατά τη Χαλκολιθική περίοδο και η εγκατάλειψη της κατασκευής χειροποίητων ωμόπλινθων δεν μπορεί να ερμηνευτεί εύκολα. Η τοιχοποιία με πηλό σε στρώσεις αποτελεί μια πολύ πρώιμη μέθοδο κατασκευής τοιχοποιίας από πηλό και θα μπορούσε να είχε αποτελέσει έμπνευση της επινόησης των χειροποίητων ωμόπλινθων στο νησί (Wright 1985, 351) όπως φαίνεται ότι έγινε στο χώρο στης Συροπαλαιστίνης και της Ανατολίας.

Κατά την περίοδο της Χαλκοκρατίας η εγκατάλειψη της χρήσης του πηλού σε διαδοχικές στρώσεις και η επικράτηση και πάλι της χρήσης των ωμόπλινθων φαίνεται ότι έγινε λόγω των διαφόρων πλεονεκτημάτων που

παρουσίαζαν. Τα πλεονεκτήματα που παρείχε η χρήση ορθογώνιων ωμόπλινθων, με τη γρηγορότερη παραγωγή, την ευκολότερη τοποθέτησή τους σε διαδοχικές κανονικές στρώσεις λόγω ομοιομορφίας στο μέγεθος και η δημιουργία μιας σταθερότερης κατασκευής οδήγησε στην επικράτηση του τύπου αυτού των ωμόπλινθων, που αντικατέστησαν με την πάροδο του χρόνου τις πρωιμότερες πλίνθους ακανόνιστου σχήματος.

Η εισαγωγή των ορθογώνιων ωμόπλινθων φαίνεται πως συμπίπτει με την εισαγωγή στην κυπριακή αρχιτεκτονική κτιρίων ορθογώνιας κάτοψης με γραμμικά στοιχεία (τέλος της 3ης χιλιετίας), ενώ η ευρύτερη διάδοσή τους συνδέεται με την αστικοποίηση του νησιού, 1000 χρόνια αργότερα, καθώς επίσης και με την εμφάνιση δημόσιων και κοινωφελών έργων και διοικητικών κτιρίων. Αυτό το φαινόμενο παρατηρήθηκε και σε άλλους πολιτισμούς όπως την Ανατολία όπου ευρεία χρήση καλουπιών αναφέρεται από τη Χαλκολιθική περίοδο λόγω της πρωιμότερης εμφάνισης αστικών κέντρων στην περιοχή (Jerome 1991, 32). Οι ωμόπλινθοι ορθογώνιου σχήματος, κατασκευασμένες σε καλούπια, ίσως αποτέλεσαν έμπνευση για την κοπή πέτρας σε κανονικά τεμάχια (πελεκητή πέτρα), η οποία εμφανίζεται σχεδόν ταυτόχρονα με την ευρεία διάδοση των ωμόπλινθων της μορφής αυτής.

Από τα παραπάνω, συνάγεται πως η χρήση (παρασκευή και τρόπος δόμησης) ωμόπλινθων στην προϊστορική Κύπρο εμφανίζει τόσο ομοιότητες όσο και διαφορές στα επί μέρους οικοδομικά στοιχεία με το χώρο του Αιγαίου και της Ανατολικής Μεσογείου. Ευρύτερη χρήση κατασκευών από πηλό φαίνεται να εμφανίζεται στο χώρο της Ανατολής και ιδιαίτερα στις περιοχές όπου παρατηρείται έλλειψη οικοδομικού λίθου. Πάντως φαίνεται ότι οι ωμόπλινθοι εμφανίζονται ανεξάρτητα στους διάφορους πολιτισμούς και η τεχνολογία δεν φαίνεται να διαδίδεται από τον έναν πολιτισμό στον άλλο (Houben and Guillaud 1994, 8).

Οι ωμόπλινθοι που χρησιμοποιήθηκαν σε πολύ ευρεία κλίμακα στην Κύπρο κατά τους προϊστορικούς χρόνους εξακολούθησαν να εμφανίζονται μέχρι πρόσφατα στην παραδοσιακή αρχιτεκτονική, κυρίως σε πεδινούς οικισμούς. Οι ωμόπλινθοι της λαϊκής παράδοσης ακολουθούν παρόμοιους τρόπους παρασκευής με τις προϊστορικές πλίνθους. Στην παραδοσιακή αρχιτεκτονική παρατηρείται μεγαλύτερη τυποποίηση και επικράτηση ωμόπλινθων σταθερών διαστάσεων 0,60Χ0,40Χ0,05 μ., 0,45Χ0,30Χ0,05 μ., 0,40Χ0,30Χ0,06 μ., που αποτελούν πολλαπλάσια του αγγλικού ποδιού (0,30 μ.) (Ionas 1988, 141. Μιχαηλίδης 1992, 80). Το πλάτος και το μήκος τους δε διαφέρει πολύ από τις αντίστοιχες της Προϊστορικής περιόδου, ενώ το πάχος τους είναι συνήθως μικρότερο. Η μείωση αυτή του πάχους φαίνεται πως διευκόλυνε την ξήρανση των ωμόπλινθων και την τοποθέτησή

τους στην τοιχοποιία λόγω του μικρότερού τους βάρους. Στην παραδοσιακή αρχιτεκτονική οι περισσότερες τοιχοποιίες από ωμόπλινθους αποτελούνται από μια σειρά πλίνθους δρομικά ή διάτονα τοποθετημένες, ανάλογα με το απαιτούμενο πάχος των τοίχων, αντίθετα από τις ποικίλες διατάξεις που παρατηρούνται στην προϊστορική αρχιτεκτονική.

Η ευρεία χρήση ωμόπλινθων τόσο στην προϊστορική όσο και στην παραδοσιακή αρχιτεκτονική οφείλεται στο γεγονός πως το υλικό αυτό είναι οικονομικό, λόγω της αφθονίας πρώτης ύλης στο νησί, κατάλληλης για το σκοπό αυτό, και στη μη ύπαρξη αρκετών διαθέσιμων λίθων σε κάποιες περιοχές. Η ευρεία τους χρήση τους συνδέεται επίσης με τις κατάλληλες κλιματολογικές συνθήκες - το ζεστό και ξηρό κλίμα του νησιού - που επέτρεπε τη γρήγορη ξήρανση και εύκολη διατήρησή τους, καθώς και με τη μεγάλη θερμική τους μάζα.

Βιβλιογραφία

Adam, J.P., *La Construction Romaine. Matériaux et Techniques*. Paris (1989).

Aurenche, O., *La Maison Orientale. L' Architecture du Proche Orient Ancien des Origines au Milieu du Quatrième Millénaire*. Paris (1981), 54-55

Cadogan, G., "Maroni and the Late Bronze Age, Cyprus", στο V. Karageorghis and J.D. Muhly (επιμ.) *Cyprus at the Close of the Late Bronze Age*. Nicosia (1984), 1-10.

Dikaios P., *Enkomi. Exvavations 1948-58. The Architectural Remains 3* (1969), Mainz am Rheim.

Graham J.W., The Palaces of Crete (1987), Princeton.

Guest-Papamanoli A., "L' Emploi de la Brique Crue dans le Domaine Egéen à l' Époque Néolithique à l' Âge du Bronze", *Bulletin Correspondance Hellenic* 1, (1978), 3-24.

Houben H. and Guillaud H., *Earth Construction. A Comprehensive Guide*, Intermediate Technology Publications (1994).

Ionas, I., *La Maison Rurale de Chypre . Aspects et Techniques de Construction* (1988). Nicosie.

Jerome, P. S., *Analysis and Conservation of Mudbrick Construction in Bronze Age Crete* (Submitted for the degree Master of Science, Columbia University (1991).

Karageorghis V., Demas, *M., Excavations in Maa-Palaeokastro 1979-86*. Nicosia (1988).

Le Brun A., *Fouilles Récent a Khirokitia (Chypre) 1977-1981*, Paris (1984).

Leick G., *A Dictionary on Ancient Near Eastern Architecture.* London (1988).

Μιχαηλίδης, Ν., "Αρχιτεκτονική της Γης" στο Β. Καραγιώργης, Ε. Παπαδημητρίου και Φ. Ηγουμενίδου (επιμ.) Κυπριακή Λαϊκή Τέχνη. Πρακτικά Ημερίδας που διοργανώθηκε από το Ίδρυμα Πιερίδη στη Λάρνακα στις 23 Μαίου 1992, Λευκωσία (1992), 73-90.

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Ορλάνδος, Α.Κ., *Τα Υλικά Δομής των Αρχαίων Ελλήνων κατά τους Συγγραφείς, τας Επιγραφάς και τα Μνημεία 1. Το Ξύλο και ο Πηλός.* Αθήνα (1955).
Φιλοκύπρου Μ., *Δομικά Υλικά και Κατασκευές στην Κυπριακή Αρχιτεκτονική από τη Νεολιθική Περίοδο μέχρι την Ύστερη Χαλκοκρατία* (Αδημοσίευτη Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Κύπρου, 1998).
Reich, R., "Building Materials and Architecture Elements in Ancient Israel" στο A. Kempinski and R. Reich (επιμ.) *The Architecture of Ancient Israel from the Prehistoric to the Persian Periods.* Jerusalem (1992).
Shaw J,W., *Minoan Architecture: Materials and Techniques*, Rome (1973).
Shear I.M., *Mycenean Domestic Architecture* (PhD Thesis, Bryn Mawr College) (1968).
Thomas G., Prehistoric Cypriot Mud Buildings and their impact on the Formation of Archaeological Sites (Phd thesis, University of Edinburgh 1995).
Todd I., *Vasilikos Valley Project 6. Excavations at Kalavasos Tenta (Sima LXXI:6). Goterberg* (1987).
Wright, G.R.H., *Ancient Building in South Syria and Palestine.* Leiden (1985).

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Περιγραφή φθοράς δομικών υλικών μνημείων (Description of the deterioration in structural material of monuments)

Β. Χρηστάρας, Ε. Παπανικολάου

Εργ. Τεχν. Γεωλογίας & Υδρογεωλογίας, Τμ. Γεωλογίας, ΑΠΘ.

Abstract

The methodology of the diagnostic study consists of in situ observations on the state of materials and non-destructive measurements for the description of damage, the identification of building materials and their research and the study of deterioration in the laboratory. These studies show the influence of factors of decay of the monument and thus make the assessment of the causes and the mechanisms of deterioration phenomena.

Materials characterization of architectural surfaces and the diagnosis of their deterioration is the first and necessary step for the approach to the planning of conservation interventions.

A modern technique is ultrasonic measurement. The speed of ultrasonic velocity helps to determine the status by testing the material by recording the propagation speed of ultrasonic, which shows the mechanical characteristics and the conservation status.

Specifically, the depth of the surface weathering of the stones can be estimated by using the velocity calculation methods of passing ultrasonic.

The propagation velocity of ultrasonic passing through the intact rock depend on the elastic properties of rock density and porosity. Generally the rate is affected by any cracks and discontinuities that may exist in the material.

This method has applicated on the evaluation of the depth and quality control of materials, the assess of the continuity and the assessment of different materials in a manufacturing etc.

Περίληψη

Η μεθοδολογία της διαγνωστικής μελέτης αποτελείται από τις επί τόπου μακροσκοπικές παρατηρήσεις σχετικά με την κατάσταση των υλικών και τις μη καταστρεπτικές μετρήσεις για την περιγραφή της φθοράς, την ταυτοποίηση των δομικών υλικών και την έρευνα προέλευσής τους αλλά και

τη μελέτη της φθοράς στο εργαστήριο. Με τις μελέτες, αυτές, προκύπτει η επίδραση των παραγόντων της φθοράς του μνημείου και συνεπώς πραγματοποιείται η εκτίμηση των αιτιών και των μηχανισμών των φαινομένων της φθοράς.

Ο χαρακτηρισμός των υλικών των αρχιτεκτονικών επιφανειών και η διάγνωση της φθοράς τους είναι το πρώτο και απαραίτητο βήμα για την ορθή προσέγγιση του σχεδιασμού των επεμβάσεων συντήρησης.

Μια σύγχρονη τεχνική είναι η υπερηχοσκόπηση. Η ταχύτητα των υπερήχων (ultrasonic velosity) συμβάλλει στον προσδιορισμό της κατάστασης του εξεταζόμενου υλικού, μέσω της καταγραφής της ταχύτητας διάδοσης των υπερήχων, η οποία αποτιμά τα μηχανικά χαρακτηριστικά τους και την κατάσταση διατήρησής τους.

Ειδικότερα, το βάθος της αποσάθρωσης των λίθων μπορεί να εκτιμηθεί κάνοντας χρήση μεθόδων υπολογισμού της ταχύτητας των διερχόμενων υπερήχων.

Η ταχύτητα διάδοσης των υπερήχων, που διέρχονται από το ακέραιο πέτρωμα εξαρτάται από τις ελαστικές ιδιότητες του πετρώματος, την πυκνότητα του και το πορώδες. Επίσης η ταχύτητα επηρεάζεται από τις οποιεσδήποτε μικρορωγμές και ασυνέχειες, που πιθανόν υπάρχουν στο υλικό.

Η μέθοδος αυτή, βρήκε και άλλες εφαρμογές στην πορεία, όπως αυτήν της αποτίμησης του βάθους της φθοράς, του ελέγχου ποιότητας των υλικών, την εκτίμηση για την συνέχεια και εκτίμηση των διαφορετικών υλικών σε μια κατασκευή κ.τ.λ.

Εισαγωγή

Η ανάγκη για την ανάκτηση των ιστορικών κτιρίων για επαναχρησιμοποίηση επέτρεψε μια σημαντική επέκταση των μη καταστρεπτικών διαγνωστικών ερευνών. Με τις μη καταστροφικές δοκιμές είναι τώρα δυνατό να προβλεφθούν όλες οι ποιοτικές και ποσοτικές παράμετροι με σκοπό να διατυπωθεί ένα σχέδιο ανάκαμψης και διατήρησης ενός μνημείου.

Σήμερα, η μη καταστρεπτική μέθοδος με τη χρήση υπερήχων αποτελεί μια από τις πιο αξιόπιστες διαγνωστικές μεθόδους, που χρησιμοποιούνται στα δομικά υλικά των μνημειακών κατασκευών. Η υψηλή σχέση μεταξύ της ταχύτητας διάδοσης των υπερηχητικών παλμών σε λίθινα δομικά υλικά και της ορυκτολογικής σύστασης χαρακτηρίζουν την αντοχή αυτής της μεθόδου. Η ολοκληρωμένη ανάλυση των υπερήχων αποτελεί μέθοδο για την ορυκτολογική-πετρογραφική καταγραφή των δομικών υλικών και επιτρέπει

τη λήψη σημαντικών πληροφοριών σχετικά με την κατάσταση διατήρησης των μνημειακών κατασκευών. Οι αλλαγές στο χρόνο των ελαστικών ιδιοτήτων, μπορούν να παρατηρηθούν μέσω των υπερήχων και να προσδιορίζουν την εξέλιξη της υποβάθμισης στα οικοδομικά υλικά παρέχοντας χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με την αποτελεσματικότητα των έργων αποκατάστασης. Έχει παρατηρηθεί ότι οι μεταβολές στα υλικά είναι δυνατόν να προκαλέσουν μια μείωση των τιμών της ταχύτητας του παλμού και επομένως οι διαμήκεις τιμές ταχύτητας μπορούν να θεωρηθούν αντιπροσωπευτικές της μηχανικής συμπεριφοράς των λίθινων υλικών.

Φθορά των δομικών υλικών των μνημείων

Η μεθοδολογία της διαγνωστικής μελέτης αποτελείται από τις επί τόπου μακροσκοπικές παρατηρήσεις, σχετικά με την κατάσταση των υλικών και τις μη καταστρεπτικές μετρήσεις για την περιγραφή της φθοράς, την ταυτοποίηση των δομικών υλικών και την έρευνα προέλευσής τους αλλά και τη μελέτη της φθοράς στο εργαστήριο. Με τις μελέτες, αυτές, προκύπτει η επίδραση των παραγόντων της φθοράς του μνημείου και συνεπώς πραγματοποιείται η εκτίμηση των αιτιών και των μηχανισμών των φαινομένων της φθοράς.

Ο χαρακτηρισμός των υλικών των αρχιτεκτονικών επιφανειών και η διάγνωση της φθοράς τους είναι το πρώτο και απαραίτητο βήμα για την ορθή προσέγγιση του σχεδιασμού των επεμβάσεων συντήρησης.

Η σύγχρονη τεχνολογία μας δίνει τη δυνατότητα να κάνουμε τα παραπάνω χρησιμοποιώντας μη καταστρεπτικές τεχνικές επί τόπου, καθιστώντας έτσι εφικτή την εφαρμογή ενός πιο σύγχρονου τρόπου έλεγχου της παθολογίας ενός κτιρίου, μη επιφέροντας ταυτόχρονα κανενός είδους αλλοιώσεις στο κτίριο / μνημείο με δειγματοληψίες και καταστρεπτικές τεχνικές. Όπου βέβαια είναι εφικτό να λαμβάνονται δείγματα από το κτίριο / μνημείο και καθώς, οι μη καταστρεπτικές τεχνικές είναι σε μία συνεχή εξέλιξη και προτυποποίηση, η συσχέτιση μεταξύ των αποτελεσμάτων που λαμβάνονται επί τόπου και των αποτελεσμάτων από το εργαστήριο είναι ιδιαιτέρως σημαντική, τόσο για την επιβεβαίωση των επί τόπου μετρήσεων όσο και για την συσχέτιση των αποτελεσμάτων.

Υπερηχοσκόπηση (ultrasonic velosity)

Μια σύγχρονη τεχνική είναι η υπερηχοσκόπηση. Η ταχύτητα των υπερήχων (ultrasonic velosity) συμβάλλει στον προσδιορισμό της κατάστασης του εξεταζόμενου υλικού, μέσω της καταγραφής της ταχύτητας

διάδοσης των υπερήχων, η οποία αποτιμά τα μηχανικά χαρακτηριστικά τους και την κατάσταση διατήρησής τους (Christaras, 1998, 2000, 2003, Christaras et al. 2014a,b), Moropoulou et al 1998a,b,).

Ειδικότερα, το βάθος της (επιφανειακής) αποσάθρωσης των λίθων μπορεί να εκτιμηθεί κάνοντας χρήση μεθόδων υπολογισμού της ταχύτητας των διερχόμενων υπερήχων. Στην περίπτωση αυτή, ο πομπός, του υπερηχητικού σήματος, τοποθετείται σε κατάλληλο σημείο, της αποσαθρωμένης επιφάνειας του λίθου, και ο δέκτης τοποθετείται στην ίδια επιφάνεια σε μετέπειτα (τελική;) θέση της γραμμής μέτρησης. Ο χρόνος διέλευσης του υπέρηχου καταγράφεται σε σχέση με την εκάστοτε απόσταση μεταξύ των κέντρων πομπού και δέκτη. Με δεδομένο ότι η περισσότερο αποσαθρωμένη ζώνη απαιτεί μεγαλύτερο χρόνο διέλευσης του σήματος, η μεταβολή της κλίσης της σχετικής καμπύλης (χρόνος - απόσταση), συνδέεται άμεσα με την ποιότητα του υλικού. Η μικρότερη μετρούμενη ταχύτητα στην επιφανειακή ζώνη οφείλεται προφανώς στην (επιφανειακή) αποσάθρωση του λίθου. Η ταχύτητα διάδοσης των υπερήχων, που διέρχονται από το ακέραιο πέτρωμα εξαρτάται από τις ελαστικές ιδιότητες του πετρώματος, την πυκνότητα του και το πορώδες. Γενικά η ταχύτητα επηρεάζεται από τις εκάστοτε μικρορωγμές και ασυνέχειες, που πιθανόν υπάρχουν στο υλικό.

Η μέθοδος αυτή, βρήκε και άλλες εφαρμογές στην πορεία, όπως αυτήν της αποτίμησης του βάθους της φθοράς, του ελέγχου ποιότητας των υλικών, την εκτίμηση για την συνέχεια και εκτίμηση των διαφορετικών υλικών σε μια κατασκευή κ.τ.λ.

Άλλες εφαρμογές της ταχύτητας υπερήχων

Δυναμικές ελαστικές παράμετροι των δομικών λίθων: Οι δυναμικοί συντελεστές των υλικών, όπως είναι το μέτρο του Young και ο συντελεστής Poisson υπολογίζονται τόσο με την «κλασική» μέτρηση των P και S υπερηχητικών κυμάτων αλλά και με τον υπολογισμό της συχνότητας μηχανικού συντονισμού (mechanical resonance frequency).

Ανισοτροπία των δομικών λίθων, με μελέτη των ελαστικών παραμέτρων: Χαρακτηριστικό των ορυκτών είναι η ανισοτροπία πολλών ανυσματικών ιδιοτήτων. Η ανισοτροπία μπορεί να είναι ασυνεχής, όπως είναι ο σχισμός, ή συνεχής, όπως είναι ο δείκτης διάθλασης ή ο προσανατολισμός των κόκκων ή των ορυκτών. Οι φυσικές και μηχανικές ιδιότητες των ορυκτών και των πετρωμάτων επηρεάζονται άμεσα από την ανισοτροπία του υλικού και επομένως εμφανίζουν διαφορετικές τιμές στις διάφορες διευθύνσεις. Η αναπαράσταση του τριαξονικού ελλειψοειδούς της ανισοτροπίας ενός υλικού μπορεί να δώσει πληροφορίες για τη μεταβολή της

μηχανικής συμπεριφοράς του στις διάφορες διευθύνσεις. Το μέτρο ελαστικότητας των υλικών μπορεί να θεωρηθεί παράμετρος μεταβολής της μηχανικής συμπεριφοράς στα ανισότροπα στερεά υλικά. Η παράμετρος αυτή συνδέεται άμεσα με κοινώς αποδεκτή εμπειρική σχέση με την ταχύτητα των διαμήκων (P) και εγκαρσίων (S) υπερηχητικών κυμάτων, η οποία εύκολα μπορεί να μετρηθεί, κατά μήκος διαφόρων διευθύνσεων. Έτσι, η ταχύτητα υπερήχων μπορεί να αποτελέσει έμμεσο αλλά αξιόπιστο τρόπου υπολογισμού της μηχανικής ανισοτροπίας ενός στερεού υλικού και της αναπαράστασης του σχετικού τριαξονικού ελλειψοειδούς.

Η περίπτωση του αρχαιολογικού χώρου του Δίου

Ιστορικά στοιχεία του Δίου (Πιερία – Μακεδονία)

Ήταν ένα από τα σημαντικότερα θρησκευτικά κέντρα των αρχαίων Ελλήνων από τον 5ο π.Χ. αιώνα. Χτισμένο στην ανατολική πρόποδες του Ολύμπου, ήταν στο δρόμο, που οδηγούσε από τη Θεσσαλία στη Μακεδονία (Σχήμα.5.1.1)

Σχ.5.1.1 Γεωγραφική θέση του αρχαιολογικού χώρου

Στην αρχαιότητα ήταν μόλις 1,5 χιλιόμετρο από τις ακτές του Θερμαϊκού κόλπου. Ο Βαφύρας, το πλωτό ποτάμι, που διέρχεται στα ανατολικά της αρχαίας πόλης, παρείχε ένα σύνδεσμο προς τη θάλασσα, μέσα

από τις εκτεταμένες ελώδεις περιοχές και τα ρηχά λιμνοθάλασσες των εκβολών του.

Σχ.5.1.2 Αναπαράσταση των ιερών και της πόλης του Δίου (Εφορία Αρχαιοτήτων Πιερίας)

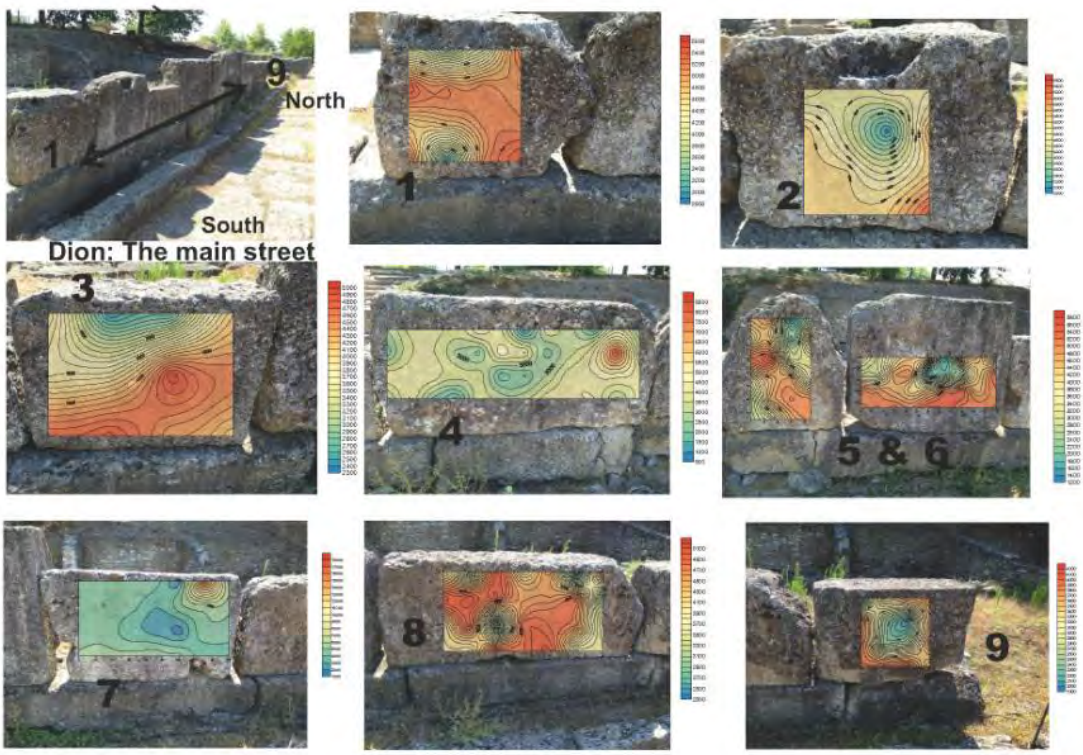
Εφαρμογή της τεχνικής των υπερήχων

Η εφαρμογή διεξήχθη σε κροκαλοπαγείς πλάκες κατά μήκος του κεντρικού δρόμου της αρχαίας πόλης (Εικ. 5.2.1). Σύμφωνα με την ορυκτολογική μελέτη, αποτελούνται κυρίως από ασβεστόλιθο και δολομίτη καθώς επίσης και ίχνη από χαλαζία και μαρμαρυγία.

Εικόνα 5.2.1 Ο κεντρικός δρόμος της αρχαίας πόλης

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Η ταχύτητα υπερήχων χρησιμοποιήθηκε για τη χαρτογράφηση του βαθμού αποσάθρωσης των κροκαλοπαγών λίθων (Εικ. 5.2.2). Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκε μια φορητή συσκευή υπερήχων στην παρούσα έρευνα, Surfer Ultrasonic Detector UK1401 με συχνότητα εργασίας 50 KHz.. Οι μετρήσεις εφαρμόστηκαν, εμμέσως, στην ίδια επιφάνεια των λίθων, τα οποία βρίσκονται κατά μήκος της, με κατεύθυνση Β-Ν. Οι μετρήσεις που λαμβάνονται από έμμεση μέθοδο (τοποθετούνται στην ίδια επιφάνεια) είναι χαμηλότερες (περίπου 2/3) από εκείνες που λαμβάνονται με άμεση μέθοδο (τοποθετούνται στις απέναντι θέσεις ενός λίθου), επειδή οι πρώτες μετρήσεις αναφέρονται στην επιφανειακή ποιότητα αντί της δεύτερης, που αφορούν την εσωτερική ποιότητα της πέτρας.



Εικόνα. 5.2.2. Χαρτογράφηση με ταχύτητα των υπερήχων, που συνδέονται με την επιφάνεια των λίθων και τις καιρικές συνθήκες, κατά μήκος του κεντρικού δρόμου του αρχαιολογικού χώρου του Δίου

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Συμπέρασματα

Σύμφωνα με τα παραπάνω, διαπιστώνεται οτι η αξιοποίηση των ορυκτολογικών παρατηρήσεων και των αποτελεσμάτων υπερηχοσκόπησης σχετικά με την ταυτοποίηση των δομικών υλικών και την έρευνα προέλευσής τους αλλά και την κατάσταση της φθοράς.

Ο χαρακτηρισμός των υλικών των αρχιτεκτονικών επιφανειών και η διάγνωση της φθοράς τους είναι το πρώτο και απαραίτητο βήμα για την ορθή προσέγγιση του σχεδιασμού των επεμβάσεων συντήρησης.

Η ταχύτητα των υπερήχων (ultrasonic velosity) συμβάλλει στον προσδιορισμό της κατάστασης του εξεταζόμενου υλικού, μέσω της καταγραφής της ταχύτητας διάδοσης των υπερήχων, η οποία συσχετίζεται, άμεσα, με τα μηχανικά χαρακτηριστικά τους την κατάσταση διατήρησής τους καθώς και την κατάσταση και βάθος της φθοράς τους.

Ευχαριστίες

Η εργασία πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του Προγράμματος ΘΑΛΗΣ-ΑΕΙΣ "Αειφορία και συμβατότητα προηγμένων υλικών και τεχνολογιών για την προστασία μνημείων της Πολιτιστικής Κληρονομιάς: ανάπτυξη κριτηρίων και μεθοδολογιών ελέγχου" με επιστημονικά υπεύθυνη την Καθ. Α. Μοροπούλου, με τη χρηματοδότηση του Επιχειρησιακού Προγράμματος "Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση" του Υπουργείου Πολιτισμού, Παιδείας και Θρησκευμάτων.

Βιβλιογραφία

Christaras, B., “Non-destructive methods used for the estimation of the damage (weathering and cracks) of the building and ornamental stones”, PACT 55 (Revue du Conseil de l’ Europe), (1998) 213-219

Christaras, B., “Effectiveness of in situ P-wave measurements in monuments” Journal of Nepal Geological Society, Vol. 22, (2000) 45-48, (b)

Christaras, B., “P-wave velocity and quality of building materials” Proc. of IAEG Int. Symp. Industrial Mineral and Building Stones, IA(EG-Istanbul Technical University, Istanbul, (2003) 295-300

Christaras B., Cuccuru, F., F**ais, S., Papanikolaou, E.**, “Application of non-destructive ultrasonic techniques for the analysis of the conservation status of building materials in monumental structures”, Int. Congr. of the Int. Assoc. of Engineering Geology & the Environment (IAEG), Torino 2014

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Christaras, B., Papanikolaou, Hel., Cuccuru, F., Fais, S., "Application of non-destructive ultrasonic techniques, as methodology for the analysis of the conservation status of building materials in monumental structures" 9th Int. Symp. on Conserv. of Monum. in the Medit. Basin, Ankara, (2014)

Moropoulou, A., Koui, M., Christaras, B., Tsiourva, Th., "Non-destructive evaluation of the performance of mortars on historical masonries", PACT 55 (Revue du Conseil de l ' Europe), (1998) 243-266,

Moropoulou, A., Tsiourva, Th., Theoulakis, P., Christaras, B., Koui, M., "Non-destructive evaluation of pilot scale treatments for porous stone consolidation in the Medieval City of Rhode", PACT 56 (Revue du Conseil de l' Europe), (1998) 259-278.

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Φθορά δομικών στοιχείων ιστορικών μνημείων: Κινητική της διάλυσης και μελέτη σχηματισμού ευδιάλυτων αλάτων (Deterioration of materials of historical buildings : kinetics of dissolution and formation of soluble salts)

Π.Γ. Κουτσούκος, Δ. Κανελλοπούλου, Α.Ι. Βαβουράκη, Σ. Ροκίδη

Τμήμα Χ/Μ Πανεπιστήμιο Πατρών, ΙΤΕ/ ΙΕΧΜΗ Πάτρα

Abstract

Chemical dissolution and the formation of soluble salts including sodium chloride, sodium sulfate and magnesium sulfate, are among others, significant factors contributing towards deterioration and damage of the built cultural heritage. Taking into consideration that built heritage consists to a large part of calcitic minerals (marble, limestone) and the fact that the solubility of calcium carbonate increases dramatically with decreasing pH dissolution is very important, even upon contact of the materials with rainwater acidified by the dissolved atmospheric carbonate. Moreover, the heterogeneous nucleation and growth of soluble salts is favored by the calcitic substrates, leading to stone damage because of the increased crystallization pressure. The investigation of the parameters that determine the kinetics of dissolution and the kinetics of heterogeneous nucleation of fairly soluble salts is very important for the design of efficient strategy for the reduction of the respective dissolution and crystal growth rates and hence for the amelioration of the monument protection approaches and methodologies. In this work, we present the highly accurate and reproducible methodology for the measurement of rates of dissolution of crystalline materials like calcitic marble types (>98% calcite) at conditions of sustained undersaturation (the thermodynamic driving force) over a wide pH range (5.5-8.5). The correlation of the rates of crystal dissolution with the solution undersaturation provides direct information concerning the underlying mechanism. At acid pH values the dominant mechanism is bulk diffusion while at the alkaline pH values the dominant mechanism is surface diffusion of the building units on the surface of the calcitic crystallites of the materials. At neutral pH both mechanisms are operative. The prevention of dissolution strategy therefore shall depend on the alteration of fluid dynamics at the acid pH values and to the modification of the surfaces at the alkaline domain. Finally, the

heterogeneous crystallization of sodium sulfate decahydrate (Na2SO4·10H2O, Mirabilite) was done from stable supersaturated solutions in an attempt to model damage caused by the formation of soluble salts which upon hydration develop high crystallization pressure, resulting to damage to the stone integrity. The rates of mirabilite crystal growth were measured by the introduction of mirabilite seed crystals in the supersaturated solutions monitoring solution temperature changes, since crystal growth of mirabilite is highly exothermic. The correlation of the measured crystal growth rates with the solution supersaturation showed that the main contributing mechanism was surface diffusion of the growth units on the seed crystals, suggesting that the appropriate modification of the surface of the substrate can reduce or even eliminate the crystallization of damaging salts like mirabilite.

Περίληψη

Μεταξύ των παραγόντων οι οποίοι ευθύνονται για τη φθορά σημαντικών δομικών υλικών ιστορικών μνημείων της πολιτιστικής μας κληρονομιάς, σημαντική θέση κατέχουν η χημική διάλυση και η κρυστάλλωση ευδιάλυτων αλάτων όπως το χλωριούχο νάτριο, το θειικό νάτριο ή το θειικό μαγνήσιο. Τα δομικά υλικά των ιστορικών μνημείων συμπεριλαμβάνουν υψηλά ποσοστά ανθρακικού ασβεστίου, η διαλυτότητα του οποίου μεταβάλλεται δραματικά συναρτήσει του pH, ενώ το ίδιο υλικό ευνοεί την ετερογενή πυρηνογένεση και κρυσταλλική ανάπτυξη ευδιάλυτων αλάτων. Η μελέτη των παραγόντων οι οποίοι καθορίζουν την κινητική της διάλυσης αλλά και την κινητική της ετερογενούς πυρηνογένεσης ευδιάλυτων αλάτων είναι καθοριστικής σημασίας για την σχεδίαση της ορθής στρατηγικής για την μείωση των αντιστοίχων φαινομένων και κατ' επέκταση για την αποτελεσματικότερη προστασία των υλικών. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται υψηλής επαναληψιμότητας και μεγάλης ακριβείας μεθοδολογία μελέτης της κινητικής της διαλύσεως υλικών όπως το μάρμαρο (κυρίως ασβεστιτικής σύστασης-Πεντελικό) σε ευρεία περιοχή τιμών pH (5.5-8.5) και σε συνθήκες σταθερής θερμοδυναμικής κινούσας δύναμης (βαθμός κορεσμού). Ο συσχετισμός ρυθμών διάλυσης με το βαθμό κορεσμού των διαλυμάτων ως προς τη διαλυόμενη κρυσταλλική φάση δίνει πληροφορίες για το μηχανισμό της διάλυσης.

Η μελέτη της ετερογενούς κρυσταλλικής ανάπτυξης του δεκαένυδρου άλατος του θειικού νατρίου (Na_2SO_4*$10H_2O$, Μιραμπιλίτης) έγινε σε σταθερά υπέρκορα διαλύματά του σε κρυσταλλικά φύτρα του ιδίου άλατος. Η μέτρηση των ρυθμών έγινε με βάση το ρυθμό μεταβολής της θερμοκρασίας

κατά την εξώθερμο κρυσταλλική ανάπτυξη του Μιραμπιλίτη και βρέθηκε ότι ο μηχανισμός καθορίζεται από την επιφανειακή διάχυση των δομικών μονάδων στην επιφάνεια των κρυσταλλικών φύτρων. Το συμπέρασμα αυτό σημαίνει ότι ο καταστροφικός σχηματισμός των κρυστάλλων μιραμπιλίτη σε διάφορα υποστρώματα είναι δυνατόν να επιβραδυνθεί ή και να ματαιωθεί με κατάλληλη τροποποίηση της επιφανείας των υποστρωμάτων αυτών.

Εισαγωγή

Οι διεργασίες κρυστάλλωσης αλλά και διάλυσης οι οποίες λαμβάνουν χώρα σε πορώδη υλικά, τα οποία χρησιμοποιούνται ως δομικά (όπως ασβεστόλιθος, ψαμμίτης κ.ά.), είναι ιδιαίτερα σημαντικές, λόγω του ότι συντελούν στην καταστροφή τους. Συγκεκριμένα ο σχηματισμός ένυδρων θεϊκών αλάτων αποτελεί σημαντική αιτία καταστροφής των υλικών αυτών (Flatt, 2002; Hamilton et al., 2008), πιθανώς λόγω της αναπτυσσόμενης αυξημένης μηχανικής πίεσης. Σημαντική είναι επίσης η συνεισφορά της διάλυσης του ανθρακικού ασβεστίου στην καταστροφή επιφανειών αλλά και του πορώδους μνημείων κατασκευασμένων από δομικά υλικά μεγάλης περιεκτικότητας σε ασβεστόλιθο (La Iglesia et al., 1994; Cardell et al., 2003; Díaz Gonçalves et al., 2006). Στα μεγαλύτερου πορώδους υλικά (ασβεστόλιθος) η φθορά η οποία οφείλεται στην κρυστάλλωση εντός των πόρων είναι σημαντική ενώ στα υλικά με μικρό πορώδες, όπως το μάρμαρο η φθορά της επιφάνειας η οποία οφείλεται σε χημικούς, μικροβιολογικούς ή και σε μηχανικούς παράγοντες είναι ιδιαίτερα σημαντική. Όσον αφορά στο μηχανισμό καταστροφής του πορώδους των δομικών υλικών, λόγω της κρυστάλλωσης ευδιάλυτων αλάτων υποστηρίζεται από μεγάλη μερίδα ερευνητών, ότι η ενυδάτωση των αλάτων τα οποία κρυσταλλώνονται οδηγεί στη διόγκωση τους στο εσωτερικό των πόρων με συνακόλουθη ανάπτυξη υψηλών κρυσταλλικών πιέσεων με συνέπεια την μακροσκοπική καταστροφή του υλικού (Goudie 1977; Chatterji & Christensen, 1979; Goudie & Viles 1997). Στην περίπτωση του σχηματισμού κρυστάλλων θειικού νατρίου, το ένυδρο άλας ($Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$, μιραμπιλίτης), είτε σχηματίζεται απευθείας είτε μετά τον σχηματισμό της πρόδρομης άνυδρης μορφής του (Na_2SO_4, θεναρντίτης). Οι δυνάμεις πίεσης που ασκούνται τόσο κατά τη διεργασία της κρυστάλλωσης, όσο και από τους σχηματιζόμενους βελονοειδείς κρυστάλλους συντελούν στην καταστροφή του πορώδους του υλικού (Cooke, 1981. Η κατανόηση των μηχανισμών κρυσταλλικής ανάπτυξης ή/ και της διάλυσης αλάτων όπως ο μιραμπιλίτης και ο ασβεστίτης, είναι απαραίτητη προκειμένου να επιτευχθεί ο έλεγχος των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στα πορώδη υλικά. Απώτερος στόχος του ελέγχου αυτού

είναι η παρεμπόδιση τόσο του σχηματισμού των ανεπιθύμητων αλάτων, όσο και της διάλυσης του ανθρακικού ασβεστίου, το οποίο είναι το βασικό συστατικό των ασβεστολιθικών δομικών υλικών.

Στην παρούσα εργασία διερευνήθηκε η κινητική της διάλυσης διαφόρων τύπων μαρμάρου με την μέθοδο διατήρησης σταθερού βαθμού κορεσμού η οποία επιτρέπει την ακριβή και με υψηλής επαναληψιμότητας τρόπο μελέτη των ρυθμών διάλυσης τόσο απουσία όσο και παρουσία ουσιών οι οποίες δρούν ανασταλτικά προς τη διάλυση. Για την διερεύνηση της φθοράς λόγω σχηματισμού ευδιάλυτων αλάτων, μελετήθηκε η κρυσταλλική ανάπτυξη του μιραμπιλίτη σε υδατικά υπέρκορα διαλύματά του.

Πειραματικό μέρος

Μελέτη διάλυσης Πεντελικού μαρμάρου (σε περιοχή τιμών pH 5.5-8.5 σε σταθερό βαθμό κορεσμού.

Οι μετρήσεις της κινητικής της διάλυσης κονιοποιημένου μαρμάρου έγιναν σε μαγνητικά αναδευόμενο (100 rpm) διπλότοιχο θερμοστατούμενο αντιδραστήρα διαλείποντος έργου, σε θερμοκρασία 25.0±0.1°C. Ως παράμετρος παρακολούθησης της διεργασίας χρησιμοποιήθηκε το pH των διαλυμάτων το οποίο εμετρείτο με τη βοήθεια συνδυασμένου ηλεκτροδίου υάλου - Ag/AgCl (Mettler Toledo 405-60-S7/120) κατάλληλα βαθμονομημένου. Κατά τη διάλυση του μαρμάρου το pH του διαλύματος εργασίας αυξάνεται, αφού για κάθε 1 mol $CaCO_3$ που διαλύεται δεσμεύονται 2 mol H^+ από το διάλυμα σύμφωνα με την αντίδραση:

$$CaCO_3 + H_2CO_3 \rightarrow Ca^{2+} + 2HCO_3^- \quad (1)$$

Η μέτρηση και καταγραφή του pH συναρτήσει του χρόνου, απετέλεσε και την μεθοδολογία παρακολούθησης της εξέλιξης της διάλυσης του μαρμάρου ενώ ταυτόχρονα, με την παραδοχή της στοιχειομετρίας που υπαγορεύεται από την εξ. (1) ήταν δυνατός και ο έλεγχος των συνθηκών στα διαλύματα (ακόρεστα) στα οποία λάμβανε χώρα η διάλυση των στερεών. Συγκεκριμένα, στην παρούσα εργασία, κατά την διάλυση στις συνθήκες που μελετήθηκε, ο κορεσμός των διαλυμάτων (ακόρεστα ως προς τον ασβεστίτη) διατηρήθηκε σταθερός. Για την επίτευξη του στόχου αυτού, μεταβολή του pH κατά 0.005 μονάδες προκαλούσε την προσθήκη κατάλληλων διαλυμάτων ρύθμισης (titrants) στο ακόρεστο διάλυμα μέσω ζεύγους προχοΐδων, μηχανικά συζευγμένων έτσι ώστε, όχι μόνο η τιμή του pH διετηρείτο σταθερή με την προσθήκη των αντιστοίχων ισοδυνάμων H^+, αλλά και η σύσταση του

διαλύματος με την προσθήκη κατάλληλης ποσότητας διαλύματος NaCl έτσι ώστε να αραιώνεται το διάλυμα, στο οποίο η συγκέντρωση τόσο του ασβεστίου όσο και των ανθρακικών ιόντων, αυξανόταν λόγω της διάλυσης. Τα διαλύματα εργασίας ήταν ακόρεστα ως προς ασβεστίτη και παρασκευάζονταν με την αραίωση κατάλληλων όγκων stock διαλυμάτων $CaCl_2$, $NaHCO_3$, NaCl, έτσι ώστε οι αρχικές συγκεντρώσεις των ολικών ανθρακικών και του αδρανούς ηλεκτρολύτη να είναι αντίστοιχα $NaHCO_3$ 1.15 mM, NaCl 0,1 M ενώ η συγκέντρωση $CaCl_2$, μεταβαλλόταν, έτσι ώστε να παρασκευάζονται διαλύματα με διαφορετικές τιμές αρχικής ακορεστότητας. Η αρχική τιμή του pH ρυθμιζόταν στο 8.25 με προσθήκη 0.01N NaOH. Μετά την διακρίβωση της αποκατάστασης ισορροπίας στα ακόρεστα διαλύματα εργασίας, η οποία γινόταν από την διαπίστωση της σταθερότητας της τιμής του pH για μεγάλο χρονικό διάστημα (> 1 h), γινόταν προσθήκη ακριβώς ζυγισμένης σκόνης μαρμάρου. Σε όλες τις περιπτώσεις, η διάλυση ξεκινούσε κατ' ευθείαν χωρίς την μεσολάβηση χρόνου εκκόλαψης. Δείγματα από το διάλυμα εργασίας λαμβάνονταν ακριβώς πριν την εμβάπτιση των δοκιμίων, και μετά από αυτή σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές. Τα δείγματα διηθούνταν μέσω ηθμών μεμβράνης με μέγεθος πόρων 0.22μm και το διήθημα αναλυόταν ως προς την περιεκτικότητά του σε ασβέστιο . Η μέτρηση των ρυθμών διάλυσης γινόταν από τον ρυθμό προσθήκης των αντιδραστηρίων για τη διατήρηση του σταθερού κορεσμού, δεδομένου του ότι, αυτός είναι ισοδύναμος με το ρυθμό διάλυσης.

Μελέτη κρυστάλλωσης θειικού νατρίου

Η μελέτη κρυστάλλωσης του μιραμπιλίτη πραγματοποιήθηκε σε μαγνητικά αναδευόμενο γυάλινο διπλότοιχο θερμοστατούμενο (20 ^{0}C) αντιδραστήρα διαλείποντος έργου (200 mL όγκος διαλύματος εργασίας) σε υπέρκορα διαλύματά του. Η παρασκευή των υπέρκορων διαλυμάτων γίνοταν με ανάμιξη ίσων όγκων διαλυμάτων καυστικού νατρίου και θειικού αμμωνίου σε στοιχειομετρική αναλογία 2: 1 τα οποία ήταν σταθερά για μεγάλες χρονικές περιόδους (>48 ώρες). Η έναρξη της κρυσταλλικής ανάπτυξης επιτυγχάνοταν με την εισαγωγή προζυγισμένης, σταθερής σε κάθε πείραμα, ποσότητας κρυσταλλικών φύτρων μιραμπιλίτη. Η κρυστάλλωση συνοδευόταν από άνοδο της θερμοκρασίας του διαλύματος εργασίας, λόγω του εξώθερου χαρακτήρα της διαδικασίας (Anderson, 1984). Με βάση την μεταβλητή της θερμοκρασίας, έγινε χρήση αντίστοιχου αισθητήρα θερμοκρασίας για την καταγραφή της εξέλιξής της συναρτήσει του χρόνου αναφερόμενη στην κρυσταλλική ανάπτυξη των φύτρων μιραμπιλίτη. Κατά την εξέλιξη της κρυστάλλωσης, λαμβάνονταν δείγματα από το διάλυμα

εργασίας. Η ανάλυση της συγκέντρωσης του άλατος στο διάλυμα, έγινε με σταθμική μέθοδο. Από τα διαγράμματα θερμοκρασίας –χρόνου και συγκέντρωσης θειικού νατρίου-χρόνου υπολογίσθηκαν δυο ρυθμοί κρυστάλλωσης, R_T και R_C, αντίστοιχα. Οι τιμές που μετρήθηκαν για την R_T ήταν ανάλογες με τις αντίστοιχες τιμές της R_C. Ως χρόνος έναρξης της κρυστάλλωσης του μιραμπιλίτη, ελήφθη ο χρόνος εισαγωγής των φύτρων μιραμπιλίτη.

Αποτελέσματα-Συζήτηση

Ο σχετικός κορεσμός, Ω, ορίζεται για τα ιοντικά άλατα όπως το ανθρακικό ασβέστιο, ως ο λόγος του γεωμετρικού μέσου του ιοντικού γινομένου των ιόντων του άλατος στο διάλυμα (δείκτης s) προς τον αντίστοιχο στην κατάσταση ισορροπίας (διαλυτότητα, δείκτης ∞). Για τα υπό μελέτη άλατα δηλαδή ήταν:

$$\Omega_{CaCO_3} = \left\{ \frac{(Ca^{2+})_s (CO_3^{2-})_s}{(Ca^{2+})_\infty (CO_3^{2-})_\infty} \right\}^{\frac{1}{2}} = \frac{IAP}{K_s^0} \quad (2)$$

$$\Omega_{mirabilite} = \left\{ \frac{(m_{Na^+})_s^2 (m_{SO^{2-}_4})_s}{(m_{Na^+})_\infty^2 (m_{SO^{2-}_4})_\infty} \right\} = \frac{IAP}{K_s^0}$$

Στις εξισώσεις 2, IAP είναι το ιοντικό γινόμενο των αλάτων και K_s^0 το θερμοδυναμικό γινόμενο διαλυτότητας. Εάν Ω<1 τα διαλύματα είναι ακόρεστα και για Ω>1 είναι υπέρκορα. Ο σχετικός κορεσμός, σ, ως προς τα άλατα ορίζεται ως:

$$\sigma = 1 - \Omega_{CaCO_3} \quad (3)$$

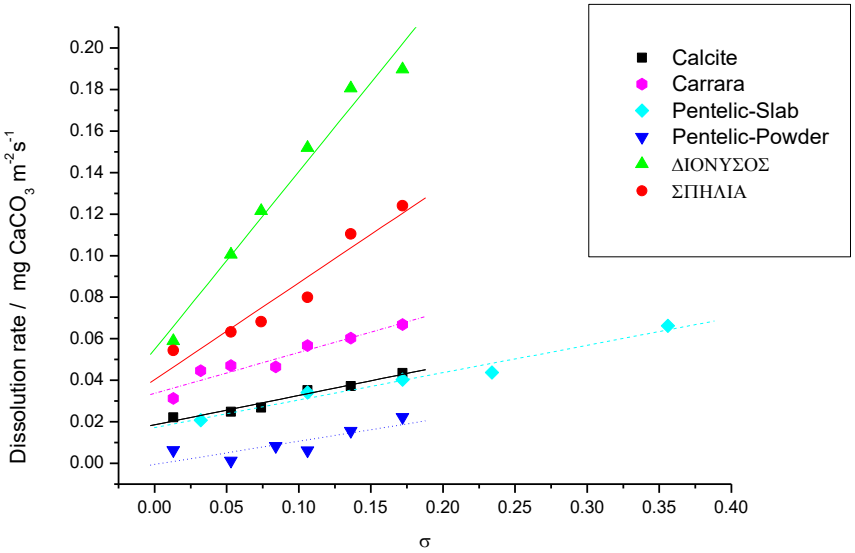
Για τα ακόρεστα ως προς CaCO3 διαλύματα και

$$\sigma = \Omega_{Mirabilite} - 1 \quad (4)$$

Για τα υπέρκορα ως προς μιραμπιλίτη διαλύματα.

Οι μετρήσεις του ρυθμού διάλυσης τόσο του μαρμάρου όσο και της πρότυπης ένωσης (ασβεστίτης) συναρτήσει της ακορεστότητας των διαλυμάτων παρουσιάζονται στο Σχ.1. Στο διάγραμμα αυτό περιλαμβάνονται αποτελέσματα για δείγματα κονιοποιημένων μαρμάρων μαρμάρου. Σε όλες τις περιπτώσεις η εξάρτηση ρυθμού διάλυσης – σχετικής ακορεστότητας ήταν γραμμική. Η διαφορά στην κλίση (φαινόμενη σταθερά ταχύτητας) οφείλεται πιθανώς στην παρουσία μετάλλων ή και διαφόρων άλλων προσμίξεων όπως η παρουσία πυριτικών τα οποία μερικώς διαλυόμενα είναι δυνατόν να προκαλέσουν μεταβολές στην κινητική της διάλυσης (διαφορετική σύσταση κάθε τύπου μαρμάρου). Είναι γνωστό ότι το Πεντελικό μάρμαρο περιέχει σίδηρο, η παρουσία του οποίου στα διαλύματα

προκαλεί επιβράδυνση του ρυθμού διάλυσης Η διάλυση του συγκεκριμένου μετάλλου αναμένεται να είναι μεγαλύτερη στο κονιοποιημένο δείγμα. Ένα ακόμα σημαντικό συμπέρασμα που αφορά στην μοντελοποίηση της διάλυσης του μαρμάρου, είναι το γεγονός ότι *σε όλες τις περιπτώσεις, οι ρυθμοί που υπολογίσθηκαν ήσαν της αυτής τάξης μεγέθους με τους αντίστοιχους ρυθμούς του καθαρού ασβεστίτη*. Είναι συνεπώς δυνατόν να χρησιμοποιηθεί η ουσία αυτή, ως πρότυπο για τη διάλυση του μαρμάρου σε ακόρεστα διαλύματα. Στην περίπτωση της διάλυσης του κονιοποιημένου μαρμάρου Carrara οι ρυθμοί που υπολογίσθηκαν ήσαν της αυτής τάξης μεγέθους με τους ρυθμούς που έχουν αναφερθεί στη βιβλιογραφία από μετρήσεις σε μακροσκοπικά δοκίμια που είχαν ενσωματωθεί σε περιστρεφόμενο δίσκο. Η θερμική κατεργασία του Πεντελικού μαρμάρου ωστόσο, η οποία έχει ως συνέπεια την αύξηση του πορώδους, οδήγησε σε σημαντική αύξηση του ρυθμού διάλυσης, σε σύγκριση με το ρυθμό διάλυσης του ακατέργαστου μαρμάρου.



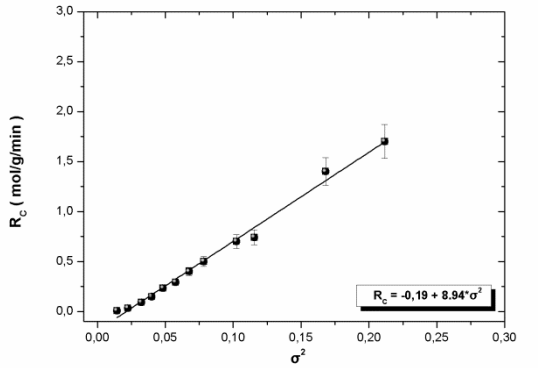
Σχήμα 1: Σύγκριση ρυθμών διάλυσης σκόνης και δοκιμίων ασβεστιτικών μαρμάρων (slab) με κονιοποιημένο ασβεστίτη . pH =8,25, 25 ^{0}C

Στις περιπτώσεις αυτές, βρέθηκε μη γραμμική εξάρτηση του ρυθμού διάλυσης με τη σχετική ακορεστότητα, σύμφωνα με την ημι-εμπειρική σχέση: $R=Kd\cdot\sigma^n$, n>1. Για το δολομιτικό μάρμαρο Ekeberg, , από το διάγραμμα του ρυθμού διάλυσης R συναρτήσει της σχετικής ακορεστότητας σ η προσαρμογή των δεδομένων στην $R=k_d\cdot\sigma^n$ έδωσε την τιμή n=2. Συνεπάγεται λοιπόν ότι το στάδιο που καθορίζει τη διάλυση του δολομιτικου

μαρμάρου είναι η επιφανειακή διάχυση. Κατά τη διάλυση του δολομιτικού μαρμάρου, η απώλεια ασβεστίου και μαγνησίου ήταν η αυτή με τον γραμμομοριακό λόγο 1:1 του στοιχειομετρικού δολομίτη, γεγονός που δείχνει ότι η διάλυση του δολομιτικού μαρμάρου ήταν στοιχειομετρική (congruent). Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας μετρήθηκε και η διαλυτότητα τόσο του δολομιτικού όσο και των λοιπών τύπων μαρμάρου. Με βάση τους υπολογισμούς αυτούς έγιναν και οι αντίστοιχοι υπολογισμοί.

Στην περίπτωση της κρυσταλλικής ανάπτυξης του μιραμπιλίτη, ο ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας ήταν ανάλογος του ρυθμού κρυσταλλικής ανάπτυξης.

Από τη γραφική παράσταση του ρυθμού κρυστάλλωσης (R_C) συναρτήσει του υπερκορεσμού προέκυψε ότι το καθορίζον την ταχύτητα στάδιο είναι η διάχυση των δομικών μονάδων του άλατος του θειικού νατρίου στα ενεργά κέντρα της επιφάνειας των κρυσταλλικών φύτρων, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την έναρξη της κρυστάλλωσης (**Σχ. 2**).



Σχήμα 2. Γραφική παράσταση του ρυθμού κρυσταλλικής ανάπτυξης του μιραμπιλίτη σε κρυσταλλικά φύτρα (~1.25mg/mL) συναρτήσει του τετραγώνου του σχετικού υπερκορεσμού στους 20 ^{0}C.

Συμπεράσματα

Οι μετρήσεις της κινητικής της διάλυσης διαφόρων τύπων μαρμάρου σε συνθήκες σταθερού κορεσμού έδειξαν ότι σε αλκαλικές τιμές pH η φθορά η οποία οφείλεται σε χημικούς παράγοντες ελέγχεται από επιφανειακή διάχυση. Σε όξινες τιμές η διεργασία

ελέγχεται από την μεταφορά μάζας ενώ σε ουδέτερη τιμή pH και οι δύο μηχανισμοί συμμετέχουν. Η κρυστάλλωση ευδιαλύτων αλάτων, όπως ο Μιραμπιλίτης, σε ευρεία περιοχή τιμών υπερκορεσμού, καθορίζεται από την επιφανειακή διάχυση

Ευχαριστίες

Η εργασία πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του Προγράμματος ΘΑΛΗΣ-ΑΕΙΣ "Αειφορία και συμβατότητα προηγμένων υλικών και τεχνολογιών για την προστασία μνημείων της Πολιτιστικής Κληρονομιάς: ανάπτυξη κριτηρίων και μεθοδολογιών ελέγχου" με επιστημονικά υπεύθυνη την Καθ. Α. Μοροπούλου, με τη χρηματοδότηση του Επιχειρησιακού Προγράμματος "Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση" του Υπουργείου Πολιτισμού, Παιδείας και Θρησκευμάτων

Βιβλιογραφία

Anderson, A.B., ″Mechanism for forming hydrogen chloride and sodium sulfate from sulfur trioxide, water, and sodium chloride″ ,J. Am. Chem. Soc. 106 (1984) 6262–6265.

Cardell, C., Delalieux, F., Roumpopoulos, K., Moropoulou, A., Auger, Van Grieken R., ″Salt-induced decay in calcareous stone monuments and buildings in a marine environment in SW France″, Construction and Building Materials, 17(2003)165-179.

F.Chatterji, S.,Jensen, A.D., ″Efflorescence and breakdown of building materials″, Nordic Concr. Res., 8 (1989) 56–61.

Chatterji, S., Christensen P., ″A mechanism of breakdown of limestone nodules in a freeze-thaw environment″, Cem. Concr. Res. 9 (1979) 741–746.

Cooke, R.U., ″Salt weathering in deserts″, Proceedings of the Geologist Association, London, 92 (1981) 1–16.

Díaz Gonçalves, T., Delgado Rodrigues, J., Marinho Abreu, M., ″Evaluating the salt content of salt-contaminated samples on the basis of their hygroscopic behaviour: Part II: experiments with nine common soluble salts″, J. Cult. Her. 7 (2006) 193–200.

Flatt, R.J., ″Salt damage in porous materials: how high supersaturations are generated″,.J. Crystal Growth 242(2002) 435–454.

Goudie, A.S., ″Sodium sulphate weathering and the disintegration of Mohenjo Daro, Pakistan″, Earth Surf. Proc. 2 (1977) 75–86

Goudie, A. S., and Viles, H., Salt weathering hazards: Chichester, John Wiley and Sons, (1997) 241

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Hamilton, A., Hall, C., Pel, L., ″Salt damage and the forgotten metastable sodium sulfate heptahydrate: Direct observation of crystallization in a porous medium″, J. Physics D: Applied Physics 41 (2008) 1–5.
La Iglesia, A., Garcia del Cura, M.A., Ordoñez. S.,″The physicochemical weathering of monumental dolostones, granites and limestones: Dimension stones of the cathedral of Toledo (Spain)″, Sci. Total Env. 152 (1994) 179–188.
Morse, J.W., Arvidson, R.S., Lüttge, A., ″Calcium carbonate formation and dissolution″, Chemical Reviews 107 (2007) 342–381.
.

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

A Technological and Provenance Study of Byzantine Glass Tesserae

A. Moropoulou[(1)*], N. Zacharias[(2)*], E.T. Delegou[(1)], B. Maróti[(3)] and Zs. Kasztovszky[(3)]

[1] Laboratory of Materials Science & Engineering, School of Chemical Engineering, National Technical University of Athens, 9 Iroon Polytechniou Str., Zografou Campus, Athens, 15780, Greece

[2] Department of History, Archaeology and Cultural Resources Management,

University of the Peloponnese, 24100 Kalamata, Greece

[3] Nuclear Analysis and Radiography Department MTA, Centre for Energy Research,

H-1121 Budapest Konkoly Thege 29-33, Hungary

Abstract

A collection of nine coloured glass tesserae from Hagia Sophia, Constantinopolis is analytically studied aiming at the characterisation of the base glass used and its technology production, as well as at the diagnosis of its preservation state. A variety of non-invasive techniques like Fibre Optics Microscopy (FOM), Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersion by X-ray Analysis (SEM-EDS), X-Rays Fluorescence (XRF), and Prompt-Gamma Activation Analysis (PGAA) are used for the analytical examination of the glass tesserae of different colorings. Additionally, and of great importance, is an attempt to estimate its chronological framework and, further, to produce provenance assignments, based on the statistical

evaluation with parallels from published studies of other Byzantine monuments of Early and Late Byzantine Era. It is concluded that all the examined tesserae which were found severely deteriorated, are Early Byzantine natron glasses produced in the Levant, with the exception of a dark blue individual tessera having a Byzantine-Syrian origin of a latter period (Middle Byzantine). Furthermore, based on compositional similarities, use of tesserae transported by the Constantinopolis artisans for the decoration of parts of the mosaics at the palaeo-christian monuments of Ravenna and Padova in Italy, holds a great probability. Finally, well known Early Byzantine church monuments from Thessaloniki, Greece, followed statistical evaluation, found as to have used tesserae of the type likewise Hagia Sophia, but also plant-ash tesserae of an Eastern Byzantine origin; the latter indicating for posterior construction or modification phases of the monuments' mosaics.

Introduction

The use of mosaics in architectural embellishment was a long standing practice since the Prehistory but an acknowledged turning point in their technological evolution was the invention of mosaics whose design consisted of *tesserae* [1]–shaped cubes between 0.5 and 1.5 cm during the third century BC. The advantages of glass *tesserae* versus stone or ceramic material was the ability to offer a range of colours and a glittering quality which could heighten bold contrasts in pictorial representations and their earliest evidence is from the island of Delos, dating back to the second c. BC [2].

The Great Church, as Hagia Sophia is also called, is an impressive monument, designed and constructed by Anthemius of Thralles and Isidorus of Miletus under the order of emperor Justinian, between 532 and 537 A.D [3].The interior walls of Hagia Sophia were decorated by mosaics of exceptional beauty. Today existing mosaics are of different construction phases, since earthquake occurrences repeatedly damaged the monument through the centuries. Many figural mosaics were added to the original non-figural mosaics of the 6th century over the passing years, depicting trends and

needs of social, religious and political character [4]. Gold and silver glass tesserae were used mainly at the background of Hagia Sophia mosaics, whereas glass tesserae of different colorings can be found in both figural and non-figural mosaics.

However, when Constantinople was conquered by Ottomans in 1453, Hagia Sophia was converted into mosque. Then, most of the mosaics, and especially the figural ones, were plastered. In 1935 Hagia Sophia opened as a museum, under the order of Kemal Ataturk, and between 1931 and 1949 Byzantine Institute uncovered and consolidated most of the mosaics that can be admired today [4].

Hagia Sophia is considered the epitome of Byzantine architecture with notable impact to domed structures and its mosaics are the fountainhead of eastern Christianity artistic expression [5]. This monument joins up Byzantine and Ottoman Heritage and its protection has been considered a principal task of the International Community along with the Turkish government. Therefore, UNESCO, since 1985 (World Heritage List and World Monuments Watch for monuments in danger) monitors and contributes to Hagia Sophia museum's conservation.

Within this context, Greek–Turkish cultural and research cooperation agreement was initiated in 1994 among Bogazici University, Princeton University and NTUA and, through successive protocol agreements and co-operation projects, still evolves, resulting in several publications related to the protection of the Hagia Sophia monument [6 - 11].

The aim of this study is to provide evaluation of the preservation state of a glass tesserae collection, as well as its analytical examination (use of fluxes, colorants, and opacifiers), by employing an array of the non-invasive analytical techniques of PGAA, XRF, FOM and SEM-EDS. Finally, attempts to draw technological and provenance assignments through comparisons with other published analytical data of glass tesserae from well-known Late Roman and Early – Late Byzantine church monuments, are presented.

Materials and methods

A tessera (plural: tesserae) is originated from Ancient Greek *τέσσαρες* (*téssares*, meaning "four"). Byzantine mosaics are often said to be the most elaborate and expensive form of mural decoration. The analytical study of Byzantine glass mosaics tends to fill the space between floor mosaics and glass studies, the latter usually referred to vessels and window glass and this luck of information is even broader regarding the provenance and technology of material from Greek monuments.

Even though, Hagia Sophia mosaics are considered of very high artistic value and their excessive aesthetics, as well as their artistic influence are well documented [i.e. 3, 4, 5], the evidence that can be found in literature regarding the production technology of the glass tesserae that comprise them, are not respectively enough.

The under investigation glass tesserae collection is composed by 9 coloured items; 2 green, 2 red, 2 blue and 3 black. They are all detached tesserae of an unknown location in the monument and consequently their manufacturing date is questionable. This is important if one considers that there are many historic data confirming the reuse of 6th century tesserae in mosaics that were set further later on, after the frequent earthquake damages or after the Iconoclastic Controversy of the eighth and ninth centuries [5]; indicating that even if the construction date of a mosaic is known this does not necessarily reflect the manufacturing date of the tesserae used.

The initial characterization of the material was made via macroscopic observations and photographic documentation, as well as fiber optics microscopy (FOM/i-scope, Moritex) utilisation; the samples' codes, photos, size and weight, and FOM images, are presented in Table 1.

The microscopy examination evidenced for extensively corroded areas, surface contamination and parts covered with whitish and/or grayish crusts, areas of pitting and micro-cracks; thus the following laboratory procedure was undertaken aiming at fingerprinting the pristine, base glass and the

characterization of the corrosion/contamination effects. It has to be stressed out that the present analytical study was totally non-invasive, a task that stands as unique if compared with other semi- or totally-destructive studies of similar material, although tailored to serve in full analytical power.

- Use of the totally non-invasive Prompt Gamma Activation Analysis (PGAA) for the detection of the elemental composition of the glass matrix [12], since the method records the neutron induced gamma rays from the material and thus most of the signal comes from the inner matrix, avoiding the contribution of the outer layers that were found as susceptible for leaching and contamination effects during the first macro- and microscopic investigation. The measurements have been performed on a horizontal cold neutron beam of $9.6 \cdot 10^7$ neutron/cm$^2 \cdot$s^{-1}, at the Budapest Neutron Centre [13]. Elemental composition was calculated using the ProSpeRo software [14].

- Use of a portable X-Ray Fluorescence (p-XRF) spectrometer for the analysis of the outer surface of the glass tesserae since the technique allows fast and *in situ,* non-invasive analytical characterization of archaeological material [15]. The set up used was a Bruker Tracer III-SD p-XRF spectrometer with a rhodium X-ray tube and Si-Pin diode detector, and the beam collimator scans covered areas of 4–5 mm in diameter.

- Study of the surface characteristics of the collection using a Scanning Electron Microscope (SEM) by JEOL (JSM-6510LV) coupled with and Energy Dispersive Spectrometer for quantitative analysis (EDS, Oxford Systems). The analytical data were obtained by INCA software. The measurements were performed non-invasively and on intact surfaces using a removable, conductive carbon tape and at 20 kV accelerating voltage for 300 sec count time.

- statistical analysis, using bi-plots and principal components analysis (PCA) for the interpretation of the present data and in the light of other published information regarding analysed glass tesserae that mainly covers the Late Roman and Early Byzantine and also from the Middle Byzantine

periods**.** PCA plots were made using the software program Statistica, Sta Soft Inc. (v. 8.0).

Results & Discussion

Analytical data: PGAA, p-XRF, SEM/EDS

In Table 2, the concentration values of the major elements from the application of the PGAA method are given, together with some of the minor and trace elements the technique allows. Within the detection limits of the technique, also the trace elements of B, V, Nd, Sm and Gd were measured and being available for future studies.

PGAA data represent the glass matrix avoiding surface information and thus are considered as accurate. The lack of a low detection limit, in the order of less than 0.5% for elements that are characterized as valuable for the base glass characterization (e.g. manganese) or as decolorant media (e.g. phosphor) forced the application of the additional analytical technique of p-XRF and SEM/EDS. In Table 3, the combined p-XRF and SEM/EDS data are given and correspond to surface analysis of large (ca 3 mm^2) or spot areas (ca 100 μm^2) respectively. It can be seen from the XRF data that the majority of the surface areas are depleted in sodium, while low silica values indicate for glass depolymerisation that took place throughout material's lifetime [16]. Where especially silica dissolution occurred, high alumina values are a strong indicator for this effect. For the potassium values that are systematically higher than those of PGAA analysis, leaching of this alkali can also be assumed. However, contamination from aluminosilicates because of the presented crusts is also a possible explanation. Finally, the high sulfur values from the XRF analysis could be the tracer for surface pollution effects and/or salts evidence which affected the mosaics of the monument [8, 10]. Moreover, in most of the areas characterized under SEM as pristine areas, their alkaline and silica values detected under EDS (Table 3) are very close with those

measured by PGAA analysis which combined use of analytical examination extends the analytical information and thus strengthen the characterization of the tesserae.

The coloration of glass tesserae is set by the presence of four colouring elements (iron, copper, manganese and cobalt) combined each other and included in various matrices and under the operational kiln environment make it possible to obtain a variety of colours and shades. Another pathway followed by elements that can act as colorants is through the formation of aggregates or particles of colloidal or microcrystalline dimensions, taking place under special conditions during the melt.

By attempting the tesserae characterization based mainly on the PGAA and SEM/EDS data, the following general observations can be made: all the examined tesserae (regardless their colour) are classified as soda-lime glasses, except from one green (1.1.) that is a soda-lime lead glass and one red (1.6) that is a soda-ash leaded glass with a relatively higher potassium content than that of the other samples.

Green tesserae: Both green tesserae are coloured by the presence of iron and copper in similar amounts while the olive one (1.1) also contains lead in contrast to the dark green one (1.3). The two red tesserae owe the presence of their colour on both iron and cooper in reduced forms; the history of analysed bright red tesserae was always detected leaded matrices which applies for sample 1.6 having a high lead oxide content of 19.3 wt%. The two blue tesserae, they both contain iron and cobalt, but the darker one (1.4) also manganese in contrast to the translucent one (1.7); also notable are the high magnesium and alumina values for the darker one and in relation to the rest Hagia Sophia tesserae. Finally, the three soda-lime black tesserae glasses that show identical values, their coloration is due to the presence of manganese and iron that produce their colour (black with a purple shade).

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

SEM/EDS micsocopical study

Use of SEM enabled the study of the microtopography of the samples, the examination of their preservation state and the characteristation of the corrosion and contamination patterns; the study is presented following the color classification of the tesserae.

Green tesserae 1.1.

The tessera shows extensive areas of pitting which are mainly composed by silica, calcite and sulfur. Furthermore, inside the pits formation of fungal hyphae are evident, as early stages of mycelia growth. Biogenic contamination is also evidenced by the presence of carbon fibrils. Finally, initial stage of glass lamination is observed pointing to silica depolymerisation (Figure 1).

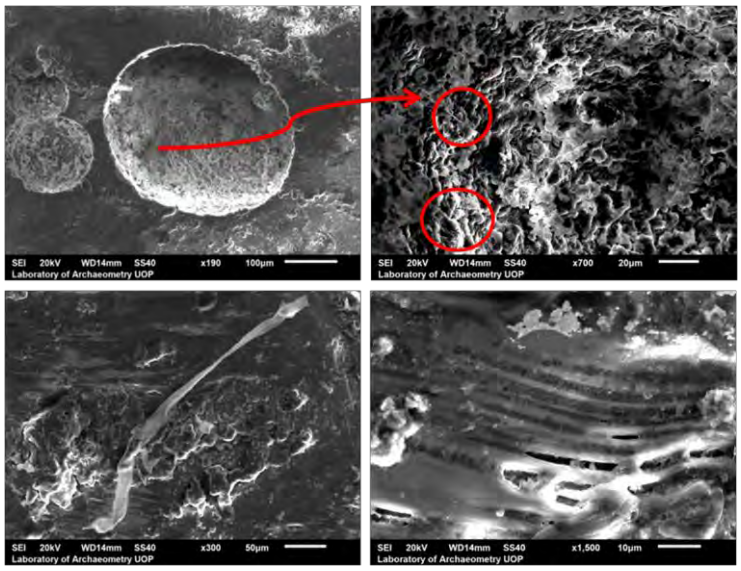


Figure 1. SEM images of the green tessera 1.1. Top row from left to right: pitting and early stages of mycelia growth. Lower row from left to right: carbon biogenic fibril and glass lamination.

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Green tesserae 1.3.

Pitting and micro-cracks are widely observed. Using the EDS line-scan line on areas containing pits, the elevated values on calcium and carbon point to the presence of calcite (Figure 2).

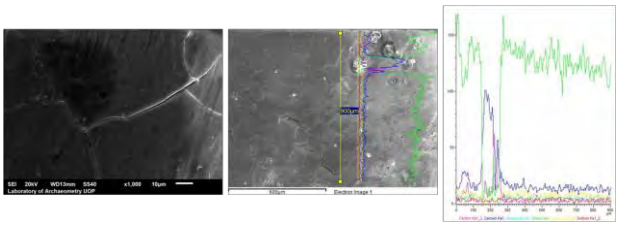


Figure 2. SEM images of the green tessera 1.3. Micro-cracks (left); cracks and pitting in the middle photo and in the right one an EDS line-scan which provided lower silica and elevated values for calcium and carbon, inside the pit area.

Red tesserae 1.5

As most characteristic patterns of the tesserae, glass lamination, crusted areas rich in calcium oxide and pitting are found (Figure 3).

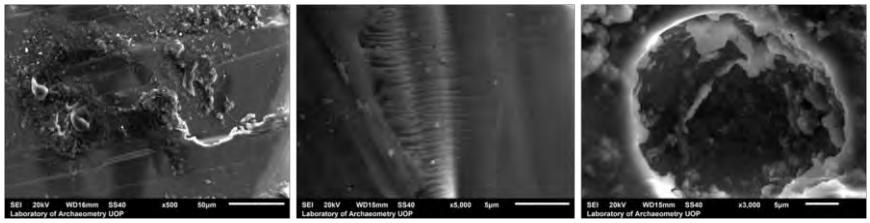


Figure 3. SEM images of the red tessera 1.5. From left to right: crust rich in Ca, glass lamination (middle) and a pit right**.**

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Red tesserae 1.6

This leaded glass tessera present s areas rich in carbon products indicating biodeterioration . Moreover, crystals of calcium sulfate are found inside the pits, whereas the investigated crusts exhibit low silica and high calcium and sulfur concentrations (Figure 4).

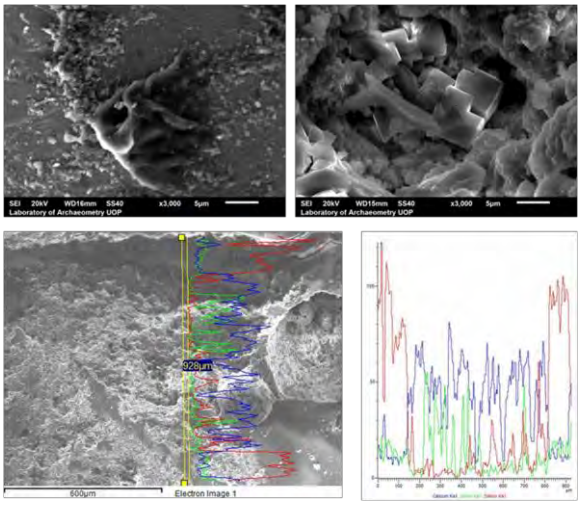


Figure 4. SEM images of the red tessera 1.6. Top row from left to right: biogenic formation rich in carbon; crystals of calcium sulphate inside a pit; lower row: image and corresponding EDS line-scan of a crusted area showing elevated concentration values of calcium and sulphur.

Blue tesserae 1.4

The samples shows extensive micro-cracks, etched areas and crusts containing calcite as the major component (Figure 5).

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

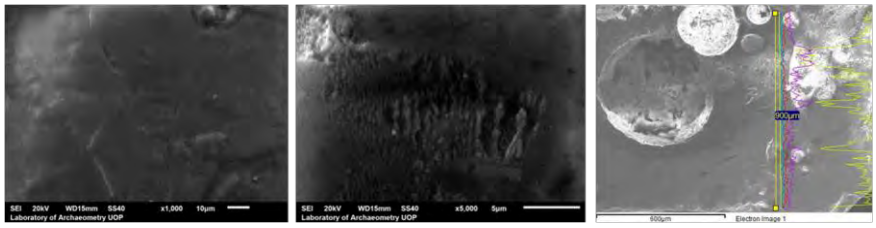


Figure 5. SEM images of the blue tessera 1.4. From left to right: Micro-cracks (left), etching (middle), and an EDS line-scan image displaying pitting and a crust rich in Ca.

Blue tesserae 1.7

This translucent blue tessera displays initial stages of pitting and fibrils of biogenic origin. Extended micro-cracks are also evident on the glass surface, whereas crusted areas present salts of sodium sulfate and calcium sulfate (Figure 6).

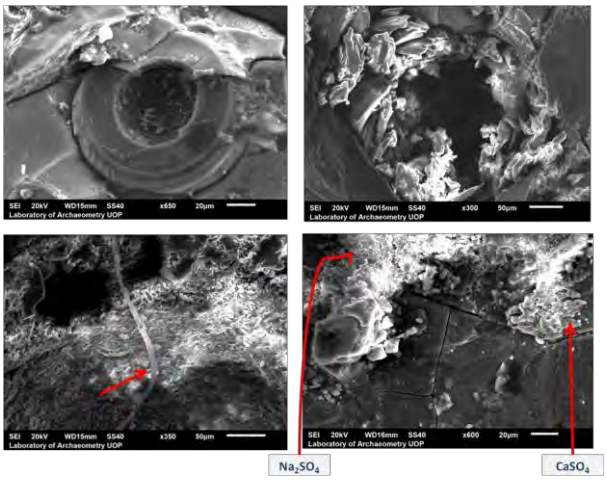


Figure 6. SEM images of the blue tessera 1.7. Top row from left to right: an early and a developed pit; lower row from left to right: a carbon fibril inside a pit and a crusted area of sodium (left whitish area) and calcium (right whitish area) sulfates.

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Black tesserae 2.1, 2.2 and 2.3

Similar formations are found for all the three black tesserae samples. In particular, 2.1 black tessera presents delamination and pitting, whereas a carbon biogenic formation is observed. 2.2 black tessera displays areas of extended pitting full of organic hyphae formations. 2.3 black tessera exhibits micro-cracks on the glass surface as well as potassium chlorite dendrites (Figure 7).

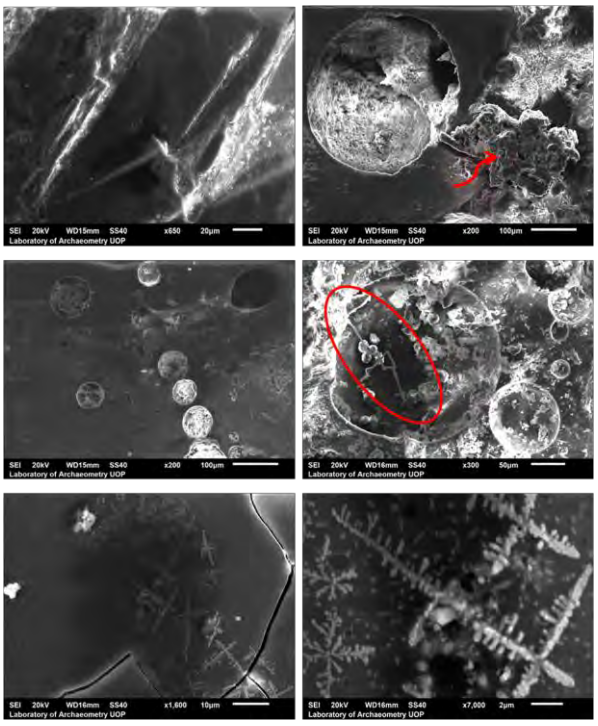


Figure 7. SEM images of the black tesserae, 2.1, 2.2, 2.3. Top row from left to right: delaminating areas, pits and carbon rich formation (2.1). Middle row from left to right: pitting and organic hyphae beads (2.2.). Lower row from left to right: micro-cracks and crystals of KCl (2.3).

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

All the examined tesserae were found in bad preservation state: Alkalis depletion is detected as the major decay pattern presented in all the surface glass layers of the tesserae, whereas silica depolymerisation is also evident. Other major decay factors detected are pitting for all tesserae and also selective biodeterioration. Cracking is evident on 1.3 green, 2.3 black, and especially in both blue tesserae.

Salts of sodium sulphate and potassium chloride are detected on the glass surfaces of some tesserae (1.7 blue and 2.3 black), whereas calcium sulphate salt crystals are found inside a pit of the 1.6 red tessera.

Calcium carbonate and calcium sulphate are the major detected components inside the pits and in the crusts presented on the glass surface. The origin of these crusts cannot be clear, that is if they are weathering products (pollution effect), or mortar/plaster residues; as tesserae are sub-buried into mortar, and in Hagia Sophia many mosaics areas were plastered for centuries, during the Ottoman period of the monument.

Therefore, even if it seems as more possible that the detected salts are present on the glass surfaces due to moisture transfer and salt crystallization phenomena from mortar/plaster to glass surfaces, a uniform conclusion cannot be drawn, since all the examined tesserae are of an unknown location in the monument and also due to the lack of the chronology the detachment took place.

Analytical data statistical examination

Glass compositional studies are valuable when further to their analytical characterization, provenance hypotheses could also be drawn, aiming to shed light to trade practices and routes, technology transfer and socio-economic issues of passed societies. Based on the above aims, the studied Hagia Sophia samples were evaluated in the light of other published analytical data of tesserae from Late Roman, Early Byzantine and Late Byzantine monuments

mainly from Greece and Italy. The monuments listed in this study include the Hellenistic to Early Byzantine site of Messene in South Peloponnese, Greece and the Late Roman Villa del Casale in Italy. Also the palaeo-christian (Early Byzantine) church monuments of St. Severo, Ravenna and St. Prosdocimus in Pavova, both being once the western bastion of the Byzantine Empire, the Early Byzantine Cross Church in Jerash, Jordan and three significant palaeo-christian monuments in Thessaloniki, that of Acheiropoitos, Hagios Demetrios and Hagia Sophia. Finally, mosaics from two Late Byzantine monasteries that of Daphni and Hosios Loukas were included in the study as latter examples of glass tesserae from Greece. In Table 4, the list of the monuments included for this comparative study are given together with data on their chronology and color types of the studied tesserae.

Table 4. Monuments and data for the tesserae used to be compared with the Hagia Sophia analytical data. For the 3 Thessaloniki monuments, the dates reported are from Bakirtzis et al. [17].

Monument	Date of the mosaics	Colors	Reference
sanctuary of Isis and Sarapis, Ancient Messene, Greece	3rd c. AD	Blue, Green, Yellow, Purple, Black, Red (28)	Möncke et al., 2014 [18]
Villa del Casale, Piazza Armerina, Enna, Italy	4th c. AD	Yellow, Blue, Red, White, Green, Purple (42)	Di Bella et al., 2014 [19]
St. Severo, Classe, Ravenna, Italy,	6th c. AD	White, Blue, Green, Yellow, Red (38)	Fiori, 2015 [20]
St. Prosdocimus, Padova, Italy	6th c. AD	White, Blue, Yellow, Green, Brown (55)	Silvestri et al., 2012 [21]

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

St. Prosdocimus, Padova, Italy	6th c. AD	Orange, Red, Brown, Green, Blue, Yellow (54)	Silvestri et al., 2014 [22]
Cross Church, Jerash, Jordan	6th – 7th c. AD	Green, Blue, Black, Yellow, Red (16)	Arinat et al., 2014 [23]
Acheiropoitos, Thessaloniki	5th -6th c. AD	Blue, White, Black, Green, Yellow, Red (9)	Brill, 1999 [24]
Hagios Demetrios, Thessaloniki	5th or 7th c. AD	Blue, Green, Yellow, Red (11)	Brill, 1999 [24]
Hagia Sofia, Thessaloniki	7th or 8th c. AD.	Blue, Red, Green (11)	Brill, 1999 [24]
Daphni monastery, Athens	11th c. AD	Blue, Brown, Black, Red, Yellow, Green, Purple (22)	Arletti, et al., 2010 [25]
Hosios Loukas, Boeotia	11th c. AD	(Black, Blue, Red, Green, Brown (13)	Arletti, et al., 2010 [25]

In Figures 8 and 9 two bi-plots using the group values of the tesserae of Table 4 are presented, including each of all 9 Hagia Sophia tesserae as individual points. In these two plots, the Thessaloniki tesserae are not included for the clarity of the graphs. The StProsd(Sb/P) group 1 and 2 correspond to the two color groups of Table 2 in Silvestri et al., 2012 [21]; likewise the StProsd(Cu/Sn) group 1 and 2 are those of Table 2 in Silvestri et al., 2014 [22]. In Cross Church tesserae for the calculation of the mean and standard deviation of the alumina value, those of samples 9 and 10 (both black opaque) have been excluded due to their extreme values compared to the rest group samples.

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

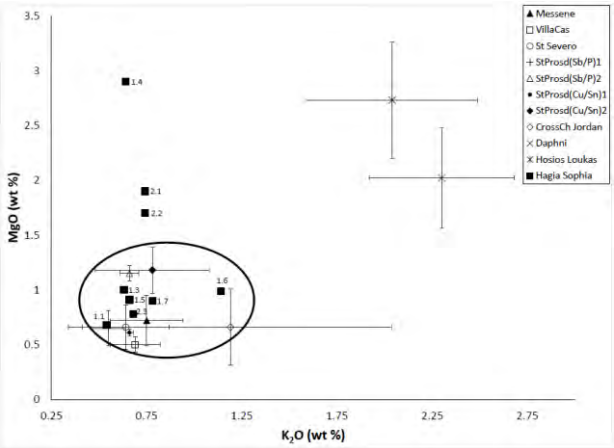


Figure 8. Potassium vs. magnesium oxides using the group mean values of Table 4. The ellipsis indicate the area that corresponds to natron based tesserae**.**

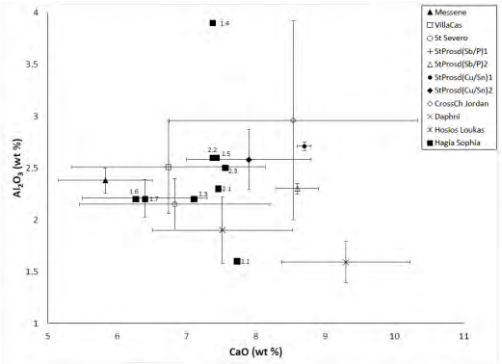


Figure 9. Calcium vs. alumina oxides using the group mean values of Table 4. The ellipsis indicates the area that characterises the natron based tesserae.

The majority of Hagia Sophia, with the exception of the blue 1.4 (high magnesium and alumina), the two black ones (2.1, 2.2) with a considered as high magnesium content and the red 1.6 tesserae (elevated potassium and manganese) are well defined in the area that characterises natron glasses; also notable is the presence of manganese in all Hagia Sofia tesserae with the

exception of one blue (1.7). In contrast, the two Late Byzantine mosaics of Daphni and Hosios Loukas are clearly separated as made of soda-ash glasses (Figure 8).

The set of tesserae from Messene, Greece form a well separate, to the other Byzantine samples, area that characterises Roman natron type glass (1st – 4th c. AD) produced with Syro-Palestinian sands, and opacified with antimony [23]. The area covered by this set of samples shows potassium and magnesium oxides of 1 wt%, aluminum oxide of 2-2.5 wt% and ca 6 wt% for calcite that are typical values for this type of glass (Figure 9) [19]. Also the group of Villa del Casal samples shows a pattern that correspond to Roman natron type glass decolorised with manganese [19, 26]; thus, the two Late Roman and the two Late Byzantine groups were excluded from the rest of the 'databank' used during the following step of statistical evaluation using PCA analysis.

PCA analysis was based on the concentrations of alumina, silica, calcite, sodium and potassium oxides since, these elements characterise the base glass used for the production of the glasses and therefor are less subjective to significant concentration changes due to the addition of opacifiers and colorants; certainly, the rest of the available published analytical data that refer to minor sand trace elemental concentrations were also considered during the evaluation of the statistical analysis.

The first step of PCA analysis was attempted including only the Hagia Sophia samples and the St. Prosdocimus, Padova, sample groups. We notice that all the Hagia Sophia samples, with the exception of the blue tesserae 1.4, are forming a quite close system that falls with those of the St. Prosdocimus group samples that were opacified mainly by phosphor (Figure 10); this picture supports an initial hypothesis that the majority of the Hagia Sophia samples of the study are from mosaics of the early phase of the monuments (6th c. AD).

In a next step, the Hagia Sophia samples were evaluated with the antimony/phosphor opacified St. Prosdocimus groups, also with the addition of the Early Byzantine groups of St. Severo, Cross Church and the

Thessaloniki ones. In Figure 11 it is clear that the Cross Church samples ascribe a separate category that of Byzantine-Jordan natron glasses [26] which is characterised by elevated alumina and magnesium as evidenced also by the PC score of the plot and the group was thus further excluded. In Figure 11 we can also note that: the bright red leaded tessera (1.6) is plotted with a red tessera of St. Severo and the dark green tessera (1.4) is with 2 green tesserae from Acheiropoitos, Thessaloniki. Also, several St. Severo samples and opaficied with antimony are plotted with the one of the two St. Prosdocimus groups, that of the antimony opacified samples.

At next plot (Figure 12) in which the Cross Church, Jordan samples are omitted, a main picture issue can be seen focused at the St. Severo samples: these samples form 2 groups; one close to St. Prosdocimus-phosphor opacified samples and another one close with Hagia Sophia, Constantinopolis and Acheiropoitos, Thessaloniki samples.

In the final PCA plot (Figure 13) in which focused was given on the Thessaloniki samples we notice that: Some of the Hagia Sophia, Thessaloniki samples are plotted (also in Figure 12) with Hagia Sophia, Constantinopolis samples and especially one blue and 3 red tesserae; also one blue and one green is plotted with the St. Prosdocimus-antinomy group. Hagios Demetrios, Thessaloniki samples deviates significantly from the rest Greek and also St. Prosdocimus samples, with the exception of three samples, one translucent blue and two yellow opaque, which are very close with the Hagia Sophia, Thessaloniki groups.

Concluding remarks

A set of totally non-invasive analytical techniques was applied on a collection of nine coloured tesserae aiming at both the characterisation of its production technology and provenana nce assignments.

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Their preservation state was characterised by severe alterations and surface contamination. Alkalis depletion, silica depolymerisation, biodeterioration, pitting and cracking are the major decay patterns presented in all the surface glass layers of the tesserae. Calcium carbonate and calcium sulphate mainly compose the crusts that can be macroscopically observed. Moreover, salts of sodium sulphate and potassium chloride are also evident on some tesserae (1.7 blue, 1.6 red, and 2.3 black). A safe conclusion cannot be withdrawn though, regarding whether or not salts and crusts originate from pollution effect and/or mortar/plaster residues.

The tesserae examined are characterized as Early Byzantine natron glasses (6th -7th c. A.D), produced in the Levant and having compositions similar to the Late Roman glasses, from which they can be distinguished by slightly higher contents of alumina and calcite. The evolution in the production of tesserae at the eastern parts of the Roman Empire seems to have had developed its technological characteristics, like for example the use of phosphor together with the 'old Roman' practice of manganese –but with an increased use onwards- as opacifying agents and the use of lead for selective colors enhancement.

The deviating to the rest tesserae characteristics of the blue tesserae 1.4 point to an individual Byzantine-Syrian production center, based at its high magnesium and aluminium concentrations which could indicate a later date possible of the 9th-10th c. AD.

The strong similarities between the majority of the analysed Hagia Sophia tesserae with groups of published tesserae collections from St. Prosdocimus in Padova, and especially those opacifying with phosphor, leads to the conclusion for the use of tesserae from the same production place(s) for the making of these mosaics. This hypothesis seems also to apply for the bright red tessera (1.6) identical to one from St. Vitale, Ravenna for which a 'Near Orient' origin was given [20]. The above consequently leads to the hypothesis of tesserae produced in a center at Constantinopolis or controlled by a metropolitan Byzantine center and transposed by the 6th c. AD Byzantine artisans to decorate the palaeo-christian mosaics in Padova and Ravenna under the order of the Emperor Justinian [27]. Nevertheless, the assumption

of a large number of complete tesserae is a feasible task compared to other similar tasks of transportation of tons of tesserae during the Byzantine Era [28].

Regarding the Thessaloniki tesserae, a number of those are very close to those of Hagia Sophia, Constantinopolis ones and especially the blue, red and some for the green tesserae, implying a 6th c. AD date. For the rest of the samples a Byzantine-Islamic origin of a latter period (7th – 8th c. AD) should be assumed due to the base glass used which is technologically shifted to soda-plant ash type. If a ratio of the natron vs soda-plant ash should be attempted for the Thessaloniki samples, the majority of the Acheiropoitos is of the Early Byzantine type while the rest two monuments (Agios Demetrios and Hagia Sophia) have about half of their glasses as Early Islamic glass type.

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

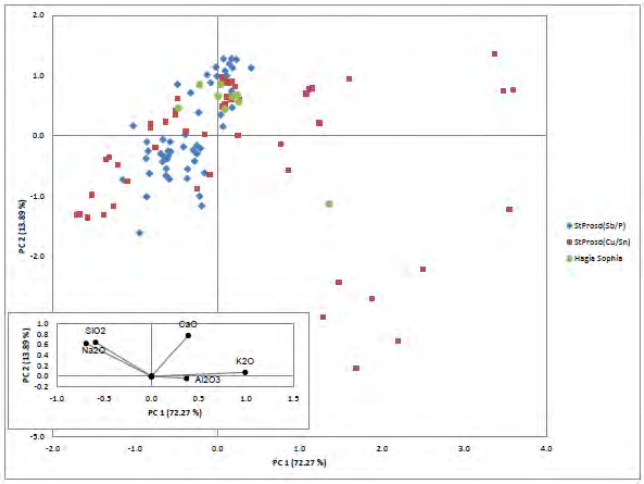


Figure 10. PCA analysis of the Hagia Sophia and the St. Prosdocimus tesserae. As an inset plot, the vector analysis showing the contribution of each element in the PC scores is given.

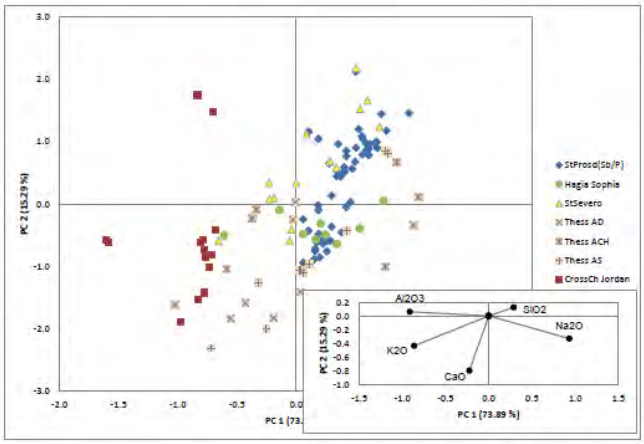


Figure 11. As in Figure 10, with the exception of StProsd(Cu/Sn) groups and the addition of group samples of St. Severo, Cross Church and the 3 Thessaloniki tesserae groups.

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

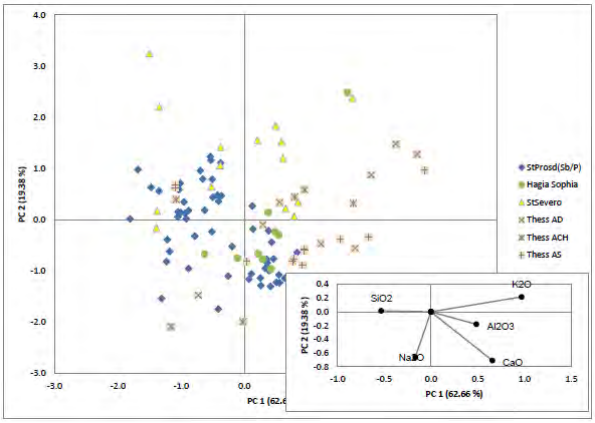


Figure 12. As in Figure 11, with the exception of the Cross Church group samples.

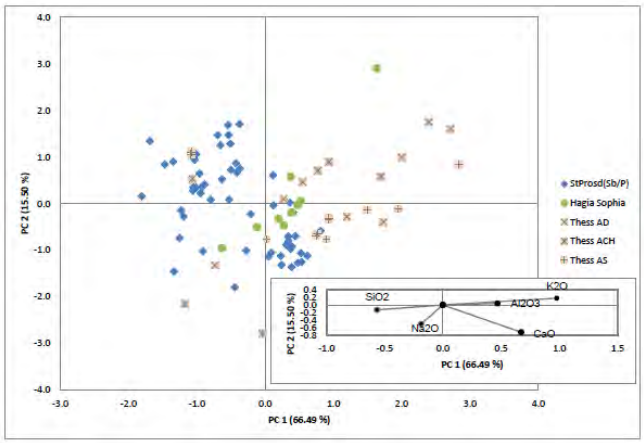


Figure 13. As in Figure 12, with the exception of the St Severo group samples.

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Acknowledgements

The authors acknowledge a grant (N. Zacharias as the proposal leader and beneficiary and E.T. Delegou as a beneficiary), provided by the CHARISMA-FP7 (proposal No. BRR 320), covering transportation and accommodation at FIXLAB facilities at the Budapest Neutron Centre, for the performance of PGAA measurements.

Special acknowledgements are attributed by Antonia Moropoulou to Tom Organ, Head of the UNESCO International Conservation Team, for supplying with the glass tesserae samples, at the joint, *in-situ* campaign of UNESCO and NTUA in Hagia Sophia.

References

[1] Ling, R. (1998) *Ancient Mosaics.* British Museum Press, London.

[2] Guimier-Sorbets, A.M., Nenna, M.D. (1995) *Reflexions sur la couleur dans les mosaiques hellenistiques: Delos et Alexandrie* in Bulletin de Correspondance Hellenique 119:529-563.

[3] Mainstone, R.J. (1997) *Hagia Sophia. Architecture, structure and liturgy of Justinian's Great Church*. Thames and Hudson, London.

[4] Teterianikov, N.B. (1998) *Mosaics of Hagia Sophia, Istanbul: The Fossati Restoration and the work of the Byzantine Institute*. Dumbarton Oaks Trustees for Harvard University, Washington D.C., USA.

5] Morey C. R. (1944) *The Mosaics of Hagia Sophia*, The Metropolitan Museum of Art Bulletin, New Series, Publ. The Metropolitan Museum of Art, JSTOR, 2 (7):201-210.

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

[6] Cakmak, A.S., Erdik, M., Moropoulou, A. (1997) *A joint program for the protection of the Justinian Hagia Sophia* in Proceedings of the 4th International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin, Moropoulou, A., Zezza, F., Kollias, E., Papachristodoulou, I. (eds.), Technical Chamber of Greece, Rhodes, Greece, 153–171.

[7] Moropoulou, A., Cakmak, A.S., Biscontin, G. (1998) *Criteria and methodology to evaluate the Hagia Sophia crushed brick/lime mortars*, PACT, Journal of European Study Group on Physical, Chemical, Biological and Mathematical Techniques Applied to Archaeology, 55:39–54.

[8] Moropoulou, A., Bakolas, A., Karoglou, M., Delegou, E.T., Labropoulos, C., Katsiotis, N. (2013) *Diagnostics and protection of Hagia Sophia mosaics*, Journal of Cultural Heritage 14(3):133-139.

[9] Moropoulou A., Avdelidis N.P., Delegou E.T., Gill C., Smith J. Organ T. (2002) *Study of deterioration mechanisms of vitreous tesserae mosaics*, in Scienza e Beni Culturali XVIII, Biscontin G., Driussi G. (eds.), Publ. Arcadia Ricerche, 843-851.

[10] Moropoulou A., Koui M., Avdelidis N.P., Delegou E. T., Aggelakopoulou E., Karoglou M., Karmis P., Aggelopoulos A., Griniezakis S., Karagianni E. A., Uzunoglou N. K. (2000) *Investigation for the compatibility of conservation interventions on Hagia Sophia mosaics using NDT techniques*, PACT, Journal of European Study Group on Physical, Chemical, Biological & Mathematical Techniques Applied to Archaeology, 59:103-120.

[11] Moropoulou, A., *The Greek contribution in the Conservation of Hagia Sophia*, publ.: Technical Chamber of Greece, Athens (2010).

[12] Kasztovszky, Zs., Kunicki-Goldfinger, J. (2011) *Applicability of Prompt Gamma Activation Analysis to Glass Archaeometry,* Proceedings of the 37th International Symposium on Archaeometry, 13th - 16th May 2008, Siena, Italy pp 83-90.

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

[13] Szentmiklósi, L., Belgya, T., Révay, Zs. and Kis, Z. (2010) *Upgrade of the prompt gamma activation analysis and the neutron-induced prompt gamma spectroscopy facilities at the Budapest research reactor.* Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry 286:501–505.

[14] Révay, Zs. (2009) *Determining Elemental Composition Using Prompt γ Activation Analysis.* Analytical Chemistry 81:6851-6859.

[15] Liritzis, I. and Zacharias, N. (2011) *Portable XRF on archaeological artifacts: Current research, potentials and limitations*, in X-Ray fluorescence Spectrometry (XRF) in Geoarchaeology, Shackley, S. (ed.) 109-142, New York: Springer.

[16] Zacharias, N., and Palamara, E. (2015) *Glass Corrosion: Issues and Approaches for Archaeological Science* in Recent Progress of Scientific Research on Ancient Glass, Quinquil, L. and Henderson, J. (eds.), Springer (in press).

[17] Bakirtzis, Ch., Kourkoutidou-Nikolaidou, E., Mavropoulou-Tsioumi, Ch., (2012) *Mosaics of Thessaloniki: 4th to 11th Century*, Kapon Editions, Thessaloniki.

[18] Möncke, D., Palles, D., Zacharias, N., Kaparou, M., Kamitsos, E.I. and Wondraczek, L. (2013) *Formation of an outer borosilicate glass layer on Late Bronze Age Mycenaean blue vitreous relief fragments*, Physics and Chemistry of Glasses: European Journal of Glass Science and Technology, Part B, 54:52-59.

[19] Di Bella, M., Quartieri, S., Sabatino, G., Santalucia, F., Triscari, M. (2014) *The glass mosaics tesserae of "Villa del Casale" (Piazza Armerina, Italy): a multi-technique archaeometric study*, Archaeological and Anthropological Science, 6:345–362.

[20] Fiori, C. (2015) *Production technology of Byzantine red mosaic glasses*, Ceramic International, 41:3152–3157.

[21] Silvestri, A., Tonietto, S., Molin, G. (2012) *The palaeo-Christian glass mosaic of St. Prosdocimus (Padova, Italy): archaeometric characterisation*

of tesserae with antimony- or phosphorus-based opacifiers, Journal of Archaeological Science, 39:2177-2190.

[22] Silvestri, A., Tonietto, S., Molin, G., Guerriero, P. (2014) *The palaeo-Christian glass mosaic of St. Prosdocimus (Padova, Italy): archaeometric characterisation of tesserae with copper- or tin-based opacifiers*, Journal of Archaeological Science, 42:51–67.

[23] Arinat, M., Shiyyab, A., Abd-Allah, R. (2014), *Byzantine glass mosaics excavated from the 'Cross Chirch', Jerash, Jordan: an archaeometrical investigation*, Mediterranean Archaeology and Archaeometry, 14(2):43-53.

[24] Brill, R.H. (1999) *Chemical Analyses of Early Glasses, vol. 1: The catalogue; vol. 2: The table,* New York-Corning.

[25] Arletti, R., Fiori, C., Vandini, M. (2010) *A study of glass tesserae from mosaics in the monasteries of Daphni and Hosios Loukas (Greece)*, Archaeometry, 52(5):796–815.

[26] Vandini, M., Fiori, C., Cametti, R. (2006) *Classification and technology of Byzantine mosaic glass*, Annali di Chimica 96:587-599.

[27] Von Simson, O.G. (1986) *Sacred Fortress: Byzantine Art and Statecraft in Ravenna*, Princeton, NJ: Princeton University Press.

[28] James, L. (2006) *Byzantine glass mosaic tesserae: some material considerations*, Byzantine and Modern Greek Studies, 30(1): 29–47.

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Η Γεωμετρική Τεκμηρίωση ως Υποστήριξη για την Αποκατάσταση του Μεγάρου Σ. Ανάργυρου στην Ντάπια Σπετσών
(The Geometric Documentation as Support for the Restoration of the S. Anargyros Mansion in Dapia, Spetses)

Λ. Κωτούλα, Α. Γεωργόπουλος

Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

Abstract

This project concerns the support of the restoration study of the S. Anargyros Mansion in Spetses Island by compiling suitable updated drawings for both the geometric documentation but also for the documentation of the pathology and damages of the building. These drawings will serve as basis for the restoration study of this historic building. The S. Anargyros mansion has been the residence of the National Benefactor of Spetses S. Anargyros and is closely related to the local history. It has been characterized as a historic monument for its unique architectural style and morphological interest. It was built in 1903 and until today it has suffered a lot of natural and man caused damages. The sensitivity towards our cultural heritage and the admiration of the beauty which this building is inspiring are the main causes for the restoration effort which was undertaken by the Foundation of the Anargyrios and Korgialenios School of Spetses. The documentation of the current situation was initially performed by updating existing drawings, which were compiled by the Ministry of Culture in 1988 and 1990. Additional drawings were produced in order to document the pathology of the building and provide useful material for the restoration study both of the structure and the unique decoration of the mansion.

Survey measurements and photogrammetric imaging were performed for checking and updating the existing drawings. In parallel additional drawings were compiled under the specifications of the Foundation technical experts. The methodology implemented was a combination of surveying and contemporary digital photogrammetric techniques for the optimum results. In this paper the data acquisition and processing procedures are described and the final results are presented and evaluated.

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Περίληψη

Η παρούσα εργασία αφορά στην υποστήριξη της μελέτης αποκατάστασης του Μεγάρου Σ. Ανάργυρου στις Σπέτσες με την εκπόνηση κατάλληλων επικαιροποιημένων σχεδίων γεωμετρικής τεκμηρίωσης, αλλά και τεκμηρίωσης της παθολογίας και των βλαβών του κτηρίου. Τα σχέδια αυτά θα χρησιμεύσουν ως βάση για την μελέτη αποκατάστασης του συγκεκριμένου ιστορικού κτηρίου. Το Αρχοντικό του Σωτήρη Ανάργυρου στις Σπέτσες υπήρξε κατοικία του Εθνικού Ευεργέτη των Σπετσών, Σωτήρη Ανάργυρου και είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με την ιστορία του νησιού. Χαρακτηρίστηκε ως ιστορικό διατηρητέο μνημείο, διότι παρουσιάζει ιδιαίτερο αρχιτεκτονικό και μορφολογικό ενδιαφέρον. Κατασκευάστηκε το 1903 και μέχρι σήμερα έχει δει πολλές καταστροφές φυσικές και μη. Η ευαισθητοποίηση προς την πολιτιστική μας κληρονομιά και ο θαυμασμός της ομορφιάς που αποπνέει το Αρχοντικό αποτέλεσε το έναυσμα για την προσπάθεια αποκατάστασής του που έχει αναληφθεί από το Ίδρυμα Αναργυρείου - Κοργιαλενείου Σχολής Σπετσών. Η τεκμηρίωση της υπάρχουσας κατάστασης πραγματοποιήθηκε με την επικαιροποίηση και κατάλληλη συμπλήρωση προϋπαρχόντων σχεδίων. Επιπροσθέτως παρήχθησαν συγκεκριμένα σχέδια, ώστε να αναδειχθεί η παθολογία του κτηρίου και να διευκολυνθεί η μελέτη αποκατάστασης τόσο του φέροντος οργανισμού, όσο και του μοναδικού διακόσμου.

Πραγματοποιήθηκαν τοπογραφικές μετρήσεις, φωτογραμμετρικές λήψεις και τεκμηριωτική της παθολογίας φωτογράφιση, ώστε να ελεγχθούν και να συμπληρωθούν τα σχέδια. Η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε ήταν συνδυασμός των σύγχρονων ψηφιακών τεχνικών της Τοπογραφικής και Φωτογραμμετρική μεθοδολογίας. Στην εργασία αυτή περιγράφονται οι σχετικές εργασίες συλλογής και επεξεργασίας των απαραίτητων δεδομένων και παρουσιάζονται και σχολιάζονται τα τελικά παραδοτέα.

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Εισαγωγή

Η σημερινή κοινωνία χαρακτηρίζεται από συνεχόμενες τεχνολογικές και κοινωνικές αλλαγές λόγω της ραγδαίας τεχνολογικής ανάπτυξης με αποτέλεσμα οι δεσμοί του παρελθόντος με το μέλλον να ατονούν. Η πολιτιστική κληρονομιά είναι η γέφυρα που ενώνει το παρελθόν με το μέλλον και κρατάει την ιστορία κάθε τόπου ζωντανή. Για αυτό το λόγο είναι επιτακτική ανάγκη κάθε κοινωνίας η διαφύλαξη και η ανάδειξη του πολιτιστικού πλούτου για αυτό άλλωστε επιβάλλεται μέσω διεθνών κανονισμών και συμβάσεων σε όλες τις πολιτισμένες κοινωνίες σήμερα. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας προσφέρει νέες μεθόδους και τεχνολογίες ικανές να βοηθήσουν προς τη διατήρηση της ιστορίας. Η ψηφιακή γεωμετρική τεκμηρίωση ιδιαίτερα προσφέρεται για την διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς και παράλληλα εξασφαλίζει την εύκολη πρόσβαση σε αυτή. Στη παρούσα εργασία περιγράφονται οι ενέργειες και διαδικασίες συλλογής και επεξεργασίας των δεδομένων για την παραγωγή σχεδίων κατάλληλων για την εκπόνηση της μελέτης αποκατάστασης του Αρχοντικού του Σωτήρη Ανάργυρου στις Σπέτσες ενός ιστορικού μνημείου με σημαντική ιστορική σημασία για τον νησί.

Το αρχοντικό Σ. Αναργύρου στις Σπέτσες

Το Αρχοντικό του Σ. Ανάργρου στις Σπέτσες είναι ένα ιστορικό κτήριο το οποίο παρουσιάζει ιδιαίτερο αρχιτεκτονικό και μορφολογικό ενδιαφέρον, αποτελεί αξιόλογο και αντιπροσωπευτικό δείγμα αρχιτεκτονικής των αρχών του 20ου αιώνα στις Σπέτσες και υπήρξε κατοικία του Εθνικού ευεργέτη των Σπετσών Σωτήρη Ανάργυρου.

Ο Σωτήριος Ανάργυρος γεννήθηκε στις Σπέτσες το 1849 και υπήρξε η σπουδαιότερη προσωπικότητα των Σπετσών του τελευταίου αιώνα αποτελώντας τον κλασικό τύπο του νέου έλληνα μετανάστη. Η δίψα του για επιτυχία τον οδηγεί από μικρή ηλικία σε περιπλανήσεις με σταθμούς την Κωνσταντινούπολη, τη Ρουμανία, την Αίγυπτο, τη Γαλλία και τέλος την Αγγλία. Το 1894 επιστρέφει στις Σπέτσες. Η επιστροφή του Ανάργυρου στο νησί είναι η αρχή της ανάπτυξης των Σπετσών. Αναδάσωσε μεγάλο τμήμα του νησιού, έκτισε το πολυτελές ξενοδοχείο «Ποσειδώνιο» και, τέλος, το 1927 άρχισε την λειτουργία της η Αναργύρειος - Κοργιαλένειος Σχολή η οποία ήταν η μεγαλύτερη προσφορά του εθνικού ευεργέτη και πραγματικά ανέβασε το πολιτιστικό επίπεδο του νησιού.

Το αρχοντικό του Σ. Ανάργυρου που ολοκληρώθηκε το 1903 βρίσκεται στο κέντρο ακριβώς της πόλης, σε κυρίαρχη θέση, με θέα προς τη θάλασσα.

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Ο Σωτήρης Ανάργυρος ανέθεσε την εκπόνηση των σχεδίων του αρχοντικού στον Αρχιτέκτονα Παν. Ζήζηλα και η ανέγερσή του στοίχισε γύρω στις 100.000 χρυσές δραχμές, ποσό ιδιαίτερα σημαντικό για το 1903. Αποτέλεσε την κατοικία του Σωτήριου Ανάργυρου μέχρι τον θάνατό του το 1918. Το 1929 το Πρωτοδικείο Ναυπλίας κατακύρωσε την ιδιοκτησία του αρχοντικού στην Αναργύρειο και Κοργιαλένειο Σχολή Σπετσών. Χαρακτηρίστηκε ως έργο τέχνης και ως ιστορικό διατηρητέο μνημείο (Υ.Α. ΥΠΠΟ/ΔΙΛΑΠ/Γ/254/3640/10.2.86, ΦΕΚ 164/Β/10.4.86) για το ιδιαίτερο αρχιτεκτονικό και μορφολογικό του ενδιαφέρον.

Το διώροφο αρχοντικό, λιθόκτιστο, χαρακτηρίζεται από συμμετρία στις όψεις, ισορροπία στη διάπλαση του όγκου, καθαρότητα των αρχιτεκτονικών μορφών και σαφήνεια των επί μέρους νεοκλασικών μορφολογικών στοιχείων. Ορθώνεται στο μέσον ενός τετράγωνου σχεδόν οικοπέδου ενός περίπου στρέμματος που περιβάλλεται από μαντρότοιχο ιδιαίτερης καλαισθησίας. Μπαίνοντας κανείς από την κεντρική είσοδο στον κήπο του αρχοντικού, αντικρίζει θέαμα μοναδικό. Στα πόδια του εκτείνεται βοτσαλωτός διάδρομος με ποικίλες παραστάσεις, πλαισιωμένος από φοίνικες. Στο τέλος του διαδρόμου ορθώνεται η μαρμάρινη πλατιά σκάλα, που οδηγεί στην επιβλητική πόρτα του ισογείου. Στο ύψος του τρίτου σκαλοπατιού, δεξιά και αριστερά, στέκονται δυο αιγυπτιακές σφίγγες, ένα από τα στοιχεία που δείχνει πόσο επηρεάστηκε από την διαμονή του στην Αίγυπτο. Το υπερυψωμένο ισόγειο περιβάλλεται από μια σκεπαστή μεγαλοπρεπή βεράντα περιτριγυρισμένη από μια εντυπωσιακή περιμετρική κιονοστοιχία και στηθαίο με κεραμικά κολωνάκια. Έτσι γύρω από το ισόγειο σχηματίζεται περίστυλη τετράγωνη στοά στην οροφή της οποίας υπήρχαν τοιχογραφίες. Η βεράντα-εξώστης του ορόφου, ίσου εμβαδού, είναι ασκεπής και περιβάλλεται από περίτεχνη σφυρήλατη σιδεριά που κυριαρχεί το μονόγραμμα ΑΣ. Το πρώτο δωμάτιο στα δεξιά ήταν το γραφείο του Ανάργυρου, διακοσμημένο με μοτίβα και ένα χρωματιστό ταβάνι όπου κυριαρχεί το πράσινο και το καφέ χρώμα. Το μικρότερο στα αριστερά δωμάτιο με έντονα στοιχεία μπαρόκ οδηγεί μέσα από πόρτα διακοσμημένη από χρωματιστό γυαλί στο σαλόνι, το δωμάτιο κύριας υποδοχής με τοιχογραφίες και ένα εντυπωσιακό ταβάνι δίνοντας την αίσθηση του ξύλου και με ένα ιδιαίτερο τζάκι στη μέση του νότιου τοίχου. Στο ίδιο δωμάτιο στο βάθος υπάρχει τζαμαρία διακοσμημένη με χρωματιστό γυαλί όπου εκεί υπάρχει ειδικός χώρος για την ορχήστρα για τα μουσικά και θεατρικά γεγονότα που διοργανώνονταν. Τα υπόλοιπα δωμάτια εξυπηρετούσαν τις υπηρεσίες.

Η προσπέλαση στον πρώτο όροφο γίνεται από εσωτερική σκάλα, μοναδικής καλλιτεχνίας. Ανεβαίνοντας κανείς στην κορυφή της κλίμακας

συναντά ένα μικρό προθάλαμο. Από τον προθάλαμο, διαμέσου μιας πόρτας, οδηγείται στο χωλ και από εκεί στο σαλόνι που καταλαμβάνει τη μισή βόρεια πτέρυγα. Πέρα από το σαλόνι, υπάρχουν κρεβατοκάμαρες και άλλα δωμάτια υπηρεσίας. Ο πρώτος όροφος σε αντίθεση με το ισόγειο είναι πιο λιτός αλλά επίσης διακοσμημένος με τοιχογραφίες σε όλα τα δωμάτια. Άμα φτάσει κανείς στην ταράτσα του αρχοντικού θα ανταμειφτεί με την πανοραμική θέα του λιμανιού των Σπετσών καθώς και αντιλαμβάνεται τη στρατηγική θέση του αφού η επιλογή της θέσης του δεν ήταν τυχαία.

Μετά από το θάνατο του Ανάργυρου το αρχοντικό πέρασε από τα χέρια πολλών ιδιοκτητών. Στους τελευταίους του ενοίκους, τους Rothchild, οφείλεται το γεγονός ότι σχεδόν όλες τοιχογραφίες είναι καλυμμένες με βαφή. Το 1970 φιλοξένησε το δημοτικό πολιτιστικό κέντρο των Σπετσών και το 1986 οριστικοποιήθηκε ως ιστορικό μνημείο. Παρόλα αυτά, ο χρόνος, η βροχή, η διάβρωση, οι ποικίλες χρήσεις του καθώς και η οικονομική αδυναμία για την διατήρησή του είναι οι βασικές αιτίες στις οποίες οφείλεται η σημερινή του θλιβερή κατάσταση.

Στους εξωτερικούς τοίχους παρατηρείται ότι υπάρχει αρκετή φθορά εξαιτίας του χρόνου και των καιρικών συνθηκών. Αυτό έχει προκαλέσει ξεφλούδισμα της μπογιάς και σε μερικά σημεία κατάρρευση τοιχών (Εικ. 1). Το περιστύλιο υποστηρίζεται από μια σειρά κιόνων όπου μόνο οι δύο μαρμάρινοι κίονες που βρίσκονται στην είσοδο βρίσκονται σε καλή κατάσταση. Οι υπόλοιποι έχουν κατασκευαστεί από γύψο με αποτέλεσμα να έχουν καταστραφεί τα περισσότερα κιονόκρανα (Εικ. 2). Στο ταβάνι του περιστυλίου επίσης υπάρχουν σημαντικές φθορές καθώς παρατηρείται πτώση μαρμάρινων πλακών (Εικ. 3). Ρωγμές στους τοίχους και στα κολωνάκια των στηθαίων προμηνύει σημαντικές ζημιές (Εικ. 4). Τα κάγκελα έχουν σκουριάσει λόγω της οξείδωσης καθώς και μερικά τζάμια έχουν σπάσει από εξωτερικούς παράγοντες.

Εικόνα 1

Εικόνα 2

Εικόνα 3

Εικόνα 4

Το ισόγειο όπως και η υπόλοιπη κατασκευή έχει σημαντικές φθορές. Από την εγκατάλειψη τόσων ετών το νερό πέρασε από την οροφή και κατέστρεψε την ενδιάμεση πλάκα, τον διάκοσμο της οροφής του ισογείου και τα δάπεδά του σε μεγάλη έκταση. Παρακάτω (Εικ. 5 & 6) παρουσιάζονται

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

ίχνη από τοιχογραφίες που αποκαλύπτονται πίσω από τη φθαρμένη μπογιά σε ορθή προβολή οι οποίες δεν φαίνονται σε κάποιο σχέδιο και βρίσκονται στο χωλ δεξιά και αριστερά στους κατακόρυφους τοίχους.

Ο πρώτος όροφος βρίσκεται σε χειρότερη κατάσταση από το ισόγειο καθώς όλοι οι τοίχοι έχουν βαφτεί καλύπτοντας τις τοιχογραφίες. Η παθολογία του πρώτου ορόφου παρουσιάζεται στην Εικόνα 7.

Εικόνα 5

Εικόνα 6

Εικόνα 7: Τεκμηρίωση της παθολογίας του πρώτου ορόφου

Μια από τις σημαντικότερες καταστροφές προκλήθηκε από το φράξιμο της υδρορροής καθώς τα νερά δεν είχαν δίοδο να φύγουν δημιουργώντας τεράστια προβλήματα στα ταβάνια και στα ξύλινα πατώματα. Τα ταβάνια του πρώτου ορόφου είναι ετοιμόρροπα και στηρίζονται σε σκαλωσιές καθώς και τα ξύλινα πατώματα έχουν μουχλιάσει δημιουργώντας αντίστοιχα προβλήματα στο ισόγειο όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως. Παρατηρείται ότι στην ταράτσα και στο δώμα υπάρχουν, όπως άλλωστε και στο υπόλοιπο μέρος, ρωγμές στο στηθαίο και στα κολωνάκια αλλά σε μικρότερο βαθμό σε σχέση με το υπόλοιπο κτίσμα (Εικ. 8).

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Εικόνα 8: Τεκμηρίωση παθολογίας του δώματος

Συλλογή δεδομένων

Η μελέτη αποκατάστασης του αρχοντικού θα βασιστεί σε κατάλληλα σχέδια τεκμηρίωσης και άλλο συναφές υλικό (Μυλωνάς 2002) που να καταγράφει τόσο τις γεωμετρικές του ιδιότητες όσο και την παθολογία του, αλλά και την στατική του συμπεριφορά. Για την καταγραφή αυτή απαιτείται η χρήση κατάλληλων μεθόδων καταγραφής και συλλογής πληροφορίας. Η συνολική τεκμηρίωση του μνημείου αποτελεί εγγύηση της επιτυχίας της μελέτης αποκατάστασής του αργότερα (ICOMOS 1996).

Για τον σκοπό αυτόν αξιοποιήθηκαν υφιστάμενα σχέδια κλίμακας 1:50 τα οποία είχαν συνταχθεί από υπηρεσίες του ΥΠΠΟ κατά τα έτη 1988 και 1990. Αρχικως αποφασίστηκε να ελεγχθούν για την ορθότητα και πληρότητά τους και να επικαιροποιηθούν με σύγχρονες μεθόδους, ώστε να επιτελέσουν το σκοπό για τον οποίο συντάχθηκαν. Επιπροσθέτως αποφασίστηκε η τεκμηρίωση να συμπληρωθεί με συγκεκριμένα σχέδια τομών, κυρίως στο ισόγειο, και με τις εξωτερικές όψεις με εικονιστικά προϊόντα, όπου αυτό ήταν δυνατόν. Τα σχέδια αυτά θα πλαισιωθούν με την κατάλληλη φωτογραφική τεκμηρίωση ης παθολογίας όπως παρουσιάστηκε στα προηγούμενα (Παπαδόπουλος 2011).

Για την συλλογή των απαραίτητων μετρητικών δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν σύγχρονες μέθοδοι συλλογής στοιχείων υπαίθρου. Δημιουργήθηκε ένα δίκτυο ακριβείας γυρω και μέσα στο κτήριο με την χρήση σύγχρονου ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού. Οι ψηφιακές εικόνες συλλέχθηκαν με χρήση ψηφιακής μηχανής Canon 1Ds MIII DSLR πλήρους πλασίου και ανάλυσης 21MP. Για τις εσωτερικές λήψεις χρησιμποιήθηκε σύστημα studio flash της Bowens (Εικ. 9). Συνολικά ελήφθησαν 370

ψηφιακές εικόνες συνολικού όγκου 11.5 GB και πρόσθετες 265 εικόνες τεκμηρίωσης συνολικού όγκου 1 GB.

Εικόνα 9: Διακσμητικό ζωγραφισμένο κρυστάλλινο διάφραγμα

Μεθοδολογία

Η επεξεργασία των εικονιστικών δεδομένων ακολούθησε την σύγχρονη ψηφιακή μεθοδολογία παραγωγής τρισδιάστατων μοντέλων από πυκνή συνταύτιση ψηφιακών εικόνων. Από τα έγχρωμα τρισδιάστατα μοντέλα προέκυψαν αργοτερα οι δισδιάστατες απεικονίσεις για τα συγκεκριμένα σχέδια που παρήχθησαν.

Ο μετρητικός έλεγχος των υφισταμένων σχεδίων έγινε με βάση τις γεωδαιτικές μετρήσεις ακριβείας. Παρατηρήθηκαν ορισμένα προβλήματα στις διαστάσεις, τόσο τις επί μέρους όσο και τις συνολικές, μερικά από τα οποία θα μπορούσαν να αποδοθούν στην φωτοτυπική αντιγραφή και την σάρωση. Παρατηρήθηκαν αποκλίσεις έως και 2 mm, δηλαδή 0.1m ακόμα και μεταξύ σχεδίων της ίδιας χρονολογίας. Μεταξύ σχεδίων των δύο χρονολογιών παρατηρήθηκαν αποκλίσεις στην παραλληλία των τοίχων. Επομένως αποφασίστηκε να εφαρμοστεί κατάλληλος προβολικός μετασχηματισμός των ψηφιοποιημένων παλαιών σχεδίων, για να συμπέσουν με τις σύγχρονες γεωδαιτικές μετρήσεις.

Προϊόντα γεωμετρικής τεκμηρίωσης

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές που τέθηκαν τα προϊόντα της γεωμετρικής τεκμηρίωσης που παρήχθησαν είναι κατά βάση γραμμικά σχέδια εμπλουτισμένα με εικονιστικά παράγωγα σε ορθή προβολή, δηλαδή ορθοφωτογραφίες. Τα σχέδια αυτά αποτελούν το απαραίτητο βασικό

υπόβαθρο για την μέλετη της αποκατάστασης. Ειδικότερα τα σχέδια αυτά περιλαμβάνουν ένα γενικό τοπογραφικό σε κλίμακα 1:100, τις τέσσερις εξωτερικές όψεις (Εικόνα 10), τα σχέδια των τομών και το σχέδιο της άνοψης (Εικόνα 11).

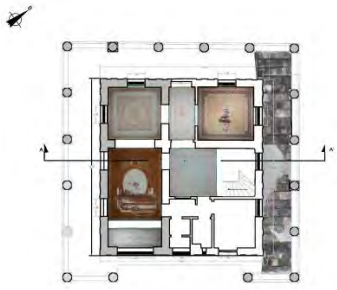
Το γεγονός ότι το Αρχοντικό βρίσκεται στις Σπέτσες, 3 ώρες από την Αθήνα μαζί με 20 λεπτά θαλάσσιο πέρασμα, αφού στις Σπέτσες δεν επιτρέπονται αυτοκίνητα, απαιτούσε πολύ προσεκτικό προγραμματισμό και οργάνωση των εργασιών συλλογής δεδομένων για να αποφευχθούν ενδεχόμενες παραλείψεις. Η διαδικασία της επεξεργασίας των εικόνων απαιτούσε πολύ ισχυρό υπολογιστή για την παραγωγή αποδεκτού προϊόντος λόγω του μεγάλου όγκου των δεδομένων. Τα διάφορα εμπόδια κυρίως στις λήψεις των εικόνων οδήγησαν στην λήψη περισσότερων εικόνων, ώστε να καλυφθούν οι περιοχές του κτηρίου με αποκρύψεις. Το γεγονός αυτό οδήγησε σε καθυστερήσεις των εργασιών υπαίθρου. Σημαντικό ήταν το εμπόδιο των δύο διακοσμητικών φοινίκων οι οποίοι κάλυπταν σχεδόν το 50% της πρόσοψης του κτηρίου. Ιδιαίτερη δυσκολία παρουσίασε η φωτογράφιση των εσωτερικών στοιχείων και συγκεκριμένα τον διακοσμημένων οροφών στα δωμάτια του ισογείου. Ο χρόνος επεξεργασίας ήταν ιδιαίτερα απαιτητικός. Ο αλγόριθμος SfM και η πυκνή συντάυτιση εικόνων απαιτεί πολύ ενεργή μνήμη RAM για την δημιουργία των νεφών σημείων και των τρισδιάστατων μοντέλων. Εκτιμάται ότι ο χρόνος επεξεργασίας αντιστοιχεί στο 25πλάσιο περίπου του χρόνου συλλογής των δεδομένων.

Συμπερασματικά σχόλια

Το Αρχοντικό του Σ. Ανάργυρου πέρασε πολλές αλλαγές και χρήσεις μετά τον θάνατο του αρχικού του ιδιοκτήτη. Κατά τον πόλεμο το υπόγειό του χρησιμοποιήθηκε ως κρατητήριο και θάλαμος βασανιστηρίων από τις δυνάμεις κατοχής. Μετά τον πόλεμο νοικιάστηκε ως θέρετρο σε πλούσιες οικογένειες, αλλά και χρησίμευσε ως έδρα της τοπικής αυτοδιοίκησης των Σπετσών και μάλιστα ακόμα και ως Νοσοκομείο. Την δεκαετία 1970-80 στέγασε το Πολιτιστικό Κέντρο του νησιού και το 1986 κηρύχθηκε από το ελληνικό κράτος ως διατηρητέο μνημείο. Δυστυχώς η μέχρι σήμερα εγκατάλειψή του το έχει φέρει σε προχωρημένη κατάσταση αποσάθρωσης τόσο εσωτερικά όσο και εξωτερικά. Πρέπει να παρθούν άμεσα μέτρα συντήρησης και αποκατάστασής του, αλλά και στατικής του υποστήριξης. Πιστεύεται ότι με την βοήθεια των σχεδίων για την μελέτη αποκατάστασης που παρήχθησαν με την εργασία αυτή το θαυμάσιο αυτό Αρχοντικό θα ξαναγνωρίσει ημέρες αποδοτικής χρήσης, ώστε όλοι οι κάτοικοι και επισκέπτες του νησιού να μπορούν να το απολαμβάνουν όπως του αξίζει.

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Εικόνα 10: Η Δυτική εξωτερική όψη



Εικόνα 11: Η άνοψη του ισογείου

Ευχαριστίες

Η εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε με την γενναιόδωρη αρωγή και την με κάθε τρόπο υποστήριξη του Ιδρύματος της Αναργυρείου και Κοργιαλενείου Σχοής Σπετσών.

Βιβλιογραφία

Milonas, K. P. "Integrated Study Restorations", 2002.
Papadopoulos, D., Thesis work "The use of laser scanner for building pathology", 2011 Lemessos.
Petrakopoulos P., Plessa E., “Save the Anargyros Mansion” unpublished, 2012.
ICOMOS, "Principles for the recording of monuments, groups of buildings and sites", 1996.

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Η πεντάτοξη μαρμάρινη γέφυρα της Δούκισσας της Πλακεντίας στα Μελίσσια (The five- arched bridge of Doukissis Plakentias Street in Melissia)

Μ. Πανακάκη, Μ. Κορρές

Abstract

The five – arched bridge stands in the old route of ancient quarries of Penteli, a part of it called today Doukissis Plakentias Street, in the municipality of Melissia. It is possible that this bridge stands in the place of an ancient one from which we cannot find any traces today.

It is the oldest surviving bridge in the wider area of Athens, which was constructed in 1836 with funding from Sophie de Marbois-Lebrun, Duchess of Plaisance and project plans by the civil engineer Alexander Georgantas. The construction of the bridge served the transportation of marbles from Penteli to Athens for the construction of the palace (and not only), when the quarries of Penteli opened again by orders of king Otto. Also, it was probably a project that was included in the general modernization and development of the road network of that time.

Constructed with pentelic marble, it has overall length 39.50 m. (after the alterations at the parapets), width 3.30 m. and height 10.40m. from the deepest point of the stream.

Concerning the way that the stones were built, we can discern three different zones of stone structure.

The ravages and damages seen today on the bridge depict the degradation of the original height of parapets and the low construction quality of the crowning level and the remaining parts. In addition, the course of the stream has changed due to debris and soil in the stream bed, which threats the bases of the pedestals of the fourth arch with soil displacement.

The asphalt layer that covers today the once paved deck, changed the original level resulting in the sinking (or disappearance) of rain gutters. Extensive deterioration, fall of mortars especially in the bases of pedestals and in the intrados of the arches, vegetation in the joints of stones due to moisture and general neglect in the wider environment, complete the overall view of the monument.

This project attempted to address the following matters:

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Complete imprint projects, building-construction analysis, proposal for the recovery of damages and restoring the original appearance of the bridge, and finally, proposal for the pedestrianization of the area and accession of the bridge to a wider network linking the monuments of the Duchess.

Περίληψη

Η πεντάτοξη μαρμάρινη γέφυρα της οδού των αρχαίων λατομείων, βρίσκεται στην σημερινή οδό Δουκίσσης Πλακεντίας του Δήμου Μελισσίων και είναι πιθανόν να στέκει στη θέση μιας αρχαίας γέφυρας από την οποία δεν σώζονται ή δεν διακρίνονται ίχνη.

Πρόκειται για την αρχαιότερη σωζόμενη γέφυρα της ευρύτερης περιοχής της Αθήνας η οποία κατασκευάστηκε το 1836 με χρηματοδότηση της Sophie de Marbois-Lebrun, Δούκισσα της Πλακεντίας και με σχέδια του μηχανικού Αλέξανδρου Γεωργαντά. Η κατασκευή της έγινε πιθανόν στα πλαίσια του γενικότερου εκσυγχρονισμού και επέκτασης του δικτύου δρόμων της Αθήνας την εποχή εκείνη, και εξυπηρέτησε τη μεταφορά μαρμάρων από το Πεντελικό στην Αθήνα για την ανέγερση των ανακτόρων, όταν σύμφωνα με διαταγή του Όθωνα το 1836 το λατομείο της Πεντέλης λειτούργησε ξανά.

Είναι κατασκευασμένη από πεντελικό μάρμαρο και έχει μήκος σήμερα περίπου 39,50 μ.(μετά από τις επεμβάσεις που έχουν γίνει στις απολήξεις των στηθαίων) , ωφέλιμο πλάτος 3,30 μ. και συνολικό ύψος 10,40 μ. από το βαθύτερο σημείο του ρέματος.

Ως προς τον τρόπο οικοδόμησης της γέφυρας, παρατηρείται η κατά ζώνες μεταβολή της δομής των λίθων από κάτω προς τα άνω.

Οι φθορές και βλάβες που παρατηρούνται σήμερα στη γέφυρα είναι :

Η υποβάθμιση του αρχικού ύψους των στηθαίων αλλά και της ποιότητας κατασκευής των εναπομεινάντων τμημάτων τους με πρόχειρο κτίσιμο και χρήση μπετόν στην επίστεψη και στα ακραία τμήματα που έχουν καταρρεύσει.

Η πορεία του ρέματος άλλαξε λόγω της ρίψης μπάζων και χωμάτων στη περιοχή της κοίτης, με αποτέλεσμα σήμερα να απειλούνται οι βάσεις των βάθρων της 4ης καμάρας με αποχωμάτωση. Η στρώση ασφάλτου για τη διέλευση των οχημάτων στο άλλοτε λιθόστρωτο κατάστρωμα, προκάλεσε αλλαγή της αρχικής στάθμης με αποτέλεσμα την βύθιση (ή και εξαφάνιση) των ρύσεων των ομβρίων. Εκτενής είναι η φθορά των κονιαμάτων κυρίως στις βάσεις των βάθρων αλλά και στα εσωρράχια των τόξων. Επίσης, παρατηρείται βλάστηση στους αρμούς των λίθων ιδιαίτερα στα βάθρα

εξαιτίας της υγρασίας και αισθητική υποβάθμιση της κοίτης λόγω γενικότερης εγκατάλειψης.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία επιχειρήθηκε να γίνουν πλήρη σχέδια αποτύπωσης, οικοδομική-κατασκευαστική ανάλυση, πρόταση αποκατάστασης των φθορών και αποκατάστασης της αρχικής μορφής της γέφυρας. Τέλος, προτάθηκε η πεζοδρόμηση της περιοχής και η ένταξη της γέφυρας σε ευρύτερο δίκτυο που θα συνδέει τα μνημεία της Δούκισσας.

Ιστορικά στοιχεία της γέφυρας της Δούκισσας

Η μαρμάρινη πεντάτοξη γέφυρα της Sophie de Marbois-Lebrun Δούκισσας της Πλακεντίας, βρίσκεται σε απόσταση περίπου 4 χιλιομέτρων από το Χαλάνδρι και 3 χιλιομέτρων από τη Πεντέλη στην σημερινή οδό Δουκίσσης Πλακεντίας του Δήμου Μελισσίων. Η οδός Δουκίσσης Πλακεντίας αποτελεί τμήμα της αρχαίας οδού της λιθαγωγίας που ξεκινούσε από το κάτω πέρας της οδού καταγωγής. Από τα λατομεία ως το Χαλάνδρι ο δρόμος ήταν συνεχώς κατηφορικός και επομένως ευνοϊκός για την έλξη των φορτιών , όμως δεν συνέβαινε το ίδιο στο παλαιότερο πέρασμα από τη ρεματιά. Το σημείο αυτό παρακάμφθηκε με τη μετάθεση του δρόμου μήκους 4 χλμ. στη νότια πλευρά της ρεματιάς. Η αρχαία γέφυρα πιθανόν να έστεκε στη θέση αυτή, θέση σήμερα και της πεντάτοξης, για την εξυπηρέτηση αυτής της συντόμευσης.

Εικόνα 1. Το τμήμα της λιθαγωγίας προς Πεντέλη. Στο κόκκινο τετράγωνο σημειώνεται η γέφυρα της Δούκισσας.
Πηγή : Υπόβαθρο Μ. Κορρές, προσωπική επεξεργασία χρωμάτων

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Η γέφυρα κτίσθηκε το 1836 και όχι 1841 όπως αναφέρουν πολλές πηγές, λόγω ότι στην κεντρική καμάρα της γέφυρας υπάρχει επιγραφή που αναφέρει σαφώς την ημερομηνία. Επίσης από την βιβλιογραφία συμπεραίνεται ότι η γέφυρα δεν εξυπηρέτησε την μεταφορά μαρμάρων για το μέγαρο των Ιλισσίων όπως αναφέρουν πολλές πηγές. Το πιθανότερο είναι η γέφυρα να κατασκευάστηκε είτε ως δώρο στον βασιλιά Όθωνα που εκείνη την εποχή είχε χρηματοδοτήσει την αποκατάσταση του συγκεκριμένου δρόμου προς τα λατομεία για την εξόρυξη μαρμάρων για τα βασιλικά ανάκτορα, είτε επρόκειτο για δωρεά στο νεοσύστατο κράτος που εκείνη εποχή κτιζόταν το κέντρο και ανέπτυσσε το οδικό του δίκτυο, και ασφαλώς ο δρόμος προς τα λατομεία για την εξόρυξη των μαρμάρων ήταν απαραίτητος.

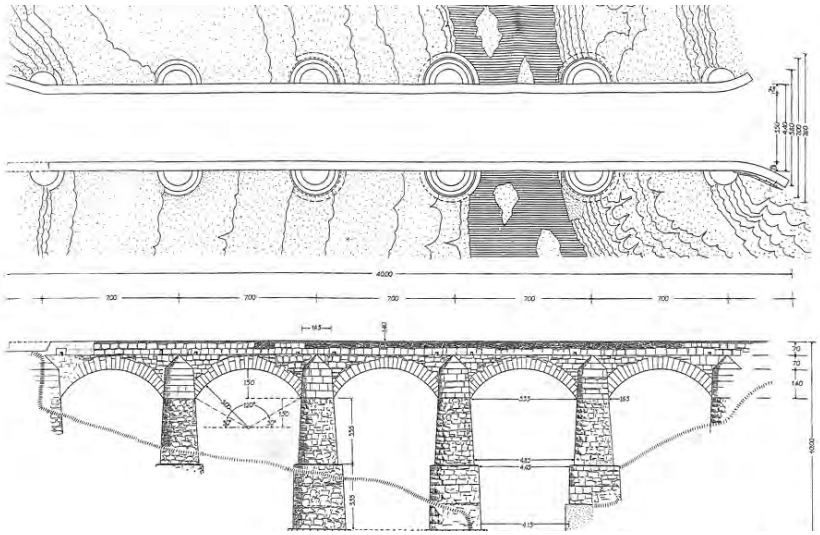
Εικόνα 2. Η ανατολική όψη της γέφυρας της Δούκισσας σήμερα.
Πηγή : Προσωπικό αρχείο.

Η αρχιτεκτονική και ιστορική αξία του μνημείου υπήρξε για αρκετά χρόνια παραγνωρισμένη και δε δόθηκε από την αρχή η πρέπουσα σημασία στη συντήρηση και την ανάδειξή του. Σε έγγραφο του 1976 από την τότε κοινότητα Μελισσίων προς το Υπ. Πολιτισμού αναφέρεται η παράνομη επίχωση της κοίτης και η κάλυψη των βάθρων απο κατοίκους της περιοχής με σκοπό να επεκτείνουν την ιδιοκτησία τους. Το 1979 το Υπουργείο Πολιτισμού κήρυξε το μνημείο ως έργο τέχνης και τον χείμαρρο Σκριμπού ως τόπο ιδιαίτερου φυσικού κάλλους. Στα χρόνια που ακολούθησαν μέχρι σήμερα, η προστασία του μνημείου υπήρξε γενικώς ελλιπής, παρά τις νομοθετικές και – θεωρητικά – τις κυκλοφοριακές ρυθμίσεις.

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Σχέδιο, κατασκευή και τρόπος οικοδόμησης του μνημείου.

Η πρώτη αποτύπωση της γέφυρας της Δούκισσας έγινε από τον Μανόλη Κορρέ το 1992. Στη μελέτη του «Από την Πεντέλη στον Παρθενώνα» παρουσιάζονται η κάτοψη και η ανατολική όψη. Η αποτύπωση αυτή παρουσιάζει τα βασικά μέτρα και τις αναλογίες της γέφυρας σύμφωνα με τα οποία έγινε η σχεδίαση της από τον μηχανικό Αλέξανδρο Γεωργαντά. Στην παρούσα διπλωματική έγιναν περισσότερες λεπτομερείς μετρήσεις από τις οποίες εξάγονται συμπεράσματα για τον τρόπο κατασκευής της γέφυρας.



Εικόνα 3 . Η πρώτη αποτύπωση της γέφυρας της Δούκισσας από τον Μ. Κορρέ, όπου παρουσιάζονται η κάτοψη και η ανατολική όψη.
Πηγή: Μ. Κορρές, « Από την Πεντέλη στον Παρθενώνα», σελ. 73

Ως προς τα μορφολογικά στοιχεία της γέφυρας, μπορεί να επισημανθεί ότι δεν απαντώνται σε άλλη γέφυρα όπως συνήθως συμβαίνει μεταξύ των γεφυρωτικών κατασκευών. Συνεπώς, το πιθανότερο ενδεχόμενο είναι να έπαιξε κάποιο ρόλο η ίδια η Δούκισσα στο σχεδιασμό της, όπως άλλωστε συνήθιζε να κάνει με όλα τα οικοδομήματα της.

Ως προς τον τρόπο οικοδόμησης της γέφυρας, παρατηρείται η κατά ζώνες μεταβολή της δομής των λίθων από κάτω προς τα άνω. Οι βάσεις των βάθρων έχουν αδρή αργολιθοδομή, το τμήμα έως τις γενέσεις των τόξων

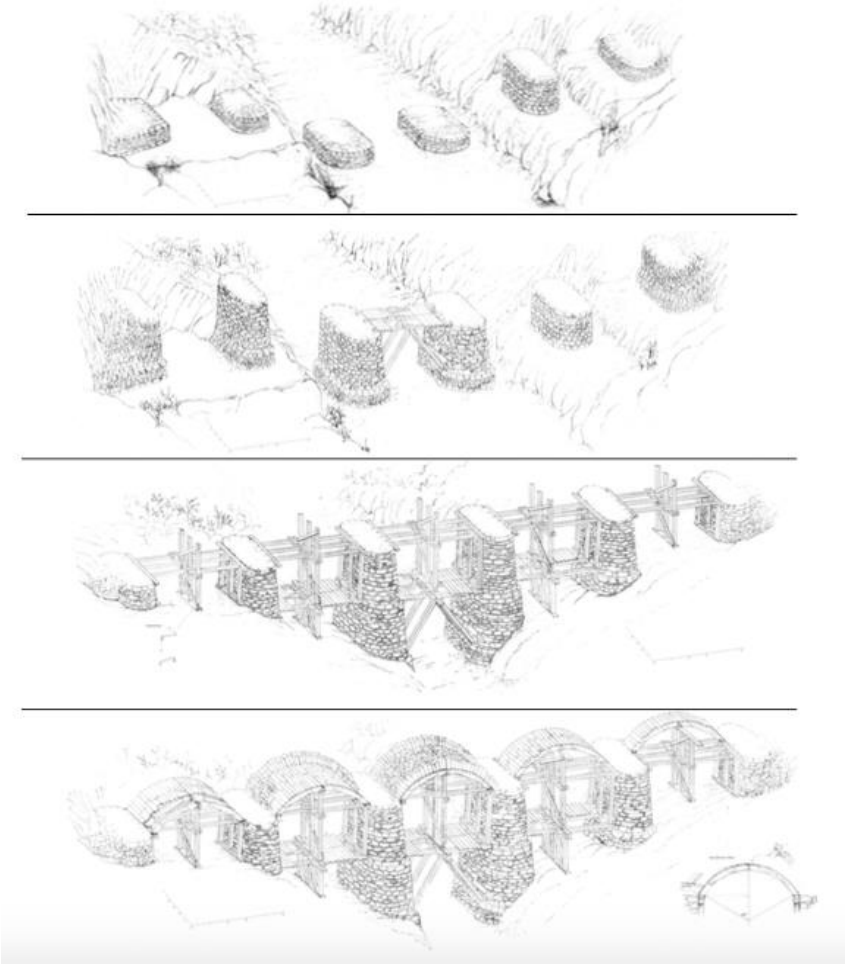
Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

έφερε διακοσμητικά επιμελημένο αρμολόγημα (που σήμερα υπάρχει σε ελάχιστα σημεία) και τέλος τα τόξα με τις βάσεις των στηθαίων έχουν επιμελέστερη λαξευτή λιθοδομή. Το υπόλοιπο τμήμα των στηθαίων και οι επιστέψεις που πιθανώς να διέθεταν την τελειότερη λάξευση, σήμερα δεν σώζονται.

Εικόνα 4 . Βάση βάθρου και το αρχικό επιμελημένο αρμολόγημα που ελάχιστα σήμερα διασώζεται.
Πηγή: Προσωπικό αρχείο

Στη συνέχεια γίνεται υποθετική αναπαράσταση με βάση τις σημερινές μετρήσεις και επιτόπιες παρατηρήσεις των φάσεων κατασκευής της γέφυρας. Παρουσιάζεται το σύστημα των ικριωμάτων και του ξυλότυπου που χρησιμοποιήθηκαν προκειμένου να κατασκευαστούν οι καμάρες που θα γεφύρωναν τα βάθρα, αλλά και εν γένει η σταδιακή αλλαγή του τοπίου χάριν της εκσκαφής.

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές



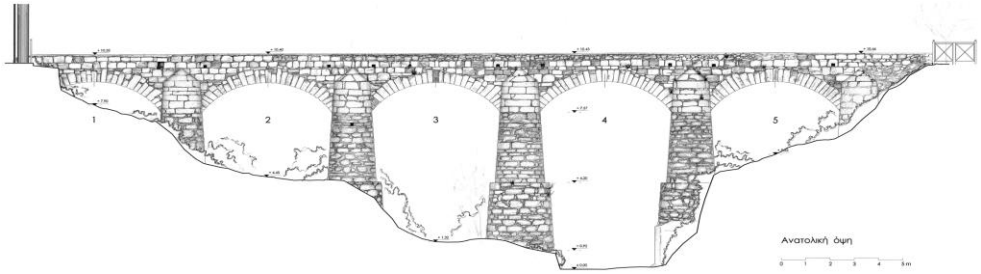
Εικόνα 5. Οι φάσεις κατασκευής της γέφυρας.
Πηγή: Προσωπική επεξεργασία

Παθολογία, διάγνωση και περιγραφή των προβλημάτων

Οι φθορές και βλάβες που παρατηρούνται σήμερα στη γέφυρα είναι συνοπτικά οι εξής:

Παρατηρείται η υποβάθμιση του αρχικού ύψους των στηθαίων αλλά και της ποιότητας κατασκευής των εναπομεινάντων τμημάτων τους, με πρόχειρο κτίσιμο της επίστεψης τους καθώς και των σημείων που έχουν καταρρεύσει στα ακραία τμήματα. Οι τυχαίοι σε μέγεθος και υλικό λίθοι που χρησιμοποιήθηκαν και οι καμπύλες απολήξεις που προστέθηκαν στις άκρες,

φέρουν αρμολόγημα από τσιμέντο και αλλοιώνουν σε μεγάλο βαθμό τις όψεις και τη μορφή του μνημείου.



Εικόνα 6 . Η ανατολική όψη με τις φθορές από τα σχέδια αποτύπωσης.
Πηγή: Προσωπική επεξεργασία

Η ρίψη μπάζων και χωμάτων στη νότια περιοχή της κοίτης είχε ως αποτέλεσμα η πορεία του νερού να γίνεται αποκλειστικά μέσω της 4ης καμάρας, γεγονός που επιβάρυνε τις βάσεις των βάθρων σε αυτό το σημείο. Παλαιότερα, πριν τις επιχωματώσεις, η πορεία του νερού μοιραζόταν σε τρεις καμάρες. Μέχρι σήμερα, τα βάθρα της 4ης καμάρας έχουν ήδη δεχτεί δύο φορές ενισχύσεις από μπετόν και συνεχίζουν ακόμα να αποχωματώνονται.

Η στρώση ασφάλτου στο άλλοτε λιθόστρωτο κατάστρωμα για τη διέλευση των οχημάτων έχει αλλοιώσει την αρχική εικόνα της γέφυρας. Η στρώση αυτή έφερε αλλαγή της αρχικής στάθμης του καταστρώματος κατά 20 εκ. υψηλότερα (στο νότιο μέρος) με αποτέλεσμα την βύθιση (ή και εξαφάνιση) των οπών των υδρορρόων εσωτερικά των στηθαίων.

Εκτενής είναι η φθορά των κονιαμάτων καθώς και πτώση αυτών κυρίως στις βάσεις των βάθρων αλλά και στα εσωρράχια των τόξων. Οι τελευταίοι έχουν εμφανίσει τρύπες στις θέσεις των αρμών τους από όπου στάζουν νερά λόγω της υγρασίας. Η ευρύτερη βλάστηση του τοπίου που πνίγει το μνημείο, συντελεί στη διατήρηση αυτής της υγρασίας και μάλιστα προκαλεί ανάπτυξη μικροοργανισμών στους αρμούς της λιθοδομής.

Γενικότερα θα μπορούσε να ειπωθεί ότι η γέφυρα σήμερα «ξεπλένεται» συνεχώς από τα κονιάματα της.

Στο ευρύτερο περιβάλλον παρατηρείται αισθητική υποβάθμιση λόγω της ρίψης απορριμμάτων και μπάζων, και των παράνομων περιφράξεων.

Η πρόταση αποκατάστασης

Ξεκινώντας από τα υποβαθμισμένα σε ύψος στηθαία αποκαθίσταται το ύψος τους προσθέτοντας άλλη μία σειρά λίθων και αποξηλώνονται τα

πρόχειρα κτισμένα τμήματα που φέρουν μη συμβατά υλικά. Η στέψη των στηθαίων ολοκληρώνεται με την τοποθέτηση μαρμάρινων καλυπτήρων οι οποίοι μορφολογικά απαντώνται στις περισσότερες γέφυρες της εποχής και έχουν στεγόσχημο σχήμα. Το συνδετικό κονίαμα που θα χρησιμοποιηθεί για την σύνδεση των παραπάνω λίθων θα είναι το ίδιο με αυτό που χρησιμοποιήθηκε αρχικά στη γέφυρα, εφόσον γίνει δειγματοληψία και μελετηθεί η σύσταση του.

Οι απολήξεις της γέφυρας οι οποίες καταστράφηκαν και ανακατασκευάστηκαν μετέπειτα, επανέρχονται στο πιθανότερο αρχικό τους σχήμα το οποίο είναι η ευθεία και όχι η καμπύλη. Το μήκος τους θα σταματά σε μια εύλογη απόσταση από την τελευταία ακραία υδρορροή, εφόσον δεν γνωρίζουμε με ακρίβεια το αρχικό μήκος της γέφυρας.

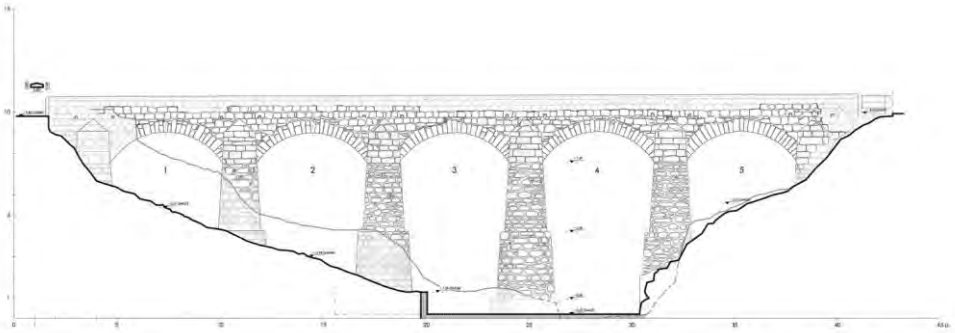
Όλες οι παραπάνω επεμβάσεις θα διαχωρίζονται από την αυθεντική λιθοδομή της γέφυρας με φύλλα μολύβδου που θα δεικνύουν ξεκάθαρα σε ποια σημεία έχουν γίνει επεμβάσεις.

Η στρώση ασφάλτου που υπάρχει σήμερα στο κατάστρωμα προτείνεται να αποξηλωθεί. Με την αποκάλυψη της υποκείμενης λιθοδομής προτείνεται εξέταση και εξυγίανση των συνδετικών κονιαμάτων , των οπών για την απορροή των ομβρίων και εν γένει της κατασκευής. Το υλικό που προτείνεται να αντικαταστήσει την άσφαλτο είναι κάποιο χωματώδες υλικό σε μίξη με ασβέστη και τσιμέντο. Ο λόγος που δεν προτιμάται το λιθόστρωτο είναι ότι το πιθανότερο η γέφυρα να έφερε χώμα για την καλύτερη διέλευση των κάρων και των ζώων.

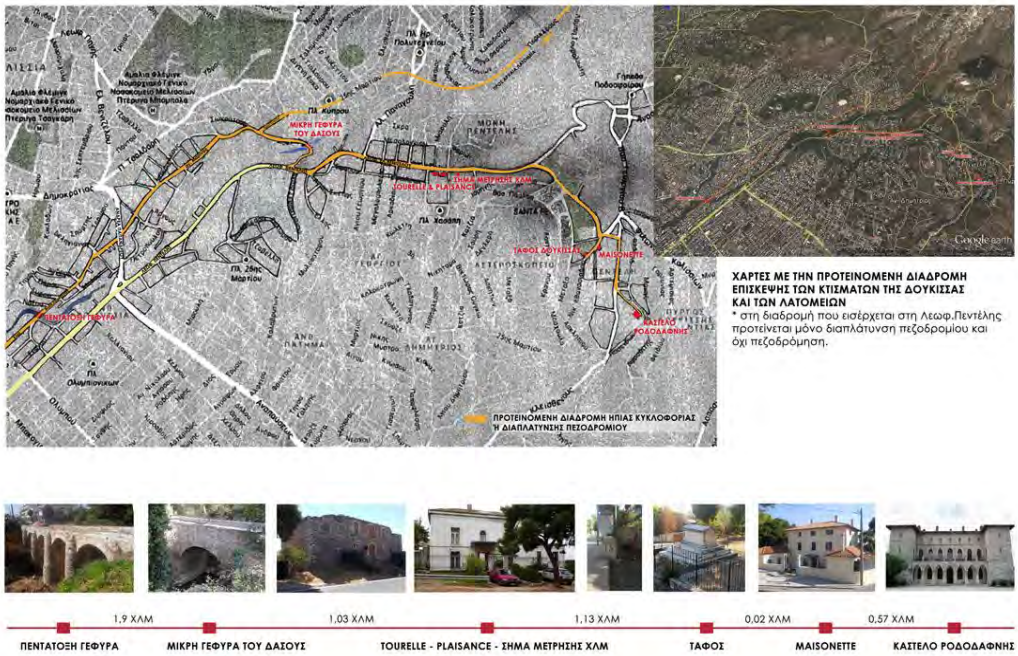
Η διευθέτηση της πορείας του ρέματος είναι από τα σημαντικότερα προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Η πορεία του ρέματος πρέπει να επανέλθει στη αρχική της διεύθυνση ή έστω να την προσεγγίσει.

Προτείνεται επομένως το ξεμπάζωμα της νότιας πλευράς της κοίτης και το άνοιγμα της 3ης καμάρας για τη διέλευση του νερού. Με αυτό τον τρόπο τα μπαζωμένα βάθρα σήμερα θα αποκαλυφθούν και το μέγιστο άνοιγμα από όπου περνά το νερό θα μεγαλώσει αποφορτίζοντας τις βάσεις της 4ης καμάρας. Η διάνοιξη αυτή στη κοίτη προκειμένου να μείνει σταθερή από την ορμή του χειμάρρου προτείνεται να κατασκευαστεί από μπετόν και να εξέχει προς τα ανάντη και τα κατάντη ώστε να οδηγεί καθέτως το νερό διαμέσου της γέφυρας.

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές



Τέλος, το μνημείο της Δούκισσας προτείνεται να ενταχθεί σε ένα ευρύτερο δίκτυο πεζοδρόμων ήπιας κυκλοφορίας που θα ενώνουν τα μνημεία της Sophie Marbois. Παράλληλα, για την αξιοποίηση του υπαίθριου χώρου πλησίον της γέφυρας προτείνεται η δημιουργία ενός μικρού υπαίθριου θεάτρου που θα λειτουργεί και σαν καθιστικό ή παρατηρητήριο της περιοχής του ρέματος.



Εικόνες 7, 8 . Πάνω η πρόταση επέμβασης στο μνημείο και κάτω η προτεινόμενη διαδρομή επίσκεψης των κτισμάτων της Δούκισσας.
Πηγή: Προσωπική επεξεργασία

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Ενδεικτική Βιβλιογραφία

Βιβλία / Μελέτες
Αγγελομάτης Χρ. Εμ., "Τα Σπίτια της Δούκισσας της Πλακεντίας", ΝΕΑ ΕΣΤΙΑ, τεύχη 224, 225 & 226, Αθήνα 1936
Γονατάς Δ., ΜΑΘΗΜΑΤΑ ΓΕΦΥΡΩΤΙΚΗΣ, μέρος Α', Εν Αθήναις 1890-1891
Γαρδίκας Γ.Κ., «Αμαρούσιον- Άθμονον»
Δεμίρη Φ., Κουτσούμπος Ν., «Σοφία ντε Μαρμπουά, δούκισσα Πλακεντίας», στο Συλλογικό: Γυναίκες φιλέλληνες, Ε Ιστορικά, τευχ.228, 18 Μαρτίου 2004
Δημητρακόπουλος Πολ. Τ., Η Δούκισσα της Πλακεντίας : Αι Αθήναι του Όθωνος , Αθηναϊκή Μυθιστορία του 1835.
Καμπούρογλου Δ., Μνημεία της Ιστορίας των Αθηναίων, τομ.Α', 1893
Καραμήτρου-Κεχαγιά Ε., Κεχαγιάς Σ., Μελίσσια Αττικής Ιστορία-Παράδοση-Ζωή, Έκδοση Δήμου Μελισσίων, Μελίσσια 2002.
Καμπούρογλου Δ. Γρ., Μελέται και Έρευναι, Η Δούκισσα της Πλακεντίας, Εν Αθήναις, «ΕΣΤΙΑ», 1925.
Καρδαμίτση – Αδάμη Μ., Με αφορμή το άρθρο της Ida Haugsted, Τα κτίρια της Δούκισσας της Πλακεντίας, Αρχαιολογία, τευχ.32, 1989.
Κορδέλλας Α., Αι Αθήναι υπό υδραυλικήν έποψιν, Αθήνησι 1879.
Κορρές Μ., Από την Πεντέλη στον Παρθενώνα, Μέλισσα, 1994
Κιουπκιόλης Κ., «Η Δούκισσα της Πλακεντίας εναντίον του Καποδίστρια», Ιστορία Εικονογραφημένη, τευχ.6, Δεκέμβριος 1968.
Καιροφύλας Γ., "Η Αθήνα και οι Αθηναίοι", τόμ. Α', Εκδ. Φιλιππότη, Αθήνα 1983.
Καιροφύλας Γ., Το Καστέλο της ροδοδάφνης, Η αληθινή ιστορία της Δούκισσας της Πλακεντίας, Εκδ. Φιλιππότη, 2004.
Κωστέας Α.Δ., Ιστορική εξέλιξις της γέφυρας, Μέρος 1ον, Αθήναι 1941.
Μπίρης Μ., Εκπαιδευτική Ελληνική Εγκυκλοπαίδεια, λήμμα Α. Γεωργαντάς, τόμ. 3ος.
Μπίρης Κ., Αι Αθήναι από του 19ου εις τον 20ον αιώνα, Μέλισσα, 2005.
Μασούρης Δ. Στ.,«Το γεφύρι της Ντουκέσσας», εφημερίδα Αμαρυσία, φύλλο 614 (17-1-1983)
Μπαδήμα-Φουντουλάκη Ο., Η Δούκισσα της Πλακεντίας και οι αρχιτέκτονες της, Εκδ. Επτάλοφος, Αθήνα 2011.
Μπαδήμα – Φουντουλάκη Ο., Κλεάνθης, 2ος τόμος, έγγραφα 40, 41 και 42.
Μακρής Γ. Δ., Οι Γέφυρες στην αρχαία Ελλάδα, Εκδόσεις Αίολος, Αθήνα 2004.

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Μπεληγιάννη Γ. και Ε., Πέτρινα τοξωτά γεφύρια της Ελλάδας , Εκδ.Μίλητος, 2011.
Ορλάνδος Α. Κ., Μεσαιωνικά Μνημεία.
Ορλάνδος, Α. Κ., Τα υλικά δομής των αρχαίων Ελλήνων, τεύχ. 2ον Αθήναι 1959.
Πίκουλας Γ.Α., «Αμαρυσία»
Πάλλης Γ., Το Μαρούσι της Αττικής, Δοκίμιο τοπικής ιστορίας, εκδόσεις εφημ. ΑΜΑΡΥΣΙΑ, 2004
Πλασσαρά Κ.Π., Το άγνωστο σπίτι της Πλακεντίας, Ορέστης , 2005
Πετούρης Τάσος, Πεντέλη : Το ιερό όρος της Αθήνας - 2006
Πίκουλας Γ. Α., «Η αμαξήλατος οδός στην Αρχαία Ελλάδα. Τεχνολογία και συναφή προβλήματα», Πρακτικά Α΄ Συνεδρίου για την Αρχαία Ελληνική Τεχνολογία στη Θεσσαλονίκη 1997.
Συναρέλλη Μ., Δρόμοι και λιμάνια στην Ελλάδα 1830 – 1880, Αθήνα 1989.
Στασινόπουλος Ε., Ιστορία των Αθηνών, 1973.
Τραυλός Ι., Πολεοδομική εξέλιξις των Αθηνών, εκδ. Καπόν.,1960
Τραυλός Ι., Κόκκου Α., Ερμούπολη, Έκδοση Εμπορικής Τραπέζης της Ελλάδος, Αθήνα 1980.
Τάσιος Θ.Π., Αρχαιοελληνική Γεφυροποιία, ΕΜΠ, 2004
Φουντουλάκη Ο., André Couchaud, ο αρχιτέκτων του Καστέλου της Ροδοδάφνης στην Πεντέλη, Αρχαιολογία, τευχ.112, 2009.
Φουντουλάκη Ο., Αλέξανδρος Γεωργαντάς (1803 – 1861). Νεότερα στοιχεία για τη ζωή του Διευθυντού Μηχανικού Κυκλάδων στα μέσα του 19ου αιώνα, Παριανά, τευχ.121, 2011.
Φιλιππίδης Δ., Νεοελληνική Αρχιτεκτονική, Εκδόσεις Μέλισσα, Αθήνα 1984.
Φουριώτη Α., Ιστορία της Φραγκοκρατίας στην Ελλάδα, Αθήνα 1973.
Φιλαδελφεύς, Ιστορία των Αθηνών Α’
Φίλιας Β., «Ελληνική κοινωνία», Ιστορία του Ελληνικού Έθνους, τόμος ΙΓ΄, Εκδοτική Αθηνών, Αθήνα, 1977.
About E., Η Ελλάδα του Όθωνος. Η σύγχρονη Ελλάδα, 1854, μετάφραση Α. Σπηλίου, Εκδόσεις Αφών Τολίδη, χωρίς έτος έκδοσης.
Perino A. S. & Faraggiana G., Γέφυρες, Εκδόσεις Καρακώτσογλου, Αθήνα 2005.
Haugsted I., Τα κτίρια της Δούκισσας της Πλακεντίας στην Αθήνα, Αρχαιολογία, τευχ.29, 1988.
Voss R., Η Δούκισσα της Πλακεντίας, μετάφραση Γεωργ. Ταρσούλη.

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Η ενετική μονή Santa Maria dei Miracoli Χανίων Τεκμηρίωση και μελέτη ανάδειξης (The Venetian monastery of Santa Maria dei Miracoli in Chania. Documentation and intervention proposals)

Ε.Ο. Δεληγιάννη, Γ. Μαρίνου

Αρχιτέκτων Μηχανικός ΕΜΠ - MSc Προστασία Μνημείων ΕΜΠ

Η εισήγηση αποτελεί τμήμα διπλωματικής εργασίας που εκπονήθηκε το 2013 και παρουσιάστηκε το Μάρτιο του 2014 στο Διατμηματικό Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών "Προστασία Μνημείων" του ΕΜΠ.

Abstract

The Venetian monastery of *Santa Maria dei Miracoli*, on the hill Kastelli, was of the six monasteries of the Western Church that existed in Chania.

The eastern side of the monument is based on the Byzantine wall and becomes immediately apparent to the visitor from the port. Nowadays, the monastery is preserved in ruins as longtime neglect, the loss of its roofs, its proximity to recent buildings, incompatible interventions, and the lack of an integrated preservation study make the monument hardly recognizable within the urban fabric and its history illegible.

The monument's surveying, along with a thorough study of its history, clarified the complexities of its historic phases and brought to light a bigger and more important monument. This is a basilica of the middle years of Venetian rule, which then became part of the monastery of Santa Maria dei Miracoli, and which is not mentioned from previous or contemporary researchers.

The main objective of the proposed interventions is to restore and highlight the monument within the urban fabric and to establish a connection with other monuments in the area, in order to constitute a landmark in the city. The primary objective is the recognition of the historic phases of the complex and the comprehension of its history within the built environment, carrying out the least possible drastic interventions. The view of the monument from the harbor is a key point, as it is the place where the

characteristic marks of the evolution of the monument become visible. The main concept of the proposal is to restore the character and style of the Venetian monastery, accentuated through the sense of enclosure in the cloister and the perimetric movement in the complex.

The proposed interventions not only complete the historic image of the city, but enable a proper reading of the historical phases of the monument, giving the opportunity to overcome the difficulties of the economic viability and sustainability of the monument. The establishment a cooperative relationship between the local Ephorate of Antiquities, the residents and the established hotel, aiming to protect the monument, may result in benefits to both sides, by exploiting the monastic complex with modern activities throughout the year.

Περίληψη

Η Ενετική μονή Santa Maria dei Miracoli, στο λόφο Καστελίου στα Χανιά, υπήρξε μία από τις έξι μονές μοναχικών ταγμάτων της Δυτικής Εκκλησίας που λειτούργησαν στην πόλη.

Η ανατολική πλευρά του μνημείου θεμελιώνεται πάνω στο βυζαντινό τείχος και γίνεται άμεσα αντιληπτό στον επισκέπτη από το λιμάνι. Σήμερα σώζεται σε κακή κατάσταση, καθώς η χρόνια εγκατάλειψη, η απώλεια των στεγάσεων, η ασφυκτική γειτνίαση με νεότερα κτίσματα, οι ατυχείς επεμβάσεις και η απουσία ολοκληρωμένης μελέτης ανάδειξης, καθιστούν δυσδιάκριτο το μνημείο μέσα στον αστικό ιστό και την ιστορία του δυσανάγνωστη.

Η αποτύπωση του μνημείου σε συνδυασμό με την ενδελεχή μελέτη της ιστορίας του, διευκρίνισε τις περίπλοκες ιστορικές του φάσεις και έφερε στο φως ένα μεγαλύτερο, πολύ πιο σημαντικό μνημείο. Πρόκειται για μία τρίκλιτη βασιλική των μέσων χρόνων της Ενετοκρατίας, που στη συνέχεια αποτέλεσε τμήμα του μοναστηριακού συνόλου της Santa Maria dei Miracoli, και για την οποία δεν υπάρχει καμία αναφορά από παλαιότερους ή σύγχρονους ερευνητές.

Κύριος στόχος της πρότασης επέμβασης είναι η αξιοποίηση και η ανάδειξη του μνημείου μέσα στον αστικό ιστό και η σύνδεσή του με τα μνημεία της ευρύτερης περιοχής, ώστε να αποτελέσει τοπόσημο στην πόλη. Πρωταρχικός στόχος είναι και η ανάγνωση των ιστορικών φάσεων του συγκροτήματος και η κατανόηση της ιστορίας του μέσα στο κτισμένο περιβάλλον, πραγματοποιώντας τις ελάχιστα δυνατές δραστικές επεμβάσεις. Καθοριστικής σημασίας είναι η όψη του μνημείου από το λιμάνι, όπου γίνονται εμφανή τα πιο χαρακτηριστικά σημεία της εξελικτικής πορείας του

μνημείου. Βασικός άξονας της πρότασης είναι η διδακτική επαναφορά του χαρακτήρα και του ύφους της ενετικής μονής, που τονίζεται μέσα από την αίσθηση του περίκλειστου στην αυλή και την περιμετρική κίνηση στους χώρους του συγκροτήματος.

Μέσω των προτεινόμενων επεμβάσεων συμπληρώνεται η εικόνα της ιστορίας της πόλης και καθίσταται δυνατή η σωστή ανάγνωση της ιστορικής εξέλιξης του μνημείου, δίνοντας τη δυνατότητα να αντιμετωπιστούν οι δυσκολίες της οικονομικής βιωσιμότητας του μνημείου. Η εδραίωση σχέσης «συνεργασίας» ανάμεσα στην τοπική Εφορεία Αρχαιοτήτων και την ήδη ιστάμενη ξενοδοχειακή μονάδα, με απώτερο στόχο την προστασία του μνημείου μπορεί να επιφέρει οφέλη σε όλες τις πλευρές, μέσω της αξιοποίησης του συγκροτήματος με σύγχρονες δράσεις, καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.Η Ενετική μονή Santa Maria dei Miracoli, υπήρξε μία από τις έξι μονές μοναχικών ταγμάτων της Δυτικής Εκκλησίας που λειτούργησαν στα Χανιά και έχει κηρυχθεί διατηρητέο μνημείο με το ΦΕΚ 227/Β/31-12-41.

Το κτηριακό συγκρότημα του μοναστηριού βρίσκεται στο ΒΔ τμήμα του λόφου του Καστελίου και η ανατολική του πλευρά θεμελιώνεται πάνω στο βυζαντινό τείχος και γίνεται άμεσα αντιληπτό στον επισκέπτη από το λιμάνι *(Εικόνα 1α).*Το μνημείο βρίσκεται σήμερα σε κακή κατάσταση, καθώς η χρόνια εγκατάλειψη, η απώλεια των στεγάσεων, η διαρκής έκθεση του μνημείου στις καιρικές συνθήκες και το διαβρωτικό θαλάσσιο περιβάλλον, η ευπαθής ποιότητα του οικοδομικού υλικού και η έντονη σεισμικότητα της περιοχής έχουν συμβάλλει στα δομικά προβλήματα που παρατηρούνται στο μνημείο. Η ασφυκτική γειτνίαση με νεότερα κτίσματα, οι ατυχείς επεμβάσεις και η απουσία ολοκληρωμένης μελέτης ανάδειξης, καθιστούν δυσδιάκριτο το μνημείο μέσα στον αστικό ιστό και την ιστορία του δυσανάγνωστη. *(Εικόνα 1β).*

Η μελέτη των κτισμάτων που υπήρχαν στο χώρο πριν την ίδρυση της μονής της Santa Maria dei Miracoli τον 17^{ο} αιώνα και η αναζήτηση της συγκρότησης του μοναστηριού έφεραν στο φως ένα μεγαλύτερο και πολύ πιο σημαντικό μνημείο. Πρόκειται για μία τρίκλιτη βασιλική των μέσων χρόνων της Ενετοκρατίας, που στη συνέχεια αποτέλεσε τμήμα του μοναστηριακού συνόλου και για την οποία δεν υπάρχει καμία αναφορά από παλαιότερους ή σύγχρονους ερευνητές.

Η μονή βρίσκεται σήμερα σε ερειπιώδη κατάσταση, καθώς έχει καταστραφεί το μεγαλύτερο μέρος της μονόχωρης εκκλησίας, εκτός από το νότιο τοίχο και τμήμα της οξυκόρυφης καμάρας στέγασης, σε ύψος λίγο πάνω από τη γένεση *(Εικόνα 2α).* Σώζεται επίσης η ΝΑ γωνία της αψίδας του ιερού, ενώ το υπόλοιπο τμήμα της έχει ενσωματωθεί σε μεταγενέστερη επέκταση γειτονικής κατοικίας. Στα νότια του ναού διασώζεται η

μοναστηριακή αυλή και μέρος των κτισμάτων που την πλαισίωναν, όπως το σκευοφυλάκιο ΝΑ του ναού και οι δύο περιμετρικές στοές με τις τοξοστοιχίες τους *(Εικόνα 2β)*.

Επιπλέον, σημαντικό πρόβλημα είναι ότι το μνημείο δεν έχει κηρυχτεί διατηρητέο στο σύνολό του, επιτείνοντας τα προβλήματα εγκατάλειψης και κακοδιαχείρισης. Η μοναστηριακή αυλή και η στοά αποτελούν δημόσιο χώρο, ενώ η νότια πτέρυγα ανήκει σε ιδιώτες, με το μεγαλύτερο τμήμα της να έχει μετατραπεί σε ξενοδοχείο. Ως αποτέλεσμα, το εν λόγω τμήμα δεν έχει μελετηθεί διεξοδικά και έχει δεχτεί επεμβάσεις, που αγνοούν και αποκρύπτουν σημαντικά στοιχεία της ιστορίας του μνημείου.

Στη συνέχεια θα παρουσιαστεί συνοπτικά η ιστορική και οικοδομική εξέλιξη του μνημειακού συγκροτήματος *(εικόνα 3)*. Η μονή της Santa Maria dei Miracoli θεμελιώθηκε το 17^{ο} αιώνα πάνω στο βυζαντινό τείχος του 7^{ου} αιώνα, καθώς και σε τμήματα προϋπάρχουσας βασιλικής *(εικόνα 4)*.

Όσον αφορά την τρίκλιτη βασιλική, το ιερό της θεμελιώθηκε υπό γωνία πάνω στο βυζαντινό πύργο. Η ιδιότυπη αυτή οικοδομική λύση οφείλεται στην κατασκευή της εκκλησίας μέσα στον πυκνό ιστό του Καστελίου και στην ανάγκη επίτευξης του σωστού προσανατολισμού προς την Ανατολή. Πιθανώς κατασκευάστηκε στις αρχές του 14^{ου} αιώνα, οπότε και κατασκευάζονται οι μεγάλοι ναοί των Χανίων. Μέσα από τη συγκριτική μελέτη κατόψεων ναών της Φραγκοκρατίας, συμπεραίνεται ότι κατά πάσα πιθανότητα η τρίκλιτη βασιλική ακολουθούσε το πρότυπο της Αγίας Σοφίας Ανδραβίδας και είχε εξωτερικές διαστάσεις 45x19 μ., ορθογωνική αψίδα και τοξοστοιχία εννέα ανοιγμάτων οξυκόρυφης μορφής στο εσωτερικό.

Η βασιλική ίσως επιβίωσε μέχρι το μεγάλο σεισμό του 1508 (Πλατάκης 1950, 477-488), οπότε πιθανώς καταστράφηκε μεγάλο μέρος της. Κατά τον 16^{ο} αιώνα το μνημείο φαίνεται ότι περνά σε μια μεταβατική φάση, όπου στα ΒΔ του συγκροτήματος κτίστηκε ιδιωτικό ενετικό μέγαρο.

Το 1615, ιδρύθηκε η γυναικεία μονή της Santa Maria dei Miracoli που ακολουθούσε τον κανόνα των Δομινικανών (Gerola 1917, 155). Το μοναστηριακό συγκρότημα περιλάμβανε την εκκλησία, την εσωτερική αυλή στο νότο, με περιμετρική στοά από τις δύο πλευρές και βοηθητικά κτίσματα. Η λειτουργία της μονής επέφερε μετατροπές σε πολλά κοντινά κτίσματα, τα οποία ενσωματώθηκαν στο μοναστηριακό σύνολο.

Ο ναός της Santa Maria dei Miracoli ήταν μονόχωρος, συνολικών διαστάσεων 19,5 x 8 μ. και ύψος περί τα 11 μ. Στεγαζόταν με οξυκόρυφη καμάρα με γλυπτά σφενδόνια που στηρίζονται σε παραστάδες, ενσωματωμένες στην τοιχοποιία *(εικόνα 5)*. Η ορθογωνική αψίδα του ιερού στεγαζόταν από οξυκόρυφο σταυροθόλιο με νευρώσεις. Οι τοίχοι στο εσωτερικό της μονόχωρης εκκλησίας διαρθρωνόταν με τρία τυφλά, άνισα

αψιδώματα, στο βορειότερο από τα οποία διακρίνεται κατεστραμμένος ρόδακας.

Το κατασκευαστικό σύστημα της μονής ακολουθούσε την πρακτική που συνηθιζόταν στην Κρήτη από τα πρώιμα χρόνια της Ενετοκρατίας (Γκράτζιου, Όλγα 2010, 38-53, 67-73). Οι γωνίες του κτηρίου, η κύρια όψη και το ιερό του καθολικού έχουν κατασκευαστεί από καλολαξευμένους παρελληλεπίπεδους λίθους, με ενδιάμεση λεπτή στρώση κονιάματος. Στα σημεία σύνδεσης, η λιθοδομή είναι κατασκευασμένη με μεγαλύτερη επιμέλεια και οι γωνιόλιθοι τοποθετούνται εναλλάξ, ώστε οι προσόψεις να συνδέονται επαρκώς με τους πλευρικούς τοίχους, που είναι από αργολιθοδομή με ισχυρό κονίαμα. Λίθινα δομικά και μορφολογικά στοιχεία όπως τα πλαίσια των ανοιγμάτων, οι θολίτες των τόξων και ο ρόδακας αποτελούνταν από προλαξευμένους λίθους που συναρμολογούνται επί τόπου. Από τα υπολείμματα των επιχρισμάτων στη βόρεια όψη της μοναστηριακής αυλής και στο νότιο τοίχο του καθολικού, διαπιστώνεται ότι η τοιχοποιία επικαλύπτονταν από λεπτή στρώση επιχρίσματος, παρόμοιας απόχρωσης με αυτή των λίθων. Με εξαίρεση το καθολικό, το υπόλοιπο συγκρότημα πιθανώς στεγαζόταν με επίπεδο δώμα.

Η οργάνωση της μονής γίνεται γύρω από την αυλή, ακολουθώντας το κιστερκιανό πρότυπο οργάνωσης. Η είσοδος στο συγκρότημα γινόταν από τη δυτική πλευρά, μέσω ελεγχόμενου διαβατικού. Στην νότια πλευρά του καθολικού υπήρχε πλευρικό σκευοφυλάκιο σε άμεση επικοινωνία με το ιερό. Το κατεστραμμένο κτίσμα της μεγάλης βασιλικής μετασκευάστηκε σε τραπεζαρία, ενώ στο ιερό της κατά πάσα πιθανότητα στεγάστηκε η κύρια αίθουσα της μονής. Στο ισόγειο της δυτικής πτέρυγας λειτουργούσε χώρος υποδοχής επισκεπτών, αποθήκες και βοηθητικοί χώροι και στον όροφο των περιμετρικών πτερύγων τοποθετήθηκαν οι κοιτώνες. Στον όροφο της νότιας πτέρυγας οι κοιτώνες ανοίγονταν σε υπαίθριο χώρο πάνω από την τοξοστοιχία, ενώ η άνοδος φαίνεται ότι γινόταν από εξωτερική κλίμακα.

Η σημερινή κατάσταση δεν μας δίνει αρκετά στοιχεία για την εξωτερική μορφή της εκκλησίας, που βάσει των ενετικών χαρτών του Corner και του Coronelli, φαίνεται ότι αποτελούνταν από δίρριχτη στέγη, με αέτωμα στην πρόσοψη. Στη μονή φαίνεται ότι υπήρχε κωδωνοστάσιο, που δε σώζεται σήμερα.

Κατά την περίοδο της Τουρκοκρατίας, τα κτίσματα της μονής μετατράπηκαν σε κατοικίες, οπότε πραγματοποιήθηκαν αρκετές επεμβάσεις, όπως η μετατροπή του ανοιχτού εξώστη πάνω από τη νότια τοξοστοιχία σε κλειστό χώρο. Κατά την επίσκεψη του Gerola το 1903 τεκμηριώνεται ότι έχει καταρρεύσει το μεγαλύτερο μέρος του μονόχωρου ναού και στη θέση του έχει κατασκευαστεί διώροφη κατοικία, κάθετα στο νότιο τοίχο του.

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Μετατροπές μορφολογικών στοιχείων και προσθήκη νέων μεσότοιχων αποτελούν νεότερες επεμβάσεις, ενώ το 2000 κατεδαφίστηκε τμήμα της δυτικής πτέρυγας που είχε μετατραπεί σε κατοικία.

Σύμφωνα λοιπόν με όσα αναφέρθηκαν, διαπιστώνεται η ανάγκη ανάδειξης και αξιοποίησης του σημαντικού αυτού μνημείου, μέσω προτάσεων στερέωσης που απορρέουν από την τεκμηρίωση και την ιστορική του ανάλυση. Οι επεμβάσεις θα πρέπει να έχουν ως στόχο την προβολή των ιστορικών φάσεων του μνημείου και την ανάδειξη του μνημειακού συνόλου μέσα στο ιστορικό σύνολο της παλιάς πόλης Χανίων. Ιδιαίτερα σημαντική κρίνεται η διακριτή διαφοροποίηση των νέων επεμβάσεων και η ανασύσταση της ιστορικής μορφής, όπου είναι δυνατό, πραγματοποιώντας τις ελάχιστες δυνατές επεμβάσεις.

Η μονή της Santa Maria dei Miracoli προτείνεται να λειτουργήσει ως ανοιχτός χώρος ενημέρωσης για τη δυτική μοναστηριακή παράδοση κατά την περίοδο της Ενετοκρατίας, ανακτώντας εν μέρει το ρόλο του πολιτιστικού κέντρου που διαδραμάτιζαν οι μονές κατά το μεσαίωνα.

Βασική αρχή για την επίτευξη των ανωτέρω είναι να υπάρξει ουσιαστική μέριμνα για την προστασία του μνημείου, μέσω και της ένταξής του σε πρόγραμμα ανάπλασης της ευρύτερης περιοχής, με σκοπό να αποδώσει στο μνημείο τον απαραίτητο ζωτικό χώρο και να οργανώσει τις κινήσεις από και προς αυτό. Με την κατεδάφιση ασύμβατων γειτονικών κτισμάτων και την παράλληλη διενέργεια ανασκαφικών εργασιών, αναμένεται να βρεθούν πρόσθετα ίχνη θεμελίωσης και στοιχεία τόσο για την τρίκλιτη βασιλική, όσο και για το μονόχωρο ναό και τη συγκρότηση του μοναστηριού.

Πρωταρχικής σημασίας είναι και η ανάδειξη της τρίκλιτης βασιλικής μέσα στον πολεοδομικό ιστό και μέσα στο ίδιο το συγκρότημα, καθώς η σημερινή κατάσταση καθιστά δυσανάγνωστη την αρχική της μορφή και περιορίζει τις δυνατότητες ανάδειξής της. Σημαντικό στοιχείο προς την κατεύθυνση αυτή αποτελούν οι επεμβάσεις στην όψη του μνημείου από το λιμάνι, το μοναδικό σημείο από όπου γίνεται πλέον αντιληπτή *(Εικόνα 06)*. Επιθυμητό είναι να προβληθεί ο κτηριακός όγκος του ιερού της τρίκλιτης βασιλικής στα ΝΑ, όπως αυτός θεμελιώνεται υπό γωνία πάνω στο βυζαντινό τείχος μέσω δύο τόξων και με παρεμβάσεις να ξεχωρίσει ό όγκος του μονόχωρου ναού του 17^{ου} αιώνα. Ο βυζαντινός περίβολος, που αποτελεί τοπόσημο και διαχρονικό όριο της πόλης, θα αποτελέσει τη βάση ανάδειξης των δύο αντιδιαμετρικών όγκων. Η χρήση κυπαρισσιών, που συνήθως συναντώνται σε μονές, βοηθά στην ευκολότερη αντίληψη της λειτουργίας του χώρου και δημιουργεί το απαραίτητο οπτικό όριο μεταξύ της περιοχής επέμβασης και του σύγχρονου δομημένου περιβάλλοντος.

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Βασικός άξονας για την ανάδειξη των ιστορικών φάσεων του συγκροτήματος είναι η χρήση υλικών με διαφορετικό χρώμα, υφή και ιδιότητες. Το ιερό της τρίκλιτης βασιλικής επιχρίεται με υπόλευκο σοβά, ενώ καθαιρείται το νεότερο επίχρισμα στο ισόγειο της νότιας πτέρυγας που σχετίζεται άμεσα με την ενετική μονή και επιχρίεται με σοβά χρώματος τερακότα η ανώτερη στάθμη, που αποτελεί νεότερη προσθήκη.

Σε ό,τι αφορά τα δάπεδα, για τους χώρους του μνημείου προτείνεται η επίστρωση με σταθεροποιημένο χωμάτινο δάπεδο, σκούρου χρώματος για την τρίκλιτη βασιλική και ανοιχτής ώχρας για τους χώρους της ενετικής μονής *(Εικόνα 07)*. Οι περιμετρικοί διάδρομοι κίνησης θα επιστρωθούν με πωρόλιθο. Η είσοδος πραγματοποιείται από τη δυτική πλευρά και οι κινήσεις θα γίνονται περιμετρικά της κλειστής αυλής, ακολουθώντας τα δυτικά πρότυπα. Περιμετρικά του μνημείου, το έδαφος υποβαθμίζεται ώστε να ξεχωρίσουν οι άλλοτε κλειστοί χώροι του συγκροτήματος. Σε περίπτωση που δεν βρεθούν ενδείξεις της θεμελίωσης των δύο εκκλησιών, προτείνεται η προσθήκη προκατασκευασμένων στοιχείων σκυροδέματος χαμηλού ύψους, στην θέσεις των πεσσών της τοξοστοιχίας της τρίκλιτης βασιλικής και προσθήκη χαμηλών τοίχων από λαξευμένους λίθους ψαμμίτη σε υπόμνηση της κάτοψης του μονόχωρου ναού. Σε γενικές γραμμές διατηρείται η υπάρχουσα μορφή, καθώς τα στοιχεία για την ανασύσταση των κτισμάτων δεν είναι παντού επαρκή *(Εικόνα 08)*.

Η πρόταση στοχεύει στην διατήρηση και ενίσχυση του κομβικού ρόλου της κλειστής αυλής, που αποτελούσε το κέντρο της εκάστοτε μονής. Για τις ανάγκες της περιμετρικής κυκλοφορίας, θα απομακρυνθούν οι μεταγενέστερες τοιχοποιίες και θα προστεθούν μεταλλικά πετάσματα, επαναφέροντας τη διάρθρωση των χώρων κατά την περίοδο λειτουργίας της ενετικής μονής. Η κλειστή αυλή διαχωρίζεται σε δύο τμήματα διαφορετικού χαρακτήρα: το τμήμα προς το καθολικό διαμορφώνεται με χαμηλή φύτευση σε καθορισμένα σχήματα, ακολουθώντας τα πρότυπα οργάνωσης δυτικών μοναστηριών, ενώ το τμήμα που βρίσκεται προς τα τείχη διαμορφώνεται με κυβόλιθους και λωρίδες προκατασκευασμένου σκυροδέματος, προκειμένου να φιλοξενεί εκδηλώσεις συμβατές με το χώρο. *(Εικόνα 09)*

Ο νέος εξωτερικός διάδρομος θα κατευθύνει τον επισκέπτη στη δεύτερη στάθμη του επισκοπικού, που θα αποτελέσει ένα «παρατηρητήριο» για την οπτική και νοηματική σύνδεση της μονής με την πόλη των Χανίων. Η προσθήκη του εξωτερικού διαδρόμου επαναφέρει την κύρια περιμετρική κίνηση σε δεύτερο επίπεδο, όπως συνέβαινε στο παρελθόν και συμπληρώνει οπτικά το κατεστραμμένο δάπεδο του ορόφου πάνω από τη νότια στοά. Η μεταλλική κατασκευή θα στηρίζεται στους τοίχους, ώστε να λειτουργεί διαφραγματικά, για τη συγκράτηση των δύο τοξοστοιχιών. Η τελική της

επιφάνεια θα είναι από ξύλινες σανίδες, με στηθαίο μεταλλικού σκελετού και πλήρωση λεπτού μεταλλικού πλέγματος. Τα μεταλλικά στοιχεία είναι χρώματος ανθρακί, δημιουργώντας αντίθεση με τις ανοιχτόχρωμες τοιχοποιίες. Ξύλινες δοκοί χρησιμοποιούνται για την οπτική ολοκλήρωση του όγκου του επισκοπικού και του σκευοφυλακίου και την περίδεση των εγκάρσιων τοίχων τους.

Οι τοιχοποιίες του μνημείου θα δεχτούν επεμβάσεις με σκοπό την ανάδειξη των ιστορικών φάσεων και την αναίρεση των προβλημάτων που αντιμετωπίζουν. Σε γενικές γραμμές, αναμένεται να πραγματοποιηθεί καθαρισμός της τοιχοποιίας από αποσαθρωμένα κονιάματα και συνδυασμός ενεμάτων με βαθύ αρμολόγημα. Όσον αφορά τον εξωτερικό τοίχο του καθολικού προς την αυλή προτείνεται η ανασύσταση της μορφής του κατεστραμμένου ρόδακα με τη χρήση μεταλλικού διάτρητου πλαισίου, που ταυτόχρονα προσφέρει και στατική στήριξη.

Οι προτεινόμενες επεμβάσεις στοχεύουν στη σωστή ανάγνωση της ιστορικής εξέλιξης του σημαντικού μνημείου της Santa Maria dei Miracoli, στην προστασία και ανάδειξή του μέσα στο ιστορικό περιβάλλον και στη συμπλήρωση του ιστορικού ψηφιδωτού της πόλης. Η αναζωοδότηση του μνημείου, δίνει τη δυνατότητα να αντιμετωπιστούν οι δυσκολίες της οικονομικής βιωσιμότητας, μέσω της αξιοποίησης του συγκροτήματος με σύγχρονες δράσεις, καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Ενδεικτική βιβλιογραφία

Curuni S.A. – Donati, L., *Creta Veneziana: L'istituto Veneto e le missione cretese di Giuseppe Gerola. Collezione fotografica1900-1902*, Venezia 1988

Georgopoulou, M., *Venice's Mediterranean colonies. Architecture and Urbanism*, Cambridge, Cambridge University Press, 2001

Gerola G., *Monumenti Veneti nell' isola di Creta,*τόμοι1-4, Venezia,Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti, 1905-1917

GothicMed (πρόγραμμα Culture 2000 της Ευρωπαϊκής Ένωσης), *Μεσογειακή γοτθική αρχιτεκτονική*, Διεύθυνση Βυζαντινών και Μεταβυζαντινών Αρχαιοτήτων ΥΠΠΟ, Αθήνα, 2007

Kitsiki-Panagopoulos, B., *Cistercian and Mendicant Monasteries in Medieval Greece*, Chicago, The University of Chicago Press, 1979

Krüger, K., *Ordres et monasteries, Christianisme: 2000 ans d' art et de culture*, Ullmann publishing, 2012

Miller W., *Essays on the Latin Orient*, Cambridge, Cambridge University Press, 1921

Tsougarakis N., *The latin religious orders in medieval Greece 1204-1500*, Turnhout, Brepols Publishers, 2012

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Ανδριανάκης Μ. (2006),«Η ανάκτηση και ανάδειξη των οχυρώσεων των Χανίων Κρήτης», Δέσποινα Πηλείδου – Ευθυμία Άλφα (επιμ.)*Οχυρωμένες Πόλεις. Παρελθόν, Παρόν και Μέλλον*, Πολιτιστικό Ίδρυμα Τραπέζης Κύπρου – Σύνδεσμος Κυπρίων Αρχαιολόγων, 39-55

— *Η παλιά πόλη των Χανίων*, Αθήνα, ΑΔΑΜ, 1997

— «Οι οχυρώσεις των Χανίων: Παρελθόν, παρόν, και μέλλον», *Έρεισμα: Περιοδική έκθεση λόγου και τέχνης,* τχ.38- 39 (2006), 14-33.

Γκράτζιου Ο., *Η Κρήτη στην ύστερη μεσαιωνική εποχή: η μαρτυρία της εκκλησιαστικής αρχιτεκτονικής*, Ηράκλειο, Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης, 2010

Καλλιγάς Α. – Ρωμανός Α., *Η μεσαιωνική πόλη Χανίων, Χωροταξική μελέτη*, Αθήνα 1977

Μαλτέζου Χ., (1988), «Η Κρήτη στη διάρκεια της περιόδου της Βενετοκρατίας (1211-1669)», Νικ. Παναγιωτάκης (επιμ.), *Κρήτη: Ιστορία και πολιτισμός*, Ηράκλειο, Βικελαία Δημοτική Βιβλιοθήκη,τ.2, 105-161

Πλατάκης Ε., (1950), «Οι σεισμοί της Κρήτης, από των αρχαιοτάτων μέχρι των καθ' ημάς χρόνων», *Κρητικά Χρονικά*, τ. Δ' (1950), 463-524

Τριμανδήλη-Μαγκάν, Π., «Ενετικές μονές Χανίων», *Ζ΄ Διεθνές Κρητολογικό Συνέδριο (Ρέθυμνο 1991)*

Τσουγκαράκης Δ., (2008), «Μοναστήρια της Ανατολικής Κρήτης κατά τη βενετική περίοδο», Ιωαν, Βάσσης - Στεφ. Κακλαμάνης – Μαρίνα Λουκάκη (επιμ.), *Παιδεία και πολιτισμός στην Κρήτη. Βυζάντιο – Βενετοκρατία*, Ηράκλειο, Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης, 289-308

Εικονογράφηση

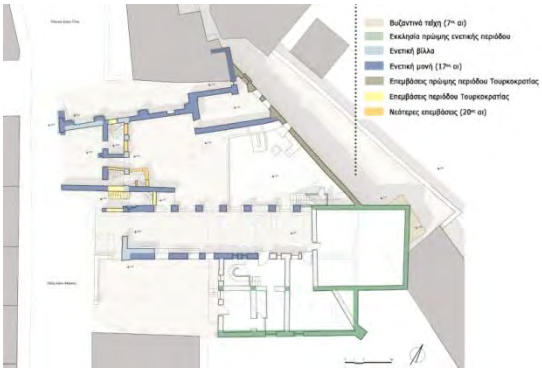
01 02 03

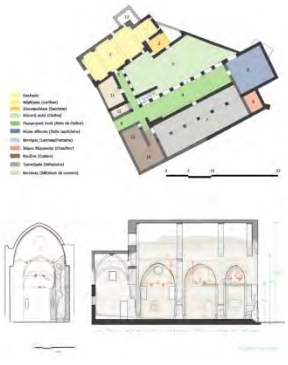
01: *Άποψη της εξωτερικής όψης του μνημείου από το λιμάνι και την οδό Αγίου Μάρκου.*

02: *Άποψη του νότιου τοίχου μονόχωρου ναού και της μοναστηριακής αυλής.*

03:*Οικοδομική εξέλιξη συγκροτήματος*

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

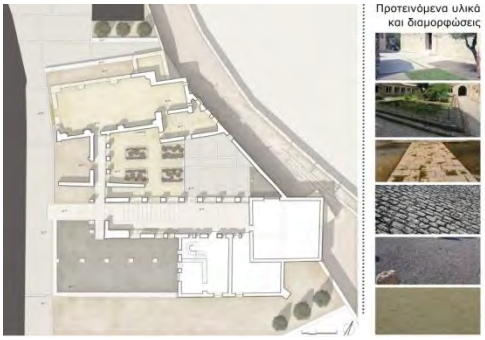
04 

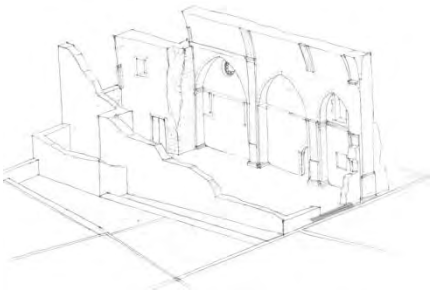
05 

04:*Κάτοψη του μνημείου. Υφιστάμενη κατάσταση και οικοδομικές φάσεις κατασκευής.*

05: *Αναπαράσταση κάτοψης της μονή, εγκάρσια και κατά μήκος τομή του καθολικού*

06: *Πρόταση ανάδειξης της όψης του μνημείου από το λιμάνι*

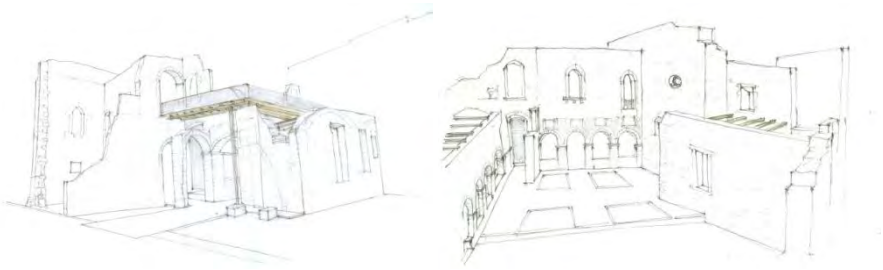
07 

08 

07: *Πρόταση διαμόρφωσης του μνημειακού συνόλου και προτεινόμενα υλικά*

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

08: *Η μορφή του καθολικού της ενετικής μονή, μετά τις απαραίτητες εργασίες*



09: *Πρόταση σχεδιασμού της εισόδου του συγκροτήματος και της εσωτερικής αυλής*

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Παθολογία και Μέτρα Αποκατάστασης Πέτρινης Τοξωτής Γέφυρας στη θέση "Νερούτσου Μύλος" στον άνω ρου του Βοιωτικού Κηφισού
(Rehabilitation of "Neroutsou Milos" Stone Arched Bridge over Viotikos Kifisos River)

Χ. Γιαννέλος[1*], Ε. Βιντζηλαίου[1], Γ. Μαρίνου[2]

[1]ΕΜΠ, Εργαστήριο Οπλισμένου Σκυροδέματος
[2] ΕΜΠ, Εργαστήριο Ιστορίας της Αρχιτεκτονικής

Abstract

The stone bridge over Viotikos Kifisos river at the "Neroutsou Milos" location, stands at least since 1791, according to the date that is inscribed on the keystone of its central span. In May 2012 the bridge suffered a significant damage due to the accumulated decay. At upstream, parts of one pier and of the main arch are collapsed, while intense vertical cracks are formed in the most of the rest arches. The bridge today (3 years later) shows extensive pathology that leads to further deterioration of the bridge.

It is easily understood that this monument was constructed in various phases. These phases depict the history of interventions and rehabilitation efforts in the 220 years of its life, that are connected either with partial

collapses following a seismic event, or with changes of the circulation demands over it.

The need of comparison to other similar monuments led to in situ investigations, in an area for which the bibliography is poor. During the investigation about 26 stone bridge cases were discovered, that provide a significant help to the study and interpretation of the monument pathology.

In this study, the historical characteristics, the structural adequacy of the bridge, as well as the possible rehabilitation methods are examined. The process that is adopted allows for documentation of the building phases and thorough study and interpretation of the pathology. The objective of this work is the presentation of the alternative rehabilitation methods so as the best solution to be chosen.

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Περίληψη

Η πέτρινη γέφυρα του Β. Κηφισού στη θέση «Νερούτσου Μύλος» υπάρχει τουλάχιστον από το 1791, με βάση χρονολογία που αναγράφεται σε επιγραφή που βρίσκεται στο κλειδί του κεντρικού τόξου.

Τον Μάιο του 2012 η γέφυρα άρχισε να γίνεται γνωστή, όχι επειδή κάποιος αποφάσισε να την αναδείξει, αλλά επειδή η προχωρημένη φθορά οδήγησε σε μία σημαντική βλάβη. Την μερική κατάρρευση του ανάντη τμήματος του μεσοβάθρου.

Εύκολα γίνεται αντιληπτό ότι το μνημείο αποτελείται από αρκετές οικοδομικές φάσεις. Οι φάσεις αυτές αποτυπώνουν ένα ευρύ ιστορικό επεμβάσεων – αποκαταστάσεων, στα τουλάχιστον 220 έτη της ιστορία του, που συνδέονται είτε με καταρρεύσεις, πιθανότατα ύστερα από ένα σεισμικό γεγονός, είτε με αλλαγές των συγκοινωνιακών απαιτήσεων.

Η ανάγκη συγκριτικής διαδικασίας με αντίστοιχα μνημεία οδηγεί στην επί τόπου έρευνα, σε μία περιοχή που η σχετική βιβλιογραφία είναι φτωχή. Κατά την έρευνα αυτή εντοπίζονται περίπου 26 περιπτώσεις πέτρινων γεφυρών οι οποίες θα βοηθήσουν σημαντικά στη μελέτη του μνημείου.

Κατά την εργασία αυτή γίνεται προσπάθεια για την ανάγνωση και τεκμηρίωση των οικοδομικών φάσεων καθώς και της ορθή μελέτη και ερμηνεία της παθολογίας. Στόχος είναι η σύνταξη εναλλακτικών προτάσεων στερέωσης ώστε να επιλεγεί η καταλληλότερη.

Θέση Γέφυρας

Η γέφυρα βρίσκεται στον άνω ρου του Βοιωτικού Κηφισού στη θέση με το τοπωνύμιο «Νερούτσου Μύλος» (Εικ1.1(α)). Η φυσική πορεία που διαγράφει η ομώνυμη κοιλάδα , αποτέλεσε και αποτελεί μέρος του βασικού άξονα κίνησης από τη Θεσσαλία προς την νότια Ελλάδα σε όλο το φάσμα της ιστορίας. Ο στρατηγικός χαρακτήρας της θέσεως τονίζεται από την ύπαρξη των οχυρώσεων της αρχαίας Λιλαίας στα νοτιοδυτικά και της αρχαίας Δρυμαίας (Εικ.1.1.β) στα βορειοανατολικά. Η περιοχή αποτέλεσε πόλο έλξης πολλών περιηγητών κυρίως τα μέσα του 18ου έως τις αρχές του 19ου αιώνα.

Σεισμολογικά η περιοχή εντάσσεται στην ευρύτερη τεκτονική ζώνη που στη διεθνή βιβλιογραφία αποκαλείται ‘κεντρική Ελλάδα’. Η περιοχή αυτή χαρακτηρίζεται από έντονη τεκτονική δραστηριότητα και από υψηλή σεισμικότητα δεδομένου ότι οι ρυθμοί εφελκυστικής διάνοιξης είναι από τους μεγαλύτερους παγκοσμίως. Πολλοί ερευνητές έχουν ασχοληθεί στο

παρελθόν με την περιοχή από ποικίλες οπτικές γωνίες με αποτέλεσμα την ύπαρξη μίας μεγάλη βιβλιογραφίας[1].

Εικ.1.1 (α) χάρτης περιοχής όπου φαίνεται η θέση γεφύρωσης και οι πιο σημαντικές οχυρωματικές θέσεις της κοιλάδας, (β) άποψη θέσης από την αρχ. Δρυμαία

Περιγραφή Γέφυρας – Ιστορικό Επεμβάσεων

Η γέφυρα έχει πλάτος 4.00μ και αποτελείται τρία κυρίως μέρη, ένα κεντρικό άνοιγμα 14,00μ που γεφυρώνει τη βαθειά κοίτη του ποταμού, μία τοξοστοιχεία από τέσσερα μικρότερα τόξα ανοίγματος 2,90μ στην δεξιά όχθη (Ν-Δ) που συνδέει τη γέφυρα με τον κεντρικό δρόμο (σημερινή Π.Ε.Ο. Αθηνών –Λαμίας) και ένα ζεύγος τοίχων αντεπιστροφής, οι οποίοι διαμορφώνουν μία ράμπα πρόσβασης στη γέφυρα από την αριστερή κοίτη (Β-Α). Μεταξύ του κεντρικού ανοίγματος και της τοξοστοιχίας υπάρχει μεσόβαθρο με ανακουφιστικό άνοιγμα 3,00μ. Το συνολικό μήκος όλων των τμημάτων είναι 65μ περίπου. Η σχεδιαστική αναπαράσταση της γέφυρας φαίνεται στην εικόνα 2.1.

Με μία απλή παρατήρηση της κατάντη όψης (Εικ.2.2(α)) είναι εμφανείς οι πολλές ιστορικές φάσεις του μνημείου. Οι διάφορες αυτές φάσεις

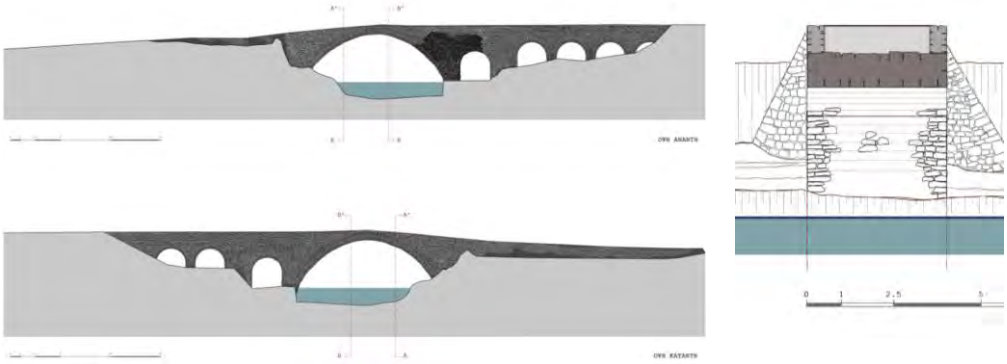
[1] Μελέτες για τη σεισμικότητα ή και τη σεισμική επικινδυνότητα στη στενή περιοχή της ρηξιγενούς ζώνης της Αταλάντης έχουν πραγματοποιηθεί από τους Λάγιο κ.α. (1987), τους Αγγελίδη και Κουμαντάκη (1992) και τον Μακρόπουλο (1994). Οι Ziazia et al. (1994) και Papadimitriou et al. (1994) εκπόνησαν μικροσεισμικές μελέτες (καλοκαίρι 1992) στην περιοχή Βόλου – Λαμίας - Β. Ευβοϊκού (η περιοχή του δικτύου VOLNET, που εγκαταστάθηκε στις αρχές της δεκαετίας του ’80 μετά τους σεισμούς Βόλου-Αλμυρού), όπως και οι Hatzfeld et al. (1999).

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

μπορούν να σχετιστούν με επεμβάσεις μετά από καταρρεύσεις ή αντίστοιχες που είχαν σαν σκοπό την αναβάθμιση της φέρουσας ικανότητας της γέφυρας. Μιας και η βιβλιογραφία για αυτό είδος αυτό των κατασκευών και ιδιαίτερα σε αυτή την περιοχή είναι η ελάχιστη δυνατή, η τεκμηρίωση των ιστορικών φάσεων βασίστηκε στη σύγκριση με αντίστοιχες πέτρινες γέφυρες της περιοχής (επί το πλείστον μη καταγεγραμμένες από τις υπεύθυνες υπηρεσίες). Η σχετική διερεύνηση[2] καταλήγει στην ύπαρξη τουλάχιστον πέντε πιθανών φάσεων όπως αυτές φαίνονται στην εικόνα 2.3.

Σημαντικό χαρακτηριστικό της δεύτερης φάσης που αφορά και την αναδόμηση του κυρίως τόξου αποτελεί η ύπαρξη επιγραφών σε πλαισιωτή εσοχή (2.2(β)). Αν και η ανάγνωσή τους[3] είναι δυσχερής λόγω της προχωρημένης φθοράς των επιφανειών είναι ευδιάκριτη η ημερομηνία 1791 (όπου πιθανώς ανήκει στην αντίστοιχη επισκευαστική φάση).

Με βάση τη μελέτη των ιστορικών φάσεων προκύπτει ότι η τοξοστοιχία και ο τοίχος είναι τμήματα που ανήκουν σε νεότερες οικοδομικές φάσεις. Το πιθανότερο είναι ότι στην ιστορική κατασκευή στη θέση τους υπήρχαν τόξα με την ίδια καμπυλότητα με το κεντρικό (χρήση ίδιου αψιδότυπου) ενδεχομένως κατά τι καταβιβασμένα. Στο Β. Κηφισό εξάλλου συναντάμε αρκετές περιπτώσεις πολύτοξων γεφυρών. Στην εικόνα 2.4 φαίνεται η πιθανή αρχική μορφή της γέφυρας με τρία κυκλικά τόξα. Σημειώνεται ότι η προτεινόμενη πιθανή αρχική μορφή έχει το ίδιο μήκος με τη σύγχρονη μορφή.



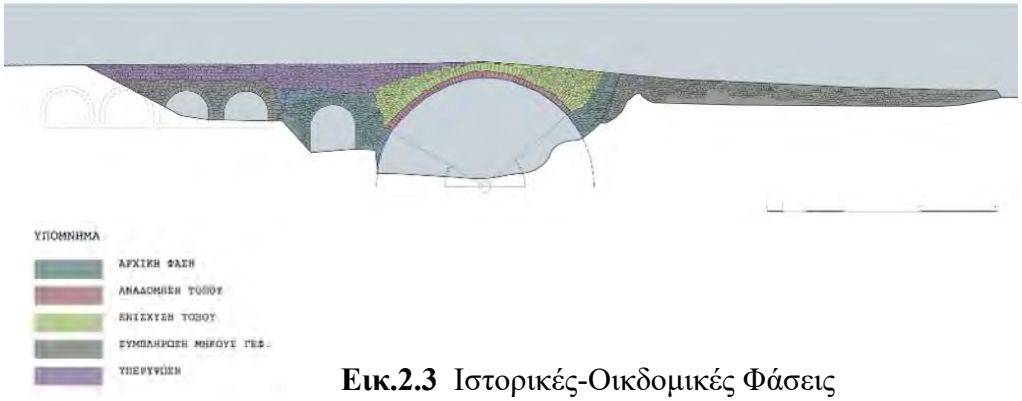
[2] Χ.Γιαννέλος, «Πέτρινη τοξωτή γέφυρα Β. Κηφισού στη θέση ΝΕΡΟΥΤΣΟΥ ΜΥΛΟΣ», Διπλ. Εργασία, ΔΠΜΣ Προστασία Μνημείων, ΕΜΠ, Ιουλ 2013, κεφ 2,3,

[3] Η μελέτη των επιγραφών είναι σε εξέλιξη από τον Αρχαιολόγο Γ. Πάλλη.

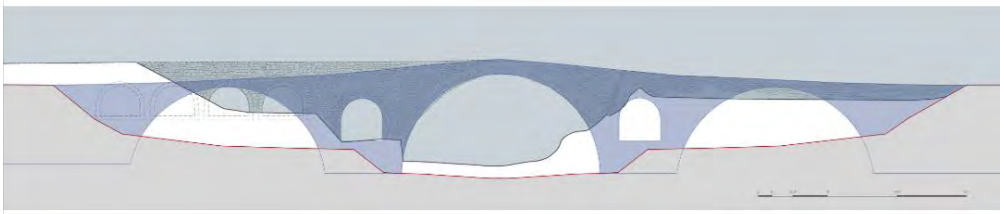
Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Εικ.2.1 Γεωμετρία γέφυρας (α) όψη από ανάντη, (β) όψη από κατάντη και (γ) τομή Α-Α

Εικ.2.2 (α) Όψη γέφυρας από κατάντη και (β) επιγραφές τόξου



Εικ.2.3 Ιστορικές-Οικδομικές Φάσεις



Εικ.2.4 Πιθανή αρχική μορφή γέφυρας

Παθολογία

Η κυριότερη βλάβη της γέφυρας είναι η μερική κατάρρευση τμήματος του μεσοβάθρου στην ανάντη όψη (Εικ.3.1). Άλλη βλάβη είναι ο σχηματισμός κατακόρυφων ρηγματώσεων (εύρους έως 10 εκ) στο ανακουφιστικό τόξο αλλά και στα τόξα του φορέα πρόσβασης της γέφυρας

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

(Εικ.3.3). Την εικόνα την παθολογίας συμπληρώνουν μικρορηγματώσεις στο κατάστρωμα της γέφυρας.

Οι φθορές της γέφυρας αξιολογούνται ως ¨προχωρημένες¨ αλλά ταυτόχρονα φυσιολογικές για την ηλικία της κατασκευής και τον βαθμό συντήρησης, ο οποίος μοιάζει να είναι μηδενικός τα τελευταία τουλάχιστον 50 χρόνια. Οι κυριότερες φθορές είναι η εκτεταμένη απόπλυση των κονιαμάτων των θόλων (Εικ3.2) καθώς και η βλάστηση που έχει αναπτυχθεί κυρίως στα τύμπανα της γέφυρας (Εικ2.2). Είναι χαρακτηριστικό ότι το πέρας της κύριας βλάβης ορίζεται στο ανάντη τύμπανο από τη θέση μίας συκιάς (Εικ.3.1)

Εικ. 3.1 Κύρια βλάβη στην περιοχή του μεσοβάθρου

Εικ.3.2 απόπλυση κονιάματος τόξου

(α) ανακουφιστικό τόξο

(β) 1° εσωτερικό τόξο

Εικ.3.3 Κατακόρυφες ρωγμές στα δευτερεύοντα τόξα

Διαδικασία Υπολογισμού

Η στατική διερεύνηση για τον έλεγχο της γέφυρας πριν και μετά την μερική κατάρρευση αλλά και για την αποτελεσματικότητα των μέτρων

αποκατάστασης που θα προταθούν, γίνεται με υπολογιστικές μεθόδους (χρήση πεπερασμένων στοιχείων).

Εξετάζεται η γέφυρα σε τέσσερεις διαφορετικές καταστάσεις για κάθε μία από τις οποίες παράγεται και το αντίστοιχο υπολογιστικό προσομοίωμα: 1) Η γέφυρα σε «οιωνή» αρχική φάση. Δηλαδή με τη σημερινή γεωμετρία χωρίς τις φθορές των υλικών. 2) Γέφυρα λίγο πριν την μερική κατάρρευση όπου θα ληφθούν υπόψη και οι παράμετροι φθοράς υλικών, εδάφους κτλ. Σε αυτή την περίπτωση θα γίνει προσπάθεια ερμηνείας των βλαβών, 3) Γέφυρα μετά την μερική κατάρρευση ώστε να διαπιστωθεί ο διαθέσιμος συντελεστής ασφαλείας. Η περίπτωση αυτή εξετάζεται κυρίως για επαλήθευση-βαθμονόμηση των μοντέλων υπολογισμού. 4) Η γέφυρα μετά τα μέτρα αποκατάστασης, όπου θα εξεταστούν εναλλακτικές λύσεις με σκοπό να επιλεγεί η καταλληλότερη.

Γιο τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων των δομικών υλικών της γέφυρας πραγματοποιήθηκαν εργαστηριακοί έλεγχοι αντοχής σε κονιάματα και λίθους.

Κονιάματα

Ελήφθησαν κονιάματα από τρεις θέσεις εκ των οποίων τα δύο πρώτα αντιστοιχούν σε επισκευαστικές φάσεις ενώ το τελευταία εκτιμάται οτί ανήκει στην αρχική φάση. Οι αντοχές τους σε εφελκυσμό[4] υπολογίστηκαν 2.13, 0.25 και 0.45 MPa αντίστοιχα.

Λίθοι

Το πέτρωμα από το οποίο προέρχονται οι λίθοι είναι ο ασβεστόλιθος Παρνασσού. Δίπλα στην γέφυρα υπάρχει λατομείο το οποίο πιθανότατα χρησίμευσε στην παραγωγή τους σε όλες τις οικοδομικές φάσεις του μνημείου. Έγινε εργαστηριακός έλεγχος θλιπτικής αντοχής δύο λίθων από το υλικό κατάρρευσης της γέφυρας Το πέτρωμα αυτό έχει μικρές διακλάσεις στη μάζα του στις οποίες και εκδηλώθηκαν οι αστοχίες κατά τη διάρκεια του πειράματος. Οι θλιπτικές αντοχές που προέκυψαν από την διαδικασία είναι 35.3 και 36.6MPa αντίστοιχα.

[4] Ο υπολογισμός της εφελκυστικής αντοχής πραγματοποιήθηκε κατά διάταξη Κατσαραγάκη – Τάσιου στο εργαστήριο Οπλισμένου Σκυροδέματος του ΕΜΠ

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

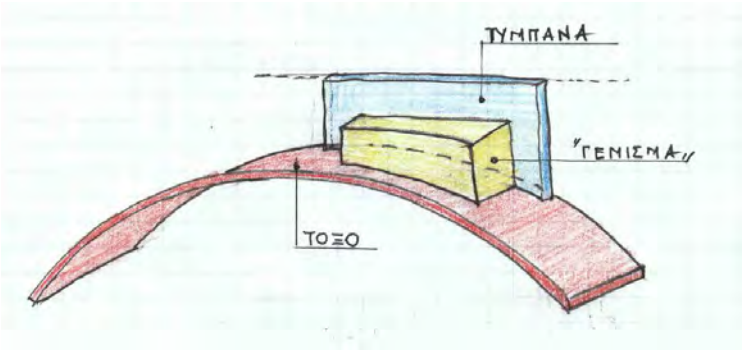
Χαρακτηρισιτκά τοιχοποιίας

Ο υπολογισμός γίνεται με βάση τη σχέση Τάσσιος- Χρονόπουλος[5] σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

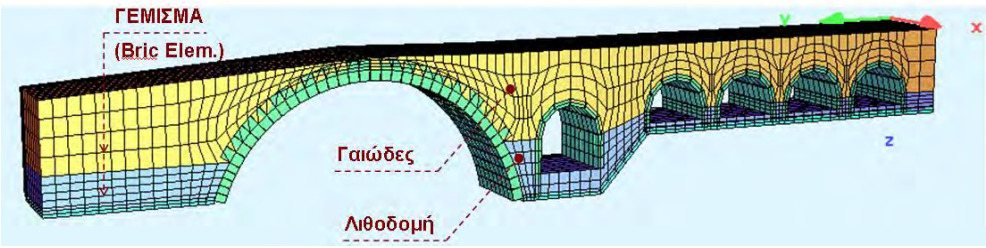
$$f_{wc} = \left(\frac{2}{3}\sqrt{f_{bc}} + k_1 f_{mc} - k_2\right) \div \left[1 + 3{,}50\left(\frac{V_m}{V_w} - 0.30\right)\right]$$

Για τον υπολογισμό των ιδιοτήτων της τοιχοποιίας λαμβάνεται θλιπτική αντοχή λίθου **35 Mpa** και κονιάματος **1.5 Mpa** για τον φορέα χωρίς φθορές και **0.60** για τον φορέα με φθορές.

Για τις στατικές αναλύσεις της γέφυρας χρησιμοποιείται τρισδιάστατο μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων στο πρόγραμμα Sofistik (εικ.4.2). Σημειώνεται πώς για την προσομοίωση των τόξων και τη δομή του γεμίσματος στο εσωτερικό της γέφυρας λαμβάνονται ακριβείς πληροφορίες από την περιοχή της βλάβης.



Εικ. 4.1 προσομοίωση δομικών μελών πέτρινης γέφυρας



[5] Aseismic dimensioning of interventions on low-strength masonry buildings", Middle East and Mediterranean Regional Conference on low-strength masonry in seismic areas, midle East Univ., Ankara, 1986

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Εικ. 4.2 τρισδιάστατο προσομοίωμα υπολογισμού στο πρόγραμμα SOFiSTiK:

Αποτελέσματα Αναλύσεων – Ερμηνεία Κύριας Βλάβης

Σύμφωνα με μαρτυρίες, η μερική κατάρρευση πραγματοποιήθηκε τον Μάιο του 2012 ύστερα από διέλευση ενός βαρέως οχήματος. Για την επαλήθευση αυτής της υπόθεσης ο στατικός έλεγχος περιλαμβάνει κινητό φορτίο καταστρώματος 30 τόνων (που αντιστοιχεί σε μία ρεαλιστική εκτίμηση ενός βαρέως φορτηγού). Κρίσιμος ο έλεγχος θα είναι αυτός της φέρουσας θλιπτικής ικανότητας του τόξου στη θέση του μεσοβάθρου. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων φαίνονται στον πίνακα 5.1.

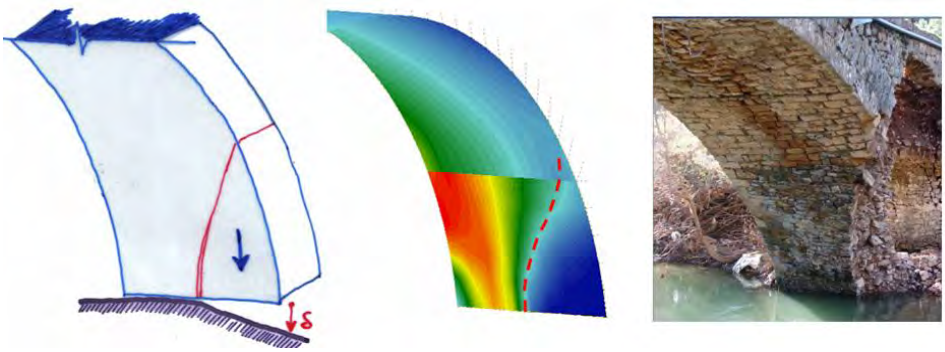
Πίνακας 5.1

ΦΟΡΤΙΣΗ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΑΣΗ (MPa)	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ	
		Γέφυρα χωρίς φθορές (fc,R=4.25Mpa)	Γέφυρα με φθορές (fc,R=1.80Mpa)
Μόνιμα Φορτία	σ_{max}=1.42 MPa	**3.00**	**1.27**
Μόνιμα + Κινητό (30T)	σ_{max}=1.60 MPa	**2.65**	**1.125**

Από τα παραπάνω αποτελέσματα προκύπτει πως για τον φορέα στην «οιωνή» αρχική φάση (φορέας χωρίς φθορές) ο συντελεστής ασφαλείας είναι ικανοποιητικός σε κάθε περίπτωση. Αντίθετα στην γέφυρα με φθορές ο συντελεστής ασφαλείας μόνο από τα ίδια βάρη έχει την τιμή **1.27** ενώ με τη διέλευση του κινητού αυτός μειώνεται στην τιμή **1.125.** Αν και οι παραπάνω τιμές παραμένουν ουσιαστικά πάνω από συνθήκες ετοιμορροπίας, εν τούτοις η φθορά των υλικών οδηγεί σε σημαντική πτώση του διαθέσιμου συντελεστή ασφαλείας της γέφυρας.

Η βλάβη έχει γίνει στην περιοχή του μεσοβάθρου στην θέση ανάντη. Η τυπική περίπτωση ¨αλλοίωσης¨ σε τέτοιες θέσεις είναι η υποσκαφή και η μερική έως πλήρη απόπλυση του κονιάματος μεταξύ των θολιτών του τόξου. Και οι δύο περιπτώσεις οδηγούν σε αδυναμία μεταφοράς κατακόρυφου φορτίου η οποία προσομοιώνεται με απώλεια έδρασης (Εικ.5.1). Συμπεριλαμβάνοντας αυτό το στοιχείο στους ελέγχους (φορεας με φθορές) τα νέα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι: από τα ίδια βάρη ΣΑ=1.80/1.59=**1.132** ενώ και με το κινητό φορτίο ΣΑκ=1.80/1.77=**1.017**(≈1.00)**.** Από τις νέες τιμές προκύπτει ότι με την θεώρηση υποχώρησης έδρασης η γέφυρα βρίσκεται σε κατάσταση

ετοιμορροπίας. Η σχεδόν λογιστική ταύτιση υπόθεσης-ερμηνείας και



Εικ. 5.1 ερμηνεία, υπολογιστική επαλήθευση, και πραγματική μορφή κύριας βλάβης

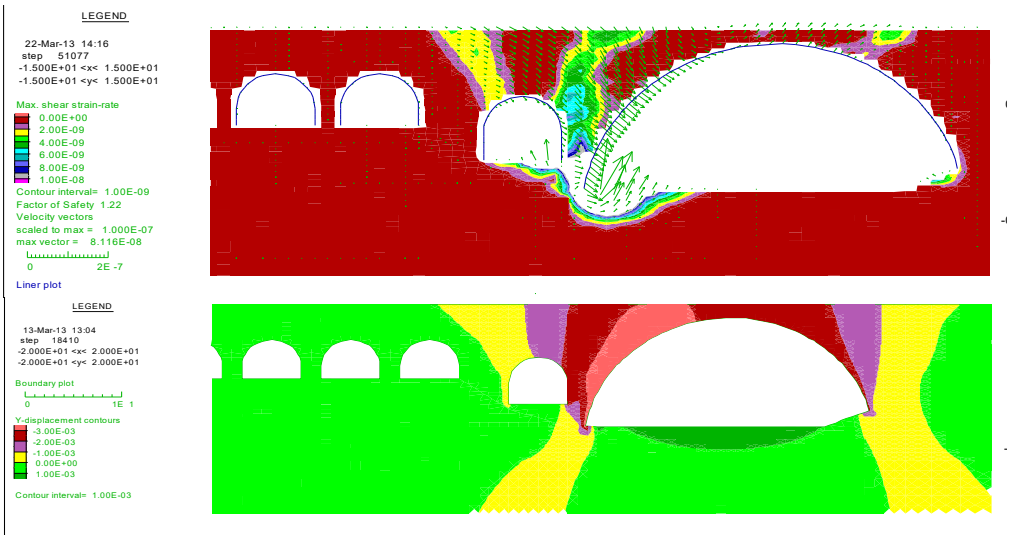
αποτελεσμάτων ανάλυσης εκτός από επιβεβαίωση της πρώτης, αποτελεί και τεκμήριο ρεαλιστικής προσομοίωσης με αποτελέσματα αναλόγως αξιόπιστα.

Για τη βαθμονόμηση και έλεγχο των αποτελεσμάτων πραγματοποιούνται πρόσθετες αναλύσεις πεπερασμένων διαφορών με το πρόγραμμα γεωτεχνικής μηχανικής (Flac). Αυτή τη φορά η γέφυρα δεν θα έχει το χαρακτήρα της κατασκευής αλλά θα αποτελεί ένα τμήμα (φέτα) εδάφους με ιδιότητες στρωματογραφίας που να αντιστοιχούν στις ιδιότητες των υλικών της γέφυρας και γεωμετρία οπών στη μάζα του εδάφους αντίστοιχη με τη γεωμετρία των θόλων (Εικ.5.2). Σκοπός είναι να υπολογιστεί ο συντελεστής αστάθειας του «εδάφους» και να προσδιοριστεί η μορφή αστοχίας[6]. Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων (Εικ.5.2) επαληθεύεται πλήρως ο μηχανισμός αστοχίας της γέφυρας. Κρίσιμη περιοχή είναι η εσωτερική παρειά του μεσοβάθρου για την οποία ο υπολογισθείς συντελεστής ασφαλείας είναι Σ.Α=**1.22**. Ο συντελεστής αυτός αναφέρεται στην περίπτωση φόρτισης από το Ίδιο Βάρος και είναι απόλυτα συγκρίσιμος με τον Σ.Α=**1.27** που υπολογίστηκε παραπάνω για τον φορέα με τις φθορές για τις ίδιες συνθήκες φόρτισης.

Η παραμόρφωση του κυρίως τόξου κατά την κατακόρυφο παρουσιάζει ασυμμετρία με επιβαρυμένη περιοχή το τμήμα που είναι κοντά στο

[6] Σημειώνεται ότι αυτή η υπολογιστική τεχνική εφαρμόζεται για τον υπολογισμό σηράγγων.

μεσόβαθρο. Αυτό είναι συμβατό με τον μηχανισμό βλάβης και αποτελεί μέρος του. Η ασυμμετρία αυτή οφείλεται στην μονομερή υπερύψωση του καταστρώματος ώστε αυτό να βρίσκεται στην ίδια στάθμη με το επίπεδο της Π.Ε.Ο. Αθηνών-Λαμίας.



Εικ. 5.2 Αποτελέσματα αναλύσεων με το γεωτεχνικό πρόγραμμα FLAC, (α) πιθανές επιφάνειες αστοχίας και αντίστοιχος συντελεστής ασφαλείας (ΣΑ=1.22) και (β) κατακόρυφες παραμορφώσεις.

Από τα παραπάνω φαίνεται πως βασικό αίτιο της κύριας βλάβης είναι η πλημμελή συντήρηση που οδήγησε σε μειωμένες αντοχές των τόξων, η διάβρωση του μεσοβάθρου λόγω υδραυλικής δράσης[7] η οποία οδήγησε σε συνθήκες απώλειας στήριξης και τέλος η δυσμενής δράση των μεταγενέστερων επεμβάσεων οι οποίες αναίρεσαν τη συμμετρία και επιβάρυναν περισσότερο την ήδη καταπονημένη περιοχή όπου και εκδηλώθηκε η μερική αστοχία.

Μέτρα Αποκατάστασης

[7] Κρίσιμο παράγοντα αποτέλεσε και η διευθέτηση της κοίτης (διαμόρφωση τραπεζοειδούς διατομής) με μόνο αντιπλημμυρικά κριτήρια τα οποία δεν ελάμβαναν υπ' όψη ενδεχόμενη δυσμενή επιρροή στη γέφυρα όπως προκύπτει από ευρεθείσα μελέτη (ΓΑΚ. Ν. Φθιώτιδας, μηχανικός Α. Μαχαίρας, Αθήνα, Μάιος 1962).

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Βασικός στόχος των μέτρων αποκατάστασης στατικού χαρακτήρα είναι η άρση των αιτιών αυτών. **«Αν το αίτιο είναι η πλημμελής συντήρηση, ή διαπιστώνεται συνήθης φθορά από το χρόνο, η επέμβαση μπορεί να περιορισθεί σε απλή αποκατάσταση»**[8]. Θεωρείται αυτονόητο πως η νέα χρήση της γέφυρας θα πρέπει να είναι πεζογέφυρα και να απαγορευτεί η διέλευση οχημάτων.

Σε κάθε περίπτωση τα μέτρα αποκατάστασης πρέπει να τεκμηριωθούν υπολογιστικά μέσω της διαδικασίας του ανασχεδιασμού. Την ανάλυση δηλαδή του νέου φορέα και τη διαστασιολόγηση των επεμβάσεων. Με βάση τα παραπάνω εξετάζονται εναλλακτικά τρεις μορφές επεμβάσεων:

1) Απλή αποκατάσταση – Ε1

Επαναφορά των χαρακτηριστικών της γέφυρας στην ¨οιονεί¨ αρχική τους κατάσταση. Περιλαμβάνει την αναδόμηση των πεσμένων τμημάτων και αρμολόγημα της τοιχοποιίας.

2) Αποκατάσταση - Ενίσχυση (χωρίς μορφολογικές αλλοιώσεις) – Ε2

Ενίσχυση των χαρακτηριστικών της γέφυρας πέραν της αρχικής της κατάστασης χωρίς να θίγουν τα κύρια χαρακτηριστικά του μνημείου. Περιλαμβάνει τη διαδικασία της απλής αποκατάστασης επιπλέον της αντικατάστασης του γαιώδους γεμίσματος με λιθοδομή κατασκευασμένης με κατάλληλο ¨μαλακό¨ κονίαμα.

3) Αποκατάσταση - Ενίσχυση (με μορφολογικές αλλοιώσεις) – Ε3

Ενίσχυση των χαρακτηριστικών της γέφυρας πέραν της αρχικής της κατάστασης με μέτρα που αλλοιώνουν τα βασικά χαρακτηριστικά της γέφυρας. Περιλαμβάνει τη διαδικασία των προηγούμενων επεμβάσεων επιπλέον της φραγής του ανακουφιστικού ανοίγματος. Η επέμβαση έχει τυπικό χαρακτήρα σε αντίστοιχες περιπτώσεις γεφυρών και αποκτά ιδιαίτερη σημασία λόγω γειτνίασης του ανακουφιστικού ανοίγματος με την ευαίσθητη περιοχή της βλάβης.

Για την αξιολόγηση της «απόδοσης» κάθε λύσης υπολογίζεται ο συντελεστής ασφαλείας (όπως και στα προηγούμενα). Αυτή τη φορά κρίσιμο φορτίο ελέγχου είναι ο σεισμός. Οι σχετικοί υπολογισμοί γίνονται με τη μέθοδο της φασματικής ιδιομορφικής ανάλυσης για $\boldsymbol{\alpha_0}$**=0.24g**, έδαφος

[8] Π.Πλαΐνης, Παθολογία Κατασκευών με Φέρουσα Τοιχοποιία Πρακτικά Επιστημονικού Διημέρου ΤΕΕ, Αθήνα, Νοέ 1991

κατηγορίας Β (T1=0.15sec, T2=0.60sec), και συντελεστή συμπεριφοράς q=**1.5**.

Σύνοψη των αποτελεσμάτων για τις διάφορες περιπτώσεις παρουσιάζεται στον πίνακα 6.1.

Πίνακας 6.1 αποτελέσματα στατικών ελέγχων ανασχεδιασμού

				E1	E2	E3
		Γέφυρα με Φθορές	Γέφυρα με Βλάβες	"Οιονεί" Αρχικός Φορέας	Ενισχυμένος Φορέας	Ενίσχυση με Σφράγιση του Ανακ. Τόξου
ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (kPa)	Τύμπανα	2,350,000	2,350,000	2,350,000	2,350,000	2,350,000
	Γέμισμα I	500,000	500,000	500,000	2,350,000	2,350,000
	Γέμισμα II	1,500,000	1,500,000	1,500,000	2,350,000	2,350,000
	Τόξα	1,800,000	1,800,000	4,250,000	4,250,000	4,250,000
ΙΔΙΟΜΟΡΦΕΣ (sec)	Εγκάρσια	0.435	0.555	0.340	0.337	0.317
	Διαμήκη	0.155	0.177	0.132	0.131	0.120
	Κατακότυφη	0.152	0.195	0.107	0.106	0.104
Σεισμική Μετακίνηση (cm)	δ_x	3.100	7.300	2.100	2.040	1.800
	δ_y	0.165	0.193	0.180	0.170	0.140
	$\delta_{ΟΛ}=?(\delta_x^2+0.30\delta_y^2)$	3.101	7.301	2.102	2.042	1.802
Μέγιστη κύρια θλιπτ. τάση (Mpa)	σ_{max} Top_Stress_II (εγκάρσιος σεισμός)	-1.680	-1.970	-2.550	-1.800	-1.520
Συντελεστής Ασφαλείας:		1.100	0.900	1.670	2.360	2.800

Η επέμβαση σε στάθμη απλής αποκατάστασης (E1) οδηγεί σε ένα συντελεστή ασφαλείας 1.67, η επέμβαση-ενίσχυση στο επίπεδο (E2) δίνει στη γέφυρα συντελεστή ασφαλείας 2.36 και τέλος η επέμβαση που αλλοιώνει τα μορφολογικά χαρακτηριστικά της γέφυρας καταλήγει σε συντελεστή ασφαλείας 2.80.

Από την σύγκριση των αποτελεσμάτων βλέπουμε πως η απλή αποκατάσταση (E1) μας δίνει έναν συντελεστή ασφαλείας επαρκή για την περίπτωση του σεισμού σε συμβατικές κατασκευές (συνήθως λαμβάνεται 1.3 ή 1.5) . Για την περίπτωση μνημείων, όπου εκτός από τις συνηθισμένες αβεβαιότητες των φορτίσεων (κυρίως του σεισμού), σημαντικές είναι και οι αβεβαιότητες τεκμηρίωσης υλικών, (ανομοιογένεια, ανισοτροπία, δυσκολίες

προσομοίωσης βλαβών-φθορών κτλ), είναι επιθυμητός ένας συντελεστής πάνω από την τιμή 2.00.

Η λύση τελικά που επιλέγεται να εφαρμοστεί είναι η Αποκατάσταση - Ενίσχυση χωρίς μορφολογικές αλλοιώσεις (Ε2). Με την εφαρμογή των μέτρων αυτής της περίπτωσης αποκτούμε ένα συντελεστή ασφαλείας πάνω από την τιμή 2.00 (2.36) ενώ δεν αλλοιώνουμε μορφολογικά τη γέφυρα σε αντίθεση με την αμέσως επόμενη επιλογή.

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Η πέτρινη γέφυρα του στη θέση «Νερούτσου Μύλος» είναι ένα από σπουδαιότερα πέτρινα γεφύρια του Β. Κηφισού. Η θέση γεφύρωσης βρίσκεται σε μία από τις ιστορικότερες διαδρομές του Ελλαδικού χώρου. Οι επιγραφές και αποτροπαϊκά που σώζονται στο κεντρικό τόξο είναι σπάνιο φαινόμενο και η μοναδική περίπτωση στην ευρύτερη περιοχή.

Η δυνατότητα αναπαράστασης σε συνδυασμό με την ερμηνεία των οικοδομικών φάσεων προσδίδει στο μνημείο έντονα το στοιχείο της διδακτικότητας.

Η βλάβη που εκδηλώθηκε τον Μάιο του 2012 έφερε το μνημείο σε κατάσταση ετοιμορροπίας. Βασικό αίτιο της βλάβης είναι ο προχωρημένος βαθμός φθοράς λόγω της πολυετούς απουσίας συντήρησης.

Η διαδικασία υπολογισμού βασίζεται στην παραδοχή απομοιωμένων χαρακτηριστικών των ιδιοτήτων των υλικών. Για μεγαλύτερη ακρίβεια στους υπολογισμούς θα πρέπει να πραγματοποιηθεί έρευνα πάνω σε μοντέλα τοιχοποιίας με φθορά.

Η βαθμονόμηση των μέτρων αποκατάστασης επιτρέπει ώστε να επιλεγούν λιγότερο συντηρητικές μέθοδοι που δεν προκαλούν μορφολογικές αλλοιώσεις.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΙΣΤΟΡΙΚΑ

Ed.W.Kase , G.J.Szemler, N.C.Wilkie, P.W.Wallace, *The Great Isthmus Corridor, Explorations of the Phokis - Doris Expedition,* Kendall/Hunt Publishing Company, Dubuque,1991

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Edward Dodwell, *Views in Greece*, London 1821
Frazer, *Pausanias' Description of Greece*, London, 1898
Γ.Φλωμπέρ, *Το Ταξίδι στην Ελλάδα, Δεκέμβριος 1850-Φεβρουάριος 1851,* Ολκός, Αθήνα, 1991
Ε.Γ.Πιπέρας, *Ιστορία της Πολυδρόσσου Παρνασσού*, Πολύδροσσος, 2012
Κώστας Παπαχρίστου, *Παρνασίωτικα, Γλωσσικά Ιστορικά και Αρχαιολογικά Λαογραφικά, Βιβλιοπωλείο της «Εστίας», Αθήνα 1984*
Μαρία Συναρέλλη, *Δρόμοι και Λιμάνια στην Ελλάδα 1830-1880*, Πολιτιστικό Τεχνολογικό Ιδρυμα ΕΤΒΑ, Εκδόσεις Θεμέλιο, Αθήνα 1989
Νίκος Δαβανέλος, *Λαμία, το χρονικό μιας πόλης*, Αθήνα 1994
Νίκος Δαβανέλος-Γεώργιος Σταυρόπουλος, *Λαμία, Με τη γραφίδα των περιηγητών (1159-1940)*, Εκδόσεις Οιωνός, Λαμία 2005
Νίκος Τσίτσας, *Μπράλος, Το σιδηροδρομικό πέρασμα, Εκδόσεις,* Εκδόσεις IRON
Παυσανίας, *Ελλάδος Περιήγησις 9-Φωκικά,* Κάκτος, 1992
Κατερίνα Βαβάλιου, *Ο ναός της Παναγίας Ελεούσας στην Κάτω Σουβάλα Φωκίδας*, Διπλ. Εργασία, ΔΠΜΣ Προστασία Μνημείων, ΕΜΠ, Φεβ 2014
ΠΕΤΡΙΝΕΣ ΓΕΦΥΡΕΣ
Αντ. Γαλερίδης κ.α., *Τα Πέτρινα Γεφύρια της Θεσσαλίας*, εκδ ΤΕΕ, Τμήμα κεντρικής και δυτικής Μακεδονίας, 1995
Αργ. Πετρονώτης, *Πέτρινα Γεφύρια στην Ελλάδα,* Ανάτυπο: Φύση και έργα ανθρώπων, Κόνιτσα, 2001
Βλ. και Μιχ. Δωρή, *Ανώνυμη Αρχιτεκτονική. Γέφυρες*, περ. «Αρχιτεκτονική», τευχ. 77, Δεκ 1969
Π. Ι. Καμηλάκης, *Οι χορηγοί κατασκευής των πέτρινων γεφυριών στη μεταβυζαντινή και νεοελληνική περίοδο*, *Περί Πετρογέφυρων… Α' Επιστημονική Συνάντηση Κέντρου Μελέτης Πέτρινων Γεφυριών* (Καλλιθέα 23 Νοεμβρίου 2002), Αθήνα, 2003
Σπύρος Μαντάς, *Πέτρινα Γεφύρια στη Βόρειο Ήπειρο*, Αρχείο Γεφυριών Ηπειρώτικων, Αθήνα 2008
Σπύρος Μαντάς, *Τα Ηπειρώτικα Γεφύρια,* Λαϊκό Πολύπτυχο, Αθήνα 1984
Σπύρος Μαντάς, *Το Γεφύρι και ο Ηπειρώτης (24 οδοιπορικά, «τομές» στα ηπειρώτικα Γεφύρια*), Τεχνικές Εκδόσεις Α.Ε.-Λαϊκό Πολύπτυχο
Χρήστος Γιαννέλος, *Πέτρινη τοξωτή γέφυρα Β. Κηφισού στη θέση ΝΕΡΟΥΤΣΟΥ ΜΥΛΟΣ*, Διπλ. Εργασία, ΔΠΜΣ Προστασία Μνημείων, ΕΜΠ, Ιουλ 2013

ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΣΥΝΕΔΡΙΩΝ

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Περί Πετρογεφυρών..., 10 Εισηγήσεις και 1 Μουσική Αφήγηση, Πρακτικά Α' Επιστημονικής Συνάντησης ΚΕ.ΜΕ.ΠΕ.Γ, ΚΕ.ΜΕ ΠΕ.Γ., Αθήνα, 2003
Περί Πετρογεφυρών..., Γεφυριών Ιστορίες, Πρακτικά Β' Επιστημονικής Συνάντησης ΚΕ.ΜΕ.ΠΕ.Γ, ΚΕ.ΜΕ ΠΕ.Γ., Αθήνα, 2005
Περί Πετρογεφυρών..., Μαστόροι & Γεφύρια, Πρακτικά Γ' Επιστημονικής Συνάντησης ΚΕ.ΜΕ.ΠΕ.Γ, ΚΕ.ΜΕ ΠΕ.Γ., Αθήνα, 200

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Φυσικοχημική διαγνωστική μελέτη του θολωτού τάφου των Αχαρνών (Physicochemical diagnostic study of the Beehive tomb of Aharnes)

Γ. Μωραϊτου[1], Κ. Κουζέλη[2]

[1] Β΄ Εφορεία Προϊστορικών και Κλασικών Αρχαιοτήτων, Υπουργείο Πολιτισμού
[2] Κέντρο Λίθου, Υπουργείο Πολιτισμού

Abstract

The beehive tomb of Aharnes, excavated by the German Archaeological Institute of Athens, dating from the Mycenean period (14th-13th c. BC) although in a good condition presents problems that are manifested with the dropping of small stones, vertical fissuring of stones, rising and descending damp, biological growth, and the presence of flora and fauna. Since 1968 the 2nd Ephorate of Prehistoric and Classical Antiquities (EPCA), now Ephorate of East Attica, in collaboration with the Directory of Restoration of Ancient Monuments and later with the Municipality of Aharnes has taken action for the preventive conservation of the tomb, its consolidation, its enhancement and accessibility. Never the less the monument still remains problematic.
For the above reasons, the Department of Conservation of the 2nd EPCA in collaboration with the Stone Conservation Center of the Ministry of Culture has launched a study since August 2010 for the diagnosis of the causes aiming to a remedial action to be proposed. The methodology adopted includes: Archival survey, oral interviews with staff, photographic and graphic documentation, mapping, biological inspection, chemical analysis and identification of powdery samples, climate measurement for a whole year. The results are astonishing in that it was revealed that one of the main causes of decay was the presence of sodium chloride, the effect of which on some porous stones of the structure are considered destructive and may cause the instability of the monument as a whole. It was revealed that the source of the sodium chloride was its use by the Municipality for the deicing of roads.

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Περίληψη

Ο Θολωτός Τάφος των Αχαρνών ανασκάφηκε στα 1879 από το Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο της Αθήνας και χρονολογείται στη Μυκηναϊκή εποχή (14ος-13ος αι. π.Χ.). Παρότι το μνημείο διατηρείται σε πολύ καλή κατάσταση, παρουσιάζει προβλήματα τα οποία εκδηλώνονται με πτώση τεμαχίων λίθων από την οροφή, κατακόρυφες ρωγμές λίθων, ανερχόμενη και κατερχόμενη υγρασία, αποδιοργάνωση πορωδών λίθων, παρουσία χλωρίδας και πανίδας καθώς και βλάστηση στους αρμούς μεταξύ των λίθων. Ήδη από το 1968 η Β΄ Εφορεία Προϊστορικών και Κλασικών Αρχαιοτήτων, σήμερα Εφορεία Ανατολικής Αττικής, σε συνεργασία με τη Διεύθυνση Αναστήλωσης Αρχαίων Μνημείων και αργότερα με τον Δήμο Αχαρνών προέβη σε διάφορες ενέργειες για την προληπτική συντήρηση του τάφου, τη στερέωση, την ανάδειξη και την επισκεψιμότητά του. Παρ' όλα αυτά το μνημείο εξακολουθεί να παρουσιάζει σημεία υποβάθμισης.
Για τον λόγο αυτό από τον Αύγουστο του 2010 έως τον Νοέμβριο του 2013 εκπονήθηκε από το Τμήμα Συντήρησης της Β΄ ΕΠΚΑ σε συνεργασία με το Κέντρο Λίθου μελέτη, με την οποία επιχειρείται η διάγνωση των αιτιών της φθοράς με σκοπό την αντιμετώπισή τους. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε περιλαμβάνει: αρχειακή έρευνα, συνεντεύξεις με εργαζόμενους, φωτογραφική και σχεδιαστική τεκμηρίωση, χαρτογράφηση των φθορών, βιολογικό έλεγχο, χημική ανάλυση και ταυτοποίηση δειγμάτων παιπάλης και μετρήσεις κλίματος στο εσωτερικό για ένα ημερολογιακό έτος. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μελέτης ένα από τα σημαντικότερα αίτια φθοράς αποτελεί η παρουσία διαλυτών αλάτων και συγκεκριμένα χλωριούχου νατρίου, η επίδραση του οποίου σε αρκετούς πορώδεις λίθους της τοιχοποιίας είναι καταστροφική, γεγονός που ενδέχεται να δημιουργεί προβλήματα στατικής φύσης στην κατασκευή. Η παρουσία χλωριούχου νατρίου οφείλεται στη χρήση του στους δρόμους του Δήμου Αχαρνών για την αντιμετώπιση του παγετού.

Εισαγωγή

Ο θολωτός τάφος των Αχαρνών είναι ένα μείζονος σημασίας μυκηναϊκό μνημείο της Αττικής που αποτελεί επισκέψιμο αρχαιολογικό χώρο. Παρά το γεγονός ότι διατηρείται σε πολύ καλή κατάσταση, το μνημείο παρουσιάζει προβλήματα που χρήζουν άμεσης αντιμετώπισης δεδομένου ότι ο χώρος είναι επισκέψιμος και στο εσωτερικό του λαμβάνουν χώρα δραστηριότητες που εντάσσονται σε εκπαιδευτικά προγράμματα.

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Στην παρούσα μελέτη το μνημείο εξετάζεται από τη φυσικοχημική κυρίως πλευρά προκειμένου να αναζητηθούν τα πιθανά αίτια και οι συνέργειες των επί μέρους παραμέτρων υποβάθμισης του μνημείου. Η διάρκεια της μελέτης ήταν τριετής. Ξεκίνησε τον Αύγουστο του 2010 και ολοκληρώθηκε τον Νοέμβριο του 2013. Υποβλήθηκε στη Β΄ΕΠΚΑ με αρ. πρωτοκόλλου 9021/21.11.2013.

Ο θολωτός τάφος των Αχαρνών [Πλάτωνος 2004, Κασσωτάκη 2007, Στριφτού –Βάθη 2009]

Ο Θολωτός Τάφος των Αχαρνών γνωστός ως του Μενιδίου ή παλαιότερα της Λυκότρυπας ανασκάφηκε στα 1879 από μέλη του Γερμανικού Αρχαιολογικού Ινστιτούτου της Αθήνας [Lolling et all. 1880] στην πλαγιά ενός τεχνητού λόφου. Χρονολογείται στη Μυκηναϊκή εποχή (ΥΕ ΙΙΙ) (14ος-13ος αι. π.Χ.) και αποτελείται από το δρόμο, το στόμιο και το θάλαμο. Είναι υπόγειος, κτισμένος κατά τον ισοδομικό και εκφορικό τρόπο δόμησης με σχετικά μικρούς λίθους ακανόνιστου σχήματος. Το σχήμα του θαλάμου είναι κωνικό και θυμίζει τεράστια κυψέλη. Η διάμετρος της θόλου είναι 8.35 m και το ύψος 8.74 m. Το βάθος του στομίου είναι γύρω στα 3.35 m και το πλάτος του 1.55 m. Πάνω από το ογκώδες υπέρθυρο (από τιτανόπετρα[9]) ως ανακουφιστικό τρίγωνο υπάρχουν τέσσερις μικρότεροι, αδούλευτοι ογκόλιθοι, παράλληλοι μεταξύ τους και με μικρά κενά ενδιάμεσα. Ο δρόμος έχει μήκος 27 m, πλάτος 3 m και είναι κτισμένος κατά τον ισοδομικό τρόπο δόμησης. Εξωτερικά η θόλος καλύπτεται με χώμα σχηματίζοντας ένα είδος τύμβου.
Πρόκειται για τον τάφο σημαντικού προσώπου της περιοχής, όπως πιστοποιούν το είδος του τάφου και τα πολυάριθμα κοσμήματα αρίστης καλλιτεχνικής ποιότητας, που σήμερα εκτίθενται στην αίθουσα 3 του Εθνικού Αρχαιολογικού Μουσείου.
Ο Θολωτός Τάφος βρίσκεται στην οδό Φιλαδελφείας 203, στον Δήμο Αχαρνών.

Μεθοδολογία μελέτης

Στην παρούσα μελέτη το πρωτόκολλο διάγνωσης που ακολουθήθηκε συνοψίζεται στα ακόλουθα:

---

[9] Ο όρος είναι αρχαιολογικός και υποδηλώνει το μέγεθος. Στην παρούσα μελέτη ο όρος χρησιμοποιείται συμβατικά για να προσδιορίσει το είδος του λίθου.

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

1. Αρχειακή έρευνα
2. Συνέντευξη με εκπρόσωπο του Δήμου για πληροφορίες σχετικά με τη διαχείριση του τάφου
3. Μακροσκοπική παρατήρηση επί τόπου στο μνημείο.
4. Διαγνωστικές αναλύσεις Περίθλασης Ακτίνων Χ (XRD) σε δείγματα αποσαθρωμένων λίθων και εξανθίσεων αλάτων
5. Σχεδιαστική τεκμηρίωση-χαρτογράφηση πάνω σε αποτύπωση του μνημείου[10]
6. Μετρήσεις σχετικής υγρασίας και θερμοκρασίας για ένα ημερολογιακό έτος
7. Βιολογικός έλεγχος
8. Έλεγχος της βλάστησης

Αποτελέσματα αρχειακής έρευνας. Το ιστορικό της διαχείρισης και των επεμβάσεων.

Από έρευνα που πραγματοποιήθηκε στο αρχείο της Β΄ ΕΠΚΑ, της Διεύθυνσης Συντήρησης Αρχαίων και Νεωτέρων Μνημείων και του Δήμου Αχαρνών (μέσω της κ Κασσωτάκη) διαπιστώθηκαν τα κάτωθι:
Οι ενέργειες για την προστασία του τάφου ξεκινούν το 1968 και συνεχίζονται μέχρι σήμερα, με μερικό ακόμα αποτέλεσμα. Η Β΄ΕΠΚΑ έχει κατά καιρούς απευθυνθεί στη Διεύθυνση Αναστήλωσης Αρχαίων Μνημείων, στη Διεύθυνση Συντήρησης και στο Δήμο Αχαρνών. Αυτοψίες και τεχνικές εκθέσεις έχουν πραγματοποιηθεί από τους κ Ιορδάνη Δημακόπουλο το 1968 και κ. Ε. Παπαγεωργίου το 1977, ενώ έχουν εκπονηθεί μελέτες όπως του Β. Παλατζά τότε μηχανικού της Β΄Εφορείας Αττικής με τίτλο: «Μελέτη Αποστραγγίσεως θολωτού Τάφου Μενιδίου» (1978). Τη δεκαετία του 1980 επί διευθύνσεως Ν. Γιαλούρη λαμβάνουν χώρα αντλήσεις υδάτων, καθαρισμοί από σκουπίδια και κουνουποκτονίες από την Εφορεία. Ήδη από αυτή την εποχή έχουν επισημανθεί ρωγμές στους λίθους. Το 2000 όταν την Εφορεία διηύθυνε ο Γ. Σταϊνχάουερ, ζητείται η συνδρομή της Διεύθυνσης Συντήρησης, η οποία ουσιαστικά παραπέμπει το ζήτημα πάλι στη Διεύθυνση Αναστήλωσης. Η τελευταία επανέρχεται με αυτοψία των Α. Νακάση και Δ. Μονοκρούσου και προτείνει μέτρα. Το 2005, όταν την Εφορεία διηύθυνε η δρ Β. Βασιλοπούλου επισημαίνεται πρόβλημα πτώσης λίθων. Ακολουθεί νέα αυτοψία των Δ. Ζιρώ και Β. Παλατζά, οι οποίοι διαπιστώνουν ότι το μνημείο

[10]Η αποτύπωση έγινε από την εταιρεία Αστρολάβος Τεχνική Μ. Ξυνόγαλος-Φ. Μαυρομανωλάκης Ο.Ε. για λογαριασμό της Β΄ΕΠΚΑ.

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

δεν παρουσιάζει σοβαρές δομικές βλάβες ώστε να υπάρχει κίνδυνος κατάρρευσης τμημάτων του στο άμεσο μέλλον, αλλά συμφωνήθηκε να ληφθούν τα ακόλουθα προσωρινά μέτρα για την πτώση των μικρών λίθων:

1) Τοποθέτηση ελαστικού διχτιού ασφαλείας από συνθετικές ίνες, το οποίο θα καταλάβει όλη την περίμετρο της θόλου σε ύψος περίπου ενός μέτρου πάνω από το υπέρθυρο της εισόδου.
2) Περισχοίνιση του εσωτερικού του τάφου (όπως είχε ήδη προταθεί από τους Νακάση, Μονοκρούσο 2000).
3) Στην εσωτερική πλευρά του ανωφλίου της εισόδου αντικατάσταση δύο οξειδωμένων ράβδων στερέωσης φωτιστικών σωμάτων με νέες από ανοξείδωτο χάλυβα (αυτό είχε εντοπιστεί επίσης από τους Νακάση, Μονοκρούσο 2000).
4) Καθαρισμός των τοιχωμάτων του αρχαίου δρόμου από τα αυτοφυή φυτά που προκαλούν αποδιοργάνωση των λιθοδομών.
5) Διάστρωση με λεπτό ποταμίσιο χαλίκι του δαπέδου του δρόμου και του εσωτερικού του τάφου.
6) Συντήρηση του υπάρχοντος αποστραγγιστικού συστήματος και των αντλιών.

Όλες οι παραπάνω εργασίες προτείνεται να εκτελεστούν από τον Δήμο Αχαρνών, ο οποίος θα αναλάβει και τη δαπάνη, με επίβλεψη και οδηγίες της ΔΑΑΜ (Διεύθυνσης Αναστήλωσης Αρχαίων Μνημείων) και της Β΄ΕΠΚΑ. Όσον αφορά τα οριστικά μέτρα αντιμετώπισης του προβλήματος πτώσης μικρών τεμαχίων λίθων στο εσωτερικό του μνημείου, η ΔΑΑΜ προγραμματίζει άμεση σύνταξη μελέτης.

Νέα αυτοψία λαμβάνει χώρα στο μνημείο το 2007 από κλιμάκιο της ΔΑΑΜ αποτελούμενο από τους Μ. Βασενχόβεν (αρχιτέκτονα μηχανικό), Κ. Ψαρουδάκη (αρχαιολόγο), και Κ. Μακαντάση (αρχιτεχνίτη) με σκοπό τη διευκρίνιση στους μηχανικούς του Δήμου των οδηγιών της ΔΑΑΜ για την προσωρινή στερέωση του μνημείου. Οι εργασίες που προδιαγράφονται είναι οι ίδιες με τις προηγούμενες και οι οποίες εκτελέστηκαν. Επιπρόσθετα έγινε περισυλλογή των πεσμένων λίθων και στερέωση του μνημείου (αρμολόγημα με «ξανθή» άργιλο).

Σύμφωνα με προφορική επικοινωνία με την πολιτικό μηχανικό της ΔΑΑΜ κα Ε.-Ε. Τουμπακάρη, η τελευταία εκπονεί μελέτη κονιαμάτων για εφαρμογή σε προϊστορικά μνημεία (Toumbakari et al., 2010). Στα τέλη του 2012 έγινε

τρισδιάστατη αποτύπωση του εσωτερικού του θόλου με σαρωτή 3D laser[11]. Το έτος 2013, η εταιρία GEOSERVICE, με χρηματοδότηση από την Ευρωπαϊκή Ένωση και συγκεκριμένα από την Ευρωπαϊκή δράση COST, εφήρμοσε την τεχνολογία Ground Penetrating Radar (GPR) επί των τοιχωμάτων του Μνημείου. Οι εργασίες συμπληρώθηκαν και με γεωηλεκτρικές τομογραφίες δύο διαστάσεων (ERT: Electrical Resistivity profiling, τομές), ενώ εκτελέστηκαν και σεισμικές μετρήσεις εδαφικών ταλαντώσεων (MASW: Multichannel Analysis of Seismic Waves), [Δημητριάδης 2013, Dimitriadis et al. 2014].
Τέλος από προφορική ενημέρωση που έγινε από τον Δήμο Αχαρνών, προέκυψε ότι το εσωτερικό του μνημείου ψεκάζεται άπαξ ετησίως με εντομοκτόνο, ενώ γίνονται και μυοκτονίες.

Μακροσκοπική παρατήρηση. Αποτελέσματα αυτοψιών. Περιγραφή της υφιστάμενης κατάστασης.

1. Δρόμος

Οι λιθοδομές των παρειών του δρόμου (αναλημματικοί τοίχοι) είναι κατασκευασμένες από λίθους διαφόρων ειδών όσον αφορά τη σύσταση και το μέγεθος. Διακρίνονται δύο ζώνες. Μία κατώτερη από πλατειές ορθογώνιες πέτρες σε οριζόντια θέση και μια ανώτερη από ακανόνιστες πέτρες. Η ανώτερη ζώνη προφανώς αποτελεί συμπλήρωση της Διεύθυνσης Αναστηλώσεως σύμφωνα με την έκθεση Ι. Δημακόπουλου 1968. Στην ανώτερη αναστηλωμένη ζώνη του νότιου τοίχου διακρίνονται επεμβάσεις αρμολόγησης με κονίαμα αποτελούμενο από γκρίζο τσιμέντο και ασβεστιτικό αδρανές (λευκή ψηφίδα πάχους 4 mm).
Στην κατώτερη ζώνη δεν διακρίνεται κονίαμα και οι αρμοί παρουσιάζουν μεγάλα κενά. Στα κενά αυτά εντοπίστηκε παιπάλη κιτρινωπού και καστανού χρώματος. Στις ανώτερες επιφάνειες, τις μη προσιτές χωρίς ικρίωμα, παλαιότερα φύονταν ξυλώδη αγρωστώδη φυτά που είναι επιζήμια για την σταθερότητα της δομής. Εντοπίστηκαν μία ρίζα συκιάς καθώς και μια μεγάλη ρίζα αποξηραμένου δέντρου που παραμένει στη θέση της, γιατί η απομάκρυνσή της θα επέφερε διασάλευση των λίθων.
Στις επιφάνειες των τοίχων υπάρχουν πληθυσμοί από αρθρόποδα (αράχνες) όπως προκύπτει από την παρουσία ιστών. Σε πρωϊνή αυτοψία καταγράφηκε ανερχόμενη υγρασία (εικ. 1).

[11] Η αποτύπωση έγινε από την εταιρεία Αστρολάβος Τεχνική Μ. Ξυνόγαλος-Φ. Μαυρομανωλάκης Ο.Ε. για λογαριασμό της Β΄ΕΠΚΑ.

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Εικόνα 1. Η Ν. αριστερή παρειά του δρόμου. Στην κατώτερη περιοχή διακρίνεται ανερχόμενη υγρασία.

2. Στόμιο

Στο στόμιο του τάφου εντοπίστηκαν συσσωρεύσεις παιπάλης μέσα στους αρμούς, αλλά και στο δάπεδο. Παιπάλη εντοπίστηκε επίσης στα κενά μεταξύ των λίθων του ανακουφιστικού τριγώνου.

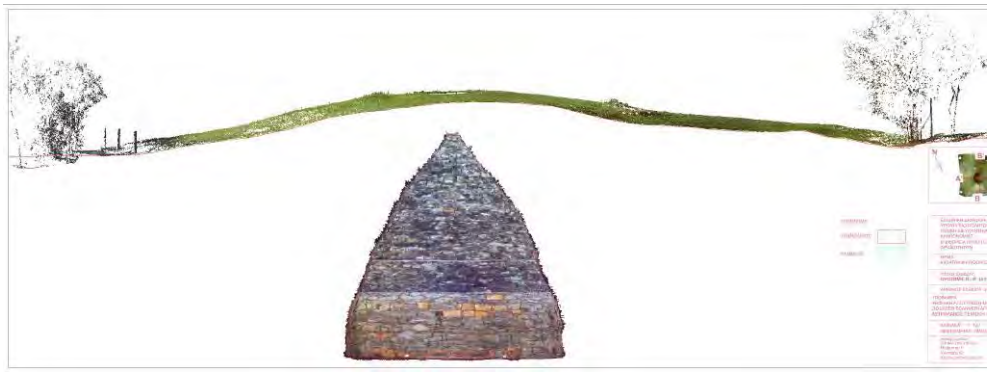
Στην κάτω επιφάνεια του μονολιθικού ανωφλίου παρατηρήθηκε καρστικό φαινόμενο (αναφορά Κ. Χάραρης 3703/30.5.2013). Εμφανίστηκαν ευμεγέθεις σταλακτίτες λευκού χρώματος (εικ. 2).

Εικόνα 2. Σταλακτίτες χλωριούχου νατρίου στο ανώφλιο της εισόδου του θαλαμωτού τάφου
(φωτ. Κ. Χάραρης).

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

3. Εσωτερικά τοιχώματα θόλου

Το εσωτερικό του θόλου χωρίζεται σε δύο ζώνες. Η κάτω ζώνη χαρακτηρίζεται από ανοιχτόχρωμη τοιχοποιία, ενώ η άνω από μελανή. Το μελανό χρώμα της άνω ζώνης πιθανά οφείλεται στην επικάθηση αιθάλης κατά την τελετουργική χρήση του μνημείου ή μεταγενέστερη χρήση φωτιάς στο εσωτερικό. Η κάτω ζώνη είναι ανοιχτόχρωμη λόγω έκπλυσης. Τούτο οφείλεται στις συχνές πλημμύρες που υφίστατο το μνημείο πριν κατασκευαστεί το φρεάτιο αποστράγγισης και εγκατασταθεί αντλία. Η γραμμή έκπλυσης βρίσκεται σε ύψος 2.40 m από το σημερινό δάπεδο.
Η εμφανής τοιχοποιία αποτελείται κατά κύριο λόγο από ορθογώνιους λίθους από στρωσιγενή συμπαγή λεπτόκοκκο ασβεστόλιθο που μακροσκοπικά μοιάζουν με λεπτόκοκκο μάρμαρο. Σε μικρό ποσοστό έχει χρησιμοποιηθεί ένας κίτρινος ασβεστόλιθος, ενώ έχει γίνει ελάχιστη χρήση φαιού ψαμμίτη (εικ. 3). Οι λίθοι αυτοί παρουσιάζουν μεγαλύτερη ευπάθεια ως περισσότερο πορώδεις. Καταγράφηκε επίσης ένας λίθος, ο αποκαλούμενος τιτανόλιθος[12], ο οποίος έχει τοποθετηθεί στο ανώφλιο, αλλά και στην κατώτερη ζώνη της θόλου στα εμφανή θεμέλια.



Εικόνα 3. Χαρτογράφηση ευπαθών λίθων πάνω σε τρισδιάστατη σάρωση της Αστρολάβος. Τεχνική (επεξεργασία Ελίνα Πορτελάνου). Διακρίνεται η διαφορά χρώματος στις δύο ζώνες.

Σε ύψος 3.80 m από το δάπεδο, έχει εγκατασταθεί το δίχτυ ασφαλείας για τη συγκράτηση των τεμαχίων λίθων που πέφτουν από την ανωδομή. Το δίχτυ έχει λειτουργήσει θετικά, όπως αποδεικνύεται από τους λίθους που έχει συγκρατήσει.

[12] Δεν έχει γίνει ακόμα χαρακτηρισμός του λίθου.

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Όλοι οι αρμοί είχαν δεχθεί πλήρωση με καστανού ή «ξανθού» χρώματος πηλό και ενσφήνωση μικρών λιθαρίων, επέμβαση 2007-2008 (Μακαντάση/ ΔΑΑΜ). Στο δάπεδο του τάφου παρατηρήθηκαν συσσωρεύσεις «ξανθής» παιπάλης που προέρχεται από την ανωδομή. Σύμφωνα με την κ Κασσωτάκη (υπεύθυνη αρχαιολόγο του Δήμου) αυτό το φαινόμενο είναι νέο και δεν είχε παρατηρηθεί στο παρελθόν. Σε όλους τους αρμούς της τοιχοποιίας εντοπίστηκε παιπάλη, ακόμα και στην ανώτερη μελανή ζώνη. Για την εξέταση χρησιμοποιήθηκε αρχικά σκάλα που παραχωρήθηκε από το Τεχνικό Τμήμα του Δήμου, ενώ αργότερα απομακρύνθηκε το δίχτυ και τοποθετήθηκε σκαλωσιά προκειμένου να εξεταστεί και η θόλος). Πολλοί λίθοι κυρίως οι πορώδεις ασβεστόλιθοι και οι ψαμμίτες παρουσίαζαν λευκές εξανθίσεις και κοκκώδη αποδιοργάνωση). Αποδιοργάνωση (μετατροπή σε σκόνη) παρουσίαζε και ο πηλός αρμολόγησης (εικ.4). Οι συμπαγείς ασβεστιτικοί λίθοι παρουσίαζαν ελάχιστη φθορά, με αποφλοιώσεις και ζαχαροειδή φθορά.

Εικόνα 4. Αποδιοργάνωση πηλού αρμολόγησης παλαιότερης επέμβασης.

Στον ΒΔ τοίχο σε ύψος 0.50-1 m από το δάπεδο υπάρχει εμφανής βιολογικός αποικισμός που χαρακτηρίζεται από το σχηματισμό πράσινου βιολογικού επιπάγου που αναπτύσσεται στο υλικό των αρμών και όχι πάνω στους λίθους. Τούτο υποδηλώνει αυξημένη υγρασία.

Στους πορώδεις ασβεστόλιθους παρατηρήθηκαν μικρές κυκλικές οπές. Αρχικά θεωρήθηκε ότι αυτό πιθανά οφείλεται στη δράση διατρητικών οργανισμών γι' αυτό κλήθηκε ειδικός εντομολόγος για πραγματογνωμοσύνη. Έντονη ήταν η παρουσία πληθυσμών αραχνών που με τους ιστούς κάλυπταν

την τοιχοποιία, ενώ παρατηρήθηκε έντονη παρουσία μικρών λευκών σωματιδίων στους αρμούς, αλλά και στο εσωτερικό των οπών, που όπως αποδείχθηκε ήταν αυγά αραχνών.
Τέλος παρατηρήθηκαν κατακόρυφες ρωγμές σε πολλούς λίθους, φαινόμενο που σχετίζεται με τις αντοχές των λίθων και την κατανομή των φορτίων.

Πειραματικό μέρος
Ορυκτολογική ανάλυση παιπάλης

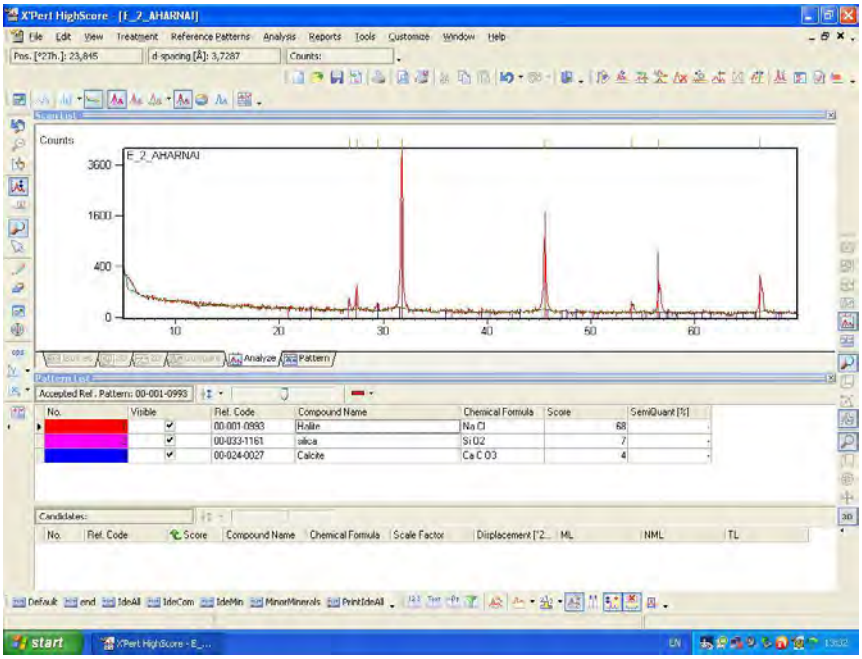
Με την άδεια ΥΠΠΟ/ΔΙΤΕΑ/00195/933/2.2.2010 έγινε δειγματοληψία προϊόντων αποσάθρωσης και εξανθίσεων ευδιάλυτων αλάτων, τα οποία εξετάστηκαν στο Κέντρο Λίθου του ΥΠΠΟΤ για ταυτοποίηση με Περιθλασιμετρία Ακτίνων Χ (XRD). Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον πίνακα που ακολουθεί και στην εικόνα 5:

ΠΙΝ. 1. Αποτελέσματα ορυκτολογικής ανάλυσης με XRD.

Αυξ.Αρ	**Κωδικός**	**Περιγραφή δείγματος**	**Θέση προέλευσης**	**Αποτελέσματα**
1	Π1	Παιπάλη από δάπεδο	Στόμιο Ν. τοίχος	Αλίτης (NaCl), ασβεστίτης χαλαζίας, ανορθίτης, άργιλοι
2	Π2	Παιπάλη από αρμό	Στόμιο Ν. τοίχος	Ασβεστίτης, χαλαζίας, ανορθίτης, και αλίτης (NaCl)
3	Π3	Παιπάλη από αρμό. Αποσάθρωση λίθου	Θόλος Β. πλευρά	Αλίτης (NaCl), ασβεστίτης χαλαζίας, ανορθίτης, άργιλοι
4	Ε1	Λευκή εξάνθιση	Θόλος Β.Δ. πλευρά	Αλίτης (NaCl)_
5	Ε2	Λευκή εξάνθιση	Δρόμος Ν. τοίχος δίπλα είσοδο	Αλίτης (NaCl), ασβεστίτης χαλαζίας

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Ένα επιπλέον δείγμα, ενός σταλακτίτη αυτή τη φορά, από την κάτω επιφάνεια του ανωφλιού αναλύθηκε στο εργαστήριο της Βραυρώνας με τεστ νιτρικού αργύρου ($AgNO_3$) και βρέθηκε θετικό ως προς χλωροϊόντα.



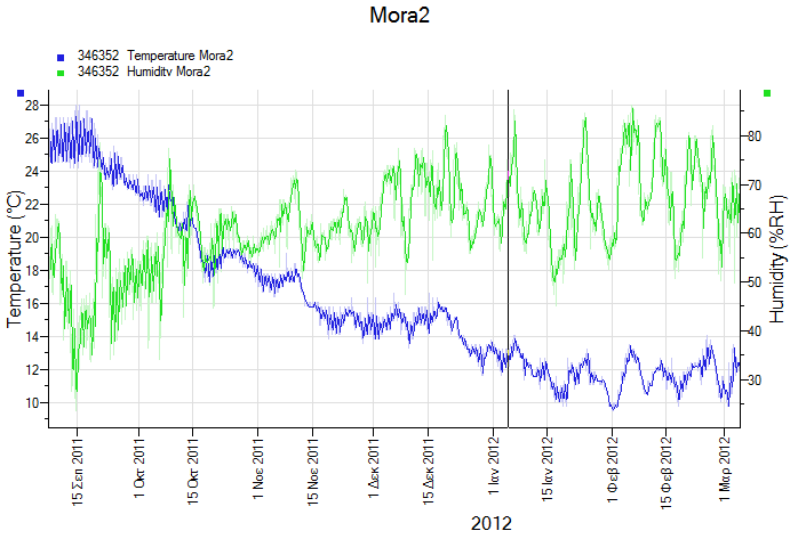
Εικόνα 5. Ακτινοδιάγραμμα Περίθλασης Ακτίνων Χ (XRD)

Μετρήσεις κλίματος

Ένα ψηφιακό καταγραφικό σχετικής υγρασίας και θερμοκρασίας (Tiny Tag™) τοποθετήθηκε στο δίχτυ στο κέντρο του τάφου. Η μέτρηση διήρκεσε ένα πλήρες έτος. Η ελάχιστη σχετική υγρασία που καταγράφηκε στο εσωτερικό του τάφου ήταν 23.3% και η μέγιστη 86.3%, ενώ η ελάχιστη θερμοκρασία 9° C και η μέγιστη 28° C.

Όπως είναι γνωστό σημασία δεν έχουν τόσο οι απόλυτες τιμές της ΣΥ και Θ°, αλλά η συχνότητα διακύμανσης ιδιαίτερα της σχετικής υγρασίας πάνω και κάτω από τις τιμές κρυστάλλωσης των διαλυτών αλάτων που εμπλέκονται στη φθορά των δομικών υλικών του μνημείου. Στην περίπτωση του τάφου των Αχαρνών το χλωριούχο νάτριο (NaCl) είναι το διαλυτό άλας που είναι παρόν και το οποίο κρυσταλλώνεται σε σχετική υγρασία 75%. Όπως φαίνεται στη γραφική απόδοση (εικ. 6) η σχετική υγρασία (ΣΥ) διέρχεται πολύ συχνά από την τιμή του 75%.

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές



Εικόνα 6. Αποτελέσματα μέτρησης κλίματος στο εσωτερικό του τάφου.

Βιολογικός έλεγχος

Η έντονη παρουσία εντόμων στις εσωτερικές παρειές του τάφου οδήγησε στην υπόθεση ότι η παρουσία τους μπορεί να συμμετέχει στο σχηματισμό της παιπάλης. Για τον λόγο αυτό απευθυνθήκαμε στον βιολόγο του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Καθ. κ Εμμανουήλ, ο οποίος πραγματοποίησε αυτοψία και έλαβε δείγματα παιπάλης από το εσωτερικό των αρμών των λίθων για εργαστηριακό έλεγχο. Όπως αναφέρει και στη γνωμάτευσή του η συμβολή του βιοπληθυσμού δεν αποτελεί αιτία αποσάθρωσης.

Έλεγχος της βλάστησης

Ο έλεγχος της βλάστησης έγινε από τον κ Χάραρη συντηρητή της Αρχ. Συλλογής Αχαρνών. Χρησιμοποιήθηκε το Δελτίο που αναπτύχθηκε από το Τμήμα Συντήρησης της Β΄ΕΠΚΑ [Μωραϊτου κ.ά 2012].

Συμπεράσματα- Διάγνωση

Από την αρχειακή έρευνα φαίνεται ότι δεν είχε εκπονηθεί ολοκληρωμένη μελέτη Συντήρησης – Αποκατάστασης και Προστασίας που να περιλαμβάνει φυσικοχημική διαγνωστική μελέτη του μνημείου. Η μέχρι το 2010 προσέγγιση θεωρείται αποσπασματική και «μονοεπιστημονική». Αφορούσε

κυρίως την αποστράγγιση του μνημείου και τη στερέωση με αρμολόγημα, ενώ η εκτέλεσή της βασίστηκε στην υποστήριξη του Δήμου Αχαρνών. Βέβαια το φαινόμενο της αποδιοργάνωσης - αποσάθρωσης δεν είχε ακόμα εμφανιστεί την εποχή εκείνη.

Στην παρούσα μελέτη καταγράφηκε μεγάλο ποσοστό υγρασίας. Η υγρασία στις τοιχοποιίες του δρόμου, του στομίου και της θόλου είναι αφενός μεν ανερχόμενη με τριχοειδή αναρρίχηση και αφ' ετέρου κατερχόμενη από το διαποτισμό της επίχωσης και του περιβάλλοντος εδάφους από τα όμβρια ύδατα. Το νερό αυτό καθ'εαυτό δεν αποτελεί την αιτία διάβρωσης, αποτελεί όμως τον φορέα διακίνησης και εναπόθεσης διαλυτών αλάτων. Εντοπίστηκε μεγάλη ποσότητα χλωριούχου νατρίου, η οποία ήταν τόσο μεγάλη ώστε δημιουργήθηκε καρστικό φαινόμενο με το σχηματισμό σταλακτιτών. Είναι γνωστό ότι τα διαλυτά άλατα εγκαθίστανται μέσα στο πορώδες των ευπαθών λίθων και με τις διακυμάνσεις της σχετικής υγρασίας (Σ.Υ). κρυσταλλώνονται και επαναδιαλύονται με αποτέλεσμα να αποσαθρώνουν μηχανικά τους ευπαθείς λίθους [Theoulakis & Moropoulou, 1999]. Οι ευπαθείς λίθοι είναι οι πορώδεις ασβεστόλιθοι και ψαμμίτες που βρίσκονται σε μικρό μεν ποσοστό στην εμφανή στρώση, αλλά σε άγνωστο ποσοστό στις αφανείς (πίσω) στρώσεις της τοιχοποιίας. Εκτός από τις επιπτώσεις που είχε το χλωριούχο νάτριο στους πορώδεις λίθους παρατηρήθηκε η καταστροφική του επίδραση και στην άργιλο με την οποία είχαν αρμολογηθεί οι λίθοι κατά τις παλαιότερες επεμβάσεις στερέωσης του μνημείου. Η πιθανή πηγή του χλωριούχου άλατος αναζητήθηκε στην αντιμετώπιση του παγετού στους δρόμους από τον Δήμο Αχαρνών. Πράγματι ο Δήμος επιβεβαίωσε (ΔΑ 9862/4.2.14 - Β' ΕΠΚΑ 1111/12.2.14) ότι το χειμώνα χρησιμοποιεί κοινό ακατέργαστο θαλασσινό αλάτι για την αντιμετώπιση του πάγου στους δρόμους.

Επίσης η υψηλή υγρασία μέσα στον τάφο που διαπιστώθηκε ευνοεί την ανάπτυξη μικροχλωρίδας που χαρακτηρίζεται από το σχηματισμό πράσινου επίπαγου στους αρμούς των λίθων, δεν αποτελεί όμως σημαντικό πρόβλημα. Ο εποικισμός των εσωτερικών τοίχων από διαφόρων ειδών έντομα και αρθρόποδα μπορεί να μην συμβάλει. στην αποσάθρωση των λίθων, αλλά δημιουργεί συνθήκες ανθυγιεινές για τους επισκέπτες και τους εργαζόμενους. Η παρουσία ανώτερων φυτών στη λιθοδομή αποτελεί αντικείμενο περιοδικής αντιμετώπισης και συνεπώς δεν προκαλεί προβλήματα.

Τέλος οι κατακόρυφες ρωγμές σε λίθους της εμφανούς τοιχοποιίας υποδηλώνουν κάθετες θλιπτικές τάσεις, οι οποίες ίσως επιβαρύνονται από την αποσάθρωση των ευπαθών λίθων στα αφανή στρώματα της δομής. Η πτώση μικρών τεμαχίων λίθων (βυσμάτων) από τους αρμούς που συνδέεται άμεσα με τις ρωγμές, υποδηλώνει μικρομετακινήσεις της δομής που μπορεί

να οφείλονται σε μικροδονήσεις, κινητικότητα διαλυτών αλάτων και κονιοποίηση μέρους λίθων ως συνέπεια των διακυμάνσεων της υγρασίας. Επίσης η συμβολή των κραδασμών από την παρακείμενη οδό Φιλαδελφείας δεν μπορεί να αποκλεισθεί.

Ευχαριστίες

Ευχαριστίες απευθύνονται στην υπεύθυνη εκπαιδευτικών προγραμμάτων του Δήμου Αχαρνών αρχαιολόγο κ Κασσωτάκη. Στους υπεύθυνους της Β΄ΕΠΚΑ αναπλ. Διευθύντρια κ Ε. Ανδρίκου, αρχαιολόγο κ Ειρήνη Αναγνωστοπούλου, μηχανικό κ Φ. Καρασάββα και τοπογράφο κ Ε. Πορτελάνου. Επίσης στους συντηρητές αρχαιοτήτων και έργων τέχνης της Αρχαιολογικής Συλλογής Αχαρνών της Β΄ΕΠΚΑ κκ Χάραρη Κανάκη και Νικήτα Αναγνωστόπουλο καθώς και στη φύλακα του χώρου κ Ακριβή Ρήγα. Στη ΔΣΑΝΜ και ιδιαίτερα στον κ Ιωάννη Ματαράγκα για την παραχώρηση του καταγραφικού TINY TAG™. Καθώς και στον Δρ Εμμανουήλ του Τμήματος Εντομολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών. Τέλος ευχαριστούμε τον κ Κ. Δημητριάδη για την συνεργασία.

Βιβλιογραφία

Δημητριάδης, Κ., Γεωφυσική ανάλυση του Μυκηναϊκού Τάφου των Αχαρνών, αδημοσίευτη μελέτη προς τη Β' ΕΠΚΑ, GEOSERVICE, 23 Οκτ. (2013).

Dimitriadis, K., Sonia Santos Assuncao, Vega Perez Garcia, Non Destructive Assessment of the Mycenaean Tomb of Acharnon, EGU, in Vienna, 30 April (2014).

Κασσωτάκη Ε., Ο Θολωτός τάφος στις Αχαρνές, Ενημερωτικό Φυλλάδιο, Έκδοση της Δημοτικής Επιχείρησης Ανάπτυξης του Δήμου Αχαρνών (2007).

Lolling, H.G., Bohn, R. Furtwager, A. Kohler U., Das Kuppelgrab bei Menidi, Deutsches Archaeologisches Institut in Athen, 56, (1880) πιν. I-IX.

Μωραϊτου, Γ., Λάμπρου, Λ., Ντόβα, Α., Η αυτοφυής και ετεροφυής βλάστηση στους αρχαιολογικούς χώρους της Β' ΕΠΚΑ. Τοποθέτηση του προβλήματος και πρακτικές για μια αποτελεσματική διαχείριση, Πρακτικά 17ο Συνέδριο Ελληνικής Ζιζανιολογικής Εταιρείας, Αθήνα 22-24 Νοεμβρίου, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο, (2012) 105-107.

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Πλάτωνος-Γιώτα Μ., Αχαρναί, Ιστορική και Τοπογραφική Επισκόπηση των Αρχαίων Αχαρνών, των γειτονικών Δήμων και των οχυρώσεων της Πάρνηθας, Δήμος Αχαρνών (2004).

Στριφτού-Βάθη, Σ., Αχαρναί, Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Ανατολικής Αττικής (2009).

Theoulakis, P., Moropoulou, A. Salt crystal growth as weathering mechanism of porous stone on historic masonry, Journal of Porous Materials, 6, (1999) 345-358.

Toumbakari, E.-E., Ntziouni, A., Kasselouri- Rigopoulou, V., Cement-Stabilized Earth Mortars for Application in Archaeological Sites and Prehistoric Monuments, 2nd Historic Mortars Conference HMC2010 and RILEM TC 203-RHM Final Workshop 22-24 September 2010, Prague, Czech Republic, 1209-1217.

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Διαγνωστική τεκμηρίωση της Πολιτιστικής Κληρονομιάς: Το παράδειγμα της Βίλλας Κλωναρίδη, Αθήνα, Ελλάδα (Integrated diagnostics of Cultural Heritage using GIS: The case of the historic building Villa Klonaridi, Athens. Greece)

Ε. Τσιλιμαντού, Αικ. Θ. Δελέγκου, Α. Ι. Νικητάκος, Σ. Σοιλέ, Σ. Ταπινάκη, Χ Ιωαννίδης, Α Μοροπούλου

Abstract

Historic buildings are irreplaceable elements for the history of a region and essential valuable elements of the landscape where they are sited. For the best representation of buildings pathology and conservation interventions over historic building heritage, an integrated documentation was performed in a historic building in Athens. This study presents the documentation of Villa Klonaridi, a historic building of the 19th century, in Patisia district, Athens, which has been constructed in various phases. In this paper the integrated documentation of the built heritage along with the use of GIS, decay and modeling and analysis operations, the current state of the buildings pathology is presented. In Villa Klonaridi, the characterization of building materials and decay diagnosis was conducted on the facades of the building, using nondestructive techniques in situ and analytical techniques in the laboratory, after sampling. All the gathered data were incorporated into a GIS platform in order to accomplish the representation of building materials and decay patterns through thematic maps. Furthermore, the study of the decay susceptibility of the building materials of the investigated surfaces was performed which continuously led to the creation of thematic maps of conservation interventions. In conclusion, this work presents an integrated diagnostic study process that includes geometric, architectural and structural documentation and GIS capabilities (regarding spatial analysis and spatial / descriptive data management), which can lead as well to the monitoring of the construction durability.

Περίληψη

Τα ιστορικά κτίρια αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της ιστορία μιας περιοχής και ακόμη απαραίτητα και αξιόλογα στοιχεία στη σύνθεση του αρχιτεκτονικού τοπίου όπου εντάσσονται. Στο πλαίσιο της βέλτιστης απεικόνισης της παθολογίας ενός ιστορικού κτιρίου και των επεμβάσεων

συντήρησης στην οικιστική πολιτιστική κληρονομιά, πραγματοποιήθηκε μια μελέτη ολοκληρωμένης τεκμηρίωσης σε ενα ιστορικό κτίριο / μνημείο στην πολή της Αθήνας. Στην εργασία αυτή, παρουσιάζεται η τεκμηρίωση του ιστορικού κτιρίου της Βίλλας Κλωναρίδη στα Πατήσια, στην Αθήνα, κατασκευασμένη στα τέλη του 19ου αιώνα,και στη συνέχεια με δύο προσθήκες, σε διάφορες οικοδομικές φάσεις. Στην παρούσα εργασία, η ολοκληρωμένη τεκμηρίωση της κτισμένης πολιτιστικής κληρονομιάς παράλληλα με τη χρήση ΓΣΠ και την εφαρμογή κατάλληλων εργαλείων διαχείρισης, ανάλυσης και συσχέτισης στο χώρο δεδομένων φθοράς, οδηγεί στην καταγραφή και παρουσίαση της παθολογία του ιστορικού κτιρίου. Στη Βίλλα Κλωναρίδη, οι εργασίες που έλαβαν χώρα ήταν ο χαρακτηρισμός των υλικών και η διάγνωση της φθοράς στις όψεις του κτιρίου με τη χρήση μη καταστρεπτικών μεθόδων με επιτόπους παρατηρήσεις αλλά και ενόργανων μεθόδων (εργαστήριο) μετά από δειγματοληψία. Το σύνολο των περιγραφικών δεδομένων εισήχθησαν σε περιβάλλον ΓΣΠ, με στόχο τη δημιουργία θεματικών χαρτών υλικών και φθορών. Με τη σύνδεση των δεδομένων διάγνωσης υλικών / φθορών με την χωρική πληροφορία σε περιβάλλον ΓΣΠ και τη δημιουργία θεματικών χαρτών υλικών και φθορών δίνεται η δυνατότητα αποτίμησης της παθολογίας του ιστορικού κτιρίου. Ακόμη τα συμπεράσματα της συγκριτικής μελέτης της επιδεκτικότητας στη φθορά των διαφορετικών δομικών υλικών των αντιπροσωπευτικών επιφανειών που εξετάσθηκαν, στις όψεις του ιστορικού κτιρίου, οδήγησε στη δημιουργία θεματικών χαρτών επεμβάσεων συντήρησης. Συμπερασματικά, η εργασία αυτή πραγματεύεται μία μεθοδολογική προσέγγιση ολοκληρωμένης διαγνωστικής μελέτης που περιλαμβάνει την χωρική, αρχιτεκτονική και δομοστατική τεκμηρίωση του ιστορικού κτιρίου με την εφαρμογή κατάλληλων εργαλείων των ΓΣΠ (διαχείριση, ανάλυση και συσχέτιση στο χώρο πληθώρας χωρικών και περιγραφικών δεδομένων), με στόχο την συνολική «παρακολούθηση» του ιστορικού κτιρίου για την μακροχρόνια βιωσιμότητά του.

Introduction

In this study, the documentation of a historic building is presented, through the integrated documentation of a multidisciplinary approach, regarding the preservation and protection of the building. The process of survey and representation of historic buildings has become increasingly important over the years since it can be used as a means of investigating and organizing data in order to understand an architectural work or archaeological site along with the knowledge of the current state of preservation of the

building. Every process conducted to a historic building requires the acquisition of all the available historic documentation, architectural, topographic and structural studies, as well as in lab and in situ analysis of the materials and decay patterns. Within the framework of the preservation of cultural heritage, many scientific projects have investigated GIS potential for the analysis, representation and protection of historic buildings and archeological sites. In general, GIS technology integrates the relationship between spatial and attribute data. GIS tools provides the visualization and interpretation of data in a multidisciplinary aspect and conclusively attribute relationships may be interpreted.

In this work a multidisciplinary approach is presented for the documentation of a historic building constructed in the last quarter of the 19th century. Villa Klonaridi is a typical suburban villa in Patisia district area. It was constructed under three separated phases. The first construction phase (C. Ph.) is estimated to be around the last quarter of the 19th century; the second one was in 1902 and in the third construction phase another room was added in the northwest part of the building (Fig. 1).

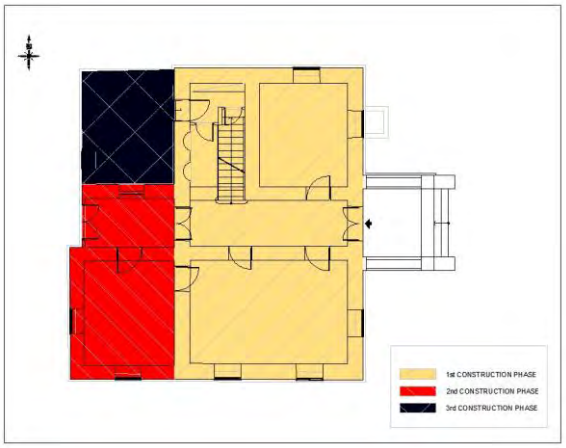


Figure 1. Villa Klonaridi – Three construction phases of the building

In 1993 the mansion and the property around the factory was passed on to the Municipality of Athens. The building along with the property was characterized as a monument by the Ministry of Culture in 1996, due to its important historical and architectural value (Fig. 2).

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Figure 2. Villa Klonaridi - Left: east façade of the building; Right: southwest façade of the building.

Documentation

For the documentation of Villa Klonaridi, a multidisciplinary study was realized leading to the creation of a relational database including all the diverse data of the whole entity of the building including the facades for the creation of thematic maps. This study included the combination of close range photogrammetric, field survey techniques and laser scanning techniques (Fig. 3) along with the characterization of building materials and decay diagnosis. Moreover, from the multidisciplinary study historical, architectural and structural documentation was added to the descriptive data. An internal relational database was created in the GIS environment. For the analysis of the historic building of Villa Klonaridi, all the data were imported to a GIS platform. Thematic maps were elaborated and the database was enriched with additional data, resulting to the analysis and representation of the building's current state of preservation.

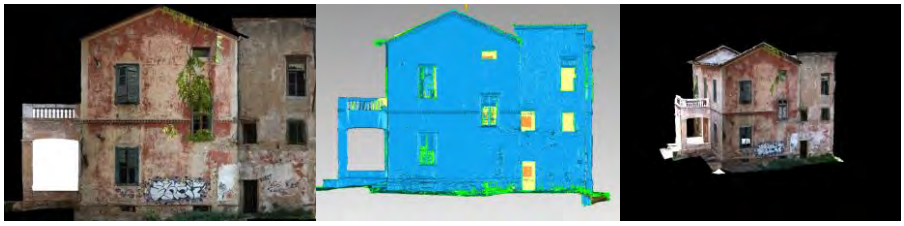


Figure 3. Villa Klonaridi – Left: Photomosaic, North Façade; Center: Snapshot of 3D mesh model, North Façade; Right: Photorealistic texture 3D model NorthEast of the building.

On the facades of the historic building, non-destructive testing and evaluation techniques were applied in situ, whereas analytical techniques were used in lab after sampling, resulting in building materials characterization and decay diagnosis throughout the external part of the

building. The spatial data that were digitized from CAD environment presented the building materials, the decay patterns and the sample areas of the multidisciplinary study. The output was correlated to the corresponding attribute data in the database and continuously was presented in GIS thematic maps.

Results and Discussion

In addition to the data acquisition which included the spatial information and all the diverse data from the multidisciplinary study, all the information was imported to a GIS platform. The relational database was created in a GIS environment. In order the GIS relational operations to be provided, topology of the data was a prerequisite. Firstly the topology among the diverse data was built with the creation of layers in the CAD environment. In addition, data retrieval and queries is accomplished with the GIS management and analysis tools. Thematic maps of building materials and decay patterns were elaborated for the facades.

Furthermore, through the GIS analysis tools, data retrieval considering past documentation and restoration studies of the historic building were accomplished, permitting various disciplines to extract conclusions considering the past state of the building and projecting the past restoration studies into the current preservation state. Moreover, the GIS attribute table of the corresponding building material's feature classes included characteristics from the diagnosis studies.

In particular, for the historic building, new merged features were created using geoprocessing tools, merging the initiative features: the decay pattern and building material for each façade separately (coloring, plaster, stones, bricks, mortar) with the common field of orientation. In addition merged features were created and presented in thematic maps of building materials (stones, bricks, mortar) and decay patterns (Fig. 4).

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

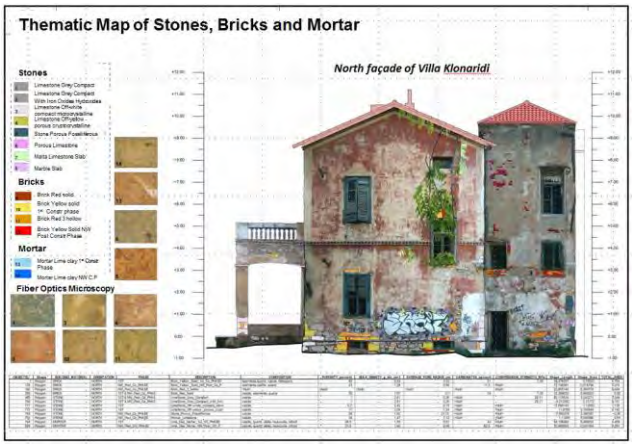


Figure 4. Thematic Map of the North façade of the building including building materials (stones, bricks and mortar)

Continuously, for the application of conservation interventions on the facades of the building, all the materials and their decay should and were indeed characterized using a variety of non-destructive techniques validated and supported by a series of analytical methods after sampling. The conservation interventions / restorations thematic maps resulted from the geoprocessing analysis in the GIS platform from the materials and decay patterns thematic maps. Using the geoprocessing tool of GIS platform, the resulting features include combined spatial properties and attribute data of the decay patterns, additionally classified according to new attribute data sets regarding the suggested materials and conservation interventions. (Figure 6, 7). Conclusively, every building material and decay pattern along with the conservation intervention is represented and displayed through thematic maps leading to the creation of conservation interventions maps where both qualitative and quantitative information can be extracted.

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

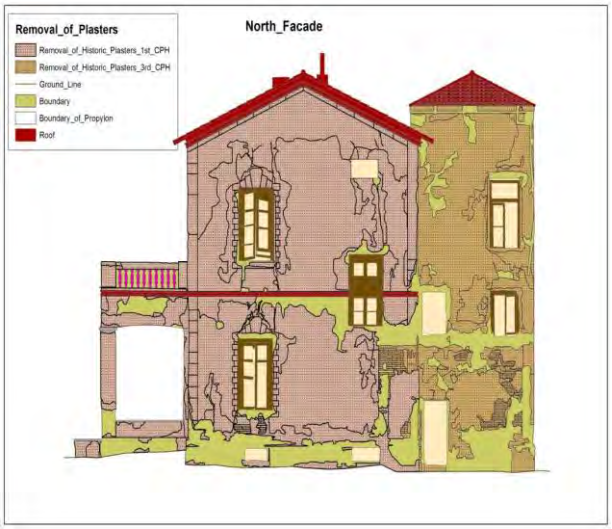


Figure 5. Thematic map of the North façade; restoration of Plasters

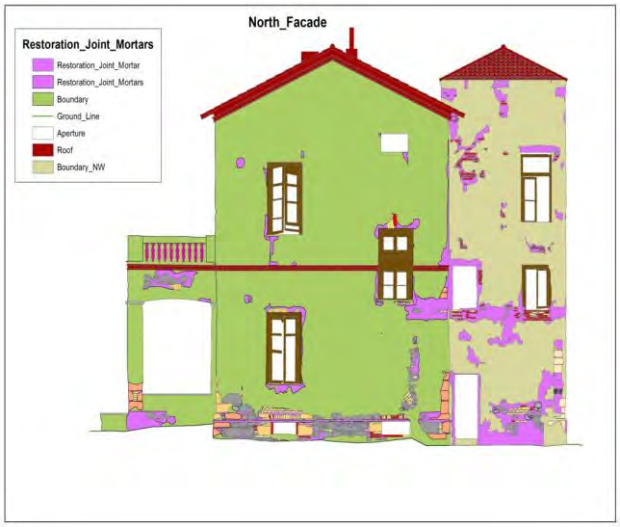


Figure 6. Thematic map of the North façade; restoration of Joint Mortars

Conclusion

As presented, through the utility of the GIS, the development of thematic maps can be achieved. GIS modeling on the facades of the historic building provides information about the building materials in the facades and the extent of decay patterns, as well as the degradation of the building materials

Diagnostic study results (building materials and decay data) were recorded and attributed to the facades of the building. GIS modeling on the facades of the historic building provides information about the building materials in the facades and the extent of decay patterns, as well as the degradation of the building materials regarding their location. Along with the representation of the current state of preservation through GIS analysis tools, conservation / restoration thematic maps were developed. The described approach presents the achievement of the monitoring of the preservation state of a historic building which can lead to the evaluation of restoration materials and finally the sustainable protection of the historic building.

References

Moropoulou A., Labropoulos K., Delegou E.T., Karoglou M., Bacolas A. , " Non-destructive techniques as a tool for the protection of built cultural heritage", *Construction and Building Materials* 48 (2013) 1222-1239.

Tsilimantou E., Nikitakos I.A., Delegou E.T., Soile S., Tapinaki S., Ioannidis C., Moropoulou A., "GIS Modelling For the Integrated Documentation of The Historic Building of Villa Klonaridi in Athens, Greece ", 6th International Conference of Science and Technology for the Safeguard of Cultural Heritage in the Mediterranean Basin, 22-25 October, (2013), Athens, Greece.

Tsilimantou E., Nikitakos I.A., Delegou E.T., Soile S, Tapinaki S., Ioannidis C., Moropoulou A., "Integrated process of documentation using Geographical Information System: the case of the historic building of Villa Klonaridi, Athens Greece ", Proceedings of the 9th International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin-MONUBASIN9, (2014), Ankara, Turkey.

Tsilimantou E., Delegou E.T., Nikitakos I.A., Soile S., Tapinaki S., Ioannidis C., Moropoulou A., "Sustainability of Cultural Heritage using GIS: The case of the Historical Building Villa Klonaridi, Athens, Greece", Scienza e Beni Culturali XXX 2014, Publ. Arcadia Ricerche Editore Padova (2014) 735-746.

Delegou E. T., Tsilimantou E., Oikonomopoulou E., Sayas I., Ioannidis C., Moropoulou A., "Mapping of Building Materials and Conservation Interventions Using GIS: The case of Sarantapicho Acropolis and Erimokastro Acropolis in Rhodes", *International Journal of Heritage on Digital Heritage (IJHDE),*eds. 8, Vol.2, (2013) 4.

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Ανάπτυξη και Διαχείριση Δικτύων για την Προστασία και Ανάδειξη της Πολιτιστικής Κληρονομιάς (Development and Management of Networks for the Protection and Promotion of Cultural Heritage)

Ε. Οικονομοπούλου[1], Α. Θ. Δελέγκου[1], Ι. Σαγιάς[2], Α. Μοροπούλου[1]

[1]Σχολή Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
[2]Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα

Abstract

The present study aims at the development of an integrated strategic planning for the management, protection and promotion of cultural heritage. To this end, the primary objective is the development and management of cultural networks through a universal. Such a database will not only be based on the appropriate theoretical background, but will also offer, from a practical point of view, a single solution to the problems and requirements concerning the protection of cultural heritage. The theoretical background consists of (a) regulatory, legal and planning frameworks as these are applied in Greece and Europe, (b) the requirements and guidance of international organizations and bodies, as elaborated through conferences, Maps and Committees, and (c) past or current practices to protect cultural heritage. The proposed methodology addresses the issue of cultural heritage management from a local-level, concerning individual monuments, to an transnational level, with larger-scale study areas and more complex objects to be protected, resulting eventually in an effort to develop an integrated planning for a wider region, through the development and management of cultural networks. The possibilities for such an achievement are offered by new technological tools and the broadening of the definition of cultural heritage, through international conventions. The results of such planning, as well as the results of different approaches in that sector, are investigated, based on their cultural, social and economic impact, both in native populations and visitors in the areas they are applied to. The desired outcome is the sustainable development of these regions through the proposed procedures and interventions.

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Περίληψη

Ζητούμενο της παρούσας μελέτης είναι η δημιουργία ενός ολοκληρωμένου στρατηγικού σχεδιασμού για τη διαχείριση της πολιτιστικής κληρονομιάς, στοχεύοντας στην προστασία και ανάδειξή της. Σκοπός είναι η ανάπτυξη και διαχείριση πολιτιστικών δικτύων, μέσω μιας ενιαίας μεθοδολογίας, η οποία από τη μία πλευρά θα στηρίζεται στο κατάλληλο θεωρητικό υπόβαθρο, ενώ παράλληλα θα προσφέρει, σε πρακτικό πλέον επίπεδο, μια ενιαία αντιμετώπιση των προβλημάτων και απαιτήσεων γύρω από την προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς. Το θεωρητικό υπόβαθρο συγκροτείται από (α) κανονιστικά, νομικά και χωροταξικά πλαίσια όπως ισχύουν στην Ελλάδα και την Ευρώπη, (β) τις απαιτήσεις, οδηγίες και κατευθύνσεις διεθνών οργανισμών και φορέων, όπως διαμορφώθηκαν μέσα από συνέδρια, Χάρτες και Επιτροπές, και (γ) παλαιότερες ή σύγχρονες πρακτικές στην προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς. Η προτεινόμενη μεθοδολογική προσέγγιση πραγματεύεται το θέμα της διαχείρισης της πολιτιστικής κληρονομιάς από τη μικροκλίμακα, σε μεμονωμένα μνημεία και σε πιο τοπικό επίπεδο, μέχρι σε επίπεδο διακρατικό, με μεγαλύτερης κλίμακας περιοχών μελέτης και πιο σύνθετα αντικείμενα προστασίας, καταλήγοντας τελικά σε μια προσπάθεια ανάπτυξης ενός ολοκληρωμένου σχεδιασμού για μια ευρύτερη περιοχή, μέσω της δημιουργίας και διαχείρισης πολιτιστικών δικτύων. Οι δυνατότητες για ένα τέτοιο επίτευγμα προσφέρονται από τα σύγχρονα τεχνολογικά εργαλεία και τη διεύρυνση του ορισμού της πολιτιστικής κληρονομιάς, μέσα από διεθνείς συμβάσεις. Τα αποτελέσματα του σχεδιασμού αυτού, καθώς και έτερων προσεγγίσεων στον ίδιο τομέα, διερευνώνται ως προς το πολιτιστικό, κοινωνικό και οικονομικό τους αντίκτυπο, τόσο στους γηγενείς πληθυσμούς, όσο και τους επισκέπτες των περιοχών εφαρμογής τους. Επιθυμητό αποτέλεσμα είναι η αειφόρος ανάπτυξη των συγκεκριμένων περιοχών, μέσω των προτεινόμενων διαδικασιών και επεμβάσεων.

Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια μια σειρά από νέες θεωρήσεις αναπτύχθηκαν και υιοθετήθηκαν από διεθνείς φορείς και όργανα της ευρωπαϊκής ένωσης στο πλαίσιο της εκτίμησης πολιτιστικών αξιών και της προστασίας και ανάδειξης της πολιτιστικής κληρονομιάς. Το περιεχόμενο του πολιτιστικού αγαθού διευρύνθηκε πέρα από την έννοια του μεμονωμένου μνημείου, οδηγώντας στη δημιουργία νέων τυπολογιών στο πεδίο της πολιτιστικής κληρονομιάς.

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Επιπρόσθετα, αναγνωρίσθηκε περεταίρω η σημασία της πολιτιστικής και γεωγραφικής ενότητας μέσα στην οποία αναπτύσσεται μια πολιτιστική οντότητα. Στο πλαίσιο αυτό γεννήθηκε η έννοια των πολιτιστικών διαδρομών, ως ενιαία συστήματα πολιτιστικών στοιχείων. Γύρω από την νέα αυτή έννοια αναπτύχθηκαν ποικίλες θεωρητικές προσεγγίσεις για την προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς, οι οποίες σε ευρωπαϊκό επίπεδο, βασίστηκαν στην αναγνώριση της κοινής πολιτιστικής κληρονομιάς, την υιοθέτηση κοινών κατευθύνσεων και υποχρεώσεων μεταξύ των Κρατών-Μελών, καθώς και το σχεδιασμό και προώθηση διακρατικών πολιτιστικών διαδρομών με στόχο την ενθάρρυνση της διακρατικής συνεργασίας. Ταυτόχρονα διερευνήθηκε εκ νέου ο ρόλος και η συμβολή των πολιτιστικών αγαθών μιας περιοχής στην πολιτιστική, οικονομική και κοινωνική της ανάπτυξή, υπό το πρίσμα της βιωσιμότητας, μέσω της οργάνωσης εναλλακτικών τουριστικών δραστηριοτήτων. Οι πολιτιστικοί πόροι μιας περιοχής αναγνωρίζονται πλέον ως αναπόσπαστο μέρος της σύγχρονης ζωής και η εξασφάλιση της προστασίας και ανάδειξής τους εντάσσεται σε ευρωπαϊκές, εθνικές και περιφερειακές πολιτικές και στρατηγικές, μέσω του χωροταξικού και πολεοδομικού σχεδιασμού.

Οι νέες αυτές οπτικές έθεσαν και νέες απαιτήσεις για την προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς, όπως (α) την ανάγκη για νέες προσεγγίσεις που θα περιγράφουν και θα προστατεύουν τις σχέσεις που συνδέονται άμεσα με την πολιτιστική και ιστορική τοποθεσία, (β) την ανάγκη για διεπιστημονική προσέγγιση στη μελέτη και διαχείριση της πολιτιστικής κληρονομιάς, δεδομένης της ποικιλομορφίας που παρουσιάζει, (γ) την ανάγκη για ανταλλαγή γνώσεων, τεχνολογιών, πολιτικών, μεθόδων και πρακτικών, (δ) την ανάγκη για ολοκληρωμένη και συνεχή καταγραφή και παρακολούθηση της πολιτιστικής κληρονομιάς, (ε) την ανάγκη ανάπτυξης βάσεων δεδομένων σε εθνικό και πολυεθνικό επίπεδο και (στ) την απαίτηση για χρήση νέων τεχνολογιών.

Η ανάγνωση των νέων θεωρήσεων στο τομέα της πολιτιστικής κληρονομιάς, σε συνδυασμό με τις νέες απαιτήσεις που αυτές ανέδειξαν, θέτουν νέους προβληματισμούς και ερωτήματα στο πεδίο της προστασίας και ανάδειξης της πολιτιστικής κληρονομιάς. Μια ενιαία μεθοδολογική προσέγγιση για τη διαχείριση και προστασία του πολιτιστικού πλούτου, απαιτεί την θεώρηση των δεδομένων, προβλημάτων, και απαιτήσεων και τελικά την αντιμετώπισή τους σε διάφορες κλίμακες και επίπεδα. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι να καλύπτει όλες τις εκφάνσεις και τα όρια της έννοιας της πολιτιστικής κληρονομιάς, ανθρωπογενούς και φυσικής. Πώς όμως θα διατηρηθεί το πολιτιστικό, ιστορικό και φυσικό περιεχόμενο των πολιτιστικών διαδρομών στο συγκεκριμένο περιβάλλον που αυτές

αναπτύχθηκαν, μέσω της χρήσης νέων τεχνολογιών; Και ειδικότερα πώς θα επιτευχθεί ένας τέτοιος στόχος στην περίπτωση των αγροτικών, απομονωμένων περιοχών όπου πρέπει να διατηρηθεί η λεπτή ισορροπία σε κοινωνικό, οικονομικό και περιβαλλοντικό επίπεδο; Όλες αυτές οι διαφορετικές οπτικές για τις πολιτιστικές διαδρομές εξακολουθούν να στερούνται μιας συντονισμένης πρακτικής και μιας συγκεκριμένης εφαρμογής ενός στρατηγικού σχεδίου για την προστασία τους. Σε αυτή τη νέα πρόκληση, πώς μπορεί η χρήση των νέων τεχνολογιών να καλύψει τις ανάγκες για την προστασία, διαχείριση και ανάδειξη των πολιτιστικών διαδρομών; Πώς θα μεταφραστούν το θεωρητικό υπόβαθρο και οι κατευθύνσεις σε πρακτικό πλέον επίπεδο και πώς θα κατηγοριοποιηθούν τα δεδομένα αυτά, ώστε να προωθηθεί μια κοινή στρατηγική για την προστασία και ανάδειξη της πολιτιστικής κληρονομιάς;

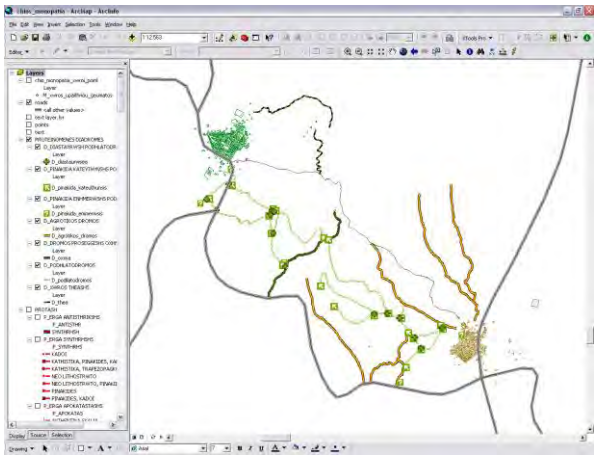
Οι παραπάνω προβληματισμοί όρισαν και κατεύθυναν τους στόχους της εργασίας: η ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου στρατηγικού σχεδιασμού για την προστασία και ανάδειξη της πολιτιστικής κληρονομιάς, μέσα από την οργάνωση πολιτιστικών δικτύων με τη χρήση νέων τεχνολογιών. Η προτεινόμενη μεθοδολογία αναπτύχθηκε κλιμακωτα: από τη μικροκλίμακα, σε τοπικό επίπεδο, με πεδίο αναφοράς τα πολιτιστικά μονοπάτια, σε μεγάλης κλίμακας εφαρμογές, με πεδίο αναφοράς πολιτιστικές διαδρομές διακρατικού επιπέδου. Το κατάλληλο θεωρητικό υπόβαθρο έθεσε τα χωρικά, γραφικά και περιγραφικά δεδομένα για τις περιοχές μελέτης. Οι εφαρμογές στηρίχθηκαν στην ταξινόμηση και κατηγοριοποίηση της περιγραφικής πληροφορίας σε δυναμικές Βάσεις Δεδομένων και σε αρχές του χωροταξικού σχεδιασμού, ενώ με τη χρήση των νέων τεχνολογιών και των εργαλείων και διαδικασιών διαχείρισης και ανάλυσης που προσφέρουν διαμορφώθηκαν οι θεματικοί χάρτες των προτεινόμενων επεμβάσεων. Το τελικό ζητούμενο είναι η εφαρμογή της μεθοδολογίας σε περιφεριακό επίπεδο, μέσω της οργάνωσης ενός ολοκληρωμένου πολιτιστικού δικτύου.

Η διερεύνηση σε τοπικό επίπεδο: πολιτιστικά μονοπάτια

Αρχικά διερευνήθηκε η ανάπτυξη μεθοδολογίας για την ανάδειξη και προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς σε μικροκλίμακα, με εφαρμογή σε δύο μονοπάτια ιστορικής σημασίας και φυσικού κάλλους στη νήσο Χίο. Τα πεδία μελέτης ήταν: βιβλιογραφική έρευνα, επιτόπιες μακροσκοπικές παρατηρήσεις και μετρήσεις, ψηφιοποίηση γεωγραφικών δεδομένων, δημιουργία δυναμικής ΒΔ, εισαγωγή, διαχείριση και ανάλυση των δεδομένων σε ΓΣΠ και εξαγωγή συγκριτικών αποτελεσμάτων.

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Η βιβλιογραφική έρευνα πάνω στα ίδια τα μονοπάτια, τους οικισμούς που συνδέουν, τα μνημεία που περικλείουν και τα Νομοθετικά και Χωροταξικά Πλαίσια που διέπουν τις περιοχές αυτών, όρισε το ιστορικό, κοινωνικό, πολιτικό, οικονομικό και πολιτιστικό πλαίσιο ανάπτυξης των μονοπατιών, τους περιορισμούς και τις τάσεις ανάπτυξης και πιέσεων προς τις περιοχές μελέτης, καθώς και το περιεχόμενο και τα κριτήρια προστασίας. Στο πλαίσιο της εφαρμογής, το κάθε μονοπάτι χωρίστηκε σε επί μέρους τμήματα και στη συνέχεια οι επιτόπιες παρατηρήσεις καταγράφηκαν σε ειδικά διαμορφωμένες καρτέλες που περιελάμβαναν πληροφορίες για τα γενικά χαρακτηριστικά και τις ανάγκες των δύο μονοπατιών, τόσο όσον αφορά τα επιμέρους τμήματά τους, όσο και στο σύνολό τους. Τα περιγραφικά δεδομένα από τις καρτέλες αυτοψίας και τη βιβλιογραφική έρευνα κατηγοριοποιήθηκαν βάση πεδίων που διαμορφώθηκαν από τις απαιτήσεις του ISO 9001:2000, όπως αυτές περιγράφονται στο Εγχειρίδιο Συστήματος Διαχείρισης Ποιότητας, που εκπονήθηκε στα πλαίσια του ευρωπαϊκού προγράμματος MED-ISOLAE. Με τον τρόπο αυτό δομήθηκαν οι βάσεις δεδομένων, οι οποίες συνέθεσαν τα περιγραφικά δεδομένα στο ΓΣΠ. Τα γεωχωρικά δεδομένα του συστήματος προέκυψαν από τη ψηφιοποίηση χαρτών του νησιού και ειδικότερα των περιοχών μελέτης, σε συνδυασμό με νέα χωρικά δεδομένα όπως καταγράφηκαν αναλυτικά στις καρτέλες αυτοψίας.

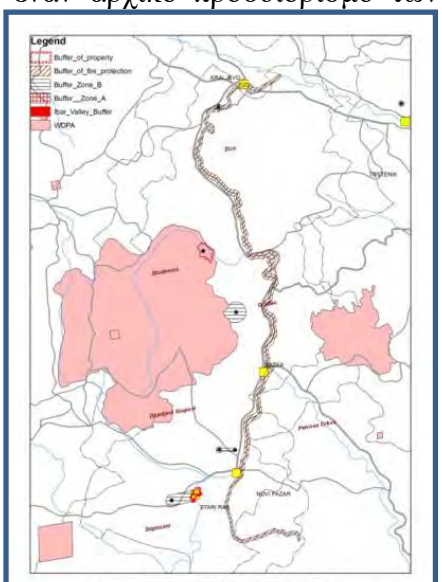


Με την εισαγωγή και διαχείρηση των δεδομένων σε ΓΣΠ αναπτύχθηκαν θεματικοί χάρτες για την υφιστάμενη κατάσταση των μονοπατιών, καθώς και για προγενέστερη μελέτη που είχε εκπονηθεί το 1999. Μέσω των διαδικασιών διαχείρησης και επικάλυψης που προσφέρει το ΓΣΠ εξήχθησαν συγκριτικά αποτελέσματα για τα δύο μονοπάτια, αναφορικά με τις επεμβάσεις που έχουν πραγματοποιηθεί και με την κατάσταση διατήρησής τους. Από την ανάλυση αυτή, προέκυψαν οι ανάγκες και οι απαιτούμενες επεμβάσεις για τη διατήρηση και ανάδειξη των μονοπατιών και τελικά διαμορφώθηκαν οι αντίστοιχοι θεματικοί χάρτες της πρότασης, οι οποίοι περιλαμβάνουν επεμβάσεις συντήρησης και αποκατάστασης, ζώνες προστασίας, νέες κατασκευές και οργάνωση εναλλακτικών μορφών τουρισμού.

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Η διερεύνηση σε διακρατικό επίπεδο: πολιτιστικές διαδρομές

Στη συνέχεια διερευνήθηκε η περίπτωση εφαρμογής της προτεινόμενης μεθοδολογίας σε μεγάλη κλίμακα, με αναφορά σε πολιτιστικές διαδρομές στη Σερβία, μέσα από τη συγκριτική μελέτη μοναστηριών στην Ελλάδα και τη Σερβία. Η μεθοδολογία προσέγγισης που ακολουθήθηκε περιελάμβανε βιβλιογραφική έρευνα, δημιουργία δυναμικής ΒΔ, εισαγωγή και διαχείριση των δεδομένων σε ΓΣΠ, ενοποίηση σέρβικων Ι.Μονών σε πολιτιστικές διαδρομές, ανάλυση δεδομένων σε ΓΣΠ και ανάπτυξη προτάσεων για την προστασία και ανάδειξη των Ι.Μονών στη Σερβία. Οι χρονολογικές και γεωγραφικές παράμετροι της έρευνας βασίστηκαν σε ιστορικά στοιχεία για την ίδρυση και ανάπτυξη του σερβικού κράτους, την ιστορική αξία των μνημείων, την αναγκαιότητα επεμβάσεων συντήρησης σε αυτά και την προσβασιμότητα-δικτύωση. Προς το σκοπό αυτό, η μελέτη περιορίστηκε χρονικά στη σέρβικη μεσαιωνική τέχνη των περιόδων 12ου-13ου και 14ου-15ου αιώνα και χωρικά στις κοιλάδες Ράσκα και Μοράβα, όπου και αναπτύχθηκαν οι αντίστοιχες καλλιτεχνικές σχολές. Η βιβλιογραφική μελέτη οδήγησε στον ορισμό των πεδίων ενδιαφέροντος, τα οποία θα υποστηρίξουν τη μετέπειτα συγκριτική μελέτη και σε έναν αρχικό προσδιορισμό των μοναστηριών στη Σερβία και την Ελλάδα που παρουσιάζουν στοιχεία συνάφειας. Τα κοινά πεδία στα οποία αναζητήθηκαν οι συσχετίσεις μεταξύ των Ι.Μονών αφορούσαν την αρχιτεκτονική, ως τυπολογία και εξωτερικό διάκοσμο, και τη ζωγραφική, μέσω των τοιχογραφιών. Παράλληλα, μέσα από τη μελέτη (α) του νομοθετικού πλαισίου για την προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς στη Σερβία και την Ελλάδα, (β) πρακτικών, πολιτικών, κανονισμών και κατευθύνσεων από την Ευρωπαϊκή Ένωση, (γ) στρατηγικών και προτάσεων διεθνών οργανισμών και φορέων μέσω των μνημείων που εντάσσονται στον Κατάλογο της Παγκόσμιας Πολιτιστικής Κληρονομιάς της UNESCO και στο δίκτυο Emerald και (δ) πλαισίων χωροταξικού σχεδιασμού σε Ελλάδα και Σερβία, καθορίστηκαν οι



Raska Monasteries Protection Zones

απαιτήσεις και οι προβληματισμοί στο πλαίσιο της προστασίας και ανάδειξης της κοινής πολιτιστικής κληρονομιάς. Οι περιγραφικές πληροφορίες που προέκυψαν από την βιβλιογραφική μελέτη ταξινομήθηκαν σε ΒΔ, τα πεδία της οποίας καθορίστηκαν από τα πεδία συσχετίσεων μεταξύ των Ι.Μονών, ενώ οι χωρικές πληροφορίες ψηφιοποιήθηκαν σε περιβάλλον ΓΣΠ, ώστε να προκύψει ένας ενιαίος χάρτης με τις θέσεις των σημείων ενδιαφέροντος σε κοινό προβολικό σύστημα με τα γεωγραφικά και πολιτικά όρια, τους δρόμους, τις πόλεις και τα φυσικά χαρακτηριστικά των δύο χωρών. Στο γεωγραφικό αυτό υπόβαθρο συνδέθηκε η ΒΔ των μοναστηριών, δομώντας με αυτόν τον τρόπο τα περιγραφικά και γεωγραφικά δεδομένα του συστήματος. Στη συνέχεια βάσει των εργαλείων που προσφέρει το ΓΣΠ, χρησιμοποιήθηκαν λογικές ή/και μαθηματικές πράξεις ανάμεσα στα επίπεδα πληροφορίας για την εύρεση κοινών χαρακτηριστικών ανάμεσα στα διαφορετικά πεδία των περιγραφικών δεδομένων και για τον γεωχωρικό συσχετισμό των υπό μελέτη μοναστηριών. Το αποτέλεσμα αυτών των διαδικασιών ήταν η ομαδοποίηση των υπό μελέτη μοναστηριών, η ενοποίησή τους μέσω της χάραξης πολιτιστικών διαδρομών, στις κοιλάδες Ράσκα και Μοράβα και η εξαγωγή συμπερασμάτων για τις σχέσεις επιρροής μεταξύ τους. Τέλος, με τις διαδικασίες ανάλυσης του ΓΣΠ, εκπονήθηκαν οι θεματικοί χάρτες της πρότασης για προστασία και ανάδειξη των Ι.Μονών και των διαδρομών στις οποίες συνδέονται.

Η διερεύνηση σε περιφερειακό επίπεδο: πολιτιστικά δίκτυα

Η εφαρμογή του θεωρητικού υποβάθρου, καθώς και των δεδομένων από τις δύο προηγούμενες μεθοδολογίες σε πιο πολύπλοκες δομές πολιτιστικών στοιχείων, όπως στην περίπτωση των πολιτιστικών δικτύων, είναι σε εξέλιξη. Ως περιοχή μελέτης επιλέχθηκε η αποσκίερη Μάνη, περιοχή που προσφέρεται για τη δημιουργία ανοικτού μουσείου. Η προτεινόμενη μεθοδολογική προσέγγιση περιλαμβάνει τέσσερα επίπεδα έρευνας: (α) βιβλιογραφική έρευνα η οποία συνίσταται στη γενική περιγραφή των

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

οικισμών, μνημείων και χώρων, στην αναζήτηση και καταγραφή ιστορικών, λαογραφικών, κοινωνικών, πολιτικών, πολιτιστικών και οικονομικών δεδομένων και στη μελέτη Νομοθετικών και Χωροταξικών Πλαισίων, ΣΧΟΟΑΠ και δικτύων Natura, με σκοπό να εντοπίσει και να αναγνωρίσει το ευρύτερο κοινωνικό, οικονομικό, πολιτικό και πολιτιστικό πλαίσιο στο οποίο δημιουργήθηκε και μεταμορφώθηκε το τοπίο της έρευνας, αλλά και να θέσει τους περιορισμούς στο σχεδιασμό, τις τάσεις ανάπτυξης και πιέσεων και το περιεχόμενο προστασίας στην περιοχή μελέτης, (β) λεπτομερή καταγραφή της υφιστάμενης κατάστασης του φυσικού τοπίου με βάση τις in situ παρατηρήσεις και μετρήσεις για να αναπτυχθεί μια ακριβής εικόνα των φυσικών και πολιτιστικών χαρακτηριστικών του τοπίου, (γ) έρευνα στον τομέα των χωροταξικών μετασχηματισμών του τοπίου, με την ψηφιοποίηση ιστορικών στοιχείων και δεδομένων που λαμβάνονται κατά τη διαδικασία έρευνας της υφιστάμενης κατάστασης, ώστε να αναπτυχθεί μια εις βάθος κατανόηση των σχέσεων μεταξύ του παρελθόντος και του παρόντος και (δ) διαχείριση και ανάλυση των δεδομένων σε ΓΣΠ. Οι διαδικασίες έρευνας και ανάλυσης έχουν πραγματοποιηθεί σε δύο επίπεδα: μια ανώτερη ανάλυση τοπίου σχετικά με το σύνολο της περιοχής υπό έρευνα, και ένα πιο λεπτομερές επίπεδο σε κλίμακα οικισμών και σε σχέση με τις επιμέρους πολιτιστικές δομές. Στην περίπτωση της Μάνης εντοπίζονται ποικίλα αντικείμενα για μελέτη, ανάδειξη και προστασία, τα οποία συνθέτουν και την πολιτιστική εικόνα της περιοχής: μελετήθηκαν πλήθος κηρυγμένων/χαρακτηρισμένων μνημείων και περιοχών προστασίας, υποδομές, μουσεία, πολιτιστικά μονοπάτια, τόποι φυσικού ενδιαφέροντος/προστασίας, άυλα πολιτιστικά αγαθά κ.α. για την καλύτερη διαχείριση του μεγάλου πλήθους των πληροφοριών, οι οποίες συλλέχθηκαν από τη βιβλιογραφική μελέτη και τις επισκέψεις στην περιοχή, δημιουργήθηκε εγχειρίδιο ποιότητας, στο οποίο καταγράφονται ανά πεδίο ενδιαφέροντος, οι όροι και οι αντίστοιχοι περιορισμοί/όρια (domains) που πρέπει να χρησιμοποιηθούν και με ποια μέθοδο. Το εγχειρίδιο αυτό αποτελεί και το υπόβαθρο για την κατηγοριοποίηση των δεδομένων σε ΒΔ. Τέλος, οι

τυποποιημένες πλέον πληροφορίες ψηφιοποιήθηκαν σε περιβάλλον ΓΣΠ και αποτέλεσαν τα περιγραφικά και γεωχωρικά δεδομένα του συστήματος.

Συμπεράσματα

Ο προβληματισμός που προέκυψε ήταν στο πώς οι εφαρμογές σε μικρή και μεγάλη κλίμακα θα οδηγήσουν σε εφαρμογές σε πιο πολύπλοκα σχήματα/συστήματα πολιτιστικών οντοτήτων, όπως είναι τα πολιτιστικά δίκτυα. Πού συμπίπτουν και πού διαφοροποιούνται οι αντίστοιχες μεθοδολογικές προσεγγίσεις; Πώς μπορούν και σε ποιά σημεία να ενοποιηθούν μέσω ενός ΓΣΠ; Στο επίπεδο της περιγραφικής πληροφορίας, η ταξινόμηση των δεδομένων σε μικρής κλίμακας εφαρμογή, γίνεται ειδικά και με μεγαλύτερη εμβάθυνση στην πληροφορία, ανά τμήμα μονοπατιού. Αντίθετα, στην περίπτωση μεγαλύτερης κλίμακος εφαρμογής, η εμβάθυνση εφαρμόζεται στο επίπεδο των μνημείων που βρίσκονται στις διαδρομές, ενώ για τις ίδιες τις διαδρομές η ταξινόμηση των δεδομένων γίνεται πιο γενικευμένα. Έτσι από τη μία πλευρά, η εφαρμογή σε τοπικό επίπεδο, μικρής κλίμακας, θέτει τις προϋποθέσεις για την ανάπτυξη ειδικών ΒΔ για τα επί μέρους τμήματα του πολιτιστικού δικτύου (μνημεία, μονοπάτια κ.α.), ενώ η εφαρμογή μεγαλύτερης κλίμακας θέτει τις προϋποθέσεις για την ανάπτυξη γενικών ΒΔ του πολιτιστικού δικτύου (θεματικές πολιτιστικές διαδρομές, υποδομές, δίκτυα, ευρύτερες περιοχές προστασίας κα). Μέσω του ΓΣΠ μπορούν να γίνουν οι κατάλληλοι συσχετισμοί μεταξύ των ΒΔ (ειδικών και γενικών), ώστε να προκύψει μια ενοποιημένη ΒΔ που θα περικλείει όλα τα δεδομένα ενός πολιτιστικού δικτύου .

Αντίθετα, στο επίπεδο της γεωχωρικής πληροφορίας, τόσο στη μεγάλης, όσο και στη μικρής κλίμακας εφαρμογή, από τον εντοπισμό των τάσεων, πιέσεων και κινδύνων του φυσικού και πολιτιστικού περιβάλλοντος των περιοχών μελέτης, αναπτύσσεται ο κατάλληλος περιβαλλοντικός σχεδιασμός, ο οποίος μέσω της διαχείρησης δραστηριοτήτων, χρήσεων γης και φυσικών πόρων, σκοπεύει στην ισόρροπη οικονομική ανάπτυξη, κοινωνική συνοχή, ανταγωνιστικότητα και προστασία του περιβάλλοντος και των φυσικών πόρων, χαρακτηριστικών που στοιχειοθετούν την αειφόρο ανάπτυξη των περιοχών, η οποία κυκλικά αποτελεί και εργαλείο για τον χωροταξικό σχεδιασμό.

Τελικά, μέσω της προτεινόμενης μεθοδολογίας προσέγγισης, οι απαιτήσεις που προκύπτουν από το εγχειρίδιο και τα χωροταξικά πλαίσια, συνιστούν τη βάση δεδομένων όπου μέσα από τις διαδικασίες διαχείρισης και ανάλυσης ενός ΓΣΠ, καταλήγει στην επιστημονική λήψη αποφάσεων σχετικά με την εκπόνηση προτάσεων για την προστασία και ανάδειξη της

πολιτιστικής κληρονομιάς, με απώτερο σκοπό την αειφόρο ανάπτυξη των περιοχών μελέτης. Τα οφέλη που προκύπτουν από μια τέτοια διαδικασία είναι πολλά εφόσον χρησιμοποιείται νέα τεχνολογία σε τοπικό/περιφερειακό και διακρατικό επίπεδο και επιτυγχάνεται η βελτίωση της επικοινωνίας, της συνεργασίας μεταξύ φορέων και κρατών και της ποιότητας εξυπηρέτησης. Τα οφέλη αυτά λαμβάνουν τόσο οι μόνιμοι κάτοικοι όσο και οι επισκέπτες των περιοχών

Βιβλιογραφία

Crabb A., "The initiatives of the EU in the area of cultural heritage", Conference "Cultural heritage: a resource for Europe. The benefits of interaction" (2010)

Council of European Union, "Work Plan for Culture 2011-2014 - Conclusions of the Council and of the representatives of the governments of the member states", meeting within the Council, 3046th Education, Youth, Culture and Sport Council meeting Brussels, 18-19 November

International Scientific Committee on Cultural Routes (CIIC) of ICOMOS, "The ICOMOS Charter on Cultural Routes", 16th ICOMOS General Assembly and International Symposium: "Finding the spirit of place – between the tangible and the intangible" (2008)

Jesus J., "Cultural Heritage, Impact Assessment and the Council of Europe Conventions", 28th Annual Conference of the International Association for Impact Assessment, The Art and Science of Impact Assessment (2008)

Loulanski T., "Revising the Concept for Cultural Heritage: the Argument for a Functional Approach", International Journal of Cultural Property, 13(2006) 207-233

Merriman N., Public Archaeology", Routledge (2004)

Moropoulou A., Delegou E.T., "MED-ISOLAE: Mediterranean Islands Sustainability. ISO-Based Action Plan 2006-2015", Closing Meeting "Mediterranean islands sustainability - ISO-Based Action Plan for Cultural Heritage" (2008)

Oikonomopoulou E., Delegou E.T., Giotopoulou I., Sayas J., Moropoulou A., "Principles of Spatial Planning for Sustainable development: Creating Areas of Open-Air Museum in Mani", 6th International Congress on “Science and Technology for the Safeguard of Cultural Heritage in the Mediterranean Basin”, Athens, Greece, Vol. III, (2014) 393 - 404

Oikonomopoulou E., Delegou E.T., Vesic N., Moropoulou A., "Innovative cross-cultural approach for the protection of common cultural Heritage in Greece and Serbia. Comparative study of the 13th-14th Century Orthodox

Monasteries.", "Governare l'Innovazione: processi, strutture, materiali & tecnologie tra passato e futuro", Scienza e Beni Culturali XXVII, Bressanone, Publ. Arcadia Ricerche (2011) 311-322

Oikonomopoulou E., Kioussi A., Delegou E.T., Tsilimantou E., Moropoulou A., "Innovative Methods for the Protection of Cultural Heritage. Application on Cultural and Natural Heritage Site Paths.", "Pensare la Prevenzione: Manufatti, Usi, Ambienti", Scienza e Beni Culturali XXVI, Bressanone, Publ. Arcadia Ricerche (2010) 335-346

Suarze-Inclan. M.R., "A new category of heritage for understanding, cooperation and sustainable development; their significance within the macrostructure of cultural heritage; the role of the CIIC of ICOMOS: Principles and methodology", ICOMOS 15th General Assembly and Scientific Symposium "Monuments and sites in their setting-conserving cultural heritage in changing townscapes and landscapes", Section IV: Cultural routes: the challenges of linear settings for monuments and sites, (2005)

Thomas-Penette, M., & Berti, E., "The Cultural Routes of the Council of Europe. Presentation in English for Astra Magazine (October 2010)", Retrieved March 6, 2012 from http://www.culture-routes.lu

UNESCO, "Cultural Diversity: Common Heritage, Plural Identities", 31st session of the UNESCO General Conference (2001)

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Συσχέτιση του συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης ιστορικών και παραδοσιακών δομικών υλικών με τη θερμοκρασία (Effect of Temperature on Water Capillary Rise Coefficient of historical and traditional Building Materials)

Ν. Καραγιάννης, Μ. Καρόγλου, Α. Μπακόλας, Α. Μοροπούλου

Σχολή Χημικών Μηχανικών, Τομέας Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ζωγράφου 15780, Αθήνα, Ελλάδα

ABSTRACT

The presence of water is one of the main decay factors in historical and traditional buildings. Capillarity is the most usual mechanism of water penetration into building materials in liquid phase. Capillary water absorption coefficient is one of the most crucial hydrothermal materials properties as it describes the capillary water absorption rate of each material.

Free water uptake experiments which are used for the estimation of the capillary rise coefficient, are widely used for the characterization of historic, but also conservation materials. However, the effect of temperature on the water absorption coefficient of common building materials has not been adequately investigated, or in most of the cases, it is just theoretically predicted.

In this work, the effect of temperature on the capillary rise coefficient of different building materials such as stones, bricks and mortars of various compositions, for four different levels of room temperature (15, 20, 25, 30 °C), will be presented. It was found, a linear dependence of capillary rise coefficient with temperature, for all materials investigated.

In addition, existing European and international standards for the evaluation of capillary rise coefficient were investigated and discussed.

Περίληψη

Η παρουσία του νερού σε υγρή μορφή είναι ένας από τους κυριότερους παράγοντες φθοράς σε ιστορικά και παραδοσιακά κτίρια. Η τριχοειδής αναρρίχηση είναι ο πιο συνήθης μηχανισμός διείσδυσης του νερού μέσα στα δομικά υλικά. Ο συντελεστής τριχοειδούς αναρρίχησης είναι μια από τις πιο σημαντικές παραμέτρους και χαρακτηρίζει τόσο τα δομικά υλικά όσο και τα

υλικά αποκατάστασης καθώς εκφράζει τον ρυθμό ρόφησης υγρασίας μέσω των τριχοειδών πόρων του κάθε υλικού. Εκτός αυτού ο συντελεστής τριχοειδούς αναρρίχησης των δομικών υλικών συνδέεται με άλλες εξίσου σημαντικές παραμέτρους των υλικών όπως η ροφητική ικανότητα και ο συντελεστής διαχυτότητας των υλικών.

Μέχρι σήμερα έχουν πραγματοποιηθεί πολλά πειράματα ρόφησης νερού μέσω των οποίων προσδιορίζεται ο συντελεστής τριχοειδούς αναρρίχησης με τη βοήθεια διαφόρων προτύπων. Ωστόσο, η επίδραση της θερμοκρασίας στον συντελεστή ρόφησης νερού μέσω των τριχοειδών πόρων των ιστορικών και παραδοσιακών δομικών υλικών δεν έχει διερευνηθεί επαρκώς, ή, στις περισσότερες των περιπτώσεων έχει απλά προβλεφθεί θεωρητικά.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η επίδραση της θερμοκρασίας στο συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης διαφορετικών ιστορικών και παραδοσιακών δομικών υλικών, όπως λίθοι, οπτόπλινθοι καθώς και κονιάματα αποκατάστασης με βάση την υδραυλική άσβεστο διαφόρων συνθέσεων, για τέσσερεις διαφορετικές θερμοκρασίες (15, 20, 25 και 30°C). Από τα αποτελέσματα προκύπτει μια γραμμική εξάρτηση του συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης με τη θερμοκρασία, για όλα τα ιστορικά και παραδοσιακά υλικά που διερευνήθηκαν.

Επιπλέον, διερευνώνται και συζητούνται τα υπάρχοντα ευρωπαϊκά και διεθνή πρότυπα για τον προσδιορισμό του παραπάνω συντελεστή.

Εισαγωγή

Ο ρόλος του νερού στον μηχανισμό φθοράς των πορώδων δομικών υλικών είναι γνωστός από την αρχαιότητα. Το νερό (όπως και άλλα υγρά) απορροφάται από τα πορώδη υλικά είτε σε αέρια είτε σε υγρή μορφή αλλά η υγρή του φάση αποτελεί τον κυριότερο μηχανισμό μεταφοράς της υγρασίας στα υλικά [1]. Η ροφητική ικανότητα του νερού, ή με άλλα λόγια, η τάση του υλικού να απορροφά και να μεταφέρει νερό μέσω των τριχοειδών πόρων, είναι ένας από τους κυριότερους μηχανισμούς που ελέγχουν τη μεταφορά διάφορων επιβλαβών υλικών όπως χλωριούχα και θειικά ιόντα μέσα στα δομικά υλικά. Η μέτρηση της ροφητικής ικανότητας επιτυγχάνεται με το πείραμα της τριχοειδούς αναρρίχησης και είναι η απλούστερη τεχνική για το χαρακτηρισμό της ικανότητας των πορώδων υλικών να απορροφούν νερό μέσω των τριχοειδών πόρων. Ο Philip [2] ήταν ο πρώτος που το 1957 εισήγαγε και έκανε χρήση της έννοιας της ροφητικής ικανότητας στην επιστήμη της Γεωλογίας και από τότε πολλοί ερευνητές έχουν υιοθετήσει τον όρο αυτό και στη δική τους έρευνα. Ο Hall την χρησιμοποίησε σαν βασική

παράμετρο για τα δομικά υλικά και συγκέντρωσε ένα μεγάλο αριθμό δεδομένων για αυτή [3], [4], [5]. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων 30 ετών, η μέτρηση της ροφητικής ικανότητας του νερού θεωρείται ότι είναι μια καθιερωμένη μέθοδος για το χαρακτηρισμό των φαινομένων μεταφοράς της υγρασίας στα δομικά υλικά και χρησιμοποιείται σε μια μεγάλη ποικιλία δομικών υλικών.

Η ροφητική ικανότητα S συνδέεται με το συντελεστή απορρόφησης νερού μέσω τριχοειδών πόρων A ενός δομικού υλικού, ο οποίος είναι μία άλλη σημαντική φυσικοχημική ιδιότητα του υλικού καθώς ρυθμίζει την ελεύθερη κυκλοφορία της υγρασίας σε αυτό, σύμφωνα με την εξίσωση (1):

$$A = S \cdot \rho_w \qquad (1)$$

όπου A είναι ο συντελεστής απορρόφησης νερού μέσω τριχοειδών πόρων ($kg/m^2s^{1/2}$), S είναι η ροφητική ικανότητα του νερού ($m/s^{1/2}$) και ρ_w είναι η πυκνότητα του νερού (kg/m^3).

Τα τελευταία χρόνια πολλοί ερευνητές ασχολήθηκαν με τον υπολογισμό του συντελεστή A και με τη σημασία του στη συμπεριφορά πολλών δομικών υλικών. Οι Moropoulou *et al.* [6] χρησιμοποίησαν την παράμετρο αυτή για να προβλέψουν την υγρομετρική συμπεριφορά διάφορων δομικών υλικών. Οι Vejmelkova *et al.* [7] πραγματοποίησαν πολλά πειράματα τριχοειδούς αναρρίχησης και παρουσίασαν τον συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης σαν ένα μέσο για το χαρακτηρισμό των υλικών. Οι Mukhopadhyaya *et al.* [8] καθόρισαν τους συντελεστές τριχοειδούς αναρρίχησης για τρία συχνά χρησιμοποιούμενα δομικά υλικά σε τέσσερεις διαφορετικές θερμοκρασίες του νερού (3°C, 12°C, 21°C και 35°C). Οι Bomberg *et al.*[8] έδειξαν ότι υλικά όπως το πυριτικό ασβέστιο ή ο πωρόλιθος ανήκουν σε μια ευρεία κατηγορία υλικών που χαρακτηρίζονται από έναν σταθερό συντελεστή απορρόφησης νερού μέσω τριχοειδών, ενώ κάποια άλλα υλικά με πιο πολύπλοκο δίκτυο πόρων όπως ένα είδος σκυροδέματος, το Aerated Autoclaved Concrete (AAC), πιθανώς να καταδεικνύουν ένα πιο μεταβλητό συντελεστή. Έτσι πρότειναν μια πειραματική διαδικασία που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εξαγωγή μιας πρακτικής και αναπαραγωγίσιμης τιμής του συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης [9].

Επιπρόσθετα, έχουν αναπτυχθεί πολλά αριθμητικά μοντέλα που χρησιμοποιούν τον συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης για να προβλέψουν την αναρριχόμενη υγρασία μέσα σε μια τοιχοποιία [10], [11], [12], [13]. Παρ' όλα αυτά, μέχρι στιγμής, οι ιδιότητες της μεταφερόμενης υγρασίας γενικά θεωρούνται ανεξάρτητες της θερμοκρασίας. Ένας κύριος λόγος για μια

τέτοια παραδοχή είναι η μη διαθεσιμότητα δεδομένων που να καθορίζουν τις ιδιότητες μεταφοράς υγρασίας των κοινών δομικών υλικών σε σχέση με τη θερμοκρασία.

Μέχρι σήμερα έχουν αναπτυχθεί πολλά ευρωπαϊκά πρότυπα τα οποία καθορίζουν τις πειραματικές συνθήκες που θα πρέπει να επικρατούν κατά τη διάρκεια ενός πειράματος τριχοειδούς αναρρίχησης. Το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 1925-1999 περιγράφει τον προσδιορισμό του συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης για φυσικούς και τεχνητούς λίθους και καταδεικνύει ότι η θερμοκρασία περιβάλλοντος στο οποίο γίνονται οι μετρήσεις θα πρέπει να είναι 20±5ºC. Επιπλέον, πολλές δημοσιευμένες εργασίες αναφέρονται στο ευρωπαϊκό πρότυπο EN 1015-18:2002 το οποίο περιγράφει τον προσδιορισμό του συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης για κονιάματα αλλά καμία από αυτές δεν λαμβάνει υπόψη της την εξάρτηση του συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης με τη θερμοκρασία.

Στη παρούσα εργασία πραγματοποιούνται πειράματα τριχοειδούς αναρρίχησης σε τέσσερεις διαφορετικές θερμοκρασίες περιβάλλοντος και σε ελεγχόμενες συνθήκες σχετικής υγρασίας με σκοπό να διερευνηθεί η εξάρτηση του συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης διαφόρων ιστορικών και παραδοσιακών δομικών υλικών με τη θερμοκρασία.

Πειραματικό μέρος

Στη παρούσα εργασία έχουν επιλεγεί και μελετηθεί τρείς κατηγορίες ιστορικών και παραδοσιακών υλικών (2 οπτόπλινθοι, 2 λίθοι και 6 κονιάματα αποκατάστασης) με διαφορετικά χαρακτηριστικά μικροδομής. Οι οπτόπλινθοι ήταν παραδοσιακού τύπου με κωδικούς *BRM* και *BRI*. Οι λίθοι ήταν ιζηματογενούς προέλευσης και προήλθαν, ο ένας από το Ρέθυμνο της Κρήτης (*SRY*) και ο άλλος από τη Ρόδο (*SRH*). Τα κονιάματα παρασκευάστηκαν χρησιμοποιώντας ως κονία δύο διαφορετικούς τύπους φυσικής υδραυλικής ασβέστου (*NHL2 & NHL3.5*) και τρείς διαφορετικούς λόγους κονίας/αδρανών. Τα χαρακτηριστικά των χρησιμοποιούμενων υλικών παρατίθενται στον Πίνακα 1.

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά δομικών υλικών.

Ν	*ΚΩΔΙΚΟΙ* ***Κονιάματα***	ΛΟΓΟΣ ΚΟΝΙΑΣ/ΑΔΡΑΝΩΝ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
1	*mca1*	25/75	25% NHL 2 & 75% άμμος
2	*mca2*	30/70	30% NHL 2 & 70% άμμος
3	*mca3*	20/80	20% NHL 2 & 80% άμμος
4	*mcb1*	25/75	25% NHL 3.5 & 75% άμμος
5	*mcb2*	30/70	30% NHL 3.5 & 70% άμμος
6	*mcb3*	20/80	20% NHL 3.5 & 80% άμμος
	BRICKS		
7	*BRI*		Παραδοσιακός οπτόπλινθος
8	*BRM*		Παραδοσιακός οπτόπλινθος
	STONES		
9	*SRH*		πωρόλιθος Ρόδου
1	*SRY*		κίτρινος πωρόλιθος Ρεθύμνου

Τα πειράματα τριχοειδούς αναρρίχησης πραγματοποιήθηκαν σε τέσσερεις διαφορετικές θερμοκρασίες περιβάλλοντος και συγκεκριμένα στους 15ºC, 20°C, 25°C και 30°C για όλα τα υλικά. Για αυτές τις θερμοκρασίες περιβάλλοντος, οι θερμοκρασίες του νερού ήταν περίπου 2±0.5ºC χαμηλότερες ενώ η σχετική υγρασία κατά τη διάρκεια των πειραμάτων ήταν 45±10%.

Ελέγχθηκαν τουλάχιστον τρία δείγματα από το κάθε υλικό στις προαναφερθείσες θερμοκρασίες. Οι πλαϊνές πλευρές του κάθε δείγματος δεν σφραγίστηκαν για να μη μειωθεί η εξάτμιση και με αυτό τον τρόπο έγινε προσπάθεια να προσομοιωθούν οι πραγματικές συνθήκες στις οποίες βρίσκονται τα δομικά υλικά. Τα δείγματα ήταν κύβοι ακμής 5±0,1 cm.

Η πειραματική διάταξη σε ένα πείραμα τριχοειδούς αναρρίχησης όπως αυτό περιγράφεται στα ευρωπαϊκά πρότυπα είναι πολύ κοινή και μπορεί να

διαιρεθεί σε δύο στάδια [9]. Κατά τη διάρκεια του πρώτου σταδίου, το δείγμα απορροφά νερό μέσω των τριχοειδών του πόρων και το μέτωπο νερού κατευθύνεται προς τη πάνω πλευρά του δείγματος. Η ποσότητα του απορροφούμενου νερού μετριέται ζυγίζοντας το δείγμα σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα. Ο συντελεστής τριχοειδούς αναρρίχησης προσδιορίζεται από τη κλίση της ευθείας γραμμής, σύμφωνα με την εξίσωση (2):

$$A = \Delta B/(S\sqrt{t}) \qquad (2)$$

όπου A είναι ο συντελεστής τριχοειδούς αναρρίχησης ($kg/m^2s^{1/2}$), ΔB είναι η μάζα του απορροφούμενου νερού που μετριέται σε χρονικές στιγμές t_1 και t_0 αντίστοιχα (kg), S είναι το εμβαδό της επιφάνειας του δείγματος που είναι σε επαφή με το νερό (m^2) και t είναι το χρονικό διάστημα από το χρόνο t_0 έως το χρόνο t_1 (s). Κατά τη διάρκεια του δευτέρου σταδίου, το μέτωπο του νερού έχει φτάσει στο πάνω μέρος του δείγματος και κάθε επιπλέον αύξηση στη μάζα του απορροφούμενου νερού μπορεί να αποδοθεί στη διάχυση του νερού στο δομικό υλικό ή στη μεταφορά του νερού διαμέσω άλλων πόρων εκτός των τριχοειδών.

Στους λίθους *SRH* και στα κονιάματα *mca1*, *mcb1* και *mcb2,* το πρώτο στάδιο δεν ήταν κατάλληλα προσδιορισμένο και για αυτό το λόγο ο υπολογισμός του συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης έγινε σύμφωνα με τη μέθοδο της εφαπτομένης όπως αυτή περιγράφεται στο ιταλικό πρότυπο 11/85.

Αποτελέσματα και συζήτηση

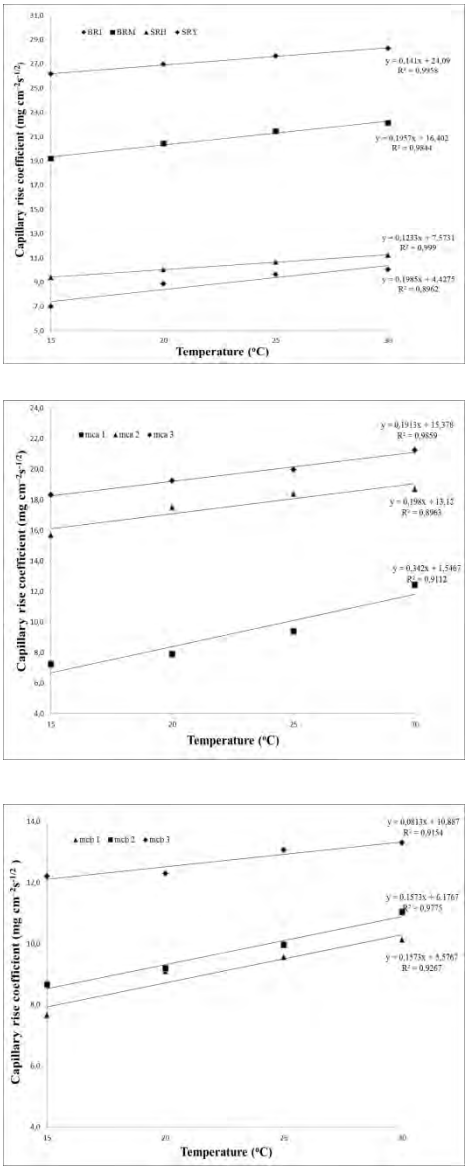
Οι τιμές του συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης των υπό εξέταση δομικών υλικών για τις τέσσερεις διαφορετικές τιμές θερμοκρασίας συνοψίζονται στον Πίνακα 2. Όπως είναι προφανές από τον Πίνακα 2, υπάρχει μια μεταβολή του συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης με τη θερμοκρασία σε όλα τα δείγματα. Πιο συγκεκριμένα, βρέθηκε ότι ο συντελεστής τριχοειδούς αναρρίχησης αυξάνει με τη θερμοκρασία. Η εξάρτηση του συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης με τη θερμοκρασία για όλα τα υλικά φαίνεται στο Σχήμα 1.

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Πίνακας 2. Συντελεστής τριχοειδούς αναρρίχησης $A(mg/cm^2s^{1/2})$ των υλικών για διαφορετικές θερμοκρασίες.

Υλικά	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
mca1	7,2	7,9	9,4	12,4
mca2	15,7	17,5	18,4	18,7
mca3	18,3	19,2	20,0	21,3
mcb1	7,7	9,1	9,6	10,1
mcb2	8,7	9,2	10,0	11,0
mcb3	12,2	12,3	13,1	13,3
BRI	26,2	27,0	27,7	28,3
BRM	19,2	20,5	21,4	22,1
SRH	9,4	10,1	10,7	11,3
SRY	7,0	8,9	9,7	10,1

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές



Σχήμα 1. Συντελεστές τριχοειδούς αναρρίχησης σε διαφορετικές θερμοκρασίες για τα υπό εξέταση δομικά υλικά.

Παρατηρώντας προσεκτικά τον Πίνακα 2 και το Σχήμα 1, φαίνεται εύκολα ότι ο συντελεστής τριχοειδούς αναρρίχησης επιδεικνύει μια γραμμική εξάρτηση με τη θερμοκρασία σε όλα τα δείγματα. Η τυπική απόκλιση σε σχεδόν όλους τους υπολογισμούς ήταν κάτω από 10% και αυτό είναι κάτι το οποίο επιβεβαιώνει την ακρίβεια των πειραμάτων. Ο κορεσμός του

απορροφούμενου νερού μέσω των τριχοειδών στην περίπτωση των πωρόλιθων ήταν πολύ γρήγορος και για το λόγο αυτό οι πωρόλιθοι έχουν τους υψηλότερους συντελεστές τριχοειδούς αναρρίχησης σε σχέση με τα υπόλοιπα υλικά. Από την άλλη πλευρά, οι λίθοι *SRH* και τα κονιάματα *mcb1* παρουσίασαν τους μικρότερους συντελεστές τριχοειδούς αναρρίχησης. Λαμβάνοντας υπόψη μας ότι τα δύο αυτά υλικά έχουν την πιο σύνθετη μικροδομή, συμπεραίνουμε ότι θα πρέπει να υπάρχει άμεση σύνδεση της μικροδομής των υλικών με τον συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης.

Τα κονιάματα *mca* έχουν γενικά υψηλότερους συντελεστές τριχοειδούς αναρρίχησης σε σχέση με τα κονιάματα *mcb*.

Συμπεράσματα

Στη παρούσα εργασία διερευνήθηκε η επίδραση της θερμοκρασίας του αέρα στον συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης διαφόρων ιστορικών και παραδοσιακών δομικών υλικών και παρατηρήθηκε μια γραμμική εξάρτηση του συντελεστή με τη θερμοκρασία. Έτσι, η πρόβλεψη της τιμής του συντελεστή απορρόφησης νερού μέσω τριχοειδών πόρων σε κάθε θερμοκρασία περιβάλλοντος μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις που έχουν προταθεί. Επιπρόσθετα, η υπόθεση ενός συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης, ανεξάρτητου από τη θερμοκρασία, που συχνά υιοθετείται, είναι ξεκάθαρα ανακριβής. Συνεπώς, η εξάρτηση αυτή θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη από όποιον χρησιμοποιεί τον συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης ως μέσο μεταφοράς της υγρασίας διαμέσω των τριχοειδών πόρων και με αυτό τον τρόπο να χαρακτηρίσει ένα ιστορικό και παραδοσιακό δομικό υλικό.

Βιβλιογραφία

[1]. Torraca, G., 1981, *Porous building materials*. ICCROM, Rome.

[2]. Philip, J.R. 1957, 'The Theory of Infiltration: 4. Sorptivity and Algebraic Infiltration Equations', *Soil Science*, 84, pp. 257–264.

[3]. Hall, C., 1977, 'Water Movement in Porous Building Materials–I. Unsaturated Flow Theory and its Application', *Building and Environment*, 12, pp. 117–125.

[4]. Hall, C., 1989, 'Water Sorptivity of Mortars and Concretes: A Review', *Magazine of Concrete Research*, 41, pp. 51–61.

[5]. Hall, C. and Hoff, W.D., 2002, *Water Transport in Brick, Stone and Concrete*, Taylor & Francis Group., London.

[6]. Moropoulou, A., Karoglou, M., Bakolas, A., Krokida, M. and Maroulis, Z. B., 2014, 'Moisture Transfer Kinetics in Building Materials and Components: Modeling, Experimental Data, Simulation' in *Drying and Wetting of Building Materials and Components, Building Pathology and Rehabilitation 4*, ed. J. M. P. Q. Delgado, Springer International Publishing, chapter 2.

[7]. Vejmelkova, E., Pavlikova, M., Jerman, M. and Cerny, R., 2009, 'Free Water Intake as Means of Material Characterization', *Journal of Building Physics*, 33, pp. 29-44.

[8]. Bomberg, M.; Pazera M. and Plagge R., 2005, 'Analysis of Selected Water Absorption Coefficient Measurements'. *Journal of Thermal Envelope and Building Science,* 28, pp.227-243.

[9]. Roels, S., Carmeliet, J., Hens, H., Adan, O., Brocken, H., Cerny, R., Pavlik, Z., Hall, C., Kumaran, K., Pel, L. and Plagge, R., 2004, 'Interlaboratory Comparison of Hygric Properties of Porous Building Materials', *Journal of Thermal Envelope and Building Science*, 27, pp. 307–325.

[10]. Mukhopadhyaya, P. and Kumaran, M. K., 2001, 'Prediction of moisture response of wood frame walls using IRC's advanced hygrothermal model (hygIRC)', 2nd Annual Conference on Durability and Disaster Mitigation in Wood-Frame Housing, Wisconsin, Madison, USA, pp. 221-226.

[11]. Mukhopadhyaya, P., Kumaran, M. K., van Reenen, D. and Tariku F., 2001, 'Influence of sheathing membrane and vapour barrier on hygrothermal response of stucco walls', International Conference on Building Envelope Systems and (ICBEST), Ottawa, Canada, Vol. 1, pp. 269-274.

[12]. Nofal, M., Straver, M. and Kumaran, M. K., 2001, 'Comparison of four hygrothermal models in terms of long-term performance assessment of wood-frame constructions', Proceedings of the 8th conference of Canadian building science - Solutions to moisture problems in building enclosures, Toronto, Canada, Straube J., (Ed.), pp. 118-138.

[13]. Kumaran M. K., Mukhopadhyaya P., Cornick S. M., Lacasse, M. A., Maref W., Rousseau M., Nofal M., Quirt J. D. and Dalgliesh W. A., 2002b, 'A methodology to develop moisture management strategies for wood-frame walls in North America: application to stucco-clad walls', 6th Nordic Building Physics Symposium 2002, Trondheim, Norway.

Νέα προηγμένα υλικά, τεχνολογίες και επεμβάσεις αποκατάστασης

Η ασφαλής χρήση της τεχνολογίας λέιζερ στη συντήρηση των Μνημείων της Ακρόπολης αναφορικά με την ανάδειξη της αρχικής επιφάνειας και των λεπτομερειών της (The safe use of laser technology in the conservation of the Acropolis Monuments with emphasis to the safeguarding of the original surface and its details)

Γ. Φραντζή[1], Κ. Φραντζικινάκη[1], Π. Πουλή[2], Α. Πάνου[1], Α. Μαριδάκη[1], Ε. Παπακωνσταντίνου[1], Κ. Φωτάκης[2]

1. Υπηρεσία Συντήρησης Μνημείων Ακροπόλεως (ΥΣΜΑ),
2. Ίδρυμα Τεχνολογίας και Έρευνας, Ινστιτούτο Ηλεκτρονικής Δομής και Λέιζερ (ΙΤΕ-ΙΗΔΛ)

Abstract

Soot deposits and black crust, products of pollution accumulation, cover extensive parts of the Athens Acropolis monuments surface, especially in areas protected from direct rain-washing. Traces of unique painted decoration and tool marks are often hidden beneath these pollution encrustations and their preservation upon cleaning interventions is a major issue.

Extensive and detailed studies have shown that laser light can be a unique and most effective tool for the safe and controlled removal of these deposits from the fragile and delicate surface of stonework. Comparative studies have proven its superiority to other conventional cleaning techniques such as micro air-abrasive and chemical solutions.

In a collaborative effort the Acropolis Restoration Service (YSMA) and IESL-FORTH have designed and developed a prototype laser system and an innovative laser cleaning methodology that since 2002 are employed by the conservators to restore these unique marble architectural members. The innovation lies on the combination and simultaneous use of infrared (IR) and ultraviolet (UV) radiation, which allows the successful and controllable cleaning, ensuring that the original surface, including its details and historic traces, will be safeguarded.

In this paper, the results of the laser cleaning intervention on the Parthenon West Frieze and the coffered ceiling of the Maidens' Porch in Erechtheion, will be presented with emphasis to the safe revelation of the original surface and its details.

Νέα προηγμένα υλικά, τεχνολογίες και επεμβάσεις αποκατάστασης

Περίληψη

Οι επικαθίσεις αιθάλης και μαύρης κρούστας, προϊόντα της συσσωρευμένης ρύπανσης της ατμόσφαιρας, καλύπτουν εκτεταμένα τμήματα της επιφάνειας του Πεντελικού μαρμάρου των μνημείων της Ακρόπολης των Αθηνών, σε περιοχές που προστατεύονται από το νερό της βροχής. Κάτω από αυτές, διατηρούνται μοναδικά ίχνη τόσο του ζωγραφικού διακόσμου όσο και των λιθοξοϊκών εργαλείων που χρησιμοποιήθηκαν κατά την αρχαία επεξεργασία των μαρμάρων. Η διατήρησή τους αποτελεί μείζον θέμα για τη συντήρηση της επιφάνειας οποιουδήποτε γλυπτού ή αρχιτεκτονικού μέλους.

Η χρήση τεχνολογίας λέιζερ, αποδείχτηκε, μετά από σχετική μελέτη, ως η αποτελεσματικότερη και ασφαλέστερη για την αφαίρεση αυτών των επικαθίσεων από την εύθραυστη και ευαίσθητη επιφάνεια των λίθων.

Σε συνεργασία με την ΥΣΜΑ αναπτύχθηκε από το ΙΗΔΛ-ΙΤΕ ένα πρωτότυπο σύστημα και μια καινοτόμος μεθοδολογία καθαρισμού με λέιζερ που από το 2002 χρησιμοποιείται από τους συντηρητές για τον καθαρισμό μοναδικών μαρμάρινων αρχιτεκτονικών μελών. Η καινοτομία έγκειται στη συνδυασμένη και ταυτόχρονη χρήση των δύο δεσμών λέιζερ (υπέρυθρης και υπεριώδους) που επιτρέπει τον επιτυχή όσο και ελεγχόμενο καθαρισμό, διασφαλίζει τη διατήρηση της αρχικής επιφάνειας και, αποκαλύπτει τις πολύτιμες λεπτομέρειές της και τα ιστορικά τεκμήρια.

Στην παρούσα ανακοίνωση παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του καθαρισμού, σε σχέση με τη διατήρηση και ανάδειξη της αρχικής επιφάνειας και των λεπτομερειών της, στους λίθους της δυτικής Ζωφόρου του Παρθενώνα και στους λίθους της φατνωματικής οροφής της πρόστασης των Κορών του Ερεχθείου.

Εισαγωγή

Οι επικαθίσεις αιθάλης και μαύρης κρούστας, προϊόντα της συσσωρευμένης προερχόμενης από την ατμόσφαιρα ρύπανσης, σε περιοχές προστατευμένες από το νερό της βροχής καλύπτουν εκτεταμένα τμήματα της επιφάνειας του πεντελικού μαρμάρου της Ακρόπολης των Αθηνών. Κάτω από αυτές, διατηρούνται μοναδικά ίχνη τόσο του ζωγραφικού διακόσμου όσο και των λιθοξοϊκών εργαλείων που χρησιμοποιήθηκαν κατά την αρχαία επεξεργασία των μαρμάρων. Κατά τις επεμβάσεις συντήρησης η διατήρηση των αρχαίων τεκμηρίων αποτελεί μείζον θέμα.

Νέα προηγμένα υλικά, τεχνολογίες και επεμβάσεις αποκατάστασης

Η διατήρηση της αρχικής επιφάνειας κατά τον καθαρισμό

Ορισμός και στρωματογραφία

Ο όρος αρχική επιφάνεια αναφέρεται στην επιφάνεια του μαρμάρου που σώζεται κάτω από τις επικαθίσεις και είτε περιέχει όλα τα αρχαία και ιστορικά τεκμήρια, όπως ίχνη λιθοξοϊκών εργαλείων, χρώματα, τυχόν ιστορικές επεμβάσεις συντήρησης, είτε έχει απογυμνωθεί κατά τη διάρκεια των χρόνων και διατηρεί απλά πατίνα. Στις επιφάνειες των αρχιτεκτονικών μελών και γλυπτών των μνημείων της Ακρόπολης σώζονται μέχρι και σήμερα δύο επιφανειακά στρώματα, η «επιδερμίδα» καστανέρυθρου χρώματος και το επίστρωμα υπόλευκου χρώματος. Η καστανέρυθρη «επιδερμίδα» πάχους 30-100μm, εντοπίζεται είτε απευθείας στην επιφάνεια του μαρμάρου, όπου έχει πολύ καλή πρόσφυση και συχνά εισχωρεί και ανάμεσα στους κρυστάλλους (Εικ.7,8), είτε πάνω από τη ζωγραφική διακόσμηση (Εικ.9). Τα κύρια συστατικά της είναι το οξαλικό ασβέστιο, ο φωσφόρος κ.α. [1]. Όπου σώζεται η επιδερμίδα έχει παρατηρηθεί ότι η υποκείμενη επιφάνεια διατηρείται σε εξαιρετική κατάσταση και διασώζει πολλές λεπτομέρειες, όπως ίχνη των λιθοξοϊκών εργαλείων, και ζωγραφικά στρώματα, επομένως αποτελεί κρίσιμη επιφάνεια αναφοράς (Εικ 7). Στη φατνωματική οροφή του Ερεχθείου η «επιδερμίδα» είναι δυσανάγνωστη λόγω της μαύρης απόχρωσής της (Εικ. 9,10).

Το υπόλευκο στρώμα [1] πάχους περίπου 80-120 μm, βρίσκεται σε μεγάλη έκταση πάνω από την «επιδερμίδα», έχει καθιερωθεί να ονομάζεται επίστρωμα και έχει στη σύστασή του κυρίως ανθρακικό ασβέστιο. Στη φατνωματική οροφή του Ερεχθείου πάνω από το επίστρωμα εντοπίζεται ένα τρίτο πορτοκαλόχρωμο επίχρισμα.

Το στρώμα γύψου (από τη μετατροπή του μαρμάρου σε θειικό ασβέστιο) καλύπτει όλα τα παραπάνω στρώματα και επειδή μέχρι ένα ορισμένο πάχος διατηρεί τις λεπτομέρειες του ανάγλυφου η διατήρηση του είναι απαραίτητη.

Η διατήρηση των στρωμάτων αυτών κατά τον καθαρισμό είναι εξαιρετικής σημασίας, διότι αποτελούν την αρχική επιφάνεια.

Καθορισμός ορίου καθαρισμού

Με βάση τα παραπάνω καθορίστηκε η ανάγκη διατήρησης όλων των στρωμάτων, και διαμορφώθηκαν τα εξής υποστρώματα καθαρισμού στους

λίθους της Δυτικής Ζωφόρου του Παρθενώνα και στη φατνωματική οροφή του Ερεχθείου:

α) το μάρμαρο, β) τα επιφανειακά στρώματα, γ) το μάρμαρο με πορτοκαλί απόχρωση και δ) το πορτοκαλόχρωμο επίχρισμα (οι περιπτώσεις γ και δ παρατηρήθηκαν μόνο στη φατνωματική οροφή του Ερεχθείου).

Τα είδη των επικαθίσεων.

Οι επικαθίσεις στους λίθους της Δυτικής Ζωφόρου του Παρθενώνα [2] και στις φατνωματικές πλάκες της οροφής του Ερεχθείου [3], διαπιστώθηκε ότι ποικίλλουν σε πάχος και σύνθεση και με αυτά τα κριτήρια ταξινομήθηκαν ως εξής:

α. Χαλαρές επικαθίσεις αιθάλης, με μικρό πάχος μέχρι 100 μm, με κύρια συστατικά τη γύψο, οργανικές ενώσεις και ίχνη βαρέων μετάλλων. Το στρώμα αυτό ακολουθούσε το ανάγλυφο του υποστρώματος και επέτρεπε την ευχερή παρατήρηση της επιφάνειας.

β. Ομοιόμορφη συμπαγής κρούστα με καλή πρόσφυση στην επιφάνεια και ανάλογη σύνθεση με τις χαλαρές επικαθίσεις. Το πάχος της ήταν μεγαλύτερο, έφθανε τα 150 μm με αποτέλεσμα την δυσχερή παρατήρηση των λεπτομερειών της επιφάνειας.

γ. Μαύρη κρούστα με ανακρυσταλλώσεις ή «δενδριτική» είχε μεγάλο πάχος με αποτέλεσμα την παραμόρφωση της επιφάνειας. Στις κρούστες αυτές ανιχνεύθηκαν όξινο ανθρακικό ασβέστιο, γύψος, αργιλοπυριτικές ενώσεις και άλλα σωματίδια και ρύποι της ατμόσφαιρας.

Η επιλογή της μεθόδου καθαρισμού.

Για την επιλογή της πλέον κατάλληλης μεθόδου πραγματοποιήθηκε συγκριτική μελέτη [4] όλων των γνωστών μεθόδων. Διατυπώθηκαν οι γενικές αρχές, τα κριτήρια και οι απαιτήσεις για το αισθητικό αποτέλεσμα του καθαρισμού και τη διατήρηση της αρχικής επιφάνειας του αρχαίου μαρμάρου, των έγχρωμων επιφανειακών στρωμάτων και του στρώματος της γύψου που περιέχει τις ανάγλυφες λεπτομέρειες. Επίσης επισημάνθηκαν ως απαραίτητες προϋποθέσεις η δυνατότητα ελέγχου της διαδικασίας καθαρισμού και η εξασφάλιση ότι δεν δημιουργούνται παραπροϊόντα που θα μπορούσαν να αλλοιώσουν το χρώμα και την μορφολογία της επιφάνειας. Από την έρευνα [2] διαπιστώθηκε πως μόνο ο καθαρισμός με λέιζερ ικανοποιούσε όλα τα παραπάνω κριτήρια και αντιμετώπιζε όλες τις περιπτώσεις κρούστας, ανεξαρτήτως του υποστρώματος.

Νέα προηγμένα υλικά, τεχνολογίες και επεμβάσεις αποκατάστασης

Καθορισμός των παραμέτρων του καθαρισμού με λέιζερ αναφορικά με το είδος του υποστρώματος

Το αποτέλεσμα της έρευνας αυτής οδήγησε στον σχεδιασμό μιας καινοτόμου μεθοδολογίας καθαρισμού και στη κατασκευή ενός νέου πρωτότυπου συστήματος λέιζερ[1] τα οποία αναπτύχθηκαν από το Ινστιτούτο Ηλεκτρονικής Δομής και Λέιζερ του Ιδρύματος Τεχνολογίας και Έρευνας (ΙΗΔΛ-ΙΤΕ) ειδικά για τις απαιτήσεις των γλυπτών της Ακρόπολης Πρόκειται για ένα Q-switched Nd:YAG σύστημα λέιζερ το οποίο έχει την δυνατότητα να λειτουργεί σε δύο μήκη κύματος, ή πιο απλά να εκπέμπει ακτινοβολία σε δύο «χρώματα» ταυτόχρονα (υπέρυθρο (IR-infrared) στα 1064 nm και υπεριώδες (UV-ultraviolet) στα 355 nm). Η καινοτομία έγκειται στην ταυτόχρονη χρήση των δύο δεσμών λέιζερ, που επιτρέπει στο συντηρητή να αφαιρεί με ακρίβεια επικαθήσεις ρύπων από την επιφάνεια των γλυπτών, διασφαλίζοντας ότι το αρχικό υπόστρωμα δεν θα αποχρωματιστεί [5], ούτε θα φθαρεί περαιτέρω, και αποκαλύπτοντας παράλληλα την μοναδική του επιφάνεια. Η ρύθμιση των παραμέτρων καθορίσθηκαν έτσι ώστε να ανταποκρίνονται σε κάθε περίπτωση κρούστας και υποστρώ ματος [2,6]. Προηγήθηκαν συστηματικές μελέτες για τον καθορισμό της οριακής τιμής της πυκνότητας ενέργειας (Fluence, F) για την κάθε δέσμη η οποία απαιτείται για την "φωτοαποδόμηση" των υπό-μελέτη επιφανειών (πεντελικό μάρμαρο, έγχρωμα επιφανειακά στρώματα, επικαθίσεις ρύπων κλπ). Οι τιμές αυτές αναγράφονται στον πίνακα 1.

Πίνακας 1.

Οριακές τιμές F φωτοαποδόμησης ανά περίπτωση		
Επιφάνεια/υλικό	**IR δέσμη (1064nm)**	**UV δέσμη (355nm)**
Πεντελικό μάρμαρο	>3.50 J/cm^2	>1.20 J/cm^2
Έγχρωμα επιφανειακά στρώματα	>0.70 J/cm^2	παρατηρήθηκε δυσχρωματισμός
Επικαθίσεις αιθάλης και ομοιόμορφη συμπαγής κρούστα	≈0.85 J/cm^2	≈0.60 J/cm^2
Επικαθίσεις δενδριτικής φύσεως	≈1.20 J/cm^2	≈0.80 J/cm^2

[1] Αρ. πατέντας, EPO 03386004.0-1253

Νέα προηγμένα υλικά, τεχνολογίες και επεμβάσεις αποκατάστασης

Οι συνθήκες καθαρισμού (F σε J/cm^2) για τους λίθους της Δυτικής Ζωφόρου ΔΖΠ) [6,11] και για τα φατνώματα της οροφής της πρόστασης των Κορών (ΠΚ) παρουσιάζονται στον πίνακα 2.

Πίνακας 2.

		Είδος επικαθίσεων		
Είδος υποστρώματος		**Αιθάλη**	**Ομοιόμορφη συμπαγής κρούστα**	**Μαύρη κρούστα με ανακρυσταλλώσεις**
Μάρμαρο/ (λευκές ζώνες περιοχές έκπλυσης)	*Λίθοι ΔΖΠ*	Συνδυασμός IR (0.3-0.6) και UV (0.1-0.2) Στην επανάληψη IR (0.6-1.0)	IR: 0.8-1 Στην επανάληψη συνδυασμός IR (0.4-0.8) και UV(0.1-0.15)	IR (1.0-1.8)
	Φατνώματα ΠΚ	IR 0.8-1.0	-	-
Επιφανειακά στρώματα	*Λίθοι ΔΖΠ*	IR (0.5-0.9)	IR (0.5-0.9)	IR (1.5-1.8)
Επιδερμίδα με μαύρη απόχρωση	*Φατνώματα ΠΚ*			
Μάρμαρο με πορτοκαλί χροιά	*Φατνώματα ΠΚ*	IR (0.7-1.3)	IR 1.0-1.5	IR 1.8-2.5
Πορτοκαλόχρωμο επίχρισμα		IR ≈0.6	IR ≈1.0	IR ≈1.2

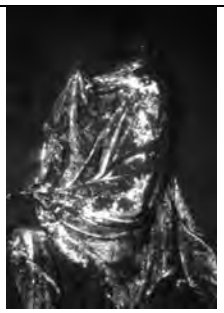
Η ανάδειξη της χρωστικής Αιγυπτιακό μπλε και η τεκμηρίωση της σταθερότητάς της μετά τον καθαρισμό

Με την εφαρμογή της απεικονιστικής μεθόδου Visible - Induced Luminescence imaging (VIL) ή επαγόμενη φωταύγεια της υπέρυθρης ακτινοβολίας από ορατή πηγή, που ανέπτυξε ο φυσικός Δρ. Giovanni Verri [7] αποκαλύφθηκε και χαρτογραφήθηκε η χρωστική Αιγυπτιακό μπλε

Νέα προηγμένα υλικά, τεχνολογίες και επεμβάσεις αποκατάστασης

($CaCuSi_4O_{10}$ ή $CaOCuO(SiO_2)_4$). Η εκπομπή υπέρυθρης ακτινοβολίας από το αιγυπτιακό μπλε, καταγράφεται από ψηφιακή κάμερα με ευαισθησία στην υπέρυθρη ακτινοβολία, στα 800 έως 1000nm , χρησιμοποιώντας ορατές πηγές διέγερσης σε σκοτεινό περιβάλλον. Στις «μονοχρωματικές φωτογραφίες VIL», το Αιγυπτιακό μπλε φαίνεται σα φωτεινό λευκό ενώ όλα τα άλλα υλικά κυμαίνονται σε διαβαθμίσεις του γκρι. Διαπιστώθηκε πως διασώζεται στους καθαρισμένους λίθους της Δυτικής Ζωφόρου κυρίως στις περιοχές που διατηρείται η «επιδερμίδα» (Εικ.3-6). Το ίδιο συμβαίνει και στα φατνώματα πριν και μετά τον καθαρισμό τους (Εικ. 1,2). Είναι αξιοσημείωτο επίσης το γεγονός ότι τόσο σε τρεις από τους λίθους της ζωφόρου (στο εσωτερικό των οφθαλμών των αλόγων) όσο και σε 15 φατνώματα της οροφής της πρόστασης (σε περιοχές απογυμνωμένες από αρχαία στρώματα και μεταγενέστερα επιχρίσματα) ανιχνεύονται υπολείμματα αιγυπτιακού μπλε, τα οποία δεν είναι ορατά μακροσκοπικά (βλ. Πίν. 3).

Πίνακας 3.

	Απεικόνιση Αιγυπτιακού μπλε με τη μέθοδο VIL	
	Απεικόνιση στο ορατό	**Απεικόνιση στο υπέρυθρο**
ΦΑΤΝΩΜΑΤΙΚΗ ΟΡΟΦΗ ΕΡΕΧΘΕΙΟΥ φάτνωμα Φ8Α (Α) Εικ. 1,2		
ΔΥΤ. ΖΩΦΟΡΟΣ ΠΑΡΘΕΝΩΝΑ, ΛΙΘΟΣ ΙΧ, ένδυμα μορφής 17. Εικ. 3,4		

Νέα προηγμένα υλικά, τεχνολογίες και επεμβάσεις αποκατάστασης

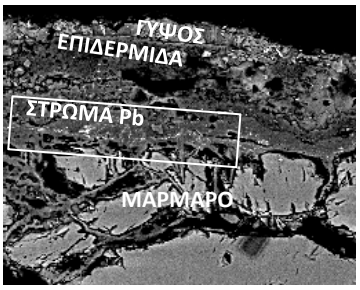
ΔΥΤ. ΖΩΦΟΡΟΣ, ΠΑΡΘΕΝΩΝΑ ΛΙΘΟΣ ΙΧ. Εικ. 5,6		

Η ανίχνευση του αιγυπτιακού μπλε με τη μέθοδο VIL στις καθαρισμένες περιοχές είναι απόδειξη ότι ο καθαρισμός με τη μέθοδο λέιζερ ήταν ασφαλής.

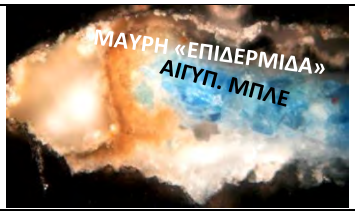
Η διαμόρφωση της στρωματογραφίας της αρχικής επιφάνειας μετά τον καθαρισμό ως απόδειξη της σημαντικότητας της διατήρησης της επιδερμίδας.

Για την περαιτέρω μελέτη της επιφάνειας κατά τον καθαρισμό με λέιζερ πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες στη φατνωματική οροφή του Ερεχθείου [8,9] και συγκρίθηκαν με παλαιότερες τομές [10] από δειγματοληψία σε κίονα του Παρθενώνα και σε λίθο της Δυτικής Ζωφόρου (βλ. Πίν. 4).

Πίνακας 4. Απεικόνιση της στρωματογραφίας

	
Εικ.7: Φατνωματική οροφή Ερεχθείου : Απεικόνιση δείγματος στο SEM (2010)	Εικ. 8: Απεικόνιση δείγματος από το λίθο 15 της ΔΖΠ στο BEI-COMPO X 440 (1994)

Νέα προηγμένα υλικά, τεχνολογίες και επεμβάσεις αποκατάστασης

	
Εικ. 9: Φατνωματική οροφή Ερεχθείου : Απεικόνιση δείγματος στο πολωτικό μικροσκόπιο (2010).	Εικ. 10: Φατνωματική οροφή Ερεχθείου : Απεικόνιση δείγματος στο πολωτικό μικροσκόπιο (2010).

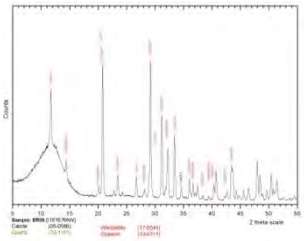
Η σχετική μελέτη υπέδειξε ότι τα ίχνη της ζωγραφικής διακόσμησης σώζονται κάτω από την λεγόμενη «επιδερμίδα». Αυτό επιβεβαιώνεται μέσω της παρατήρησης των δειγμάτων, τόσο με εξέταση στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης όσο και με παρατήρηση στο πολωτικό- πετρογραφικό μικροσκόπιο. Διαπιστώθηκε ότι σώζονται ίχνη κυανής χρωστικής αλλά και της ζωγραφικής προετοιμασίας με λευκό του μολύβδου κάτω από το στρώμα των οξαλικών. Επίσης διαπιστώθηκε ότι το στρώμα της γύψου είναι δυνατό να διατηρηθεί και μετά την απομάκρυνση της κρούστας (Εικ. 10[2]) [8,9].

Πίνακας 5. Αποτίμηση αρχικής επιφάνειας μετά τον καθαρισμό

Θέση εκτίμησης	**Παρατηρήσεις**	**Μέθοδος εξέτασης-ανάλυσης**	**Αποτελέσματα**
Δείγμα από μαρμάρινο συμπλήρωμα (1960) του λίθου ΔΖ11 της δυτικής Ζωφόρου [10]	Μετά τον καθαρισμό με λέιζερ (IR)	Πολωτικό μικροσκόπιο	Διακρίνεται η διατήρηση του στρώματος γύψου Εικ. 10

[2] Φωτογραφία στο πολωτικό μικροσκόπιο, Ε. Δήμου, (ΙΓΜΕ)

Νέα προηγμένα υλικά, τεχνολογίες και επεμβάσεις αποκατάστασης

Διάζωμα μεταξύ Φ3Δ-Φ4Δ	Καθαρισμένο με λέιζερ λευκό επίστρωμα και πορτοκαλί επίχρισμα	XRD	Διατήρηση της γύψου, και των οξαλικών αλάτων (γουεδελλίτης, γουεβελλίτης) [9]  Εικ. 11
Φ3Δ– ουρανίσκος	Καθαρισμένη περιοχή με λέιζερ	Στοιχειακή Ανάλυση με την τεχνική XRF πριν αλλά και μετά τον καθαρισμό.	Πριν: Υψηλό ποσοστό θείου (συστατικό της γύψου), σίδηρος, μόλυβδος. Μετά: σίδηρος, ενώ διατηρείται η ανίχνευση μικρής συγκέντρωσης μολύβδου πιθανά από τα υποκείμενα ζωγραφικά στρώματα. [9.]

Για την επιβεβαίωση της ασφάλειας του καθαρισμού πραγματοποιήθηκε ανάλυση με XRD σε δείγμα σκόνης (Εικ. 11) από περιοχή καθαρισμένη με λέιζερ και διαπιστώθηκε η διατήρηση των οξαλικών στρωμάτων (επιδερμίδας) και, της γύψου. Σε αρκετές περιοχές έγινε για τον ίδιο σκοπό στοιχειακή ανάλυση με την τεχνική XRF πριν και μετά τον καθαρισμό (βλ. Πίν.5).

Τα αποτελέσματα του καθαρισμού στη διατήρηση και ανάδειξη της αρχικής επιφάνειας, των λεπτομερειών της και των ιστορικών τεκμηρίων. Γενικά συμπεράσματα.

Με τον καθαρισμό αποκαλύφθηκαν πολύτιμες πληροφορίες στη γλυπτή επιφάνεια της Δυτικής Ζωφόρου [11], όπως ίχνη λιθοξοϊκών εργαλείων και κυανής χρωστικής. Επίσης διαπιστώθηκε ότι τα επιφανειακά στρώματα εκτείνονταν σε μεγαλύτερη έκταση από την αρχικά καταγεγραμμένη κατάσταση. Αποκαλύφθηκαν ακόμη καρφίδες και κονιάματα παλαιότερων επεμβάσεων συντήρησης, που καλύπτονταν από τις

επικαθίσεις των ρύπων. Μεγάλη πρόκληση αποδείχθηκε ο καθαρισμός μαύρων κρουστών ιδιαίτερα στους αστραγάλους στη φατνωματική οροφή του Ερεχθείου, καθώς η απομάκρυνσή τους έθετε σε κίνδυνο την ακεραιότητα των υποκείμενων στρωμάτων γι' αυτό και επιλέχθηκε η μερική αφαίρεσή τους ώστε ν' απομειωθεί το πάχος τους. Ιδιαιτέρως ευαίσθητα αποδείχτηκαν τα πορτοκαλόχρωμα επιχρίσματα και η «επιδερμίδα» λόγω της μαύρης απόχρωσής της. Τυχόν αφαίρεσή της θα σήμαινε και την απομάκρυνση των τελευταίων ιχνών του ζωγραφικού διακόσμου εφόσον έχει διαπιστωθεί ότι κάτω από αυτήν σώζονται όλα τα αρχαία τεκμήρια. Έτσι η αποκάλυψη κυανής χρωστικής μετά τον καθαρισμό σε αρκετά φατνώματα αποδεικνύει και την ασφάλεια της μεθόδου.

Συνοψίζοντας, το γενικό συμπέρασμα που προκύπτει συνδυάζοντας όλα τα παραπάνω σε σχέση με την ασφάλεια του καθαρισμού αναφορικά με την ανάδειξη των λεπτομερειών της αρχικής επιφάνειας είναι ότι με το λέιζερ εξασφαλίζεται η διατήρηση των επιφανειακών στρωμάτων που ορίστηκαν ως αρχική επιφάνεια και αναδεικνύονται οι λεπτομέρειες της.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Kouzeli, K., Beloyannis, N., Tolias, C., Doganis, Y., "Monochromatic layers with or without oxalates on the Parthenon", International Symposium, The oxalate films: Origin and significance in the conservation of the works of art, Milano, 25-26/10/1989, 327-335. Milan: Centro CNR Gino Bozza.

Παπακωνσταντίνου, Ε., Φραντζικινάκη, Κ., Μελέτη καθαρισμού της Δυτικής Ζωφόρου, Μελέτη Αποκαταστάσεως του Παρθενώνος, εκδ. ΥΠΠΟ-ΕΣΜΑ, Αθήνα, τομ. 7 (2002).

Φραντζή, Γ., Μαριδάκη, Α., Γαρμπής, Δ. Παπακωνσταντίνου, Ε., «Η Συντήρηση της φατνωματικής οροφής της Πρόστασης των Κορών», εκδ. ΥΠΟΠΑΙΘ- ΕΣΜΑ, Αθήνα, 4-6/10/2013 (υπό έκδοση).

Σκουλικίδης, Θ., «Πρόταση για τον καθαρισμό των μνημείων της Ακρόπολης» Μελέτη Αποκαταστάσεως του Παρθενώνος, εκδ. ΥΠΠΟ-ΕΣΜΑ, Αθήνα, τομ. 3γ (1994).

Practical issues in laser cleaning of stone and painted artefacts: optimization procedures and side effects, P. Pouli, M. Oujja, M. Castillejo, Applied Physics A 106(2), 447-464 (2012).

Frantzikinaki, K., Marakis, G, Panou, A., Vasiliadis, C, Papakonstantinou, E., Pouli, P., Ditsa, Th., Fotakis, C., Zafiropulos, V., "The Cleaning of the Parthenon West Frieze by Means of Combined Infrared and Ultraviolet Radiation", 6th International Conference on Lasers in the Conservation of

Νέα προηγμένα υλικά, τεχνολογίες και επεμβάσεις αποκατάστασης

Artworks (LACONA V) eds. Nimmrichter, J., Kautek, W., Schreiner, M., Vienna, Austria, 21/09-25/09/2005, 97-104.
Verri, G., The use and distribution of Egyptian blue: a study by visible-induced luminescence imaging, Στο: Middleton, A.- Uprichard, K. (eds.), The Nebamun wall paintings: conservation, scientific examination and display at the British Museum, 41-50. London: Archetype Publications 2008.
Φραντζή, Γ., Μαριδάκη, Α., Γαρμπής, Δ. Παπακωνσταντίνου, Ε., «Η Συντήρηση της φατνωματικής οροφής της Πρόστασης των Κορών», εκδ. ΥΠΟΠΑΙΘ- ΕΣΜΑ, Αθήνα, 4-6/10/2013 (υπό έκδοση).
Frantzi, G., Maridaki, A., Papakonstantinou, E., Verri, G., Sotiropoulou, S., Brekoulaki, H., "The revelation of the decorative pattern of the coffered ceiling on the porch of the maidens in the Erechtheion" , International Round Table on Greek and Roman Sculptural and Architectural Polychromy, Athens, 7-8 November 2013
Παπακωνσταντίνου, Ε., "Φυσικοχημικές παρατηρήσεις στη δυτική ζωφόρο του Παρθενώνα", Μελέτη Αποκαταστάσεως του Παρθενώνος, εκδ. ΥΠ. ΠΟ – ΕΣΜΑ, τομ. 3γ (1994) 17-38.
Πάνου, Α., Φραντζικινάκη, Κ., Παπακωνσταντίνου, Ε., "Η συντήρηση και ο καθαρισμός της δυτικής ζωφόρου του Παρθενώνα" 6η Διεθνής Συνάντηση για την Αποκατάσταση των Μνημείων Ακροπόλεως, ΥΠ. ΠΟ – ΕΣΜΑ, Αθήνα, 4-6/10/2013 (υπό έκδοση).

Νέα προηγμένα υλικά, τεχνολογίες και επεμβάσεις αποκατάστασης

Ο ρόλος των σωματιδίων νανο-SiO_2 στις παραδοσιακές κονίες
(The role of nano-SiO2 particles in traditional binders)

Μ. Στεφανίδου

Επικ. Καθηγήτρια, Εργαστήριο Δομικών Υλικών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, ΑΠΘ

Abstract

The important role of binders in the construction sector registered in the high quality constructions, held for centuries, in different environments and is examples of aesthetics and engineering. The activity of the cement binder is attributed to the proportion of chemically active ingredients, their fineness, and the temperature and humidity conditions under which they operate.The nano-silica particles are broad used for this reason, rather than random, since the silicon in the form of silica-fume and in micro-scale, has been used extensively in past decades with positive results.

In the present work, a number of traditional binders such as clay, lime and pozzolan are nano-modified and the pastes prepared have been tested for their mechanical, physical and microstructural properties. The experimental test show that the mechanical properties are improved, particularly in the early ages, while significant differences are recorded in the structure as more compact materials with lower porosity were produced. The introduction of nano-silica in traditional binders seems to work favorably as regards important properties that control the durability of materials, maintaining at the same time the compatibility with the structure of the original material.

Περίληψη

Ο σημαντικός ρόλος των συνδετικών κονιών στον τομέα των κατασκευών είναι εγγεγραμμένος στις κατασκευές υψηλής ποιότητας που διατηρούνται για αιώνες, σε διαφορετικά περιβάλλοντα και αποτελούν παραδείγματα αισθητικής και μηχανικής. Τα τελευταία χρόνια, η τεχνολογία παρέχει εύκολα και φτηνά, σωματίδια σε νανο-διαστάσεις, με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, τα οποία ελέγχονται στη χρήση τους στο δομικό τομέα και στην επίδρασή τους στις ιδιότητες των παραδοσιακών κονιών. Τα νανοσωματίδια νανο-πυριτίας έχουν ευρέων χρησιμοποιηθεί για το λόγο

αυτό, όχι τυχαία, αφού το πυρίτιο με τη μορφή silica-fume σε μικρο - διάσταση έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς τις προηγούμενες δεκαετίες με θετικά αποτελέσματα. Στην παρούσα εργασία μια σειρά από παραδοσιακές κονίες όπως πηλός, ασβέστης και ποζολάνη έχουν νανο-τροποποιηθεί και τα μίγματα παστών που παρασκευάστηκαν έχουν ελεγχθεί ως προς τις μηχανικές, φυσικές και μικροδομικές τους ιδιότητες. Από τον πειραματικό έλεγχο προκύπτει ότι βελτιώνονται οι μηχανικές αντοχές, ενώ σημαντικές διαφορές καταγράφονται στη δομή αφού δημιουργούνται πιο συμπαγή υλικά με μικρότερο πορώδες. Η εισαγωγή νανοσωματιδίων σε παραδοσιακές κονίες φαίνεται να λειτουργεί ευνοϊκά ως προς σημαντικές ιδιότητες που ελέγχουν την ανθεκτικότητα των υλικών διατηρώντας τη συμβατότητα τους με την δομή των αυθεντικών υλικών, αλλά πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στο σχεδιασμό και εκτέλεσή τους παράμετροι όπως ο έλεγχος του νερού και η προσεκτική συντήρησή τους.

Εισαγωγή

Οι συνδετικές κονίες στον τομέα των κατασκευών είναι συνήθως ανόργανα, φυσικά υλικά ή βιομηχανικά που όταν αναμιγνύονται με νερό παράγουν πλαστικά και λειτουργικά μείγματα και όταν στεγνώσουν σκληραίνουν και αναπτύξουν αντοχή. Ο ιδιαίτερα σημαντικός ρόλος του είδους των κονιών στις ιδιότητες των κονιαμάτων και στη συμπεριφορά τους στο περιβάλλον των κτιρίων γίνεται εύκολα αντιληπτός από τη συστηματική μελέτη κονιαμάτων διαφορετικών τεχνολογικών χαρακτηριστικών που έχουν λειτουργήσει σε διαφορετικά περιβάλλοντα. Το θέμα της συμβατότητας των κονιαμάτων επεμβάσεων με τα υπάρχοντα παλαιά κονιάματα των μνημείων ή ιστορικών κτιρίων είναι στενά συνδεδεμένος με την επιλογή του είδους της συνδετικής κονίας. Εν τούτοις οι διαθέσιμες στην αγορά συνδετικές κονίες δεν πληρούν πάντα τα κριτήρια καταλληλότητας με συνέπεια συχνά να εμφανίζονται μεταγενέστερα προβλήματα. Η δραστικότητα των συνδετικών κονιών αποδίδεται στο ποσοστό των ενεργών συστατικών τους, τη λεπτότητα τους και τις συνθήκες κάτω από τις οποίες λειτούργησαν. Η νανοτεχνολογία σήμερα παρέχει σωματίδια σε διάσταση νάνο. Η διάσταση αυτή είναι τεχνολογικά δύσκολο να επιτευχθεί γι'αυτό η παραγωγή και ο έλεγχός των σωματιδίων οφείλεται κυρίως στην εξέλιξη της τεχνολογίας. Τα νανοσωματίδια έχουν κρυσταλλική ή άμορφη δομή, βρίσκονται ανάμεσα σε συμπαγή και ατομικές δομές και μπορεί να κρυσταλλώνονται σε διαφορετικά συστήματα. Βασικά χαρακτηριστικά τους είναι η υψηλή ειδική επιφάνεια (σχέση επιφάνειας με τον όγκο τους) και η υψηλή καθαρότητά τους ενώ βασικές ιδιότητές τους είναι η βελτιωμένη χημική ικανότητα, η καταλυτική

δράση, η ικανότητα απορρόφησης αερίων, η δραστικότητα και η κρυσταλλογραφική δομή που είναι ίδια σε σχέση με το bulk υλικό. Στο δίλλημα της σύνθεσης υλικών συμβατών με τα αυθεντικά αλλά παράλληλα με αυξημένη ανθεκτικότητα απέναντι σε διαβρωτικούς παράγοντες, ο έλεγχος της χρήσης νανοσωματιδίων στα μίγματα των υλικών αποκατάστασης έχει αυξημένο ερευνητικό ενδιαφέρον.

Υλικά

Στην παρούσα εργασία οι ιδιότητες των παραδοσιακών συνδετικών υλικών που χρησιμοποιούνται συνοψίζονται στον πίνακα1. Λεπτομερής ανάλυση έχει γίνει σχετικά στις πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή κανονικών παστών σύμφωνα με το πρότυπο EN196-3: 1994. Οι κόκκοι πηλού ήταν κάτω από 431.96μm. Το νανο-SiO_2 που χρησιμοποιήθηκε ήταν μέσου μεγέθους κόκκων 14 nm και προστέθηκε σε ποσοστό 1.5%κ.β. των κονιών. Η μεθοδολογία εισαγωγής του ήταν μετά την ανάμιξη με προ-ζυγισμένη ποσότητα νερού (200 ml) σε υπέρηχους για 60 λεπτά, χρησιμοποιώντας το σύστημα HYDRO 2000MU Mastersizer2000, προκειμένου να περιοριστεί η συσσωμάτωση. Το νανο-SiO_2 που χρησιμοποιήθηκε ήταν εμπορικά διαθέσιμο από την εταιρεία Sigma Aldrich. Η κατανομή των μεγεθών των κόκκων των συνδετικών κονιών καταγράφηκε χρησιμοποιώντας Scirocco Mastersizer 2000 αναλυτή σωματιδίων Malvern και η λεπτότητα τους καταγράφεται στον Πίνακας 1.

Πίνακας 1. Φυσικές ιδιότητες πρώτων υλών

	d(0.1) μm	d(0.5) μm	d(0.9) μm	Sp.gravity (g/ml)	Sp. Surface area (m^2/g)
Lime	1.20	3.09	10.80	2.471	2.250
Pozzolan	1.50	4.30	11.60	2.403	1.820
Clay	6.61	69.78	431.96	2.621	0.147
nano-SiO_2			14nm	2.3(lb/cu. ft)	200±25

Με τις κονίες παρασκευάστηκε σειρά παστών κανονικής συνεκτικότητας όπως φαίνεται στον πίνακα2 και ελέγχθηκαν νωπές και

σκληρυμένες ιδιότητες σε ηλικία 90 ημερών. Η χρήση ρευστοποιητή εξασφαλίζει τη χαμηλή περιεκτικότητα των μιγμάτων σε νερό.

Πίνακας 2. Σύσταση παστών

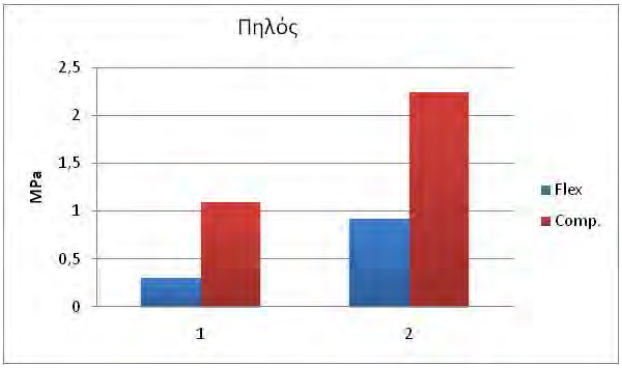
	Πηλός	Ασβέστης	Ποζολανη	nanoSiO2 (%w.w.)	Ρευστοποιητής (%w.w)	Vicat (mm)	W/B
1	1					4	0,333
2	1			1,5	1	5	0,533
3		1				3	0,583
4		1		1,5	1	4	0,583
5		1	1			8	0,616
6		1	1	1,5	1	7	0,616

Ο έλεγχος των αντοχών έγινε σε πρίσματα 2,5x2,5x10cm και καταγράφονται σε ηλικία 3 μηνών. Το πορώδες προσδιορίστηκε με τη μέθοδο RILEM CPC11.3 ενώ η κατανομή των πόρων έγινε με υδραργυρικό ποροσίμετρο (Quantachrome Macro).

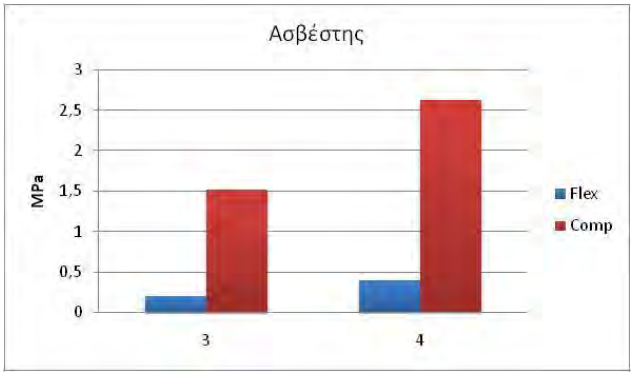
Αποτελέσματα

Σημαντική αύξηση των μηχανικών ιδιοτήτων καταγράφεται στα νανο-τροποποιημένα μίγματα που υποδηλώνει το θετικό ρόλο των νανο-σωματιδίων στη δομή των παραδοσιακών αυτών κονιών (Εικ.1-3). Οι ασβεστόπαστες παρουσιάζουν σημαντική αύξηση της αντοχής όταν νανο-τροποποιούνται (23% για την κάμψη και 75% αύξηση για τη θλιπτική αντοχή). Αντίστοιχα σε πάστες που συνδυάζεται ασβέστης και ποζολάνα, η αύξηση που καταγράφεται είναι 20% για την κάμψη και 31% για τη θλίψη αντίστοιχα. Η αύξηση αυτή δεν είναι ξεκάθαρο αν οφείλεται στη χημική δράση των σωματιδίων ή σε μηχανικές διεργασίες όπως η βελτίωση του packing factor και της πυκνότητας των υλικών.

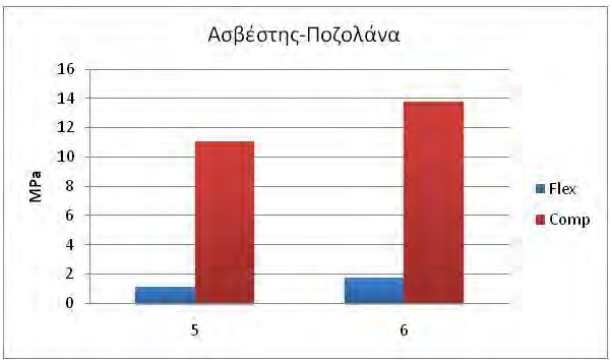
Νέα προηγμένα υλικά, τεχνολογίες και επεμβάσεις αποκατάστασης



Εικόνα 1. Μηχανικά χαρακτηριστικά παστών με πηλό



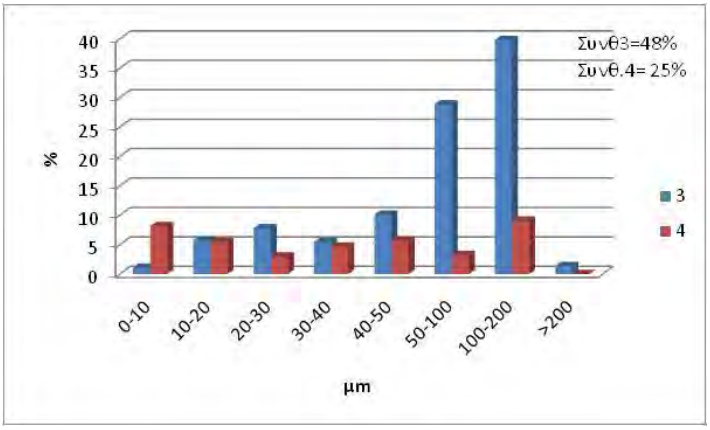
Εικόνα 2. Μηχανικά χαρακτηριστικά παστών με ασβέστη



Εικόνα 3. Μηχανικά χαρακτηριστικά παστών με ασβέστη και ποζολάνα

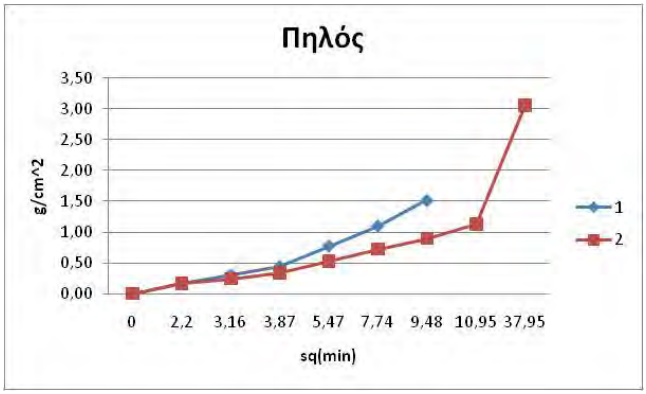
Ο έλεγχος του πορώδους επίσης δείχνει τη μείωση των μεγάλων πόρων στα νανοτροποποιημένα μίγματα και τη μείωση του ενεργού πορώδους γενικότερα (Εικ . 4)

Νέα προηγμένα υλικά, τεχνολογίες και επεμβάσεις αποκατάστασης



Εικόνα 4. Μεταβολή του πορώδους και της κατανομής των πόρων σε ασβεστόπαστες

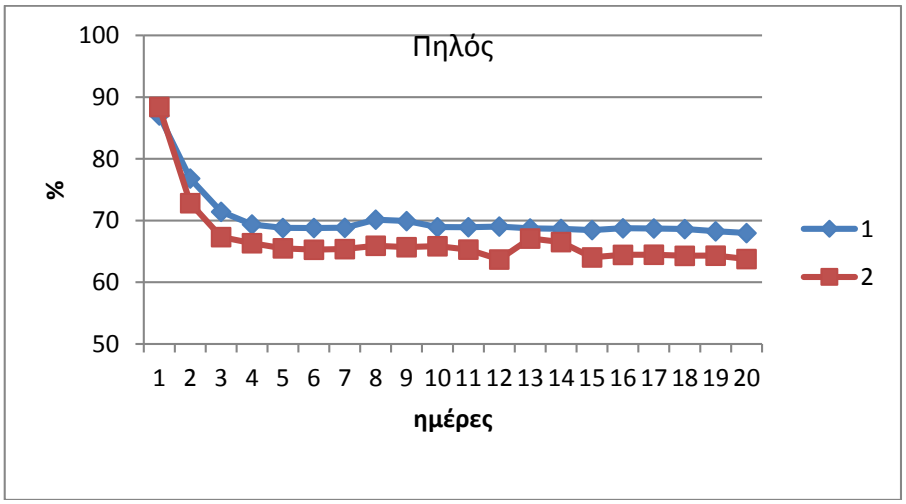
Η τάση τριχοειδούς απορρόφησης που καταγράφηκε στην περίπτωση των πηλοκονιαμάτων δείχνει ότι ο πηλός καταρρέει μετά λίγη ώρα στην επαφή με το νερό ενώ παραμένει συνεκτικός στα δοκίμια με την πρόσμιξη με νανο-πυριτία (Εικ.5). Στα κονιάματα με ασβέστη και ασβέστη και ποζολάνα καταγράφεται επίσης μικρότερη απορρόφηση στα νανο-τροποποιημένα μίγματα.



Εικόνα 5. Τριχοειδής απορρόφηση παστών με πηλό

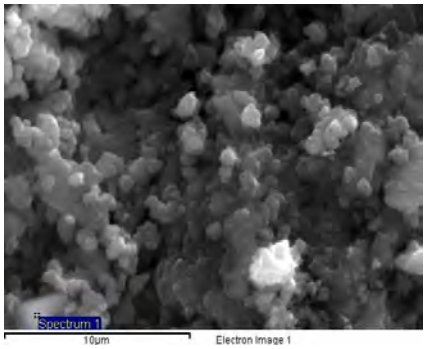
Η συρρίκνωση των παστών παραμένει σημαντική ακόμα και μετά την τροποποίηση και αυτό πιθανά οφείλεται στον μηχανισμό δράσης των νανοσωματιδίων. Η συμπεριφορά τους ως σημεία έντονης πυρήνωσης, οδηγεί σε ένα στοιχειώδες «μάζεμα-συρρίκνωση» της δομής γύρω από κάθε νανοσωματίδιο, οπότε και προκύπτει διαφορά στον συνολικό όγκο του δοκιμίου περίπου παρόμοια με αυτή που προκύπτει από τη συρρίκνωση της

κονίας χωρίς νανοσωματίδια (Εικ 6).

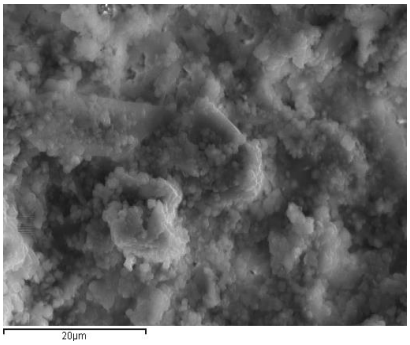


Εικόνα 6. Συρρίκνωση των παστών με πηλό με και χωρίς νανο-πυριτία

Ο μικροδομικός έλεγχος επίσης των παστών επιβεβαιώνει τη συμπαγή τους δομή και τη μείωση των πόρων στην περίπτωση των νανο-τροποποιημένων παστών (Εικ 7).



Εικόνα 7. Δομή πάστας με ασβέστη-ποζολάνη χωρίς νανο



Δομή με νανοπυριτία

Συμπεράσματα

Νέα προηγμένα υλικά, τεχνολογίες και επεμβάσεις αποκατάστασης

Μια σειρά παστών που βασίζεται στις παραδοσιακές συνδετικές κονίες παρήχθησαν εργαστηριακά και νανοσίλικα προστέθηκε σε ποσοστό 1,5%κ.β. του συνδετικού υλικού. Οι μηχανικές και φυσικές ιδιότητες που καταγράφηκαν σε ηλικία 90 ημερών έδειξαν στην περίπτωση παστών με πηλό αυξημένη αντοχή και ανθεκτικότητα σε επαφή τους με το νερό και συμπαγή δομή. Οι ίδιες παρατηρήσεις καταγράφονται και στις άλλες πάστες. Ο σχηματισμός πυκνής δομής με μειωμένους πόρους διαμέτρου μεγαλύτερης από 50μm φαίνεται ότι είναι υπεύθυνη για τις βελτιωμένες ιδιότητες που καταγράφονται.

Στον τομέα της συντήρησης και της προστασίας μνημείων και ιστορικών κτιρίων, το ανοιχτό ερώτημα είναι το πώς να γίνει επέμβαση με συμβατά με τα παλιά υλικά, τα οποία θα είναι ανθεκτικά σε παράγοντες φθοράς. Τα νανο-σωματίδια πυριτίας θα μπορούσαν να τροποποιήσουν τη μικροδομή των υλικών έτσι ώστε οι ιδιότητες και η συμπεριφορά (όπως το πορώδες και η αντοχή) να είναι ισοσκελισμένες και τα υλικά να λειτουργήσουν προς όφελος της μακροζωίας της μνημειακής κληρονομιάς. Ενθαρρυντικά φαίνονται τα αποτελέσματα που συγκεντρώθηκαν από τις δοκιμές που ενσωματώνουν σωματίδια νανο-πυριτίας σε παραδοσιακές συνδετικές κονίες όσον αφορά στην ανθεκτικότητα και στις μηχανικές ιδιότητες τους.

Acknowledgements

Η εργασία πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του Προγράμματος ΘΑΛΗΣ-ΑΕΙΣ "Αειφορία και συμβατότητα προηγμένων υλικών και τεχνολογιών για την προστασία μνημείων της Πολιτιστικής Κληρονομιάς: ανάπτυξη κριτηρίων και μεθοδολογιών ελέγχου" με επιστημονικά υπεύθυνη την Καθ. Α. Μοροπούλου, με τη χρηματοδότηση του Επιχειρησιακού Προγράμματος "Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση" του Υπουργείου Πολιτισμού, Παιδείας και Θρησκευμάτων

Βιβλιογραφία

Dracky M., Slizova S., Ziegenbalg G. “A Nano Approach to Consolidation of Degraded Historic Lime Mortars” Journal of Nano Research 8, (2009), 13-22

Fernandez J.M., Duran A., Navarro-Blasco, Lanas J., Sirera R., Alvarez J.I. “Influence of nanosilica and a polycarboxylate ether superplasitcizer on the performance of lime mortars” *Cement and Concrete Research* 43, (2013) 12-24

Νέα προηγμένα υλικά, τεχνολογίες και επεμβάσεις αποκατάστασης

Stefanidou M.“Nano-modified lime-pozzolan pastes” *Romanian Journal of Materials,* 43 (2), (2013), 223-226
Maravelaki P. Lionakis E., Kapridaki C., Verganelaki A. “Physico-chemical characterization of hydraulic mortars containing nano-titania for restoration applications” 8th International Conference on Nanosciences & Nanotechnologies Thessaloniki 14-15, 2011
V. Daniele et. Al “The nanolimes in Cultural Heritage conservation: characterization and analysis of the carbonation process” *Journal of cultural heritage* 9 (2008), 294-301
M. Schmidt, K. Amrhein, T. Braun, C. Glotzbach, S. Kamaruddin, R. Tänzer, Nanotechnological improvement of structural materials – Impact on material performance and structural design, *Cem. Concr. Comp*. 36 (2013) 3-7
A. Duran, I. Navarro-Blasco, J.M. Fernández, J.I. Alvarez, Long-term mechanical resistance and durability of air lime mortars with large additions of nanosilica, *Constr. Build. Mater*. 58 (2014) 147-158

Νέα προηγμένα υλικά, τεχνολογίες και επεμβάσεις αποκατάστασης

Συμβατά, αειφόρα νανοϋλικά στερέωσης και προστασίας μνημείων, σύγχρονων και παραδοσιακών κτιρίων (Compatible, sustainable nanomaterials for the consolidation and protection of the monuments, modern and traditional buildings)

Χ. Καπριδάκη, Α. Βεργανελάκη, Ν. Καλλίθρακας-Κόντος, Ν. Μαραβελάκη

Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, Πολυτεχνείο Κρήτης

Abstract

The intensive weathering of monumental architecture in urban cities implies the utilization of effective consolidants and protective agents in the conservation field. In an attempt to improve the characteristics of nanomaterials used in building materials as agents against weathering, two innovative, compatible and sustainable nanocomposites were deigned and developed; a microporous consolidant (Si-Ox) and a water repellent material with self-cleaning properties (Si-Ti).

The Si-Ox nanocomposite is based on the modification of tetraethoxysilane (TEOS) through the incorporation of amorphous nano-calcium oxalate (CaOx). The CaOx was selected on the grounds of the remarkable weathering resistance due to the combination of CaOx with silica, often encountered in well-preserved monumental surfaces (patinas) and natural processes. Si-Ox characterized by a uniform and cohesive structure without micro-crackings. In addition, the water repellent and self-cleaning Si-Ti was synthesized with the modification of the silicate matrix by incorporating both synthesized nano-TiO_2 particles and an organosilane hydroxyl-terminated polythimethylsiloxane (PDMS) in the presence of oxalic acid.

The physical-microstructural characterization both of the nanocomposites was performed using analytical techniques such as: FTIR, BET, SEM, TEM and AFM. Finally, the designed nanocomposites were assessed as consolidant, protective and self-cleaning materials for application to the lithic substrates of monuments and modern buildings. The experimental syntheses of the nanocomposites were based on low energetic demands in

order to be feasible their industrial production. The Si-Ox product is already available in the national and international market.

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια κρίνεται ως επιτακτική ανάγκη η ανάπτυξη καινοτόμων υλικών προστασίας των κτιρίων απέναντι στους περιβαλλοντικούς παράγοντες φθοράς. Ο στόχος της παρούσας έρευνας αφορά στη σύνθεση καινοτόμων, χημικά συμβατών και αειφόρων υλικών, χαμηλού ενεργειακού αποτυπώματος, με σκοπό την εφαρμογή τους στην μνημειακή, παραδοσιακή και σύγχρονη αρχιτεκτονική δόμηση. Ειδικότερα, αναπτύχθηκαν δύο αειφόρα υλικά στερέωσης και προστασίας/αυτό-καθαρισμού μετά από τροποποίηση της βασικής πυριτικής τους μήτρας.

Τα καινοτόμα υλικά στερέωσης (Si-Ox) και προστασίας/αυτό-καθαρισμού (Si-Ti) συντέθηκαν μέσω της διαδικασίας *sol-gel* του αλκοξυσιλανίου τετρα-αιθοξυσιλάνιο (TEOS). Στο αλκοολούχο στερεωτικό υλικό Si-Ox η τροποποίηση της πυριτικής μήτρας πραγματοποιήθηκε με την ενσωμάτωση νανοσωματιδίων οξαλικού ασβεστίου (CaOx). Η επιλογή του CaOx εμπνεύσθηκε από μελέτες που επιβεβαίωσαν την ευεργετική του δράση σε καλοδιατηρημένες επιφάνειες μνημείων της Μεσογείου, συμπεριλαμβανομένου και του Παρθενώνα. Αντίστοιχα η τροποποίηση του πυριτικού δικτύου του προστατευτικού/αυτό-καθαριζόμενου υλικού Si-Ti επετεύχθη με την ενσωμάτωση νανοσωματιδίων διοξειδίου του τιτανίου (TiO_2) παρουσία οξαλικού οξέος και ενός οργανοσιλανίου.

Οι φυσικοχημικές ιδιότητες των δύο καινοτόμων υβριδικών νανοϋλικών, Si-Ox και Si-Ti, ελέγχθηκαν μέσω των αναλυτικών τεχνικών: FTIR, BET, SEM, TEM και AFM. Τέλος, τα δύο υλικά εφαρμόστηκαν και αποτιμήθηκαν ως προς τις ιδιότητες της στερέωσης, προστασίας και αυτό-καθαρισμού σε δομικά υποστρώματα μνημείων και σύγχρονων κτιρίων. Η εργαστηριακή ανάπτυξη των υλικών εναρμονίστηκε με τις απαιτούμενες εκείνες διεργασίες ώστε να είναι εφικτή και η βιομηχανική τους παραγωγή. Το υλικό στερέωσης Si-Ox κυκλοφορεί ήδη στην εγχώρια και διεθνή αγορά.

Νέα προηγμένα υλικά, τεχνολογίες και επεμβάσεις αποκατάστασης

Εισαγωγή

Τις τελευταίες δεκαετίες υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον για την ανάπτυξη προϊόντων τα οποία συνεισφέρουν στην αύξηση της ανθεκτικότητας των υλικών που χρησιμοποιούνται για τη δόμηση και την επένδυση των κτιρίων, απέναντι στους περιβαλλοντικούς παράγοντες φθοράς και στην ατμοσφαιρική ρύπανση[1]. Με γνώμονα την αειφορία του δομημένου περιβάλλοντος αλλά και την χημική συμβατότητά του με νέα υλικά συντήρησης και αποκατάστασης αναπτύχθηκαν δύο καινοτόμα υβριδικά υλικά νανοτεχνολογίας. Πιο συγκεκριμένα, στα πλαίσια της παρούσας εργασίας συντέθηκαν εργαστηριακά ένα μικροπορώδες υλικό στερέωσης (Si-Ox) και ένα διάφανο αδιαβροχοποιητικό υλικό για προστασία και αυτό-καθαρισμό (Si-T). Τα Si-Ox και Si-T συντέθηκαν μέσω της διαδικασίας *sol-gel* του αλκοξυσιλανίου τετρα-αιθοξυσιλάνιο (TEOS) με τροποποίηση της πυριτικής μήτρας μετά από προσθήκη οξαλικού ασβεστίου (CaOx) στο Si-Ox και νανοσωματίδιων διοξειδίου του τιτανίου (TiO_2) με οξαλικό οξύ (Ox) και πολυ-διμεθυλσιλοξάνιο (PDMS) στο Si-T.

Πειραματικό μέρος

Μέσω της υδρόλυσης του TEOS προκύπτει η κύρια πυριτική μήτρα των υλικών η οποία τροποποιείται στην περίπτωση του Si-Ox με την ενσωμάτωση νανοσωματίδιων CaOx. Η επιλογή των CaOx βασίστηκε σε μελέτες που έδειξαν την ευεργετική τους επίδραση πάνω στα μάρμαρα και γενικά στις ασβεστολιθικές επιφάνειες[2]. Η *one-pot* σύνθεση του Si-Ox περιλαμβάνει αρχικά την ανάμιξη TEOS και ισοπροπανόλης (ISP) και την προσθήκη σε αυτό διάλυματος $Ca(OH)_2$ και Ox[3]. Οι μοριακοί λόγοι των αντιδραστηρίων TEOS/ISP/H_2O/CH/Ox είναι: 1/12/4/0.1/0.1.

Στο Si-Ti η τροποποίηση της πυριτικής μήτρας στηρίζεται στην ενσωμάτωση νανοσωματίδιων TiO_2 και του οργανοσιλάνιου πολυ-διμεθυλσιλοξάνιο (PDMS) παρουσία Ox. Η πειραματική σύνθεση του Si-Ti περιλαμβάνει αρχικά την ανάμιξη των PDMS, αιθανόλη (EtOH), H_2O και Ox, και στη συνέχεια την αργή προσθήκη διαλύματος TTIP/EtOH και TEOS[4]. Η μοριακή αναλογία των πρόδρομων χημικών αντιδραστηρίων: TEOS/EtOH/H_2O/PDMS/TTIP/Ox είναι 1/5.6/4/0.04/0.017/0.017.

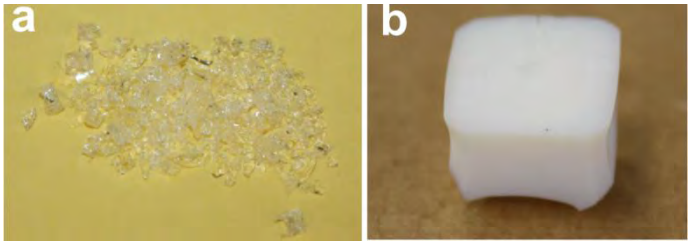
Η μικροδομή των υλικών Si-Ox και Si-Ti μελετήθηκε μέσω των αναλυτικών τεχνικών: FTIR, BET, SEM, TEM και AFM. Εν συνεχεία, το υλικό Si-Ox εφαρμόστηκε, με τριχοειδή αναρρίχηση, και αποτιμήθηκε σε ασβεστιτικό υπόστρωμα (Αλφά), τσιμεντοκονιάματα (CEM) και σε ψαμμίτη (PRC) ενώ το Si-Ti εφαρμόστηκε με πινέλο ως υμένιο σε μάρμαρα Νάξου.

Νέα προηγμένα υλικά, τεχνολογίες και επεμβάσεις αποκατάστασης

Αποτελέσματα και σχολιασμός

Χαρακτηρισμός υλικού Si-Ox

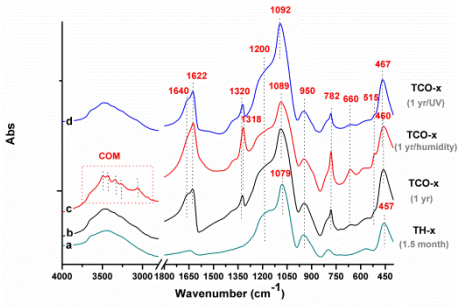
Το υλικό Si-Ox παρουσιάζει ομοιόμορφη και συνεκτική δομή χωρίς ρηγματώσεις σε αντίθεση με το υλικό αναφοράς του (ΤΗ) στο οποίο δεν έχουν ενσωματωθεί CaOx, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1. Το χρώμα του υλικού Si-Ox είναι λευκό-γαλακτώδες λόγω της παρουσίας CaOx. Το υλικό Si-Ox είναι ένα μικροπορώδες υλικό ειδική επιφάνειας 232.77 m^2/g και με μέση διάμετρο πόρων 2.73 nm.



Σχήμα 1. Τελική μορφή πηκτώματος των υλικών: (a) ΤΗ χωρίς CaOx και (b) Si-Ox.

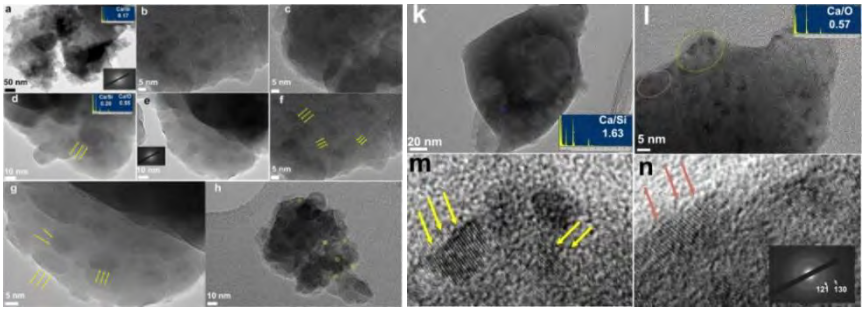
Στο Σχήμα 2 παρουσιάζονται τα φάσματα υπέρυθρης φασματοσκοπίας FTIR των *xerogels* του Si-Ox μετά από ωρίμανση 1 χρόνου σε διαφορετικές συνθήκες: εργαστηρίου, υγρασίας και UV ακτινοβολίας. Οι απορροφήσεις στα 1622, 1320 και 782 cm^{-1} υποδηλώνουν τον σχηματισμό μονοένυδρου οξαλικού ασβεστίου (COM) (φάσματα b, c και d) στα *xerogels* Si-Ox[2]. Οι κορυφές αυτές εντοπίζονται μετατοπισμένες σε υψηλότερες περιοχές (1620→1622 cm^{-1} και 1315→1320 cm^{-1}) συγκριτικά με τη βιβλιογραφία[5]. Η μετατόπιση αυτή σε συνδυασμό με την διαπλάτυνση των κορυφών στην περιοχή 3600-3200 cm^{-1} πιθανόν να οφείλονται στην αλληλεπίδραση του δεσμού C=O του COM με το πυριτικό δίκτυο ή/και σε μεταβολές της κρυσταλλικότητας του COM (παρουσία άμορφου οξαλικού ασβεστίου: ACO) στο υλικό[6]. Επίσης, στην περίπτωση του Si-Ox ωρίμανσης 1 χρόνου οι αποδιδόμενες κορυφές στον δεσμό Si−O−Si, απορροφούν σε μεγαλύτερες συχνότητες συγκριτικά με το υλικό αναφοράς ΤΗ ωρίμανσης 1.5 μήνα χωρίς CaOx. Οι μετατοπίσεις αυτές (1079 → 1089 cm^{-1} και 457 →460 cm^{-1}) αποδεικνύουν ότι λαμβάνουν χώρα χημικές μεταβολές στο πυριτικό δίκτυο λόγω του σχηματισμού του και της ενσωμάτωσης του ACO σε αυτό[7].

Νέα προηγμένα υλικά, τεχνολογίες και επεμβάσεις αποκατάστασης



Σχήμα 2. Φάσματα FTIR των (a) TH μετά από 1.5 μήνα ωρίμανσης σε εργαστηριακές συνθήκες και Si-Ox μετά από 1 χρόνο ωρίμανσης σε (b) εργαστηριακές συνθήκες, (c) συνθήκες έντονης υγρασίας και (d) συνθήκες έκθεσης σε UV ακτινοβολία.

Η μορφολογία και η κρυσταλλική δομή του υλικού Si-Ox, μελετήθηκαν μέσω της Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας Διέλευσης (TEM) και αυτής με Υψηλή Διακριτική Ικανότητα (HRTEM). Η μελέτη μέσω TEM, έδειξε ότι το δείγμα αποτελείται από δύο μορφολογικές φάσεις, οι οποίες παρουσιάζονται στις εικόνες του Σχήματος 3.



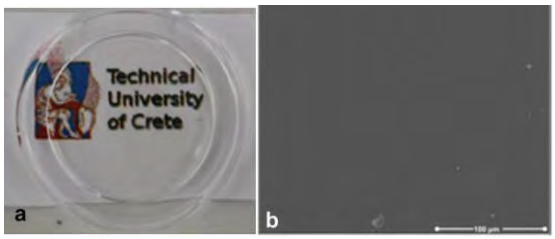
Σχήμα 3. Φωτογραφικές απεικονίσεις TEM του Si-Ox μετά από διάστημα ωρίμανσης 4 μηνών: (a-h) εικόνες άμορφου υλικού (τα κίτρινα βέλη δείχνουν το ACO και τους πόρους) και (k-n) εικόνες άμορφου και κρυσταλλικού υλικού (τα κίτρινα και κόκκινα βέλη δείχνουν το COM).

Η μελέτη των εικόνων TEM καθώς και οι αναλύσεις EDS σε συγκεκριμένα σημεία έδειξαν: (α) την κύρια άμορφη φάση του υλικού με νανοσωματίδια μεγέθους 7 έως και 15 nm, (β) την παρουσία ACO ενσωματωμένο στην πυριτική μήτρα, (δ) τους διακριτούς πόρους του υλικού και (ε) την κρυσταλλική δομή COM (Σχήματα 3l, m και n) με μέγεθος κρυστάλλων 1-5 nm. Η παρουσία του ACO και COM τροποποιεί την πυριτική μήτρα αυξάνοντας τους πόρους του υλικού με αποτέλεσμα να

εξαλείφεται το πρόβλημα της εμφάνισης μικρορωγμών κατά την ξήρανση του υλικού.

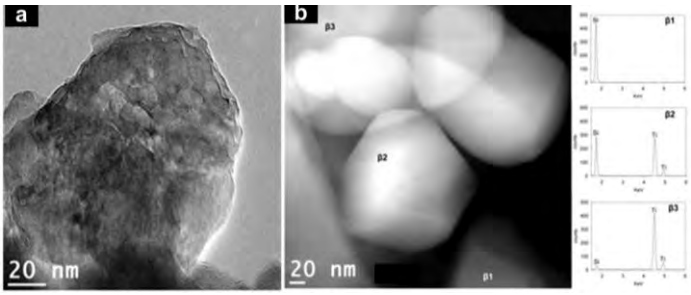
Χαρακτηρισμός υλικού Si-Ti

Το υλικό Si-Ti επίσης μελετήθηκε ως προς την μικροδομή του και τα φυσικοχημικά του χαρακτηριστικά. Το εν λόγω υλικό επίσης παρουσιάζει ομοιόμορφη και συνεκτική δομή χωρίς ρηγματώσεις αλλά επιπρόσθετα χαρακτηρίζεται από υψηλού βαθμού διαφάνεια η οποία του δίνει τη δυνατότητα εφαρμογής σε υποστρώματα χωρίς να τους μεταβάλλει το χρώμα. Στο Σχήμα 4 φαίνεται η μακροσκοπική φωτογραφία του υλικού αλλά και η μικροφωτογραφία με Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης (SEM).



Σχήμα 4. (α) Μακροσκοπική απεικόνηση και (β) μικροφωτογραφία SEM του υλικού Si-Ti.

Μέσω της μελέτης των εικόνων TEM φαίνεται ότι το υλικό παρουσιάζει συσσωματώματα μεγέθους από 40 έως 400 nm στα οποία διακρίνονται τα ενσωματωμένα μέσα στην πυριτική μήτρα νανοσωματίδια TiO_2 (Σχήμα 5a)[8]. Το μέγεθος των διακριτών δομών των νανοσωματιδίων TiO_2 κυμαίνεται από 5 έως και 10 nm και τα οποία διακρίνονται σε όλη την μάζα του άμορφου υλικού.

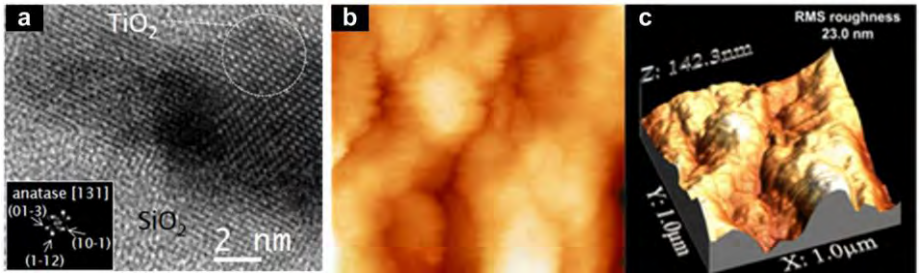


Σχήμα 5. (a) TEM και (b) STEM απεικονίσεις με τα φάσματα X-EDS του υλικού Si-Ti.

Νέα προηγμένα υλικά, τεχνολογίες και επεμβάσεις αποκατάστασης

Αξιοσημείωτη επίσης είναι και η παρουσία συσσωματωμάτων TiO_2 στο εσωτερικό της SiO_2 μήτρας, όπου όμως η ενσωμάτωσή τους δυσκολεύει τη διάκριση των ανεξάρτητων νανοσωματιδίων τους. Σύμφωνα με την απεικόνιση STEM (Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Διέλευσης με Σάρωση) του Σχήματος 5β το υλικό Si-Ti παρουσιάζει μεγάλες αντιθέσεις φωτεινότητας οι οποίες υποδεικνύουν την παρουσία των ανεξάρτητων κρυστάλλων του TiO_2. Η κατανομή των στοιχείων Si και Ti ελέγχθηκε σε τρία σημεία του νανοϋλικού όπως φαίνεται από τα φάσματα X-EDS του Σχήματος 5b. Τα φάσματα X-EDS επιβεβαιώνουν ότι τα φωτεινότερα σημεία αντιστοιχούν στα ανεξάρτητα σωματίδια TiO_2 τα οποία είναι ενσωματωμένα στην πυριτική μήτρα.

Μέσω της HRTEM απεικόνισης (Σχήμα 6a) του υλικού μελετήθηκε και η κρυσταλλικότητα των νανοσωματιδίων TiO_2, όπου με την ανάλυση των ψηφιακών διαγραμμάτων περίθλασης (ένθετη εικόνα του Σχήματος 6a) διαπιστώθηκε η κρυσταλλική δομή ανατάση των σωματιδίων TiO_2. Η παρατήρηση αυτή είναι υψίστης σημασίας και αποδεικνύει: τον σχηματισμό TiO_2 κρυσταλλικής δομής ανατάση μέσα στην πυριτική μήτρα μετά από υδρόλυση του αλκοξειδίου του τιτανίου παρουσίας οξαλικού οξέος και σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Τα αποτελέσματα αυτά τεκμηριώνουν την παρουσία ανατάση TiO_2 στο Si-Ti δικαιολογώντας ταυτόχρονα και τις μετέπειτα φωτοκαταλυτικές του ιδιότητες.



Σχήμα 6. (a) HRTEM και (b-c) AFM δύο και τριών διαστάσεων απεικονίσεις του υλικού Si-Ti.

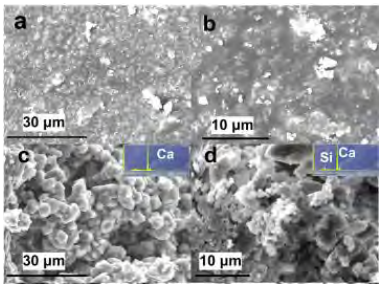
Τέλος, η μελέτη της μορφολογίας της επιφάνειας του Si-Ti τεκμηριώθηκε με την Μικροσκοπία Ατομικών Δυνάμεων (AFM) (Σχήμα 6b και c). Η μελέτη της μορφολογίας των επιφανειών δείχνει ότι το υλικό παρουσιάζει συσσωματώματα αντίστοιχα με εκείνα τα οποία είχαν παρατηρηθεί στις απεικονίσεις TEM. Η παρουσία των έντονων κορυφών δηλώνει την τραχύτητα των επιφανειών η οποία οφείλεται στο ενσωματωμένο οργανοσιλάνιο, PDMS, αλλά και στην παρουσία των ανεξάρτητων νανοσωματιδίων TiO_2[9].

Νέα προηγμένα υλικά, τεχνολογίες και επεμβάσεις αποκατάστασης

Εφαρμογές των υλικών Si-Ox και Si-Ti

Η ποσότητα του προσροφημένου υλικού Si-Ox κυμάνθηκε σχεδόν στα ίδια επίπεδα για τον Αλφά και το CER (0.041 και 0.033 g cm^{-1} αντίστοιχα) ενώ στην περίπτωση του PRC, λόγω του μεγάλου πορώδους του, ήταν μεγαλύτερη (0.504 g cm^{-1}). Ο έλεγχος της διαπερατότητας σε υδρατμούς (WVP) κατέδειξε ότι στην περίπτωση του Αλφά δεν παρατηρούνται αλλαγές μετά την εφαρμογή του υλικού, ενώ ποσοστιαίες μειώσεις της τάξεως 50 και 70% παρατηρήθηκαν στα υλικά CER και PRC αντίστοιχα. Οι αλλαγές αυτές σχετίζονται άμεσα με την ποσότητα του υλικού Si-Ox, το πορώδες των δομικών υλικών αλλά και με την μικροδομή του νανοϋλικού. Οι χρωματικές διαφορές ΔE^* στις περιπτώσεις των υλικών Αλφά και CER βρίσκονται εντός αποδεκτών ορίων (<2.6) ενώ στην περίπτωση του PRC, λόγω της μεγαλύτερης προσροφημένης ποσότητας φτάνει στη τιμή $\Delta E^* = 7.78$. Το βάθος διείσδυσης του Si-Ox τεκμηριώθηκε με FTIR φάσματα, όπου στις περιπτώσεις του Αλφά και CER έφτασε στα 1.5 cm, ενώ στο PRC το Si-Ox εντοπίστηκε μέχρι βάθους 2.7 cm.

Επίσης, μέσω των απεικονίσεων SEM φάνηκε ότι το νανοϋλικό στο εσωτερικό των δομικών υλικών επικάθεται περιμετρικά των τοιχωμάτων των πόρων, χωρίς να τους φράσσει. Ενδεικτικά στο Σχήμα 7 παρουσιάζονται οι απεικονίσεις SEM του Si-Ox και του Αλφά πριν και μετά την εφαρμογή.



Σχήμα 7. SEM απεικονίσεις: (a) και (b) του Si-Ox, (c) του ακατέργαστου δοκιμίου Αλφά και (d) του κατεργασμένου με το Si-Ox Αλφά.

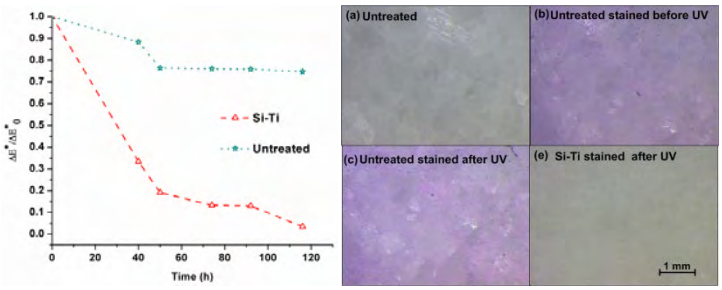
Τέλος, η στερεωτική αποτίμηση του υλικού Si-Ox στηρίχθηκε στη μεταβολή του μέτρου ελαστικότητας (E_d) και στον έμμεσου εφαλκυσμού. Μετά την εφαρμογή του υλικού παρατηρήθηκε αύξηση στο E_d κατά 11%, 55% και 80% για τα δομικά υλικά Αλφά, CEM και PRC, αντίστοιχα.

Νέα προηγμένα υλικά, τεχνολογίες και επεμβάσεις αποκατάστασης

Επιπρόσθετα, διαπιστώθηκε αύξηση και στις τιμές του έμμεσου εφελκυσμού: 15%, 32% και 45% για Αλφά, CEM και PRC, αντίστοιχα.

Η εφαρμογή του υλικού Si-Ti ως προστατευτικό και υδρόφοβο υμένιο μαρμάρων, λόγω της διαφάνειάς του, επέφερε ανεπαίσθητη αλλαγή στις χρωματικές παραμέτρους οι οποίες κυμάνθηκαν εντός αποδεκτών ορίων (ΔE^*=0.61). Η WVP των μαρμάρων μειώθηκε κατά 22%, τιμή η οποία επίσης θεωρείται αποδεκτή. Η υδροφοβικότητα των επιφανειών επιβεβαιώθηκε μέσω της τριχοειδούς αναρριχήσεως (WCA) και μέσω της εκτίμησης της γωνίας επαφής σταγόνας νερού με την επιφάνεια μαρμάρου. Ο συντελεστής WCA μετά την εφαρμογή του Si-Ti μειώθηκε κατά 88% και η ποσότητα του προσροφημένου νερού κατά 47%. Αντίστοιχα η αύξηση των γωνιών επαφής των σταγόνων νερού έφτασε στο 86% στο πρώτο sec και στο 106% μετά από 20 sec.

Ο αυτό-καθαρισμός των επιφανειών μελετήθηκε μέσω της αποδόμησης της οργανικής ουσίας Μπλε του Μεθυλενίου (MB). Στο διάγραμμα του Σχήματος 8 παρουσιάζονται οι χρωματικές αλλαγές που παρατηρούνται στις χρωματισμένες επιφάνειες κατά την έκθεσή τους στην UV ακτινοβολία. Από το εν λόγω διάγραμμα αποδεικνύεται η φωτοκαταλυτική δραστικότητα του υλικού Si-Ti. Επιπρόσθετα, στις φωτογραφίες του οπτικού μικροσκοπίου (Σχήμα 8) επιβεβαιώνεται η απομάκρυνση του έντονου μπλε χρώματος από την επεξεργασμένη επιφάνεια με Si-Ti μετά από την έκθεση σε UV ακτινοβολία.



Σχήμα 8. Διάγραμμα και φωτογραφίες οπτικού μικροσκοπίου εκτίμησης αυτό-καθαρισμού επεξεργασμένου μαρμάρου με Si-Ti.

Συμπεράσματα

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας αναπτύχθηκαν δύο καινοτόμα υλικά των οποίων η νανοδομή χαρακτηρίστηκε ενδελεχώς αποδεικνύοντας την συνεκτικότητά τους, την απουσία ρηγματώσεων και την επιτυχή τροποποίηση της πυριτικής μήτρας τους με νανοσωματίδια CaOx και TiO_2.

Νέα προηγμένα υλικά, τεχνολογίες και επεμβάσεις αποκατάστασης

Εν συνεχεία, από την εφαρμογή του υλικού Si-Ox σε διαφορετικών ειδών υποστρώματα διαπιστώθηκε η στερεωτική του ικανότητα. Ταυτόχρονα, οι προστατευτικές και αυτό-καθοριζόμενες ιδιότητες του Si-Ti τεκμηριώθηκαν για τις επιφάνειες μαρμάρων.

Η *one-pot* σύνθεση του Si-Ox και η χαμηλού ενεργειακού αποτυπώματος σύνθεση φωτοκαταλυτικά ενεργών σωματιδίων TiO_2 δίνει τη δυνατότητα παραγωγής των υλικών αυτών ακόμα και σε βιομηχανικό επίπεδο. Ήδη το υλικό Si-Ox κυκλοφορεί στην ελληνική και διεθνή αγορά[10]. Η εφαρμογή των Si-Ox-T στα κτίρια αποτελεί επέμβαση με γνώμονα περιβαλλοντικά κριτήρια που λαμβάνουν υπόψη την αειφορία των μνημειακών, αρχιτεκτονικών και σύγχρονων κατασκευών.

Ευχαριστίες

Η εργασία πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του Προγράμματος ΘΑΛΗΣ-ΑΕΙΣ "Αειφορία και συμβατότητα προηγμένων υλικών και τεχνολογιών για την προστασία μνημείων της Πολιτιστικής Κληρονομιάς: ανάπτυξη κριτηρίων και μεθοδολογιών ελέγχου" με επιστημονικά υπεύθυνη την Καθ. Α. Μοροπούλου, με τη χρηματοδότηση του Επιχειρησιακού Προγράμματος "Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση" του Υπουργείου Πολιτισμού, Παιδείας και Θρησκευμάτων.

Βιβλιογραφία

1. Price, C. A, “Stone Conservation”, *The Getty Conservation Institute*, Santa Monica, CA. (1996).
2. Maravelaki-Kalaitzaki, P., “Black crusts and patinas on Pentelic marble from the Parthenon and Erechtheum (Acropolis, Athens): characterization and origin” *Analytical Chimicha Acta*, 532 (2005) 187-198.
3. Veragnelaki, A., Kapridaki, C., Maravelaki-Kalaitzaki, P. “Modified tetraethoxysilane with nano-calcium oxalate in one-pot synthesis for protection of building materials”, *Industrial & Engineering Chemistry Research,* 54 (2015) 7195–7206.
4. Kapridaki, C., Pinho, L., Mosquera, M. J., Maravelaki-Kalaitzaki, P., “Producing Photoactive, Transparent and Hydrophobic SiO_2 -Crystalline TiO_2 Nanocomposites at Ambient Conditions with Application as Self-Cleaning Coatings”, *Applied Catalysis Environmental B*, 156 (2014) 416-427.
5. Maurice-Estepa, L., Levillain, P., Lacour, B., Daudon, M., “Advantage of zero-crossing-point first-derivative spectrophotometry for the quantification of calcium oxalate crystalline phases by infrared spectrophotometry”, *Clinica Chimica Acta*, 298 (2000) 2-11.
6. Farmer, V. C., “Infrared spectra of minerals”, *Mineralogical society*, (1974).

Νέα προηγμένα υλικά, τεχνολογίες και επεμβάσεις αποκατάστασης

7. Innocenzi, P., “Infrared spectroscopy of sol–gel derived silica-based films: a spectra-microstructure overview”, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 316, (2003) 309-319.
8. Gopala, D. S., Bhattacharjee, R. R., Haerr, R., Yeginoglu, B., Pavel, O. D., Cojocaru, B., Parvulescu, V. I, Richards, R. M., "Synthesis and Characterization of Titanium Dioxide Phases in Mesostructured Silica Matrices with Photocatalytic Activity", *ChemCatChem Catalysis*, 3 (2011) 408–416.
9. Von Lim, Y., Fan, H., Shen, Z., Kang, C. H., Feng, Y., Wang, S. "Synthesis of silica supported titania nanocomposite in controllable phase content and morphology" *Applied Physics A*, 95, (2008) 555–562.
10. http://nanobiodomyl.gr/?page_id=6

Σύνταξη προδιαγραφών-οδηγιών εφαρμογής για τη διασφάλιση της συμβατότητας υλικών και επεμβάσεων συντήρησης με τα αυθεντικά υλικά και δομικά συστήματα

Η κοινωνική και επιχειρηματική διαδικασία συγκρότησης κριτηρίων αποτελεσματικότητας με βάση τις νέες τεχνολογίες

(The social and entrepreneurial activity of peformance criteria establishement based on the new technologies)

Π. Χρυσός

Ανώτατο Ινστιτούτο Εμπορίου Παρισιού, ΔΑΣΤΑ – ΕΜΠ

Abstract

Knowledge Management related to the activity of monument restoration is a field characterised by particular challenges. The nature of this activity obliges the creation of compatibility of knowledge between the levels of monument singularity and the ones of the interdisciplinary knowledge required for the activity, at the technical, scientific, institutional, social and economic levels.

At the same time, the systematisation of the registering of the history of a monument consitutes at the same time a tool of support and a tool of management of the restoration activity. A recent study has proposed a unified protocol for the management of the registering process [3], through the design of a unified data base of multiple dimensions. That study underlines the possibilities enabled by this design for both the highlighting of the cultural heritage and the management of the restoration activity. Based on that proposal, the current article advances into the extension of the design of a unified knowledge management system, proposing the integration of different functions for such a data base, as well as the extension of the system with professional and entrepreneurial communities related to the activity.

For this, the current study uses a conceptual framework for the study of the information systems as “monuments” of the activity, as well as as the distinction between “tacit” and “explicit” knowledge [4]. By studying the proposed categories of a unified data base, this article concludes to the distinction of four different functions of such a data base, as well as four different types of communities that correspond to each function.

Σύνταξη προδιαγραφών-οδηγιών εφαρμογής για τη διασφάλιση της συμβατότητας υλικών και επεμβάσεων συντήρησης με τα αυθεντικά υλικά και δομικά συστήματα

Περίληψη

Η διαχείριση της γνώσης που σχετίζεται με τη δραστηριότητα της συντήρησης των μνημείων αποτελεί ένα πεδίο με ιδιαίτερες προκλήσεις, καθώς από τη φύση της καλείται να καταστήσει συμβατή τη μοναδικότητα της γνώσης του μνημείου με τις πολυδιάστατες γνώσεις που απαιτούνται σε τεχνικό, επιστημονικό, θεσμικό, κοινωνικό και οικονομικό επίπεδο για την υποστήριξη της δραστηριότητας.

Ταυτόχρονα, η συστηματοποίηση της καταγραφής της ιστορίας ενός μνημείου αποτελεί ταυτόχρονα εργαλείο υποστήριξης και εργαλείο διοίκησης της συντήρησής του. Πρόσφατη μελέτη προτείνει ένα ενιαίο πρωτόκολλο καταγραφής της ιστορίας των μνημείων [3], μέσω μιας βάσης δεδομένων πολλαπλών διαστάσεων. Η μελέτη υπογραμμίζει τις δυνατότητες που προσφέρει για την ανάδειξη της πολιτικής κληρονομιάς καθώς για την διοίκηση της ίδιας της δραστηριότητας της συντήρησης. Βασιζόμενο σ'αυτή την πρόταση, το παρόν άρθρο προχωράει στην επέκταση του σχεδιασμού ενός ενιαίου συστήματος διαχείρισης γνώσης, προτείνοντας αφ'ενός την ενσωμάτωση διαφορετικών λειτουργιών της ενιαίας βάσης δεδομένων, αφ'ετέρου την επέκταση του συστήματος διαχείρισης της γνώσης με επαγγελματικές και επιχειρηματικές κοινότητες που άπτονται της δραστηριότητας.

Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιεί αφ'ενός τη εννοιολογική αντιμετώπιση των πληροφοριακών συστημάτων ως « μνημείων » μιας δραστηριότητας [1] καθώς και τη διάκριση μεταξύ « ρητής » και « σιωπηρής » γνώσης [4]. Μελετώντας τις προτεινόμενες κατηγορίες της ενιαίας βάσης δεδομένων, το άρθρο καταλήγει στη διάκριση τεσσάρων λειτουργιών μιας τέτοιας βάσης δεδομένων καθώς και τεσσάρων κοινοτήτων που αντιστοιχούν σε κάθε λειτουργία.

Μεθοδολογία

Η καταγραφή των αλλοιώσεων ενός μνημείου συγκροτεί οδηγούς για τη μετέπειτα « διαγραφή » της ιστορίας τους από το συντηρητή, για την απόδοσή των μνημείων με τρόπο όσο δυνατό πιο ακριβή αφαιρώντας τη φθορά του χρόνου. Τα πρωτόκολλα καταγραφής της ιστορίας των μνημείων περιγράφουν τους τρόπους συλλογής των απαραίτητων πληροφοριών και της χρήσης τους για τη δραστηριότητα της συντήρησης. Οι βάσεις δεδομένων που προκύπτουν μ'αυτό τον τρόπο, περικλείουν έτσι πληροφορίες πολλαπλών διαστάσεων που απαιτούνται για την

πραγματοποίηση ενός έργου.

Ως γνωστόν, η συγκρότηση των βάσεων δεδομένων αντιμετωπίζει την πρόκληση της διάκρισης μεταξύ ρητής και σιωπηρής γνώσης [4]. Ενώ στην περίπτωση της ρητής γνώσης η εγγραφή και η διάδοσή της είναι μια διαδικασία σχετικά ανεξάρτητη από τα υποκείμενα της δραστηριότητας, η περίπτωση της σιωπηρής γνώσης διαφέρει. Η σιωπηρή γνώση είναι στενά συνδεδεμένη με την τεχνογνωσία των υποκειμένων της δραστηριότητας. Έτσι, όσον αφορά τη συμπερίληψή της σε βάσεις δεδομένων μιλάμε για τη μερική « εξαγωγή » της γνώσης από το πεδίο δημιουργίας της - τη συντήρηση ενός συγκεκριμένου μνημείου, εν προκειμένω. Οι κοινότητες πρακτικής αποτελούν εναλλακτικό τρόπο διαφύλαξης και ανάπτυξης της γνώσης για την αποφυγή απώλειας αυτού του τύπου της γνώσης [5].

Η μεθοδολογία του άρθρου στηρίζεται σε μια εννοιολογική προσέγγιση που αντιστρέφει τη διαδικασία εγγραφής των δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα αντιμετωπίζει τις βάσεις δεδομένων ως ένα « μνημείο » της ίδιας δραστηριότητας της διατήρησης των μνημείων. Όπως έχει ήδη προταθεί [1] οι τεχνολογίες πληροφορίας που σχετίζονται με μια δραστηριότητα, έχουν συχνά την ιδιότητα να δρουν οι ίδιες ως « μνημείο », εγγράφοντας, καταγράφοντας τα ίχνη της δραστηριότητας με την οποία σχετίζονται. Αυτή η ιδιότητα επιτρέπει την εκ των υστέρων κατανόηση και ανάλυση της εν λόγω δραστηριότητας, με τρόπο αντίστοιχο μ'αυτόν που περιέγραφε ο Γάλλος φιλόσοφος Μισέλ Φουκώ στην « Αρχαιολογία της Γνώσης » [2]. Αντιμετωπίζοντας έτσι τις βάσεις δεδομένων ως μνημεία, μπορούμε να τις μελετήσουμε σαν αντικείμενα που περικλείουν το Λόγο, τη λογική της δραστηριότητας συντήρησης.

Η επεξεργασία των κατηγοριών γίνεται σε δύο χρόνους. Πρώτα, χαρακτηρίζονται οι υποκατηγορίες πληροφοριών που προτείνονται από τους [3] σύμφωνα με τον τύπο της γνώσης που περικλείουν. Έτσι, για παράδειγμα η υποκατηγορία « Πληροφορίες Μετοχων » χαρακτηρίζεται ως ρητή γνώση, ενώ η υποκατηγορία « Ατυχής παρεμβάσεις » ως σιωπηρή. Ωστόσο, δεν πρόκειται για μια απόλυτη κατηγοριοποίηση, καθώς υποκατηγορίες που εκ πρώτης άποψης μπορεί να θεωρηθούν ως ρητή γνώση να μην είναι. Για παράδειγμα, τα « Αρχιτεκτονικά Σχέδια » μπορεί να υπάρχουν στο αρχείο ή, αντιθέτως, να χρειάζεται να δημιουργηθούν εξ'ολοκλήρου. Ωστόσο, αυτός ο χαρακτηρισμός αποτελεί ένα μέσο για την επαγωγή των λειτουργιών της βάσης δεδομένων ή, αντίστοιχα, των κοινοτήτων πρακτικής που απαιτούνται για την διαχείριση της γνώσης.

Ο Πίνακας 1 δείχνει στις δυο πρώτες στήλες τη μετάφραση των κατηγοριών της ενιαίας βάσης δεδομένων αναφοράς που προτείνονται από τους [3] και στις δυο τελευταίες το αποτέλεσμα της εννοιολογικής τους

Σύνταξη προδιαγραφών-οδηγιών εφαρμογής για τη διασφάλιση της συμβατότητας υλικών και επεμβάσεων συντήρησης με τα αυθεντικά υλικά και δομικά συστήματα

επεξεργασίας που προτείνεται από την παρούσα μελέτη.

Τα αποτελέσματα αυτής της επεξεργασίας μας επιτρέπουν την πρόταση ενός μοντέλου δυο επιπέδων και τεσσάρων λειτουργιών για τη διαχείριση της δραστηριότητας της συντήρησης.

Στοιχεία της πρόταση [3] (μετάφραση)		Επαγωγή	
Κατηγορίες	Υποκατηγορίες	Τύπος γνώσης	Τύπος βάσης δεδ. ή κοινότητας
Ιστορική Τεκμηρίωση	Γενικές πληροφορίες (π.χ. όνομα, αριθμός μητρώου κτλ)	ρητή	Ιστορικό αρχείο
	Πληροφορίες Μετόχων	ρητή	Κτηματολόγιο
	Μαρτυρίες	σιωπηρή	Ερευνητές
	Βιβλιογραφία	ρητή	Ιστορικό αρχείο
	Νομικό καθεστώς	ρητή	Κτηματολόγιο
Αρχιτεκτονική Τεκμηρίωση	Γενική τυπολογία	ρητή	Αρχείο Επιμελητηρίου
	Τυπολογία τοπικής ιστορίας	σιωπηρή	Ερευνητές
	Αρχιτεκτονικά Σχέδια	ρητή	Αρχείο Επιμελητηρίου
	Φωτογραμματική Τεκμηρίωση	ρητή	Κτηματολόγιο
Χαρακτηρισμός δομικών υλικών	Τύπος υλικών (π.χ. πέτρα, κονίαμα, κεραμικό, μέταλλο κτλ.)	ρητή	Ευρετήριο Υλικών
	Φυσικές ιδιότητες	ρητή	Ευρετήριο Υλικών
	Σύσταση (χημική, πετρογραφική, ορυκτολογική)	ρητή	Ευρετήριο Υλικών
	Μηχανικές ιδιότητες	ρητή	Ευρετήριο Υλικών
	Μέθοδοι επεξεργασίας (π.χ. κόστος και διαθεσιμότητα, παραγωγή κτλ)	σιωπηρή	Επιχειρήσεις
Δομική Ανάλυση	Δομική μελέτη (π.χ. περιγραφή φέρουσας δομής, κατασκευαστικές τεχνικές, διανομή δομικών υλικών κτλ)	σιωπηρή	Μηχανικοί
	Δομική κατάσταση - προβλήματα (π.χ. χαρτογράφηση δομικών ρωγμών)	σιωπηρή	Μηχανικοί
Επίπεδο συντήρησης	Διάγνωση φθοράς (π.χ. χρησιμοποιώντας οπτικές παρατηρήσεις, μη-καταστροφικές τεχνικές, αναλυτικές εξετάσεις, χαρτογράφηση φθοράς με ΓΙΣ, κτλ)	σιωπηρή	Μηχανικοί
	Μηχανισμός φθοράς	ρητή	Αρχείο Επιμελητηρίου
	Διάγνωση ευπάθειας	σιωπηρή	Μηχανικοί
Εξωτερικές επιδράσεις επιπτώσεις/τυχαία γεγονότα/δείκτες κινδύνου	Περιβαλλοντικές παράμετροι	ρητή	Αρχείο Επιμελητηρίου
	Ατυχείς παρεμβάσεις	σιωπηρή	Μηχανικοί
	Ανθρώπινος παράγοντας	σιωπηρή	Μηχανικοί
	Κοινωνικές παράμετροι	σιωπηρή	Ερευνητές
	Οικονομικές παράμετροι	σιωπηρή	Ερευνητές
Τεκμηρίωση παρεμβάσεων	Δεδομένα γενικών παρεμβάσεων	ρητή	Αρχείο Επιμελητηρίου
	Υλικά παρεμβάσεων	ρητή	Ευρετήριο Υλικών
	Δεδομένα ειδικών παρεμβάσεων	ρητή	Αρχείο Επιμελητηρίου
	Αποτίμηση παρεμβάσεων	σιωπηρή	Μηχανικοί

Πίνακας 1: Επαγωγή τύπων βάσεων δεδομένων και κατηγοριών οικονομικών και κοινωνικών υποκειμένων με βάση την πρόταση [3].

Αποτελέσματα

Το σχήμα 1 δείχνει την προτεινόμενη μοντελοποίηση ενός ενιαίου συστήματος διαχείρισης γνώσης. Το εξωτερικό επίπεδο αναφέρεται στις λειτουργικές διαστάσεις μιας ενιαίας βάσης δεδομένων για τη συντήρηση μνημείων.

Σύνταξη προδιαγραφών-οδηγιών εφαρμογής για τη διασφάλιση της συμβατότητας υλικών και επεμβάσεων συντήρησης με τα αυθεντικά υλικά και δομικά συστήματα

Σχήμα 1. Προτεινόμενο μοντέλο διαχείρισης γνώσης. Εξωτερικό επίπεδο: λειτουργίες ενιαίας βάσης δεδομένων. Εσωτερικό επίπεδο: κοινότητες δραστηριότητας συντήρησης μνημείων.

Η πρώτη λειτουργία της είναι αυτή του Ιστορικού Αρχείου, όπου περιλαμβάνονται κάποιες από τις υποκατηγορίες της Ιστορικής Τεκμηρίωσης των [3] (Γενικές πληροφορίες, Βιβλιογραφία). Η δεύτερη προτεινόμενη λειτουργία είναι αυτή του Ευρετηρίου Υλικών, όπου περιέχονται κυρίως η κατηγορία του Χαρακτηρισμού δομικών υλικών, και η υποκατηγορία των Υλικών παρεμβάσεων. Τρίτη λειτουργία αυτή του Αρχείου Επιμελητηρίου, που περιέχει τις υποκατηγορίες Γενική τυπολογία, Αρχιτεκτονικά σχέδια, Μηχανισμοί φθοράς, Περιβαλλοντικές παράμετροι και Δεδομένα ειδικών παρεμβάσεων. Τέλος, η λειτουργία Κτηματολόγιο περιέχει δεδομένα για το Νομικό καθεστώς των μνημείων καθώς και τη Φωτογραμμική τεκμηρίωση.

Το πλεονέκτημα αυτής της τυπολογίας σε λειτουργίες, είναι ότι επιτρέπει να φανούν τα υποκείμενα της δραστηριότητας που δεν περιέχονται στην μελέτη [3], οι κοινότητες των οποίων ωστόσο αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της διαχείρισης της συντήρησης των μνημείων. Έτσι, διακρίνουμε τέσσερις κοινότητες. Τους ερευνητές, στην οποία οι ιστορικοί λαμβάνουν σημαντική θέση, αλλά η οποία οφείλει να περιλαμβάνει επιπλέον επιστημονικούς κλάδους (όπως οικονομία, κοινωνικές επιστήμες). Δεύτερη κοινότητα αυτή των επιχειρήσεων του κλάδου, που έχουν γνώσεις σε τομείς όπως το κόστος, η διαθεσιμότητα και η παραγωγή δομικών

υλικών. Τρίτη κοινότητα είναι φυσικά οι Μηχανικοί, οι οποίοι αναλαμβάνουν το μεγαλύτερο μέρος από τις αναλύσεις και τις διαγνώσεις που περιγράφονται από τους [3]. Τέλος, οι ιδιοκτήτες των μνημείων εμπλέκονται άμεσα στη δραστηριότητα.

Η εμφάνιση των τεσσάρων κοινοτήτων μέσα από την παραπάνω μελέτη ανοίγει προοπτικές σε δυο κατευθύνσεις. Αφ'ενός, στον εμπλουτισμό των απαιτουμένων στοιχείων μιας ενιαίας βάσης δεδομένων σε σχέση με τις τρεις κατηγορίες των οποίων οι γνώσεις υπο-εκπρωσοπούνται στην αρχική πρόταση (των ερευνητών, των επιχειρήσεων και των ιδιοκτητών). Αφ'ετέρου στο σχεδιασμό πολιτικών παρέμβασης στη κατεύθυνση της ενδυνάμωσης της δραστηριότητας της συντήρησης των μνημείων, μέσα από την υποστήριξη των σχετικών κοινοτήτων. Μια τέτοια κατεύθυνση θα όφειλε ωστόσο να λάβει υπ'όψην της και τα διαφορετικά γεωγραφικά επίπεδα παρέμβασης (τοπικό, περιφερειακό, εθνικό και διεθνές) καθώς και τους τρόπους διάχυσης της γνώσης από το ένα πεδίο στο άλλο.

Βιβλιογραφία

[1] Paris Chrysos. When users create industries: the case of Web-based applications. PhD thesis, Mines-ParisTech, 2013.
[2] Foucault. L'ArchŽologie du savoir. Gallimard, service de edition, March 1969.
[3] Anastasia Kioussi, Maria Karoglou, Kyriakos Labropoulos, Asterios Bakolas, and Antonia Moropoulou.
Integrated documentation protocols enabling decision making in cultural heritage protection. Journal of Cultural Heritage, 14(3, Supplement):e141–e146, June 2013.
[4] Ikujiro Nonaka. A Dynamic Theory of Organizational Knowledge Creation. Organization Science, 5(1):14–37, February 1994.
[5] EtienneWenger, Richard A McDermott, and William Snyder. Cultivating communities of practice: a guide to managing knowledge. Harvard Business School Press, Boston, Mass., 2002.

Σύνταξη προδιαγραφών-οδηγιών εφαρμογής για τη διασφάλιση της συμβατότητας υλικών και επεμβάσεων συντήρησης με τα αυθεντικά υλικά και δομικά συστήματα

Σύστημα Ελέγχου Ποιότητας Επεμβάσεων σε Μνημεία και Ιστορικά Κτίρια Εφαρμογή σε Αρμολογήματα – Επιχρίσματα – Ενέματα πλήρωσης ασυνεχειών (Quality Control System of Repair Interventions in Monuments and Historical Buildings. Applications: Rejoining mortars, Renderings – Grouts)

Ι. Παπαγιάννη

Καθηγήτρια ΑΠΘ

Abstract

Repair interventions on monuments and historical buildings are very complex and high cost works. However, secondary undesirable side effects are often appeared in short time after intervention, by which the situation of the monument is aggravated.

To avoid such damages, it seems that an integrated system of quality control of materials and intervention works should be established. The constitution of suitability criteria, regulative frames (in cases they are not adequate), specifically for the materials used in the restoration projects, are a part of setting up a quality control system. In parallel, the required infrastructure should be developed and specialized scientists and technicians should be embodied in public laboratories or certified private ones. The lists of cost of relevant works should also be made by Ministry of Public Works.

In the case of rejoining/ rendering mortars and grouting of monuments different stages of work are usually followed. During survey, documentation and diagnosis the methodologies of checking the situations should be prescribed in standards and give clear quantitative results which will be used for the design of the new repair mortars/ grouts taking into account the basic principles of restoration, compatibility, durability, sustainability.

The new repair materials will be manufactured with raw materials such as lime, pozzolan, sand and water. Each of them should meet a series of tests as well as their mixtures.

The testing of mortars and grouts is carried out at laboratory by making trial mixes and on site, so as making improvements related to adaptation of the mixtures to local conditions to be possible. In addition, the compatibility and durability to specific local conditions of each monument

Σύνταξη προδιαγραφών-οδηγιών εφαρμογής για τη διασφάλιση της συμβατότητας υλικών και επεμβάσεων συντήρησης με τα αυθεντικά υλικά και δομικά συστήματα

should be checked properly.

Furthermore, during the application works, a set of instructions, including in a Manual of Practice, should be followed. It is also of great importance to estimate the performance of interventions by making a survey and applying a monitoring system at definite periods of time. This post intervention work is not often included in restoration project.In this work some interventions in which quality control criteria were applied will be presented and commented.

Περίληψη

Είναι γνωστό ότι το έργο των επεμβάσεων αποκατάστασης μνημείων και ιστορικών κτιρίων είναι ιδιαίτερα σύνθετο και υψηλού κόστους, ενώ συχνά εμφανίζονται δευτερογενή προβλήματα σε μικρό χρονικό διάστημα από την επέμβαση, με αποτέλεσμα όχι μόνο να μη γίνεται απόσβεση του κόστους, αλλά και να επιδεινώνεται η κατάσταση του μνημείου. Για να αποφεύγονται τέτοιες επεμβάσεις, είναι προφανές ότι απαιτείται ένα ολοκληρωμένο σύστημα ελέγχου της ποιότητας υλικών και εργασιών, με τη θέσπιση κριτηρίων καταλληλότητας σε όλα τα στάδια εργασιών και τη σύσταση κανονιστικών πλαισίων, όπου δεν υπάρχουν επαρκή, ειδικά για τα υλικά και τις εργασίες των έργων αποκατάστασης μνημείων. Παράλληλα, απαιτείται ανάπτυξη εργαστηριακής υποδομής, σε δημόσια ή διαπιστευμένα ιδιωτικά εργαστήρια, και εξειδίκευσης επιστημονικού και τεχνικού προσωπικού καθώς και σύνταξη σχετικών τιμολογίων.

Στην περίπτωση των αρμολογημάτων και συμπλήρωσης παλαιών επιχρισμάτων και ενεμάτων, τα στάδια τεκμηρίωσης-διάγνωσης της υπάρχουσας κατάστασης πρέπει να ακολουθούν μεθοδολογίες ανάλυσης, που πρέπει να προδιαγράφονται και να καταλήγουν σε σαφή αποτελέσματα ποσοτικά, για να μπορούν να ληφθούν υπόψη στην αξιολόγηση και στο σχεδιασμό των νέων κονιαμάτων/ ενεμάτων επέμβασης, με βάση τις αρχές της συμβατότητας, της ανθεκτικότητας και αειφορίας.

Ο σχεδιασμός των νέων κονιαμάτων/ ενεμάτων γίνεται με υλικά- πρώτες ύλες- που πρέπει να πληρούν ένα σύνολο ελέγχων το καθένα από αυτά καθώς και τα αναμίγματά τους.

Ο έλεγχος των προς εφαρμογή αναμιγμάτων (κονιαμάτων/ ενεμάτων) πρέπει να γίνεται στο εργαστήριο με δοκιμαστικές συνθέσεις (trial mixes), αλλά και επί τόπου για να προκύψουν όλες οι βελτιώσεις προσαρμογής. Οι έλεγχοι των μηχανικών και φυσικοχημικών χαρακτηριστικών πρέπει να τεκμηριώνουν τη συμβατότητα και την ανθεκτικότητα στις δεδομένες συνθήκες κάθε μνημείου που πρέπει να έχουν προεκτιμηθεί. Για την κατά

περίπτωση ανθεκτικότητα πρέπει να γίνονται ειδικοί έλεγχοι. Κατά τη διάρκεια των εργασιών αποκατάστασης πρέπει να ακολουθούνται οι οδηγίες σχετικού εγχειριδίου

(Manual of practice) για τον κάθε τύπο εργασιών (αρμολόγημα, επίχρισμα, ενεμάτωση).

Βασικό είναι επίσης, για την εκτίμηση της επιτελεστικότητας της αποκατάστασης, να γίνεται επισκόπηση με ένα σύστημα ελέγχου (monitoring) σε τακτά χρονικά διαστήματα, κάτι που δεν ακολουθείται στα περισσότερα έργα αποκατάστασης μνημείων/ ιστορικών κτιρίων. Στην παρουσίαση θα αναφερθούν παραδείγματα με εφαρμογή κριτηρίων ποιότητας.

Εισαγωγή

Ανατρέχοντας τη βιβλιογραφία σχετικά με τον ορισμό της έννοιας του μνημείου πολιτιστικής κληρονομιάς από το “Manifesto” του William Morris 1877, τα ντοκουμέντα των Athens Charters (1931, 1933), τις διακηρύξεις των Venice Charter (1964), Burra Charters (1981,1988) και Nara Document on Authenticity (1994), [1],[2], προκύπτει ότι ένα δομημένο σύνολο χαρακτηρίζεται μνημείο εάν σ’αυτό ενυπάρχουν/ αναγνωρίζονται “αξίες” που καθορίζονται εκάστοτε από το τοπικό, χρονικό, κοινωνικοοικονομικό και πολιτιστικό πλαίσιο. Για παράδειγμα, τέτοιες αξίες μπορεί να είναι ιστορικού, αρχαιολογικού, αρχιτεκτονικού/ αισθητικού, επιστημονικού, τεχνολογικού, πολιτιστικού, συμβολικού, πληροφοριακού, οικονομικού ή άλλου ενδιαφέροντος. Πρωταρχικός στόχος των επεμβάσεων αποκατάστασης αποτελεί η διαφύλαξη των αξιών αυτών, που τεκμηριώνονται με την ύπαρξη και διατήρηση των μνημείων.

Το θέμα των επεμβάσεων αποκατάστασης των μνημείων/ ιστορικών κατασκευών είναι ιδιαίτερα σύνθετο και υψηλού κόστους και συχνά εμφανίζονται δευτερογενή προβλήματα σε μικρό χρονικό διάστημα από την επέμβαση με αποτέλεσμα όχι μόνο να μη γίνεται απόσβεση του κόστους αλλά και να επιδεινώνεται η κατάσταση του μνημείου. Η εμπειρία από την πράξη καταδεικνύει την ανάγκη της εφαρμογής ενός ολοκληρωμένου συστήματος ελέγχου υλικών και τεχνικών εφαρμογής, με τη θέσπιση διαβαθμισμένων κριτηρίων καταλληλότητας και κανονιστικών πλαισίων. Οι περισσότερες μέθοδοι ελέγχου που εφαρμόζονται αποτελούν δάνεια από συναφείς χώρους δόμησης και χρειάζονται τροποποιήσεις που γίνονται κατά περίπτωση με βάση σχετική τεχνογνωσία ή εργαστηριακή εμπειρία. Σε ευρωπαϊκό επίπεδο έχουν γίνει και γίνονται συλλογικές προσπάθειες προς την κατεύθυνση αυτή στο πλαίσιο τεχνικών επιτροπών οργανισμών, όπως

Σύνταξη προδιαγραφών-οδηγιών εφαρμογής για τη διασφάλιση της συμβατότητας υλικών και επεμβάσεων συντήρησης με τα αυθεντικά υλικά και δομικά συστήματα

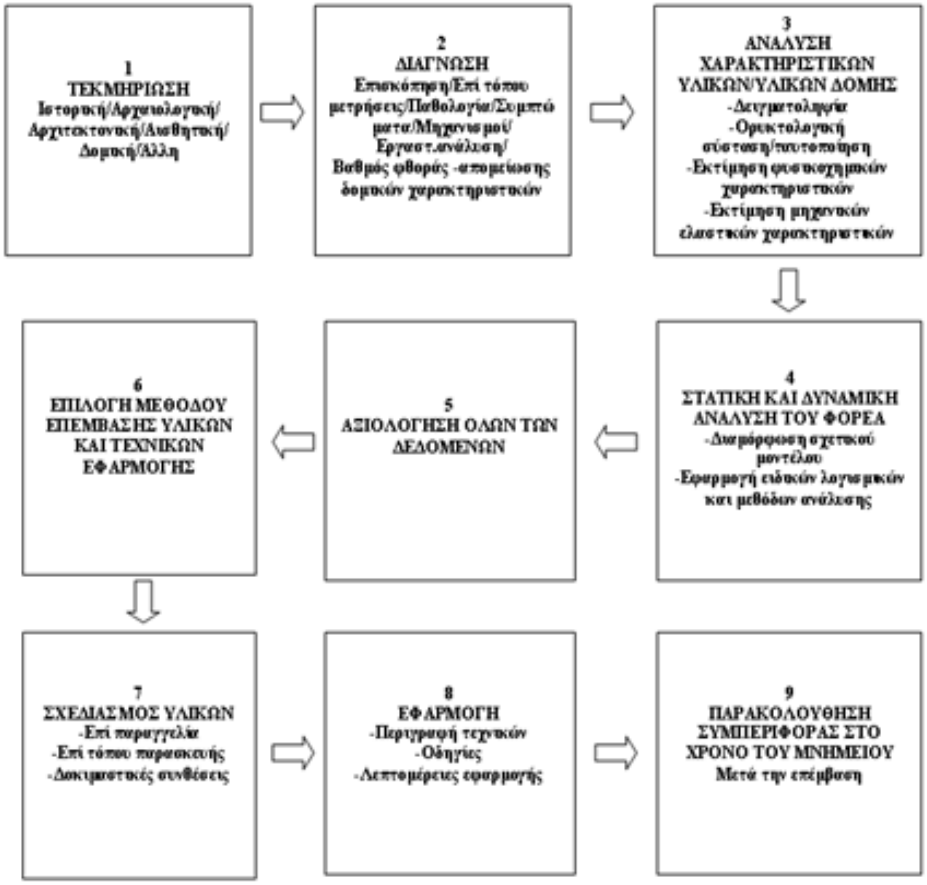
CENT C 346, RILEM [3],[4], Ερευνητικών Κέντρων (Πανεπιστήμια, Ερευνητικά Ινστιτούτα), και άλλων φορέων (Διευθύνσεις Τεχν. Υπηρεσιών, Εφορίες) στα οποία διεξάγονται σχετικά ερευνητικά προγράμματα ή έργα αναστήλωσης, με αποτέλεσμα να έχει συσσωρευτεί μία κρίσιμη μάζα γνώσης και εμπειρίας, που μπορεί να οδηγήσει σε κανονιστικά πλαίσια και οδηγίες εφαρμογής.

Προβληματισμοί και επιμέρους προβλήματα

Σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα ποιότητας των αναστηλωτικών επεμβάσεων, που στοχεύουν στη διατήρηση/ διαφύλαξη του μνημειακού κτίσματος, θα πρέπει να θεσπίζονται και να ελέγχονται κριτήρια ποιότητας σε όλα τα στάδια που ακολουθούνται στα έργα αυτά κατά τη μελέτη και εκτέλεση. Τα στάδια αυτά φαίνονται στην Εικόνα 1.

Σε όλα τα στάδια απαιτούνται διαβαθμισμένα κριτήρια, που θα αξιολογούνται από εξειδικευμένους έμπειρους επιστήμονες. Για τις αναλύσεις των 2,3,6,7 απαιτούνται κανονισμοί και πρότυπα. Εντούτοις μπορεί να συμβεί, ελεγμένης ποιότητας υλικά και εφαρμογή να αστοχήσουν στη διαφύλαξη του μνημείου, εάν για παράδειγμα η επιλογή της επέμβασης δεν είναι συμβατή με τη διατήρησή της αυθεντικότητας του δομήματος εάν αυτό αποτελεί σημαντική "αξία" του μνημείου. Ένας προβληματισμός που σχετίζεται με την Τεκμηρίωση, Διάγνωση και την Επιλογή Επέμβασης, αφορά στο βαθμό σημαντικότητας του μνημείου (ως συνόλου αξιών) και το βαθμό επέμβασης (πόσο και πώς θα ενισχυθεί) εν σχέσει βεβαίως με την κατάσταση φθορών του μνημείου και το κόστος. Στην πράξη έχει επικρατήσει να διαφοροποιούνται τα μνημεία μεγάλης σημαντικότητας (πχ Ανάκτορο του Γαλερίου Θεσσαλονίκης) από τα διατηρητέα κτίρια των ιστορικών κέντρων, ως προς τη δυνατότητα επιλογής μεθόδου επέμβασης. Η διατήρηση της "αξίας" της ανθεκτικότητας στην πρώτη περίπτωση είναι πρωταρχικός στόχος, ενώ στα ιστορικά κτίρια που θα επαναχρησιμοποιηθούν ως κατοικίες η ασφάλεια των ενοίκων είναι πρωταρχική μέριμνα. Σχετικός με τον προβληματισμό αυτό είναι και ο χαρακτηρισμός των επεμβάσεων σε αντιστρεπτές και μη αντιστρεπτές.

Σύνταξη προδιαγραφών-οδηγιών εφαρμογής για τη διασφάλιση της συμβατότητας υλικών και επεμβάσεων συντήρησης με τα αυθεντικά υλικά και δομικά συστήματα



Εικ. 1 Σχηματική ακολουθία των σταδίων Έργων Επεμβάσεων

Ήδη από το 1985 [5] διατυπώνονται συστάσεις όπως: Να επιλέγονται μέθοδοι ενίσχυσης που είναι τεχνικά αποτελεσματικές, οικονομικά συμφέρουσες και όσο το δυνατόν ήπιας επέμβασης

Πολλά επί μέρους προβλήματα εμφανίζονται σε έργα επεμβάσεων, όπως:

- Δυσκολία καθορισμού ποσοτικών κριτηρίων ελέγχου της καταλληλότητας ενός υλικού. Για παράδειγμα, πώς θα γίνεται η παραγγελία οπτοπλίνθων παραδοσιακού τύπου στους βιοτέχνες παραγωγούς κεραμικών ή πώς να γίνεται αποδεκτό ένα ποζολανικό υλικό. Από το σύνολο των χαρακτηριστικών ενός υλικού τί πρέπει να ελέγχεται και πού θα ελέγχεται. Ο χρόνος και το κόστος αποτελούν σημαντικές παραμέτρους, καθώς και το θέμα της

έλλειψης υποδομής εργαστηρίων εξειδικευμένων για τέτοιους ελέγχους.

- Κατά την εφαρμογή των υλικών απαιτούνται συχνά προκαταρκτικές εργασίες ή εξειδικευμένες εργασίες (πχ προϋγρανση αρμών, τρόπος επίχρισης, συντήρηση κονιαμάτων) που πρέπει να περιγράφονται λεπτομερώς.
- Το θέμα της παρακολούθησης της συμπεριφοράς των μνημείων μετά την επέμβαση απαιτεί ένα σύστημα που μπορεί να διαβαθμίζεται από απλή και τακτή οπτική επισκόπηση μέχρι καταγραφή ενόργανου εγκατεστημένου δικτύου παρακολούθησης παραμορφώσεων και άλλων αλλαγών και πρέπει να προσδιορίζεται. Στα φύλλα επισκόπησης αναφέρονται οι εμφανιζόμενες βλάβες όπως: ρηγματώσεις, αποκολλήσεις, εξανθίσεις, αποτρίψεις επιφανειακού υλικού, δυσχρωμίες, βιολογική προσβολή, αλλά και εφόσον απαιτείται μπορεί να γίνει περαιτέρω διερεύνηση με δειγματοληψία.

Μέθοδοι ελέγχου – κανονιστικά πλαίσια

Τα αρμολογήματα, οι ανακτήσεις, τα επιχρίσματα και οι ενεματώσεις αποτελούν τη συχνότερα εμφανιζόμενες επεμβάσεις σε κάθε έργο αποκατάστασης ιστορικών τοιχοποιιών που συνιστούν το μεγαλύτερο μέρος μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς.

Στα στάδια 2, 3 και 7 απαιτείται επιλογή μεθοδολογίας και σχετικοί κανονισμοί. Στη μεθοδολογία πρέπει να καθορίζεται ποια χαρακτηριστικά είναι απαραίτητο να προσδιοριστούν και με ποιο τρόπο, που θα πρέπει να εμπίπτει σε πρότυπα και να είναι αξιόπιστος. Συχνά τα κανονιστικά πρότυπα που υπάρχουν (πχ στην περίπτωση των κονιαμάτων) αναφέρονται και έχουν συσταθεί για τα τσιμεντοκονιάματα και απαιτούνται τροποποιήσεις για τα ιστορικά κονιάματα χαμηλής αντοχής που βασίζονται στην άσβεστο.

Μεθοδολογίες ανάλυσης ιστορικών κονιαμάτων αναφέρονται στα Reports της RILEM TC 167 COM (1999) καθώς και στη βιβλιογραφία [6],[7] και δίνουν δεδομένα που αφορούν στον τύπο του κονιάματος (συνδετικές κονίες, αδρανή), αντοχή, πορώδες, άλατα και εγκλείσματα που περιέχονται. Στο στάδιο 6 και 7 γίνεται η επιλογή και έλεγχος καταλληλότητας των πρώτων υλών και ο σχεδιασμός και έλεγχος των τελικών υλικών εφαρμογής όπως είναι τα κονιάματα. Ο σχεδιασμός λαμβάνει υπόψη τα δεδομένα ανάλυσης της υπάρχουσας κατάστασης (στάδια 2 και 3) [8] και ακολουθεί έλεγχος ιδιοτήτων επιτελεστικότητας,

Σύνταξη προδιαγραφών-οδηγιών εφαρμογής για τη διασφάλιση της συμβατότητας υλικών και επεμβάσεων συντήρησης με τα αυθεντικά υλικά και δομικά συστήματα

συμβατότητας και ανθεκτικότητας.

Οι έλεγχοι στις πρώτες ύλες αφορούν

- Στην δραστικότητα της υδρασβέστου (EN 459-2, Μέθοδος DTA-TG), ποσοστό $Ca(OH)_2$ στην κονία ή στον πολτό ασβέστου του εμπορίου.
- Στη ν δραστικότητα των ποζολανών κατά ASTM C 593 και ASTM C 821.
- Στην περιεκτικότητα σε διαλυτά άλατα (χλωριόντα, θειικά, νιτρικά) όλων των κονιών και αδρανών που θα χρησιμοποιηθούν.
- Στον έλεγχο του είδους και της κοκκομετρίας της άμμου ή των άλλων αδρανών που θα χρησιμοποιηθούν, κατά EN 1015-1.
- Στον έλεγχο καταλληλότητας των πρόσμικτων που θα χρησιμοποιηθούν (επιλέγουμε πρόσμικτα απαλλαγμένα από θειικά και χλωριόντα).

Οι δοκιμαστικές συνθέσεις και έλεγχοι γίνονται στο εργαστήριο.

Οι έλεγχοι αφορούν κυρίως:

- Έλεγχο εργασιμότητας με τράπεζα εξάπλωσης, EN 1015-3
- Προσδιορισμός πυκνότητας νωπού κονιάματος, EN 1015-6
- Χρωματικός προσδιορισμός σκληρυμένου κονιάματος, κλίμακα Munsel
- Προσδιορισμός πυκνότητας σκληρυμένου κονιάματος, EN 1015-10
- Μέτρηση πορώδους EN 1936 (06)
- Προσδιορισμός εφελκυστικής και θλιπτικής αντοχής, καθώς και δυναμικού μέτρου ελαστικότητας, EN 1015-11, EN 1015-18

Κατά περίπτωση εφόσον κριθεί ότι απαιτείται, λόγω θεμάτων ανθεκτικότητας, γίνονται επιπλέον έλεγχοι σε:

- Προσδιορισμό συντελεστού τριχοειδούς απορρόφησης, EN 1925, EN 1015-18
- Προσδιορισμό ανθεκτικότητας σε ψύξη-απόψυξη, RILEM Recom MS A4, EN 1015-14
- Συμπεριφορά σε κύκλος ύγρανσης-ξήρανσης, ASTM D 559
- Μέτρηση συστολών ξήρανσης, EN 1015-13
- Μέτρηση αντοχής σε συνάφεια, EN 1015-12 ή ASTM C 952, EN 1052-5 (Bond Wrench modified by RILEM TC 167 COM

Μετά τις δοκιμαστικές συνθέσεις γίνονται βελτιώσεις εάν προκύπτουν επί της αρχικής σύνθεσης (π.χ. προσμίκτων, ινών) και τεκμηριώνεται η συμβατότητα και η ανθεκτικότητα στις δεδομένες κατά περίπτωση συνθήκες.

Ακολουθεί παραγωγή σε μικρή κλίμακα της τελικής πρότασης στο εργοτάξιο του Έργου υπό τις οδηγίες των υπευθύνων της προτεινόμενης

Σύνταξη προδιαγραφών-οδηγιών εφαρμογής για τη διασφάλιση της συμβατότητας υλικών και επεμβάσεων συντήρησης με τα αυθεντικά υλικά και δομικά συστήματα

σύνθεσης και δοκιμαστική εφαρμογή σε υποδεικνυόμενες από αναστηλωτές θέσεις της τοιχοποιίας. Δίνεται έτσι η ευκαιρία να ληφθεί απόφαση και για την τεχνική αρμολόγησης που θα ακολουθηθεί και συγχρόνως συμβαίνει εξοικείωση των τεχνιτών με το υλικό.

Στην περίπτωση των ενεμάτων πλήρωσης ασυνεχειών ιστορικών τοιχοποιιών, με την ίδια μεθοδολογία ολιστικής ανάλυσης που έχει προαναφερθεί καταλήγουμε στα δεδομένα βάσει των οποίων γίνεται ο σχεδιασμός του μίγματος και τα δοκιμαστικά αναμίγματα.

Σχετικά με τα υλικά (συνδετικές κονίες και filler) που χρησιμοποιούνται ως πρώτες ύλες για τη σύνθεση των ενεμάτων ισχύουν οι έλεγχοι που αφορούν στις πρώτες ύλες των κονιαμάτων επέμβασης συμπεριλαμβανομένων και των fillers που μπορεί να χρησιμοποιούνται για τους οποίους πρέπει να είναι γνωστά:

- Το φαινόμενο ειδικό βάρος,
- Η λεπτότητα άλεσης και η κατανομή πόρων,
- Η περιεκτικότητα σε διαλυτά άλατα και
- Η συγκρατησιμότητα του νερού.

Μέθοδοι ελέγχου υλικών και τεχνικής ενεμάτωσης

<u>σε νωπή κατάσταση</u>:

- Έλεγχος ρευστότητας ενέματος με τη χρήση κώνου Marsh, EN 445
- Έλεγχος ρεολογικών χαρακτηριστικών με ιξωδόμετρο, UNI 11152-05
- Έλεγχος σταθερότητας όγκου μετρώντας την εξίδρωση, ASTM C940-3
- Έλεγχος ενεσιμότητας ενέματος με στήλη άμμου, EN 1771

<u>σε σκληρυμένη κατάσταση</u>:

- Έλεγχος σε εφελκυσμό και θλίψη δοκιμίων (40x40x160)mm, EN 1015
- Έλεγχος συστολών ξήρανσης, ASTM C 474-05, EN 1015
- Έλεγχος συνάφειας με pull out δοκιμή, EN 1015-12

Επιπλέον έλεγχοι μπορούν να γίνουν κατά περίπτωση, όπως:

- Προσδιορισμός της συγκρατησιμότητας νερού, EN 1015-8, ASTM C1506-03
- Προσδιορισμός τριχοειδούς υδατοαπορρόφησης, RILEM 1771, EN 1015-18
- Προσδιορισμός αντοχής σε συνάφεια από διάτμηση ή από άμεσο εφελκυσμό, EN 196-1.

Όσον αφορά στον έλεγχο τεχνικής εφαρμογής, καταρχήν πρέπει να χρησιμοποιούνται τεχνίτες εξειδικευμένοι με σχετική πιστοποίηση. Μια πρακτική που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο καλής εφαρμογής και

πλήρωσης των ρωγμών αφορά στη σάρωση της ρηγματωμένης περιοχής πριν και μετά την ενεμάτωση (με τη δημιουργία καννάβου) με μετρήσεις ταχύτητας διέλευσης υπερηχητικού κύματος με σονόμετρο. Με βάση τις μετρήσεις μπορεί να γίνει εκτίμηση του βαθμού πλήρωσης. Εκτός του σονομέτρου (BS 1881-209:1990) και άλλες έμμεσες μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν, όπως θερμογραφία τομογραφία με radar. Σχετική βιβλιογραφία για τις μεθοδολογίες ανάλυσης και ελέγχου δίνεται στις αναφορές [9-20].

Στο παράρτημα 1 δίνεται λίστα σχετικών προτύπων που αφορούν στους ελέγχους κονιαμάτων επισκευής, των πρώτων υλών τους και τοιχοποιίας.

Παράδειγμα σχεδιασμού και εφαρμογής κονιαμάτων αρμολογήματος

Σχετικό παράδειγμα ανάλυσης ιστορικών κονιαμάτων και σχεδιασμού και πρότασης νέου συμβατού κονιάματος αποκατάστασης, το οποίο έχει εφαρμοστεί στο διάστημα 2002-2006 στον αρχαιολογικό χώρο των ανακτόρων Ναυαρίνου, δίνεται παρακάτω (πιν. 1 και 2) Μετά από 9 χρόνια κατά την επισκόπηση που έχουν κάνει οι αναστηλωτές με δική τους πρωτοβουλία, παρουσιάζει άριστη συμπεριφορά.

Πίνακας 1. Όρια τιμών μέσα στις οποίες διακυμάνθηκαν οι περισσότερες μετρήσεις των λευκό-φαιων και λευκό-ροζ κονιαμάτων

	Χρώμα	Max κόκκος αδρανών (mm)	Αντοχή σε θλίψη (MPa)	Πορ. (%)	Ειδ. βάρος	$Ca(OH)_2$ (%κ.β.)	SiO_2+ Al_2O_3+ Fe_2O_3 (%κ.β.)
Κονιάματα τοιχοποιιών	Λευκό-φαιο	8-16	2,5-4,0	29-38	1,20-1,50	25-55	19-60
Κονιάματα τοιχοποιιών	Λευκό-ροζ	8-16	1,0-5,0	15-22	1,60-1,80	30-45	35-43

Με βάση τα χαρακτηριστικά των παλαιών σχεδιάστηκαν συμβατά κονιάματα και δόθηκαν οδηγίες εφαρμογής που αφορούσαν τόσο την επιλογή των πρώτων υλών όσο και μέτρα που πρέπει να λαμβάνονται όταν χρησιμοποιούνται. Η σύσταση των προτεινόμενων κονιαμάτων φαίνεται στον πίνακα 2. Στο σχεδιασμό των συμβατών κονιαμάτων επέμβασης ελέγχεται το πορώδες σε δοκιμαστικά μίγματα κονιαμάτων ώστε να είναι της ίδιας τάξης μεγέθους με τα αυθεντικά.

Σύνταξη προδιαγραφών-οδηγιών εφαρμογής για τη διασφάλιση της συμβατότητας υλικών και επεμβάσεων συντήρησης με τα αυθεντικά υλικά και δομικά συστήματα

Πίνακας 2. Σύσταση νέων συμβατών κονιαμάτων για αποκατάσταση λευκό-φαιων και λευκό-ροζ κονιαμάτων τοιχοποιίας

Υλικά	Μέρη βάρους	
	Λευκό-φαιο	Λευκό-ροζ
Υδράσβεστος (πολτός)	-	1,0
Υδράσβεστος (κονία)	1,0	-
Μηλαϊκή γη αλεσμένη	0,625	1
Πηλός καστανού χρώματος (<0,25mm)	0,25	-
Κεραμάλευρο	-	0,5
Λευκό τσιμέντο	0,25	0,5
Άμμος ποταμού πυριτικής σύστασης, ξανθού	3,0	3,0
χρώματος (0-4mm)	1,5	-
τσαλο, ποταμού, ξανθού χρώματος (4-8mm)	0,5	-
σαλο,ποταμού , μαύρου χρώματος (8-16mm)	-	2,0
Βότσαλο,ποταμού , (4-16mm)	-	2,0
Θραυστό κεραμικό (4-8mm)	-	2,0
Θραυστό κεραμικό (8-16mm)		
Αντοχή σε θλίψη σε 28 ημέρες (MPa)	2,5	2,8
Πορώδες σε 28 ημέρες (%)	19,5	17,9
ρό για εξάπλωση 15±1cm, ρευστοποιητή καρβοξυλικής βάσης 1%κ.β. των κονιών		

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Lipe, W.D. “Value and Meaning in Culture Resources: In: Approaches to the Archaelogiacal Heritage. A Comparative Study of Word Cultural Resource Management Systems”, ed H.Cleere, Cambridge Univ. Press (1984)

[2] Burman P.A.T.I. “What is Cultural Heritage”, DAHLEM Workshop Report 86 (edited by N.S Bqer and F. Snickars) (2000) ,11-22

[3] CEN/TC 346 Conservation of Cultural property, www.arcchip.cz/ec.conference/1515

[4] RILEM TC 167 COM “Historic Mortars. Int. Rilem Workshop on Historic Mortars. Characteristics and Tests” Paisley Scotland, ed. by P. Bartos, C.Groot, J. Hughes (1999)

Σύνταξη προδιαγραφών-οδηγιών εφαρμογής για τη διασφάλιση της συμβατότητας υλικών και επεμβάσεων συντήρησης με τα αυθεντικά υλικά και δομικά συστήματα

[5] Tassios T.P. Mamillan M."Structural Investigation of ancient monuments" Valutazione Structural de Monumenti antichi", ed. Kappa, Rome (1985)
[6] Papayianni I. "Design of Compatible Repair Mortars for the Restoration of Monuments" Int. Journal for Restoration (2004),vol.10, 633-636
[7] Moropoulou A., Bakolas A., Moundoulos P., Aggelakopoulou E., Anagnostopoulou S., "Design and evaluation of restoration mortars for historic masonry using traditional materials and production techniques", Materials Issues in Art and Archaeology VI, vol.712 ed. P. Vandirer, M. Goodway, J.R. Druzik, J.L.Mass, Publ. Materials Research Society Pittsburg, (2002), 77-82
[8] RILEM TC 203, RHM Final Workshop, ed. By J. Valek, C. Groot and J. Hughes
[9] Rota Rossi-Doria P. RILEM bulletin. Report on the RILEM Workshop "Ancient mortars and mortars for restoration" (1990) Mater. And Struc, 23, 235-238.
[10] KUL report Gizer O. Hendricks R. and Van Balen K. "Methods and standards for testing repair mortars", (Nov. 2007), 17
[11] Henriques F., Charola E. "Comparative study of standard test procedures for mortars", Proc. 8th Int. Cong. On Deterioration of Stone, Berlin (1996)
[12] Middendorf B., Huges J.J., Callebant K., Baronio E., Papayianni I., "Investigative methods for the characterization of historic mortars Part 2: Chemical Characterization", Journal of Materials and Structures 38, (2005), 771-780
[13] Groot C. et al. "Characterization of old mortars with respect to their repair " Final Report of RILEM TC 167-COM (2004)
[14] Magalhaes A., Veiga M.R.,"Physical an Mechanical Characterization of ancient mortars. Application to the evaluation of the state of conservation" Mater. And Struc. (2008)
[15] Moropoulou A., Bakolas A., Moundoulas P., Michailidis P., "Evaluation of Compatibility between repair mortars and building materials in historic structures by the control of microstructure of cement-based systems" Concr. Scien. And Engin. 2, (2000) 191-195
[16] Maurenbercher A.H.P., "Mortars for Repair of Traditional Masonry" Practice Periodical on Structural Design and Construction ASCE (2004)
[17] Binda L., Modena C., Baronio G., "Strengthening of Masonries by Injection Techniques" Proc. 6th North Am. Mas. Conf. Vol 1, Philadelphia Pensylvania, USA, (1993), 1-14
[18] Miltiadou A., "Contribution a l etude de coulis hydrauliques pour la

reparation et la reinforcement des structures et des monuments historiques en masonnerie" PhD Thesis EN PC Paris (1993)
[19] Toumbakari, *E.-E*, *Van Gemert*, *D*. Lime-pozzolana-cement injection grouts for the repair and strengthening of masonry structures, Proc. IVth Intern.Conf. RILEM Historic Mortars Characteristies and Tests PJM Bartos et all Paisley, Scotland
[20] Valluzzi M.R., "Mechanical behaviour of masonry strengthened by lime based materials and techniques" PhD Thesis, University of Padua, Italy(2000)

Παράρτημα 1

Σύνταξη προδιαγραφών-οδηγιών εφαρμογής για τη διασφάλιση της συμβατότητας υλικών και επεμβάσεων συντήρησης με τα αυθεντικά υλικά και δομικά συστήματα

LIST OF TEST METHODS

Standards

ASTM American Society for Testing and Materials. <www.astm.org>
BS British Standards Institution < www.bsi-global.com>
CSA Canadian Standards Association. <www.csa.ca>
EN European standard (Euro Norm). English versions available from British Standards Institution.
prEN Draft European standard
RILEM recommendations.

Tests for fresh masonry mortars

- EN1015-1 Methods of test for mortar for masonry. Determination of particle size distribution (by sieve analysis)
- EN 1015-2 Bulk sampling of mortars and preparation of test mortars
- EN 1015-3 Determination of consistence of fresh mortar (by flow table) [see KUL report]
- EN1015-4 Determination of consistence of fresh mortar (by plunger penetration) [see KUL report]
- prEN 1015-6 Determination of bulk density of fresh mortar [see KUL report]
- prEN 1015-7 Determination of air content of fresh mortar [see KUL report]
- prEN 1015-8 Determination of water retentivity of fresh mortar
- EN 1015-9 Determination of workable life and correction time of fresh mortar
- EN1015-17 Determination of water-soluble chloride content of fresh mortars
- EN 413-2 Masonry cement. Test methods. [see KUL report for evaluation of water retention test with filter papers]
- EN 459-2 Building lime. Part 2: Test methods. [see KUL report for evaluation of water retention test with filter plates]
- EN 125-43.04 Determination of workability [see KUL report on 'Workability' of fresh mortar by LCL workability meter]
- ASTM C91 Specification for Masonry Cement [contains water retention test by vacuum suction]
- PD 6678:2005 Guide to the specification of masonry mortar
- EN 998-2:2003 Specification for mortar for masonry. Masonry mortar

Tests for hardened masonry mortars

- EN1015-10 Methods of test for mortar for masonry. Determination of dry bulk density of hardened mortar
- EN 1015-11 Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar
- EN 1015-12 Determination of adhesive strength of hardened rendering and plastering mortars on substrates
- prEN 1015-14 Determination of durability of hardened masonry mortars (with cement comprising greater than 50% of the total binder mass)
- EN 1015-18 Determination of water absorption coefficient due to capillarity action of hardened mortars
- EN 1015-19 Determination of water vapour permeability of hardened rendering and plastering mortars
- EN 1015-21:2002 Methods of test for mortar for masonry. Determination of the compatibility of one-coat rendering mortars with substrates
- EN 196-1 Methods of testing cement. Determination of strength. [see KUL report for comments on moulding and demoulding prisms, and on compressive & flexural strength]
- EN 1936:2006 Natural stone test methods. Determination of real density and apparent density, and of total and open porosity. [see KUL report for comments re porosity of mortars]
- NBN B 15-229 Niet-destructive proeven meting van de geluidsnelheid [see KUL report for comments on dynamic E-modulus]

Σύνταξη προδιαγραφών-οδηγιών εφαρμογής για τη διασφάλιση της συμβατότητας υλικών και επεμβάσεων συντήρησης με τα αυθεντικά υλικά και δομικά συστήματα

- NF B 10-511, Norme Française Homologué, "Mesure du module d´élasticité dynamique", Association Française de Normalisation (AFNOR), Avril 1975 [used by Rosário Veiga]
- ISO 6784 Concrete – Determination of static modulus of elasticity in compression
- BS 4551:2005 Mortar. Methods of test for mortar. Chemical analysis and physical testing
- BS 4551-1:1998 Methods of testing mortars, screeds and plasters. Physical testing [used by Jan]
- EN12390-6 Testing of hardened concrete Part 6: Tensile splitting strength of test specimens [Jan]
- RILEM 50-FMC Committee: Determination of the fracture energy of mortar and concrete by means of three-point bend tests on notched beams
- RILEM MS-D.7 Determination of pointing hardness by pendulum hammer [used on plasters and renders]
- Carbonation depth using phenolphthalein solution [see KUL report]
- ASTM E96 Test methods for water vapor transmission of materials.
- ASTM C1148 Test method for measuring the drying shrinkage of masonry mortar

Test methods for aggregates

- EN 933-1 Tests for geometrical properties of aggregates. Part 1: Determination of particle size distribution – sieving method
- EN 1097-3 Tests for mechanical and physical properties of aggregates. Part 3: Determination of loose bulk density and voids
- EN 1097-6 Tests for mechanical and physical properties of aggregates. Part 6: Determination of particle density and water absorption

Test methods for binders

- EN 459-2 Building lime. Part 2: Test methods. Refers to other test methods such as
  - EN 196-2 Methods of testing cement. Part 2: Chemical analysis of cement [see KUL report]
  - Reactivity of quicklime [see KUL report]
- EN 413-2:2005 Masonry cement. Test methods
- EN 1097-6 Aggregate test used for particle density of binders [see KUL report]
- EN 1097-3 Aggregate test used for loose density and voids in binder powders [see KUL report]
- EN 196-6 Methods of testing cement. Part 6: Determination of fineness [see KUL report for comments on Blaine specific surface area]
- Determination of pozzolanic activity of the pozzolanic materials by thermal analysis [see KUL report]
- EN 196-5:2005 Methods of testing cement. Pozzolanicity test for pozzolanic cements
- DC BS 4551. Methods of test for mortar. Chemical analysis and water retentivity
- EN 13279-2:2004 Gypsum binders and gypsum plasters. Test methods

Test methods for mortar additives

- EN 934-3 Admixtures for concrete, mortar and grout. Admixtures for masonry mortar. Definitions, requirements, conformity, marking and labelling
- ASTM C1384 Specification for admixtures for mortar
- ASTM C979 Specification for pigments for integrally colored concrete
- BS EN 480-13:2002 Admixtures for concrete, mortar and grout. Test methods. Reference masonry mortar for testing mortar admixtures
- EN 12878:2005 Pigments for the colouring of building materials based on cement and/or lime. Specifications and methods of test

Tests for masonry units

- EN772-1 Methods of test for masonry units. Part 1: Determination of compressive strength
- EN772-4 Methods of test for masonry units. Part 4: Determination of real and bulk density and total and open porosity for natural stone masonry units
- EN 1926. Natural stone test methods. Determination of uniaxial compressive strength

Σύνταξη προδιαγραφών-οδηγιών εφαρμογής για τη διασφάλιση της συμβατότητας υλικών και επεμβάσεων συντήρησης με τα αυθεντικά υλικά και δομικά συστήματα

- EN 1936. Natural stone test methods. Determination of real density and apparent density, and of total and open porosity
- EN 771-6:2005 Specification for masonry units. Natural stone masonry units
- EN 14581:2004 Natural stone test methods. Determination of linear thermal expansion coefficient
- EN 14580:2005 Natural stone test methods. Determination of static elastic modulus
- EN 14146:2004 Natural stone test methods. Determination of the dynamic elastic modulus of elasticity (by measuring the fundamental resonance frequency)
- EN 14158:2004 Natural stone test methods. Determination of rupture energy
- EN 13755:2002 Natural stone. Test methods. Determination of water absorption at atmospheric pressure
- DD CEN/TS 772-22:2006 Methods of test for masonry units. Determination of freeze/thaw resistance of clay masonry units

Tests for masonry

- EN 1052-1
- EN 1052-2 Methods of test for masonry. Determination of flexural strength
- EN 1052-3 Methods of test for masonry. Determination of initial shear strength
- ASTM C1072 Measurement of masonry flexural bond strength
- ASTM C1357-04 Test methods for evaluating masonry bond strength
- CSA A179-04 Mortar and grout for unit masonry. Clause 9.2.4 Test method for flexural bond strength. For the test procedure it refers to CSA S304.1-04 Design of masonry structures (Annex E).

Τεχνικές και μέθοδοι ελέγχου ανθεκτικότητας και αντοχής υλικών και επεμβάσεων συντήρησης/αποκατάστασης στο εργαστήριο και στην κλίμακα του μνημείου

Βιομηχανικά κτίρια από ωπλισμένο σκυρόδεμα ενισχυμένα με ελκυστήρες: Μια αριθμητική αποτίμηση της απόκρισης για σεισμικές ακολουθίες
(Industrial reinforced concrete buildings strengthened by ties: A computational approach for multiple earthquakes)

Ά. Λιώλιος, Κ. Χαλιόρης

Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης (ΔΠΘ), Τμήμα Πολ. Μηχ., Ξάνθη

Abstract

Existing industrial buildings of reinforced concrete (RC), e.g. old factory premises, can be identifiate as elements of the recent Cultural Heritage. Seismic upgrading such structures, if their relative inadequacy is ascertained, using materials and methods in the context of Sustainable Construction, is very important. A numerical approach is presented for the seismic response of existing industrial reinforced concrete (RC) structures, which have been damaged due to extreme actions (environmental, seismic etc.) and are to be seismically upgraded by using cable elements (tension-ties). The ties-strengthening approach can be considered as an alternative one in comparison to other well-known traditional seismic-strengthening methods, e.g. the RC mantles, and has the advantages of "cleaner" and "more lenient" operation, avoiding as much as possible the unmaking, the digging, the extensive concreting and "nuisance" functionality of the existing building. A double discretization, in space by the Finite Element Method and in time by a direct incremental approach, is used. The unilateral behaviour of the cable-elements, which can undertake tension stresses only, is strictly taken into account and results to inequality constitutive conditions. A calibration of the numerical approach is realized in a typical example problem by comparing the computational results with available experimental ones. Finally, the cyclic response of an one-story one-bay frame strengthened by one tie is investigated and the optimal strengthening version of cable-systems is chosen by using damage indices for the case of multi-storey RC frames under seismic sequences.

Τεχνικές και μέθοδοι ελέγχου ανθεκτικότητας και αντοχής υλικών και επεμβάσεων συντήρησης/αποκατάστασης στο εργαστήριο και στην κλίμακα του μνημείου

Περίληψη

Υφιστάμενα βιομηχανικά κτίρια από ωπλισμένο σκυρόδεμα (ΚΩΣ), π.χ. παλαιές εργοστασιακές εγκαταστάσεις, μπορούν να χαρακτηρισθούν σαν στοιχεία της πρόσφατης Πολιτιστικής Κληρονομιάς. Η σεισμική τους αναβάθμιση σε περίπτωση διαπιστούμενης σχετικής ανεπάρκειάς τους με υλικά και μεθόδους στα πλαίσια της Αειφόρου Κατασκευής κρίνεται πολύ σημαντική. Στην παρούσα εργασία αναπτύσσεται μια μεθοδολογία αριθμητικού υπολογισμού της σεισμικής συμπεριφοράς τέτοιων ΚΩΣ που έχει αποτιμηθεί η τρωτότητά τους λόγω περιβαλλοντικών επιδράσεων (διαβρώσεις, ρηγματώσεις κ.λπ) και που ενισχύονται με συστήματα χαλυβδίνων ελκυστήρων. Η εναλλακτική λύση της ενίσχυσης με ελκυστήρες συγκριτικά με τις άλλες γνωστές παραδοσιακές μεθόδους ενίσχυσης, π.χ. μανδύες ΩΣ, έχει τα πλεονεκτήματα της «καθαρότερης» και «ηπιότερης» επέμβασης, αποφεύγοντας όσο το δυνατόν περισσότερο τις καθαιρέσεις, τα σκαψίματα, τις εκτεταμένες σκυροδετήσεις και την «όχληση» της λειτουργικότητας του κτιρίου. Η μονόπλευρη συμπεριφορά των ελκυστήρων, που μπορούν να παραλαμβάνουν μόνο εφελκυστικές αξονικές καταπονήσεις, λαμβάνεται αυστηρά υπόψη. Εφαρμόζεται διπλή διακριτοποίηση, στον χώρο με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων και στον χρόνο με μια μικροαυξητική διαδικασία. Η προτεινόμενη μεθοδολογία πρώτα βαθμονομείται με υπάρχοντα πειραματικά αποτελέσματα ενός μονόροφου τυπικού πλαισίου ΩΣ με έναν διαγώνιο ελκυστήρα. Κατόπιν εφαρμόζεται για ένα μονώροφο και ένα πολυώροφο πλαίσιο που υπόκειται σε διέγερση μιας σεισμικής ακολουθίας. Τέλος, βάσει υπολογιζομένων σχετικών δεικτών βλάβης, η βέλτιστη διάταξη των ελκυστήρων επιλέγεται για τους εξεταζόμενους πολλαπλούς σεισμούς.

Introduction

Besides the usual historic monumental structures (churches, old masonry buildings etc.), the recent Cultural Heritage includes also existing industrial buildings of reinforced concrete (RC), e.g. old factory premises. As concerns the global behaviour for such RC structures, it often arises the need for seismic strengthening, which must be realized by using materials and methods in the context of the Sustainable Construction [1-8].

Seismic upgrading of existing RC structures makes use of many and well-known repairing and strengthening techniques [9-14]. One of the simple, low cost and efficient method for strengthening of existing RC

frames against lateral induced earthquake loading is the use of steel cross X-bracings [15, 16]. Application of this technique is reported, among others, also in Greece to improve seismic performance of existing old pilotis type multi-story RC buildings by strengthening only the ground story [11].

The use of cable-like members (tension-ties) instead of traditional RC mantles can be considered as an alternative strengthening method for inadequate RC frame structures under lateral seismic actions [16]. As well-known, ties have been used effectively in monastery and other historic buildings, as well as in churches arches. Cable restrainers are also used for concrete and steel superstructure movement joints in bridges [17]. These cable-members (ties) can undertake tension but buckle and become slack and structurally ineffective when subjected to a sufficiently large compressive force. Thus the governing conditions take both, equality as well as an inequality form, and so the problem becomes a highly nonlinear one [18, 21-23].

In this study, it is first presented briefly a numerical approach for the seismic analysis of existing industrial beam-column RC frames that have been strengthened by cable elements. The approach is based on an incremental formulation and uses the Ruaumoko structural engineering software [20]. Damage indices are computed, for the seismic assessment of historic and industrial structures and in order the optimum cable-bracing strengthening version to be chosen. Next, a calibration of the approach is realized by using available experimental results. Finally, two applications are presented for a simple typical example of a one-bay one-story RC frame and for a two-bay two-story RC frame strengthened by bracing ties under multiple earthquakes.

A computational approach

Details of the developed numerical approach are given in [18, 21], whereas the adopted incremental approach is briefly summarized herein. A double discretization, in space and time, is applied. The structural system is discretized in space by using frame finite elements. Pin-jointed bar elements are used for the cable-elements. The unilateral behaviour of these elements can in general include loosening, elastoplastic or/and elastoplastic-softening-fracturing and unloading - reloading effects. All these characteristics, concerning the cable full constitutive law, as well as other general non-linearities of the RC structure, can be expressed mathematically by using concepts of convex and non-convex analysis [18, 21-23].

Incremental dynamic equilibrium for the assembled structural system with cables is expressed by the matrix relation:

$$\boldsymbol{M}\,\Delta\ddot{\boldsymbol{u}}+\boldsymbol{C}\,\Delta\dot{\boldsymbol{u}}+\boldsymbol{K_T}\,\Delta\boldsymbol{u} = -\boldsymbol{M}\,\Delta\ddot{\boldsymbol{u}}_g+\boldsymbol{A}\,\Delta\boldsymbol{s}+\Delta\boldsymbol{p} \qquad (1)$$

where $\boldsymbol{u}(t)$ and $\boldsymbol{p}(t)$ are the displacement and the load time dependent vectors, respectively, and $\boldsymbol{C}(\dot{\boldsymbol{u}})$ and $\boldsymbol{K_T}(\boldsymbol{u})$, are the damping and the tangent stiffness matrix, respectively. Dots over symbols denote derivatives with respect to time. By $\boldsymbol{s}(t)$ is denoted the cable stress vector. $\boldsymbol{A}$ is a transformation matrix and $\boldsymbol{u_g}$ the ground seismic excitation.

The above relations combined with the initial conditions consist the problem formulation, where, for given $\boldsymbol{p}$ and/or $\ddot{\boldsymbol{u}}_g$, the vectors $\boldsymbol{u}$ and $\boldsymbol{s}$ have to be computed. Regarding the strict mathematical point of view, we can formulate the problem as a hemi-variational inequality one by following [22, 23] and investigate it.

For the numerical treatment of the problem, the structural analysis software Ruaumoko [20] is used. Here, for the time-discretization, the Newmark scheme is chosen. Ruaumoko uses the finite element method and provides results which concern, among others, the following critical parameters: local or global structural damage, maximum displacements, inter-storey drift ratios, development of plastic hinges and various response quantities, which allow the using of the incremental dynamic analysis (IDA) method [19].

Ruaumoko has been applied successfully for multiple earthquakes concerning the cases of concrete planar frames [19] and RC frames strengthened by cables [21]. It is reminded that multiple earthquakes consist of real seismic sequences, which have been recorded during a short period of time (up to some days), by the same station, in the same direction, and almost at the same fault distance [19, 24].

After the seismic assessment of the existing RC structure [14], the choice of the best strengthening cable system can be realized by using damage indices [25-27]. In this study the overall structural damage index (OSDI) is used. This parameter summarizes all the existing damages on columns and beams of reinforced concrete frames in a single value, which is useful for comparison reasons.

In the OSDI model after Park/Ang [25-27] the global damage is obtained as a weighted average of the local damage at the section ends of each frame element or at each cable element. The local damage index is given by the following relation:

$$DI_L = \frac{\mu_m}{\mu_u} + \frac{\beta}{F_y d_u} E_T \tag{2}$$

where: DI_L is the local damage index, μ_m the maximum ductility attained during the load history, μ_u the ultimate ductility capacity of the section or element, β a strength degrading parameter, F_y the yield generalized force of the section or element, E_T the dissipated hysteretic energy, d_u the ultimate generalized displacement.

For the global damage index, which is a weighted average of the local damage indices, the dissipated energy is chosen as the weighting function. So, the global damage index is given by the following relation:

$$DI_G = \frac{\sum_{i=1}^{n} DI_{Li} E_i}{\sum_{i=1}^{n} E_i} \tag{3}$$

where DI_G is the global damage index, DI_L the local damage index, E_i the energy dissipated at location i and n the number of locations at which the local damage is computed.

Calibration of the computational approach

Examined experimental results from the literature

Available experimental results for a simple typical one-bay one-storey RC frame, strengthened with steel cross X-bracing and investigated in [15], have been used for the calibration of the presented numerical approach. For details, see [30].

The geometrical and reinforcement details of the frame along with the experimental testing procedure are presented in Fig. 1 [15, 30]. The strength class of the used concrete was C25. The steel bracings were squared tubes with section 20 mm × 20 mm, thickness 2 mm and yield strength 240 MPa. During these tests a lateral additive cyclic static load was applied to the storey beam in a displacement-controlled mode [30].

Simulation of the Massumi et al. [15] tests

With respect to aforementioned experimental results, the finite element models related to the unbraced and braced frames are made using Ruaumoko software [20]. The columns and the beam are modeled using prismatic frame elements. Nonlinearity at the two ends of RC members is

idealized using one-component plastic hinge models, following the Takeda hysteresis rule. Interaction curves (M-N) for the critical cross-sections of the examined RC frame have been computed. The effects of cracking on columns and beams are estimated by applying the guidelines of Eurocode 8, part 3 [28] and Greek Retrofitting Code (KANEPE) [14, 29]. The stiffness reduction due to cracking results to effective stiffness of 0.450 I_g for the columns and 0.225 I_g for the beam, where I_g is the gross inertia moment of their cross-section.

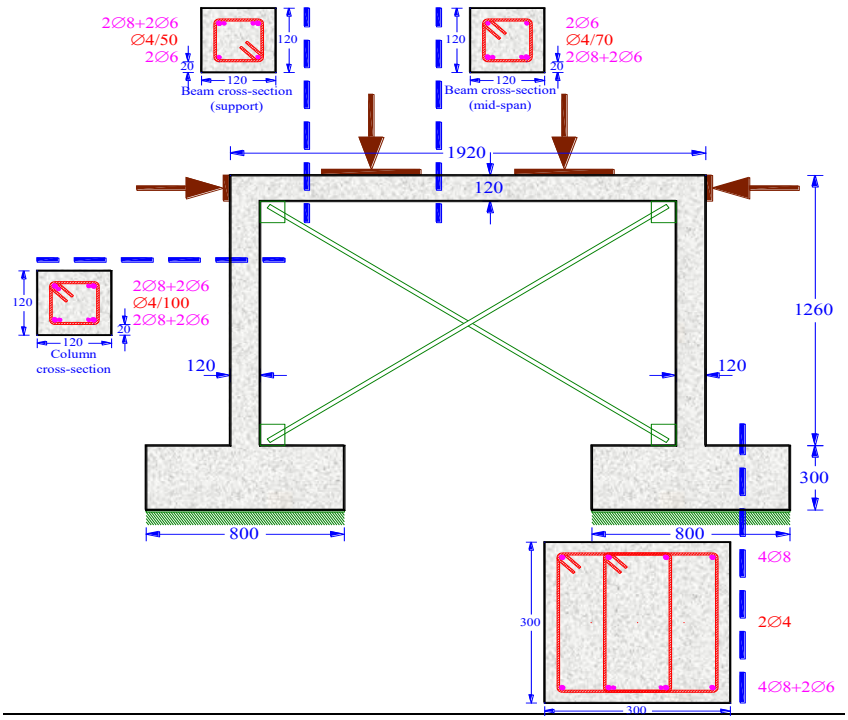


Figure 1. Geometry, reinforcements, strengthening system and test rig of the examined RC frames [15, 30]

Cable-elements are used for the steel bracings simulation by applying the bilinear with slackness hysteresis rule [20]. These cable elements have a cross-sectional area $F_c = 1.44$ cm^2, which is equivalent to the cross-sectional area of steel braces tubes. The cable constitutive law concerning the unilateral (slackness), hysteretic, fracturing, unloading-reloading behaviour, has the diagram depicted in Fig. 2. Ductility index is $\mu = d/d_y$.

Τεχνικές και μέθοδοι ελέγχου ανθεκτικότητας και αντοχής υλικών και επεμβάσεων συντήρησης/αποκατάστασης στο εργαστήριο και στην κλίμακα του μνημείου

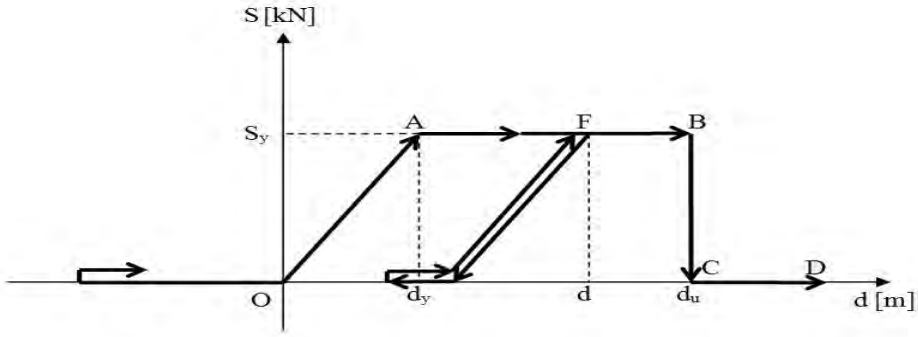


Figure 2. Constitutive law of the cable-elements.

The loading history of the examined cases (unbraced frame UBF1 and braced frame BF1 [15, 30]) has been simulated as a displacement-controlled multiple earthquake excitation imposed on the top left node C of the frame (see Fig. 1 and Fig. 5). The analytically derived hysteretic behavioural curves, i.e. diagrams of the load, P, versus to top displacement, u, for the unbraced (bare) frame and the X-braced frame are shown in Figs. 3 and 4, respectively, and compared with the experimentally obtained ones. From these figures it is obvious that the computed results are in very good agreement with the experimental data curves.

In the Table 1, the column (2) provides the Global Damage Index DI_G and the column (3) the Local Damage Index DI_L for the bending moment at the left fixed support A of the frame (see Fig.1 and Fig.5). Further, in the table column (4) the developed maximum horizontal top force P_{top} is also given.

The table values indicate, as expected, that cable-strengthening reduces the damage indices and increases the global horizontal frame resistance approximately 4.4 times; P_{max} = 12.52 kN for the unbraced frame, whereas P_{max} = 55.40 kN for the cable-X-braced frame. The frame-stiffness of the cable-strengthened RC frame is also increased as in infilled RC frames [32] and the damage indices are minimized.

Τεχνικές και μέθοδοι ελέγχου ανθεκτικότητας και αντοχής υλικών και επεμβάσεων συντήρησης/αποκατάστασης στο εργαστήριο και στην κλίμακα του μνημείου

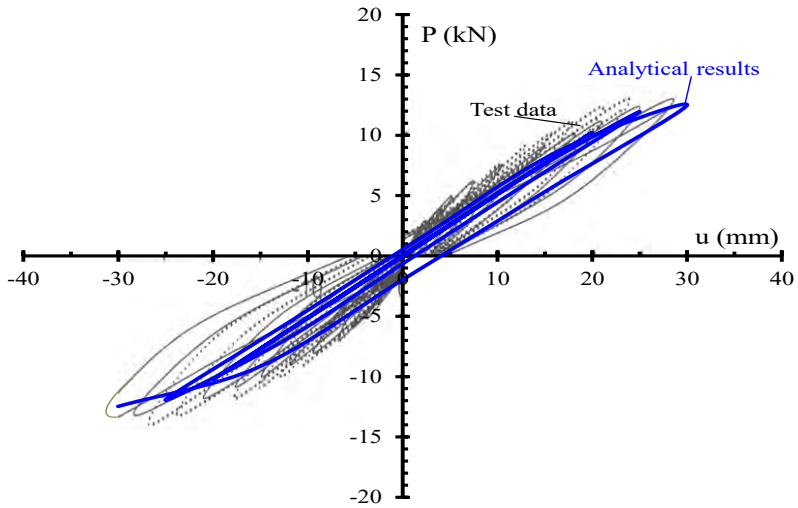


Figure 3. Analytical [30] and experimental [15] load versus displacement hysteretic behavioural curves for the examined unbraced RC frame.

Table 1. Representative quantities for the unbraced and braced frames

FRAME	DI_G	DI_L	P_{top} [kN]
(1)	(2)	(3)	(4)
Unbraced	0.098	0. 201	12.52
X-braced	0.001	0.001	55.40

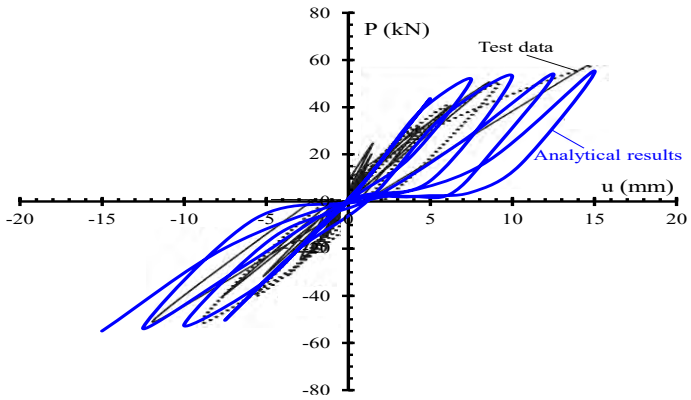


Figure 4. Analytical [30] and experimental [15] load versus displacement hysteretic behavioural curves for the examined X-cable braced RC frame.

Numerical examples

The case of one-tie braced frame

In order to clarify the unilateral behaviour of the cable-elements and their effects on the structural response, the same RC frame of Fig. 1 has been examined in [30] using only one diagonal tension-tie as shown in Fig. 5. The relevant analytically obtained load versus top displacement hysteretic behavioural curve is shown in Fig. 6. As this figure shows, when the loading is in the direction CD, the cable is activated and the system stiffness is increasing. On the contrary, when the loading is in the inverse direction DC, then the cable becomes slack and so inactivated, and the system stiffness is decreasing and approaching the one of the bare RC frame.

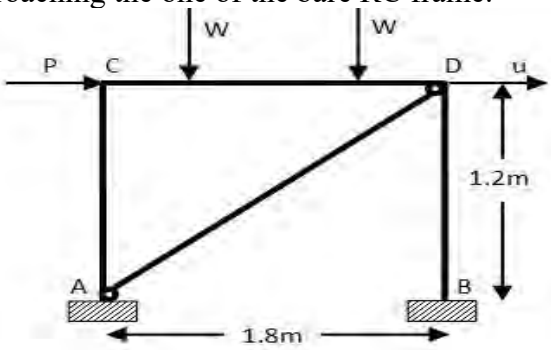
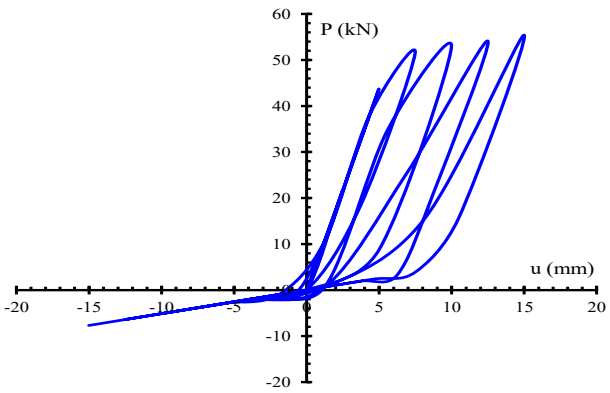


Figure 5. The one-tie braced RC frame



Τεχνικές και μέθοδοι ελέγχου ανθεκτικότητας και αντοχής υλικών και επεμβάσεων συντήρησης/αποκατάστασης στο εργαστήριο και στην κλίμακα του μνημείου

Figure 6. Computed load-displacement hysteretic behaviour for the one-tie braced RC frame

The case of a multi-storey frame under a seismic sequence

This example has presented in Ref. [21], and concerns the industrial reinforced concrete frame F0 of Fig. 7 subjected to a multiple ground seismic excitation, received from PEER database [24]. For the various example details see [21].

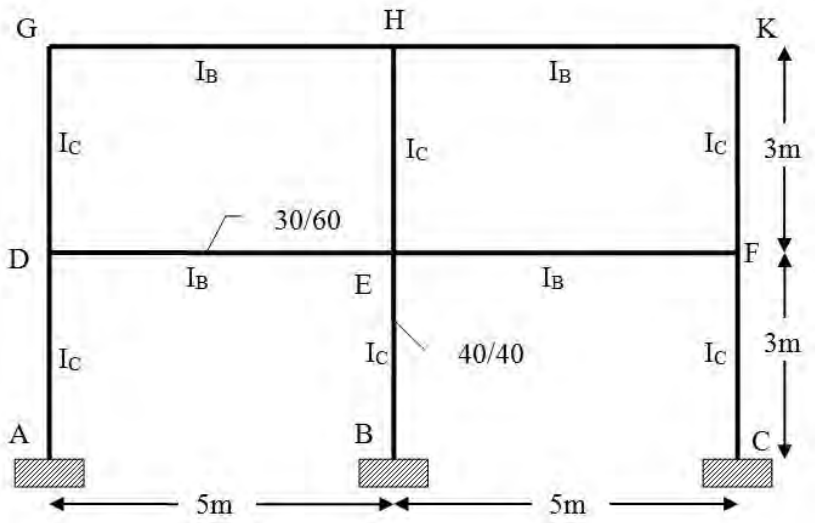


Figure 7. System F0: The industrial RC frame without cable-strengthening.

After the seismic assessment [14], the X-cable-bracings system, shown in Fig. 8, has been proposed as the optimal one in order the frame F0 to be seismically upgraded. The cable elements have a cross-sectional area F_c = 18 cm^2 and they are of steel class S220. Concerning the Coalinga case of seismic sequence [21, 24], some representative results are shown in Table 2.

Τεχνικές και μέθοδοι ελέγχου ανθεκτικότητας και αντοχής υλικών και επεμβάσεων συντήρησης/αποκατάστασης στο εργαστήριο και στην κλίμακα του μνημείου

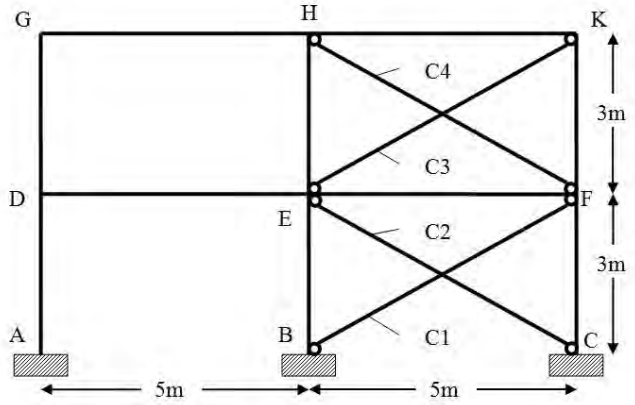


Figure 8. System F2: The industrial RC frame cable-strengthened with X-bracings.

In column (1) of the Table 2, the Event E_1 corresponds to Coalinga seismic event of 0.605g PGA, and Event E_2 to 0.733g PGA, ($g=9.81 m/sec^2$). The sequence of events E_1 and E_2 is denoted as Event (E_1+ E_2). In table column (2) the Global Damage Indices DI_G and in column (3) the Local Damage Index DI_L for the bending moment at the left fixed support A of the frames are given. Finally, in the column (4), the absolutely maximum horizontal top displacement u_{top} is given.

Table 2. Representative response quantities for the systems F0 and F2

SYSTEM	EVENTS	DI_G	DI_L	u_{top} [cm]
(0)	(1)	(2)	(3)	(4)
F0	Event E_1	0.134	0.179	2.227
	Event E_2	0.301	0.474	3.398
	Event (E_1+ E_2)	0.334	0.481	3.410
F2	Event E_1	0.068	0.007	1.126
	Event E_2	0.097	0.136	1.447
	Event (E_1+ E_2)	0.108	0.154	1.471

As the values in the above Table 2 show, multiple earthquakes generally increase response quantities, especially the damage indices. On the other hand, the strengthening of the frame F0 by X-bracings (system Frame F2 of Fig. 8) improves the response behaviour, e.g. u_{top} is reduced

from 3.410 cm to 1.471 cm.

Concluding remarks

The seismic inelastic behaviour of industrial RC frames strengthened by cable elements and subjected to multiple earthquakes can be numerically investigated by the herein presented computational approach. On the basis of computed damage indices, an optimal cable-bracing scheme can be selected among investigated alternative ones by realizing a parameter sensitivity analysis.

References

[1] Moropoulou, A. (2009). "Current Trends towards the Sustainable Construction. The Relation between Environment and Concrete". In: TEE (ed.), *Proceedings, 16th Hellenic Concrete Conference,* Cyprus, 2009.

[2] Asteris, P. G. & Plevris, V. (Eds.). (2015). "*Handbook of Research on Seismic Assessment and Rehabilitation of Historic Structures"*. IGI Global.

[3] Moropoulou A. & Labropoulos K. (2013), "Non-Destructive Testing for Assessing Structural Damage and Interventions Effectiveness for Built Cultural Heritage Protection". In: see [2], Ch. 15, pp. 448-499.

[4] Moropoulou A., Bakolas A., Spyrakos C., Mouzakis H., Karoglou A., Labropoulos K., Delegou E.T., Diamandidou D., Katsiotis. N.K., (2012). "NDT investigation of Holy Sepulchre complex structures", in: V. Radonjanin, K. Crews, (eds), *Proc. of Structural Faults and Repair 2012*, Proceedings in CD-ROM

[5] Spyrakos, C. (2015). "Seismic risk of historic structures and monuments: A need for a unified policy". In: M. Papadrakakis, V. Papadopoulos, V. Plevris (eds.), Proc. ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering, COMPDYN 2015, Crete Island, Greece, 25–27 May 2015

[6] Spyrakos C.C., P. Touliatos, D. Patsilivas, G. Pelekis, A. Xampesis, C.A. Maniatakis, "Seismic analysis and retrofit of a historic masonry building", In: S. Syngellakis (Editor), *Retrofitting of Heritage Structures - Design and evaluation of strengthening techniques* (pp. 65-74). Southampton, UK: WIT Press, 2013.

[7] Pantazopoulou, S. (2013). "State of the art report for the analysis methods for unreinforced masonry heritage structures and monuments". European Centre on Prevention and Forecasting of Earthquakes (ECPFE) Report, 2013.

[8] Spyrakos, C., (2004), "Seismic Strengthening and Rehabilitation of Structures", Technical Chamber of Greece,Athens Greece, 2004 (in Greek)

[9] Karayannis, C.G., Chalioris, C.E. and Sirkelis, G.M. (2008). *Local retrofit of exterior RC beam–column joints using thin RC jackets-An experimental study*. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 37(5), 727-746.

[10] Chalioris, C.E., Favvata, M.J. and Karayannis, C.G. (2008). *Reinforced concrete beam–column joints with crossed inclined bars under cyclic deformations*. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 37(6), 881-897.

[11] Antonopoulos, T.A., Anagnostopoulos, S.A. and Tsirlis, F.N., (2008). *Evaluation of the seismic performance of old reinforced concrete buildings with an open ground storey, simple retrofitting solutions.* Proc. 3rd Greek Conference on Earthquake Engineering and Engineering Seismology, 2061, Athens, Greece, 2008. (In Greek)

[12] Bertero, V.V. and Whittaker, A.S., (1989). "*Seismic upgrading of existing buildings"*, 5as Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica, 1, 27-46.

[13] Dritsos, S.E., (2001). "*Repair and strengthening of reinforced concrete structures"* (in greek). University of Patras, Greece.

[14] Fardis, M.N., (2009). "*Seismic design, assessment and retrofitting of concrete buildings: based on EN-Eurocode 8".* Springer, Berlin.

[15] Massumi, A. and Absalan, M. (2013). *"Interaction between bracing system and moment resisting frame in braced RC frames".* Archives of Civil and Mechanical Engineering, 13(2), 260-268.

[16] Tegos, I., Liakos, G., Tegou, S., Roupakias, G. and Stilianidis, K., (2009). "*An alternative proposal for the seismic strengthening of existing R/C buildings through tension-ties"*, TEE Proceedings, 16th Hellenic Concrete Conference, Cyprus, 2009.

[17] Priestley, M.J.N., Seible, F.C. and Calvi, G.G. M., (1996). *"Seismic Design and Retrofit of Bridges".* John Wiley & Sons, Inc..

[18] Liolios, Ang., Chalioris, C., Liolios, Ast., Radev, S. and Liolios, K., (2012). *"A Computational Approach for the Earthquake Response of Cable-braced Reinforced Concrete Structures under Environmental Actions".* Lecture Notes in Computer Science, LNCS, vol. 7116, pp. 590-597, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

[19] Hatzigeorgiou, G. and Liolios, Ast., (2010). "Nonlinear behaviour of RC frames under repeated strong ground motions". *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 30, 1010-1025, 2010.

Τεχνικές και μέθοδοι ελέγχου ανθεκτικότητας και αντοχής υλικών και επεμβάσεων συντήρησης/αποκατάστασης στο εργαστήριο και στην κλίμακα του μνημείου

[20] Carr, A.J., (2008). *"RUAUMOKO - Inelastic Dynamic Analysis Program".* Dep. Civil Engineering, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand.

[21] Liolios, Ast., Liolios, Ang. and Hatzigeorgiou, G., (2013). "A numerical approach for estimating the effects of multiple earthquakes to seismic response of structures strengthened by cable-elements". *Journal of Theor. Appl. Mechanics*, 43(3), 21-32.

[22] Panagiotopoulos, P.D., (1993). *Hemivariational Inequalities. Applications in Mechanics and Engineering*. Springer-Verlag, Berlin, New York, (1993).

[23] Mistakidis, E.S. and Stavroulakis, G.E., (1998). *Nonconvex optimization in mechanics. Smooth and nonsmooth algorithmes, heuristic and engineering applications*. Kluwer, London.

[24] PEER (2011). Pacific Earthquake Engineering Research Center. *PEER Strong Motion Database*. http://peer.berkeley.edu/smcat..

[25] Park Y.J. and A.H.S. Ang, (1985). Mechanistic seismic damage model for reinforced concrete*, Journal of Structural Division ASCE*, vol. 111(4), 722–739.

[26] Mitropoulou, C.C., Lagaros, N.D. and Papadrakakis, M., (2014). Numerical calibration of damage indices. *Advances in Engineering Software*, 70, 36-50.

[27] Elenas, A., Liolios, Ast., Vasiliadis, L., Favvata, M. and Liolios, Ang., (2012). Seismic intensity parameters as damage potential descriptors for life-cycle analysis of buildings. *IALCCE 2012: Proc. Third Int. Symp. Life-Cycle Civil Engineering*, Vienna, Austria, October 2012, CRC Press, Taylor & Francis, London.

[28] Eurocode 8 (CEN 2004). Design of structures for earthquake resistance, Part 3: Assessment and Retrofitting of buildings, (EC8-part3), EN 1998-3, Brussels.

[29] Greek Retrofitting Code-(KANEPE) (2013). Greek Organization for Seismic Planning and Protection (OASP), Greek Ministry for Environmental Planning and Public Works. Athens, Greece, 2013. (In Greek): www.oasp.gr.

[30] Liolios Ang. & Const. Chalioris, (2015). "Reinforced concrete frames strengthened by cable elements under multiple earthquakes: A computational approach simulating experimental results", In: Proc. of *8th GRACM International Congress on Computational Mechanics*, Volos, 12 – 15 July 2015.

Τεχνικές και μέθοδοι ελέγχου ανθεκτικότητας και αντοχής υλικών και επεμβάσεων συντήρησης/αποκατάστασης στο εργαστήριο και στην κλίμακα του μνημείου

Καταγραφή δημιουργίας και μορφολογίας ρωγμής πέτρας με ψηφιακή συμβολομετρία κοκκίωσης

Vivi Tornari[1], Antonia Moropoulou[2]

[1] Ινστιτούτο Ηλεκτρονικής Δομής και Λέιζερ ίδρυμα Τεχνολογίας και Έρευνας, Ν.Πλαστήρα 100, Ηράκλειο 71 110, Κρήτη
[2]Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 15780, Αθήνα

Abstract

In material science the strength of a material is its ability to withstand an applied stress without failure. The stresses acting on the material cause deformation which introduces irreversible damage. The interference fringes of holographic interferometry allow to differentiate behavioral responses and to provide a non interacting ND method to monitor the accumulation of stress as a function of loading as well as to study the irreversible role of fatigue in material breaking.

In this paper recent progress on portable system based on interferometric acquisition of real time holographically modulated speckle patterns to allow visualization of breaking moment from representative stone material under simulated loading conditions is presented. Experimental results of the application are presented confirming visualization of the stress concentration and fracture moment detailing visually the fracture morphology. The progress in portable instrumentation facilitates the expansion of the application in many areas of interest for Monument and cultural Heritage preservation ad constituent material deformation research.

In this paper it is examined the suitability of interference to detect structural micromorphology patterns witnessing fatigue accumulation, damage and fracture. Historical buildings suffer from environmental fluctuation, traffic vibrations especially in urban environment, pollution, vandalism, etc. These contribute to decay of monument and the distortion of material in an invisible but constant way. Small alterations may not be foreseeable at first but deteriorate and affect negatively the structure and the constituent materials. The study with non destructive and remote applied techniques is becoming possible with nowadays technology. In this study the counterpart of holographic interferometry made to a system for direct digital recording of surface response is implemented as a feasibility study for the interference technique on historical monuments.

Τεχνικές και μέθοδοι ελέγχου ανθεκτικότητας και αντοχής υλικών και επεμβάσεων συντήρησης/αποκατάστασης στο εργαστήριο και στην κλίμακα του μνημείου

An instrument designed to exploit the interference of light and the fringe patterns resulted, in any of a variety of ways, is an optical interferometer. Optical interferometers have been long ago implemented in physical research [1-5]. The concept of using laser interferometry for artwork structural analysis is satisfied from the inherent property of holographic interferometry to allow a light wave diffusely scattered by an object to be holographically recorded and reconstructed with precision that it can be interferometrically compared with light scattered by the same object at another time instance [6]. Historical buildings, decorative elements and works of art are susceptible to deterioration due to environmental and physical changes causing imperceptible at first damage which steadily affects the structural integrity till visible defects and fracture emerges on the surface. Laser interference methods provide non destructive and non contacting field-wise properties for inborn defect detection and structural evaluation investigations in art conservation research and applications directly from surface illumination. Interferometric precision denotes the resolution and accuracy of the measurement. Indeed, holographic interferometry high information content in in-plane and out-of-plane displacements has provided a standard reference in development of techniques based on same principles of optical coherent metrology for the inspection of art [7]. Today laser techniques are well known to conservation community for the selectivity, specificity, directionality, accuracy and flexibility that can provide to art conservation analysis research and restoration. The state of conservation and restoration plan is based on a methodical analysis essentially performed by experienced conservators prior to any intervention. As such a condition report is concluded following chemical and structural examination by a variety of conventional techniques [8]. Laser techniques as laser spectroscopic chemical analysis and laser interference structural analysis may be applied to support examination requirements [9-11].

Current practices for conventional structural inspection require heavy installation facilities limited in laboratory examination, theoretical modelling, extended time consuming processes in case of defect topography and structural examination, techniques mostly qualitative with limited in time and space resolution, and are mostly dominated from subjective and non repeatable procedures.

The protection and restoration of Cultural Heritage treasures, ranging from monumental heritage to museum collections strongly demands new tools and practices to face the challenges in regards to the deteriorating environment and increased Cultural tourism. Faster against time consuming

procedures, integrated against fragmented instrumentation, accurate against relative evaluation, quantitative against qualitative evaluation, repetitive against empirical data collection, are some of the demands of a new era in conservation approaches allowing technology know-how transfer in art conservation field.

Περίληψη

Στις επιστήμες υλικών η αντοχή ενός υλικού σε συνθήκες καταπόνησης είναι η δύναμη του υλικού να αντιστέκεται σε αυτές χωρίς να καταστρέφεται. Οι τιμές στις διάφορες συνθήκες διαφέρουν καθώς και η χρονική απόκριση σε αυτές. Το κάθε υλικό έχοντας τη δική του ελαστικότητα αντιστέκεται σε διαφορετικές συνθήκες με διαφορετικό τρόπο και σε διαφορετικό χρόνο πριν διαρραγεί η συνοχή του, σπάσει και οδηγηθεί σε μη-αντιστρέψιμη κατάσταση. Η παρατήρηση σε αληθινό χρόνο της διαδικασίας που υπόκειται το υλικό κατά τη καταπόνηση, την απώλεια της ελαστικότητας και τη τελική θραύση μπορεί να διαφωτίσει τη συμπεριφορά και τις ιδιαιτερότητες του διευκολύνοντας την ταξινόμηση και τις χρήσεις του σε διαφορετικές εφαρμογές.

Δημιουργήσαμε ένα σταθμό εργασίας στο εργαστήριο αντοχής υλικών και επιλέξαμε ως απεικονιστική μέθοδο οπτική γεωμετρία που βασίζεται στην ολογραφική ψηφιακή συμβολομετρία ενώ το δοκίμιο ήταν υπό καταπόνηση με τη μέθοδο θλίψης τριών σημείων. Η καταγραφή σε ημι-αληθινό χρόνο ξεκινάει πριν την υποβολή πίεσης και ολοκληρώνεται με τη θραύση του υλικού. Η επεξεργασία των μετρήσεων γίνεται με τη μέτρηση συμβολομετρικών δακτυλίων και όλα τα στάδια της απόκρισης του υλικού ταξινομούνται ανάλογα της έντασης της πυκνότητας των κροσσών.

Έτσι μπορούμε να παρακολουθήσουμε και να συγκρίνουμε την εξέλιξη της αντίδρασης και αντίστασης παρόμοιων ή διαφορετικών μεταξύ τους υλικών.

Σε αυτή την παρουσίαση δείχνονται τα αποτελέσματα των πρώτων μετρήσεων και ως υλικό επελέγησαν τα πέτρινα και μαρμάρινα δείγματα που αφορούν κατασκευές μνημείων και ιστορικών κτιρίων πολιτισμικού ενδιαφέροντος.

Εισαγωγή

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η καταλληλότητα της συμβολής φωτεινών κυμάτων να ανιχνεύσει τη διαδικασία κόπωσης ενός υλικού με

συνέπεια τη θραύση του. Είναι γνωστό ότι τα ιστορικά κτίρια καταπονούνται από τις περιβαλλοντική διακυμάνσεις, τις δονήσεις της κυκλοφορίας ειδικά σε αστικό περιβάλλον, τη ρύπανση, κλπ [1-3]. Αυτοί οι παράγοντες συμβάλλουν μακροπρόθεσμα στην σταδιακή φθορά του μνημείου και την παραμόρφωση του υλικού με έναν μη ανιχνεύσιμο αλλά σταθερά επιζήμιο τρόπο. Μικρές αλλαγές στη δομική συνοχή των υλικών του μνημείου δεν είναι ορατές από την πρώτη εκδήλωση, αλλά σε ένα προχωρημένο στάδιο που η σωρευτική επιδείνωση επηρεάσει αρνητικά τη συνοχή και τη δομή των συστατικών υλικά. Η μελέτη της διαδικασίας μακροχρόνιας φθοράς που δρα αργά αλλά σταθερά στη δομική ακεραιότητα είναι δυνατή μη καταστροφικά με την τεχνολογία λέιζερ και ειδικά τη τεχνολογία αιχμής του φορητού συστήματος DHSPI (Ψηφιακή Ολογραφικής Συμβολομετρίας Κοκκιδίωσης ή ΔΗΣΠΙ) που έχει αναπτυχθεί στο εργαστήριο Ολογραφίας του ΙΗΔΛ/ΙΤΕ και επιτρέπει την εξ' αποστάσεως παρακολούθηση και καταγραφή μετατοπίσεων της επιφάνειας στη κλίμακα του μισού μήκους κύματος του λέιζερ.

Ένα σύστημα που έχει σχεδιαστεί να εκμεταλλεύεται την παρεμβολή του φωτός και τα αποτελέσματα της είναι ένα οπτικό συμβολόμετρο. Οπτική συμβολόμετρα έχουν εφαρμοστεί εδώ και πολύ καιρό στην έρευνα φυσικών φαινομένων [4-9]. Η έννοια της χρήσης συμβολομετρίας λέιζερ στα έργα τέχνης για δομική ανάλυση ικανοποιεί την ανάγκη για μη καταστροφικό έλεγχο μεγάλης χωρικής διακριτικής ικανότητας και είναι δυνατή από την εγγενή ιδιότητα της ολογραφικής συμβολομετρίας να επιτρέπει σε ένα κύμα φωτός να διαχέεται από ένα αντικείμενο που καταγράφεται ολογραφικά και ανακατασκευάζεται με μαθηματική ακρίβεια έτσι ώστε να μπορεί να συγκριθεί με το φως που σκεδάζεται από το ίδιο αντικείμενο σε μια άλλη χρονική στιγμή [6].. Η ολογραφική συμβολομετρία παρέχει υψηλή περιεκτικότητα χωρικής πληροφορίας εκτός άξονα καταγράφοντας μετατοπίσεις που δεν είναι ορατές σε οπτικά συστήματα και συσκευές σάρωσης που μπορούν να καταγράψουν μετατοπίσεις που γίνονται μόνο στο επίπεδο της επιφάνειας. Εφόσον οι περιβαλλοντικοί παράγοντες διεγείρουν ταυτόχρονα ολόκληρο το υλικό το οποιο μετατοπίζεται ταυτόχρονα στις τρείς του διαστάσεις η δυνατότητα που παρέχεται για την ταυτόχρονη καταγραφή άπειρου αριθμού σημείων μιας επιφάνειας είναι ένα απαραίτητο μέσο για την κατανόηση των φυσικών φθορών που λαμβάνουν χώρα στις τρείς διαστάσεις [7].

Σήμερα οι τεχνικές λέιζερ είναι πολύ γνωστές στην ερευνητική κοινότητα για την ακρίβεια και την ευελιξία που μπορεί η κάθε μια να προσφέρει στην συντήρηση έργων τέχνης και κυρίως στην ανάλυση, διάγνωση και την αποκατάσταση τους [8-23].

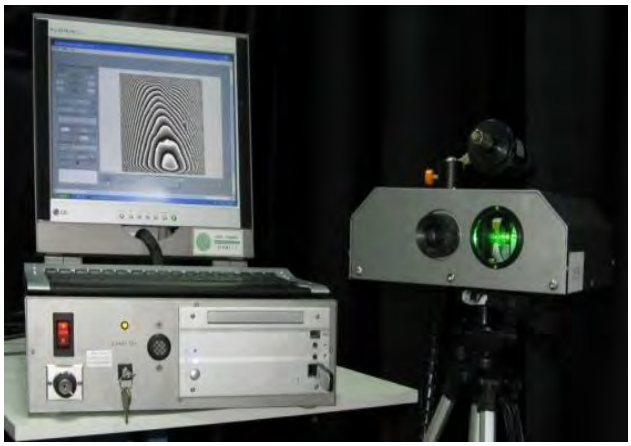
Τεχνικές και μέθοδοι ελέγχου ανθεκτικότητας και αντοχής υλικών και επεμβάσεων συντήρησης/αποκατάστασης στο εργαστήριο και στην κλίμακα του μνημείου

Παρουσιάζουμε την προκαταρκτική εργασία με το σύστημα ΔΗΣΠΙ για την άμεση ψηφιακή καταγραφή της απόκρισης της επιφάνειας η οποία υλοποιείται ως μια μελέτη σκοπιμότητας για την δομική διάγνωση των αποκρίσεων και των παρεμβάσεων στα ιστορικά μνημεία.

Σύστημα Ψηφιακής Ολογραφικής Συμβολομετρίας Κοκκίωσης

Η ολογραφική συμβολομετρία απαιτεί μεγάλη σταθερότητα τόσο όσον αφορά στην διάταξη που χρησιμοποιείται, όσο και στα δείγματα που μελετώνται. Το σύστημα ΔΗΣΠΙ εκμεταλλεύεται μια κοινή αντικραδασμική σταθερή βάση για την τοποθέτηση οπτικών και λέιζερ, λέιζερ υψηλής ισχύος που μπορεί να δίνει μεγάλης διάνοιξης δέσμες με μικρούς χρόνους έκθεσης και υψηλής ταχύτητας καταγραφέα (frame grabber). Με το συνδυασμό αυτόν είναι δυνατόν να λαμβάνονται συμβολογράμματα εκτός οπτικής τράπεζας. Το σύστημα μπορεί δηλαδή να χρησιμοποιείται και σε εξωτερικούς χώρους για εφαρμογές πεδίου.

Η διάταξη που αναπτύχθηκε παρουσιάζεται στην εικόνα 2.1 μέσα στο εργαστήριο ολογραφίας.



Εικόνα 2.1. Σχηματική αναπαράσταση πειραματικής διάταξης ψηφιακής ολογραφικής συμβολομετρίας όπως αναπτύχθηκε στο εργαστήριο ολογραφίας ΙΗΔΛ/ΙΤΕ

Το laser είναι Diode Pump, solid-state, single-frequency, CW 532nm. Η δέσμη laser με την βοήθεια ενός διαχωριστή δέσμης (beam splitter) διαχωρίζεται σε δύο βραχίονες οπτικού δρόμου και καθοδηγείται με τη βοήθεια καθρεπτών στο αντικείμενο και στο φωτοευαίσθητο μέσο. Ο διαχωριστής δέσμης μπορεί να είναι σταθερής η ποικίλης διαχωριστικής δύναμης ώστε ανάλογα με την ανακλαστικότητα του αντικειμένου να ρυθμίζεται η απαραίτητη ένταση δέσμης. Η δέσμη υψηλότερης έντασης οδηγείται στο αντικείμενο, με την βοήθεια ενός κοίλου καθρέπτη αποκλίνει ικανά ώστε να καλύψει το αντικείμενο η μέρος αυτού, και ονομάζεται «δέσμη αντικειμένου». Το υπόλοιπο μέρος της δέσμης αποτελεί τη λεγόμενη «δέσμη αναφοράς», η οποία και διαπερνά ένα φίλτρο

ρύθμισης της έντασής της και καθοδηγούμενη από δυο καθρέπτες εισέρχεται στον *beam expander* όπου και αυξάνει σε διάμετρο προκειμένου να εισέλθει στο καταγραφικό μέσο που στην προκειμένη περίπτωση είναι η CCD κάμερα.

Τεχνικές υπολογισμού φάσης: Προκειμένου να επιτύχουμε ποσοτικό υπολογισμό χρησιμοποιούνται οι τεχνικές μετατόπισης φάσης (phase shifting). Η βασική αρχή καθορισμού των αλλαγών φάσης βασίζεται στην τεχνητή εισαγωγή γνωστών ή σταθερών διαφορών φάσης σε μια από τις δέσμες. Η δέσμη αντικειμένου και αναφοράς συμβάλλουν στην επιφάνεια του CCD. Η δέσμη αναφοράς οδηγείται με την βοήθεια ενός καθρέπτη στον οποίο έχει τοποθετηθεί ο πιεζοηλεκτρικός μετατροπέας για την αλλαγή φάσης. Με το πιεζοηλεκτρικό αυτό η φάση της δέσμης αναφοράς μπορεί να μεταβληθεί με βήματα. Η βασική αρχή της μεθόδου είναι η καταγραφή ενός συγκεκριμένου αριθμού συμβολογραμμάτων, με αμοιβαίες μεταβολές φάσης. Η φάση του αντικειμένου υπολογίζεται από τα συμβολογράμματα στα οποία έχει μεταβληθεί η φάση. Η πραγματική φάση ή αλλαγή φάσης υπολογίζεται καταγράφοντας διαδοχικές διαφορές φάσης π/2 και με κατάλληλο αλγόριθμο υπολογίζεται η άγνωστη διαφορά φάσης που εισάγει το υπό εξέταση αντικείμενο. Η παρουσίασή τους μπορεί να γίνει είτε με απευθείας παρουσίαση της διαφοράς φάσης εν είδη διαμόρφωσης έντασης (με την μορφή κροσσών), είτε με το λεγόμενο «ξεδίπλωμα» (phase unwrapping) της διαφοράς φάσης προκειμένου να ληφθεί μια ομαλή εικόνα της μετατόπισης του αντικειμένου σε μορφή χάρτη (height map). Στον αυτοματοποιημένο αλγόριθμο που αναπτύξαμε για τη μελέτη δυναμικών φαινομένων το αποτέλεσμα ειναι κατευθείαν με ξεδιπλωμένη φάση και έτσι η μέτρηση μετατοπίσεων γίνεται κατευθείαν με τα εργαλεία επεξεργασίας ενώ στη μελέτη δομικών αλλοιώσεων για την παραγωγή χαρτών αλλοιώσεων η διαδικασία είναι διαφορετική και χρησιμοποιείται η διπλωμένη φάση.

Πειραματική διαδικασία

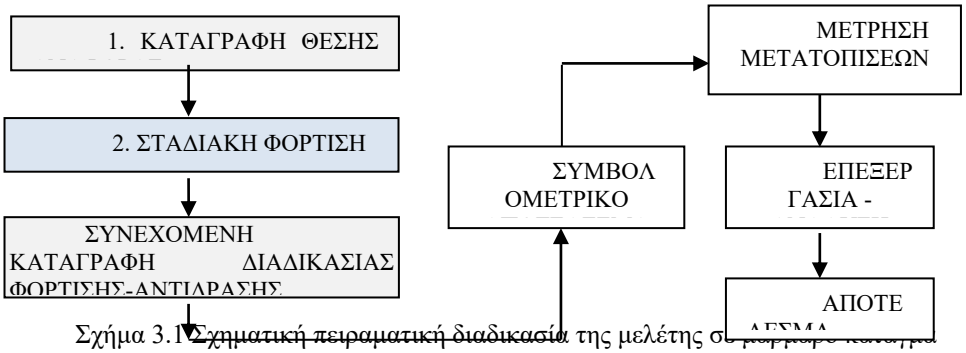
Εξετάστηκαν με σύστημα ΔΗΣΠΙ δυο όμοιας προέλευσης και κοπής δείγματα απο το ορυχείο Μάνης προκειμένου να καταγραφεί η συμβολομετρική τους απόκριση και η δυνατότητα εφαρμογής της τεχνικής σε μετρήσεις θλίψης και εφελκυσμού. Το πείραμα έγινε στο εργαστήριο Αντοχής Υλικών του ΕΜΠ στη Πολυτεχνειούπολη ζωγράφου.

Στο πρώτο δείγμα εφαρμόστηκε ρυθμός φόρτισης 0.005 mm/sec ενώ στο δεύτερο 0.00005 mm/sec. Ο πρώτος ρυθμός που επελέγη ήταν αρκετά γρήγορος και το δείγμα έφτασε στο όριο θραύσης ≈1200 N σε λίγα λεπτά. Ο επόμενος ρυθμός ήταν αρκετά πιο αργός και το δείγμα έφτασε στο όριο θραύσης σε μεγαλύτερο χρόνο επιτρέποντας λεπτομερή καταγραφή αντιδράσεων. Και στις δύο περιπτώσεις τα συμβολογράμματα παρουσίασαν την αύξηση του φορτίου στον χρόνο με αύξηση της πυκνότητας των κροσσών. Έγινε επίσης δυνατό να καταγραφούν οι περιοχές θραύσης και να ορατοποιηθεί η στιγμή της θραύσης, η μετατόπιση στο σημείο θραύσης και η χαρακτηριστική διαμόρφωση κροσσών ρήξης υλικού.

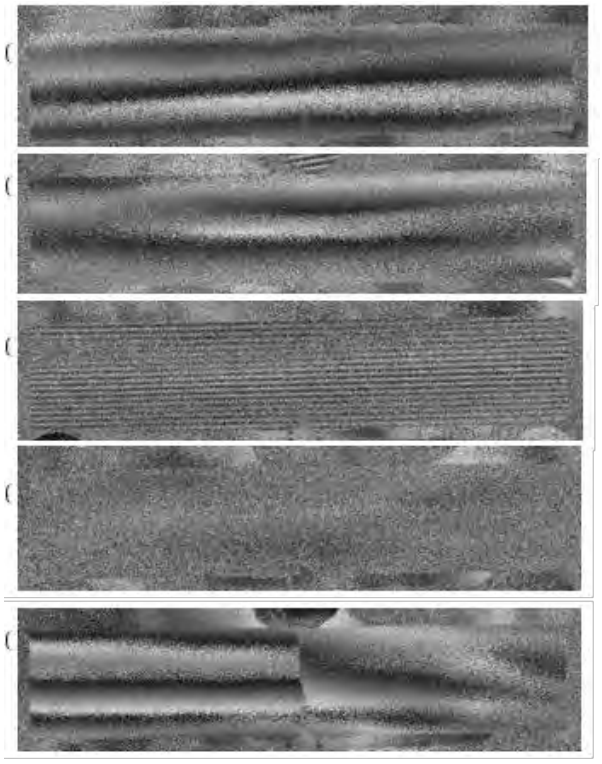
Στη συνέχεια στο σχήμα 3.2, παρουσιάζονται ενδεικτικά αποτελέσματα συμβολογραμμάτων απο την αρχή της φόρτισης έως την θραύση του δείγματος απο τα δοκίμια Α33 για 0.005 mm/sec και Α34 για 0.00005 mm/sec

Στην παρούσα μελέτη, η πειραματική διαδικασία που φαίνεται στο σχήμα της εικόνας 3.1 χωρίζεται σε δύο στάδια α) καταγραφή κατάστασης δοκιμίου σε ηρεμία και β) παρακολούθηση των αντιδράσεων του δείγματος που προκαλείται από διαξονική ένταση με την αύξηση της συσσώρευσης μέχρι τη θραύση του.

Τεχνικές και μέθοδοι ελέγχου ανθεκτικότητας και αντοχής υλικών και επεμβάσεων συντήρησης/αποκατάστασης στο εργαστήριο και στην κλίμακα του μνημείου



Σχήμα 3.1 Σχηματική πειραματική διαδικασία της μελέτης σε [illegible]



3.2 Δοκίμιο A33 στη διαδικασία θλίψης με ρυθμό 0.005 mm/sec.

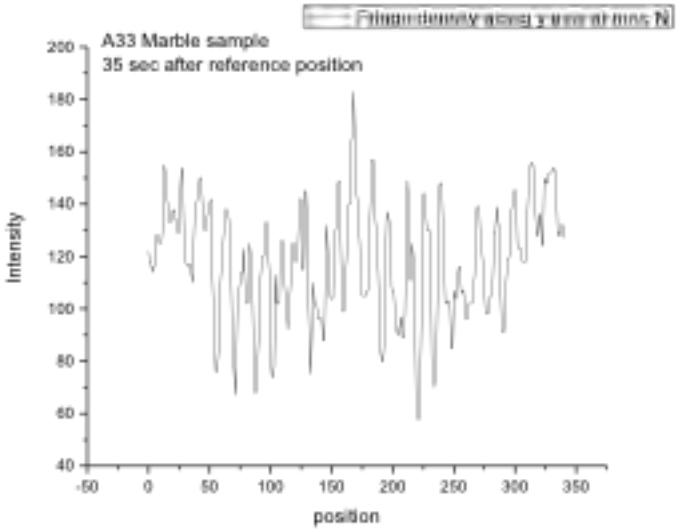
Παρατηρείτε η χαρακτηριστική αύξηση της πυκνότητας των συμβολομετρικών κροσσών με το χρόνο φόρτισης και αύξησης του φορτίου. Το δοκίμιο παρουσιάζει κροσσούς χαρακτηριστικούς μονοδιάστατης μετατόπισης και με γραμμική αύξηση με την αύξηση του φορτίου. Όμως καθώς το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε βασίζεται στη καταγραφή της αρχικής θέσης και την διαφορική μετατόπιση όπως αναπτύσσεται χρονικά η συνεχής καταγραφή των νέων θέσεων απαιτείται

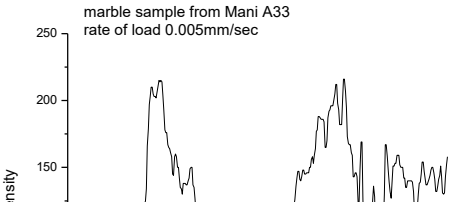
για την συνολική παρακολούθηση του φαινομένου. Πειραματικά το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίστηκε με την δημιουργία νέων καταγραφών στη διάρκεια της φόρτισης και εξειδικευμένη ανάπτυξη του λογισμικού για να διατηρείται η συνεχής καταγραφή της πυκνότητας των κροσσών. Τη χρονική περίοδο των αποτελεσμάτων το αυτοματοποιημένο λογισμικό δεν είχε αναπτυχθεί και αυτός είναι ο λόγος που το τελευταίο συλλαβόγραμμα έχει μικρότερη πυκνότητα δακτυλίων από το προηγούμενο του, εφόσον η αρχική του θέση έχει καταγραφεί λίγο πριν την θραύση. Παρόλη την διακοπή στη διάρκεια της καταγραφής για την δημιουργία αρχικών θέσεων, η ρωγμή την στιγμή της θραύσης φαίνεται καθαρά στο τελευταίο συμβολόγραμμα που παρουσιάζεται στην εικόνα 3.2. Με δεδομένο ότι ο κάθε κύκλος καταγραφής συμβολογραμμάτων του δοκιμίου με ρυθμό φόρτισης 0.005 mm/sec διαρκεί ≈60 sec μέχρι η χωρική συχνότητα της μετατόπισης να φτάσει στο μέγιστο της διακριτικής ικανότητας του αισθητήρα καταγραφής μπορούμε να υπολογίσουμε την μέγιστη μετατόπιση που φτάνει το δοκίμιο ανα κύκλο καταγραφής. Έτσι έχουμε $\Delta\varphi = N \cdot \lambda/2 = 18 \cdot 0{,}266 = 4{,}788$ μ/60 sec

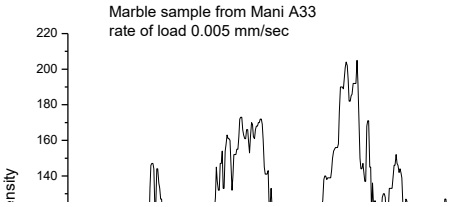
Η διάρκεια φόρτισης πριν την ρήξη του υλικού επέτρεψε 3 κύκλους καταγραφής και άρα έχουμε 14,364 μ συνολικής μετατόπισης. Το μέγεθος αυτό όμως δεν συμφωνεί κατά 1,364 μ απο την μέτρηση αισθητήρα επαφής με το δοκίμιο και δεν μπορεί να ερμηνευθεί απο στατιστικό λάθος καθότι σε μονοδιάστατες μετατοπίσεις το μέγιστο λάθος είναι 0,532 μ. Η εξήγηση της διαφοράς των 0,832 μ ανάγεται στην έλλειψη επικοινωνίας των συστημάτων καταγραφής-φόρτισης ή στην διαφορά ευαισθησίας του αισθητήρα επαφής με το σύστημα καταγραφής συμβολογραμμάτων. Το χαρακτηριστικό διάγραμμα της 3.3 δείχνει την μέγιστη πυκνότητα κροσσών ανά κύκλο καταγραφής. Το συμβολόγραμμα της 3.5 (c) είναι το επαναλήψιμο πρότυπο χωρικής συχνότητας ανά καταγραφή που χρησιμοποιήθηκε για το διάγραμμα μετά την επεξεργασία με φίλτρο χαμηλών χωρικών ώστε να εντοπιστούν τα μέγιστα των κορυφών στη τιμή 120.

Επίσης χαρακτηριστική είναι η διαφορετική χωρική συχνότητα της συμβολής κατά την χρονική στιγμή της θραύσης. Αν εξεταστεί η πυκνότητα των κροσσών εξ αμφοτέρου παράπλευρα της ρωγμής ανιχνεύουμε τη διαφορετική κατανομή του φορτίου όπως φαίνεται στα διαγράμματα της εικόνας 7.6.

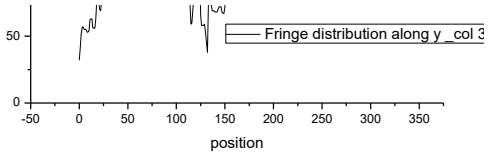
Τεχνικές και μέθοδοι ελέγχου ανθεκτικότητας και αντοχής υλικών και επεμβάσεων συντήρησης/αποκατάστασης στο εργαστήριο και στην κλίμακα του μνημείου

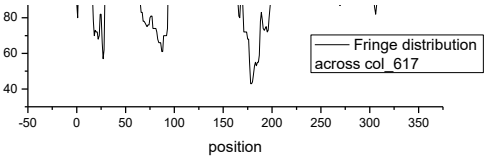






3.4 Διαγράμματα πυκνότητας κροσσών εξαμφοτέρω ρωγμής με άνιση κατανομή

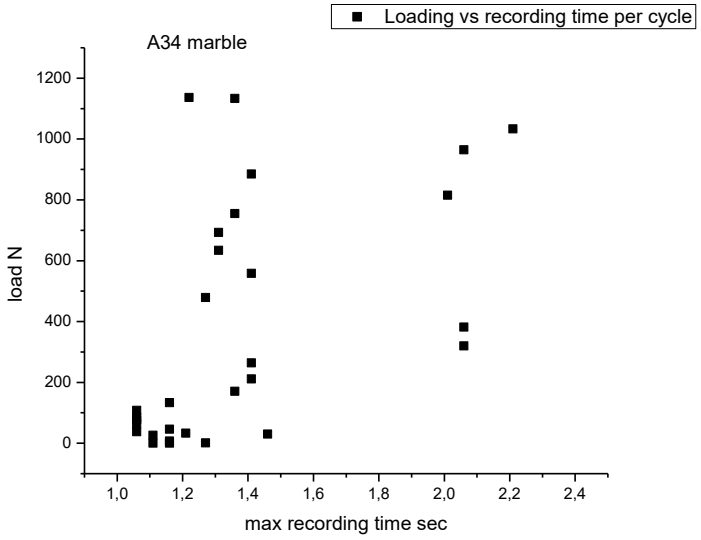




του. Ο πίνακας τιμών φόρτισης και απαιτούμενου κύκλου καταγραφής φαίνεται στον πινακα 3.1. Η διαφορά των 30-60 sec που παρατηρήθηκε στα διαφορετικά φορτία φαίνεται στο γράφημα 3.8 και μετέχει διευκρίνησης για τα δομοστατικά φορτία και τον τρόπο απόκρισης του συγκεκριμένου υλικού. Σύμφωνα με τα στοιχεία καταγραφής του πειράματος η συνολική μετατόπιση πριν την θραύση διαφέρει σημαντικά από την προηγούμενη τιμή και ανέρχεται στα 143,64 μ. Αυτή η τιμή δεν μπορεί να θεωρηθεί ως απόλυτη εφόσον οι κύκλοι που χρειάστηκαν ήταν αρκετοί ώστε αφενός να εμπίπτουν στο ανθρώπινο σφάλμα αλλά και αφετέρου στη διαταραχή του συστήματος καταγραφής κατά την διάρκεια τόσο μεγάλων χρόνων. Βλέπουμε όμως ότι η αύξηση είναι παράγοντας του 10 και διαιρώντας το 143,64 μ ερχόμαστε στο προηγούμενο λογικό βαθμό μετατόπισης 14,364 μ. Με αυτό τον τρόπο συνάγουμε ότι η μέτρηση ανά κύκλο καταγραφής εμπεριέχει

Τεχνικές και μέθοδοι ελέγχου ανθεκτικότητας και αντοχής υλικών και επεμβάσεων συντήρησης/αποκατάστασης στο εργαστήριο και στην κλίμακα του μνημείου

σφάλμα κατά 2 ζεύγη κροσσών και άρα είναι της τάξης 0,532 ανά κύκλο. Απο αυτή την ανάλυση φαίνεται καθαρά ότι εξειδικευμένο λογισμικό θα μπορούσε να ολοκληρώνει πιο αποτελεσματικά και κατά την διάρκεια του πειραματικού χρόνου αυτά τα μεγέθη προσφέροντας μεγαλύτερη ακρίβεια στις απόλυτες τιμές μετατοπίσεων.

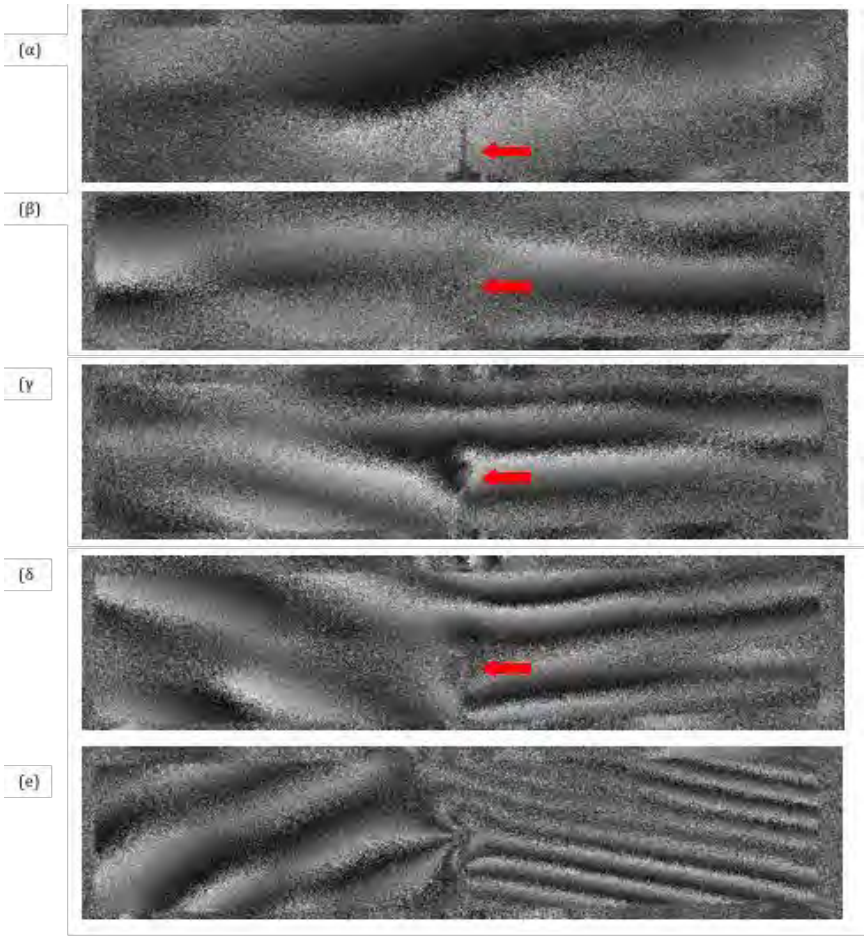


Χα
κατα τη
Τ
μήκ
Ο
τάσεων σ
συμβολόγρ
Η διαμόρφ
διαγράμμα

3.5 Σχέση κύκλου καταγραφής μέγιστης πυκνότητας κροσσών σε σχέση με την αύξηση φόρτισης.

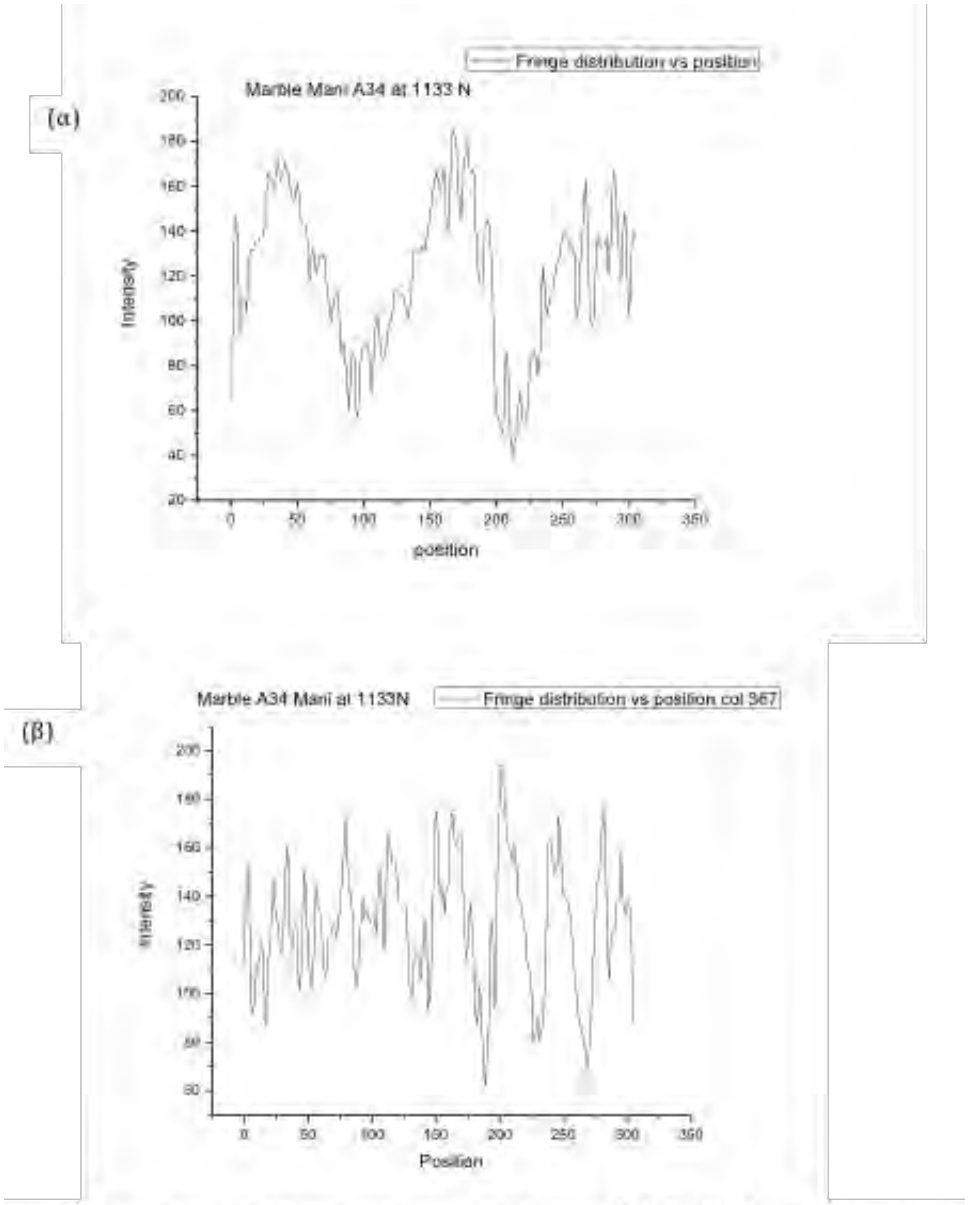
της δομής εμφανίζεται στην ακμή της ρωγμής ενώ η ανισότιμη κατανομή μετατόπισης όπως φαίνεται στη διαφορετική πυκνότητα και μικρή κλίση των κροσσών, δεξιά με

αριστερά της ρωγμής (εικ. 7.10), δεν διασπά την συμμετρία της αντίδρασης του δοκιμίου γύρω απο αυτό το κέντρο.



3.6 Χαρακτηριστικά συμβολογράμματα δοκιμίου κατά την φόρτιση τριών σημείων στα 1133 N. Από α-δ στη διάρκεια της φόρτισης και, ε) θραύση.

Τεχνικές και μέθοδοι ελέγχου ανθεκτικότητας και αντοχής υλικών και επεμβάσεων συντήρησης/αποκατάστασης στο εργαστήριο και στην κλίμακα του μνημείου



3.6 Διακύμανση κροσσών εξ αμφοτέρων της ρωγμής του δοκιμίου A34 στα 1133 N, στην α) αριστερά και β) δεξιά.

Συμπεράσματα

Η τεχνική της ολογραφικής συμβολομετρίας παρουσιάστηκε σε χαρακτηριστικά παραδείγματα όπως η εφαρμογή μελέτης θραυστότητας

δομικών λίθων κατά την διάρκεια καταπόνησης ως την τελική θραύση. Εφόσον τα ανωτέρω παραδείγματα αντιπροσωπεύουν χαρακτηριστικά προβλήματα στην Προστασία Μνημείων και έργων πολιτιστικής κληρονομιάς η τεχνική μπορεί να συνεισφέρει στην ενδελεχή, επιτόπια και μη καταστρεπτική μελέτη παρόμοιων προβλημάτων. Η εφαρμογή στη διερεύνηση μηχανισμών θραύσης απαιτεί περαιτέρω μελέτη και ανάπτυξη και η παρουσίαση των συγκεκριμένων αποτελεσμάτων σε αυτή την εργασία αποδεικνύει ότι η τεχνική είναι ένα δόκιμο εργαλείο για την έρευνα στο συγκεκριμένο πεδίο.

Γνωστοποίηση

Η εργασία παρουσιάζεται στο πλαίσιο του Προγράμματος ΘΑΛΗΣ-ΑΕΙΣ "Αειφορία και συμβατότητα προηγμένων υλικών και τεχνολογιών για την προστασία μνημείων της Πολιτιστικής Κληρονομιάς: ανάπτυξη κριτηρίων και μεθοδολογιών ελέγχου" με επιστημονικά υπεύθυνη την Καθ. Α. Μοροπούλου, με τη χρηματοδότηση του Επιχειρησιακού Προγράμματος "Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση" του Υπουργείου Πολιτισμού, Παιδείας και Θρησκευμάτων

Αναφορές - Βιβλιογραφία

Anglos D., Solomidou M., Zergioti I., Zafiropulos V., Papazoglou T. G., and Fotakis C., *Laser Induced Fluorescence in Artwork Diagnostics. An Application in Pigment Analysis.* Appl. Spectrosc., 1996. **50**: p. 1331-1334.

Avdelidis, N.P., Moropoulou, A., “Applications of infrared thermography for the investigation of historic structures: a review study”, Journal of Cultural Heritage, 5 [1] (2004) pp. 119-127

Kock, W. E., *Engineering applications of lasers and holography*, 1975, Plenum Press, New York, USA.

Moropoulou, A., Koui, M., Avdelidis, N.P., Delegou, E.T., Aggelakopoulou, E., Karoglou, M., Karmis, P., Aggelopoulos, A., Griniezakis, S., Karagianni, E.A., Uzunoglou, N.K., “NDT methodology for the protection of mosaics”, in Proc. of ART 2002 Int. Conf., Antwerp, (2002) Proceedings in CD-Rom.

Stroke, G. W., *Coherent optics and holography*, 1969, Academic Press, Inc. (London), UK.

Okoshi, T., *Three-dimensional imaging techniques*, 1976, Academic Press, Inc. (London), UK.

Τεχνικές και μέθοδοι ελέγχου ανθεκτικότητας και αντοχής υλικών και επεμβάσεων συντήρησης/αποκατάστασης στο εργαστήριο και στην κλίμακα του μνημείου

Vest C. M., *Holographic interferometry*. 1979, USA: John Wiley & Sons.

V. Tornari, V. Zafiropulos, A. Bonarou, N. A. Vainos, and C. Fotakis, " Modern technology in artwork conservation: A laser based approach for process control and evaluation", *Journal of Optics and Lasers in Engineering*, vol. 34, (2000), pp 309-326

V. Tornari, "Laser Interference-Based Techniques and Applications in Structural Inspection of Works of Art", *Analytical and Bioanalytical Chemistry*; **387,** 761-80 (2007)

Vivi Tornari, Eirini Bernikola, Elsa Tsiranidou, Interference fringe-patterns association to defect-types in artwork conservation: an experiment and research validation review, Applied Physics A: Volume 106, Issue 2 (2012), Page 397-410

V. Tornari, E. Bernikola, A. Nevin, E. Kouloumpi, M. Doulgeridis, C. Fotakis, Fully non contact holography-based inspection on dimensionally responsive artwork materials. Sensors 2008, 8, DOI 10.3390/sensors

"*Lasers in the Preservation of Cultural Heritage; Principles and applications*", Fotakis C., D. Anglos, V. Zafiropulos, S. Georgiou, V. Tornari, Ed. R. G. W. Brown, E. R. Pike (Taylor and Francis, New York 2006).

"Preventive deformation measurements on cultural heritage materials based on noncontact surface response of model samples", Vivi Tornari, Eirini Bernikola , Nota Tsigarida , Michalis Andrianakis, Kostas Hatzigiannakis , Johanna Leissner, Studies in Conservation 2015, Supplement LACONA X, Maney publishing ISSN 0039-3630, vol.60, pp 143-158, (2015) http://www.maneyonline.com/doi/abs/10.1179/0039363015Z.000000000219

"Delocalized Photomechanical Effects of UV ns Laser Ablation on Polymer Substrates Captured by Optical Holography Workstation: An Overview on Experimental Result," Vivi Tornari, Advances in Optics, vol. 2014, Article ID 105482, 13 pages, doi:10.1155/2014/105482, (2014).

"Holographic testing of possible mechanical effects of laser cleaning on the structure of model fresco samples", Zs. Márton, I. Kisapáti, Á. Török, V. Tornari, E. Bernikola, K. Melessanaki, P. Pouli, NDT&E International, http://dx.doi.org/10.1016/j.ndteint.2014.01.007 (2014)

"Synchronized deformation monitoring in laser cleaning: an application for cultural heritage conservation", V. Tornari, E. Bernikola, K. Hatzigiannakis, K. Melessanaki, P. Pouli, Universal Journal of Physics and Application Vol 1(2), pp. 149-159, DOI: 10.13189/ujpa.2013.010215 (2013)

Τεχνικές και μέθοδοι ελέγχου ανθεκτικότητας και αντοχής υλικών και επεμβάσεων συντήρησης/αποκατάστασης στο εργαστήριο και στην κλίμακα του μνημείου

"Micro-mapping of defect structural micro-morphology in the documentation of fresco wallpaintings", V. Tornari, E. Bernikola, E. Tsiranidou, K. Hatzigiannakis, M.Andrianakis, V. Detalle, J.L. Bodnar, International journal of heritage in the digital era, **1 (2)** (2013)

"Spatial Coordinates in Interferometry Fringes: A Timeless Artwork Multipurpose Documentation", V. Tornari, Journal of basic and applied physics, **1 (2)**, 39-48 (2012).

"Interference fringe-patterns association to defect-types in artwork conservation: an experiment and research validation review", V Tornari, E. Tsiranidou, E. Bernikola, Applied Physics A **106(2),** 397–410 (2012).

"Rapid initial dimensional changes in wooden panel paintings due to simulated climate-induced alterations monitored by digital coherent out-of-plane interferometry", E. Bernikola, A. Nevin, V. Tornari, Applied Physics A **95**, pp. 387-399 (2009).

"Fully non contact holography-based inspection on dimensionally responsive artwork materials". V. Tornari, E. Bernikola, A. Nevin, E. Kouloumpi, M. Doulgeridis, C. Fotakis, Sensors 2008, 8, DOI 10.3390/sensors (2008)

Τεχνικές και μέθοδοι ελέγχου ανθεκτικότητας και αντοχής υλικών και επεμβάσεων συντήρησης/αποκατάστασης στο εργαστήριο και στην κλίμακα του μνημείου

Ανέπαφη και μη-καταστρεπτική εκτίμηση βλαβών σε ιστορικές κατασκευές με τη χρήση Σάρωσης Δονήσεων με Laser
(Non-contact and non-destructive damage assessment in historical structures by applying Laser Scanning Vibrometry)

Κ.Π. Προβιδάκης, Ε.Β. Λιαράκος

Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, Πολυτεχνείο Κρήτης

Abstract

The reliable evaluation of structural integrity state of heritage constructions and monuments is a significant issue in optimal design and implementation of their conservation plans. Non-Destructive Testing (NDT) methods provide the option of in-situ assessments concerning the mechanical properties of a structure, avoiding simultaneously any specimen punctual sampling. Laser Scanning Vibrometry (LSV) is a very promising new technique for non-contact measurement of vibration velocity in a specific point of a structure in time domain. LSV exploits a Ne-He laser source and is based on theoretical principles of laser's interferometry. Furthermore laser's implementation allows the multi-point scanning of vibration velocity, by measuring vibration amplitudes on the nodes of a properly defined monitoring grid. The present paper deals with the development of an innovative non-contact and non-destructive experimental technique regarding the evaluation of coherence level of masonry's block interfaces. Coherence level assessment is based on the dynamic features of masonry which are strongly related with their mechanical behavior. Dynamic features are extracted from FFT spectra of vibration velocity's time histories that have been obtained via an LSV-system, PSV-500H equipment model of Polytec GmbH. The proposed technique is currently performed for the quality control of age-old mortars which already exist in blocks interfaces and of fresh mortars that have been added in context of masonry's conservation procedures.

Τεχνικές και μέθοδοι ελέγχου ανθεκτικότητας και αντοχής υλικών και επεμβάσεων συντήρησης/αποκατάστασης στο εργαστήριο και στην κλίμακα του μνημείου

Περίληψη

Η αξιόπιστη αξιολόγηση της κατάστασης δομικής ακεραιότητας των ιστορικών/μνημειακών κατασκευών, αποτελεί σημαντική παράμετρο στο βέλτιστο σχεδιασμό των διαδικασιών αποκατάστασης τους. Οι μέθοδοι Μη-Καταστροφικού Ελέγχου (ΜΚΕ) παρέχουν τη δυνατότητα εκτίμησης των μηχανικών ιδιοτήτων μιας κατασκευής στο χώρο αυτής και κυρίως χωρίς να είναι απαραίτητη η λήψη δοκιμίων. Η μέθοδος της Σάρωσης Δονήσεων με LASER (Laser Scanning Vibrometry-LSV) είναι μια τεχνική σημειακής καταγραφής της ταχύτητας ταλάντωσης μιας κατασκευής, στο πεδίο του χρόνου. Η καταγραφή της ταχύτητας γίνετε ανέπαφα με τη χρήση ενός LASER He-Ne και στηρίζεται στις θεωρητικές αρχές της συμβολομετρίας (Interferometry). Η εφαρμογή του LASER επιτρέπει το σχεδιασμό LSV-συστημάτων, τα οποία δίνουν τη δυνατότητα ανέπαφης σάρωσης της δυναμικής απόκρισης ενός τμήματος της κατασκευής, με τη χρήση ενός κάνναβου παρακολούθησης. Στη παρούσα εργασία αναπτύσσεται μια τεχνική ανέπαφης και μη-κατατρεπτικής τεχνικής αξιολόγησης της συνάφειας μεταξύ των τοιχοσωμάτων μιας τοιχοποιίας με βάση τα δυναμικά της χαρακτηριστικά. Τα τοπικά δυναμικά χαρακτηριστικά της τοιχοποιίας προσδιορίζονται από την καταγραφή της ταχύτητας ταλάντωσης σε μια συγκεκριμένη περιοχή σάρωσης με το LSV-σύστημα, PSV-500H της Polytec. Η παρούσα LSV πειραματική τεχνική εφαρμόζεται σε πειραματική διάταξη τοιχοποιίας για τον ποιοτικό έλεγχο της συνοχής υφιστάμενου κονιάματος αλλά και της συνάφειας μεταξύ των τοιχοσωμάτων και τυχόν πρόσθετου κονιάματος αποκατάστασης.

Τεχνικές και μέθοδοι ελέγχου ανθεκτικότητας και αντοχής υλικών και επεμβάσεων συντήρησης/αποκατάστασης στο εργαστήριο και στην κλίμακα του μνημείου

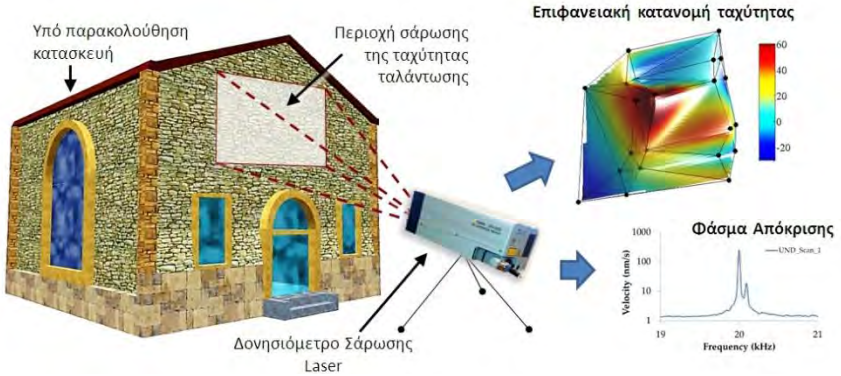
Εισαγωγή

Η αξιολόγηση της κατάστασης δομικής ακεραιότητας ιστορικών και μνημειακών κατασκευών μετά από επεμβάσεις αποκατάστασης και ενίσχυσης, με τη χρήση της οπτικής τεχνολογίας δεν είναι ακόμα ευρέως ανεπτυγμένη όπως θα έπρεπε. Αυτό διαπιστώνεται εύκολα από τους εθνικούς κανονισμούς όπου γίνονται αναφορές κυρίως σε τεχνικές που έχουν πλέον θεμελιωθεί και εφαρμοσθεί εντατικά. Τέτοιες τεχνικές είναι για παράδειγμα η μέθοδος έρευνας με υπερήχους, η μέθοδος των ακτίνων-Χ, η μέθοδος του γεωραντάρ, η θερμογραφία και η μέθοδος πειραματικών μετρήσεων με δημιουργία και ανίχνευση ακουστικών κυμάτων.

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της χρήσης οπτικών τεχνολογιών και κυρίως της τεχνολογίας των Lasers, όπως π.χ. η ανίχνευση και μέτρηση μηχανικών δονήσεων (Laser Doppler Vibrometer-LDV), είναι κυρίως η μη επεμβατικότητα (Schreiner et al., 2008). Το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό αποτελεί σοβαρό προαπαιτούμενο για τους ενδεδειγμένους πειραματικούς ελέγχους στις ευαίσθητες επιφάνειες των μνημειακών και ιστορικών κατασκευών. Οι οπτικές τεχνολογίες επίσης επιτρέπουν την ανίχνευση από απόσταση της δομικής κατάστασης των κατασκευών με αποτέλεσμα π.χ. την αποφυγή εγκατάστασης σκαλωσιών πάνω στην επιφάνεια των κατασκευών. Βεβαίως υπάρχουν και μειονεκτήματα της χρήσης τέτοιων οπτικών τεχνολογιών όπως π.χ. το ότι δεν μπορούν να εφαρμοσθούν σε κάθε είδος επιφάνειας (Castellini et al., 1998). Συγκεκριμένα στην περίπτωση των μετρητών δόνησης με χρήση Lasers (LDV) απαιτείται η επιφάνεια πάνω στην οποία εφαρμόζεται να έχει την δυνατότητα να ανακλάει πίσω στο LDV τουλάχιστον το 10% της προσπίπτουσας ακτίνας Laser αλλιώς η μέτρηση του πλάτους και της φάσης της ταχύτητας δόνησης της κατασκευής δεν θα είναι επιτυχής. Ένας άλλος περιορισμός της χρήσης των οπτικών τεχνολογιών ο οποίος θα πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη στην διαδικασία μετρήσεων είναι η ανάγκη της μόνωσης του εξοπλισμού από δονήσεις που προκύπτουν από διάφορες περιβαλλοντικές επιδράσεις ώστε να αποφευχθεί η εισαγωγή θορύβου στο ανιχνευόμενο σήμα της δόνησης.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται μία πρωτότυπη μέθοδος ανέπαφης και μη-καταστρεπτικής πειραματικής αξιολόγησης, της δομικής κατάστασης των διεπιφανειών μεταξύ των τοιχοσωμάτων σε τοιχοποιίες ιστορικών κατασκευών, με την εφαρμογή της μεθόδου μέτρησης της ταχύτητας δονήσεων με Laser (LDV). Οι δονήσεις αυτές προκαλούνται από τη διάδοση μηχανικών επιφανειακών κυμάτων, τα οποία εκπέμπονται στο εσωτερικό της κατασκευής με την χρήση κατάλληλα επιφανειακά τοποθετημένων πιεζοηλεκτρικών πλακιδίων (PZT).

Τεχνικές και μέθοδοι ελέγχου ανθεκτικότητας και αντοχής υλικών και επεμβάσεων συντήρησης/αποκατάστασης στο εργαστήριο και στην κλίμακα του μνημείου



Σχήμα 1. Σάρωση Μετρήσεων Δόνησης με τη χρήση Laser (Scanning Laser Doppler Vibrometer-SLDV). Σχηματική απεικόνιση εφαρμογής.

Η βασική ιδέα πάνω στην οποία βασίζεται η παρούσα πειραματική τεχνική, είναι ότι το πλάτος και η φάση της ταχύτητας ενός κύματος που διαδίδεται σε μία κατασκευή, εξαρτάται απευθείας από το είδος και την κατάσταση του υλικού της κατασκευής και από την παρουσία ή όχι βλαβών και ασυνεχειών (Esposito et al., 2004). Πιο συγκεκριμένα στην παρούσα εργασία η ακτίνα Laser κατευθύνεται αυτόματα στους κόμβους ενός τριγωνικού πλέγματος, οι οποίοι έχουν οριστεί ως σημεία καταγραφής της ταχύτητας ταλάντωσης της εξεταζόμενης επιφάνειας. Από την επεξεργασία των μετρήσεων της ταχύτητας δόνησης σε όλο το πλέγμα ελέγχου της επιφάνειας προκύπτουν τα φάσματα απόκρισης Fourier της ταχύτητας ταλάντωσης αλλά και η βέλτιστη ταυτοποίηση των δυναμικών χαρακτηριστικών της επιφάνειας, ειδικά στις συχνότητες συντονισμού της δόνησης (Σχήμα 1). Στην περίπτωση αυτή η διαδικασία ονομάζεται Σάρωση Μετρήσεων Δόνησης με χρήση Laser (Scanning Laser Doppler Vibrometer-SLDV). Τα δυναμικά χαρακτηριστικά της κατασκευής που μετρώνται εξαρτώνται από την γεωμετρία, τα υλικά και τις δυνατότητες μετακινήσεων των στοιχείων της κατασκευής με αποτέλεσμα να είναι εφικτός ο χαρακτηρισμός, η ταυτοποίηση και η χωροθέτηση βλαβών ή γενικότερα δομικών αλλαγών που προκύπτουν από περιβαλλοντικές ή φυσικο/μηχανικές επιδράσεις στην διάρκεια ζωής ειδικά των ιστορικών και μνημειακών κατασκευών (Ruocci, 2010). Στην παρούσα εργασία η μεθοδολογία που προτείνεται εφαρμόσθηκε και αξιολογήθηκε σε μία τοιχοποιία που κατασκευάσθηκε και τοποθετήθηκε στο εργαστήριο Εφαρμοσμένης Μηχανικής της Σχολής Αρχιτεκτόνων Μηχανικών του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Τεχνικές και μέθοδοι ελέγχου ανθεκτικότητας και αντοχής υλικών και επεμβάσεων συντήρησης/αποκατάστασης στο εργαστήριο και στην κλίμακα του μνημείου

Ανάλυση SLDV τεχνικής με χρήση επιφανειακών κυμάτων

Τα SLDV συστήματα έχουν μέχρι τώρα εφαρμοσθεί σε διαφορετικούς τύπους έργων τέχνης και πολιτισμού όπως π.χ. σε νωπές τοιχογραφίες, σε εικόνες, σε μωσαϊκά πατώματα, σε κεραμικά, σε έργα ζωγραφικής με ποικίλο βαθμό επιτυχίας ανάλογα με την εφαρμογή (Castellini et al., 2003). Σε όλες όμως τις περιπτώσεις που εφαρμόσθηκε η SLDV τεχνική διαπιστώθηκε ότι παρουσιάζει ισχυρό πλεονέκτημα εκ του γεγονότος ότι είναι μία εντελώς μη-επεμβατική τεχνική. Η μέχρι τώρα εφαρμογή των SLDV συστημάτων στην ανίχνευση βλάβης στις επιφάνειες των τοιχοποιιών ιστορικών κατασκευών είναι ακόμα περιορισμένη αλλά έχει αποδειχθεί ότι είναι μία πολλά υποσχόμενη μεθοδολογία και οπωσδήποτε θα αποτελέσει το κύριο αντικείμενο της επιστημονικής έρευνας για το μέλλον.

Η λειτουργία των SLDV συστημάτων τα οποία έχουν σαν στόχο την σημειακή καταγραφή της ταχύτητας δόνησης μιας υπό παρακολούθηση επιφάνειας, βασίζεται στην αρχή μέτρησης με μεθόδους συμβολομετρίας (interferometry) της αλλαγής της συχνότητας Doppler μίας ακτίνας Laser, προσπίπτουσας πάνω σε επιφάνεια που δονείται. Τα SLDV συστήματα διαθέτουν κατάλληλα οπτοηλεκτρονικά κυκλώματα που μετατρέπουν το μετρούμενο Doppler σήμα σε αναλογικό σήμα ηλεκτρικής τάσης, η οποία είναι ανάλογη με τη χρονική μεταβολή της ταχύτητας δόνησης. Το αναλογικό αυτό σήμα ηλεκτρικής τάσης εισάγεται στον κατάλληλο εξοπλισμό που διαθέτει το SLDV σύστημα παρέχοντας έτσι στην συνέχεια τη δυνατότητα επεξεργασίας του σήματος σαν χρονοϊστορία μεταβολής. Από τη καταγραφόμενη χρονοϊστορία μπορεί να υπολογιστεί το φάσμα απόκρισης της δυναμικής κίνησης στο πεδίο των συχνοτήτων, το όποιο παρέχει μια αναλυτική εικόνα του συχνοτικού περιεχομένου της κίνησης και κατά συνέπεια των δυναμικών χαρακτηριστικών της υπό παρακολούθηση κατασκευής. Τα δυναμικά χαρακτηριστικά μιας κατασκευής, όπως η συχνότητες συντονισμού και αντίστοιχα πλάτη που εμφανίζουν, είναι φυσικά συσχετισμένα με τις μηχανικές ιδιότητες των δομικών υλικών αλλά και με τη γεωμετρία της κατασκευής. Οποιαδήποτε καταγραφόμενη μεταβολή τους είναι δυνατό να σχετίζεται με τη εμφάνιση μηχανικών βλαβών (Doebling et al., 1996).

Μία σημαντική αναβάθμιση των συστημάτων LDV, την οποία διαθέτει και το σύστημα με το οποίο έγιναν και οι μετρήσεις που αναλύονται στην παρούσα εργασία, είναι ο κατάλληλος συνδυασμός ενός LDV συστήματος με καθρέπτες που καθοδηγούνται με την βοήθεια

αντίστοιχων γαλβανομετρικών οδηγών, παρέχοντας με τον τρόπο αυτό την ευχέρεια να κατευθύνεται αυτόματα η ακτίνα Laser σε πολλά διαδοχικά σημεία μέτρησης. Αυτό δίνει τη δυνατότητα, όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο, της διαμόρφωσης ενός πλέγματος ελέγχου της κατασκευής σκοπεύοντας πλέον σε ένα δίκτυο σημείων και όχι μόνο σε ένα σημείο. Με την αναβάθμιση αυτή το σύστημα έχει την δυνατότητα να προσδιορίζει τη φασματική κίνηση μίας ολόκληρης επιφάνειας σε επιλεγμένες συχνότητες δόνησης.

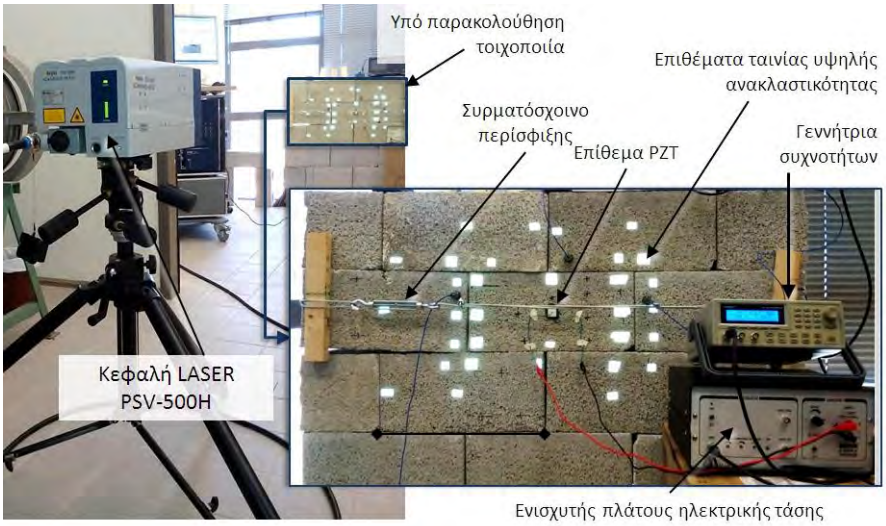
Στην παρούσα εργασία, η διέγερση σε ταλάντωση της υπό παρακολούθηση κατασκευής, είναι αποτέλεσμα της διάδοσης ενός επιφανειακού κύματος το οποίο παράγεται από την ηλεκτρική διέγερση πιεζοηλεκτρικών (PZT) στοιχείων. Τα PZT έχουν τη μορφή επιθεμάτων ή πλακιδίων και τοποθετούνται σε προεπιλεγμένες θέσεις της κατασκευής, κατάλληλες για να δημιουργήσουν τη βέλτιστη εικόνα για την εκτίμηση του βαθμού βλάβης της. Στις περισσότερες μέχρι σήμερα εφαρμογές της SLDV μεθοδολογίας έχει γίνει χρήση κυρίως ακουστικών διεγερτών με την παραγωγή ηχητικού κύματος όπως π.χ. ακουστικών ηχείων διαφόρων τύπων και RMS ισχύος εξόδου. Τα πιεζοηλεκτρικά (PZT) στοιχεία εισάγονται στην παρούσα εργασία σαν διεγέρτες δονήσεων γιατί όπως έχει παρατηρηθεί σε πολλές εργασίες όπου γίνεται χρήση ηχητικών διεγερτών, υπάρχει δυστυχώς ένα φυσικό όριο σε σχέση με την ικανότητα ενεργοποίησης των υπό μελέτη κατασκευών έτσι ώστε αυτές να δώσουν ανιχνεύσιμες από τα SLDV συστήματα, ταλαντώσεις. Τα συγκεκριμένα φυσικά όρια εξαρτώνται από το μέγεθος της κατασκευής αλλά και από τη διαφορά της μηχανικής εμπέδησης μεταξύ των ακουστικών κυμάτων και του υλικού της επιφάνειας των ιστορικών κατασκευών.

Η χρήση των πιεζοηλεκτρικών πλακιδίων αν και αποτελεί μία επεμβατική σε πολύ μικρό όμως βαθμό πειραματική μέθοδο ενεργοποίησης δονήσεων στην επιφάνεια της ιστορικής κατασκευής, όπως θα παρουσιασθεί στο επόμενο κεφάλαιο της παρούσας έρευνας είναι μία πολύ αποτελεσματική μέθοδος, ειδικά για περιπτώσεις βλάβης μικρού, έως πολύ μικρού μεγέθους.

Πειραματικές μετρήσεις με τη μέθοδο SLDV

Προκειμένου να αξιολογηθεί η αποτελεσματικότητα της συνδυασμένης εφαρμογής ενός συστήματος SLDV και των πλακιδίων PZT στην ανίχνευση και τη καταγραφή των δομικών μεταβολών που δύναται να υπάρξουν σε μια ιστορική κατασκευή, χρησιμοποιήθηκε ως δομικό σύστημα μελέτης μια τοιχοποιία από κυψελοειδή τοιχοσώματα. Τα

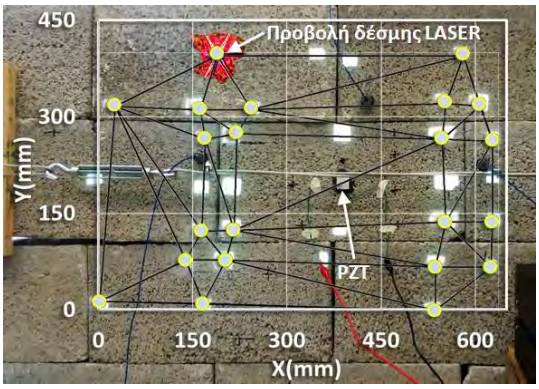
τοιχοσώματα είναι τσιμεντόλιθοι διαστάσεων περίπου 340 x 190mm, ενώ η τοιχοποιία έχει εξωτερικές διατάσεις επιφανείας 1050 x 1140 mm. Συνδετικό κονίαμα μεταξύ των τοιχοσωμάτων δεν υπάρχει, ενώ η γενική συνοχή της τοιχοποιίας εξασφαλίζεται από τη τριβή μεταξύ των επιφανειών τους. Δεδομένου ότι ο στόχος της παρούσας μελέτης είναι η ανίχνευση μεταβολών στη δομική συνέχεια της τοιχοποιίας αναπτύχθηκε μια διάταξη τοπικής μεταβολής της συνοχής της με τη χρήση ενός χαλύβδινου συρματόσχοινου περίσφιξης. Το συρματόσχοινο περίσφιξης περιβάλει μια οριζόντια σειρά από τοιχοσώματα και με τη βοήθεια ενός συστήματος ανάστροφων περικοχλίων (σφιγκτήρες) τανύζεται. Με τον τρόπο αυτό εφαρμόζει ένα μοναξονικό θλιπτικό πεδίο το οποίο αυξάνει τοπικά την συνοχή της τοιχοποιίας κατά την οριζόντια διεύθυνση (Σχήμα 2). Από τη στιγμή που η τοιχοποιία φορτιστεί με τη χρήση του περικοχλίου-σφιγκτήρα, χαλαρώνοντας και σφίγγοντας αντίστοιχα, είναι δυνατό να αυξάνεται και να μειώνεται η συνοχή της τοιχοποιίας κατά την οριζόντια διεύθυνση.



Σχήμα 2. Εργαστηριακή διάταξη σάρωσης περισφιγμένης τοιχοποιίας.

Για τη διέγερση της κατασκευής σε μηχανική ταλάντωση τοποθετείται στο κέντρο αυτής ένα πιεζοηλεκτρικό πλακίδιο PZT τύπου PIC-255 και διαστάσεων 20 x 20 x 5 mm. Το πλακίδιο επικολλείται επιφανειακά με μια κόλλα υψηλής δυσκαμψίας η οποία όμως δύναται να αφαιρεθεί μετά το πέρας της παρακολούθησης, χωρίς να επηρεάσει τη επιφανειακή υφή των τοιχοσωμάτων. Η ηλεκτρική τάση διέγερσης είναι μια ημιτονοειδής συνάρτηση στον χρόνο που παράγεται από μια γεννήτρια

συχνοτήτων και εφαρμόζεται στο PZT μέσω δύο ηλεκτροδίων. Προκειμένου να αυξηθεί η δραστικότητα του επιφανειακού κύματος που παράγει το PZT, η τάση εξόδου της γεννήτριας συχνοτήτων ενισχύεται με ένα ενισχυτή που πολλαπλασιάζει το πλάτος της 20 φορές (Σχήμα 2).



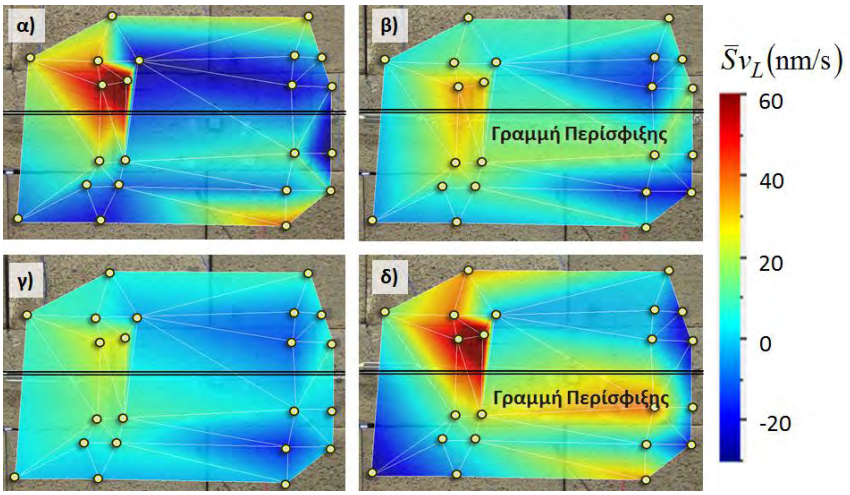
Σχήμα 3. Σημεία ελέγχου και τριγωνικό πλέγμα σάρωσης.

Ως περιοχή μελέτης της τοιχοποιίας επιλέγεται το τμήμα αυτής γύρω από το πλακίδιο PZT, το οποίο όπως είναι αναμενόμενο έχει τοποθετηθεί εντός της ζώνης περίσφιξης. Η σάρωση της ταχύτητας ταλάντωσης στη περιοχή μελέτης πραγματοποιείται με το σύστημα SLDV, PSV-500H της Polytec Inc. Στο Σχήμα 2 απεικονίζεται η κεφαλή Laser η οποία σαρώνει την υπό μελέτη περιοχή σκοπεύοντας στα σημεία ελέγχου που διαμορφώνουν ένα τριγωνικό πλέγμα σάρωσης (Σχήμα 3). Προκειμένου να βελτιωθεί η ανακλαστική ικανότητα της επιφάνειας της τοιχοποιίας τοποθετούνται πάνω σε αυτή και στα σημεία ελέγχου, επιθέματα ταινίας υψηλής ανακλαστικότητας. Η κεφαλή του PSV-500H καταγράφει αυτόματα τις χρονοϊστορίες της ταχύτητας ταλάντωσης $v_L(t)$ σε κάθε σημείο του τριγωνικού πλέγματος. Από τις χρονοϊστορίες υπολογίζονται τα αντίστοιχα φάσματα απόκρισης Fourier $S_{vL}(f)=FFT\{v_L\}$, όπου f η συχνότητα υπολογισμού του φάσματος. Στη παρούσα περίπτωση μελέτης το εύρος των συχνοτήτων του φάσματός απόκρισης κυμαίνεται μεταξύ 10 και 30 kHz. Με βάση τα καταγραφόμενα φάσματα απόκρισης είναι δυνατό για κάθε συχνότητα να παραχθούν χρωματικοί χάρτες οι οποίοι αποδίδουν την κατανομή του πλάτους της φασματικής ταχύτητας ταλάντωσης στην περιοχή μελέτης (Σχήμα 4). Το πρόσημο του πλάτους της φασματικής ταχύτητας εκφράζει την φορά κίνησης του σημείου του πλέγματος κατά το χρόνο που καταγράφεται η ταχύτητα του. Θετικές τιμές της ταχύτητας υποδηλώνουν κίνηση του σημείου προς της θέση της κεφαλής του Laser.

Τεχνικές και μέθοδοι ελέγχου ανθεκτικότητας και αντοχής υλικών και επεμβάσεων συντήρησης/αποκατάστασης στο εργαστήριο και στην κλίμακα του μνημείου

Αποτελέσματα-Συζήτηση

Στο Σχήμα 4 παραθέτονται οι χρωματικοί χάρτες που απεικονίζουν την κατανομή του πλάτους της φασματικής ταχύτητας που αντιστοιχεί στη συχνότητα f=20kHz, για διαφορετικές καταστάσεις σχετικά με τη τάση περίσφιξης της τοιχοποιίας. Ξεκινώντας από τον χάρτη του Σχήματος 4-α, όπου αποτυπώνεται η κατανομή που σχετίζεται με την αρχική κατάσταση περίσφιξης, διαπιστώνεται ότι υπάρχει μια συγκέντρωση υψηλών τιμών ταχυτήτων σε μια περιοχή γύρω από τον κατακόρυφο αρμό, ο οποίος βρίσκεται στα αριστερά του τοιχοσώματος που φέρει το PZT. Καθώς η περίσφιξη χαλαρώνει κλιμακωτά (περιπτώσεις των Σχημάτων 4-β και 4-γ) αφενός μεν η φασματική ταχύτητα ταλάντωσης μειώνεται και αφετέρου δε οι περιοχές συγκέντρωσης των υψηλών τιμών διαμοιράζονται εκατέρωθεν του αριστερού αρμού. Τέλος στον χάρτη του Σχήματος 4-δ απεικονίζεται η κατάσταση που προκύπτει μετά την επαναφορά της έντασης του σύρματος στην αρχική τάση περίσφιξης. Στην τελευταία περίπτωση διαπιστώνεται ότι η κατανομή των ταχυτήτων στον αριστερό αρμό επαναπροσεγγίζει την αρχική κατάσταση του Σχήματος 4-α, αλλά ταυτόχρονα εμφανίζονται σημαντικά υψηλές τιμές ταχύτητας στην κάτω δεξιά γωνία και τον κάτω οριζόντιο αρμό του τοιχοσώματος που φέρει το PZT.



Σχήμα 4. Κατανομή του πλάτους της φασματικής ταχύτητας ταλάντωσης στη συχνότητα σάρωσης f=20 kHz. α) Ισχυρή περίσφιξη, β) και γ) Χαλάρωση της περίσφιξης, δ) Επαναφορά της δύναμης περίσφιξης.

Τεχνικές και μέθοδοι ελέγχου ανθεκτικότητας και αντοχής υλικών και επεμβάσεων συντήρησης/αποκατάστασης στο εργαστήριο και στην κλίμακα του μνημείου

Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία παρουσιάσθηκε μία ανέπαφη και μη-επεμβατική πειραματική τεχνική για την εκτίμηση της κατάστασης δομικής ακεραιότητας των λιθοσωμάτων σε επιφάνειες ιστορικών και μνημειακών κατασκευών με την συνδυασμένη χρήση της τεχνικής της σάρωσης δονήσεων με laser (SLDV) και πιεζοηλεκτρικών ενεργοποιητών. Η συνδυασμένη αυτή τεχνική αποδείχθηκε με την εφαρμογή της σε εργαστηριακής κλίμακας πειράματα ότι είναι μία πολύ ελπιδοφόρα και αποτελεσματική τεχνική για τις εφαρμογές που εφαρμόσθηκε και η οποία όμως ταυτόχρονα παρουσιάζει και κάποια μειονεκτήματα τα οποία πρόκειται να λυθούν με μελλοντικές ερευνητικές εργασίες.

Βιβλιογραφία

Castellini, P., Revel, G.M., Tomasini, E.P., “Laser Doppler Vibrometry: a review of advances and applications”. *The Shock and Vibration Digest*, 30, (1998) 443-456.

Castellini, P., Esposito, E., Marchetti, B., Tomassini, E.P., “New applications of Scanning Laser Doppler Vibrometry (SLDV) to non-destructive diagnostics of artworks: mosaics, ceramics, inlaid wood and easel painting”. *Journal of Cultural Herittage*, 4, 1 (2003) 321-329.

Doebling, S.W., Farrar, C.R., Prime, M.B., Shevitz D.W., “Damage Identification and Health Monitoring of Structural and Mechanical Systems from Changes in Their Vibration Characteristics: A Literature Review”. *Los Alamos National Laboratory Report*, LA-13070-MS, (1996).

Esposito, E. Copparoni, S., Nattichia, B., “Recent Progress in diagnostics of civil structures by laser Vibrometry”, Proc. of 16th World Conference on Nondestructive Testing, Montreal Canada (2004).

Ruocci, G., “Application of the SHM methodologies to the protection of masonry arch bridges from scour”. *PhD Thesis*, Polytechnic University of Turin, (2010).

Schreiner. M., Strlic, M., Salimbeni, R., “Handbook of the use of Lasers in conservation and conservation science”. *European Cooperation in Science and Technology - COST*, Brussels, Belgium, (2008)

Εφαρμογές συμβατής και αειφόρας αποκατάστασης των μνημείων

Η κατάσταση διατήρησης και οι επεμβάσεις συντήρησης στην πρόσοψη του καθολικού της Ιεράς Μονής Αρκαδίου (Preservation and conservation treatment on the front of the Catholic of the H. M. Arcadi)

Μ. Ι. Τρουλλινός, Α. Μ. Τρουλλινού

Συντηρητές Αρχαιοτήτων& Έργων Τέχνης
Αρχαιολογηκη Υπηρεσία Ρεθύμνου

Abstract

The lithoglyptic front of the Catholic of H. M. Arkadi,was built in 1857, from Klimis Hortatzis. After studying the samples it was concluded that the manufacturing stone of the Catholic was apolithomatoforos micritic limestone Miocene age. Besides the stresses the main deterioration factor is the bioteterrioration and chemical and less the mechanical causes. Mechanical damages especially detected on the front because of the Turkish artillery of Mustafa Pasha and the explosion of the powder magazine in November 1866. Simultaneously with conservation work, was deconstruction of the bell tower and the upper part of the front. The repositioning of stones, made after the conservation and used in the connection points, titanium link

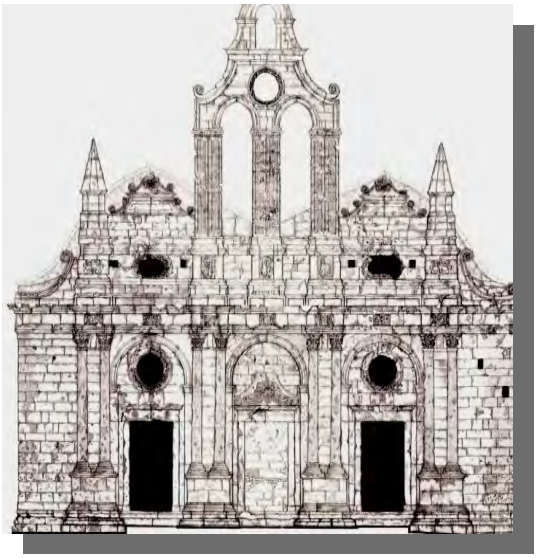
Περίληψη

Η λιθόγλυπτη πρόσοψη του Καθολικού της Ι. Μ. Αρκαδιού, κατασκευάστηκε το 1857, επί ηγουμενίας του Κλίμη Χορτάτζη. Το υλικό δομής, ταυτίστηκε μετά από σειρά αναλύσεων με απολιθωματοφόρο, μικριτικό ασβεστόλιθο μειοκαινικής ηλικίας. Πέρα από την κόπωση και της τάσεις γήρανσης, η σημαντικότερη καταστροφή επιτελείται εδώ και δεκαετίες από τη βιοδιάβρωση και από τις χημικές και λιγότερο μηχανικές αιτίες. Μηχανικές κακώσεις εντοπίζονται ιδιαίτερα στην πρόσοψη με αποκορύφωμα τις φθορές που προξένησε το Τούρκικό πυροβολικό του Μουσταφά Πασά και η έκρηξη της πυριτιδαποθήκης το Νοέμβριο του 1866. Ταυτόχρονα με τις επεμβάσεις συντήρησης έγινε αποδόμηση του καμπαναριού και του άνω τμήματος της πρόσοψης. Η επανατοποθέτηση των δόμων, έγινε μετά τη συντήρηση και χρησιμοποιήθηκαν για ενίσχυση συνδετήρες και γόμφοι τιτανίου.

Μ. Αρκαδίου

Η λιθόγλυπτη πρόσοψη του καθολικού της Ιεράς Μονής Αρκαδίου (σχ.1), κατασκευάστηκε το 1587, επί ηγουμενίας του Κλήμη Χορτάτζη και αποτελεί τροποποιημένη αρχιτεκτονική σύνθεση, που βασίστηκε στα σχέδια του αρχιτέκτονα Sebastiano Serlio (1475 – 1554).

Συνολικά αποτελείται από 1127 ορθογώνιους δόμους τοποθετημένους σε 43 ισόδομες στρώσεις, διακοπτόμενες από τρία ημικυκλικά τόξα, και αντίστοιχα ζεύγη κορινθιακών ημικιόνων, που κατά την άποψη μου, αντιγράφουν τα παράθυρα της ChiesettadiS. Nicolo, του Δουκικού ανακτόρου της Βενετίας, (δίπλα στο cortiletto dei Senatori), έργο του αρχιτέκτονα Giorgio Spavento το 1505.



Σχέδιο 1 Πρόσοψη του καθολικού

Υλικά δομής

Οι εργασίες ξεκίνησαν το 1983, με την ταυτοποίηση των δομικών υλικών και η αποστολή δειγμάτων σε εξειδικευμένα κέντρα και ερευνητικά ινστιτούτα, προκειμένου να στοιχειοθετηθεί η μελέτη συντήρησης.

Το 1987-1988, ο Ν. Μπελογιάννης από το Ινστιτούτο Λίθου συμμετέχει στην ομάδα εργασίας και πραγματοποιεί αναλύσεις σε δείγματα από θραύσματα δόμων της νότιας πλευράς με περίθλαση ακτίνων Χ, σαρωτική ηλεκτρονική μικροσκοπία και χημικές μικροαναλύσεις

Πραγματοποιήθηκαν στη συνέχεια και άλλες αναλύσεις, οι οποίες κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι πρόκειται για απολιθωματοφόρο, μικριτικό ασβεστόλιθο, με λίγα απολιθώματα ασπόνδυλων, χρώμα υποκίτρινο έως μπεζ, θραυσμό ακανόνιστο έως κογχώδη και ελαφρά ταινιωτή υφή. Το πορώδες είναι της τάξεως του 15-20%, με εξαιρετικά ανομοιόμορφη κατανομή των πόρων από 20-400$^{\mu\iota\kappa\rho\acute{\alpha}}$, ενώ οι κρύσταλλοι του ασβεστιτικού συνδετικού υλικού δεν υπερβαίνουν τα 1-10$^{\mu\iota\kappa\rho\acute{\alpha}}$. Σε κάθετη τομή στην επιφάνεια και λεπτομερή μικροσκοπική μελέτη διακρίνεται η ζώνη εξαλλοίωσης από δευτερογενή ασβεστίτη πάχους 100-250$^{\mu\iota\kappa\rho\acute{\alpha}}$. Το δομικό υλικό μικροσκοπικά φαίνεται να αποτελείται από κύρια μικριτική, ασβεστιτική μάζα, με 95,5% ασβεστίτη και λίγους μικρούς κλαστικούς κόκκους χαλαζία 0,5%, οι οποίοι είναι εμποτισμένοι με οξείδια του σιδήρου. Το φαινόμενο ειδικό βάρος είναι 1450g/cm^3 και ο συντελεστής απορροφητικότητας 11,7% κατά βάρος. Με βάση τα προηγούμενα, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το υλικό δομής είναι ασβεστολιθικό πέτρωμα, του τύπου που σήμερα ονομάζουμε πέτρα Αλφάς[1].

Το μεταξύ των δόμων συνδετικό κονίαμα είναι ασβεστοπολτός, με μια μικρή αναλογία πυριτικού αδρανούς. Το μεταξύ τοίχου και πρόσοψης συνδετικό ή καλύτερα πληρωτικό κονίαμα -αφού η πρόσοψη είναι αυτόνομη από το ναό- είναι το γνωστό ασβεστοκονίαμα, που έχει χρησιμοποιηθεί σε όλες, σχεδόν, τις τοιχοδομές της μονής από το 16ο μέχρι τα μέσα του 20ου αι. και αποτελείται από ασβεστοπολτό και λουρόχωμα[2] σε διάφορες αναλογίες. Οι αναλύσεις με περίθλαση ακτίνων Χ έδειξαν ότι περιέχει ασβεστίτη, χαλαζία, μοσχοβίτη, πλαγιόκλαστα, ένυδρο αργιλικό ασβέστιο και ένυδρο πυριτικό ασβέστιο Σε αρκετούς τόπους είναι εμφανέστατη η μεθοδολογία της τριστρώτου τοιχοποιίας[3], δηλαδή η πλήρωση μεγάλων κενών με μίγμα άσβεστου ασβέστη με αργυλοπυριτικά αδρανή και η σβέση του στη συνέχεια με προσθήκη νερού, προκειμένου να αποκτήσει το κονίαμα υδραυλικές ιδιότητες από τη θερμοκρασία της σβέσης. Στα προϊόντα διάβρωσης εντοπίστησαν κρυσταλλώσεις δευτερογενούς ασβεστίτη και διαλυτών αλάτων, κυρίως θειικού νατρίου.

Κατάσταση διατήρησης

Βιοδιάβρωση από περιττώματα πουλιών και ζώων .Έντονες μηχανικές κακώσεις , με αποκορύφωμα τις φθορές που προξένησε το τούρκικο

[1] Βιδάκης, Λάζος και Πατηνιότης, 1988:9.
[2] Τοπικό αργιλοπυριτικό πέτρωμα
[3] Μπακόλας – Καραγιάννης Α., 2002:162.

πυροβολικό του Μουσταφά Πασά και η έκρηξη της πυριτιδαποθήκης, το Νοέμβριο του 1866.
Με τη δράση κυρίως των όμβριων νερών[4], καθώς και της υγρασίας που κυκλοφορεί[5] στο σώμα του τοίχου, ενεργοποιήθηκαν διαδικασίες διάβρωσης[6] με την κυκλοφορία και κρυστάλλωση (μετά την εξάτμιση του νερού) διαλυτών αλάτων[8], που σε συνδυασμό και με άλλους φθοροποιούς παράγοντες, επέφεραν σοβαρές καταστροφές.
Οι καρστικές διαβρώσεις σε κάποιες επιφάνειες δίνουν την όψη απολιθωμένου σπόγγου, ενώ σε αρκετούς από τους δόμους το χρώμα της επιφάνειας από μπέζ, εμφανίζεται σήμερα λόγω των ροφητικών ιδιοτήτων και των επικαθίσεων, ανοικτό κόκκινο- καφέ.
Σε εκτεταμένες επιφάνειες, απουσιάζει το αρχικό συνδετικό κονίαμα και οι αρμοί, έχουν μερικώς πληρωθεί από πηλοκονίαμα που πιθανά προέρχεται από επικαθίσεις με τη δράση των νοτίων ανέμων ή και την αποστράγγιση των «μικροαναληματικών» διατάξεων πίσω από τον τοίχο.
Η καταστροφή του αρχικού συνδετικού κονιάματος εξαρτάται από πολλούς παράγοντες και είναι συνήθης σε αρμούς με πλάτος μεγαλύτερο των 7 χιλιοστών, επειδή λόγω της κατασκευής των, αποτελούν σημεία συγκέντρωσης και απορροής των νερών της βροχής, και από την φύση τους είναι λιγότερο συνεκτικοί επιφανειακά από τους όμορους δόμους.

Εικόνα 1. Λεπτομέρεια σε αρμό

Αιτίες φθοράς

[4] Ειδικά στο βόρειο και στο ανατολικό τμήμα, πάνω σε προϋπάρχουσες μηχανικές φθορές και μεταγενέστερες επισκευαστικές αστοχίες .
[5] (Σκουλικίδης, 2000:138-140),
[6] (Βαρθαλίτου και Τρουλλινός, 2003:61),

Η φθορά των πέτρινων υλικών αρχίζει από τη στιγμή της εξόρυξης του μητρικού πετρώματος. Η μηχανική κατεργασία στη συνέχεια επιτείνει τον τραυματισμό της επιφάνειας.

Πέρα από τίς καταστροφές από την έκρηξη της πυριτιδαποθήκης και από το Τούρκικο πυροβολικό καθώς και την τάση γήρανσης των πετρών, όταν έρχονται σε επαφή με το περιβάλλον των ίδιων των δομικών υλικών[7], ακολούθησαν επεμβάσεις, σύνθετης διάβρωσης[8], ενώ η σημαντικότερη καταστροφή επιτελείται εδώ και αρκετές δεκαετίες από την βιοδιάβρωση, ως και από χημικές, πάνω από φθορές που προκλήθηκαν από μηχανικές αιτίες .

Στη συνέχεια επιχειρείται μια ταξινόμηση των αιτίων της φθοράς, ανάλογα με τη φύση τους σε βιολογικά, χημικά και μηχανικά αίτια ως κάτωθι:

Α. Βιολογικές αιτίες φθοράς

Όπως ήδη αναφέρθηκε ολόκληρη η πρόσοψη καλύπτεται από βιολογική κρούστα αποτελούμενη από συσσώματα με άλγη, λειχήνες και πάσης φύσεως επικαθίσεις. Η βιολογική κρούστα οφείλεται στο λειχήνα *Aspicilia Calcarea*,που σχετίζεται και με την παρουσία οξαλικού ασβεστίου . Ποικιλόμορφη βλαστηση αποτελούμενη από ζιζάνια πόες, αλλά και μεγαλύτερα φυτά, έχουν φυτρώσει πάνω σε αρμούς, εσοχές, και εξάρματα, όπου η συσσώρευση της σκόνης και τα χουμικά προϊόντα έχουν αρκετό πάχος, ικανό να τροφοδοτεί το ριζικό τους σύστημα.

Βιολογική αιτία φθοράς είναι και τα εκκρίματα των πουλιών που εμφωλεύουν σε κάποια μέρη όπως και οι ίδιες οι φωλιές. Τα εκκρίματα παράγουν νιτρικές ενώσεις, βλαβερές για το πέτρινο δομικό υλικό, ενώ παρόμοιες βλάβες προξενούν τα περιττώματα ποντικιών και νυχτερίδων που υπάρχουν σε διάφορα σημεία.

Β. Μηχανικές αιτίες φθοράς

Μηχανικές κακώσεις από τις εχθροπραξίες και πάνω σ' αυτές, οι υπόλοιπες αιτίες φθοράς επιτείνουν την διάβρωση.

Τοπικά μηχανικά stress και αποδόμηση του πέτρινου υλικού από την διαφορετική απορρόφηση της θερμοκρασίας από την σκούρα κρούστα των βιολογικών επικαθίσεων και την όμορο λευκότερη επιφάνεια της πέτρας.

---

[7] (Σκουλικίδης, 2000:17, 28)

[8] Στη συνέχεια, (όπως μαρτυρά ο Επίσκοπος Πέτρας Διονύσιος Μαραγκουδάκης), *.....αμέσως μετά την επανεγκατάσταση των μοναχών και ο ηγούμενος Χατζή Συμεών Γυπαράκης επίχρισε την πρόσοψη «...δια πυκνού εξ' ασβέστου γαλακτώματος, ευρεθέντος αν όχι υπό την πίεσην των κρατούντων, όπως εξαλείψωσι τα ίχνη της ιδίας βαρβαρότατος, τουλάχιστον υπό τον οίστρον αλλοκότου καλαισθησίας...».* Ο διάδοχος του Χατζή Συμεών, ηγούμενος Γαβριήλ Μαναρής, με διαδοχικές πλύσεις *«...δι' ισχυρού όξους και αποξέσεων...»* απομάκρυνε την επίχριση.

Φθορές του τύπου της αμμοβολής από την μηχανική δράση του ανέμου σε συνδυασμό με τους κόκκους άμμου και χώματος που μεταφέρει. Μηχανική δράση από τα όμβρια ύδατα που προκαλούν μηχανικά μικρά ρυάκια διαλύοντας κόκκους της πέτρας και παρασύροντας προϊόντα απολεπίσεων από την επιφάνεια.

Φαινόμενα μεταφοράς μάζας- (ροή κίνησης[9]), δια μέσω των αναληματικών διατάξεων στους αρμούς μεταξύ των δόμων του τοίχου.[10] Ρηγματώσεις διασαλεύσεις δόμων και τάσεις από τα ριζικά συστήματα της βλάστησης.

αποκατάστασης**Εικόνα 2.**
Λεπτομέρεια στην πρόσοψη

Γ. Χημικές αιτίες φθοράς

Βασικός παράγοντας για τις φθορές αυτής της κατηγορίας είναι η δράση του νερού, είτε όμβριο κατερχόμενο στην πρόσοψη, είτε ανερχόμενο με το φαινόμενο των τριχοειδών, καθώς και από τις εκνεφώσεις του γειτνιάζοντος θαλασσινού νερού[11].

---

[9] Ο όρος «ροή κίνησης», πρωτοαναφέρεται από τον Fang (1986), προκειμένου να περιγράψει το φαινόμενο.

[10] Πρόκειται για την ερμηνεία της χωμάτινης πλήρωσης των διακένων στους αρμούς, με περίπλοκη συμπεριφορά αργής ροής χαμηλών ρευστών, που είναι ασυνεχής, ευμετάβλητη και ασταθής, για την προσέγγιση της οποίας βασίζεται στο νόμο του Darcy[14]. [1314] Επειδή η ροή μέσα σ'ένα λεπτόκοκκο σύστημα εδάφους – νερού, δεν είναι απλώς η υδραυλική αγωγιμότητα που περιγράφεται από το νόμο του Darcy, ο νόμος δεν είναι πάντοτε εφαρμόσιμος. Συνήθως η περιγραφή του φαινόμενου μεταφοράς μάζας ορίζεται με τον τύπο : $v = ki + kj + kl + km + \ldots$ όπου : v= η ταχύτητα ροής, k= σταθερές συντελεστών της ενέργειας σε: Μηχανικά (m), θερμικά (t), ηλεκτρικά (e), μαγνητικά ενεργειακά (n), i = η ενεργειακή κλίση στο μηχανικό ενεργειακό πεδίο (βάσει του νόμου του Darcy), j = η ενεργειακή κλίση στο θερμικό ενεργειακό πεδίο (βάσει του νόμου του Fourier), I = η ενεργειακή κλίση στο ηλεκτρικό ενεργειακό πεδίο (βάσει του νόμου του Ohm), και m = η ενεργειακή κλίση στο μαγνητικό ενεργειακό πεδίο (βάσει του νόμου Faraday / Lenz).

[11] Λαμπρόπουλος, 2003:359-382

Το νερό σε συνδυασμό με την κρούστα των βιολογικών προϊόντων και των επικαθίσεων της σκόνης τροφοδοτεί τους πόρους της πέτρας (προς το εσωτερικό) με διάλυμα των βλαβερών ενώσεων (κυρίως διαλυτών αλάτων) από τα παραπάνω προϊόντα επιτείνοντας τη φθορά και από τις άλλες κατηγορίες που αναφέρονται παρακάτω:

Ο συνδυασμός του διαλυμένου στην ατμόσφαιρα διοξειδίου του άνθρακα με το όμβριο νερό προκαλεί διάλυση του ανθρακικού ασβεστίου αυξάνοντας την διαλυτότητα του και με τον μηχανισμό σταλακτητοποίησης – σταλαγμητοποίησης αφαιρεί εκλεκτικά υλικό από ένα μέρος αποθέτοντας το αντίστοιχα κάπου αλλού, ενώ η αμφιδρομία[12] της αντίδρασης καθιστά επικινδυνότερη αυτή τη δράση.

Η κυκλοφορία διαλυτών αλάτων και κυρίως χλωριούχου νατρίου και θειικού νατρίου από τις εκνεφώσεις του θαλασσινού νερού[13] Για την κρυστάλλωση των αλάτων στην επιφάνεια και τους πόρους (προκειμένου να επιτευχθεί η απόλυτη θερμοκρασία κρυστάλλωσης) είναι υπεύθυνος ο αέρας που απάγει την επιφανειακή θερμότητα σε συνδυασμό με το μικροκλίμα που στην περίπτωση μας θεωρείται ιδανικό για αρκετές κατηγορίες αλάτων. Έτσι στους νότιους κίονες, όπου υπάρχει τυρβώδης ροή του αέρα, εμφανίζονται έντονα φαινόμενα κυψέλωσης. Σε αρκετούς τόπους υπάρχουν εναποθέσεις του διαλυμένου όξινου ανθρακικού ασβεστίου με τη μορφή σκληρής κρούστας εμπλεκομένης με παρουσία μικροχλωρίδας. Η κρούστα αυτή συγκρατεί το εσωτερικά εξαλοιωμένο πέτρωμα, το οποίο, αν από μια τυχαία μηχανική φθορά σπάσει, το σαθρό υλικό καταρρέει σε μορφή λεπτής σκόνης.

---

[12]Μπελογιάνης,1983:7

[13] θειικό νάτριο παράγεται και από τα μεταγενέστερα τσιμεντένια στοκαρίσματα και η κρυστάλλωση του με την γνωστή μετάπτωση από τεναρδίτη σε δεκανατρίτη, με ταυτόχρονη εκρηκτική διάσταση της αύξησης του όγκου του κατά 308% είναι θεαματικά καταστροφική.

Εικόνα 3. Λεπτομέρεια
φθορών στο νότιο κίονα

Εργασίες συντήρησης

Απαραίτητη προυπόθεση ήταν η διατήρηση των φθορών από το Τουρκικο πυροβολικό, οι οποίες κατά τους αρμοδίους, « κοσμουντην πρόσοψη ως παράσημα στο στήθος ήρωος», ως ιστορικά τεκμήρια.Ταυτόχρονα με τις εργασίες συντήρησης άρχισε η αποδόμηση του καμπαναριού και του άνω τμήματος της πρόσοψης,μετά την απομάκρυνση των τσιμεντοκονιαμάτων από τις μεταγενέστερες επισκευές, αφού συγκρατήθηκαν τα ψαθυρά και ετοιμόρροπα τμήματα με οπλισμούς γάζας.

Η αποκόλληση των δόμων έγινε χωρίς ιδιαίτερα προβλήματα, επειδή το συνδετικό υλικό των λίθων ήταν ήδη σαθρό. Για την ασφάλεια των δόμων και την αποφυγή περαιτέρω φθοράς τους, η αποδόμηση πραγματοποιήθηκε χέρι με χέρι με τη χρήση ανυψωτικών μηχανημάτων. Η επανατοποθέτηση των δόμων έγινε μετά την συντήρηση τους και χρησιμοποιήθηκαν για ενίσχυση συνδετήρες και γόμφοι από τιτάνιο.

Για την εξουδετέρωση των βιολογικών επικαθίσεων, χρησιμοποιήθηκε διάλυμα του τεταρτοταγούς αμμωνίου (*Desogen*), και ακολούθησαν διαδοχικές εκπλύσεις, με μαλακές βούρτσες και συνεχή έλεγχο της αγωγιμότητας των εκπλυμάτων.

Κατά τόπους έγινε χρήση εναποθέσεων πάστας χαρτοπολτού με δισανθρακικό αμμώνιο, χωρίς όμως EDTA, λόγω της έντονης δράσης του έναντι των ανθρακικών, - με τακτό έλεγχο και καταγραφή της αγωγιμότητας των εκπλυμάτων, και αναλύσεις μέσω φωτομέτρου aqualytic, και ασβεστομέτρου.

Εφαρμόστηκαν κυρίως μηχανικοί καθαρισμοί, με χειρουργικά νυστέρια και οδοντιατρικά εργαλεία, αλλά σε ορισμένα σημεία βοήθησαν και στυλεοί με απιονισμένο νερό.

άποψη μνημείου**Εικόνα 4.** Κατά τη διάρκεια των εργασιών

Πύργων**Εικόνα 5.** Κατά τη διάρκεια των εργασιών

Επιλεκτικά, όπου η επιφάνεια ήταν σταθερή, χρησιμοποιηθήκαν ξέστρα υπερήχων.

Μετά τον καθαρισμό των μικρορηγματώσεων με ανιχνευτήρες ακολούθησε η συγκράτηση των όμορων επιφανειών με λεπτόκοκκο ασβεστοκονίαμα.

Τα κενά μεταξύ των δόμων, οι αρμοί και οι ρωγμές, αφού εμποτίστηκαν αρχικά με διάλυμα υδροξειδίου του ασβεστίου και ακολούθησε η φραγή τους με εξειδικευμένες σπάτουλες.

Για την πλήρωση-συγκόλληση μεταξύ της πίσω πλευράς των δόμων και του τοίχου χρησιμοποιήθηκαν κονιάματα τρίστρωτης τοιχοποιίας. Τα μικρότερα κενά πληρώθηκαν με ένεμα λεπτόκοκκου ασβεστοκονιάματος, διαδικασία που χρειάστηκε να επαναληφθεί σε πολλές περιπτώσεις, φροντίζοντας να παραμείνει υγρή επιφάνεια γύρω από τον τόπο εφαρμογής. Καθολική ήταν η χρήση κορεσμένου διαλύματος υδροξειδίου του ασβεστίου, με τριχοειδείς διατάξεις μέσω σωληνίσκων latex, και φλεβοκαθετήρων, σε προεπιλεγμένα σημεία.

Εικόνα 6. Μετά την ολοκλήρωση των εργασιών στο ανώτερο τμήμα της πρόσοψης

Βιβλιογραφία

Βιβλία:

Λαμπρόπουλός Β. Ν. (1992), Διάβρωση και Συντήρηση πέτρας, Αθήνα.

Μπακόλας - Καραγιάννης Α. (2002), Κριτήρια και Μέθοδοι Χαρακτηρισμού Ιστορικών Κονιαμάτων, Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, Τμήμα Χημικών Μηχανικών – Τομέας Επιστήμης & Τεχνικής των Υλικών, Αθήνα.

Μπελογιάννης Ν. (1983), Αντιστροφή Γυψοποίησης του Μαρμάρου, Διαδακτορική Διατριβή, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, Τμήμα Χημικών Μηχανικών- Εργαστήριο Φυσικοχημείας – Εφ. Ηλεκτροχημείας, Αθήνα.

Σκουλικίδης Θ. Ν. (2000), Διάβρωση και Συντήρηση των Δομικών Υλικών των Μνημείων, ΠΕΚ, Ηράκλειο.

Torraca G. (1988), Tecnologia delle malte per intonaci e della conservazione degli intonaci antici, in Atti sugli Intonaci nell'Edilicia Ferrarese, Ferrara.

Addleson L. , Rice C., " Performance of materials in Buildings Study for the Principles and Agencies of change". Butterworth –Heinemann Ltd. Oxford 1991.

Cnudi C., Rossi-Manaresi R., Nonfarmale O., «Methodi di intervento» in Noticie sul restauro della facciata di S.Petronio, ed. M.B.C.A., Bologna 1979

Krumbein W. E., ‘Co lour changes of building stone and their direct and indirect biological causes,’ Deterioration and Conservation of stone,7th International Congress(Lispon 1992), Lisbon 1993

Lazzarini L., Laurenzi Tabasso M., Il Restauro Della Pietra, CEDAM, Padova 1986

Πρακτικά συνεδρίων:

Τρουλλινός Μ.(2010) Η συντήρησης της πρόσοψης του καθολικού της Ι.Μ. Αρκαδίου. *Αρχαιολογικό έργο Κρήτης*, Πρακτικά της 1ης συνάντησης. Ρέθυμνο,σελ.612- 624.

Μελέτες -αναφορές:

Βαρθαλίτου Π., Τρουλλινός Μ. (2003), Μελέτη συντήρησης Κρήνης Μοροζίνι (Αρχείο 13ης Ε.Β.Α.), Ηράκλειο.

Βιδάκης, Λάζος & Πατηνιότης(1988), *Έκθεση της Γεωλογικής & Κοιτασματολογικής Έρευνας των Μειοκαινικών Ασβεστολιθικών Περιοχών Αλφά και Σκουλουφίων Ν. Ρεθύμνης*. Αθήνα: Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών,Αθηνα.

Μοροπούλου Α. (1994), Τεχνική έκθεση (Μελέτη αναγνώρισης των προβληματισμών στη Φορτέτζα του Ρεθύμνου).

Αποκατάσταση και πρόταση ανάδειξης του Πύργου της Αγιάς στη Νάξο
(Restoration and advancement proposal for the Tower of Agia in Naxos island)

Ν. **Ξάνθος, Ε. Εφεσίου Νικόλαος**, Ε. **Βιντζηλαίου**, Α. **Μονεμβασίτου, Ε. Τσακανίκα,** Φ. **Κόνδης**

Abstract

The current study is part of the diploma thesis for the postgraduate programme "Protection of Monuments" in N.T.U.A. and was presented in March of 2014. The proposal focuses in the study of the ruined tower of Agia in Naxos, dating from the 16th century. In addition to the tower which was extensively damaged by fire in 1992, the building complex consists of an oil mill and auxiliary buildings.

The main objective of this study is to form a reuse proposal for the building complex that through historical investigation and on-site surveying, will lead to the creation of a Centre for Promotion of Local Products, hosting uses that will respect and highlight its history.

The implementation of the appropriate surveying methods, in combination with the study of historical information, including plans and photographs of a 1986 thesis, helped in the documentation of the structural condition of the buildings and the historical evolution of the monument and were used in the restoration proposal.

The intervention proposal for the building complex is carried out in three phases. Each construction phase is independent and can potentially be the final restoration status. The exploitation of the monument in each phase is expected to provide the economical resources for the complete restoration of the monument. The proposed constructions, their materials and texture, hold their autonomy respecting the existing shell and simultaneously form a neutral background for the monumental complex's highlighting. The first phase includes immediate rescue operation measures, restoring the static efficiency of the tower. Furthermore, the addition of an independent and self-supporting metal structure allows walking in the interior of the ruin. The second phase concerns the mill's exploitation and the creation of two levels in order to accommodate cultural events and the necessary auxiliary spaces. In the third and final phase, the tower is restored to its form before the fire, so as to accommodate in its premises the functions of a Centre for

Promotion of Local Products.

Περίληψη

Η παρούσα εισήγηση αποτελεί τμήμα διπλωματικής εργασίας που εκπονήθηκε στο πλαίσιο του μεταπτυχιακού προγράμματος του Ε.Μ.Π. "Προστασία Μνημείων" και παρουσιάστηκε το Μάρτιο 2014. Αντικείμενο μελέτης είναι ο ερειπωμένος σήμερα πύργος της Αγιάς στη Νάξο, που χρονολογείται από τον 16ο αιώνα και βρίσκεται σε ιδιαίτερα στρατηγική θέση κοντά στο χωριό Απόλλωνας, στα βόρεια του νησιού. Στο κτηριακό σύνολο συμπεριλαμβάνονται επίσης ένα λιοτρίβι και βοηθητικά κτίσματα, έχοντας συνεχή χρήση μέχρι το 1992, οπότε ο πύργος υπέστη εκτεταμένες ζημιές από πυρκαγιά.

Κύριος στόχος αυτής της μελέτης είναι μέσω της ιστορικής διερεύνησης και της επί τόπου αποτύπωσης, η δημιουργία μιας πρότασης ανάδειξης και επανάχρησης του κτηριακού συγκροτήματος με τη δημιουργία ενός Κέντρου Προώθησης Τοπικών Προϊόντων, με χρήσεις που θα σέβονται και θα αναδεικνύουν την ιστορία του.

Η εφαρμογή κατάλληλων μεθόδων αποτύπωσης, σε συνδυασμό με τη μελέτη ιστορικών πληροφοριών, όπως τα σχέδια και το φωτογραφικό υλικό διπλωματικής εργασίας του 1986 βοήθησαν στην τεκμηρίωση της δομικής κατάστασης των κτισμάτων και της ιστορικής εξέλιξης του μνημείου, που αξιοποιήθηκαν στη πρόταση αποκατάστασής του.

Η πρόταση επανάχρησης του κτηριακού συγκροτήματος πραγματοποιείται σε τρεις φάσεις. Η κάθε φάση κατασκευής είναι ανεξάρτητη και μπορεί δυνητικά να αποτελέσει το τελικό στάδιο αποκατάστασης. Η χρήση του μνημείου σε κάθε φάση προβλέπεται να εξασφαλίζει τους πόρους για την ολική αποκατάσταση του συνόλου. Οι προτεινόμενες κατασκευές, μέσω των υλικών και της υφής τους, διατηρούν την αυτοτέλειά τους σε σχέση με τα υφιστάμενα κελύφη και συνάμα αποτελούν ένα ουδέτερο σκηνικό για την προβολή του μνημειακού συνόλου. Η πρώτη φάση περιλαμβάνει μέτρα άμεσης σωστικής επέμβασης, αποκαθιστώντας τη στατική επάρκεια του πύργου. Παράλληλα, προτείνεται η τοποθέτηση μιας μεταλλικής ανεξάρτητης και αυτοφερόμενης κατασκευής στο εσωτερικό, η οποία θα επιτρέπει την περιήγηση εντός του ερειπίου. Στη δεύτερη φάση αξιοποιείται το ελαιοτριβείο και διαμορφώνονται δύο επίπεδα για την εξυπηρέτηση εκδηλώσεων πολιτιστικού χαρακτήρα, με τους απαραίτητους βοηθητικούς χώρους. Στην τρίτη και τελική φάση αποκαθίσταται η μορφή του πύργου πριν την πυρκαγιά, ώστε να φιλοξενήσει στους χώρους του τις λειτουργίες ενός

Κέντρου Προώθησης Τοπικών Προϊόντων.

Εισαγωγή – στόχος

Η παρούσα εισήγηση έχει ως αντικείμενο μελέτης ένα εμβληματικό μνημείο της Νάξου, τον ερειπωμένο σήμερα πύργο της Αγιάς. (εικόνα 01) Κύριος στόχος της μελέτης είναι μέσω της ιστορικής διερεύνησης και της επί τόπου αποτύπωσης να προταθεί μία μελέτη επανάχρησης του μνημείου που θα σέβεται και θα αναδεικνύει την ιστορία του.

Οι πύργοι της Νάξου

Στη μεσαιωνική (Ενετοκρατία) και νεώτερη ιστορία της Νάξου (16ος - 18ος αιώνας) κτήρια με τη μορφή του πύργου, παρατηρούμε να αποτελούν μια διακριτή διαχρονικά κατασκευή, που αντιπροσωπεύει χωροταξικά και μορφολογικά την κοινωνική και οικονομική ισχύ των ιδιοκτητών. Οι πύργοι αποτελούσαν τις παραθεριστικές κατοικίες των αρχόντων, λειτουργώντας ως σημεία αναφοράς για την αγροτική παραγωγή. Παράλληλα, εξυπηρετούσαν αμυντικά την ασφάλεια και την προστασία από την απειλή κάθε πιθανού κινδύνου (εισβολή, πειρατεία κ.α.) Στο χάρτη που απεικονίζονται οι θέσεις των πιο γνωστών από τους σωζόμενους πύργους (εικόνα 02), διαπιστώνουμε τη διασπορά τους κυρίως στην ενδοχώρα του νησιού.

Ειδική κατηγορία αποτελούν τα μοναστηριακά συγκροτήματα ορθόδοξου δόγματος και οι πύργοι που λειτουργούσαν ως παρατηρητήρια ή ως φρυκτωρίες.

Οι πύργοι διακρίνονται σε δύο τύπους με βάση τη διάρθρωση της κάτοψης. Η κάτοψη του τύπου Ι αποτελείται από δύο ζώνες χώρων, έχει σχήμα ορθογώνιο ή τετράγωνο και αναπτύσσεται σε δύο πλήρη καθ' ύψος επίπεδα. Η κάτοψη του τύπου ΙΙ αποτελείται από τρείς ζώνες χώρων με σχήμα σχεδόν τετράγωνο, που αναπτύσσεται σε τρία πλήρη επίπεδα. Πολλοί από τους πύργους δεν έγιναν σε μία οικοδομική φάση και επεκτεινόταν ανάλογα με τις ανάγκες και τις οικονομικές δυνατότητες των ιδιοκτητών τους.

Οι πύργοι είναι διώροφα ή τριώροφα κτίσματα, με τα μορφολογικά τους στοιχεία να τονίζουν τον εσωστρεφή και αμυντικό τους χαρακτήρα. Οι εξωτερικοί τοίχοι παρουσιάζουν μία μείωση των πλευρών προς τα πάνω, τονίζοντας την αίσθηση της ευστάθειας. Γενικά επικρατούν τα πλήρη και τα ανοίγματα είναι λίγα, μικρά και συμμετρικά τοποθετημένα, τονίζοντας τη

μονολιθικότητα του κτηρίου[14].

Στο συγκρότημα περιλαμβάνονται, ο προστατευμένος χώρος της αυλής, βοηθητικά κτίσματα που χρησιμοποιούνταν ως στάβλοι ή για την αποθήκευση καρπών, ο φούρνος, ο ληνός (πατητήρι) και το λιοτρίβι.

Η είσοδος γίνεται στον όροφο με εξωτερική σκάλα. Στο ισόγειο (κατώι) βρίσκονται οι αποθήκες και στους ορόφους είναι οι χώροι κατοίκησης. Ο αμυντικός χαρακτήρας των πύργων επιβάλλει την τοποθέτηση της σκάλας σε διαφορετική θέση στη σύνδεση των διαφορετικών επιπέδων.

Η διακόσμηση των όψεων είναι ιδιαίτερα λιτή. Οι όψεις είναι επιχρισμένες, με διάσπαρτες σκαλότρυπες, που βοηθούσαν κατά τη διάρκεια της κατασκευής, αλλά και στις μετέπειτα επισκευές των όψεων. Ο μοναδικός εξωτερικός διάκοσμος είναι τα μαρμάρινα οικόσημα και τα μαρμάρινα πλαίσια κάποιων ανοιγμάτων. Η μακροβιότητα των κτισμάτων αυτών οφείλεται στο μεγάλο πάχος της τοιχοποιίας τους, παρά την χαρακτηριστική ευτέλεια της κατασκευής. Η στέγαση των πύργων γίνεται με επίπεδο δώμα και το στηθαίο περιμετρικά φέρει συχνά επάλξεις, πολεμίστρες και ζεματίστρες για άμυνα.

Ο πύργος της Αγιάς

Ο μεταμεσαιωνικός πύργος της Αγιάς έχει χαρακτηριστεί ως ιστορικό διατηρητέο μνημείο[15] και βάσει ιστορικών δεδομένων πιθανώς κατασκευάστηκε το πρώτο μισό του 16ου αιώνα. Υψώνεται ως πραγματικό παρατηρητήριο[16] σε ένα έξαρμα του βράχου, σε ιδιαίτερα στρατηγική θέση, πλησίον του παραλιακού δρόμου που συνδέει τη χώρα της Νάξου με το χωριό Απόλλωνας, στα βόρεια του νησιού.

Ο πύργος ανήκε πιθανότατα στην οικογένεια των Κόκκων, μια ισχυρή οικογένεια ορθοδόξων της μεταμεσαιωνικής Νάξου. Το μνημείο σήμερα βρίσκεται σε ερειπιώδη κατάσταση, καθώς αν και διατηρεί το εξωτερικό του κέλυφος, το εσωτερικό του καταστράφηκε από πυρκαγιά τον Ιανουάριο του 1992 (Εικόνα 03, 04).

Το συγκρότημα αποτελείται από πύργο ορθογώνιας κάτοψης, με γενικές διαστάσεις 12.00 x 7.70 μ. περίπου, ένα ελαιοτριβείο και βοηθητικά κτίσματα σε ερειπιώδη κατάσταση στον περιβάλλοντα χώρο του

---

14 *"Νάξος"*, Ελληνική Παραδοσιακή Αρχιτεκτονική, εκδ. Μέλισσα σελ. 104

15 ΥΑ ΥΠΠΕ/ΑΡΧ/Β1/Φ27/63118/1414/9-11-1982 - ΦΕΚ 3/Β/11-1-1983

16 (...)Ο πύργος χρησιμοποιήθηκε ως παρατηρητήριο ακόμα και από τις δυνάμεις Κατοχής.(...) Μαστορόπουλος Γεώργιος, *"Πρακτικά του Α' Πανελληνίου συνεδρίου με θέμα, Η Νάξος διαμέσου των αιώνων"*, Κοινότητα Φιλωτίου, Αθήνα 1994, σελ.462

μνημείου (εικόνα 05).

Αποτύπωση και αξιολόγηση υφιστάμενης κατάστασης

Πριν την επίσκεψη στο μνημείο, η μελέτη επικεντρώθηκε στα σχέδια αποτύπωσης και τις φωτογραφίες διπλωματικής εργασίας που εκπονήθηκε το 1986 από τις φοιτήτριες αρχιτεκτονικής, τη Στέλλα Δεμενοπούλου και την Αλεξάνδρα Μέγγουλη, καθώς δίνουν μια σαφή εικόνα του μνημείου και των χαρακτηριστικών του, πριν από τις καταστροφικές ζημιές που υπέστη από την πυρκαγιά.

Επιπλέον, οι διαφορετικές φάσεις οικοδόμησης (Εικόνα 06), που ήταν στατικώς ανεξάρτητες μεταξύ τους και η μη διενέργεια εργασιών προστασίας και συντήρησης συνετέλεσαν στη σημερινή κακή κατάσταση του πύργου.

Κατά την αποτύπωση παρατηρήθηκε πως έχουν καταστραφεί πλήρως όλα τα πατώματα, το δώμα και οι διαχωριστικοί τοίχοι των δύο ανώτερων επιπέδων. Επιπλέον, έχουν συντελεστεί εκτεταμένες αποκολλήσεις στις εσωτερικές παρειές των περιμετρικών τοίχων, ενώ στη ΝΑ και ΒΔ όψη διακρίνεται μία κατακόρυφη διαμπερής ρωγμή, αποτέλεσμα των ασύνδετων οικοδομικών φάσεων.

Σε ό,τι αφορά το ελαιοτριβείο, παρατηρήθηκαν βλάβες στις δύο όψεις και πιο συγκεκριμένα αποκλίσεις από την κατακόρυφο στις γωνίες της ΒΔ όψης, ενώ στη ΝΔ σε κάποια σημεία είναι εμφανή τα αποτελέσματα της ολίσθησης στην τοιχοποιία, το οποίο επιβεβαιώνουν και οι προσπάθειες αντιμετώπισης του φαινομένου με ένα είδος “εξωτερικής” ενίσχυσης.

Πρόταση αποκατάστασης και ανάδειξης του μνημείου

Το σενάριο της επανάχρησης ξεκίνησε με δύο δεδομένα, τη θέση αλλά και τη σημασία του μνημείου ως τοπόσημου για την περιοχή.

Οι διαστάσεις και οι συνθήκες των χώρων του πύργου δεν επιτρέπουν την επαναλειτουργία του κτίσματος σε κατοικία χωρίς ριζικές επεμβάσεις. Κατά συνέπεια, ο συνδυασμός, της ανάγκης των επισκεπτών του νησιού να δουν ένα χαρακτηριστικό δείγμα πύργου από κοντά με την προώθηση των τοπικών προϊόντων μπορούν να βρουν κοινό τόπο με τη μετατροπή του μνημείου σε Κέντρο Προώθησης τοπικών προϊόντων. Είναι σαφές ότι, για την επίτευξη αυτού του στόχου, απαιτείται ένα πολύ συγκεκριμένο και μελετημένο πλάνο οικονομικής εκμετάλλευσης του συγκροτήματος (business plan) με σεβασμό στην ιστορία του μνημείου. Η πρόταση επανάχρησης του κτηριακού συγκροτήματος πραγματοποιείται σε τρεις

φάσεις. Η κάθε φάση κατασκευής είναι ανεξάρτητη και μπορεί δυνητικά να αποτελέσει το τελικό στάδιο αποκατάστασης.

Στην πρώτη φάση επέμβασης (Εικόνα 07) ο πύργος παραμένει ως ερείπιο, και μέσω μιας ανεξάρτητης μεταλλικής κατασκευής οι επισκέπτες θα έχουν την δυνατότητα να κατανοήσουν τη λειτουργία του, την ιστορία του και το δίκτυο των πύργων με τη βοήθεια ενημερωτικού υλικού. Η θεμελίωση του πύργου γίνεται απευθείας πάνω στο βράχο και δεν παρουσιάζει αστοχία ή βλάβες. Κατά συνέπεια η έδραση της μεταλλικής κατασκευής θα γίνει απευθείας στο βράχο που προβλέπεται να αποκαλυφθεί μετά τον καθαρισμό της πρώτης στάθμης του πύργου.

Στη δεύτερη φάση αποκαθίσταται το ελαιοτριβείο και ο υφιστάμενος εξοπλισμός του και μετατρέπεται σε αναψυκτήριο. Στον προαύλιο χώρο καθαιρούνται τα βοηθητικά κτίσματα που σήμερα έχουν σε μεγάλο βαθμό ερειπωθεί. Επιπλέον, κατασκευάζεται μια ελαφριά μεταλλική κατασκευή, με εξωτερική επιδερμίδα από πλέγμα ελαφρά επεξεργασμένων κλαδιών, για να είναι συμβατή με το λιτό και αδρό χαρακτήρα των υφιστάμενων κτισμάτων του συγκροτήματος. Η κατασκευή θα εδραστεί πάνω σε πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος πάχους 40εκ., με πρόβλεψη για ενδεχόμενη μελλοντική απομάκρυνσή της χωρίς καμία επίπτωση στο μνημείο.

Μπροστά από τη ΝΔ όψη του συγκροτήματος (Εικόνα 08) δημιουργείται μια προέκταση της αυλής με δύο επίπεδα. Κάτω από το ένα επίπεδο προβλέπεται η κατασκευή των χώρων υγιεινής και του χώρου των Η/Μ εγκαταστάσεων. Οι χώροι αυτοί θα είναι υπόσκαφοι, ώστε αφενός να μην προσβάλλουν το μνημείο και αφετέρου να μην αλλοιωθεί η εικόνα της ΝΑ όψης του συγκροτήματος. Η εξωτερική τους όψη θα είναι συνάμα και ο τοίχος αντιστήριξης της αυλή από εμφανές σκυρόδεμα, ώστε να είναι διακριτή η προσθήκη των νέων κτισμάτων.

Ο περιβάλλων χώρος θα διαστρωθεί με υλικά που θα δώσουν την εικόνα των σταθεροποιημένων χωμάτινων δαπέδων, τύπου kourasanit. Το δάπεδο του μεταλλικού στεγάστρου θα έχει επικάλυψη από ειδικά εμποτισμένες λείες τάβλες διαστάσεων (22x12x420mm) για εξωτερικούς χώρους.

Στην τρίτη και τελική φάση (Εικόνα 09), η αποκατάσταση θα γίνει με βάση τα σχέδια της αποτύπωσης και το φωτογραφικό υλικό του 1986, με στόχο οι χώροι να επανακτήσουν το χαρακτήρα και τις διαστάσεις τους. Το ισόγειο (κατώι) επανακτά την παλιά του διαμερισμάτωση, και οι χώροι μετατρέπονται σε κελάρια και αποθήκες των τοπικών προϊόντων. Στη θέση της παλιάς σκάλας δημιουργείται ένα νέο κλιμακοστάσιο με τον απαραίτητο ανελκυστήρα που θα συνδέει όλα τα επίπεδα.

Στην πρώτη στάθμη οι χώροι με τον ελλιπή φωτισμό θα φιλοξενούν

την έκθεση των προϊόντων, ενώ οι χώροι που φωτίζονται καλύτερα μπορούν να χρησιμοποιούνται ως γραφεία. Στο τελευταίο επίπεδο, η διαμπερής κάμαρα θα λειτουργεί ως βιβλιοθήκη και χώρος πολλαπλών χρήσεων και στην άλλη πλευρά θα προβλεφθεί χώρος για οινογευσία, μετά την προσθήκη του κατάλληλου εξοπλισμού.

Στις επιχρισμένες όψεις θα εφαρμοστούν κονιάματα με τις κατάλληλες φυσικοχημικές ιδιότητες για την περίπτωση. Οι ανεπίχριστες επιφάνειες θα υποστούν βαθύ αρμολόγημα, ώστε να μην αλλοιωθεί η σημερινή εικόνα του συγκροτήματος.

Ο φορέας των πατωμάτων του πύργου θα αποτελείται από ξύλινα δοκάρια διαστάσεων 12x16cm ή 14x18cm, τοποθετημένα στην ίδια κατεύθυνση με αυτή που είχαν οι κορμοί πριν την πυρκαγιά και με μονό πέτσωμα από τάβλες πάχους 22mm. Στο δώμα, θα κατασκευασθεί διπλό πέτσωμα, με τη δεύτερη στρώση να αποτελείται από κόντρα πλακέ πάχους 22mm. Η αγκύρωση των πατωμάτων στην τοιχοποιία θα γίνει μέσω μεταλλικής γωνιάς 100x100x10 σε όλες τις στάθμες. Τα δάπεδα του υπογείου και του ελαιοτριβείου θα είναι από πατητή τσιμεντοκονία.

Ο θόλος που βρίσκεται στο ΝΑ άκρο του πύργου πρέπει να καθαριστεί και να αποκαλυφθεί το εξωράχιό του. Στην περίπτωση που δεν παρουσιάζει κάποιο δομικό πρόβλημα, προτείνεται να γεμιστεί με γαρμπίλι. Η τελική επικάλυψη του δαπέδου θα είναι από πατητή τσιμεντοκονία.

Τα δώματα του αποκατεστημένου πύργου δε θα είναι βατά και η τελική επιφάνειά τους θα διαστρωθεί από χαλίκι σε χρωματισμό που να συνάδει με το χρώμα των πετρωμάτων της περιοχής.

Πρόταση στερέωσης

Η πρόταση στερέωσης έχει ως κύριο άξονα την εξασφάλιση της στατικής επάρκειας των κτηρίων του συγκροτήματος.

Στην πρώτη φάση αποκατάστασης, οι τοίχοι του πύργου που έχουν χάσει ένα μεγάλο μέρος της εσωτερικής τους παρειάς, θα πρέπει να υποστηριχθούν με ικριώματα. Πριν την υποστύλωση πρέπει να γίνει προσεκτική ανασκαφή στο χώρο του υπογείου, για την εύρεση πρόσθετων στοιχείων, αλλά και για την εκκαθάριση του επιπέδου έδρασης των ικριωμάτων υποστύλωσης.

Στην συνέχεια, θα πραγματοποιηθούν διερευνητικές τομές στα επιχρίσματα των όψεων, ώστε να διερευνηθούν οι ρωγμές στις όψεις. Στο στάδιο αυτό θα πρέπει να γίνει η συμπλήρωση των τοιχοποιιών που έχουν απολέσει την εσωτερική τους παρειά. Το κονίαμα που θα χρησιμοποιηθεί θα περιέχει υδραυλική άσβεστο και ποζολάνη. Στα σημεία όπου υπήρχαν

κάθετοι διαχωριστικοί τοίχοι κρίνεται αναγκαία η ανακατασκευή τους, υπό μορφή αντηρίδων, σε μήκος ενός μέτρου και με σύνδεση με τους περιμετρικούς τοίχους.

Μετά την ανάλυση των στοιχείων της τοιχοποιίας, θα πρέπει να γίνουν οι απαραίτητες λιθοσυρραφές στις ρωγμές. Το επόμενο βήμα είναι το βαθύ αρμολόγημα της λιθοδομής των τοιχοποιιών του πύργου, αλλά και του ελαιοτριβείου με ασβεστοποζολανικό κονίαμα. Στην Α' φάση αποκατάστασης, η μέθοδος αυτή θα εφαρμοστεί μόνο από την εσωτερική παρειά του τοίχου του πύργου, με σκοπό να μην αλλάξει η εικόνα που έχει σήμερα το μνημείο. Επίσης, στη στάθμη του δώματος του πύργου και του ελαιοτριβείου θα διαστρωθεί κονιάμα στο πάνω μέρος της τοιχοποιίας, για να μην υπάρξει περαιτέρω απόπλυση των κονιαμάτων της.

Στην Γ' φάση αποκατάστασης του μνημείου, προβλέπεται η εφαρμογή ενεμάτων μετά από την καθαίρεση των επιχρισμάτων στην περιμετρική τοιχοποιία, προκειμένου να αυξηθεί η αντοχή και η φέρουσα ικανότητά της.

Επίλογος

Η εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας κινήθηκε σε τρείς άξονες. Ο πρώτος άξονας αφορούσε την εφαρμογή των κατάλληλων μεθόδων αποτύπωσης του μνημείου, που θα οδηγούσαν στην πιο εμπεριστατωμένη εξαγωγή συμπερασμάτων για τη δομική κατάσταση των κτισμάτων και θα έκριναν την αναγκαιότητα ανάληψης των άμεσων σωστικών μέτρων. Ο δεύτερος άξονας είχε ως αντικείμενο την αναζήτηση ιστορικών τεκμηρίων για το μνημείο. Ήταν κρίσιμο να διαχωριστούν οι ζημιές που προκάλεσε η πυρκαγιά, από τις βλάβες λόγω των αστοχιών της κατασκευής. Ο τρίτος άξονας είναι η αποκατάσταση του μνημείου, μετά την πλήρη κατανόηση της υφιστάμενης κατάστασης και της ιστορίας του μνημείου. Η συνέργεια αυτών των πρώτων δύο αξόνων οδηγεί στην πιο ορθή επιστημονικά επέμβαση στο μνημείο, αποκλείοντας επεμβάσεις που θα αλλοιώσουν το χαρακτήρα του.

Ενδεικτική Βιβλιογραφία

1. Αλεξανδοπούλου Σ., Γιάπαπα Μ., Καλλιάνη Σ., Καραβίτη Λ., Λιόκουρα Μ., "Πύργοι στη Νάξο", Διάλεξη σπουδαστριών, έδρα Μορφολογίας, 1969
2. Δεμενοπούλου Σ., Μέγγουλη Α., "Πύργοι της Νάξου" Σπουδαστική

διάλεξη, 1985

3. Δεμενοπουλου Σ., Μέγγουλη Α.,"Ο πύργος της Αγιάς", Διπλωματική εργασία, Τομέας Ι, Αρχ. Σχεδιασμού, 1986

4. Δέτση Α., *"Φράγκικα κτίσματα, πύργοι και πυργομονάστηρα στη Νάξο",* διάλεξη στον τομέα IV, Δεκέμβριος 1994

6. Καλπουρτζή Ε.,"Συγγενικές σχέσεις και στρατηγικές ανταλλαγών, το παράδειγμα της Νάξου τον 17^{ο} αιώνα" ,. Ελληνικά Γράμματα, Αθήνα 2001

7. Κεφαλληνιάδης Ν., "Οι πύργοι της Νάξου", , Αθήνα, 1980

8. Κουρουπάκη Κ., Σάββαρη Ε., Σταθάκη-Σπηλιωπούλου Μ., Τσαμτσούρη Β., "Νάξος", Ελληνική Παραδοσιακή Αρχιτεκτονική, Μέλισσα, 1981

9. Κωτσάκης Α., "Η Νάξος κατά την ενετοκρατία 1207 – 1566", Πελασγός, 2001

11.Μαλαματένιου Ε., "Ο πύργος του Κόκκου στην Ποταμιά", Διπλωματική εργασία στο Δ.Π.Μ.Σ. "Προστασία Μνημείων", 2011

12.Μαστορόπουλος Γ., "Πρακτικά του Α' Πανελληνίου συνεδρίου με θέμα, "Η Νάξος διαμέσου των αιώνων" Φιλώτι 3-6 Σεπτεμβρίου 1992, Κοινότητα Φιλωτίου, Αθήνα 1994

14.Μονεμβασίτου-Αντωνακάκη Α., *"Πύργος Μπαρότσι – Άγιοι Ανάργυροι - Σαγκρί Νάξου"*, "Πορεία", τιμητικός τόμος στον καθηγητή Δ.Ζήβα, Ε.Μ.Π. Σχολή Αρχιτεκτόνων, 2007

15. Μονή Τιμίου Σταυρού - Πύργος Μπαζαίου, Νάξος, αχρονολόγητο

16."Ναξιακά", επιθεώρηση της ομοσπονδίας ναξιακών συλλόγων, τχ 34, Οκτώβριος – Δεκέμβριος 1992

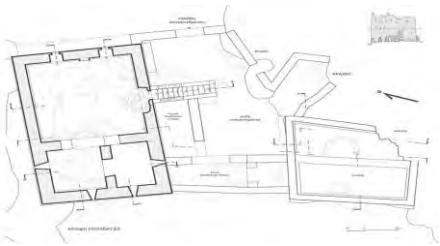
19.Σέργης Μ., "Μονές των Κυκλάδων, Τόμος Α' Σύρου, Πάρου, Νάξου, Αμοργού", Χελάνδιον, Αθήνα 2007

20. Σπηλιοπούλου Ι., Κωτσάκης Α., *"Οι πύργοι και οι οχυρωμένες κατοικίες των νησιών του Αιγαίου και της Πελοποννήσου (14ος-19ος αι.) μια ιστορικο-πολιτισμική προσέγγιση με έμφαση στην περίπτωση της Νάξου"*, ΕΩΑ και Εσπέρια 8, 2008-2012

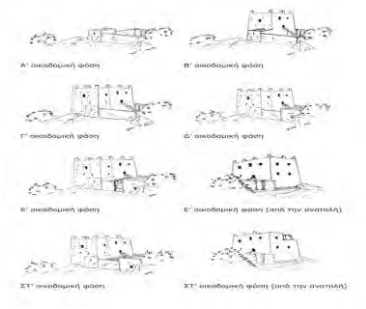
21."Τουριστική Έρευνα Νάξου", Ελληνική Περιηγητική Λέσχη, Αθήνα 1969

Εικόνα 3. Εσωτερική άποψη μνημείου προς βορρά

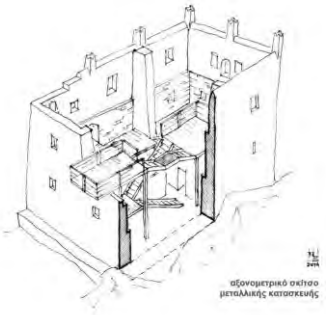
Εικόνα 4. Εσωτερική άποψη μνημείου προς νότο



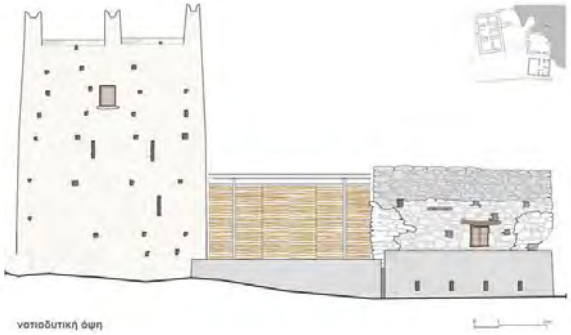
Εικόνα 5. Ενδεικτική κάτοψη αποτύπωσης**Εικόνα 1.** Γενική



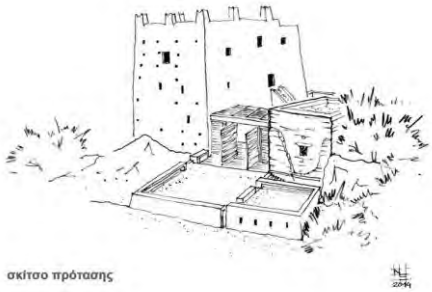
Εικόνα 6. Οικοδομικές φάσεις**Εικόνα 2.** Θέσεις



Εικόνα 7. μεταλλική κατασκευή



Εικόνα 8. νοτιοδυτική όψη



Εικόνα 9. σκίτσο

Παρεμβάσεις στο δημόσιο χώρο ιστορικών πόλεων και οικισμών στην Ελλάδα. Διοικητική παθογένεια, δυνατότητες και προοπτικές. Η εμπειρία του Συνηγόρου του Πολίτη (Interventions in the public space of historical towns and settlements in Greece. Administrative pathogenesis, opportunities and prospects. The experience of the Greek Ombudsman)

Ε. Γ. Μαυρομάτη[1], Ε.Ν. Σταματίου[2]

[1] Ειδική Επιστήμονας στην Ανεξάρτητη Αρχή Συνήγορος του Πολίτη, Αρχαιολόγος ΑΠΘ, MSc Κλασικής Αρχαιολογίας ΑΠΘ, επί πτυχίω φοιτήτρια Τμήματος Συντήρησης Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης, ΣΑΕΤ/ ΑΤΕΙ Αθήνας

[2] Ειδική Επιστήμονας στην Ανεξάρτητη Αρχή Συνήγορος του Πολίτη, Αρχιτέκτων ΕΜΠ, MSc Περιφερειακής Ανάπτυξης, Δρ. Πολεοδομίας-Χωροταξίας (Phd, PPhd)

Abstract

On the occasion of the subject area of petitions examined by the Ombudsman as part of its audit responsibilities for public services and institutions and related mediatory work, issues emerge relating to the maintenance and restoration of historic and traditional sets and settlements and the management of public space in terms of their cultural character, with examples from various regions of Greece (Athens, Delphes, Chania etc).

Particular reference is made to the selection and suitability of materials with regards to their composition and their compatibility with the original material to be restored, their eco - sustainable characteristics, their reactions over time, their graduations and intervention priorities, results of rehabilitation studies, the capabilities of competent public services and the acceptance of the scientific community and of the public.

A serious problem that emerges is that of unauthorized occupation of public space and the accessibility to the studied areas, which also relate to the appropriate selection of materials and relevant restoration works during any interventions in public space of cultural interest.

Amongst the issues examined are the legal framework, the practice, weaknesses and administrative pathogenesis, the problems of

implementation and circumvention of the law, the criteria for decision making and promotion or not of initiatives of public bodies and experts, shifting in priorities, etc. which are even more demonstrated in the context of the current economic crisis.

Of great interest are the views and actions of the involved services, autopsies content, and the findings and recommendations to improve the situation and address the aesthetic threat to cultural and environmental degradation in the above sensitive or vulnerable areas, which involve changes of quality of life of citizens and visitations and of tourism indicators in the medium and long term. In any case the aim remains the complete, diligent, proper, often multidisciplinary maintenance intervention and protection and proper recovery and healthy development of the wider area.

Περίληψη

Με αφορμή τη θεματική αναφορών που εξέτασε ο Συνήγορος του Πολίτη στο πλαίσιο των ελεγκτικών αρμοδιοτήτων του επί των δημοσίων υπηρεσιών και φορέων και του συναφούς διαμεσολαβητικού του έργου, αναδεικνύονται ζητήματα αφορώντα τη συντήρηση και αποκατάσταση ιστορικών και παραδοσιακών συνόλων και οικισμών και τη διαχείριση του δημόσιου χώρου ως προς τον πολιτιστικό χαρακτήρα του, με ενδεικτικά παραδείγματα από διάφορες περιοχές του ελλαδικού χώρου (Αθήνα, Δελφοί, Χανιά κ.ά.).

Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στην επιλογή και την καταλληλότητα των υλικών ως προς τη σύνθεσή τους και τη συμβατότητά τους με τα αυθεντικά και τη λειτουργούσα χρήση, τον οικολογικό – αειφορικό τους χαρακτήρα, τις αντιδράσεις τους με την πάροδο του χρόνου, τις διαβαθμίσεις και προτεραιότητες παρεμβάσεων, τα αποτελέσματα μελετών αποκατάστασης, τις δυνατότητες αρμοδίων υπηρεσιών και την αποδοχή της επιστημονικής κοινότητας και του κοινού.

Σοβαρό πρόβλημα που αναδεικνύεται είναι και αυτό της αυθαίρετης κατάληψης δημοσίου χώρου και της προσβασιμότητας, που επίσης σχετίζονται με την επιλογή κατάλληλων υλικών και σχετικών εργασιών κατά τις όποιες παρεμβάσεις στον δημόσιο πολιτιστικό χώρο.

Μεταξύ άλλων εξετάζονται το θεσμικό πλαίσιο, η πρακτική, οι αδυναμίες και η διοικητική παθογένεια, τα προβλήματα εφαρμογής και καταστρατήγησης της νομοθεσίας, τα κριτήρια λήψης αποφάσεων και προώθησης ή μη πρωτοβουλιών φορέων και ειδικών, οι μετατοπίσεις προτεραιοτήτων κ.ά. που καταδεικνύονται έτι περαιτέρω στην υφιστάμενη

συγκυρία της οικονομικής κρίσης. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι απόψεις και οι ενέργειες των εμπλεκόμενων υπηρεσιών, το περιεχόμενο αυτοψιών, καθώς και οι διαπιστώσεις και οι προτάσεις για τη βελτίωση της κατάστασης και την αντιμετώπιση της απειλής αισθητικής πολιτιστικής και περιβαλλοντικής υποβάθμισης στις ανωτέρω ευαίσθητες ή και ευάλωτες περιοχές, η οποία συνεπάγεται μεταβολή της ποιότητας ζωής των πολιτών αλλά και της επισκεψιμότητας και των τουριστικών δεικτών μεσοπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα. Σε κάθε περίπτωση ζητούμενο παραμένει η ολοκληρωμένη, επιμελής, κατάλληλη, συχνά διεπιστημονική παρέμβαση συντήρησης και προστασίας καθώς και της ορθής αξιοποίησης και της υγιούς ανάπτυξης του ευρύτερου χώρου.

Εισαγωγή

Η διατήρηση και η ανάδειξη της πολιτιστικής κληρονομιάς συνδέεται με τη διατήρηση της πολιτιστικής ταυτότητας, παράλληλα με την ανάδειξη της χώρας σε ευρωπαϊκό και διεθνές επίπεδο. Συνδέεται επίσης με διαρκή αναβάθμιση των υπαρχουσών τουριστικών δραστηριοτήτων, καθώς και με την ποιοτική ανάπτυξη και τη δημιουργία νέων δυνατοτήτων αναψυχής, ήπιας μορφής, υπό όρους και προϋποθέσεις, ώστε να μην προκαλείται βλάβη.

Για την εύρυθμη λειτουργία των οργάνων του Υπουργείου Πολιτισμού, όπως το Κεντρικό Αρχαιολογικό Συμβούλιο και το Συμβούλιο Μουσείων, για επεμβάσεις σε μνημεία, δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στο σεβασμό της ιστορικότητας των μνημείων και των αρχιτεκτονικών τους φάσεων, στο σεβασμό της αυθεντικότητάς τους, στον περιορισμό των νέων στοιχείων στην περίπτωση προσθηκών, στη διαφοροποίηση αυθεντικών και προστιθέμενων τμημάτων ή αρχιτεκτονικών μελών, στη χρήση παραδοσιακών και συμβατών υλικών, για τα οποία υπάρχει μακρόχρονη εμπειρία εφαρμογής, και γενικώς στην εφαρμογή ήπιων μεθόδων προστασίας και στην αναστρεψιμότητα των ενεργειών[17].

Σε σημαντικά μνημεία και εκτεταμένες επεμβάσεις, στο πρόγραμμα συνολικής επέμβασης με στόχο την ολοκληρωμένη προστασία του μνημείου, η πρόταση πρέπει να περιέχει την αλληλουχία των ενεργειών και των επεμβάσεων. Σε περίπτωση εργασιών συντήρησης οι φάκελοι που υποβάλλονται στα συμβούλια πρέπει να περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων

[17] Σύμφωνα με το υπ' αρ. 29.06.2010 έγγραφο ΥΠΠΟΤ/ ΚΑΣ/ Φ1Α/ 1076/ 63699/ 29.10.2010 του Υπουργείου Πολιτισμού, τα ανωτέρω γίνονται σύμφωνα με τις αρχές της μνημειακής αποκατάστασης.

αναφορά στις προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης και αξιολόγησής τους και προτεινόμενες επεμβάσεις και υλικά με αναλυτική αιτιολόγηση και χαρτογράφηση της εφαρμογής τους. Για τη χρήση δε των μνημείων θα πρέπει να τεκμηριώνεται η υλική αντοχή του μνημείου σε καταπονήσεις και η συμβατότητα με την παράδοση.

Ενδεικτικές περιπτώσεις διαμεσολάβησης

Α) Κατά ευτυχή συγκυρία όχι συχνά, έχουμε αντιμετωπίσει περιπτώσεις, όπου, κατά παράβαση της ισχύουσας νομοθεσίας, η έγκριση της αρχαιολογικής υπηρεσίας παρακάμπτεται και η προαπαιτούμενη άδεια της δεν υφίσταται με αποτέλεσμα να καταστρέφονται τμήματα κηρυγμένων μνημείων ή/και να καταχώνονται άλλα, με σύγχρονα μη συμβατά με το μνημείο υλικά. Χαρακτηριστική περίπτωση η κατασκευή του έργου της Περιφερειακής Οδού της πόλης της Τήνου, τα σχέδια του οποίου δεν υπεβλήθησαν προς έγκριση στην Αρχαιολογική Υπηρεσία, Κατά τη διερεύνηση της αναφοράς διαπιστώθηκε ότι δεν λήφθηκε υπόψη ο παραδοσιακός χαρακτήρας της νήσου και δεν ζητήθηκε η γνωμοδότηση των αρμόδιων αρχαιολογικών υπηρεσιών προ της εγκρίσεως περιβαλλοντικών όρων για το έργο, με αποτέλεσμα κατά το σχεδιασμό της οδού να αγνοηθεί πλήρως η ύπαρξη διατηρητέου μνημείου (περιστερώνα), ενόψει της προσπάθειας άρσης του χαρακτηρισμού και της προστασίας αυτού και η εν λόγω οδός να κατασκευαστεί χωρίς αρχαιολογική επίβλεψη, σε επαφή με το μνημείο, με αποτέλεσμα τη μερική απώλεια της τοιχοδομίας του περιστερώνα, την εκτεταμένη αλλοίωση του περιβάλλοντος χώρου, που χρησιμοποιήθηκε ως χώρος απόθεσης υλικών εκσκαφής και τη μερική κατάχωση του μνημείου, παρά την εν ισχύ Απόφαση χαρακτηρισμού του ως ιστορικού διατηρητέου μνημείου, κατά τις διατάξεις του Ν.1469/50 και ως μοναδικού δείγματος αρχιτεκτονικής παραδοσιακού κτιρίου με ενσωμάτωση νεοκλασικών στοιχείων, σε περίοπτη και πρόσφορη για την ανάδειξή του θέση (υπόθεση 13618/2003).

Η περιορισμένη προστασία των νεώτερων μνημείων, λόγω της απουσίας σαφούς ορισμού των προστατευόμενων πολιτιστικών αγαθών, αφού συνήθως στα νεώτερα κτίρια, κυρίως κριτήρια ιστορίας της τέχνης ή η σύνδεσή τους με ιστορικά γεγονότα τα καθιστούσε άξια χαρακτηρισμού τους ως διατηρητέα, χωρίς να εκτιμώνται μεταξύ άλλων η αρχιτεκτονική και η τεχνολογία δημιουργίας τους, άλλαξε δραστικά με την αναθεώρηση του συντάγματος το 2001, οπότε αναγνωρίστηκε το ατομικό δικαίωμα στην προστασία του πολιτιστικού περιβάλλοντος παράλληλα με τη διατύπωση ότι τα κρατικά μέσα για τη διαφύλαξη του πολιτιστικού περιβάλλοντος

λαμβάνονται στο πλαίσιο της αρχής της αειφορίας, γεγονός που καθόρισε τα προληπτικά και κατασταλτικά μέτρα της διοίκησης[18].

Στο πλαίσιο αυτό η Ανεξάρτητη Αρχή ζήτησε εφικτή κατασκευαστικά τεχνική μελέτη που να διασφαλίζει: α) περιβάλλοντα χώρο γύρω από το μνημείο και από την πλευρά της Περιφερειακής Οδού, β) τοποθέτηση κιγκλιδώματος από την πλευρά της οδού, γ) ορατότητα του μνημείου μέχρι τη βάση του, και δ) αποκατάσταση των ζημιών που προκλήθηκαν στο κάτω τμήμα της τοιχοποιίας του Περιστερώνα από την κατασκευή του ρείθρου της οδού, τονίζοντας ότι η κατασκευή της τοιχοποιίας από οπτοπλινθοδομή, ουδόλως μεταβάλλει τη σημασία του συγκεκριμένου μνημείου ως προς τον χαρακτηρισμό του, αφού τα πολιτιστικά αγαθά, υλικά ή πνευματικά, αρχαία ή νέα, ανεξαρτήτως του είδους των υλικών κατασκευής τους, τυγχάνουν της ίδιας προστασίας από το νόμο.

Β) Με το Ν. 3028/2002 και την απαγόρευση ενεργειών σε ακίνητο μνημείο ή στο περιβάλλον του που μπορεί να επιφέρουν άμεση ή έμμεση βλάβη, συμπεριλαμβανομένων των τεχνικών έργων, λειτουργία λατομείων, συστημάτων τηλεπικοινωνίας και εγκαταστάσεων σε ακίνητα μνημεία και το περιβάλλον τους, μας δόθηκε η δυνατότητα παρέμβασης σε περιπτώσεις που η κατασκευή τους, μη συμβατή με τα υλικά και το περιβάλλον του μνημείου, το επιβάρυνε αισθητικά και δημιουργούσε βραχυπρόθεσμες όσο και οι μακροπρόθεσμες επιπτώσεις στο περιβάλλον του.

Πολιτιστικός σύλλογος ζήτησε να εξεταστεί η αδειοδότηση και η τοποθέτηση κεραιών διαδικτύου στο Βυζαντινό Κάστρο Τρικάλων, το οποίο έχει κηρυχθεί «προέχον» βυζαντινό μνημείο με καθορισμένη ζώνη προστασίας, καθώς και στο ωρολογοστάσιο του φρουρίου, το οποίο έχει χαρακτηριστεί αυτοτελώς διατηρητέο μνημείο (υπόθεση 144675/2011). Μετά την παρέμβαση του Συνηγόρου, ακολουθήθηκε η εκ των υστέρων τήρηση της διαδικασίας αδειοδότησης από το Υπουργείο Πολιτισμού. Ο Συνήγορος, αναγνωρίζοντας τη χρησιμότητα της ελεύθερης πρόσβασης στο διαδίκτυο, υποστήριξε ότι η αδειοδότηση κεραιοσυστημάτων Διαδικτύου θα πρέπει να συνοδεύεται από ειδική μελέτη, στην οποία θα λαμβάνονται υπόψη οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις, χωρίς να παραλείπεται η τεκμηριωμένη εκτίμηση της αισθητικής επιβάρυνσης του μνημείου[19].

Σε συναφή περίπτωση αιτήματος εγκατάστασης Φ/Β σταθμού σε αγροτεμάχιο στο άμεσο περιβάλλον του σημαντικού βυζαντινού ναού της Μεταμόρφωσης του Σωτήρος Ταρσινών, του 13ο αιώνα, εξαίρετο δείγμα

[18] Τσακιράκης Ευαγγ., 2005, σελ. 45, 50.
[19] Ετήσια Έκθεση Συνηγόρου του Πολίτη 2013, σελ. 52 κ.ε.

βυζαντινής ναοδομίας στην περιοχή της Κορινθίας που εντυπωσιάζει για την ακεραιότητα της διατήρησής του, η Ανεξάρτητη Αρχή, στηριζόμενη στη σχετική νομοθεσία, στην οποία είχε σαφέστατα ληφθεί υπόψη η παράμετρος της ασυμβατότητας των υλικών των Φ/Β σταθμών με τα υλικά των μνημείων και του περιβάλλοντός τους, ζήτησε την αυτοδίκαια προστασία του μνημείου που δεν ήταν κηρυγμένο[20], την γνωμοδότηση του Τοπικού Συμβουλίου Μνημείων[21] (εφεξής ΤΣΜ) και την τήρηση των ζωνών αποκλεισμού σε μνημεία μείζονος σημασίας για τη χωροθέτηση εγκαταστάσεων εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας[22]. Στη συνέχεια, το ΤΣΜ αρνήθηκε το αίτημα με το αιτιολογικό ότι η εγκατάσταση βρίσκεται σε άμεση οπτική συνάφεια με το σημαντικό μνημείο και θα εκφέρει αισθητική αλλοίωση και βλάβη στον περιβάλλοντα χώρο του.

Γ) Συχνά ο πολίτης απευθύνεται στην Αρχή προκειμένου να διαμαρτυρηθεί για κατασκευές που θίγουν την ιδιοκτησία του. Κατά τη διερεύνηση των αναφορών αναδύονται θέματα διοικητικής παθογένειας, όπως η μη αναγκαιότητα ή η παράλειψη αδειοδότησης[23] από την Πολεοδομία κατασκευών που εκτελούνται με αυτεπιστασία από τις αρχαιολογικές υπηρεσίες, με αποτέλεσμα την ασυμβατότητα των σύγχρονων υλικών κατασκευής με τα δομικά υλικά του μνημείου/μουσείου ή/και την καταστροφή τμημάτων κηρυγμένων μνημείων.

Σε περιπτώσεις που το οικιστικό σύνολο είναι κηρυγμένο ως μνημείο, η δυνατότητα παρέμβασης για τη συντήρηση και την επισκευή μέρους του οικισμού θεωρείται δεδομένη, όταν αυτά δεν προστατεύονται ως αυτοτελώς διατηρητέα με πιο αυστηρούς όρους και περιορισμούς δόμησης και χρήσεων από τον υπόλοιπο οικισμό. Η προστασία τους και η ενεργοποίηση του κρατικού μηχανισμού δεν είναι αναγκαία μια απρόσκοπτη διαδικασία[24].

Η αναφορά πολίτη για την κατασκευή μεταλλικού κιγκλιδώματος από την Εφορεία, ως περίφραξη του περιβάλλοντος χώρου του Ενετικού Ναού Αγίου Φραγκίσκου, όπου στεγάζεται το Αρχαιολογικού Μουσείου Χανίων, σε πλήρη επαφή με τον εξώστη της οικίας του και η παρέμβαση

---

[20] Σύμφωνα με το Ν. 3028/2002, άρθρο 10

[21] Σύμφωνα με την Υ.Α. ΥΠΠΟ/ΔΟΕΠΥ/ΤΟΠΥΝΣ/15/3696/20.01.2004, άρθρο 1.

[22] Α) Σύμφωνα με το Ν. 3851/2010 (ΦΕΚ Α'/85/ 04.06.10), άρθρο 9, παρ.2, β) σύμφωνα με την υπ' αρ. 49828/2008 (ΦΕΚ Β'/ 2464/03.12.2008), άρθρο 17, παρ. 2, περ. α και παρ. 3,

23 Βλ. σχ. Μαυρομάτη Ελευθ., πόρισμα, Συνήγορος του Πολίτη, 2015, http://www.synigoros.gr/?i=quality-of-life.el.adeiodotisi.258565

24 Βλ. σχ. Μαυρομάτη Ελευθ., σύνοψη διαμεσολάβησης, Συνήγορος του Πολίτη, 2015, http://www.synigoros.gr/?i=quality-of-life.el.diatiritea_syntirisi.276762

της Ανεξάρτητης Αρχής, οδήγησε στην τμηματική απομάκρυνση υπερμεγέθους κατασκευής από χάλυβδινες βέργες[25], με σχετικά μόνιμο χαρακτήρα, μη αρμόζουσα σε κηρυγμένο μνημείο και μάλιστα, σε ένα από τα κατεξοχήν προς ανάδειξη μνημεία της Παλαιάς Πόλης των Χανίων.

Η Εφορεία θεώρησε ότι το ύφος της κατασκευής, με έγκριση μόνο από τις συναρμόδιες Εφορείες Αρχαιοτήτων, ακολούθησε τις επιταγές της σύγχρονης αντίληψης για τις επεμβάσεις στα μνημεία, κατά την οποία η επέμβαση πρέπει να γίνεται άμεσα αντιληπτή ως σύγχρονη και να μην επισκιάζει αισθητικά το πλησίον μνημείο, ενώ η συνολική/στατική μελέτη μόνιμης περίφραξης, θα ακολουθούσε για τη διαμόρφωση και ανάδειξη του χώρου. Στην πορεία διαπιστώθηκε ότι η αδυναμίας προώθησης μιας πιο ορθής, διακριτικής και αρμόζουσας λύσης οδήγησε στην επιλογή της συγκεκριμένης κατασκευής, η οποία επιβαλλόταν και λόγω της δυνατότητας άμεσης πρόσβασης στο δημόσιο χώρο και το μουσείο από τους υπάρχοντες εξώστες και τα ανοίγματα, αλλά και λόγω επιτακτικής ανάγκης διαφύλαξης της δημόσιας περιουσίας.

Προκειμένου να υπάρξει επίλυση του ζητήματος, η Εφορεία προέβη σε εντολή και υλοποίηση ταπείνωσης του ύψους της περίφραξης, διασφαλίζοντας αφενός την οικία του πολίτη από πιθανή δημιουργία ρήγματος σε περίπτωση σεισμού, αφετέρου το χαρακτήρα της οικίας και του ενετικού ναού του Αγίου Φραγκίσκου, που ανήκουν στον ιστορικό πολεοδομικό ιστό της Παλαιάς Πόλης και ως τέτοια προστατεύονται[26], μέχρις ότου επιλυθούν τα υφιστάμενα προβλήματα μεταξύ του Δημοσίου και των περιοίκων και αντιμετωπιστεί συνολικά το θέμα της προστασίας και ανάδειξης του. (υπόθεση 1444/2004).

Δ) Σύνηθες φαινόμενο ειδικά σε περιοχές ιστορικού κέντρου, που λόγω σημαντικής πολιτιστικής ταυτότητας προσελκύουν μεγάλο αριθμό τουριστών και επισκεπτών, είναι η διαμαρτυρία πολιτών για χρήσεις καταστημάτων υγειονομικού ενδιαφέροντος (ΚΥΕ) πλησίον αρχαιολογικών χώρων, με αλλοιώσεις τοιχοποιιών ή λοιπών στοιχείων «αξιοποιούμενων» αυθαίρετα χρηστικά, ή με μη συμβατή χρήση υλικών και εξοπλισμού τέτοιων (υλικό, χρώμα, διαστάσεις, κλπ.) που υποβιβάζουν αισθητικά και καταστρέφουν άμεσα και έμμεσα τον προστατευόμενο χώρο και το περιβάλλον του, αφού παραλείπεται η διαφύλαξης της αισθητικής του περιβάλλοντος χώρου, του αρχαιολογικού χώρου και του μνημείου, και αλλοιώνεται η ιστορική, αισθητική και λειτουργική ενότητα των μνημείων.

---

[25] ύψους 5,00 μ. και μήκους 48 μ.

[26] Σύμφωνα με την ΥΑ 6478/26.07.1965 (ΦΕΚ 523 Β').

Με αφορμή μελέτη περίπτωσης της λειτουργίας ΚΥΕ[27] κατά παράβαση των σχετικών διατάξεων στο Θησείο αλλά και στη νήσο Κω, ο Συνήγορος του Πολίτη, πρότεινε την επανεξέταση της διαδικασίας έκδοσης αδειών λειτουργίας τους, αποκαλύφθηκαν παθογένειες και αδυναμίες της διοίκησης, επίσης επισημάνθηκαν προβλήματα συνεργασίας, συντονισμού και διάστασης απόψεων μεταξύ των εμπλεκόμενων υπηρεσιών, Η σταδιακή εξέλιξη της υπόθεσης και ο τρόπος αντίδρασης και διαχείρισης του ζητήματος από τις εμπλεκόμενες υπηρεσίες αποδεικνύουν διαφορετικό βαθμό ενδιαφέροντος και ευαισθητοποίησης, που αναγνωρίζεται περισσότερο και πιο έντονα στις περιπτώσεις των Εφορειών Αρχαιοτήτων, οι οποίες δραστηριοποιούνται για την επίλυση του προβλήματος υποβάθμισης των μνημείων από τη χρήση ακατάλληλου εξοπλισμού. Ιδιαίτερο πρόβλημα που αναδεικνύεται και αναλύεται στις διάφορες πτυχές του είναι αυτό της κατάληψης δημοσίου χώρου και της προσβασιμότητας[28], που επίσης σχετίζεται με την υποβάθμιση της οικιστικής ποιότητας.

Διαπιστώσεις

Στην παρούσα ανακοίνωση δεν μπορεί να παρά να αναφερθεί ενδεικτικό μόνο μέρος των περιπτώσεων που παρενέβη η Ανεξάρτητη Αρχή, αναφορικά με την προστασία μνημείων και παραδοσιακών οικισμών και συνόλων ως προς τη συμβατότητα των υλικών κατά τις σύγχρονες παρεμβάσεις.

Η παράλληλη προστασία νεότερων διατηρητέων κτισμάτων και παραδοσιακών οικισμών από το Υπουργείο Πολιτισμού, ως αρχαιολογικών χώρων ή/και ιστορικών τόπων και από το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Χωροταξίας ως πολεοδομικών, αρχιτεκτονικών και αισθητικών συνόλων και η δυσχέρεια συντονισμού των δύο υπουργείων, έχει ως αποτέλεσμα τη διερεύνηση αναφορών με διαπίστωση διακριτά διαφορετικής αντίληψης και πρακτικής προστασίας, όπως και προτεραιοτήτων.

Κρίσιμη παραμένει η προηγούμενη γνωμοδότηση των αρμοδίων αρχαιολογικών και πολεοδομικών υπηρεσιών πριν την έγκριση έργων και

---

[27] **Μαυρομάτη Ελευθ. σύνοψη διαμεσολάβησης, Συνήγορος του Πολίτη 2012, http://www.synigoros.gr/?i=dimotis.el.upotheseis_katastimata_01.73937**

[28] Μαυρομάτη Ελευθ., Σταματίου Ελ, Περιβάλλον & Δίκαιο 1, 2015, σελ. 14-31.

δραστηριοτήτων και η τήρηση των όρων και προϋποθέσεων αυτών, πλησίον ή εντός μνημείων και αρχαιολογικών χώρων, ιδιαιτέρως σε περιοχές με παραδοσιακό, μνημειακό, αρχαιολογικό κλπ χαρακτήρα.

Δυνατότητες και προοπτικές

Στο Ν. 3028/2002[29] για τη ρύθμιση ειδικότερων θεμάτων που αφορούν στην προστασία ετοιμόρροπων μνημείων και της σχετικής Υ.Α.[30] προβλέπονται ήπια μέτρα για την οριστική άρση του κινδύνου, μεταξύ των οποίων επισκευές, ενισχύσεις, αντιστηρίξεις κλπ, με την προϋπόθεση διαφύλαξης της αυθεντικότητας του μνημείου, αλλά και περιγραφή της μορφής και της σύνθεσης του μνημείου, πλήρης τεκμηρίωση και συλλογή των αρχιτεκτονικών μελών και διακοσμητικών στοιχείων που κινδυνεύουν. Ουσιαστική είναι η θέσπιση προϋποθέσεων εκτέλεσης εργασιών σε ακίνητα μνημεία, προστασίας των ετοιμόρροπων μνημείων και αποσαφήνιση του υπόχρεου κατάχωσης των αρχαίων, μετά το πέρας των σωστικών ανασκαφών, προκειμένου να προστατεύονται τα κτιριακά δομικά υλικά.

Επίλυση δυσχερών για τις Εφορείες Αρχαιοτήτων καταστάσεων αποτελεί η τροποποίηση της Υπουργικής Απόφασης για τη χορήγηση έγκρισης εργασιών μικρής κλίμακας εντός αρχαιολογικών χώρων[31], προκειμένου οι εργασίες συντήρησης και αποκατάστασης των μουσείων και του περιβάλλοντος χώρου να πραγματοποιούνται με προϋπόθεση τη συμβατότητα των υλικών επισκευής με τα κτίσματα του αρχαιολογικού χώρου αλλά και σε συμφωνία με την πολεοδομική νομοθεσία.

Από την εξέταση των ανωτέρω περιπτώσεων και γενικά την εμπειρία του ΣτΠ προκύπτει ότι οι συναφείς προς την προστασία της δομημένης πολιτιστικής κληρονομιάς υπηρεσίες θα πρέπει να είναι σε στενή συνεργασία τόσο ως προς την έκδοση των νομοθετημάτων όσο και κατά την πρακτική και σε άμεση επικοινωνία με τα συναφούς αντικειμένου ΑΕΙ και ΑΤΕΙ, καθώς και με το ΤΕΕ, του οποίου η αποτυπωμένη σε αρχείο ανάλογη πολυετής εμπειρία στην τεχνολογία υλικών πρέπει να είναι προσεγγίσιμη και αξιοποιήσιμη.

Κρίσιμης σημασίας για την ορθή και αξιόπιστη αντιμετώπιση επεμβάσεων στο δομημένο πολιτιστικό περιβάλλον είναι η κατοχύρωση

---

[29] Στο άρθρο 41, παρ. 5.
[30] ΥΑ 27744 ΦΕΚ Β 627/2009.
[31] Μαυρομάτη Ελευθ., πόρισμα, Συνήγορος του Πολίτη, 2015, http://www.synigoros.gr/?i=quality-of-life.el.adeiodotisi.258565

δικαιωμάτων σε σειρά συναφών επαγγελματικών κλάδων που παραμένουν ακόμη σε εκκρεμότητα[32].

Βιβλιογραφία

Ετήσιες Εκθέσεις Ανεξάρτητης Αρχής Συνηγόρου του Πολίτη, (2013 – 2014), http://www.synigoros.gr/?i=stp.el.annreports

Μαυρομάτη Ελευθ., Σταματίου Ελ., *«Περιβαλλοντικά και πολεοδομικά ζητήματα στα ιστορικά κέντρα των ελληνικών πόλεων. Διοικητική παθογένεια, αδυναμίες, δυνατότητες και προοπτικές. Ανάλυση περιπτώσεων και συμβολή των αρχαιολογικών υπηρεσιών»*, Περιβάλλον & Δίκαιο 1, (2015)14-31.

Μαυρομάτη Ελευθ., «*Εκτέλεση οικοδομικών εργασιών μικρής κλίμακας εντός του αρχαιολογικού χώρου Δελφών*», πόρισμα, Συνήγορος του Πολίτη, Φεβρουάριος 2015,
http://www.synigoros.gr/?i=quality-of-life.el.adeiodotisi.258565

Μαυρομάτη Ελευθ., «*Προστασία κτιρίου ως μέρους ιστορικού διατηρητέου μνημείου στον οικισμό Καστελίου Ακρωτηρίου στη Θήρα*», Πόρισμα, Απρίλιος 2015,
http://www.synigoros.gr/?i=quality-of-life.el.diatiritea_syntirisi.276762

Μαυρομάτη Ελευθ. «*Παρέμβαση του Συνηγόρου του Πολίτη για τη λειτουργία καταστημάτων υγειονομικού ενδιαφέροντος στο ιστορικό κέντρο της Κω*», σύνοψη διαμεσολάβησης, Σεπτέμβριος 2012,
http://www.synigoros.gr/?i=dimotis.el.upotheseis_katastimata_01.73937

Τσακιράκης Ευάγγελος, «*Προστασία πολιτιστικού περιβάλλοντος στην Ελλάδα. Αρχαιολογικοί χώροι, ακίνητα μνημεία, ιστορικοί τόποι, παραδοσιακοί οικισμοί*», Εθνική Σχολή Δημόσιας Διοίκησης, ΙΣΤ' εκπαιδευτική σειρά, Τμήμα Περιφερειακής Διοίκησης, (2005), Αθήνα.

[32] Κατά το 2014 ο Συνήγορος συνέχισε τις παρεμβάσεις του για την κατοχύρωση δικαιωμάτων σε σειρά επαγγελματικών κλάδων που παραμένουν ακόμη σε εκκρεμότητα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η παράλειψη της Πολιτείας να αναγνωρίσει τα επαγγελματικά δικαιώματα των πτυχιούχων του Τμήματος Μηχανικών Επιστήμης Υλικών του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, ήδη άνω των 15 ετών από την ίδρυσή του, προκαλεί ιδιαιτέρως δυσμενείς συνέπειες στην επαγγελματική τους αποκατάσταση, καθώς δεν έχει ακόμη καταστεί δυνατή η ένταξή τους σε ειδικότητα του ΤΕΕ. (Ετήσια Έκθεση ΣτΠ 2014, σελ. 71- 72).

Έρευνα και καινοτομία στην υπηρεσία της πολιτιστικής κληρονομιάς: Η περίπτωση του Καθολικού της Μονής Δαφνίου
(Research and innovation in the service of cultural heritage: The case of the Katholikon of Daphni Monastery)

Α. Μιλτιάδου-Fezans

Δρ Πολιτικός Μηχανικός, Προϊσταμένη της Ειδικής Υπηρεσίας Προβολής και Αξιοποίησης της Πολιτιστικής Κληρονομιάς και της Σύγχρονης Δημιουργίας, ΥΠΠΟΑ

Abstract

Daphni Monastery has suffered heavy damages during the 7th September 1999 Athens earthquake. From the first inspections, severe and extended damages were observed to the Katholikon, the main church, concerning both the masonry structure and the mural mosaics. On the basis of the proposals of the first restoration and conservation studies, elaborated by the competent authorities of the Hellenic Ministry of Culture (Directorate for the Restoration of Byzantine and Post-Byzantine Monuments, Directorate for the Conservation of Ancient and Modern Monuments and 1rst Ephorate of Byzantine Antiquities), it was decided to design and implement the restoration and conservation interventions in two phases, in order to thoroughly investigate critical invisible parts of the monument and its seismic behavior. Furthermore, the assessment of the effect of the first phase interventions to the structural behaviour of the monument was considered necessary. It was also decided that all research and investigation results should be taken into account for the elaboration of the design of the interventions of the second phase.

The first phase of interventions comprises the repair and strengthening of the masonry elements (application of hydraulic grouts, stitching of cracks, deep- repointing, etc) in parallel with the consolidation of the mural mosaics, as well as the thorough investigation and documentation of invisible parts of the monument (the internal leaf of masonry elements, extrados of groin vaults, mosaics substrata detachments, etc). The second phase comprises strengthening interventions aiming to improve the overall behaviour of the entire structure (confinement of structural elements,

installation of ties, diaphragms, etc), as well as aesthetic restoration and conservation interventions.

Given the great importance of this World Heritage Monument, it was decided to support the whole procedure of restoration and conservation projects with all necessary innovative research and investigations, comprising: the design of adequate mortars and grouts, the elaboration of a novel methodology for the application of hydraulic grouts in masonry structures bearing mural mosaics and old pointing mortars, the experimental estimation of mechanical characteristics of brick-enclosed byzantine masonry bearing mosaics (before and after grouting), the seismic monitoring of the structure (before, during and after interventions) and the application of NDT's for investigating invisible parts of the monument and controlling the grouting effect and efficiency. The aforementioned research and investigations were conducted either by the Directorate for Technical Research on Restoration (DITEA) of the Hellenic Ministry of Culture, either by DITEA in collaboration with Universities or other Research Centres

In this paper, a brief synthesis of the most important novel research and investigations will be presented.

Περίληψη

Ο σεισμός της 7ης Σεπτεμβρίου 1999 δημιούργησε σοβαρά προβλήματα ετοιμορροπίας στην Ι. Μονή Δαφνίου. Από τις πρώτες αυτοψίες μετά το σεισμό, διαπιστώθηκε η ύπαρξη σοβαρών και εκτεταμένων βλαβών, τόσο στο φέροντα οργανισμό, όσο και στον ψηφιδωτό διάκοσμο του Καθολικού του. Με βάση τις προτάσεις των πρώτων μελετών στερέωσης και αποκατάστασης του μνημείου και συντήρησης του ψηφιδωτού του διακόσμου, που εκπονήθηκαν από τις συναρμόδιες υπηρεσίες του Υπουργείου Πολιτισμού (Διεύθυνση Αναστήλωσης Βυζαντινών και Μεταβυζαντινών Μνημείων, Διεύθυνση Συντήρησης Αρχαίων και Νεωτέρων Μνημείων και 1η Εφορεία Βυζαντινών Αρχαιοτήτων), αποφασίστηκε η εκτέλεση των εργασιών στερέωσης, αποκατάστασης και συντήρησης να γίνει σε δυο φάσεις, προκειμένου να καταστεί εφικτή η τεκμηρίωση αφανών τμημάτων του μνημείου και η συμπεριφορά του σε σεισμό, καθώς και η αποτίμηση της επισκευαστικής ικανότητας των εργασιών της πρώτης φάσης, μέσω ειδικών ερευνών και ενόργανης παρακολούθησης. Επίσης, αποφασίσθηκε τα δεδομένα που θα συγκεντρωθούν να αξιοποιηθούν για την εκπόνηση της μελέτης εφαρμογής των εργασιών της δεύτερης φάσης.

Η πρώτη φάση επεμβάσεων περιλαμβάνει την στερέωση των τοιχοποιιών του μνημείου (αρμολογήματα, κλειδιά συρραφής ρωγμών, τοπικές ανακτήσεις, υδραυλικά ενέματα, κλπ) και των επιτοίχιων ψηφιδωτών του, καθώς και την συλλογή λεπτομερών στοιχείων τεκμηρίωσης αφανών τμημάτων του (π.χ. εσωτερική παρειά των τοιχοποιιών, εξωράχια σταυροθολίων, υποστρώματα ψηφιδωτών, κλπ). Η δεύτερη φάση περιλαμβάνει ενισχυτικές διατάξεις βελτίωσης της συμπεριφοράς του συνόλου του φορέα (όπως, ελκυστήρες, διαφράγματα στα εξωράχια των θόλων , κλπ) και εργασίες μορφολογικής και αισθητικής αποκατάστασης του μνημείου.

Λόγω της μεγάλης ιστορικής και καλλιτεχνικής αξίας του μνημείου αυτού της Παγκόσμιας Κληρονομιάς, κρίθηκε αναγκαία η υποστήριξη της όλης διαδικασίας στερέωσης, αποκατάστασης και συντήρησής του με σειρά καινοτόμων ερευνών και επί τόπου διερευνήσεων, που περιελέμβανε: το σχεδιασμό των κατάλληλων συνθέσεων κονιαμάτων και υδραυλικών ενεμάτων, την ανάπτυξη καινοτόμου μεθοδολογίας εφαρμογής των υδραυλικών ενεμάτων σε τοιχοποιίες με ψηφιδωτά και παλαιά αρμολογήματα, την πειραματική εκτίμηση των μηχανικών χαρακτηριστικών πλινθοπερίκλειστης τοιχοποιίας που φέρει ψηφιδωτό διάκοσμο, πριν και μετά την εφαρμογή των ενεμάτων, την ενόργανη παρακολούθηση των δυναμικών χαρακτηριστικών του μνημείου (πριν, κατά τη διάρκεια και μετά τις επεμβάσεις), την εφαρμογή μη καταστρεπτικών τεχνικών για τη διερεύνηση αφανών τμημάτων του μνημείου και τον έλεγχο της αποδοτικότητας των ενεμάτων. Οι έρευνες αυτές πραγματοποιήθηκαν είτε από τη Διεύθυνση Τεχνικών Ερευνών Αναστήλωσης (ΔΙΤΕΑ) του ΥΠΠΟ, είτε από τη ΔΙΤΕΑ σε συνεργασία με ΑΕΙ ή άλλα Ερευνητικά Κέντρα.

Στην εργασία αυτή θα παρουσιαστεί μια συνοπτική σύνθεση των κυριότερων καινοτόμων ερευνών και επί τόπου διερευνήσεων.

Εισαγωγή

Στην εργασία αυτή θα παρουσιαστούν συνοπτικά οι κυριότερες έρευνες και επί τόπου διερευνήσεις, καθώς και τα καινοτόμα υλικά και τεχνικές που αναπτύχθηκαν για την υποστήριξη της στερέωσης και αποκατάστασης του Καθολικού της Μονής Δαφνίου και της συντήρησης του ψηφιδωτού του διακόσμου.

Σχεδιασμός εναλλακτικών συνθέσεων ενεμάτων και διερεύνηση της συμπεριφοράς τοιχίσκων πλινθοπερίκλειστης τοιχοποιίας με ψηφιδωτό διάκοσμο, πριν και μετά τα ενέματα

Ο σχεδιασμός των ενεμάτων στερέωσης των τοιχοποιών και των ψηφιδωτών του μνημείου πραγματοποιήθηκε λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις επιτελεστικότητας της επέμβασης σύμφωνα με τις εγκεκριμένες μελέτες και ιδιαίτερα την απαίτηση ότι η εφαρμογή της όλης τεχνικής θα έπρεπε να γίνει σε τοιχοποιίες με παλαιά αρμολογήματα, τοιχογραφίες και κυρίως ψηφιδωτά διαμέσου λεπτών σωληνίσκων (έως και 1mm), έτσι ώστε να προκληθεί η ελάχιστη δυνατή φθορά λόγω διάνοιξης των οπών (Μιλτιάδου-Fezans και Συνεργάτες 2003, Μιλτιάδου, 2008, Kalagri et al 2010). Με χρήση έξι διαφορετικών υδραυλικών ασβέστων και τριών προαναμεμιγμένων ενέσιμων υλικών σχεδιάσθηκαν και δοκιμάστηκαν στο Εργαστήριο της ΔΙΤΕΑ διάφορες συνθέσεις ενεμάτων, καθώς και ένα τριμερές ένεμα λευκού τσιμέντου Δανίας-υδρασβέστου-ποζολάνης. Προκειμένου να προδιορισθούν οι συνθέσεις που ικανοποιούν ταυτοχρόνως τις απαιτήσεις ενεσιμότητας, ανθεκτικότητας και αντοχών, πραγματοποιήθηκε συστηματική διερεύνηση και επιλέχθηκαν έξι συνθέσεις. Ακολούθως μελετήθηκε η ικανότητα των έξι αυτών συνθέσεων να βελτιώσουν τα μηχανικά χαρακτηριστικά του υλικού πλήρωσης της τρίστρωτης τοιχοποιίας, μέσω δοκιμών σε 28 κυλινδρικά δοκίμια (D=25cm,

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά ενεσιμότητας και αντοχές των δύο εναλλακτικών συνθέσεων ενεμάτων

Χαρακτηριστικά ενέματος	**Τριμερές (1)**			**Ένεμα NHL5 (2)**		
T_{36} (sec): Στήλη άμμου 1.25/2.50mm (W_{nom}~0.2 mm)	19			22,5		
Εξίδρωση	2%			3%		
Φαινόμενο ιξώδες (500ml) $t_{d=4.7}$ (sec)	20,5			22		
Δείκτης ρευστότητος (x10^3mm/sec)	2,58			2,23		
Αντοχή σε θλίψη και κάμψη (MPa)	Ηλικία (ημέρες)					
	28		90		180	
	f_{gc}	f_{gt}	f_{gc}	f_{gt}	f_{gc}	f_{gt}
Τριμερές	4,08	2,11	8,16	2,29	10,6	3,13
Ένεμα NHL5	2,82	2,47	4,50	2,52	6,36	3,87
(1) Τριμερές: 30% Λευκό τσιμέντο Δανίας, 25% Υδράσβεστος (σκόνη), 45% φυσική ποζολάνη Πετρ. (<45μm), ρευστοποιητής 1% των στερεών, W/S = 0,80						

(2) Ένεμα NHL5: 100% NHL5 (St Astier), ρευστοποιητής 1% των στερεών, W/S = 0,80

ύψους L=50cm), πριν και μετά τα ενέματα, για διάφορες ηλικίες σκλήρυνσης. Μετά από συγκριτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, επιλέχθηκαν δύο συνθέσεις ενεμάτων (Πίνακας 1), προκειμένου να δοκιμασθούν περαιτέρω για την επισκευή ομοιωμάτων τοιχοποιίας, τα οποία αποφασίσθηκε να χτιστούν, ώστε να εκτιμηθεί με τον καλύτερο δυνατό τρόπο η επισκευαστική ικανότητα των υδραυλικών ενεμάτων.

Κατασκευάστηκαν έξι τοιχίσκοι τρίστρωτης πλινθοπερίκλειστης τοιχοποιίας σε κλίμακα 2:3 (Εικ. 1) και προσδιορίστηκαν τα βασικά μηχανικά χαρακτηριστικά τους μέσω δοκιμών στο Εργαστήριο Ωπλισμένου Σκυροδέματος του ΕΜΠ, πριν και μετά την εφαρμογή ενεμάτων (Vintzileou & Miltiadou-Fezans, 2008). Για το σκοπό αυτό αξιοποιήθηκαν όλα τα αποτελέσματα ως προς τα χαρακτηριστικά των υλικών δομήσεως, καθώς και των συστηματικών επί τόπου διερευνήσεων με συνδυασμό της τεχνικής των ραντάρ και των ενδοσκοπήσεων, από τις οποίες τεκμηριώθηκε ότι η λιθοδομή είναι τρίστρωτη, τόσο στα χαμηλότερα όσο και τα υψηλότερα τμήματα (Palieraki et al 2008).

Τα υλικά και ο τρόπος δόμησης των τοιχίσκων επιλέχθηκαν έτσι ώστε να είναι όμοια με εκείνα της υψηλότερης και πιο ευπαθούς ζώνης των περιμετρικών τοιχοποιιών, που φέρει και τον ψηφιδωτό διάκοσμο.

Εικόνα 1: Άποψη των τοιχίσκων κατά την προετοιμασία τους για την εφαρμογή των ενεμάτων. Διακρίνεται η τοποθέτηση σωληνίσκων πολύ μικρής διαμέτρου στον ψηφιδωτό διάκοσμο

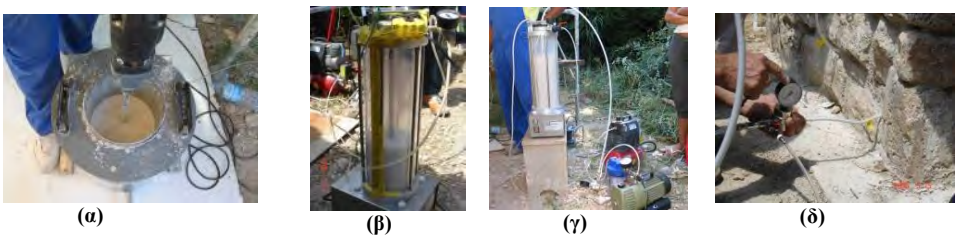
Στην εσωτερική παρειά των τοιχίσκων, κατασκευάσθηκαν, σε συνεργασία με την ΔΣΑΝΜ, ψηφιδωτά, τα υποστρώματα των οποίων ομοίαζαν στους τρεις διαφορετικούς τύπους που συναντώνται στο Καθολικό: βυζαντινό, Νονο, νεώτερων επεμβάσεων (Χρυσόπουλος, Αναματερού, Γεωργανής, Μελέτη συντήρησης, 2002, 2006). Μετά πάροδο

τριών μηνών, οι μισοί τοιχίσκοι δοκιμάστηκαν σε μοναξονική θλίψη και οι άλλοι μισοί σε διαγώνια θλίψη μέχρι το μέγιστο της αντοχής τους και ακολούθως επισκευάστηκαν με ενέματα χρησιμοποιώντας μια εκ των δύο συνθέσεων που παρουσιάζονται στον Πίνακα 1 (Εικόνα 1). Τα ενέματα πραγματοποιήθηκαν εφαρμόζοντας ειδική μεθοδολογία και ποιοτικούς ελέγχους (Miltiadou-Fezans et al 2008) και μετά πάροδο τριών περίπου μηνών οι τοιχίσκοι δοκιμάσθηκαν εκ νέου σε θλίψη και διαγώνια θλίψη.

Τα αποτελέσματα των δοκιμών κατέδειξαν ότι και τα δύο ενέματα ήταν ικανά να ομογενοποιήσουν την τοιχοποιία γεμίζοντας τις ρωγμές και τα κενά στο εσωτερικό των τοιχίσκων. Από τις δύο εναλλακτικές συνθέσεις, επιλέχθηκε το ένεμα με βάση τη φυσική υδραυλική άσβεστο, λόγω της ουσιαστικής βελτίωσης της θλιπτικής και εφελκυστικής αντοχής, της πιο πλάστιμης συμπεριφοράς υπό διαγώνια θλίψη σε σχέση με το τριμερές ένεμα και της καλύτερης ανθεκτικότητας του σε περιβάλλον με υψηλή συγκέντρωση θειικών (Vintzileou&Miltiadou-Fezans, 2008). Πριν την εφαρμογή του στο μνημείο, το ένεμα βελτιστοποιήθηκε περαιτέρω με αντικατάσταση του 10% της υδραυλικής ασβέστου με λεπτόκοκκη ποζολάνη υψηλής δραστικότητας (Miltiadou- Fezans et al 2008).

Μεθοδολογία εφαρμογής των ενεμάτων σε τοιχοποιία με ψηφιδωτές παραστάσεις.

Με βάση την εμπειρία που αποκτήθηκε από τα ενέματα για την δομική αποκατάσταση των κιόνων του Οπισθονάου του Παρθενώνα (Μιλτιάδου-Fezans και Συνεργ. 2002), αναπτύχθηκε ειδική μεθοδολογία εφαρμογής για τα ενέματα στερέωσης των τοιχοποιιών που φέρουν ψηφιδωτά και παλαιά αρμολογήματα (Μιλτιάδου-Fezans et al 2008). Η μεθοδολογία αυτή, ακολουθήθηκε πιλοτικά στην εκτέλεση των ενέσεων για την επισκευή των προαναφερθέντων τοιχίσκων, πριν την εφαρμογή της τεχνικής αυτής στο μνημείο. Επιλεγμένα στοιχεία της ως προς την εφαρμογή της στις ψηφιδωτές παραστάσεις παρουσιάζονται ακολούθως. Δεδομένου ότι ο διατιθέμενος στο εμπόριο εξοπλισμός δεν είναι κατάλληλος για την παρασκευή και προώθηση μικρών ποσοτήτων ενέματος, σχεδιάσθηκε και κατασκευάστηκε ειδικός εξοπλισμός με βάση τη βιβλιογραφία (Miltiadou 1990, Μιλτιάδου-Fezans και Συνεργάτες 2002).



Εικόνα 2: (α) Αναμικτήρας συνδυασμού υπερήχων (20lts) και μηχανικής ανάδευσης, (β) και (γ) Δοχείο συλλογής και προώθησης του ενέματος, (δ) Εισπίεση του ενέματος υπό πλήρως ελεγχόμενη χαμηλή πίεση (~0.5-1bar) με χρήση ειδικά κατασκευασμένου ακροφυσίου μικρής διαμέτρου εφοδιασμένου με μανόμετρο και τρίοδη βαλβίδα (πηγή: Μιλτιάδου, 2008)

Ειδικότερα κατασκευάσθηκε (α) αναμικτήρας συνδυασμού υπερήχων και μηχανικής ανάδευσης (300 στροφές/λεπτό) χωρητικότητας 20 λίτρων και (β) δοχείο προώθησης του ενέματος με χρήση πεπιεσμένου αέρα (Εικ.2). Το ένεμα μετά την ανάμιξή του συλλέγεται, μέσω αντλίας κενού, στο κυλινδρικό δοχείο προώθησης, που είναι κατασκευασμένο από διαφανές Plexiglas για την παρακολούθηση της μεταβολής της στάθμης του ενέματος, αλλά και της σταθερότητας του αιωρήματος και διαθέτει σύστημα μαγνητικής ανάδευσης. Στο δοχείο αυτό διοχετεύεται πεπιεσμένος αέρας (~1-2bar), ο οποίος πιέζει ομαλά την επιφάνεια του ενέματος και το εξαναγκάζει να εισέλθει στο κάτω άκρο άκαμπτου πλαστικού σωλήνα, που βρίσκεται κοντά στον πυθμένα του δοχείου και να εξέλθει στο άλλο άκρο του στο άνω μέρος του δοχείου, απ' όπου μέσω εύκαμπτου πλαστικού σωλήνα διοχετεύεται στην κατασκευή. Το άλλο άκρο του εύκαμπτου σωλήνα φέρει ακροφύσιο μικρής διαμέτρου με ενσωματωμένο μανόμετρο και τρίοδη βαλβίδα που δίνει τη δυνατότητα εκτροπής του ενέματος σε χωριστό δοχείο, αν η πίεση εισόδου του ενέματος στο ακροφύσιο υπερβεί την επιθυμητή τιμή (~0.5-1 bar) (Εικ. 2δ).

Ως προς την προετοιμασία των παραστάσεων για τα ενέματα, πριν από την εκτέλεση των ενεμάτων τοποθετούνται, σε κατάλληλες θέσεις και βάθη, διαφανείς εύκαμπτοι σωληνίσκοι μικρής διαμέτρου (~1,0-3,3mm),

Εικόνα 3α: Αποτύπωση των θέσεων των σωληνίσκων σε σχέδια (πηγή: Μιλτιάδου, 2008)

Εικόνα 3β: Αποτύπωση των ποσοτήτων ενέματος που καταναλώθηκε σε κάθε οπή εισόδου (πηγή: Μιλτιάδου, 2008)

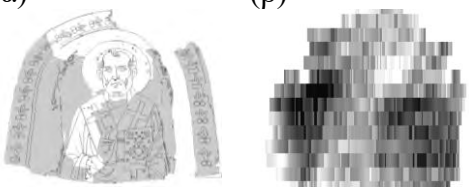
ώστε να προσεγγίζονται οι διεπιφάνειες μεταξύ των διαφορετικών υποστρωμάτων του ψηφιδωτού, καθώς και η διεπιφάνεια αυτών με την τοιχοποιία, που σημαίνονται, ανάλογα με το βάθος, με ταινίες διαφορετικών χρωμάτων, αριθμούνται και αποτυπώνονται (Εικ. 3α). Με την έναρξη των ενεμάτων καταγράφονται όλες οι θέσεις εισόδου και οι θέσεις εξόδου του ενέματος που τους αντιστοιχούν, οι μεταβολές της πίεση, καθώς και η μεταβολή της στάθμης του ενέματος στο δοχείο προώθησης. Με τον τρόπο αυτό υπολογίζεται για κάθε ομάδα σωληνίσκων (εισόδου/αντίστοιχες θέσεις εξόδου) ο όγκος του ενέματος που καταναλώνεται και εκτιμάται η κίνηση του ενέματος πίσω από το ψηφιδωτό. Όλα αυτά τα στοιχεία καταγράφονται σε σχέδια (Εικ. 3β) και είναι πολύ χρήσιμα για να κατανοηθεί η πορεία του ενέματος μέσα στην κατασκευή και να εκτιμηθεί η θέση και ο όγκος των κενών και ασυνεχειών (Μιλτιάδου, 2008).

Χαρτογράφηση των υποστρωμάτων των ψηφιδωτών με την τεχνική των ραντάρ GPR) και έλεγχος της αποτελεσματικότητας των ενεμάτων με ηχητική τομογραφία

Το 2005 πραγματοποιήθηκε διεξοδική επισκόπηση των 50 κυριοτέρων ψηφιδωτών του Καθολικού της Μ. Δαφνίου, με την τεχνική ραντάρ (Ground Penetrating Radar**),** στο πλαίσιο κοινού και συγχρηματοδοτούμενου Ερευνητικού Προγράμματος, που εκπονήθηκε από τη ΔΙΤΕΑ του ΥΠΠΟ και το Laboratoire Central des Ponts et Chaussées της Γαλλίας, σε συνεργασία με τη ΔΣΑΝΜ και την 1η ΕΒΑ. Ο στόχος ήταν η χαρτογράφηση των υποστρωμάτων των ψηφιδωτών μέσω μιας πιο «αντικειμενικής» μη καταστρεπτικής τεχνικής, προκειμένου, σε συνδυασμό με τους χάρτες ακουστικής που εκπονούνται από τους Συντηρητές κατά την

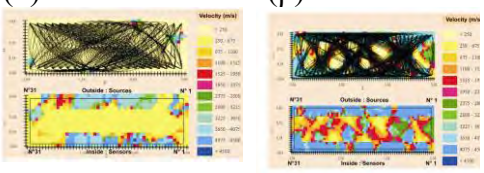
μακροσκοπική και ακουστική παρατήρηση των ψηφιδωτών να τεκμηριωθεί με τον καλύτερο δυνατό τρόπο η ύπαρξη αφανών αποκολλήσεων και άλλων

(α) (β)



Εικόνα 4: Αγ. Νικόλαος. (α) Χάρτης ακουστικής μεθόδου Συντηρητών. Οι γκρί περιοχές είναι περισσότερο αποκολλημένες. (β) Χάρτης GPR. Οι σκουρόχρωμες περιοχές είναι περισσότερο αποκολλημένες (πηγή Côte et al 2008)

(α) (β)



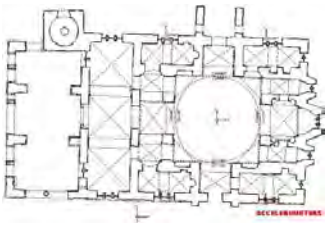
Εικόνα 5: Ηχητική τομογραφία (α) σε περιοχή της τοιχοποίας στην οποία δεν είχε εφαρμοσθεί ένεμα και (β) σε περιοχή της τοιχοποίας στην οποία είχε εφαρμοσθεί ένεμα (πηγή Côte et al 2008).

ασυνεχειών στα υποστρώματα. Χρησιμοποιήθηκε το σύστημα SIR 3000 (GSSI) με κεραία κεντρικής συχνότητας 1.5GHz και μετά από πιλοτική εφαρμογή αναπτύχθηκε ειδική μεθοδολογία (Côte et al. 2008), που επιτρέπει την κατασκευή χαρτών ενέργειας ραντάρ για το πρώτο τμήμα του επιφανειακού κύματος, που αντανακλά την κατάσταση των πρώτων εκατοστών (~7 cm) της κατασκευής, δηλαδή το ίδιο το ψηφιδωτό και τα υποστρώματά του (Εικόνες 4α και 4β).

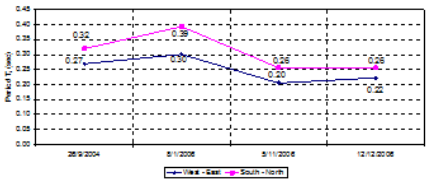
Στο πλαίσιο του ίδιου ερευνητικού προγράμματος, πραγματοποιήθηκαν σε επιλεγμένες θέσεις μετρήσεις με τη μέθοδο της ηχητικής τομογραφίας, πριν και μετά την εφαρμογή των ενεμάτων στην τοιχοποιία, για τον έλεγχο της αποτελεσματικότητας της εν λόγω τεχνικής. Στην Εικόνα 5β παρουσιάζεται μια οριζόντια τομογραφία κατά μήκος 3m της τοιχοποιίας του Καθολικού, πάχους ~0.8 m, μετά τα ενέματα, όπου γίνεται εμφανής η τρίστρωτη δομή. Οι υψηλές ταχύτητες των δύο εξωτερικών παρειών αντιστοιχούν στα λιθοσώματα (μέση τιμή ~4200 m/s), ενώ οι χαμηλότερες στο υλικό πλήρωσης της τοιχοποιίας (μέση τιμή ~1500 m/s). Στην Εικόνα 5α παρουσιάζεται μια οριζόντια τομογραφία κατά μήκος 2m της τοιχοποιίας του Καθολικού, πάχους ~0.6 m, πριν τα ενέματα. Στη περίπτωση αυτή η απόσβεση των σημάτων ήταν αρκετά σημαντική. Εντούτοις, γίνεται και πάλι εμφανής η τρίστρωτη δομή, όμως στο υλικό πλήρωσης προ ενεμάτων οι ταχύτητες είναι πολύ χαμηλότερες (500 m/s).

Ενόργανη παρακολούθηση

Για την κατανόηση της σεισμικής απόκρισης του Καθολικού της Μονής Δαφνίου και τη συλλογή πραγματικών στοιχείων για τη μελέτη εφαρμογής των τελικών μέτρων επέμβασης, αποφασίσθηκε η εγκατάσταση στο μνημείο ενός δυναμικού συστήματος ενόργανης παρακολούθησης. Το σύστημα εγκαταστάθηκε στο κεντρικό τμήμα του ναού, μετά την λήψη των άμεσων μέτρων προστασίας και πριν από την έναρξη της πρώτης φάσης των εργασιών στερέωσης του μνημείου (ΔΑΒΜΜ/ΔΙΤΕΑ του ΥΠΠΟ σε συνεργασία με το Εργαστήριο Οικοδομικής και το Εργαστήριο Αντισεισμικής Τεχνολογίας του ΕΜΠ). Όταν άρχισε η εφαρμογή των ενεμάτων στερέωσης των τοιχοποιιών, τον Ιούνιο του 2006, το σύστημα ήταν σε πλήρη λειτουργία και είχε ήδη καταγράψει δύο ασθενείς σεισμούς, που έγιναν αντίστοιχα, πριν την έναρξη των εργασιών (26/9/2004) και κατά την περίοδο προετοιμασίας των τοιχοποιιών για ενέματα (8/1/2006). Μετά την πρώτη περίοδο εφαρμογής των ενεμάτων στο μνημείο, κατά την οποία τα ενέματα έγιναν μέχρι περίπου τη γένεση των σταυροθολίων, κατεγράφησαν δύο ακόμη ασθενείς σεισμοί (5/11/2006 and 12/12/2006).



Εικόνα 6α: Θέσεις επιταχυνσιομέτρων (πηγή: Mouzakis et al 2008)



Εικόνα 6β: Διακύμανση της περιόδου της πρώτης ιδιομορφής (πηγή: Mouzakis et al 2008).

Στην εικόνα 6 παρουσιάζεται ενδεικτικά η διακύμανση της περιόδου της πρώτης ιδιομορφής κατά τους προαναφερθέντες σεισμούς (Mouzakis et al 2008), που έχει άμεση σχέση με την εφαρμογή των ενεμάτων στερέωσης στο μνημείο. Η θετική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της ενόργανης παρακολούθησης της συμπεριφοράς του Καθολικού οδήγησε στην επέκταση του πιλοτικού συστήματος το 2007, ώστε να παραμείνει μόνιμα στο μνημείο για την παρακολούθηση της συμπεριφοράς του.

Συμπεράσματα

Για την υποστήριξη των εργασιών συντήρησης, στερέωσης και αποκατάστασης του Καθολικού της Ι. Μονής Δαφνίου και των εντοίχιων ψηφιδωτών του πραγματοποιήθηκε σειρά καινοτόμων τεχνικών ερευνών, τα αποτελέσματα των οποίων διεύρυναν τις γνώσεις μας και είναι χρήσιμα όχι μόνον για τον σχεδιασμό και την εκτέλεση των εργασιών στο συγκεκριμένο μνημείο της Παγκόσμιας Κληρονομιάς, αλλά και σε άλλα μνημεία.

Ευχαριστίες

Το μεγαλύτερο μέρος των ερευνών χρηματοδοτήθηκε από το Πρόγραμμα «Πολιτισμός» του Γ΄ ΚΠΣ, κατά 75% από Κοινοτικούς πόρους και 25% από Εθνικούς πόρους. Η έρευνα που έγινε σε συνεργασία με το LCPC Γαλλίας συγχρηματοδοτήθηκε από τον Ειδικό Λογαριασμό του ΥΠΠΟ και το εν λόγω Εργαστήριο..

Βιβλιογραφία

Côte Ph., Dérobert X., Miltiadou-Fezans A., Delinikolas N. Durand O., Alexandre J. Kalagri A., Savvidou M, Chryssopoylos D., Anamaterou L, Georganis, F., “Application of non-destructive techniques at the Katholikon of Daphni Monastery for mapping the mosaics substrata and grouting monitoring». 6th Intern. Conf. Structural Analysis of Historic Construction, eds D’ Ayala D. and Fodde, CRC Press/Balkema, Vol. II (2008) 1149-1156.

Kalagri A., Miltiadou-Fezans A., Vintzileou E., “Design and evaluation of hydraulic lime grouts for the strengthening of stone masonry historic structures”, *Materials and Structures*, (2010) 43, 1135-1146.

Miltiadou A., « Étude des coulis hydrauliques pour la réparation et le renforcement des structures et des monuments historiques en maçonnerie”, ed. LCPC, série Ouvrages d'art, OA8 ISSN 1161-028X, LCPC, 1991, 278.

Μιλτιάδου-Fezans A., Παπακωνσταντίνου Ε., Ζάμπας Κ., Πάνου Α., Φραντζικινάκη Κ., «Δομική αποκατάσταση των κιόνων του Οπισθονάου του Παρθενώνος με υδραυλικά ενέματα υψηλής διεισδυτικότητας: Έρευνα, σχεδιασμός, εφαρμογή», 5η Διεθ. Συνάντ. για την Αποκατάσταση των Μνημείων Ακροπόλεως, (2002), 161-178.

Μιλτιάδου-Fezans A., Δεληνικόλας Ν., Χωραφά Ε., Ζαρογιάννη Ε., «Μελέτη Στερέωσης και Αποκατάστασης του Καθολικού της Ι. Μονής

Δαφνίου - Α΄Φάση, Τεκμηρίωση Δομητικής Συμπεριφοράς – Προτάσεις», Αρχείο ΔΑΒΜΜ και 1ης ΕΒΑ/ΥΠΠΟ, Αθήνα (2003).
Miltiadou-Fezans A., Kalagri A., Kakkinou S., Ziagou A., Delinikolas N., Zarogianni E., Chorafa E., "Methodology for in situ application of hydraulic grouts on historic masonry structures. The case of the Katholikon of Dafni Monastery". 6th Intern. Conf. Structural Analysis of Historic Construction, eds D' Ayala D. and Fodde, Press/Balkema, Vol. II (2008) 1025-1033.
Mouzakis Ch., Miltiadou-Fezans A., Touliatios P., Delinikolas N., Dourakopoulos J., "Earthquake based condition monitoring of the Katholikon of Dafni Monastery" 6th Intern. Conf. on Structural Analysis of Historic Construction, eds D' Ayala D. and Fodde, CRC Press/Balkema, Taylor and Francis Group, Vol. I (2008), 621-628
Μιλτιάδου Α. «Τεχνικές έρευνες υποστήριξης των εργασιών συντήρησης των εντοίχιων ψηφιδωτών του Καθολικού της Ι. Μ. Δαφνίου», Ημερίδα «Ψηφίδα την Ψηφίδα. Δημιουργία και συντήρηση του ψηφιδωτού», Βυζαντινό και ΧριστιανικόΜουσείο (2008), 70-93.
Palieraki V., Vintzileou E., Miltiadou-Fezans A., Delinikolas N., "The Use of Radar Techniques and Boroscopy in Investigating Old Masonry: The Case of Dafni Monastery". *International Journal of Architectural Heritage: Conservation, Analysis, and Restoration*, Volume 2, Is. 2, (2008) 155 – 186.
Vintzileou E., Miltiadou-Fezans A., "Mechanical properties of three-leaf masonry grouted with ternary or hydraulic lime based grouts". *In Engineering Structures*, Volume 30, Issue 8, (2008), 2265-2276

Επιλογή υλικών και μεθοδολογιών για την αποκατάσταση: η εικόνα του μνημείου και οι παρεμβάσεις στο δημόσιο χώρο ιστορικών πόλεων και οικισμών

Έργα αναβάθμισης του δημόσιου χώρου σε ιστορικές πόλεις και οικισμούς. Η επιλογή υλικών και μορφών (Projects for upgrading public space in historic cities and settlements. Choosing materials and forms)

Ε. Μαΐστρου

Αρχιτέκτων, καθηγήτρια ΕΜΠ

Abstract

Integrated protection of historic cities and settlements consists in protecting the entirety of the tangible and intangible elements expressing their historic character and their special cultural identity. Some of the goals that integrated protection aspires to achieve are the improvement of living conditions and their sustainable development.

However, along with implementing special measures and regulations aiming to protect historic cities, it is necessary to design and execute the necessary projects for the upgrading of public space; these projects aspire to highlight these cities' character, to retrieve their hidden or lost historic features as well as their functional and aesthetic qualities.

Specifically in the Hellenic territory and given that an organized intervention on private buildings is practically impossible –from a legal and financial standpoint– the principal category of projects to upgrade and highlight historic cities and settlements pertains to the elements which constitute their public space, which is a key ingredient for their identity, existence and for the unique ambiance that sets them apart. The execution of projects in order to upgrade public space also contributes to the city's development and financial activation, as well as to the development of private initiative aiming towards restituting, sanitizing and reusing old shells.

The successful upgrading of public space sets the condition of analyzing and evaluating its historic importance, its geometric features, its typical buildings which are its boundaries, its aesthetic-spatial qualities, the natural elements which complement it and finally, the condition of acknowledging its functional importance, its social character and the activities taking place within it.

The scale and the particular architectural character of the urban tissue and of the buildings which define it, lead to choosing the appropriate style and

materials for its new formulation. The choice and correct use of natural materials, the quest and utilization of old elements in the formulation and equipment of city streets and squares and the attentive and well thought-out renewal of their image, avoiding décor which is foreign to the area's spirit and style, are all necessary elements in order to promote the area's historicity.

This case study presented by this paper will be the one which took place for the upgrading and promotion of the public space and the historic center of the city of Nauplion, a city with a long history as well as the first capital of the contemporary Hellenic state.

Περίληψη

Η ολοκληρωμένη προστασία των ιστορικών πόλεων και οικισμών συνίσταται στην προστασία του συνόλου των υλικών και άυλων στοιχείων που εκφράζουν τον ιστορικό τους χαρακτήρα και την ιδιαίτερη πολιτιστική τους ταυτότητα. Στους στόχους της ολοκληρωμένης προστασίας συμπεριλαμβάνεται η βελτίωση των συνθηκών κατοίκησης και η αειφόρος ανάπτυξή τους.

Παράλληλα όμως με τα ειδικά μέτρα και ρυθμίσεις που αποσκοπούν στην προστασία των ιστορικών πόλεων, απαραίτητος είναι και ο σχεδιασμός και η εκτέλεση των απαιτούμενων έργων αναβάθμισης του δημόσιου χώρου τους που έχουν στόχο τους την ανάδειξη της φυσιογνωμίας τους, την ανάκτηση των κρυμμένων η χαμένων ιστορικών χαρακτηριστικών τους καθώς και των λειτουργικών και αισθητικών ποιοτήτων τους.

Ειδικότερα στον ελληνικό χώρο, καθώς είναι σχεδόν ανέφικτη -νομικά και οικονομικά- η οργανωμένη παρέμβαση σε ιδιωτικά κτίσματα, η κυριότερη κατηγορία έργων αναβάθμισης και ανάδειξης των ιστορικών πόλεων και οικισμών, αναφέρεται στα στοιχεία που συγκροτούν το δημόσιο χώρο τους, ο οποίος αποτελεί βασικό συστατικό της ταυτότητάς τους, της υπόστασής τους και της ιδιαίτερης ατμόσφαιρας που τους χαρακτηρίζει. Εξάλλου, η εκτέλεση έργων αναβάθμισης του δημόσιου χώρου, συμβάλλει παράλληλα στην εξέλιξη και οικονομική ενεργοποίηση της πόλης και στη δραστηριοποίηση και της ιδιωτικής πρωτοβουλίας προς την κατεύθυνση αποκατάστασης, εξυγίανσης και επανάχρησης των παλαιών κελυφών

Η εισήγηση θα παρουσιάσει ως μελέτη περίπτωσης τη μελέτη που πραγματοποιήθηκε για την αναβάθμιση και ανάδειξη του δημόσιου χώρου, του ιστορικού κέντρου της πόλης του Ναυπλίου, μιας πόλης με μακραίωνη ιστορία που αποτέλεσε και την πρώτη πρωτεύουσα του νεώτερου ελληνικού κράτους.

Επιλογή υλικών και μεθοδολογιών για την αποκατάσταση: η εικόνα του μνημείου και οι παρεμβάσεις στο δημόσιο χώρο ιστορικών πόλεων και οικισμών

Εισαγωγή

Η ολοκληρωμένη προστασία των ιστορικών πόλεων και οικισμών συνίσταται στην προστασία του συνόλου των υλικών και άυλων στοιχείων που εκφράζουν τον ιστορικό τους χαρακτήρα και την ιδιαίτερή τους πολιτιστική ταυτότητα. Και όπως αναφέρεται σε πρόσφατο κείμενο αρχών της διεθνούς επιτροπής ιστορικών πόλεων του Icomos, που συντάχθηκε στη Valetta, «η σύνταξη σχεδίου προστασίας πρέπει να προσδιορίζει και να προστατεύει τα στοιχεία που συγκροτούν τις πολιτιστικές αξίες της πόλης καθώς και τα στοιχεία που εμπλουτίζουν ή/και αναδεικνύουν τον χαρακτήρα της. Ο σεβασμός για τις ιστορικές αξίες, τα ιστορικά πρότυπα και τις ιστορικές φάσεις πρέπει να εμπνέει αρχιτεκτονικές παρεμβάσεις ανάλογες με τις χωρικές, οπτικές, άυλες και λειτουργικές συνθήκες του κάθε τόπου».

Το ίδιο εξάλλου κείμενο σε άλλο σημείο του αναφέρει: «Ο δημόσιος χώρος στις ιστορικές πόλεις δεν είναι μόνον ένας χώρος προορισμένος για κυκλοφορία, αλλά και ένας χώρος στοχασμού, ανακάλυψης και απόλαυσης της πόλης. Ο σχεδιασμός και η διαρρύθμισή του συμπεριλαμβανομένου του αστικού εξοπλισμού, όπως επίσης και η διαχείρισή του, πρέπει να προστατεύουν το χαρακτήρα και την αισθητική του και να προωθούν τη λειτουργία του ως δημόσιου χώρου προορισμένου για κοινωνικές συναναστροφές».

Ολοκληρωμένη προστασία και αναβάθμιση του δημόσιου χώρου

Στους στόχους της ολοκληρωμένης προστασίας των ιστορικών πόλεων, συμπεριλαμβάνεται η βιώσιμη ανάπτυξη τους, η αρμονική προσαρμογή τους στη σύγχρονη ζωή, αλλά και η βελτίωση των συνθηκών ζωής των κατοίκων τους. Παράλληλα με τα ειδικά μέτρα και ρυθμίσεις που αποσκοπούν στην επίτευξη των παραπάνω, απαραίτητος είναι και ο σχεδιασμός των απαιτούμενων παρεμβάσεων για την ανάδειξη της φυσιογνωμίας τους. Και καθώς στον ελληνικό χώρο, είναι σχεδόν ανέφικτη -νομικά και οικονομικά- η οργανωμένη παρέμβαση σε ιδιωτικά κτίσματα, η κυριότερη κατηγορία παρεμβάσεων ανάδειξης των ιστορικών πόλεων, αναφέρεται στα στοιχεία που συγκροτούν το δημόσιο χώρο τους, ο οποίος αποτελεί βασικό συστατικό της ταυτότητάς τους, της υπόστασής τους και της ιδιαίτερης ατμόσφαιρας που τις χαρακτηρίζει.

Οι επεμβάσεις αναβάθμισης του δημόσιου χώρου εξασφαλίζουν την αισθητική του ποιότητα, την ανάκτηση των κρυμμένων η χαμένων ιστορικών

χαρακτηριστικών του και των λειτουργικών ποιοτήτων του. Παράλληλα συμβάλλουν στην εξέλιξη και οικονομική ενεργοποίηση της πόλης, στη βελτίωση των συνθηκών ζωής των κατοίκων της και στη δραστηριοποίηση της ιδιωτικής πρωτοβουλίας προς την κατεύθυνση αποκατάστασης, εξυγίανσης και επανάχρησης των παλαιών κελυφών.

Σε επίπεδο σχεδιασμού, θα πρέπει να επισημανθεί ότι η κλίμακα και ο ιδιαίτερος αρχιτεκτονικός χαρακτήρας του πολεοδομικού ιστού, και των κτιρίων που τον ορίζουν, οδηγούν στην επιλογή του κατάλληλου ύφους και υλικών στην νέα διαμόρφωση. Η χρήση κατά προτίμηση φυσικών υλικών, η επιτυχής επιλογή των στοιχείων του εξοπλισμού του δημόσιου χώρου της πόλης, αλλά και η σωστή τους χρήση, η αναζήτηση και αξιοποίηση παλιών στοιχείων στη διαμόρφωση και τον εξοπλισμό των δρόμων και πλατειών της πόλης και η προσεκτική και μελετημένη ανανέωση της εικόνας τους, με αποφυγή διακοσμήσεων ξένων προς το πνεύμα και το ύφος της περιοχής, είναι στοιχεία απαραίτητα για την ανάδειξη της ιστορικότητας του χώρου.

Κεντρική ιδέα του σχεδιασμού θα πρέπει να αποτελεί η ανάδειξη της ταυτότητας του κάθε χώρου με αποκατάσταση των διατηρούμενων παλαιών λιθόστρωτων και σημειακή συμπλήρωσή τους όπου αυτά έχουν καταστραφεί, με παρόμοιο ή ίδιο υλικό, με πλακόστρωση του βασικού δικτύου δρόμων πλατειών και πλατωμάτων με φυσικούς λίθους και σχεδιασμό ανάλογο με τον χαρακτήρα της κάθε περιοχής και με αποκατάσταση των ιστορικών στοιχείων του μικροτοπίου, που διαμορφώνουν την εικόνα του δημόσιου χώρου. Η μελετημένη εισαγωγή νέων στοιχείων μπορεί να συμβάλλει στον εμπλουτισμό του.

Τα στοιχεία οδικού εξοπλισμού που επιλέγονται (ενημερωτικές πινακίδες, σήματα κυκλοφορίας, ονομασίες δρόμων, πάγκοι, καλάθια αχρήστων, φωτιστικά) είναι δυνατόν - κατά περίπτωση - είτε να αναφέρονται σε παλαιότερα πρότυπα που βρέθηκαν στην ίδια ή σε άλλη παρόμοιας μορφολογίας και εποχής πόλη, είτε να αποτελούν σύγχρονες μορφές υψηλής ποιότητας, που προκύπτουν με σύγχρονες τεχνικές κατασκευές και υλικά.

Η επιφανειακή διαμόρφωση των ελεύθερων κοινόχρηστων χώρων της πόλης, προϋποθέτει παράλληλα, την επίλυση των θεμάτων που αφορούν τον τεχνολογικό εξοπλισμό της (αποχέτευση, απορροή ομβρίων, ηλεκτροφωτισμός κλπ) και την εφαρμογή ειδικού συστήματος κυκλοφορίας, δεδομένου ότι και τα δύο παραπάνω ζητήματα, εκτός του ότι αποτελούν βασικά θέματα υποδομής, επηρεάζουν άμεσα και την εικόνα της. Με δύο λόγια, η αναβάθμιση της μορφής των δρόμων και ελεύθερων χώρων μίας πόλης, προϋποθέτει την αποκατάσταση της λειτουργίας τους.

Η περίπτωση της παλιάς πόλης του Ναυπλίου.

Επιλογή υλικών και μεθοδολογιών για την αποκατάσταση: η εικόνα του μνημείου και οι παρεμβάσεις στο δημόσιο χώρο ιστορικών πόλεων και οικισμών

Χαρακτηριστική μελέτη περίπτωσης -η οποία προχώρησε ως ένα βαθμό και σε εφαρμογή- αποτελεί η μελέτη που πραγματοποιήθηκε για την αναβάθμιση και ανάδειξη του δημόσιου χώρου, του ιστορικού κέντρου της πόλης του Ναυπλίου, μιας πόλης με μακραίωνη ιστορία που αναγνωρίζεται μέσα από την αρμονική συνύπαρξη ιστορικών ιχνών, οχυρώσεων, μνημείων και αξιόλογων κτισμάτων διαφόρων εποχών που διατηρούνται μέχρι σήμερα. Ενετικά, οθωμανικά, πρώιμα, νεοκλασικά και μικρότερα λαϊκά κτίσματα μαζί με κρήνες εποχής Τουρκοκρατίας, ιστορικές επιγραφές και αναθήματα, ηρώα αλλά και φυσικά στοιχεία- συνδυασμένα με ένα σχεδόν απόλυτα διατηρημένο διαχρονικά δίκτυο δρόμων και ελεύθερων χώρων με μία ποικιλία μορφών συνθέτουν έναν υψηλής αξίας δημόσιο χώρο

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του πολεοδομικού ιστού, και η τυπολογία και μορφολογία των κτισμάτων έχουν καθοριστεί από τις συνθήκες παραγωγής τους κατά τις διαφορετικές περιόδους της ιστορίας της πόλης: 1η και 2η ενετοκρατία, 1η και 2η οθωμανική κατοχή, απελευθέρωση του ελληνικού κράτους μέχρι και τις αρχές του 20ου αιώνα (1828 – 1920) και οι νεώτεροι χρόνοι. Με βάση την ιστορική της εξέλιξη και τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά του τόπου ανάπτυξης, η πόλη χωρίζεται σε τρεις ευδιάκριτες ζώνες, με διαφορετικά χαρακτηριστικά του πολεοδομικού ιστού αλλά και των κτισμάτων της.

Στο πρώτο τμήμα της πόλης -η ανάπτυξη του οποίου ολοκληρώθηκε κατά την πρώτη περίοδο της ενετικής κυριαρχίας (1389-1540), οι δρόμοι έχουν αναπτυχθεί οργανικά και έχουν προσαρμοστεί απόλυτα στο ανάγλυφο του εδάφους. Στη δεύτερη ζώνη επέκτασης της πόλης που οργανώθηκε κατά την περίοδο της δεύτερης ενετικής κυριαρχίας (1686-1719) το οδικό δίκτυο είναι κανονικότερο και το ύφος της περιοχής γίνεται περισσότερο αστικό. Στη ζώνη αυτή η σε άμεση επαφή με αυτή, βρίσκονται όλες σχεδόν οι πλατείες του ιστορικού κέντρου και πολλά από τα αξιόλογα μνημεία της πόλης. Τέλος, η τρίτη ζώνη ανάπτυξης της πόλης που ξεκίνησε με την εκτός των τειχών επέκταση της ξηράς κατά τη 2η περίοδο της Ενετοκρατίας, διαθέτει ένα "ιπποδάμειο" ρυμοτομικό σύστημα που οφείλεται σε σχέδιο του Βούλγαρη (1828). Η τμηματική -από το 1866 έως το 1895- κατεδάφιση των ενετικών τειχών της πόλης, μετέβαλε ουσιαστικά τη μορφή του νεώτερου τμήματος της πόλης, καθώς στη θέση του διαμορφώθηκαν ιδιαιτέρου εύρους δρόμοι – λεωφόροι. Παράλληλα διαμορφώθηκαν οι παραλιακοί δρόμοι της πόλης.

Για την αναλυτική τεκμηρίωση της υφιστάμενης κατάστασης των κοινόχρηστων χώρων της πόλης συντάχθηκαν σχετικοί χάρτες όπου καταγράφηκαν η κατάσταση και η επίστρωσή τους, και διερευνήθηκε η τυχόν

Επιλογή υλικών και μεθοδολογιών για την αποκατάσταση: η εικόνα του μνημείου και οι παρεμβάσεις στο δημόσιο χώρο ιστορικών πόλεων και οικισμών

αλλοίωση της αρχικής τους χάραξης με βάση τα στοιχεία των ιστορικών χαρτών της πόλης. Για τη διαμόρφωση της τελικής πρότασης, οι δρόμοι, οι πλατείες τα πλατώματα και οι δημόσιοι ελεύθεροι χώροι, της πόλης κατηγοριοποιήθηκαν ανάλογα με:

α) τις αισθητικές τους ποιότητες και τις οπτικές εντυπώσεις που προκαλούν, καθώς και με τις εναλλαγές και τις θέες που προσφέρουν,

β) τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά και τη χάραξή τους (δρόμοι ευθύγραμμοι ή τεθλασμένοι, επίπεδοι ή βαθμιδωτοί, πλατείες με μεσαιωνικές ή νεοκλασικές χαράξεις κλπ)

γ) τα χαρακτηριστικά των ιστορικών κτισμάτων ή των φυσικών στοιχείων που αποτελούν τα όριά τους (κτίσματα λαϊκά η επίσημα, μέτωπα συνεχή ή όχι, παρουσία πράσινου κλπ)

δ) την ιστορική τους σημασία και τις μνήμες που ενσωματώνουν (βασικοί ιστορικοί άξονες ή ελεύθεροι χώροι που σημαδεύτηκαν από ιστορικά γεγονότα).

ε) τη θέση τους στην πόλη και τη σημασία που αποκτούν ως εκ τούτου, (βασικοί άξονες κίνησης πεζών ή αυτοκινήτων, σύνδεση σημαντικών πλατειών και ελεύθερων χώρων, σχέση με την θάλασσα).

στ) τον λειτουργικό και κοινωνικό τους χαρακτήρα και τις δραστηριότητες που εξυπηρετούν (δραστηριότητες κίνησης ή στάσης, συγκεντρώσεις πολιτιστικού ή θρησκευτικού χαρακτήρα, αναψυχής κλπ).

Η πρόταση αναβάθμισης του δημόσιου χώρου της πόλης βασίστηκε στην παραπάνω ανάλυση. Συντάχθηκε ένα γενικό σχέδιο διαμορφώσεων των δρόμων και πλατειών της πόλης, που πρότεινε μορφές και υλικά επιστρώσεων και αστικό εξοπλισμό, με διατήρηση τόσο της ενότητας του ύφους του συνόλου όσο και των τοπικών ιδιαιτεροτήτων. Βασικό μέλημα αποτέλεσε η διατήρηση και ανάδειξη των επιφανειών με απλή γεωμετρία που υπογραμμίζουν τις αστικές χαράξεις και η διατήρηση των στοιχείων του δημόσιου χώρου που έχουν εγγραφεί στη συλλογική μνήμη. Το χρώμα, η υφή, το μέγεθος, η αντοχή, η ολισθηρότητα και η προέλευση του υλικού, η ύπαρξη η μη πεζοδρομίων, οι απορροές των ομβρίων και η διευθέτηση των δικτύων υποδομής αποτέλεσαν βασικές αποφάσεις κατά τη σύνταξη της πρότασης. Τέλος, ο κυκλοφοριακός σχεδιασμός αποτέλεσε βασική παράμετρο καθώς αυτός καθορίζει σε μεγάλο βαθμό το αισθητικό αποτέλεσμα, τη λειτουργία του δημόσιου χώρου και τις συνήθειες των κατοίκων

Κύριο στοιχείο του σχεδιασμού ήταν ένα πνεύμα λιτότητας, που είναι το ζητούμενο στις περιπτώσεις των ιστορικών συνόλων, καθώς η ανάδειξη των αξιόλογων κτιρίων απαιτεί τη χρήση υλικών λιτών και ποιοτικών, που δεν θα «επιβάλλονται» στο περιβάλλον, αλλά θα «εντάσσονται» σε αυτό.

Επιλογή υλικών και μεθοδολογιών για την αποκατάσταση: η εικόνα του μνημείου και οι παρεμβάσεις στο δημόσιο χώρο ιστορικών πόλεων και οικισμών

Επίμετρο

«Ο δημόσιος χώρος πρέπει να είναι αναγνωρίσιμος, να εντυπώνεται στη μνήμη μας, να είναι ευχάριστος και επιθυμητός», επισημαίνει ο Camilo Sitte ενώ ο Ανδρέας Συμεών γράφει: «Αν θεωρήσουμε ότι το δομημένο περιβάλλον αποτελεί το αποτύπωμα της ιστορίας του ανθρώπου πάνω στη φύση, η πόλη αποτέλεσε διαχρονικά τη μήτρα του πολιτισμού του. Και πουθενά η σχέση πόλης και πολιτισμού δεν είναι περισσότερο φανερή από το δημόσιο χώρο της πόλης, αφού αυτός αποτελεί το θέατρο για τα κοινωνικά δρώμενα της πόλης».

Βιβλιογραφία

Bandarin F., Ron Van Oers (2012) “The Historic Urban Landscape” publication Wiley – Blackwell, U.K

Maistrou E. (2005) «L'espace public dans les villes et les villages traditionelles, lieu de memoire et lieu de vie » στο “Espaces et Memoires” (σελ. 115–122). ATEP & Maghreb Diffusion, Tunis.

Maistrou E. (2006) “Analysis of Urban Patterns in Historic Settlements, as basis for their Conservation and Planning” στο “European Research on Cultural Heritage. State of the Art–Studies” volume 4 (σελ. 233 – 237) Arcchip

Mangin D, Panerai Ph. (2009), Projet Urbain, ed. Parentheses.

Pinon P. (1991) Lire et composer l’ espace public, Les editions de STU. Paris

Rapoport A. (1990) History and Precedents in Environmental Design, Plenum Press USA

Whitehand J. (2009) The structure of urban landscapes: strengthening research and practice. Urban Morphology vol. 13 (1) p. 5-27

Maistrou E. (2012) “Historic cities and settlements. Integrated protection and sustainable development” in Journal "Sustainable development, culture, traditions". Volume 1/2012

Valetta Principles for the Safeguarding and Management of Historic Cities, Towns and Urban Areas. Adopted by the 17th Icomos. General Assembly on 28 November 2011.

Μαΐστρου Ε. 2011 - «Δυνατότητες ανάδειξης των ιστορικών πυρήνων μέσα από το σχεδιασμό του δημόσιου χώρου τους» στα πρακτικά του συνεδρίου «Δημόσιος Χώρος Αναζητείται» (Ε7) Cannot Not Design Publications ΤΕΕ/ΤΚΜ Θες/νίκη.

Επιλογή υλικών και μεθοδολογιών για την αποκατάσταση: η εικόνα του μνημείου και οι παρεμβάσεις στο δημόσιο χώρο ιστορικών πόλεων και οικισμών

Μαΐστρου Ε. 2012 – «Τρόποι Ανάγνωσης και Ανάλυσης του Αστικού Τοπίου» στα Χρονικά Αισθητικής 46 Β 2010 -2012
Συμεών Α. «Ο δημόσιος χώρος της πόλης» Αθήνα 2010

Ανάπτυξη διεπιστημονικής και δι-ιδρυματικής εκπαίδευσης και έρευνας στρατηγικής σημασίας στον τομέα της προστασίας των μνημείων της πολιτιστικής κληρονομιάς

Η αποκατάσταση της γέφυρας του Άραχθου στην Πλάκα

Μ. Κορρές

Περίληψη

Η πέτρινη τοξωτή γέφυρα του Αράχθου στην Πλάκα, επίτευγμα παγκόσμιας κλίμακος λόγω του μεγέθους του μεσαίου ανοίγματος των 40μ (ελάχιστες γέφυρες του είδους της έχουν ή είχαν μεγαλύτερο άνοιγμα), υπέκυψε στην ορμή του φουσκωμένου ποταμού (1/2/2015), μετά από μακροχρόνια βαθύτατη υποσκαφή του ανατολικού μεσοβάθρου της, και λόγω ταυτόχρονης ύπαρξης εκτεταμένου πλέγματος διαμπερών ρηγμάτων ~10μ ανατολικά της κορυφής, εξ αιτίας ισχυρής έκρηξης (1944). Ο συνδυασμός των δύο αιτίων προκαλούσε τόσο ισχυρή ετοιμορροπία προς Β, ώστε παρά την τεράστια δύναμη του ποταμού, η γέφυρα έγειρε και έπεσε προς τα ανάντη και έως τώρα κανένα από τα αποκείμενα στην κοίτη ογκοτεμάχιά της δεν προβάλλει νοτιότερα της αρχικής του θέσης.

Νέες παρατηρήσεις αποκαλύπτουν λεπτομέρειες της μεθόδου δομής και ενίσχυσης με ξύλινες εσχάρες, οι οποίες εμπόδιζαν την καθέτως προς την πίεση διάταση της λιθοδομής και ταυτοχρόνως ανελάμβαναν οριζόντιες δυνάμεις εξισορρόπησης της υποχώρησης των ένθεν του κενού μερών του τόξου διαρκούσης της κατασκευής.

Η κατάρρευση της γέφυρας έκρουσε τις πιο ευαίσθητες χορδές πολύ μεγάλου μέρους της ελληνικής κοινωνίας, η οποία με διάφορους τρόπου έδειξε την επιθυμία της για την αναστύλωση του μνημείου.

Με αυτό ως δεδομένο, προκρίθηκε η πιστή επανάληψη της αρχικής μορφής και δομής, με κατά το δυνατόν μεγίστη αναχρησιμοποίηση των πεσόντων. Τούτο συμπεριλαμβάνει αυτομάτως επανάληψη της αρχικής στατικής λειτουργίας. Έτσι όχι μόνον θα ανακτηθεί στον μέγιστο βαθμό η αρχική δομή και το αρχικό πνεύμα του έργου, αλλά ταυτοχρόνως περιορίζεται κατά πολύ η ανάγκη για νέες μελέτες.

Για την ταχύτερη και τεχνικώς ορθότερη εκτέλεση, εργασίες που δύναται να είναι παράλληλες, δεν πρέπει να αντιμετωπίζονται ως διαδοχικές. Εκείνες που κατά γενική αντίληψη θα είναι βασικότερες (προσπελάσεις, οικοδομικός γερανός, ειδικό μεταλλικό ικρίωμα υποστήριξης του ξυλοτύπου, και παράλληλη προς αυτό εργοταξιακή οδογέφυρα), επειδή είναι όντως εργασίες ανεξάρτητες των λοιπών, πρέπει να αρχίσουν το συντομότερο. Επίσης, στο πλαίσιο εξασφάλισης των προσπελάσεων θα πρέπει να

επισκευασθεί και προσωρινώς να υποστυλωθεί η νοτίως υπάρχουσα γέφυρα τύπουBailey (για την οποία επίσης ετοιμάσθηκε η αναγκαία προμελέτη)

Μετά την ετοιμασία των προσπελάσεων, με τη βοήθεια αυτοκινήτου γερανού θα συναρμολογηθεί οικοδομικός πυργογερανός στα νότια του ανατολικού μεσοβάθρου, ο οποίος με τη σειρά του θα χρησιμοποιηθεί για τη συναρμολόγηση προσωρινής εργοταξιακής πεζογέφυρας, ακολούθως για την συναρμολόγηση της διάταξης ανύψωσης των ογκοτεμαχίων, μετά για την συναρμολόγηση του ικριώματος και του επ' αυτού θολοτύπου και τέλος για την συνεχή προώθηση των υλικών δομής του τόξου. Μετά το πέρας των λιθοδομικών εργασιών, τα ως άνω κατασκευάσματα θα αποσυναρμολογηθούν κατά την αντίστροφη σειρά, ενώ αμέσως μετά θα διαλυθεί και ο οικοδομικός γερανός με την βοήθεια ενός αυτοκινήτου γερανού. Στο τελευταίο μέρος της μελέτης περιγράφεται σε αδρές γραμμές ένας τρόπος εκτέλεσης της ανύψωσης και ανάταξης των γιγάντιων ογκοτεμαχίων της γέφυρας, ως και τα προς τούτο αναγκαία ανυψωτικά συστήματα.

Κύρια χαρακτηριστικά

Στο ύψος της Πλάκας, η κοίτη του Αράχθου, με ισχυρή κλίση ~1 : 0,7% και ελαφρά αριστερή στροφή, ακτίνας 1500μ, βαθύνεται δεξιά και καλύπτεται από φερτές ύλες αριστερά. Το φούσκωμα του ποταμού φθάνει τα 6 μέτρα και η ταχύτητα εύκολα υπερβαίνει τα 5μ ανά δευτερόλεπτο.

Η γέφυρα, με μεσαίο τόξο 40μ, και δύο μικρότερα εκατέρωθεν, είχε ύψος 20μ και μήκος πλέον των 70. Το πλάτος της, μειούμενο προοδευτικά προς τα μεσόβαθρα, ήταν σταθερό μόνον επάνω από το μεσαίο τόξο, το οποίο από τα 8μ και άνω είχε διατομή πλάτους 3.30μ, ενώ χαμηλότερα το πλάτος της διατομής είναι 40 εκ. μεγαλύτερο.

Τούτο συμβαίνει και στη γέφυρα της Κόνιτσας. Και στις δύο γέφυρες το ελαττωμένο πλάτος της διατομής του τόξου ισούται προς το 1:12 του ανοίγματος.

Το μεσαίο τόξο, παρουσίαζε άνω έκδηλη ασυμφωνία προς την θεωρητική κυκλική μορφή, ασυμφωνία αποδιδόμενη κατά καιρούς σε υποχώρηση ενός μεσοβάθρου, ή σε ολίσθηση εδαφών στα δυτικά, ή παραμόρφωση του θολοτύπου διαρκούσης της δόμησης, ή του τόξου διαρκούσης της βραδείας πήξης των κονιαμάτων του.

Όμως, προσεκτική παρατήρηση πείθει ότι αυτή οφείλεται στον σχεδιασμό και όχι σε παραμόρφωση: το άνω μέρος του τόξου ακολουθούσε χάραξη με βραχύτερη ακτίνα, από κέντρο ευρισκόμενο πολύ υψηλότερα του βασικού. Πρόσθετες αποδείξεις:

Ανάπτυξη διεπιστημονικής και δι-ιδρυματικής εκπαίδευσης και έρευνας στρατηγικής σημασίας στον τομέα της προστασίας των μνημείων της πολιτιστικής κληρονομιάς

1) Στην γέφυρα της Κόνιτσας, το ανώτερο μέρος του τόξου είναι επίσης υψωμένο και εντονότερα καμπυλωμένο.
2) στο μέρος αυτό, το πάχος του τόξου αυξάνεται προοδευτικά προς την κορυφή, ενώ και στη γέφυρας της Πλάκας συνέβαινε το ίδιο: (αύξηση πάχους από 60 εκ σε σχεδόν 80εκ).

Οι συχνά χρησιμοποιούμενοι τεχνικοί όροι κύριο τόξο και επιβοηθητικό τόξο δεν ανταποκρίνονται πάντοτε στις συνθήκες δομής και στατικής λειτουργίας: η διαδοχική κατασκευή θα προκαλούσε άνιση εντατικότητα. Προς το παρόν φαίνεται πιθανότερον ότι τουλάχιστον έως το ύψος των 45 μοιρών η δομή του διπλού τόξου ήταν ενιαία.

Η λιθοδομή, ιδίως των τόξων, είναι έξοχη: τέλεια συνάρμοση και ελάχιστο πλάτος αρμών, πλήρως καταλαμβανόμενο από υψηλής αντοχής κονίαμα.

Εντός αυτής, ξύλινες εσχάρες, εμπόδιζαν την καθέτως προς την πίεση διάταση της λιθοδομής και ταυτοχρόνως ανελάμβαναν οριζόντιες δυνάμεις εξισορρόπησης της εν προβόλω δόμησης.

Προβλήματα

Δυστυχώς, η διαμόρφωση του οδοστρώματος των γεφυρών αυτού του είδους με πλακοειδή όρθια λιθάρια και με κατά θέσεις ελαφρώς υπερέχουσες *ούγιες*, αναγκάζει τα όμβρια να εισχωρούν στο οδόστρωμα και να διαρρέουν μέσω κάθε δυνατής διαδρομής, εκρρέοντα από αρμούς και οπές, επί ώρες και ημέρες μετά από κάθε μεγάλη βροχή. Απόδειξη αποτελούν οι παχύτατες κρούστες και οι εκατοντάδες σταλακτίτες αλάτων ασβεστίου, που ανέκαθεν έδειχναν και δείχνουν την σοβαρότητα του προβλήματος.

Την κατάσταση επιδεινώνουν τα στηθαία, στοιχεία προστεθέντα εκεί όπου αρχικά έστεκαν μόνον μεμονωμένοι λίθοι, οι *άρκες*.

Η σοβαρότερη ίσως παραμόρφωση της γέφυρας, αναγόμενη σε χρόνους πολύ προγενέστερους της κατάρρευσης, ήταν η προς νότον οριζόντια καμπύλωση των γραμμών και επιφανειών του μεγάλου τόξου.

Ρήγματα, δυτικά και ανατολικά του μέσου, τα τελευταία πολλαπλά και επικίνδυνα, προκληθέντα από ισχυρή έκρηξη το 1944, καθιστούσαν το τόξο πολυαρθρωτό και συνδυάζονταν με εγκάρσια προς Ν στροφή 3% του μεσαίου μέρους του, μήκους άνω των 20μ.

Υποκάτω του ανατολικού μεσοβάθρου, βαθεία υποσκαφή, γνωστή ήδη από το 1995 χάρις στον Πολιτικό Μηχανικό Δημήτρη Μπακάλη, προκαλούσε επιρρέπεια ανατροπής προς τα ανάντη και προς το μέσον του ποταμού, εμποδιζόμενη μόνον από την συγκράτηση του μεσαίου τμήματος του τόξου στην θέση του. Ωστόσο η κατάσταση αυτή δεν εμπόδιζε τις

προκαλούμενες από την υδροδυναμική φόρτιση ταλαντώσεις, οι οποίες σωρευτικά οδηγούσαν σε φθορά των ρηξιγενών επιφανειών επαφής και ως εκ τούτου σε περαιτέρω αύξηση του εύρους ταλαντώσεως κ.ο.κ.

Οι εργασίες των ετών 2006-2007, παρά την ανάρτηση σκαλωσιάς στις δύο πλευρές της γέφυρας, υπήρξαν ανεπαρκείς, σε κάποια σημεία άστοχες (τοποθετήθηκαν άχρηστοι ελκυστήρες, αλλά ουδεμία έγινε αντιμετώπιση της υποσκαφής) και πάντως όχι έγκαιρες. Εκτός αυτού η προσθήκη σκυροδέματος υπό το καλντερίμι δεν απέτρεψε την περαιτέρω εσωτερική διάβρωση.

Η Κατάρρευση

Τελικώς, οι συνεχόμενες ταλαντώσεις, εντεινόμενες δραματικά από τα ορμητικά φουσκώματα του ποταμού, προετοίμασαν επί σειράν πολλών ετών την κατάρρευση. Την 1η Φεβρ. τα τελευταία ανθιστάμενα τμήματα πλησίον των ρηγμάτων συνετρίβησαν, έως ελευθερώσεως του μεσαίου μέρους, βάρους 300Τ. Εντός τριών δευτερολέπτων τούτο προσέκρουε στον πυθμένα, διασπώμενο σε πλήθος τεμαχίων. Ταυτοχρόνως άρχιζε η ανατροπή της ανατολικώς αυτού μάζας βάρους 1200 τόνων, η οποία μετά από 10 τουλάχιστον δευτερόλεπτα κατέληξε στον πυθμένα, διασπασθείσα σε πέντε τεράστια ογκοτεμάχια και σε άγνωστου αριθμού μικρά τεμάχια. Σε αυτή την κατάσταση τα παρατηρήσαμε, τέσσερις ημέρες μετά, περίλυποι και εμβρόντητοι, παρά το αισθητικό και πνευματικό *υψηλόν* του γεγονότως, ως δείγματος της δύναμης της φύσεως, απέναντι στην οποία το δέος, ο θαυμασμός και ο σεβασμός πρέπει να είναι η μόνη τίμια στάση μας. Αυτή την κατάσταση εικονίζει και το σχέδιο που εκ των ενόντων συνέταξε τότε ο γράφων (5/2/2015), με ένδειξη της αρχικής θέσεως των πεσόντων.

Ακολούθως μελέτησε τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της κατάρρευσης, τα οποία συνοψίζονται σε μια σειρά εικόνων.

Ένας πίνακας συνοψίζει τα μετρικά στοιχεία και βάρη των μεγαλύτερων ογκοτεμαχίων.

Η Αποκατάσταση, Αρχές

Η κατάρρευση της γέφυρας έκρουσε τις πιο ευαίσθητες χορδές όλων όσοι γνώριζαν το αγέρωχο μνημείο, δηλαδή των πλείστων Ηπειρωτών και μεγάλου αριθμού των λοιπών Ελλήνων. Από τότε όλοι έχουν μια μόνον επιθυμία. Να την ξαναδούν αναστυλωμένη όσο γίνεται ταχύτερα.

Ανάπτυξη διεπιστημονικής και δι-ιδρυματικής εκπαίδευσης και έρευνας στρατηγικής σημασίας στον τομέα της προστασίας των μνημείων της πολιτιστικής κληρονομιάς

Ταυτόχρονη ήταν επίσης και η κινητοποίηση αρχών και ηγεσίας, η οποία μεταξύ άλλων δέχθηκε θερμά την άμεση εκδήλωση του ΕΜΠ για προσφορά επιστημονικής βοήθειας.

Στο σημείο αυτό θα επαναλάβω ότι η παρούσα περίσταση πρέπει να συνδυασθεί με συστηματική προληπτική επιθεώρηση πλείστων άλλων γεφυρών του είδους και είναι βέβαιον ότι θα βρεθούμε προ εκπλήξεων.

Με δεδομένη λοιπόν την προοπτική της αναστύλωσης, ό,τι απέμενε, η υποβολή προτάσεων, προϋπέθετε ως συνήθως, τον προκαθορισμό των θεωρητικών αρχών του εγχειρήματος. Αυτές εν γένει περιέχονται στα άρθρα καταστατικών εγγράφων διεθνούς αποδοχής, όπως κατά κύριον λόγο η Χάρτα της Βενετίας (1964) και ομοίως σε θεσπίσματα της Πολιτείας, εν πολλοίς βασισμένα στα εν λόγω καταστατικά κείμενα. Ωστόσο, ακόμη και εντός αυτού του θεωρητικού πλαισίου αναστυλωτικής δεοντολογίας, η υφιστάμενη ελευθερία επιβάλλει ad hoc ορισμό των ιδιαίτερων για το συγκεκριμένο έργο αρχών, ως εξής:

1) προτείνεται η πιστή επανάληψη του υπάρξαντος και όχι η ελεύθερη μορφολογική αναδημιουργία.
2) προτείνεται η επανάληψη της αυτής οικοδομικής τεχνολογίας και η επιδίωξη της αυτής στατικής λειτουργίας, της οποίας η αποτελεσματικότητα δεν πρέπει να αμφισβητείται και ομοίως ούτε η επιστημονική επάρκεια του εμπειρικού τρόπου με τον οποίο σχεδιάσθηκε η γέφυρα: το κτίσμα άντεξε επί 150 έτη χωρίς την παραμικρή χρήσιμη συντήρηση. Η διεξαγωγή μελετών στατικών και δυναμικών καταπονήσεων (σεισμικών, υδραυλικών, ανεμικών) είναι για καθαρά επιστημονικούς λόγους λίαν επιθυμητή, δεν πρέπει όμως να θεωρείται ως προϋπόθεση του έργου. Τέτοιες μελέτες θα ήσαν απαραίτητες μόνον εάν στην δεδομένη θέση κτιζόταν μια άλλη γέφυρα, ή εάν η αυτή γέφυρα κτιζόταν σε άλλη θέση. Η πιστή επανάληψη του αρχικού σχεδιασμού, δεν πρέπει να θεωρείται ως ένας συμβιβασμός, απλώς εκ λόγων σεβασμού της μνήμης, αλλά ως η πλέον συνετή από τεχνικής και οικονομικής πλευράς ενέργεια, δεδομένης της αυταπόδεικτης επάρκειας του παλαιού σχεδιασμού.
3) η χρήση των πεσόντων ογκοτεμαχίων και των δυνατόν να συλλεγούν μικρότερων τεμαχίων ή λίθων, πέραν της μορφής θα επιτρέψει υψηλό βαθμό υλικής αυθεντικότητος.

Ανάπτυξη διεπιστημονικής και δι-ιδρυματικής εκπαίδευσης και έρευνας στρατηγικής σημασίας στον τομέα της προστασίας των μνημείων της πολιτιστικής κληρονομιάς

Σειρά εργασιών

Πρέπει να τονισθεί ότι εργασίες που δύναται να είναι παράλληλες, δεν πρέπει να αντιμετωπίζονται ως διαδοχικές. Μάλιστα, εκείνες που κατά γενική αντίληψη θα είναι βασικότερες (προσπελάσεις. οικοδομικός γερανός, ειδικό μεταλλικό ικρίωμα υποστήριξης του ξυλότυπου, και παράλληλη προς αυτό εργοταξιακή οδογέφυρα), επειδή είναι όντως εργασίες ανεξάρτητες των λοιπών, πρέπει να αρχίσουν το συντομότερο:

Α. Προσπελάσεις

Οι προσπελάσεις, (συμπεριλαμβανομένης της ενίσχυσης της γέφυρας τύπου Bailey), είναι έργα απολύτως απαραίτητα.

Η γέφυρα Bailey, 700μ νοτιότερα της λίθινης, έχει τρία ανοίγματα, ολικού μήκους ~100μ, το οποίο παράγεται από 43 επαναλαμβανόμενες μονάδες δικτυώματος των 10 αγγλ. ποδών (3.046μx43=~100.4μ). Εξ αυτών 7 μονάδες (=21,3μ) αντιστοιχούν στο πρώτο από Α άνοιγμα, και ανά 13 μονάδες (=39,6μ) στα δύο άλλα. Το μέγιστο εσωτερικό πλάτος μεταξύ των δύο δικτυωμάτων της γέφυρας είναι ~3.7μ. Βάσει αυτών των μετρήσεων ο γράφων ετοίμασε προμελέτη της γέφυρας Bailey, περιέχουσα γενική περιγραφή, νέα σχέδια, κατάλογο βλαβών, προτάσεις επισκευής και αποκατάστασης, ως βάση για τον στατικό έλεγχο της φέρουσας ικανότητας αυτής και για τον σχεδιασμό των αναγκαίων υποστυλώσεων, ώστε να είναι ασφαλής η διέλευση μηχανημάτων και μεγάλων φορτηγών προς τον τόπο του έργου.

Επίσης θα απαιτηθεί μια προσωρινή εργοταξιακή αντιμετώπιση των ανωμαλιών της κοίτης του παραποτάμου Ραφτανίτη, η οποία είναι πολύ ευνοϊκή για την μετάβαση φορτηγών, σκαπτικών μηχανημάτων κτλ από το επίπεδο της οδού σε εκείνο της κοίτης του ιδίου και του ποταμού.

Για τον ίδιο σκοπό θα απαιτηθεί προσωρινή σκυρόστρωτη εργοταξιακή οδός μήκους ~350 μέτρων, διερχόμενη σε απόσταση 20 έως 30 μέτρων από την ανατολική όχθη, επί του υπάρχοντος υψηλού επίπεδου στερεού εδάφους.

Β. Οικοδομικός γερανός

Για την εκτέλεση του έργου απαιτείται οικοδομικός πυργογερανός, ο οποίος θα υπηρετήσει τις οικοδομικές εργασίες, αλλ' επίσης την συναρμολόγηση και αποσυναρμολόγηση ικριωμάτων, εργοταξιακής γέφυρας και παντός άλλου ουσιώδους ή ογκώδους μέρους του εξοπλισμού. Ο γερανός θα στηθεί 15μ νοτίως του ανατολικού μεσοβάθρου, σε βάση, η σταθερότητα

της οποίας θα απαιτήσει θεμελίωση με μικροπασσάλους. Μικρή πασαρέλα θα υπηρετεί την προσπέλαση του γερανού.

Ο γερανός θα φθάνει το δυτικό πέρας του έργου και την οικεία όχθη, θα καλύπτει ανατολικά του ποταμού εργοταξιακή επιφάνεια ~4 έως 4,5 στρεμμάτων, της οποίας το ήμισυ είναι ομαλό χωρίς απαγορευτική βλάστηση και θα εξασφαλίσει την μεγίστη ευκολία κατά την κατασκευή της εργοταξιακής γέφυρας. Τέλος, με μεγίστη ικανότητα 5Τ σε απόσταση 24μ, θα υπηρετήσει την συναρμολόγηση του ανυψωτικού δισκέλου.

Γ. Προσωρινή οδογέφυρα

Ως συνήθως σε έργα αυτού του είδους, θα απαιτηθεί ελαφρά προσωρινή εργοταξιακή γέφυρα σε μικρή απόσταση από την νότια όψη της λίθινης. Η γέφυρα αυτή, για την οποία ο καθηγητής Χ. Γαντές ετοίμασε την κατάλληλη προμελέτη, θα συνδέσει εξ αρχής τις όχθες και όλα τα μέρη του έργου για την κίνηση μελετητών, εργαζομένων και υλικών.

Δ. Ικρίωμα θολοτύπου

Ως συνήθως στην θολοδομία, για την ανακατασκευή του ελλείποντος μέρους του μεγάλου τόξου θα απαιτηθεί θολότυπος φερόμενος επί ισχυρού ικριώματος. Τούτο θα έχει ικανότητα ανάληψης 3,5 τόνων ανά τετρ. μέτρο. Το ικρίωμα πρέπει να περιέχει: α) σύστημα ακριβούς ρύθμισης της γεωμετρικής μορφής της άνω επιφανείας και β) σύστημα απολύτως ελεγχόμενης αποτόνωσης της θολωτής λιθοδομής του τόξου μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής της. Τούτο πρέπει να εγκατασταθεί στο κάτω μέρος του όλου κατασκευάσματος. Η έδραση του ικριώματος δεν πρέπει να γίνει στα άκρα, αλλά στο μέσον της κοίτης, ώστε η ανάληψη των φορτίων να είναι αμεσότερη και ο χώρος πλησίον των βάθρων της γέφυρας να μένει ελεύθερος για τις οικείες εργασίες. Ο συνάδελφος κ. Χ. Γαντές βάσει ρεαλιστικών δεδομένων έχει ήδη ετοιμάσει την εμπεριστατωμένη προμελέτη του κύριου μέρους του ικριώματος.

Ε. Σύστημα ανύψωσης-ανάταξης πεσόντων ογκοτεμαχίων

Γι' αυτό, εκτός από τα ήδη έτοιμα προσχέδια του γράφοντος, θα απαιτηθεί αναλυτική μελέτη Μηχανολόγου Μηχανικού με συνεργασία Πολιτικού Μηχανικού.

Μια άλλη λύση λιγότερο δαπανηρή θα ήταν η καταφυγή στην δια συρματοκοπής διαίρεση των ογκοτεμαχίων σε 15 τεμάχια των 40Τ και η

ανατοποθέτηση αυτών με τον ισχυρό αυτοκίνητο γερανό που θα ήταν δυνατόν να προσεγγίσει τον τόπο του έργου, ή σε περίπου 100 μικρότερα τεμάχια, βάρους έως 7 τόνων και η ανατοποθέτηση αυτών μόνον με τον οικοδομικό γερανό,

Ζ. **Πασσαλώσεις**

Τα ως άνω: θεμελίωση γέφυρας, θεμελίωση ικριώματος, θεμελίωση οικοδομικού γερανού και θεμελίωση βαριάς ανυψωτικής διάταξης, απαιτούν εδαφοτεχνικές μελέτες, και ειδικότερα μελέτες πασσαλώσεων, των οποίων το πλαίσιο έχει ήδη ετοιμασθεί από τον συνάδελφο κ. Μ. Καββαδά.

Η. Οικοδομική της Αναστήλωσης

Οι εργασίες επανασυγκόλλησης των πεσόντων ογκοτεμαχίων και ανακατασκευής λοιπών λιθοδομών θα βασισθούν αφ' ενός στα συμπεράσματα μιας αναλυτικής μελέτης συστάσεως και ιδιοτήτων των δομικών υλικών, λίθων και κονιαμάτων, με υπεύθυνη της συνάδελφο Τ. Μοροπούλου, αφ' ετέρου στα οικοδομικά χαρακτηριστικά της αυθεντικής κατασκευής, βάσει μιας αναλυτικής μελέτης των συναδέλφων Ε. Βιντζηλαίου και Ε. Τσακανίκα.

Διαδικασία

Όλες αυτές οι προμελέτες κατ' αρχάς και κατ' αρχήν, θα τεθούν στην κρίση των επιστημονικών υπηρεσιών του Υπουργείου Πολιτισμού, με την ευχή να καταλήξουν το συντομότερο δυνατόν εκεί όπου ανήκουν, στο έργο και εκείνους που θα το πραγματοποιήσουν, χορηγούς, ιδιώτες μελετητές, τεχνίτες και εργάτες.

Από τώρα λοιπόν πρέπει να απογραφεί η διαθέσιμη δύναμη σε χορηγούς, τεχνικούς, και τεχνίτες των διαφόρων ειδικοτήτων (λιθοξόοι, κτίστες, καλουπατζήδες κλπ) και να αρχίσουν οι μεταξύ αυτών συνεννοήσεις.

Τώρα πλέον επείγει η εξεύρεση, ανάδειξη, ή επιλογή, των άξιων ιδιωτών επαγγελματιών, οι οποίοι θα αναλάβουν και θα φέρουν εις πέρας το έργο. Σε αυτό το δεύτερο στάδιο, εμείς, ως καθηγητές του ΕΜΠ, δεν πρέπει να έχουμε επαγγελματική ανάμειξη (ούτε έμμεση). Θα διατηρούμε απλώς την ιδιότητα των άμισθων συμβούλων, όπως έως τώρα. Ομοίως δεν πρέπει να αναμειχθούμε σε θέματα οικονομικής διαχείρισης. Αυτή θα πρέπει να αναχθεί στην ελαχίστη ικανή δομή: θα ήταν ιδεώδες, όπως στην αρχαιότητα και κατά τους χρόνους των αυτόνομων κοινοτήτων, ο καθείς εκ των χορηγών

να αναλάβει το μέρος της δαπάνης για το οποίο θα ήταν διατεθειμένος, προβαίνων ο ίδιος στις αναγκαίες διαπραγματεύσεις και πράξεις πρόσληψης, προμήθειας κ.α., με γνώμονα την ικανοποίηση του προγράμματός μας (σε ένα τέτοιο σύστημα ο σεβασμός της οικονομίας είναι αυτονόητος)

Σε αυτό το πνεύμα κινείται η σκέψη μου από παλιά. Σας δίνω ένα παράδειγμα: η αγορά ενός καινούργιου οικοδομικού γερανού, κατάλληλου για το παρόν έργο, ή η ενοικίασή του για δύο έτη, απαιτεί ποσά της τάξεως των 150 και 50 χιλιάδων Ευρώ αντιστοίχως. Η αγορά ενός ισοδύναμου μεταχειρισμένου, πράξη μη επιτρεπόμενη στο Δημόσιο, αλλά αυτονόητη στις ιδιωτικές επιχειρήσεις, απαιτεί στην παρούσα στιγμή λιγότερο από 25.000 Ευρώ (και δεν είναι διόλου αμελητέο, ότι εφόσον ο χορηγός μόνος αναζητήσει το αντικείμενο και συμφωνήσει την τιμή, ουδεμία ευκαιρία απομένει για επιδίωξη «προμήθειας» εκ μέρους τρίτων. Με παρόμοιο τρόπο όλες οι δαπάνες θα είναι πολύ μικρότερες και οι διαρροές αμελητέες.

Σε άλλες χώρες και δη πλούσιες και πλέον προηγμένες η άμεση διαδικασία είναι συνήθης. Ένα παράδειγμα: η ξύλινη γέφυρα Jackson, στην Indiana των ΗΠΑ, λίγο παλιότερη της γέφυρας της Πλάκας με το αυτό ολικό μήκος συντηρήθηκε προ ολίγων ετών, αφού προσωρινώς μετακινήθηκε ολόσωμη σε κατάλληλο στεγνό μέρος, 200μ μακριά. Η ολόσωμη μετακίνησή και επαναφορά αυτής κόστισε μόλις 170000 δολάρια, συμπεριλαμβανομένης της προσωρινής γεφύρωσης που εξυπηρέτησε το έργο και την συνέχιση της κυκλοφορίας καθ' όλη τη διάρκεια αυτού (το ίδιο έργο, σε περιβάλλον απουσίας ταλέντου και πνεύματος οικονομίας έχει διπλάσια τιμή εκκινήσεως, η οποία εάν συντρέχει διαπλοκή και διαφθορά ξαναδιπλασιάζεται).

Σύστημα ανύψωσης-ανάταξης πεσόντων ογκοτεμαχίων

Στην περίπτωση επιλογής της ανατοποθετήσεως των πεσόντων ογκοτεμαχίων ως έχουν, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ανυψωτική διάταξη ικανότητας ~300Τ. Η συγκριτική επισκόπηση διαφόρων τρόπων, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι για την ανύψωση και ανάταξη των πεσόντων ογκοτεμαχίων ολόσωμων, οικονομικότερος και ευκολότερος τρόπος θα ήταν να χρησιμοποιηθεί δίσκελος ιστός, ο οποίος :

α) θα έχει κορυφή κινητή μόνον εντός της απολύτως αναγκαίας διαδρομής,

β) θα είναι εφικτός με την μικρότερη δυνατή δαπάνη.

γ) δεν θα εδράζεται σε θέσεις καταλαμβανόμενες ήδη από τα πεσόντα,

δ) δεν θα καταλαμβάνει χώρο απαιτούμενο για τη νέα θεμελίωση του ανατολικού μεσοβάθρου, ούτε θα εμποδίζει την εργασία κατασκευής αυτού,

συμπεριλαμβανομένων των αναγκαίων ελιγμών μετακίνησης του διατρητικού μηχανήματος.

Βάσει όλων αυτών θα έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

σκέλη ύψους 24μ, εκ τριών τμημάτων, σιδηρές πλάκες αρθρωτής έδρασης, συνδεόμενες με δοκό ελαχίστου μήκους 10μ, πολύσπαστο ικανότητος 350 τόνων, επιτόνους 40μ, με πολύσπαστα ικανότητος 100 τόνων, δεμένα σε βάσεις ιδρυμένες σε υψηλά σημεία εκατέρωθεν του ποταμού, εντός της εμβέλειας του οικοδομικού γερανού.

Τα ανωτέρω απαιτούν ένα βαρούλκο ικανότητος 20Τ και δύο ικανότητος 10Τ.

Η βασική σιδηροκατασκευή, βάρους ~35 τόνων, δύναται να κατασκευασθεί στα Γιάννενα (έναντι ποσού της τάξεως των 90.000 Ευρώ). Το δαπανηρότερο μέρος της όλης διάταξης, βαρούλκα, τροχαλιοθήκες, συρματόσχοινα, άγκιστρα και πάσης φύσεως παρελκόμενα, θα πρέπει μόνον να ενοικιασθεί, εάν ίσως δεν προσφερθεί ευγενώς δωρεάν για έναν περίπου μήνα. Δηλαδή να αφαιρεθεί από σχολάζοντα λιμενικό γερανό, να μεταφερθεί με νταλίκες στο έργο και να επιστραφεί και ανατοποθετηθεί, εργασία που δεν θα απαιτήσει λιγότερο από 30.000 ευρώ.

ΕΙΚ. ΟΙ διαδοχικές ενέργειες κατά την ανύψωση και ανάταξη εξηγούνται στην προβαλλόμενη εικόνα ως εξής:

0= τοποθέτηση αναρτήρων, 0→1= αναστροφή, 1→2= ανασήκωση + μετάθεση προς Δ, 2→3= περιστροφή, 3→4= μετάθεση προς Α,

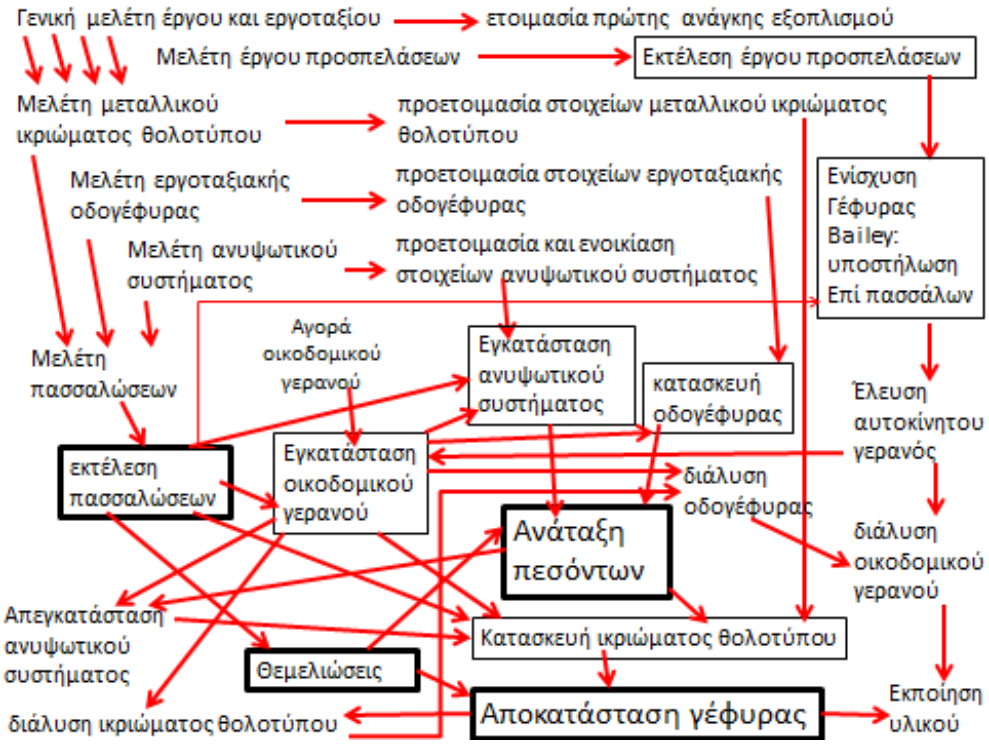
4→5= ανύψωση, 5→6= μετάθεση προς Α, 6→7=διόρθωση κατεύθυνσης, 7→8 απόθεση.

Η ανάρτηση θα γίνει όπως εμφαίνεται στην παραπλεύρως Εικ., με παρεμβολή μάζας μολύβδου για την αποφυγή καταστροφικής συγκέντρωσης τάσεων στις θέσεις αγκυρώσεως.

Η συνοπτική αυτή ανακοίνωση ας κλείσει με μια ευχή: σύντομα να περάσουμε στην φάση εκτέλεσης των εργασιών αποκατάστασης του εξοχότερου νεώτερου μνημείου της Ηπείρου.

Διάγραμμα σειράς εργασιών

Ανάπτυξη διεπιστημονικής και δι-ιδρυματικής εκπαίδευσης και έρευνας στρατηγικής σημασίας στον τομέα της προστασίας των μνημείων της πολιτιστικής κληρονομιάς



Ανάπτυξη διεπιστημονικής και δι-ιδρυματικής εκπαίδευσης και έρευνας στρατηγικής σημασίας στον τομέα της προστασίας των μνημείων της πολιτιστικής κληρονομιάς

Έργο MEDNETA: Ένα Μεσογειακό πολιτιστικό δίκτυο για την προώθηση της δημιουργικότητας στις τέχνες, την χειροτεχνία και τον σχεδιασμό και την κοινωνική αναζωογόνηση των ιστορικών πόλεων (Project MEDNETA: A Mediterranean cultural network to promote creativity in the arts, crafts and design for communities' regeneration in historical cities)

Σ. Αυγερινού- Κολώνια

Καθ. ΕΜΠ, Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών

Abstract

The creative sectors occupy the public debate in recent years as economic, social, cultural and political factor. Many claim that the shift in creative professions might be the crucial factor in social and economic way out of the economic crisis.

Nowadays, professions of Arts Crafts & Design (ACDs) present, despite the crisis, a remarkable resilience and still are influential factors to maintain consistency of the urban fabric and the social constitution with significant prospects. While both in science and spatial policies concepts of creativity and creative cities are inserted, it is assumed that these sectors as traditional productive activities can become leading productive sectors, contributing to the revitalization of historic centers provided they will form cooperation and communication networks.

Mediterranean Basin is world-wide known as a historic region that connects three continents at social, economic, political and cultural level. Over the centuries, the Mediterranean countries interacted with their region and thereby a dialectical relationship created. Hence, there are a lot of productive and cultural activities owe their identity to the socioeconomic patterns grown in Mediterranean Basin.

MEDNETA project focuses on strengthening the creativity of traditional activities and aims to achieve a cross-border dialogue and cooperation between SMEs of ACDs. It is attempted to combine the 'essence' and the 'memory' of traditional products and techniques of the Mediterranean south and the scientific and technological knowledge of the Northern cities.

Six cities in the Mediterranean with a great cultural and economic tradition are joining forces through MEDNETA program, under targeted

actions and good practices, aiming at a) networking of designers, artists and craftspeople both among themselves and with their related entities, b) the training of these professionals and b) the transmission of experience and know-how of ACDs.

Περίληψη

Οι Δημιουργικοί Κλάδοι, απασχολούν εδώ και περίπου δύο δεκαετίες την δημόσια επιστημονική συζήτηση. Αρκετοί υποστηρίζουν ότι η στροφή στα δημιουργικά επαγγέλματα θα αποτελούσε έναν κρίσιμο παράγοντα διεξόδου από την κρίση.

Σήμερα, τα Παραδοσιακά Επαγγέλματα Τέχνης (Arts, Crafts & Design/ACDs), παρουσιάζουν μιαν αξιοσημείωτη ανθεκτικότητα και εξακολουθούν να αποτελούν ισχυρούς συντελεστές διατήρησης της συνοχής του αστικού ιστού και της κοινωνικής συγκρότησης. Διατυπώνεται η υπόθεση ότι αυτοί οι κλάδοι ως παραδοσιακές παραγωγικές δραστηριότητες μπορούν να εξελιχθούν σε ηγετικούς παραγωγικούς κλάδους, συμβάλλοντας στην αναζωογόνηση των ιστορικών κέντρων με την προϋπόθεση ότι θα διαμορφώσουν δίκτυα συνεργασίας μεταξύ τους.

Η Λεκάνη της Μεσογείου, είναι διεθνώς γνωστή ως μια ιστορική περιφέρεια που συνδέει τρεις ηπείρους. Πολλές παραγωγικές και πολιτιστικές δραστηριότητες, οφείλουν την ταυτότητά τους στα ιστορικά Μεσογειακά κοινωνικο-οικονομικά πρότυπα.

Το ερευνητικό έργο MEDNETA εστιάζει στην ενίσχυση της δημιουργικότητας των παραδοσιακών δραστηριοτήτων και στοχεύει στην επίτευξη ενός διασυνοριακού διαλόγου και συνεργασίας μεταξύ των μικρομεσαίων επιχειρήσεων επαγγελμάτων τέχνης (ACDs). Επιχειρείται ο προωθητικός συνδυασμός της αίσθησης και της μνήμης των παραδοσιακών προϊόντων και τεχνικών του Νότου από την μία και η επιστημονική/τεχνολογική γνώση του Βορρά από την άλλη.

Έξι πόλεις της Μεσογείου με μεγάλη πολιτιστική και οικονομική παράδοση ενώνουν τις δυνάμεις τους μέσω του προγράμματος MEDNETA στοχεύοντας α) στην δικτύωση των σχεδιαστών, των καλλιτεχνών και των χειροτεχνών τόσο μεταξύ τους, όσο και με τους σχετιζόμενους φορείς, β) στην επιμόρφωση των επαγγελματιών αυτών και β) στην μετάδοση της εμπειρίας και τεχνογνωσίας των ACDs.

Ανάπτυξη διεπιστημονικής και δι-ιδρυματικής εκπαίδευσης και έρευνας στρατηγικής σημασίας στον τομέα της προστασίας των μνημείων της πολιτιστικής κληρονομιάς

Δημιουργικότητα και Παραδοσιακά Επαγγέλματα Τέχνης στην Μεσόγειο

Οι έννοιες δημιουργικότητα, δημιουργικές βιομηχανίες, δημιουργικοί κλάδοι εμφανίζονται στην επιστημονική βιβλιογραφία κατά τις τελευταίες δύο περίπου δεκαετίες, ενώ η σχετική συζήτηση γίνεται εντονότερη τα τελευταία χρόνια με αφορμή τους κοινωνικούς και οικονομικούς μετασχηματισμούς, που συντελούνται σε διεθνές επίπεδο. Μελέτες του N. Garnham (2000), για την πολιτιστική πολιτική και τα πολιτιστικά προϊόντα, του Ch. Laundry (2000) για την δημιουργική πόλη και του R. Florida (2002) για την δημιουργική τάξη, αποτέλεσαν την αφετηρία της συστηματικής διερεύνησης των νέων αυτών αναδυόμενων στοιχείων.

Από την άλλη, οι τοπικές βιοτεχνικές τεχνογνωσίες και ειδικεύσεις (savoir-faire locaux ή local know-how), που διαμορφώθηκαν κατά τη μακρά ιστορική διάρκεια, ως συσσώρευση των εμπειριών της ανθρώπινης γνώσης, καθορίζονται από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε τόπου, το ιδιαίτερο φυσικό, ανθρωπογενές και κοινωνικό περιβάλλον (Αυγερινού κ.ά, 2006).

Τα Παραδοσιακά Επαγγέλματα Τέχνης (Arts, Crafts & Design/ACDs) αποτελούν μια ιδιαίτερη και ειδική περίπτωση δημιουργικότητας, παραδοσιακής παραγωγικής δραστηριότητας και ταυτόχρονα συστατικό στοιχείο της ταυτότητας αρκετών Μεσογειακών πόλεων. Παρά το δυσοίωνο πλαίσιο λειτουργίας των επιχειρήσεων αυτών σε διεθνές και εθνικό επίπεδο, παρατηρείται μια αξιοσημείωτη ανθεκτικότητα της λειτουργίας τους στο χρόνο. Ένα μεγάλο ποσοστό των επιχειρήσεων αυτών αξιοποιεί ευέλικτα τα πλεονεκτήματα θέσης, όπως συνεργασίες με άλλες επιχειρήσεις, χαμηλά κόστη μεταφοράς πρώτων υλών και προϊόντων, δυνατότητες εξασφάλισης εργατικού δυναμικού κατάλληλων ειδικεύσεων, χαμηλά ενοίκια κ.ά. Παρατηρείται ότι οι παραγωγικές και οικονομικές ανάγκες ωθούν ορισμένες από τις επιχειρήσεις αυτές σε θέσεις εντός του αστικού ιστού. Εκεί διαμορφώνεται ένα προνομιακό πλέγμα για τη λειτουργία τους, που καθορίζεται από τις ευνοϊκές συνθήκες κυκλοφορίας συγκεκριμένων πρώτων υλών, προϊόντων και την παρουσία επιχειρηματικού και εργατικού δυναμικού, που αποτελούν ταυτόχρονα φορείς μιας πατροπαράδοτης τεχνογνωσίας. Επιπρόσθετα, οι κοινωνικές και οικονομικές αλληλεξαρτήσεις, που προκύπτουν, ενισχύουν αυτό το ευνοϊκό περιβάλλον και δημιουργούν ένα ιδιαίτερης φυσιογνωμίας αστικό τοπίο (Αυγερινού & Κλαμπατσέα, 2006).

Όπως είναι ευρέως γνωστό, η Λεκάνη της Μεσογείου αναγνωρίζεται διεθνώς ως μια ιστορική περιφέρεια που συνδέει τρεις ηπείρους σε κοινωνικό, οικονομικό και πολιτιστικό επίπεδο. Οι παραγωγικές και

εμπορικές σχέσεις μεταξύ των Μεσογειακών λαών είναι γνωστές και καταγεγραμμένες από τα αρχαία χρόνια. Στο πέρασμα των αιώνων, οι Μεσογειακές χώρες αλληλεπέδρασαν διαλεκτικά μεταξύ τους αλλά και με την ευρύτερη περιφέρειά τους, οδηγώντας κάθε χώρα στην ανάπτυξη των δικών της ιδιαιτεροτήτων και στην διαμόρφωση κοινών ιστορικών χαρακτηριστικών που σήμερα είναι πηγή μελέτης και έμπνευσης. Έτσι λοιπόν, πολλές παραγωγικές και πολιτιστικές δραστηριότητες οφείλουν την ταυτότητά τους στα κοινωνικο-οικονομικά μοτίβα που γεννήθηκαν και εξελίχθηκαν στην Λεκάνη της Μεσογείου. Υπό αυτήν την έννοια, μπορούμε να υποθέσουμε ότι το μέρος της δημιουργικότητας που εδράζει γύρω από την Μεσόγειο, προσδιορίζεται από κάποια κοινά χαρακτηριστικά αλλά και διαφοροποιήσεις που θα μπορούσαν να αποτελέσουν το κλειδί για την ανάπτυξη ενός διασυνοριακού διαλόγου και συνεργασίας.

Εκτός από τους ιστορικούς δεσμούς επικοινωνίας και συνεργασίας μεταξύ των Μεσογειακών λαών βρίσκονται και κάποιες ρωγμές που καλούμαστε να διορθώσουμε. Μία από τις πτυχές που πρέπει να αναθεωρηθούν σχετίζεται με την νέα δημιουργικότητα- είτε την παραδοσιακή είτε αυτή που σήμερα παράγεται- η οποία θα πρέπει να ενεργοποιηθεί μέσω της κινητοποίησης και της υποστήριξης των σχεδιαστών, καλλιτεχνών, των κοινοτήτων των βιοτεχνών, των οικονομικών δραστηριοτήτων που σχετίζονται με τις δημιουργικές βιομηχανίες και των τουριστικών επιχειρήσεων που βρίσκονται στα ιστορικά αστικά περιβάλλοντα της Μεσογείου.

Το έργο MEDNETA

Η βασική ιδέα του έργου MEDNETA βασίζεται στο ότι η παραδοσιακή καλλιτεχνική δημιουργία των Εικαστικών Τεχνών (Arts, Crafts) και της Χειροτεχνείας (π.χ. κεραμεική, αργυροχρυσοχοΐα, ένδυμα κλπ) και του Σχεδίου (Design) (π.χ. σχέδιο μόδας, σχέδιο κοσμήματος) μπορούν να ενδυναμώσουν τις πολιτιστικές ανταλλαγές και την συνεργασία μέσω ενός διασυνοριακού διαλόγου μεταξύ πολλών ενδιαφερόμενων μερών (stakeholders) και ιδίως, εντός των Μεσογειακών κοινοτήτων μεταξύ νέων δημιουργών, έτσι ώστε να αποτελέσουν το όχημα της αναγέννησης πολεοδομικών ιστών των ιστορικών πόλεων και των οικονομιών τους.

Ανάπτυξη διεπιστημονικής και δι-ιδρυματικής εκπαίδευσης και έρευνας στρατηγικής σημασίας στον τομέα της προστασίας των μνημείων της πολιτιστικής κληρονομιάς

Εικόνα 1. Το λογότυπο του έργου MEDNETA

Αυτή η τοποθέτηση, εμπλέκει μια σειρά πτυχών που έχουν να κάνουν με την ανταγωνιστικότητα των ACDs και αφορούν την δημιουργικότητα, την ανάπτυξη δεξιοτήτων, την οργάνωση της παραγωγής, την διάδοση της δικτύωσης καθώς και την δημιουργία ταυτότητας και προώθησης των πόλεων. Θεωρούμε ότι η επιτυχία αυτής ιδέας, συνδέεται άρρηκτα με το αστικό περιβάλλον, εκεί όπου τα επαγγέλματα αυτά είναι εγκατεστημένα και λειτουργούν και επομένως, η οικονομική ενδυνάμωση των δημιουργικών δραστηριοτήτων εμπλέκεται στενά με την αναζωογόνηση των ιστορικών πόλεων.

Λαμβάνοντας υπόψη λοιπόν το περιβάλλον της Μεσογείου, το έργο MEDNETA θα μπορούσε άμεσα να συμβάλει σε αυτό. Σε ένα περιβάλλον πλούσιας πολιτιστικής και φυσικής κληρονομιάς που βιώνει μια σειρά κινδύνων και αντιφάσεων και δέχεται τεράστια τουριστικά ρεύματα, το MEDNETA μεταφέρει το μήνυμα της επικοινωνίας, του διασυνοριακού διαλόγου, της δημιουργικότητας και συνεργασίας σε ένα εδαφικό πλαίσιο που μοιράζεται κοινές προοπτικές και απειλές.

Οι εταίροι που συμμετέχουν στο έργο MEDNETA είναι: το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο ως συντονιστής, το Ελληνο - Ιταλικό Επιμελητήριο, το CRESM (Social and Economic Research Centre for the South of Italy) από το Παλέρμο της Ιταλίας, η ISIA (Superior Institute of Artistic Industries) από την Φλωρεντία της Ιταλίας, το IVC+r (Valencian Institute for Conservation and Restoration of Heritage – IVC+r) από την Βαλένθια της Ισπανίας, η ASM (Association for the Safeguarding of the Medina of Tunis – ASM) από την Τύνιδα, η GAIA-h (GAIA-Heritage Institute of Urban Planning – GAIA-h) από την Βηρυτό και το τμήμα Αρχιτεκτονικής από το Birzeit University (Birzeit University – Department of Architectural Engineering – BZU), εγκατεστημένο στην

Εικόνα 2. Ο Χάρτης MEDNETA

Ανάπτυξη διεπιστημονικής και δι-ιδρυματικής εκπαίδευσης και έρευνας στρατηγικής σημασίας στον τομέα της προστασίας των μνημείων της πολιτιστικής κληρονομιάς

Χεβρώνα της Παλαιστίνης. Στόχος κάθε εταίρου είναι η κινητοποίηση των τοπικών φορέων και των σχετικών ομάδων-στόχων έτσι ώστε να δημιουργηθεί ένα δίκτυο συνεργασίας και επικοινωνίας στο πλαίσιο των δραστηριοτήτων τους.

Οι Στόχοι του MEDNETA

Ο βασικός στόχος του έργου MEDNETA είναι η δικτύωση των σχεδιαστών, των καλλιτεχνών και των χειροτεχνών, τόσο μεταξύ τους όσο και με κρίσιμους σχετιζόμενους φορείς, όπως εμπορικές ενώσεις των δημιουργικών δραστηριοτήτων, τοπικές αρχές και τοπικές αναπτυξιακές πρωτοβουλίες, θεσμούς που ειδικεύονται στην καλλιτεχνική, πολιτιστική κληρονομιά και την προωθούν ώστε να συνδεθούν με τους επισκέπτες των πόλεων, την οικονομία της πόλης και το ευρύτερο κοινό.

Από την άλλη βασική κατεύθυνση αποτελεί η προώθηση του έργου των δημιουργών μέσω μιας διαδραστικής ηλεκτρονικής GIS πλατφόρμας (Web-GIS Platform) που μετά την λήξη του έργου, θα αποτελέσει τον βασικό πυλώνα του Παρατηρητηρίου (Observatory) των δραστηριοτήτων αυτών στην Μεσόγειο. Με το ίδιο σκεπτικό στόχος του έργου είναι η επιμόρφωση των σχεδιαστών, καλλιτεχνών, χειροτεχνών από την οποία θα προκύψει ο Οδηγός MEDNETA (MEDNETA Guide) και θα αποτελεί έναν «κώδικα δεοντολογίας», δηλαδή, ένα σύνολο αρχών και αξιών που θα ενθαρρύνει την εφαρμογή καλών πρακτικών για τα ACDs.

Κεντρικό ρόλο στην φιλοσοφία που δομείται γύρω από το MEDNETA, κατέχει η μετάδοση της τεχνογνωσίας (know-how) και της συσσωρευμένης εμπειρίας μέσω του Παρατηρητηρίου στο οποίο θα συμπεριληφθούν οι καλές πρακτικές των συμμετεχόντων σε ένα Δίκτυο-Εργαστήριο (Lab Network) ως οδηγός δραστηριοτήτων που επωφελήθηκαν από τις δράσεις του έργου. Άλλωστε για την εμπέδωση μιας γόνιμης δικτύωσης, προβλέπεται η δημιουργία μιας περιοδεύουσας έκθεσης (Rotating Exhibition), στην οποία θα λαμβάνουν χώρα ετήσιες συναντήσεις έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η κοινωνική δικτύωση, ο πολιτιστικός διάλογος και οι συνεργασίες.

Το στοίχημα είναι να διαμορφωθεί εν τέλει μια δυναμική διαδικασία που θα εμπερικλείει και θα συνδυάζει δημιουργικά το απόσταγμα και τη μνήμη των παραδοσιακών προϊόντων και τεχνικών του Μεσογειακού νότου μαζί με την επιστημονική και τεχνολογικά αναβαθμισμένη τεχνογνωσία των ευρωπαϊκών χωρών.

Σήμερα στο πλαίσιο της των κοινών πολιτικών και κοινωνικών συνθηκών της Μεσογείου, απευθυνόμαστε προς τους νέους δημιουργούς και

τις τοπικές κοινότητες που βιώνουν την τουριστική πίεση και την υποβάθμιση του περιβάλλοντος, προτείνοντας μια σειρά αειφόρων αστικών στρατηγικών και πιλοτικά προγράμματα για την αναβίωση των ιστορικών πόλεων, μέσω της προσαρμογής των ACDs στις νέες συνθήκες.

Η ενίσχυση των τοπικών κοινοτήτων και των νέων δημιουργών μέσω της σύνδεσής τους μαζί και με τους τοπικών ή/και υπερτοπικών ενδιαφερόμενων μερών θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε νέες παραγωγικές ικανότητες, νέες ιδέες και συνεργασίες δημιουργώντας πολλαπλασιαστικά κοινωνικά και οικονομικά οφέλη.

Από την άλλη πλευρά, η ολοκληρωμένη αυτή η υπόθεση θα μπορούσε να προσφέρει τις καλές πρακτικές της αναγέννησης και της οικονομικής ανάπτυξης οδηγώντας τις χώρες της Μεσογείου σε αναπροσανατολισμό των οικονομικών προτεραιοτήτων και της βαθύτερης κοινωνικής και πολιτιστικής συνοχής. Είναι γνωστό, ότι η Λεκάνη της Μεσογείου, είναι ο πρώτος τουριστικός προορισμός παγκοσμίως, είναι σε μεγάλο βαθμό συμπιέζεται από τα μαζικά ρεύματα του τουρισμού και συχνά μερικά μοναδικά πολιτιστικά και περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά υποβαθμίζονται, θέτοντας σε κίνδυνο τη βιωσιμότητα (συμπεριλαμβανομένης τουριστική) της περιοχής.

Κρατώντας αυτές τις βασικές παραδοχές, μπορούμε να προτείνουμε με σιγουριά ότι μια σειρά από βιώσιμες αστικές στρατηγικές κρίνονται αναγκαίες προκειμένου να στηριχτεί τόσο η παραδοσιακή, ιστορική δημιουργικότητα καθώς και αυτή που σήμερα γεννιέται και αναπτύσσεται γύρω από την Μεσόγειο. Στο πλαίσιο αυτής της στρατηγικής εφαρμόζουμε πιλοτικά προγράμματα που παράλληλα θα μπορούσαν να αναβιώσουν τις ιστορικές πόλεις και παράλληλα να αγκαλιάσουν τα ACDs υπό τις σύγχρονες συνθήκες.

Ως εκ τούτου, προτείνουμε και εφαρμόζουμε πιλοτικά βιώσιμες, αειφόρες στρατηγικές τόσο για την αναγέννηση των Μεσογειακών πόλεων όσο και ως αντιστάθμισμα στις σημερινές συνθήκες.

Μέχρι στιγμής αποτελέσματα MEDNETA

Τα μετρήσιμα μεγέθη που προκύπτουν από την έως τώρα υλοποίηση του MEDNETA καταδεικνύουν, αν μη τι άλλο, την ανάγκη και το ενδιαφέρον των τοπικών κοινοτήτων για συζήτηση και ανταλλαγή απόψεων πάνω σε αυτά τα μη επαρκώς διερευνημένα ζητήματα στη μεσογειακή λεκάνη και επιβεβαιώνουν το ορθό της επιλογής της εκ των κάτω διαδικασίας έρευνας:

- Περισσότεροι από 560 εκπρόσωποι, δημιουργοί και τοπικοί φορείς έλαβαν μέρος στα έξι Σεμινάρια Διερεύνησης των αναπτυξιακών

δυνατοτήτων, που έγιναν στις πόλεις που συμμετέχουν στο MEDNETA

Εικόνα 3. Εικόνες από SWOT Seminars στις Μεσογειακές Πόλεις

- Περισσότεροι από 1.400 δημιουργοί, φορείς και επισκέπτες συμμετείχαν στις δράσεις των πιλοτικών αστικών παρεμβάσεων – στα ανοικτά εργαστήρια που πραγματοποιήθηκαν σε ιστορικά δημόσια κτίρια στην Αθήνα, την Χεβρώνα και την Βηρυτό.
- Περίπου 800 Δημιουργικοί Επαγγελματίες Τέχνης και νέοι δημιουργοί ενεπλάκησαν στα επιμορφωτικά προγράμματα (στις Νότιες Μεσογειακές πόλεις) συμβάλλοντας στην δημιουργία του MED Forum.

Εικόνα 4. Εικόνες από τα Training Seminars

- Περίπου 150 σύνεδροι συμμετείχαν στο πρώτο Συνέδριο MEDNETA στην Μεδίνα της Τυνησίας
- Περίπου 250 ιδιωτικές επιχειρήσεις Δημιουργικών Επαγγελμάτων Τέχνης και εμπορικές ενώσεις έχουν ήδη επωφεληθεί μέσω της ανάδειξης και προώθησης των προϊόντων τους στις ανοικτές εκδηλώσεις που διοργανώθηκαν στο πλαίσιο του MEDNETA
- Σε απόλυτους αριθμούς, περίπου 3.000 ωφελούμενοι είχαν την δυνατότητα και την ευκαιρία να συμμετέχουν έως τώρα στις δραστηριότητες της τεχνολογικής αναβάθμισης, της επιμόρφωσης

στην καινοτομία, στην επαγγελματική δικτύωση και στην προωθητικές ενέργειες.

Συμπερασματικά

Αντικείμενο και κεντρικός στόχος του έργου MEDNETA είναι η ενδυνάμωση ενός διασυνοριακού διαλόγου και μιας συνεργασίας μεταξύ όλων των ενδιαφερόμενων μερών έτσι ώστε να υποστηριχθεί έμπρακτα η δημιουργικότητα των ACDs που δύναται να αποτελέσει το μέσον της αναγέννησης των κοινοτήτων που ζουν στις ιστορικές πόλεις της Μεσογείου.

Το έργο MEDNETA στηρίζεται στις εξής αρχές:

- Σεβασμός στις τοπικές ιδιαιτερότητες και τα χαρακτηριστικά τους
- Προσήλωση στην αυθεντικότητα των δημιουργών και των έργων τους
- Καλλιέργεια σχέσεων αμοιβαίας εμπιστοσύνης και εκτίμησης μεταξύ των ACDs και των σχετιζόμενων φορέων ανάμεσα στον Μεσογειακό Νότο και Μεσογειακό Βορρά.

Εικόνα 5. Παραδοσιακά Επαγγέλματα Τέχνης στην Μεσόγειο

Τέλος, με βάση την εμπειρία που έχει συλλεχθεί μέχρι τώρα από την υλοποίηση του έργου θα πρέπει να επισημανθεί η αναδυόμενη προοπτική της δημιουργίας μιας νέας εικόνας του αστικού χώρου που θα συνδιαμορφωθεί από τις σύγχρονες και ιδιαίτερα δημιουργικές δραστηριότητες, οι οποίες θα λειτουργούν ως συνδετικός κρίκος μεταξύ του παλαιού με το νέο, της παράδοσης με την καινοτομία, της σύλληψης μιας ιδέας με την παραγωγική τεχνική, του πολιτισμού με τον τουρισμό.

Βιβλιογραφία

Florida, R., The Rise of the Creative Class. And How It's Transforming Work, Leisure and Everyday Life, Basic Books (2002)

Granham, N., “From Cultural to Creative Industries: an Analysis of the implications of the Creative Industries approach to arts and media policy

making in the United Kingdom", International Journal of Cultural Policy, 11, 1 (2005)

KEA, The economy of culture in Europe. Study Prepared for the European Commission (2006)

Landry, C., The Creative City: A toolkit for urban innovators, London: Earthscan (2000)

Scott, A., "Creative Cities: Conceptual Issues and Policy Questions," Journal of Urban Affairs, 28, (2006) 1 – 17

Parkinson M., Biankini F., Cultural policy and urban regeneration, Manchester, University Press (1994)

UNCTAD, Creative Economy Report 2008, UNCTAD (2008)

UNESCO, Creative Industries - UNESCO Culture, UNESCO (2010)

UNESCO, UNESCO Framework for Cultural Statistics, UNESCO, Canada (2009)

Αυγερινού Κολώνια Σ. - Κλαμπατσέα Ε., Τοπικές τεχνογνωσίες και συναφείς δραστηριότητες ως μηχανισμοί διαμόρφωσης σύγχρονων αστικών τοπίων στο συλλογικό τόμο Τα νέα αστικά τοπία και η ελληνική πόλη (επιμ.Άσπα Γοσποδίνη, Ηλίας Μπεριάτος), Αθήνα: ΚΡΙΤΙΚΗ, (2006) 149-166

ΑΡΙΑΔΝΗ-Παραδοσιακή Χειροτεχνία και Αστική Ανάπτυξη (2005-2009): Αστικό Δίκτυο για την Διάσωση Παραδοσιακών Τεχνικών και την Προσαρμογή των Χειροτεχνικών Μονάδων στο Σύγχρονο Επιχειρηματικό Περιβάλλον - Αναπτυξιακή Εταιρεία Δήμου Αθηναίων (ΑΕΔΑ)/ΕΜΠ, επιστημονική υπεύθυνη της ερευνητικής ομάδας Τομέα Πολεοδομίας και Χωροταξίας ΕΜΠ: Σ. Αυγερινού - Κολώνια

EUROMED Heritage II / ΕΜΠ, Ερευνητικό Πρόγραμμα Filieres innovantes, savoir faire locaux et partenariat euromediterraneen (projet SAVOIRS) (2002-2005): Καινοτόμοι κλάδοι, τοπικές τεχνογνωσίες και ευρωμεσογειακή συνεργασία, 2002-2005, Επιστημονική Υπεύθυνη για το ΕΜΠ: Σ. Αυγερινού-Κολώνια

Οδηγός Καλών Πρακτικών για τη λειτουργική οργάνωση και την αρχιτεκτονική εσωτερικών χώρων βιοτεχνικών εργαστηρίων – Guide for the functional organizing and the architecture of internal handicraft Workshops (2008), στα πλαίσια του προγράμματος «ΑΡΙΑΔΝΗ»Επιστημονική Υπεύθυνη: Σοφία Αυγερινού – Κολώνια, EQUAL II - ΕΜΠ Σχολή: Αρχιτεκτόνων – Μηχανικών, Τομέας: Πολεοδομίας – Χωροταξίας, Έκδοση (ελληνική και αγγλική) ΕΜΠ και ΕΟΜΜΕΧ, Αθήνα

SYSTEMIN- Ανάπτυξη Πληροφοριακού Συστήματος για την υποστήριξη των ΜΜΕ του κλάδου της ελληνικής αργυροχρυσοχοΐας (E!3769), ΕΛ.ΚΑ. ΑΕ/ΕΜΠ, Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, Τομέας Πολεοδομίας και Χωροταξίας, Επιστημονική Υπεύθυνη: Σ. Αυγερινού-Κολώνια, 2007-2010

Μεθοδολογίες, προδιαγραφές και καινοτόμες εφαρμογές μη καταστρεπτικών και αναλυτικών τεχνικών αποτίμησης υλικών και επεμβάσεων συντήρησης

Χρήση μη καταστρεπτικών τεχνικών για την τεκμηρίωση του τρόπου δόμησης ιστορικών κτιρίων και μνημείων. Παραδείγματα εφαρμογής (The use of non destructive techniques for the investigation of the construction type of historical structures and monuments. Case studies)

Ε. Βιντζηλαίου, Β. Παλιεράκη, Χ. -Ε. Αδάμη, Β. Νικολοπούλου

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π.

Abstract

In the present paper, the non destructive and slightly destructive techniques, applied for the investigation of the construction type of masonry in historical structures and monuments, are presented. The potential applications of the main investigation techniques are described. Examples of applications to historical structures and monuments are presented. The results of the in-situ investigations constitute a necessary condition for the assessment of the masonry mechanical characteristics, as well as the assessment of the effectiveness of the selected intervention techniques.

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται οι μη καταστρεπτικές και ελάχιστα καταστρεπτικές τεχνικές, οι οποίες εφαρμόζονται με στόχο την τεκμηρίωση του τρόπου δόμησης ιστορικών κατασκευών και μνημείων. Παρουσιάζονται συνοπτικά οι δυνατότητες χρήσης των κυριοτέρων εξ αυτών των τεχνικών. Δίδονται παραδείγματα εφαρμογής τους σε ιστορικές κατασκευές και μνημεία. Τα αποτελέσματα των επί τόπου διερευνήσεων αποτελούν απαραίτητη προϋπόθεση για την εκτίμηση των μηχανικών χαρακτηριστικών της τοιχοποιίας, καθώς και την αποτίμηση της αποτελεσματικότητας επιλεγμένων μεθόδων επέμβασης.

Μεθοδολογίες, προδιαγραφές και καινοτόμες εφαρμογές μη καταστρεπτικών και αναλυτικών τεχνικών αποτίμησης υλικών και επεμβάσεων συντήρησης

Εισαγωγή

Η παρούσα εργασία αναφέρεται στην εφαρμογή μη καταστρεπτικών και ελάχιστα καταστρεπτικών τεχνικών σε ιστορικές κατασκευές και μνημεία, με στόχο την τεκμηρίωση του τρόπου δομήσεως. Η διαπίστωση του τρόπου δομήσεως της τοιχοποιίας (τόσο κατά τις όψεις της, όσο και κατά το πάχος της) αποτελεί προϋπόθεση για την εκτίμηση των μηχανικών χαρακτηριστικών της στην παρούσα φάση, για την επιλογή κατάλληλων τεχνικών επέμβασης, καθώς και για την εκτίμηση των μηχανικών χαρακτηριστικών της τοιχοποιίας μετά από την επέμβαση. Η εκτίμηση των φυσικοχημικών και μηχανικών χαρακτηριστικών των υλικών αποτελεί μία ακόμη προϋπόθεση για την εκτίμηση της αντοχής της τοιχοποιίας.

Όπως είναι γνωστό, η τεκμηρίωση ιστορικών κατασκευών και μνημείων επιβάλλει την εφαρμογή μη καταστρεπτικών ή ελάχιστα καταστρεπτικών μεθόδων. Οι μη καταστρεπτικές μέθοδοι που εφαρμόζονται συνήθως είναι οι ακόλουθες:

Η μέθοδος του ραντάρ, η οποία δίνει πληροφορίες για την ύπαρξη διεπιφανειών στο εσωτερικό της τοιχοποιίας, και, επομένως, μετά από βαθμονόμηση, για το πάχος διαφορετικών υλικών. Αποτελεί χρήσιμο εργαλείο για την διερεύνηση τρίστρωτων τοιχοποιιών.

Η μέθοδος της θερμογραφίας, η οποία επιτρέπει την αναγνώριση του τρόπου δομήσεως της τοιχοποιίας κατά την όψη της, σε περιοχές οι οποίες καλύπτονται από τοιχογραφίες, ψηφιδωτά, επίχρισμα ή ορθομαρμαρώσεις.

Η μέθοδος των υπερήχων μέσω της οποίας επιτυγχάνεται ο έλεγχος της ομοιομορφίας ενός στοιχείου, ο εντοπισμός ασυνεχειών (ύπαρξη ρωγμών, κοιλοτήτων, πάχος στρώματος με φθορές), καθώς και η αποτίμηση του μέτρου ελαστικότητας. Η μέθοδος των υπερήχων μπορεί να χρησιμοποιηθεί προκειμένου να διαπιστωθεί αν έχει επιτευχθεί ομογενοποίηση του εσωτερικού της τοιχοποιίας, μετά την εφαρμογή των ενεμάτων, ως μεθόδου επέμβασης στην τοιχοποιία (Binda et al. 2007, Valluzzi et al. 2009).

Οι συνηθέστερα χρησιμοποιούμενες ελάχιστα καταστρεπτικές μέθοδοι είναι:

Η μέθοδος της ενδοσκόπησης, η οποία μέσω της διάνοιξης οπών ή της χρήσης διαθέσιμων θέσεων οπών (π.χ. σκαλότρυπες), επιτρέπει την άμεση παρατήρηση των τοιχωμάτων της οπής και προσφέρει την δυνατότητα εντόπισης ασυνεχειών και κενών, καθώς και την απόκτηση ποιοτικών πληροφοριών σχετικών με την κατάσταση των υλικών.

Η μέθοδος της πυρηνοληψίας παρέχει πληροφορίες για την δομή του εσωτερικού της τοιχοποιίας, καθώς και την δυνατότητα πραγματοποίησης εργαστηριακών δοκιμών για τον προσδιορισμό των φυσικών και μηχανικών

χαρακτηριστικών των υλικών της τοιχοποιίας (λίθων, οπτοπλίνθων, κονιαμάτων).

Καθεμία από τις προαναφερθείσες τεχνικές έχει όρια εφαρμογής, τα οποία θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, και οι μέθοδοι να εφαρμόζονται σε συνδυασμό, ώστε να επιτευχθεί μεγαλύτερη αξιοπιστία των αποτελεσμάτων (Palieraki et al., 2008, Binda et al., 2005, ONSITEFORMASONRY, 2005, Pérez-Gracia et al., 2011).

Τα παραδείγματα που ακολουθούν αναφέρονται κυρίως στις τεχνικές του ραντάρ και της ενδοσκόπησης, καθώς είναι οι προσφοροτέρες για τις ιστορικές κατασκευές. Στις εφαρμογές χρησιμοποιήθηκε ο εξοπλισμός του Ε.Ω.Σ., Ε.Μ.Π. Η κατάλληλη μέθοδος (ραντάρ, ενδοσκόπηση ή συνδυασμός) επιλέγεται ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των μνημείων και τον στόχο της διερεύνησης.

Εφαρμογή των μεθόδων του ραντάρ και της ενδοσκόπησης – Αποτελέσματα

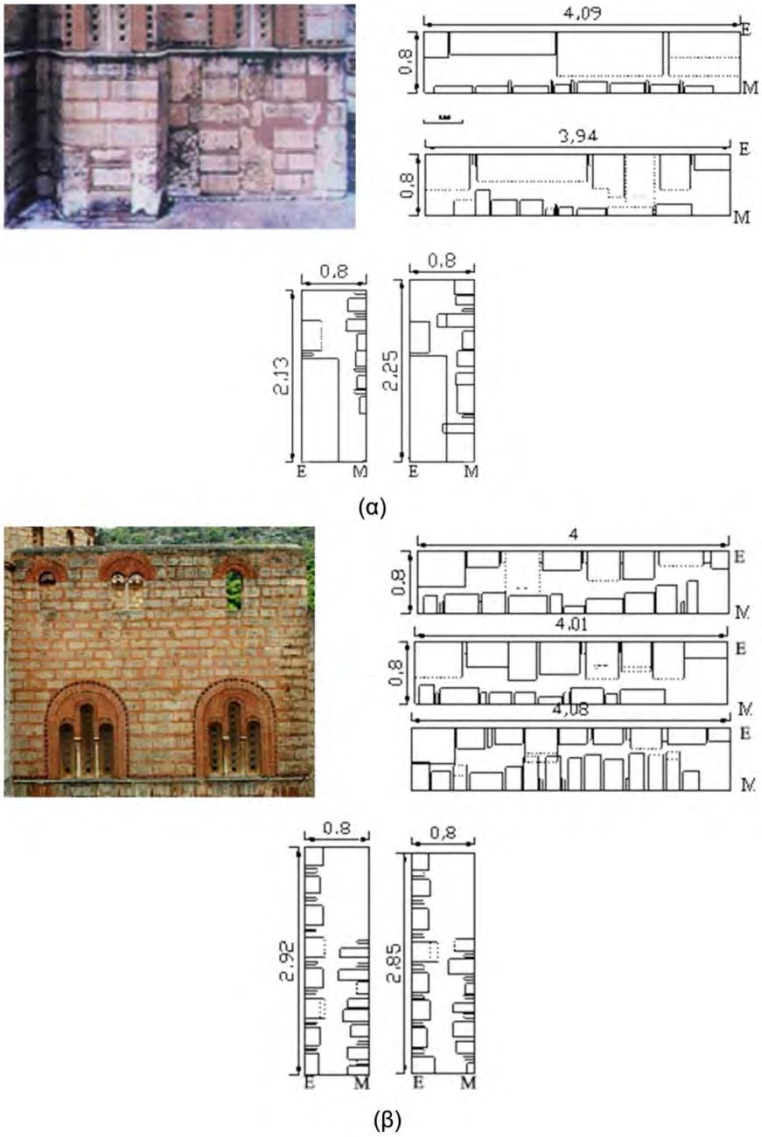
Εφαρμογή των δύο μεθόδων

Η Μονή Δαφνίου, ένα από τα σπουδαιότερα Βυζαντινά μνημεία της Ελλάδας, υπέστη σοβαρές βλάβες κατά τη διάρκεια του σεισμού του Σεπτεμβρίου του 1999. Προκειμένου να προσδιοριστεί ο τρόπος δόμησης της τοιχοποιίας και τα μηχανικά χαρακτηριστικά της, εφαρμόσθηκε η τεχνική του ραντάρ (Παλιεράκη, 2003). Η εφαρμογή πραγματοποιήθηκε στην περιμετρική τοιχοποιία του μνημείου: Σαρώθηκαν συνολικά πάνω από 200m, κατά μήκος οριζόντιων και κατακόρυφων διαδρομών. Εφαρμόσθηκε και η τεχνική της ενδοσκόπησης, σε επιλεγμένες περιοχές και σε θέσεις στις οποίες τα αποτελέσματα του ραντάρ ήταν ασαφή.

Τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων συνεκτιμήθηκαν και τα πιο αξιόπιστα επιλέχθηκαν ως τελικά (Εικ. 1).

Οι μετρήσεις αποτυπώθηκαν σε οριζόντιες και κατακόρυφες τομές της τοιχοποιίας και επέτρεψαν να διαπιστωθούν οι δύο τρόποι κατασκευής της περιμετρικής τοιχοποιίας του μνημείου (Εικ.1): Η κατώτερη ζώνη (από τη στάθμη της θεμελίωσης μέχρι την πρώτη στάθμη των παραθύρων), είναι χτισμένη με λίθους μεγάλων διαστάσεων, τοποθετημένους με την μεγάλη διάστασή τους οριζόντια ή κατακόρυφη, ώστε να σχηματίζουν σταυρούς.

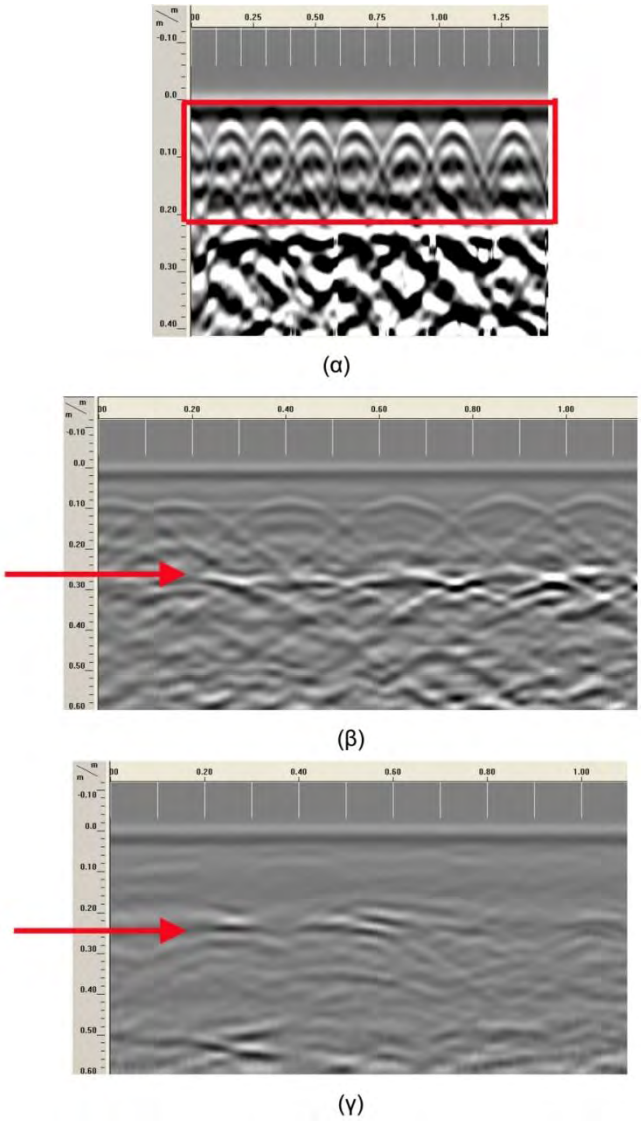
Μεθοδολογίες, προδιαγραφές και καινοτόμες εφαρμογές μη καταστρεπτικών και αναλυτικών τεχνικών αποτίμησης υλικών και επεμβάσεων συντήρησης



Εικόνα 1. (α) Όψη (φωτογραφία) και οριζόντιες και κατακόρυφες τομές της κατώτερης ζώνης, (β) Όψη (φωτογραφία) και οριζόντιες και κατακόρυφες τομές της ανώτερης ζώνης της τοιχοποιίας.

Ανάμεσα στους μεγάλους λίθους τοποθετούνται μικρότεροι λίθοι και συμπαγείς οπτόπλινθοι περιμετρικά των λίθων. Στην ανώτερη ζώνη, η τοιχοποιία κατασκευάζεται με μικρότερους λίθους και οπτοπλίνθους στους κατακόρυφους και τους οριζόντιους αρμούς. Και στις δυο περιοχές, ο τρόπος κατασκευής της τοιχοποιίας (με λίθους μεταβαλλόμενων διαστάσεων και

κατά τις τρεις διαστάσεις) συνεπάγεται αυξημένο εμβαδόν διεπιφάνειας μεταξύ των εξωτερικών στρώσεων και του υλικού πληρώσεως, έναντι μιας συνήθους τρίστρωτης τοιχοποιίας με σταθερό πάχος των παρειών.



Εικόνα 2. Εικόνες από το ραντάρ: (α) Πεσσοί ωπλισμένου σκυροδέματος, (β) Πεσσοί με οπλισμό και διεπιφάνεια διαφορετικών υλικών, (γ) Πεσσοί με διεπιφάνεια σε βάθος περίπου ίσο με 25cm.

Εφαρμογή της μεθόδου του ραντάρ

Μεθοδολογίες, προδιαγραφές και καινοτόμες εφαρμογές μη καταστρεπτικών και αναλυτικών τεχνικών αποτίμησης υλικών και επεμβάσεων συντήρησης

Στην Βίλλα Δουρούτη, η οποία αποτελεί τμήμα του συγκροτήματος του Μεταξουργείου, η διερεύνηση είχε διπλό σκοπό: την διερεύνηση του τρόπου δόμησης της τοιχοποιίας, και την διαπίστωση χρήσης διαφορετικών υλικών, κατά την πραγματοποίηση παλαιότερων επεμβάσεων στο κτίριο. Για την διερεύνηση της Βίλλας Δουρούτη χρησιμοποιήθηκε μόνον η μέθοδος του ραντάρ, καθώς η τοιχοποιία ήταν επιχρισμένη στο μεγαλύτερο μέρος της και δεν ήταν εύκολος ο εντοπισμός των αρμών κονιάματος και της διάτρησης της τοιχοποιίας για την πραγματοποίηση ενδοσκοπήσεων.

Η παρουσία υποστυλωμάτων και δοκών ωπλισμένου σκυροδέματος στο υπόγειο και στο ισόγειο του κτιρίου, και η χρήση τσιμεντιτικού κονιάματος για το αρμολόγημα μέρους της τοιχοποιίας, θεωρήθηκαν ενδεικτικά της χρήσης ωπλισμένου σκυροδέματος σε περιοχές του κτιρίου. Παλαιότερες φωτογραφίες που βρέθηκαν στα αρχεία του Δήμου Αθηναίων, δείχνουν ότι η διάταξη και οι διαστάσεις των ανοιγμάτων ήταν διαφορετικά στην αρχική μορφή της Βίλλας Δουρούτη (Νικολοπούλου, 2011).

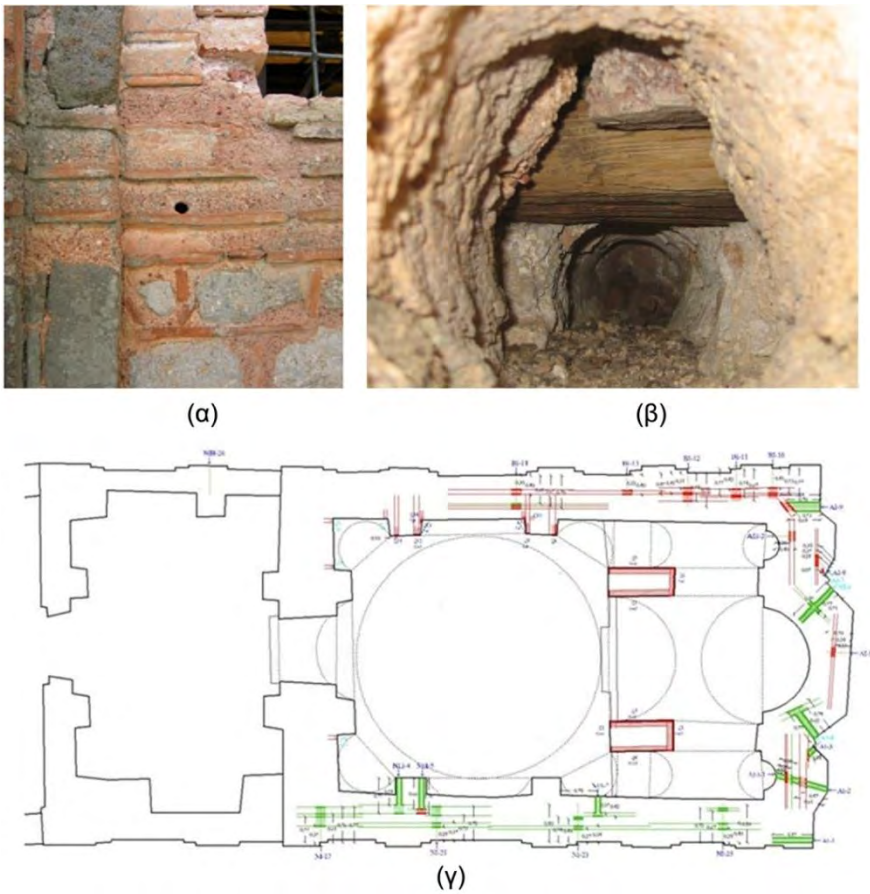
Κατά την διερεύνηση των πεσσών του ισογείου με την μέθοδο του ραντάρ, βρέθηκαν σαφείς ενδείξεις επεμβάσεων με διαφορετικά υλικά. Οι επεμβάσεις μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες: Στους πεσσούς μικρών διαστάσεων (μήκους 30-40cm), η τοιχοποιία έχει αντικατασταθεί πλήρως από ωπλισμένο σκυρόδεμα (Εικ.2(α)). Μεταξύ των πεσσών μεγαλύτερου μήκους εντοπίζονται εκείνοι στους οποίους έχει προστεθεί ωπλισμένο σκυρόδεμα, με σχετικά μεγάλες αποστάσεις συνδετήρων, σε επαφή με την τοιχοποιία (Εικ.2(β)) και εκείνοι στους οποίους δεν εντοπίζεται οπλισμός, αλλά εντοπίζεται διεπιφάνεια μεταξύ διαφορετικών υλικών (Εικ.2(γ)). Τα ευρήματα του ραντάρ συνέβαλαν στην διαμόρφωση ακριβέστερου υπολογιστικού ομοιώματος του κτιρίου και, επομένως, στην πιο ρεαλιστική αποτίμηση της κατασκευής.

Εφαρμογή της μεθόδου της ενδοσκόπησης

Η τοιχοποιία του Ναού της Παναγίας Κρήνας στην Χίο είναι τρίστρωτη, με ποικιλία μορφών. Η εξωτερική παρειά είναι κατασκευασμένη από λίθους ή (συχνότερα) από οπτόπλινθους. Ένας ιδιαίτερος τρόπος κατασκευής (με οπτόπλινθους που εξέχουν 20mm από την επιφάνεια ανά δύο σειρές-Εικ.3(α)) δημιουργεί μία μη-ομαλή επιφάνεια.

Ήταν γνωστή η ύπαρξη ξυλοδεσιών στο εσωτερικό της τοιχοποιίας, όχι όμως και η ακριβής τους θέση και η κατάστασή τους. Οι ξυλοδεσιές επηρεάζουν θετικά την αντοχή της τοιχοποιίας (Vintzileou, 2008), αλλά η φθορά τους μπορεί να γίνει πηγή αδυναμίας. Η αποκατάσταση ή

αντικατάσταση των κατεστραμμένων ξυλοδεσιών είναι μία δύσκολη επέμβαση, η οποία πρέπει να βασίζεται σε καλή γνώση της γεωμετρίας και της κατάστασης των αρχικών ξυλοδεσιών.



Εικόνα 3. (α) Το κατασκευαστικό σύστημα του Ναού της Παναγίας Κρήνας, (β) Φωτογραφία ξυλοδεσιάς με το ενδοσκόπιο, (γ) Η διάταξη των ξυλοδεσιών, με πράσινο οι θέσεις στις οποίες εντοπίστηκε κενό.

Λόγω της γεωμετρίας της εξωτερικής παρειάς της τοιχοποιίας, και της κάλυψης της ομαλής εσωτερικής παρειάς με τοιχογραφίες, η μέθοδος του ραντάρ δεν ήταν δυνατόν να εφαρμοστεί αποτελεσματικά. Οι πληροφορίες για τον τρόπο κατασκευής της τοιχοποιίας συλλέχθηκαν από περιοχές με βλάβες (μέσω άμεσης οπτικής παρατήρησης ή ενδοσκόπησης) (Παναγιωτίδου, 2006). Η καταγραφή του συστήματος των ξυλοδεσιών βασίστηκε στα αποτελέσματα έρευνας με ενδοσκόπηση σε περίπου 100

θέσεις. Η καταγραφή συμπληρώθηκε με τα εμφανή ξύλινα στοιχεία (π.χ. υπέρθυρα, βάση τρούλλου, ξυλοδεσιές πεσσών, Εικ.3(β), (γ)).

Συμπεράσματα

Με βάση τα αποτελέσματα των διερευνήσεων, τα οποία παρουσιάσθηκαν σ' αυτήν την εργασία, προκύπτει το συμπέρασμα ότι η εφαρμογή της μεθόδου του ραντάρ στην τοιχοποιία μπορεί να καταλήξει σε αξιόπιστα αποτελέσματα σχετικά με την εις βάθος γεωμετρία της τοιχοποιίας.

Ο συνδυασμός αυτής της μη-καταστρεπτικής μεθόδου με την ελάχιστα καταστρεπτική μέθοδο της ενδοσκόπησης μπορεί να βελτιώσει την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Η μέθοδος της ενδοσκόπησης ενδέχεται να χρησιμοποιηθεί και μόνη της, αν δεν υπάρχει δυνατότητα εφαρμογής της μεθόδου του ραντάρ.

Ευχαριστίες

Η εργασία πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του Προγράμματος ΘΑΛΗΣ-ΑΕΙΣ "Αειφορία και συμβατότητα προηγμένων υλικών και τεχνολογιών για την προστασία μνημείων της Πολιτιστικής Κληρονομιάς: ανάπτυξη κριτηρίων και μεθοδολογιών ελέγχου" με επιστημονικά υπεύθυνη την Καθ. Α. Μοροπούλου, με τη χρηματοδότηση του Επιχειρησιακού Προγράμματος "Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση" του Υπουργείου Πολιτισμού, Παιδείας και Θρησκευμάτων.

Βιβλιογραφία

Binda L., Cantini L., Cardani G., Saisi A. and Tiraboschi C., "Use of Flat-Jack and Sonic Tests for the Qualification of Historic Masonry", 10th NAMC, St. Louis, Missouri, (2007) 791-803.

Binda, L., Zanzi, L., Lualdi, M., Condoleo, P., "The use of georadar to assess damage to a masonry Bell Tower in Cremona, Italy", *International Journal NDT&E*, 38 (2005) 171-179.

ONSITEFORMASONRY. "Results and Research Methodologies of ONSITEFORMASONRY", EC Project Report (2005).

Palieraki, V., Vintzileou, E., Miltiadou-Fézans, A., Delinikolas, N., "The use of radar techniques and boroscopy in investigating old masonry: The case of

Dafni Monastery", *International Journal of Architectural Heritage*, 2 (2008) 155-186.

Pérez-Gracia, V., Di Capua, D., Caselles, O., Rial, F., Lorenzo, H., González-Drigo, R., Armesto, J., "Characterization of a Romanesque Bridge in Galicia (Spain)", *International Journal of Architectural Heritage*, 5 (3) (2011) 251-263.

Valluzzi M.-R., Mazzon N., Munari M., Casarin F., Modena C., "Effectiveness of injections evaluated by sonic tests on reduced scale multi-leaf masonry building subjected to seismic actions", *NDTCE'09, Non-Destructive Testing in Civil Engineering, Nantes, France,* (2009).

Vintzileou, E., "Effect of Timber Ties on the Behavior of Historic Masonry", *Journal of Structural Engineering*, 134(6) (2008) 961–972.

Νικολοπούλου Β., «Στατική κι Δυναμική Ανάλυση της επάρκειας του ιστορικού κτιρίου της οικίας Δουρούτη στο Μεταξουργείο Αθηνών, με χρήση πεπερασμένων στοιχείων. Προτάσεις συμβατών επεμβάσεων αποκατάστασης», *Διπλωματική Εργασία, ΔΠΜΣ Προστασίας Μνημείων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο* (2011).

Παλιεράκη Β., «Η χρήση ραντάρ και ενδοσκοπήσεων για την διερεύνηση παλαιών τοιχοποιιών: Εφαρμογή στη Μονή Δαφνίου», *Διπλωματική Εργασία, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο* (2003).

Παναγιωτίδου Ε., «Επιτόπου και αναλυτική διερεύνηση Βυζαντινού μνημείου: Παναγία Κρήνα, Χίος», *Διπλωματική Εργασία, ΔΠΜΣ Δομοστατικός Σχεδιασμός και Ανάλυση Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο* (2006).

Μεθοδολογίες, προδιαγραφές και καινοτόμες εφαρμογές μη καταστρεπτικών και αναλυτικών τεχνικών αποτίμησης υλικών και επεμβάσεων συντήρησης

MICROSCALE 3D RECONSTRUCTION OF DECAY ON CULTURAL ASSETS AS A SUPPLEMENTARY DIAGNOSTIC TOOL

E. Alexakis, A. Moropoulou

National Technical University of Athens, School of Chemical Engineering

Abstract

Non-destructive techniques constitute a significant tool of the integrated diagnosis, revealing various decay phenomena that develop at the interface of materials with the environment or at the interface of materials with other materials, as a function of intrinsic and extrinsic factors. This is performed at two scales, the macroscale, which focuses on determining the type of decay (morphology), and the microscale, which focuses on determining the kinetics of the phenomenon (decay rate) and its thermodynamics (susceptibility to decay). Non Destructive Techniques, validated by in-lab analyses, allow the detection of wear and degradation of cultural assets materials. Their respective signal and image analyses perform decay mapping of an asset's architectural surface and combined provide information of the pattern, the extent and the depth of decay. To this direction, three dimensional (3D) representation has also been an effective mean for studying the transformation of the built environment and its various impacts. In order to generate 3D model, the morphological features and the visual appearance of the cultural asset has to be digitally acquired and processed. This is achieved through Digital Imaging, the applications which serve multidisciplinary purposes: historical, digital documentation and preservation, analysis of material deterioration and cultural dissemination.

Μεθοδολογίες, προδιαγραφές και καινοτόμες εφαρμογές μη καταστρεπτικών και αναλυτικών τεχνικών αποτίμησης υλικών και επεμβάσεων συντήρησης

In this work, the case of monitoring different decay patterns and decay levels generating from salt crystalization under various physicochemichal processes is investigated on a highly porous biocalcarenit of the Medieval Fortification of Rhodes, an extended historic complex in a marine environment. To this purpose NDT application like Digital Image Processing and Fiber-Optic Microscopy as well as laboratory analysis of stone samples with Scanning Electron Microscopy providing with diagnostic images are upgraded to 3D high-resolution representations of the investigated decay type on the substrate material. This process combines efficiently visual information from multiple diagnostic techniques images, along with the possibility of the produced 3D model to operate in a GIS background, enriched with the valuable metadata of the diagnostic control on decay mapping. This practice could offer significant added value enhancing the precision and efficiency of the depicted form and extent of weathering through the extension of image analysis within a 3D environment, creating specific visualization of the decay degree of the asset. It provides remote, non-invasive investigation of different decay processes based on the 3D representations resulting from the non-destructive control and towards an advanced diagnostic tool for a more effective management of environmental risks.

INTRODUCTION

Materials decay

For built cultural heritage, decay can be defined as the degradation over time of the materials' properties and characteristics. Materials' degradation implies an alteration of the structure in such a way that they fail to serve their original functions. The decay of materials and structures under the environmental loads is not generalized. Each case should be dealt in the direction of revealing the specific active mechanism. This is performed at three scales: 1) the macroscale, focusing on aspects of the building, such as the vulnerability of its structure, environmental dangers, human impact

and natural hazards, 2) the mesoscale, which focuses on determining the type of decay (morphology) and 3) the microscale, which focuses on determining the kinetics of the phenomenon (decay rate) and its thermodynamics (susceptibility to decay) [1]. Since decay phenomena develop at the interface of materials with their environment, or at the interface of materials with other materials, they are dependent on intrinsic (e.g. type of materials and the "history" of interventions on the building, compatibility issues, etc.) and extrinsic factors (atmospheric pollution, the interaction with water, aerosol, precipitations and rising damp, salt crystallization, earthquake loading etc.). For both aspects, i.e. macroscopic investigation and decay mapping, it is important to utilize, wherever possible, non-destructive measuring "tools" that offer advanced analytical capabilities, due to the limitations imposed regarding sampling in the cases of built cultural heritage assets.

Integrated decay diagnosis

The safeguarding of built Cultural Heritage (CH) is of major concern to the Society as it is an important element of our living environment, our past and our future [2]. The interest of the scientific community to protect Cultural Heritage prompted technological advancements coming from various scientific disciplines for the systematic condition assessment of monuments; utilization of innovative materials and computer aided methodologies for the monitoring, maintenance, conservation and protection of the monument's behaviour against decay factors. The research is mainly focused on two main fields: a) Built cultural heritage (documentation, assessment, diagnosis, materials, intervention techniques, etc.) and b) Added value and sustainability of the cultural heritage (management, exploitation, monitoring, maintenance, etc.). To this end, non-destructive instrumentation are valuable, wherever they can substitute analytical techniques and while providing the same quality of information. Advanced imaging systems measurements can be utilized (further processed) and create new information (metadata) and/or new ways of visualization (three dimensional representation).

The available imaging instruments include analytical systems such as the "classical" optical microscopes, endoscopes, digital microscopes, confocal microscopes, atomic force microscopes, and electron microscopes. For most built cultural heritage applications, the two main limiting requirements for the imaging systems are that they are a) non-destructive and b) portable, so as to perform measurements in-situ without the need for sampling. Portable digital microscopes are increasingly used in this field, due to their capability to meet these requirements, while providing images of high quality and adequate magnifications, for the characterization of building materials or their decay products. In particular, portable digital microscopy is employed to identify differences in the texture and composition of surfaces, for materials classification (e.g. classifications of mortars), for the study of the decay phenomena (alveolar weathering, hard carbonate crust etc.) [3], to investigate materials' surface morphology to identify defects in historic building materials [4], for materials characterization [5], to classify decay typologies for porous stones [6], to evaluate cleaning interventions [7], consolidation interventions [8] [9] and incompatible interventions, and to study the preservation state of mosaics [10] [11]. Furthermore, images from digital microscope can be further analysed with Digital Image Processing and morphological fusion algorithms to detect and quantify decay patterns on building materials [12].

Digital Image Processing (DIP) is a category of digital signal processing. It refers to the use of computer algorithms to perform image processing on digital images through various fundamental steps, which can be grouped in two broad categories [13]: a) methods whose input and output are images, and b) methods whose inputs may be images, but whose outputs are attributes extracted from those images. The first group includes processes such as image acquisition, image enhancement, image restoration, colour image processing, wavelets and multiresolution processing and compression. The second group includes processes such as morphological processing, segmentation, representation and description, and recognition. Depending on the level of analysis and the required information to be obtained, not every process is needed to be applied to an image. DIP is been increasingly used in the field of conservation and protection of built cultural heritage for measuring construction materials' micro-structural characteristics, for performing decay diagnosis, for

weathering damage analysis, assessment and monitoring of conservation - protection - restoration interventions [14] [15]. DIP allows the classification, the extraction of features and the recognition of patterns on architectural surfaces of monuments [16], both at the macroscale (photographs) and the microscale (e.g. from images from digital microscopy [12], or scanning electron microscopy [17].

The aim of the present work is through the utilization of measurements coming from both Analytical (Scanning Electron Microscopy) and Non Destructive Techniques (Fibre Optical Microscope) to create new forms of decay representation (3D), enhancing this way the diagnostic methodology approach. Additionally, Digital Image Processing on diagnostic images could generate information regarding decay (grain size distribution, texture misorientation angle distribution etc.) that not only can be used as useful metadata but can also find applications in future efforts of Finite Element Modelling. The software that will be used for the image processing is the MountainsMap® (Digital Surf) and it provides dedicated imaging and metrology software packages for the widest range of instrument families. Each dedicated MountainsMap® package brings highly valuable functions to a specific type of microscope, profilometer or spectrometer including: Imaging and Analysis.

EXPERIMENTAL PROCEDURE

Medieval City of Rhodes fortifications

For the purposes of the present study; DIP and 3D representation of the decay, measurements coming from the historic masonries of the medieval city of Rhodes are being used due to the intense marine environment and the climatic conditions that contribute to the weathering activity of NaCl. The relative humidity fluctuating around the annual average value of 70% permits NaCl crystallization, occurring below 75% which is the equilibrium relative humidity of this salt. The average maximum and minimum values of the temperature are 26.6 and 12.6 °C, while the height of average

annual precipitation is 652 mm [18]. It is well known that in porous stones, NaCl precipitation on and beneath a surface depends on the solution supply and the evaporation rate according to the microclimate and the effective pore structure [19].

From previous work, the presence of adequate salt concentrations in the porous stones of the monument has been demonstrated where NaCl is prevailing [20]. The building material is a fossiliferous calcareous sandstone, which has already been examined for its physicochemical and petrographic features [21]. The high level of chlorides, found in the decay products as well as in the outer layer of the walls, proved that the soluble salts from sea salt spray and ground water that were present help interpret the principal weathering form, that is, granular disintegration (alveolar weathering) [20]. The morphology of a NaCl crystal is determined by internal, structural factors such as crystal lattice, and by external factors such as supersaturation, composition and impurities of the solution nourishing the growing crystal [22] and the solution transfer phenomena. The place where NaCl precipitates on and beneath a surface of porous stone depends on the solution supply and the evaporation rate [23]. In heterogeneous systems, these accumulations become irregular according to the "effective" pore structure [24].

Another decay type that is observed (in lower proportions than the salt decay) on the monuments masonries surfaces is the hard acidic carbonate crust and it is directly correlated with the concentration of HCO_3^- ions in the stones rather than the irradiation exposure [25] [26]. Finally, a mixture of the two previous types of decay is also observed over the fortifications masonries and it is described as selective alveolar weathering in an environment of hard acidic carbonate crust and it can be correlated with the turbulent air and the sun radiation exposure [25] [26]. To summarize, the microclimatic conditions controlling the evaporation process and determining the decay patterns have been evaluated the alveolar decay has been verified as principal weathering form in the masonry facing the sea. Additionally, stone chemical composition (e.g. concentration of HCO_3^- ions) is the reason for the creation of the hard acidic carbonated crust, a decay type which is possible to coexist and combine with the alveolar weathering. Hence, in order to study all mentioned decay types in depth, Analytical and Non Destructive Techniques (SEM and FOM)

measurements over stone samples-specimens from the monument weathered masonries have been chosen.

Sampling

Sampling on over 20 positions (Figure 1) of the monument's masonries has been performed, providing SEM [18] and FOM [27] measurements for the 3D decay visualization. Fractured sections from these samples were prepared for Scanning Electron Microscopy by treating the free unpolished surface with a conductive layer of metal (Au). The samples taken in depth of 0-3 cm and they were examined under Scanning Electron Microscope (SEM, Jeol 733 Super-Probe). For the measurements taken by FOM there had been no special treatment of the sample as they were made in situ over the studied surfaces. In the present study, measurements that depict all the various types of decay (alveolar weathering, hard acidic carbonate crust and mixed decay) have been chosen, coming from either SEM or FOM. The positions where the samples come from is 1) the Gates of St. Paul, 2) the Trench and 3) the tower I at the section of Auvergne (respective positions 1, 9 and 12 in Figure 1).

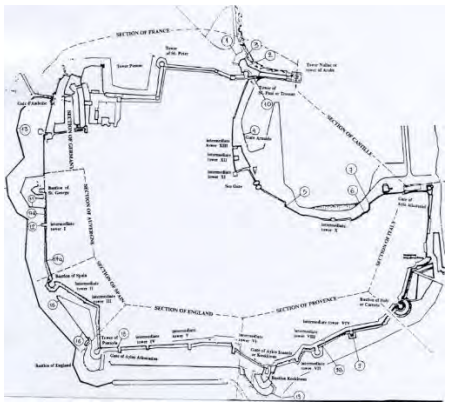


Figure 1. Map of the Medieval City of Rhodes and the sampling positions labeled by numbers [27]

RESULTS AND DISCUSSION

Three dimensional (3D) decay visualization

In this work, a 3D representation-visualization of certain decay types (alveolar weathering, hard carbonate crust and mixed decay) is illustrated followed by a Digital Image Processing analysis that provides extra information about the decay. MountainsMap 7 software is utilized in order to achieve the mentioned. Mountains Map 7 is a surface imaging and metrology software which provides the capability of 3D dimensional visualization given a single image, a couple or a quadruple set of images. In the latter two cases the reconstruction is realized with the use of stereo photogrammetric techniques and metrological values of the third dimension are calculated whereas in the first case depth information can be corresponded to image luminance. Additional software tools make feasible the Digital Image Processing and the extraction of features and information that would allow the future continuation of the research.

In Figure 2, a SEM measurement taken from the Gate of St. Paul (Figure 1) reveals the initial stages of salt growing in the stone porous. Salt crystallization and subsequent growing salt crystal is the main factor of alveolar weathering. On the upper side of Figure 3, the SEM image has been converted to a surface where the colors and the values along the Z-axis have a metrological value. The details concerning the Z axis have been chosen to be supplied in the form of Gray Levels (GL). The position of a point on the Z-axis is based on the calculation of the light intensity of the colour of this point in the image. The luminance is calculated as the mean value of the color components (RGB) and the standard used to convert the luminance and chrominance information into a colour scale is the NTSC standard. On the lower side of the same figure, a topography reconstruction from a single SEM image could be considered as a kind of 3D enhancement of a single SEM image as the shading information is converted into shape. For homogeneous plane surfaces, presenting only little and significant shading, with small and relatively plane

objects. 3D enhancement is only possible if the sample surface is inclined to the SEM's electron gun. Finally, the lighting and shading information is homogenized for the whole image, reducing the impact of dark parts on the form of the surface.

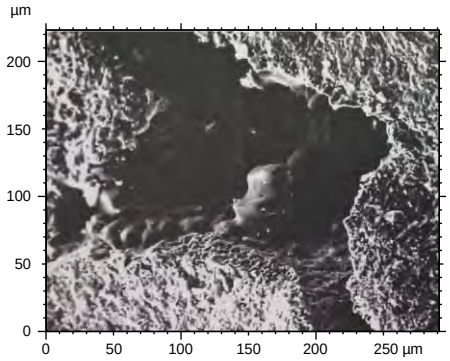


Figure 2. Initial stages of salt crystallization in the stone porous provoking the alveolar weathering decay [18].

A 3D representation corresponding to the information of the Gray Level (GL) scale of the upper image of Figure 3, is illustrated in the left image of Figure 4. Each colour correspond to the GL value lying in the upper image of Figure 3. The middle image of Figure 4 is the 3D representation based on the information coming from the topographic layer of the lower image of Figure 3. As the z-axis values do not have a metrological sense, the values of z-axis are not illustrated. Finally, a three dimensional representation of the SEM measurement of Figure 2 is illustrated in the third image of Figure 4. The initial stages of salt columnar crystallization is clearly depicted within the stone porous where an initial interaction of the crystal with the stone walls starts to be developed.

Μεθοδολογίες, προδιαγραφές και καινοτόμες εφαρμογές μη καταστρεπτικών και αναλυτικών τεχνικών αποτίμησης υλικών και επεμβάσεων συντήρησης

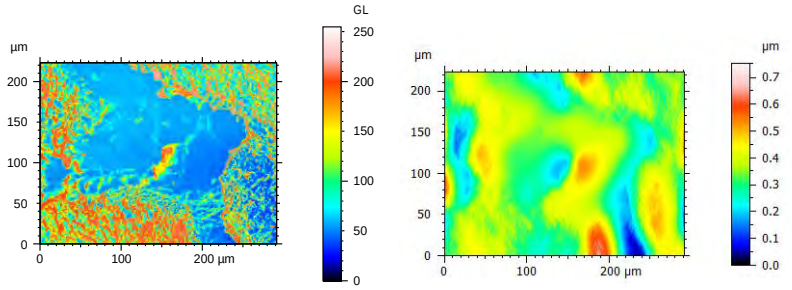


Figure 3 Left: The position of a point on the Z-axis is based on the calculation of the light intensity of the color of this point in the age (Gray Levels). **Right:** topography reconstruction where the shading information is converted into shape

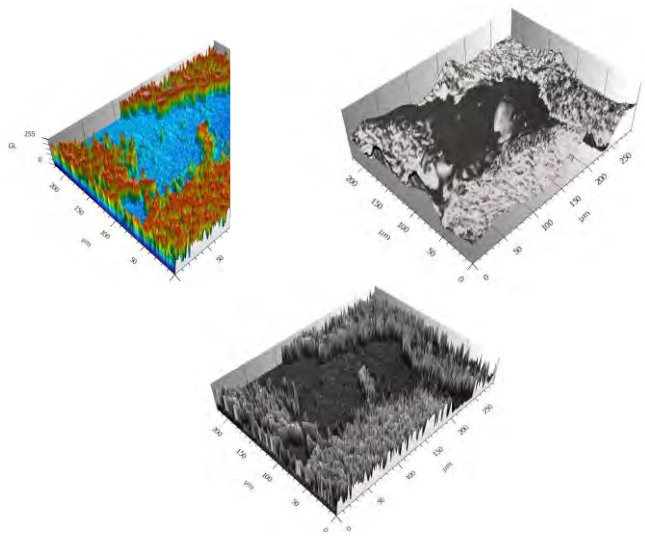


Figure 4. Three dimensional models created from the information coming from Figure 3

Upper left image of Figure 5 illustrates a FOM measurement [27], taken from the tower I at the section of Auvergne (point 12 on Figure 1), representing the hard carbonate crust (grey colour) over the surface of the wall. On the right image of Figure 5, the topographic layer is demonstrated comprising the 3D enhancement for the reconstructed model illustrated on the third image (lower left image). Despite the fact that the z-axis values has no metrological meaning,

in the 4th image of Figure 5 the decay is clearly depicted as an extra layer over the stone (grey areas are depicted higher) validating the fact that the particular type of decay is settled over the stone as a crust.

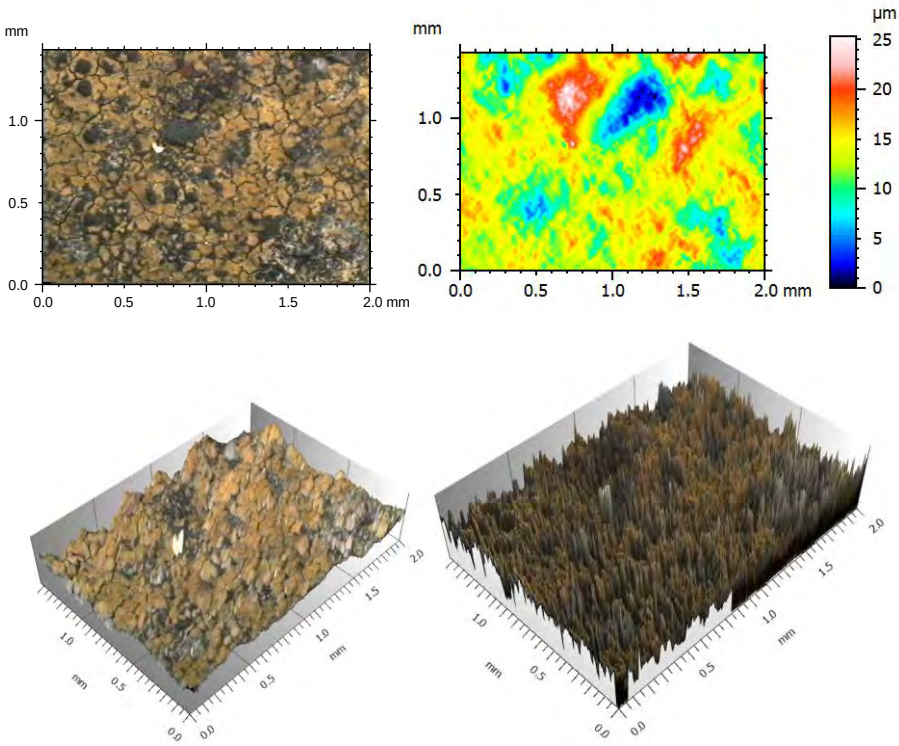


Figure 5. 3D representations of the hard carbonated crust decay observed on the Medieval City Fortification walls

In Figure 6, the mixed decay type (alveolar weathering and hard acidic carbonate crust) have been measured by the portable Fiber Optical Microscope (FOM) at the Intermediate Tower VIII (point 9β of Figure 1) [27]. Like previously, a 3D visualization of the decay has been realized and illustrated in the same Figure. In this FOM image, the surface is segmented and the different structures are discriminated, making it possible to retain significant structures only and to eliminate local peaks and hollows that do not play a functional role in the measured part. Moreover, the possibility to locate and map the particular types of decays making it easier to understand the functional role of each individual decay type on the surface. The particular

Μεθοδολογίες, προδιαγραφές και καινοτόμες εφαρμογές μη καταστρεπτικών και αναλυτικών τεχνικών αποτίμησης υλικών και επεμβάσεων συντήρησης

study not only facilitates the structural analysis for the recreation of the materials microstructure but it also assists in the understanding of the surface interaction with another surface. More statistical information like the distribution of the area and the orientation of the motifs (Figure 6) can be extracted from this type of analysis that could be contribute to a future Finite Element Modelling of the decay mechanism and its interaction with the original material.

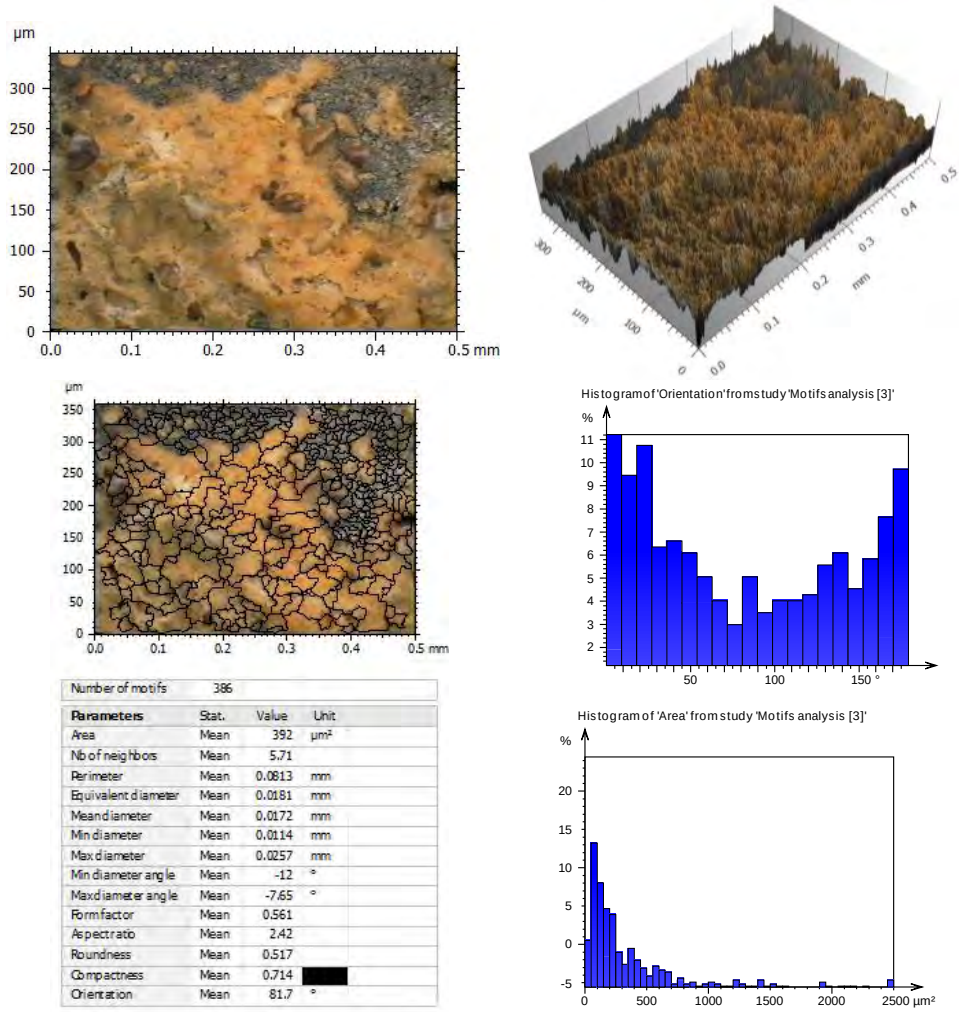


Figure 6. 3D Visualization of mixed decay and Digital Image Processing for the extraction of statistical information for structural analysis

CONCLUSIONS - FUTURE WORK

Physical, chemical, biological and environmental factors deteriorate the preservation state of the cultural heritage assets. Regarding the assessment of the built cultural heritage state, Analytical and Non Destructive Techniques hold a key role for the diagnosis, assessment and classification of materials decay. New ways of information representation can enhance the diagnostic methodology approach not only to from the aspect of visualization that reveals the phenomena to their real dimensions but also from the perspective of extracting new information and knowledge (e.g. decay depth). To summarize, this work has given the opportunity of a 3D representation of the different decay patterns and decay levels generating from salt crystallization under various physicochemical processes on a highly porous biocalcarenit of the Medieval Fortification of Rhodes. New information and data have been derived through images analyses of NDT techniques application like FOM and laboratory analysis of stone samples with SEM examination by upgrading to 3D high-resolution representations of the investigated decay type. Future work will include accurate calculations of the Z-Axis values by applying new ways of data acquisition and employing the techniques of the stereo photogrammetry. Digital Image Processing, has provided the means for the structural analysis and a future modelling of the materials microstructure and its interaction with the environment and the on-going decay mechanisms and processes. New information (visual and the statistical) and the existed one (diagnostic techniques images) could be efficiently integrated within an information system background (e.g. GIS) and be enriched with the valuable metadata of the diagnostic control on decay mapping. This practice could offer significant added value enhancing the precision and efficiency of the depicted form and extent of weathering through the extension of image analysis within a 3D environment.

Μεθοδολογίες, προδιαγραφές και καινοτόμες εφαρμογές μη καταστρεπτικών και αναλυτικών τεχνικών αποτίμησης υλικών και επεμβάσεων συντήρησης

REFERENCES

[1] Kioussi A., Karoglou M., Labropoulos K., Bakolas A. and Moropoulou A., "Integrated documentation protocols enabling decision making process in cultural heritage protection," *Journal of Cultural Heritage,* vol. 14S, pp. e141-e146., 2013.

[2] UNESCO, "Convention concerning the protection of the World Cultural and Natural Heritage, adopted by the General Conference at its seventeenth session," Paris, 16 November 1972.

[3] Moropoulou A. and et al., "Techniques and methodology for the preservation and environmental management of historic complexes - The case of the Medieval City of Rhodes," in *In. A. Moropoulou, F. Zezza, E. Kollias & I. Papachristodoulou (Ed.), 4th International Symposium on the Conservation of the Monuments in the Mediterranean Basin*, 1997.

[4] Moropoulou A., "Quality control of building materials of National Technical University of Athens Zografou Campus Athens 2004 Olympic Games Building," Scientific responsible: A. Moropoulou, National Technical University of Athens, Athens, 2004.

[5] Moropoulou A., Tsiourva Th., Theoulakis P., Christaras B. and Koui M., "Non- destructive evaluation of pilot scale treatments for porous stone consolidation in the Medieval City of Rhodes," *Journal of the European Study Group on Physical, Chemical, Biological and Mathematical Techniques Applied to Archaeology,* vol. 56, pp. 259-278, 1998.

[6] Moropoulou A., Koui M., Tsiourva Th., Kourteli Ch. and Papasotiriou D., "Macro- and micro non destructive tests for environmental impact assessment on architectural surfaces," in *P.B. Vandiver, J.R. Druzik, J.F. Merkel, J. Stewart (Ed.), Materials Issues in Art and Archaeology*, Pittsburgh: Materials Research Society, 1997.

[7] Moropoulou A., Delegou E.T., Avdelidis N.P. and Koui M., "Assessment of cleaning conservation interventions on architectural surfaces using an intergrated methodology.," in *P. Vandiver, M. Goodway, J.R. Druzik, J.L. Mass (Ed.), Materials Issues in Art and Archaeology VI, Vol. 712 (pp.69-76).* , Pittsburgh: Materials Research Society, 2002.

Μεθοδολογίες, προδιαγραφές και καινοτόμες εφαρμογές μη καταστρεπτικών και αναλυτικών τεχνικών αποτίμησης υλικών και επεμβάσεων συντήρησης

[8] Moropoulou A., Haralampopoulos G., Tsiourva Th., Theoulakis P. and Koui M., "Long term performance evaluation of consolidation treatments in situ," in *In: G. Biscontin, G. Driussi (Ed.), Scienza e Beni Culturali XVI (pp. 239-255)*, Arcadia Ricerche S, 2000.

[9] Moropoulou A., Theoulakis P., Tsiourva Th. and Haralampopoulos G., "Compatibility evaluation of consolidation treatments in monuments scale," *PACT, J. European Study Group on Physical, Chemical, Biological and Mathematical Techniques Applied to Archaeology,* vol. 59, pp. 209-30, 2000.

[10] Moropoulou A., Avdelidis N.P., Delegou E.T., Gill C.H. and Smith J., "Study of deterioration mechanisms of vitreous tesserae mosaics," in *G. Biscontin, G. Driussi (Ed.), Scienza e Beni Culturali XVIII (pp. 843-851)*, Arcadia Ricerche S.r.l., 2002.

[11] Moropoulou A., Karoglou M., Labropoulos K.C., Delegou E.T., Katsiotis N.K. and B. A., "Application of non-destructive techniques to assess the state of Hagia Sophia's mosaics," in *T. Matikas (Ed.), Proc. SPIE 8346, Smart Sens*, 2012.

[12] Kapsalas P., Maravelaki-Kalaitzaki P., Zervakis M., Delegou E.T. and Moropoulou A., "A morphological fusion algorithm for optical detection and quantification of decay patterns on stone surfaces.," *Construction and Building Materials,* vol. 22(3), pp. 228-238, 2008.

[13] Gonzalez R.C. and Woods R.E., Digital Image Processing, 3rd edition., NY: Prentice Hall, 2007.

[14] Vazquez M.A., Galan E., Guerrero M.A. and Ortiz P., "Digital image processing of weathered stone caused by efflorescences: A tool for mapping and evaluation of stone decay," *Construction and Building Materials,* vol. 25, p. 1603 – 1611., 2011.

[15] Zezza F., "Digital Image Processing in weathering damage analysis and recovery treatments monitoring," in *M. Ioannides (Ed.), EuroMed* , LNCS 6436. (pp. 71 – 84), 2010.

[16] Moropoulou A., Koui M., Theoulakis P., Kourteli Ch. and Z. F., "Digital Image Processing for the environmental impact assessment on architectural surfaces," *Journal of Environmental Chemistry and Technology,* vol. 1, pp. 23-32, 1995.

[17] Moropoulou A., Delegou E.T., Vlahakis V. and Karaviti E., "Digital processing of SEM images for the assessment of evaluation indexes of cleaning interventions on Pentelic marble surfaces," *Materials Characterization,* vol. 58(11–12), pp. 1063-69., 2007.

Μεθοδολογίες, προδιαγραφές και καινοτόμες εφαρμογές μη καταστρεπτικών και αναλυτικών τεχνικών αποτίμησης υλικών και επεμβάσεων συντήρησης

[18] Theoulakis P., PhD Thesis: Causes and Mechanisms of Decay of the Sandstone of the Medieval City of Rhodes, Athens: School of Chemical Engineering, NTUA, 1993.

[19] Moropoulou A. and Theoulakis P., "Salt Crystal Growth as Weathering Mechanism of Porous Stone on Historic Masonry," *Journal of Porous Materials,* vol. 6, pp. 345-358, 1999.

[20] Moropoulou A., Theoulakis P., Tsiourva T., Kourteli C. and Labropoulos K., "Materials Issues in Art and Archaeology IV," in *edited by J.R. Druzik and P.B. Vandiver (Materials Research Society), Vol. 352, p. 893.*, Pitsburgh,, 1995.

[21] Skoulikidis Th, Theoulakis P., Moropoulou A. and Beloyannis N., "The sandstone of Rhodes. Decay patterns - preservation means.," in *1st Int. Colloque on Restoration History and Problems of the Medieval City of Rhodes. UNESCO-Rhodes Bureau de Restoration Rhodes, pp. 209-223*, Rhodes, 1986.

[22] Zehnder K. and Arnold A., "Proceedings of the 6th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, edited by J. Ciabach," Nicholas Copernicus University Press, Torun, p. 320., September 1988.

[23] Lewin S., Conservation of Historic Buildings and Monuments, Washington DC,: National Academy Press, p. 120, 1982.

[24] Moropoulou A. and Theoulakis P., "Proceedings of the 2nd International Symposium for the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin, edited by D. Decrouez, J. Chamay and F. Zezza," Ville de Geneve, Museum d'Histoire Naturelle and Musse d'Art et d'Histoire, Geneva, p. 493., 1991.

[25] Moropoulou A., Theoulakis P. and Chrysophakis T., "Correlation between stone weathering and environmental factors in marine atmosphere," *Atmospheric Environment,* Vols. 29, No 8, pp. 895-903., 1995.

[26] Moropoulou A., Bisbikou A., Van Grieken R. and Torfs K., "Correlation between aerosols deposits and weathering crusts on ancient marbles," *Environmental Technology,* vol. 22, 2001.

[27] Kourteli Ch., PhD Thesis: Evaluation of Environmental Effects on the Monuments' Structural Materials - Management of Environmental Decay Factors, Athens: School of Chemical Engineering, NTUA, 2001.

Μεθοδολογίες, προδιαγραφές και καινοτόμες εφαρμογές μη καταστρεπτικών και αναλυτικών τεχνικών αποτίμησης υλικών και επεμβάσεων συντήρησης

Μη καταστρεπτική μεθοδολογία έρευνας για τη μελέτη των χρυσών και αργυρών ψηφίδων από τα ψηφιδωτά του καθολικού της Μονής Δαφνίου (A non-destructive research methodology for the study of gold and silver leaf glass tesserae from the mosaics of the Daphni Monastery)

Π. Λουκοπούλου, Α. Μοροπούλου

Abstract

The aim of current research was to establish a non-destructive evaluation of the nature and decay of gold and silver leaf glass tesserae, from the wall mosaics of the Katholikon (church) of the Monastery of Dafni (included in the UNESCO World Heritage List). The Monastery of Daphni, dated to the 11th century, is an important monument of the Byzantine period because of its architecture and wall mosaics decoration.

Metal-leaf (gold or silver) tessera is a unique type of glass tessera due to its sophisticated manufacture technique - a metal leaf is enclosed between two layers of normally transparent glass, a layer of glass serving as the support and a second layer of glass acting as the cover. The production of the metal-leaf glass tessera necessitates an high expertise of the glassworker, while inevitably influences its durability. In addition, the creation of the gold background of the wall mosaics demanded a enormous number of tesserae; however till today this type of glass tesserae has not been the subject of a systematic research.

The research incorporated the macroscopic examination of a large number of tesserae detached and in situ, further investigation via a systematic microscopic examination and analysis of selected tesserae-samples. Tesserae were analysed as received, without sample preparation, mainly using scanning electron microscopy coupled with energy dispersive x-ray spectroscopy and supplementary micro-proton induced X-ray and γ-ray emission spectrometry (μ-PIXE/ PIGE) in Debrecen, Hungary (access obtained by the European Commission, through the Consortium CHARISMA -Fixlab).

The chosen research methodology facilitated the investigation of the manufacture technique based on the study of physical characteristics, the non-

destructively and non-invasively chemical analysis using well established and innovated techniques for selected samples, the study of the corroded areas surface and not in section; and the correlation of altered glass morphology with microstructure.

The combined use of the optical assessment and the selected physicochemical techniques, obtained important results concerning the technology and decay of metal-leaf glass tesserae. Establishing that a research methodology based on a non-destructive analysis could be effective and demonstrating the important role of optical examination for results interpretation.

Περίληψη

Σκοπός της έρευνας ήταν η μελέτη των φυσικών χαρακτηριστικών και της αλλοίωσης των χρυσών και αργυρών ψηφίδων, με μη καταστρεπτική μεθοδολογία και με συγκεκριμένο αντικείμενο τα ψηφιδωτά του καθολικού της Μονής Δαφνίου (Μνημείο Παγκόσμιας Πολιτιστικής Κληρονομιάς της UNESCO). Η Μονή Δαφνίου χρονολογείται στον 11ο αιώνα, και θεωρείται ένα από τα πιο σημαντικά μνημεία της μεσοβυζαντινής περιόδου, λόγω της αρχιτεκτονικής και της εξαιρετικής της ψηφιδωτής της διακόσμησης.

Οι χρυσές και οι αργυρές ψηφίδες αποτελούν ιδιαίτερη κατηγορία των γυάλινων ψηφίδων λόγω της τεχνικής κατασκευής τους. Συγκεκριμένα, ένα μεταλλικό φύλλο (χρυσού ή αργύρου) εγκλωβίζεται ανάμεσα σε δύο στρώματα συνήθως διαφανούς γυαλιού, το γυαλί υποστρώματος και ένα λεπτό δεύτερο στρώμα, το γυαλί επικάλυψης. Η τεχνική κατασκευής των γυάλινων χρυσών και αργυρών ψηφίδων, απαιτεί ιδιαίτερη επιδεξιότητα από τον τεχνίτη-υαλουργό, ενώ αναπόφευκτα επηρεάζει την ανθεκτικότητά τους στη διάβρωση. Παράλληλα, η κατασκευή του χρυσού βάθους για τις παραστάσεις των εντοίχιων ψηφιδωτών απαιτεί τη χρήση ενός υπέρογκου αριθμού ψηφίδων. Ωστόσο, μέχρι σήμερα η φύση και η φθορά των γυάλινων ψηφίδων με μεταλλικό φύλλο δεν έχει αποτελέσει το αντικείμενο συστηματικής έρευνας.

Η έρευνα περιελάμβανε τη διεξοδική μακροσκοπική παρατήρηση μεγάλου αριθμού ψηφίδων, αποσπασμένων και *κατά χώρα* στο μνημείο, την περαιτέρω διερεύνηση των πορισμάτων της μακροσκοπικής εξέτασης, μικροσκοπικά και την ανάλυση επιλεγμένων ψηφίδων- δειγμάτων. Οι ψηφίδες αναλύθηκαν ολόκληρες χωρίς προετοιμασία δείγματος με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης σε συνδυασμό με φασματοσκοπία ακτίνων Χ ενεργειακής διασποράς και επικουρικά με μικρο-φασματοσκοπία ακτίνων Χ και ακτίνων γ επαγόμενων από πρωτόνια (μ-PIXE-PIGE) στο

Debrecen της Ουγγαρίας, στο πλαίσιο του Ευρωπαϊκού προγράμματος CHARISMA (Fixlab).

Η επιλεγμένη μεθοδολογία έρευνας επέτρεψε, τη μελέτη της τεχνολογίας κατασκευής των ψηφίδων με μεταλλικό φύλλο βάσει της εμπεριστατωμένης εξέτασης των φυσικών χαρακτηριστικών, τη μη καταστρεπτική και μη παρεμβατική χημική ανάλυση με τη χρήση αναγνωρισμένων τεχνικών και για ορισμένα δείγματα με νέες καινοτόμες τεχνικές, την εξέταση των αλλοιωμένων περιοχών του γυαλιού κατά πρόσωπο και όχι σε τομή και τον συσχετισμό της μορφολογίας της φθοράς με την μικροδομή.

Η συνδυασμένη χρήση της οπτικής εξέτασης και των επιλεγμένων φυσικοχημικών τεχνικών, λειτούργησαν συνεργιστικά και απέδωσαν σημαντικά αποτελέσματα για τη τεχνολογία και τη φθορά των ψηφίδων με μεταλλικό φύλλο. Αποδεικνύοντας την αποτελεσματικότητα μιας μη καταστρεπτικής μεθοδολογίας έρευνας και τεκμηριώνοντας τη συνεισφορά της οπτικής παρατήρησης στην ερμηνεία των φαινομένων.

Εισαγωγή

Το εντοίχιο ψηφιδωτό αποτέλεσε την εμβληματική μορφή της βυζαντινής τέχνης και οι ψηφίδες με μεταλλικό φύλο, ειδικά οι χρυσές, χρησιμοποιήθηκαν εκτενώς από την εποχή όπου καθιερώνεται το χρυσό βάθος στις παραστάσεις (περίπου 6ος αιώνας). Η κατασκευή των ψηφιδωτών παραστάσεων προϋποθέτει τη χρήση ενός υπέρογκου αριθμού ψηφίδων. Ενδεικτικά η καταμέτρηση χρυσών ψηφίδων στην Μ. Δαφνίου υποδεικνύει ένα μέσο όρο περίπου 20,000 ψηφίδων ανά $1m^2$. Οι ψηφίδες με μεταλλικό φύλο διαφέρουν από τις υπόλοιπες γυάλινες λόγω του τρόπου κατασκευής τους. Αποτελούνται από ένα στρώμα γυαλιού που λειτουργεί ως υπόστρωμα, ένα λεπτό μεταλλικό φύλλο (χρυσός, άργυρος ή κράμα) και ένα δεύτερο πολύ λεπτότερο στρώμα γυαλιού που επικαλύπτει και προστατεύει το μεταλλικό φύλλο. Αρχικά κατασκευάζεται ένας υαλόδισκος από τον οποίο στη συνέχεια αποκόβονται οι ψηφίδες στο επιθυμητό μέγεθος, συνήθως σε τετράγωνο σχήμα. Οι ψηφίδες με διακόσμηση μεταλλικού φύλλου, λόγω της διαστρωματικής κατασκευής τους θεωρούνται λιγότερο ανθεκτικές από τις υπόλοιπες γυάλινες. Παρόλα αυτά, η φύση και η φθορά τους δεν έχει αποτελέσει το αντικείμενο συστηματικής έρευνας.

Μεθοδολογίες, προδιαγραφές και καινοτόμες εφαρμογές μη καταστρεπτικών και αναλυτικών τεχνικών αποτίμησης υλικών και επεμβάσεων συντήρησης

Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Η μέχρι πρότινος μελέτη των εντοίχιων ψηφιδωτών αφορούσε κυρίως την εικονογραφία των παραστάσεων. Οι γυάλινες ψηφίδες σε σύγκριση με άλλες κατηγορίες γυάλινων αντικειμένων, έχουν αναλυθεί περιορισμένα, ενώ το γυαλί της βυζαντινής περιόδου δεν έχει μελετηθεί όσο άλλων εποχών όπως προ-ρωμαϊκό, ρωμαϊκό κλπ. Ο τρόπος κατασκευής των ψηφίδων με μεταλλικό φύλλο αναφέρεται συνήθως επιγραμματικά (Swift 1934, Bustacchini 1973, Dundabin 1999, James 2006) και σπανιότερα με περισσότερες λεπτομέρειες (Verità 1996, Verità 2000, Verità 2006).

Τα τελευταία τριάντα χρόνια έχει μελετηθεί η σύσταση και κατ' εξαίρεση η αλλοίωση των ψηφίδων από έγχρωμο γυαλί (Freestone κ.ά. 1990, Verità 1996, Shugar N. 2000, Verità κ.ά. 2000, Fiori κ.ά. 2002α, Fiori κ.ά. 2002β, Verità κ.ά. 2002α, Verità κ.ά. 2002β, Branda κ.ά. 2002, Fiori κ.ά. 2007, Arletti κ.ά. 2010, Arletti κ.ά. 2011α, Arletti κ.ά.2011β) αλλά δεν έχει παρουσιαστεί ο ίδιος βαθμός ενδιαφέροντος για τις ψηφίδες με μεταλλικό φύλλο οι οποίες είναι κατασκευασμένες από σχεδόν άχρωμο γυαλί. Σε αρκετές δημοσιεύσεις ανάμεσα στις ψηφίδες που αναλύονται εμπεριέχεται και ένας μικρός αριθμός γυάλινων χρυσών ψηφίδων (Freestone κ.ά. 1990, Verità κ.ά. 2000, Verità κ.ά. 2002α, Verità κ.ά. 2002β, Arletti κ.ά. 2010). Η εξέταση των ψηφίδων υλοποιείται με τις συνήθεις μεθόδους για την ανάλυση του γυαλιού (SEM-EDS, WDS, XRF κλπ.) οι οποίες απαιτούν προετοιμασία στιλπνής τομής για να επιτευχθεί ακρίβεια στη μέτρηση. Οι περιορισμοί στην δειγματοληψία των αντικειμένων της πολιτιστικής κληρονομιάς συνήθως περιορίζουν τον αριθμό των ψηφίδων που μελετούνται, με αποτέλεσμα να εντοπίζεται κενό στην έρευνα τόσο γιατί οι αναλύσεις αφορούν μικρό αριθμό δειγμάτων από κάθε μνημείο, όσο και γιατί συχνά πραγματοποιούνται συγκρίσεις από μνημεία που χρονολογούνται σε διαφορετικές εποχές (Silvestri κ.ά.2011).

Με εξαίρεση τις εργασίες των Fiori κ.ά (1989) και Verità (2006), μόλις τα τελευταία χρόνια εντοπίζονται δημοσιεύσεις για την ανάλυση χρυσών ψηφίδων (Silvestri κ.ά. 2011, Conventi κ.ά. 2012, Neri και Verità 2013). Εντυπωσιακά ελλιπής είναι ο αριθμός των αργυρών ψηφίδων που έχουν μελετηθεί και περιορίζονται σε έξη ψηφίδες (Verità κ.ά. 2000, Brill 1999, Silvestri κ.ά. 2011). Στοιχεία για τη σύσταση (γυαλιού - μεταλλικού φύλλου) δύο αργύρων ψηφίδων έχουν επίσης δημοσιευτεί στο πλαίσιο της διερεύνησης των ψηφιδωτών της Αγίας Σοφίας (Moropoulou κ.ά. 2002α, Moropoulou κ.ά. 2002β). Τέλος, ελάχιστες είναι οι απόπειρες για μη παρεμβατική ανάλυση και συχνά ο τρόπος παρουσίασης των πειραματικών δεδομένων δεν επιτρέπει τη σύγκριση.

Μεθοδολογίες, προδιαγραφές και καινοτόμες εφαρμογές μη καταστρεπτικών και αναλυτικών τεχνικών αποτίμησης υλικών και επεμβάσεων συντήρησης

Η μελέτη της αλλοίωσης των γυάλινων ψηφίδων έχει υλοποιηθεί κυρίως για μνημεία της Ιταλίας (Verità 1996, Verità 2000, Verità κ.ά. 2000, Lorusso κ.ά 2002). Οι δημοσιεύσεις για τη φθορά αναφέρονται σε όλες τις κατηγορίες των γυάλινων ψηφίδων και όχι ειδικά στις ψηφίδες με μεταλλικό φύλλο. Παράλληλα, οι περισσότερες ψηφίδες προέρχονται από μνημεία πρωιμότερης περιόδου. Η έρευνα έχει δείξει ότι η διατήρηση των γυάλινων ψηφίδων επηρεάζεται από τη σύσταση του γυαλιού και τις συνθήκες στο μνημείο, σε συνδυασμό με προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης που έχουν εφαρμοστεί στα ψηφιδωτά (Verità 1996, Verità 2000).

Συνοψίζοντας:

- Η μελέτη των γυάλινων ψηφίδων της βυζαντινής εποχής είναι περιορισμένη και η έρευνα εστιάζεται στην ανάλυση της σύστασης του γυαλιού. Ο κύριος όγκος των αναλύσεων αφορά ψηφίδες από έγχρωμο γυαλί και όχι χρυσές ή αργυρές.
- Η αναφερόμενη τεχνική κατασκευής των γυάλινων ψηφίδων με μεταλλικό φύλλο δεν έχει διερευνηθεί.
- Η μελέτη της φθοράς των γυάλινων ψηφίδων συνολικά (από έγχρωμο γυαλί και με μεταλλικό φύλλο) αφορά κυρίως μνημεία της Ιταλίας και οι περισσότερες χρυσές ψηφίδες χρονολογούνται σε πρωιμότερες περιόδους με αποτέλεσμα να είναι κατασκευασμένες από γυαλί διαφορετικής σύστασης. Η διερεύνηση της φθοράς πραγματοποιείται με ανάλυση των ψηφίδων σε στιλπνή τομή.

Συμπερασματικά δεν έχει γίνει συστηματική μελέτη των βυζαντινών γυάλινων ψηφίδων με μεταλλικό φύλλο και ειδικά της μεσοβυζαντινης περιόδου, ενώ απουσιάζει μια μεθοδολογία προσέγγισης με μη καταστρεπτικό τρόπο διερεύνησης αν και πρόκειται για αντικείμενα της πολιτιστικής κληρονομιάς.

Μεθοδολογία έρευνας

Στο πλαίσιο αυτό, πραγματοποιήθηκε ο σχεδιασμός μιας μη καταστρεπτικής και μη παρεμβατικής μεθοδολογίας έρευνας των χρυσών και αργυρών ψηφίδων, με συγκεκριμένο αντικείμενο τα εντοίχια ψηφιδωτά του καθολικού της Μονή Δαφνίου. Ο στόχος της έρευνας ήταν η συστηματική

μελέτη των φυσικών χαρακτηριστικών και της φθοράς των γυάλινων ψηφίδων με μεταλλικό φύλλο. Η εξέταση των φυσικών χαρακτηριστικών κρίθηκε αναγκαία, αφενός για το χαρακτηρισμό του υλικού εφόσον εκλείπουν σχετικές έρευνες και αφετέρου για να διερευνηθεί η τεχνική κατασκευής τους, η οποία αναπόφευκτα επιδρά στην ανθεκτικότητά τους στη διάβρωση. Η επιλογή της ερευνητικής μεθοδολογίας στηρίχθηκε στο ότι:

- Η οπτική παρατήρηση αποτελεί τη θεμελιώδη μέθοδο εξέτασης των αντικειμένων της πολιτιστικής κληρονομιάς, για την εκτίμηση της κατάστασης διατήρησης και τη διερεύνηση της φύσης τους, η οποία δεν περιορίζει τον αριθμό των αντικειμένων προς μελέτη.
- Η ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης αποτελεί τη βασικότερη τεχνική διερεύνησης της μικροδομής των υλικών και έχει εκτενώς χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη της τεχνολογίας και της αλλοίωσης των αντικειμένων της πολιτιστικής κληρονομιάς. Παράλληλα, σε συνδυασμό με τη φασματοσκοπία φθορισμού ακτίνων Χ παρέχει ταχεία στοιχειακή ανάλυση, με ποιοτικά και ημιποσοτικά αποτελέσματα.
- Η εξέλιξη των τεχνικών επιτρέπει την εφαρμογή τους χωρίς προετοιμασία δείγματος, εξυπηρετώντας τη λογική της μη καταστρεπτικής και μη παρεμβατικής ανάλυσης. Ειδικά για τις πυρηνικές τεχνικές η δυνατότητα εστίασης της ιοντικής δέσμης σε διατομή μόλις μερικών μικρόμετρων, προσφέρει νέες προοπτικές εφόσον απαιτείται μια πολύ μικρή επιφάνεια κατάλληλη για ανάλυση. Η δυνατότητα απεικόνισης της θέσης ανάλυσης διευκολύνει την ερμηνεία των αποτελεσμάτων, ενώ οι χάρτες κατανομής στοιχείων (elemental mapping) παρέχουν την ταχεία αντίληψη χημικών διαφοροποιήσεων π.χ για τις ψηφίδες μεταξύ των δύο στρωμάτων γυαλιού ή των αλλοιωμένων και μη περιοχών.

Η Μονή Δαφνίου χρονολογείται στον 11ο αιώνα και αποτελεί ένα από τα σημαντικά μνημεία της μεσοβυζαντινής περιόδου, με το Καθολικό της να

αποτελεί σήμερα μνημείο της παγκόσμιας πολιτιστικής κληρονομιάς της UNESCO, λόγω της αρχιτεκτονικής και της ψηφιδωτής του διακόσμησης. Το μνημείο έχει υποστεί επανειλημμένα σοβαρές φθορές κυρίως από φυσικές καταστροφές (ισχυρούς σεισμούς, με τελευταίο το μεγάλο σεισμό της 7ης Σεπτεμβρίου 1999) αλλά και από τις ανθρώπινες παρεμβάσεις (χρήση και προηγούμενες επεμβάσεις αποκατάστασης). Ως αποτέλεσμα οι χρυσές και αργυρές ψηφίδες της Μονής Δαφνίου, διατηρούνται αποσπασμένες (πρόκειται για προϊόν περισυλλογής), σε περιορισμένο αριθμό σπαράγματων ψηφιδωτής διακόσμησης και κατά χώρα στο μνημείο.

1. *Μακροσκοπική παρατήρηση*. Η μελέτη ξεκίνησε με τη μακροσκοπική παρατήρηση μεγάλου αριθμού ψηφίδων, τόσο αποσπασμένων όσο και κατά χώρα στο μνημείο αλλά επικεντρώθηκε κυρίως στις αποσπασμένες ψηφίδες, γιατί αυτές μπορούσαν να επιλεγούν ως δείγματα και επιτρέπουν την εξέταση όλων των εδρών της ψηφίδας. Το υλικό ταξινομήθηκε σε κατηγορίες βάσει απόχρωσης, τεχνολογικών χαρακτηριστικών και φαινομένων φθοράς. Παράλληλα, εντοπίστηκε μεγάλος αριθμός χρυσών ψηφίδων αποκομμένων από την περίμετρο του υαλόδισκου κατασκευής, οι οποίες ονομάστηκαν ψηφίδες παρυφής. Με εξαίρεση τη μελέτη δύο τέτοιων ψηφίδων από τον καθ. Marco Verità (2006), καμία προηγούμενη δημοσίευση δεν αναφέρεται σε αυτόν τον τύπο των ψηφίδων.

2. *Μικροσκοπική εξέταση*. Τα πορίσματα της μακροσκοπικής μελέτης διερευνήθηκαν στη συνέχεια με τη μικροσκοπική εξέταση. Η μικροσκοπική εξέταση πραγματοποιήθηκε με φορητό ψηφιακό μικροσκόπιο- κάμερα, σε αποσπασμένες ψηφίδες και κατά χώρα στο μνημείο. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η μεταφορά διακοσίων (200) ψηφίδων σε εργαστήριο για μια πιο συστηματική εξέταση υπό μεγέθυνση. Η επιλογή των χρυσών ψηφίδων για μεταφορά έγινε βάσει: απόχρωσης, μορφής για τις ψηφίδες παρυφής και άλλων τεχνολογικών χαρακτηριστικών, περιλαμβάνοντας συγχρόνως ψηφίδες με διαφορετική κατάσταση διατήρησης και ιδιαίτερα φαινόμενα αλλοίωσης. Οι ελάχιστες αργυρές δεν περιλαμβάνουν ψηφίδες παρυφής έτσι επιλέχθηκαν βάσει απόχρωσης και κατάστασης διατήρησης. Επιπλέον, μεταφέρθηκαν ψηφίδες οι οποίες λόγω αλλοίωσης, δεν ήταν δυνατόν να προσδιοριστεί εάν επρόκειτο για χρυσές ή αργυρές. Το ενδιαφέρον της μικροσκοπικής εξέτασης επικεντρώθηκε στις αλλοιωμένες ψηφίδες και στις ψηφίδες παρυφής, εφόσον δεν έχει αναφερθεί η χρήση τους στα βυζαντινά ψηφιδωτά.

3. *Επιλογή δειγμάτων.* Μετά την ολοκλήρωση της μικροσκοπικής εξέτασης επιλέχθηκαν σαράντα πέντε ψηφίδες (τριάντα έξη χρυσές και εννέα αργυρές) για ανάλυση. Από κάθε κατηγορία απόχρωσης επιλέχθηκαν υγιείς και αλλοιωμένες ψηφίδες αφενός για τον χαρακτηρισμό του υλικού και

αφετέρου για συγκριτικές παρατηρήσεις. Οι ψηφίδες εμφάνιζαν διαφορετική μορφολογία αλλοίωσης και έφεραν περιοχές με απώλειες κατάλληλες για ανάλυση χωρίς προετοιμασία δείγματος. Επιπρόσθετα, επιλέχθηκαν ψηφίδες με ιδιαίτερα τεχνολογικά χαρακτηριστικά και ψηφίδα από την οποία είχε αποκολληθεί πρόσφατα το γυαλί επικάλυψης προσφέροντας τη δυνατότητα εξέτασης της εκτεθειμένης διεπιφάνειας γυαλιού/ μεταλλικού φύλλου.

4. *Ανάλυση με φυσικοχημικές τεχνικές διερεύνησης.* Οι επιλεγμένες ψηφίδες αναλύθηκαν με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης σε συνδυασμό με φασματοσκοπία ακτίνων Χ ενεργειακής διασποράς και δέκα από τις χρυσές ψηφίδες, μέσω του Ευρωπαϊκού προγράμματος CHARISMA (Fixlab), με μικρο-φασματοσκοπία ακτίνων Χ και ακτίνων γ επαγόμενων από πρωτόνια (μ-PIXE-PIGE). Οι ψηφίδες αναλύθηκαν χωρίς προετοιμασία. Ο τρόπος διερεύνησης διέφερε από τη συνήθη πρακτική ανάλυσης γυάλινων δειγμάτων και είχε ως στόχο τη μέγιστη συλλογή πληροφοριών με μη καταστρεπτική και μη παρεμβατική μεθοδολογία. Η μελέτη των αλλοιωμένων περιοχών έγινε κατά πρόσωπο και με τον τρόπο αυτό ήταν δυνατή η εξέταση της επιφάνειας των στρωμάτων, στρώσεων και στοιβάδων του διαβρωμένου γυαλιού. Μετά την ολοκλήρωση της διερεύνησης των ακέραιων ψηφίδων πραγματοποιήθηκε η ανάλυση τεσσάρων σε τομή, για να επιβεβαιωθούν ή όχι, τα πορίσματα της μη παρεμβατικής ανάλυσης.

5. *Ερμηνεία των αποτελεσμάτων της ανάλυσης σε συνδυασμό με τη μικροσκοπική εξέταση και εξαγωγή συμπερασμάτων*. Η συνεκτίμηση των ευρημάτων της οπτικής εξέτασης και των αποτελεσμάτων της ανάλυσης είχε ως αποτέλεσμα την πληρέστερη ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Επιπροσθέτως, επέτρεψε την αντιστοίχηση της μορφολογίας των αλλοιωμένων περιοχών με την μικροδομή τους και διευκόλυνε την ερμηνεία των μεταβολών στην εμφάνιση των ψηφίδων.

Συμπεράσματα -Προοπτικές

Η μεθοδολογία έρευνας συνοψίζεται σε: (α) εξοικείωση με το υλικό, εξέταση και τεκμηρίωση (β) ταξινόμηση (γ) επιλογή χαρακτηριστικών δειγμάτων (δ) ανάλυση με κατάλληλα επιλεγμένες φυσικοχημικές τεχνικές (ε) ερμηνεία αποτελεσμάτων (στ) Συμπεράσματα.

Η προκρινόμενη ερευνητική μεθοδολογία αφενός υπηρετεί πλήρως την ηθική της συντήρησης για την προστασία των μνημείων, εφαρμόζοντας έναν μη παρεμβατικό τρόπο ανάλυσης και αφετέρου επιτρέπει την μελέτη μεγαλύτερου αριθμού 'δειγμάτων' με αποτέλεσμα την εξαγωγή πιο αξιόπιστων αποτελεσμάτων για πολυπληθή σύνολα όπως οι ψηφίδες.

Μεθοδολογίες, προδιαγραφές και καινοτόμες εφαρμογές μη καταστρεπτικών και αναλυτικών τεχνικών αποτίμησης υλικών και επεμβάσεων συντήρησης

Η εφαρμογή της στη μελέτη των ψηφίδων με μεταλλικό φύλλο από τη Μονή Δαφνίου απέδωσε σημαντικά αποτελέσματα για τη τεχνολογία κατασκευής και τη φθορά των ψηφίδων, αλλά και τη διάβρωση του γυαλιού εν γένει, συγχρόνως όπως είναι αναμενόμενο και επιθυμητό, δημιούργησε περαιτέρω ερωτήματα που οδηγούν σε νέα πεδία διερεύνησης.

Βιβλιογραφία

1. Arletti, R., Fiori, C. Vandini, M., "A study of glass tesserae from mosaics in the monasteries of Daphni and Hosios Loukas (Greece)", *Archaeometry* 52, 5 (2010) 976-815.
2. Arletti, R., Vezzalini G. Fiori, C. Vandini, M., "Mosaic glass from St Peter's, Rome: manufacturing techniques and raw materials employed in late 16th-century italian opaque glass", *Archaeometry* 53, 2 (2011α) 364–386.
3. Arletti, R., Conte, S., Fiori, C., Vandini, M., Bracci S., Bacci, M., Porcinai S., "Florence baptistery: chemical and mineralogical investigation of glass mosaic tesserae", *Journal of Archaeological Science 38* (2011β) 79-88.
4. Branda, F., Luciani, G., Constantini, A., Laudisio, G., "Chemical composition, thermal properties and weathering of a Roman Azur tesserae from the Ninfeo of Punta Epitaffio in Baia", *Glass Technology* 43, 3 (2002) 125-30.
5. Brill, R.H., "*Chemical analyses of Early Glasses"*, Volumes I &II, Corning, New York, The Corning Museum of Glass (1999).
6. Bustacchini, G., "Gold in mosaic art and technique", *Gold Bulletin* 2, 6 (1973) 52-56.
7. Conventi, A., Neri, E. και Verità, M., "SEM-EDS analysis of ancient gold leaf glass mosaic tesserae. A contribution to the dating of the materials",

IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 32 (2012) 012007-012014.

8. Costagliola, P., Baldi, G., Cipriani, C., Pecchioni, E., Buccianti, A., "Mineralogical and chemical characterisation of Medican glass mosaic tesserae and mortars from the Grotta del Buontalenti, Giardino di Boboli, Florence, Italy", *Journal of Cultural Heritage* 1 (2000) 287-299.
9. Dundabin, K. M. D., "*Mosaics of the Greek and Roman Word".* Cambridge, Cambridge University Press (1999).
10. Fiori, C., Donati, F., Roncuzzi-Fiorentini, I., Farioli-Campanati, R., "Analisi e confrotnto di tessere vetrose dorate di mosaici Bizantini del VI secolo", Mosaico e Restauro Musivo, Volume secondo, C.N.R –Instituto di Ricerche Technologiche per la Ceramic, eds C. Fiori & I. Fiorentini Roncuzzi, Longo Editore, Ravenna (1989) 17-30.
11. Fiori, C., Alberti, L., Allbertazzi, A., Rastelli, E., Vandini, M., 2002α. "Studio della composizione e del degrado delle tessere vetrose del mosaico 'Madona con bambino' del Quirinale (Roma)" I Mosaici Cultura, Technologia, Conservazione, Atti del Convegno di Studi, Bressanone 2-5 luglio 2002, Scienza e Beni Culturali XVIII, Arcadia Ricerche, Venezia (2002) 563-572.
12. Fiori, S., Chrysopoulos, D., Karatasios, I., Labropoulos, V., "Compositional and technological categories of glass tesserae from the vault mosaics of Dafni monastery, Greece", 1st International Conference Hyalos, Vitrum, Glass, history, technology and conservation of glass and vitreous materials in the Hellenic world, ed G. Kordas, Αθήνα, Glasnet publications (2002β) 193-197.

Μεθοδολογίες, προδιαγραφές και καινοτόμες εφαρμογές μη καταστρεπτικών και αναλυτικών τεχνικών αποτίμησης υλικών και επεμβάσεων συντήρησης

13. Fiori, C., Vandini, M., Arletti R. , "Smalti musivi dei monasteri greci di Dafni e Hosios Loukas", *Ceramiche Antiche* ANNO XXXVII 2, (2007) 103-116.
14. Freestone, I.C., Bimson, M., and Buckton, D., "Compositional categories of Byzantine glass tesserae", Annales du 11e Congres de l'Association Internationale pour l'Histoire du Verre, Basle, 29 August - 3 September, 1988 (1990) 271-280.
15. James, L., "Byzantine glass mosaic tesserae: some material considerations", *Byzantine and Modern Greek Studies* 30, 1 (2006) 29-47.
16. Lorusso S. Fiori C. Vandini M., "Degradation of glass tesserae in Byzantine wall mosaics", *Rivista della stazione sperimentale del vetro* 6, (2002) 73-76.
17. Moropoulou, A., Avdelidis, N.P., Delegou, E.T., Gill, G., Smith, J., "Study of deterioration mechanisms of vitreous tesserae mosaics" Scienza e Beni Culturali XVIII, eds G. Biscontin & G. Driussi, Padova, Arcadia Ricerche (2002α) 843-851.
18. Moropoulou, A., Bakolas, A., Giannoulaki, M., Karoglou, M., "Characterization of Dome mosaics of Hagia Sophia in Constantinople". Scienza e Beni Culturali XVIII, eds G. Biscontin, G. Driussi, Padova, Publ. Arcadia Ricerche (2002β) 225-235
19. Neri, E., Verità, M., "Glass and metal analyses of gold leaf tesserae from 1st to 9th century mosaics. A contribution to technological and chronological knowledge", *Journal of Archaeological Science* 40, (2013) 4596-4606.
20. Silvestri, A., Tonietto S., Molin G., "The palaeo-Christian glass mosaic of St. Prosdocimus (Padova, Italy): archaeometric characterisation of

'gold' tesserae", *Journal of Archaeological Science* 38, 12 (2011) 3402–3414.

21. Shugar, A. N., "Byzantine opaque red glass tesserae from Belt Shean, Israel", *Archaeometry* 42, 2 (2000) 375- 384.
22. Smift, E.H., "Byzantine Gold Mosaic", *American Journal of Archaeology*, 38, 1 (1934) 81-82.
23. Verità, M., "Glass mosaic and smalti: technique, materials, decay and conservation", I colori della luce, Angelo Orsoni el 'arte del mosaico, eds C. Moldi Ravenna, Venice, Marsilio Editore (1996) 41-97.
24. Verità, M., "Technology and deterioration of vitreous mosaic tesserae", *Reviews in Conservation* 1, (2000) 65-76.
25. Verita, M., "Tessere vitree a foglia d'oro nei mosaici di Aquileia", *Quaderni Friulani di Arcaeologia* XVI (2006) 7-12.
26. Verita, M., Falcone R., Valloto M., Santopadre P., "Study of the weathering mechanisms and chemical composition of ancient mosaic tesserae", *Rivista della stazione sperimentale del vetro* 6, (2000) 33-44.
27. Verita, M., Profito, B., Valloto, M., "I Mosaici della Basilica dei Santi Cosma e Damiano a Roma: studio analitico delle tessere vitree", *Rivista della stazione sperimentale del vetro* 5, (2002α) 13-23.
28. Verita, M., Renier A., Zecchin S., "Chemical analysis of ancient glass findings excavated in the Venetian lagoon", *Journal of Cultural Heritage* 3, (2002β) 261-271.

Κριτήρια και μεθοδολογία αποτίμησης υλικών και επεμβάσεων συντήρησης και αποκατάστασης

Κριτήρια και μεθοδολογία αποτίμησης προηγμένων υλικών και επεμβάσεων συντήρησης και αποκατάστασης (Criteria and evaluation methodology of advanced materials and treatments of conservation and restoration)

Π. Θεουλάκης, Ν.Α. Στεφανής

Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Αθήνας, Τμήμα Συντήρησης Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης

Abstract

In the context of remedial conservation, there are many times when the application of advanced materials and conservation treatments is necessary in order to strengthen the weakened building materials that have often undergone excessive weathering.

Treatments with impregnation of the building materials are designed to reinstate the internal cohesion of the weathered part and secondly to protect the healthy part, in the sense of deceleration, or even by inhibiting the evolution of the phenomenon. The study of such interventions is necessary, as they can change the structure of the original material and create, almost inevitably, heterogeneities in its structure. This fact becomes the starting point of unforeseen and undesired consequences, and the results are often diametrically opposite to those intended.

The climate of empiricism prevailing in the field of conservation of building materials and particularly of the stone, wich has worsened after the 50's with the wide dissemination and use of polymers, has been succeeded today by a climate of doubt about the effectiveness of "advanced" materials. The crisis was triggered when the negative effects by the uncritical use of materials with properties virtually unidentified and most importantly unknown behavior, in time became apparent. It has already become conscious, in the international scientific community, that there are no recipes and that tests with a limited number of polymers in the laboratory are not enough even in conditions of accelerated aging, unrelated to prevailing conditions of the environment of the monument, to conclude to the materials and the applications of the treatments.

This paper makes extensive reference to the factors influencing and controlling the effectiveness of consolidation treatments, on the properties of impregnating materials applied to reinstate the cohesion of building materials.

Κριτήρια και μεθοδολογία αποτίμησης υλικών και επεμβάσεων συντήρησης και αποκατάστασης

Furthermore, the issue of the evaluation of consolidation treatments is analysed, analyzed the issue of the valuation of fixation treatments and finally, the methods of simulating in the laboratory the weathering phenomena, are presented.

Περίληψη

Στο πλαίσιο της επεμβατικής συντήρησης πολλές φορές η εφαρμογή προηγμένων υλικών και επεμβάσεων συντήρησης και αποκατάστασης κρίνεται αναγκαία για την ισχυροποίηση των δομικών υλικών που έχουν συχνά αποδυναμωθεί λόγω εκτεταμένης φθοράς.

Οι κατεργασίες με εμποτισμό των δομικών υλικών αποβλέπουν αφ' ενός στη στερέωση του διαβρωμένου τμήματος και, αφ' ετέρου, στη προστασία του υγιούς, με την έννοια της επιβράδυνσης, ακόμα και αναστολής της εξέλιξης του φαινομένου. Η μελέτη τέτοιων επεμβάσεων είναι αναγκαία, δεδομένου ότι μπορεί να αλλάζουν τη δομή του αυθεντικού υλικού και να δημιουργούν, σχεδόν αναπόφευκτα, ετερογένεια στη δομή του. Το γεγονός αυτό γίνεται αφετηρία απρόβλεπτων και ανεπιθύμητων συνεπειών, με αποτελέσματα, συχνά, διαμετρικά αντίθετα από τα επιδιωκόμενα.

Το κλίμα εμπειρισμού που επικρατούσε στο χώρο της προστασίας των δομικών υλικών και ιδιαιτέρως του λίθου, και που επιδεινώθηκε μετά το 1950 με την ευρύτατη διάδοση και χρήση των πολυμερών, έχει διαδεχθεί σήμερα ένα κλίμα αμφιβολίας για την αποτελεσματικότητα των "νέων" αυτών υλικών. Η κρίση πυροδοτήθηκε όταν άρχισαν να γίνονται ορατά τα αρνητικά έως καταστρεπτικά αποτελέσματα από την άκριτη χρήση υλικών με άγνωστες σχεδόν ιδιότητες και το κυριότερο, άγνωστη συμπεριφορά στο χρόνο. Έχει ήδη, γίνει συνείδηση στη διεθνή επιστημονική κοινότητα ότι δεν υπάρχουν πανάκειες και ότι δεν αρκούν δοκιμές με περιορισμένο αριθμό πολυμερών στο εργαστήριο, σε συνθήκες επιταχυνόμενης γήρανσης, άσχετες με τις επικρατούσες στο πραγματικό περιβάλλον του μνημείου, για να καταλήξουμε στα μέσα και τον τρόπο κατεργασίας.

Στην παρούσα εργασία γίνεται εκτεταμένη αναφορά στους παράγοντες που επηρεάζουν και ελέγχουν την αποτελεσματικότητα των κατεργασιών στερέωσης, στις ιδιότητες των υλικών εμποτισμού που εφαρμόζονται για την ενίσχυση της συνοχής των δομικών υλικών, αναλύεται το ζήτημα της αποτίμησης των κατεργασιών στερέωσης και τέλος, παρουσιάζονται οι μέθοδοι της προσομοίωσης των φαινομένων διάβρωσης στο εργαστήριο.

Κριτήρια και μεθοδολογία αποτίμησης υλικών και επεμβάσεων συντήρησης και αποκατάστασης

Κατεργασίες για την προστασία των δομικών υλικών

Οι εμποτισμοί μάζας, για στερέωση, και οι επιφανειακές κατεργασίες, για την προστασία των δομικών υλικών, αποτελούν σίγουρα τις δύο πιο σπουδαίες κατεργασίες αλλά και ταυτόχρονα τις μεγαλύτερες προκλήσεις. Η στερέωση συνήθως επιδιώκεται εμποτίζοντας το λίθο με το υλικό κατεργασίας, το οποίο είναι σε υγρή μορφή και το οποίο σε δεύτερο χρόνο αποθέτει τα στερεά εκείνα συστατικά που επιτυγχάνουν τη στερέωση.

Στερέωση

Η κατεργασία της στερέωσης αποσκοπεί στην ανάταξη των αποσαθρωμένων στρωμάτων των λίθων και στην ανάκτηση της συνοχής ανάμεσα στους κόκκους ή τους κρυστάλλους του υλικού. Αυτό συνήθως επιδιώκεται εμποτίζοντας το λίθο με το μέσο στερέωσης, το οποίο είναι σε υγρή μορφή και το οποίο σε δεύτερο χρόνο αποθέτει τα στερεά εκείνα συστατικά που επιτυγχάνουν τη στερέωση.

Επιφανειακές κατεργασίες

Ο επιφανειακές κατεργασίες έχουν ως στόχο συνήθως να αποτρέψουν την είσδυση της υγρασίας στο εσωτερικό του λίθου και να προστατέψουν την προσβολή του από κάποιον ατμοσφαιρικό παράγοντα. Οι κατεργασίες αυτές δεν οδηγούν στο σχηματισμό ενός προστατευτικού φιλμ στην επιφάνεια των λίθων, που έχουν συνήθως σημαντικό πορώδες, αλλά δημιουργούν ένα εξωτερικό, λεπτό, εμποτισμένο και ετερογενές στρώμα.

Προϋποθέσεις επιλογής υλικών εμποτισμού

Οι βασικές προϋποθέσεις που χρειάζεται να πληρούνται, προκειμένου ένα υλικό να χρησιμοποιηθεί με ασφάλεια για τη συντήρηση των δομικών υλικών, είναι οι εξής:

- Να είναι γνωστές οι λεπτομέρειες του μηχανισμού δράσης κάθε παράγοντα φθοράς.
- Το υλικό κατεργασίας πρέπει να είναι συμβατό με αυτό των δομικών υλικών.
- Να έχουν μελετηθεί τα χαρακτηριστικά του συστήματος: υλικό κατεργασίας-λίθος. Προϋπόθεση της παραμέτρου αυτής είναι να έχει ρυθμιστεί η διάχυση του νερού και των υδρατμών στο λίθο.

Κριτήρια και μεθοδολογία αποτίμησης υλικών και επεμβάσεων συντήρησης και αποκατάστασης

- Να παρουσιάζει χημική σταθερότητα και να είναι ενεργό για επαρκές χρονικό διάστημα.
- Να παρουσιάζει ικανοποιητική συμπεριφορά σε συνθήκες προσομοίωσης του φαινομένου φθοράς στο εργαστήριο.
- Να παρουσιάζει αποτελεσματική συμπεριφορά σε πιλοτικές εφαρμογές στο φυσικό περιβάλλον.
- Να παρουσιάζει πρακτική ευκολία εφαρμογής του υλικού στον λίθο και διασφάλιση της αναστρεψιμότητας της κατεργασίας.
- Να είναι σχετικά φθηνό, ασφαλές για το χρήστη και φιλικό προς το περιβάλλον.

Παράγοντες που επηρεάζουν και ελέγχουν την αποτελεσματικότητα των κατεργασιών στερέωσης

Το αποτέλεσμα της στερέωσης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Αυτοί αναφέρονται είτε στις διεργασίες αυτές καθαυτές μέσω των οποίων συντελείται η στερέωση, είτε στα χαρακτηριστικά του υποστρώματος και στους μηχανισμούς διάβρωσης, είτε στην τεχνική της εφαρμογής, είτε ακόμα, στις συνθήκες του περιβάλλοντος.

Σε κάθε κατεργασία γίνεται προσπάθεια να αποδοθεί επαρκής προστασία τροποποιώντας επιλεκτικά κάποιες από τις φυσικοχημικές παραμέτρους της επιφάνειας και αφήνοντας ανεπηρέαστες ιδιότητες όπως η τραχύτητα, το πορώδες, η περατότητα σε ατμούς κ.ά. Στις κατεργασίες εμποτισμού βέβαια, έχουμε εξ ορισμού μεταβολή τόσο της μικροδομής όσο και των χαρακτηριστικών της εσωτερικής επιφάνειας, αφού η ίδια η κατεργασία προβλέπει τη απόθεση νέου στερεού υλικού στο εσωτερικό του δομικού υλικού.

Προϋποθέσεις που πρέπει να πληρούν τα υλικά

Σημαντικός παράγοντας για την επιλογή ενός υλικού είναι η συμβατότητα της κατεργασίας, η οποία εκφράζεται από την επιδίωξη να μη μεταβληθούν δραστικά τα χαρακτηριστικά του αυθεντικού υλικού. Εξίσου σημαντική είναι η ανθεκτικότητα, η οποία εκφράζει τη συμπεριφορά των υλικών και τα αποτελέσματα των κατεργασιών και των εν γένει επεμβάσεων σε βάθος χρόνου.

Ο όρος «αντιστρεψιμότητα», που εκφράζει τη δυνατότητα της πλήρους απομάκρυνσης ενός υλικού κατεργασίας και την επαναφορά του στην προ της επέμβασης κατάσταση, είναι ακριβώς η συνθήκη, στον κώδικα

δεοντολογίας των επεμβάσεων, που σχετίζεται με την ευρύτερη έννοια της αειφορίας. Η αντιστρεψιμότητα αποτελεί μια ποιοτική, οιονεί ποσοτική, συνθήκη η οποία εκπληρώνεται μόνο στο βαθμό που οι επεμβάσεις απομακρύνονται από τον εμπειρισμό και ενσωματώνουν τα στοιχεία εκείνα από την επιστήμη και την τεχνολογία που είναι απαραίτητα για ασφαλείς επεμβάσεις.

Παράγοντες που επηρεάζουν την επιτυχία του υλικού κατεργασίας

Η τεχνική για την εφαρμογή του στερεωτικού επηρεάζει τόσο την ποσότητα του υλικού κατεργασίας που απορροφάται, όσο και το βάθος εμποτισμού. Η συνολική κατανάλωση καθώς και το βάθος εμποτισμού, ωστόσο, ελέγχονται και από τη φυσική κατάσταση του υλικού κατεργασίας (διάλυμα, διασπορά, είδος διαλύτη, συγκέντρωση κλπ), αλλά και από τη μικροδομή (πορώδες) του υποστρώματος. Πρέπει να τονισθεί στο σημείο αυτό, ότι τα αποτελέσματα στο εργαστήριο διαφέρουν σημαντικά από εκείνα στο πεδίο. Είναι επομένως, κρίσιμο να εφαρμόζεται στο εργαστήριο η ίδια τεχνική εφαρμογής που πρόκειται να εφαρμοσθεί κατά την επέμβαση στο πεδίο.

Ανάλογα με τον τύπο του υλικού κατεργασίας, το αποτέλεσμα της στερέωσης επιτυγχάνεται με διαφορετικούς μηχανισμούς, όπως απόθεση-κατακρήμνιση, χημική αντίδραση, πολυμερισμός, υδρόλυση και συμπύκνωση. Κατά συνέπεια, το είδος και η ισχύς των δεσμών που σχηματίζονται ανάμεσα στα συστατικά του λίθου και του υλικού που αποτίθεται είναι σε κάθε περίπτωση διαφορετικό και για το λόγο αυτό η αποτελεσματικότητα της κατεργασίας ποικίλει. Τα χαρακτηριστικά του πορώδους και η φυσικοχημική συμπεριφορά των εξωτερικών στρωμάτων του λίθου αποτελούν κρίσιμους παράγοντες για την απορρόφηση και είσδυση του στερεωτικού διαλύματος. Η παρουσία διαλυτών αλάτων, ατμοσφαιρικών επικαθίσεων καθώς και μικροοργανισμών επιδρούν αρνητικά στην απόδοση της κατεργασίας. Τέλος, οι περιβαλλοντικές συνθήκες επηρεάζουν την εφαρμογή και τη διαδικασία της στερέωσης.

Τα υλικά εμποτισμού

Η ιστορία της εφαρμογής διαφόρων ουσιών για την επιφανειακή κατεργασία των δομικών υλικών είναι πολύ παλιά, ενώ ποικιλία υλικών έχουν δοκιμαστεί στο παρελθόν. Η χρήση του κεριού φαίνεται να ήταν

γνωστή από την αρχαιότητα και εφαρμοζόταν και κατά τον μεσαίωνα. Η νεότερη ιστορία αρχίζει, στο ξεκίνημα του 19ου αιώνα, με τη χρήση διαφόρων ανόργανων ουσιών. Μετά το Β' παγκόσμιο πόλεμο και την εκρηκτική ανάπτυξη της τεχνολογίας των πολυμερών, πάρα πολλές κατηγορίες από αυτά χρησιμοποιήθηκαν στην προστασία των δομικών υλικών.

Παρακάτω παρατίθενται με συντομία τα σπουδαιότερα ανόργανα και οργανικά υλικά που έχουν χρησιμοποιηθεί ως υλικά εμποτισμού για την στερέωση των λίθων.

Κατεργασία με ανόργανα υλικά

Η προστασία με ανόργανα υλικά εμποτισμού αποβλέπει συνήθως στη στερέωση του λίθου ή στη σταθεροποίηση του στρώματος του γύψου. Παράλληλα, επιδιώκεται και ο περιορισμός της διείσδυσης του νερού, που μπορεί να οφείλεται είτε στο κλείσιμο των πόρων, είτε στις υδρόφοβες ιδιότητες του υλικού κατεργασίας. Όταν έχουμε απόθεση κάποιου προϊόντος (αντιδράσεων) στους πόρους της πέτρας, επιδιώκουμε να είναι συγγενές προς το αυθεντικό συνδετικό υλικό, και τα ορυκτά γενικότερα, του λίθου. Η σταθεροποίηση/στερέωση μπορεί να συντελεσθεί στην περίπτωση αυτή με τους εξής μηχανισμούς:

α) Επιταξιακή ανάπτυξη των κρυστάλλων του νεοαποτεθέντος υλικού πάνω στα προϋπάρχοντα. Αυτό είναι δυνατόν όταν τα κρυσταλλικά χαρακτηριστικά των δύο φάσεων είναι παρεμφερή και,

β) χημική αντίδραση του νέου υλικού με την επιφάνεια των ορυκτών κρυστάλλων της πέτρας.

Τα κυριότερα ανόργανα υλικά που έχουν εφαρμοσθεί είναι τα πυριτικά αλκάλια, τα φθοριοπυριτικά υλικά, το όξινο ανθρακικό ασβέστιο, το υδροξείδιο του ασβεστίου, και το υδροξείδιο του βαρίου.

Κατεργασία με οργανικά υλικά

Διάφορα οργανικά υλικά έχουν κατά καιρούς δοκιμαστεί για την στερέωση των λίθων. Από φυσικά πολυμερή και έλαια μέχρι συνθετικά πολυμερή. Κριτήριο ήταν συνήθως η διαθεσιμότητα και όχι κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Σε ορισμένες περιπτώσεις η χρήση μη συμβατών υλικών οδήγησε σε δύσκολες και μη εσκεμμένες συνέπειας ακόμα και με τη χρήση αντιστρεπτών φαινομενικά υλικών. Οι κατεργασίες με οργανικά υλικά περιλαμβάνουν τη χρήση φυσικών και συνθετικών κεριών,

βινυλικών πολυμερών, ακρυλικών πολυμερών, εποξειδικών ρητινών, αλκοξυσιλάνια και σιλικόνες.

Νέοι τύποι υλικών κατεργασίας

Διάφορα υλικά κατεργασίας έχουν παρασκευαστεί για εξειδικευμένες χρήσεις όπως:

- Υδρόφοβα - υδατοαπωθητικά επιστρώματα
- Επιστρώματα προστασίας κατά των ρύπων
- Αναστολείς αντιδράσεων
- Ημιαγωγοί
- Αναστολείς κρυστάλλωσης
- Αναστολείς διόγκωσης αργίλων
- Γαλακτώματα
- Νανοδιασπορές πυριτίας
- Προστασία από Graffiti (anti-graffiti agents)

Προσέγγιση του ζητήματος της αποτίμησης των κατεργασιών στερέωσης

Γενικά, η διαδικασία της αποτίμησης αποσκοπεί στην ασφαλέστερη και αποτελεσματικότερη επέμβαση στο μνημείο. Για το λόγο αυτό η αποτίμηση θα πρέπει να περιλαμβάνει και ηθικά ζητήματα που αφορούν στην επέμβαση συντήρησης. Σήμερα, ο πιο κοινός τρόπος αποτίμησης μιας επέμβασης συντήρησης είναι η μέτρηση συγκεκριμένων ιδιοτήτων που έχουν επιλεγεί ως κρίσιμες για την αποτελεσματικότητα της επέμβασης. Το μειονέκτημα αυτής της μεθοδολογίας είναι η ερμηνεία των αποτελεσμάτων και επομένως οι δυσκολίες που προκύπτουν από την επιλογή των κριτηρίων. Όσον αφορά στη στερέωση, μια σειρά παραμέτρων που θεωρείται ότι σχετίζεται με την αποτελεσματικότητα της επέμβασης παρουσιάζεται και αναλύεται. Παρακάτω, οι παράμετροι αυτοί επεξηγούνται μέσω ενός προτεινόμενου αλγόριθμου που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο για την αποτίμηση της απόδοσης της επέμβασης και να αποδώσει ποσοτικό χαρακτήρα στην διαδικασία της επιλογής των υλικών. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση του στερεωτικού είναι:

Κριτήρια και μεθοδολογία αποτίμησης υλικών και επεμβάσεων συντήρησης και αποκατάστασης

- Εσωτερική Συνοχή
- Ανθεκτικότητα στις δοκιμές τεχνητής γήρανσης
- Βάθος διείσδυσης του υλικού στερέωσης
- Απορρόφηση και εξάτμιση του νερού
- Ιδιότητες πορώδους
- Ζητήματα αισθητικής συμβατότητας

Η αποτίμηση των επεμβάσεων μπορεί να καθοριστεί από έναν δείκτη απόδοσης Efficiency Index (EI), ο οποίος μπορεί να υπολογιστεί μέσω του αλγορίθμου που δίνεται στην εξίσωση (1). Ο αλγόριθμος αυτός βασίζεται στην προσέγγιση του Τάσιου και συμπεριλαμβάνει μια εξίσωση από επιλεγμένες παραμέτρους, εφαρμόσιμες σε όλους τους τύπους των λίθων και των στερεωτικών. Για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων, οι ιδιότητες των μη κατεργασμένων γηρασμένων λίθων χρησιμοποιούνται ως αναφορά. Οι τιμές των παραπάνω ιδιοτήτων μπορούν να τροποποιηθούν ανάλογα με τον κύριο μηχανισμό φθοράς ή οποιαδήποτε άλλη εξειδικευμένη απαίτηση ($P_{i(min)}$).

Στο αρχικό βήμα, επιλέγεται κάθε ιδιότητα που σχετίζεται με την απόδοση και υπολογίζεται η απόλυτη τιμής της διαφοράς (ΔP_i) ανάμεσα στις τιμές πριν και μετά την κατεργασία (P_i - $P_{i(min)}$). Το σύνολο (Σ) όλων των τιμών ΔP_i πολλαπλασιάζεται από μία αναλογία, που αντιπροσωπεύει τον δείκτη στερέωσης του κατεργασμένου δοκιμίου σε σχέση με το δοκίμιο αναφοράς (CI_{treat}/CI_{ref}). Η αντίστροφη αναλογία του δείκτη ευαισθησίας στη θραύση θα μπορούσε ενδεχομένως να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης ($CI = \sigma_f/E$). Επομένως, η τελική επιλογή θα έπρεπε να είναι αυτή από την οποία προκύπτει η μεγαλύτερη τιμή του δείκτη απόδοσης (*EI*):

$$EI = \frac{CI_{treat}}{CI_{ref}} \cdot \sum_{i=1}^{k} f_i(\Delta P_i) \qquad (1)$$

όπου,
EI = Δείκτης απόδοσης
CI = δείκτης στερέωσης = (E/σ_f) ratio
P_i = παράμετρος απόδοσης
$\Delta P_i = (P_i - P_{i(min)})$

Προσομοίωση των φαινομένων διάβρωσης στο εργαστήριο

Για την πρόβλεψη της αντοχής των υλικών στους φυσικοχημικούς παράγοντες της διάβρωσης χρησιμοποιούνται δύο μεγάλες κατηγορίες μεθόδων: εκτίμηση με βάση τη συσσωρευμένη εμπειρία σχετικά με τη

συμπεριφορά του υλικού και πειραματική έρευνα στο εργαστήριο. Η τεχνική των δοκιμών γήρανσης συνίσταται από τη "μεταφορά", σε εργαστηριακή κλίμακα, των παραγόντων της διάβρωσης που εμπλέκονται και την επιλογή και παρακολούθηση μιας χαρακτηριστικής ιδιότητας ενδεικτικής του βαθμού γήρανσης.

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης τεχνητής γήρανσης συνοψίζονται ως εξής:

- Οι κύκλοι τεχνητής γήρανσης έχουν καθιερωθεί ως η κύρια πειραματική μέθοδος μελέτης όλων των μορφών διάβρωσης και ελέγχου των διαφόρων υλικών προστασίας στο εργαστήριο.
- Προσφέρουν τη δυνατότητα ταχείας παρατήρησης της εκδήλωσης και της εξέλιξης του φαινομένου φθοράς.
- Παρέχουν τη δυνατότητα προτυποποίησης των δοκιμών και δίνουν έτσι επαναληψιμότητα και ευχέρεια εκτέλεσής τους σε οποιοδήποτε κατάλληλα εξοπλισμένο εργαστήριο.

Από την άλλη πλευρά οι κύκλοι τεχνητής γήρανσης ελέγχονται για τα ακόλουθα κύρια μειονεκτήματα:

- Ένας αριθμός κύκλων γήρανσης στο εργαστήριο είναι εξαιρετικά δύσκολο να μετατραπεί με ικανοποιητική προσέγγιση σε χρονικό διάστημα φυσικής κλίμακας.
- Οι κύκλοι γήρανσης δεν μπορούν να προβλέψουν με βεβαιότητα τη μακροχρόνια επίδραση ενός παράγοντα.
- Στο περιβάλλον κανένας παράγοντας δεν δρα μόνος του. Για την αντιμετώπιση αυτού του γεγονότος σχεδιάζονται σύνθετα πειράματα, όπου επιδρούν περισσότεροι από ένας παράγοντες διάβρωσης ταυτόχρονα.
- Ο ρόλος της κλίμακας είναι δυνατόν να αλλοιώνει σημαντικά τα τελικά αποτελέσματα.
- Ποσοτικά στοιχεία του σχεδιασμού της πειραματικής διαδικασίας είναι ορισμένες φορές καθοριστικά για τα ποιοτικά αποτελέσματα που έχομε.
- Η προτυποποιήσεις των δοκιμών τεχνητής γήρανσης διαφέρουν από χώρα σε χώρα, καθώς και για διαφορετικά υλικά, ακόμα και για διαφορετικά είδη λίθου.
- Υπάρχουν παράμετροι που δεν είναι δυνατόν να ελεγχθούν ικανοποιητικά κατά τη διάρκεια των δοκιμών, όπως για παράδειγμα η ποσότητα του απορροφώμενου διαλύματος.

Κριτήρια και μεθοδολογία αποτίμησης υλικών και επεμβάσεων συντήρησης και αποκατάστασης

Ευχαριστίες

Η εργασία πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του Προγράμματος ΘΑΛΗΣ-ΑΕΙΣ "Αειφορία και συμβατότητα προηγμένων υλικών και τεχνολογιών για την προστασία μνημείων της Πολιτιστικής Κληρονομιάς: ανάπτυξη κριτηρίων και μεθοδολογιών ελέγχου" με επιστημονικά υπεύθυνη την Καθ. Α. Μοροπούλου, με τη χρηματοδότηση του Επιχειρησιακού Προγράμματος "Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση" του Υπουργείου Πολιτισμού, Παιδείας και Θρησκευμάτων.

Η παρούσα εργασία αφορά σε τμήμα παραδοτέου που συντονίζει ο Καθ. Π. Θεουλάκης (ΤΕΙΑ) και η Καθ. Ε. Βιντζηλαίου (ΕΜΠ) για το έργο "Αειφορία και συμβατότητα προηγμένων υλικών και τεχνολογιών για την προστασία μνημείων της Πολιτιστικής Κληρονομιάς: ανάπτυξη κριτηρίων και μεθοδολογιών ελέγχου" με επιστημονικά υπεύθυνη την Καθ. Α. Μοροπούλου (ΕΜΠ).

Βιβλιογραφία

Haake, S., Simon, S., Favaro, M., “The Bologna cocktail: Evaluation of the consolidation treatments on monuments in France and Italy after 20 years of natural aging” 10th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Stockholm, eds Kwiatkowski, D, Lofvendahl, R., vol. 1 (2004) 423–430.

Karatasios, I., Theoulakis, P., Kalagri, A., Sapalidis, A., Kilikoglou,V., “Evaluation of consolidation treatments of marly limestones used in archaeological monuments” *Construction and Building Materials* 23, 8 (2009) 2803–12.

Moropoulou, A., Theoulakis, P., Tsiourva, T., Haralampopoulos, G., “Compatibility evaluation of consolidation treatments in monument scale: Techniques and methodology to evaluate the compatibility of conservation materials and interventions in monument scale”, Compatible Materials Recommendations for the Preservation of European Cultural Heritage, ed. Moropoulou, A., (2000) 209–30.

Price C.A., Doehne, E., “Stone Conservation: An Overview of Current Research”, (2010) The Getty Conservation Institute.

Snethlage, R., Wendler, E., “Surfactants and adherent silicon resins: New protective agents for natural stone” Materials Issues in Art and Archaeology II Symposium, eds. Vandiver, P.B., Druzik, J.R., Wheeler, G.S., (1991) 193–200.

Κριτήρια και μεθοδολογία αποτίμησης υλικών και επεμβάσεων συντήρησης και αποκατάστασης

Theoulakis, P., Stefanis, N.A., Karatasios, I., Kilikoglou, V., Pilinis. C., "Performance evaluation of surface coatings against the degradation of stone monuments caused by the deposition of airborne particulate matter." 11th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, eds. Lukaszewicz, J.W., Niemcewicz, W., (2008) 1071–76.

Theoulakis. P., Karatasios, I. Stefanis, N.A., "Performance criteria and evaluation parameters for the consolidation of stone" International Symposium Eu-ARTECH - Stone consolidation in cultural heritage - research and practice, ed. Delgado-Rodriguez (2008) 279-287.

Κριτήρια και μεθοδολογία αποτίμησης υλικών και επεμβάσεων συντήρησης και αποκατάστασης

Υλικά και Επεμβάσεις για την Αποκατάσταση, Συντήρηση και την Προστασία των Αρχιτεκτονικών Επιφανειών του κτιρίου της Ιστορικής Πρυτανείας του Ιστορικού Συγκροτήματος του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου στην Πατησίων (Materials and Interventions for the Restoration, Conservation and Protection of the Architectural Surfaces of the Historic Rectorship Building, in the Historic Complex of National Technical University of Athens, at Patision Street)

Αικ. Θ. Δελέγκου[1], Π. Μούνδουλας[1], Μ. Μερτζάνη[2], Α. Μοροπούλου[1]

[1] Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Χημικών Μηχανικών, 15780, Αθήνα, Ελλάδα
[2] Υπουργείο Πολιτισμού, Δ/νση Συντήρησης Αρχαίων και Νεοτέρων Μνημείων, 105 53, Αθήνα, Ελλάδα

Abstract

In this work, the onsite evaluation of the pilot conservation interventions that took place for a graffiti removal that vandalized in March of 2015 the façades of the Historic Rectorship Building, in the Historic Complex of National Technical University of Athens-NTUA, at Patision and Stournari Streets, is presented.

In particular, the results under presentation concern the performance evaluation of the graffiti removal, using different cleaning methods, as well as the performance evaluation of anti-graffiti protective materials. Pilot conservation interventions (cleaning and anti-graffiti protection) were applied on both types of the architectural surfaces of the Historic Rectorship Building facades' that is marble facings and plastered areas. The non destructive techniques of Fiber Optics Microscopy (FOM), Infrared Thermography (IRT), and Colorimetry were applied in situ for the evaluation of the pilot conservation interventions (cleaning and anti-graffiti protection).

Finally, it is worth mentioning that the applied pilot conservation interventions and their evaluation guided and complemented the conservation works throughout their execution, based on the deontology and principles of cultural heritage protection; whereas social, historic and political demands posed as a necessity the immediate restoration of the vandalized facades.

Κριτήρια και μεθοδολογία αποτίμησης υλικών και επεμβάσεων συντήρησης και αποκατάστασης

Within this framework and in combination to the Greek economic crisis the restoration-conservation works of the Historic Rectorship Building were completed thanks to the cooperation of the following different kind authorities: NTUA (multidisciplinary cooperation of Architectural and Chemical Engineering Schools), Ministry of Culture, Education and Religious Affairs, (Directorate of Conservation of Ancient and Modern Monuments), Municipality of Athens and private donators for conservation materials and labor.

Περίληψη

Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επί τόπου αποτίμησης των πιλοτικών επεμβάσεων συντήρησης που έλαβαν χώρα στις αρχιτεκτονικές επιφάνειες του κτιρίου της Ιστορικής Πρυτανείας του Ιστορικού Συγκροτήματος του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου στην Πατησίων, με στόχο την απομάκρυνση graffiti που επικάλυψε το σύνολο των όψεων του κτιρίου επί των οδών Πατησίων και Στουρνάρη στις αρχές του Μαρτίου του 2015.

Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που αφορούν στην αποτίμησης της αποτελεσματικότητας (α) της απομάκρυνσης του graffiti με διαφορετικές μεθόδους καθαρισμού, καθώς και (β) anti-graffiti προστατευτικών υλικών, τόσο στις μαρμάρινές, όσο και στις επιχρισμένες αρχιτεκτονικές επιφάνειες της Ιστορικής Πρυτανείας του ΕΜΠ. Η αποτίμηση των πιλοτικών εφαρμογών μεθόδων καθαρισμού και anti-graffiti προστατευτικών υλικών, πραγματοποιήθηκε με την επί τόπου εφαρμογή των μη καταστρεπτικών υλικών της Μικροσκοπίας Οπτικών Ινών, της Θερμογραφίας Υπερύθρου και της Χρωματομετρίας.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι οι πιλοτικές επεμβάσεις συντήρησης στην κλίμακα των όψεων της Ιστορικής Πρυτανείας, καθώς και η επί τόπου αποτίμηση τους, καθοδηγούσαν και συμπλήρωναν την εκτέλεση του έργου καθ' όλη τη διάρκειά του, βάσει της δεοντολογίας και των αρχών της προστασίας των ιστορικών κτιρίων, ενώ κοινωνικές, ιστορικές και πολιτικές απαιτήσεις έθεταν ως αναγκαιότητα την άμεση αποκατάσταση των βανδαλισμένων αρχιτεκτονικών επιφανειών. Στο πλαίσιο αυτό και σε συνδυασμό με την οικονομική κρίση που ταλανίζει τη χώρα, το έργο της αποκατάστασης της Ιστορικής Πρυτανείας του ΕΜΠ (μελέτη - επίβλεψη - εκτέλεση έργου) πραγματοποιήθηκε με τη σύμπραξη και τη συνένωση των δυνάμεων διαφορετικών φορέων: του ΕΜΠ (μέσω της διεπιστημονικής συνεργασίας των Σχολών των Αρχιτεκτόνων και Χημικών Μηχανικών), του Υπουργείου Πολιτισμού, Παιδείας και Θρησκευμάτων, (Δ/νση Συντήρησης

Αρχαίων και Νεοτέρων Μνημείων), του Δήμου Αθηναίων, καθώς και ιδιωτών χορηγών υλικών και εργασιών.

Εισαγωγή

Οι βανδαλισμοί της πολιτιστικής κληρονομιάς από graffiti είναι ένα αυξανόμενο πρόβλημα για την επιστημονική κοινότητα της συντήρησης. Ο καθαρισμός των graffiti, καθώς και η μετέπειτα anti-graffiti προστασία των βανδαλισμένων επιφανειών οφείλει να πλήρη κριτήρια συμβατότητας που αφορούν αφενός την επιτυχή απομάκρυνση του graffiti και αφετέρου στη μη απομάκρυνση αυθεντικού υλικού, στην αποδεκτή μεταβολή της επιφανειακής μικροδομής, της διαπερατότητας σε νερό και ατμό, καθώς και των χρωματικών παραμέτρων των ιστορικών δομικών υλικών.

Στις αρχές του Μαρτίου του 2015 το σύνολο των αρχιτεκτονικών επιφανειών των όψεων της Ιστορικής Πρυτανείας του ΕΜΠ, επί των οδών Πατησίων και Στουρνάρη επικαλύφθηκε με το graffiti που απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα.

Εικ. 1:Η Ιστορική Πρυτανεία του ΕΜΠ μετά το βανδαλισμό

Το κτηριακό συγκρότημα του Πολυτεχνείου στην Πατησίων αποτελεί ένα από τα κορυφαία δείγματα του ελληνικού κλασικισμού και από το 1873 στεγάζει το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Από το 1952 προστατεύεται από το Νόμο «Περί προστασίας ειδικής κατηγορίας οικοδομημάτων και έργων τέχνης μεταγενέστερων του έτους 1830» (ΦΕΚ 54/Β/5-3-1952), ενώ από το 2006 χαρακτηρίστηκε ως ιστορικός τόπος (ΥΠΠΟ/ΔΝΣΑΚ/92651/2601/7-11-2006Υ.Α). Οι αρχιτεκτονικές επιφάνειες

της Ιστορικής Πρυτανείας που επικαλύφθηκαν με graffiti, όπως δίδονται στα αρχιτεκτονικά σχέδια της Σχ. Αρχιτεκτόνων ΕΜΠ, με υπεύθυνη την Κοσμήτορα της Σχολής Αρχιτεκτόνων ΕΜΠ Καθ. Ε. Μαΐστρου, συνίστανται από επιχρισμένες (~239 τ.μ.) και μαρμάρινες επιφάνειες (~172.5 τ.μ.). Οι ορθομαρμαρώσεις του ισογείου είναι από γκρίζο χτυπητό μάρμαρο Κοκκιναρά, ακολουθούν ταινίες από λείο γκρίζο μάρμαρο Κοκκιναρά και

λευκό Πεντελικό μάρμαρο, ενώ οι παραστάδες και τα πλαίσια των παραθύρων είναι επίσης από λευκό Πεντελικό μάρμαρο.

Αξίζει να σημειωθεί ότι στο συγκεκριμένο κτίριο είχαν λάβει χώρα εκτεταμένες επεμβάσεις αποκατάστασης λόγω των σημαντικών βλαβών που υπέστη τη δεκαετία του 90, μετά από πυρκαγιά που ξέσπασε κατά τη διάρκεια του εορτασμού της επετείου του Πολυτεχνείου.

Πειραματικές Τεχνικές, Μεθοδολογική Προσέγγιση, Υλικά &Μέθοδοι

Οι πειραματικές τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν επί τόπου στην κλίμακα του ιστορικού κτιρίου για τον έλεγχο και την αποτίμηση της συμβατότητας των υλικών και μεθόδων καθαρισμού και anti-graffiti προστασίας είναι: η Μικροσκοπία Οπτικών Ινών - ΜΟΙ (i-scope – Moritex) για τον μη καταστρεπτικό έλεγχο των μεταβολών της μορφολογίας του μαρμάρου λόγω των επεμβάσεων καθαρισμού, καθώς και των επεμβάσεων anti-graffiti προστασίας, η Θερμογραφία Υπερύθρου - ΘΥ (B200 FLIR), για τον μη καταστρεπτικό έλεγχο της μεταβολής της διαπνοής των αρχιτεκτονικών επιφανειών μετά την εφαρμογή του anti-graffiti προστατευτικού υλικού και η Χρωματομετρία (Dr Lange color-pen LMG 159/160) για τον μη καταστρεπτικό έλεγχο των χρωματικών μεταβολών, βάσει του Ενιαίου Χρωματικού Χώρου CIE L*, a*, b*, όπως αυτές ορίζονται στο ASTM D2244-9, καθώς και στο UNI EN 15886 (2010).

Η μεθοδολογική προσέγγιση η οποία ακολουθήθηκε περιελάμβανε τον ορισμό επιφανειών ελέγχου και αναφοράς των προς συντήρηση επιφανειών, σε σχέση με την προσδοκώμενη μορφολογία και υφή που πρέπει να επιτευχθεί μετά τις επεμβάσεις καθαρισμού του graffiti και της anti-graffiti προστασίας [1]. Με βάση το παραπάνω πλαίσιο του ελέγχου της κατάστασης διατήρησης των ορθομαρμαρώσεων και των επιχρισμένων επιφανειών, επιλέχθηκαν στον εσωτερικό προαύλιο χώρο του Ιστορικού Συγκροτήματος του ΕΜΠ, μαρμάρινες και επιχρισμένες αρχιτεκτονικές επιφάνειες της Ιστορικής Πρυτανείας, οι οποίες δεν έχουν υποστεί αφενός τον πρόσφατο βανδαλισμό graffiti των όψεων Πατησίων-Στουρνάρη και αφετέρου παλαιότερους βανδαλισμούς με graffiti. Παράλληλα, οι επιφάνειες αυτές αν και έχουν άλλο προσανατολισμό, βρίσκονται δίπλα στην περίφραξη του Ιστορικού Συγκροτήματος ΕΜΠ επί της οδού Πατησίων και συνεπώς σε αντίστοιχα έντονα ρυπασμένο μικροκλίμα με αυτό των προς συντήρηση αρχιτεκτονικών επιφανειών των οδών Πατησίων-Στουρνάρη. Επιπλέον, στις συγκεκριμένες επιφάνειες ελέγχου και αναφοράς τοποθετήθηκαν και αποτιμήθηκαν τα προτεινόμενα υλικά antigraffiti προστασίας. Η επιλογή των

Κριτήρια και μεθοδολογία αποτίμησης υλικών και επεμβάσεων συντήρησης και αποκατάστασης

υλικών-μεθόδων καθαρισμού και προστασίας, καθώς και των τεχνικών προδιαγραφών που εφαρμόστηκαν, έγινε βάσει της εμπειρίας και της τεχνογνωσίας της Δ/νσης Συντήρησης Αρχαίων και Νεοτέρων Μνημείων του ΥΠΠΟ και του Εργαστηρίου Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών της Σχ. Χ-Μ του ΕΜΠ [2, 3]. Οι επεμβάσεις καθαρισμού, η δράση των οποίων αποτιμήθηκε, παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 1. Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται τα anti-graffiti προστατευτικά υλικά που εφαρμόστηκαν.

Πίνακας 1: Επεμβάσεις καθαρισμού

Μαρμάρινες αρχιτεκτονικές επιφάνειες	υδροβολή ζεστού νερού θερμοκρασίας περί τους 50 ºC και σε συνθήκες πίεσης ≤ 5 bar
	υγρή μικροψηγματοβολή, σωματιδίων ανθρακικού ασβεστίου ($CaCO_3$) λεπτής κοκκομετρίας (d<100 μm), σφαιρικής γεωμετρίας, αναλογίας υλικού προς νερό 1:3 και με πίεση λειτουργίας ≤ 2 bar
	γέλη με υλικό απομάκρυνσης graffiti το n-μεθυλ-2-πυρολιδώνη, συγκέντρωσης περί τα 20% κ.β. και 2-βουτοξιεθανόλη, συγκέντρωσης περί τα 20% κ.β. σε δ/μα κορεσμένων και ακόρεστων υδρογονανθράκων
Επιχρισμένες αρχιτεκτονικές επιφάνειες	υγρή μικροψηγματοβολή σωματιδίων ανθρακικού ασβεστίου ($CaCO_3$) λεπτής κοκκομετρίας (d<100 μm), σφαιρικής γεωμετρίας, αναλογίας υλικού προς νερό 1:3 και με πίεση λειτουργίας 2 με 4 bar
	ξηρή μικροψηγματοβολή μικροσπόγγων πλούσιων σε σφαιρικά σωματίδια $CaCO_3$ διαμέτρου ~ 6μm και πίεση λειτουργίας 4 με 4.5 bar
	με υδροβολή υψηλής πίεσης, όπου το ακροφύσιο ήταν κάθετα τοποθετημένο ως προς την επιφάνεια καθαρισμού

Πίνακας 2: Επεμβάσεις anti-graffiti προστασίας

Μαρμάρινες αρχιτεκτονικές επιφάνειες	θυσιαζόμενο στρώμα υδατικής διασποράς κεριού, σε δύο επικαλύψεις
Επιχρισμένες αρχιτεκτονικές επιφάνειες	μόνιμο στρώμα οργανικής χημικής σύστασης – μίγμα αλκανίων C11-C15 και μέθυλο-βουτανόν- τριόξιμο-σιλάνιο, σε δύο επικαλύψεις

Παρουσίαση & Συζήτηση Αποτελεσμάτων

Κριτήρια και μεθοδολογία αποτίμησης υλικών και επεμβάσεων συντήρησης και αποκατάστασης

Αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα αποτίμησης επεμβάσεων καθαρισμού

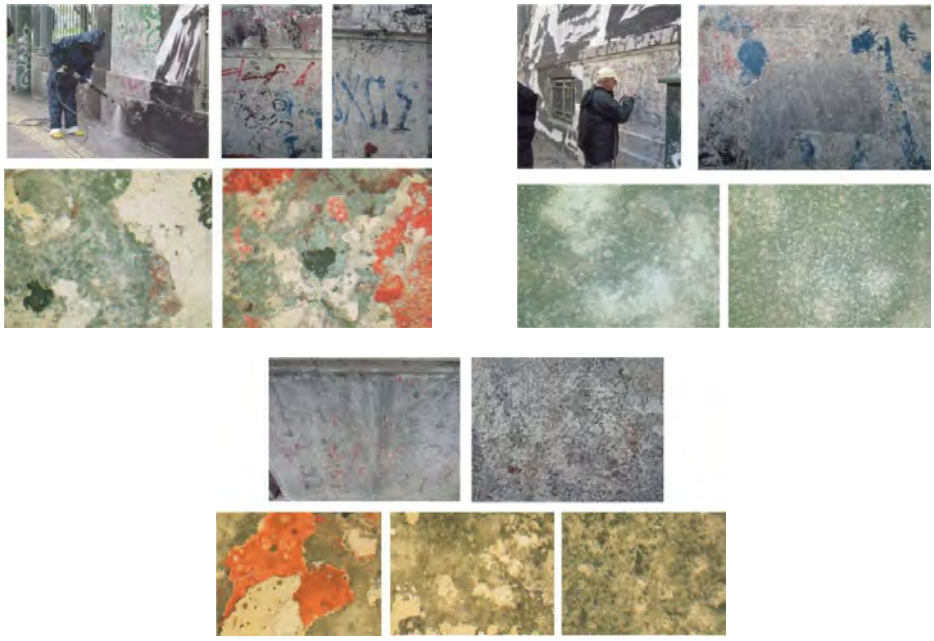
Στις ορθομαρμαρώσεις του ισογείου, καθώς και στις ταινίες λείου γκρίζου και λευκού μαρμάρου εφαρμόστηκε υδροβολή ζεστού νερού έως 50ºC και πίεσης 5bar, από τους συντηρητές της Δ/νσης Συντήρησης του ΥΠΠΟ, με αποτέλεσμα την απομάκρυνση του πρόσφατου graffiti που είχε καλύψει το σύνολο των όψεων της Ιστορικής Πρυτανείας επί των οδών Πατησίων και Στουρνάρη. Η απομάκρυνση του πρόσφατου graffiti αποκάλυψε υποκείμενα στρώματα παλαιότερων βανδαλισμών από graffiti, αφισοκολλήσεων, καθώς και εφαρμογής διαφόρων χρωματικών επιστρώσεων, τα οποία είναι εμφανή τόσο μακροσκοπικά, όσο και μικροσκοπικά με την ΜΟΙ (εικ. 2, πάνω αριστερά). Η χτυπητή κατεργασία του μαρμάρου, καθώς και η παρουσία πολλαπλών διαφορετικών στρωμάτων δεν επιτρέπει την ομοιόμορφη δράση της υδροβολής καθιστώντας την μη αποτελεσματική για τον καθαρισμό των υποκείμενων στρωμάτων από παλαιότερους βανδαλισμούς. Έτσι, κρίθηκε απαραίτητη συμπληρωματική εφαρμογή επέμβασης καθαρισμού, η οποία να απομακρύνει αποτελεσματικά τα υποκείμενα στρώματα. Για το σκοπό αυτό εφαρμόστηκαν πιλοτικά, στις ήδη καθαρισμένες με υδροβολή επιφάνειες, η μέθοδος της υγρής μικροψηγματοβολής και της γέλης με οργανικό υλικό απομάκρυνσης graffiti για 40 λεπτά (β.λ. Πίνακα 1).

Η αποτελεσματικότητα της πιλοτικής εφαρμογής της υγρής μικροψηγματοβολής σε σχέση με την απομάκρυνση των παλιότερων στρωμάτων βανδαλισμών κρίνεται ικανοποιητική, όπως παρατηρείται τόσο μακροσκοπικά όσο και μικροσκοπικά από τις εικόνες της ΜΟΙ για το λείο και χτυπητό μάρμαρο Κοκκιναρά, καθώς και το Πεντελικό Μάρμαρο (εικ. 2, πάνω δεξιά). Συνεπώς, η χρήση της υγρής μικροψηγματοβολής με τις συγκεκριμένες προδιαγραφές μπορεί να ικανοποιήσει, αφενός το κριτήριο της απομάκρυνσης των παλαιότερων χρωματικών στρωμάτων και αφετέρου το κριτήριο της ελάχιστης ενεργοποίησης της επιφάνειας προς την επιδεκτικότητά της στη φθορά των ατμοσφαιρικών ρυπαντών. Η αποτελεσματικότητα της συγκεκριμένης τεχνικής με τις αντίστοιχες προδιαγραφές, προκύπτει από την συνδυασμένη (α) φυσικοχημική και μηχανική δράση των σφαιρικών σωματιδίων του ανθρακικού ασβεστίου, τα οποία βαλλόμενα στην προς καθαρισμό επιφάνεια μπορούν να απομακρύνουν ήπια, λόγω της χαμηλής πίεσης, τη χρωματική επίστρωση των graffiti, καθώς και (β) της διαλυτικής και ήπιας μηχανικής δράσης του βαλλόμενου νερού υπό χαμηλή πίεση.

Παράλληλα, τοποθετήθηκε σε παράπλευρη επιφάνεια χτυπητού

Κριτήρια και μεθοδολογία αποτίμησης υλικών και επεμβάσεων συντήρησης και αποκατάστασης

μαρμάρου Κοκκιναρά η γέλη για 40 λεπτά η οποία και απομακρύνθηκε με υδροβολή ζεστού νερού έως 50ºC και πίεσης 5bar, σύμφωνα με τις προδιαγραφές της εταιρείας παραγωγής. Η απομάκρυνση των περισσότερων graffiti δεν κατέστη εφικτή (βλ. εικ., 2 κάτω). Η αναποτελεσματικότητα της γέλης απομάκρυνσης graffiti, οφείλεται στο γεγονός ότι εκτός από graffiti στην αρχιτεκτονική επιφάνεια, υπάρχουν υπολείμματα παλαιότερων χρωματικών επιστρώσεων, τα οποία η γέλη δεν μπορεί απομακρύνει, αφού ούτως ή άλλως δεν έχει παραχθεί για αυτό τον σκοπό. Η μεταβολή της μορφολογίας της επιφάνειας μετά την εφαρμογή της γέλης και της απομάκρυνσής της με υδροβολή κρίνεται οριακά αποδεκτή. Συνεπώς, για την αποτελεσματική απομάκρυνση τόσο του πρόσφατού graffiti, όσο και παλαιότερων βανδαλισμών εφαρμόστηκαν πρώτα η υδροβολή ζεστού νερού και η μετά υγρή μικροψηγματοβολή.

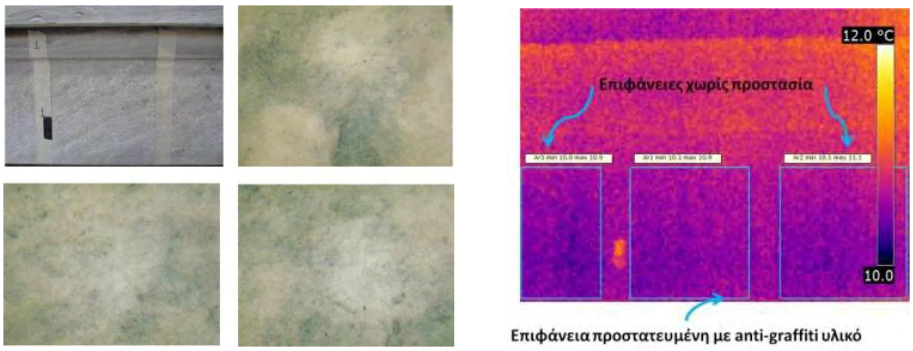


Εικ. 2: Εφαρμογή υδροβολής και εικόνες ΜΟΙ (x50) (πάνω αριστερά), πιλοτική εφαρμογή υγρής μικροψηγματοβολής και εικόνες ΜΟΙ (x50) (πάνω δεξιά), πιλοτική εφαρμογή γέλης με υλικό απομάκρυνσης graffiti και εικόνες ΜΟΙ (x120) (κάτω), στο γκρίζο χτυπητό μάρμαρο Κοκκιναρά

Αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα αποτίμησης επεμβάσεων anti-graffiti προστασίας

Κριτήρια και μεθοδολογία αποτίμησης υλικών και επεμβάσεων συντήρησης και αποκατάστασης

Πριν την εφαρμογή του υλικού, οι μαρμάρινες επιφάνειες πλύθηκαν με νερό και μαλακή βούρτσα, έτσι ώστε να απομακρυνθούν επικαθίσεις σωματιδίων σκόνης, αφέθηκαν να στεγνώσουν και μετά έγινε η κατεργασία με το anti-graffiti προστατευτικό υλικό. Το anti-graffiti προστατευτικό υλικό υδατικής διασποράς κεριού που εφαρμόστηκε πιλοτικά, ανήκει στα θυσιαζόμενα στρώματα, όπου μετά την εφαρμογή του και σε περίπτωση βανδαλισμού, το graffiti απομακρύνεται με ζεστό νερό, ενώ η επανεφαρμογή του είναι απαραίτητη.



Εικ. 3: Αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα ΜΟΙ (x50) & ΘΥ από την Επιφάνεια Ελέγχου-Αναφοράς 1- χτυπητό μάρμαρο Κοκκιναρά, μετά την εφαρμογή του anti-graffiti προστατευτικού υλικού

Η μορφολογία της επιφάνειας των μαρμάρων, λείου και χτυπητού μαρμάρου Κοκκιναρά, καθώς και Πεντελικού μαρμάρου, δεν έχει διαφοροποιηθεί μετά από την εφαρμογή του προστατευτικού υλικού, βάσει των εικόνων της ΜΟΙ. Αυτό υποδεικνύει ότι ο μηχανισμός εναπόθεσης του προστατευτικού υλικού στις αρχιτεκτονικές επιφάνειες δεν δημιουργεί φιλμ που θα παρεμπόδιζε την «αναπνοή» τους. Το συμπέρασμα αυτό επιβεβαιώνεται και από τα αποτελέσματα της ΘΥ, από τα οποία καθίσταται σαφές ότι δεν υπάρχει θερμοκρασιακή διαφοροποίηση των προστατευμένων επιφανειών από τις μη κατεργασμένες (Εικ. 3). Παράλληλα, τα αποτελέσματα της Χρωματομετρίας (Πίνακας 3) δείχνουν ότι η εφαρμογή του προστατευτικού υλικού δεν επιφέρει χρωματικές μεταβολές σε καμία από τις 3 επιφάνειες ελέγχου – αναφοράς, αφού η συνολική μεταβολή χρώματος ΔΕ είναι μικρότερη από το 5 (ΔΕ<5), που θεωρείται το κοινά αποδεκτό όριο [4]. Πιο συγκεκριμένα, η συνολική διαφορά χρώματος ΔΕ, βάσει του ενιαίου χρωματικού χώρου CIE L*a*b*, δίνεται από τη σχέση:

Κριτήρια και μεθοδολογία αποτίμησης υλικών και επεμβάσεων συντήρησης και αποκατάστασης

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$$

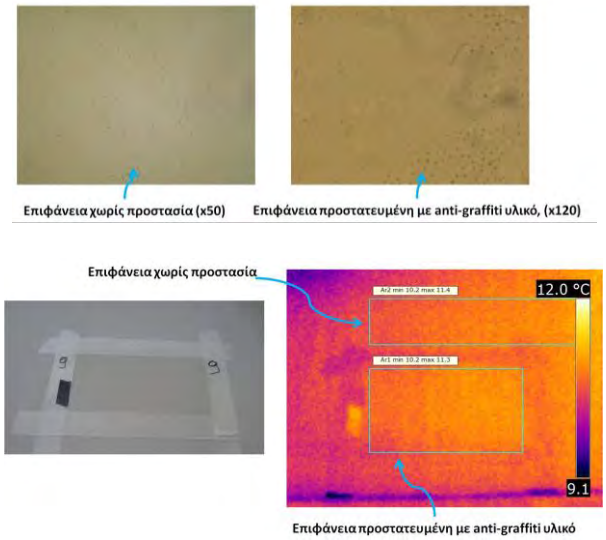
Όπου ΔL*: διαφορά λαμπρότητας ($\Delta L^* = L^*_{ΜΕΤΑ} - L^*_{ΠΡΙΝ}$), Δa*: διαφορά στο κόκκινο-πράσινο ($\Delta a^* = a^*_{ΜΕΤΑ} - a^*_{ΠΡΙΝ}$), Δb*: διαφορά στο κίτρινο-μπλε ($\Delta b^* = b^*_{ΜΕΤΑ} - b^*_{ΠΡΙΝ}$).

Πίνακας 3: Αποτελέσματα Χρωματομετρίας

Επιφάνεια Ελέγχου – Αναφοράς	Συνολική μεταβολή χρώματος ΔΕ
1, χτυπητό μάρμαρο Κοκκιναρά	2,58
5, λείο μάρμαρο Κοκκιναρά	1,56
8, λείο Πεντελικό Μάρμαρο	3,53

Κατά την πιλοτική εφαρμογή anti-graffiti προστατευτικού υλικού στις επιχρισμένες επιφάνειες τοποθετήθηκε υλικό μόνιμης προστασίας, οργανικής χημικής σύστασης (β.λ. Πίνακα 2), σε δύο επικαλύψεις. Η μορφολογία της επιχρισμένης επιφάνειας ελέγχου – αναφοράς 9, δεν έχει διαφοροποιηθεί μετά από την εφαρμογή του προστατευτικού υλικού, βάσει των εικόνων της ΜΟΙ. Συνεπώς, ο μηχανισμός εναπόθεσης του προστατευτικού υλικού στο επίχρισμα δε δημιουργεί φιλμ που θα παρεμπόδιζε την «διαπνοή» της υποκείμενης τοιχοποιίας. Επιπλέον, τα αποτελέσματα της ΘΥ, δείχνουν ότι δεν υπάρχει θερμοκρασιακή διαφοροποίηση της προστατευμένης επιφάνειας επιχρίσματος από τη μη κατεργασμένη και συνεπώς η διαπνοή της τοιχοποιίας δεν παρεμποδίζεται. Παράλληλα η συνολική μεταβολή χρώματος ΔΕ έχει τιμή 1.25, δηλαδή είναι μικρότερη από 5, υποδηλώνοντας τη συμβατότητα του υλικού σε ότι αφορά την αισθητική.

Κριτήρια και μεθοδολογία αποτίμησης υλικών και επεμβάσεων συντήρησης και αποκατάστασης



Εικ.4: Αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα ΜΟΙ (πάνω) και ΘΥ (κάτω) της επιφάνειας ελέγχου-αναφοράς 9, επιχρισμένων επιφανειών, πριν και μετά την εφαρμογή του anti-graffiti προστατευτικού υλικού

Συμπεράσματα

Συμπερασματικά μπορούμε να αναφέρουμε ότι η συνδυαστική δράση των μεθόδων της θερμής υδροβολής και της υγρής μικροψηγματοβολής με τις τεχνικές προδιαγραφές που προαναφέρθηκαν, επιτέλεσαν το στόχο της απομάκρυνσης του graffiti από τις μαρμάρινες αρχιτεκτονικές επιφάνειες. Η υδροβολή υψηλής πίεσης ήταν η πιο αποτελεσματική τεχνική για την απομάκρυνση του graffiti από τις επιχρισμένες αρχιτεκτονικές επιφάνειες. Το θυσιαζόμενο στρώμα υδατικής διασποράς κεριού, καθώς και το μόνιμο στρώμα οργανικής χημικής σύστασης – μίγμα αλκανίων C11-C15 και μέθυλο-βουτανόν- τριόξιμο-σιλάνιο, κρίθηκαν συμβατά και αποτελεσματικά υλικά anti-graffiti προστασίας για τις μαρμάρινες και τις επιχρισμένες αρχιτεκτονικές επιφάνειες αντιστοίχως. Το έργο της αποκατάστασης, συντήρησης και προστασίας των αρχιτεκτονικών επιφανειών της Ιστορικής Πρυτανείας του ΕΜΠ είναι μια ιδιαίτερης σημασίας μελέτη περίπτωσης, που παρουσιάζει καινοφανείς και ad hoc μεθοδολογικές πρακτικές: Αφενός, η επί τόπου εφαρμογή των μη καταστρεπτικών τεχνικών της Μικροσκοπίας Οπτικών Ινών, της Θερμογραφίας Υπερύθρου και της Χρωματομετρίας στην κλίμακα των όψεων του ιστορικού κτιρίου καθ' όλη τη διάρκεια του έργου, καθοδηγούσε και συμπλήρωνε τις αναγκαίες λήψεις αποφάσεων σε σχέση με την επιλογή υλικών και μεθόδων με αποτελεσματικότητα βάσει

επιστημονικών και δεοντολογικών κριτηρίων, παρά το περιορισμένο χρονικό πλαίσιο υλοποίησης του έργου. Αφετέρου, η συνεργασία και σύμπραξη, σε σχέση με τη μελέτη την επίβλεψη και την εφαρμογή του έργου, από το καθ' ύλην αρμόδιο Υπουργείο Πολιτισμού – Δημόσιος Φορέας, το ΕΜΠ – Ιδιοκτήτης και Ερευνητικός Φορέας, τον Δήμο Αθηναίων – Τοπική Αυτοδιοίκηση, καθώς και ιδιωτών χορηγών υλικών και εργασιών, έδωσε διέξοδο στα οικονομικής φύσης προβλήματα που προκύπτουν σε σχέση με την εφαρμογή έκτακτων δηλ. μη προγραμματισμένων και μεγάλης έκτασης επεμβάσεων συντήρησης σε ιστορικά κτίρια. Τα ανωτέρω μπορούν να αποτελέσουν οδηγό για την εκτέλεση αντίστοιχων έργων που αφορούν στην προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς, με περαιτέρω εξέλιξη και βελτίωση κυρίως προς την κατεύθυνση θεσμικών αλλά και τεχνολογικών – τεχνικών προσεγγίσεων.

Βιβλιογραφικές αναφορές

[1] Α. Μοροπούλου: «Έκθεση Τεκμηρίωσης της Υφιστάμενης Κατάστασης των Αρχιτεκτονικών Επιφανειών του κτιρίου της Ιστορικής Πρυτανείας του Ιστορικού Συγκροτήματος του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου στην Πατησίων. Αποτελέσματα της επί τόπου Αποτίμησης Πιλοτικών Επεμβάσεων Συντήρησης», 2015, ΕΜΠ

[2] A. Moropoulou, E.T. Delegou, N.P. Avdelidis, M. Koui, "Assessment of cleaning conservation interventions on architectural surfaces using an integrated methodology", Materials Issues in Art and Archaeology VI, Eds: P. Vandiver, M. Goodway, J.R Druzik, J.L Mass, Vol. 712, Publ. Materials Research Society, (2002), pp. 69-76.

[3] Λαμπρινή Καρακούρτη: «Υλικά Antigraffiti προστασίας όψεων ιστορικών κτιρίων – Εργαστηριακές εφαρμογές», Μεταπτυχιακή Εργασία, ΔΠΜΣ Προστασία Μνημείων, Κατεύθυνση Β΄ Υλικά και Επεμβάσεις Συντήρησης, Επιβλέπουσα: Καθ. Α. Μοροπούλου, ΕΜΠ, 2002.

[4] C. Miliani, M.L. Velo-Simpson, G.W. Scherer, Particle-modified consolidants: a study on the effect of particles on sol–gel properties and consolidation effectiveness, J. Cult. Herit. 8 (2007) 1–6.

Επιστημονική υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων για υλικά και επεμβάσεις συντήρησης και αποκατάστασης

Κρίσιμες παράμετροι για τη λήψη αποφάσεων για συμβατά και επιτελεστικά κονιάματα αποκατάστασης (Decision making parameters for the proper compatible and serviceable restoration mortars)

Μ. Αποστολοπούλου, Π. Μούνδουλας, Ε. Αγγελακοπούλου, Α. Μπακόλας, Α. Μοροπούλου

Τομέας Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π.

Abstract

Monuments and historical buildings are degraded as time passes due to natural ageing, environmental factors, as well as natural phenomena such as earthquakes; their conservation and restoration thus becomes crucial in order to preserve our cultural heritage (monumenta and structures). **Repointing** of monuments and historical buildings is perhaps the most usual conservation action, as it restores and ensures masonry continuity in a reversible manner. However, this is accomplished only if the restoration mortar applied must fulfill **compatibility** and **serviceability** criteria. The definition of the criteria is a complex procedure, as authentic materials vary extremely between cases; furthermore, the specific environment of each monument must be taken into account, in order to apply a restoration mortar that is serviceable. Due to the diversity of the characteristics of the authentic mortars, as well as the specific environment of each monument and historical building, the definition of specific limits defining the acceptable characteristics a restoration mortar must comply with is extremely difficult. However, by selecting specific **critical** parameters and creating a database of real case studies recording positive and negative instances and cases, an extremely useful tool in **decision making** can be implemented, in order to assist in the selection of the optimum restoration mortar for each specific case, thus ensuring longevity and preservation of our cultural heritage.

Επιστημονική υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων για υλικά και επεμβάσεις συντήρησης και αποκατάστασης

Περίληψη

Καθώς τα μνημεία και οι ιστορικές κατασκευές παρουσιάζουν φθορές με την πάροδο του χρόνου, αλλά και υπό την επίδραση του επιβαρυμένου περιβάλλοντος τους και τη δράση σεισμικών καταπονήσεων, η συντήρηση και αποκατάστασή τους γίνεται επιτακτική ανάγκη για την διατήρηση της πολιτιστικής μας κληρονομιάς (μνημεία και κατασκευές). **Η αρμολόγηση** των μνημείων και των ιστορικών κατασκευών, είναι ίσως η πιο συνήθης διαδικασία κατά την αποκατάσταση, καθώς, πέραν του ότι επαναφέρει την συνέχεια της τοιχοποιίας, θεωρείται και αντιστρέψιμη. Το κονίαμα αποκατάστασης που εφαρμόζεται όμως πρέπει να πληροί κριτήρια **συμβατότητας,** καθώς και **επιτελεστικότητας**. Ο ορισμός των κριτηρίων αυτών είναι μια περίπλοκη διαδικασία, καθώς τα αυθεντικά υλικά διαφέρουν από μνημείο σε μνημείο· επιπλέον πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και το ιδιαίτερο περιβάλλον του κάθε μνημείο ώστε να επιλέγεται το κονίαμα αποκατάστασης που είναι επιτελεστικό στο συγκεκριμένο περιβάλλον. Λόγω της ανομοιογένειας των χαρακτηριστικών των αυθεντικών κονιαμάτων, αλλά και του ιδιαίτερου περιβάλλοντος του κάθε μνημείου, είναι δύσκολος ο καθορισμός συγκεκριμένων ορίων ως προς τα επιθυμητά χαρακτηριστικά που πρέπει να πληροί ένα κονίαμα αποκατάστασης. Ωστόσο με την επιλογή των κατάλληλων **κρίσιμων** παραμέτρων ελέγχου, τη δημιουργία μιας βάσης δεδομένων υπαρκτών περιπτώσεων που έχουν μελετηθεί και με την καταγραφή αρνητικών και θετικών περιπτώσεων, μπορεί να προκύψει ένα εξαιρετικά χρήσιμο εργαλείο για την **λήψη απόφασης**, ώστε κάθε φορά να επιλέγεται το βέλτιστο κονίαμα αποκατάστασης για κάθε ιδιαίτερη εφαρμογή, διασφαλίζοντας έτσι την ακίνητη πολιτιστική μας κληρονομιά.

Εισαγωγή

Καθώς τα μνημεία και οι ιστορικές κατασκευές παρουσιάζουν φθορές με την πάροδο του χρόνου, αλλά και υπό την επίδραση του επιβαρυμένου περιβάλλοντος τους και τη δράση σεισμικών καταπονήσεων, η συντήρηση και αποκατάστασή τους γίνεται επιτακτική ανάγκη για την διατήρηση της πολιτιστικής μας κληρονομιάς (μνημεία και κατασκευές) [1]. **Η αρμολόγηση** των μνημείων και των ιστορικών κατασκευών, είναι ίσως η πιο συνήθης διαδικασία κατά την αποκατάσταση, καθώς, πέραν του ότι επαναφέρει την συνέχεια της τοιχοποιίας, θεωρείται και αντιστρέψιμη. Το κονίαμα αποκατάστασης που εφαρμόζεται όμως πρέπει να πληροί κριτήρια **συμβατότητας,** καθώς και **επιτελεστικότητας**. Ο ορισμός των κριτηρίων

αυτών είναι μια περίπλοκη διαδικασία, καθώς τα αυθεντικά υλικά διαφέρουν από μνημείο σε μνημείο· επιπλέον πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και το ιδιαίτερο περιβάλλον του κάθε μνημείο ώστε να επιλέγεται το κονίαμα αποκατάστασης που είναι επιτελεστικό στο συγκεκριμένο περιβάλλον [2, 3]. Λόγω της ανομοιογένειας των χαρακτηριστικών των αυθεντικών κονιαμάτων, αλλά και του ιδιαίτερου περιβάλλοντος του κάθε μνημείου, είναι δύσκολος ο καθορισμός συγκεκριμένων ορίων ως προς τα επιθυμητά χαρακτηριστικά που πρέπει να πληροί ένα κονίαμα αποκατάστασης. Ωστόσο με την επιλογή των κατάλληλων **κρίσιμων** παραμέτρων ελέγχου, τη δημιουργία μιας βάσης δεδομένων υπαρκτών περιπτώσεων που έχουν μελετηθεί και με την καταγραφή αρνητικών και θετικών περιπτώσεων, μπορεί να προκύψει ένα εξαιρετικά χρήσιμο εργαλείο για την **λήψη απόφασης**, ώστε κάθε φορά να επιλέγεται το βέλτιστο κονίαμα αποκατάστασης για κάθε ιδιαίτερη εφαρμογή, διασφαλίζοντας έτσι την ακίνητη πολιτιστική μας κληρονομιά.

Επιλογή κρίσιμων παραμέτρων

Η λήψη απόφασης όσον αφορά στα κονιάματα αποκατάστασης είναι μια περίπλοκη διαδικασία, καθώς το ιστορικό κονίαμα σαν υλικό δεν είναι προτυποποιημένο και παρουσιάζει μεγάλο εύρος στις τιμές και στα χαρακτηριστικά ανά περίπτωση. Παράλληλα, η πληθώρα διαφορετικών υλικών στην τοιχοποιία, που παρουσιάζουν διαφορετικό βαθμό διάβρωσης, δυσχεραίνει την διαδικασία αποτίμησης της συμβατότητας ενός κονιάματος αποκατάστασης.

Οι Rodrigues&Grossi [4] αντί για την αποτίμηση της συμβατότητας, προτείνουν ένα ενδιαφέρον σύστημα αξιολόγησης κονιαμάτων αποκατάστασης μέσω της χρήσης δεικτών ασυμβατότητας. Συγκεκριμένα, επιλέγονται κάποιες παράμετροι για μια σειρά κριτηρίων συμβατότητας που ορίζονται και στη συνέχεια τίθενται εύρη βαθμονόμησης της ασυμβατότητας των τιμών του κονιάματος αποκατάστασης και του αυθεντικού. Μέσω του συστήματος που προτείνεται, αναδεικνύονται ποια κονιάματα αποκατάστασης είναι επιτρεπτά από άποψη συμβατότητας και ποια όχι, ωστόσο το σύστημα έχει αυθαίρετα εύρη τιμών, ειδικά αν λάβει κανείς υπόψη τη διαφορετικότητα των ιστορικών κονιαμάτων και την ιδιαιτερότητα του κάθε μνημείου. Παράλληλα, προτείνεται και ένα σύστημα περιβαλλοντικών περιορισμών, ανάλογα με το περιβάλλον του μνημείου, χωρίς ωστόσο να συνδέεται με την αποτίμηση των κονιαμάτων αποκατάστασης.

Επιστημονική υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων για υλικά και επεμβάσεις συντήρησης και αποκατάστασης

Σε μια πολύ χρήσιμη και ενδιαφέρουσα μελέτη, οι Moropoulou et al. καταφέρνουν τον συσχετισμό των φυσικοχημικών και μηχανικών χαρακτηριστικών των ιστορικών κονιαμάτων και την κατηγοριοποίησή τους μέσω ανάλυσης κυρίων συνιστωσών (PCA) [5, 6]. Στη μελέτη αυτή καθίσταται εμφανές πως τα ιστορικά κονιάματα κατηγοριοποιούνται μέσω των αποτελεσμάτων μετρήσεων θερμικής ανάλυσης, μελέτης μικροδομής και μηχανικών αντοχών. Η καλύτερη συσχέτιση και κατηγοριοποίηση προκύπτει από τη χρήση αντίστροφου συντελεστή υδραυλικότητας (CO_2/SBW), του πορώδους (Porosity %) και της αντοχής σε εφελκυσμό ($F_{mt,k}$), αναδεικνύοντας τις παραμέτρους αυτές σε εξαιρετικής σημασίας για την κατηγοριοποίηση ενός ιστορικού κονιάματος.

Μια άλλη μελέτη εξαιρετικής σημασίας στην επιλογή παραμέτρων ελέγχου για την αποτίμηση κονιαμάτων αποκατάστασης, είναι η έρευνα των Moropoulou et al., όπου μέσω της ανάλυσης κυρίων συνιστωσών (PCA), τα κονιάματα αποκατάστασης κατηγοριοποιούνται μέσω της συσχέτισης της σύνθεσης και των χαρακτηριστικών τους [7]. Σαν σημαντικές παράμετροι για την κατηγοριοποίηση, αναδεικνύονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων μικροδομής, θερμικής ανάλυσης και μηχανικών αντοχών.

Σχεδιασμός γνωσιολογικού συστήματος λήψης απόφασης

Πέραν των κρίσιμων παραμέτρων που αναδεικνύονται μέσω μελέτης της υπάρχουσας βιβλιογραφίας, η μελέτη συγκεκριμένων περιπτώσεων αναδεικνύουν επιπλέον παραμέτρους που σχετίζονται με τη χρήση ενός κονιάματος αποκατάστασης, καθώς στην πράξη αναδεικνύονται καλές και κακές πρακτικές που μπορούν να λειτουργήσουν σαν προδιαγραφές για μελλοντικές επεμβάσεις και να θέσουν επιπλέον κριτήρια για την επιτελεστικότητα και τη συμβατότητα.

Ένα παράδειγμα είναι η πιλοτική εφαρμογή διαφόρων κονιαμάτων αποκατάστασης στον Υδρόμυλο Μάρκου στην Βέροια, όπου υπήρξαν διαφοροποιήσεις μεταξύ των διαφορετικών κονιαμάτων αποκατάστασης ως προς την εργασιμότητα, λόγω χαμηλών θερμοκρασιών. Στην περίπτωση αυτή την καλύτερη εργασιμότητα εμφάνισε η σύνθεση με ασβέστη, σε σχέση με τη σύνθεση με υδραυλικό ασβέστη και το ασβεστοποζολανικό κονίαμα [8, 9]. Καθίσταται σαφές ότι οι περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως η ύπαρξη ή μη παγετού, είναι ένα κριτήριο που πρέπει να τεθεί στην λήψη απόφασης, ώστε να επιλέγεται το βέλτιστο κονίαμα αποκατάστασης για την εκάστοτε περίπτωση.

Επιστημονική υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων για υλικά και επεμβάσεις συντήρησης και αποκατάστασης

Παράλληλα, υπάρχουν και πρακτικές που έχουν αποδειχθεί σαν κακές περιπτώσεις αποκατάστασης, όπως είναι περασμένες αποκαταστάσεις με κονιάματα τσιμέντου [10, 11, 12]. Κάθε σύστημα λήψης απόφασης, θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει αυτές τις περιπτώσεις, ώστε να τονιστεί η ασυμβατότητα αυτών των επεμβάσεων και να καθίσταται εφικτή η αποφυγή της χρήσης τέτοιων ή παρόμοιων υλικών στο μέλλον.

Χρήσιμο εργαλείο είναι η μελέτη περιπτώσεων κονιαμάτων αποκατάστασης για συγκεκριμένες κατηγορίες ιστορικών κονιαμάτων, όπου αναδεικνύονται οι παράμετροι αποτίμησης που κατατάσσουν τις συνθέσεις κονιαμάτων που μελετώνται [13]. Σε μελέτες των Moropoulou et al. αναδεικνύεται η σημασία συγκεκριμένων παραμέτρων ελέγχου, όπως είναι για παράδειγμα το μέτρο ελαστικότητας [14, 15, 16].

Υπάρχουν περιπτώσεις, όπως αναδεικνύεται και στην περίπτωση του Ορφανοτροφείου της Αίγινας, όπου η αποτίμηση και επιλογή ενός κονιάματος αποκατάστασης δεν μπορεί να γίνει σε σχέση με τα χαρακτηριστικά του αυθεντικού ιστορικού κονιάματος, λόγω της μεγάλης ανομοιογένειας και ανισοτροπίας που παρουσιάζει [9]. Στην περίπτωση αυτή, η επιλογή και η αποτίμηση της συμβατότητας πραγματοποιήθηκε σε σχέση με τον δομικό λίθο του κτηρίου. Συνεπώς, δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν τυφλά εύρη τιμών σε σχέση με το αυθεντικό κονίαμα, αλλά θα πρέπει πρώτα να υπάρχει κρίση της συμβατότητας και της επιτελεστικότητας του αυθεντικού κονιάματος, καθώς και της κατάστασης διατήρησής του. Επιπλέον στην περίπτωση που δεν κρίνεται σαν κατάλληλο, θα πρέπει η αποτίμηση της συμβατότητας να γίνεται σε σχέση με τον δομικό λίθο.

Παράλληλα, σε μια πολύ ενδιαφέρουσα μελέτη των Maravelaki-Kalaitzaki et al, βασική παράμετρος επιλογής αποτελεί ο συντελεστής τριχοειδούς αναρρίχησης. Συγκεκριμένα, ο συντελεστής τριχοειδούς αναρρίχησης του κονιάματος αποκατάστασης συγκρίνεται με τον συντελεστή του αυθεντικού κονιάματος, αλλά και του δομικού λίθου. Η παράμετρος αυτή είναι εξέχουσας σημασίας όταν στο μνημείο υπάρχουν προβλήματα υγρασίας [3].

Στα πλαίσια της εργασίας μελετήθηκαν πολλές περιπτώσεις ώστε να αναδειχθούν όλες οι παράμετροι που κρίνουν τελικά είναι κονίαμα αποκατάστασης, με τρόπο ολιστικό. Συγκεκριμένα, δημιουργήθηκε μια βάση δεδομένων όπου προσδιορίζονται σημαντικά χαρακτηριστικά κονιαμάτων αποκατάστασης πραγματικών περιπτώσεων, ώστε να λειτουργήσουν σαν εργαλείο στη λήψη απόφασης μελλοντικών επεμβάσεων αρμολόγησης.

Επιστημονική υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων για υλικά και επεμβάσεις συντήρησης και αποκατάστασης

Η πρώτη κατηγορία παραμέτρων ελέγχου μιας γνωσιολογικής βάσης δεδομένων υποστήριξης αφορά σε πληροφορίες σχετικά με το αυθεντικό υλικό (είδος αυθεντικού υλικού, λόγος κονίας/αδρανών, είδος κονίας, μέγεθος και είδος αδρανών, κατανομή αδρανών, υπολειπόμενη αντοχή, ακτίνα πόρων, πορώδες, ειδικό βάρος, είδος διάβρωσης, βαθμός διατήρησης, παρουσία δ/των αλάτων), όπου η αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητας, που σχετίζεται με το είδος της κονίας και των αδρανών, η υπολειπόμενη αντοχή και το πορώδες καθορίζουν και σε ποια κατηγορία ανήκει το ιστορικό κονίαμα.

Η δεύτερη κατηγορία, αφορά στις πρώτες ύλες που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή του κονιάματος αποκατάστασης. Σημαντικό είναι οι πρώτες ύλες να έχουν ελεγχθεί και να πληρούν προδιαγραφές που έχουν τεθεί, επιπροσθέτως διαφορές στα χαρακτηριστικά των πρώτων υλών επηρεάζουν και την τελική επιλογή ενός κονιάματος αποκατάστασης, με μη γραμμικό τρόπο [17].

Η τρίτη κατηγορία αφορά στη σύνθεση του κονιάματος αποκατάστασης, ως προς την κονία/κονίες που χρησιμοποιήθηκε , χαρακτηριστικά των αδρανών, πληροφορίες για τα πρόσμικτα/πρόσθετα που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς και την αναλογία των πρώτων υλών και τον λόγο νερού/κονίας.

Η τέταρτη κατηγορία πληροφοριών, αφορά στην αποτίμηση του νωπού κονιάματος αποκατάστασης, όπου καταγράφεται η εργασιμότητα, ο περιεχόμενος αέρας, το συγκρατούμενο νερό και το ειδικό βάρος, καθώς η αποτίμηση και επιλογή ενός κονιάματος αποκατάστασης επηρεάζεται και από τη εφαρμοσιμότητά του.

Η επόμενη κατηγορία, αφορά στην αποτίμηση των χαρακτηριστικών του κονιάματος αποκατάστασης. Οι αντοχή σε κάμψη και σε θλίψη καταγράφονται, μαζί με τον χρόνο ωρίμανσης κατά την μέτρηση, ώστε να αποφανθεί ο ιδανικός χρόνος για την κρίση και επιλογή ενός κονιάματος αποκατάστασης. Στα πλαίσια των μηχανικών αντοχών, καταγράφεται και το δυναμικό ή/και στατικό μέτρο ελαστικότητας, αφού όπως προαναφέρθηκε σε κάποιες περιπτώσεις προκρίνει κάποιο κονίαμα σε σχέση με κάποιο άλλο. Όσον αφορά στη μελέτη της μικροδομής, που είναι καθοριστικός παράγοντας για την κατάταξη των κονιαμάτων, συμπληρώνονται οι τιμές της μέσης ακτίνας πόρων, του πορώδους (%), της ειδικής επιφάνειας (SSA). Καθοριστικό ρόλο στην επιλογή ενός κονιάματος αποκατάστασης παίζει και η φαινόμενη πυκνότητά του. Ο συντελεστής τριχοειδούς αναρρίχησης συμπληρώνεται, όπου υπάρχει μέτρηση, ώστε να εκτιμηθεί το εύρος διαφοροποίησής του σε σχέση με το αυθεντικό υλικό.

Επιστημονική υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων για υλικά και επεμβάσεις συντήρησης και αποκατάστασης

Στην επόμενη κατηγορία, και όπου είναι εφικτό, συμπληρώνεται η ανθεκτικότητα του κονιάματος αποκατάστασης σε κύκλους ύγρανσης, αλάτων ή/και παγετού.

Καθώς η αποκατάσταση μνημείων και ιστορικών κατασκευών, εντάσσεται στην διατήρηση της πολιτιστικής μας κληρονομιάς και έχει στενή σχέση με την καλλιτεχνία και την αισθητική, το κονίαμα ανά περίπτωση κρίνεται και ως προς τη συμβατότητά του ως προς το χρώμα και την υφή. Η υφή σχετίζεται και με τον τρόπο εφαρμογής, ενώ το χρώμα μπορεί να κριθεί επιτόπου σε μια πιλοτική εφαρμογή είτε ως συνολικό αποτέλεσμα είτε με μέτρηση των χρωματικών παραμέτρων.

Εφόσον έχουν συμπληρωθεί τα δεδομένα των παραμέτρων της κάθε κατηγορίες, το κονίαμα κρίνεται συνολικά ως προς την συμβατότητά του και ως προς την επιτελεστικότητά του. Στην βάση δεδομένων σκόπιμο είναι να καταγραφεί και ποια παράμετρος είναι καθοριστική ως προς την αξιολόγησή του, είτε θετικά είτε αρνητικά, σε αντίστοιχη κατηγορία.

Η μελέτη πραγματικών περιπτώσεων είναι κρίσιμη, καθώς μέσω της ενσωμάτωσης πραγματικών δεδομένων σε μια βάση δεδομένων μπορεί η πλούσια εμπειρία των ελληνικών πανεπιστημιακών ιδρυμάτων να μετουσιωθεί σε ένα χρήσιμο εργαλείο στη λήψη απόφασης.

Αποτελέσματα – Προοπτικές

Η επιλογή κρίσιμων παραμέτρων και δεδομένων για ένα γνωσιολογικό σύστημα υποστήριξης λήψης απόφασης που δημιουργήθηκε στα πλαίσια αυτής της εργασίας για την επιλογή κονιαμάτων αποκατάστασης, περιλαμβάνει πληθώρα δεδομένων, ώστε να λαμβάνονται υπόψη και το αυθεντικό υλικό και το περιβάλλον του μνημείου. Με αφετηρία την διαθέσιμη βιβλιογραφία, η μελέτη περιπτώσεων αναδεικνύει τις παραμέτρους που κρίνουν την καταλληλότητα ενός κονιάματος αποκατάστασης ανά περίπτωση και την πρόκριση ενός κονιάματος έναντι ενός άλλου.

Τα αποτελέσματα της έρευνας δείχνουν πως μέσω της μελέτης περιπτώσεων και της επιλογής κατάλληλων κρίσιμων παραμέτρων, μπορεί να προκύψει ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο στη λήψη απόφασης, όσον αφορά στην επιλογή του βέλτιστου κονιάματος αποκατάστασης ανά περίπτωση. Η αποτίμηση και απόφαση στην περίπτωση αυτή, θα είναι ολιστική, λαμβάνοντας υπόψη και τη συμβατότητα του κονιάματος αποκατάστασης σε σχέση με το αυθεντικό υλικό, αλλά και την επιτελεστικότητά του και την λειτουργία του σε μεταβαλλόμενα περιβαλλοντικά φορτία.

Επιστημονική υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων για υλικά και επεμβάσεις συντήρησης και αποκατάστασης

Βιβλιογραφία

1. Moropoulou, A., Bakolas, A., Anagnostopoulou, S., "Composite materials in ancient structures", Cement and Concrete Composites, 27 (2005) 295-300
2. Maravelaki-Kalaitzaki, P., Bakolas, A., Moropoulou, A., "Physico-chemical study of cretan ancient mortars", Cement and Concrete Research, 33 [5] (2003) pp. 651-661
3. Maravelaki-Kalaitzaki, P., Bakolas, A., Karatasios, I., Kilikoglou, V., "Hydraulic lime mortars for the restoration of historic masonry in Crete", Cement and Concrete Research 35 (2005) 1577– 1586
4. Delgado Rodrigues, J., Grossi, A., "Indicators and ratings for the compatibility assessment of conservation actions", Journal of Cultural Heritage, 8 (2007) 32–43
5. Moropoulou, A., Polikreti, K., Bakolas, A., Michailidis, "Correlation of physico-chemical and mechanical properties of historical mortars and classification by multivariate statistics", *Cement and Concrete Research*, 33 [6] (2003) pp. 891-898
6. Moropoulou, A., Polikreti, "Principal component analysis in monument conservation: Three application examples", *Journal of Cultural Heritage*, 10 (2009) pp. 73-81
7. Polikreti, K., Moundoulas, P., Aggelakopoulou, E., "Classification of restoration mortars by principla component analysis and correlation between their properties and synthesis", 11th International Conference on Durability of Building Materials and Components, Istanbul, Turkey (2008)
8. Moropoulou, A., Athanasiadou, A., Bakolas, A., Moundoulas, P., "Design and in situ application of repair mortars for the works of 'Restoration and strengthening of the Markos' Water-Mill in Verria, Greece'", *PACT, J. European Study Group on Physical, Chemical, Biological and Mathematical Techniques Applied to Archaeology*, 59 (2000) pp. 163-176
9. Π. Μούνδουλας, Διδακτορική διατριβή, «Μεθοδολογία σχεδιασμού και αποτίμησης συμβατών και επιτελεστικών κονιαμάτων αποκατάστασης ιστορικών μνημείων με κριτήρια τις ορυκτολογικές - φυσικοχημικές και φυσικομηχανικές τους ιδιότητες», Τομέας (ΙΙΙ) Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών, Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ, Αθήνα, 2004
10. Moropoulou, A., Triantafyllopoulou, P., Aggelakopoulou, E., "Decision making methodology for strategical planning of compatible conservation interventions through GIS management of structural materials and

environmental impact data – Application in the case of Tobacco Factory in Heraklion, Crete", PACT, J. European Study Group on Physical, Chemical, Biological and Mathematical Techniques Applied to Archaeology, 59 (2000) pp. 239-251

11. Moropoulou, A., Maravelaki-Kalaitzaki, P., Borboudakis, M., Bakolas, A., Michailidis, P., Chronopoulos, M., "Historic mortars technologies in Crete and guidelines for compatible restoration mortars", *PACT, J. European Study Group on Physical, Chemical, Biological and Mathematical Techniques Applied to Archaeology*, 55 (1998) pp. 55-72
12. Moropoulou, A., Polikreti, K., Ruf, V., Deodatis G., "San Francisco Monastery, Quito, Equador: characterisation of building materials, damage assessment and conservation considerations", *Journal of Cultural Heritage*, 4 (2003) pp. 101-108
13. Ε. Αγγελακοπούλου, Διδακτορική διατριβή, «Κριτήρια και Μέθοδοι αποτίμησης φυσικοχημικών και μηχανικών χαρακτηριστικών κονιαμάτων και σκυροδεμάτων αποκατάστασης ιστορικών τοιχοποιιών, με έμφαση στις ποζολανικές πρώτες ύλες», Τομέας (ΙΙΙ) Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών, Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ, Αθήνα, 2006
14. Moropoulou, A., Aggelakopoulou, E., Bakolas, A., "Earthquakes and monuments – The role of materials in the earthquake protection of monuments", V Int. Conf. on Structural Analysis of Historical Constructions, eds Lourenço P.B., Roca P., Modena C. and Agrawal S., New Delhi, India (2006) Vol. 3, pp. 1625-1631
15. Moropoulou, A., Bakolas, A., Moundoulas, P., Aggelakopoulou, E., Anagnostopoulou, S., "Strength development and lime reaction in mortars for repairing historic masonries", Cement and Concrete Composites, 27 (2005) pp.289-294
16. A. Moropoulou et al., Optimization of Compatible restoration mortars for the earthquake protection of Aghia Sophia, Journal of Cultural Heritage, 14S (2013), pp. 147–152
17. Moropoulou, A., Bakolas, A., Moundoulas, P., Cakmak A.S., "Compatible restoration mortars, preparation and evaluation for Hagia Sophia earthquake protection", *PACT, J. European Study Group on Physical, Chemical, Biological and Mathematical Techniques Applied to Archaeology,* 56 (1998) pp. 79-118

Επιστημονική υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων για υλικά και επεμβάσεις στερέωσης (Scientific support in decision making for consolidation materials and techniques)

Α. Κιούσση, Μ. Καρόγλου, Ε. Ξυνοπούλου, Α. Μπακόλας, Α. Μοροπούλου

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Τομέας Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών, Πολυτεχνειούλη Ζωγράφου, 15780, Αθήνα

Abstract

Consolidation is a conservation treatment aiming to the increase of materials durability and lifetime. It is considered as a multifunctional problem, related both to the substrate properties, as well as the nature of the applied material. Moreover, it is thought to be an intervention with a high degree of risk, due to the irreversibility of the most applied consolidation materials. Thus, the use of scientific support in the development of a system for decision making is a very useful tool for this kind of treatment. The first step in the creation of a decision support system is the determination of the requirements and the next step is its implementation.

For this application the system requirements were determined by criteria ranking, based on international standards and recommendations, but also by embodying the user knowledge and the experience. The parameters chosen are related to physicochemical properties of the materials before and after application, such as porosity, penetration depth, color, capillary rise coefficient etc. The system was configured in such a way to give answers to three crucial requests like (i) Which of the various consolidants used presents the best performance for a given substrate (ii) What are the differences in the application of the same material in the laboratory and in site (iii) For a given substrate (stone), consolidation material and application method, what will be the expected result.

Περίληψη

Η στερέωση είναι μια επέμβαση συντήρησης των ιστορικών υλικών με κύριο στόχο την αύξηση της ανθεκτικότητας και του χρόνου ζωής τους.

Επιστημονική υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων για υλικά και επεμβάσεις συντήρησης και αποκατάστασης

Αποτελεί ένα πολυσύνθετο πρόβλημα, δεδομένου ότι η επιλογή του κατάλληλου υλικού στερέωσης εξαρτάται άμεσα τόσο από το είδος του εφαρμοζόμενου υλικού, όσο και του εκάστοτε υλικού υποστρώματος εφαρμογής. Επιπρόσθετα, είναι μια επέμβαση με υψηλό κίνδυνο εφαρμογής, λόγω της μη αντιστρεψιμότητας των περισσότερων υλικών που εφαρμόζονται. Κατά συνέπεια η επιστημονική υποστήριξη στην ανάπτυξη ενός συστήματος λήψης αποφάσεων για τη συγκεκριμένη εφαρμογή κρίνεται ιδιαίτερα χρήσιμη. Το πρώτο βήμα πριν την δημιουργία ενός τέτοιου συστήματος λήψης αποφάσεων είναι ο καθορισμός των απαιτήσεων του συστήματος, ενώ το επόμενο βήμα είναι η υλοποίηση του.

Για τον καθορισμό των απαιτήσεων του συστήματος πραγματοποιήθηκε χρήση κριτηρίων τα οποία και βαθμονομήθηκαν βάσει διεθνών προτύπων και προδιαγραφών, αλλά και με παράλληλη ενσωμάτωση της εξειδικευμένης γνώσης και εμπειρίας του χρήστη. Οι παράμετροι που μελετήθηκαν αφορούν σε φυσικοχημικές ιδιότητες των υλικών πριν και μετά την επέμβαση, όπως το πορώδες, το βάθος διείσδυσης, το χρώμα, ο συντελεστής τριχοειδούς υδατοαπορρόφησης κλπ. Το σύστημα διαμορφώθηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να απαντά σε τρία κρίσιμα ερωτήματα: (ι) Ποιο από τα διάφορα υλικά στερέωσης είναι πιο αποτελεσματικό για συγκεκριμένο υπόστρωμα. (ιι) Ποιες είναι οι διαφορές κατά την εφαρμογή ενός υλικού στερέωσης στο εργαστηρίου και επί τόπου. (ιιι) Με δεδομένα το υλικό του υποστρώματος (λίθος), το υλικό στερέωσης και τη μέθοδο εφαρμογής, ποιο είναι το προσδοκώμενο αποτέλεσμα.

Εισαγωγή

Κύριος στόχος της επέμβασης της στερέωσης είναι η αύξηση της ανθεκτικότητας και του χρόνου ζωής ενός υλικού. Η στερέωση είναι μια επέμβαση συντήρησης με υψηλό κίνδυνο κατά την εφαρμογή, λόγω της μη αντιστρεψιμότητας πολλών από τα υλικά που εφαρμόζονται στην πράξη. Η συνολική απόδοση μιας επέμβασης στερέωσης δεν εξαρτάται μόνο από το υλικό στερέωσης, αλλά και από τα χαρακτηριστικά του υποστρώματος. Επίσης, καθοριστικό ρόλο παίζει και η τεχνική εφαρμογής της στερέωσης, όπως η συγκέντρωση του προϊόντος, ο τύπος του διαλύτη, ο τρόπος και ο χρόνος εφαρμογής του. Για τους λόγους αυτούς η επέμβαση αυτή θεωρείται ως ένα πολυσύνθετο, πολύ-κριτηριακό πρόβλημα [1].

Ειδικότερα τα υλικά και οι επεμβάσεις στερέωσης στοχεύουν:

Επιστημονική υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων για υλικά και επεμβάσεις συντήρησης και αποκατάστασης

- Στη μεταβολή των μικρο-δομικών χαρακτηριστικών του υποστρώματος, αυξάνοντας την ανθεκτικότητά του στους περιβαλλοντικούς παράγοντες φθοράς.
- Στην πρόληψη της φθοράς του υλικού με «επανασυγκόλληση» των κόκκων του.
- Στη βελτίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών των υλικών [2, 3].

Οι κυριότερες κατηγορίες των στερεωτικών είναι:

- Τα ανόργανα υλικά
- Τα οργανικά υλικά
- Τα νανοϋλικά
- Τα σωματιδιακά τροποποιημένα υλικά (υβριδικά) [4]

Κύριοι τρόποι εφαρμογής των διαφόρων στερεωτικών υλικών είναι η στερέωση με εμβάπτιση, με τριχοειδή αναρρίχηση, με χρήση πινέλου ή σπρέι, αλλά και με συνδυασμό κάποιων τεχνικών [5].

Η επιλογή της βέλτιστης ποσότητας του υλικού στερέωσης είναι δύσκολη και εξαρτάται ανάμεσα στα άλλα από το είδος του υποστρώματος, την κατάσταση διατήρησής του, αλλά και τη λειτουργία που αυτό επιτελεί σε ένα μνημείο ή έργο τέχνης. Η επιλογή της κατάλληλης τεχνικής βασίζεται γενικά [6]:

-Στις διαστάσεις του αντικειμένου ή το πλάτος της επιφάνειας προς κατεργασία
-Την κατάσταση διατήρησης του υλικού
-Το επιδιωκόμενο βάθος διείσδυσης
-Το ιξώδες του στερεωτικού
-Την πτητικότητα του διαλύτη ή του μονομερούς
-Τους πιθανούς κινδύνους για το χρήστη ή το περιβάλλον

Από όλα τα παραπάνω είναι προφανές ότι η επιλογή του πιο κατάλληλου στερεωτικού κατά περίπτωση είναι ένα πολυδιάστατο πρόβλημα. Προς αυτήν την κατεύθυνση αναπτύχθηκε μια μεθοδολογία για την επιστημονική υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων σχετικά με την επιλογή του περισσότερο κατάλληλου υλικού στερέωσης, η οποία και μπορεί να αποτελέσει υπόβαθρο για την ανάπτυξη ενός σχετικού πληροφοριακού συστήματος λήψης αποφάσεων σχετικά με την επιλογή και χρήση των στερεωτικών.

Υλικά και Τεχνικές

Η μεθοδολογία που προτείνεται αποτελείται από διαφορετικά στάδια, τα οποία και παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω:

Επιστημονική υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων για υλικά και επεμβάσεις συντήρησης και αποκατάστασης

1. Βιβλιογραφική αναζήτηση και συλλογή όλων των σχετικών προτύπων και προδιαγραφών για την επέμβαση της στερέωσης.
2. Καθορισμός των απαραίτητων παραμέτρων για τον έλεγχο της αποδοτικότητας ενός στερεωτικού.
3. Θέσπιση ορίων τιμών στις παραμέτρους. Βάσει των τιμών αυτών κατηγοριοποίηση της απόδοσης των υλικών σε διαφορετικά επίπεδα (κακή, μέτρια, καλή).
4. Δημιουργία βάσεις δεδομένων (data set) με πειραματικά δεδομένα για τις επιλεγμένες παραμέτρους:
   - Βάσει βιβλιογραφικών πειραματικών δεδομένων
   - Χρησιμοποιώντας πειραματικά δεδομένα της ερευνητικής ομάδας του ΕΜΠ, από εφαρμογές στερέωσης στο εργαστήριο και επί τόπου
5. Επανέλεγχο των παραμέτρων και βαθμονόμηση αυτών βάσει της γνώσης και εμπειρίας του χρήστη. Χρήση συντελεστών βαρύτητας.

Η βάση δεδομένων αυτή αποτελεί το πρώτο στάδιο για την ανάπτυξη ενός συστήματος λήψης αποφάσεων για την επιλογή ενός υλικού στερέωσης.

Συζήτηση των αποτελεσμάτων

Πρώτο στάδιο της προτεινόμενης μεθοδολογίας είναι η παραμετροποίηση του προβλήματος της στερέωσης, βάσει προτύπων, προδιαγραφών και διαφόρων ερευνητικών εργασιών [7-8]. Οι σχετικές παράμετροι κατηγοριοποιούνται σε τάξεις και αφορούν:

- Στο υπόστρωμα. Το είδος του υποστρώματος, τη χημική, πετρογραφική και ορυκτολογική του σύσταση. Τις φυσικοχημικές παραμέτρους (πορώδες, όγκο κενών, κατανομή μεγέθους πόρων, ειδική επιφάνεια, μέση ακτίνα πόρων, πυκνότητα, συντελεστή θερμικής διαστολής, συντελεστή τριχοειδούς απορρόφησης της υγρασίας, διαπερατότητα σε υδρατμούς, δείκτη ξήρανσης, διόγκωση λόγω της παρουσίας υγρασίας, αντοχή σε κάμψη, αντοχή σε θλίψη, μέτρο ελαστικότητας, ταχύτητα διάδοσης υπερήχων, θερμοκρασία επιφάνειας), το είδος φθοράς και τα προϊόντα φθοράς που αυτό παρουσιάζει..

- Στο προϊόν στερέωσης. Χημική σύσταση, εμπορική ονομασία, είδος διαλύτη, ενεργός ουσία στερέωσης, τρόπος εφαρμογής.

- Εφαρμογή. Καθορισμό των παραμέτρων που περιγράφουν τη μεταβολή των χαρακτηριστικών του υποστρώματος, μετά από εφαρμογή στο εργαστήριο ή επί τόπου.

Επιστημονική υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων για υλικά και επεμβάσεις συντήρησης και αποκατάστασης

Μετά τον καθορισμό των παραμέτρων, επόμενο στάδιο είναι η επιλογή κριτηρίων με όρια τιμών για την κατηγοριοποίηση των αποτελεσμάτων για τις διάφορες παραμέτρους σε τρεις κατηγορίες: Καλή, Μέτρια, Κακή. Αυτό το κομμάτι της εργασίας παρουσίασε και τη μεγαλύτερη δυσκολία υλοποίησης. Χρησιμοποιήθηκαν κριτήρια που υπάρχουν ήδη στη βιβλιογραφία [9], αλλά αναπτύχθηκαν και καινούργια βάσει της εμπειρίας του εργαστηρίου του ΕΜΠ (Σχολής Χημικών Μηχανικών, Τομέα Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών), με την ενσωμάτωση επίσης δεδομένων που αφορούν στην εφαρμογή μη καταστρεπτικών τεχνικών, όπως αυτά της υπερηχοσκόπησης και της θερμογραφίας υπερύθρου.

Η βαθμονόμηση των κριτηρίων (ranking) έγινε βάσει των διαφορών των υπό εξέταση παραμέτρων μεταξύ ακατέργαστου (untreated) και κατεργασμένου (treated) υλικού.

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται ενδεικτικά ως παράδειγμα κάποιες από τις κύριες παραμέτρους, οι μονάδες τους, ο συμβολισμός τους, καθώς και ένα διάστημα τιμών που καθορίζει το εύρος των διαφορών για τις διάφορες παραμέτρους πριν και μετά την επέμβαση, με κατηγοριοποίηση στις τρεις βασικές κατηγορίες: Καλή, Μέτρια, Κακή.

Για παραμέτρους που δεν υπάρχουν αριθμητικές τιμές γίνεται περιγραφή με χρήση κειμένου. Σημειώνεται ότι οι διαφορές πάντα υπολογίζονται αφαιρώντας τις τιμές από το ακατέργαστο αυτές για το κατεργασμένο (treated-untreated), συνεπώς και τα σχετικά πρόσημα που προκύπτουν αναδεικνύουν την τάση που προκύπτει μετά την εφαρμογή για τις μετρούμενες παραμέτρους.

Πίνακας 1. Παράμετροι στερέωσης σύμβολα, όρια τιμών κατηγοριοποίησης

Παράμετροι	Μον	Συμ.	Καλή	Μέτρια	Κακή
Ολικό πορώδες	%	P	$-5 \leq DP \leq -3$	$-3 < DP < 5$ και $-10 < DP \leq -5$	$DP < -10$ και $DP > 5$
Ολική χρωματική διαφορά	-	DE	$DE \leq 3$	$3 < DE \leq 5$	$DE > 5$
Συντελεστής θερμικής διαστολής	$1/^{o}C$	e	$0.9e_s < De_{ts} < 1.1e_s$	$1.1e_s < De_{ts} < 1.2e_s$	$De_{ts} > 1.2e_s$
Βάθος διείσδυσης	mm	pd	$Dpd \geq 20$	$5 < Dpd < 20$	$Dpd \leq 5$

Επιστημονική υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων για υλικά και επεμβάσεις συντήρησης και αποκατάστασης

Συντελεστής τριχ. απορρόφησης	mg/c m^2 $s^{1/2}$	C	$-10 \leq DC \leq -5$	$-5 \leq DC < 5$ και $-20 < DC \leq -10$	$DC < -20$
Μέτρο ελαστικότητας	GPa	E	$5 \leq DE \leq 15$	$0 < DE < 5$ και $15 < DE \leq 30$	$DE < 0$ και $DE > 30$
Βιοδιάβρωση		bio	όχι	χαμηλή	υψηλή

Ακολουθεί βάσει της εμπειρίας του χρήστη μια επιπρόσθετη βαθμονόμηση των κριτηρίων αυτών, δίνοντας ένα συντελεστή βαρύτητας (impact factor) σε αυτά, ο οποίος και καθορίζει πόσο σημαντικό είναι ένα κριτήριο στη λήψη της συνολικής απόφασης για την απόδοση των υλικών.

Μετά τον καθορισμό των παραμέτρων και των σχετικών ορίων, ακολούθησε η συλλογή πειραματικών τιμών από ερευνητικές εργασίες του ΕΜΠ (Σχολής Χημικών Μηχανικών, Τομέα Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών), αλλά και δημοσιευμένες εργασίες άλλων ερευνητών. Οι εφαρμογές αυτές αφορούν εργασίες που πραγματοποιούνται στο εργαστήριο, αλλά και σε μνημεία επί τόπου στην Ελλάδα και Διεθνώς. Αξίζει να σημειωθεί ότι ήταν πολύ δύσκολο να βρεθούν τιμές για όλες τις παραμέτρους που περιλαμβάνει η βάση δεδομένων [10-13].

Αυτή η βάση δεδομένων διαμορφώθηκε με τέτοιο τρόπο για να αποτελέσει το υπόβαθρο για την ανάπτυξη ενός πληροφοριακού συστήματος λήψης αποφάσεων που δύναται να δίνει απαντήσεις σε κρίσιμα ερωτήματα όπως: (i) Ποιο από διάφορα υλικά στερέωσης είναι πιο αποτελεσματικό για συγκεκριμένο υπόστρωμα. (ii) Ποιες είναι οι διαφορές κατά την εφαρμογή ενός υλικού στερέωσης στο εργαστηρίου και επί τόπου. (iii) Με δεδομένα το υλικό του υποστρώματος (λίθος), το υλικό στερέωσης και τη μέθοδο εφαρμογής, ποιο είναι το προσδοκώμενο αποτέλεσμα για μια επέμβαση στερέωσης.

Συμπεράσματα

Η προτεινόμενη μεθοδολογία αποτελεί ένα καινοτόμο εργαλείο, υπόβαθρο για την ανάπτυξη κατάλληλων συστημάτων, σχετικά με τη λήψη αποφάσεων που αφορούν στο πολυσύνθετο πρόβλημα της επέμβασης της στερέωσης. Βασικό πλεονέκτημα της μεθοδολογίας αυτής είναι ότι χρησιμοποιεί πραγματικά πειραματικά δεδομένα και λαμβάνει υπόψη της την έμπειρη γνώση του χρήστη. Επιπρόσθετα, αυτή μπορεί να αποτελέσει έναν πολύ χρήσιμο οδηγό σχετικά με το ποιες είναι οι κρίσιμες παράμετροι της επέμβασης της στερέωσης και βάσει ποιων προτύπων και προδιαγραφών πρέπει αυτή να πραγματοποιείται. Τέλος μπορεί να

αποτελέσει μια βάση για την γρήγορη σύγκριση και εξαγωγή συμπερασμάτων διαφόρων εφαρμογών στερέωσης.

Ευχαριστίες

Η εργασία πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του Προγράμματος ΘΑΛΗΣ-ΑΕΙΣ "Αειφορία και συμβατότητα προηγμένων υλικών και τεχνολογιών για την προστασία μνημείων της Πολιτιστικής Κληρονομιάς: ανάπτυξη κριτηρίων και μεθοδολογιών ελέγχου" με επιστημονικά υπεύθυνη την Καθ. Α. Μοροπούλου, με τη χρηματοδότηση του Επιχειρησιακού Προγράμματος "Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση" του Υπουργείου Πολιτισμού, Παιδείας και Θρησκευμάτων

Βιβλιογραφία

[1] Doehne E., Price C., “Stone Conservation: An overview of current research”, 2nd ed., (2010), The Getty Conservation Institute.
[2] Moropoulou A, Kouloumbi N., Haralampopoulos G., Konstanti A., Michailidis P., “Criteria and methodology for the evaluation of conservation interventions on treated porous stone susceptible to salt decay”, Progress in organic coatings 48, (2003) 259-270.
[3] Torraca G., “Porous building materials”, 3rd edit. (1998) ICCROM.
[4] Ksinopoulou E., Bakolas A., Moropoulou A., “Modification of Si-based Consolidants by the Addition of Colloidal Nanoparticles: Application in Porous Stones”, Journal of Nano Research 27, (2014) 143-152.
[5] Pinto A.P.F., Rodrigues J. D., “Consolidation of carbonate stones: Influence of treatment procedures on the strengthening action of consolidants”, Journal of Cultural Heritage 13, 2 (2012) 154-166.
[6] Amoroso G.G., Gamaiti M., Scienza dei materiali e restauro, Alinea, 1997.
[7] NORMAL ICR-CNR 20/85: Interventi conservativi: progettazione esecuzione e valutazione preventive.
[8]. ASTM E2167-01. Standard guide for selection and use of stone consolidants.
[9] Rodrigues J. D., Grossi A., “Indicators and ratings for the compatibility assessment of conservation actions”, Journal of cultural heritage 8, 1(2007) 32-43.

Επιστημονική υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων για υλικά και επεμβάσεις συντήρησης και αποκατάστασης

[10] Moropoulou A., Theoulakis P., Tsiourva Th., Haralampopoulos G., "Compatibility evaluation of consolidation treatments in monument scale" 59, (2000) 209-230.
[11] Ksinopoulou E., Bakolas A., Moropoulou A.,"Calcium Hydroxide Nanoparticles in the Consolidation of Porous Stones", NICOM4, 4th International Symposium on Nanotechnology in Construction, May 20-22 2012, Agios Nicolaos, Crete, Greece.
[12] Maravelaki-Kalaitzaki P., Kallithrakas-Kontos N., Agioutantis Z., Maurigiannakis S., Korakaki D., "A comparative study of porous limestones treated with silicon-based strengthening agents", Progress in Organic Coatings 62, (2008) 49-62.
[13] Karatasios I., Theoulakis P., Kagri A., Sapalidis A., Kilikoglou V., "Evaluation of consolidation treatments of marly limestones used in archaeological monuments", Construction and Building Materials 23, (2009) 2803-281.

Επιστημονική υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων για υλικά και επεμβάσεις συντήρησης και αποκατάστασης

Πλατφόρμα γνώσης για την υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων σε σχέση με την Προστασία της Πολιτιστικής Κληρονομιάς: Αποτίμηση Επεμβάσεων Καθαρισμού (Knowledge Platform supporting decision making for the protection of Cultural Heritage: Assessment of cleaning interventions)

Αικ. Δελέγκου[1], Α. Δουλάμης[2], Α. Μοροπούλου[1]

[1] Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Χημικών Μηχανικών, 15780, Αθήνα, Ελλάδα

[2] Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Ηλεκτρονικών Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών, 73100, Χανιά, Ελλάδα

Abstract

In this work, a decision making system based on combined fuzzy c-means and neural networks is presented for the assessment of cleaning interventions on stone architectural surfaces. The developed system is part of the Thalis AEIS knowledge platform and supports decision making for the protection of Cultural Heritage, as far as it concerns the assessment of the conservation interventions of stone cleaning.

Results of Scanning Electron Microscopy with energy dispersion by X-ray analysis (SEM-EDS), Digital Processing of SEM Images, Laser Profilometry (LP) and Colorimetry, comprise the critical parameters of a range of set cleaning assessment criteria. These data, under the process of the developed semi-supervised learning strategy which includes fuzzy c-means algorithms, are fed as inputs to non-linear classifiers to improve the decision making system performance regarding stone cleaning assessment. Thus, the suggested decision making system classifies the cleaning interventions, under investigation, into non-accepted, medium, accepted and optimum-recommended ones.

The designed system is successfully demonstrated in practice as far as it concerns the assessment of cleaning interventions applied on a

representative marble area which presented the characteristic decay of black crust at the National Archaeological Museum (NAM) historic building in Athens, Greece.

Περίληψη

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται ένα σύστημα λήψης απόφασης που βασίζεται στον συνδυασμό ασαφών κ μέσων και νευρωνικών δικτύων για την αποτίμηση επεμβάσεων καθαρισμού σε λίθινες αρχιτεκτονικές επιφάνειες. Το σύστημα αυτό είναι μέρος της πλατφόρμας γνώσης που έχει αναπτυχθεί στο πρόγραμμα Θαλής ΑΕΙΣ και αφορά την υποστήριξη της λήψης αποφάσεων για την προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς σε σχέση με την αποτίμηση επεμβάσεων συντήρησης καθαρισμού λίθων.

Ως παράμετροι εισόδου του συστήματος χρησιμοποιήθηκαν οι κρίσιμες παράμετροι των κριτηρίων αποτίμησης επεμβάσεων καθαρισμού, όπως αυτές προκύπτουν από τα αποτελέσματα των παρακάτω τεχνικών: ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης με μικροανάλυση ακτίνων Χ (SEM-EDS), ψηφιακή επεξεργασία εικόνων ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σάρωσης, laser προφιλομετρία (LP) και χρωματομετρία.

Τα δεδομένα αυτών των τεχνικών, μέσω της διεργασίας ημι-επιβλεπόμενης μάθησης που αναπτύχθηκε και περιλαμβάνει αλγορίθμους ασαφών κ μέσων, τροφοδοτούν ως δεδομένα εισόδου μη γραμμικούς ταξινομητές με στόχο τη σωστή βαθμονόμηση του συστήματος λήψης απόφασης σε ότι αφορά την αποτίμηση της αποτελεσματικότητας της κάθε επέμβασης καθαρισμού που εξετάζεται. Συμπερασματικά, το σύστημα ταξινομεί τις εξεταζόμενες επεμβάσεις καθαρισμού σε μη αποδεκτές, μέτριες, αποδεκτές και καλές – προτεινόμενες.

Το προτεινόμενο σύστημα λήψης απόφασης εφαρμόστηκε με επιτυχία για την αποτίμηση επεμβάσεων καθαρισμού που πραγματοποιήθηκαν σε αντιπροσωπευτική μαρμάρινη αρχιτεκτονική επιφάνεια που παρουσίαζε το χαρακτηριστικό τύπο φθοράς της μαύρης κρούστας, στο ιστορικό κτίριο του Εθνικού Αρχαιολογικού Μουσείου στην Αθήνα.

Επιστημονική υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων για υλικά και επεμβάσεις συντήρησης και αποκατάστασης

Introduction

Cleaning is a non-reversible conservation intervention, and therefore the compatibility concept that should governs it, relies on the setting of a range of assessment criteria along with the determination of their acceptance threshold levels. Previous publishing demonstrated [1] that the following cleaning assessment criteria can be adopted:

(1)Chemical-mineralogical composition of the surfaces-stratification; Critical Parameters: Preservation of Patina & Authentic Material, Removal of Black Depositions; (2)Surface Microstructure; Critical Parameters: Roughness, Ratio of actual to projected surface area, Fracture Density; (3)Color; Critical Parameter: Total Color Difference. However, threshold values of the aforementioned critical parameters have not been established yet and therefore their combinations for decision making on the assessment of a cleaning method is a complex procedure. Thus, the need of using a decision support mechanism that can resemble the way experts make decisions based on their knowledge and experience is great.

In this work, an innovative semi-supervised scheme able to assess the performance of cleaning interventions applied on marble surfaces is introduced. The suggested decision support system is demonstrated in practice on the scale of a representative investigation area of a marble capital of the National Archaeological Museum (NAM) historic building (Fig. 1) in Athens, Greece, which presented the characteristic decay of black crust. NAM was constructed at the beginning of 20th century and is located in the polluted environment of Athens center.

Fig. 1: (a) Main façade of the NAM Historic Building; (b) investigation area before cleaning; (c) investigation area after cleaning

Experimental Techniques Used for Cleaning Assessment

In this work the following experimental techniques were used for the determination of the critical parameters of the cleaning assessment criteria:

(SEM-EDS) is applied on collected monument samples, before and after cleaning, for determining the chemical and mineralogical composition of the investigated marble surfaces, using JEOL JSM-5600, OXFORD LINKTM ISISTM 300 with Energy Dispersive X-ray Microanalysis system. *DIP of SEM images* using the EDGE program which was developed by the US Geological Survey, for the analysis of back-scattered electron-micrograph images. The fractal dimension of the exposed surfaces of stone specimens cut in cross-section is measured. The marble micro-structural index that was evaluated is the near-surface fracture density (FD) of the stone which is a measure of the fraction of the stone volume filled by fractures, crevices, and pore space. FD value was used as evaluation index of the marble fracturing after cleaning which can be ascribed as cleaning side-effect, as well as susceptibility degree of marble surface to further decay [2]. *(LP):* 3-D micro-topography plots of the monument collected core samples were attained using the Proscan 2000 with a laser triangulation sensor of 1μm resolution. The roughness parameter Rq was estimated, according to BS EN ISO 4288:1988; whereas the ratio of actual to projected surface area was measured at each micro-topography. This ratio is a geometrical descriptor of a surface and has a very close relation with some functional properties of surfaces like wear [3]. The values of these characteristics (Rq and ratio) function as assessment indexes of the surface morphology regarding to the susceptibility of the surface to further decay, that is slow reactivation of sulphation process and slow adsorption of black particles. *Colorimetry* The Dr Lange color-pen LMG159/160 colorimeter, was applied in situ on the investigated marble surfaces, for measuring the L*, a*, b*, according to CIELab Uniform Color Space. Total color difference ΔE, was estimated according the ASTM D2244-93. Colorimetry was used to assess the aesthetical modifications that the architectural surfaces undergone due to cleaning interventions, reflecting as well the degree of black depositions removal.

Overview of the Suggested Decision Making System

In our implementation, initially a fuzzy c-means algorithm is used to train the network [4]. Fuzzy c-means classifies the data into the four aforementioned categories. The main objective of the fuzzy c-means is to

select the most suitable data among the available ones and then use these data as training samples. Then, we exploit a supervised learner as the means of a neural network structure. The goal of this learner is to exploit the expert knowledge to improve the validation process [5]. We use neural networks as classifiers since they are strong non-linear systems and the cleaning performance for each material on a cultural monument is a complex non-linear process. A neural network is a generic non-linear structure that can model any complex relationship. Figure 2 describes the overall architecture of the proposed system. Initially, a large set of unlabeled data on undergo an unsupervised categorization using the fuzzy c-means approach The goal is to identify all the inherent properties of the cleaning data and extract knowledge regarding the structure of the inputs. Then, we define a set of representative samples which are used as training samples representatives, i.e., as training set constructors. Based on this small but representative training set, we learn non-linear classifiers like neural networks so as to extract the proper decisions.

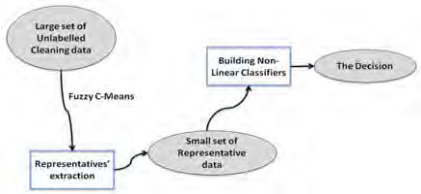


Fig. 2: The overall architecture of the developed system.

Results & Discussion

Development of Data Sets

The critical parameters of the set cleaning assessment criteria were classified to the following datasets: Patina preservation index (PPI) (SEM-EDS results): Two sets were defined, on the input space, named as "Low patina preservation index" and "High patina preservation index". Values belonging to the "High patina preservation index" are the accepted ones, as cleaning methods which cause patina removal are totally unaccepted even by Venice Charter since 1964. Therefore, the patina preservation is a prerequisite for an effective and successful cleaning intervention. The critical parameter of authentic material preservation is defined as:

Επιστημονική υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων για υλικά και επεμβάσεις συντήρησης και αποκατάστασης

Preservation index of gypsum layer (PIGy) (SEM-EDS results): Three sets, namely "Low", "Medium" and "High" were proposed. "High Index" values are the acceptable ones, since in this case the resulting surface holds the microcrystalline gypsum layer, which is acceptable and desirable. Microcrystalline gypsum is the first and compact part of marble sulphation process, and the desirable remaining part of the black-grey crust during cleaning, since it preserves the details of carved and plane surfaces. "Low index" & "Medium Index" values show that cleaning intervention probably has caused loss of authentic material (that is calcite and/or microcrystalline gypsum), in high or medium rate respectively. In both cases of the input parameters of PPI and PIGy, input values are expressed in percentages, in order to have comparable classified input data from different surfaces of black crusts. Fracture Density (FD) (DIP of SEM images results): Four sets were defined: "Low", "Medium", "High" and "Extra High". "Medium" set values are the acceptable ones. Values belonging to the "High" and "Extra High" sets show that cleaning intervention has caused micro-cracking and fracturing on the marble surface, due to superficial material loss, resulting to a surface which will display higher susceptibility to further decay. Values belonging to the "Low" set show that even though cleaning resulted in a marble surface of low amount of micro-cracking and fracturing (that is a surface with low susceptibility to further decay), possible unaccepted superficial material loss has taken place. Ratio of Actual to Projected Area (r) and Roughness (Rq) (LP results): Three sets were defined namely "Low", "Medium" and "High" for each one of both input parameters. In both cases, accepted values are considered those of the "Medium" set, since it satisfies the condition of accepted superficial material loss in relation with medium reactivation of sulphation process and medium adsorption of black particles. Higher values are unaccepted, because higher ratio values indicate higher susceptibility to further decay, along with unaccepted material loss of the cleaned surface. Lower values are unaccepted as well, because even though indicate low susceptibility to further decay, possible unaccepted superficial material loss has taken place. Total color difference (ΔE) (Colorimetry result)**:** Three sets were defined, as "Low", "Medium" and "High". Accepted values are those belonging to the "Medium" set. Values belonging to the "High" set show that cleaning intervention caused high difference in the aesthetics of the surface after cleaning, whereas values of the "Low" set show that cleaning intervention was ineffective, that is remaining of black depositions. Cleaning Performance (CP)**:** For the output parameter, four sets were defined as: "Not accepted cleaning", "Medium cleaning", "Accepted cleaning" and "Recommended cleaning-Optimum".

The Case Study of the NAM Historic Building

The under investigation marble area of the capital in NAM is an architectural surface presenting the characteristic decay pattern of black crust. Figure 1c presents the investigation area after cleaning, while Table 1 lists some of the applied cleaning methods of the pilot interventions on the investigated surface. After SEM-EDS examination of the core samples from the anthemia relief surface, it was found that the black crust presented a great variety regarding composition, width and cohesion, according to sampling areas (central or left part of the front-face of the anthemia relief). A representative SEM image from the central part of the front-face of the anthemia relief is displayed in Figure 4a, where the white line in-between macro and microcrystalline gypsum is barite. Barite is considered patina even though it is a non-uniform layer in relation to its width, continuity, cohesion and location within the crust, because it is the residue of lithopone pigment. Lithopone was used as a substrate for coloring decorations, and the presence of barite is of high historic significance, since it is strong evidence that at the end of the 19th century the capitals of NAM propylon were colored. On the contrary, the examined decay sample from the left part of the front-face of the anthemia relief, presented a barite layer of 5μm average width on the surface of the gypsum layer or inside the gypsum layer. Representative SEM results of samples after pilot cleaning interventions are displayed in Figure 4b,c,d; whereas in Table 2 and 3, the classification of SEM-EDS results after cleaning is recorded, in order to rank the input values of both the parameters of "Patina Preservation Index -PPI" and "Preservation index of gypsum layer - PIGy", respectively, according to the characteristics of the decay reference samples. In particular, the decay sample of central front-face is the reference sample for the classification of the input values PPI and PIGy for the cleaning 2 and 3; whereas left front-face sample is the reference decay sample for cleaning 1.Table 4 presents the results of the used experimental techniques and the experts' assessment of each cleaning performance based on the aforementioned results. Experimental results represent the input values of the suggested decision support system, whereas the output of cleaning performance is classified into the four sets of not accepted, medium, accepted and recommended-optimum cleaning. The pilot cleaning intervention which is recommended for the removal of the black crust is the poultice of ion-exchange resin with 10% w/v $(NH_4)_2CO_3$ solution, applied for 10 min. This cleaning intervention is classified as optimum, since it preserves the barite (patina) and the layer

of microcrystalline gypsum (authentic material). In addition, the characteristics of surface microstructure (FD, r & Rq) belong to the corresponding medium sets assuring that the accepted superficial material loss is in accordance with medium reactivation of sulphation process and medium adsorption of black particles that is controlled susceptibility to further decay. Furthermore, aesthetic modifications that the surface underwent after cleaning are classified as accepted, since the value of total color difference belongs to medium set. Application of poultice AB57 is classified as not accepted cleaning. The removal of the desirable patina and micro-crystalline gypsum has taken place. In addition, the value of total colour difference is considered relatively high; the critical parameters of surface microstructure present relatively low values indicating the unaccepted material loss that has taken place. Finally, the wet micro-blasting method is also classified as cleaning of medium performance. Despite the fact that patina and micro-crystalline gypsum are preserved at relatively high percentages, and the total colour difference presents an acceptable medium value, the critical parameters of surface microstructure (FD, r & Rq) hold high values. Therefore, this cleaned surface displays low durability, meaning that the reactivation of sulphation process and the adsorption of black particles are expected to be high.

Table 1. Representative applied cleaning methods on the capital of NAM

Area Code	Applied Cleaning Methods
1	Wet micro-blasting method, where spherical particles of $CaCO_3$ (d<80μm), of max pressure of 0.5bar The proportion of water to $CaCO_3$ was 3:1.
2	Poultice of ion-exchange resin with 10% w/v $(NH_4)_2CO_3$ solution, applied for 10 min
3	Poultice AB57 (1lt deionized water, 30gr NH_4HCO_3, 50 gr $NaHCO_3$, 25 gr of bi-sodium EDTA, 10ml Desogen, 800gr sepiolite), applied for 15min

Table 2. SEM-EDS results for the classification of the input values of PPI.

Area Code	Average width of Barite layer (μm)	Barite location	PPI (%)

Central front-face	10 or 5	In between micro & macro-crystalline Gy or on the surface of Gy layer	-
Left front-face	5	On the surface of Gy layer, or inside of it	-
1	3	Barite areas on the top of Gy layer	65
2	5	On the surface of Gy layer or under the Gy layer	90
3	0	No barite	1

Table 3. SEM-EDS results for the classification of the input values of PIGy.

Area Code	**Average total width of crust layer (μm)**	**Average width of Gy & black depositions layer (μm)**	**Average width of micro-crystalline Gy layer (μm)**	**PIGy (%)**
Central front-face	130 or 35	70 or 0	60 or 35	-
Left front- face	15	0	15	-
1	6	0	6	70
2	55	0	55	90
3	0	0	0	1

Table 4. Values of inputs (results of experimental techniques) - Output based on experts classification.

Area Code	**Values of Inputs-Results of experimental techniques**						**Output**
	PPI %	**PIGy %**	**FD %**	**r**	**Rq μm**	**ΔE**	**Cleaning Performance**
1	65	70	36.6	2.593	30	6.48	medium

2	90	90	16.1	1.914	17	7.21	optimum
3	1	1	11.2	1.740	10	15.3	Not accepted

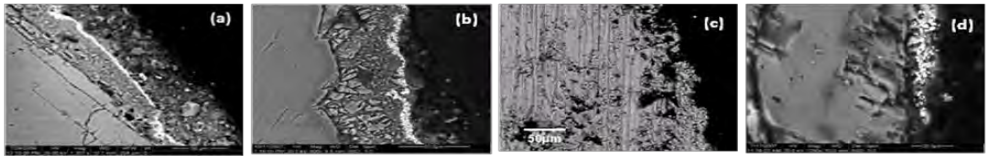


Fig. 4: Representative SEM images: (a) central part of the front-face of the anthemia relief, before cleaning; (b) after applying ion-exchange resin with 10% w/v $(NH_4)_2CO_3$ solution; (c) after applying AB57 poultice; (d) after applying wet micro-blasting method.

Results of the Proposed Semi-supervised Scheme

The proposed semi-supervised decision support system was evaluated on the decay pattern of black crust. Six different input parameters have been used for the decay pattern of black crust, the values of which were reported on real-life cleaning data, some of which are presented above. The four desired outputs, (Optimum, Accepted, Medium and Non-Accepted Cleaning Performance) were mapped into four discrete numbers ranging from one to four. In the case of the proposed semi-supervised scheme, we automatically create a set of representative samples by the unsupervised clustering method and then we train a feed forward neural network to learn the desire characteristics of these selected samples and then we apply the classification divisions of the network to data outside the selected training set. The results are illustrated in Figure 6 but only for the testing data, i.e., data that have not been used during the training phase. As is observed, a significant improvement is noticed. In this case, we have used a neural network of 20 hidden neurons while the training algorithm adopted to estimate network weights is the Levenberg-Marquardt optimization. The average error using 100 randomly partitioned datasets, when 20 hidden neurons are selected, is 4.3% training error and 14.5% testing error. We observe a very small classification error for the outside the training set data which is always less than 15%. This means in other words that the proposed semi-supervised scheme can serve as an “intelligent” indicator of the cleaning intervention that we need to apply.

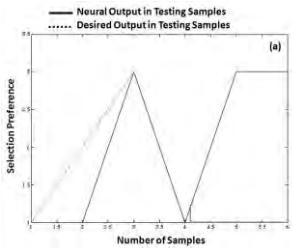


Fig. 6: Assessment of cleaning performance using the proposed semi-supervised fuzzy c-means and neural network approach

Conclusions

The developed semi-supervised learning strategy which exploits fuzzy c-means and neural networks, is a powerful decision making tool, as far as it concerns the assessment of cleaning interventions applied on marble architectural surfaces. The system is able to extract from data inherent, hidden properties used and automatic suggests solutions useful for cultural heritage engineers.

Acknowledgements

Part of the study has been carried out under the support of the research program: “THALIS-NTUA-Sustainability and Compatibility of advanced materials and technologies for the protection of cultural heritage monuments: Development of investigation criteria and methodologies-COMASUCH”, scientific responsible Prof. Antonia Moropoulou. This research has been co-financed by the European Union (European Social Fund–ESF) and Greek National Funds through the Operational Program "Education and Lifelong Learning" of the National Strategic Reference Framework (NSRF)-Research Funding Program: THALIS Investing in knowledge society through the European Social Fund.

Επιστημονική υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων για υλικά και επεμβάσεις συντήρησης και αποκατάστασης

References

[1] Delegou E.T., Moropoulou A., (2008), "Evaluation, Criteria & Decision Making on Cleaning Interventions of Marble Surfaces", In Proc. of the 11th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Torun Poland, Vol. II, pages 1179-1188.

[2] Moropoulou A., Delegou E.T., Vlahakis V., Karaviti E., (2007). "Digital processing of SEM images for the assessment of evaluation indexes of cleaning interventions on pentelic marble surfaces", Materials Characterization, 58, 1063-1069.

[3] Avdelidis N.P., Delegou E.T., Almond D.P, Moropoulou A., (2004). "Surface roughness evaluation of marble by 3-D laser profilometry and pulsed thermography", Journal of NDT & E International, 37:7, 571-575.

[4] Karamolegkos A., Patrikakis C. Z., Doulamis N. D., Vlacheas P. T., Nikolakopoulos I. G., (2009). "An Evaluation Study of Clustering Algorithms in the Scope of User Communities Assessment", Computer and Mathematics with Applications, 58: 8, 1498-1519.

[5] Nock R., Nielsen F., (2006). "On Weighting Clustering", Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions, 28:8, 1–13.

Επιστημονική υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων για υλικά και επεμβάσεις συντήρησης και αποκατάστασης

Συστήμα Αξιολόγησης Μεθόδων Συντήρησης & Εναλλακτικών Δράσεων Αποκατάστασης Μνημείων Πολιτισμικής Κληρονομίας (Decision Support System for the Evaluation of Restoration Interventions in Cultural Heritage Monuments)

Ε. Πρωτοπαπαδάκης[2], Κ. Μακαντάσης[2], Α. Δουλάμης[1], Α. Κιούση[1], Μ. Καρόγλου[1], Α. Μοροπούλου[1]

[1] Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ηρώων Πολυτεχνείου 9, Αθήνα
[2]Πολυτεχνείο Κρήτης, Κουνουπιδιανά, Χανιά

Abstract

Decision support systems (DSS), interact with the user, are controlled by him and provide data and models as a basis for studying and solving, mainly, semi-definite problems. The DSS significantly limit the tedious and time-consuming data collection and analysis processes. Some DSS have the ability to classify, without user intervention, alternative action plans based on criteria that the decision maker has set in advance.
A DSS can help the decision maker choosing the most appropriate alternative action plan, understanding different aspects of the problem. More specifically, users of a DSS need to understand and examine the relationships between variables, constraints of the problem and the final results.
In this work, we present a DSS suitable for the development and assessment of materials and conservation interventions, applied on monuments of cultural heritage. Specifically, we focus on non-destructive, restoration methods. The proposed system is beneficial in various ways; it increases the lifetime of monuments and historic buildings, reducing the impact of various environmental factors and minimizing application costs.
Specifically, each restoration method is described by a finite number of criteria. Each criterion can be described by three different rankings, based on its value. These rankings are ordinal, i.e. present the same significance.

Επιστημονική υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων για υλικά και επεμβάσεις συντήρησης και αποκατάστασης

The objective is to evaluate the restoration method, based on the values of criteria.
The system evaluates each alternative restoration method, by assigning it into one of the following three categories: 'good', 'moderate' and 'bad', based on the DSS output, i.e. total score. The dataset that was used for the development of the system, was provided by experts. Finally, experts were, also, responsible for the validation of the proposed DSS.

Περίληψη

Τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων (Σ.Υ.Α.) , αλληλοεπιδρούν με τον χρήστη , ελέγχονται από αυτόν και του παρέχουν δεδομένα και μοντέλα ως βάση, για μελέτη και επίλυση ημιδομημένων κυρίως προβλημάτων [1]–[3]. Τα Σ.Υ.Α. περιορίζουν σημαντικά την μονότονη και χρονοβόρα διαδικασία συγκέντρωσης και ανάλυσης των δεδομένων. Ορισμένα Σ.Υ.Α. έχουν τη δυνατότητα να κατατάσσουν, χωρίς την παρέμβαση του χρήστη, εναλλακτικά σχέδια δράσης με βάση κριτήρια.
Ένα Σ.Υ.Α. μπορεί να βοηθήσει τον λήπτη της απόφασης να επιλέξει το καταλληλότερο εναλλακτικό σχέδιο δράσης, κατανοώντας καλύτερα το πρόβλημα. Πιο συγκεκριμένα, οι χρήστες ενός Σ.Υ.Α. πρέπει να κατανοήσουν και να εξετάσουν τις σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών, των περιορισμών του προβλήματος και των αποτελεσμάτων.
Στην συγκεκριμένη εργασία παρουσιάζουμε ένα Σ.Υ.Α. κατάλληλο για την ανάπτυξη μεθοδολογιών αποτίμησης υλικών και επεμβάσεων συντήρησης σε μνημεία πολιτισμικής κληρονομιάς [4], [5], [6, p. 3], [7], [8], με έμφαση σε μη καταστρεπτικές τεχνικές αποκατάστασης. Το προτεινόμενο σύστημα είναι επωφελές ποικιλότροπος: αυξάνει τον χρόνο ζωής των μνημείων και των ιστορικών κατασκευών, μειώνοντας τις περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις και το κόστος εργασιών.
Συγκεκριμένα, κάθε μέθοδος αποκατάστασης περιγράφεται από πεπερασμένο πλήθος κριτήριων. Κάθε κριτήριο έχει οριστεί ώστε να λαμβάνει τρεις πιθανές, διαφορετικές διαβαθμίσεις, με βάση την τιμή του. Οι διαβαθμίσεις παρουσιάζουν την ίδια σημαντικότητα. Ο στόχος είναι η αξιολόγηση της μεθόδου αποκατάστασης, βάσει των κριτηρίων.

Επιστημονική υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων για υλικά και επεμβάσεις συντήρησης και αποκατάστασης

Το σύστημα αξιολογεί κάθε εναλλακτική μέθοδο αποκατάστασης, κατατάσσοντας την σε μια από τις ακόλουθες τρεις κατηγορίες: «καλή», «μέτρια» ή «κακή», με βάση την συνολική βαθμολογία που της αποδίδεται. Το σύνολο των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη του συστήματος, προέρχονται από ειδικούς. Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του Σ.Υ.Α. έγινε, επίσης, από ειδικούς.

Εισαγωγή

Η διαχείριση και συντήρηση της πολιτισμικής κληρονομιάς, αποτελεί διαδικασία εξέχουσας σημασίας για την ιστορία ενός λαού. Μέσω της πολιτισμικής κληρονομιάς το παρών ενός λαού συνδέεται με το παρελθόν του, καταδεικνύοντας τις ρίζες του, την εξέλιξή του καθώς επίσης και τα ιδιαίτερα λαογραφικά χαρακτηριστικά του.

Αναπόσπαστο κομμάτι της πολιτισμικής κληρονομιάς αποτελούν τα ιστορικά αρχιτεκτονικά μνημεία καθώς παρέχουν πληροφορία σχετικά με την κοινωνική οργάνωση, το οικονομικό, τεχνολογικό, καλλιτεχνικό και πολιτισμικό status quo κάθε εποχής.

Η συντήρηση ιστορικών αρχιτεκτονικών μνημείων αποτελεί επιτακτική ανάγκη προς την κατεύθυνση της διατήρησης της πολιτισμικής κληρονομιάς. Ωστόσο, λόγω των διαφορετικών υλικών, από τα οποία είναι κατασκευασμένα τα μνημεία, καθώς επίσης, και των διαφορετικών παραγόντων, περιβαλλοντικών και μη, που συμβάλλουν στην διάβρωσή τους η διαδικασία αποκατάστασης και συντήρησης είναι μια εξαιρετικά περίπλοκη διαδικασία, η οποία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την εμπειρία των υπεύθυνων συντήρησης και αποκατάστασης.

Στην συγκεκριμένη εργασία παρουσιάζουμε ένα Σ.Υ.Α. κατάλληλο για την ανάπτυξη μεθοδολογιών αποτίμησης υλικών και επεμβάσεων συντήρησης σε μνημεία πολιτισμικής κληρονομιάς [4], [5], [6, p. 3], [7], [8], με έμφαση σε μη καταστρεπτικές τεχνικές αποκατάστασης. Το προτεινόμενο σύστημα είναι επωφελές ποικιλότροπος: αυξάνει τον χρόνο ζωής των μνημείων και των ιστορικών κατασκευών, μειώνοντας τις περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις και το κόστος εργασιών.

Συγκεκριμένα, κάθε μέθοδος αποκατάστασης αξιολογείται μέσω τεχνικών πολυκριτήριας ανάλυσης. Ως εκ τούτου, κάθε μέθοδος περιγράφεται από

πεπερασμένο πλήθος κριτήριων, κάθε ένα από τα οποία έχει οριστεί ώστε να λαμβάνει τρεις πιθανές, διαφορετικές διαβαθμίσεις, με βάση την τιμή του. Οι διαβαθμίσεις έχουν οριστεί να παρουσιάζουν την ίδια σημαντικότητα. Τέλος, το σύστημα αξιολογεί κάθε εναλλακτική μέθοδο αποκατάστασης, κατατάσσοντας την σε μια από τις ακόλουθες τρεις κατηγορίες: «καλή», «μέτρια» ή «κακή», με βάση την συνολική βαθμολογία που της αποδίδεται.

Περιγραφή του προβλήματος

Έστω μια μέθοδος αποκατάστασης που περιγράφεται από n κριτήρια. Κάθε κριτήριο έχει τρεις πιθανές, διαφορετικές διαβαθμίσεις (καθορίζονται από την τιμή του). Επίσης, τα κριτήρια έχουν και διαφορετική σημαντικότητα. Ο στόχος είναι η αξιολόγηση της μεθόδου αποκατάστασης, με δεδομένο τις τιμές των κριτηρίων. Η αξιολόγηση μπορεί να ανήκει σε μία από τις ακόλουθες τρεις κατηγορίες: «καλή», «μέτρια» ή «κακή». Εν προκειμένω, γνωρίζαμε τόσο την διαβάθμιση των κριτηρίων όσο και την σημαντικότητα αυτών.

Σε πρώτη φάση πρέπει να γίνει μια αναγωγή των τιμών των κριτηρίων. Στην πράξη αποδοθήκαν οι τιμές 1, 0 και -1 με βάση τον χαρακτηρισμό ως «καλό», «μέτριο» και «κακό» αντίστοιχα. Το επόμενο βήμα αναφέρεται στον υπολογισμό των βαρών των κριτηρίων. Υπήρχαν δυο είδη περιορισμών : $\sum_{i=1}^{n} w_i = 1$ και $I_{k+1} - I_k = I_k - I_{k-1}$.

Ο 1ος περιορισμός ορίζει ότι τα βάρη των κριτηρίων, w_i, πρέπει να αθροίζουν στην μονάδα. Ο 2ος περιορισμός ορίζει ότι η κλίμακα σημαντικότητας των κριτήριων διαιρείται σε ίσα τμήματα. Δηλαδή όσο καλύτερη είναι η σημαντικότητα k από την $k-1$, τόσο χειρότερη είναι από την $k+1$. Έχοντας τα βάρη και τις τιμές των κριτηρίων απομένει η αξιολόγηση της μεθόδου αποκατάστασης. Πρακτικά, το σταθμισμένο άθροισμα των κριτηρίων δίνει την αξιολόγηση της μεθόδου. Η αξιολόγηση μπορεί να χαρακτηριστεί ως: «καλή», «μέτρια», «κακή» με τιμές 1, 0 και -1 αντίστοιχα.

Επιστημονική υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων για υλικά και επεμβάσεις συντήρησης και αποκατάστασης

Παράδειγμα εφαρμογής

Στις ακόλουθες γραμμές παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του μοντέλου για οκτώ επιλεγμένες περιπτώσεις. Ο **Πίνακας *1*** παρουσιάζει συνοπτικά την μέθοδο αποκατάστασης που χρησιμοποιείται. Ο **Error! Reference source not found.** αναγραφεί τις τιμές στα επιμέρους κριτήρια, για κάθε μια από τις μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν. Στην τελευταία στήλη παρουσιάζεται και η βαθμολογία της κάθε μεθόδου.

Πίνακας 1. Συνοπτική περιγραφή των μεθόδων

	Stone	**Type**	**consolidant**		
1	biocalcarenite	Rhodes-grey	hybrid-nanocomposite	TEOS-SiO_2-TiO_2	**pmc1**
2	biocalcarenite	Rhodes-grey	hybrid-nanocomposite	TEOS-SiO_2-TiO_2	**pmc2**
3	biocalcarenite	Rhodes-grey	organic	ethyl silicate	**binder**
4	biocalcarenite	Rhodes-grey	inorganic-nanocomposite	nanolime	**CalosIL**
5	limestone	Rethymno-yellow	hybrid-nanocomposite	TEOS-SiO_2-TiO_2	**pmc1**
6	limestone	Rethymno-yellow	hybrid-nanocomposite	TEOS-SiO_2-TiO_2	**pmc2**
7	limestone	Rethymno-yellow	organic	ethyl silicate	**binder**
8	limestone	Rethymno-yellow	inorganic-nanocomposite	nanolime	**CalosIL**

Επιστημονική υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων για υλικά και επεμβάσεις συντήρησης και αποκατάστασης

Παρουσίαση του συστήματος

Στις ακόλουθες γραμμές παρουσιάσουμε το Σ.Υ.Α. όπως αυτό αναπτύχθηκε σε περιβάλλον MatLab και Python. Το Σ.Υ.Α. που αναπτύχθηκε σε περιβάλλον Python, δεν διαθέτει γραφική διεπαφή. Ο χρήστης επικοινωνεί με το σύστημα μέσω γραμμής εντολών, όπου εισάγει την ερώτηση του και από όπου δέχεται την απόκριση του συστήματος. Αντίθετα το σύστημα που αναπτύχθηκε σε MatLab διαθέτει γραφική διεπαφή, η οποία αναπτύχθηκε χρησιμοποιώντας το ενσωματωμένο στην MatLab εργαλείο GUIDE. Στο συγκεκριμένο σύστημα η εισαγωγή των δεδομένων γίνεται σε αντίστοιχα παράθυρα, ενώ το τελικό αποτέλεσμα παράγεται αφού εισαχθεί η αντίστοιχη εντολή (Run). Τέλος, αξίζει να αναφέρουμε ότι το σύστημα θα παράγει αποτέλεσμα ακόμα και αν δεν έχουμε τις τιμές σε μερικά κριτήρια. Συνολικά το σύστημα διαμορφώθηκε ώστε να απαντά σε τρία κρίσιμα ερωτήματα:

1. Πόσο καλή είναι η μέθοδος που εφαρμόσαμε
2. Τι διαφορές υπάρχουν σε συνθήκες εργαστηρίου και εκτός αυτού.
3. Με δεδομένα: πέτρα, υλικό σταθεροποίησης και μέθοδο εφαρμογής ποιο θα είναι το προσδοκώμενο αποτέλεσμα.

Αξιολογώντας την καταλληλότατα της μεθόδου

Οι μέθοδοι αποκατάστασης ποικίλουν. Ως εκ τούτου πρέπει με κάποιο τρόπο (π.χ. μοντέλο σταθμισμένου μέσου) να μπορούμε να αξιολογούμε την απόδοση, καταλληλόλητα, εφαρμοσιμότητα κ.λπ. των δράσεων κατά την αποκατάσταση. Συνολικά, έχουμε διαθέσιμες είκοσι δυο τιμές σε αντίστοιχα κριτήρια.

Από ένα σύνολο κριτηρίων εξάγεται μια τιμή . Αυτή η τιμή αντιστοιχεί στην βαθμονόμηση της μεθόδου αποκατάστασης και λαμβάνει συνεχείς τιμές στο διάστημα [-1,1]. Η τιμή της βαθμονόμησης δείχνει ποιοτικά την καταλληλόλητα της μεθόδου Το τελικό στάδιο αφορά την διακριτοποίηση βαθμονόμησης: οι τιμές που ανήκουν στο [-1,-0.33) χαρακτηρίζουν την μέθοδο ως κακή, οι τιμές στο [-0.33,0.33] ως μέτρια και οι τιμές στο (0.33,1] ως καλή. Στην **Εικόνα *1*** παρουσιάζεται ένα παράδειγμα βαθμονόμησης για δεδομένες τιμές στα κριτήρια.

Επιστημονική υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων για υλικά και επεμβάσεις συντήρησης και αποκατάστασης

Πίνακας 2. Τιμές επιμέρους κριτηρίων και τελική βαθμολογία των μεθόδων αποκατάστασης

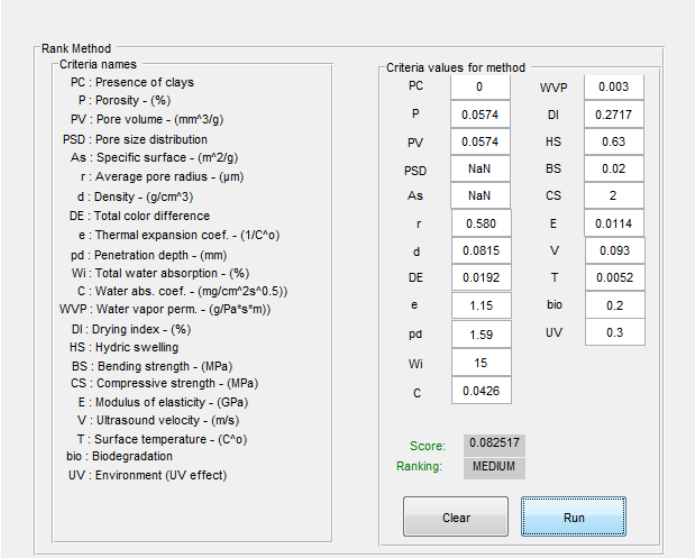
	Good	*Medium*	Bad	Importance	1	2	3	4	5	6	7	8
		Overall Score			0.357	0.714	0.213	0.714	0.214	0	0.714	0.571
surface temperature	DT<10%	10%<DT<25%	25%<DT	6	0.52	0	0	0	0	0	0.48	0
ultrasound velocity	Du<10%	10%<Du<25%	25%<Du	6	0.93	2.94	5.79	0.79	1.89	3.54	0.26	0.83
modulus of eleasticity	DME<10%	10%<DME<25%	25%<DME	5	1.14	1.52	8.66	1.57	6.5	10	1.74	1.69
permeability	DA<10%	10%<DA<25%	25%<DA	3	27.17	41.02	20	19.42	10.25	35.84	2.89	9.25
water absorption coeffiecient	DC<10%	10%<DC<25%	25%<DC	3	15.06	5.25	16.13	8.15	15.88	50	8	26.92
Water total immersion	DWi<10%	10%<DWi<<25%	25%<Dwi	3	4.26	3.27	5.37	6.77	15.72	10.66	0.18	2.9
penetration depth	B>20 mm	5<B<20	B<5	1	15	25	15	10	20	25	25	15
thermal expansion	$0.9e_s < e_{ts} < 1.1e_s$	$1.1e_s < e_{ts} < 1.2e_s$	$e_{ts} > 1.2e_s$	4	1.59	100	100	100	1.1	100	100	100
total color difference	ΔE<3	3<ΔE<5	ΔE>5	4	1.15	5.97	1.41	2.82	4.63	5.87	2.24	7.58
density	Dd5%	5%<Dd<10%	Dd> 10	2	1.92	2.4	13.4	0	1.16	2.91	1.62	0
average pore radius	Dr5%	5%<Dr<10%	Dr> 10	2	8.15	3	76.87	10.81	16.17	13.47	31.82	9.66
specific surface	DA5%	5%<DA<10%	DA> 10	2	5.8	0.72	18.12	0	310.61	542.42	17.24	6.9
pore volume	DPV5%	5%<DPV<10%	DPV> 10	2	5.74	15	25.5	3.08	4.2	5.99	0.48	1.92
total porosity	DP5%	5%<DP<10%	DP> 10	2	4.03	1.98	1.67	3.16	5.08	5.94	0.47	1.93

Σύγκριση απόδοσης μεταξύ εργαστηρίου και εξωτερικού περιβάλλοντος

Τα αναμενόμενα αποτελέσματα μετά από την εφαρμογή μιας μεθόδου αποκατάστασης ενδέχεται να μεταβάλλονται σημαντικά σε εκτός εργαστηρίου περιβάλλοντα. Αν και δεν είναι δυνατό να σταθμίσουμε όλους τους παράγοντες που επιδρούν πάνω στο τελικό αποτέλεσμα, μπορούμε να υποδείξουμε τις διαφοροποιήσεις στα επιμέρους κριτήρια με ένα απλά και συνάμα κατανοητό τρόπο.

Το περιβάλλον διεπαφής κατασκευάστηκε κατάλληλα ώστε να είναι φιλικό στον χρήστη. Ανάλογα με την επιλογή του είδους τις πέτρας στο πρώτο παράθυρο επιλογών (listbox) ονόματι Substrate, ενημερώνονται και οι

πιθανές εναλλακτικές στο 2ο παράθυρο επιλογών ονόματι Consolidant. Εφόσον γίνουν οι επιλογές και στα δυο παράθυρα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα στα δεξιά της οθόνης.
Το όλο σύστημα είναι φτιαγμένο ώστε να διαβάζει αυτόματα όλα τα δεδομένα και να προσαρμόζει τις πιθανές επιλογές του χρήστη ανάλογα με τις πληροφορίες που υπάρχουν στο παρεχόμενο, από τον χρήστη, αρχείο excel. Στην Εικόνα 2 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα διαφοράς στις τιμές μεταξύ εφαρμογής σε πραγματικές συνθήκες και στο εργαστήριο.

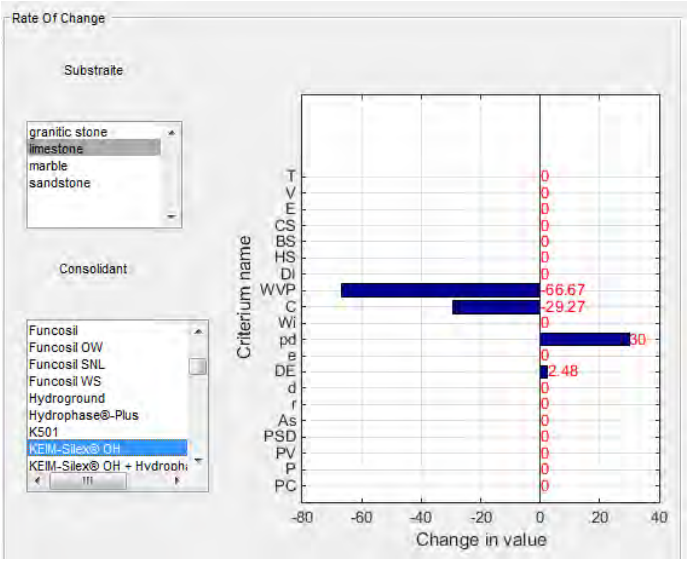


Εικόνα 1. το σύστημα βαθμονόμησε την τεχνική με 0.082517 επισημαίνοντας ότι είναι μια μέτριας απόδοσης (medium) τεχνική, για τις δεδομένες τιμές των κριτηρίων.

Σύγκριση εναλλακτικών δράσεων αποκατάστασης

Με δεδομένα το λίθο που θέλουμε να αποκαταστήσουμε, το υλικό σταθεροποίησης και το είδος της αποκατάστασης (δηλ. τρόπος εφαρμογής), θα επιθυμούσαμε μια αριθμητική τιμή, η οποία θα επέτρεπε την σύγκριση εναλλακτικών δράσεων. Το προτεινόμενο Σ.Υ.Α. αποδίδει μια αριθμητική τιμή (βαθμολογία) στην μέθοδο. Υψηλή βαθμολογία είναι επιθυμητή και υποδεικνύει καταλληλότατα της μεθόδου αποκατάστασης. Με αυτό τον τρόπο κρατώντας σταθερή μια (εκ των τριών) επιλογή είμαστε σε θέση να

συγκρίνουμε εναλλακτικές δράσεις αποκατάστασης. Στην **Εικόνα *3*** παρουσιάζεται ένα σχετικό παράδειγμα.



Εικόνα 2. Η διαφορα στις τιμές των κριτηριων για συγκεκριμένη επιλογή πετρας, υλικου σταθεροποιησης.

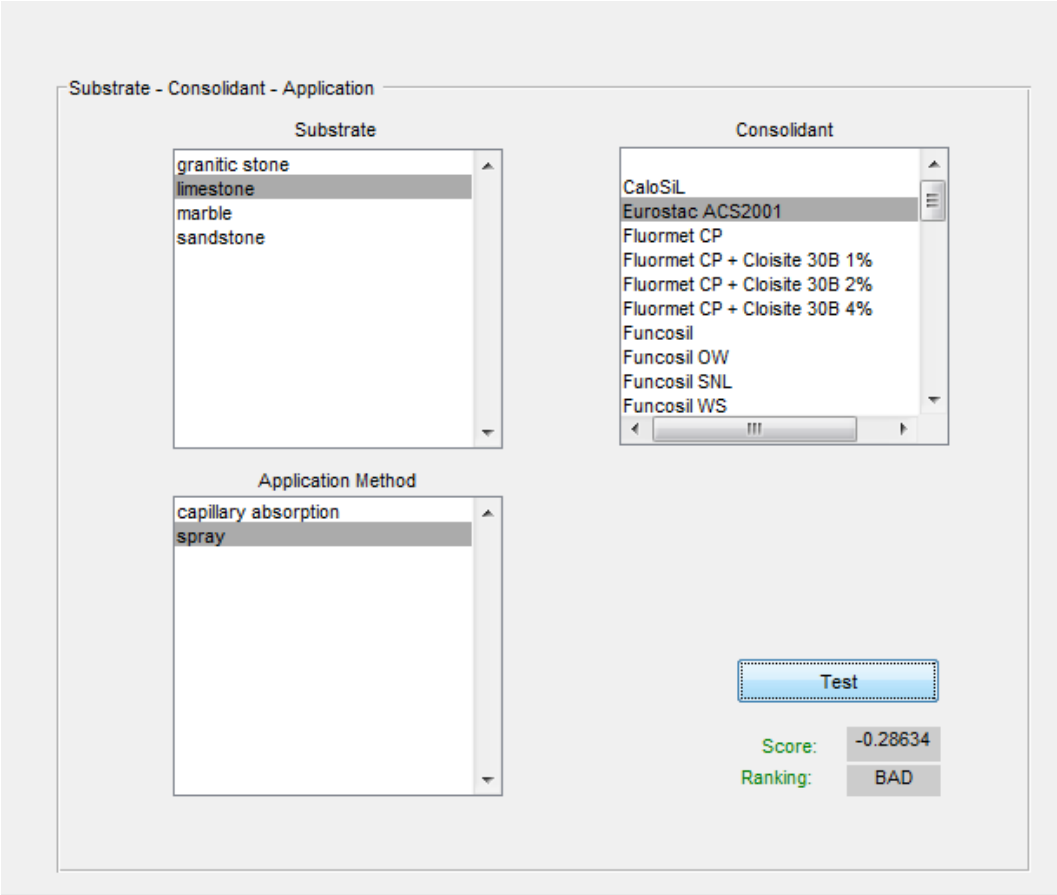
Συμπεράσματα

Στις προηγούμενες γραμμές παρουσιάστηκε ένα Σ.Υ.Α. για την αξιολόγηση των τεχνικών αποκατάστασης. Τα πλεονεκτήματα αυτού του συστήματος είναι η ευκολία στην υλοποίηση, η δυνατότητα επέκτασης, το ότι είναι εκτελέσιμο σε διαφορετικά λειτουργικά συστήματα και το ότι αξιολογεί ποιοτικά το αποτέλεσμα.

Η όλη διαδικασία αξιολόγησης είναι εύκολα πραγματοποιήσιμη μέσα από ένα γραφικό περιβάλλον διεπαφής. Το συγκεκριμένο περιβάλλον επιτρέπει την εισαγωγή τιμών, διαχειρίζεται πιθανή έλλειψη τιμής σε κάποιο κριτήριο και είναι σε θέση να διαμορφώνει τις προβαλλόμενες επιλογές του χρήση με βάση τα δεδομένα που έχει διαθέσιμα. Να σημειωθεί ότι για να τρέξει το συγκεκριμένο περιβάλλον, απαιτείται η ύπαρξη ενός αρχείου excel (σε κατάλληλη μορφή), το οποίο περιέχει το σύνολο των δεδομένων.

Εντούτοις, το σύστημα παρουσιάζει και συγκεκριμένα μειονεκτήματα. Σε πρώτη φάση μας απασχολεί η ευρωστία (robustness): τα

βάρη ορίστηκαν με εμπειρικό τρόπο. Κατ' επέκταση δεν υπάρχει δυνατότητα γενίκευσης λόγω του μικρού σύνολο δεδομένων και της ανεπαρκούς αξιολόγησης. Ολοκληρώνοντας, δεν υπάρχει μαθηματική τεκμηρίωση του μοντέλου.



Εικόνα 3. Εφόσον επιλεγούν οι εναλλακτικές στα επιμέρους παράθυρα, ο χρήστης πρέπει να κάνει κλικ πάνω στην επιλογή Test. Το αποτέλεσμα και ο χαρακτηρισμός της συγκεκριμένης δράσης αποκατάστασης εμφανίζεται κάτω δεξιά.

Ευχαριστίες

Η εργασία πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του Προγράμματος ΘΑΛΗΣ-ΑΕΙΣ "Αειφορία και συμβατότητα προηγμένων υλικών και τεχνολογιών για την προστασία μνημείων της Πολιτιστικής Κληρονομιάς: ανάπτυξη κριτηρίων και μεθοδολογιών ελέγχου" με επιστημονικά υπεύθυνη την Καθ. Α. Μοροπούλου, με

Επιστημονική υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων για υλικά και επεμβάσεις συντήρησης και αποκατάστασης

τη χρηματοδότηση του Επιχειρησιακού Προγράμματος "Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση" του Υπουργείου Πολιτισμού, Παιδείας και Θρησκευμάτων

Βιβλιογραφία

[1] S. Geertman and J. Stillwell, *Planning Support Systems in Practice*. Springer Science & Business Media, 2012.

[2] B. P. Knijnenburg, M. C. Willemsen, Z. Gantner, H. Soncu, and C. Newell, “Explaining the User Experience of Recommender Systems,” *User Model. User-Adapt. Interact.*, vol. 22, no. 4–5, pp. 441–504, Oct. 2012.

[3] L. Martínez, D. Ruan, and F. Herrera, “Computing with Words in Decision support Systems: An overview on Models and Applications,” *Int. J. Comput. Intell. Syst.*, vol. 3, no. 4, pp. 382–395, Oct. 2010.

[4] B. Vodopivec, R. Žarnić, J. Tamošaitienė, M. Lazauskas, and J. Šelih, “Renovation priority ranking by multi-criteria assessment of architectural heritage: the case of castles,” *Int. J. Strateg. Prop. Manag.*, vol. 18, no. 1, pp. 88–100, Jan. 2014.

[5] V. Ferretti, M. Bottero, and G. Mondini, “Decision making and cultural heritage: An application of the Multi-Attribute Value Theory for the reuse of historical buildings,” *J. Cult. Herit.*, vol. 15, no. 6, pp. 644–655, Nov. 2014.

[6] Veronica Cristina Heras, Anja Wijffels, Fausto Cardoso, Aziliz Vandesande, Mario Santana, Jos Van Orshoven, Thérèse Steenberghen, and Koenraad van Balen, “A value-based monitoring system to support heritage conservation planning,” *J. Cult. Herit. Manag. Sustain. Dev.*, vol. 3, no. 2, pp. 130–147, Oct. 2013.

[7] C. Stefani, X. Brunetaud, S. Janvier-Badosa, K. Beck, L. D. Luca, and M. Al-Mukhtar, “3D Information System for the Digital Documentation and the Monitoring of Stone Alteration,” in *Progress in Cultural Heritage Preservation*, M. Ioannides, D. Fritsch, J. Leissner, R. Davies, F. Remondino, and R. Caffo, Eds. Springer Berlin Heidelberg, 2012, pp. 330–339.

[8] X. Brunetaud, L. D. Luca, S. Janvier-Badosa, K. Beck, and M. Al-Mukhtar, "Application of digital techniques in monument preservation," *Eur. J. Environ. Civ. Eng.*, vol. 16, no. 5, pp. 543–556, May 2012.

Επιστημονική υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων για υλικά και επεμβάσεις συντήρησης και αποκατάστασης

Γνωσιακές Βάσεις Δεδομένων για τη Συγκρότηση της Πλατφόρμας ΘΑΛΗΣ-ΑΕΙΣ (A Knoweledge Database for the THALIS AEIS Intelligent Platform)

Α. Δουλάμης, Χ. Φραγκουδάκης, Κ. Μακαντάσης, Π. Ποτίκας, Ευτ. Πρωτοπαπαδάκης, Α. Κιούση, Αικ. Δελέγκου, Ε. Αλεξάκης, Α. Μοροπούλου

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 1573 Ζωγράφου, Αθήνα

Abstract

In this work, we present the development of a database suitable for cultural heritage information management. The developed database should be capable of storing and managing information regarding restoration methods applied on cultural heritage monuments. Concretely, the database should be capable of storing information about the materials of the cultural heritage monuments, restorative materials and methods of restoration. Additionally, it must allow the semantic analysis of the stored information so as to allow conclusions and assessment of restoration interventions. For this reason, the database should be able to support, besides textual information, the storage and manipulation of multimedia information also. This means that the database will be able to store images of the optical spectrum, thermal and multispectral images describing the various aspects of application of restoration methods on specific cultural heritage sites or on specific materials in laboratory environment. Potentially, this database could support and store optical descriptors based on MPEG. Moreover, to ensure interoperability of the database with third-party decision support systems, we avoid the development of a conventional relational database. Instead, we developed the presented database using the JSON protocol. This protocol, except interoperability, provides the opportunity to perform complex database queries and, respectively, get complex answers. Finally, it allows the organization of information in several abstract layers, which permits the implementation of appropriate ontologies that can describe the features of the stored data. The organization of such systems establish the platform of

Επιστημονική υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων για υλικά και επεμβάσεις συντήρησης και αποκατάστασης

Thales – AEIS which integrates Decision-Making systems on materials and conservation interventions databases.

Περίληψη

Στόχος της συγκεκριμένης εργασίας είναι η παρουσίαση της ανάπτυξης ενός συστήματος διαχείρισης βάσεων δεδομένων. Η υπό ανάπτυξη βάση δεδομένων πρέπει να είναι ικανή για την αποθήκευση και διαχείριση πληροφορίας σχετικά με της μεθόδους αποκατάστασης μνημείων πολιτισμικής κληρονομιάς. Συγκεκριμένα, η βάση δεδομένων θα πρέπει να μπορεί να αποθηκεύει πληροφορία σχετικά με τα υλικά των μνημείων πολιτισμικής κληρονομιάς, τα υλικά αποκατάστασης και τις μεθόδους αποκατάστασης. Επίσης, θα πρέπει να επιτρέπει την σημασιολογική ανάλυση της αποθηκευμένης πληροφορίας, έτσι ώστε να επιτρέπει την εξαγωγή συμπερασμάτων και την αξιολόγηση των επεμβάσεων συντήρησης και αποκατάστασης. Για αυτό το λόγο, η βάση δεδομένων θα πρέπει να είναι ικανή να υποστηρίζει, εκτός από πληροφορία σε μορφή κειμένου, και πολυμεσική πληροφορία. Αυτό σημαίνει ότι στην βάση δεδομένων θα μπορούν να αποθηκεύονται εικόνες του οπτικού φάσματος, θερμικές και πολυφασματικές εικόνες που θα περιγράφουν πτυχές της εφαρμογής των μεθόδων αποκατάστασης σε συγκεκριμένα μνημεία είτε σε συγκεκριμένα υλικά σε περιβάλλον εργαστηρίου. Δυνητικά μία τέτοιου είδους βάση δεδομένων θα μπορούσε να υποστηρίζει και την αποθήκευση οπτικών περιγραφέων τύπου MPEG. Επιπλέον, για να διασφαλιστεί η διαλειτουργικότητα της βάσης δεδομένων με τρίτα συστήματα υποστήριξης λήψης αποφάσεων, δεν χρησιμοποιήθηκαν συμβατικά εργαλεία ανάπτυξης σχεσιακών βάσεων δεδομένων. Αντίθετα, χρησιμοποιήθηκε το πρωτόκολλο JSON. Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο, εκτός από διαλειτουργικότητα εξασφαλίζει την δυνατότητα εκτέλεσης πολύπλοκων ερωτήσεων στην βάση δεδομένων και αντίστοιχα την δυνατότητα λήψης περίπλοκων απαντήσεων. Τέλος, επιτρέπει την κατάλληλη οργάνωση της πληροφορίας σε πολλά αφαιρετικά επίπεδα ώστε να μπορούν να υλοποιηθούν κατάλληλες οντολογίες που θα περιγράφουν τα χαρακτηριστικά των δεδομένων. Η οργάνωση των συστημάτων αυτών συγκροτεί την πλατφόρμα του ΘΑΛΗΣ - ΑΕΙΣ η οποία ολοκληρώνεται με συστήματα λήψης αποφάσεων σχετικά με τα υλικά και τις βάσεις δεδομένων επεμβάσεων συντήρησης

Επιστημονική υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων για υλικά και επεμβάσεις συντήρησης και αποκατάστασης

Introduction

The recent progress in hardware and software technologies has stimulated an impact onto a greater awareness and understanding of the impact of environmental factors on heritage and of the mechanisms by which different materials decay. This, in the sequel, has enabled new, safe analysis techniques towards an effective treatment of different categories of heritage as well as a series of innovative documentation, inspection and conservation tools in general. Drafting joint strategies and measures at European level to deal with the challenges shared by all European countries, such as climate change, city and territorial planning, pollution, loss of traditional skills and human negligence, have started to be beneficial, without impinging on the principle of subsidiarity. The socio-economic benefits of cultural heritage protection generally surpass the costs of conservation interventions; inappropriate interventions, due to incompatibility problems, however, affect this balance negatively.

A key element towards a robust methodology assessment on the compatibility of new advanced materials and interventions for cultural heritage protection, based on criteria and specifications governed by sustainability concept, is the development of an interoperable, semantic-based database that will allow for the experts (e.g., chemical engineer, material scientist) to assess intervention performances, policies and actions and take concrete decisions regarding the material and the procedure needed to be followed for an successful conservation policy. As the environmental crisis is emphasized by intense climatic changes, new demands on materials and conservation interventions arise, incorporating sustainability to compatibility, requiring reduced environmental loads and low costs during materials production.

In this paper, we describe an Integrated, Semantic-based, Knowledge Database Platform for the sustainable preservation of cultural heritage. This system has been built within the framework of THALIS-AEIS project and targets a series of different material, and different categories. We innovate in the sense that the developed knowledge database is not a conventional relational database, but instead it has been created upon a semantically-oriented document storage system so as to allow the submission of complex queries on the system with more semantic meanings.

This paper is organized as follows. In Section 2 we describe state-of-the-art techniques regarding the advantages of document storage systems with respect to the conventional relational databases. In Section 3, we introduce the JSON protocol and how this can allow a semantic

representation of the content along with the provision of interoperable issues. Finally, Section 4 discusses the developed system while Section 5 concludes the paper.

Document-Oriented Databases

Relational database management systems operate with a relational model defined by a certain schema. Strict definitions of collections of rows and columns comprise tables and relationships between tables. We can query and manipulate relational data by using the SQL query language [1].

For a lot of applications it is inconvenient to store data in the form of tables. We have different kind of relationships between the records and want quick data access. Non-SQL models data in means other than the tabular relations used in relational databases. It provides more efficient mechanisms for storage and data retrieval.

The biggest problem while using relational databases is the object-relational impedance mismatch. SQL queries are not well suited for applications that use object oriented data structures. There are difficulties while storing or retrieving an object with all relevant data. Other applications need many complex queries. In these cases, data mapping and query generation complexity raises too much. Such operations become difficult to maintain on the application side.

Relational databases struggle in cases where the amount of data keeps increasing. The direct consequence is the so-called big data problem. This problem arises when standard SQL query operations do not have acceptable performances. Configuration and maintainability issues arise by scaling RDBMS servers to cope with big data. Non-SQL databases have a major difference from relational databases. They lack an explicit data scheme. Non-SQL databases infer scheme from stored data. The data scheme depends on the used data model. The main benefit of using different data models is that they are good at what they do. At the same time we shouldn't force data models to do something they aren’t designed for [2].

In addition the content of the data become bigger and bigger. Notion of big data introduces detection and storage of ever changing data (data velocity). Thus, large quantities of data make it harder to maintain changes of meta data. The general practice of database design and creation is one of the approaches to organise and maintain information [2]. Databases must conform to the requirement specification of both specified users and potential future users [3][4][5]. This involves requirement specification gathering phase very important and non ambiguous. Relational database

model require specific notion of the domain and all changes in schema are very limited during later usage of data.

Then, the question is how to store this structure in the databases. There are two ways to do so; the denormalization and normalization. In the denormalization case, if we have millions of records then the overhead of empty values would be huge. If we would use normalization, the complexity of databases would grow exponentially, which furthermore would influence application level complexity [2]

The JavaScript Object Notation (JSON) Protocol

One way to handle these issues is to adopt the JSON [6] protocol. JavaScript Object Notation (JSON) is a data representation and lightweight data exchange format. JSON is self-determining data representation format. JSON is an alternative to XML and simpler to use. JSON depends on JavaScript Programming Language. Researchers have previously made known that JSON has been capable to obtain the position of XML as data interchanging format in web services. JSON is developed to be a data interchange language which is easily read by humans and simple to use and parse by computers [6].

JSON presents main advantages than other interoperable schemas like XML. JSON has a data representation format that is exchangeable through a programming languages integrated data structures that removes translation time and decreases complexity and processing time [7][8]. JSON text can be converted into JavaScript object by using a JavaScript function JSON.Parse(text) [9].

JSON does not contain tags like other description schemes. It yields a much more concise representation, while the parsing time is significantly low making it applicable for handing greater data volumes. In addition, the memory requirements are significantly low. But the main advantage of JSON is its flexibility to handle time varying processes and changing data. That is, we adopt such a scheme for the development of our material decay knowledge database.

The MongoDB

MongoDB (from humongous) is a cross-platform document-oriented database. Classified as a NoSQL database, MongoDB eschews the traditional table-based relational database structure in favour of JSON-like documents with dynamic schemas (MongoDB calls the format BSON),

making the integration of data in certain types of applications easier and faster [10]. MongoDB is free and open-source software.

MongoDB, a non-SQL database, is a document storage system. Its design permits high performance, high availability, and automatic scaling. Documents are in a BSON format (that is binary JSON). Field values aside from the usual JSON types can include other documents. Also and include arrays and arrays of documents. Every field has an index so queries are efficient. MongoDB has a write lock support which blocks all other operations, including reads. Also, MongoDB supports dynamic consistency. Each write operation can specify the guaranteed level of success for that operation. When inserts, updates and deletes have a weak write concern, write operations return fast. In some failed cases, write operations issued with weak write concerns may not continue. With stronger write concerns, clients wait for MongoDB to confirm the write operations. A notable feature is spatial indexing. It that allows location based queries while GridFS permits large file support.

Our Knowledge Database for Material for Cultural Heritage Protection

In the framework of THALIS-AEIS project [11], we have developed a MongoDB-based knowledge database (http://thales.central.ntua.gr/materials/insert). The database describes materials, decays phenomena, defects, mortals, consolidation materials, laser techniques and system. Figure 1 shows the main menu of the database we have developed.

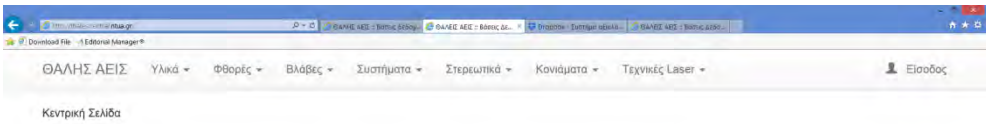
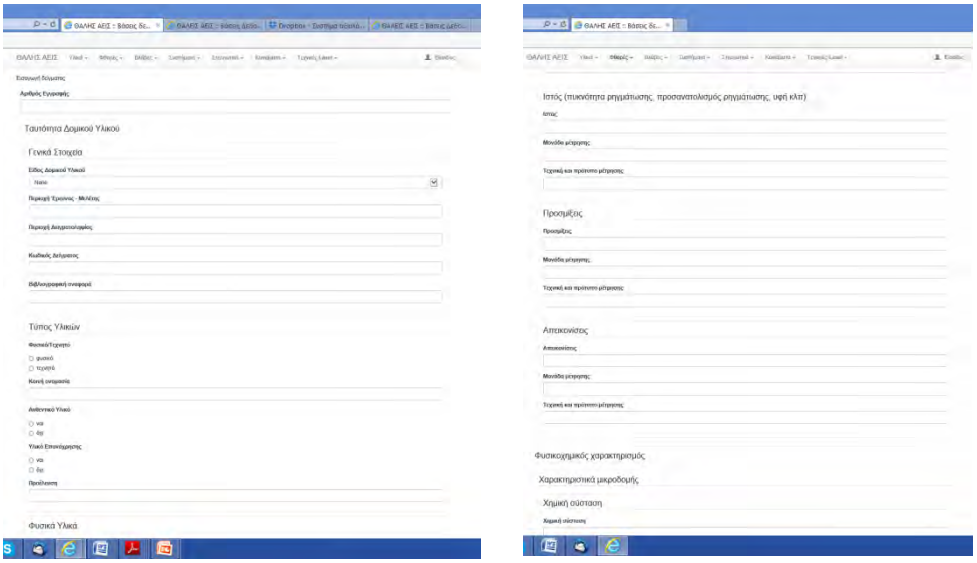


Figure 1. The main menu of the developed semantic-based THALIS-AEIS knowledge database.

The form allows us to insert different types of data in all the aforementioned fields. For instance, in Figure 2 we show the displayed form for inserting a sample in the knowledge database. The form has different fields in which the exert can submit data regarding the (i) identity of the material, (ii) its type (artificial, natural), (ii) descriptions regarding natural materials (geological evidences, process), (iii) artificial materials descriptions (origin, size, processing), (iv) mineralogical - petrographic

characterization, (v) coloring index, (vi) main substances, (vii) crack density, orientation and texture, (viii) impurities, (ix) displays, (x) physico-chemical characterization, (xi) mortal components, (xii) total/open/close porosity, (xiii) special pore surface, (xiv) average pore radius, (xv) bulk density, (xvi) real density, (xvii) illustrations porous, (xviii) surface roughness, (xix) heat mass transfer, (xx) total quantity of sorbed water by capillary climbing, (xxi) drying rate,(xxii) hydraulic expansion, (xxiii) hydrophobia, (xxiv) permeability to water vapor, (xxv) heat capacity - specific heat capacity, (xxvi) thermal conductivity, (xxvii) thermal expansion coefficients, (xxviii) emission factors, (xxix) color parameter, (xxx) saturation indices, (xxxi) brightness (xxxii) color differences, (xxxiii) mechanical characteristics, (xxxiv) tensile strength (xxxv) compressive resistance, (xxxvi) bending strength, (xxxvii) impact resistance, (xxxviii) resistance to abrasion, (xxxix) shear strength, (xxxx) modulus, (xxxxi) shear modulus, (xxxxii) hardness, (xxxxiii) poisson ratio and (xxxxiv) life cycle engineering.



(a) (b)

Figure 2. An example of our form used to insert data in THALIS-AEIS knowledge database. (a) the first page of the form. (b) Another page of the form.

Επιστημονική υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων για υλικά και επεμβάσεις συντήρησης και αποκατάστασης

Our system gives us the ability to delete content, to update content of interest, to insert new content and to search for a relevant content using a set of criteria.

Figure 3. A set of different functionalities as supported by the THALIS-AEIS knowledge database.

Our MongoDB installation has several collections. The JSON template of the materials collection is depicted in Table I. AS we can see, we specify the name of the elements, their types (usually as a string or as numerical values) along with embedded functions of each type name to another.

Table I. An example of our MongoDB implementation for our Knowledge Database.

```
{
   "ereunhtikh_omada": "%s",
   "arithmos_eggrafhs": "%s",
   "tautothta_domikou_ulikou": {
      "genika_stoixeia": {
         "eidos_domikou_ulikou": "%s",
         "perioxh_ereunas": "%s",
         "perioxh_deigmatolhyias": "%s",
         "kwdikos_deigmatos": "%s",
         "bibliografikh_anafora": "%s",
```

},

"typos_ulikwn": {

"typos": "%s",

"koinh_onomasia": "%s",

"authentiko_uliko": "%s",

"uliko_epanaxrhshs": "%s",

"proeleush": "%s",

},

"fusika_ulika": {

"gewlogika_stoixeia_petrografikos_xarakthrismos": "%s",

"katergasia": "%s",

"typos_katergasias": "%s",

"metafora": "%s",

"oruktologikos_petrografikos_xarakthrismos": {

"oruktologikos_xarakthrismos": {

"kwdikos_deigmatos_thesh_deigmatolhyias": "%s",

"eidos_domikou_ulikou": {

"eidos": "%s",

"monada_metrhshs": "%s",

Επιστημονική υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων για υλικά και επεμβάσεις συντήρησης και αποκατάστασης


```
        "texnikh_kai_protupo_metrhshs": "%s",
    },
    "xrwmatikos_deikths": {
        "deikths": "%s",
        "monada_metrhshs": "%s",
        "texnikh_kai_protupo_metrhshs": "%s",
    },
    "kuria_sustash": {
        "sustash": "%s",
        "monada_metrhshs": "%s",
        "texnikh_kai_protupo_metrhshs": "%s",
    },
    "deutereuousa_sustash": {
        "sustash": "%s",
        "monada_metrhshs": "%s",
        "texnikh_kai_protupo_metrhshs": "%s",
    },
},
```

Conclusions

In this paper, we describe an innovative semantic-based knowledge database developed within the framework of THALIS-AEIS project for handling material properties as far as protection of cultural heritage objects is concerned. The schema in built as a Non-SQL relational database to allow easy interoperability, semantic representation of its content, management of large volumes and big data, and of quick access to its content.

The developed knowledge database permits insertion of several data covering all different properties of a material. We also support analysis of defects, mortals, material decay phenomena, consolidation materials, etc.

The database can be improved on the use of ontological schemes that can represent complex relationships among them and the adoption of an holistic ontology that can describe different types of data and CH sites under a common framework.

Acknowledgment

This paper is one under the framework of THALIS-AEIS programme "Sustainability and Compatibility of Advanced Material and Technologies for the Protection of Cultural Heritage Monuments: Development of Criteria and Management Methodologies" with scientific responsible Prof. Antonia Moropoulou under the funded of the Action "Education and Lifelong Learning," of the Greek Ministry of Culture, Education and Religion Affairs.

References

[1] Zhang, S., "Application of document-oriented nosql database technology in web-based software project documents management system,"2013 IEEE 3rd

International Conference on Information Science and Technology, ICIST 2013, art. no. 6747599, pp. 504-507, 2013

[2] Liu, Z.H., Hammerschmidt, B., McMahon, D., "JSON data management-Supporting schema-less development in RDBMS," (2014) Proceedings of the ACM SIGMOD International Conference on Management of Data, pp. 1247-1258.

[3] Okockis, V., Bukauskas, L., "Meta-modelling in document-oriented databases," (2014) Frontiers in Artificial Intelligence and Applications, 270, pp. 57-70

[4] Roussopoulos N., Mark L. "Schema manipulation in self-describing and self- documenting data models," International Journal of Parallel Programming, 1985, 14(1), 1–28.

[5] Mark L., Roussopoulos N, "Metadata Management," IEEE Computer Magazine, 1986, 19(12), 26–36.

[6] Doug Crockford "Google Tech Talks: JavaScript: The Good Parts"". 7 February 2009.

[7] Navya Rupa, B., Krishna Mohan, G., Satish Babu, J., Kim, T.-H., "Test report generation using JSON," International Journal of Software Engineering and its Applications, 9 (6), pp. 63-70, 2015

[8] A. Abd El-Aziz and A. Kannan, “JSON Encryption”, 2014 International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI -2014), (2014) January, 03–05, pp. 1-6, Coimbatore, INDIA.

[9] “Getting started jsreport”, Available from: http://www.jsreport.net/learn/get-started.

[10] Hoberman, Steve, "Data Modeling for MongoDB (1st ed.)," Techniques Publications, p. 226, ISBN 978-1-935504-70-2, 2014.

[11] http://excellence.minedu.gov.gr/thales/el/thalesprojects/380133

ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΤΥΠΟΥ ΑΦΙΣΑΣ

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Παραδοσιακά ασβεστοκονιάματα με Υλικά Αλλαγής Φάσης (Traditional lime-based renders with Phase Change Materials)

Μ. Θεοδωρίδου, Λ. Κυριάκου, Ι. Ιωάννου

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Κύπρου

Abstract

Phase Change Materials (PCMs) have the ability to absorb and release thermal energy, in the form of latent heat, during the melting or solidifying processes respectively. Thus, they may be used as additives in the production of thermally efficient composite building materials.

This paper focuses on the design and laboratory production of novel, thermally efficient PCM-enhanced lime renders for application in southern European climates. The new renders are produced using either hydrated or natural hydraulic lime binder, local crushed calcarenite sand (0-2 mm) and commercial microencapsulated PCM in powder form (5% w/w of solids). Due to their expected compatibility with traditional substrate materials, the aforementioned composites could be used not only in new structures, but also in existing buildings, including cultural heritage monuments.

Results from comparative tests between reference mixtures and mixtures with the addition of PCM, carried out 28, 56 and 90 days after laboratory production, prove the potential of PCMs in enhancing the thermal performance of traditional lime-based composites. The modified composites have significantly lower (by 55%) thermal conductivity and increased (by 19%) specific heat capacity at 90 days after laboratory production. At the same time, even though porosity values are higher for the PCM-enhanced renders, compared to the reference mixtures, their capillary absorption coefficient is significantly reduced (up to 60%). Regarding the mechanical properties of the laboratory composites, PCM addition seems to have a negative effect on the hydraulic renders. In contrast, when PCM is added to the hydrated lime-based render, no change is observed for the flexural strength, while the compressive strength is notably improved (up to 36%).

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Περίληψη

Τα Υλικά Αλλαγής Φάσης (ΥΑΦ) έχουν την ικανότητα να απορροφούν και να αποδεσμεύουν ενέργεια, με τη μορφή λανθάνουσας θερμότητας, κατά τη διάρκεια της διαδικασίας τήξης ή πήξης αντίστοιχα. Συνεπώς, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πρόσθετα στην παραγωγή θερμικά αποδοτικών, σύνθετων δομικών υλικών.

Το παρόν άρθρο επικεντρώνεται στο σχεδιασμό και στην παραγωγή καινοτόμων, θερμικά αποδοτικών επιχρισμάτων με βάση τον άσβεστη και την προσθήκη ΥΑΦ, για εφαρμογή σε κλιματικές συνθήκες της Νότιας Ευρώπης. Τα νέα επιχρίσματα παράγονται με τη χρήση, είτε αερικής είτε υδραυλικής ασβεστιτικής κονίας, τοπική θραυστή ασβεσταρενιτική άμμο (0-2 χιλ.) και εμπορικά ενθυλακωμένα ΥΑΦ σε μορφή σκόνης (5% κ.β. των στερεών). Χάρη στην προσδοκώμενη συμβατότητα με παραδοσιακά υλικά υποστρώματος, τα συγκεκριμένα σύνθετα υλικά αναμένεται ότι θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν, όχι μόνο σε νέες κατασκευές, αλλά και σε υφιστάμενα κτήρια, συμπεριλαμβανομένων και μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς.

Τα αποτελέσματα των συγκριτικών ελέγχων μεταξύ των μειγμάτων αναφοράς και αυτών με πρόσθετα ΥΑΦ, που πραγματοποιήθηκαν 28, 56 και 90 ημέρες μετά από την εργαστηριακή παραγωγή τους, αποδεικνύουν τη δυνατότητα των ΥΑΦ να ενισχύουν τη θερμική απόδοση παραδοσιακών σύνθετων υλικών με βάση τον ασβέστη. Τα τροποποιημένα σύνθετα υλικά παρουσιάζουν σημαντικά χαμηλότερες (κατά 55%) τιμές θερμικής αγωγιμότητας και αυξημένες (κατά 19%) τιμές ειδικής θερμοχωρητικότητας, μετά από περίοδο 90 ημερών. Ταυτόχρονα, παρόλο που οι τιμές του πορώδους είναι υψηλότερες για τα επιχρίσματα με ΥΑΦ, σε σύγκριση με τα επιχρίσματα αναφοράς, οι τιμές του συντελεστή τριχοειδούς απορροφητικότητας παρουσιάζονται σημαντικά μειωμένες (έως και 60%). Όσον αφορά τις μηχανικές ιδιότητες των εργαστηριακών μειγμάτων, η προσθήκη ΥΑΦ φαίνεται να έχει αρνητική επίπτωση στα υδραυλικά επιχρίσματα. Αντιθέτως, όταν προστίθενται ΥΑΦ στα αερικά ασβεστο-επιχρίσματα, καμία αλλαγή δεν παρατηρείται στην έμμεση εφελκυστική αντοχή από κάμψη, ενώ βελτιώνεται αξιοσημείωτα η θλιπτική αντοχή (έως και 36%).

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Introduction

High energy consumption, due to population growth and much needed interior comfort conditions, has led to large emissions of CO_2 in the past few years. Great efforts to reduce CO_2 emissions have been made since 1997, when the European Union promised to reduce the amount of greenhouse gas emissions by 8% below the levels of 1990 emissions between 2008 and 2012, and by 20% by the end of 2020 (Baetens et al. 2010).

The building industry is one of the main consumers of energy; its contribution to global energy consumption reaches up to 40% (Zhu et al. 2009). While traditional buildings were constructed considering the immediate environmental climatic conditions and aiming to keep the interior spaces cool in the summer and warm in the winter, these aspects have been forgotten in modern architecture, which is basically based on mechanical methods of heating and cooling. The latter have led to huge increases in energy demand and have resulted in an annual growth rate of energy use around 2.3% (Zhou et al. 2012).

EU Member States must take measures to encourage building owners to renovate their properties by upgrading the thermal performance of existing building shells. Traditional building insulation materials are normally used in thick or multiple layers in order to achieve higher thermal resistances. This results in complex building details, an adverse net-to-gross floor area and possibly heavier load-bearing structures (Baetens et al. 2010). At the same time, conventional insulation materials are not usually appropriate for traditional building facades. Advanced, sustainable and better performing insulation building materials are therefore needed.

Phase Change Materials (PCMs) are currently used in many different applications, due to their ability to absorb or release energy, in the form of latent heat, during the melting or solidifying process, respectively. The principle of latent heat storage can be applied to any porous building material; nevertheless, current research primarily concerns gypsum wallboards and cementitious composites (e.g. Zhou et al. 2012).

A PCM-enhanced render is a heat storage medium combining an appropriate PCM with a cementitious or non-cementitious matrix to produce a low-cost thermal storage material with structural and thermostatic properties. The present research focuses on the design and production of novel cementless

PCM-enhanced renders with improved properties. These renders will be particularly appropriate for application in southern European climatic conditions and will meet EU strategic policy targets of reduction in primary energy use in the building sector. The composite materials under study could be used not only in new structures, but also for the renovation and retrofitting of existing buildings. The lime-based nature of their matrix and their properties further extend their applicability to listed and monumental buildings.

Materials and methods

Lime-based composite mixtures with constant workability (170 ± 5 mm) were designed and produced in the laboratory (Table 1). In all mixtures, the binder/aggregate ratio was 1:3, since this has been found to be the prevalent ratio in ancient and traditional lime composites, both in Cyprus and in other areas of the world (e.g. Moropoulou et al. 2005, Theodoridou et al. 2013). The aggregate fraction used in the mixtures consisted entirely of local 0-2 mm crushed calcarenite sand. Semi-quantitative XRD analysis of this sand indicated calcite as the predominant mineral with concentrations reaching up to 60%; albite (25%), quartz (15%) and chlorite (traces) were also present in the sample tested (Fournari et al. 2015).

Table 1. Mix design of laboratory composites. All quantities are measured by mass.

Mixture	Binder		Aggregates	Workability (mm)	Water/ Binder	PCM Additive
	Air Lime	Hydraulic Lime				(%Binder+ Aggregates)
AREF	1	-	3	175	0.88	-
HREF	-	1	3	175	0.86	-
APCM	1	-	3	171	0.90	5
HPCM	-	1	3	173	0.92	5

Two of the mixtures (AREF and HREF) were designed as reference samples, while in the other two (APCM and HPCM) a commercial PCM (BASF Micronal DS 5038 X) was added. The aforementioned PCM is microencapsulated in powder form (Figure 1) and has its main melting peak at about 25°C and its main crystallization peak at about 24°C. Its latent heat capacity (solid content) is approximately 100 kJ/kg, while its total thermal storage capacity (solid content, integral 10-30°C) is around 142 kJ/kg; the material's bulk density is 300-400 kg/m^3 and its particle size is ca. 50-300 μm. In all the mixtures, air lime (CL70-S) was supplied by Hellenic Mining Public Co., while hydraulic lime (Chaux Blanche Nathural 3.5) was supplied by Lafarge.

Figure 1. Micronal DS 5038 X by BASF in its commercial packing (left) and under the stereomicroscope (right).

The PCM was incorporated to the composites while mixing. The added quantity of each PCM corresponded to 5% w/w of the binder and aggregates in total. All the mixtures with 100% air lime binder were cured in a room with stable temperature (23±5) ºC. The mixtures with hydraulic lime were covered with water saturated burlap and were cured in closed plastic containers at (23±5) ºC.

The thermal properties of each mixture were determined on a specimen with dimensions 175×150×30 mm (Figure 2). The measurement is based on the analysis of the temperature response of the test specimen to heat flow impulses using the ISOMET 2104 supplied by Applied Precision. Measurements were carried out at three different areas of the specimen's smooth surface, resulting in values of thermal conductivity, volumetric heat capacity and thermal diffusivity. The specific heat capacity of the composites was then calculated using the volumetric heat capacity and the apparent density values.

Figure 2. Measurement of thermal properties using the ISOMET 2104.

Open porosity and apparent density were measured on prismatic specimens (40×40×160 mm) by vacuum saturation, using water as the wetting liquid. Water capillary absorption was also measured on the same specimens, following the method described in Hall and Hoff (2012).

Prismatic specimens (40×40×160 mm) were further tested under flexural load (three-point bending); the mean flexural strength was estimated using the results from three test specimens. The mean uniaxial compressive strength of each mixture was determined using the six half prisms obtained from the three-point bending test. Prior to the strength tests, the same prismatic specimens were used for the determination of the dynamic modulus of elasticity by measuring the ultrasound pulse velocity. All the tests took place at 28, 56 and 90-day intervals from the production day.

Results and discussion

The results of the tests carried out 90 days after laboratory production (Table 2), prove the potential of PCMs in enhancing the thermal performance of traditional lime-based composites. The modified composites present significantly lower (up to 55%) thermal conductivity and increased (up to 19%) specific heat capacity, compared to the reference mixtures. Furthermore, the thermal diffusivity (i.e. the ability to conduct thermal energy, relative to the ability to store it), of the modified composites is also significantly lower. Other researchers (e.g. Pavlik et al. 2012) have also noted similar results with lime-based composites.

Table 2. Thermal properties of laboratory composites at 90 days after production.

Mixture	Thermal Conductivity (W/mK)	Specific Heat Capacity (10^2J/kgK)	Thermal Diffusivity (10^{-7}m^2/s)
AREF	0.69	8.12	4.62
HREF	0.94	8.87	6.30
APCM	0.61	9.64	3.85
HPCM	0.42	10.20	2.92

Regarding the physical properties of the mixtures under investigation (Table 3), it is worth noting the higher porosities and lower apparent densities of the PCM-enhanced renders. This finding agrees well with the results reported by Pavlik et al. (2012) and Lucas et al. (2013) and may well be partly responsible for the better thermal performance of the PCM-enhanced mixtures. It should be noted that, mixtures with PCM also required higher amounts of water to reach the desired workability during the mixing stage (see Table 1).

Despite increasing the porosities of the composites, PCM addition led to significantly lower capillary absorption coefficients. Similarly, decreased sorptivities have been mentioned by Pavlik et al. (2014). This is of great

importance in the case of renders and may well be an indication for better expected durability in the long-term.

Table 3. Physical properties of laboratory composites.

Mixture	Porosity (%)			Apparent Density (g/cm^3)			Capillary Absorption Coefficient ($mm/min^{½}$)		
	28d	56d	90d	28d	56d	90d	28d	56d	90d
AREF	31.3	28.6	29.8	1.82	1.82	1.83	1.95	0.97	0.69
HREF	34.7	34.1	33.4	1.67	1.67	1.68	1.56	1.15	0.52
APCM	33.3	33.9	33.4	1.65	1.65	1.65	1.41	0.61	0.44
HPCM	30.6	31.3	40.0	1.37	1.39	1.40	0.45	n/a	0.21

The mechanical properties (e.g. compressive strength) of the hydraulic composites were negatively affected by the addition of PCM (Table 4). This result is entirely in line with the relatively high porosity of HPCM (Table 3). In contrast, the addition of PCM does not seem to affect the mechanical properties of hydrated lime-based renders (APCM). In fact, the compressive strength of APCM notably improved with the addition of PCM. Other researchers (e.g. Cunha et al. 2013, Lucas et al. 2013) have also noted that the addition of PCM in quantities <20% w/w does not seem to negatively affect the mechanical properties (i.e. flexural and compressive strength) of air lime-based composites.

Table 4. Mechanical properties of laboratory composites.

Mixture	Flexural Strength (MPa)			Uniaxial Compressive Strength (MPa)			Modulus of Elasticity (GPa)		
	28d	56d	90d	28d	56d	90d	28d	56d	90d
AREF	0.6	0.7	0.7	1.1	1.5	1.4	4.9	4.9	4.7
HREF	0.9	1.5	1.6	4.7	8.9	8.9	6.1	6.0	5.5

APCM	0.6	0.7	0.7	1.4	2.0	1.9	2.7	3.1	3.3
HPCM	0.7	0.8	1.1	3.3	4.2	5.5	2.1	2.8	3.5

The dynamic modulus of elasticity appears consistently reduced after the addition of PCM in both the hydraulic and hydrated laboratory composites. This reduction is ca. 30-35% at 90 days after the production of the mixtures.

Conclusions

The effect of PCM addition on the thermal, physical and mechanical performance of traditional lime-based renders has been presented in this paper. The results suggest that commercial microencapsulated Micronal DS 5038 X PCM has the potential to enhance the thermal properties of traditional hydrated and hydraulic lime-based composites, without significantly affecting their physico-mechanical properties. Better thermal performance was observed in the case of the hydraulic modified composite; the latter, however, also showed increased porosity and reduced strength following the addition of the PCM. Nevertheless, its capillary absorption was enhanced. Future work is expected to reveal a viable compromise between the physico-mechanical and thermal properties of PCM-enhanced lime composites. This will facilitate their use in the thermal renovation of existing buildings.

Acknowledgements

The authors would like to acknowledge financial support from the Cyprus Research Promotion Foundation (Project KOINA/M-ERA.NET/1012/01).

References

Baetens, R., Jelle, B.P., Gustavsen, A., “Phase change materials for building applications: A state-of-the-art review”. *Energy and Buildings* 42, 9 (2010) 1361-1368.

Cunha, S., Lucas, S., Aguiar, J., Ferreira, V., Bragança, L., “Influence of incorporation Phase Change Materials, PCM, granulates on workability,

mechanical strength and aesthetical appearance of lime and gypsum mortars". *Architecture Civil Engineering Environment* 3 (2013) 39-48.

Fournari, R, Ioannou, I, Vatyliotis, D., "A study of fine aggregate properties and their effect on the quality of cementitious composite materials". IAEG XII Congress Engineering Geology for Society and Territory – Volume 5: Urban Geology, Sustainable Planning and Landscape Exploitation, eds. G. Lollino, A. Manconi, F. Guzzetti, M. Culshaw, P. Bobrowsky, F. Luino, Switzerland: Springer International Publishing, (2015) 33-36.

Hall, C., Hoff, W.D., "Water Transport in Brick, Stone, Concrete". London and New York: Taylor and Francis (2012).

Lucas, S.S., Ferreira, V.M., Barroso de Aguiar, J.L., "Latent heat storage in PCM containing mortars – Study of microstructural modifications". *Energy and Buildings* 66 (2013) 724-731.

Moropoulou, A, Bakolas, A, Anagnostopoulou, S., "Composite materials in ancient structures". *Cement and Concrete Composites* 27 (2005) 295-300.

Pavlik, Z., Pavlikova, M., Volfova, P., Kaulich, V., Trnik, A., Ondruška, J., Změškal, O., Černý, R., "Properties of a new type of plaster containing Phase Change Material". *IPCSIT* 28 (2012) 122-126.

Pavlik, Z., Trnik, A., Keppert, M., Pavlikova, M., Zumar J, Černý, R., "Experimental investigation of the properties of lime-based plaster-containing PCM for enhancing the heat-storage capacity of building envelopes". *International Journal of Thermophysics* 35, 3-4 (2014) 767-782.

Theodoridou, M, Ioannou, I, Philokyprou, M., "New evidence of early use of artificial pozzolanic material in mortars". *Journal of Archaeological Science* 40, 8 (2013) 3263-3269.

Zhou, D., Zhao, C.Y., Tian, Y., "Review on thermal energy storage with phase change materials (PCMs) in building applications". *Applied Energy* 92 (2012) 593-605.

Zhu, N., Ma, Z., Wang, S., "Dynamic characteristics and energy performance of buildings using phase change materials: A review". *Energy Conversion and Management* 50, 12 (2009) 3169-3181.

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Ιστορικά δομικά υλικά: ενώσεις θειικού ασβεστίου σε μεταβυζαντινά έργα (Historical structural materials: calcium sulphate compounds in post-Byzantine artifacts)

Γ.Π. Μαστροθεόδωρος[1,2], Κ.Γ. Μπέλτσιος[1], Β. Παπαδοπούλου[2]

[1] Τμήμα Μηχανικών Επιστήμης Υλικών, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, 45 110, Ιωάννινα.
[2] Εργαστήριο Αρχαιομετρίας, ΙΝΝ, ΕΚΕΦΕ 'Δημόκριτος', 15 310, Αγ. Παρασκευή, Αττική.
[3] Εφορεία Αρχαιοτήτων Άρτας, 47 100, Άρτα.

Abstract

Calcium sulphate compounds have been used as structural materials since antiquity. Gypsum and its heat-treatment products were commonly used as raw materials for the manufacture of plasters and plastic decorations, while they were also widely used as substrates for mural and portable paintings (Mora et al 1984, Elsen 2006). The post-Byzantine (≈1730-4) technical text "Hermeneia" of Dionysius includes detailed instructions for the heat and water treatment of gypsum (Dionysius 1997). We have followed these instructions at the laboratory and the obtained products have been examined using SEM-EDX and XRD techniques. For the sake of comparison samples from the preparatory layers of several post-Byzantine artifacts have been also subjected to analysis. Findings revealed that Dionysius describes the common –during the post-Byzantine period- gypsum treatment, as well as that the contemporary craftsmen used mostly gypsum, anhydrite and mixtures of both phases as preparatory materials.

Περίληψη

Ενώσεις θειικού ασβεστίου χρησιμοποιήθηκαν ως δομικά υλικά από αρχαιοτάτων χρόνων. Η γύψος και τα παράγωγα της θερμικής κατεργασίας της αποτέλεσαν συνήθεις πρώτες ύλες παρασκευής επιχρισμάτων και πλαστικών

διακοσμητικών στοιχείων, ενώ γνώρισαν ευρεία διάδοση και ως υποστρώματα επιτοίχιων και φορητών ζωγραφικών έργων (Mora et al 1984, Elsen 2006). Το μεταβυζαντινό (≈1730-4) τεχνικό εγχειρίδιο της 'Ερμηνείας' του Διονυσίου του εκ Φουρνά περιλαμβάνει λεπτομερείς οδηγίες επεξεργασίας ορυκτής γύψου προς παρασκευή υλικού προετοιμασίας φορέων ζωγραφικών έργων (Διονύσιος 1997). Η εργαστηριακή εφαρμογή των υπόψιν οδηγιών οδήγησε σε ποικιλία προϊόντων που εξετάστηκαν με εφαρμογή διατάξεων SEM-EDX και XRD, ενώ παράλληλα μελετήθηκαν συγκριτικά ορισμένα δείγματα προετοιμασιών από μεταβυζαντινά έργα. Διαπιστώθηκε ότι ο Διονύσιος περιγράφει την τυπική για την εποχή του πρακτική επεξεργασίας γύψου καθώς και ότι οι μεταβυζαντινοί τεχνίτες χρησιμοποιούσαν ως υλικά προετοιμασίας γύψο, ανυδρίτη και μίγματα των δυο ενώσεων.

Εισαγωγή

Το διένυδρο θειικό ασβέστιο (γύψος - $CaSO_4 \cdot 2H_2O$) και τα παράγωγα της θερμικής κατεργασίας του αποτέλεσαν συνήθεις πρώτες ύλες παρασκευής κονιαμάτων, επιχρισμάτων και πλαστικών διακοσμητικών στοιχείων (Mora et al 1984, Elsen 2006). Στο πλαίσιο της μεταβυζαντινής τέχνης κονίες με βάση ενώσεις θειικού ασβεστίου χρησιμοποιήθηκαν ευρύτατα ως υποστρώματα (προετοιμασίες-grounds) σε ζωγραφικά και ξυλόγλυπτα έργα (Mastrotheodoros et al 2015).

Η γύψος σχηματίζεται κατά την εξάτμιση του θαλάσσιου ύδατος και ως εκ τούτου εντοπίζεται σε ιζηματογενείς και εβαποριτικές αποθέσεις (Deer et al 1992). Απαντάται σε πολλές κρυσταλλικές μορφές –όπως ο σεληνίτης, το αλάβαστρο κ.α.- ενώ υπό συνθήκες υψηλής πίεσης/θερμοκρασίας (λόγω λιθοστατικής πίεσης) αφυδατώνεται τρεπόμενη σε άνυδρο θειικό ασβέστιο (ανυδρίτης-$CaSO_4$). Ανυδρίτης είναι δυνατό να σχηματιστεί και απευθείας κατά την εξάτμιση του θαλάσσιου ύδατος: ο σχηματισμός γύψου ή ανυδρίτη εξαρτάται από τη θερμοκρασία κατά την εξάτμιση και την αλατότητα του θαλάσσιου ύδατος (Palache et al 1951, Deer et al 1992). Κατά τη θέρμανση γύψου στον αέρα σε θερμοκρασίες άνω των 90°C τα ¾ του χημικά συνδεδεμένου ύδατος απομακρύνονται σταδιακά από το κρυσταλλικό πλέγμα με αποτέλεσμα τον σχηματισμό ημιένυδρου θειικού ασβεστίου ($CaSO_4 \cdot ½H_2O$ - βασσανίτης) (Charola et al 2008), ένωση που όταν αναμιχθεί με νερό επανέρχεται σταδιακά στην αρχική, διένυδρη μορφή. Με όπτηση σε ελαφρώς

υψηλότερη θερμοκρασία απομακρύνεται πλήρως το κρυσταλλικό ύδωρ και σχηματίζεται διαλυτός ανυδρίτης (γ-$CaSO_4$), ενώ σε θερμοκρασίες άνω των 200ºC σχηματίζεται και η αδιάλυτη αλλοτροπική μορφή του ανυδρίτη (β-$CaSO_4$). Σε θερμοκρασίες άνω των 525ºC σχηματίζεται αποκλειστικά β-$CaSO_4$ (Gómez et al 1998), ενώ με περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας (≥1200ºC) σχηματίζεται, α-$CaSO_4$ το οποίο τήκεται στους 1450ºC (Palache et al 1951).

Η κονιορτοποίηση φυσικής γύψου είναι επίπονη διαδικασία και το παραγόμενο προϊόν είναι συνήθως ακατάλληλο για υπόστρωμα διακοσμήσεων με στιλβωτό χρυσό (Federspiel 1995). Για το λόγο αυτό η ακατέργαστη ορυκτή γύψος χρησιμοποιήθηκε σε σχετικά περιορισμένη έκταση και έχει εντοπιστεί σε λίγες μόνο προετοιμασίες ζωγραφικών έργων (Gettens και Stout, 1966, Thompson 1998). Ωστόσο, όπτηση γύψου σε χαμηλές θερμοκρασίες διευκολύνει σημαντικά τη διαδικασία κονιορτοποίησης ενώ η παραγόμενη λεπτοφυής κονία είναι δυνατόν να μετατραπεί, εκ νέου σε γύψο δια διασποράς εντός ύδατος και αναδεύσεως (Gettens και Mrose 1954, Martin et al 1992).

Οδηγία επεξεργασίας γύψου στην 'Ερμηνεία'

Στο μεταβυζαντινό κείμενο της 'Ερμηνείας' εμπεριέχεται λεπτομερής περιγραφή της επεξεργασίας ορυκτής γύψου προς παρασκευή υλικού προετοιμασίας ζωγραφικών και ξυλόγλυπτων έργων (Διονύσιος 1997, §5). Σύμφωνα με τις οδηγίες του Διονύσιου η γύψος επιλέγεται βάσει των μακροσκοπικών χαρακτηριστικών της ['… *καὶ στοχάζου νὰ βάνῃς τὸν ἄσπρον καὶ γιαλιστερόν* (γύψο)…'] και στη συνέχεια τεμαχίζεται αδρά και τοποθετείται εντός φούρνου που έχει προθερμανθεί ('καεί') '*ἕως νὰ κοκκινήσῃ*'. Η είσοδος του φούρνου σφραγίζεται άμεσα και μετά από παρέλευση τριών ημερών 'ο γύψος' απομακρύνεται και κονιορτοποιείται επιμελώς '*ἕως ὁποῦ νὰ γένῃ ψιλὸς πολλά*'. Στη συνέχεια το προϊόν 'χύνεται', δηλαδή διασπείρεται εντός ύδατος και αναδεύεται έντονα. Ο Διονύσιος τονίζει ιδιαίτερα την ανάγκη αναμίξεως μικρής ποσότητας κονίας με περίσσεια ύδατος ώστε να αποφευχθεί τυχόν πήξη εντός του δοχείου, περίπτωση κατά την οποία '*γίνεται ὁ γύψος ὡσὰν πέτρα καὶ κολνᾷ εἰς τὸ χάλκωμα καὶ μὴν ἰμπορόντας νὰ τὸν ἐβγάλῃς χαλᾷ τὸ χάλκωμα*'. Μετά την ολοκλήρωση της ανάδευσης η κονία αφήνεται να καθιζάνει και ακολούθως αφαιρείται σταδιακά το πλεονάζον ύδωρ, διαδικασία κατά την οποία απομακρύνονται προφανώς και τυχόν υδατοδιαλυτές προσμίξεις (πχ άλατα). Ακολούθως το υλικό αφήνεται να στεγνώσει, λειοτριβείται εκ νέου,

επανυποβάλλεται σε όπτηση και η προαναφερθείσα διαδικασία υδατικής κατεργασίας επαναλαμβάνεται.

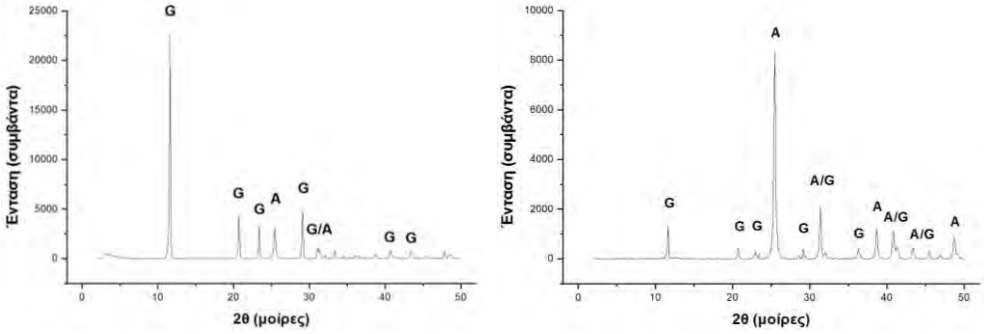
Εργαστηριακή αναπαραγωγή

Με σκοπό την διερεύνηση των αλλαγών που επιφέρουν στην μικρομορφολογία και την κρυσταλλική δομή της ορυκτής γύψου οι διεργασίες που περιγράφονται στην κείμενο του Διονύσιου, πραγματοποιήθηκε σειρά εργαστηριακών οπτήσεων και υδατικών κατεργασιών δειγμάτων σελενίτη ο οποίος περισυνελέγη από επιφανειακό κοίτασμα στη νοτιοανατολική Ζάκυνθο. Το ορυκτό λειοτριβήθηκε και ακολούθως υπεβλήθη σε όπτηση διάρκειας μιάμισης ώρας σε σταθερή θερμοκρασία T (όπου T= 100, 200, […], 600 ºC)· μετά την ολοκλήρωση της όπτησης η κονία αφέθηκε εντός του κλιβάνου έως ότου η θερμοκρασία του εξισώθηκε με αυτή του περιβάλλοντος. Ακολούθως το προϊόν εισήχθη σε μεγάλη περίσσεια ύδατος, υπεβλήθη σε περιοδική ανάδευση για μια ώρα και αφέθηκε να καθιζάνει για 24 ώρες· στη συνέχεια το ύδωρ απεμακρύνθη, το προϊόν αφέθηκε να στεγνώσει και λειοτριβήθηκε. Έπειτα το προϊόν υπεβλήθη εκ νέου σε όπτηση στην αυτή θερμοκρασία T και τα στάδια της εμβάπτισης, ανάδευσης, ξήρανσης και λειοτρίβησης επανελήφθησαν. Μετά από κάθε στάδιο κατεργασίας (όπτηση-υδατική κατεργασία, 2^{η} όπτηση-2^{η} υδατική κατεργασία) η μικροδομή και η κρυσταλλική δομή του προϊόντος διερευνήθηκαν με διατάξεις SEM και XRD αντίστοιχα.

Διαπιστώθηκε ότι ο σελενίτης κονιορτοποιείται δύσκολα ενώ ακόμη και έπειτα από παρατεταμένη λειοτρίβηση διατηρείται πλήθος κόκκων με μία ή δύο διαστάσεις στην περιοχή [50μm, 100 μm]. Όπτηση του εν λόγω προϊόντος σε θερμοκρασίες ≤200ºC έχει ως αποτέλεσμα το σχηματισμό βασσανίτη, ενώ με όπτηση στους 300ºC σχηματίζεται και ανυδρίτης. Μετά από όπτηση στους 400ºC, μεταξύ των κυρίαρχων κορυφών ανυδρίτη εντοπίζονται ακόμη ασθενείς βασσανιτικές κορυφές ενώ από τους 500ºC και άνω ανιχνεύεται μόνον ανυδρίτης. Η κατεργασία των προϊόντων της όπτησης με ύδωρ έχει ως αποτέλεσμα τον επανασχηματισμό γύψου. Ωστόσο στις περιπτώσεις όπτησης σε T≥300ºC ανιχνεύεται ανυδρίτης ακόμη και μετά την υδατική κατεργασία, γεγονός που υποδηλώνει ότι μέρος τουλάχιστον αυτού είναι της μορφή β-$CaSO_4$ (αδιάλυτος). Σε υψηλότερες θερμοκρασίες (≥500ºC) σχηματίζεται κυρίως β-$CaSO_4$ καθώς ακόμη και κατόπιν κατεργασίας με ύδωρ διαπιστώνεται αποκλειστική παρουσία ανυδρίτη. Η επανάληψη της όπτησης και της υδατικής

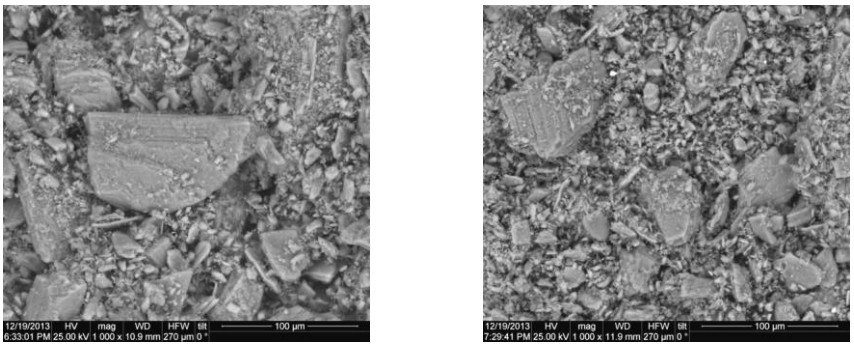
κατεργασίας ευνοεί το σχηματισμό αδιάλυτου ανυδρίτη. Ενδεικτικό παράδειγμα αποτελούν τα προϊόντα όπτησης στους 300ºC: σύγκριση μεταξύ των διαγραμμάτων περίθλασης από τα κατεργασμένα με ύδωρ προϊόντα της πρώτης και της δεύτερης όπτησης υποδεικνύει σαφώς ενισχυμένη παρουσία ανυδρίτη στη δεύτερη περίπτωση (εικόνα 1).

Όπτηση σε θερμοκρασίες <400ºC δεν επηρεάζει σημαντικά την μικροδομή του λειοτριβημένου σεληνίτη, ενώ θερμική κατεργασία σε υψηλότερες θερμοκρασίες (T=500 έως 600ºC) επιφέρει ελαφρά μείωση του μέσου μεγέθους κόκκων (εικόνα 2). Αντιθέτως, η υδατική κατεργασία επιφέρει σημαντικές αλλαγές στην αρχικώς παρατηρούμενη δομή, ιδιαιτέρα στις περιπτώσεις όπτησης σε θερμοκρασίες ≤400ºC. Συγκεκριμένα, ο βασσανίτης που παράγεται μετά από όπτηση σεληνίτη στους 100ºC μετατρέπεται σχεδόν πλήρως σε βελονοειδή σωματίδια ιδιαίτερα μικρών διαστάσεων, ενώ μεγαλύτερων διαστάσεων βελονοειδή σωματίδια καθώς και πλήθος πλακοειδών σχηματίζονται μετά από υδατική κατεργασία των προϊόντων όπτησης στους 200ºC και 300ºC (εικόνα 3, αριστερά).

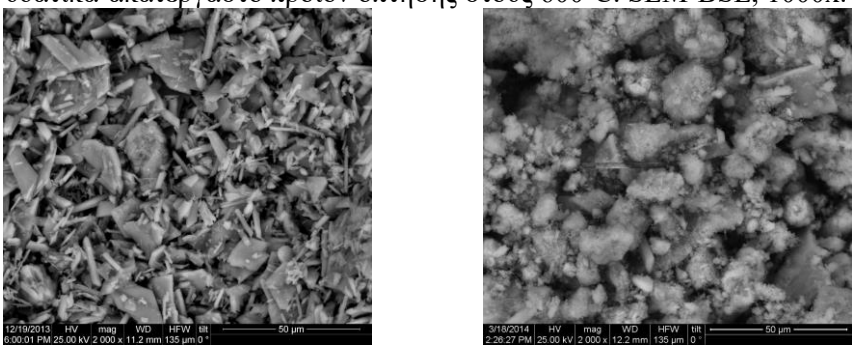


Εικόνα 1. Αριστερά: διάγραμμα XRD προϊόντος 1ης όπτησης στους 300ºC έπειτα από υδατική κατεργασία. Δεξιά: το ίδιο προϊόν μετά από επανάληψη της όπτησης και της υδατικής κατεργασίας. G: γύψος, A: ανυδρίτης.

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές



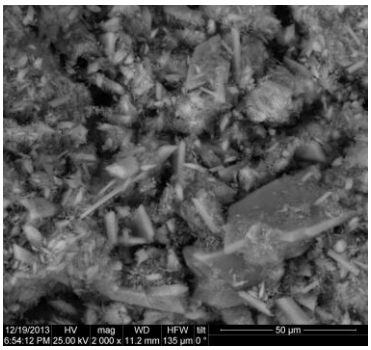
Εικόνα 2. Αριστερά: υδατικά-ακατέργαστο προϊόν όπτησης στους 100ºC. Δεξιά: υδατικά-ακατέργαστο προϊόν όπτησης στους 600ºC. SEM-BSE, 1000x.

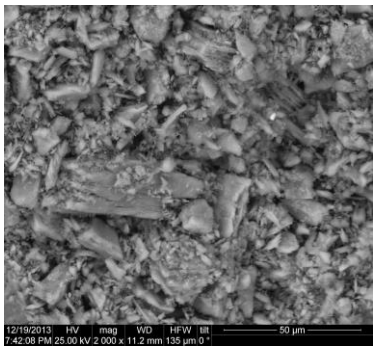


Εικόνα 3. Αριστερά: βελονοειδείς και πλακοειδείς κρύσταλλοι έπειτα από υδατική κατεργασία προϊόντος όπτησης στους 300ºC. Δεξιά: το αυτό προϊόν όπως στην εικόνα 3-αριστερά, έπειτα από επανάληψη της όπτησης (300ºC) και της υδατικής κατεργασίας. SEM-BSE, 2000x.

Κατά την εξέταση του υδατικά κατεργασμένου προϊόντος όπτησης στους 400ºC διαπιστώθηκε περιορισμένη παρουσία βελονοειδών και πλακοειδών κρυστάλλων ενώ εντοπίστηκαν αρκετά ακανόνιστου σχήματος σωματίδια (εικόνα 4, αριστερά). Αντιθέτως, στις περιπτώσεις των προϊόντων όπτησης υψηλότερων θερμοκρασιών (500-600ºC) η κατεργασία με ύδωρ έχει μικρή μόνο επίπτωση στη μικροδομή καθώς ανάμεσα σε πληθώρα ακανόνιστων κόκκων εντοπίζονται μόνο λίγοι μεμονωμένοι βελονοειδείς μονοκρύσταλλοι (εικόνα 4, δεξιά).

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές





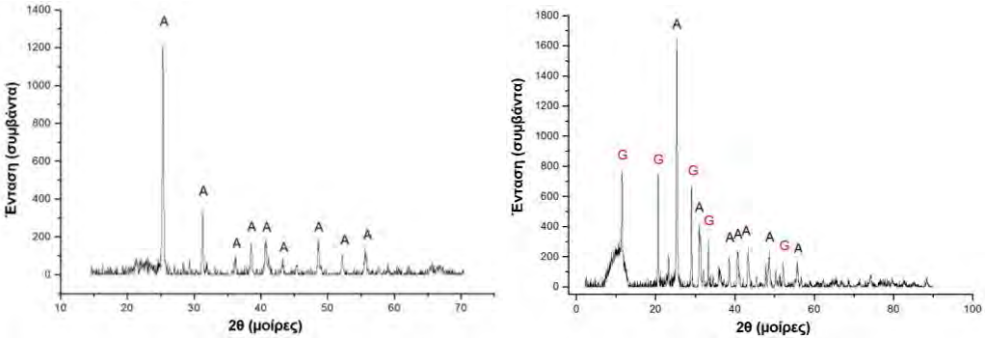
Εικόνα 4. Αριστερά: μικροδομή προϊόντος όπτησης σεληνίτη στους 400ºC μετά από υδατική κατεργασία. Δεξιά: μικροδομή προϊόντος όπτησης σεληνίτη στους 600ºC μετά από υδατική κατεργασία. SEM-BSE, 2000x.

Μικροδομικές αλλαγές επιφέρει και ο δεύτερος κύκλος κατεργασίας. Συγκεκριμένα, οι βελονοειδείς και πλακοειδείς κρύσταλλοι που σχηματίζονται κατά την υδατική κατεργασία των προϊόντων όπτησης στους 100ºC και 200ºC εμφανίζονται με μεγαλύτερες διαστάσεις μετά τον δεύτερο κύκλο όπτησης-εμβάπτισης σε ύδωρ. Αντιθέτως, στην περίπτωση του προϊόντος όπτησης στους 300ºC (ανυδρίτης-βασσανίτης) ο δεύτερος κύκλος κατεργασίας επιφέρει ριζική αλλαγή της μικροδομής καθώς στη θέση των βελονοειδών και πλακοειδών κρυσταλλιτών (1ος κύκλος) παρατηρούνται κυρίως ανομοιογενή σωματίδια (3-25 μικρομέτρων) (εικόνα 3, δεξιά), αλλαγή που ενδεχομένως σχετίζεται με την ενισχυμένη παρουσία ανυδρίτη μετά τη δεύτερη όπτηση. Τέλος, στις περιπτώσεις των προϊόντων όπτησης σε T>300ºC ο δεύτερος κύκλος κατεργασίας προκαλεί μείωση του μέσου μεγέθους των ανυδριτικών κόκκων.

Συγκριτική μελέτη μεταβυζαντινών έργων

Μικροδείγματα από μεταβυζαντινά έργα (κυρίως φορητές εικόνες συλλογής Βυζαντινού Μουσείου Ιωαννίνων και ιδιωτικών συλλογών), εξετάστηκαν με χρήση διατάξεων SEM-EDX και XRD με σκοπό την διερεύνηση των πρώτων υλών κατασκευής των προετοιμασιών. Με βάση τα αποτελέσματα των αναλύσεων XRD διαπιστώθηκε ότι στην πλειονότητα των υπό εξέταση έργων το στρώμα της προετοιμασίας περιέχει –σχεδόν καθαρή- γύψο. Ωστόσο σε αρκετά έργα εντοπίστηκε μόνον ανυδρίτης ενώ σε ορισμένα

άλλα διαπιστώθηκε ταυτόχρονη παρουσία και των δυο προαναφερθεισών φάσεων (εικόνα 5).

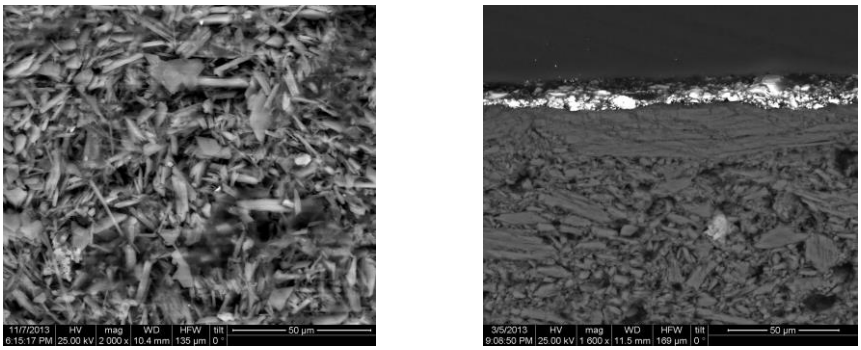


Εικόνα 5. Αριστερά: διάγραμμα XRD ανυδριτικής προετοιμασίας. Δεξιά: διάγραμμα XRD προετοιμασίας περιέχουσας γύψο και ανυδρίτη.

Κατά την εξέταση υπό το SEM παρατηρήθηκε ότι τα στρώματα προετοιμασίας εμφανίζουν μικροδομικά χαρακτηριστικά αντίστοιχα με των προϊόντων θερμικής και υδατική κατεργασίας γύψου. Συγκεκριμένα διαπιστώθηκε ότι οι προετοιμασίες στις οποίες υπερτερεί η γύψος (δεδομένα XRD) εμφανίζουν βελονοειδή και πλακοειδή σωματίδια αντίστοιχα με τα σχηματιζόμενα μετά από υδατική κατεργασία προϊόντων όπτησης ορυκτής γύψου σε T<400 ºC (εικόνα 6, αριστερά). Αντιθέτως στις ανυδριτικές προετοιμασίες εντοπίζονται ευμεγέθεις κόκκοι με αδρή μικροδομή (εικόνα 6, δεξιά). Ο εντοπισμός βελονοειδών και πλακοειδών σωματιδίων στις προετοιμασίες μεταβυζαντινών εικόνων, εικάζεται ότι αντανακλά εμπλοκή *τεχνητής* γύψου. Επιπροσθέτως, ο ανυδρίτης που εντοπίζεται σε προετοιμασίες εικόνων εμφανίζει μικροδομή συναφή αυτής του *τεχνητά* παραγόμενου ανυδρίτη. Συνυπολογίζοντας ότι τα φυσικά, επιφανειακά κοιτάσματα ανυδρίτη ενυδατώνονται άμεσα υπό την επίδραση μετεωρικών υδάτων (υετού) και επανέρχονται στη μορφή της γύψου (Palache et al 1951), ο εντοπισμός της ενώσεως σε δείγματα προετοιμασιών λογίζεται ως περαιτέρω ένδειξη εσκεμμένης όπτησης των πρώτων υλών.

Με βάση τα παραπάνω εξάγεται το συμπέρασμα ότι ο συνδυασμός θερμικής και υδατικής κατεργασίας φυσικής γύψου συνιστούσε διαδεδομένη πρακτική κατά την ελλαδική μεταβυζαντινή περίοδο, τουλάχιστον στο πλαίσιο παραγωγής υλικών προετοιμασίας.

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές



Εικόνα 6. Αριστερά: βελονοειδείς και πλακοειδείς κόκκοι γύψου, προετοιμασία μεταβυζαντινής εικόνας (SEM-BSE, 2000x). Δεξιά: αδροί κόκκοι σε ανυδριτική προετοιμασία μεταβυζαντινής εικόνας. Το λευκό στρώμα αντιστοιχεί στη ζωγραφική επιφάνεια (SEM-BSE, 1600x).

Συμπεράσματα

Κατά την πειραματική επεξεργασία ορυκτής γύψου διαπιστώθηκε ότι οι -συνήθεις σε προετοιμασίες μεταβυζαντινών έργων- πλακοειδείς και βελονοειδείς κρύσταλλοι σχηματίζονται κατά την υδατική κατεργασία προϊόντων ήπιας όπτησης (≤300ºC) γύψου, ενώ με όπτηση σε θερμοκρασίες >300ºC σχηματίζονται σχετικώς αδροί κόκκοι ανυδρίτη. Επί τη βάσει της συγκριτικής μελέτης δειγμάτων προετοιμασιών από μεταβυζαντινά έργα, διαπιστώθηκε ότι ο Διονύσιος περιγράφει την τυπική για την εποχή του πρακτική επεξεργασίας γύψου. Διαπιστώθηκε επίσης ότι κατά την εν λόγω περίοδο η πλέον διαδεδομένη πρώτη ύλη κατασκευής προετοιμασιών ήταν η τεχνητή γύψος, γεγονός που υποδηλώνει ότι η θερμική κατεργασία του ορυκτού επραγματοποιείτο σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες.

Σημειώνεται ότι οι διεργασίες κατά την απομάκρυνση και επαναπρόσληψη ύδατος από το κρυσταλλικό πλέγμα της γύψου είναι πολυπαραμετρικές και επηρεάζονται από παράγοντες όπως το είδος και το κλάσμα των προσμίξεων, η διάρκεια της θέρμανσης και της κατεργασίας με ύδωρ κλπ. Τα πειραματικά δεδομένα και οι ερμηνείες που παρουσιάστηκαν προηγουμένως αφορούν αποκλειστικά τις περιγραφόμενες διαδικασίες κατεργασίας γύψου, οι οποίες σχεδιάστηκαν με οδηγό τις υποδείξεις του

Διονύσιου του εκ Φουρνά ενώ η σχετική διερεύνηση περιελάμβανε ήπιες μόνον παραλλαγές των υποδείξεων αυτών.

Ευχαριστίες

Η εργασία πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του Προγράμματος ΘΑΛΗΣ-ΑΕΙΣ "Αειφορία και συμβατότητα προηγμένων υλικών και τεχνολογιών για την προστασία μνημείων της Πολιτιστικής Κληρονομιάς: ανάπτυξη κριτηρίων και μεθοδολογιών ελέγχου" με επιστημονικά υπεύθυνη την Καθ. Α. Μοροπούλου, με τη χρηματοδότηση του Επιχειρησιακού Προγράμματος "Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση" του Υπουργείου Πολιτισμού, Παιδείας και Θρησκευμάτων. Θερμές ευχαριστίες εκφράζονται προς τον Δρα Ι. Μπασιάκο (εργαστήριο Αρχαιομετρίας, ΙΝΝ, ΕΚΕΦΕ 'Δημόκριτος') για τα καίρια σχόλιά του επί της εργασίας, καθώς και για την παραχώρηση πρόσβασης στον εξοπλισμό του εργαστηρίου Αρχαιομετρίας του ΕΚΕΦΕ 'Δημόκριτος', όπου πραγματοποιήθηκε το σύνολο των πειραματικών και αναλυτικών εργασιών. Τέλος ευχαριστίες εκφράζονται προς το Ίδρυμα Ωνάση για την παραχώρηση υποτροφίας στον Γ.Π. Μαστροθεόδωρο.

Βιβλιογραφία

Charola, A.E., Pühringer, J. και Steiger, M., "Gypsum: a review of its role in the deterioration of building materials", *Environmental Geology* 52, (2007) 339-352.

Deer W.A., Howie R. A., και Zussman J., "An introduction to the rock-forming minerals", 2η έκδοση, Longman, England (1992).

Διονύσιος εκ Φουρνά, "Η ερμηνεία της ζωγραφικής τέχνης", εκδοθείσα υπό Α. Παπαδόπουλου-Κεραμέως, Πετρούπολη 1909, επανέκδοση Κ. Σπανός, Αθήνα (1997).

Elsen J., "Microscopy of historic mortars-a review", *Cement and Concrete Research* 36, (2006) 1416-1424.

Federspiel B., "Questions about Medieval Gesso Grounds", Historical Painting Techniques, Materials, and Studio Practice, εκδότες A. Wallert, E. Hermens και M. Peek, Getty Conservation Institute, USA, (1995) 58-64.

Gettens R. J. και Mrose M. E., "Calcium sulphate minerals in the grounds of Italian paintings", *Studies in Conservation* 01, (1954) 174-189.

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Gettens R. J. και Stout G. L., "Painting Materials: A short encyclopaedia", εκδόσεις Dover, New York (1966).

Gómez S. S., Moya M. S. A., Ródriguez J. L. B. Sastre O. C., Aglio M. I. B. και Muñoz A. R., "Contribution to the study of grounds for panel painting of the Spanish school in the fifteenth and sixteenth centuries", Painting techniques history, materials and studio practice: contributions to the Dublin Congress, IIC (1998) 115-119.

Martin E., Sonoda N. και Duval A.R., "Contribution a l' etudes des preparations blanches des tableaux italiens sur bois", *Studies in Conservation* 37, (1992) 82-92.

Mastrotheodoros G.P., Beltsios K.G., Bassiakos Y. και Papadooulou V., "On the grounds of post-Byzantine Greek icons", *Archaeometry*, doi: 10.1111/arcm.12201 (2015).

Mora P., Mora L. και Philippot P., "The conservation of wall paintings", Butterworth & Co editions, Sevenoaks (1984).

Palache C., Berman H. και Frondel C., "The system of mineralogy", Vol. 2, Seventh Edition, John Wiley & Sons, New York (1951).

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Ιστορική αναδρομή στις εργασίες αναστήλωσης των τοιχογραφιών του καθολικού της Μονής Παναγίας Σκοπιώτισσας στη Ζάκυνθο

Κ. Στουπάθης

Συντηρητής/Μουσειολόγος, Υπ. Πολιτισμού

Abstract

At the top of Skopos mountain in Zakynthos island, at an altitude of 450 meters is situated the monastery of "Panagia Skopiotissa". The church of the Virgin Mary which dates back to the end of the 17th century (1638 a.C) is located in the center of the monastery. It is shaped in a free cross form and is the only example of temple with a dome in the island, instead of the wooden flat roofs of other temples which were built in Zakynthos.The conservation of the wall paintings (of mezzo Fresco technique) begun with first aid operations after the period of the 1953 earthquakes in Zakynthos and Ionian sea. The project of the monument restoration took place firtsly by the 6th Ephorate of Byzantine Monuments and secondly (systematically) was completed during 2006-2009 by the 20th Ephorate of Byzantine Monuments. A period where the murals´ preservation state was considered as crucial. Conserning the restoration inside the church at the fist stage of the project the conservators consolidated the wall and mural detachments and the chemical cleaning followed. After the conservation completion the wall paintings were dated in two periods: a) in 1640 (of the post Byzantine / Cretan School) in the east antenna of the monument, b) in 1699 (of Western-style) in the rest of the church. The aesthetic restoration of the monument was based on the principle of the minimum conservation interference and compatibility of materials applied in total.

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Περίληψη

Στην κορυφή του βουνού Σκοπός ΝΑ της πόλης της Ζακύνθου και σε υψόμετρο 450 μέτρων βρίσκεται το μοναστήρι της Παναγίας της Σκοπιώτισσας. Ο ναός της Παναγίας (1638 μ.Χ.) βρίσκεται στο κέντρο της Μονής. Έχει σχήμα ελευθέρου σταυρού και είναι το μοναδικό παράδειγμα ναού με τρούλο στη Ζάκυνθο, αντί ξύλινης επίπεδης στέγης όπως οι υπόλοιποι ναοί που κτίσθηκαν στη Ζάκυνθο.Η συντήρηση των τοιχογραφιών αν και είχε λάβει χώρα με σωστικές ενέργειες, από την περίοδο των σεισμών του 1953 στη Ζάκυνθο μέχρι τα νεώτερα χρόνια ως έργο της 6ης ΕΒΑ ολοκληρώθηκε συστηματικά κατά την περίοδο 2006-2009 από τους συντηρητές της 20ης ΕΒΑ, χρονική περίοδος κατά την οποία η κατάσταση διατήρησης, θεωρήθηκε κρίσιμη. Στο πλαίσιο αναστήλωσης του μνημείου πραγματοποιήθηκαν στερεωτικές εργασίες στο εσωτερικό του ναού και εργασίες χημικών καθαρισμών των τοιχογραφιών, τεχνικής Mezzo Fresco . Έπειτα από την ολοκλήρωση των εργασιών καθαρισμού των τοιχογραφιών (χημικός-μηχανικός) αποκαλύφθηκε η αγιογράφηση του ναού σε δύο περιόδους: α)το 1640 (βυζαντινής/Κρητικής Σχολής) στην Ανατολική κεραία, β) το 1699 (Δυτικότροπου ύφους) στον υπόλοιπο ναό. Η αισθητική αποκατάσταση του μνημείου βασίστηκε στην αρχή της ελάχιστης δυνατής παρέμβασης όσο και της συμβατότητας των υλικών που εφαρμόσθηκαν συνολικά.

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Εικόνα 1. Το καθολικό της Ι. Μονής Παναγίας Σκοπιώτισσας

Γενικά στοιχεία

Στην κορυφή του βουνού Σκοπός ΝΑ της πόλης της Ζακύνθου και σε υψόμετρο 450 μέτρων βρίσκεται το μοναστήρι της Παναγίας της Σκοπιώτισσας **(φωτ. 1)** . Ο ναός της Παναγίας (1638 μ.Χ.) βρίσκεται στο κέντρο της Μονής. Έχει σχήμα ελευθέρου σταυρού και είναι το μοναδικό παράδειγμα ναού με τρούλο στη Ζάκυνθο, αντί ξύλινης επίπεδης στέγης όπως οι υπόλοιποι ναοί που κτίσθηκαν στη Ζάκυνθο.

Τα αρχιτεκτονικά στοιχεία , το χρονικό τοιχογράφησης

Το μοναστηριακό συγκρότημα αναπτύσσεται σε μία έκταση 1700τ.μ. περίπου, δημιουργώντας ένα κλειστό από όλες τις πλευρές ορθογώνιο σχήμα. Καταγράφεται σε

σχέδια του L. Salvator το 1900 και του Robert Sargint το 1935. Η είσοδος γίνεται από το τοξωτό άνοιγμα της βάσης του κωδωνοστασίου.Είναι περίτεχνη, με κιονόκρανα σύνθετου ρυθμού, με ιωνικά και κορινθιακά στοιχεία. Η στέγαση του ναού γίνεται με τέσσερις θόλους κυλινδρικής διατομής, τέσσερα σφαιρικά τρίγωνα και τρούλο με οκταγωνικό τύμπανο. Ο τρούλος εξωτερικά παρουσιάζει σήμερα τριπλή καμπυλότητα με κάμψεις επάνω από τη βάση και κάτω από την κορυφή, χωρίς ωστόσο να διατηρούνται τοιχογραφίες. Η σύνθεση του ναού της Παναγίας Σκοπιώτισσας είναι βαθιά επηρεασμένη από τα πρότυπα σχολής της Ιταλική Αναγέννησης και του πρωίμου Μπαρόκ-μοναδική περίπτωση στην αρχιτεκτονική της Ζακύνθου. Υποθέτουμε ότι η δεύτερη αγιογράφηση του ναού πραγματοποιήθηκε το 1699. Έχει αποδειχθεί ότι ο ναός αποπερατώθηκε το 1638, ενώ οι τοιχογραφίες της πρώτης περιόδου, ανάγονται στην τέταρτη δεκαετία του 17^{ου} αιώνα (ανατολική κεραία με παραστάσεις Ιεραρχών) και φέρουν στενή σχέση με εικόνες της Κρητικής Σχολής.

Μετά τη συντήρηση, αποκαλύφθηκε η αγιογράφηση του ναού σε δύο περιόδους: α)το 1640(Βυζαντινής/Κρητικής Σχολής) β) το 1699 (δυτικότροπου ύφους) στον υπόλοιπο ναό. Η δεύτερη φάση αγιογράφησης έγινε το 1699 σύμφωνα με επιγραφή στο τύμπανο της ανατολικής κεραίας:

«1699/ΔΕΗCIC ΤΟΥ ΔΟΥΛΟΥ/ ΤΟΥ ΘΕΟΥ ΕΥΘΥΜΙΟΥ/ΙΕΡΟΜΟΝΑΧΟΥ /ΛΟΓΟΘΕΤΟΥ/ ΚΑΙ ΗΓΟΥΜΕΝΟΥ/ΤΟΥ ΑΓΙΟΥ ΜΟΝΑ/CΤΗΡΙΟΥ ΤΟΥΤΟΥ ΙΟΥΛΙΟΥ 8»

Ο προγραμματισμός και η εξέλιξη των εργασιών συντήρησης των τοιχογραφιών (2006-2008)

Στο πλαίσιο των εργασιών αναστήλωσης του μνημείου προηγήθηκαν συστηματικές μελέτες του περιβάλλοντα χώρου, των επί μέρους κελιών, του Καθολικού, όσο και του εσωτερικού περιβάλλοντος του ναού της Παναγίας. Η δρομολόγηση των εργασιών της αναστήλωσης των τοιχογραφιών προγραμματίστηκε νωρίτερα: δεδομένου ότι καταγράφηκε η κατάσταση διατήρησης των τοιχογραφιών, έγινε η συστηματική φωτογράφηση και τεκμηρίωση των παραγόντων φθοράς

λαμβάνοντας υπόψιν το ιστορικό του αρχείου συντήρησης της υπηρεσίας και την παρούσα κατάσταση διατήρησης έπειτα από νέα τεκμηρίωση. Το προσωπικό του Βυζαντινού μουσείου[1] ανέλαβε την εκπόνηση ενός χρονοδιαγράμματος συντήρησης και την υλοποίηση του, λαμβάνοντας υπόψη την αρχή της **αναστρεψιμότητας** αλλά και της **ελάχιστης δυνατής παρέμβασης** που συνάδει με την επαγγελματική δεοντολογία των συντηρητών αρχαιοτήτων.

Ο Προγραμματισμός του χρονοδιαγράμματος συντήρησης

Της ενεργητικής-συστηματικής συντήρησης των τοιχογραφιών, προηγήθηκαν στρωματογραφικές μελέτες με σκοπό την επανεξέταση του αριθμού των ζωγραφικών στρωμάτων, τη μηχανική αντοχή της λιθοδομής και τις δυνατότητες επαναφοράς των αποκολλημένων από την τοιχοποιία τοιχογραφιών. Πραγματοποιήθηκε έρευνα από τους συντηρητές (με μηχανικά μέσα) και δείγματα καθαρισμών σε όλους τους τοίχους του μνημείου για τυχόν ενδείξεις σπαραγμάτων τοιχογραφιών ή υποκείμενα ζωγραφικά στρώματα. Η έρευνα αποκάλυψε τμήματα τοιχογραφίας και στην κόγχη του ιερού σε περιοχές που είχαν επικαλυφθεί με ασβέστη.

Οι εργασίες συντήρησης των τοιχογραφιών εξελίχθηκαν σε τέσσερεις φάσεις:

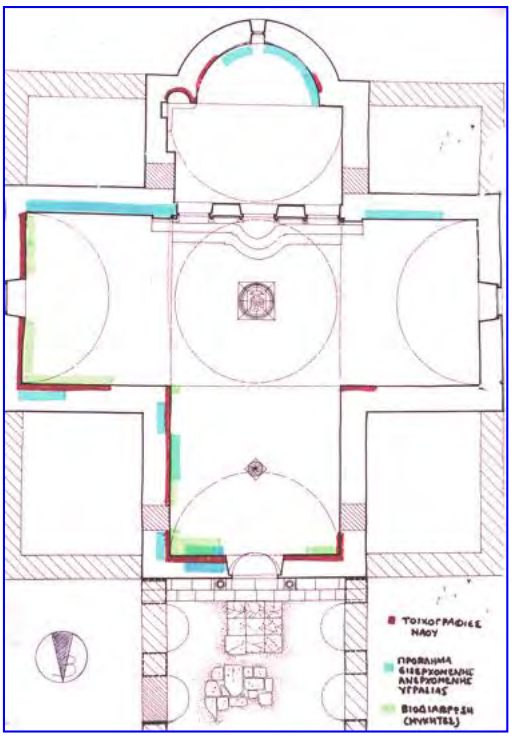
a) του οπλισμού της ζωγραφικής επιφάνειας όλων των τοιχογραφιών του ναού
b) της διενέργειας αναστηλωτικών -στερεωτικών επεμβάσεων
c) των χημικών και μηχανικών καθαρισμών των ζωγραφικών επιφανειών των τοιχογραφιών,
d) των αισθητικών αποκαταστάσεων.

[1] Η ομάδα των συντηρητών των εικόνων και τοιχογραφιών της Σκοπιώτισσας, απαρτίζονταν από τους Συντηρητές Ραζή Μ., Μάνεση Α, Στουπάθη Κωνσταντίνο, Πέτα Α., Παρασκευά Μ., Βάλβη Σ. και Σεμιτέκολο Γ.

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Οι σωστικές επεμβάσεις

Η εργασία της αναστήλωσης των τοιχογραφιών έπρεπε να γίνει σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους ενδ. αναφέρουμε την άνοιξη και το καλοκαίρι, εποχές που το πρόβλημα της ανερχόμενης ή εισερχόμενης υγρασίας δεν αναμένονταν τόσο έντονο λόγω των διαφορετικών θερμοκρασιακών και υγρασιακών συνθηκών στον ναό. Το πρόβλημα ωστόσο εντείνονταν στο εσωτερικό του ναού αφού είχαμε διαφορά μικροκλίματος σε σχέση με τον εξωτερικό-περιβάλλοντα χώρο και φαινόμενα βιοδιάβρωσης στην επιφάνεια των τοιχογραφιών όπως ενδεικτικά αναφέρουμε στο δυτικό τοίχο της βόρειας κεραίας (Εικ. 2)



Εικόνα 2

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Η υγρασία συσσωρεύτηκε με το χρόνο κυρίως εξαιτίας των εξωτερικών αντηρίδων στήριξης του ναού, που εμπόδιζαν το νερό της βροχής να αποστραγγιστεί. Εξαιτίας της αυξημένης υγρασίας, ιδιαίτερα στα χαμηλότερα τμήματα, υπήρχαν μύκητες. Η ανάπτυξη τους ήταν έντονη κυρίως στην ανατολικό τοίχο της ανατολικής κεραίας και στους ανατολικό και δυτικό- τοίχους της βόρειας κεραίας.

Παράλληλα με τις εργασίες συντήρησης στο εσωτερικό του μνημείου, στερεωτικές επεμβάσεις με τσιμεντοενέσεις πραγματοποιήθηκαν στο εξωτερικό του ναού και μεθοδεύτηκε η αποστράγγιση των όμβριων υδάτων στους υπάρχοντες αγωγούς, ώστε η υγρασία να μην ευνοεί την ανάπτυξη βιοδιάβρωσης διαμέσου των κονιαμάτων στις τοιχογραφίες ή συσσώρευση αλάτων στη ζωγραφική. Τα υπερυψωμένα αντίβαρα των αντιρίδων εξωτερικά αποτελούσαν παρεμβάσεις της Γενικής διεύθυνσης Αναστηλώσεων το 1966 είχαν επιφέρει την συσσώρευση της υγρασίας και στις τοιχογραφίες.

Το σφράγισμα των προσβεβλημένων τμημάτων

Οι εργασίες συντήρησης ξεκίνησαν με την ενίσχυση των κενών τμημάτων στα σημεία όπου υπήρχαν μεγάλου βαθμού αποκολλήσεις των τοιχογραφιών από τη λιθοδομή. Πραγματοποιήθηκαν σε πρώτη φάση οι εργασίες ενίσχυσης των ανοιγμάτων που είχαν προκύψει από την εισερχόμενη ή ανερχόμενη υγρασία στο ναό σε τμήματα όπου η ζωγραφική ή μέρος των τοιχογραφιών παρουσίαζαν αποκολλήσεις, ανοίγματα και αποσάρθρωση[2]. Σε αρκετά σημεία όπου υπήρχε απώλεια υποστρώματος (κονιαμάτων) και αδυναμία πρόσφυσης στον τοίχο, έγιναν ενισχυτικές επεμβάσεις με ένα πρόχειρο κονίαμα που είχε ως βάση την ασβεστοκονία. Το κονίαμα αυτό αποξηλώθηκε μετά τη Β φάση στερέωσης, όταν έγινε κανονικά το στεφάνωμα περιμετρικά στις τοιχογραφίες και αντικαταστάθηκε από το μόνιμο στην φάση αποκατάστασης.

[2] Fielden, 1982: 94-99

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Οι οπλισμοί των ζωγραφικών στρωμάτων των τοιχογραφιών

Ακολουθώντας τη λογική της αποφυγής υδατοδιαλυτών στερεωτικών, λόγω των προβλημάτων της υγρασίας που υπήρχε στα ζωγραφικά στρώματα και στο εσωτερικό των κονιαμάτων, ακολούθησαν τοπικές στερεώσεις ενώ αποκλείστηκαν οι οργανικές κόλλες (λόγω αμινοξέων). Τα spot tests κατεύθυναν τους συντηρητές στον αποκλεισμό της χρήσης συγκεκριμένων ρητινών/συγκολλητικών ώστε να εφαρμοστεί το κατάλληλο στερωτικό ενίσχυσης της ζωγραφικής επιφάνειας. Ένα από τα προβλήματα που συνάντησε η ομάδα των συντηρητών αφορούσε μεταγενέστερες ανθρώπινες παρεμβάσεις ακόμη και με τσιμέντο περιμετρικά των τοιχογραφιών, στα όρια τους: σε ορισμένες περιπτώσεις υπήρχαν ζητήματα επικάλυψης των ορίων των ζωγραφικών στρωμάτων στις τοιχογραφίες με νεώτερα κονιάματα, κυρίως στα όρια της υπάρχουσας, που ήταν καλυμμένα είτε με ασβέστη είτε με ισχυρό σοβά. Αυτά τα τμήματα αποκαλύφθηκαν με μηχανικά μέσα. Επειδή όμως εντοπίζονταν στα ζωγραφικά στρώματα πολλαπλές αποφλοιώσεις, ακολούθησαν παράλληλα τοπικές στερεώσεις.

Για την προστασία της ζωγραφικής επιφάνειας των τοιχογραφιών ήταν αναγκαίο να προηγηθούν spot tests με υγρασία (απιονισμένο νερό) και οργανικούς διαλύτες ώστε να διαπιστωθεί η υδατοδιαλυτότητα των χρωστικών και η ανοχή στην κόλλα οπλισμού.

Μετά από διάφορες δοκιμές, αποφασίστηκε η χρήση μεθακρυλικής ρητίνης Paraloid B72 και έγινε εφαρμογή των μέσων οπλισμού (Facing) σε δύο φάσεις:

α)προστασίας της ζωγραφικής με τουλπάνι (γάζα)

β)προστασίας μεγαλύτερων επιφανειών με λινό ύφασμα plain ύφανσης

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Τοπικές στερεώσεις, έγχυση στερεωτικού μέσου ή ενέσιμων κονιαμάτων για την ανάκτηση της πρόσφυσης των τοιχογραφιών

Στον ανατολικό τοίχο της βόρειας κεραίας του ναού της Σκοπιώτισσας, μία μεγάλη διόγκωση του υποστρώματος (φούσκωμα) στην τοιχογραφία, αντιμετωπίστηκε με τις ακόλουθες εργασίες : μικρή τομή στα σημεία φθοράς της τοιχογραφίας, αφαίρεση με πουάρ ή πιστόλι αέρα των ανόργανων αργιλοπυριτικών υλών (χώματα, πέτρες, κ.α) ανάμεσα στην επιφάνειά της και την τοιχοποιία και συμπλήρωση του κενού, ανάλογα, με στερεωτική ακρυλική ρητίνη Primal SF016 1:10 (Εικ. 3) ή ενέσιμο κονίαμα.

Εικόνα 3

Εκ των πραγμάτων ο ψεκασμός ή η διαβροχή της πάσχουσας περιοχής με εισαγωγή αιθανόλης συνετέλεσε στην καλύτερη διείσδυση του στερεωτικού διαλύματος. Αυτό πραγματοποιήθηκε με σύριγγες στερέωσης τροφοδοσίας (των 100 ml με προσαρμογέα που μετατρέπει το στόμιό τους σε luer-lock) είτε με σωληνάκι και χωνί με ακολουθία του εσωτερικού που εισέρχονταν στο εσωτερικό της τοιχογραφίας.

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Ακολούθησε το ολικό ή τοπικό πρεσσάρισμα. Η ίδια εργασία πραγματοποιήθηκε και σε άλλα δύο τμήματα των τοιχογραφιών στον ανατολικό τοίχο της ανατολικής κεραίας (δύο μικρότερες πρέσσες οι οποίες εσωτερικά έφεραν επίστρωση αφρού πολυαιθυλενίου (ethafoam ή φελιζόλ) επάνω από τα υφάσματα προστασίας. Η αποκάλυψη και οριοθέτηση των τμημάτων της τοιχογραφίας ακολούθησε και στην κόγχη του ιερού. Αφαιρέθηκε μεταγενέστερο στοκκάρισμα σοβά ενώ έγινε σφράγιση των ρωγμών με λευκή πλαστελίνη συντήρησης. Η διαδικασία του οπλισμού της ζωγραφικής επιφάνειας συνεχίστηκε κατά την ίδια μεθοδολογία προστασίας και υπόλοιπες κεραίες του μνημείου. Παράλληλα στο εργαστήριο του Βυζαντινού Μουσείου Ζακύνθου ξεκίνησε τον Ιούνιο –Ιούλιο του 2006 η συντήρηση των εικόνων του Ι.Ν. Παναγίας στον Σκοπιώτισσας.

Σημείωση: παρατηρήθηκαν σε πολλά μέρη των τοιχογραφιών εξογκώματα ή κοιλώματα , αποσπάσεις των τοιχογραφιών, που προκλήθηκαν με την πάροδο των ετών από ολισθήσεις και μετακινήσεις μερών της τοιχοποιίας (πέτρες, χώματα, ξύλα).

Σ΄ αυτό συντέλεσαν σε μεγάλο βαθμό οι αντιστάσεις των αντηρίδων στο μνημείο και η συνολική συμπεριφορά τους στην τοιχοποιία. Στις περιπτώσεις αυτές επιβλήθηκε η επιπεδοποίηση της επιφάνειας του τοίχου, του ασβεστοκονιάματος ή αργιλοκονιάματος ώστε να είναι δυνατή η επικόλληση της τοιχογραφίας. Οι εργασίες αυτές απασχόλησαν του συντηρητές και τα δύο επόμενα έτη 2007-2008.Τα αφαιρεθέντα υλικά έπρεπε να υποκατασταθούν με νέο συνδετικό (ένεμα αραιό ή πυκνό) που κατόπιν στεγνώματος θα επέφερε την επανασύνδεση της συνοχής της τοιχογραφίας με τη λιθοδομή του ναού (Εικ. 4α, β).

Μετά από διάφορες δοκιμές καταλήξαμε στην εφαρμογή ενός κονιάματος-ενέματος με την εξής σύνθεση:2 μέρη Stella Bianca /Vinavil, 1 μέρος Chaux Blanche[3], 1 μέρος Θηραϊκή γη, 1 μέρος ποταμίσια άμμο, γλουταμινικό άλας 2%, υδατική διασπορά Hydrogrund[4], απιονισμένο νερό.

---

[3] Φυσική υδραυλική άσβεστος 100%, υψηλής ποιότητας, κατάλληλη για εργασίες αναστήλωσης άνευ πρόσθετων κατά το Ευρωπαϊκό πρότυπο EN 459-1 και το Γαλλικό πρότυπο NFP 15.311.

[4] Ελαστική, ανθεκτική στη γήρανση ακρυλική διασπορά με εξαιρετική διεισδυτική ικανότητα. Δεν περιέχει διαλύτες ή βελτιωτικά ροής.

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Ιερού **Εικόνα 4α**

Εικόνα 4β

Κατασκευή δοκιμίων των ενέσιμων κονιαμάτων/ στεφανωμάτων

Υπόστρωμα: Πορόλιθος με ύγρανση Stella Bianca (1:3)

Α.2 μ. Chaux Blanche

1 Μαρμαρόσκονη

1 Θηραική Γη

2 Primal Ac 33 (1:3)

2-4% Γλουταμινικό Άλας

Hudrogrund 1:10

Β.1 Θηραική Γη

1 μ. ποταμίσια άμμος

2/3 σβυσμένου ασβέστη

1 Stella Bianca (1:3)

Γ. 1 Ποταμίσια Άμμος

Δ. 1 Θηραϊκή γη

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

1 Μαρμαρόσκονη	1 ποταμίσια άμμος
1 Κεραμιδόσκονη	Σβυσμένο Ασβέστη
2 Σβυσμένο Ασβέστη	2 μ. S. Bianca πυκνή
2 μ. Stella Bianca	

5. 1 Μαρμαρόσκονη	<u>ένεμα</u>: 2 κιλά C. Blanche
2 μ. Chaux Blanche	1 Μαρμαρόσκονη
2 Θηραική Γη	1 Ποτ. Άμμος
1 Ποταμίσια Άμμος	6% Άλας Γλουταμινικό
2 Σβυσμένο Ασβέστη	Stella Bianca ,1:3

Χημικοί καθαρισμοί/ Αισθητικές αποκαταστάσεις

Το βασικό πρόβλημα της ανάπτυξη μυκήτων στις τοιχογραφίες αντιμετωπίστηκε περιοδικά με ψεκασμούς με αντιβακτηριακό Desogen 2-5%. Ακολούθησε ο λεπτομερής χημικός καθαρισμός των τοιχογραφιών με διαλύματα αιθανόλης –ακετόνης (1:1). Σε περιπτώσεις αλάτων δοκιμές με EDTA ή αμμωνία δεν απέδωσαν και απομακρύνθηκαν τα άλατα, μόνο μηχανικά[5].

Όπου υπήρχαν υπήρχαν ρηγματώσεις και αποφλοιώσεις μικρού βαθμού,έγινε συμπλήρωση με ακρυλικό λευκό στόκο τύπου polyfilla ο οποίος χρωματίστηκε με σκόνες αγιογραφίας για να επιτευχθεί ένα ουδέτερο αποτέλεσμα τύπου βελατούρας. Έγχρωμα κονιάματα εφαρμόστηκαν σε περιοχές απώλειας σε βάθος των τοιχογραφιών με την παρεμβολή ανοξείδωτου πλέγματος ή κεραμιδιών εσωτερικά. Σε επίμαχα

[5] Torraca, 1990: 28

σημεία (πρόσωπα, επιγραφές, κ.α.) έγινε εφαρμογή λαζούρων μόνο όπου υπήρχαν μηχανικές φθορές και αποσπάσεις ζωγραφικής επιφάνειας.

Αισθητικές αποκαταστάσεις πραγματοποιήθηκαν και περιμετρικά των παραστάσεων όπου υπήρχαν διαχωριστικές ζώνες και ήταν αναγκαία η αποκατάσταση λόγω χαμηλότερου ύψους ώστε να διαχωρίζονται οι αγιογραφημένες παραστάσεις, διακριτικά. Εξ αρχής είχε άλλωστε αποφασιστεί μέσω ων δοκιμίων κονιάματος /στεφανώματος να είναι το κονίαμα περιμετρικά στις ακμές των τοιχογραφιών. κατά ένα τόνο πιο ανοικτό από το κονίαμα της τοιχογραφίας και της λιθοδομής.

Εικόνες 5, 6. Πριν και μετά την συντήρηση (Άκρα Ταπείνωση, κόγχη

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Εικόνες 7, 8. Βόρειος τοίχος Δυτικής κεραίας, προστασία τοιχογραφίας με τουλπάνι (αριστερά), συντήρηση και αισθητική αποκατάσταση με λαζούρες (δεξιά).

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Εικόνες 9, 10. οι τοιχογραφίες του Ανατολικού τοίχου της ανατολικής κεραίας πριν και μετά τη συντήρηση (2006-2008). Ιδιαίτερα σημαντική ήταν η διαδικασία στερέωσης τους όσο και απομάκρυνσης των μυκήτων και επιφανειακών ρύπων, στις ακμές των ζωγραφικών επιφανειών.

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Σημείωση

Το έργο στερέωση, αποκατάσταση και ανάδειξη της Ι. Μονής Π/ Σκοπιώτισσας συγχρηματοδοτήθηκε από το Υπουργείο πολιτισμού και την Ευρωπαϊκή ένωση και είχε ως Υπεύθυνη συντονισμού των εργασιών την προϊσταμένη της 20ης ΕΒΑ κ. Μυλωνά Ζ. και αρχιτέκτονα επίβλεψης την κ. Ζαγκότση Α. Τις εργασίες συντήρησης των τοιχογραφιών και εικόνων ανέλαβε το προσωπικό των συντηρητών της 20ης ΕΒΑ. Η παρούσα ανακοίνωση πραγματοποιείται με γραπτή άδεια της 20ης ΕΒΑ /2014 (πλέον εφορία Ζακύνθου) και του Υπουργείου πολιτισμού τους οποίους ευχαριστώ ιδιαίτερα για την έγκριση ανακοίνωσης του έργου και το φωτογραφικό υλικό που μου παραχωρήθηκε σε ψηφιακή μορφή, ως υπάλληλος της υπηρεσίας που είχε απασχοληθεί στο έργο της εφαρμογής συντήρησης και αποκατάστασης των τοιχογραφιών της Παναγίας Σκοπιώτισσας στην ομάδα εργασίας.

Ενδεικτική βιβλιογραφία

Βαρβιάνης Ν., *Η Ζάκυνθος,* Αθήνα (1977)

Ζήβας Δ.,Η Αρχιτεκτονική της Ζακύνθου από τον ΙΣΤ΄μέχρι τον ΙΘ΄αιώνα, Τ.Ε.Ε., Αθήνα (1970).

Κονόμος Ν., *Ναοί και Μονές στη Ζάκυνθο*, Αθήνα (1964)

Μυλωνά Ζ., Το Καθολικό της Μονής παναγίας Σκοπιώτισσας στη Ζάκυνθο, Αρχαιολογική Εφημερίδα (1984)

Μυλωνά Ζ./Ζαγκότση Α, *Η Μονή της Παναγίας Σκοπιώτισσας στη Ζάκυνθο*, Υπ. Πολιτισμού-20η ΕΒΑ, Ζάκυνθος (2008).

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Fielden B.M., *Conservation of Historic Buildings*, London (1982)

Στουπάθης Κ. , *Η Συντήρηση τω Τοιχογραφιών, σκέψεις και Προβληματισμοί επί της διαδικασίας στερέωσης*, διαδυκτιακό περιοδικό Αρχαιολογία και Τέχνες) διαθέσιμο στο http://www.archaiologia.gr/blog/2012/05/28 συντήρηση-τοιχογραφιών/. (28/5/12

Torraca G., *Solubility and solvens for Conservation Problems,* ICCROM, Rome (1990)

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Επιστημονική υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων για αειφόρα και συμβατά υλικά και επεμβάσεις συντήρησης και προστασίας της πολιτιστικής κληρονομιάς – Βάση Δεδομένων Ιστορικών δομικών Υλικών (Scientific support in decision making for sustainable and Compatible materials and conservation interventions for the protection of cultural heritage – Database of historic building materials)

Θ. Μαρκόπουλος, Π. Μαραβελάκη, Φ. Μαλούχου-Tufano, Π. Ροτόντο, Γ. Τριανταφύλλου, Α. Κιούση, Α. Μοροπούλου

Abstract

In the frame of THALES COMASUCH Project concerning the sustainability and compatibility of advanced materials and technologies in conservation interventions for the protection of cultural heritage: criteria and control methodologies, this particular case of study is about developing the Data Basis for the Historical Building Materials and Structural Systems which is a functional demanded piece for the compilation of integrated Protocols and Control Systems of Compatibility and Sustainability Investigation of the digital Knowledge Platform on decision making for the protection of Cultural Heritage.

The registered information input derived from the Monuments' Archive and it was selected and delimited taking into account criteria such as: comprehensive study and documentation, historical- architectural - structural importance and social influence, representative building materials & their production, construction techniques, geographical site, environmental performance, analytical diagnostical methodologies, contemporary intervention methods and innovative restoration techniques as well as the aspect of including monuments located on the Mediterranean Region and the European area.

Among the classification input and area limitation parameters concerning the syntax of the Data Basis of Historic Building Materials and Structures are those of identification and origin of raw materials (structural stones, mortars, plasters, ceramics), preparation technology, analytical procedures, structural

typologies, construction techniques, decay patterns and load-bearing structure deformation and damage, restoration works, conservative innovations and techno-economical policies.

In order to be eligible, easily substracted and thoroughly validated, all the corresponding data (texts, diagrams, tables, pictures) was initially placed on simple computational sheets (Windows environment).

The validated identification results of historic building materials as well as those of the structural aspects concerning decay kinetics – damage rate and interventions were combined to select representative monuments for the design of the corresponding experimental Protocols of Historical Building Materials and Structural Systems.

Περίληψη

Στα πλαίσια του προγράμματος ΘΑΛΗΣ ΑΕΙΣ «Αειφορία και συμβατότητα προηγμένων υλικών και τεχνολογιών για την προστασία μνημείων της Πολιτιστικής Κληρονομιάς: ανάπτυξη κριτηρίων και μεθοδολογιών ελέγχου», η παρούσα εργασία αφορά στη διαμόρφωση της Βάσης Δεδομένων Ιστορικών Δομικών Υλικών και Συστημάτων που η τελική ψηφιοποιημένη της μορφή αποτελεί λειτουργικό κομμάτι της διαδικτυακής Πλατφόρμας γνώσης για την επιστημονική διαχείριση και προστασία της Ελληνικής Πολιτιστικής Κληρονομιάς.

Για τη στοιχειοθέτηση της βάσης δεδομένων από το διαθέσιμο Αρχείο Μνημείων ελήφθησαν υπόψη τα κριτήρια: τεκμηρίωση μελέτης του εκάστοτε μνημείου, σπουδαιότητα ιστορική – αρχιτεκτονική – δομητική, γεωγραφική θέση, περιβαλλοντικές συνθήκες, αντιπροσώπευση δομικών υλικών, διάγνωση βλαβών, εφαρμοζόμενες μεθοδολογίες ελέγχου και τεχνικές αποκατάστασης καθώς και η δυνατότητα αξιοποίησης της αντίστοιχης εφαρμογής σε άλλες Ευρωπαϊκές χώρες και ιδίως σε αυτές της Μεσογείου.

Βάση αυτών, οι παράμετροι ταξινόμησης των στοιχείων και οριοθέτησης των πεδίων της βάσης δεδομένων αφορούν στην ταυτοποίηση – κατηγοριοποίηση δομικών υλικών και τις μεθόδους ανάλυσής τους, στην ταυτοποίηση – κατηγοριοποίηση δομικών συστημάτων, τη διάγνωση φθοράς, βλαβών και τυπολογιών διάβρωσης, τις εφαρμοζόμενες μεθόδους αποκατάστασης, νέες τεχνολογίες ελέγχου και οικονομοτεχνικών στοιχεία.

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Η καταχώρηση των στοιχείων πραγματοποιήθηκε σε απλά υπολογιστικά φύλλα προκειμένου να είναι ευκολότερη η πρόσβαση, διαχείριση και αξιολόγηση του συνόλου της πληροφορίας για την επακόλουθη σύνταξη των πρωτοκόλλων αποφάσεων και την αρχική πειραματική λειτουργία της διαδικτυακής πλατφόρμας γνώσης και διαχείρισης της πολιτιστικής κληρονομιάς.

Εισαγωγή

Στο πλαίσια του Ερευνητικού Έργου ΘΑΛΗΣ ΑΕΙΣ- ΕΜΠ «Αειφορία και συμβατότητα προηγμένων υλικών και τεχνολογιών για την προστασία μνημείων της Πολιτιστικής Κληρονομιάς: ανάπτυξη κριτηρίων και μεθοδολογιών ελέγχου» (κωδ.68/1121, Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Εκπαίδευση & Διά Βίου Μάθηση, συγχρηματοδοτούμενο από το Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο & Εθνικούς πόρους), η ερευνητική ομάδα του Πολυτεχνείου Κρήτης σε συνεργασία με την αρμόδια για το ερευνητικό έργο ομάδα του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, συντόνισε εκείνη την δράση του προγράμματος που περιελάμβανε την στοιχειοθέτηση των Βάσεων Δεδομένων Ιστορικών Δομικών Υλικών και Δομικών Συστημάτων από το υπάρχον διαθέσιμο Αρχείο Μνημείων, προκειμένου εν συνεχεία οι βάσεις δεδομένων να ψηφιοποιηθούν στα Πρωτόκολλα αποφάσεων και να αποτελέσουν λειτουργικό μέρος της αναρτώμενης διαδικτυακής Πλατφόρμας γνώσης για την επιστημονική διαχείριση και προστασία της Ελληνικής Πολιτιστικής Κληρονομιάς.

Δεδομένης της ανάγκης να αποτελέσουν ένα βέλτιστο λειτουργικό εργαλείο, οι Βάσεις Δεδομένων Ιστορικών Δομικών Υλικών και Συστημάτων συντάχθηκαν με κύριο γνώμονα την όσο το δυνατόν καλύτερη αποτύπωση και διαχείριση των πληροφοριών γύρω από το εκάστοτε μνημείο-ιστορικό σύνολο, δηλαδή αναφορικά με την ταυτοποίηση – κατηγοριοποίηση δομικών υλικών και μεθόδων ανάλυσής τους, ταυτοποίηση – κατηγοριοποίηση δομικών συστημάτων, conditioning state του μνημείου και διάγνωση-αναγνώριση βλαβών και τυπολογιών διάβρωσης, τυπολογιών μεθόδων επεμβάσεων, νέων προτεινόμενων τεχνολογιών – μεθόδων ελέγχου και αποκατάστασης, οικονομοτεχνικών στοιχείων αναπαραγωγής δομικών υλικών κλπ.

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Μεθοδολογία

Τεκμηριωμένα από πλευράς μελέτης, από τα πιο σημαντικά του Αρχείου Μνημείων από πλευράς ιστορικής - αρχιτεκτονικής αξίας, γεωγραφικής θέσης, περιβαλλοντικών συνθηκών, μνημεία – ιστορικά σύνολα (και σε κάποιες περιπτώσεις συσχετιζόμενοι χώροι εκλατόμευσης δομικών υλικών), τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την αρχική στοιχειοθέτηση της Βάσης Δεδομένων Δομικών Υλικών & Συστημάτων βρίσκονται κυρίως στον Ελλαδικό χώρο και μεμονωμένα στο εξωτερικό και είναι: Η Ιερά Μονή Δαφνίου, οι Καμινάδες Δηλαβέρη, το Ιστορικό Κτίριο της Τράπεζας Ελλάδας στην Αθήνα και Υποκαταστήματα, το Ιερό της Δήμητρας στον Αρχαιολογικό χώρο Ελευσίνας, η Μεσαιωνική Πόλη και η Μεγάλη Βασιλική της Ρόδου, το παλαιό Ενετικό φρούριο και το λατομείο στην περιοχή Σινιές Κέρκυρας, η Ιερά Μονή Σίμωνος Πέτρας και ο Αρσανάς Αγίου Όρους, η Αγιά Σοφιά, τα Θεοδοσιανά Τείχη, η Εκκλησία της Αγίας Ειρήνης, η Μονή των Αγίων Σεργίου και Βάκχου στην Κωνσταντινούπολη (δεδομένα ληφθέντα από το αρχειακό υλικό του Μετσόβιου Πολυτεχνείου), τα Παλάτια Κνωσσός-Φαιστός Κρήτης, το Δίον και οι Μακεδονικοί Τάφοι στα Λευκάδια Νάουσας, η Αρχαία Ελευσίνα, ο Κρόνιος Λόφος Ολυμπίας στην Πελοπόννησο, η Οχύρωση της Μεσαιωνικής Πόλης της Ρόδου, η Μονή Σίμωνος Πέτρας Αγίου Όρους (δεδομένα ληφθέντα από την ερευνητική ομάδα του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης), το Κάστρο Πάτρας, το Κάστρο Ναυπάκτου, το Αρχαίο Θέατρο Μεσσήνης (δεδομένα ληφθέντα από την ερευνητική ομάδα του Πανεπιστημίου Πατρών), οι Ενετικές Οχυρώσεις Χανίων, οι Ενετικές Οχυρώσεις και το Ενετικό Φρούριο Κούλε Ηρακλείου, το Υδραγωγείο Χορτιάτη στη Θεσσαλονίκη (δεδομένα ληφθέντα από την ερευνητική ομάδα του Πολυτεχνείου Κρήτης), η Παναγία Κάστρου Ρόδου, ο Ναός Αγίου Νικολάου Χάλκης, το Ιερό Δεσποτικού στην Αντίπαρο (δεδομένα ληφθέντα από την ερευνητική ομάδα του Ινστιτούτου Ηλεκτρονικής Δομής & Λέιζερ, του Ιδρύματος Τεχνολογίας και Έρευνας, και του Ινστιτούτου Επιστήμης Υλικών, Ε.Κ.Ε.Φ.Ε. Δημόκριτος).

Για την σύνταξη της Βάσης Δεδομένων Δομικών Συστημάτων αναφορικά με το conditioning state, τις εφαρμοζόμενες τεχνικές καθαρισμού, στερέωσης και υλικών αποκατάστασης καταχωρήθηκαν στοιχεία για επιπλέον των παραπάνω μνημείων από τον Ελλαδικό χώρο και το εξωτερικό κυρίως για λόγους επισήμανσης περαιτέρω διαγνωστικών εργαλείων διάβρωσης και μεθοδολογιών αποκατάστασης: Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο, Εθνική

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Βιβλιοθήκη της Ελλάδας, Βυζαντινό & Χριστιανικό Μουσείο Αθηνών, Μουσείο Μπενάκη, Βρεφοκομείο Δήμου Αθηναίων, Ίδρυμα Ιατροβιολογικών Ερευνών της Ακαδημίας Αθηνών, Μέγαρο της Βουλής των Ελλήνων, Ακρόπολη Αθηνών, Βίλλα Κλωναρίδη, Οικία Δουρούτη, το Μέγαρο Μελά, το Μέγαρο Εϋνάρδου-Κτίριο «Πατρίς», Νεοκλασικά κτίρια Πειραιά, Αρχαιολογικό χώρο Αμφιάρειου Καλάμου Αττικής, Πύργο Βραυρώνας, Σταθμό Λαυρίου, Καποδιστριακό Ορφανοτροφείο (Φυλακές) Αίγινας, Βιομηχανικό Συγκρότημα ΕΜΑΓΕ Κέας Τζιάς, Ιερό Ναό Αγίας Παρασκευής Χαλκίδας, Παλάτι των Ιπποτών, Ακρόπολη Ερημοκάστρου, Ξενοδοχείο Park, Υδροθεραπευτήριο Καλλιθέας και Αρχαιολογικός χώρος Αγίας Αγάθης Ρόδου, Ι.Μ. Πανορμίτη, Καμπαναριό Αγίου Ιωάννη του Προδρόμου και Παλιό Δημοτικό Φαρμακείο στη Σύμη, Μεσαιωνικό (Φοινικικό) Χωριό, Κάστρο & Παραδοσιακός Οικισμός Χάλκης, Φορτέτσα Ρεθύμνου, Καπνεργοστάσιο Ηρακλείου, Ναός Αγίου Πέτρου Χανίων (Μονή Τάγματος Δομηνικανών), Ι.Μονή & Μετόχι Τοπλού Σητείας, Ι.Μονή Πρέβελης και Ι.Μονή Αρκαδίου Ρεθύμνης, Ι.Μονή Παναγίας Αγκαράθου Ηρακλείου, Ιερά Σταυροπηγιακή Μονή Χρυσοπηγής Χανίων, Αρχαιολογικό Μουσείο Ηρακλείου & Ρεθύμνου, Ιστορικό κτίριο της πρώην 5ης Μεραρχίας Χανίων Κρήτης, Υποκατάστημα Εθνικής Τράπεζας της Ελλάδος στο Ρέθυμνο και στη Θήβα, Παλιό Φρούριο και Παλαιά Ανάκτορα Κέρκυρας, Νέα Μονή Χίου, Αρχαιολογικός χώρος Δήλου, Ιερός Ναός Παραπορτιανής & Πύργος Πρυανής Μυκόνου, Μαρμάρινοι γλυπτοί λέοντες Μουσείου Θηβών, Παλαιό Μουσείο Ολυμπίας, Δημοτική Αγορά Πύργου Ηλείας, Παναγία του Βράχου Πολυφέγγους Κορινθίας, Κεντρικό Υποκατάστημα Εθνικής Τράπεζας Ελλάδος στο Ναύπλιο, Ιερός Ναός Παρηγορήτισσας Άρτας, Υδρόμυλος Μάρκου Βέροιας, Κεντρικό Υποκατάστημα Εθνικής Τράπεζας Ελλάδος στη Ξάνθη, Παραδοσιακά κτίρια Δήμου Οιτύλου Αιτωλοακαρνανίας, Ιστορικά γεφύρια Ηπείρου, Μονή Ολυμπιώτισσας Ελασσόνας, Παραδοσιακός οικισμός Αρναίας Χαλκιδικής, Βυζαντινά μνημεία Κωνσταντινούπολης, Πανίερος Ναός Αναστάσεως Ιεροσολύμων, Μονή Μπάνιτσκα (Banjska), Μονή Στουντένιτσα (Studenica) - Παρεκκλήσι Ιωακείμ & Άννης (Εκκλησία του Κράλη), Μονή Ζίτσα και Μονή Αγίου Προχώρου Πτσίνια στη Σερβία, Παναγία Περίβλεπτος στην Αχρίδα, Μονή Αγίου Γεωργίου στο Στάρο Ναγορίτσινο, Μονή Αγίου Νικήτα στο Τσούτσερ (ΠΓΔΜ) (στοιχεία από ερευνητική ομάδα ΕΜΠ), Παναγία του Κάστρου, Φρούριο Αγίου Νικολάου & Μεσαιωνικά Τείχη Ρόδου (στοιχεία από ερευνητική ομάδα Δημόκριτου), Μνημείο Αυγούστου στη Νικόπολη,

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Νεολιθικά αρχιτεκτονικά στοιχεία από πηλό στο Δισπήλιο Καστοριάς και στην Τούμπα Θεσσαλονίκης, θεμελιώσεις στην Ακρόπολη Αθηνών και στο Ιερό Ποσειδώνος στον Πόρο, μεταφορά στο χώρο της Πανεπιστημιούπολης Ζωγράφου του Λουτρικού Συγκροτήματος Εκμαγεία Αρχαίων Χυτηρίων και in situ συντήρηση Λουτρικού Συγκροτήματος Ζαππείου (Έργα Μετρό Αθηνών), υλικό δομής Ναού Επικούριου Απόλλωνος Βασσών Αρκαδίας (στοιχεία από ερευνητική ομάδα ΤΕΙ Αθήνας), Βυζαντινός Ναός Αγίου Βασιλείου Άρτας, Ι. Μονή Παναγίας Μολυβδοσκέπαστης Ιωαννίνων (στοιχεία από ερευνητική ομάδα Πανεπιστημίου Ιωαννίνων), Ρωμαική Αγορά και Μπεζεστένι Θεσ/νικης, Συγκρότημα Γαλέριου στο Ναυαρίνο, Ιερά Δήμητρας και Ασκληπιού στο Δίον Πιερίας, Κολιγόσπιτα Ζωγράφου Χαλκιδικής, Φίλιπποι, Παναγία Αχεροποίητος, Άγιος Παντελεήμονας, Αγία Σοφία, Παζάρ Χαμάμ, Αλκαζάρ, Casa Bianca, Διοκλητιανούπολη, Κάστρο Σερβίων, Παναγία Χαλκέων, Συγκρότημα Αλλατίνη και Λόγγος-Εδεσσας στη Θεσσαλονίκη, Μακεδονία (στοιχεία από ερευνητική ομάδα ΑΠΘ).

Η εμφανώς ογκώδης διαθέσιμη πληροφορία ήταν αναγκαίο να καταχωρηθεί τοιούτο τρόπο ώστε να είναι εύκολη η πρόσβαση, διαχείριση, απολληψιμότητα και αξιολόγησή της τόσο για τις ανάγκες των ακόλουθων υποδράσεων του έργου όσο και εν συνεχεία κατά την ψηφιοποίησή της στην τελική της μορφή για τη βέλτιστη δυνατότητα διαχείρισης από τον εκάστοτε χρήστη ερευνητή της διαδικτυακής πλατφόρμας.

Ο απώτερος στόχος της συγκεκριμένης υποδράσης ήταν η επιλογή στοχευμένων αντιπροσωπευτικών μνημείων & μνημειακών συνόλων βάσει προκαθορισμένων κριτηρίων αξιολόγησης της καταχωρημένης πληροφορίας ώστε αυτά να συγκροτήσουν σε πειραματική φάση το αρχικό αναρτώμενο διαδικτυακό μοντέλο της πλατφόρμας διαχείρισης της ελληνικής πολιτιστικής κληρονομιάς. Ως κριτήρια αξιολόγησης για την επιλογή των μνημείων αυτών ορίστηκαν η ιστορική, καλλιτεχνική και δομητική αξία, η ασκούμενη κοινωνική επίδραση των επιλεγόμενων μνημείων, η αντιπροσώπευση ιστορικών δομικών υλικών και συστημάτων κατά τις κύριες περιόδους της Ελληνικής ιστορίας, βάσει γεωγραφικής θέσης, η πληρότητα των διαθέσιμων μελετών σε σχέση με το χαρακτηρισμό των ιστορικών δομικών υλικών και συστημάτων, τα δεδομένα φθοράς και βλαβών, οι περιβαλλοντικές μακρο- και μίκρο-κλιματικές συνθήκες, οι εφαρμοζόμενες νέες μεθοδολογίες ελέγχου και αποκατάστασης και η διερεύνηση αξιοποίησης της αντίστοιχης εφαρμογής σε

άλλες Ευρωπαϊκές χώρες και ιδίως σε αυτές της Μεσογείου μέσα από τις διαθέσιμες μελέτες μνημείων εκτός Ελλαδικού χώρου.

Για την ευκολότερη οργάνωση - κατηγοριοποίηση και αξιολόγηση των στοιχείων προκειμένου να συνταχθούν τα πρωτόκολλα διερεύνησης συμβατότητας και αειφορίας των προηγμένων υλικών και επεμβάσεων με τα αυθεντικά υλικά και δομήματα, επιλέχθηκε η εφαρμογή απλών υπολογιστικών φύλλων σε περιβάλλον windows για λόγους μεγαλύτερης ευελιξίας καταχώρησης και απολληψιμότητας της πληροφορίας.

Ανάπτυξη – Εφαρμογή της Βάσης Δεδομένων Ιστορικών Δομικών Υλικών & Δομικών Συστημάτων

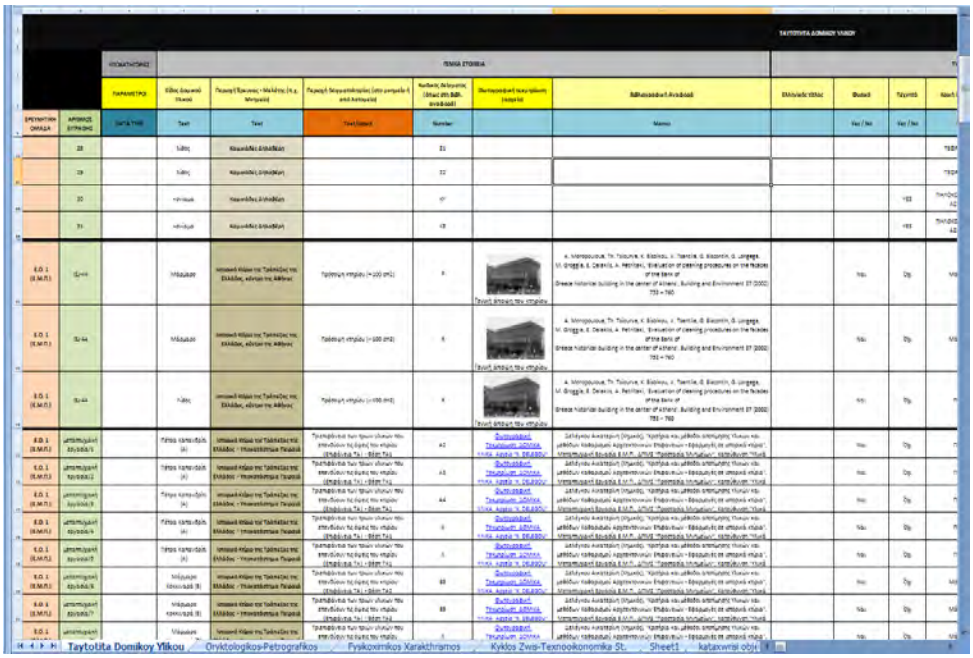
Ως καθοριστικοί παράμετροι για τη διαμόρφωση της Βάσης Δεδομένων Υλικών Μνημείων ορίστηκαν η προέλευση, οι πρώτες ύλες, η δειγματοληψία, οι μέθοδοι αναλύσεων, οι τεχνολογίες παρασκευής, η δυνατότητα αναπαραγωγής και τα τεχνοοικονομικά στοιχεία. Κατ' αυτόν τον τρόπο οριοθετήθηκαν υπολογιστικά φύλλα (εικ.1) με τα ακόλουθα πεδία και επιμέρους υποπεδία:

- Ταυτότητα Δομικού Υλικού * Γενικά Στοιχεία: 1.Είδος δομικού υλικού, 2.Περιοχή Έρευνας - Μελέτης (π.χ. Μνημείο), 3.Περιοχή δειγματοληψίας (στο μνημείο ή από λατομείο), 4.Κωδικός δείγματος (βιβλ. αναφορά), 5.Φωτογραφική τεκμηρίωση (αρχείο), 6. Βιβλιογραφική Αναφορά. * Τύπος Υλικών: 1.Φυσικό, 2.Τεχνητό, 3.Κοινή Ονομασία, 4.Αυθεντικό Υλικό, 5.Υλικό Επανάχρησης /Επέμβασης * Φυσικά Υλικά (Λίθοι): 1.Προέλευση, 2.Γεωλογικά στοιχεία, 3.Κατεργασία, 4.Τύπος κατεργασίας, 5.Μεταφορά * Τεχνητά Υλικά (Κονιάματα, επιχρίσματα, κεραμικά (οπτόπλινθοι, ωμόπλινθοι): 1.Πρώτες ύλες- Προέλευση κλπ, 2.Διαστάσεις (πλάτος, ύψος), 3.Διαδικασία παρασκευής, 4.Συνθήκες παρασκευής.
- Ορυκτολογικός & Πετρογραφικός χαρακτηρισμός δομικών υλικών * Ορυκτολογικός χαρακτηρισμός: 1.Είδος δομικού υλικού (Μονάδα μέτρησης - Τεχνική & Πρότυπο μέτρησης) 2.Χρωματικός δείκτης, 3.Δευτερεύουσα σύσταση/ Προϊόντα διάβρωσης, 4.Ορυκτολογικές Φάσεις (λίθου, κονιάματος ή συστατικών του μερών) * Πετρογραφικός χαρακτηρισμός: 1.Ιστός (πυκνότητα ρηγμάτωσης, προσανατολισμός ρηγμάτωσης, υφή κ.λ.π.), 2.Προσμίξεις.

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

- Φυσικοχημικός χαρακτηρισμός των υλικών * Χαρακτηριστικά μικροδομής: 1.Χημική σύσταση (Μονάδα μέτρησης - Τεχνική & Πρότυπο μέτρησης), 2.Συστατικά μέρη κονιάματος(ή επιχρίσματος)-[αδρανές υλικό : συνδετικό υλικό], 3.Κοκκομετρική διαβάθμιση, 4.Ολικό πορώδες ή κατά περίπτωση ανοικτό πορώδες, κλειστό πορώδες, ενεργό πορώδες, 5.Ειδική επιφάνεια πόρων, 6.Μέση ακτίνα πόρων - Κατανομή όγκων κενών - Σχήμα πόρων, 7.Φαινόμενη πυκνότητα, 8.Πραγματική πυκνότητα, 9.Τραχύτητα επιφάνειας, 10.Συνολική Ποσότητα Ροφημένου Νερού, 11.Συνολική ποσότητα ροφημένου νερού με τριχοειδή αναρρίχηση (ρυθμός υδαταπορρόφησης, συντελεστής υδαταπορρόφησης) * Μεταφορά μάζας & Θερμότητας: 1.Ρυθμός ξήρανσης (Μονάδα μέτρησης - Τεχνική & Πρότυπο μέτρησης), 2.Υδραυλική διαστολή, 3.Υδροφοβία, 4.Διαπερατότητα σε υδρατμούς, 5.Θερμοχωρητικότητα – Ειδική θερμοχωρητικότητα, 6.Θερμική αγωγιμότητα, 7.Συντελεστής θερμικής διαστολής, 8.Συντελεστής θερμοπερατότητας * Χρωματικές Παράμετροι: 1.Τιμές χροιάς (Μονάδα μέτρησης - Τεχνική & Πρότυπο μέτρησης), 2.Τιμές κορεσμού, 3.Τιμές λαμπρότητας, 4.Χρωματικές διαφορές * Μηχανικά χαρακτηριστικά: 1.Αντοχή σε εφελκυσμό (Μονάδα Μέτρησης-Τεχνική & Πρότυπο μέτρησης), 2.Αντοχή σε θλίψη 3.Αντοχή σε κάμψη 4.Αντοχή σε κρούση, 5.Αντοχή σε εκτριβή, 6.Αντίσταση εκτριβής, 7.Αντοχή σε διάτμηση, 8.Μέτρο ελαστικότητας, 9.Μέτρο διάτμησης, 10.Λόγος Poisson, 11.Σκληρότητα.
- Μηχανική κύκλου ζωής – Τεχνικοοικονομικά στοιχεία * Μηχανική κύκλου ζωής: 1.Ανάλυση κύκλου ζωής, 2.Κατανάλωση Ενέργειας από την Εξαγωγή των Πρώτων Υλών ως την Τελική Παραγωγή, 3. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις * Τεχνικοοικονομικά στοιχεία: 1.Κόστος, 2.Δυνητικοί χώροι εκλατόμευσης, 3.Διαθεσιμότητα πρώτων υλών, 4.Υπεύθυνος διαχείρισης.

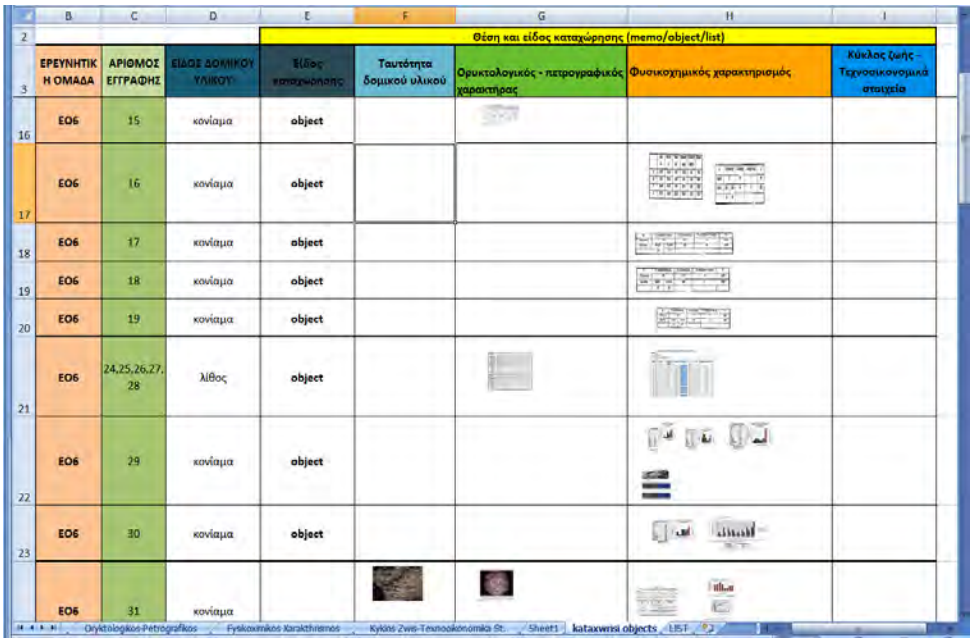
Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές



Εικ.1 Υπόδειγμα φύλλου καταχώρισης στοιχείων για την σύνταξη της Βάσης Δεδομένων Δομικών Υλικών

Η καταχώριση των στοιχείων στα υπολογιστικά φύλλα έγινε με ταξινόμηση αριθμού εγγραφής και κατά ερευνητικό φορέα. Η μορφή των στοιχείων αφορά στους ακόλουθους τύπους: κείμενο (text) έως 2-3 σειρών, περιγραφή (memo) με τη μορφή κειμένου έως 10 σειρές, ακέραιο ή δεκαδικό αριθμό (number) στην αντίστοιχη μονάδα μέτρησης ανάλογα με την τεχνική μέτρησης, ημερολογιακή αναφορά (date), αυτόματη αρίθμηση (autonumber), επισήμανση ή επιλογή ναι/όχι (x, yes/no), αντικείμενο (opbject) συμπεριλαμβανομένων πινάκων, διαγραμμάτων, εικόνων - φωτογραφιών (jpg), σχεδίων, χαρτών και προκαθορισμένη λίστα (list) συγκεκριμένων επιλογών. Η καταχώρηση αντικειμένων και λίστας πραγματοποιήθηκε σε χωριστά φύλλα για λόγους ευκολίας και ευκρίνειας ανάγνωσης (εικ.2).

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές



	ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΟΜΑΔΑ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΓΓΡΑΦΗΣ	ΕΙΔΟΣ ΔΟΜΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	Θέση και είδος καταχώρησης (memo/object/list)				
				Είδος καταχώρησης	Ταυτότητα δομικού υλικού	Ορυκτολογικός - πετρογραφικός χαρακτήρας	Φυσικοχημικός χαρακτηρισμός	Κύκλος ζωής – Τεχνοοικονομικά στοιχεία
16	ΕΟ6	15	κονίαμα	object				
17	ΕΟ6	16	κονίαμα	object				
18	ΕΟ6	17	κονίαμα	object				
19	ΕΟ6	18	κονίαμα	object				
20	ΕΟ6	19	κονίαμα	object				
21	ΕΟ6	24,25,26,27, 28	λίθος	object				
22	ΕΟ6	29	κονίαμα	object				
23	ΕΟ6	30	κονίαμα	object				
	ΕΟ6	31	κονίαμα					

Εικ.2 Υπόδειγμα φύλλου καταχώρισης αντικειμένων (objects) από την στοιχειοθέτηση της Βάσης Δεδομένων Δομικών Υλικών

Η διαμόρφωση της Βάσης Δεδομένων Δομικών Συστημάτων επικεντρώθηκε στο είδος και την κατάσταση διάβρωσης των δομικών υλικών και συστημάτων, και στις καταγεγραμμένες εφαρμοσμένες τεχνικές διάγνωσης και αποκατάστασης και συγκροτήθηκε από τα ακόλουθα πεδία και υποπεδία:

- R1 – Δομικά Υλικά * Ιστορικά δομικά υλικά (περιγραφή) * Εφαρμοσθείσες πειραματικές τεχνικές * Βιβλιογραφικές αναφορές (Διεθνείς Επιστημονικές Εφημερίδες & Περιοδικά, Βιβλία και Κεφάλαια βιβλίων, Διεθνή & Εθνικά Πρακτικά Συνεδρίων, Report Ευρωπαϊκών & Εθνικών Προγραμμάτων, Διδακτορικές διατριβές, Μεταπτυχιακές εργασίες, Διπλωματικές εργασίες).
- R2 – Δομικά Συστήματα * Ιστορικά δομικά συστήματα (περιγραφή) * Εφαρμοσθείσες πειραματικές τεχνικές * Βιβλιογραφικές αναφορές
- R3 – Φθορά * Χαρακτηριστικά φαινόμενα και μηχανισμοί φθοράς (περιγραφή) * Εφαρμοσθείσες πειραματικές τεχνικές * Βιβλιογραφικές αναφορές

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

- R4 – Βλάβες * Χαρακτηριστικά φαινόμενα και μηχανισμοί βλάβης (περιγραφή) * Εφαρμοσθείσες πειραματικές τεχνικές * Βιβλιογραφικές αναφορές
- R5 – Καθαρισμός * Καθαρισμός (περιγραφή) * Εφαρμοσθείσες πειραματικές τεχνικές * Βιβλιογραφικές αναφορές
- R6 – Στερέωση * Στερέωση (περιγραφή) * Εφαρμοσθείσες πειραματικές τεχνικές * Βιβλιογραφικές αναφορές
- R7 – Κονιάματα * Κονιάματα - Ενέματα (περιγραφή) * Εφαρμοσθείσες πειραματικές τεχνικές * Βιβλιογραφικές αναφορές

Η καταχώρηση των στοιχείων για την σύνταξη της Βάσης Δεδομένων Δομικών Συστημάτων πραγματοποιήθηκε ανά ερευνητικό φορέα και κωδικό ταξινόμησης μνημείου.

Μετά την αξιολόγηση της καταχωρημένης πληροφορίας από τη Βάση Δεδομένων Ιστορικών Δομικών Υλικών & Δομικών Συστημάτων και σε συνάρτηση με τις λοιπές υποδράσεις του έργου για την κατάρτιση των ψηφιακών πρωτοκόλλων επιλέχθηκαν τα Μνημεία Μεσαιωνικής Πόλης της Ρόδου, η Ιερά Μονή Δαφνίου Αθηνών και η Θριαμβική Αψίδα Γαλέριου Θεσσαλονίκης.

Βιβλιογραφικές αναφορές

P. Maravelaki, Th. Markopoulos, P. Trimantili-MGann, E. Repouskou (1993): Problemi di degrado dei materiali lapidei e delle malte delle fortificazioni veneziane a Chania, Convegno internazionale. le pietre da costruzione : il tufo calcareo e la pietra leccese, IRIS-CNR, Bari, 26-28 Maggio 1993.

Markopoulos, Th., Maravelaki, P. and Repouskou, E., (1994): The materials of the Venetian fortifications in Chania: properties, weathering forms and mechanisms. III Inter. Symp. on the conservation of Monuments in the Mediterranean Basin. Ed. By V.Fassina, H.Ott, F.Zezza.Venice, 22-25 June 1994.

Μαρκόπουλος Θ., Τριανταφύλλου Γ., Ρεπούσκου Ε., Αποστολάκη Χ., Ροτόντο Π., Νικηφοράκη Κ., (2007). Κονιάματα υδραυλικής ασβέστου για επεμβάσεις συντήρησης – αποκατάστασης ιστορικών κτιρίων. Αξιολόγηση ελληνικών πρώτων υλών για Παρασκευή Οικολογικών υδραυλικών κονιών, 6 Νοεμβρίου 2007. Ημερίδα ΤΕΕ –Ενίσχυση κτιρίων με σύγχρονα Υλικά. http://library.tee.gr/digital/m2316/m2316_contents.htm

Ιστορικά δομικά υλικά και δομικά συστήματα σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Markopoulos, Th., Repouskou, E., Rotondo, P.(2009) Mortars used for intervention in the archeological site of Villa dei Quintili, Via Apia Antica, Archeological Park of Rome. 16thConcrete Conference,Proceedings,TECHNICAL CHAMBER OF GREECE and CYPRUSTEE-ETEK, 21-23 October, Pafos, Cyprus, http://library.tee.gr/digital/m2456/m2456_markopoulos1.pdf

Markopoulos Th., Repouskou, E. & Karampatsou, G., (2010) The building materials of Koule Castle, Heraklion, Crete, Greece, CH30G- Archaeometry, Abstract series p.120. 20thGeneral Meeting of the International Mineralogical Association,21-27 August, 2010, Budapest, Hungary, http://www.ima2010.hu/

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Καινοτόμος διαγνωστική μελέτη του ιστορικού κτιρίου του ISIA στη Φλωρεντία (Innovative diagnostic study of ISIA building in Florence)

Μ. Καρόγλου, Αικ. Δελέγκου, Κ. Λαμπρόπουλος, Α. Μπακόλας, Α. Μοροπούλου

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Χημικών Μηχανικών,
Πολυτεχνειούλη Ζωγράφου, 15780, Αθήνα

Abstract

In the present work is presented a sub-action of "MEDNETA-Mediterranean cultural network to promote creativity in the arts, crafts and design for communities' regeneration in historical cities".

Florence was selected as a case study city with ISIA building (Higher Institute for Artistic Industries), which train students in the field of industrial design. This building is situated at the historic centre and is a part of the Museo INNOCENTI complex. The building during the diagnostic campaign undergone redesign and renovation works, without although changes in its use.

The in site diagnostic study was conducted by NTUA research team in September 2014. Main aim of this investigation was the characterization of building materials and their decay diagnosis, based on guidelines prepared by NTUA research team. For this reason non destructive techniques were applied (digital optical microscopy infrared thermography, georadar). Based on the EN Standard 16096-2012 the overall building preservation state can be classified in category "good".

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται μια υποδράση του Ευρωπαϊκού προγράμματος MEDNETA, που αφορά σε ένα Μεσογειακό πολιτιστικό δίκτυο για την προώθηση της δημιουργικότητας στις τέχνες, στις βιοτεχνικές τέχνες, και το σχέδιο για αναγέννηση των κοινοτήτων σε ιστορικές πόλεις.

Ανάμεσα στις πόλεις πιλότους που επιλέχθηκαν στο πλαίσιο του προγράμματος ήταν η Φλωρεντία. Το κτίριο που μελετήθηκε ήταν το ISIA-Ανώτατο Ινστιτούτο Βιομηχανικού Σχεδιασμού. Το κτίριο αυτό βρίσκεται

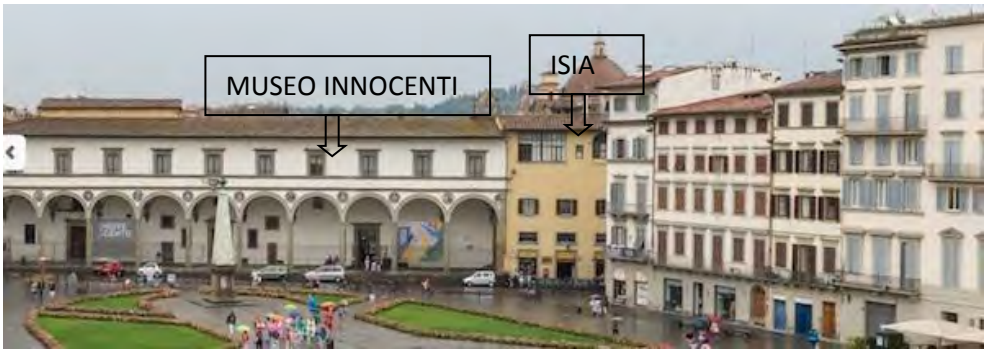
στο ιστορικό κέντρο της Φλωρεντίας και αποτελεί μέρος του συγκροτήματος του Μουσείου INNOCENTI. Το κτίριο την εποχή της επί τόπου διαγνωστικής μελέτης βρισκόταν σε καθεστώς επανασχεδιασμού και αποκατάστασης, χωρίς μεταβολή στη χρήση του.

Η επιτόπου διαγνωστική μελέτη πραγματοποιήθηκε το Σεπτέμβριο του 2014, από την ερευνητική ομάδα του ΕΜΠ. Κύριος στόχος ήταν η διάγνωση των υλικών και της φθοράς των υλικών του κτιρίου, βασιζόμενη πάνω σε οδηγίες που έχουν αναπτυχθεί από την ερευνητική ομάδα του ΕΜΠ. Εφαρμόστηκαν επί τόπου μη καταστρεπτικές τεχνικές (ψηφιακή οπτική μικροσκοπία θερμογραφία υπερύθρου και γεωραντάρ). Η συνολική κατάσταση διατήρησης του κτιρίου βάσει του προτύπου EN Standard 16096-2012, βρέθηκε ότι ανήκε στην κατηγορία "καλή".

Εισαγωγή

Η Φλωρεντία είναι η πρωτεύουσα της Ιταλικής Τοσκάνης, διάσημη για την ιστορία της. Το ιστορικό της κέντρο υποδέχεται χιλιάδες επισκέπτες το χρόνο, ενώ το 1982 έχει ανακηρυχτεί ως μνημείο της Παγκόσμιας Πολιτιστικής Κληρονομιάς από την UNESCO.

Το κτίριο που εξετάστηκε είναι αυτό της ISIA (Ανώτατο Ινστιτούτο για το Βιομηχανικό Σχεδιασμό-Istituto Superiore per le Industrie Artistiche), το οποίο και ιδρύθηκε το 1975. Το κτίριο αυτό βρίσκεται στο ιστορικό κέντρο της Φλωρεντίας και αποτελεί μέρος του συγκροτήματος του μουσείου “MUSEO degli INNOCENTI” (Εικ.1).



Εικόνα 1. Πανοραμική όψη του Μουσείου INNOCENTI

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα της επί τόπου διαγνωστικής μελέτης στο κτίριο αυτό, με τη χρήση μη

καταστρεπτικών τεχνικών, με κύριο στόχο την ανίχνευση της κατάστασης διατήρησης του κτιρίου της ISIA.

Διαγνωστική μελέτη

Η διαγνωστική μελέτη αποτελεί ένα πρώτο βήμα πριν την ανάπτυξη σχεδίων και μέτρων για την προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς. Το υπάρχον Ευρωπαϊκό πρότυπο [1] για την επιθεώρηση και την έρευνα σχετικά με την κατάσταση διατήρησης της πολιτιστικής κληρονομιάς δε περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο πρέπει να πραγματοποιείται η διαγνωστική μελέτη.

Στη συγκεκριμένη εργασία προτείνεται η χρήση μη καταστρεπτικών τεχνικών σαν ένα πρώτο βήμα σε μια ολοκληρωμένη διαγνωστική μελέτη. Βάσει των αποτελεσμάτων του μη καταστρεπτικού ελέγχου και με χρήση του προτύπου αυτού είναι εφικτή μια γενική κατάταξη της κατάστασης διατήρησης του κτιρίου [1, 2].

Ο μη καταστρεπτικός εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε ήταν: φορητό ψηφιακό μικροσκόπιο (i-scope, Moritex), θερμοκάμερα υπερύθρου (FLIR B-200) και γεωραντάρ (MALÅ Geoscience ProEx με αντένες 1,6GHz και 2,3GHz).

Αποτελέσματα

Η επιτόπου διαγνωστική μελέτη πραγματοποιήθηκε το Σεπτέμβριο του 2014 [3]. Οι κύριες εξωτερικές όψεις του κτιρίου φαίνονται στις εικόνες που ακολουθούν (Εικ. 2-4). Κατά τη διάρκεια της επίσκεψης βρέθηκε ότι οι τρεις αυτές κύριες όψεις ήταν σε διαφορετική κατάσταση διατήρησης. Η όψη επί της οδού Alfani, στην οποία βρίσκεται και η κύρια είσοδος του κτιρίου, είχε αποκατασταθεί πρόσφατα, σε αντίθετη με την όψη επί της οδού Fibbai. Τέλος, στην όψη στην εσωτερική είχε αρχίσει η τοποθέτηση σκαλωσιών για την έναρξη σχετικών εργασιών συντήρησης και αποκατάστασης.

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Εικόνα2. Όψη επί της οδού Alfani

Εικόνα 3. Όψη επί της οδού Fibbai

Εικόνα 4. Όψη στην εσωτερική αυλή

Η επιθεώρηση των εξωτερικών όψεων του κτιρίου έδειξε εκτεταμένο βαθμό φθοράς στις επιχρισμένες επιφάνειες, όπως ρηγματώσεις, αποκολλήσεις υλικών, φουσκώματα. Επίσης, παρατηρήθηκε αποχρωματισμός των επιχρισμάτων σε πολλές περιοχές, καθώς και ανάπτυξη βιοδιάβρωσης, ιδιαίτερα σε περιοχές με κακή απορροή των όμβριων υδάτων Οι τύποι αυτοί της φθοράς συνδέονται περισσότερο με τη δράση του περιβάλλοντος, όπως τις μεταβολές της θερμοκρασίας, τις βροχοπτώσεις, την ηλιακή ακτινοβολία, την ποιότητα του αέρα και τέλος τις ιδιάζουσες μικροκλιματικές συνθήκες. Η όψη που βρίσκεται στην εσωτερική αυλή βρίσκεται σε καλύτερη κατάσταση, λόγω μεγαλύτερης προστασίας της έναντι της δράσης των περιβαλλοντικών παραγόντων φθοράς. Στο εσωτερικό του κτιρίου επιλέχθηκαν περιοχές ελέγχου όπου η Ιταλική ομάδα μελέτης του έργου άνοιξε τομές στην τοιχοποιία. Οι περιοχές αυτές φαίνονται στις φωτογραφίες που ακολουθούν.

Εικόνα 5. Περιοχή Μ2 εσωτερική όψη επί της οδού Fibbai

Εικόνα 6. Περιοχή Μ3 σε κάθετη τοιχοποιία στο ίδιο δωμάτιο με την περιοχή Μ2

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Εικόνα 7. Περιοχή Μ7 εσωτερική όψη επί της όψεως που βρίσκεται στην εσωτερική αυλή

Εικόνα 8. Περιοχή Μ8 στο ίδιο δωμάτιο με την περιοχή Μ7 ακριβώς στον απέναντι τοίχο

Εικόνα 9. Κολώνα C1 στην αίθουσα Aula Laidi

Εικόνα 10. Κολώνα C1 στην αίθουσα Aula Laidi

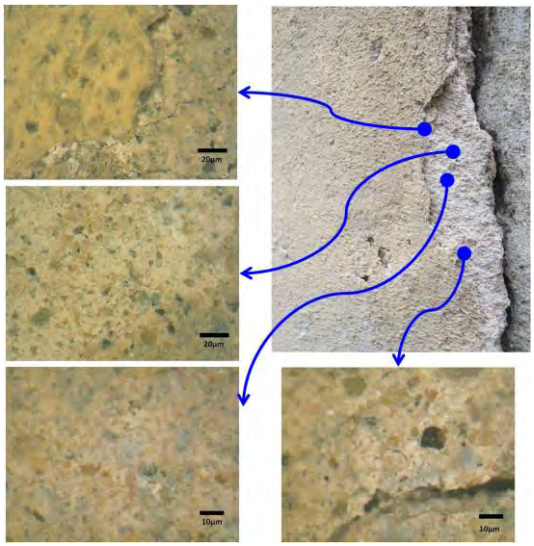
Αποτελέσματα μη καταστρεπτικού ελέγχου

Στη συνέχεια παρατίθενται συνοπτικά κάποια χαρακτηριστικά αποτελέσματα των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν [3]. Από το μικροσκοπικό έλεγχο για την όψη επί της οδού Fibbiai (Εικ.11), προέκυψε ότι το επίχρισμα περιείχε υπόλευκη κονία και αδρανή διαφορών αποχρώσεων και μεγεθών. Ο λίθος φαίνεται να είναι ένας ψαμμίτης φαιής απόχρωσης και μέσου μεγέθους κόκκων. Βάσει των παρατηρήσεων σχετικά με τη μορφολογία της επιφάνειας των εξεταζομένων λίθων, πιστεύεται ότι αυτοί ανήκουν σε ένα τύπο λίθων που χρησιμοποιήθηκε ευρύτατα στη Φλωρεντινή αρχιτεκτονική με την ονομασία «pietra serena». Από την εξέταση με τη φορητή μικροσκοπία στο εσωτερικό προέκυψε ότι οι τοιχοποιίες είναι κατασκευασμένες από διάφορους λίθους και κεραμικά. Οι περισσότεροι λίθοι παρουσιάζουν μπεζ απόχρωση με γκρίζες φλεβώσεις και προσομοιάζουν έναν άλλο λίθο που χρησιμοποιήθηκε ευρύτατα στη Φλωρεντινή αρχιτεκτονική τη «pietraforte», έναν ασβεστολιθικό ψαμμίτη. Στην περιοχή Μ7 βρέθηκε και ένας άλλος τύπος λίθου πορτοκαλοκάστανης απόχρωσης, που μοιάζει με τη «pietra bigia». Τα κονιάματα που εξετάστηκαν είναι υπόλευκης απόχρωση με αδρανή διαφόρων χρωματικών

αποχρώσεων, μικρού-μεσαίου μεγέθους. Ασφαλώς για πιο ασφαλή συμπεράσματα σχετικά με το χαρακτηρισμό των υλικών απαιτείται δειγματοληψία και διεξαγωγή μιας σειράς από αναλυτικές τεχνικές.

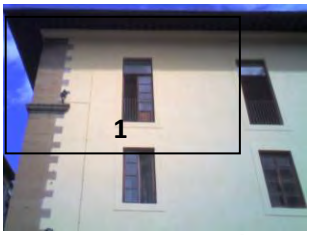
Με τη χρήση της θερμογραφίας υπερύθρου εντοπίστηκαν περιοχές στο επίχρισμα με φθορά (ιδιαίτερα σε περιοχές με διείσδυση του νερού της βροχής). Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσίασε η ανίχνευση κάτω από το επίχρισμα τόσο της μορφολογίας της τοιχοποιίας, όσο και αρχιτεκτονικών στοιχείων της τοιχοποιίας τα οποία και δεν είναι ορατά με γυμνό μάτι, όπως ανοίγματα που έκλεισαν, ή παλιά διακοσμητικά στοιχεία (Εικ. 12.1-4).

Οι διάφορες σαρώσεις με το γεωραντάρ έδειξαν ότι οι τοιχοποιίες είναι μικτού τύπου, κοντά στη μορφή δίστρωτης τοιχοποιία, αν και οι διάφορες στρώσεις είναι δύσκολο να διαχωριστούν. Αυτό είναι προφανές για παράδειγμα στην περιοχή Μ7 (Εικ. 13.2). Σε αυτήν την περιοχή η τρισδιάστατη ανάλυση έδειξε ότι οι λίθοι συνδέονται μεταξύ τους, και ότι υπάρχει μια ζώνη ενδιάμεσα με μικρότερα δομικά στοιχεία. Επιπρόσθετα το γεωραντάρ υπέδειξε κάποιες θέσεις που χρειάζονται περαιτέρω διερεύνηση για το ρόλο τους στη στατική επάρκεια του κτιρίου. Όπως φαίνεται και την κολώνα στην αίθουσα Aula Laudi (Εικ. 12.4, Εικ. 13.1), υπάρχουν 2 στόχοι που πιθανότητα αντιστοιχούν σε στοιχεία οπλισμού, θέσεις που επιβεβαιώνονται και με τη χρήση της θερμογραφάις υπερύθρου (Εικ. 12.6).



Εικόνα 11. Μικροσκοπικές εικόνες x30 από το εξωτερικό επίχρισμα επί της οδού Fibbai

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές



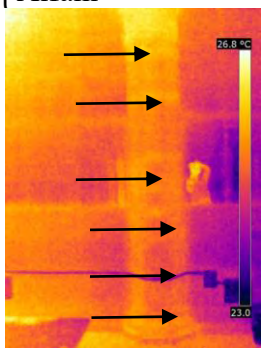
Εικόνα 12.1. Περιοχή 1 στην όψη Alfani

Εικόνα 12.2. Θερμογράφημα της περ. 1

Εικόνα 12.3. Περιοχή 2 στην όψη Alfani

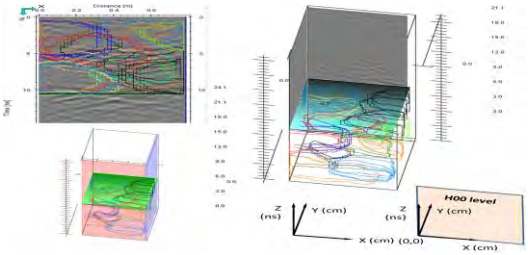
Εικόνα 12.4. Θερμογράφημα της περ. 2

Εικόνα 12.5. Κολώνα C1



Εικόνα 12.6. Θερμογράφημα της C1

Εικόνα 13.1 Σάρωση **της** Κολώνας C1



Εικόνα 13.2. Μετρήσεις από σάρωση της περιοχής M7 με γεωραντάρ

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Συμπεράσματα

Η χρήση μη καταστρεπτικών τεχνικών αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο ως προς στάδιο μιας ολοκληρωμένης διαγνωστικής μελέτης των μνημείων.

Η κατάσταση διατήρησης του κτιρίου της ISIA αποτιμάται ότι ανήκει στην κατηγορία «καλή». Αυτό σημαίνει ότι δεν επείγονται μέτρα για την άμεση συντήρηση των υπό εξέταση τοιχοποιιών.

Ευχαριστίες

Η ευκαιρία για την εκπόνηση της παρούσας ερευνητικής εργασίας δόθηκε στα πλαίσια του χρηματοδοτούμενου από την Ευρωπαϊκή Ένωση ερευνητικού προγράμματος MEDNETA, υπό την αιγίδα του ENPI CBC (European Neighborhood and Partnership Instrument–Cross–Border Cooperation) Mediterranean Sea Basin Programme 2007/2013. Επιστημονικά υπεύθυνη του προγράμματος ήταν η Καθηγήτρια Ε.Μ.Π. Σοφία Αυγερινού.

Βιβλιογραφία

[1] EN 16096-2012. Conservation of cultural property-Condition survey and report of built cultural heritage.

[2] Moropoulou A., Labropoulos K.C., Delegou E.T., Karoglou M., Bakolas A., “Non-Destructive Techniques as a tool for the protection of Built Cultural Heritage”, Construction and Building Materials 48, (2013) 1222-123.

[3] Technical Report ENPI CBCMED MEDNETA project, “Basic principles, advantages and risks of the applied pilot conservation and rehabilitation actions”, 2014.

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Αξιολόγηση της κατάστασης διατήρησης της ιστορικής πύλης του Souk des Chesias στην Μεδίνα της Τύνιδας

(Evaluation of the Preservation State of the Tunis - Medina ”Souk des Chesias” Historic Gate)

Α. Μοροπούλου, Αικ. Δελέγκου, Κ. Λαμπρόπουλος, Δ. Αθανασίου

Abstract

The Medina of Tunis has largely conserved, without significant alteration, its urban fabric and morphology, as well as its architectural heritage. Characteristic examples of the history and evolution the Medina of Tunis and the challenges they faced throughout the ages, are its souks. A diagnostic study with non-destructive techniques by the NTUA research team focused on one of the Souk des Chesias” Historic Gates which presented certain structural problems, characteristic of those encountered by other areas of the souks, and on which a geometrical survey and a damage survey had already been implemented by the Association for the Safeguarding of the Medina of Tunis. Fiber optic microscopy, infrared thermography and ground penetrating radar were used to evaluate the preservation state and to provide the basis for future conservation and structural maintenance intervention.

The non-destructive survey revealed that the overall preservation state of the structure is insufficient. The main problems of the Gate being (a) the deformation of its eastern façade masonry; (b) the partial collapse of the vault; (c) the various cracks at the entrance arch and at the masonries that support the arch; (d) the significant amount of remaining dampness and its anisotropic distribution; (e) past incompatible interventions on the façade

stone facings that modify their water transport phenomena. All these, necessitate imminent conservation and preservation measures.

Περίληψη

Η Μεδίνα της Τύνιδας έχει διατηρήσει σε μεγάλο βαθμό, χωρίς σημαντικές μεταβολές, τον αστικό ιστό και μορφολογία της, καθώς και την αρχιτεκτονική της κληρονομιά. Χαρακτηριστικά δείγματα της ιστορίας και της εξέλιξης της Μεδίνας της Τύνιδας και των προκλήσεων που αντιμετωπίζουν στο πέρασμα των χρόνων, είναι τα σουκ. Η διαγνωστική μελέτη με μη-καταστρεπτικές τεχνικές που πραγματοποίησε το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο εστίασε σε μια από τις ιστορικές πύλες του σουκ των σεσια Souk des Chesias" η οποία παρουσίαζε δομικά προβλήματα χαρακτηριστικά αυτών που εμφανίζονται και σε άλλα σουκ, στην οποία είχε πραγματοποιηθεί γεωμετρική και αρχιτεκτονική τεκμηρίωση και αποτύπωση των φθορών από την *Association for the Safeguarding of the Medina of Tunis*. Η χρήση μικροσκοπίας οπτικών ινών, υπέρυθρης θερμογραφίας και γεωραντάρ έγινε στο πλαίσιο αξιολόγησης της κατάστασης διατήρησης και αποτέλεσε την βάση για μελλοντικές επεμβάσεις προστασίας και δομικής συντήρησης.

Οι μη-καταστρεπτικές τεχνικές αποκάλυψαν ότι η γενική κατάσταση διατήρησης της δομής είναι ανεπαρκής. Τα κύρια προβλήματα της Πύλης είναι (α) η εκτός-επιπέδου παραμόρφωση της ανατολικής εξωτερικής όψης, (β) η μερική κατάρρευση του θόλου, (γ) οι διάφορες ρηγματώσεις που παρατηρούνται στο φέρον τόξο της εισόδου και στις τοιχοποιίες που υποστηρίζουν το τόξο, (δ) την σημαντική συγκέντρωση παραμένουσας υγρασίας στις τοιχοποιίες και την ανισότροπη της χωρική κατανομή, (ε) προηγούμενες ασύμβατες επεμβάσεις στην εξωτερική όψη της εισόδου που μεταβάλουν τα φαινόμενα μεταφοράς της υγρασίας. Όλα αυτά, υποδεικνύουν την ανάγκη άμεσων μέτρων προστασίας και διατήρησης της ιστορικής πύλης.

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Εισαγωγή

Η Μεδίνα της Τύνιδας έχει κηρυχτεί Μνημείο Παγκόσμιας Κληρονομιάς της UNESCO από το 1979. Με τα σουκ του, τον αστικό ιστό, τις κατοικημένες συνοικίες, τα μνημεία και τις πύλες, αυτό το σύνολο αποτελεί ένα πρωτότυπο ανάμεσα στα καλύτερα διατηρημένα στον ισλαμικό κόσμο. Τα σουκ (Souk ή Souq) είναι υπαίθριες αγορές ή εμπορικές συνοικίες σε πόλεις της Μέσης Ανατολής και της Βόρειας Αφρικής. Ο συνώνυμος περσικός όρος είναι το παζάρι. Τα σουκ διατηρούνται ακόμα και σήμερα, καθώς αποτελούν δραστήριους χώρους εμπορίου. Αναπόφευκτα, τα σουκ έχουν υποστεί στο πέρασμα των αιώνων διάφορες επεμβάσεις συντήρησης και διαμορφώσεις και επεκτάσεις χώρων, διατηρώντας όμως τα βασικά τους ιστορικά χαρακτηριστικά.

Η ερευνητική ομάδα του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου πραγματοποίησε διαγνωστική μελέτη σε μια από τις κύριες εισόδους (Εικ. 1) του σουκ των σέσια (Chéchia το εθνικό καπέλο της Τυνησίας, πρόκειται για παραλλαγή του μπερέ), στην οποία παρατηρούνταν δομικές αστοχίες με κίνδυνο κατάρρευσης. Τα προβλήματα αυτά ήταν τυπικά και παρόμοια με αυτά που παρατηρούνταν και σε άλλα σουκ. Στο πλαίσιο αυτό, η *Association for the Safeguarding of the Medina of Tunis* είχε πραγματοποιήσει γεωμετρική και αρχιτεκτονική τεκμηρίωση και αποτύπωση των φθορών, ενώ η διαγνωστική μελέτη του ΕΜΠ επικεντρώθηκε στη χρήση μη καταστρεπτικών τεχνικών για ανάλυση των φαινομένων φθοράς.

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Διαδικασίες και τεχνικές

Για τη διαγνωστική μελέτη χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθες μη-καταστρεπτικές τεχνικές: α) θερμογραφία υπερύθρου Infrared Thermography - IRT (FLIR_B200_Western, FLIRSYSTEMS 7.5–13 μm, με φακούς FOL18 and FOL10: επεξεργασία με λογισμικό FLIRQuickReport1.2 software), β) μικροσκοπία οπτικών ινών Fibre Optics Mcroscopy-FOM (i-scope – Moritex), γ) γεωραντάρ ground penetrating radar - GPR (MALÅ ProEx με κεραίες 1.6GHz & 2.3GHz: λογισμικό πρόσκτησης Groundvision 2 και ανάλυση δεδομένων με λογισμικό RadExplorer v.1.41 software).

Αποτελέσματα και συζήτηση

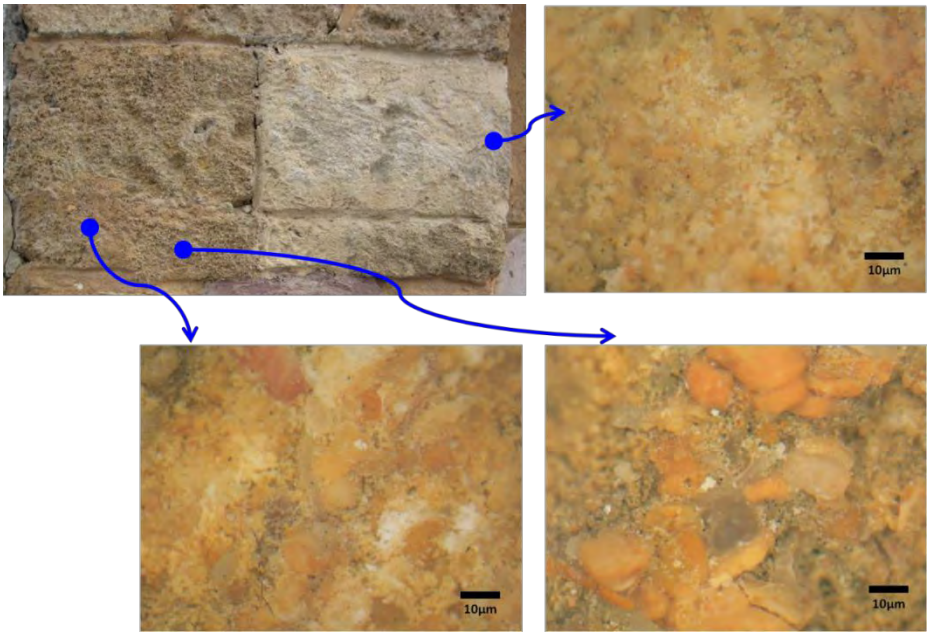
Η οπτική παρατήρηση της ιστορικής εισόδου φανερώνει σημαντική παραμόρφωση (εκτός επιπέδου κλίση προς τα έξω) στην πρόσοψη επί της οδού Kasbah Street. Το κτίριο είναι κατασκευασμένο με μεγάλου πάχους λιθοδομή, η οποία περιλαμβάνει παραδοσιακά τούβλα, κονιάματα και λευκό επίχρισμα από ασβέστη. Η τοιχοποιία υφίσταται πιθανά έναν διαχωρισμό των φύλλων της που οδηγεί στην κάμψη της εξωτερικής στρώσης, φαινόμενα που παρουσιάζονται σε πολυστρωματικές τοιχοποιίες με κακή σύνδεση ανάμεσα στις στρώσεις. Ο κατεστραμμένος θόλος έχει μερικώς καταρρεύσει και έχει σταθεροποιηθεί με προσωρινή αντιστήριξη.

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Εικόνα 1. Η πρόσοψη και εσωτερική της ιστορικής εισόδου. **Α.** Ψαμμίτης. **Β.** Κονίαμα αρμολόγησης. **Γ.** Ασβεστόλιθος

Δύο ήδη ψαμμίτη παρουσιάζονται στην Εικόνα 2 ενώ και τα δύο είναι πωρόλιθοι. Το πρώτο είδος ψαμμίτη έχει σκούρο μπεζ – πορτοκαλί χρώμα και είναι εκείνο που έχει χρησιμοποιηθεί κυρίως στην πρόσοψη της ιστορικής κατασκευής. Έχει μεσαίους προς μεγάλους κόκκους και μικρή ποσότητα συνδετικού υλικού. Το δεύτερο είδος ψαμμίτη έχει ανοιχτό μπεζ χρώμα και έχει χρησιμοποιηθεί σε μικρότερο βαθμό. Έχει μικρούς προς μεσαίους κόκκους και επαρκή ποσότητα συνδετικού υλικού. Και τα δύο είδη ψαμμίτη έχουν μακροπορώδη χαρακτήρα και μικρή συνοχή ανάμεσα στο συνδετικό υλικό και τα αδρανή. Το γεγονός αυτό, τους προσδίδει χαμηλή μηχανική αντοχή και τα καθιστά επιρρεπή στην φθορά λόγω της κρυστάλλωσης των αλάτων. Παρατηρείται ότι οι ψαμμίτες έχουν υποστεί εκτεταμένη φθορά, μέσω της αποσάθρωσης των κόκκων τους.

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

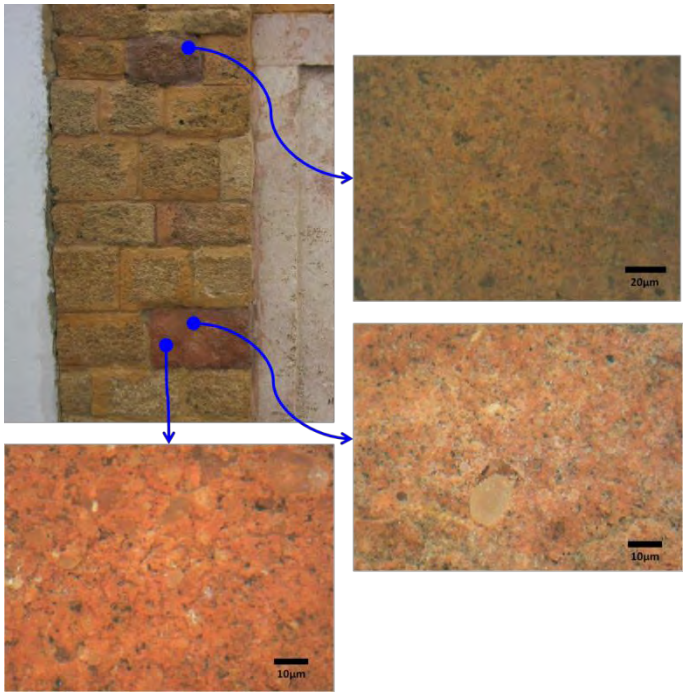


Εικόνα 2. Μικρογραφίες FOM του ψαμμίτη της τοιχοποιίας

Στην Εικόνα 3. παρατηρείται ότι υπάρχουν υπολείμματα ενός λεπτού φιλμ λευκού χρώματος, σε διάφορα σημεία των ψαμμιτών, που προφανώς τοποθετήθηκε στα πλαίσια προγενέστερης επέμβασης αποκατάστασης της ιστορικής κατασκευής. Η συγκεκριμένη επέμβαση είναι φυσικοχημικά ασύμβατη, αφού καθώς το φιλμ τοποθετήθηκε πάνω στο πορώδες υλικό, εμπόδισε τη διαπνοή του. Στην Εικόνα 4 είναι εμφανές ότι ορισμένοι ψαμμίτες έχουν επικαλυφθεί με επιχρίσματα κόκκινου – πορτοκαλί και καφέ χρώματος, ως τμήμα προγενέστερης επέμβασης αποκατάστασης της ιστορικής κατασκευής. Τα επιχρίσματα έχουν κάνει την επιφάνεια των ψαμμιτών λεία. Η αισθητική ασυμβατότητα των υλικών είναι εξαιρετικά εμφανής, καθώς παρουσιάζουν μεγάλη διαφοροποίηση στο χρώμα.

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

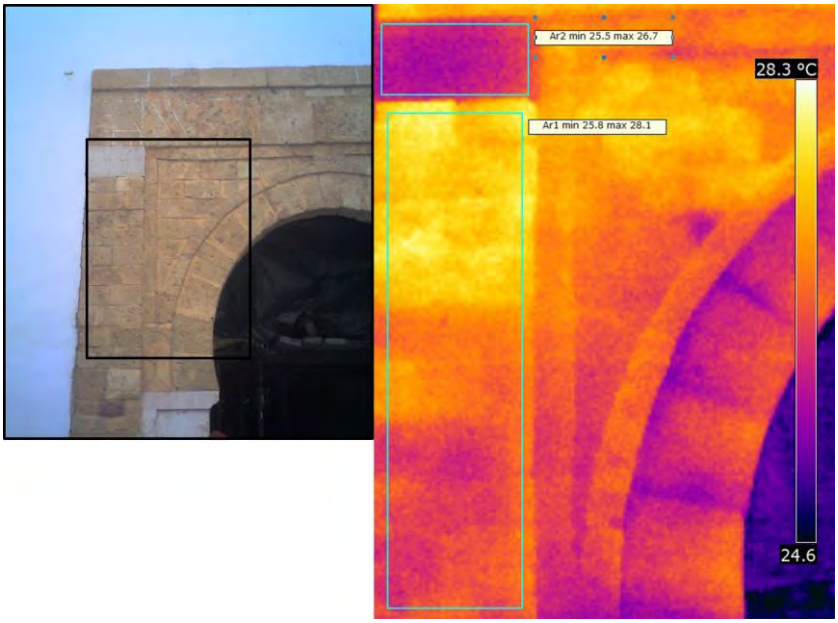
Εικόνα 3. Μικρογραφίες FOM του ψαμμίτη της τοιχοποιίας, με παρουσία υπολειμμάτων του φιλμ λευκού χρώματος.



Εικόνα 4. Αποτελέσματα FOM των επιχρισμάτων που έχουν τοποθετηθεί στους ψαμμίτες, στα πλαίσια προγενέστερης επέμβασης αποκατάστασης, στην ανατολική πλευρά της εισόδου της ιστορικής κατασκευής.

Η Εικόνα 5 παρουσιάζει ένα τυπικό θερμογράφημα (θερμογραφία υπερύθρου) της εξωτερικής όψης της εισόδου. Ειδικότερα, η επισημασμένη περιοχή παρουσιάζει θερμοκρασίες από 25,8ºC έως 28,1ºC, δηλαδή διαφορά της ανώτερης από την κατώτερη θερμοκρασία πάνω από 2ºC. Οι διαφορές στη θερμοκρασία και κατά συνέπεια στη διαπνοή των αυθεντικών

ψαμμιτών, των ψαμμιτών που έχουν αποκατασταθεί με χρήση του κόκκινου – πορτοκαλί χρώματος επιχρίσματος, των ψαμμιτών που έχουν αποκατασταθεί με χρήση του μπεζ – καφέ επιχρίσματος και στο κονίαμα που βρίσκεται ανάμεσα στους ψαμμίτες, αποδίδονται τόσο στις διαφορές στη χημική και ορυκτολογική τους σύσταση, όσο και κυρίως στη διαφορά στη μικροδομή τους. Η διαφορά στη διαπερατότητα των υλικών από το νερό, εξηγεί την φυσικοχημική ασυμβατότητα μεταξύ τους. Αποτέλεσμα αυτής της ασυμβατότητας είναι η εμφάνιση διαφόρων μορφών φθοράς, που παρατηρούνται μακροσκοπικά, όπως η απώλεια αυθεντικού υλικού, μέσω της απόσπασης τμημάτων του ψαμμίτη.



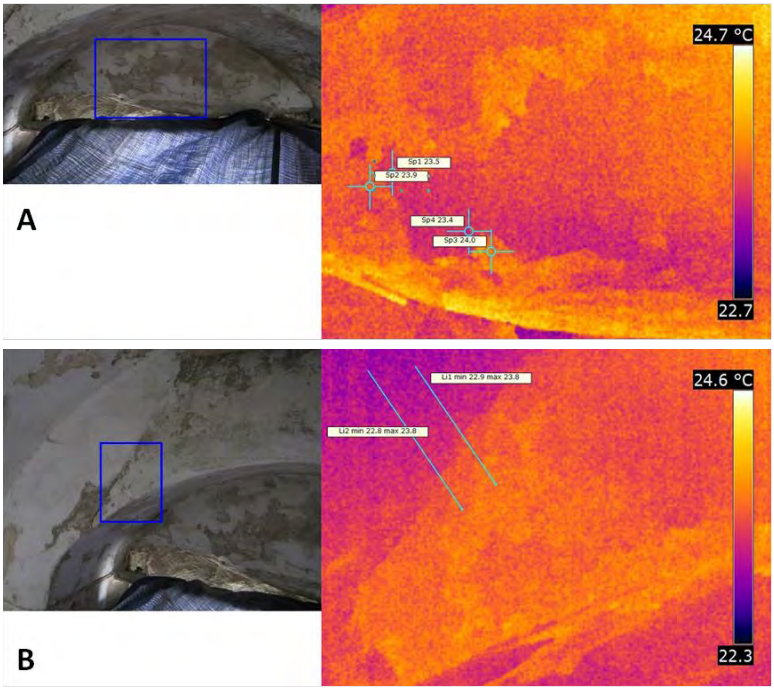
Εικόνα 5. Θερμογράφημα τμήματος της εξωτερικής όψης της εισόδου

Στο εσωτερικό (Εικόνα 6Α) η θερμογραφία υπερύθρου αποκαλύπτει διαφοροποίηση ψυχρών – θερμών περιοχών με σχεδόν πλήρης ταύτιση του σχήματος της περιοχής, όπου το επίχρισμα έχει αποφλοιωθεί, με το σχήμα των ψυχρών περιοχών. Στο θερμογράφημα της Εικόνας 6Β παρατηρείται

ότι το «μέτωπο» της υγρασίας διακόπτεται από την ασυνέχεια που δημιουργεί η ρωγμή και το θερμογράφημα χωρίζεται σε δύο περιοχές, οι οποίες παρουσιάζουν σημαντική διαφορά θερμοκρασίας.

Η εσωτερική δομή της τοιχοποιίας της πρόσοψης παρουσιάζεται στην εικόνα 7. Στη σάρωση γεωραντάρ V06 παρατηρούνται τρεις περιοχές: 0 – 2,3 ns, 2,3 – 4,5 ns και 4,5 – 7 ns, υποδεικνύοντας την ύπαρξη πολλαπλών στρώσεων στο εσωτερικό της τοιχοποιίας (οι πρώτες τρεις είναι ανιχνεύσιμες από τον ηλεκτρομαγνητικό παλμό του γεωραντάρ, προτού η ενέργειά του αποσβεστεί πλήρως), η εξωτερική εκ των οποίων είναι αυτή του ασβεστόλιθου. Η εκτός επιπέδου κάμψη της εξωτερικής στρώσης της τοιχοποιίας είναι εμφανής στη σάρωση V08, όπου και παρατηρείται μία διεπιφάνεια (αντιστοιχεί στην διεπιφάνεια της εξωτερικής στρώσης με αυτή της αμέσως επόμενης προς το εσωτερικό), η οποία μάλιστα εμφανίζεται σε μεγαλύτερα βάθη, όσο σαρώνονται τα πιο ψηλά σημεία της τοιχοποιίας.

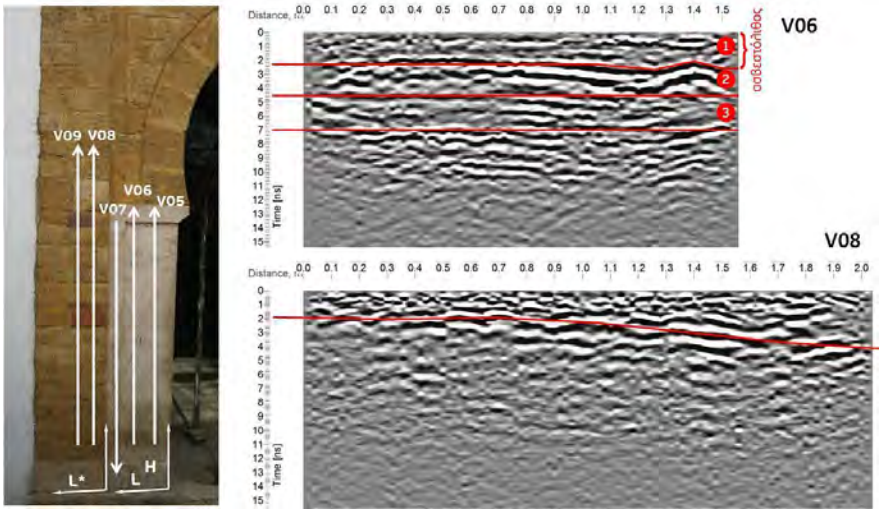
Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές



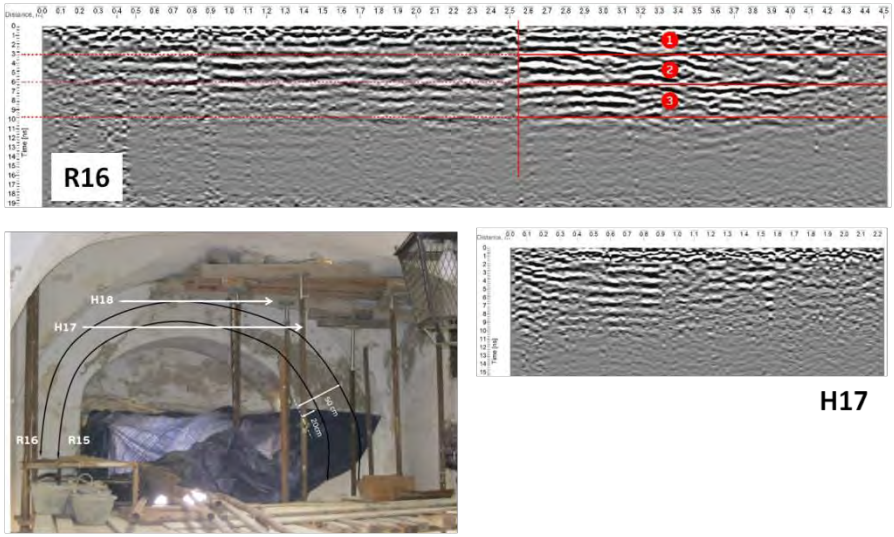
Εικόνα 6. Θερμογραφήματα του εσωτερικού της εισόδου: Α. Υπέρθυρο, Β. Περιοχή του φέροντος τόξου

Στο εσωτερικό της εισόδου, και ειδικότερα στην περιοχή του φέροντος τόξου πάνω από την θύρα εισόδου, πραγματοποιήθηκαν σαρώσεις με γεωραντάρ για αποτίμηση της κατάστασης του τόξου. Στην εικόνα 8, στην R16 είναι εμφανείς δύο περιοχές: στην αριστερή περιοχή της σάρωσης δεν υπάρχουν σημαντικές ανακλάσεις, ενώ στη δεξιά πλευρά διακρίνονται οι στρώσεις της τοιχοποιίας. Αυτό υποδηλώνει την παρουσία υγρασίας στο πρώτο μισό μήκος σάρωσης, που αντιστοιχεί στην ανατολική πλευρά του θόλου (η σάρωση R16 έχει πραγματοποιηθεί με φορά από τα δυτικά προς τα ανατολικά του τόξου). Αυτό επιβεβαιώνεται και στην σάρωση H17. Στη δεξιά περιοχή της σάρωσης R16, δηλαδή στη δυτική πλευρά του τόξου, διακρίνονται τρεις περιοχές: 0 – 3 ns, 3 – 6 ns και 6 – 9,8 ns. Αυτή η παρατήρηση οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η τοιχοποιία δεν είναι κατασκευασμένη από ένα υλικό, αλλά αποτελείται από διαδοχικές στρώσεις διαφορετικών υλικών, από τις οποίες φαίνονται οι τρεις.

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές



Εικόνα 7. Σάρωση με γεωραντάρ στην εξωτερική όψη της εισόδου



Εικόνα 8. Σάρωση με γεωραντάρ στην περιοχή του φέροντος τόξου

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Το γεγονός ότι υγρασία δεν μεταδίδεται από την ανατολική στη δυτική περιοχή του θόλου, μπορεί να ερμηνευτεί με βάση τα αποτελέσματα της IRT. Συγκεκριμένα, η ρωγμή αποτελεί ασυνέχεια, η οποία εμποδίζει τη διάδοση της υγρασίας. Επιπρόσθετα, η παρουσία της υγρασίας στην ανατολική πλευρά του τόξου μπορεί να δικαιολογηθεί καθώς υπάρχει βλάστηση στην ανατολική περιοχή της οροφής της καμάρας (ως αποτέλεσμα ρωγμών) που αποτελεί την πηγή της υγρασίας, η οποία και μεταφέρεται στο εσωτερικό, στην ανατολική πλευρά του τόξου.

Συμπεράσματα

Οι επι-τόπου χρήση μη-καταστρεπτικών τεχνικών στις εξωτερικές και εσωτερικές επιφάνειες των τοιχοποιιών της ιστορικής Πύλης του σουκ των σέσια, στη Μεδία της Τύνιδας, αποκάλυψε ότι τα κύρια προβλήματα είναι (α) η εκτός-επιπέδου παραμόρφωση της ανατολικής εξωτερικής όψης, (β) η μερική κατάρρευση του θόλου, (γ) οι διάφορες ρηγματώσεις που παρατηρούνται στο φέρον τόξο της εισόδου και στις τοιχοποιίες που υποστηρίζουν το τόξο, (δ) την σημαντική συγκέντρωση παραμένουσας υγρασίας στις τοιχοποιίες και την ανισότροπη της χωρική κατανομή, (ε) προηγούμενες ασύμβατες επεμβάσεις στην εξωτερική όψη της εισόδου που μεταβάλουν τα φαινόμενα μεταφοράς της υγρασίας. Υποδεικνύεται η ανάγκη άμεσων μέτρων προστασίας και διατήρησης της ιστορικής πύλης.

Ευχαριστίες

Οι επι-τόπου μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο του χρηματοδοτούμενου από το ENPI CBC (European Neighbourhood and Partnership Instrument – Cross–Border Cooperation) ερευνητικό πρόγραμμα με τίτλο MEDNETA MEDNETA - Mediterranean cultural

network to promote creativity in the arts, crafts and design for communities' regeneration in historical cities", υπό την αιγίδα Mediterranean Sea Basin Programme 2007/2013.

Βιβλιογραφία

1) Moropoulou, A., Labropoulos, K.C., Delegou, E.T., Karoglou, M., & Bakolas, A. (2013). NDTs as a tool for the protection of Built Cultural Heritage. Construction and Building Materials, 48, 1222-1239.
2) Binda, L., Lenzi, G., & Saisi, A. NDE of masonry structures: use of radar tests for the characterisation of stone masonries. NDT & E International, 31(6), 1998:411-419

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Crowdsourcing lost cultural heritage

E. K. Stathopoulou[a1], A. Georgopoulos[a], G. Panagiotopoulos[b], D. Kaliampakos[b]

[a] Lab. of Photogrammetry, School of Rural and Surveying Engineering, National Technical University of Athens –

15780 Zografou Athens, Greece – (elliestath,drag)@central.ntua.gr

[b] Lab. of Mining Engineering and Environmental Mining, School of Mining and Metallurgical Engineering, National Technical University of Athens – 15780 Zografou Athens, Greece – g.panag@metal.ntua.gr

ABSTRACT

Cultural heritage all over the world is at high risk. Natural and human activities endanger the current state of monuments and sites, whereas many of them have already been destroyed especially during the recent years. Preventive actions are of utmost importance for the protection of human memory and the prevention of irreplaceable. These actions may be carried out either in situ or virtually. Very often in situ preventive, protective or restoration actions are difficult or even impossible, as e.g. in cases of earthquakes, floods, fires or war activity. Digital preservation of cultural heritage is a challenging task within photogrammetry and computer vision communities, as efforts are taken to collect digital data, especially of the monuments that are already lost or being currently at high risk. To overcome the missing data problem, crowdsourced imagery is used to create a visual representation of those cultural heritage objects. Such digital representations may be 2D or 3D and definitely help to preserve the memory and history of the lost heritage. Sometimes they also assist in further studies or reconstruction purposes. An initiative to collect imagery

[1] Corresponding author

data from the public and create a visual 3D representation of the recently destroyed stone bridge of Plaka is being discussed in this study. To this end, a crowdsourcing platform has been designed and the first images collected have been processed with the use of Structure from Motion (SfM) algorithms.

Πολιτιστική κληρονομιά και πληθοπορισμός

Η πολιτιστική μας κληρονομιά κινδυνεύει σε διάφορες περιοχές του πλανήτη, λόγω φυσικών καταστροφών ή ανθροπογενών επεμβάσεων. Αρκετά από αυτά μάλιστα έχουν καταστραφεί κατά τα τελευταία χρόνια. Για την προστασία των μνημείων και την αποφυγή μη-αναστρέψιμων καταστάσεων είναι πολύ σημαντικό να οργανωθούν δράσεις προστασίας είτε μέσω επισκέψεων στο πεδίο ή εικονικά μέσω της χρήσεως υπολογιστών. Πολύ συχνά είναι δύσκολη ή ακόμα και αδύνατη η επί τόπου μελέτη και αποκατάσταση του μνημείου όταν αυτό έχει ήδη χαθεί όπως για παράδειγμα στην περίπτωση σεισμών, πυρκαγιών ή επιθέσεων πολέμου. Η ψηφιοποίηση και συνεπώς διατήρηση της πολιτιστικής μας κληρονομιάς αποτελεί πρόκληση στις επιστημονικές κοινότητες της φωτογραμμετρίας και της όρασης υπολογιστών, με αποτέλεσμα τα τελευταία χρόνια να γίνονται προσπάθειες για τη συλλογή δεδομένων, ειδικά για μνημεία που βρίσκονται σε ζώνες υψηλού κινδύνου. Για να ξεπεραστεί το πρόβλημα των μη υπάρχοντων δεδομένων, χρησιμοποιούνται εικόνες που έχουν συλλεχθεί με τη διαδικασία του πληθοπορισμού (crowdsourcing) για να δημιουργηθεί μια εικονική αναπαράσταση των κατεστραμένων αντικειμένων πολιτιστικής κληρονομιάς. Μια τέτοια ψηφιακή αναπαράσταση μπορεί να είναι δισδιάστατη (2Δ) ή τρισδιάστατη (3Δ) και διασφαλίζει τη διατήρηση της μνήμης και της ιστορίας των αντικειμένων αυτών. Οι αναπαραστάσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν μάλιστα ως βάση για την περαιτέρω μελέτη ή ακόμα και ανακατασκευή του μνημείου. Η παρούσα μελέτη παρουσιάζει μια πρωτοβουλία του Εθνικού Μετσοβείου Πολυτεχνείου να συλλεχθεί εικονιστική πληροφορία από το ευρύ κοινό και να δημιουργηθεί μια εικονική 3Δ αναπαράσταση της προσφάτως κατεστραμένης πέτρινης Γέφυρας της Πλάκας. Για αυτό το σκοπό, δημιουργήθηκε μια πλατφόρφα

πληθοπορισμού και τα δεδομένα που συλλέχθηκαν ως τώρα υπέστησαν επεξεργασία με τη χρήση αλγορίθμων Structure from Motion (SfM).

INTRODUCTION

Common image-based 3D modelling of the current state of a monument requires field data acquisition. Surveying, photogrammetry and laser scanning techniques can be combined to produce a full and accurate 3D model of the object. Such approaches cannot be applied in cases of sudden loss of cultural heritage objects due to a number of reasons such as fire, earthquakes, floods, looting, armed conflict, terrorism, attacks etc.

Standard photogrammetric or modern automated SfM (structure from motion) and MVS (multi-view stereo) algorithms make use of an object's images to reconstruct it in the 3D space (Ullman, 1979; Szeliski, 2010). The lack of images or other surveying data in lost cultural heritage objects has led to the use of random, unordered images acquired from the web. State of the art SfM algorithms are robust enough and deal sufficiently with such cases of extreme diversity among image content. SfM and MVS algorithms rely on accurate detection, extraction, description and matching of image features. This type of pipeline has developed immensely during the last years. A variety of studies have worked towards this direction developing efficient software. Photo Tourism is a navigation and exploitation interface that creates sparse 3D point clouds using random images collected from the web (Snavely et al, 2006). A few years later, another study continued working with web-retrieved images and overcame the problem of handling very large datasets (e.g. city photo collections) by using multi-core programming (Agarwal et al., 2011). Subsequent publications further extend the existing MVS algorithms to create dense point clouds implementing patch based methods and clustering (PMVS, Furukawa et al., 2010) or semi-global matching (SURE, Rothermel et al., 2011). Several GUI applications have been developed based on these algorithms and other tools, such as VisualSfM (Wu et al., 2011; Wu, 2013). Commercial 3D modelling software like Agisoft Photoscan, Acute3D and Pix4D is also powerful enough and widely used in the field of cultural heritage. 3D modelling web services such as Photosynth, Arc3D or 123DCatch are also available, where the user acquires overlapping images of the object, uploads them on a remote server and finally a 3D model is derived and returned to the user.

A variety of arched stone bridges exist in the Balkan area, built mainly in the 18th and 19th centuries or even earlier. Just in the Epirus region in northwestern Greece there are more than 250 magnificent examples of such historic structures spanning over the rivers and streams and bridging them

with one to four arches. Such structures were built for pedestrian and animal passage, as the rivers did not allow easy crossing, especially during winter (Leftheris et al., 2006). In the pre-industrial era, the main structural material in the Balkan region was the local stone. In Epirus, limestone and wood was commonly used by specialized technicians for such purposes. Stone bridges constituted a wide trail network for communication and transportation in the whole Balkan area. The stone bridge of Plaka over river Arachthos was a representative example of the aforementioned monuments. It was built in 1866 by local Greek stonemasons in order to facilitate transportation and trade needs. It was the widest stone bridge in the area of Epirus with 40 meter span and the biggest single-arch bridge in the Balkans with a height of 20 meters (Figure 1). Next to the main arch, there were two smaller ones 6 meters wide, the so-called relief arches.

Figure 1. Plaka stone bridge.

Apart from its significant size and age, the stone bridge of Plaka was a renowned stone bridge in Greece because of its emblematic historic meaning. Firstly, it was the border between free Greece and the occupied part of Greece by the Ottoman Empire between 1881 and 1912. During World War II the bridge was bombed by the German army with partial damages. At the same period, representatives of the various armed groups of Greek Resistance signed the Treaty of Plaka on this very bridge. A finite element analysis (static and dynamic) of Plaka bridge was carried out by Leftheris et al., (2006), investigating the deformations, the movements and mentioning the risks from possible earthquakes.

On the 1st of February 2015, the central section of the bridge's unique arch collapsed due to extreme weather conditions namely massive flash floods caused on by prolonged heavy rainfall. Most of the collapsed parts, especially some of the massive ones, lie in the river area near the abutments that remain intact (Figure 2). The National Technical University of Athens has immediately initiated voluntary actions to aid in the eventual reconstruction of the stone bridge. In this project an interdisciplinary group of scientists and engineers will contribute, such as architects, civil

engineers, surveyors, photogrammetry engineers, computer scientists, material engineers etc. The exact reasons that led to the destruction are currently under investigation in order to take the right measures to protect other similar stone bridges equally endangered.

Figure 2. The remains of the bridge after destruction

The type of eventual reconstruction in the current study is under discussion. Before the implementation of any actions, a thorough geometric documentation is necessary, as clearly dictated by the Venice Charter (1964). For that purpose the Laboratories of Photogrammetry and General Geodesy undertook two tasks (a) to produce digital three dimensional drawings from a documentation study conducted in 1984 using traditional surveying techniques (Karakosta et al., 1984) and (b) to produce a textured three dimensional model of the Plaka Stone Bridge in order to geometrically document its shape and size before the collapse. This 3D model would be produced from existing images taken by visitors of the bridge over the years. These documentation products will form the basis for any eventual reconstruction study. Unfortunately, no earlier photogrammetric documentation is known to exist so far.

RELATED WORK

A variety of recent studies are examining the creation of 3D models of cultural heritage objects and sites with the use of SfM algorithms

(Remondino et al., 2012; Kersten and Lindstaedt, 2012; Barsanti and Guidi, 2013; Santagati et al., 2013). However, few projects, many of them EU funded, make use of data available in the web for such a purpose. Some recent studies are dealing with the 4D (space-time) virtual reconstruction of Cultural Heritage objects using web-retrieved images (Kyriakaki et al., 2014; Santos et al. 2014; Makantasis et al., 2014). An approach for diachronic virtual reconstruction of lost heritage based on historical information integrated with real metric data of the remains was proposed by Guidi et al., (2011). HeritageTogether project is an initiative that creates 3D models and metadata of standing stones, cairns and other heritage sites of Wales aiming to engage the local community in recording prehistoric heritage and providing freely accessible data (Karl et al., 2014). An online photogrammetry tool was developed, the public is asked to explore the sites, capture appropriate photos and upload them to the server.

CROWDSOURCING

For image-based virtual reconstruction many images from different points of view are required. As already implemented in similar cases in the past, the contribution of people that have visited the area for tourism or other reasons and have taken pictures was sought (Oomen & Aroyo, 2011). However, this time a metric product was produced with the use of previous study's results (Karakosta et al., 1984).

The stone bridge of Plaka is a significant monument within the area of Epirus, lacks however recognition in the rest of Greece compared to other cultural heritage sites. Therefore, fewer visitors have explored the area and photographed the monument, especially in the digital imaging era. Thus, searching by keywords and other location based queries in the web search engines returns few results and most of them are uploaded in low resolution. Wrong or inaccurate labelling is also a challenge. Radiometric low quality or post-processed imagery (compression, filters etc.) often results in such queries, prohibiting their use for reliable 3D modelling.

Crowdsourcing has become a very popular tool to acquire image and geographic content, among other data (Goodchild 2007, Sylaiou et al. 2013). A system is defined as a crowdsourcing one, "if it enlists a crowd of

humans to help solve a problem defined by the system owners" (Doan et al., 2011). In this case study, crowdsourcing serves as a method to acquire the large number of images (or videos) needed for the project as well as to guide the potential contributors according to the needs (e.g. specific viewpoints needed). The key aspects of the project concerning crowdsourcing information can be summarized as follows:

- The project has a time limit
- The contribution of the users is of one type of content, i.e. images or video sequences.
- Special information (metadata) about the viewpoint of the images, the equipment used or the time taken could be useful.

To provide a suitable framework for the above, a website has been developed using the Drupal CMS (http://gefyri-plakas.ntua.gr/) (Figures 3, 4). Drupal is a Content Management System (CMS) with proper functions for community websites and has been used for educational and research crowdsourcing purposes (Kaliampakos et al., 2015; Munoz-Torres et al., 2011). More specifically, the website developed includes five sections: (a) a news and announcements page, (b) a general info page, (c) a submit content (images) page, (d) a submit page for volunteers and (e) a blog page. To collect the images, the "submit images" page is the only section utilized, since it also provides the required information to the contributors. The submission form for the users is fairly simple. It only requires a short description of the images, the actual image files to be uploaded and an optional extended description. Furthermore, the submit form is available to the anonymous users, since there is no need for any sort of authentication. Anonymous contribution, without any form of evaluation, could be a serious issue in crowdsourcing, however it is not posing an obstacle for the purposes of this project. The content (images) analysis can only be performed by the experts with the right tools available. A primitive sorting of the images related to their type, size, date taken, etc. could be done by software with no intervention from the user or the analyst. Since video files are relatively large in size, alternate methods were also selected to acquire them (after contact with the contributor), in order to avoid complications or

user discomfort with the upload procedure. Moreover, the short time frame means a smaller amount of spamming attacks from internet bots. Hence, authentication or a more systematic form was avoided to decrease the load for the users and increase their willingness to contribute, without resulting to additional effort for the researchers.

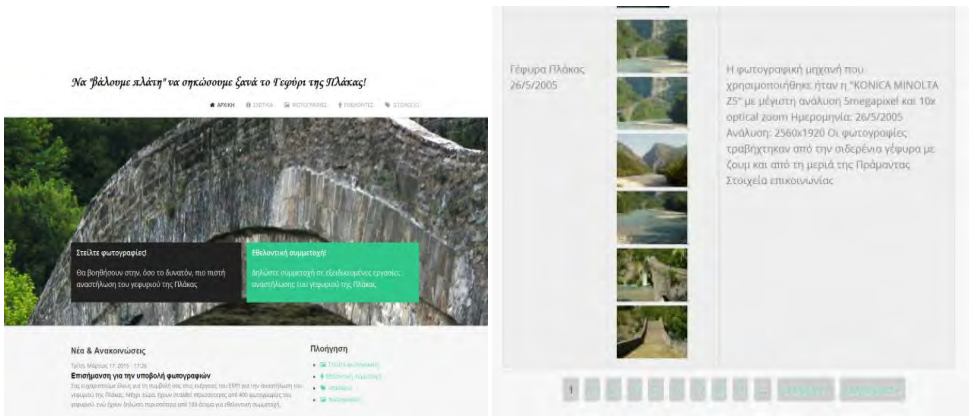


Figure 3, 4. Home page of the webpage and image submission example.

Within the first month of its operation the website has been visited around 2800 times (Table 1). More than 470 images were uploaded to the platform during these sessions by more than 130 contributors. Apart from the uploaded content, approximately 200 images and 15 videos were collected through other means, mainly by ordinary mail delivery, by contacting the contributors.

Table 1: Statistical data during the first month.

approx. no. of visits	2800
image uploads	470
approx. no. contributors	130
data by other means (CD, DVD etc.)	200

METHODOLOGY AND RESULTS

The majority of the collected images are generally of high resolution, acceptably focused and without immense perspective or optical distortions. Nevertheless, in crowdsourcing applications the data may not meet the requirements of the scope for which they were collected. In this case study the authors have had to cope with some special challenges. A great percentage of the images were acquired from a viewpoint very close to the object and cannot, thus, be registered to the rest using the available algorithms. Large illumination variations due to natural light (bright sunshine, clouds, shadows, dusk light etc.) appear in several photos. Apart from that, the images that are suitable for the specific purpose of the project show significant variations on the bridge's surface due to seasonal effects. During summer months the stones are dry, in winter they appear darker and wet, with black grey crust and growing grass, thus complicating the location of point correspondences. Trees and other natural or human obstacles hinder important information. The geometry of the bridge, which is almost symmetrical, makes it difficult to distinguish between the north and the south façade. The majority of the collected photos were taken facing upstream and mainly from the east riverside due to landscape inaccessibility (Figure 5). This causes gaps and difficulties for the algorithm to converge to a stable geometry. After a thorough and careful sorting, it was established that less than 60 images fulfil the needs of the project in terms of viewpoint, image resolution, lighting conditions, occlusions etc., which corresponds to 10% of the total contributions.

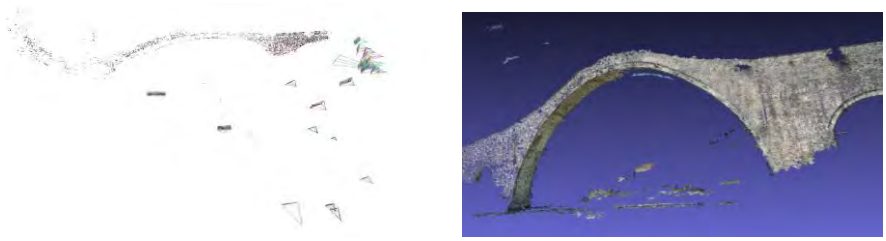


Figure 5, 6. Viewpoint distribution. Dense point cloud after PMVS software (VisualSfM) – 51 images.

The selected data have been processed using commercial as well as free software. VisualSfM is a free GUI application for 3D reconstruction that implements SfM and PMVS along with other tools (Wu et al., 2011; Wu, 2013; Furukawa et al., 2010). In our case study, the dense point cloud was produced by 51 images (Figure 6).

In order to improve the results, a masking procedure was applied on the images while processed in Agisoft PhotoScan. Therefore, background elements that are subjected to temporal changes and obstacles (people, trees, mountains, sky etc.) have been excluded during photo alignment. This results to less noisy dense point clouds (Figure 7). A mesh has also been created out of this dense point cloud, followed by the texturing procedure (Figure 8).

Figure 7, 8. Dense point cloud produced in Agisoft PhotoScan – 56 images. A view of the textured mesh created in Agisoft PhotoScan.

The final model was integrated with the existing 3D surveying measurements of 1984 (Karakosta et al., 1984) in order to constrain its scale and accurately document the geometry of the bridge as it was before the collapse.

CONCLUSIONS

The progress so far of an on-going project that aims to produce 3D textured models of the stone bridge of Plaka that suffered sudden loss has been presented. As data for a complete 3D reconstruction do not exist, a 3D representation of the bridge using crowdsourced images is the only way to preserve the memory and help towards its eventual reconstruction. A crowdsourcing platform has been designed and commercial as well as free 3D reconstruction software has been used to this end. Preliminary results demonstrate the robustness of the state of the art algorithms that are able to register together images of high diversity and create usable 3D models. These preliminary models may not be complete yet, but serve adequately as a base for future work, visualisation and educational purposes. It is also estimated that further exploitation of more images uploaded will result to a usable geometric documentation record for the eventual reconstruction.

ACKNOWLEDGEMENTS

This project has received funding from the European Union's Seventh Framework Programme for research, technological development and demonstration under grant agreement no 608013, titled "ITN-DCH: Initial Training Network for Digital Cultural Heritage: Projecting our Past to the Future."

Η παρούσα εργασία δημοσιεύτηκε στο διεθνές επιστημονικό συνέδριο CIPA 2015 International Symposium που πραγματοποιήθηκε στην Ταϊπέι κατά το διάστημα 31 Αυγούστου- 4 Σεπτεμβρίου 2015. http://www.isprs-ann-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/II-5-W3/295/2015/isprsannals-II-5-W3-295-2015.pdf

REFERENCES

1. Agarwal, S., Furukawa, Y., Snavely, N., Simon, I., Curless, B., Seitz, S. M., Szeliski, R. (2011). Building Rome in a day. *Communications of the ACM*, 54(10), 105-112.
2. Barsanti, S. G., Guidi, G. (2013). 3D digitization of museum content within the 3D-ICONS project. *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci*, II-5 W, 1, 151-156.
3. Doan, A., Ramakrishnan, R., Halevy, A. Y. (2011). Crowdsourcing systems on the world-wide web. *Communications of the ACM*, 54, 86-96.
4. Furukawa, Y., Ponce, J. (2010). Accurate, dense, and robust multiview stereopsis. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, 32(8), 1362-1376.
5. Furukawa, Y., Curless, B., Seitz, S. M., Szeliski, R. (2010). Towards internet-scale multi-view stereo. In *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2010 IEEE Conference on* (pp. 1434-1441). IEEE.

6. Goodchild, M., 2007. Citizens as Sensors: The World of Volunteered Geography. *Geo Journal* 69, pp. 211-221.
7. Guidi, G., Russo, M. (2011). Diachronic 3D reconstruction for lost Cultural Heritage. *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 3816, 371-376.
8. Kaliampakos, D., Benardos, A., Mavrikos, A., Panagiotopoulos, G. (2015). The Underground Atlas Project. *Tunnelling and Underground Space Technology*, (accepted for Publication).
9. Karakosta, E., Papanagiotou, B., Tragaris, N., Chatzigeorgiou, Th., Arampatzi, O., Doggouris, S., Mpalodimos, D-D., (1984). Plaka Bridge: Survey- Check for vertical deformations, Diploma Thesis, National Technical University of Athens.
10. Karl, R., Roberts, J., Wilson, A., Möller, K., Miles, H. C., Edwards, B., Tiddeman, B., Labrosse, F., Trobe-Bateman, E. L. (2014). Picture This! Community-Led Production of Alternative Views of the Heritage of Gwynedd. *Journal of Community Archaeology & Heritage*, 1(1), 23-36.
11. Kersten, T. P., Lindstaedt, M. (2012). Image-based low-cost systems for automatic 3D recording and modelling of archaeological finds and objects. In *Progress in cultural heritage preservation* (pp. 1-10). Springer Berlin Heidelberg.
12. Kyriakaki, G., Doulamis, A., Doulamis, N., Ioannides, M., Makantasis, K., Protopapadakis, E., Hadjiprocopis, A., Wenzel, K., Fritsch, D., Klein, M., Weinlinger, G. (2014). 4D Reconstruction of Tangible Cultural Heritage Objects from Web-Retrieved Images. *International Journal of Heritage in the Digital Era*, *3*(2), 431-452.
13. Leftheris, B.P., Stavroulaki, M.E., Sapounaki, A.C., Stavroulakis, G.E., (2006). *Computational Mechanics for Heritage Structures*, WIT Press, Southampton.
14. Makantasis, K., Doulamis, A., Doulamis, N., Ioannides, M., & Matsatsinis, N. (2014). Content-Based Filtering for Fast 3D Reconstruction from Unstructured Web-Based Image Data. In *Digital Heritage. Progress in Cultural Heritage: Documentation, Preservation, and Protection* (pp. 91-101). Springer International Publishing.
15. Munoz-Torres, M. C., Reese, J. T., Childers, C. P., Bennett, A. K., Sundaram, J. P., Childs, K. L., Anzola, J. M., Milshina, N., Elsik, C. G. (2011). Hymenoptera Genome Database: integrated community resources for insect species of the order Hymenoptera. *Nucleic acids research*, 39, D658-D662.

16. Oomen, J., & Aroyo, L. (2011). Crowdsourcing in the Cultural Heritage Domain: Opportunities and Challenges. In: *Proceedings of the 5th International Conference on Communities and Technologies. 19 June - 2 July, Brisbane (Australia).*
17. Remondino, F., Del Pizzo, S., Kersten, T. P., Troisi, S. (2012). Low-cost and open-source solutions for automated image orientation–A critical overview. In *Progress in cultural heritage preservation* (pp. 40-54). Springer Berlin Heidelberg.
18. Rothermel, M., Wenzel, K., Fritsch, D., & Haala, N. (2012, December). Sure: Photogrammetric surface reconstruction from imagery. In *Proceedings LC3D Workshop, Berlin* (pp. 1-9).
19. Santagati, C., Inzerillo, L., Di Paola, F. (2013). Image-based modeling techniques for architectural heritage 3D digitalization: Limits and potentialities. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 5(w2), 555-560.
20. Santos, P., Serna, S. P., Stork, A., Fellner, D. (2014). The Potential of 3D Internet in the Cultural Heritage Domain. In *3D Research Challenges in Cultural Heritage* (pp. 1-17). Springer Berlin Heidelberg.
21. Snavely, N., Seitz, S. M., & Szeliski, R. (2006, July). Photo tourism: exploring photo collections in 3D. *In ACM transactions on graphics (TOG)* (Vol. 25, No. 3, pp. 835-846). ACM.
22. Sylaiou, S., Basiouka, S., Patias, P., & Stylianidis, E. (2013). The volunteered geographic information in archaeology. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 301-306.
23. Szeliski, R. (2010). *Computer vision: algorithms and applications*. Springer Science & Business Media.
24. Ullman, S. (1979). The interpretation of structure from motion. *Proceedings of the Royal Society of London*, B-203:405–426.
25. Waldhäusl, P., Ogleby, C. L. (1994). 3 x 3 rules for simple photogrammetric documentation of architecture. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 30, 426-429.
26. Wu, C. (2013, June). Towards linear-time incremental structure from motion. In *3D Vision-3DV 2013*, 2013 *International Conference on* (pp. 127-134). IEEE.
27. Wu, C., Agarwal, S., Curless, B., Seitz, S. M. (2011, June). Multicore bundle adjustment. In *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2011 IEEE Conference on* (pp. 3057-3064). IEEE.

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

Keratin and collagen polypeptide models as a means for assessing the deterioration of organic materials of cultural heritage

E. Fotou[1], E. Panou-Pomonis[1], E. Ioakeimoglou[2], K. Malea[2], G. Panagiaris[2], M. Sakarellos-Daitsiotis[1]

[1]Section of Organic Chemistry and Biochemistry, University of Ioannina
[2]Department of Conservation of Antiquities and Works of Art, T.E.I of Athens

Introduction

The effects of global climate change through air pollution, extreme values and fluctuations in temperature and humidity, solar radiation and various microorganisms present in museums, favor almost the complete protein decomposition of organic materials of animal and plant origin. Therefore, for maintainers of art and relics is vital to find new maintenance and storage conditions designed to maintain and preserve the cultural heritage of every nation.

An important area of application of collagen and keratin, is their use as proteins in organic materials such as bone, horn, vellum woolen fabric, paper, wood, cotton, etc. Decay of the above materials is mainly based on oxidation and hydrolysis procedures, resulting to degradation.

Our study is focused on the development of a reliable and reproducible immunoassay for the evaluation of collagen and keratin-based decay of organic materials constituting natural and cultural heritage. For this purpose, were designed, synthesized and studied by the immunological technique ELISA the following keratin and collagen models:

- the polypeptide model $[Pro\text{-}Ser(OBzl)\text{-}Gly]_n$, based on the characteristic repetitve motif $(Pro\text{-}X\text{-}Gly)_n$ encountered to collagen
- the polypeptide model $[Pro\text{-}Cys(Acm)\text{-}Gly]_n$, based on the characteristic repetitve motif $(Pro\text{-}Cys\text{-}X)_n$ encountered to C-terminal part of type I keratin and
- the polypeptide model Ac-YRSGGGFGYRSGGGFGYRS-βAla-NH_2, based on the characteristic repetitve motif GGGFGYRS encountered to N-terminal part of type II keratin.

The above keratin and collagen models were used for immunization of laboratory animals to develop specific antibodies against the polypeptide

models. The produced anti-collagen and anti-keratin, as well as commercial anti-collagen Type I and antibodies occurring at N-terminal, C-terminal and central portion of keratin, were used for the immunochemical detection of decay natural (real museum conditions) and artificial (known relative humidity, temperature, NO_2, SO_2) aged samples of bone, parchment and wool.

It is expected, that as the absorption against antibodies of synthetic peptides increases, as the deterioration of naturally and artificially aged samples augments due to the occurrence of hydrolized parts of the original proteins. On the contrary, the absorption against commercial collagen and keratin antibodies increases, as the deterioration of collagen and keratin-based materials decreases indicating low protein (collagen, keratin) degradation. Therefore the combined application of antibodies against the synthetic peptides and their protein of origin could be a valuable tool for the evaluation of the deterioration of organic materials of cultural heritage

Results and discussion

The first two sequential polypeptides were synthesized on 2-chlorotrityl-chloride resin (1.49 mmol Cl^-/gr) and after cleavage from the resin (with the mixture CH_3COOH/TFE/DCM 2/2/6 v/v), the Boc-Pro-X-Gly-OH [where X=Cys(Acm) and Ser(OBzl)] was transformed in an active pentachlorophenyl ester Boc-Pro-X-Gly-OPCp in solution. The obtained product was polymerized, after cleavage of the Boc- group, with DMF in triethylamine.

The polypeptide Ac-YRSGGGFGYRSGGGFGYRS-βAla-NH_2 was synthesized on a Rink Amide AM resin (0.37mmol/g) using the Fmoc/tBu methodology. The coupling reactions were performed using a molar ratio of amino acid/HBTU/HOBt/DIEA/resin 3/3/3/6/1. All residues were introduced as Fmoc-protected amino acids. Fmoc- groups were removed using 20% piperidine in DMF. Completion of the coupling reactions was confirmed by the use of ninhydrin test Kaiser. After the introduction of the last amino acid, the N-terminal part of the peptide was acetylated. Cleavage of the peptide from the resin, as well as all the protective groups, was carried out with the mixture TFA/Tis/H_2O 95/2.5/2.5 v/v. The purity of the peptide was checked by analytical HPLC and the correct molecular mass was confirmed by ESI-MS.

The reported polypeptides were immunized to New Zealand white rabbits. The animals received, firstly, an injection of 1.5mg of peptide in 750μl H_2O and 750μl Complete Freund's adjuvant and then repeated

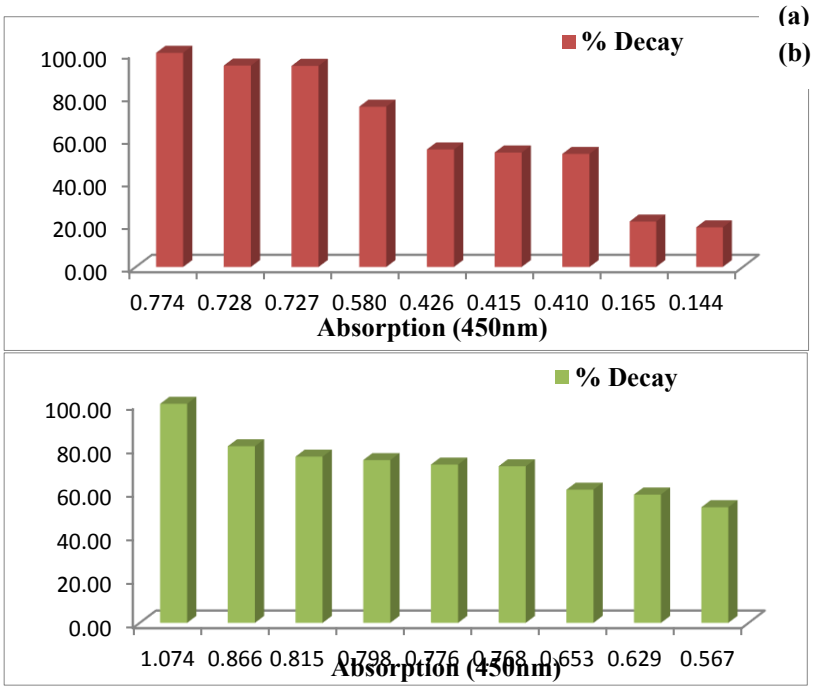
injections of 0.75mg of peptide in 750μl H_2O and 750μl Incomplete Freund's adjuvant. Blood was collected from the ear of the animals 7 days after each injection. The collected sera of the rabbits were tested for the presence of antibodies against the polypeptides by ELISA. It was found that the obtained sera recognize the polypeptides used for the immunizations.

Keratin extraction from naturally aged samples of 4mg of wool, was carried out in solution with 5N NaOH at 65ºC, followed by pH adjustment to 9.5with CH_3COOH.

Collagen extraction from naturally aged samples of 1.4mg of parchment, was carried out in solution with 5N HCl at 50ºC, followed by pH adjustment to 9.5 with NaOH.

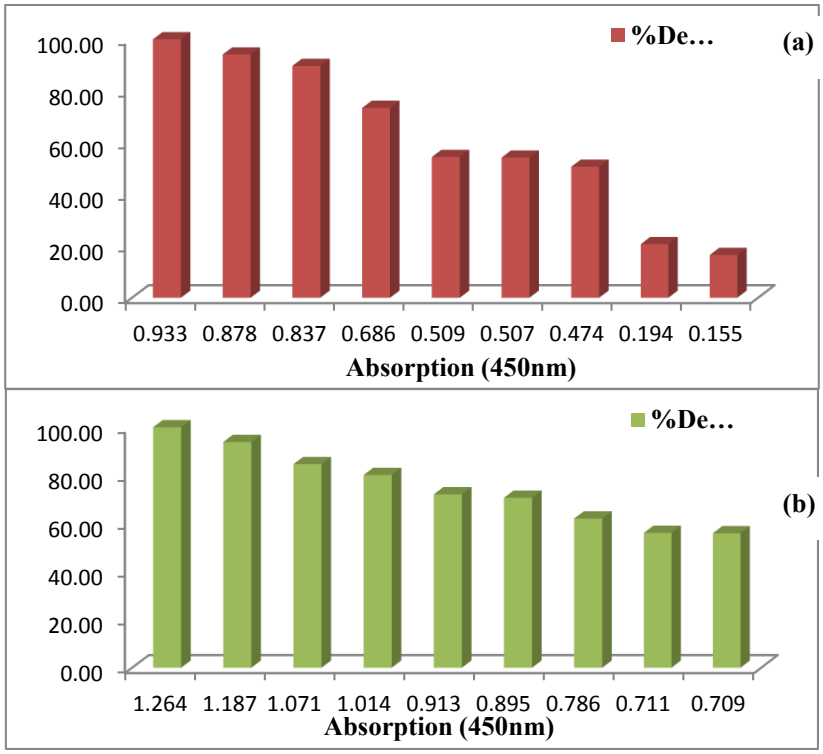
Collagen extraction from artificially aged samples of 1.5mg of bone, was carried out in solution with 5N HCl at 50ºC, followed by pH adjustment to 9.5 with NaOH.

The immunological detection of the deterioration of keratin and collagen from natural and artificial aged samples was held with non competitive ELISA.

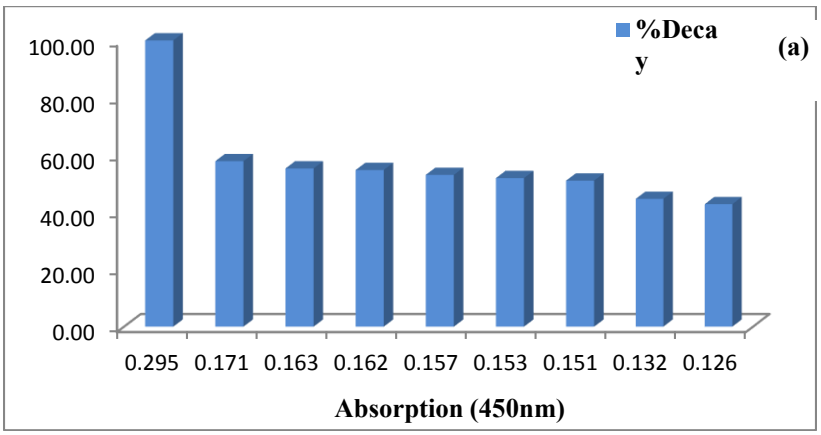


Scheme 1. Percentage decay of naturally aged samples of wool versus absorption (a) into showcase and (b) out showcase against anti-Ac-YRSGGGFGYRSGGGFGYRS-βAla-NH_2 antibodies.

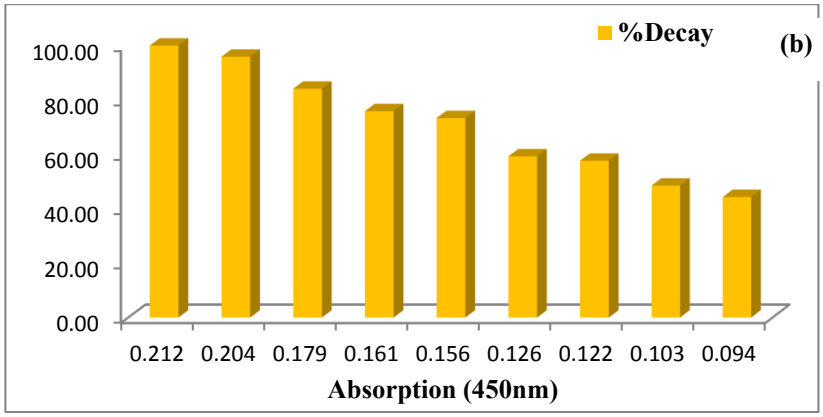
Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές



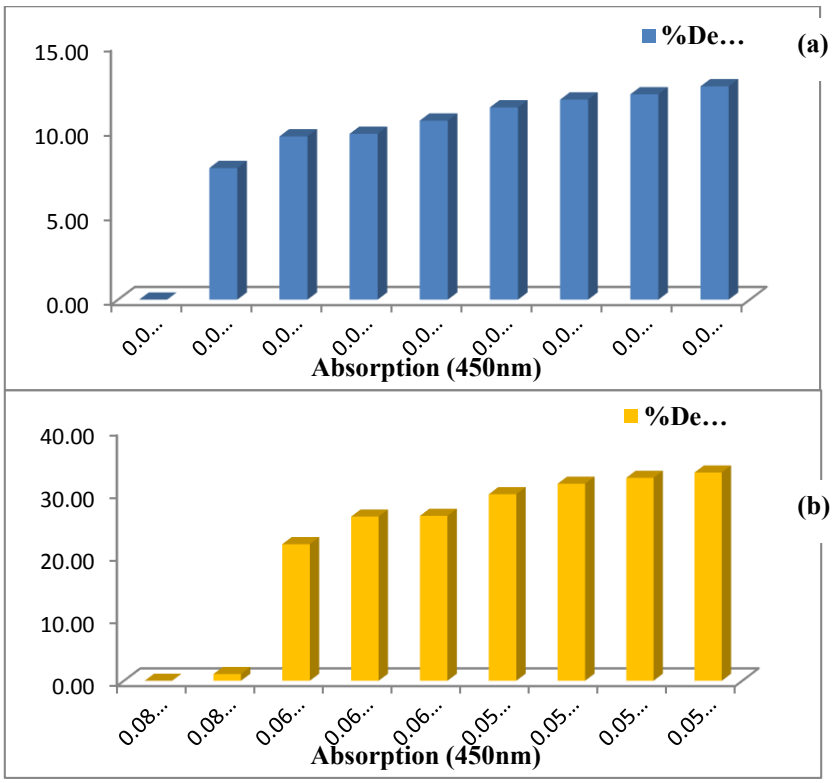
Scheme 2. Percentage decay of naturally aged samples of wool versus absorption (a) into showcase and (b) out showcase against anti-[Pro-Cys(Acm)-Gly]$_n$ antibodies.



Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές

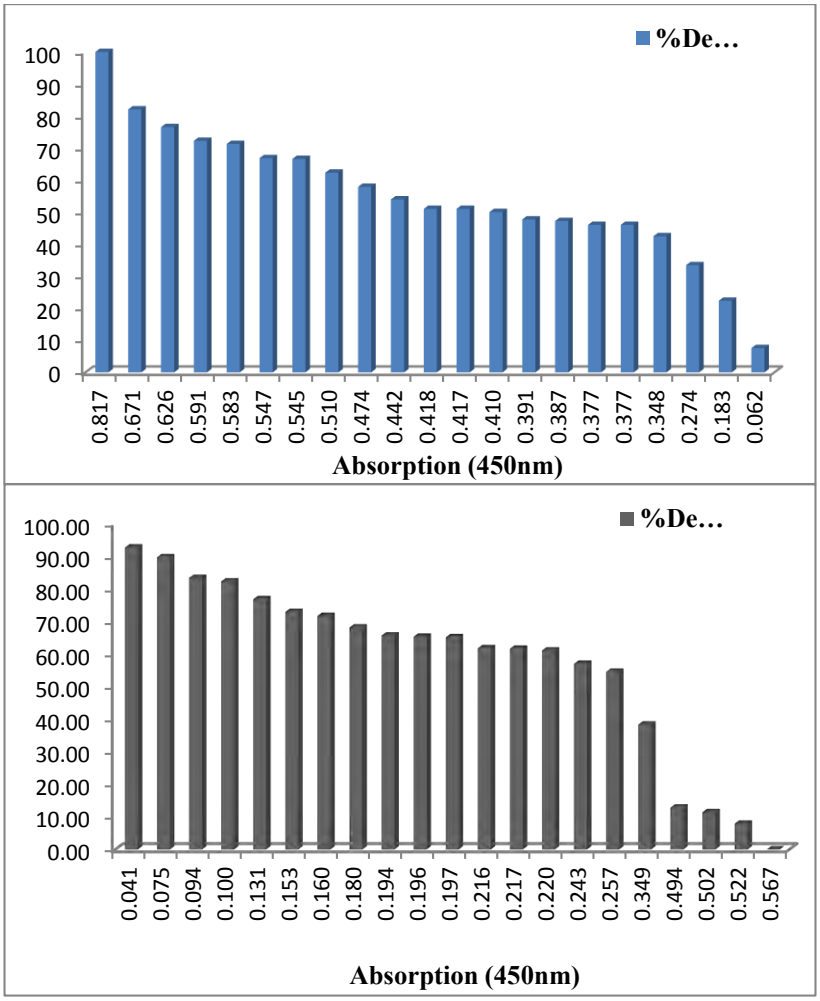


Scheme 3. Percentage decay of naturally aged samples of parchment versus absorption (a) into showcase and (b) out showcase against anti-[Pro-Ser(OBzl)-Gly]$_n$ antibodies.



Scheme 4. Percentage decay of naturally aged samples of parchment versus absorption (a) into showcase and (b) out showcase against anti-collagen antibodies.

Τεκμηρίωση-Διάγνωση φθοράς, παθολογίας και βλαβών σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές



Scheme 5. Percentage decay of artificially aged samples of bone versus absorption (a) against anti-[Pro-Ser(OBzl)-Gly]$_n$ antibodies (b) against anti-collagen antibodies.

Conclusions

Our study indicates that the combined application of artificial antibodies (i) against peptide model, which correspond to fragments of the original proteins (collagen and keratin) and (ii) against collagen and keratin, can give information about the extent of deterioration and consequently the urgent preservation of our cultural heritage.

According to this work, given the opportunity to develop new standard reference curves to estimate the damage protein organic materials,

with a view to setting and achieving necessary environmental conditions for preventive maintenance and storage of these materials in museums, libraries etc.

Acknowledgements

This study is supported by THALIS Program NSRF 2007-2013: "Investigation of the Environmental Factors effects on Organic Materials constituting the Natural and Cultural Heritage (INVENVORG)".

References

[1] Zevgiti, S., Sakarellos, C., Sakarellos-Daitsiotis, M., Ioakeimoglou, E., Panou-Pomonis, E., "Collagen models as a probe in the decay of works of art:synthesis, conformation and immunological studies", *J. of Peptide Science*, 13 (2007) 121-127.

[2] Fotou, E., Zevgiti, S., Panou-Pomonis, E., Panagiaris, G., Sakarellos-Daitsiotis, M. "Keratin and collagen models as a tool in the deterioration of works of art", 32nd European Peptide Symposium, eds Kokotos, G., Constantinou-Kokotou, V., Matsoukas, J., Athens Greece (2012) 660-661.

[3] Fotou, E., Moussis, V., Panou-Pomonis, E., Panagiaris, G., Sakarellos-Daitsiotis, M. "Keratin and collagen polypeptide models as a means for assessing the deterioration of organic materials of cultural heritage", 33rd European Peptide Symposium, eds Naydenova, E., Pajpanova, T., Sofia Bulgaria (2014).

Νέα προηγμένα υλικά, τεχνολογίες και επεμβάσεις αποκατάστασης

Τροποποιημένα πυριτικά νάνο-υλικά για τη στερέωση πορωδών λίθων

Ε. Ξυνοπούλου, Α. Μπακόλας, Α. Μοροπούλου

Τομέας Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 157 80 Αθήνα

Περιληψη

Η παρασκευή τροποποιημένων σύνθετων υλικών πυριτικής βάσης για τη στερέωση πορωδών λίθων έχει αποτελέσει αντικείμενο επιστημονικών μελετών, με στόχο την αντιμετώπιση των συχνά αναφερόμενων μειονεκτημάτων που παρουσιάζουν τα χρησιμοποιούμενα πυριτικά υλικά. Η προσθήκη διασπορών νάνο-σωματιδίων σε πυριτική μήτρα έχει διαπιστωθεί πως ενισχύει την αποτελεσματικότητά των εν λόγω υλικών, βελτιώνοντας τις ιδιότητες και την ιξωδοελαστική τους συμπεριφορά. Η παρούσα μελέτη περιλαμβάνει την παρασκευή τροποποιημένων σωματιδιακών σύνθετων στερεωτικών υλικών (Particle Modified Consolidants – PMC), αποτελούμενων από πυριτική βάση (TEOS) στην οποία εισάγονται κολλοειδείς διασπορές νανοσωματιδίων τιτανίας και πυριτίας και στη συνέχεια, την εφαρμογή τους σε δύο τύπους πορωδών δομικών λίθων. Οι συνθέσεις που παρασκευάστηκαν, αποτιμήθηκαν με βάση τη σταθερότητά τους στην υγρή φάση, το μέγεθος των σωματιδίων (DLS), την % περιεκτικότητα σε στερεά και τα μορφολογικά τους χαρακτηριστικά κατά τη διαδικασία της ξήρανσης. Η αποτίμηση της στερέωσης έγινε με εφαρμογή εργαστηριακών τεχνικών σε ακατέργαστα και κατεργασμένα δείγματα, όπως Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης (SEM-EDX) για τον προσδιορισμό του βάθους διείσδυσης, Ποροσιμετρία Υδραργύρου (MIP) για τη μελέτη των μεταβολών του πορώδους και των χαρακτηριστικών της μικροδομής, εφαρμογή υδατοαπορρόφησης μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης, καθώς και μέτρηση της διαπερατότητας σε υδρατμούς, για τη μελέτη των υγρομετρικών χαρακτηριστικών. Τα σύνθετα νάνο-υλικά κατά την ξήρανση παρουσιάζουν μικρότερη συρρίκνωση από τα συνήθη στερεωτικά, διασφαλίζοντας την αποφυγή σχηματισμού ρηγματώσεων στο πορώδες δίκτυο των δομικών υλικών.

Νέα προηγμένα υλικά, τεχνολογίες και επεμβάσεις αποκατάστασης

Εισαγωγή

Η συνεχής έκθεση των ιστορικών κατασκευών στους ατμοσφαιρικούς διαβρωτικούς παράγοντες και συνεπώς, η εμφάνιση των επακόλουθων φαινομένων φθοράς, έχουν οδηγήσει στην όλο και μεγαλύτερη ανάπτυξη της ερευνητικής δραστηριότητας προς αναζήτηση επιτελεστικών και συμβατών υλικών αποκατάστασης και προστασίας της πολιτιστικής κληρονομιάς. Η στερέωση των πορωδών δομικών υλικών έχει ως σκοπό την ενίσχυση της συνοχής και την βελτίωση της αντοχής και της ανθεκτικότητάς τους υπό την επίδραση των επιβλαβών περιβαλλοντικών φορτίων. Τόσο όμως κατά την διείσδυση των στερεωτικών στο πορώδες σύστημα των υλικών, όσο και κατά την ξήρανση στο περιβάλλον των μνημείων, παρουσιάζονται αρκετοί περιορισμοί που πολλές φορές καθιστούν την στερέωση ανεπιτυχή. Δεδομένου ότι η εφαρμογή των υλικών στερέωσης στα δομικά υλικά επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τα φυσικοχημικά και φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά τους, τα στερεωτικά υλικά οφείλουν να πληρούν ορισμένες προδιαγραφές [1]. Η ικανότητα εμποτισμού σε αποτελεσματικό βάθος διείσδυσης στο πορώδες δίκτυο του λίθου κατά την εφαρμογή, καθώς και η διατήρηση της διαπερατότητας, των υγρομετρικών χαρακτηριστικών και της εμφάνισης του λίθου, αποτελούν βασικά κριτήρια αποτίμησης της επιτελεστικότητας των στερεωτικών υλικών. Παράλληλα, κατά την πήξη και σκλήρυνση του υλικού, θα πρέπει να παρατηρείται ενίσχυση της συνοχής και βελτίωση των μηχανικών αντοχών του υποστρώματος.

Τα αλκοξυσιλάνια θεωρούνται τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα στερεωτικά υλικά, με συνηθέστερη ένωση το τετρααιθοξυσιλάνιο (TEOS). Η στερέωση οφείλεται στο σχηματισμό των σταθερών αλυσίδων -Si-O-Si- που λειτουργούν ως συνδετικό υλικό ανάμεσα στους κόκκους ή τους κρυστάλλους της πέτρας [2]. Τα εν λόγω υλικά παρουσιάζουν αρκετά πλεονεκτήματα, όπως η ικανοποιητική διεισδυτική ικανότητα και η αύξηση των αντοχών του υποστρώματος, καθώς και η ικανότητα να πολυμερίζονται μετά την εφαρμογή τους στα υλικά, ενισχύοντας την δομή τους. Ωστόσο, εμφανίζουν δύο κοινώς αποδεκτά μειονεκτήματα: δεν πληρούν την προϋπόθεση της χημικής συμβατότητας με τα ασβεστιτικά υποστρώματα και έχουν την τάση να συρρικνώνονται κατά την ξήρανση και την απομάκρυνση του διαλύτη με συνέπεια την εμφάνιση επακόλουθων ρηγματώσεων λόγω της άσκησης τριχοειδών πιέσεων, προκαλώντας περαιτέρω επιπτώσεις στο πορώδες δίκτυο των δομικών υλικών [3,4].

Πολλές μελέτες προσανατολίζονται στη βελτίωση των ιδιοτήτων των αλκοξυσιλανίων, προς αντιμετώπιση των προαναφερθέντων

μειονεκτημάτων [5,6]. Η προσθήκη ανόργανων νανοσωματιδίων σε πυριτική μήτρα, έχει διαπιστωθεί ότι συντελεί στην ελάττωση της συρρίκνωσης του υλικού, διασφαλίζοντας την αποφυγή σχηματισμού ρηγματώσεων στο εσωτερικό των πόρων του λίθου [7,8,9]. Η προετοιμασία ωστόσο αποτελεσματικών νάνο-σύνθετων στερεωτικών υλικών αποτελεί μία αρκετά απαιτητική και περίπλοκη διαδικασία, λόγω της τάσης σχηματισμού συσσωματωμάτων που οδηγούν σε μη σταθερές διασπορές [10]. Η σταθερότητα της διασποράς, το μέγεθος και το σχήμα των σωματιδίων, καθώς και η επί της εκατό % περιεκτικότητα σε στερεά, η οποία σχετίζεται με τις αρχικές αναλογίες των επιμέρους συστατικών, αποτελούν σημαντικούς παράγοντες κατά τη διαδικασία παρασκευής, καθώς επηρεάζουν έμμεσα τις τελικές ιδιότητες του σύνθετου στερεωτικού υλικού και επομένως την αποτελεσματικότητά του κατά την εφαρμογή του σε πορώδης λίθους.

Πειραματικό μέρος

Υλικά και μέθοδοι

Για την παρασκευή των πυριτικών νανοσωματιδίων καθως και της πυριτικής μήτρας χρησιμοποιήθηκε μονομερές τετρααιθοξυσιλάνιο (TEOS, purity ≥ 98%, Fluka Chemika, MW:208.33 g/mol). Ως καταλύτης στην παρασκευής της νανοπυριτίας χρησιμοποιήθηκε υδατικό διάλυμα υδροξειδίου του αμμωνίου (NH_4OH, 25%), ενώ στην περίπτωση της πυριτική βάσης προστέθηκε ως καταλύτης η οργανοκασσιτερική ένωση dibutyltin dilaurate (DBTL). Τα σωματίδια οξειδίου του τιτανίου, προστίθενται υπό τη μορφή σκόνης υψηλής καθαρότητας (Aldrich, Titanium (IV) Oxide, powder, 99,8%, particle size ~ 150-200 nm). Ως διαλύτης χρησιμοποιήθηκε καθαρή αιθανόλη (ethanol absolute).

Ο χαρακτηρισμός των νανο-σωματιδίων, έγινε με εφαρμογή δυναμικής σκέδασης φωτός (DLS, Zetasizer Nanoseries, Nano-Zs, Malvern Instruments). Η μορφολογία της επιφάνειας του ξηρού στερεωτικού εξετάσθηκε με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης με στοιχειακή ανάλυση έπειτα από αργή ξήρανση σε σταθερές συνθήκες (SEM, Fei Mod:Quanta 200, Philips). Η % περιεκτικότητα σε στερεά υπολογίστηκε μέσω του προσδιορισμού της μάζας του στερεού υπολείμματος σε γνωστού όγκου ποσότητα του υλικού, έπειτα από φυσική απομάκρυνση του διαλύτη.

Η εφαρμογή της στερέωσης πραγματοποιήθηκε σε κυβικά δοκίμια λίθου διαστάσεων 5x5x5cm. Εξετάστηκαν δύο τύποι λίθου, ο λευκός πωρόλιθος Ρεθύμνου (RE) και ο γκρίζος πωρόλιθος Ρόδου (RH). Ο

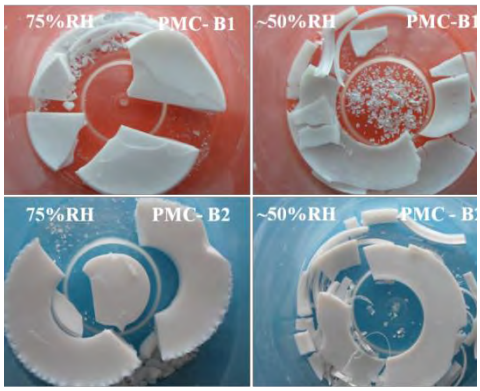
πωρόλιθος Ρεθύμνου είναι ανοιχτόχρωμος ιζηματογενής λίθος, ασβεστιτικής σύστασης με πορώδες της τάξης του 28-30% και μέση ακτίνα πόρων τα 1.7μm. Ο πωρόλιθος Ρόδου είναι σκουρότερης απόχρωσης, επίσης ιζηματογενούς προέλευσης, βιοκαλκαρενίτης με δευτερεύοντα ορυκτά τον χαλαζία και βιοτίτη. Η μικροδομή του χαρακτηρίζεται από μικρότερο ολικό ανοιχτό πορώδες, της τάξης του 15% και μεγαλύτερες ακτίνες πόρων, μέσης ακτίνας ~30μm.

Το βάθος διείσδυσης του υλικού στο πορώδες δίκτυο του λίθου εξετάσθηκε με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης με στοιχειακή ανάλυση (SEM, Fei Mod:Quanta 200, Philips). Η επίδραση της κατεργασίας στα υγρομετρικά χαρακτηριστικά του λίθου μελετήθηκε με εφαρμογή υδατοαπορρόφησης μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης, καθώς και μέσω προσδιορισμού της μεταβολής της διαπερατότητας σε υδρατμούς, σύμφωνα με ισχύοντα πρότυπα [11,12]. Για τις μετρήσεις της ταχύτητας διάδοσης υπερήχων χρησιμοποιήθηκε ειδική φορητή διάταξη (PUNDIT 6, CNS Farnell), ενώ οι μεταβολές στο πορώδες και τα χαρακτηριστικά μικροδομής των δειγμάτων μελετήθηκαν μέσω ποροσιμετρίας υδραργύρου (Macropores120 & Pascal440, ThermoElectron). Τέλος, για τον προσδιορισμό της μεταβολής των χρωματικών παραμέτρων, χρησιμοποιήθηκε φορητό φασματοφωτόμετρο (Dr.Lange Spectro-color, LMG183) πριν και μετά την κατεργασία.

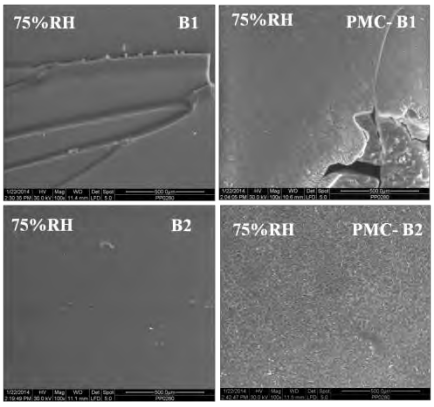
Παρασκευή PMC

Η διαδικασία παρασκευής διακρίνεται σε τρία επί μέρους στάδια. Αρχικά έγινε η σύνθεση της νάνο-διασποράς σωματιδίων SiO_2-TiO_2 (διασπαρμένη φάση). Αναπτύχθηκαν διαφορετικές συνθέσεις νάνο-πυριτίας μέσω της αντίδρασης Stober [13], μεταβάλλοντας τις συγκεντρώσεις των αντιδραστηρίων, προκειμένου να διερευνηθεί η επίδρασή τους τόσο στο τελικό μέγεθος των σωματιδίων, όσο και στην % περιεκτικότητα του αιωρήματος σε στερεά.. Στη συνέχεια, προστέθηκε ποσότητα σωματιδίων οξειδίου του τιτανίου στο αιώρημα νάνο-πυριτίας (dσωματιδίων=48.8nm, DLS, Zetasizer, Malvern Instruments) σε διάφορες αναλογίες. Σε δεύτερη φάση παρασκευάσθηκε η πυριτική βάση (μήτρα – Binder) μέσω της ανάμειξης του μονομερούς TEOS με αιθανόλη (43% κ.ο.) και προσθήκης του καταλύτη DBTL. Πραγματοποιήθηκε επίσης σειρά πειραμάτων μεταβάλλοντας τις αναλογίες TEOS:DBTL:Ethanol. Κατά το τρίτο στάδιο έγινε η ανάμειξη των συστατικών σε κατάλληλες αναλογίες και κατόπιν, το μίγμα υποβλήθηκε σε ομογενοποίηση με υπερήχους (Sonics, Vibracell,). Τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε ελεγχόμενες συνθήκες (T°C, RH%),

προκειμένου να εξετασθεί η επιρροή των ατμοσφαιρικών συνθηκών τόσο στον χρόνο ξήρανσης όσο και στα τελικά μορφολογικά χαρακτηριστικά του υλικού. Σύμφωνα με τις Εικόνες 1, 2, διαφοροποιήσεις παρατηρήθηκαν ανάμεσα στα δείγματα, τόσο μακροσκοπικά, όσο και μέσω της εξέτασης σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης.



Εικόνα 1. Φωτογραφίες από δείγματα PMC (PMCB1,B2) μετά από ξήρανση σε ελεγχόμενες συνθήκες



Εικόνα 2. Φωτογραφίες SEM από δείγματα Binder (B1, B2) και PMC (PMCB1,B2) μετά από ξήρανση (100x, Bar=500μm)

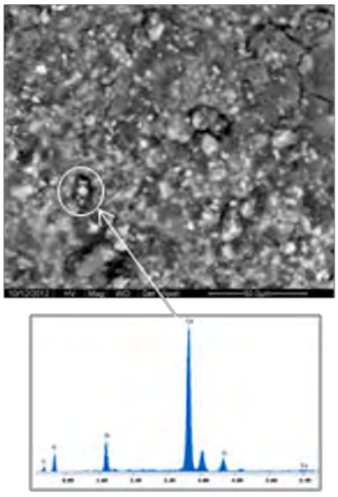
Εφαρμογή της στερέωσης

Τα υλικά στη συνέχεια εφαρμόσθηκαν σε δοκίμια λίθου μέσω τριχοειδούς ρόφησης. Τα κυβικά δοκίμια τοποθετούνται σε δοχείο το οποίο περιέχει στον πυθμένα του απορροφητικό υλικό εμποτισμένο με PMC και κατόπιν παρακολουθείται η άνοδός του στο πορώδες δίκτυο των λίθων μέσω τριχοειδούς απορρόφησης. Η στερέωση έλαβε χώρα σε συνθήκες θερμοκρασίας 19-21ºC και σχετικής υγρασίας ~50%. Κατά τη διάρκεια των 3 πρώτων ωρών, τα δείγματα ζυγίζονταν ώστε να εξεταστεί ο ρυθμός της αύξησης βάρους στο χρόνο της εφαρμογής.

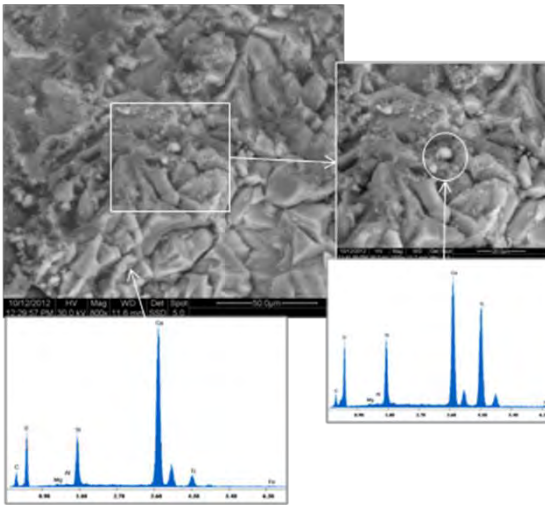
Συζήτηση Αποτελεσμάτων

Το βάθος διείσδυσης εκτιμήθηκε βάσει της ανίχνευσης τιτανίου (Ti), στοιχείο που δεν συμπεριλαμβάνεται στην αρχική σύσταση των δύο λίθων. Στις Εικόνες 3α και 3β παρουσιάζονται φωτογραφίες SEM στερεωμένων δειγμάτων, καθώς και οι αντίστοιχες EDAX αναλύσεις. Μέσω της

στοιχειακής ανάλυσης ανιχνεύτηκε ποσότητα τιτανίου και πυριτίου στα στερεωμένα δείγματα, η οποία παρουσιάζει μειούμενη συγκέντρωση με αυξανόμενη την απόσταση από την επιφάνεια ρόφησης. Όπως, διαπιστώθηκε, το PMC παρουσιάζει διεισδυτική ικανότητα μέχρι το βάθος των ~2 cm και για τους δύο λίθους.



Εικόνα 3α. Φωτογραφία SEM και ανάλυση EDAX πωρόλιθου Ρεθύμνου (RE), κατεργασμένου με PMC, Bar=50μm



Εικόνα 3β. Φωτογραφία SEM και ανάλυση EDAX πωρόλιθου Ρόδου (RH), κατεργασμένου με PMC, Bar=50μm(αριστερά), Bar=20μm (δεξιά)

Στον Πίνακα 1 παρατίθενται οι μεταβολές στα υγρομετρικά χαρακτηριστικά λίθων κατεργασμένων με διαφορετικές συνθέσεις PMC. Σύμφωνα με τον πίνακα, παρατηρήθηκε μείωση του συντελεστή υδατοαπορρόφησης, η οποία είναι εντονότερη στην περίπτωση της κατεργασίας του πωρόλιθου RE με PMC2.

Νέα προηγμένα υλικά, τεχνολογίες και επεμβάσεις αποκατάστασης

Πίνακας 1. Υγρομετρικά χαρακτηριστικά των λίθων πριν και μετά την κατεργασία

Λίθος/ Κατεργασία	**C ($mg/cm^2s^{1/2}$)** Συντελεστής υδατ/φησης		**WA (%)** Ποσοστό πρόσληψης νερού	
ΡΟΔΟΥ	Ακατέργαστο	Κατ/μένο	Ακατέργαστο	Κατ/μένο
PMC1	35.2 (± 0.01)	29.9 (± 0.02)	7.75 (±1.91)	7.42 (±1.86)
PMC2	40 (± 0.004)	37.9 (± 0.01)	9.18 (±1.41)	8.88 (±1.33)
PMC3	29.4 (± 0.002)	20.7 (± 0.006)	7.55 (±1.64)	6.34 (±1.48)
ΡΕΘΥΜΝΟΥ				
PMC1	17 (±0.001)	14.3 (±0.01)	12.79 (±0.4)	10.78 (±1.51)
PMC2	20.1 (±0.02)	10 (±0.003)	12.66 (±0.41)	11.31 (±0.3)
PMC3	16.3 (± 0.002)	12.9 (±0.001)	11,97 (±0.45)	10.4 5(±0.2)

Η κατεργασία προκαλεί μικρές μεταβολές στα χαρακτηριστικά της μικροδομής της πέτρας. Παρουσιάστηκε ελαφρά μείωση του ολικού ειδικού εισερχόμενου όγκου V_{cum} και του πορώδους P, ενώ παρατηρήθηκε μικρή μεταβολή στην τιμή της φαινόμενης πυκνότητας d_b και για τους δύο λίθους. Τα αποτελέσματα έδειξαν επίσης μείωση στην μέση ακτίνα των πόρων, λόγω της απόθεσης του στερεωτικού μέσα στο πορώδες δίκτυο του λίθου, κυρίως στην περίπτωση του RH, όπου η μέση ακτίνα πόρου μειώθηκε από ~ 30 μm έως ~ 8 μm.

Η ταχύτητα υπερήχων και το μέτρο ελαστικότητας δεν παρουσίασαν αξιοσημείωτες διαφορές μετά την κατεργασία. Παρατηρήθηκε κάποια μικρή αύξηση στις τιμές της ταχύτητας, δίνοντας μικρή αύξηση του μέτρου ελαστικότητας, έως ~5% περίπου.

Τέλος, όσον αφορά τις χρωματικές παραμέτρους, η στερέωση προκαλεί μεταβολές οι οποίες κυμαίνονται κοντά στα γενικότερα αποδεκτά όρια (ΔΕ~5) [14]. Όπως αναφέρθηκε, η περίσσεια στερεωτικού υλικού απομακρύνθηκε με αιθανόλη στο τέλος της εφαρμογής, προκειμένου να αποφευχθούν ανεπιθύμητες συνέπειες λόγω της συσσώρευσης μη προσροφημένου υλικού στις επιφάνειες των δειγμάτων.

Νέα προηγμένα υλικά, τεχνολογίες και επεμβάσεις αποκατάστασης

Συμπεράσματα

Στην παρούσα μελέτη, τρείς συνθέσεις τροποποιημένων σωματιδιακών σύνθετων παρασκευάσθηκαν και στη συνέχεια αποτιμήθηκαν. Μέσω του ποιοτικού χαρακτηρισμού των διασπορών, προσδιορίστηκαν οι βέλτιστες αναλογίες των αντιδρώντων για τον σχηματισμό σταθερής διασποράς χωρίς την τάση δημιουργίας ιζήματος, η οποία μπορεί να εφαρμοστεί σε πορώδεις λίθους. Επίσης, καθορίστηκαν ως ευνοϊκότερες συνθήκες για την παραμονή του υλικού κατά το διάστημα της ξήρανσης οι 75±2%RH και 21±1ºC, όπου παρατηρήθηκε μικρότερη ανάπτυξη ρηγματώσεων. Όσον αφορά την ικανότητα εμποτισμού των υποστρωμάτων, οι παρατηρούμενες διαφορές οφείλονται τόσο στις ιδιότητες της εκάστοτε σύνθεσης κατά τη sol φάση, όσο και στα διαφορετικά χαρακτηριστικά μικροδομής των δύο λίθων. Σε γενικές γραμμές παρατηρήθηκε μεγαλύτερη μεταβολή μάζας σε δοκίμια κατεργασμένα με PMC3, ενδεικτικό της θετικής στερεωτικής δράσης της εν λόγω σύνθεσης. Διαπιστώθηκε επίσης πως η κατεργασία προκαλεί περισσότερο αισθητές μεταβολές στα φυσικοχημικά και φυσικό-μηχανικά χαρακτηριστικά του πωρόλιθου Ρεθύμνου, όπου η κατανομή του πορώδους του είναι μετατοπισμένη προς μικρότερες ακτίνες, σε σχέση με τον πωρόλιθο Ρόδου. Όσον αφορά τα αισθητικά κριτήρια, η συνολική διαφορά του χρώματος των επιφανειών κυμαίνεται κοντά στα αποδεκτά όρια.

Βιβλιογραφία

[1] ASTM E2167-2008 Standard Guide for Selection and Use of Stone Consolidants

[2] Horrie, C.V. Materials for Conservation: Organic Consolidants, Adhesives and Coatings, Oxford: Butterworth-Heinemann (1999)

[3] JR Clifton, Stone Consolidating Materials: A Status Report, NBS technical note. Department of Commerce, National Bureau of Standards, Washington (1980)

[4] Scherer, George W. and Wheeler George S., Silicate Consolidants for Stone, Key Engineering Materials Vol. 391 (2009) pp 1-25

[5] Rodriques Delgado J., Pinto Ferreira A.P., Stone Consolidation: The role of treatment Procedures, Journal of Cultural Heritage 9 (2008) 38-53

[6] Price C.A. and Doehne E., The Getty Conservation Institute, Stone Conservation An overview of Current Research (2010)

[7] M. J. Mosquera, D.M. de los Santos and A. Montes, Producing New Stone Consolidants for the Conservation of Monumental Stones, Mater. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 852, (2005) Materials Research Society

[8] Scherer G.W., Miliani C., Velo-Simpson M.L., "Particle-modified consolidants: A study on the effect of particles on sol-gel properties and consolidation effectiveness, Journal of Cultural Heritage 8 (2007)1-6

[9] E. Ksinopoulou, A. Bakolas, I.A. Kartsonakis, C.A. Charitidis and A. Moropoulou, Particle modified consolidants in the consolidation of porous stones, In: Proc. of 12th International Congress on the Deterioration and Conservation of Stone, Columbia University, New York, 2012

[10] P. Baglioni, R. Giorgi, Soft and hard nanomaterials for restoration and conservation of cultural heritage, Soft Matter 2 (2006) 293-303

[11] UNI 10859:2000. Cultural heritage - Natural and Artificial Stones - Determination of Water Absorption by Capillarity

[12] ASTM E96-Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials

[13] W. Stober, A. Fink, Controlled Growth of Monodisperse Silica Spheres in the Micron Size Range, Journal of Colloid and Interface Science 26, 62-69 (1968)

[14] Rodrigues Delgado J., Grossi A., Indicators and ratings for the compatibility assessment of conservation actions, Journal of Cultural Heritage 8(2007) 32-43

Νέα προηγμένα υλικά, τεχνολογίες και επεμβάσεις αποκατάστασης

Χαρακτηρισμός καμένων έργων τέχνης μετά από καθαρισμό με λέιζερ (Characterization of burnt paintings after laser cleaning treatment)

Α. Γουσέτης[1], Α.Α. Σεραφετινίδης[1], Μ. Μακροπούλου[1], Ι. Τσιλίκας[1]
Ν. Αντωνοπούλου-Αθέρα[2], Η. Χατζηθεοδωρίδης[2]
Μ. Δουλγερίδης[3], Α. Τερλιξή[3]

[1]Σχολή Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών, Τομέας Φυσικής, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 15780 Αθήνα, Ελλάδα
[2]Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 15780 Αθήνα, Ελλάδα
[3]Εθνική Πινακοθήκη Αθηνών, Άλσος Στρατού, Γουδί, 11525 Αθήνα, Ελλάδα

Abstract

In the last decades, lasers are widely used in the conservation of cultural heritage objects. Their usage has been increased over the years and their cleaning results are very promising.

This study is based on previous experiments on burnt paintings that belongs to the collection of National Gallery of Athens and was made by the great Greek artist Konstantinos Parthenis (1878-1967). Further investigation took place not only for the optimum cleaning performance but also for the characterization of the pigments that had initially been used from the artist. Three different types (Nd:YAG, Er:YAG, CO2) of lasers with many different wavelengths and fluencies were employed for this research. The characterization of the pigments and the assessment of the cleaning results were based on analyses with optical microscopes, scanning electron microscopes equipped with EDS analysis, where this was possible, and XRD.

The results of this work show that the optimum range of laser fluencies can be narrowed down to 0.2J/cm2-0.3J/cm2 in the visible spectrum (532nm). Despite chemical differences between the samples, the laser results lead to the same optimum combination of wavelength and fluencies. Conclusions on the painting method and on the artist, as well as on the pigments used, were derived from the analyses.

Περίληψη

Τις τελευταίες δεκαετίες τα λέιζερ χρησιμοποιούνται ευρέως στον τομέα της συντήρησης των αντικειμένων πολιτιστικής κληρονομιάς. Η

χρήση τους έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια και τα αποτελέσματα καθαρισμού τους είναι πολύ ενθαρρυντικά.

Η μελέτη αυτή βασίζεται σε προηγούμενα πειράματα σε καμένα έργα τέχνης που ανήκουν στη συλλογή της Εθνικής Πινακοθήκης Αθηνών και δημιουργήθηκαν από το μεγάλο Έλληνα ζωγράφο Κωνσταντίνο Παρθένη (1878 - 1967). Περαιτέρω έρευνα πραγματοποιήθηκε όχι μόνο για την βελτιστοποίηση της απόδοσης του καθαρισμού, αλλά και για τον χαρακτηρισμό των χρωστικών που είχαν χρησιμοποιηθεί αρχικώς από τον καλλιτέχνη. Τρεις διαφορετικοί τύποι λέιζερ (Nd:YAG, Er:YAG, CO2) με πολλά διαφορετικά μήκη κύματος και πυκνότητες ενέργειας χρησιμοποιήθηκαν για την έρευνα αυτή. Ο χαρακτηρισμός των χρωστικών και των αποτελεσμάτων του καθαρισμού έγινε με τη χρήση οπτικών μικροσκοπίων, μικροσκοπίων σάρωσης ηλεκτρονίων (SEM, FEI NanoSEM) με ανάλυση EDS, όπου ήταν εφικτό, και με περιθλασίμετρο ακτίνων X (XRD).

Τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής δείχνουν ότι το εύρος των πυκνοτήτων ενέργειας της δέσμης λέιζερ μπορεί να περιοριστεί σε 0.2J/cm2-0.3J/cm2 στο ορατό φάσμα (532nm). Παρ' ότι τα δείγματα είχαν διαφορές στο χημισμό τους, η χρήση του ίδιου συνδυασμού μήκους κύματος και πυκνότητας ενέργειας οδηγεί σε ελπιδοφόρα αποτελέσματα. Από τις αναλύσεις προέκυψαν συμπεράσματα σχετικά με την τεχνική του καλλιτέχνη και τις χρωστικές ουσίες που χρησιμοποίησε.

Εισαγωγή

Κάθε χώρα στηρίζεται στην πολιτιστική της κληρονομιά, η οποία είναι μέρος της ιστορίας της. Η διατήρηση αυτής της κληρονομιάς μέσα στους αιώνες είναι απαραίτητη και η έρευνα για νέες μεθόδους συντήρησης βρίσκει όλο και περισσότερο αντίκρισμα (Drakaki et al. 2010). Η παρούσα μελέτη βασίζεται στην αποκατάσταση μέρους της συλλογής του μεγάλου Έλληνα ζωγράφου Κωνσταντίνου Παρθένη (1878-1967). Η ιδιαιτερότητα αυτών των έργων τέχνης έγκειται στην ακούσια έκθεσή τους σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες εξαιτίας πυρκαγιάς στον χώρο αποθήκευσής τους (Δουλγερίδης Μ. 1986). Τα καμένα έργα τέχνης αποτελούνται από τρεις πίνακες που περιήλθαν στην Εθνική Πινακοθήκη για συντήρηση και αποκατάσταση. Δείγματα των δύο εξ αυτών παραχωρήθηκαν στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο για την εφαρμογή εναλλακτικών μεθόδων σε σχέση με αυτές της κλασικής συντήρησης των έργων τέχνης. Η προσπάθεια αποκατάστασης των καμένων πινάκων βασίζεται στον καθαρισμό με λέιζερ.

Νέα προηγμένα υλικά, τεχνολογίες και επεμβάσεις αποκατάστασης

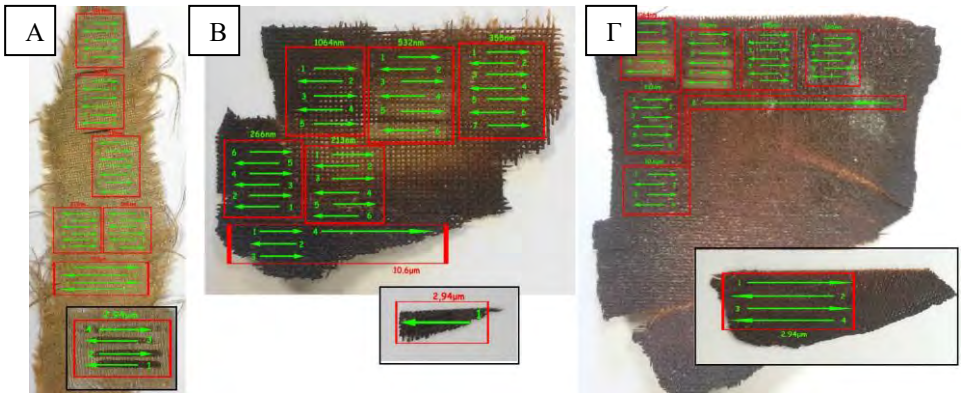
Η έρευνα κινείται σε δύο άξονες, στην αναζήτηση των ιδανικότερων παραμέτρων καθαρισμού με τη χρήση λέιζερ και στην εύρεση στοιχείων σχετικά με την τεχνική που χρησιμοποιούσε ο Κωνσταντίνος Παρθένης στην ζωγραφική του τέχνη. Για τη διάγνωση της κατάστασης των έργων τέχνης πριν και μετά τον καθαρισμό τους, καθώς και για την εύρεση χαρακτηριστικών της τεχνικής του καλλιτέχνη, χρησιμοποιήθηκαν αναλυτικά όργανα όπως το οπτικό μικροσκόπιο, ηλεκτρονικά μικροσκόπια σάρωσης (SEM) με ταυτόχρονη χημική ανάλυση (Electron Dispersive Spectroscopy-EDS), όπου υπήρχε τέτοια δυνατότητα, και περιθλασίμετρο ακτίνων-Χ (XRD). Στην προσπάθεια διερεύνησης του ιδανικού καθαρισμού των δειγμάτων έλαβαν χώρα αρκετά πειράματα με διάφορους εύλογους συνδυασμούς παραμέτρων των λέιζερ. Η πρώτη φάση των πειραμάτων έχει αναφερθεί εκτεταμένα σε προηγούμενη εργασία (Antonopoulou-Athera et al. 2015). Ενδεικτικά αναφέρεται ότι χρησιμοποιήθηκαν τρία είδη λέιζερ, ένα Q-switched Nd:YAG με όλες τις αρμονικές του (1064nm, 532nm, 355nm, 266nm, 213nm) και διάρκεια παλμών 4-6ns, ένα free running Er:YAG με μήκος κύματος 2.94μm και διάρκεια παλμών 80μs και τέλος ένα CO_2 TEA λέιζερ με μήκος κύματος 10.6μm. Μία σειρά από πυκνότητες ενέργειας (J/cm^2) εφαρμόστηκαν συνδυαστικά με το κάθε μήκος κύματος, και στα τρία δείγματα, με στόχο τη βελτιστοποίηση των παραμέτρων του καθαρισμού.

Πειραματική διαδικασία

Υλικά

Τρία δείγματα από δύο πίνακες του Κωνσταντίνου Παρθένη χρησιμοποιήθηκαν (Εικόνα 1), τα οποία και φαίνονται παρακάτω με τις αντίστοιχες ενδείξεις των περιοχών που ακτινοβολήθηκαν στα διάφορα μήκη κύματος.

Νέα προηγμένα υλικά, τεχνολογίες και επεμβάσεις αποκατάστασης



Εικόνα 1. Α. δείγμα 1, Β. δείγμα 2, και Γ. δείγμα 3. Τα δείγματα 2 και 3 προέρχονται από τον ίδιο πίνακα. Παρατηρούνται και στα τρία δείγματα οι περιοχές που ακτινοβολήθηκαν στα διάφορα μήκη κύματος (κόκκινα πλαίσια) και οι οριζόντιες σαρώσεις με διαφορετικές πυκνότητες ενέργειας (πράσινα οριζόντια βελάκια). Οι περιοχές που ακτινοβολήθηκαν με το Er:YAG (2.94μm) είναι οι περιοχές που έχουν προστεθεί στα αντίστοιχα δείγματα (εικόνες με μαύρα πλαίσια).

Αναλυτικές μέθοδοι

Οπτική μικροσκοπία

Η οπτική μικροσκοπία έγινε με στερεοσκοπικό μικροσκόπιο της Wild Heerbrugg. Στη διάταξη υπάρχει πρόσθετη φωτογραφική μηχανή για την αποθήκευση φωτογραφιών πέρα από την οπτική παρατήρηση των δειγμάτων. Η παρατήρηση των δειγμάτων με το οπτικό μικροσκόπιο λάμβανε χώρα καθ' όλη τη διάρκεια των πειραμάτων, πριν και μετά την ακτινοβόληση. Οι παρατηρούμενες διαφοροποιήσεις και οι τυχόν αλλοιώσεις είτε από τη φωτιά είτε λόγω του καθαρισμού καταγράφονταν με το οπτικό μικροσκόπιο και ελέγχονταν από τις υπόλοιπες διαγνωστικές μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν.

Ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης

Δύο ηλεκτρονικά μικροσκόπια σάρωσης χρησιμοποιήθηκαν για την αποτελεσματικότερη ανάλυση των δειγμάτων τόσο πριν όσο και μετά τον καθαρισμό. Το πρώτο είναι το Jeol6380LV και έχει δυνατότητα λειτουργίας σε χαμηλό κενό ώστε να μην απαιτείται επικάλυψη των δειγμάτων με αγώγιμο υμένιο για την εξουδετέρωση των αναπτυσσόμενων φορτίων λόγω

της δέσμης ηλεκτρονίων, π.χ. άνθρακα ή χρυσού. Οι συνθήκες λειτουργίας του οργάνου ρυθμίστηκαν στα 15kV δυναμικό επιτάχυνσης της πρωτογενούς δέσμης ηλεκτρονίων, με ρεύμα νήματος μεταξύ 79–83mA, και το κενό στα 25–30Pa. Το μικροσκόπιο αυτό έχει και δυνατότητα χημικής ανάλυσης που βασίζεται στο επιπρόσθετο σύστημα EDS που διαθέτει. Η χημική ανάλυση και επεξεργασία έγινε μέσω του λογισμικού INCA της Oxford Instruments. Η ποιοτική ανίχνευση στοιχείων περιορίζεται σε ατομικούς αριθμούς με Z≥5, δηλαδή από το βόριο και μετά. Το δεύτερο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο είναι το FEI NanoSEM 230 το οποίο παρέχει δυνατότητες φωτογράφησης υπερ-υψηλής ανάλυσης. Αυτό οφείλεται στα προηγμένης τεχνολογίας οπτικά ηλεκτρονίων που διαθέτει σε συνδυασμό με την πηγή παραγωγής ηλεκτρονίων που είναι τύπου εκπομπής πεδίου (Field Emission). Το δείγμα αναλύθηκε κάτω από υψηλό κενό, με δυναμικό επιτάχυνσης στα 15kV. Και σε αυτή την περίπτωση δεν απαιτείτο κάλυψη του δείγματος με υμένιο αγώγιμου υλικού.

Ακτίνες Χ περίθλασης

Οι παράμετροι που επιλέχθηκαν για το περιθλασίμετρο Bruker D8 focus ήταν για τη γωνία 2θ το εύρος μεταξύ 3–75 μοιρών με βήμα 0.02˚ και για το χρόνο ολοκλήρωσης το 1 δευτερόλεπτο/βήμα.

Συμπεράσματα

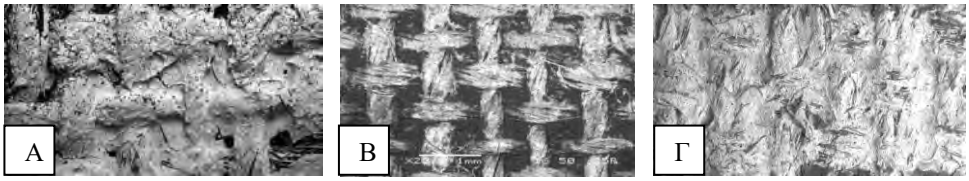
Τοπογραφικός και χημικός χαρακτηρισμός της επιφάνειας των δειγμάτων

SEM-EDS

Με το SEM-EDS έγινε τόσο η τοπογραφική ανάλυση των επιφανειών των δειγμάτων όσο και η χημική ανάλυση. Έπειτα από παρατήρηση στο SEM, οι περιοχές με βέλτιστο βαθμό καθαρισμού φαίνονται στην Εικόνα 2. Η μακροσκοπική και μικροσκοπική παρατήρηση οδηγούν σε συμπεράσματα για τον επιθυμητό καθαρισμό, ωστόσο η χημική ανάλυση επιβεβαιώνει τις ιδανικότερες συνθήκες για τον περαιτέρω καθαρισμό με τις συγκεκριμένες παραμέτρους.

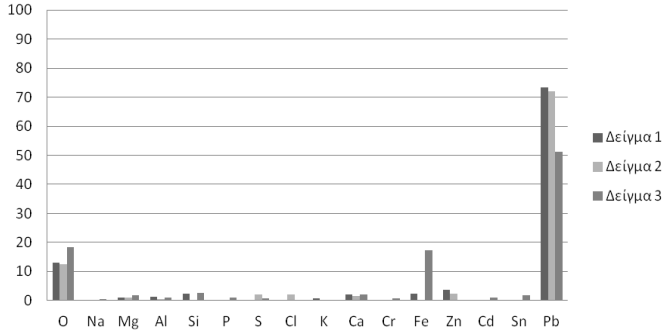
Είναι ήδη γνωστό ότι ο καλλιτέχνης ζωγράφιζε από την περιοχή που δεν ήταν καλυμμένη με υπόστρωμα, και ότι ο ψευδάργυρος ανήκει στο υπόστρωμα (Antonopoulou-Athera et al. 2015). Στον Πίνακας 1 φαίνονται οι αναλύσεις που έγιναν με το EDS στις επιλεγμένες περιοχές των

δειγμάτων (Εικόνα 2). Κριτήριο για τον βαθμό καθαρισμού αποτελεί το ποσοστό ψευδαργύρου στις χημικές αναλύσεις. Περιοχές με χαμηλά ποσοστά ψευδαργύρου είναι αυτές που δεν ακτινοβολήθηκαν τόσο ώστε να αποκαλυφθεί το υπόστρωμα, αλλά ο καθαρισμός τερματίστηκε εντός των στρωμάτων χρώματος του πίνακα. Στο δείγμα 1 (Εικόνα 2Α) το ποσοστό του ψευδαργύρου (Zn) είναι κάτω από 4%, ποσοστό πολύ μικρότερο του μέσου ποσοστού του ψευδαργύρου στις περιοχές που η αποκάλυψη υποστρώματος ήταν μεγαλύτερη λόγω εκτεταμένου καθαρισμού (βάσει των αναλύσεων με το EDS ο Zn φτάνει στις αποκαλυμμένες περιοχές σε ποσοστά υψηλότερα του 10%). Η αξιολόγηση έγινε με βάση τους βέλτιστους συνδυασμούς οπτικής παρατήρησης και χημικής ανάλυσης. Συμπερασματικά, δεν θα μπορούσε να θεωρηθεί ιδανικός ο συνδυασμός παραμέτρων που οδηγεί σε πολύ χαμηλά ποσοστά ψευδαργύρου σύμφωνα με τις αναλύσεις SEM-EDS αλλά είτε η ζωγραφική επιφάνεια οπτικά έχει μαυρίσει από την επίδραση του λέιζερ, ή ίνες του καμβά έχουν αποκαλυφθεί.



Εικόνα 2. Στιγμιότυπα από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης JEOL6380LV. Η ακτινοβόληση και στα τρία δείγματα έγινε με μήκος κύματος 532nm και πυκνότητα ενέργειας 0.296J/cm^2. Α. Δείγμα 1, Β. Δείγμα 2, Γ. Δείγμα 3.

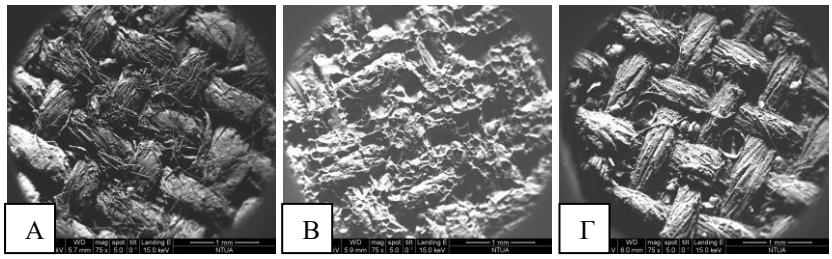
Πίνακας 1. Ο πίνακας παρουσιάζει τις χημικές αναλύσεις από το SEM-EDS στις περιοχές της Εικόνα 2 για το κάθε δείγμα αντίστοιχα. Πρόκειται για τις ποσοστιαίες συγκεντρώσεις των στοιχείων στα τρία δείγματα.



Νέα προηγμένα υλικά, τεχνολογίες και επεμβάσεις αποκατάστασης

FEI NanoSEM

Η ικανότητα του FEI NanoSEM για υψηλή ποιότητα εικόνων δίνει τη δυνατότητα λεπτομερειακής τοπογραφικής ανάλυσης των επιφανειών των δειγμάτων. Στην περίπτωση αυτή γίνονται ιδιαίτερα εμφανή τα αποτελέσματα της φωτιάς στα συγκεκριμένα δείγματα. Σε αρκετά σημεία η ζωγραφική επιφάνεια έχει αλλοιωθεί και φαίνεται η εκτεταμένη καταστροφή του καμβά (π.χ., εύκολα διακριτές κομμένες ίνες) σε όλα τα δείγματα. (Εικόνα 3). Το δείγμα 1 (Εικόνα 3Α) προέρχεται από τμήμα του καμβά που είχε εφαρμοστεί ελάχιστο έως καθόλου χρώμα, δηλαδή ουσιαστικά αποτελείται από τον καμβά (ίνες και υπόστρωμα στην πίσω πλευρά του). Διακρίνεται εμφανώς πως η φωτιά επηρέασε άμεσα τις ίνες της εξωτερικής επιφάνειας. Στα δείγματα 2 και 3 (Εικόνα 3Β και 3Γ αντίστοιχα), που είχαν ήδη χρώμα, τα εξωτερικά ζωγραφικά στρώματα φαίνονται να διαμορφώνονται από πυκνό ανάγλυφο κρατήρων, λόγω της απότομης εκτόνωσης πτητικών συστατικών από την οργανική μήτρα των χρωμάτων.



Εικόνα 3. Έντονη καταστροφή του καμβά και της ζωγραφικής επιφάνειας. Α. Δείγμα 1, Β. Δείγμα 2, Γ. Δείγμα 3.

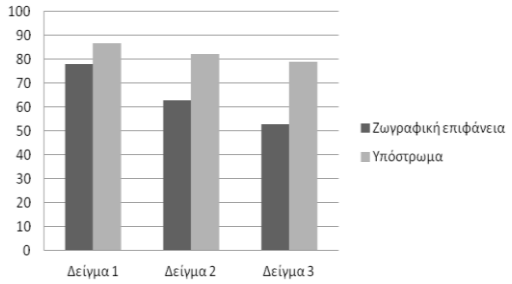
XRD

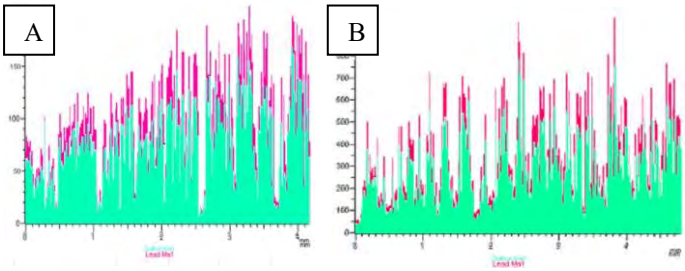
Η περίθλαση ακτινών Χ χρησιμοποιήθηκε τόσο για την ανάλυση του υποστρώματος των καμβάδων όσο και για τα ζωγραφικά στρώματα. Συγκεκριμένα, ενδείξεις για το κατά πόσο οι χρωστικές του υποστρώματος διαχωρίζονται από αυτές των ζωγραφικών στρωμάτων ή αναμιγνύονται, δόθηκαν από την ανάλυση αυτή.

Το υπόστρωμα των καμβάδων αποτελείται από δύο ορυκτά άσπρου χρώματος τον υδροκερουσίτη ($PbCO_3 \cdot Pb(OH)_2$) και τον ψευδαργυρίτη (ZnO) (Antonopoulou-Athera et al. 2015). Από την EDS ανάλυση φαίνεται ότι τα ποσοστά του Pb είναι αρκετά υψηλά στα ζωγραφικά στρώματα, ωστόσο μικρότερα των ποσοστών του υποστρώματος (Πίνακας 2). Επίσης,

και στα δύο δείγματα με χρώμα (δείγμα 2, δείγμα 3) παρατηρήθηκε ότι οι χημικοί χάρτες του μολύβδου (Pb) και του θείου (S) είναι πανομοιότυποι (Εικόνα 4).

Πίνακας 2. Σύγκριση ποσοστών μολύβδου στην ζωγραφική επιφάνεια και στο υπόστρωμα σύμφωνα με την ανάλυση EDS.

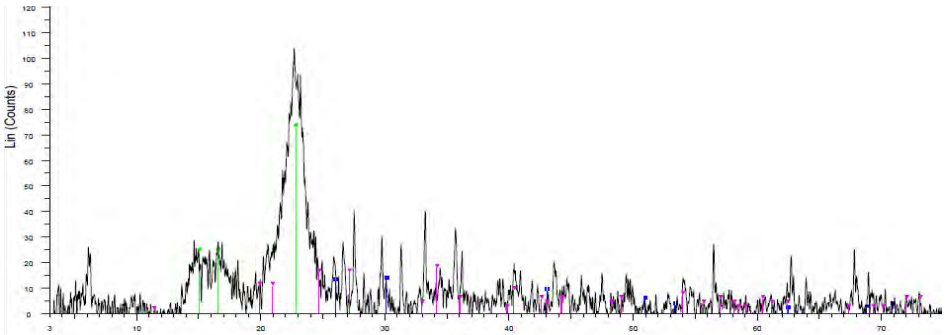




Εικόνα 4. Ενδεικτικά φάσματα σύγκρισης του Pb (κόκκινο χρώμα) με το S (πράσινο χρώμα) στις περιοχές των δειγμάτων 2 και 3 που ακτινοβολήθηκαν στα 532nm. Α. Δείγμα 2 και Β. Δείγμα 3.

Συμπεραίνεται λοιπόν ότι τα αποτελέσματα των αναλύσεων του XRD και EDS συμπίπτουν. Ωστόσο, το XRD μπορεί και διακρίνει το ότι οι ενώσεις του θειούχου μολύβδου και του υδροκερουσίτη είναι παρούσες στα ζωγραφικά στρώματα (**Εικόνα 5**). Μια τέτοια ένδειξη ίσως οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι χρωστικές που χρησιμοποιήθηκαν από τον καλλιτέχνη είχαν αναμιχθεί με το άσπρο του μολύβδου.

Νέα προηγμένα υλικά, τεχνολογίες και επεμβάσεις αποκατάστασης



Εικόνα 5. Φάσμα XRD από το δείγμα. Έχει γίνει επιλογή των κορυφών της κυτταρίνης (ίνες καμβά) με πράσινο χρώμα, του PbS με μπλε χρώμα και του $PbCO_3 \cdot Pb(OH)_2$ με ροζ.

Είναι γνωστό ότι ο Κωνσταντίνος Παρθένης αγόραζε τους καμβάδες που θα χρησιμοποιούσε έτοιμους με εφαρμοσμένο το υπόστρωμα του υδροκερουσίτη και του ψευδαργυρίτη. Οπότε δεν αναμένεται ανάμειξη των χρωστικών που χρησιμοποιούσε κατά την εφαρμογή των χρωμάτων του με το υλικό του υποστρώματος, το οποίο ήταν ήδη στεγνό. Όμως οι συνθήκες που δημιούργησε η φωτιά θα μπορούσαν ίσως να έχουν οδηγήσει στην ανάμειξη των χρωμάτων λόγω της ρευστής κατάστασης στην οποία πιθανότατα είχαν περιέλθει. Ωστόσο, η οπτική παρατήρηση (μακροσκοπικά και μικροσκοπικά) των δειγμάτων δε δείχνει να έχει επηρεαστεί το υπόστρωμα σε τέτοιο βαθμό. Συμπεραίνεται λοιπόν ότι η πιθανότητα ο υδροκερουσίτης να χρησιμοποιείτο από τον καλλιτέχνη είναι αυξημένη. Περαιτέρω έρευνα θα δώσει πιο βέβαια συμπεράσματα.

Ιδανικές παράμετροι καθαρισμού με λέιζερ

Έγινε προσπάθεια πιο στοχευμένης αξιολόγησης του καθαρισμού με λέιζερ, έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι πιθανοί συνδυασμοί των παραμέτρων για τον καθαρισμό των επιφανειών. Καλύτερα αποτελέσματα καθαρισμού δίνει το λέιζερ νεοδυμίου στα 532nm με πυκνότητα ενέργειας μεταξύ 0.2-0.3J/cm^2 και στα τρία δείγματα (Εικόνα 2). Άλλωστε η αξιολόγηση αφορά την ταυτόχρονη βελτιστοποίηση των παραμέτρων και για τα τρία δείγματα βασιζόμενη τόσο στα αποτελέσματα των αναλυτικών μεθόδων όσο και στην οπτική παρατήρηση των δειγμάτων. Το επιθυμητό με τα σημερινά δεδομένα είναι να καθαριστεί ολόκληρος ο πίνακας με συγκεκριμένες παραμέτρους. Η εναλλαγή των παραμέτρων χειροκίνητα θα καταστήσει τον καθαρισμό με λέιζερ ως μία χρονοβόρα διαδικασία. Η αυτοματοποίηση της λειτουργίας των οργάνων διάγνωσης και καθαρισμού

θα επιτάχυνε τη συντήρηση για αυτό και έχει τεθεί ως ένας μελλοντικός στόχος.

Ευχαριστίες

Ευχαριστίες στην Εθνική Πινακοθήκη της Αθήνας και ιδιαίτερα στο προσωπικό του Εργαστηρίου Συντήρησης για την παραχώρηση των δειγμάτων και την πολύτιμη βοήθειά τους σε κάθε βήμα της ερευνητικής διαδικασίας. Ευχαριστίες ακόμη για τους κ. Χ. Ευαγγελάτο και κ. Σ. Ζιδρόπουλο από τη σχολή Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου για την επίσης πολύτιμη βοήθειά τους στην ακτινοβόληση με λέιζερ της πρώτης φάσης και στη χρήση του FEI NanoSEM αντίστοιχα.

Βιβλιογραφία

Drakaki, E., Kandyla, M., Chatzitheodoridis, E., Zergioti, I., Serafetinides, A.A., Terlixi, A., Kouloumpi, E., Moutsatsou, A., Dulgerides, M., Kantarellou, V., Karydas, A.G., Vlachou-Mogire, C., “Laser studies of metallic artworks”, Applied Physics A 101(2) (2010) 349-355.

Δουλγερίδης Μ., “«Ο θερισμός» του Κωνσταντίνου Παρθένη. Συντήρηση και αποκατάσταση του καμένου έργου.”, Αρχαιολογία, Τεύχος 18 (1986) 67-70.

Antonopoulou-Athera, N., Chatzitheodoridis, E., Doulgerides, M., Evangelatos, C., Serafetinides, A. A., & Terlixi, A., ”Laser cleaning treatment of burnt paintings”, 18th International School on Quantum Electronics: Laser Physics and Applications, International Society for Optics and Photonics, eds T. Dreischuh, S. Gateva, A. Serafetinides, Sozopol, Black Sea, Bulgaria, Vol 9447 (2015) 944712-8.

Επιλογή υλικών και μεθοδολογιών για την αποκατάσταση: η εικόνα του μνημείου και οι παρεμβάσεις στο δημόσιο χώρο ιστορικών πόλεων και οικισμών

Συνέργεια παλιού και νέου ιστορική φρουριακή αρχιτεκτονική – σύγχρονες επεμβάσεις (Synergy of old and new: historic fortified architecture – contemporary interventions)

Α. Λαλαούνη, Λ. Στεφανίδου

Abstract

This paper examines the contemporary interventions in historic fortification complexes and the manner in which the new architecture converses with the existing structures.

Fortified architecture constitutes a particular category of monuments, created to protect from raids and attacks. Consequently, castles and towers are characterized by introverted forms, with minimal lighting, suffocating atmosphere and small narrow spaces. In order to be reused, it is necessary, that their function is redefined, and that they are converted from something dark and introvert, to something pleasant and extrovert, which meets the needs of modern living.

It is this challenge that characterizes the process of transformation that led us to select this specific category of buildings, as the radical change of their use presents an increased level of difficulty. Consequently, architects must, through their intervention, respect the values of the historic building and, furthermore, provide solutions to the numerous problems arising from the particular nature and structure of the buildings of this category.

Through deep analysis of several European examples of restored castles and towers, we search out the dialog between new interventions and existing historic fabric. We analyzed different types of interventions in which the new uses, the chosen materials, as well as, the manner in which the historical shells are treated, are different. However, their common point is the creativity that characterizes the interventions, the selection of strong forms and contemporary materials that represent a new clear architectural phase, which converses with the existing structure. Consequently, the revival of these buildings is achieved with the help of new architecture, and no longer via the repetition of older forms. The dominant feature is the dialogue generated by the contrasts between the old and the new, the

relationship of which is determined by the architect, thanks to the use of various means of expression.

The aim of this research is to obtain conclusions regarding the way that contemporary architecture "invades" a historical building, and to make an attempt to answer the following questions:

- How can we achieve balance and unity between the new and the old?
- To what extent can we intervene in the building and how is this need justified?
- In what ways are the values of the monument highlighted through the new design and how does the use of contemporary materials affect this process?
- Which uses and materials are considered to be the most appropriate for the forts?

Περίληψη

Η παρούσα εργασία, εξετάζει τις σύγχρονες επεμβάσεις σε ιστορικά οχυρωματικά συγκροτήματα και τον τρόπο με τον οποίο η νέα αρχιτεκτονική συνδιαλέγεται με την υφιστάμενη δομή.

Η οχυρωματική αρχιτεκτονική αποτελεί μια ιδιαίτερη κατηγορία μνημείων, που δημιουργήθηκε με στόχο την προστασία από επιδρομές και επιθέσεις. Για το λόγο αυτό χαρακτηρίζεται από μορφές εσωστρεφείς, με ελάχιστο φωτισμό, αποπνικτική ατμόσφαιρα και μικρούς και στενούς χώρους. Για να γίνει εφικτή η επανάχρηση ενός τέτοιου χώρου, είναι αναγκαίος ο επαναπροσδιορισμός της λειτουργίας του, η μετατροπή του από κάτι σκοτεινό και εσωστρεφές, σε κάτι ευχάριστο και εξωστρεφές, που θα ανταποκρίνεται στις ανάγκες της σύγχρονης διαβίωσης.

Αυτή ακριβώς η πρόκληση που χαρακτηρίζει τη διαδικασία του μετασχηματισμού, μας οδήγησε στην επιλογή της συγκεκριμένης κατηγορίας κτιρίων, καθώς η ριζική αλλαγή της χρήσης τους παρουσιάζει αυξημένο επίπεδο δυσκολίας: ο αρχιτέκτονας πρέπει μέσα από την επέμβαση του, να σεβαστεί τις αξίες που χαρακτηρίζουν το ιστορικό κτίριο, και επιπλέον να δώσει λύσεις στα πολυάριθμα προβλήματα που προκύπτουν από την ιδιαίτερη φύση και τη δομή των κτισμάτων αυτής της κατηγορίας.

Μέσα από την ανάλυση μιας σειράς παραδειγμάτων, που εντοπίζονται στον ευρωπαϊκό χώρο, διερευνούμε τη διαλεκτική σχέση ανάμεσα στις νέες επεμβάσεις και στο υφιστάμενο ιστορικό δόμημα. Πρόκειται για διαφορετικούς τύπους επεμβάσεων, στις οποίες, τόσο οι νέες χρήσεις και τα

υλικά που επιλέγονται, όσο και ο τρόπος με τον οποίο αντιμετωπίζονται τα ιστορικά κελύφη, είναι διαφορετικά. Ωστόσο το κοινό σημείο τους, είναι η δημιουργικότητα που χαρακτηρίζει τις επεμβάσεις, η επιλογή ισχυρών μορφών και σύγχρονων υλικών που αποτελούν μια νέα ξεκάθαρη αρχιτεκτονική φάση που συνδιαλέγεται με την προϋπάρχουσα δομή. Πρόκειται, ουσιαστικά, για την αναβίωση των κτιρίων αυτών, μέσω μιας νέας αρχιτεκτονικής, και όχι πλέον μέσω της αναπαραγωγής παλαιότερων προτύπων. Κυρίαρχο χαρακτηριστικό είναι ο διάλογος που δημιουργείται από τις αντιθέσεις ανάμεσα στο παλιό και στο νέο, η σχέση των οποίων καθορίζεται από τον αρχιτέκτονα με τη χρήση διαφόρων εκφραστικών μέσων.

Στόχος είναι, μέσω αυτής της έρευνας, να προκύψουν συμπεράσματα σχετικά με τον τρόπο που η σύγχρονη αρχιτεκτονική «εισβάλει» σε ένα ιστορικό κτίριο, και να γίνει μια προσπάθεια να απαντηθούν τα εξής ερωτήματα:

- Πως επιτυγχάνεται η ισορροπία και η ενότητα ανάμεσα στο νέο και το παλιό;
- Σε τι βαθμό μπορούμε να επέμβουμε στο κτίριο και πώς δικαιολογείται αυτή η αναγκαιότητα;
- Με ποιους τρόπους αναδεικνύονται οι αξίες του μνημείου μέσω του νέου σχεδιασμού και πώς η χρήση σύγχρονων υλικών επηρεάζει αυτή τη διαδικασία;
- Ποιες χρήσεις και υλικά θεωρούνται τα πλέον κατάλληλα για τα φρούρια;

Κείμενο εργασίας

Η παρούσα εργασία, αποτελεί μια απόπειρα διερεύνησης των σύγχρονων επεμβάσεων σε ιστορικά οχυρωματικά συγκροτήματα και της διαλεκτικής σχέσης που δημιουργείται ανάμεσα στη νέα αρχιτεκτονική και την υφιστάμενη δομή.

Τα παραδείγματα που μελετήθηκαν, εντοπίζονται στον ευρωπαϊκό χώρο, και ομαδοποιούνται ανάλογα με την έκταση και τη φύση της επέμβασης. Προς αποφυγή της μεγάλης έκτασης του κειμένου, επιλέχθηκε η παρουσίαση ενός χαρακτηριστικού παραδείγματος από κάθε κατηγορία, ενώ τα υπόλοιπα δεν αναλύονται διεξοδικά. Το πρώτο κριτήριο κατηγοριοποίησης αφορά την κατάσταση διατήρησης του κελύφους πριν την αποκατάσταση, και το επόμενο την προσέγγιση της σχεδιαστικής ομάδας. Έτσι έχουμε τη διάκριση ανάμεσα σε μνημεία που βρίσκονταν σε

ερειπιώδη κατάσταση, και σε μνημεία στα οποία διατηρείται η μορφή και η δομή τους.

1. Ερειπιώδης κατάσταση διατήρησης

Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει δυο σχεδιαστικές προσεγγίσεις: τη διατήρηση του μνημείου σε κατάσταση ερειπίου και τη συμπλήρωση ή ολοκλήρωση της μορφής του.

1.1 Διατήρηση κελύφους και σχεδιασμός διαδρομών

Η ομάδα αυτή αφορά τα φρουριακά συγκροτήματα, στα οποία οι επεμβάσεις που πραγματοποιήθηκαν είχαν ως στόχο τη συντήρηση του υφιστάμενου κελύφους στη μορφή που διασώζεται. Οι επεμβάσεις περιορίστηκαν στην κατασκευή ανεξάρτητων βοηθητικών κτιριακών όγκων με ρόλο υποστήριξης της νέας χρήσης, και στη χάραξη νέων πορειών που βοηθούν στην καλύτερη κατανόηση των μνημείων και των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών τους. Τα παραδείγματα που μελετήθηκαν είναι το κάστρο του Castelo Novo (Πορτογαλία), το κάστρο στο Pombal (Πορτογαλία) και το κάστρο Sandsfoot (Αγγλία).

Ο οικισμός castelo Novo αναπτύσσεται γύρω από το βραχώδη λόφο στον οποίο βρίσκεται το κάστρο. Οι νέες κατασκευές εντάσσονται στην τυπολογία της ευρύτερης περιοχής, ακόμα και το νέο κτίσμα εισόδου αποτελεί τη νοητή συνέχεια των παρακείμενων κατοικιών

Βασικός στόχος του σχεδιασμού αποτέλεσε ο σαφής διαχωρισμός των μνημείων και των προσθηκών, καθώς και η αντιστρεψιμότητα της επέμβασης, προκειμένου να μην αφήσει μόνιμο αποτύπωμα στο χώρο. Σχεδιάστηκαν νέες κατασκευές από προ-οξειδωμένο χάλυβα, που χαράσσουν μια νέα πορεία, η οποία συνδέει τα μνημεία του λόφου, παρέχοντας τις απαραίτητες υποδομές για τη μετατροπή του κάστρου σε έναν προσβάσιμο αρχαιολογικό χώρο. Το νέο κτίσμα της εισόδου είναι μια ξεκάθαρη δήλωση της νέας αρχιτεκτονικής φάσης, καθώς προεξέχει από την πλευρά του δρόμου, ενώ στη συνέχεια μοιάζει σαν να χάνεται μέσα στο βράχο και μετατρέπεται σε μια διαδρομή που διακλαδίζεται πάνω στο έδαφος.

Επιλογή υλικών και μεθοδολογιών για την αποκατάσταση: η εικόνα του μνημείου και οι παρεμβάσεις στο δημόσιο χώρο ιστορικών πόλεων και οικισμών

Επέμβαση συμπλήρωσης/ολοκλήρωσης

Στα παραδείγματα που παρουσιάζονται σε αυτό το κεφάλαιο, γίνεται μια προσπάθεια ολοκλήρωσης της μορφής του μνημείου, προκειμένου να αντιμετωπιστούν τα προβλήματα που οφείλονται στην ασυνέχεια του ιστορικού κελύφους και να γίνει δυνατή η στέγαση της νέας χρήσης. Οι επεμβάσεις που μελετήθηκαν αφορούν το κάστρο Astley (Αγγλία), το κάστρο Moritzburg (Γερμανία), το Castillo de la Luz (κάστρο του φωτός, Ισπανία), το αρχαίο τείχος της Νισύρου, τον πύργο του Boraco (Ιταλία) και το κάστρο στο Sobeslav (Τσεχία).

Το κάστρο Astley αποτελεί μια οχυρωμένη μεσαιωνική έπαυλη, που με την πάροδο των αιώνων τυπολογικά μετασχηματίστηκε, καθώς προστέθηκαν νέες κατασκευές. Κατά την επέμβαση αποκατάστασης του, που αποσκοπούσε στη μετατροπή του σε ξενοδοχείο, το περιμετρικό τείχος και η κεντρική κατασκευή του 11ου-13ου αιώνα αποτέλεσαν τους κύριους χώρους. Οι κατασκευές που πραγματοποιήθηκαν μεταξύ του 15ου και του 18ου αιώνα, διατηρήθηκαν σε ερειπιώδη κατάσταση και οι προσθήκες του 19ου αιώνα κρίθηκαν ακατάλληλες και απομακρύνθηκαν.

Η δομή του κάστρου διακρίνεται σε τρία επίπεδα: το ιστορικό κέλυφος, που περιλαμβάνει την τοιχοποιία από αμμόλιθο, τους νέους πλίνθινους τοίχους, που τοποθετήθηκαν στη θέση των χαμένων τμημάτων και σταθεροποιούν το υπάρχον κέλυφος, και τα ξύλινα στοιχεία, που χαρακτηρίζουν τους εσωτερικούς χώρους και εκφράζουν την επανακατοίκιση του κάστρου (δάπεδο, νέα στέγη, κλιμακοστάσια κτλ). Κατά την επέμβαση τα αυθεντικά στοιχεία διατηρήθηκαν, ενώ οι νέες προσθήκες είναι λιτές και ουδέτερες, καθώς δεν αποσκοπούν στη δημιουργία αντιθέσεων, αλλά στη δημιουργία ενός αρμονικού συνόλου με διδακτικό χαρακτήρα. Η ομάδα σχεδιασμού, εκμεταλλεύτηκε την αρχική ερειπιώδη κατάσταση και στους νέους τοίχους διάνοιξε μεγάλα ανοίγματα

για τον καλύτερο φωτισμό των εσωτερικών χωρών και για τη δημιουργία οπτικών φυγών. Εξαιτίας των ανοιγμάτων αυτών, ωστόσο, υποβαθμίζεται η ιστορικότητα του μνημείου, διότι χάνονται ορισμένες ιδιότητες της αρχικής δομής, όπως είναι η εσωστρέφεια, τα μικρά ανοίγματα κτλ, με αποτέλεσμα να προκαλείται μια μορφολογική σύγχυση.

Η εκτεταμένη επέμβαση που πραγματοποιήθηκε εγείρει ερωτήματα ως προς την αντιστρεψιμότητα της. Ωστόσο, στο σύνολο της, χαρακτηρίζεται από μια στάση σεβασμού προς το παλιό, που γίνεται εμφανής κυρίως από τον τρόπο με τον οποίο οι ουδέτερες μορφές ολοκληρώνουν τη σύνθεση, συμπληρώνοντας τα κενά του ιστορικού κελύφους. Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι χρησιμοποιήθηκαν πλίνθοι μικρού ύψους, που προσαρμόζονται στις ακανόνιστες απολήξεις της λίθινης τοιχοποιίας, ώστε αυτές να διατηρηθούν αναλλοίωτες. Το νέο, έτσι, υποχωρεί σε σχέση με το παλιό και μεταβαίνει στο φόντο, προκειμένου να αναδειχθεί η αυθεντική δομή.

Υφιστάμενη κατάσταση: διατήρηση μορφής και δομής

Τα φρούρια που περιλαμβάνονται σ' αυτή την ομάδα, έχουν υποστεί περιορισμένες καταστροφές και διασώζεται σχεδόν ακέραια η δομή τους. Η κατηγορία αυτή χωρίζεται αντίστοιχα σε δυο υποκατηγορίες: στην πρώτη μελετάμε επεμβάσεις στις οποίες ο σχεδιασμός αφορά την προσθήκη μεμονωμένων όγκων, και στη δεύτερη παραδείγματα στα οποία οι αρχιτέκτονες επεμβαίνουν στο κέλυφος και στο εσωτερικό της ιστορικής κατασκευής.

Προσθήκη όγκου

Κοινό σημείο των παραδειγμάτων που παρουσιάζονται σε αυτή την κατηγορία, αποτελεί η επιλογή των αρχιτεκτόνων να στεγάσουν μέρος ή και ολόκληρη τη νέα χρήση σε μια νέα κατασκευή, που χωροθετείται είτε σε απόσταση είτε σε άμεση επαφή με την υφιστάμενη δομή.

Προσθήκη όγκου σε απόσταση από το κέλυφος

Στην πρώτη περίπτωση, η προσθήκη διατηρεί απόσταση από το κέλυφος, και λειτουργεί ως μια αυτόνομη κατασκευή. Τα παραδείγματα που μελετήθηκαν είναι ο πύργος Nazari, Huercal-Overa (Ισπανία), ο πύργος Draper's bastion (Ρουμανία) και το κάστρο στο Trancoso (Πορτογαλία).

Επιλογή υλικών και μεθοδολογιών για την αποκατάσταση: η εικόνα του μνημείου και οι παρεμβάσεις στο δημόσιο χώρο ιστορικών πόλεων και οικισμών

Στον πύργο Nazari, Huercal-Overa, βασική κατεύθυνση ήταν η επέμβαση στο υφιστάμενο κτίσμα να πραγματοποιηθεί με πλήρη τεκμηρίωση, χωρίς υποθέσεις, και οι προσθήκες να είναι απόλυτα διακριτές και κατασκευασμένες με σύγχρονα υλικά.

Η αρχική είσοδος του πύργου βρίσκονταν σε ύψος τεσσάρων μέτρων πάνω από τη στάθμη του εδάφους. Προκειμένου να αποκατασταθεί αυτή η πρόσβαση, κατασκευάστηκε ένας κυλινδρικός όγκος από προ-οξειδωμένο χάλυβα, που στεγάζει ένα κλιμακοστάσιο. Οι αρχιτέκτονες επέλεξαν να τοποθετήσουν τον όγκο αυτό δίπλα και σε μικρή απόσταση από τον πύργο, αποσκοπώντας στη δημιουργία μιας διαλεκτικής σχέσης ανάμεσα στις δύο μορφές. Η αντιπαράθεση αυτή, ανάμεσα στο νέο και στο παλιό, ενισχύεται μέσω των χαρακτηριστικών της προσθήκης. Αρχικά, μέσω της επιλογής των υλικών: ο νέος όγκος είναι κατασκευασμένος από προ-οξειδωμένο χάλυβα, ένα σύγχρονο ελαφρύ υλικό, που αντιτίθεται στην στον πέτρινο όγκο του πύργου. Επίσης, η νέα κατασκευή έχει κυλινδρική μορφή, αντίθετα με τον πύργο, ο οποίος έχει τετράπλευρη. Τέλος, παρατηρούμε την αναλογία των μεγεθών: το ύψος του νέου όγκου είναι το ήμισυ από αυτό του πύργου. Η σχέση αυτή εκφράζει την αναλογία της σπουδαιότητας των δυο στοιχείων, όπως αυτή γίνεται αντιληπτή από τους αρχιτέκτονες, για τους οποίους η προσθήκη αποτελεί μια νέα ιστορική φάση, που δεν προσπαθεί να επισκιάσει τον ιστορικό πύργο.

Προσθήκη σε επαφή με το κέλυφος

Στην κατηγορία αυτή ο όγκος που προστίθεται σχετίζεται άμεσα με το ιστορικό κτίσμα, και αναπτύσσεται σε επαφή με αυτό. Μελετήθηκαν οι επεμβάσεις που πραγματοποιήθηκαν στο μουσείο ιστορικής σκοποβολής της πόλης Duderstadt (Γερμανία), στο μουσείο ιστορίας της πόλης Rapperswil-Jona (Ελβετία), και στο κάστρο της Ibiza (Ισπανία).

Η επέμβαση στο κάστρο Rapperswil, περιλαμβάνει τη δημιουργία ενός κτίσματος, το οποίο είναι εφαπτόμενο στον μεσαιωνικό πύργο-παρατηρητήριο και στο γειτονικό κτίριο κατοικίας, και σχεδιάστηκε στη

Επιλογή υλικών και μεθοδολογιών για την αποκατάσταση: η εικόνα του μνημείου και οι παρεμβάσεις στο δημόσιο χώρο ιστορικών πόλεων και οικισμών

θέση ενός παλαιότερου μεταβατικού κτίσματος του 20ου αιώνα, προκειμένου να αντιμετωπιστούν τα διαρθρωτικά προβλήματα μεταξύ των δύο αυτών ιστορικών κτισμάτων που χρησιμοποιούνταν ως εκθεσιακοί χώροι.

Ο νέος τετραώροφος πρισματικός όγκος έχει το δικό του κέλυφος και σε αυτόν χωροθετείται η είσοδος του μουσείου και το κεντρικό κλιμακοστάσιο που διανέμει τις κινήσεις στα δύο εκατέρωθέν του κτίσματα. Το σχήμα του αναπτύσσεται βάσει της θέσης των υφιστάμενων ανοιγμάτων, προκειμένου να μη αλλοιωθούν οι πλευρικές όψεις του πύργου και της κατοικίας. Έτσι η μορφή του ξετυλίγεται πρώτα από τη δεξιά πλευρά, μετά από την αριστερή και στο σημείο σύνδεσης των πλευρικών γραμμών δημιουργείται η πρισματική γεωμετρία της πρόσοψης. Παρόλο που ως υλικό της πρόσοψης και της νέας στέγης χρησιμοποιήθηκε ο χαλκός, προκαλώντας μια σκόπιμη αντίθεση μεταξύ του παλιού και του νέου, εκφράζεται μια στάση σεβασμού προς τα ιστορικά δομήματα. Αύτη εκφράζεται με την υποχώρηση της προσθήκης, η οποία βρίσκεται σε εσοχή, αφήνοντας ορατά τμήματα των πλευρικών όψεων. Στον εσωτερικό χώρο αντίθετα, το νέο επικρατεί εις βάρος του παλιού, καθώς το κέλυφος της νέας κατασκευής καλύπτει πλήρως τους πλευρικούς μεσαιωνικούς τοίχους.

Επέμβαση στο κέλυφος και στο εσωτερικό

Τα παραδείγματα αυτής της υποκατηγορίας αφορούν επεμβάσεις που επικεντρώνονται στο ίδιο το περίβλημα του μνημείου και στο εσωτερικό του. Ανάλογα με την έκταση και τη φύση τους, χωρίζονται σε ήπιες και εκτεταμένες.

Ήπια επέμβαση

Επιλογή υλικών και μεθοδολογιών για την αποκατάσταση: η εικόνα του μνημείου και οι παρεμβάσεις στο δημόσιο χώρο ιστορικών πόλεων και οικισμών

Στις ήπιες, συγκαταλέγονται επεμβάσεις στις οποίες δίνεται έμφαση στην υπάρχουσα δομή, και στην ανάδειξή της με λεπτούς χειρισμούς. Μελετήθηκαν οι επεμβάσεις στον Λευκό πύργο, στο κάστρο Bruneck (Ιταλία), στο κάστρο Castelgrande (Ιταλία), στο κάστρο στο Polpenazze (Ιταλία) και στον πύργο Nazari, Tahal (Ισπανία).

Λόγω της ιστορικότητας του μνημείου και του χαρακτήρα του, ως σύμβολο της πόλης της Θεσσαλονίκης, η αποκατάσταση που πραγματοποιήθηκε στον Λευκό Πύργο, είχε σαν γνώμονα το μικρότερο δυνατό ποσοστό επεμβάσεων, έτσι ώστε να διατηρηθεί αναλλοίωτο το μνημείο. Οι επεμβάσεις που πραγματοποιήθηκαν αφορούν την αντιμετώπιση των προβλημάτων του κτιρίου, αποσκοπώντας στην εξυγίανση του, τις απαραίτητες προσθήκες για τη στέγαση της νέας χρήσης, και την διαχείριση των ιστορικών φάσεων του πύργου, και ειδικότερα την απομάκρυνση των προσθηκών που κρίθηκε ότι προσβάλλουν το μνημείο. Έτσι, οι ξύλινες ψευδοροφές που υπήρχαν στους κεντρικούς ορόφους του πύργου απομακρύνθηκαν, αποκαλύπτοντας τις αυθεντικές ξύλινες οροφές, οι οποίες επισκευάστηκαν, συντηρήθηκαν και έμειναν ορατές. Κατά την καθαίρεση νεώτερων επιχρισμάτων, ήρθαν στο φως κατασκευές από σκυρόδεμα ή τούβλα, που έδιναν σε όλα τα ανοίγματα, πόρτες και παράθυρα ορθογώνιο σχήμα, παραμορφώνοντας την αρχική τοξωτή κατασκευή τους. Τα πλαίσια αυτά αφαιρέθηκαν, ώστε να αποκατασταθεί η αυθεντική μορφή των ανοιγμάτων, και στις θέσεις τους τοποθετήθηκαν σύγχρονα μεταλλικά κουφώματα από λεπτές διατομές σιδήρου. Ο νέες προσθήκες περιορίστηκαν στην τοποθέτηση νέων κουφωμάτων, θυρών και του απαραίτητου φορητού εξοπλισμού για την μουσειακή χρήση.

Θα μπορούσαμε να πούμε ότι πρόκειται για μια διστακτική επέμβαση, καθώς οι αρχιτέκτονες δεν τολμούν να εισάγουν σύγχρονα στοιχεία στο κτίριο, παρά μόνο τα απολύτως απαραίτητα για τη φιλοξενία της νέας χρήσης. Αυτή η διστακτικότητα είναι δικαιολογημένη, αν αναλογιστεί κανείς το συμβολισμό του μνημείου για την πόλη της Θεσσαλονίκης. Παρόλα αυτά το αποτέλεσμα δεν υστερεί σε κανένα σημείο, αντιθέτως διαθέτει όλες τις υποδομές που απαιτεί ένα σύγχρονο μουσείο, καταφέρνοντας ταυτόχρονα να αναδείξει το ίδιο το ιστορικό κτίσμα και να το εντάξει στη ζωή της πόλης.

Επιλογή υλικών και μεθοδολογιών για την αποκατάσταση: η εικόνα του μνημείου και οι παρεμβάσεις στο δημόσιο χώρο ιστορικών πόλεων και οικισμών

Εκτεταμένη επέμβαση

Οι εκτεταμένες επεμβάσεις χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη ελευθερία αρχιτεκτονικών κινήσεων ως προς τις νέες προσθήκες και τη διαχείριση της υφιστάμενης δομής. Τα παραδείγματα που μελετήθηκαν αφορούν τις επεμβάσεις στο κάστρο Castelvecchio (Ιταλία), στο κάστρο στο Rivoli (Ιταλία), στο οχυρό στο Franzensfeste (Ιταλία), στο κάστρο Firmian (Ιταλία), στον πύργο Moravola (Ιταλία) και στο κάστρο Hambach (Γερμανία).

Κατά την επέμβαση που πραγματοποιήθηκε στο κάστρο Castelvecchio, ο Scara κλήθηκε να διαχειριστεί ένα σύνολο ετερογενών στοιχείων τα οποία έχουν κατασκευαστεί σε διαφορετικές χρονικές περιόδους. Στόχος της επέμβασης ήταν η δημιουργία ενός χώρου κατάλληλου για τη στέγαση της μουσειακής χρήσης, και ταυτόχρονα η ανάδειξη όλων αυτών των διαφορετικών και ετερόκλιτων, σε πολλές περιπτώσεις, αρχιτεκτονικών στοιχείων.

Το κυριότερο εμπόδιο που συναντά σε αυτή του την προσπάθεια ο Scarpa είναι η επέμβαση αποκατάστασης που είχε πραγματοποιηθεί στο οχυρωματικό συγκρότημα το 1923-26 από τον Farlati, η οποία μετέτρεψε σημαντικά τον χαρακτήρα και τον τρόπο οργάνωσης του συγκροτήματος, ώστε να ακολουθεί τα σύγχρονα της πρότυπα. Έτσι, ο Scarpa κρίνοντας ότι η επέμβαση αυτή θίγει το μνημείο, προσπαθεί να την αναιρέσει. Αρχικά αφαιρεί την κίβδηλη διακόσμηση (του 1923-1926) από τους τοίχους και τις οροφές, ώστε να αναδείξει την αυθεντική δομή του κτίσματος. Μέσω του νέου σχεδιασμού, επιχειρεί να καταργήσει την συμμετρία που είχε επιβληθεί στο χώρο: αντικαθιστά τα κεντρικά ανοίγματα με πλευρικά, δημιουργεί μία νέα οργάνωση και τρόπο κυκλοφορίας και δίνει ιδιαίτερη έμφαση στον τρόπο χρήσης των υλικών, ειδικά των δαπέδων και των οροφών, τα οποία ουσιαστικά αποτελούν ένα μέσο για την ενίσχυση της προοπτικής και των αξόνων θέασης και κυκλοφορίας. Στο εξωτερικό της πτέρυγας, ο αρχιτέκτονας αντιμετωπίζει ιδιαίτερη δυσκολία, λόγω της ανακατασκευασμένης όψης του κτιρίου των στρατώνων. Τελικά αποφασίζει να μην την αφαιρέσει, αλλά να την υποβαθμίσει: δημιουργεί μια δεύτερη, εσωτερική, ανεξάρτητη υαλίνη όψη, η οποία εμφανίζεται διαφοροποιημένη μέσα από κάθε άνοιγμα, κυμαινόμενη σε ύψος και σε βάθος, και πάντα ασύμμετρη στη σύνθεσή της, προκαλώντας την ψευδαίσθηση μιας συνεχούς επιφάνειας, που ‘’τρέχει’’ πίσω από την όψη, αλλάζοντας έτσι τον τρόπο που την αντιλαμβανόμαστε, μέσω της κατάργησης της συμμετρίας και της διακοπής της από νέα στοιχεία.

Επιλογή υλικών και μεθοδολογιών για την αποκατάσταση: η εικόνα του μνημείου και οι παρεμβάσεις στο δημόσιο χώρο ιστορικών πόλεων και οικισμών

Παράλληλα, ο αρχιτέκτονας, προκειμένου να αναδείξει τις διαφορετικές ιστορικές φάσεις, δε διστάζει να πραγματοποιήσει σημειακές κατεδαφίσεις. Έτσι, δημιουργεί δυο ασύμμετρες τομές στις άκρες του εξωτερικού τείχους (18ος αι), ώστε να το διαχωρίσει από τους δυο πύργους του 14ου αιώνα, δημιουργώντας το απαραίτητο κενό ανάμεσα στα στοιχεία αυτά, και κατά συνέπεια ανάμεσα στις διαφορετικές ιστορικές φάσεις (διαφορά 500 χρόνων). Η αιτιολόγηση αυτών των αποφάσεων βασίζεται κυρίως στον ιστορικό διαχωρισμό, εξυπηρετεί όμως ταυτόχρονα και προγραμματικούς στόχους, καθώς παρέχει τη δυνατότητα φυσικού φωτισμού των εσωτερικών χώρων.

Οι επεμβάσεις του Scarpa είναι αρκετά βίαιες, ωστόσο δικαιολογούνται απόλυτα από τους στόχους του, και πραγματοποιούνται μετά από προσεκτική μελέτη και πλήρη τεκμηρίωση. Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει η επιλογή σύγχρονων υλικών, η οποία γίνεται απολύτως εσκεμμένα, ώστε να υποδηλώσει την σύγχρονη φύση της επέμβασης.

Συμπεράσματα

Οι διαφορετικοί τύποι επεμβάσεων και οι σχεδιαστικές αποφάσεις που λαμβάνονται εξαρτώνται από την κατάσταση διατήρησης του μνημείου και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του, τη φιλοσοφία των αρχιτεκτόνων, τη νέα χρήση, τη χώρα στην οποία βρίσκεται το μνημείο, καθώς και το φορέα ανάθεσης.

Η κατάσταση διατήρησης του μνημείου, και τα ιδιαίτερά του γνωρίσματα αποτελούν την αφετηρία του σχεδιασμού, ενώ παράλληλα θέτουν ορισμένους περιορισμούς. Παρά την κοινή κατάσταση διατήρησης αρκετών περιπτώσεων, η πορεία που ακολουθήθηκε και το αποτέλεσμα που παρήχθη ήταν εντελώς διαφορετικά. Παραδείγματος χάριν, τόσο το κάστρο Astley όσο και το Sandsfoot βρίσκονταν σε ερειπιώδη κατάσταση, όμως το κάθε ένα αντιμετωπίστηκε με διαφορετικό τρόπο: στο πρώτο, η μορφή

Επιλογή υλικών και μεθοδολογιών για την αποκατάσταση: η εικόνα του μνημείου και οι παρεμβάσεις στο δημόσιο χώρο ιστορικών πόλεων και οικισμών

ολοκληρώθηκε, ενώ στο δεύτερο διατηρήθηκε το υπάρχον κέλυφος και αναδείχθηκε η ερειπιώδης του μορφή.

Το κάστρο Sandsfoot (αριστερά) και το κάστρο Astley (δεξιά) πριν και μετά την αποκατάσταση

Όσον αφορά τη νέα χρήση, η συνηθέστερη επιλογή, στα παραδείγματα που μελετήθηκαν, είναι η στέγαση μουσειακών και εκθεσιακών χώρων, γεγονός που μπορεί να δικαιολογηθεί από το χαρακτήρα των οχυρών. Η εσωστρέφεια και οι σκοτεινοί χώροι τους, δημιουργούν τις ιδανικές συνθήκες για μια μουσειακή εγκατάσταση. Στην πλειονότητα των περιπτώσεων επαναχρήσης του συγκροτήματος σε μουσείο, παρατηρήσαμε από την πλευρά των αρχιτεκτόνων λεπτούς χειρισμούς, τεκμηριωμένες επιλογές, και μια προσπάθεια ανάδειξης του ιστορικού κτιρίου. Αντίθετα, στις περιπτώσεις που η νέα χρήση απαιτούσε τη δημιουργία χώρων διαβίωσης, όπως κατά τη μετατροπή του οχυρού σε ξενοδοχείο, δόθηκε έμφαση στις αισθητικές αξίες εις βάρος των ιστορικών. Για παράδειγμα, το κάστρο Astley διανοίχτηκαν μεγάλα ανοίγματα για το φωτισμό των εσωτερικών χώρων, αλλοιώνοντας το μορφολογικά, ενώ στον πύργο Moravola πραγματοποιήθηκαν πολλοί μετασχηματισμοί στους εσωτερικούς χώρους.

Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει την επέμβαση είναι η χώρα στην οποία βρίσκεται το μνημείο. Ένα μεγάλο ποσοστό των παραδειγμάτων βρίσκονται στην Ιταλία, χώρα με μεγάλη παράδοση σε θέματα πολιτιστικής κληρονομιάς, όπου οι αρχιτέκτονες δε διστάζουν να επέμβουν στο αρχιτεκτόνημα προκειμένου να εκφραστούν. Αντίστοιχα, και στην Πορτογαλία, τη Γερμανία, την Αγγλία, την Ισπανία και τη Ρουμανία, εντοπίζονται επεμβάσεις που χαρακτηρίζονται από μια ελευθερία αρχιτεκτονικών κινήσεων. Στις περισσότερες περιπτώσεις το αποτέλεσμά είναι πολύ ενδιαφέρον, ενώ σε άλλες, η ισορροπία του συνόλου χάνεται, γεγονός που αποβαίνει σε βάρος του μνημείου. Αντίθετα, στα παραδείγματα στον ελλαδικό χώρο, παρατηρήσαμε μια διστακτικότητα ως προς την εισαγωγή νέων στοιχείων, και μεγάλη έμφαση στο σεβασμό και στη

διατήρηση του υφιστάμενου δομήματος. Η νέα αρχιτεκτονική έρχεται σε δεύτερη μοίρα και εντάσσεται διακριτικά στο ιστορικό κέλυφος. Στο αρχαίο τείχος της Νισύρου, λόγου χάρη, χρησιμοποιήθηκαν φυσικά υλικά του τόπου και όχι σύγχρονα, ενώ οι προσθήκες ήταν ουδέτερες. Αυτή η στάση συντηρητισμού και φόβου δημιουργικότητας πιθανόν να οφείλεται στην ακαμψία του θεσμικού πλαισίου και στις αρμόδιες εφορείες αρχαιοτήτων που αποθαρρύνουν την υλοποίηση περισσότερο «επεμβατικών» προτάσεων.

Τέλος, και οι φορείς ανάθεσης επηρεάζουν το είδος της επέμβασης. Στις επεμβάσεις όπου εμπλέκονται δημόσιοι ή πολιτιστικοί φορείς, δίνεται μεγαλύτερη έμφαση στις ιστορικές αξίες του κτίσματος και στην τεκμηρίωση των αποφάσεων, ενώ σε αυτές που πραγματοποιούνται με ιδιωτική πρωτοβουλία, δίνεται προτεραιότητα στις αισθητικές αξίες και στην κάλυψη των αναγκών που προκύπτουν από τη νέα χρήση, γεγονός που ενίοτε οδηγεί στην υπονόμευση της ιστορικότητας του συνόλου (πύργος Moravola).

Οι αρχιτέκτονες, λαμβάνοντας υπόψην τους παραπάνω παράγοντες και τους περιορισμούς που θέτουν στην επέμβαση, προχωρούν στη σχεδιαστική διαδικασία, η οποία αφορά τη διαχείριση των ιστορικών φάσεων του μνημείου, αλλά και τις νέες προσθήκες και μετατροπές, που είναι απαραίτητες για τη στέγαση της νέας χρήσης. Ο τρόπος διαχείρισης των ιστορικών φάσεων σε κάθε περίπτωση είναι διαφορετικός:

Μελετήσαμε παραδείγματα στα οποία η ομάδα σχεδιασμού αποσκοπεί στην ανάδειξη των κατασκευαστικών φάσεων (Castelvecchio) ή και στην αποκάλυψη κρυμμένων φάσεων, που αποτελούν μέρος της ιστορίας του φρουρίου (κάστρο de la Luz, Castelvecchio).

Σε άλλες περιπτώσεις, οι αρχιτέκτονες, επιχειρούν να υποβαθμίσουν, μέσω του σχεδιασμού, τα αρχιτεκτονικά στοιχεία που ανήκαν σε επιβλαβείς ιστορικές φάσεις, προκειμένου να αποφθεχθούν εκτεταμένες επεμβάσεις και καθαιρέσεις, με απρόβλεπτες συνέπειες.

Πολλές φορές επιλέγεται η απομάκρυνση μεταγενέστερων προσθηκών που κρίθηκε ότι στερούνται ιστορικής αξίας ή ότι υπονομεύουν τις αξίες του μνημείου (Λευκός Πύργος). Στο κτίριο Manica Lunga, για παράδειγμα, η μεταγενέστερες προσθήκες διατάρασσαν την τυπολογία και αλλοίωναν το χαρακτήρα του, υποβαθμίζοντάς το. Για το λόγο αυτό ο A. Bruno έκρινε σκόπιμη την απομάκρυνσή τους.

Τέλος, μέσω του νέου σχεδιασμού παρατηρούμε και μια προσπάθεια επαναφοράς χαμένων ιστορικών φάσεων, μέσω της νοητής ολοκλήρωσης της μορφής, προκειμένου οι χρήστες του χώρου να μπορούν να κατανοήσουν καλύτερα το μνημείο, έχοντας μια εικόνα του πώς ήταν αρχικά. Δεν πρόκειται για μια αποκατάσταση αρχικής μορφής, αλλά για μια

Επιλογή υλικών και μεθοδολογιών για την αποκατάσταση: η εικόνα του μνημείου και οι παρεμβάσεις στο δημόσιο χώρο ιστορικών πόλεων και οικισμών

συμπλήρωση, διδακτικού χαρακτήρα, με χρήση σύγχρονων υλικών. Στο κάστρο στο Rivoli, για παράδειγμα, όπου το δόμημα έμεινε ημιτελές και οι στόχοι του αρχικού δημιουργού δεν υλοποιήθηκαν ποτέ, η μορφή ολοκληρώθηκε με τη βοήθεια χαράξεων στο έδαφος που συμβολίζουν τη θέση των αρχιτεκτονικών στοιχείων, τα οποία προβλεπόταν να κατασκευαστούν κατά την αρχική του φάση. Στο φρούριο στο Franzensfeste, όπου λόγω καταστροφών δεν διασώζεται η συνολική εικόνα του κτίσματος, η νέα κατασκευή συμβολίζει τη συνέχεια της παλιάς, σκιαγραφώντας τα τμήματα που έχουν χαθεί.

Οι νέες προσθήκες αποτελούν ένα πολύ σημαντικό κομμάτι του σχεδιασμού, ενώ παράλληλα βασικό ρόλο διαδραματίζουν και τα υλικά που χρησιμοποιούνται: τόσο η επιλογή τους, όσο και η εσκεμμένη επεξεργασία τους, έχει σημαντικό αντίκτυπο στη συνολική εικόνα της σύνθεσης. Πρόκειται για τον τρόπο με τον οποίο εκφράζεται η σύγχρονη αρχιτεκτονική και αποτυπώνεται στο μνημείο ως μια νέα ιστορική φάση. Παρατηρούμε τρείς κυρίαρχες τάσεις.

Η πρώτη, χαρακτηρίζεται από μια προσπάθεια εναρμόνισης του συνόλου και ομαλής μετάβασης από το παλιό στο νέο. Το καινούργιο δεν αποσκοπεί στη δημιουργία αντιθέσεων, αλλά στην ανάδειξη του παλιού. Οι νέες μορφές που συναντάμε εντάσσονται στο σύνολο και οπτικά παραπέμπουν στις ιστορικές δομές. Παραδείγματος χάριν, στο κάστρο στο Franzensfeste, το νέο κλιμακοστάσιο, απολελεί μια κατασκευή με έντονη πλαστικότητα που μοιάζει σαν την τεχνητή συνέχεια της ακατέργαστης και τραχιάς επιφάνειας του βράχου. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται περισσότερο, και εκφράζουν την τάση αυτή, είναι η πέτρα, το τούβλο, και το γυαλί. Αντιπροσωπευτικό παράδειγμα αποτελεί το κάστρο Astley, όπου η νέα τοιχοποιία υποχωρεί σε σχέση με την υφιστάμενη δομή. Στο οχυρό στο Sobeslav, η χρήση γυάλινων επιφανειών, μπροστά από την υφιστάμενη τοιχοποιία, δηλώνει μια στάση προστασίας, και αποτελεί μια διακριτική χειρονομία, που την παρομοιάζει με αρχαιολογικό εύρημα.

Επιλογή υλικών και μεθοδολογιών για την αποκατάσταση: η εικόνα του μνημείου και οι παρεμβάσεις στο δημόσιο χώρο ιστορικών πόλεων και οικισμών

Αριστερά: οχυρό στο Franzensfeste: ένταξη κλιμακοστασίου στο βράχο, Κέντρο: Κάστρο στο Sobeslav: λεπτομέρεια πρόσοψης και γυάλινης προσθήκης, Δεξιά: Κάστρο Astley: σύνδεση νέων πλίνθων με την αυθεντική τοιχοποιία

Η δεύτερη τάση, στοχεύει σε μια ενδιάμεση κατάσταση: στη δημιουργία ήπιων αντιθέσεων, που δεν αποβαίνουν εις βάρος του παλιού, αλλά εγκαθιδρύουν ένα διάλογο μεταξύ των ιστορικών φάσεων και της σύγχρονης αρχιτεκτονικής. Εισάγονται απλές μινιμαλιστικές μορφές που διακρίνονται από την έντονη γεωμετρία τους και έρχονται σε αντιπαράθεση με τις προϋπάρχουσες δομές. Οι προσθήκες αυτές αποτελούν συνήθως ελαφρές κατασκευές οι οποίες "συνδιαλέγονται" με τα ογκώδη αδρά τείχη των οχυρωματικών μνημείων. Τέτοια παραδείγματα αφορούν τόσο την προσθήκη όγκων που φιλοξενούν νέες χρήσεις (πύργος Nazari Huercal-Overa), όσο και άλλα αρχιτεκτονικά στοιχεία, όπως για παράδειγμα κλιμακοστάσια. Ενδεικτικά υλικά αυτής της κατηγορίας είναι το ξύλο, φυσικό υλικό με περιορισμένη διάρκεια ζωής που γερνάει μαζί με το μνημείο, ο προ-οξειδωμένος χάλυβας και το σκυρόδεμα (εμφανές ή επιχρισμένο). Ο χάλυβας (cor-ten) χρησιμοποιείται σε πολλά παραδείγματα, διότι, ενώ αποτελεί ένα σύγχρονο υλικό, η οξειδωμένη του επιφάνεια, του προσδίδει μια παλαιωμένη εμφάνιση. Η γήινες αποχρώσεις του και η ιδιαίτερη αισθητική του, το κάνουν να εντάσσει στο φυσικό περιβάλλον, και κατά συνέπεια στο μνημείο, δηλώνοντας την παρουσία του με διακριτικό τρόπο.

Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται και περιπτώσεις που περιλαμβάνουν τη σκόπιμη αλλαγή της μορφολογίας των υλικών, προκειμένου να παραπέμπουν οπτικά στα παρακείμενα αυθεντικά. Στο κάστρο στο Franzensfeste, χαράχθηκαν οριζόντιες λωρίδες στο οπλισμένο σκυρόδεμα των νέων πύργων, που "συνομιλούν" με τις χαράξεις των λίθων της ιστορικής τοιχοποιίας. Στο οχυρό στην Ibiza, μπορούμε να παρατηρήσουμε, στο νέο κλιμακοστάσιο, τις διαγώνιες χαράξεις του υλικού του που αποτελούν τη συνέχεια τον χαράξεων της τοιχοποιίας του κάστρου.

Επιλογή υλικών και μεθοδολογιών για την αποκατάσταση: η εικόνα του μνημείου και οι παρεμβάσεις στο δημόσιο χώρο ιστορικών πόλεων και οικισμών

Σχεδιάστηκε με αυτόν τον τρόπο, ώστε να φαίνεται σαν να αποτελεί ένα τμήμα του οχυρού, μια συνεχόμενη επιφάνεια με τους υφιστάμενους λίθους, που "αποκολλάται", αποκτώντας πρισματική μορφή. Αυτές οι ιδιαίτερες χειρονομίες, αναδεικνύουν τις άξιες των φρουριακών κτισμάτων, μέσω της επαναδιατύπωσής τους, με σύγχρονα και πρωτότυπα μέσα.

Αριστερά: Οχυρό στο Franzensfeste: οι οριζόντιες χαράξεις του σκυροδέματος παραπέμπουν στην πέτρα, Δεξιά: Κάστρο στην Ibiza: η προσθήκη σε επαφή με το ιστορικό τείχος

Τέλος, στην τρίτη τάση, συναντάμε μορφές και υλικά, τα οποία εκφράζουν έντονα τη συγχρονικότητά τους, εντείνοντας τις αντιθέσεις στο χώρο. Στις περιπτώσεις αυτές είναι πολύ εύκολο να χαθεί η ισορροπία ανάμεσα στο υπάρχον και στην προσθήκη, στο βωμό της αυτοπροβολής του αρχιτέκτονα, και το νέο να αποβεί σε βάρος του παλιού. Για παράδειγμα, στο μουσείο ιστορικής σκοποβολής στο Duderstadt, η εκκεντρική πρισματική χάλκινη επιφάνεια με την οποία επενδύθηκε η κατασκευή της προσθήκης, αποτελεί μια πολύ έντονη χειρονομία. που δεν εντάσσεται ομαλά στο ιστορικό περιβάλλον της. Ωστόσο, στο μεγαλύτερο πλήθος των παραδειγμάτων που εξετάσαμε, χάρη στους επιδέξιους χειρισμούς των αρχιτεκτόνων, δεν χάνεται η ισορροπία του συνόλου, αν και προσθέτονται κατασκευές μεγάλου μεγέθους. Τέτοιες επεμβάσεις συναντήσαμε στον πύργο του Brasov (Drapers' bastion) και στον πύργο Nazari, Huercal-Overa, στα οποία οι νέες προσθήκες, ενώ αποτελούν εκκεντρικές κατασκευές, συμβάλλουν στην ισορροπία και στην ενότητα της σύνθεσης.

Επιλογή υλικών και μεθοδολογιών για την αποκατάσταση: η εικόνα του μνημείου και οι παρεμβάσεις στο δημόσιο χώρο ιστορικών πόλεων και οικισμών

Αριστερά: μουσείο ιστορικής σκοποβολής, Duderstadt, Κέντρο: Πύργος Nazari, Huercal-Overa, Δεξιά: Draper's Bastion:ο νέος πύργος στο εσωτερικό του παλιού

Βιβλιογραφία

Auguste Choisy, *Histoire de l'architecture*, 1899

Amanda Lomazoff, *The atlas of military history*, 2012

J. E. Kaufmann,H. W. Kaufmann, *The Medieval Fortress: Castles, Forts and Walled Cities of the Middle Age*, 2004

Καραδέδος, Γ. Π., *Προστασία μνημείων και συνόλων, Ιστορία και εξέλιξη της προστασίας μνημείων και συνόλων*,1991-1992.

Λάββας, Γ. Π., *Προστασία μνημείων και συνόλων. Βασικές έννοιες, ιδεολογία και μεθοδολογία*, 1984.

Brandi, C., *Θεωρία της Συντήρησης*, Η. Γαβριηλίδη (μετ. επιμ.), Ν. Ζίας (προλ.), 2001.

Μουτσόπουλος, Ν. Κ., «*Η αναστήλωσις των Φρουρίων. Θέματα της 10ης Συνόδου του Επιστημονικού Συμβουλίου του Διεθνούς Ινστιτούτου Φρουρίων (Ι.Β.Ι) εις Βουδαπέστην*», Τεχνικά Χρονικά 535/1 (Ιαν. 1971)

Νομικός, Μ. Ε., *Αποκατάσταση-επανάχρηση ιστορικών κτιρίων και συνόλων, Μεθοδολογία – Εφαρμογές*,1997.

Cantacuzino, Sh., *New uses for old buildings*,1975.

Fawcett, J. E., *The future of the past, Attitudes to Conservation 1174-1974*,1976.

Highfield, D., *The construction of new buildings behind historic facades*, 1991.

New life for old buildings, 1971.

Pearce, D., *Conservation today*, 1989.

Richard Murphy, *Carlo Scarpa & Castelvecchio*,1990

Bianca Albertini, Sandro Bagnoli, *Scarpa, Architecture in details*, 1998

Jan Birksted, *Relating architecture to landscape*, 1999

Botta, Aurelio Galfetti, *Aurelio Galfetti*, 1989

Aurelio Galfetti, *Restoration of the Castelgrande at Bellinzona, Anthos : Une revue pour le paysage*/ Volume 26, issue 1, 198

Ανάπτυξη διεπιστημονικής και δι-ιδρυματικής εκπαίδευσης και έρευνας στρατηγικής σημασίας στον τομέα της προστασίας των μνημείων της πολιτιστικής κληρονομιάς

Αποτίμηση του Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Προστασία Μνημείων» - Κατεύθυνση «Υλικά και Επεμβάσεις Συντήρησης»

(Evaluation of the Interdisciplinary Program of Postgraduate Studies «Protection of Monuments» - Direction «Materials and Conservation Interventions»)

Α. Μοροπούλου, Α. Λαμπροπούλου

Σχολή Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου, 15780, Αθήνα, Ελλάδα

Abstract

In the National Technical University of Athens an Interdisciplinary-Program of Postgraduate Studies «Protection of Monuments» has been established since 1998. The Direction «Materials and Conservation Interventions» is coordinated by the School of Chemical Engineering.

In the framework of global market, postindustrial era of sustainable development and the recent advancements of science and technology for the knowledge society and the scientific support of decision making, new roles and responsibilities for the scientists for the Protection of Monuments are created.

The Study Program fulfills the contemporary emerging scientific characteristics, forging the modern professional profile of scientists for the Protection of Monuments and specifically in Materials and Conservation Interventions, that requires the response to new research needs for advanced diagnosis, monitoring and assessment of decay and pathology, for mapping and assessment of environmental impact in real scale and real time, for the strategic design of conservation interventions – integrated environmental management, for the planning of prevention interventions for the protection of monuments, complexes and historic cities for their sustainable preservation.

The interdepartmental character and curriculum of the study program advance the interdisciplinarity and the development and utilization of contemporary research achievements, the establishment of the optimum professional practices and knowledge in general in the science and

Ανάπτυξη διεπιστημονικής και δι-ιδρυματικής εκπαίδευσης και έρευνας στρατηγικής σημασίας στον τομέα της προστασίας των μνημείων της πολιτιστικής κληρονομιάς

engineering of materials and conservation interventions in the protection of monuments.

Περίληψη

Στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο λειτουργεί από το ακαδημαϊκό έτος 1998 – 1999 το Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Προστασία Μνημείων». Το συντονισμό της Β Κατεύθυνσης «Υλικά και Επεμβάσεις Συντήρησης» αναλαμβάνει η Σχολή Χημικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π.

Στο πλαίσιο της παγκοσμιοποιημένης αγοράς, της μεταβιομηχανικής εποχής της αειφόρου ανάπτυξης και των τελευταίων εξελίξεων της επιστήμης και της τεχνολογίας για την κοινωνία της γνώσης και την επιστημονική υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων, δημιουργούνται νέοι ρόλοι και ευθύνες για τους επιστήμονες στην Προστασία Μνημείων.

Το πρόγραμμα σπουδών του ΔΠΜΣ ανταποκρίνεται στα σύγχρονα αναδυόμενα επαγγελματικά χαρακτηριστικά, διαμορφώνοντας το σύγχρονο επαγγελματικό προφίλ επιστημόνων στην Προστασία Μνημείων, και ειδικότερα στα Υλικά και τις Επεμβάσεις Συντήρησης, που απαιτεί την ανταπόκριση στις νέες ερευνητικές ανάγκες για προηγμένη διάγνωση, παρακολούθηση και έλεγχο της φθοράς και της παθολογίας, στην χαρτογράφηση και αποτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε πραγματική κλίμακα και χρόνο, στον σχεδιασμό, επιλογή και αποτίμηση κατάλληλων (αποτελεσματικών και συμβατών) υλικών και τεχνικών επεμβάσεων συντήρησης, και στον στρατηγικό σχεδιασμό των επεμβάσεων συντήρησης - στην ολοκληρωμένη περιβαλλοντική διαχείριση - στο σχεδιασμό της πρόληψης για την προστασία μνημείων, συνόλων και ιστορικών πόλεων για την αειφόρο διατήρησή τους.

Ο διατμηματικός και χαρακτήρας και η δομή του προγράμματος σπουδών προάγουν τη διεπιστημονικότητα και την ανάπτυξη και χρήση των σύγχρονων ερευνητικών επιτευγμάτων, την καθιέρωση των βέλτιστων επαγγελματικών πρακτικών και τη γνώση γενικότερα στην επιστήμη και τεχνική των υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την προστασία των μνημείων.

Εισαγωγή

Με αφετηρία τη διακεκριμένη θέση που κατέχει στο διεθνή χώρο ως έγκριτο δημόσιο πανεπιστήμιο, το οποίο προάγει τις επιστήμες και την

τεχνολογία, το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο οργανώνει και λειτουργεί προγράμματα μεταπτυχιακών σπουδών υψηλής στάθμης και διεθνούς κύρους, με στόχο την ανταπόκριση στις τρέχουσες και μελλοντικές αναπτυξιακές ανάγκες αλλά και στις τεκμηριωμένες ερευνητικές επιλογές, τη συνεκτικότητα και το επιστημονικό βάθος, καθώς και τη διατήρηση και ενίσχυση της ποιότητας και της διεθνούς αναγνώρισης των χορηγούμενων από το ΕΜΠ τίτλων σπουδών.

Τα Διεπιστημονικά – Διατμηματικά Προγράμματα Μεταπτυχιακών Σπουδών του Ιδρύματος, οδηγούν στην απόκτηση Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης, το οποίο είναι τίτλος ειδίκευσης, ισότιμο προς πτυχίο Master of Science και αποτελεί δεύτερο μεταπτυχιακό τίτλο για τους διπλωματούχους ενιαίων αδιάσπαστων 5ετών σπουδών, όπως οι μηχανικοί. Αποδεικνύει γνώση στη συγκεκριμένη διεπιστημονική γνωστική περιοχή κάθε ΔΠΜΣ, είναι πρόσθετο προσόν και δεν αποτελεί προϋπόθεση για την άσκηση του επαγγέλματος, γι' αυτό και δεν αντιπαρατίθεται με τα βασικά διπλώματα των αποφοίτων Πολυτεχνείων και Πολυτεχνικών Σχολών.

Στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο λειτουργεί από το ακαδημαϊκό έτος 1998 – 1999 το Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Προστασία Μνημείων». Στο πρόγραμμα λειτουργούν η Α' Κατεύθυνση «Συντήρηση και Αποκατάσταση Ιστορικών Κτηρίων και Συνόλων», με υπεύθυνη τη Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών του ΕΜΠ και η Β' Κατεύθυνση «Υλικά και Επεμβάσεις Συντήρησης», με υπεύθυνη τη Σχολή Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ.

Το ΔΠΜΣ οργανώνεται από την Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, ως επισπεύδουσα Σχολή, με τη συνεργασία της Σχολής Χημικών Μηχανικών και τη συμμετοχή των Σχολών Πολιτικών Μηχανικών και Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών του ΕΜΠ.

Το ΔΠΜΣ απαντά σε άμεσες και σημαντικές ανάγκες του τόπου για τη διαμόρφωση εξειδικευμένων στελεχών, που θα καλύψουν τον τομέα της συντήρησης, αποκατάστασης και ανάδειξης των αρχιτεκτονικών μνημείων και συνόλων της χώρας, και την ανάπτυξη του εκπαιδευτικού συστήματος σε διεπιστημονική βάση, σε σύνδεση με την παραγωγή, για την αποκατάσταση του κοινωνικού του προσανατολισμού σε καινοτόμα αντικείμενα, και την εγκαθίδρυση μηχανισμών αναπροσαρμογής και επανένταξης επιστημονικού προσωπικού στην αγορά εργασίας.

Σκοπός του ΔΠΜΣ είναι η διεπιστημονική εμβάθυνση και ειδίκευση διπλωματούχων Μηχανικών ή και άλλων πτυχιούχων ΑΕΙ της χώρας, ή ισοτίμων της αλλοδαπής και άλλων Ελλήνων και αλλοδαπών επιστημόνων, στις μεθόδους και τεχνικές ολοκληρωμένης διεπιστημονικής προσέγγισης,

έρευνας, συνεργασίας και αντιμετώπισης των αντικειμενικά πολυδιάστατων προβλημάτων της «Προστασίας Μνημείων», καθώς και η εις βάθος κατάρτιση και ανάπτυξη ερευνητικών ικανοτήτων μηχανικών και άλλων επιστημόνων, ώστε αυτοί να καθίστανται ικανοί για την παραγωγή νέας γνώσης.

Δευτερεύοντες στόχοι του ΔΠΜΣ είναι η ανάπτυξη διεπιστημονικών διαδικασιών ΔΠΜΣ στο επίπεδο της συνεργασίας Τομέων, Τμημάτων, Σχολών και Πανεπιστημίων, η στελέχωση της δημόσιας διοίκησης και της ελεύθερης αγοράς με επιστήμονες ειδικούς στη συντήρηση και αποκατάσταση της αρχιτεκτονικής και πολιτιστικής κληρονομιάς και του περιβάλλοντός της, η δημιουργία νέων θέσεων εργασίας και η συμβολή στην αναπτυξιακή διαδικασία με καινοτόμες τεχνικές και τεχνολογίες προστασίας, ανάδειξης και αξιοποίησης του αρχιτεκτονικού, πολιτιστικού πλούτου της χώρας.

Διεπιστημονικότητα - Νέοι ρόλοι στην Προστασία Μνημείων

Στο πλαίσιο της παγκοσμιοποιημένης αγοράς, της μεταβιομηχανικής εποχής της αειφόρου ανάπτυξης και των τελευταίων εξελίξεων της επιστήμης και της τεχνολογίας για την κοινωνία της γνώσης και την επιστημονική υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων, η ασφάλεια, η αξιοπιστία, η οικονομία, η αισθητική, η περιβαλλοντική και ενεργειακή αριστοποίηση τεχνικών έργων και υποδομών, βιομηχανικών εγκαταστάσεων και διεργασιών, προϊόντων και δικτύων αποτελούν σήμερα κοινωνικές απαιτήσεις και συνιστούν το δημόσιο όφελος που κρίνει το επίπεδο και την ποιότητα της εκπαίδευσης και της άσκησης του επαγγέλματος.

Απαιτείται όλο και περισσότερος «έξυπνος» σχεδιασμός και διαχείριση των φυσικών ενεργειακών πόρων, του χώρου, των πόλεων, της πολιτιστικής κληρονομιάς, της κοινωνικής οικονομικής και πολιτιστικής ανάπτυξης γενικότερα, με ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων στο περιβάλλον, με σεβασμό στις αρχές της αειφορίας, της ποιότητας της ζωής, με την μεγαλύτερη προσβασιμότητα στην πληροφορία και ανάπτυξη των επικοινωνιών, και τελικά συστημάτων διακυβέρνησης που υποστηρίζουν τη λήψη αποφάσεων στηριγμένων στη γνώση και με κοινωνική συμμετοχή.

Στο πλαίσιο αυτό, δημιουργούνται νέοι ρόλοι και ευθύνες για τους επιστήμονες στην Προστασία Μνημείων, που συχνά διατέμνουν εγκάρσια ή συνθέτουν κάθετα τις παραδοσιακές ειδικότητες και απαιτούν διεπιστημονική συνεργασία ή εξειδίκευση.

Ανάπτυξη διεπιστημονικής και δι-ιδρυματικής εκπαίδευσης και έρευνας στρατηγικής σημασίας στον τομέα της προστασίας των μνημείων της πολιτιστικής κληρονομιάς

Το πρόγραμμα σπουδών του ΔΠΜΣ ανταποκρίνεται στα σύγχρονα αναδυόμενα επαγγελματικά χαρακτηριστικά (προφίλ) των επιστημόνων της Προστασίας Μνημείων. Ειδικότερα για τη Β' Κατεύθυνση, οι απόφοιτοι διαμορφώνουν το σύγχρονο επαγγελματικό προφίλ επιστημόνων στην Προστασία Μνημείων, και ειδικότερα στα Υλικά και τις Επεμβάσεις Συντήρησης, που απαιτεί την ανταπόκριση στις νέες ερευνητικές ανάγκες για προηγμένη διάγνωση, παρακολούθηση και έλεγχο της φθοράς και της παθολογίας, στην χαρτογράφηση και αποτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε πραγματική κλίμακα και χρόνο, στον σχεδιασμό, επιλογή και αποτίμηση κατάλληλων (αποτελεσματικών και συμβατών) υλικών και τεχνικών επεμβάσεων συντήρησης, και στον στρατηγικό σχεδιασμό των επεμβάσεων συντήρησης - στην ολοκληρωμένη περιβαλλοντική διαχείριση - στο σχεδιασμό της πρόληψης για την προστασία μνημείων, συνόλων και ιστορικών πόλεων για την αειφόρο διατήρησή τους.

Η διαδικασία αναθεώρησης των σπουδών και του πλαισίου άσκησης του επαγγέλματος του Επιστήμονα της Προστασίας Μνημείων πρέπει συνεπώς να είναι ενιαία και η Διεπιστημονική Εξειδίκευση κατοχυρώνει το ρόλο της ως πρόσθετο εφόδιο.

Ειδικότερα στο Ν. 3028/2002 του ΥΠΠΟ, προβλέπεται η σύνταξη προδιαγραφών και τεχνικών κανονισμών για τις μελέτες και τα έργα σε ολοκληρωμένη και διεπιστημονική βάση για την Προστασία των Μνημείω και κατοχυρώνεται η συμμετοχή σε όλα τα θεσμικά όργανα των απαραίτητων για την Προστασία των Μνημείων ειδικοτήτων σε διεπιστημονική βάση. Ωστόσο, κρίνεται απαραίτητη η εξειδίκευση της νομοθεσίας όσον αφορά στην έκδοση προδιαγραφών για την εκπόνηση της διαγνωστικής μελέτης, στην θέσπιση κανονισμού των έργων και την εγκατάσταση συστημάτων ελέγχου ποιότητας. Η εξειδίκευση αυτή είναι προϋπόθεση για την αξιοποίηση στην Προστασία Μνημείων, όλων των ειδικοτήτων όσον αφορά τόσο στις μελέτες και στον έλεγχο, όσο και στα έργα και στις εφαρμογές.

Η προτεραιότητα που δίνεται μέσα από το πρόγραμμα σπουδών είναι στον ολοκληρωμένο σχεδιασμό πρόληψης της φθοράς, διατήρησης και προστασίας μνημείων και συνόλων, και ειδικότερα στα υλικά, τις κατασκευές και το περιβάλλον, με τον κατάλληλο σχεδιασμό υλικών και επεμβάσεων συντήρησης, και την ολοκληρωμένη διαχείριση περιβάλλοντος για ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών παραγόντων – αιτίων της φθοράς.

Ο διατμηματικός χαρακτήρας και η δομή του προγράμματος σπουδών προάγουν τη διεπιστημονικότητα και την ανάπτυξη και χρήση των σύγχρονων ερευνητικών επιτευγμάτων, την καθιέρωση των βέλτιστων

επαγγελματικών πρακτικών και τη γνώση γενικότερα στην επιστήμη και τεχνική των υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την προστασία των μνημείων.

Συνεπώς, η λειτουργία του ΔΠΜΣ πρέπει να υποστηριχθεί και να συνεχιστεί με την προάσπιση της διεπιστημονικότητάς του. Η κατεύθυνση άλλωστε αυτή που συνδέει την Προστασία των Μνημείων με την αειφόρο δόμηση αποτελεί σήμερα γενικότερο πρόσταγμα στην Ευρωπαϊκή Ένωση και είναι κοινής αποδοχής από την Βιομηχανία της κατασκευής, των υλικών, τα Ερευνητικά και Πανεπιστημιακά Ιδρύματα, τα Υπουργεία Πολιτισμού και τους φορείς χρήστες.

Δομή και περιεχόμενο του προγράμματος σπουδών

Ο μεταπτυχιακός φοιτητής υποχρεούται να παρακολουθήσει και να εξεταστεί επιτυχώς σε έξι υποχρεωτικά μαθήματα κορμού, και σε τρία μαθήματα επιλογής και στην εκπόνηση θεμάτων εργαστηριακών ασκήσεων και ασκήσεων πεδίου στην διάρκεια των τριών πρώτων εξάμηνων. Στον κύκλο των υποχρεωτικών μαθημάτων παρέχονται μαθήματα κορμού και ειδίκευσης. Οι υποχρεωτικές εργαστηριακές ασκήσεις που απαιτούν εργαστηριακή εξάσκηση ή χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών περιλαμβάνουν κατά το δυνατό ατομική εκπαίδευση των μεταπτυχιακών φοιτητών. Έχει γίνει εισαγωγή νέων τρόπων διδασκαλίας που ενισχύουν την ενεργότερη συμμετοχή των μεταπτυχιακών φοιτητών. Ιδιαίτερη έμφαση δίδεται και στην εκπαίδευση των μεταπτυχιακών φοιτητών κατά ομάδες με διακριτούς ρόλους με ουσιαστικά θέματα μικρής έκτασης, ώστε να ενισχύεται το ομαδικό πνεύμα και η συνθετική ικανότητά τους.

Ειδικότερα τα Υποχρεωτικά Μαθήματα Κορμού και για τις δύο κατευθύνσεις αποτελούν μία διεπιστημονική εισαγωγή σε όλο το εύρος της Προστασία Μνημείων. Τα τρία Υποχρεωτικά Μαθήματα της Β' Κατεύθυνσης αποτελούν τον κορμό της Β' Κατεύθυνσης, δηλαδή την επιστήμη και τεχνική των ιστορικών υλικών (του δομήματος και των αρχιτεκτονικών επιφανειών), καθώς και των υλικών και των επεμβάσεων συντήρησης – αποκατάστασης – προστασίας. Οι επεμβάσεις συντήρησης αφορούν είτε σε επέμβαση στα υλικά, είτε σε επέμβαση στο περιβάλλον με τη μορφή της διαχείρισης του περιβάλλοντος για την προστασία των μνημείων.

Τα Κατ'Επιλογήν Υποχρεωτικά Μαθήματα της Β' Κατεύθυνσης αποτελούν εξοικείωση με ειδικά θέματα και ειδικές τεχνικές σε όλα τα

ανωτέρω πεδία ώστε να μπορεί ο φοιτητής να εμβαθύνει και να εμπεδώσει τις γενικές γνώσεις που αποκτά στα Μαθήματα Κορμού.

Οι Ενότητες Εργαστηριακών Ασκήσεων και η εκπόνηση Θεμάτων της Β' Κατεύθυνσης επιτρέπουν στον φοιτητή να εξοικειωθεί με τα εργαλεία που χειρίζεται σε διεπιστημονική βάση.

Οι Εργασίες Πεδίου και οι Εκπαιδευτικές Εκδρομές - Επισκέψεις αποτελούν αναπόσπαστο μέρος του προγράμματος και επιτρέπουν στον φοιτητή να αντιληφθεί στην πραγματική κλίμακα των μνημείων τα προβλήματα και τις εφαρμογές που θα κληθεί να μελετήσει ή να αντιμετωπίσει στο επάγγελμα.

Η Ερευνητική Μεταπτυχιακή Εργασία Β' Κατεύθυνσης αναφέρεται στην αντιμετώπιση προβλημάτων σε πραγματικό χρόνο και πραγματική κλίμακα. Δεν συγκρίνεται με το επίπεδο της Διπλωματικής Προπτυχιακής Εργασίας, δεδομένου ότι πρόκειται για ολοκληρωμένη εργασία επιπέδου εμβάθυνσης, που χαρακτηρίζεται ως ερευνητική και με αξία εφαρμογής. Αποτελεί ένα από τα ουσιαστικότερα μέρη του ΔΠΜΣ, για την ολοκλήρωση των μεταπτυχιακών σπουδών. Η σημασία της οφείλεται στην εμβάθυνση των μεταπτυχιακών σπουδαστών με έρευνα εφαρμογής σε συγκεκριμένους τομείς της των υλικών και επεμβάσεων συντήρησης. Προϋποθέτει βιβλιογραφική ερευνητική και εργαστηριακή εργασία, με τις δυσκολίες που αυτή συνεπάγεται, δεδομένης της πρωτοτυπίας των θεμάτων και της υψηλής εξειδίκευσης.

Ποιότητα και αξιολόγηση

Στη διάρκεια της 17ετούς λειτουργίας του προγράμματος έχουν συνταχθεί εσωτερική αξιολόγηση (2008), δύο εξωτερικές αξιολογήσεις (1998-2000 και 2005-2007), δεκαετής απολογισμός (2010) και συμπληρώνονται ετησίως από τους φοιτητές ερωτηματολόγια μεταπτυχιακών μαθημάτων. Έχουν πραγματοποιηθεί δυο εκτεταμένες αναθεωρήσεις – τροποποιήσεις του προγράμματος οι οποίες εφαρμόστηκαν κατά τα ακαδημαϊκά έτη 2000-2001 και 2008-2009.

Απαιτείται συνεχής έλεγχος και αντικειμενική αξιολόγηση όλων των μαθημάτων για την απόκτηση ΜΔΕ ως προς την ποιότητα και την διατμηματικότητα και διεπιστημονικότητα της διδακτέας ύλης και τα θέματα εξετάσεων, προς αποφυγή οποιασδήποτε σχέσης υποκατάστασης των κανονικών προγραμμάτων προπτυχιακών σπουδών του Ιδρύματος.

Επειδή και η συγκρότηση είναι διεπιστημονική (Χημικοί Μηχανικοί και συναφείς ειδικότητες: 40%, Αρχιτέκτονες και Πολιτικοί Μηχανικοί: 30-

40%, Αγρονόμοι Τοπογράφοι Μηχανικοί: 10-20%, Αρχαιολόγοι και κάτοχοι Πανεπιστημιακού Διπλώματος Συντήρησης: περίπου 20%), η παρακολούθηση των μαθημάτων τόσο του κορμού του ΔΠΜΣ, όσο και του κορμού της Β' Κατεύθυνσης επιτρέπουν σε όλους τους φοιτητές να εξοικειωθούν με τις κοινές έννοιες - γλώσσα και τα κοινά εργαλεία.

Ειδικότερα η διεπιστημονική προσέγγιση της Β' κατεύθυνσης «Υλικά και Επεμβάσεις Συντήρησης» στο εκπαιδευτικό της πρόγραμμα, προωθεί (α) την ενσωμάτωση της επιστημονικής και τεχνικής γνώσης των επιπτώσεων του περιβάλλοντος στα υλικά, στην διαγνωστική μελέτη και μάλιστα με την χρήση ενόργανων και μη καταστρεπτικών μεθόδων διασκόπησης στην κλίμακα των μνημείων, (β) την ενσωμάτωση της επιστημονικής, αλλά και τεχνολογικής γνώσης των υλικών στον σχεδιασμό των επεμβάσεων συντήρησης, (γ) την καθιέρωση κριτηρίων αποτίμησης της συμβατότητας και επιτελεστικότητας των υλικών και των επεμβάσεων συντήρησης από την ανάλυση δεδομένων που αφορούν στα υλικά και στο περιβάλλον στην κλίμακα των Μνημείων (χρήση ενόργανων και μη καταστρεπτικών μεθόδων διασκόπησης), (δ) την ένταξη των επεμβάσεων αυτών σε ένα γενικότερο περιβαλλοντικό σχεδιασμό οργανωμένο στη βάση του χωροταξικού ή του πολεοδομικού σχεδιασμού, που θα λαμβάνει υπόψη του τα δεδομένα που αφορούν στα υλικά και στο περιβάλλον στην κλίμακα των Μνημείων (χρήση ενόργανων και μη καταστρεπτικών μεθόδων διασκόπησης), (ε) την ανάπτυξη νέων κριτηρίων και μεθοδολογίας για τον σχεδιασμό, παραγωγή και εφαρμογή προηγμένων υλικών αποκατάστασης συμβατών με τα ιστορικά υλικά, αξιοποιώντας νέες προηγμένες τεχνικές μοριακού σχεδιασμού και παραγωγής

Τα βασικά στοιχεία που χαρακτηρίζουν το πρόγραμμα και επιτρέπουν τη σωστή και αποτελεσματική λειτουργία του είναι η πολυδιάστατη προσέγγιση για την αντιμετώπιση και επίλυση με επάρκεια των προβλημάτων σε πραγματικό χρόνο και κλίμακα με τη συμμετοχή διδασκόντων και διδασκομένων διαφορετικού επιστημονικού υποβάθρου, συναφούς με το αντικείμενο, η ανάπτυξη της συνθετικής και αναλυτικής ικανότητας των φοιτητών και μελλοντικών επαγγελματιών στα θέματα της προστασίας της πολιτιστικής κληρονομιάς, η χρήση σύγχρονων τεχνικών και καινοτόμων τεχνολογιών για την εξέταση και επίλυση των προβλημάτων που σχετίζονται με την διάγνωση της φθοράς και την προστασία των μνημείων και συνόλων.

Συνοψίζοντας, το πρόγραμμα της Β' Κατεύθυνσης «Υλικά και Επεμβάσεις Συντήρησης» διαρθρώνεται ώστε να αξιοποιεί την γνώση που αναπτύσσεται από τη μελέτη των ιστορικών υλικών και κατασκευών, τη

χρήση μη καταστρεπτικών τεχνικών και επαλήθευση από ενόργανες τεχνικές ανάλυσης για την προηγμένη διάγνωση για την αποκάλυψη των μηχανισμών φθοράς και παθολογίας των υλικών στην κλίμακα του μνημείου, να αναπτύσσει τον σχεδιασμό, την εφαρμογή, την αποτίμηση, την παρακολούθηση και τον έλεγχο στο χρόνο συμβατών υλικών και επεμβάσεων συντήρησης και προστασίας, βάσει των ιδιοτήτων των ιστορικών υλικών και της συμπεριφοράς των ιστορικών κατασκευών, με στόχο τη βελτίωση της συμπεριφοράς της κατασκευής υπό την επίδραση των περιβαλλοντικών και σεισμικών φορτίων, και τον στρατηγικό σχεδιασμό των επεμβάσεων συντήρησης και προστασίας μέσω ολοκληρωμένης διαχείρισης γεωγραφικών πληροφοριών και χρήσης επιστημονικών εργαλείων λήψης αποφάσεων με σκοπό την αειφόρο διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς.

Προοπτικές

Ενδιαφέρον θα παρουσίαζε η προώθηση της Ευρωπαϊκής διάστασης της εκπαίδευσης των μηχανικών με ανάπτυξη της κινητικότητας διδασκόντων και διδασκομένων στα Ευρωπαϊκά Πανεπιστήμια, Ερευνητικά Κέντρα και σε εργασία πεδίου σε «Βιομηχανικές εφαρμογές» και Υπηρεσίες, και της διαδικτύωσης των φορέων της Εκπαίδευσης, της Έρευνας και της Εφαρμογής

Η συμμετοχή του ΕΜΠ σε Ευρωπαϊκό Μεταπτυχιακό Δίπλωμα θα αποτελούσε μία πρώτη εφαρμογή, αξιοποιώντας τις δυνατότητες συμμετοχής του σε διεθνείς – διακρατικές συνεργασίες που προβλέπει η εθνική, ευρωπαϊκή και διεθνής νομοθεσία, καθώς και σε ευρωπαϊκά προγράμματα. Εναλλακτικά προβλέπεται η δυνατότητα πιλοτικής λειτουργίας αγγλικής ροής του προγράμματος, η οποία θα απευθύνεται σε φοιτητές εντός και εκτός Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Βιβλιογραφία

1. Ειδικό Συμπόσιο «Συντήρηση και Προστασία Μνημείων», Ημέρες Έρευνας – Τεχνολογίας, ΕΜΠ (2000)
2. Moropoulou, A., “Innovative education and training for the conservation of Cultural Heritage”, PACT, J. European Study Group on Physical, Chemical, Biological and Mathematical Techniques Applied to Archaeology, 58 (2000) 71-80

Ανάπτυξη διεπιστημονικής και δι-ιδρυματικής εκπαίδευσης και έρευνας στρατηγικής σημασίας στον τομέα της προστασίας των μνημείων της πολιτιστικής κληρονομιάς

3. Ημερίδα «Ανάγκες εκπαίδευσης και εξειδίκευσης των μηχανικών στην προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς. Δημιουργία νέων ρόλων και θέσεων εργασίας για τους Μηχανικούς», ΤΕΕ (2003)
4. Ευρωπαϊκό Συνέδριο RAPHAEL COMARECH «Συμβατά Υλικά στη Συντήρηση των Μνημείων», ΕΜΠ (2000)
5. Ημερίδα «Δημόσιος διάλογος με τον Υπουργό Πολιτισμού για το νέο νομοσχέδιο του ΥΠΠΟ για την Προστασία της Πολιτιστικής Κληρονομιάς», ΤΕΕ (2002)
6. Moropoulou, A., "Master of Science and Engineering (MSE) in Materials Techniques and Conservation Interventions for the Protection of Monuments", Conference on "Cultural Heritage Research: a Pan-European Challenge", Cracow (2002)
7. Moropoulou, A., Konstanti, A., "Interdisciplinary development of Materials Science and Engineering for the 'Protection of Monuments': The role of Research and Education", ARIADNE Workshop "Historic structures", ARCCHIP, Prague (2002)
8. Moropoulou A., "5 years experience on European Perspectives of the relevant NTUA MSE direction for Materials and Conservation Interventions", 7th OWHC International Symposium, Rhodes (2003)
9. Τριήμερο «Παιδεία και η άσκηση του Επαγγέλματος του Μηχανικού προς το δημόσιο όφελος», ΤΕΕ - ΕΜΠ (2003)
10. Ευρωπαϊκό Συνέδριο «ITECOM - Καινοτόμες Τεχνολογίες και Υλικά για τη Προστασία της Πολιτιστικής Κληρονομιάς. Βιομηχανία, Έρευνα, Εκπαίδευση: Ευρωπαϊκές Απόψεις και Προοπτικές», Αθήνα (2003)
11. Ημερίδα «Οι Μεταπτυχιακές Σπουδές των Πολυτεχνείων. Εμπειρίες και Προοπτικές», ΤΕΕ - ΕΜΠ (2006)
12. Ειδική Έκδοση «10 χρόνια Μεταπτυχιακών Σπουδών Ειδίκευσης στο ΕΜΠ», ΕΜΠ (2009)
13. Moropoulou, A., Lampropoulou, A., Konstanti, A., Kiousi, A., "European Master Level Education on Protection of Cultural Heritage: National experiences and European perspectives", CHRESP - 8th EC Conference on Sustaining Europe's Cultural Heritage, Slovenia (2008)

Ανάπτυξη διεπιστημονικής και δι-ιδρυματικής εκπαίδευσης και έρευνας στρατηγικής σημασίας στον τομέα της προστασίας των μνημείων της πολιτιστικής κληρονομιάς

Η συνεισφορά των ΓΣΠ για την ολοκληρωμένη προστασία των μνημείων: Η περίπτωση της Ακρόπολης του Ερημόκαστρου και της Ακρόπολης του Σαραντάπηχου, Ρόδος, Ελλάδα

The contribution of GIS for the sustainable protection of monuments: The case of Erimokastro and Sarantapixo Acropolis in Rhodes, Greece

Ε. Τσιλιμαντού, Ε. Οικονομοπούλου, Α. Θ. Δελέγκου, Ι. Σαγιάς, Χ. Ιωαννίδης, Α Μοροπούλου

Abstract

In this work, GIS modeling and analysis operations were utilized for planning of materials and conservation interventions at the walls of Erimokastro Acropolis and Sarantapixo in Rhodes. Through a GIS platform, the process of characterizing and classifying data, as well as their connection to various descriptive data is presented. The descriptive data consist of historical, architectural, structural documentation, material and decay patterns data, photographs, conservation interventions documentation, cost analysis data etc. Moreover, the compilation, exploitation and management of data relating in time and space, both descriptive and spatial data, can be achieved through GIS tools. Within the framework of the preservation of built cultural heritage, the utilization of GIS, monitoring the pathology and preservation state of a monument, contributes to decision making and planning of conservation interventions and rehabilitation of the area under study. In this paper, the process of the gathering and representing data from multidisciplinary studies through a GIS platform and the elaboration of thematic maps of the buildings pathology and conservation interventions of Acropolis of Erimokastro and Sarantapixo in Rhodes Island, is presented. In both Acropoles, the characterization of building materials and decay diagnosis was conducted on selected wall facades of characteristic parts in both archaeological sites, using nondestructive techniques in situ and analytical techniques in the laboratory, after sampling. For the documentation of the monuments a combination of close range photogrammetric and field survey techniques was used. All the gathered data were incorporated into a GIS platform in order to accomplish the representation of building materials and decay patterns through thematic

maps. Furthermore, the study of the decay susceptibility of the building materials of the investigated wall surfaces of both sites was performed, which continuously led to the creation of thematic maps of conservation interventions. Conclusively, this approach provides the basis for the compatibility assessment of conservation interventions (whenever applied) and for monitoring of the preservation state of the building materials which are the necessary steps for the sustainable protection of the site.

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία, η δημιουργία χωρικών μοντέλων με ΓΣΠ και η χρήση διαδικασιών ανάλυσης μέσω της εφαρμογής κατάλληλων εργαλείων των ΓΣΠ, πραγματοποιήθηκε για το σχεδιασμό των υλικών και επεμβάσεων συντήρησης στα τείχη της Ακρόπολης του Ερημοκάστρου και της Ακρόπολης του Σαρανταπήχου. Με τα ΓΣΠ δίνεται η δυνατότητα καταγραφής και ταξινόμησης των χωρικών οντοτήτων των μνημείων, καθώς και η διασύνδεσή τους με πληθώρα περιγραφικών δεδομένων. Τα περιγραφικά αυτά δεδομένα, μπορούν να περιλαμβάνουν στοιχεία από την ιστορική, αρχιτεκτονική, δομοστατική τεκμηρίωση των μνημείου, δεδομένα μελέτης υλικών/φθορών, φωτογραφίες, δεδομένα επεμβάσεων συντήρησης, δεδομένα κόστους κ.α.. Παράλληλα, είναι εφικτή η διαχείριση, ανάλυση και συσχέτιση στο χώρο και στο χρόνο τόσο των χωρικών, όσο και των περιγραφικών δεδομένων, μέσω της εφαρμογής κατάλληλων εργαλείων των ΓΣΠ. Συνεπώς, η εφαρμογή των ΓΣΠ στο επίπεδο της Κτισμένης Πολιτιστικής Κληρονομιάς, μας δίνει τη δυνατότητα της συστηματικής παρακολούθησης της παθολογίας και του έλεγχου της εξέλιξης της φθοράς ενός μνημείου, συνεισφέροντας έτσι στην καλύτερη λήψη αποφάσεων και το σχεδιασμό των επεμβάσεων συντήρησης ή/και αποκατάστασης του. Σε αυτό το πλαίσιο, στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται δύο εφαρμογές. Τα μνημεία που εξετάζονται είναι η Ακρόπολη του Ερημοκάστρου, κηρυγμένο μνημείο Ελληνιστικής Περιόδου και η Ακρόπολη του Σαρανταπήχου στη Ρόδο. Στην Ακρόπολη του Ερημόκαστρου έγινε ο χαρακτηρισμός των υλικών και φθορών αντιπροσωπευτικών επιφανειών του τείχους και της εισόδου και η διάγνωση της φθοράς τους, μετά την εφαρμογή μη καταστρεπτικών τεχνικών και αναλυτικών τεχνικών κατόπιν δειγματοληψίας. Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε σε αντιπροσωπευτική επιφάνεια του τείχους στην Ακρόπολη του Σαρανταπήχου. Η χωρική απόδοση - τεκμηρίωση των επιφανειών, έγινε με τη χρήση τοπογραφικών και φωτογραμμετρικών τεχνικών. Η εφαρμογή προγράμματος ΓΣΠ οδήγησε

στη δημιουργία θεματικών χαρτών υλικών και φθορών. Επιπλέον έγινε συγκριτική μελέτη της επιδεκτικότητας στη φθορά των διαφόρων δομικών υλικών των εξεταζόμενων επιφανειών, καθώς και ο σχεδιασμός των αντίστοιχων θεματικών χαρτών των επεμβάσεων συντήρησης – αποκατάστασης. Η παραπάνω προσέγγιση παρέχει την βάση για την αποτίμηση των επεμβάσεων συντήρησης (όταν και όποτε εφαρμόζονται) και για την καλύτερη διαχείριση και συντήρησή των δομικών υλικών, με τελικό σκοπό την προστασία και αειφορία του μνημείου.

Introduction

In this paper, the process of the gathering and representing data from multidisciplinary studies through a GIS (Geographic Information System) platform and the elaboration of thematic maps of the buildings pathology and conservation interventions are presented. In general, the monitoring and preservation of heritage monuments is based on various kinds of investigations and analytical data. In the work described, a multidisciplinary approach was applied for the damage rehabilitation of the archaeological site of Erimokastro Acropolis and Sarantapixo Acropolis in Rhodes, Greece. The Acropolis of Erimokastro (Deserted Castle) is an established archaeological site, located upon a natural hill between Kallithea and Afantou bays. Its dry-stone walls are multifaceted and possibly of cyclopean type (Fig. 1). The Acropolis of Sarantapixo is not an established archaeological site, even though there is strong evidence that it was protected by cyclopean walls of the Mycenaean period, and their remains are still evident throughout the site. It is situated in the northeastern part of Rhodes (Fig. 1).

Figure1. Erimokastro - Left:The Entrance of Erimokastro Acropolis; Right: The Wall of the Sarantapixo Acropolis

Ανάπτυξη διεπιστημονικής και δι-ιδρυματικής εκπαίδευσης και έρευνας στρατηγικής σημασίας στον τομέα της προστασίας των μνημείων της πολιτιστικής κληρονομιάς

Documentation

In the Acropolis of Erimokastro and the Arcopolis of Sarantapixo, selected facades were depicted for the documentation. This approach included: (a) a combination of close range photogrammetric and field survey techniques, and (b) the characterization of building materials and decay diagnosis, using nondestructive techniques in situ and analytical techniques in the laboratory, after sampling. The collected data were incorporated into a GIS platform creating a relational database. The ortho-rectified images (Fig. 1) were used as the GIS base-map, where data elements in space were recorded. The diagnostic study results comprised the information data about building materials and decay patterns. GIS thematic maps of building material and decay patterns were elaborated, presenting characteristic parts of Erimokastro Acropolis and Sarantapixo Acropolis.

The geometric documentation was accomplished with the use of terrestrial measurements and the use of photogrammetric methods in both archaeological sites, providing the necessary qualitative and quantitative information. A total station along with GPS measurements was used for the topographic field measurements. The selected areas of the Acropolis of Erimokastro were a characteristic façade of the walls (north oriented façade) (Fig. 2) and part of the wall at the entrance of the Acropolis (east oriented façade) (Fig. 1- Left). For the Acropolis of Sarantapixo, part of the remaining north wall was depicted (west oriented wall) (Fig. 1 – Right). These parts of the walls were chosen because they are characteristic architectural elements of both sites are representative of the building materials used and the decay patterns developed are accessible, and their orientation variance or similarity could be used for a reliable comparative study

Figure2. Erimokastro – Characteristic part of the Wall in Erimokastro Acropolis

Furthermore, on the wall facades, non-destructive testing and evaluation techniques were applied in situ, whereas analytical techniques were used in lab after sampling, resulting in building materials characterization and decay diagnosis for both investigated sites. In addition, materials and conservation interventions were suggested according to the results of the integrated diagnostic study.

Results and Discussion

As the data acquisition resulted, the analysis of the facades proceeded and all the diverse data were imported to a GIS platform for both investigated monuments. In order the GIS relational operations to be provided, topology of the data is a prerequisite. Topology of the diverse data is initially built with the creation of layers in the CAD environment. In addition, data retrieval and queries is accomplished with the GIS management and analysis tools.

The attribute dataset consisting of building materials and decay patterns of the wall, resulting from the physicochemical analysis, was imported and aggregated to the attribute dataset created in the CAD environment, containing topological (i.e. perimeter, area, etc.) and descriptive characteristics from the technical report of the strength of the materials, recorded and attributed to the spatial entities, thus, interrelated with the vector data. In the case of Erimokastro Acropolis, the thematic maps of building material and decay pattern is presented (Fig. 3).

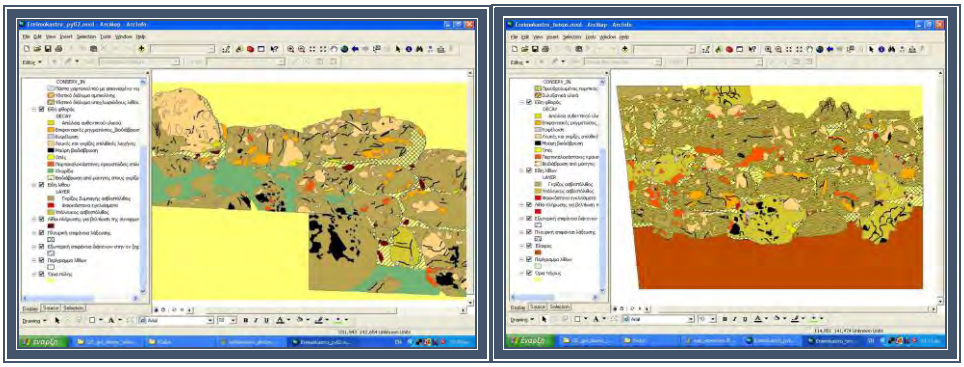


Figure3. Erimokastro - Left: Building materials and a decay thematic map for the entrance; Right: Building materials and a decay thematic map for the wall

In the case of Sarantapixo, the thematic map of the building material and decay patterns of the depicted wall, where corresponding layers classification and mapping was performed, including all the different kind of materials and decay patterns which were identified by the diagnostic study, is presented.

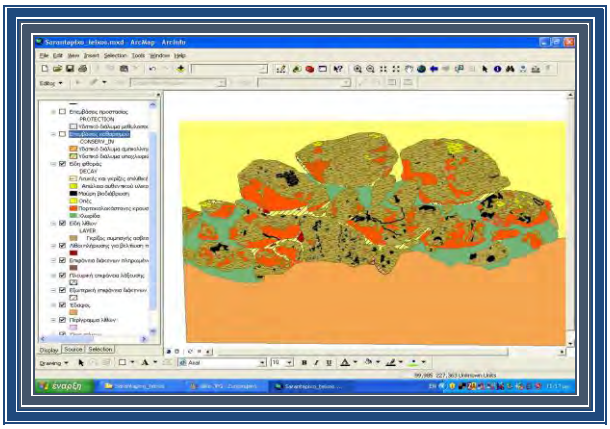


Figure 4. Building materials and decay thematic map for the wall of the Sarantapixo Acropolis

The materials and their decay were characterized using an array of non-destructive techniques validated and supported by a series of analytical methods after sampling. Previous to any conservation intervention applied on the selected facades, a diagnostic study was required to provide the data for the selection of compatible materials and techniques.

The conservation interventions / restorations thematic maps resulted from the geoprocessing analysis in the GIS platform from the materials and decay patterns thematic maps. The features consist of additional attribute data from both input and overlay themes (material / decay). Using the geoprocessing tool of GIS platform, the resulting features include combined spatial properties and attribute data of the decay patterns, additionally classified according to new attribute data sets regarding the suggested materials and conservation interventions. Consequently, each material and conservation intervention is represented by a different layer and is displayed

by a different color in the conservation interventions thematic maps (Figure 5, 6).

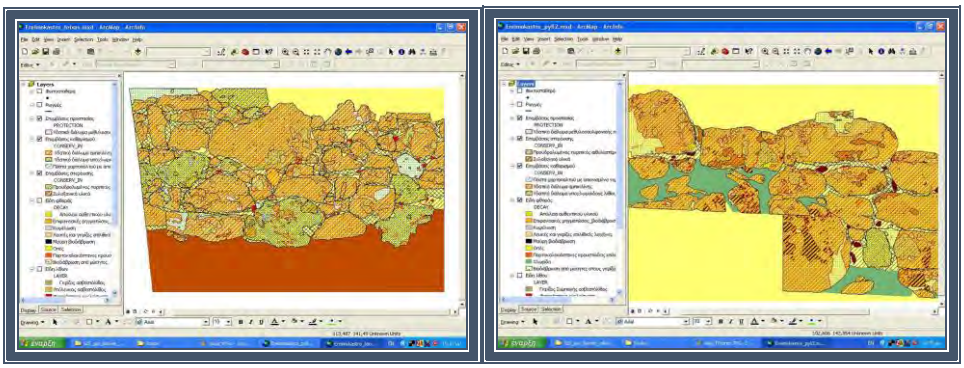


Figure 5. Erimokastro - Left: Conservation interventions thematic map for the wall of the Erimokastro Acropolis; Right: Conservation interventions thematic map for the entrance of the Erimokastro Acropolis

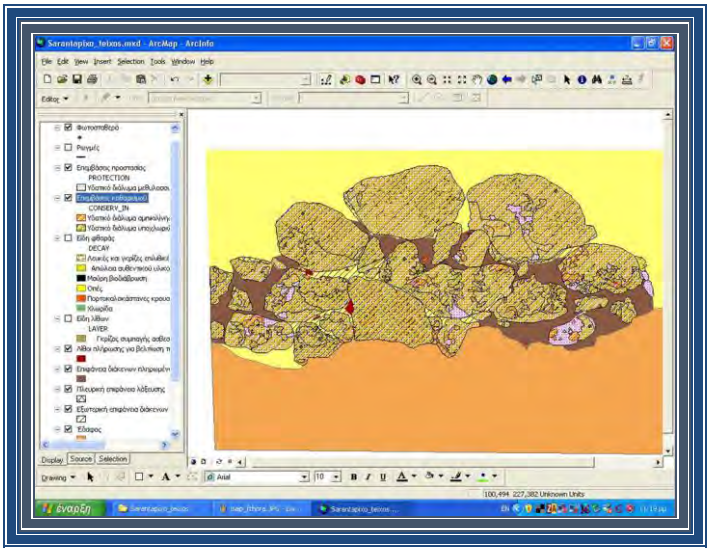


Figure 6. Sarantapixo: Conservation interventions thematic map for the wall of the Sarantapixo Acropolis

Conclusion

Protection of cultural heritage requires the preservation of the monuments that are most of the times deteriorating abandoned and left to

decay for years and for decades. Thus, preservation of cultural heritage requires a versatile multidisciplinary planning that should be focused on the pathology of the monument and its documentation and on the other hand on compatibility in conservation intervention in terms of sustainability. In the case of Erimokastro Acropolis the diagnostic study results (building materials and decay data) were recorded and attributed to the selected facades which could be applied throughout the entire archaeological site. The same procedure was followed in the case of Sarantapixo Acropolis. GIS modeling provides information about the building materials in the façade of the walls and the extent of decay patterns, as well as the degradation of the building materials regarding their location (proximity of the sea, orientation of the façade, rising dampness etc.). Finally, with the GIS analysis tools, on the developed material/decay and conservation interventions/ restorations thematic maps, the monitor of the preservation state of the monument under study, can be achieved and the management of the building materials life circle as well as the proposed restoration materials can be evaluated leading to its sustainable protection.

References

[1] Stefani Ch., Brunetaud X., Janvier-Badosa S., Beck K., De Luca L., Al-Mukhtar M., "Developing a toolkit for mapping and displaying stone alteration on a web-based documentation platform", *Journal of Cultural Heritage*, 15, 1 (2014) 1-9.

[2] Moropoulou A. , Delegou E.T., Avdelidis N.P., Athanasiadou A., "Integrated diagnostics using advanced in situ measuring technology", 10th International Conference on Durability of Building Materials and Components, Lyon (2005) Proceedings in CD-Rom.

[3] Moropoulou A., Labropoulos K., Delegou E.T., Karoglou M., Bacolas A. , "Non-destructive techniques as a tool for the protection of built cultural heritage" , *Construction and Building Materials*, 48 (2013) 1222-1239.

[4] Delegou E. T., Tsilimantou E., Oikonomopoulou E., Sayas I., Ioannidis C., Moropoulou A., "Mapping of Building Materials and Conservation Interventions Using GIS: The case of Sarantapicho Acropolis and Erimokastro Acropolis in Rhodes", *International Journal of Heritage on Digital Heritage (IJHDE),*eds. 8, Vol.2, (2013) 4.

Ανάπτυξη διεπιστημονικής και δι-ιδρυματικής εκπαίδευσης και έρευνας στρατηγικής σημασίας στον τομέα της προστασίας των μνημείων της πολιτιστικής κληρονομιάς

Πλατφόρμα ηλεκτρονικής μάθησης για την εκπαίδευση μαθητών σε θέματα δομημένης πολιτιστικής κληρονομιάς (E-learning platform for educating students in built heritage protection issues)

Α. Μοροπούλου, Α. Κωνσταντή, Κ. Λαμπρόπουλος, A, Lobovikov - Katz

Abstract

The present work concerns the development of an e-learning platform for educating students in built heritage protection issues. The platform is an educational tool for the connection of students with cultural heritage, their sensitization, their understanding of built heritage along with the basic issues "threatening" it, as well as their own contribution in its protection and preservation. Through the specific educational tool, basic questions are answered, such as what cultural heritage is, why should we preserve it, how can we preserve it.

Following an interdisciplinary approach, the structure of the platform comprises sic basic thematic modules:

- Values and awareness
- Knowing the built heritage
- Decay and environment
- The conservation process
- Monitoring and maintenance
- Management and use.

The sic modules are connected with the module "Adopt a site", which allows students to apply the acquired knowledge to a historic site, in order to understand it, register its basic characteristics, perform basic analysis, select data helpful for the historic site preservation.

Taking into consideration that students are non specialized users in the field of built heritage protection, each thematic module is accompanied by a series of Introductions and Guidelines with explanatory contents.

The e-learning platform was tested in pilot scale to students of secondary level education through on line activities, off line experiments in class and in situ applications to historic sites under their teachers' guidance, so as the results to be exploited for the amelioration of the electronic educational tool.

Ανάπτυξη διεπιστημονικής και δι-ιδρυματικής εκπαίδευσης και έρευνας στρατηγικής σημασίας στον τομέα της προστασίας των μνημείων της πολιτιστικής κληρονομιάς

Περίληψη

Η εργασία αφορά στην ανάπτυξη πλατφόρμας ηλεκτρονικής μάθησης για την εκπαίδευση μαθητών σε θέματα δομημένης πολιτιστικής κληρονομιάς. Η συγκεκριμένη πλατφόρμα αποτελεί εργαλείο για τη σύνδεση των μαθητών με την πολιτιστική τους κληρονομιά, την ευαισθητοποίησή τους, την κατανόηση της πολιτιστικής κληρονομιάς και των κινδύνων που την απειλούν, αλλά και τη συνεισφορά τους στη διατήρησή της. Μέσω του εκπαιδευτικού εργαλείου απαντώνται βασικά ερωτήματα, όπως τι είναι η πολιτιστική κληρονομιά, γιατί πρέπει να τη διατηρήσουμε, καθώς και με ποιον τρόπο πρέπει να τη διατηρήσουμε.

Ακολουθώντας μία διεπιστημονική προσέγγιση, τη δομή της πλατφόρμας συνθέτουν οι ακόλουθες έξι βασικές θεματικές ενότητες:

- Αξίες και ευαισθητοποίηση
- Γνωρίζοντας τη δομημένη πολιτιστική κληρονομιά
- Φθορά και περιβάλλον
- Η διαδικασία της συντήρησης
- Παρακολούθηση και έλεγχος – διατήρηση
- Διαχείριση και χρήση.

Το σύνολο των θεματικών ενοτήτων συνδέεται με την ενότητα «Υιοθετώ έναν τόπο», η οποία παρέχει τη δυνατότητα στους μαθητές να εφαρμόσουν τη γνώση που απέκτησαν σε έναν ιστορικό τόπο προκειμένου να τον κατανοήσουν, να καταγράψουν τα βασικά του χαρακτηριστικά, να διεξάγουν βασική ανάλυση και να συλλέξουν δεδομένα που βοηθούν στη διατήρηση του τόπου.

Λαμβάνοντας υπ' όψιν ότι οι μαθητές αποτελούν μη εξειδικευμένους χρήστες στο πεδίο της προστασίας της δομημένης πολιτιστικής κληρονομιάς, κάθε θεματική ενότητα συνοδεύεται από μία σειρά Εισαγωγών και Οδηγιών με επεξηγηματική χρήση.

Η πλατφόρμα ηλεκτρονικής μάθησης δοκιμάστηκε πιλοτικά σε μαθητές δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης μέσω διαδικτυακών δραστηριοτήτων, πειραμάτων εκτός διαδικτύου και επί τόπου εφαρμογών υπό των καθοδήγηση των καθηγητών τους, προκειμένου τα αποτελέσματα να χρησιμοποιηθούν για την περαιτέρω βελτίωση του ηλεκτρονικού εργαλείου.

Ανάπτυξη διεπιστημονικής και δι-ιδρυματικής εκπαίδευσης και έρευνας στρατηγικής σημασίας στον τομέα της προστασίας των μνημείων της πολιτιστικής κληρονομιάς

Εισαγωγή

Οι τεχνολογίες πληροφορικής και επικοινωνιών αποτελούν σημαντικό μέσο για την υλοποίηση των στόχων της εκπαιδευτικής μεθοδολογίας για την καινοτόμο διεπιστημονική προσέγγιση του γνωστικού πεδίου της προστασίας της δομημένης πολιτιστικής κληρονομιάς και καθιστούν το περιεχόμενό της ευρέως προσβάσιμο. Σύμφωνα με τη Ευρωπαϊκή Στρατηγική Europe 2020 [1], οι μετρήσιμοι στόχοι που τίθενται για το 2020 αφορούν στην απασχόληση, την έρευνα και την καινοτομία, την κλιματική αλλαγή και την ενέργεια, την εκπαίδευση και την καταπολέμηση της φτώχειας. Οι στόχοι αυτοί είναι άμεσα συνδεδεμένοι μεταξύ τους, καθώς η βελτίωση του εκπαιδευτικού επιπέδου συνεισφέρει στην αύξηση της απασχόλησης και στην οικονομική ανάπτυξη, στην ανάπτυξη της έρευνας κα της καινοτομίας, στη μείωση της φτώχειας. Σύμφωνα με την Ψηφιακή Ατζέντα για την Ευρώπη (Digital Agenda for Europe), είναι σημαντικό οι Ευρωπαίοι πολίτες να εκπαιδεύονται στη χρήση των τεχνολογιών πληροφορικής και επικοινωνιών και των ψηφιακών μέσων και να προσελκύονται στην εκπαίδευσή τους [2].

Έχοντας ως βάση τα παραπάνω, αναπτύχθηκε ηλεκτρονικό εργαλείο μάθησης με βασικούς αποδέκτες τους μαθητές της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης για την προσέγγιση της δομημένης πολιτιστικής κληρονομιάς. Το συγκεκριμένο εργαλείο λειτουργεί σε μία πλατφόρμα ηλεκτρονικής μάθησης (e-learning), η οποία βοηθά στη σύνδεση των μαθητών με την πολιτιστική τους κληρονομιά, στην ευαισθητοποίησή τους, στην κατανόηση της πολιτιστικής κληρονομιάς και των κινδύνων που την απειλούν, και τέλος στη δική τους συνεισφορά στην προστασία και διατήρησή της. Το εκπαιδευτικό εργαλείο παρέχει απαντήσεις για τους μαθητές στα ακόλουθα βασικά ερωτήματα:

- Τι είναι η πολιτιστική κληρονομιά;
- Γιατί πρέπει να διατηρήσουμε την πολιτιστική κληρονομιά;
- Πως πρέπει να διατηρήσουμε την πολιτιστική κληρονομιά;

Περιγραφή του ηλεκτρονικού εργαλείου μάθησης

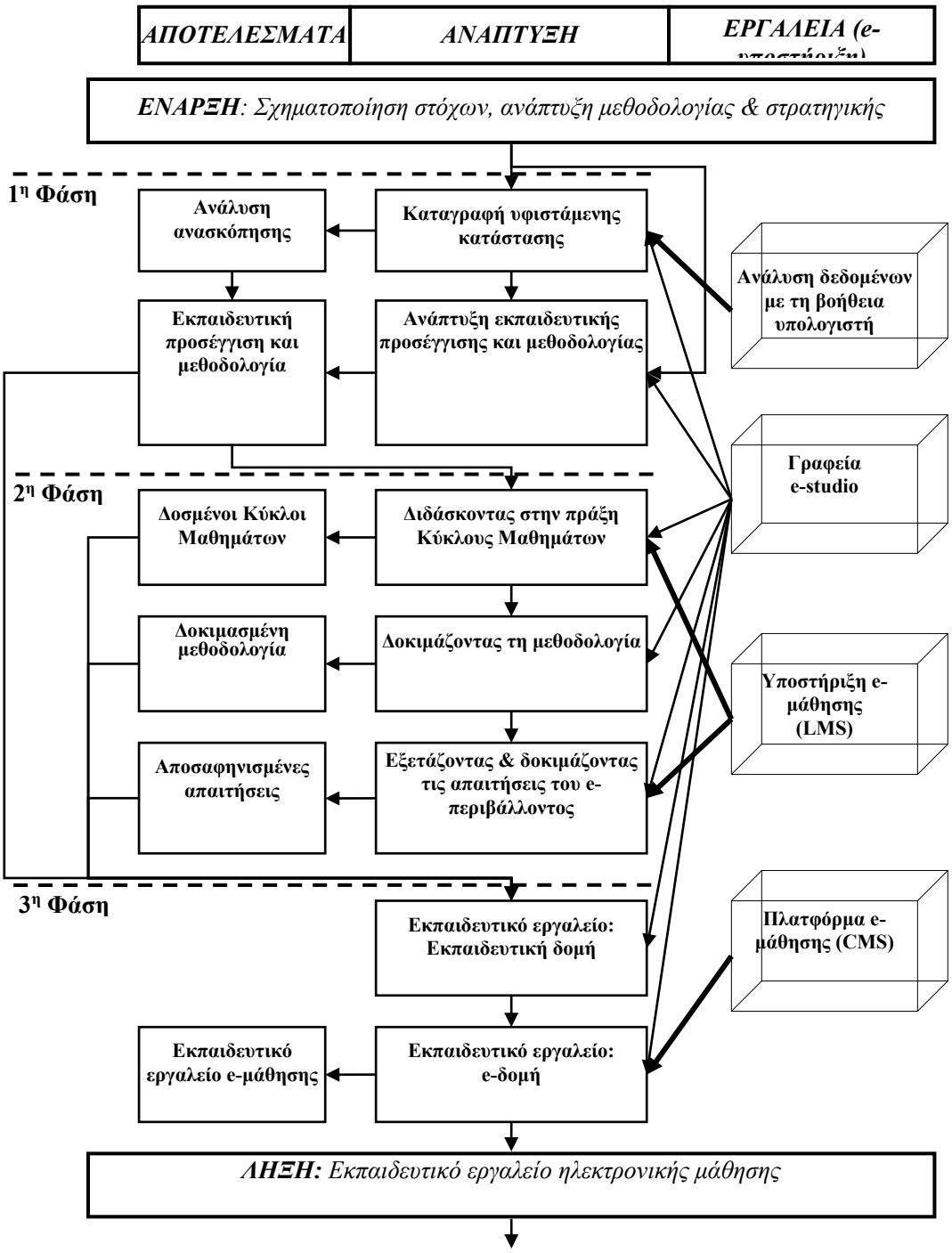
Η δημιουργία του ηλεκτρονικού εργαλείου μάθησης πραγματοποιήθηκε σε τρεις φάσεις [3], [4]:

- 1η φάση: Ανάπτυξη της εκπαιδευτικής μεθοδολογίας
- 2η φάση: Εφαρμογή - δοκιμή της εκπαιδευτικής μεθοδολογίας

Ανάπτυξη διεπιστημονικής και δι-ιδρυματικής εκπαίδευσης και έρευνας στρατηγικής σημασίας στον τομέα της προστασίας των μνημείων της πολιτιστικής κληρονομιάς

- 3η φάση: Ανάπτυξη και σχεδιασμός της πλατφόρμας ηλεκτρονικής μάθησης βάσει των αποτελεσμάτων της 1ης και 2ης φάσης.

Ανάπτυξη διεπιστημονικής και δι-ιδρυματικής εκπαίδευσης και έρευνας στρατηγικής σημασίας στον τομέα της προστασίας των μνημείων της πολιτιστικής κληρονομιάς



Ανάπτυξη διεπιστημονικής και δι-ιδρυματικής εκπαίδευσης και έρευνας στρατηγικής σημασίας στον τομέα της προστασίας των μνημείων της πολιτιστικής κληρονομιάς

Σχήμα 1. Φάσεις δημιουργίας του ηλεκτρονικού εκπαιδευτικού εργαλείου μάθησης

Ανάπτυξη της εκπαιδευτικής μεθοδολογίας

Πραγματοποιήθηκε καταγραφή της υφιστάμενης κατάστασης, η οποία αφορά στην καταγραφή των κύκλων μαθημάτων - σεμιναρίων που υφίστανται για το ευρύ κοινό (με έμφαση στους μαθητές δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης) σε ποικίλες χώρες παγκοσμίως. Αφορά σε συγκριτική ανάλυση των δεδομένων, ακολουθώντας προκαθορισμένα κριτήρια και παραμέτρους, από όπου προκύπτει η αναγκαιότητα ανάπτυξης της εκπαιδευτικής μεθοδολογίας.

Η εκπαιδευτική μεθοδολογία που αναπτύχθηκε είχε στόχο τη μεταφορά βασικών γνώσεων και την κατανόηση των αξιών που διέπουν την πολιτιστική κληρονομιά, τα προβλήματα συντήρησης και τις αρχές της συντήρησης από μη εξειδικευμένο κοινό. Η διαδικασία της ανάπτυξης οδήγησε στη δημιουργία της συγκεκριμένης δομής του εκπαιδευτικού υλικού, το οποίο δοκιμάσθηκε κατά τη διεξαγωγή πειραματικών κύκλων μαθημάτων σε μαθητές δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης [4].

Εφαρμογή - δοκιμή της εκπαιδευτικής μεθοδολογίας

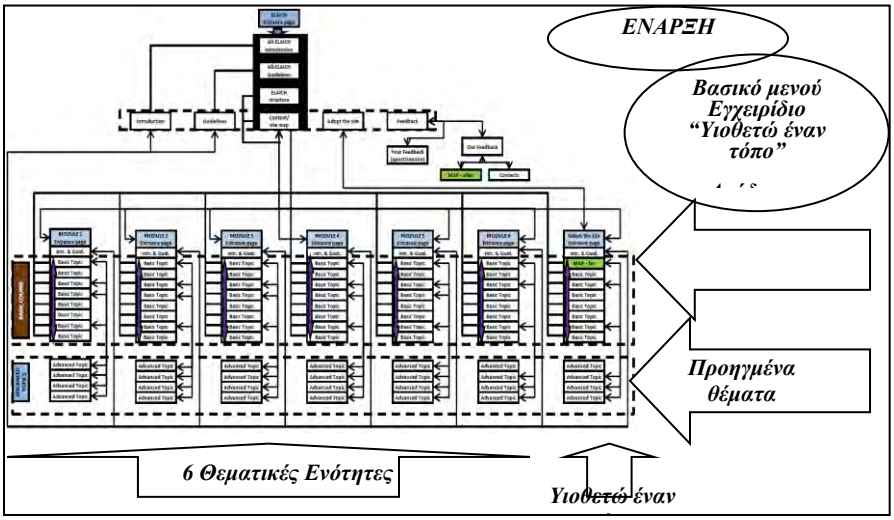
Η εφαρμογή της εκπαιδευτικής μεθοδολογίας πραγματοποιήθηκε σε μία σειρά κύκλων μαθημάτων. Η αρχική εφαρμογή αφορούσε στον πειραματικό κύκλο μαθημάτων στην Ελλάδα και στη συνέχεια στο Ισραήλ, στην Τουρκία, στη Μάλτα και στην Ιορδανία. Η δοκιμή της μεθοδολογίας πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια τεχνολογιών πληροφορικής και επικοινωνιών.

Οι κύκλοι μαθημάτων σχεδιάσθηκαν έτσι, ώστε να υποστηρίζουν το σύστημα διαχείρισης μάθησης Learning Management System - LMS προκειμένου να εξεταστεί η εκπαιδευτική μεθοδολογία και η e-εφαρμογή της, καθώς και να διευκολυνθεί ο σχεδιασμός του εκπαιδευτικού εργαλείου ηλεκτρονικής μάθησης. Το εικονικό περιβάλλον μάθησης Moodle χρησιμοποιήθηκε για την υποστήριξη και διαχείριση της εκπαιδευτικής διαδικασίας, συμπεριλαμβάνοντας εκπαιδευτικό υλικό, ασκήσεις, καθώς και υλικό προετοιμασίας για τις επί τόπου εκπαιδευτικές δραστηριότητες σε ιστορικούς τόπους [3], [4].

Ανάπτυξη και σχεδιασμός της πλατφόρμας ηλεκτρονικής μάθησης βάσει των αποτελεσμάτων της 1ης και 2ης φάσης

Ανάπτυξη διεπιστημονικής και δι-ιδρυματικής εκπαίδευσης και έρευνας στρατηγικής σημασίας στον τομέα της προστασίας των μνημείων της πολιτιστικής κληρονομιάς

Η πλατφόρμα ηλεκτρονικής μάθησης ήταν το αποτέλεσμα της ανάπτυξης των δύο προηγούμενων φάσεων, λαμβάνοντας υπ' όψιν τόσο τη σχηματοποίηση της λογικής δομής και της διδακτικής της e-μάθησης, όσο και τον κατάλληλο προγραμματισμό για το «ανέβασμα» του συνόλου του εκπαιδευτικού υλικού [3], [4].



Σχήμα 2. Λογική δημιουργίας της πλατφόρμας ηλεκτρονικής μάθησης

Προκειμένου το εκπαιδευτικό εργαλείο να είναι εύχρηστο για χρήστες που δε διαθέτουν εξειδικευμένη εμπειρία στο γνωστικό αντικείμενο της προστασίας της πολιτιστικής κληρονομιάς, όπως συμβαίνει στην περίπτωση των μαθητών μαζί με τους καθηγητές τους, κρίνεται σκόπιμο να συνοδεύεται από μία σειρά Εισαγωγών και Οδηγιών για κάθε θεματική ενότητα. Το εκπαιδευτικό εργαλείο θα μπορούσε επίσης να χρησιμοποιηθεί από τους φορείς που ασχολούνται με την προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς, και για το λόγο αυτό οι Εισαγωγές και οι Οδηγίες αποτελούν χρήσιμο βοηθητικό - επεξηγηματικό στοιχείο.

Το εκπαιδευτικό εργαλείο συνθέτουν τόσο ο βασικός κύκλος μαθημάτων όσο και προηγμένα θέματα, τα οποία ο χρήστης μπορεί να επιλέξει εάν επιθυμεί να εμβαθύνει σε συγκεκριμένες έννοιες. Ο βασικός κύκλος μαθημάτων είναι το βασικό υποχρεωτικό «μονοπάτι» που παρέχει το υλικό για όλα τα θέματα. Τα προηγμένα θέματα είναι προαιρετικά και μπορούν να ληφθούν (ή όχι) ανάλογα με την επιλογή του χρήστη, από τη

λίστα των προηγμένων θεμάτων που παρέχονται στο τέλος κάθε ενότητας. Αυτά επεκτείνουν τα θέματα του βασικού κύκλου μαθημάτων.

Η Προτεινόμενη διάρκεια του βασικού κύκλου μαθημάτων" είναι 30 ώρες, περιλαμβάνοντας και τη μελέτη επί τόπου σύμφωνα με την Ενότητα "Υιοθετώ έναν τόπο". Ο βασικός κύκλος μαθημάτων είναι ο κύριος υποχρεωτικός κύκλος μαθημάτων. Τα προηγμένα θέματα μπορούν να ληφθούν ή όχι, ανάλογα με την απόφαση του σχολείου.

Τη δομή της πλατφόρμας ηλεκτρονικής μάθησης συνθέτουν έξι βασικές θεματικές ενότητες, οι οποίες υποδιαιρούνται σε επιμέρους θέματα. Κάθε θεματική ενότητα είναι αφιερωμένη σε συγκεκριμένο κομμάτι της σύγχρονης διεπιστημονικής προσέγγισης του γνωστικού πεδίου της Προστασίας Μνημείων. Όλες οι θεματικές ενότητες συνδέονται με την ενότητα «Υιοθετώ έναν τόπο». Οι Θεματικές Ενότητες είναι οι ακόλουθες:

- Αξίες και ευαισθητοποίηση
- Γνωρίζοντας τη δομημένη πολιτιστική κληρονομιά
- Φθορά και περιβάλλον
- Η διαδικασία της συντήρησης
- Παρακολούθηση και έλεγχος - διατήρηση
- Διαχείριση και χρήση [5].

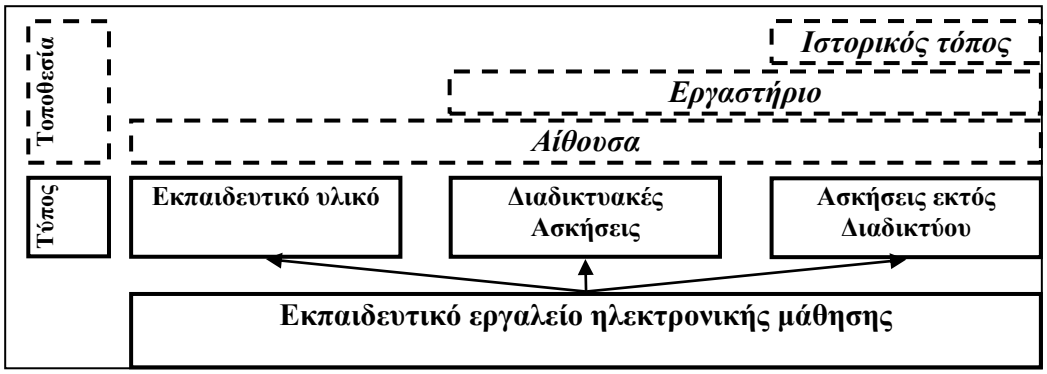
Η ενότητα «Υιοθετώ έναν τόπο» για εφαρμογή της αποκτηθείσας γνώσης

Οι Ενότητες προτείνεται να μελετώνται διαδοχικά και στο τέλος να γίνεται η ενασχόληση με την ενότητα «Υιοθετώ έναν τόπο». Η συγκεκριμένη ενότητα βασίζεται στη γνώση και κατανόηση των εννοιών που αναπτύχθηκαν στις προηγούμενες έξι θεματικές ενότητες. Παρέχει τη δυνατότητα στους μαθητές να εφαρμόσουν τη γνώση που απέκτησαν σε έναν ιστορικό τόπο προκειμένου να τον κατανοήσουν, να καταγράψουν τα βασικά του χαρακτηριστικά, να διεξάγουν βασική ανάλυση, να συλλέξουν δεδομένα που βοηθούν στη διατήρηση του τόπου.

Προτείνεται το σχολείο να επιλέγει τον ιστορικό τόπο σε συνεργασία με τις αρμόδιες αρχές, οι οποίες είναι υπεύθυνες για τους ιστορικούς τόπους. Η τελική εργασία μπορεί να υποβληθεί από το σχολείο σε μία σχετική αρχή συντήρησης / πολιτιστικής κληρονομιάς με την ολοκλήρωση του κύκλου μαθημάτων. Η ιστοσελίδα παρέχει μία λίστα επαφών σε διάφορες χώρες στο τμήμα Ανάδραση. Κάθε σχολείο μπορεί να επιλέξει ένα ιστορικό τόπο κοντά στο σχολείο, εάν υπάρχει διαθέσιμος, για λόγους εύκολης λογιστικής. Στην περίπτωση αυτή όλες οι εκτός Διαδικτύου επί

τόπου εκπαιδευτικές δραστηριότητες μπορούν να λάβουν χώρα στον ίδιο τόπο. Αυτό θα μπορούσε να εμπλουτίσει το πεδίο της τεκμηρίωσης, της κατανόησης και της ανάλυσης του τόπου.

Οι εκπαιδευτικές δραστηριότητες αφορούν στη μελέτη του εκπαιδευτικού υλικού (των παρουσιάσεων - διαλέξεων), καθώς και στην εξάσκηση της αποκτηθείσας γνώσης μέσω ασκήσεων, κουίζ, ερωτηματολογίων. Οι δραστηριότητες μπορούν να διεξαχθούν στην αίθουσα, στο εργαστήριο, καθώς και σε επιλεγμένο ιστορικό τόπο. Υπάρχει η δυνατότητα εκτέλεσης των ασκήσεων τόσο online αλλά και offline ακολουθώντας συγκεκριμένες οδηγίες που διατίθενται [4], [5], [6].



Σχήμα 3. Τύπος και τοποθεσία του εκπαιδευτικού υλικού και των δραστηριοτήτων που παρέχονται από το εκπαιδευτικό εργαλείο ηλεκτρονικής μάθησης

Συμπεράσματα - Προτάσεις

Το εκπαιδευτικό εργαλείο που αναπτύχθηκε παρέχει ευελιξία μέσω της πλατφόρμας ηλεκτρονικής μάθησης, η οποία δίνει τη δυνατότητα εύκολης πλοήγησης στο χρήστη και άμεσης πρόσβασης σε όλο το εκπαιδευτικό υλικό, παρέχοντας ταυτόχρονα τη δυνατότητα διαδοχικής μαθησιακής προόδου. Η πλατφόρμα ηλεκτρονικής μάθησης παρέχει εκπαιδευτικό υλικό πλούσιο σε γραφικά, εικόνες, φωτογραφίες, βίντεο και ηχητικά αρχεία. Υπάρχει δυνατότητα πρόσβασης στο υλικό διαδικτυακά, αλλά και εκτός διαδικτύου.

Η πλατφόρμα ηλεκτρονικής μάθησης δοκιμάστηκε σε σχολεία δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης online σε συνεργασία με φορείς συντήρησης. Ο κύκλος μαθημάτων περιελάμβανε επιπρόσθετα διαδικτυακές δραστηριότητες και πειράματα εκτός διαδικτύου, τα οποία διεξήχθησαν από

μαθητές υπό την καθοδήγηση των καθηγητών τους, βάσει των Οδηγιών του εγχειριδίου, αλλά και επί τόπου εφαρμογή σε επιλεγμένους ιστορικούς τόπους.

Σύμφωνα με την αξιολόγηση της πλατφόρμας, το εκπαιδευτικό υλικό χαρακτηρίστηκε κατανοητό και εύκολα διαχειρίσιμο. Η συγκεκριμένη προσπάθεια θα ήταν επιθυμητό να επεκταθεί στα σχολεία της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, δίνοντας τη δυνατότητα στους μαθητές να έρθουν σε επαφή με την πολιτιστική τους κληρονομιά και να γνωρίσουν σε βάθος τα θέματα προστασίας και διατήρησής τους.

Βιβλιογραφία

[1] Europe 2020. A strategy for smart, sustainable and inclusive growth, European Commission, Brussels, COM 2020; March 3, 2010A

[2] Digital Agenda for Europe, Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, Brussels, COM, 245; May 19, 2010

[3] A. Lobovikov-Katz, A. Konstanti, K. Labropoulos, A. Moropoulou, J. Cassar, R. de Angelis "The EUROMED 4 project "ELAICH": e-tools for a teaching environment on EU Mediterranean cultural heritage" in Lecture Notes in Computer Science 7616, Progress in Cultural Heritage Preservation, Proc. 4th International Conference, EuroMed 2012, Lemessos, Cyprus, October 29 - November 3, 2012, ed. M. Ioannides, D. Fritsch, J. Leissner, R. Davies, F. Remondino, R. Caffo, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 710-719, 2012

[5] Α. Κωνσταντή, Εκπαιδευτική προσέγγιση στην Προστασία Μνημείων, Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Χημικών Μηχανικών, 2013

[5] http://www.elaich.technion.ac.il/e-learning

[6] A. Lobovikov-Katz, A. Moropoulou, A. Konstanti, P Ortiz Calderón, R. Van Grieken, S. Worth, J. Cassar, R. De Angelis, G. Biscontin, F. Izzo, Tangible versus Intangible in e-Learning on Cultural Heritage: From Online Learning to On-site Study of Historic Sites, Ch. Digital Heritage. Progress in Cultural Heritage: Documentation, Preservation, and Protection, Vol. 8740 of the series Lecture Notes in Computer Science pp 819-828, Springer International Publishing, 2014

Ανάπτυξη διεπιστημονικής και δι-ιδρυματικής εκπαίδευσης και έρευνας στρατηγικής σημασίας στον τομέα της προστασίας των μνημείων της πολιτιστικής κληρονομιάς

Οικολογικά Έξυπνες Ανθεκτικές Στρατηγικές και Καινοτόμες Τεχνολογίες στην Προστασία της Πολιτισμικής Κληρονομιάς (Resilient Eco-smart Strategies & Innovative Technologies to Protect Cultural heritage)

Α. Δουλάμης, Κ. Λαμπρόπουλος, Δ. Κυριαζής, Α. Μοροπούλου

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 157 73 Ζωγράφου Αθήνα Ελλάς

Abstract

In all parts of Europe Cultural Heritage represents a significant economic sector on which many communities depend. However, built CH artefacts are under continuous degradation from environmental and anthropological effects, and face significant risk of catastrophic damage from events such as flooding, earthquakes, storm and fires, which are themselves exacerbated by the impact of climate change. Action must be taken to manage these risks and mitigate their effect, however traditional approaches have been fragmented between different areas of expertise and disciplines, without regard to the combined effect of such uncoordinated interventions, leading to ineffective and often detrimental impact on the very assets they seek to protect.

Therefore, in this paper we propose a new holistic approach to the effective safeguarding and management of built CH artifacts through the provision of a decision support platform based upon interdisciplinary resilience modelling of current and future risks and interventions, monitoring and analysis of CH assets and natural hazards, creation of a semantic knowledge base and vulnerability, risk and cost modelling for planning and implementing intervention strategies.

The main goal of this research is to deliver an architecture that takes account of and supports mitigation of the inter-related impact of environmental, climatic and anthropogenic factors on such significant cultural heritage assets as are represented by the world heritage sites acting as primary use cases for the project. The economic impact of such interventions is also addressed, since the financial importance of tourism at these sites must be balanced with the cost of intervention to protect them whilst recognising the socio-economic benefits to be gained.

Ανάπτυξη διεπιστημονικής και δι-ιδρυματικής εκπαίδευσης και έρευνας στρατηγικής σημασίας στον τομέα της προστασίας των μνημείων της πολιτιστικής κληρονομιάς

Περίληψη

Η πολιτισμική κληρονομιά αποτελεί ένα σημαντικό οικονομικό τομέα από τον οποίο εξαρτώνται διάφορες κοινότητες. Όμως τα πολιτισμικά μνημεία βρίσκονται σε συνεχή φθορά λόγω περιβαλλοντικών και ανθρωποκεντρικών επιρροών και αντιμετωπίζουν σημαντικό ρίσκο από καταστροφικούς περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως είναι πλημμύρες, σεισμοί, καταιγίδες, πυρκαγιές, ή φαινόμενα που οφείλονται στην κλιματική αλλαγή. Για να διαχειριστούμε και να αντιμετωπίσουμε αυτές τις αλλαγές πρέπει να αναληφθούν σημαντικές ενέργειες. Όμως οι τρέχουσες πρακτικές είναι κατακερματισμένες ανάμεσα σε επιστημονικές ομάδες διαφορετικών ειδικοτήτων χωρίς να προτείνεται μια συνδυαστική προσπάθεια για την αντιμετώπιση του ρίσκου.

Σε αυτό το άρθρο, προτείνουμε μία ολιστική προσέγγιση στην ασφαλή προστασία και διαχείριση κτηρίων πολιτισμικής κληρονομιάς μέσω της παροχής μίας πλατφόρμας υποστήριξης αποφάσεων που αναπτύσσεται με βάση ενός μοντέλου ολοκληρωμένης ανθεκτικότητας από τρέχοντα και μέλλοντα ρίσκα και παρεμβάσεις, παρακολούθηση και ανάλυση των πολιτισμικών αντικειμένων και αντιμετώπιση των φυσικών κινδύνων. Προτείνεται μια σημασιολογική γνωσιακή βάση και παρεμβάσεις αποκατάστασης.

Ο κυριότερος στόχος αυτής της έρευνας είναι η παροχή μίας αρχιτεκτονικής που υποστηρίζει τεχνικές μετριασμού του κινδύνου και αλληλο-συσχετίζει την περιβαλλοντική, κλιματική, ανθρωπογενή, επίδραση στην πολιτισμική κληρονομιάς σε διάφορα μνημεία. Η οικονομική επίδραση επίσης μελετάται ενώ αναγνωρίζονται κοινωνικό-οικονομικά θέματα.

Introduction

In the recent years, it has been recognized that environmental neglect can have severe economic and social impacts which outweigh the cost of protection, therefore, environmental considerations are often mainstreamed into policy and are an integral part of the overall economic model. Cultural Heritage (CH) is nowadays increasingly regarded as a positive contributor to European GDP and an essential part of Europe's underlying socioeconomic, cultural and natural capital. CH is also a major contributor to social cohesion and engagement.

Ανάπτυξη διεπιστημονικής και δι-ιδρυματικής εκπαίδευσης και έρευνας στρατηγικής σημασίας στον τομέα της προστασίας των μνημείων της πολιτιστικής κληρονομιάς

In an era with declining acidic pollutants in European atmosphere [1][2], climate change may play a more significant role in the decay of monuments and buildings. A robust and consistent picture of climate change over the Mediterranean emerges: consisting of a pronounced decrease in precipitation in the warm season and of an intensification of the meteoric phenomena (precipitation, storms) in the winter period, in particular in the northern Mediterranean areas (e.g. the Alps) [3]. Strictly connected to climate change, the rising of temperature, the intensification of rain precipitation, the rise in sea level and the possibility of flooding in particular for costal area and cities is also getting more attention and importance [4]. All the Mediterranean basin has been identified as a climate change "hotspot", expected to undergo environmental impacts considerably greater than in other places around the world [3]. Until now, however, the analysis of the impact that climate change might produce on historic buildings has been quite limited, despite the many researches dealing with the damages caused by atmospheric pollution, global warming and sea level rise [5]. While there is a generally good knowledge and awareness regarding degradation factors in respect to cultural heritage, so far specific studies and data are few and limited: on the interactions between building materials and the surrounding environments, on the most important degradation factors related to climate change, and on the possible solutions for reducing the impact of future climate change on the architectural surfaces [6]-[8]. An integrated and interdisciplinary approach should start from a holistic evaluation of the existing and fragmentary data with new ones, such in order to individuate meaningful parameters and relative threshold values, efficient mitigation strategies to be adapted and validated for Cultural Heritage assets in the specific situation [9].

Nowadays, the future relation between CH materials and the environment is difficult to predict and to understand as heavily influenced. New materials and technological solutions are produced according to market-industrial logic and applied in the restoration intervention, even if their long-term behavior is unknown. The EU has funded and supported the development of systems, centres and services such as the European Flood Awareness System (EFAS) [10], the EC's Emergency Response Coordination Centre (ERCC) [11], the COPERNICUS Emergency Management Service [12].

In this paper, we describe a new architecture that supports a novel decision support platform to increase the efficiency and effectiveness of conservation and management strategies through advanced processes, tools, models and services for identification, assessment and mitigation of the effects of

environmental changes, natural hazards and the impact of climate change on cultural heritage assets (i.e. sites, structures and artefacts). The architecture can increase the resilience and sustainability of European cultural heritage through a paradigm shift that transforms conservation policies and intervention strategies.

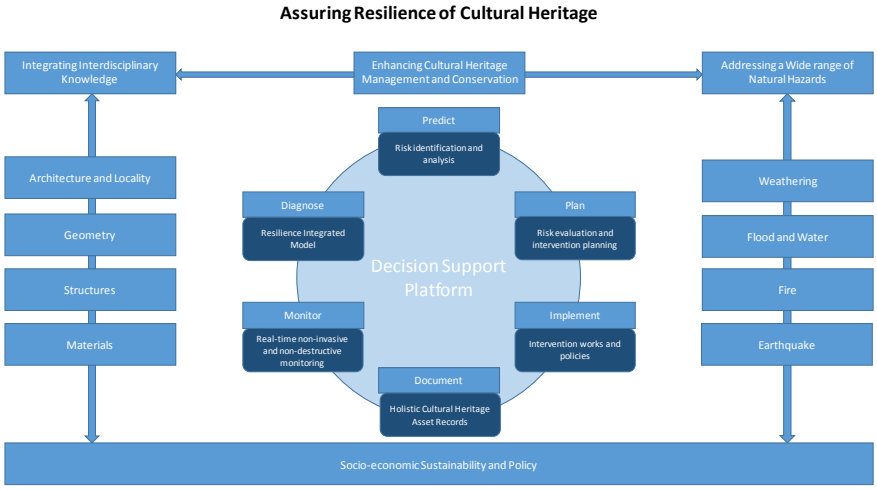


Figure 1. Our proposed model for assuring resilience of CH assets.

Figure 1 shows the way that our architecture integrates cross-disciplinary knowledge regarding both the built structure and the hazard environment to provide the depth of knowledge necessary to develop approaches spanning the complete intervention lifecycle. The Decision Support Platform (DSP) integrates the related functions of prediction, planning, implementation, documentation, monitoring ansd diagnosis. Expert knowledge of degradation and environment is combined with asset knowledge and monitoring data to predict the developing risks; the planning process evaluates those risks and supports the development of an intervention strategy. As the strategy is implemented, so real-time monitoring and diagnosis augments and maintains the knowledge base, which feeds back into the ongoing risk prediction process and ensures the planning and intervention strategies remain current and effective.

Ανάπτυξη διεπιστημονικής και δι-ιδρυματικής εκπαίδευσης και έρευνας στρατηγικής σημασίας στον τομέα της προστασίας των μνημείων της πολιτιστικής κληρονομιάς

Overall Approach

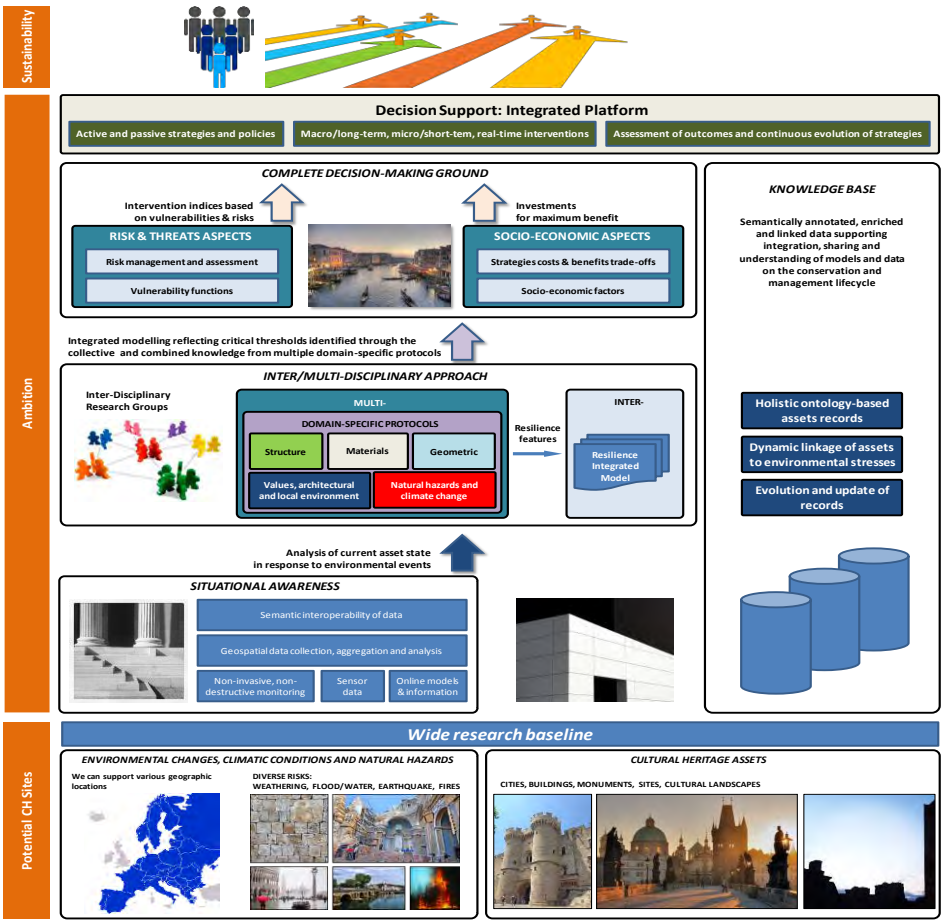


Figure 2. A diagram of the proposed approach.

The overall concept of our approach is illustrated in Figure 2. Our method can be applicable to a wide range of outdoor cultural sites, undergone different environmental and climate change phenomena (weathering, earthquakes, fires, floods/water). The first core research module of our architecture is the "situation awareness subsystem" responsible for monitoring of defects over CH sites, assessing their current status, collecting geospatial data and applying a semantic interoperability analysis on them. Then, our architecture triggers an inter/multi-disciplinary research group covering numerous domains including structural analysis, material decay characteristics, geometric properties, architectural assessment, survey of

climate changes and the effect of natural hazards, and urban properties and characteristics. These inputs are combined together to create a set of Resilience Features which are incorporated into the Resilience Integrated Model (RIM) alongside risks and threats aspects (risk assessment and vulnerability functions) and socio-economical strategies. A horizontal knowledge base toolkit is deployed to support these functionalities, adopting the concepts of holistic records through ontologies, dynamic linkage of assets to environmental stress as well as ontology evolution properties. The final outcome is a Decision Support Integrated Platform that recommends to experts active/passive strategies/policies, long/short-term interventions at micro, meso and macro scale while assessing outcomes to set guidelines for policy makers and the updating of existing strategies.

Components for a Resilience Integrated Model (RIM)

Through a holistic approach, we propose a Resilience Integrated Model (RIM) to manage cultural heritage sites and conservation solutions, while mitigating the effects of climate change, natural phenomena (e.g., earthquakes) and weathering factors (e.g., flooding). The RIM incorporates domain-protocols as regards (i) socio-economical and historical values, (ii) geometric knowledge, (iii) material properties, (iv) structuring issues, (v) knowledge of environmental factors including weathering and natural phenomena (e.g., earthquakes) and (vi) architectural aspects and local environmental factors. The combination of all these aspects comprises a set of resilience features *(treated as vectors)* that enable the correlation of different domain-specific attributes and reflects how threats / risks are multiplied. Thus, the RIM facilitates the capturing of interdependencies between different attributes (e.g. materials and weather conditions). This is achieved through the building of holistic records through the use of ontologies that provide a snapshot of the resilience features that modify the per-domain resilience behaviour.

Situation Awareness Analysis & Ontology-based Records

We will build diagnostic schemes in the form of Situational Awareness Analysis by incorporating (i) climate changes profiling, (ii) non-invasive/non-destructive analysis methods while (iii) documenting the sensor acquired spatio-temporal data and (iv) supporting data aggregation

strategies. Protocols developed in the EU-CHIC project [13] , will form the basis our research and will be adapted according to specifications.
On the top of that, the ontology-based holistic records will cover, under a unified framework, a variety of CH sites of different properties and characteristics. Holistic Records enable rich and generic characterisation of the aforementioned cultural heritage elements into *well-defined and structured components* and *machine-readable formats* that allow the utilization of multi-domain information in an automated way. This holistic knowledge is built upon the CIDOC/CRM protocol and it extends the standard to include historic documentation, geometric survey, material survey, assessment of the effectiveness of past interventions/restorations, as well as critical environmental parameters.

The Decision Support Platform

Our main outcome is the development of an innovative integrated Decision Support Platform (DSP) acting as an intelligent, customizable toolkit to assist *CH experts and authorities* to take crucial decisions, covering both short-term and long-term aspects regarding the current status of a CH monument, providing risk assessment actions, intervention strategies and conservation policies. Core elements of this DSP are the aforementioned holistic records and the Resilience Integrated Model of the cultural heritage asset, without which any decisions regarding mitigation measures and adaptation strategies would be ineffective. The DSP will provide sustainable multi-modal and multi-faceted management and conservation measures by enabling the development of various “templates” of adaptation and mitigation strategies that can be applied in different temporal scales. Long (short)-term strategies refer to decisions that may affect the asset with respect to global (asse-level)-level information (e.g. climate change). Real-time strategies are applicable to the asset and are driven by real-time monitoring data that highlight an emerging risk. Both short-term and long-term strategies will be triggered at macro, meso and micro scale level of a monument analysis.

3.3 Resilience Integrated Model & Invention Necessity Indices

Central to the our approach (as depicted in the following figure), is the **Resilience Integrated Model (RIM)** that incorporates multi-disciplinary knowledge and assessments in a combined way, leading to the identification

and definition of **intervention necessity indexes** *based on this collective and synthesized knowledge of different domains*. The intervention necessity indexes developed will be multi-disciplinary, encompassing the holistic approach adopted throughout the project. Intervention necessity indexes are not, however, the sole tool with which decisions on whether to intervene or not will be taken by stakeholders. Instead, a complete risk identification and assessment framework is developed to assess different threats and raise warning signals which, according to the corresponding intervention necessity indexes, trigger the employment of active and passive adaptation strategies and policies. In this process, socio-economic aspects will be considered through a trade-off analysis framework and a business simulation engine, incorporated as modules in the integrated platform. Our architecture proposes a continuous feedback approach in which many workflows can be executed simultaneously, while the final outcome of the Decision Support Integrated Platform feeds back into the Resilience Model to get more reliable analysis for the CH site protection and preservation.
For example, in the materials domain case, the time evolution of an intervention necessity can be seen as a curve of a positive slope (see Figure 3) indicating that as materials deteriorate the necessity for intervention increases and this accumulative deterioration becomes worse with time. A similar behaviour can be seen in other disciplines, i.e., with time the necessity to intervene generally increases (linear, exponentially etc). Based on the traditional per-domain approach, stakeholders/scientists could then define intervention necessity thresholds, that when reached, would trigger the process of initiating the implementation of interventions.

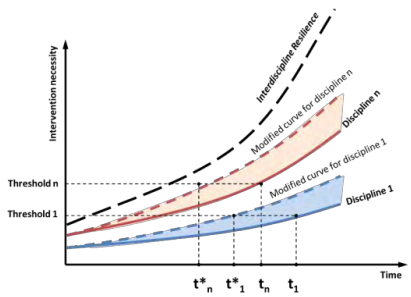


Figure 3. Example of intervention necessity indices

Ανάπτυξη διεπιστημονικής και δι-ιδρυματικής εκπαίδευσης και έρευνας στρατηγικής σημασίας στον τομέα της προστασίας των μνημείων της πολιτιστικής κληρονομιάς

Strategic impact

Monitoring, assessing, digitising and surveying CH assets is one of the most salient research actions in the cultural community. This assists conservators to check how restoration methods affect an object or how materials decay through time; archaeologists to better document an item; curators to properly display them and the creative industries to disseminate cultural knowledge in a digestible way worldwide. Europe's cultural treasure is also laying onto outdoor cultural sites, on historic cities, and on buildings and monuments being visited by thousands of users. These CH objects undergo material degradation mainly due to environmental effects, climate change, and spatial changes due to restoration actions applied. Thus, there is an imminent need for CH actors to spatial-temporally monitor critical aspects on the monuments and extract concrete conclusions on the impact different restoration strategies can have on them, how its materials behave through time, how the behaviour of material decay is accelerating/decelerating with respect to the micro-climate conditions, and what parts of an object needs more precise reconstructions than other parts. On the other hand, the involvement of many and different players in the CH community, each having different preferences and needs, makes the delivery of the same scale of the digital counterpart insufficient let alone non-affordable and time consuming. Last but not least, exploiting the CH model across different devices and platforms requires the implementation of a multi-level scalable scheme. Our approach addresses these issues by proposing an innovative holistic framework over which critical decisions and resilience actions are taken to prevent material degradation of historic monuments. This is achieved using a series of actions at different research fields (a) including climate models, (b) exploiting monuments' integrated protocols, (c) supporting time evolved 3D geometry digital technologies (4D modelling) and the creation of change history maps to accelerate reconstruction time at forthcoming time intervals, (d) material decay properties, (e) historical factors, (f) spatial and geometric characteristics of a monument.

Conclusions

In this paper we propose a new integrated approach for protecting CH outdoor sites. We introduce a new inter-disciplinary approach that takes into account a variety of parameters ranging from geometric, historic, environmental, architectural documentation. All these parameters are

combined into a single model, called Resilience Integrated Model (RIM). The architecture is supported by a decision support mechanism, assisting experts in taking decisions and making correct recommendations.

Acknowledgment

This paper is one under the framework of THALIS-AEIS programme "Sustainability and Compatibility of Advanced Material and Technologies for the Protection of Cultural Heritage Monuments: Development of Criteria and Management Methodologies" with scientific responsible Prof. Antonia Moropoulou under the funded of the Action "Education and Lifelong Learning," of the Greek Ministry of Culture, Education and Religion Affairs.

References

[1] Bonazza A., Messina P., Sabbioni C., Grossi C.M, Brimblecombe P. (2009), Mapping the impact of climate change on surface recession of carbonate buildings in Europe, Science of The Total Environment, 407, pp.2039-2050.

[2] NOAH'S ARK (Global Climate Change Impact on Built Heritage and Cultural Landscape) Pr. ref: 501837

[3] Barbi A., Monai M., Racca R., Rossa A.M. (2012), Recurring features of extreme autumnal rainfall events on the Veneto coastal area, Natural Hazards and Earth System Sciences, 12, pp. 2463–2477.

[4] Santoro F., Tonino M. , Torresan S., Critto A., Marcomini A. (2013), Involve to improve: A participatory approach for a Decision Support System for coastal climate change impacts assessment. The North Adriatic case, Ocean and Coastal Management, 78, 101-111.

[5] Sabbioni C., Brimblecombe P., Cassar M. (2010), The Atlas of Climate Change Impact on European Cultural, Scientific Analysis and management strategies, Anthem Press.

[6] Bernardi, A., Becherini, F., Bonazza, A., Krupinska, B., Pockelè, L., Van Grieken, R., De Grandi, S., Ozga, I., Rico, A.J.V., Mercero, O.G., Vivarelli, A. (2012), A methodology to monitor the pollution impact on

historic buildings surfaces: The TeACH project DOI: 10.1007/978-3-642-34234-9_81.

[7] Bonazza A., Messina P., Sabbioni C., Grossi C.M, Brimblecombe P. (2009), Mapping the impact of climate change on surface recession of carbonate buildings in Europe, Science of The Total Environment, 407, pp.2039-2050.

[8] Brimblecombe P. (2010). Mapping heritage climatology. In: Bunnik T, De Clercq H, Van Hees R, Schellen H, Schueremans L, eds., Effect of climate change on cultural heritage. WTA Publications, pp. 18-30.

[9] Zendri E., Balliana E., Izzo F.C., Melchiorre Di Crescenzo M., Falchi L., Biscontin G., Sgobbi M. (2011) The monitoring of architectural stone surface treatments: choice of the parameters and their threshold limit values in Souteast University of Nanjing, UNESCO, RLICC Leuven, Monumentenwacht Belgium, International Conference on preventive conservation of architectural heritage, Nanjing, UNESCO Asia-Pacific World Heritage Training and research, China, pp. 123-130.

[10] European Flood Awareness System (EFAS): https://www.efas.eu/

[11] EC's Emergency Response Coordination Centre (ERCC)

[12] COPERNICUS Emergency Management Service http://emergency.copernicus.eu/

[13] EU CHIC (European Cultural Heritage Identity Card): http://www.eu-chic.eu/

[14] A. Kioussi, K. Labropoulos, M. Karoglou, A. Moropoulou, R.Zarnic, 2011 “Recommendations and strategies for the establishment of a guideline for monument documentation harmonized with the existing European standards and codes”, Journal Geoinformatics FCE CTU 6, 178 – 184.

Μεθοδολογίες, προδιαγραφές και καινοτόμες εφαρμογές μη καταστρεπτικών και αναλυτικών τεχνικών αποτίμησης υλικών και επεμβάσεων συντήρησης

Παρακολούθηση της υγείας των μεταβυζαντινών μνημείων με χρήση θερμογραφίας υπερύθρων (Health monitoring of post-Byzantine monuments by IR thermography)

D.A. Exarchos[1], E.Z. Kordatos[1], C. Stavrakos[2], A. Moropoulou[3], T.E. Matikas[1]

[1]Department of Materials Science and Engineering, University of Ioannina, Greece
[2]Department of History and Archaeology, University of Ioannina, Greece
[3]School of Chemical Engineering, National Technical University of Athens, Greece

Abstract

Infrared thermography is a real-time method based on monitoring the temperature variation on the surface of materials and structures. This method identifies and interprets the surface temperature differences in the material, leading to the evaluation of damage distribution and accumulation. Infrared thermography is a non-destructive, full field and non-contact method allowing characterization of degradation in historic monuments without causing further damage to them. This work presents recent results of infrared thermographic inspection of murals at the "Monastery of Molivdoskepastos" in the Ioannina region (Greece). Three different thermographic methods have been used and compared for their efficiency in detecting hidden letters in sub-surface donor's inscriptions.

Περίληψη

Ο έλεγχος της δομικής ακεραιότητας μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς, αποτελεί σημαντική προσφορά στη προώθηση του πολιτισμού και της ιστορίας. Η έγκαιρη αποτίμηση της κατάστασης των τοιχογραφιών, των νωπογραφιών και της τοιχοποιίας μπορεί να αποτρέψει την ανεπανόρθωτη βλάβη τους. Επιπρόσθετα, η υπέρυθρη θερμογραφία παρέχει σημαντικές πληροφορίες για την αποκατάσταση και τη συντήρηση των μνημείων. Σε αυτή τη μελέτη, διάφορες τεχνικές θερμογραφίας χρησιμοποιήθηκαν για την παρακολούθηση της υγείας των μεταβυζαντινών μνημείων. Η υπέρυθρη

θερμογραφία είναι μια μη καταστροφική μέθοδος, πλήρους πεδίου, που επιτρέπει τον χαρακτηρισμό της βλάβης σε μνημεία χωρίς να απαιτείται επαφή και χωρίς να προκαλείται περαιτέρω ζημιά σε αυτά.

Introduction

Infrared thermography is a non-destructive investigation method that can be widely used in a number of applications and specifically in damage characterization of structures and the diagnosis of historic monuments. Studies have shown increasing interest in thermography's applications with the use of different thermographic methodologies. Specifically, infrared thermography has been used for the investigation of masonry (Avdelidis & Moropoulou 2003, Avdelidis & Moropoulou 2004, Moropoulou & Avdelidis 2001, Moropoulou & Avdelidis 2002, Moropoulou et al. 2002). It should also be mentioned that appropriateness of conservation has been approached by thermographic methods (Avdelidis et al. 2004, Avdelidis & Moropoulou 2004). Moreover, ir thermography has been used to historical structures in the assessment of structural timber elements (Kandemir-Yucel 2007) and surface roughness (Avdelidis et al. 2007). In addition, it has been applied successfully for the knowledge of wall bonding, moisture mapping and the measure of the thermal diffusivity of bricks and plaster (Grinzato et al. 2002). Also, ir thermography was applied for the assessment of surface-water drainage problems in a historical building (Tavukçuoğlu et al. 2005).

In this study the aforementioned historic monument is north of the city of Ioannina, in the valley of the river Aoos and close to the Albanian borders. It is the monastery of the "Assumption of the Virgin" at Molybdoskepastos (named after the lead – molybdos – shingles with which the monastery's catholicon was once roofed) (Nikol 1953, Tsoures 1988, Kamaroulias 1996, Papadopoulou 1996, Karamperide 2003, Papadopoulou & Karamperide 2006).

The catholicon itself has been built in a fairly complex style. It comprises a three niches church, to the western part of which were progressively added: (i) a single-room cross - shaped section; (ii) a timber-roofed narthex; as well as one chapel upon each of the southern and northern walls of the catholicon, and which are both complete ruins nowadays. The original three niched section, according to the work of researchers, dates from the 11th century; the cross - shaped section from the late 13th or the first two decades of the 14th century; and the narthex on the western side (with many repairs and additions, as it stands nowadays) from the 16th century (Papadopoulou & Karamperide).

The monastery of Molybdoskepastos was stauropegian, which is subjected directly to the Ecumenical Patriarchate. In the 14th century it incorporated a scriptorium; but in the 16th it was at the height of its glory. It was frescoed twice then, in 1521 and 1537 (Chatzidakes 1987).

There is an interesting donor's inscription over the west door of the church. The text takes up seven lines of script and is dated ΖΛ (7030=1521).

Molivdoskepastos has great historical significance and the donor's inscription can give valuable information about the year that the monastery was build or reconstructed. The aim of this study was to characterize damage in the sub-surface donor's inscription of the historical monument as well as to identify hidden letters.

Experimental Study

Methodology of thermographic investigation

In order to investigate a material or a structure with infrared thermographic means, there are two approaches that can be used, passive and active. In active thermography it is necessary to bring some energy to the specimen inspected in order to obtain significant temperature differences witnessing the presence of subsurface anomalies. In this study three different active thermographic methods have been used to damage characterization of Monastery of Molivdoskepastos's dome and to detect hidden letters in sub-surface donor's inscription.

The first thermographic method used was the "lock-in thermography" (LT) (Kordatos et al. 2009) which is based on thermal waves generated inside a specimen and detected remotely. In this case, wave generation was performed by periodic deposition of heat on the dome and on the donor's inscription surface through sine-modulated lamp heating while the resulting oscillating temperature field in the stationary regime was recorded remotely through thermal infrared emission. The depth of images is inversely proportional to the modulation frequency, so that higher modulation frequencies restrict the analysis in a near surface region. (Maldague 2001).

The second method used in this work was the "pulsed phase" infrared thermography (PPT). This method combines the advantages of both pulsed infrared thermography and lock-in thermography. Pulsed thermography consists of heating the specimen briefly and then recording the temperature decay curve. The procedure for pulsed phase infrared thermography (PPT) is based on the Fourier transform. The sequence of infrared images to process, witnessing the temperature decay, following the initial thermal

pulse, is obtained as in pulsed thermography and for each pixel, the temporal evolution is extracted from the image sequence. This enables computation of phase images. In pulsed phase thermography the analysis is performed in the transient mode while in lock-in thermography the signal is recorded in the stationary mode (Maldague & Moore 2001).

The third method used was the "graduated heating thermography". The increase of surface temperature was monitored during the heating. The heating procedure was achieved using four lamps. The examined surfaces were being heated gradually for 100 sec. In the first 50 seconds the lamp's power was being increased from 0 Volt to 3 Volt and in the next 50 seconds the lamp's power was being decreased from 3 Volts to 0 Volts at a constant rate, as it can be seen in Figure 1.

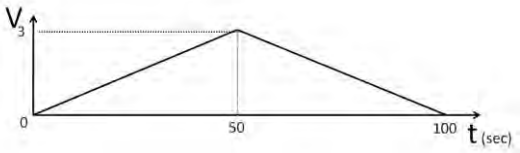


Figure 1. Thermal excitation rate in graduated heating thermography.

Experimental setup

The experimental setup included four lamps for the heating procedure, a control unit for image processing, a lock-in amplifier and two different types of ir cameras (Fig. 2).

For the first and second thermographic methods used, the monitoring was conducted on an infrared camera CEDIP (MIW) with a cooled indium antimonide (InSb) detector (3-5 μm), a frame rate of 100 Hz and a focal plane array (FPA) pixel format of 320 (H) x 240 (V). The resolution of the ir camera is 20 mK and the integration time is 1500μs. The infrared camera Flir T360 with a spectral range of 7.5 to 13 μm, sensitivity of 0.06 ºC at 30 ºC and ± 2% accuracy was used in the "graduated heating thermography" method.

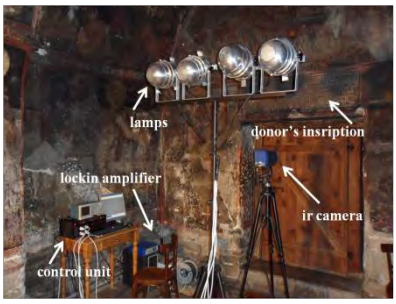


Figure 2. Experimental setup.

Results and Discusion

Results of damage characterization

One of the areas that have been inspected in this survey is the roof of the church of the monastery (Fig. 3).

Figure 3. Murals on roof of the Monastery of Molivdoskepastos..

Considering the fact that the roof is five meters above the floor, it is very difficult an optical inspection to be applied. Therefore, "graduated heating thermography" was used for damage characterization. On the digital photo there is an obvious crack while on the thermograph (Fig. 4) it is clear that there are more cracks in many different directions. Moreover, the accumulated heat in a part of the mural indicates that this part of the mural has been detached.

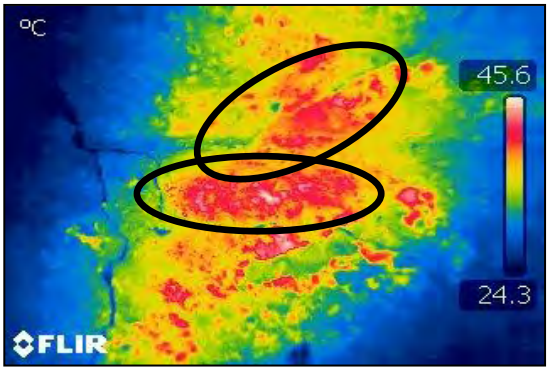


Figure 4. Thermograph of the roof with detached areas and cracks, marked with circles.

Another area of interest that has been examined is the donor's inscription above the west gate of the church. A part of this inscription has been destroyed. The area that has been examined was near the destroyed part (Fig. 5). Graduated heating thermography shows that the near area of the destroyed part of the mural is also detached and delaminated (Fig. 6).

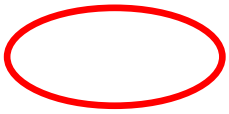


Figure 5. Donor's inscription above the west gate of the church with marked the part of mural which has been examined.

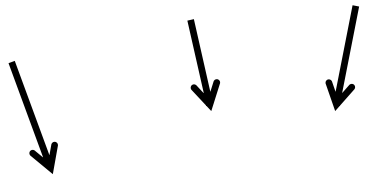


Figure 6. The thermographic image depicts part of the donor's inscription. Arrows show the detachments and delaminations of mural.

Results of detecting hidden letters

The second part of this research concerns identification of hidden letters in sub-surface donor's inscription. The part of the inscription that had been chosen for this survey was near the destroyed part of the surface inscription (Fig. 6). At the destroyed area there is an obvious letter of the older sub-surface hidden inscription. Therefore, in this area there was a high probability that more letters exist under the inscription. Taking this observation into consideration this part of the inscription had been chosen for thermographic inspection.

Figure 7. Part of the donor's inscription where the three different thermographic methods were applied.

The first method that had been applied was lock-in thermography. The results of this method were ambiguous. Even though the thermographic image (Fig. 8) reveals some of the substances of the fresco where the mural had been painted such as straws, wires and gravel it is not exploitable for the purpose of this study.

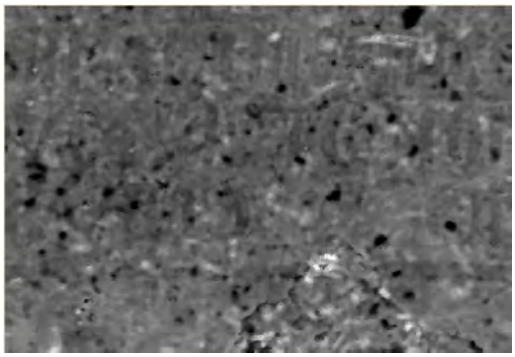


Figure 8. Lock-in phase image presents the substances of the fresco where the donor's inscription is paint.

The second method that had been applied was pulsed phase thermography. In Figures 9a and 9b the marked areas are probably traces of hidden letters from the sub-surface inscription. The advantage of this method is the "phase" image that allows identification of hidden sub-surface letters.

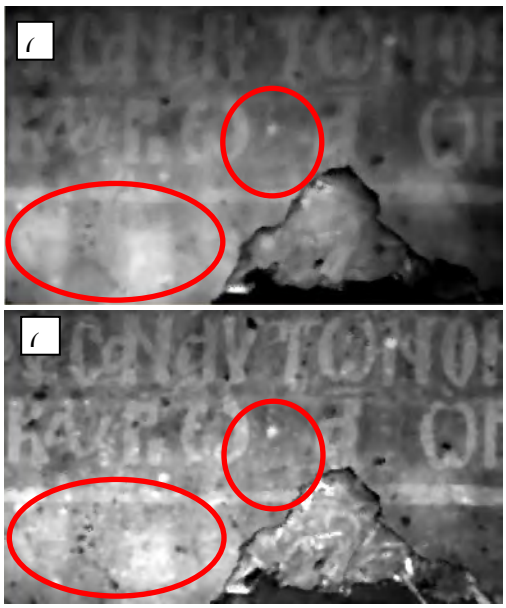


Figure 9. Pulsed phase thermographic images show traces of hidden letters from the sub-surface inscription.

.

The third thermograpic method that had been used was “graduate heating thermography”. This method was developed by the authors in order to achieve more clear results. As it can be seen in Figure 10, letters were expected to be identified between the red drawn lines because inside the red circle there is an obvious letter as aforementioned. A letter called “alpha ” (Fig. 11) has been identified from the sub-surface inscription written in an artistic way in accordance with the chronology that is believed the sub-surface inscription is made.

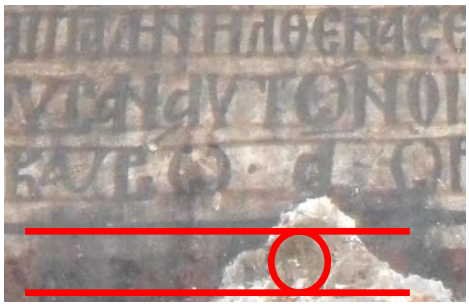


Figure 10. Digital image of the specified area between the red lines.

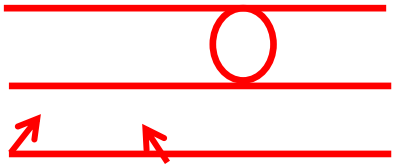


Figure 11. "Graduate heating thermography". Arrows and circle define the positions of hidden letters.

As can be observed from the thermographs above, the "graduated heating thermography" gives the best results for damage characterization as well as for detecting hidden letters in sub-surface donor's inscription, compared to the two other inspection methods.

Conclusions

This study demonstrates that ir thermography is a powerful method enabling nondestructive assessment of damage in cultural heritage monuments. Specifically, this full-field method is suitable to characterize degradation of murals from distance and is a useful tool to draw conclusions in real time about the state of damage in historic monuments.

Moreover, ir thermography has been shown to be a promising and innovative technique for identifying sub-surface inscriptions. From the three different thermographic techniques used in this research, the graduate heating thermography has been proven to be the most effective technique in order to detect and identify sub-surface inscriptions.

Acknowledgment

This research has been co-financed by the European Union (European Social Fund ESF) and Greek national funds through the Operational Program "Education and Lifelong Learning" of the National Strategic Reference Framework (NSRF) Research Funding Program: THALES. Investing in knowledge society through the European Social Fund, Project name : "Sustainability and compatibility of advanced materials and technologies for the protection of cultural heritage monuments:

Μεθοδολογίες, προδιαγραφές και καινοτόμες εφαρμογές μη καταστρεπτικών και αναλυτικών τεχνικών αποτίμησης υλικών και επεμβάσεων συντήρησης

development of investigation criteria and methodologies" Headed by Professor A. Moropoulou

Η εργασία πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του Προγράμματος ΘΑΛΗΣ-ΑΕΙΣ "Αειφορία και συμβατότητα προηγμένων υλικών και τεχνολογιών για την προστασία μνημείων της Πολιτιστικής Κληρονομιάς: ανάπτυξη κριτηρίων και μεθοδολογιών ελέγχου" με επιστημονικά υπεύθυνη την Καθ. Α. Μοροπούλου, με τη χρηματοδότηση του Επιχειρησιακού Προγράμματος "Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση" του Υπουργείου Πολιτισμού, Παιδείας και Θρησκευμάτων

References

Avdelidis, N.P. & Moropoulou, A. 2003. Emissivity considerations in building thermography, *Energy and Buildings,* 35 [7] pp. 663-667

Avdelidis, N.P. & Moropoulou, A. 2004. Applications of infrared thermography for the investigation of historic structures. *Journal of Cultural Heritage* 5 119–127

Avdelidis, N.P., Moropoulou A. & Delegou, E.T. 2004. A thermographic study for the assessment of historic structures. *In the 7th Quantitative Infrared Thermography Conference Proc. QIRT. Brussels – Belgium. 2004.*

Avdelidis, N.P., Delegou, E.T. & Moropoulou, A. 2007. Laser profilometry and flash themography for surface roughness assessment of Pentelic marble. *In 4th International Conference on NDT of the Hellenic society of NDT (HSNDT) Chania, Crete, Greece 2007 Proceedings in CD-Rom.*

Chatzidakes, M. 1987. *΄Ελληνες ζωγράφοι μετά την ΄Αλωση (1450 – 1830).* Athens, 286.

Grinzato E., Bison P.G. & Marinetti S. 2002. Monitoring of ancient buildings by the thermal method. *Journal of Cultural Heritage* 3 21–29

Kamaroulias, D. 1996. *Τα μοναστήρια της Ηπείρου*. I. Athens, 178- 185 (henceforth: Kamaroulias, Μοναστήρια).

Kandemir-Yucel A., Tavukcuoglu A. & Caner-Saltik E.N. 2007. In situ assessment of structural timber elements of a historic building by infrared thermography and ultrasonic velocity. *Infrared Physics & Technology* 49 243–248

Karamperide, A. 2003. Ζωγράφοι από το Γράμμο στην ¨Ηπειρο του 17οz αιώνα. Στοιχεία από τις επιγραφές των έργων τους. In: *Μίλτος Γαρίδης (1926 – 1996)*. Αφιέρωμα I. Ioannina, 291 – 309

Kordatos, E.Z., Myriounis, D.P., Hasan, S.T. & Matikas, T.E. 2009. Monitoring the fracture behavior of SiCp/Al alloy composites using infrared lock-in thermography. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering,* 7294, art. no. 72940X.

Maldague, X.V. (2001). *Theory and practice of Infrared technology for nondestructive testing*. John Wiley&Sons, Inc, New York.

Maldague, X.P.V., & Moore, P.O. (2001). *Nondestructive Testing Handbook, third edition: Volume 3, Infrared and Thermal Testing.* Columbus, OH, ASNT.

Μεθοδολογίες, προδιαγραφές και καινοτόμες εφαρμογές μη καταστρεπτικών και αναλυτικών τεχνικών αποτίμησης υλικών και επεμβάσεων συντήρησης

Moropoulou, A. & Avdelidis, N.P. 2001. Emissivity measurements on historic building materials using dual wavelength infrared thermography. In Thermosense XXIII, ed. R.B. Dinwiddie et al., *Publ. SPIE, Vol. 4360 2001 pp. 224-228.*

Moropoulou A. & Avdelidis N.P. 2002. Role of emissivity in infrared thermographic imaging and testing of building and structural materials NDT. In Thermosense XXIV, ed. X.P.V. Maldague, A.E Rozlosnik, *Publ. SPIE, Vol 4710 2002 pp.281-287.*

Moropoulou, A., Avdelidis, N.P. & Theoulakis, P. 2002. Non-destructive inspection of historic structures employing a long wavelength infrared cooled system. *In the 2nd Balkan Conference of BSNDT & 4th National Conference of HSNT Athens – Greece, 2002 Proceedings in CD-Rom.*

Nicol, D. 1953. The churches of Molybdoskepastos. *Annual of the British School of Athens* 48, 141-146.

Papadopoulou, B. 1996. Η Κόνιτσα και η ευρύτερη περιοχή κατά τη Βυζαντινή περίοδο. In: *Η επαρχία της Κόνιτσας στο χώρο και στο χρόνο. Εισηγήσεις στο Α' Επιστημονικό Συμπόσιο*. Konitsa, 77-82 (henceforth: Papadopoulou, Κόνιτσα).

Papadopoulou, B. & Karamperide, A. 2006. *Βυζαντινά και Μεταβυζαντινά Μνημεία Μολυβδοσκεπάστου. Ioannina, 9 - 22* (henceforth: Papadopoulou – Karamperide).

Tavukçuoğlu, A., Düzgüneş, A., Caner-Saltik, E.N., & Demirci, Ş. 2005. Use of IR thermography for the assessment of surface-water drainage problems in a historical building, Ağzikarahan (Aksaray). *NDT and E International*, 38 (5), pp. 402-410

Tsoures, K. 1988. *Ο κεραμοπλαστικός διάκοσμος των υστεροβυζαντινών μνημείων της βορειοδυτικής Ελλάδος (unpublished doctoral thesis)*. Kavala, 10; 11; 13; 49 – 50; 104 – 107; 121; 149; 151; 176.

Μεθοδολογίες, προδιαγραφές και καινοτόμες εφαρμογές μη καταστρεπτικών και αναλυτικών τεχνικών αποτίμησης υλικών και επεμβάσεων συντήρησης

Αποτίμηση ασύμβατων επεμβάσεων συντήρησης στον Πανίερο Ναό της Αναστάσεως στα Ιεροσόλυμα, με χρήση μη-καταστρεπτικών τεχνικών (Non-destructive assessment of incompatible interventions at the Church of the Holy Sepulchre, Jerusalem)

Α. Μοροπούλου, Α. Μπακόλας, Μ. Καρόγλου, Αικ. Δελέγκου, Κ. Λαμπρόπουλος, Δ. Διαμαντίδου

Abstract

The Church of the Holy Sepulchre in Jerusalem, has inflicted various types of damages (environmental impact, earthquakes), and various interventions have been implemented throughout the centuries to remedy these damages. Infrared thermography, fiber optic microscopy, ground penetrating radar and ultrasonic testing were used to study the incompatible materials used for conservation and structural maintenance. Characteristic areas were surveyed, including the Katholikon of the Greeks, the Dome of the Katholikon and the Bell Tower. Analysis of the Non-destructive investigation revealed that reinforced concrete has been used for the construction of the north and south interior walls of the Catholic of the Greeks, that although it provides a localized increase of the stiffness, it alters the overall stiffness distribution within the Catholic of the Greeks hall and, subsequently, modifies the seismic behavior of the Church of the Holy Sepulchre complex.

Similar incompatible interventions were observed also at the Dome of the Catholic and the Bell Tower, where restoration mortars that were applied during past works have resulted in significant thermomechanical differentiations between the restoration materials and the original building materials, as evidenced by the temperature variations observed by infrared thermography and the ineffective grouting and repointing observed by ground penetrating radar. Such incompatible interventions may be detrimental to the masonries' behavior during earthquakes, placing at risk the whole historic building.

Μεθοδολογίες, προδιαγραφές και καινοτόμες εφαρμογές μη καταστρεπτικών και αναλυτικών τεχνικών αποτίμησης υλικών και επεμβάσεων συντήρησης

Περίληψη

Ο Πανίερος ναός της Αναστάσεως έχει υποστεί φθορά διαφόρων τύπων (περιβαλλοντικές επιπτώσεις, σεισμικές δονήσεις), και έχει αποτελέσει αντικείμενο επεμβάσεων στο πέρασμα των αιώνων για αποκατάσταση αυτών των φθορών. Στο πλαίσιο μελέτης των ασύμβατων υλικών που χρησιμοποιήθηκαν στο παρελθόν για συντήρηση και προστασία του ναού, πραγματοποιήθηκαν σειρά μετρήσεων με υπέρυθρη θερμογραφία, μικροσκοπία οπτικών ινών, γεωραντάρ και υπερηχοσκόπηση. Επιλέχθηκαν χαρακτηριστικές περιοχές, όπως το Καθολικό των Ελλήνων, ο Τρούλος του Καθολικού, και το Κωδωνοστάσιο. Η ανάλυση των δεδομένων από τις μη-καταστρεπτικές τεχνικές αποκάλυψε ότι οι βόρειες και νότιες τοιχοποιίες του Καθολικού που είναι κατασκευασμένες από σκυρόδεμα, προκαλούν τοπική αύξηση της ακαμψίας της δομής, η οποία μεταβάλλει την συνολική κατανομή ακαμψίας του ναού και αντίστοιχα την σεισμική συμπεριφορά του συγκροτήματος του Πανίερου Ναού της Αναστάσεως.

Παρόμοιες ασύμβατες επεμβάσεις παρατηρήθηκαν και στον Τρούλο του Καθολικού και στο Κωδωνοστάσιο, όπου κονιάματα αποκατάστασης που χρησιμοποιήθηκαν σε προηγούμενες επεμβάσεις είχαν σαν αποτέλεσμα σημαντικές θερμομηχανικές διαφορές μεταξύ των υλικών αποκατάστασης και των αρχικών δομικών υλικών, όπως παρατηρείται από τις θερμοκρασιακές διαφορές που αποκαλύπτει η θερμογραφία υπερύθρου και την αναποτελεσματική χρήση κονιαμάτων αρμών και ενεμάτων, όπως αποκαλύπτει το γεωραντάρ. Τέτοιες ασύμβατες επεμβάσεις μπορούν να είναι επιβλαβείς για την συμπεριφορά των τοιχοποιιών κατά την διάρκεια σεισμικών δονήσεων, θέτοντας σε κίνδυνο όλο το ιστορικό κτήριο.

Introduction

The Church of the Holy Sepulchre (Church of the Resurrection) in the city of Jerusalem is one of the most important historical sites of Christianity and according to the tradition is the scene of Jesus Christ's death and resurrection. The Church dates back to 325AD, when Emperor Constantine I ordered the construction of a basilica incorporating the tomb of Christ and the hill of Golgotha [1, 2]. The Church of the Holy Sepulchre in Jerusalem, has inflicted various types of damages (environmental impact, earthquakes), and various interventions have been implemented throughout the centuries to remedy these damages. The building’s extreme value alongside with the complexity of its construction and lack of documentation require a complete study in order to identify the most critical areas and to design efficient con-

servation and maintenance interventions in the future, regarding both its construction materials and its structure.

The research team from the Laboratory of Materials Science and Engineering (LMSE, Scient. Responsible Prof. A. Moropoulou), School of Chemical Engineering of the National Technical University of Athens (NTUA), has employed infrared thermography (IRT), fiber optic microscopy (FOM), ground penetrating radar (GPR) and ultrasonic testing (UST) to study the incompatible materials used for conservation and structural maintenance [3]. The preliminary study was carried out after an invitation by the Patriarch of Jerusalem and All Palestine, Theophilos III. The diagnostic campaign was aided by the Technical Office of the Patriarchate (Head Manager Dr Theodosios Mitropoulos), with the main aim to evaluate the state of conservation of materials and structures of selected areas of Holy Selpulchre Complex, and to assess the compatibility of conservation materials and interventions used in different time periods.

Procedures and techniques

Since this was a preliminary survey, it did not aim to conduct extensive surveying throughout the whole building complex, rather it focused on characteristic areas, selected following a historical documentation of the construction phases of the building complex and representing the main construction materials, the construction technologies and the main types of past conservation and maintenance interventions. An in-situ investigation of the current state of the monument was carried out, which included the collection of data using visual inspection and non destructive testing.

The non-destructive techniques used at these areas were Infrared Thermography - IRT, (FLIR_B200_Western, FLIRSYSTEMS wavelength 7.5–13 μm, lens FOL18 and FOL10: processing of the acquired infrared images performed with FLIRQuickReport1.2 software); Fibre Optics Mcroscopy-FOM (i-scope – Moritex); ground penetrating radar - GPR MALÅ ProEx with antennas of 1.6GHz and 2.3GHz: data acquisition using Groundvision 2 software and data analysis with RadExplorer v.1.41 software); Ultrasonic Testing – UST (Pundit6, CNS Farnell).

Results and discussion

Katholikon of the Greeks

The Katholikon of the Greeks is located at the middle of the Temple of Resurrection and located east of the Holy Tomb. The northern and southern sides of the Katholikon are bounded by two walls, built around the 70's, which replaced the 1809's masonry walls. Through visual inspection it was observed that both these walls are constructed from concrete, their exterior covered by decorative stones, whereas only the northern wall is covered in the interior with decorative stones, the southern showing the bare concrete. These masonries are important for the seismic behavior of the Katholikon and subsequently of the whole building complex, as they are connected with the four main pillars at the corners of the Katholikon, which bear the weight of the Dome of the Katholikon.

GPR survey (Fig. 1) revealed that these walls are constructed with reinforced concrete. The reinforcement consists of three twin vertical reinforcing bars [A,B,C], corresponding to a reinforcing grid (2.50x2.50m) used to improve the bending strength of the wall, and two structural steel grid 10x10cm within both sides of the concrete wall. The north wall is covered by decoration stones. In the area indicated in Fig. 1, and as revealed by the GPR survey, the metal reinforcing grid 10x10cm is corroded due to increased moisture content. Similar observations were made in the south wall, although due to the fact that there were no moisture concentration areas, no corrosion of the metal grids was observed. Results indicate that the concrete walls alter the overall stiffness distribution within the Catholic of the Greeks hall and, subsequently, modify the seismic behavior of the Church of the Holy Sepulchre complex

In order to calculate the dynamic module of elasticity *E* and the compression strength of reinforced concrete, indirect Ultra Sonic (US) testing has occurred at the South Wall of the Catholic. The mean value of the indirect propagation velocity of ultrasonic waves $v_{us\text{-}indirect}$ was measured 1.879 m/s. Using the correlation coefficient of 2.5 between indirect and direct measurements of the velocity mentioned above, the mean value is adjusted and calculated as follows: $v_{us\text{-}direct}$ = 1.879 m/s x 2.5 = 4.697 m/s ≈ 4.70 m/s.

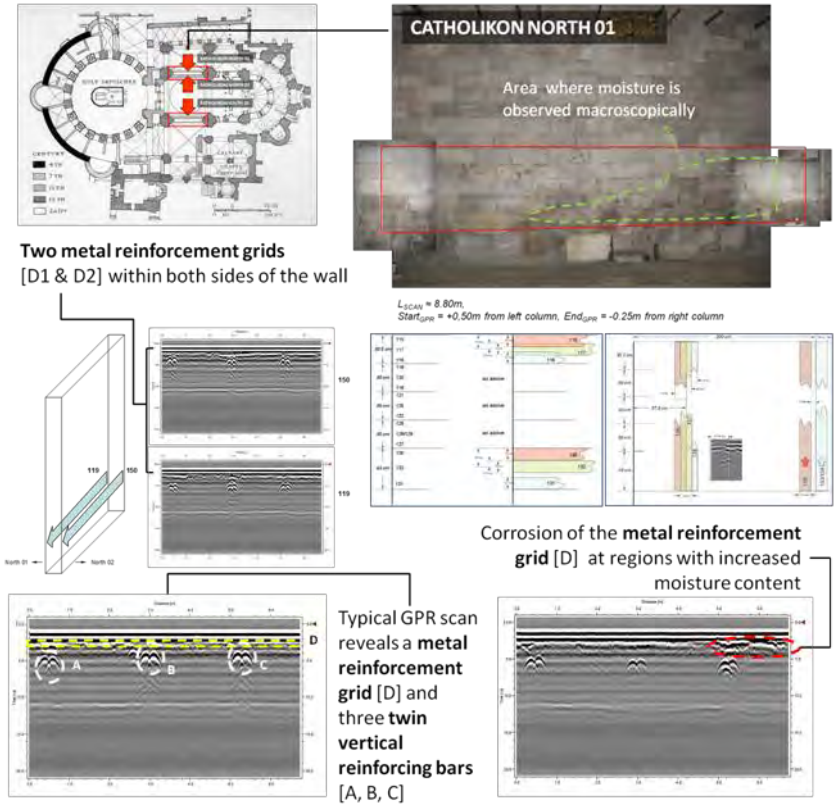


Figure 1. Typical GPR radargrams on the Katholikon walls

The value of the velocity is connected to the quality of the concrete according to the classification of the latter proposed by A. Neville 1995 and Taywood Eng. Ltd 1986. Thus, the quality of the concrete was found to be excellent. The mean compression strength of the reinforced concrete is calculated using suggested diagrams of international bibliography that correlate the direct pulse velocity of ultrasonic waves with the compression strength f_c. The estimation of the latter led to the following value: f_c=30 ±2MPa. The dynamic module of elasticity E was calculated based on the use of a relationship between the velocity of ultrasonic waves in an isotropic elastic medium and its dynamic module of elasticity E ($E=\rho*uv^2$, where ρ is the density of the material). The result of was 43.74 ±2 GPa

Dome of the Katholikon of the Greeks

The Dome of the Katholikon of the Greeks is located over the Katholikon 32.5m above floor level. Its internal diameter is 6.50m. The Dome is

based on a drum that has eight arched windows alternately with eight closed (blind) arches. A general assessment of the main types of masonry decay was made through detailed visual inspection of all sides of the Dome. The types recorded were: biological colonization, deposits of dust particles, delamination and exfoliation. Some characteristic microscopic images taken with fiber optics microscopy are given in Fig 2.

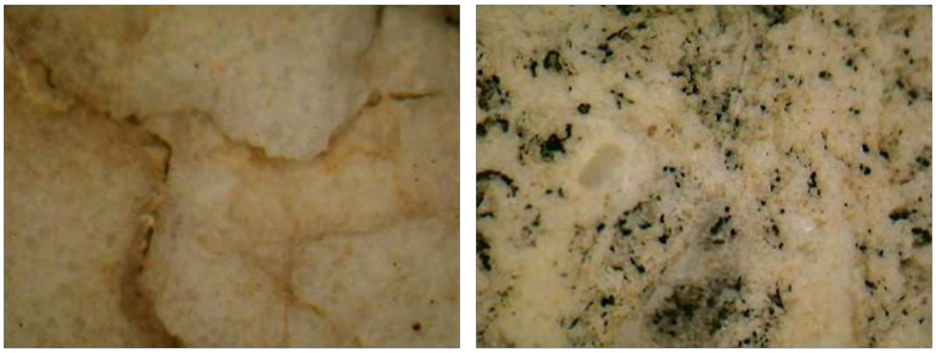


Figure 2. Micro-images (FOM - magnification x30) of stone cracks (left) and stone biodeterioration (right)

Infrared Thermography (IRT) was used to survey the drum's masonry, in order to assess the conservation state of materials, to evaluate the compatibility of the various conservation materials and techniques, and if possible to detect and map the materials used at different time period. Fig. 3 presents typical results with IRT, where it is revealed that the surface temperature of the stones that show forms of decay are higher than the ones that seem to maintain a better surface condition. However, it is also observed that the surface temperature of stone repair mortars is even higher than the ones of the stones. The temperature difference reaches 1ºC to 2ºC.

Fig. 4 shows the GPR radargram of a scan over the exterior south-west masonry of the Dome, overlaid with an interpretation of the interior and exterior structure of the examined masonry. In this particular area, two cracks T1 and T2 were observed externally, filled with grout material during prior conservation intervention [3]. Fig. 4 indicates that both cracks are penetrating the complete thickness of the masonry. It also shows the position of the internal filler layer, between the external and the internal layers of ashlars. The pulse even penetrates the complete thickness of the masonry and detects, from the outside, the circular dome support columns.

Μεθοδολογίες, προδιαγραφές και καινοτόμες εφαρμογές μη καταστρεπτικών και αναλυτικών τεχνικών αποτίμησης υλικών και επεμβάσεων συντήρησης

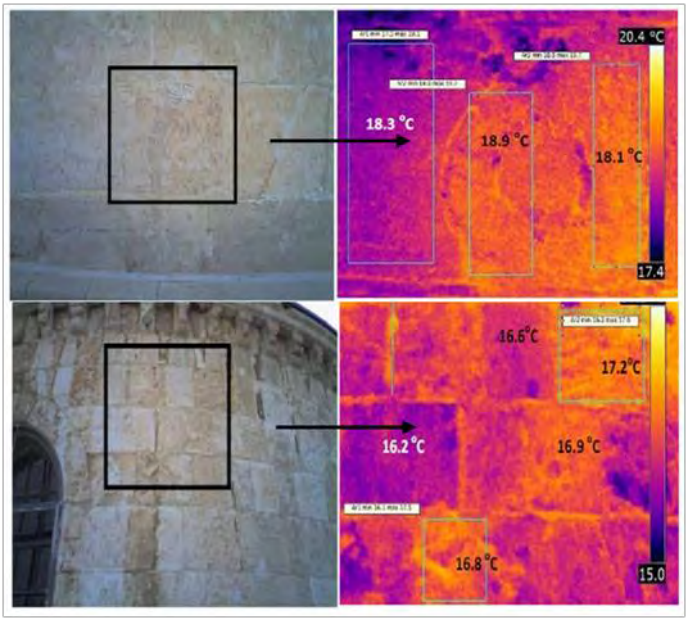


Figure 3. Infrared thermographs of the exterior surfaces of the Dome of the Katholikon, in comparison with visual observations

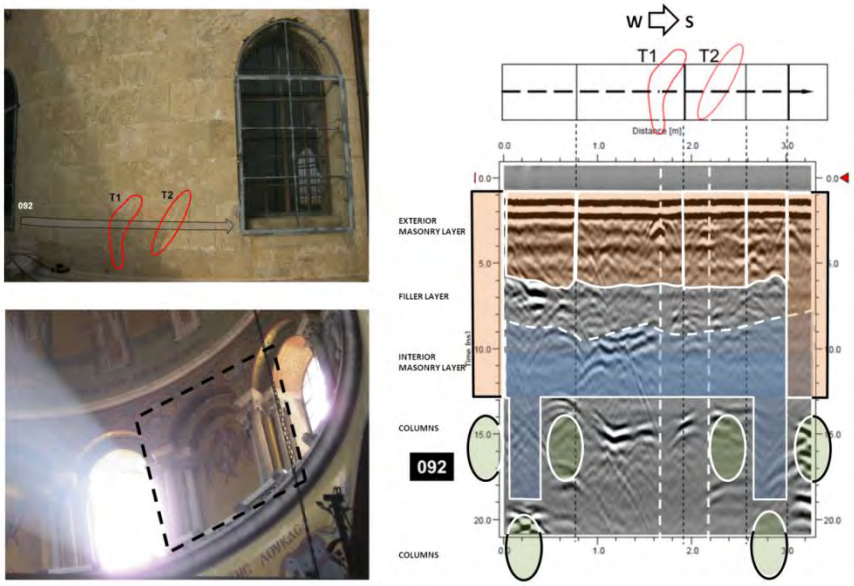


Figure 4. Ground penetrating radargram of the examined south-west masonry of the Dome of the Katholikon.

Bell Tower of the Church of the Holy Sepulchre

The Bell Tower of the Holy Sepulchre Complex is located at the west side of the entrance court. It is a 3-level structure with a height of 27.40m; the north side of its two lower levels abut to the Temple of Resurrection. Visual inspection revealed intense bursting and exfoliation of the stones surface as a result of inner factors of the stones structure (stylolites) and wind action.

Figure 5A is a photograph of the west façade of the Bell Tower, where the positions (Fig.5B, Fig.5C) of the two thermographs (Fig.5B', 5C') are indicated respectively. The façade masonry has a vertical structural crack running along the middle axis (Fig. 5D) which was the result of an earthquake on 1545. In addition, the Bell Tower has been the subject of repointing, grouting, crack filling (Fig. 5E) and stone replacement interventions between 2001-03 [4]. As shown in the thermographs (Fig. 5B', 5C'), the structural crack is detected (B1) and presents higher surface temperature compared to the rest of the masonry (joint mortars, stones), underlying its different thermal behavior. Stones and joint mortars are also differentiated due to their emission characteristics; stones present lower temperatures. The temperature difference of stone and mortars is attributed to their hydrothermal incompatibility. It is also noticed that ashlars laid face-bedded (an orientation highly susceptible to decay from environmental factors) demonstrate different surface emission characteristics compared to ashlars laid in other orientations (in-bed, edge-bedded, diagonal bedding) and correspond in the thermographs to those ashlars with higher temperatures (B2-B5, C1, C2). These significant temperature differences imply a possible differential behavior during thermal contractions – expansion cycles that may result to a considerable loss of the masonry's compressive strength.

Figure 6 shows the results of the GPR survey at the west façade (Figure 6A-D). The GPR survey at this area (Figure 6A) focused on the lower end of the vertical crack (Figure 6B), around the window at the second level (Figure 6C), and analysis of the radargram (Figure 6D) indicates that there exists a risk of expansion. Specifically, the lower end of the West Façade's vertical structural crack coincides with the joint between the first and second ashlars (A1 and A2 respectively), i.e.at 0.7m from the start of the scan. There is an indication of a target T1 at 0.7m / 5.6ns, i.e. at the inner corner of the first ashlar, exactly at the internal junction with the second ashlar, and at a depth of approximately 30cm (with calculated speed v =10,48cm/ns). It most possibly corresponds to a cavity or partial fill with the type of mortar (mixture of soil and slaked lime) used between the core and the ashlars [4],

present exactly at the double-leaf/one-ashlar-thick "interface" at the masonry (presence of an internal staircase within this masonry). This constitutes an inherent structural "incontinuity" which is further intensified, regarding its significance, by the aforementioned hydrothermal incompatibility between the masonry stone and the restoration mortar that was used to fill the crack. The repointing of the masonry, therefore, was not successful or in-depth, and addressed the problem of cracking only on surface, without filling the cracks adequately.

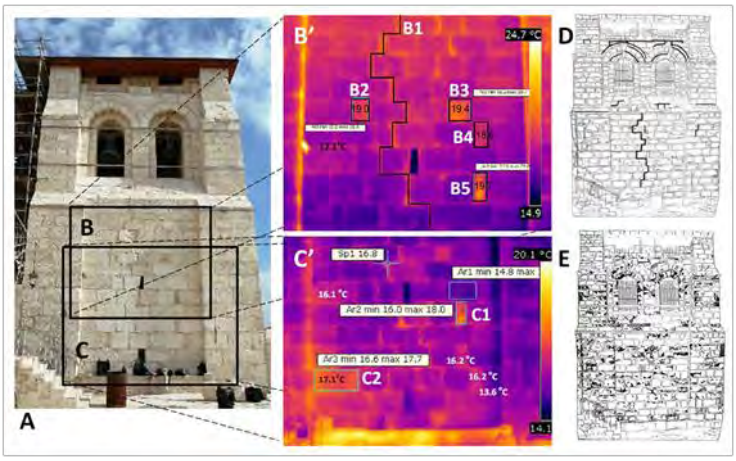


Figure 5. IRT survey at the west façade of the Bell Tower.

Finally, indirect propagation velocity was measured so as to evaluate the inner structure of the used stones of the masonry. The results of the implementation of ultrasonic testing showed that the indirect propagation velocity of new stone used at the staircase (1.961 m/s) is similar to the one of a stone coming from a contemporary quarry of Bethlehem (1.923 m/s), found on site, used for restoration works. This similarity indicates a similar inner structure of the stone in quest and may lead to the conclusion that both came from the same quarry but in different time periods.

Conclusions

Non-destructive assessment of incompatible interventions at the Church of the Holy Sepulchre, Jerusalem Such revealed that such interventions may be detrimental to the masonries' behavior during earthquakes, placing at risk the whole historic building.

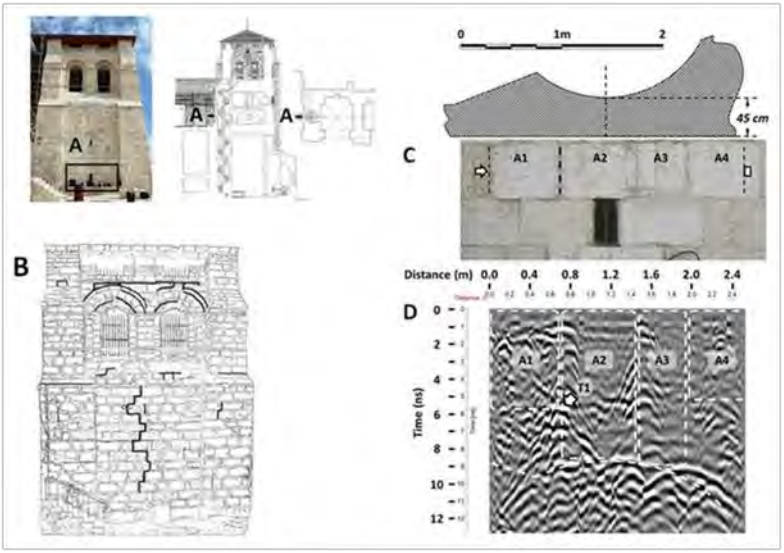


Figure 6. GPR survey at the west façade of the Bell Tower.

Acknowledgements

The authors would like to thank His All Holiness, Beatitude Patriarch of Jerusalem and All Palestine, Theophilos III and the Head Manager of the Technical Office of the Patriarchate of Jerusalem Dr Theodosios Mitropoulos for the kind invitation, the full support and the valuable information they gave to the Research Team of National Technical University of Athens.

References

[1] Lavvas G. The Holy Church of the Resurrection in Jerusalem. The Academy of Athens; 2009

[2] Mitropoulos T. The Church of Holy Sepulchre – The Work of Kalfas Komnenos. European Centre of Thessaloniki: Byzantine and Post-Byzantine Monuments; 2009 (in greek)

[3] Moropoulou, A., Labropoulos, K.C., Delegou, E.T., Karoglou, M., & Bakolas, A. (2013). NDTs as a tool for the protection of Built Cultural Heritage. Construction and Building Materials, 48, 1222-1239.

[4] Conservation Department – Israel Antiquities Authority and The Technical Office of the Greek Orthodox Patriarchate of Jerusalem, Conservation of the Bell Tower of the Holy Sepulchre Jerusalem Final Report, June 2001 – April 2004 Volumes I and II.

Μεθοδολογίες, προδιαγραφές και καινοτόμες εφαρμογές μη καταστρεπτικών και αναλυτικών τεχνικών αποτίμησης υλικών και επεμβάσεων συντήρησης

Προστασία και Διατήρηση της Πολιτιστικής Κληρονομιάς βάσει έρευνας, μη καταστρεπτικών δοκιμών στην εκκλησία της Παναγιάς της Φορβιώτισσας στην Ασίνου (Κύπρος) (Cultural Heritage Protection and Preservation based on a diagnostic Non Destructive Testing survey at the Asinou church in Cyprus)

Ε. Αλεξάκης[1], Μ. Ιωαννίδης[2], Α. Μοροπούλου[1]

[1]Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Ελλάδα
[2]Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου, Κύπρος

Abstract

All projects regarding reuse and rehabilitation of cultural heritage assets require a thorough investigation of their preservation state. Current condition diagnosis is achieved through a standard diagnostic methodology performing overall documentation, visual observations, materials characterization, in situ decay and damage mapping with the aid of NDT, in-lab study of the decay products and mechanisms, assessment of the structure's pathology and impact of various environmental factors, in order to decide upon the most appropriate conservation policy to be followed. Non-destructive techniques constitute a significant tool of the integrated diagnosis, revealing various decay phenomena that develop at the interface of materials with the environment or at the interface of materials with other materials, as a function of intrinsic and extrinsic factors.

In this work, the results coming from a diagnostic survey regarding materials decay on Architectural Surfaces (Frescoes) and Historic Structures (Masonries, Arches etc.) and an assessment for incompatible materials and conservation interventions is being presented for the Asinou Church; the first case study of ITN-DCH. The Non Destructive Techniques employed to make the measurements were the Infra-Red Thermography (IRT) and the Fiber Optic Microscope (FOM). Both techniques are widely used to study the murals' surface for the detection/identification of initial wear or decay and potential incompatibility concerning intervention materials. The measurements and the processing of them revealed certain types of material decay, incompatible interventions as well as factors and mechanisms that play key role to the surfaces decay.

Μεθοδολογίες, προδιαγραφές και καινοτόμες εφαρμογές μη καταστρεπτικών και αναλυτικών τεχνικών αποτίμησης υλικών και επεμβάσεων συντήρησης

Περίληψη

Τα έργα που αφορούν την επαναχρησιμοποίηση και την αποκατάσταση της πολιτιστικής κληρονομιάς απαιτούν επισταμένη έρευνα της κατάστασης διατήρησης τους. Η διάγνωση της κατάστασης επιτυγχάνεται μέσω μιας τυποποιημένης μεθοδολογίας διάγνωσης επιτελώντας ολοκληρωμένη τεκμηρίωση μέσω: οπτικών παρατηρήσεων, χαρακτηρισμό υλικών, επί τόπου αποτίμησης και χαρτογράφησης της φθοράς με τεχνικές μη καταστρεπτικού ελέγχου (ΜΚΕ), αναλυτικής επεξεργασίας και μελέτης των προϊόντων και των μηχανισμών φθοράς, εκτίμησης της παθολογίας της δομής και των επιπτώσεων των διαφόρων περιβαλλοντικών παραγόντων, προκειμένου να καθοριστεί η βέλτιστη πολιτική διατήρησης. Οι μη καταστρεπτικές τεχνικές αποτελούν ένα σημαντικό εργαλείο ολοκληρωμένης διάγνωσης, αποκαλύπτοντας φαινόμενα αποσύνθεσης που αναπτύσσονται στη διεπαφή των υλικών με το περιβάλλον ή στη διεπαφή των υλικών με άλλα υλικά, ως συνάρτηση εγγενών και εξωγενών παραγόντων. Στη παρούσα μελέτη παρουσιάζονται τα αποτελέσματα διαγνωστικής έρευνας σχετικά με τη φθορά των υλικών σε αρχιτεκτονικές επιφάνειες (τοιχογραφίες) και ιστορικές κατασκευές (Τοιχοποιίες, Καμάρες, κλπ) και συγχρόνως επιτελείται μια αποτίμηση για ασύμβατα υλικά προερχόμενα από επεμβάσεις συντήρησης που έλαβαν χώρα στην εκκλησία της Παναγιάς της Ασίνου στην Κύπρο· πρώτη μελέτη περίπτωσης του Ευρωπαϊκού Προγράμματος Marie Sklodowska Curie Initial Training Network for Digital Cultural Heritage. Οι μη καταστρεπτικές τεχνικές για τις μετρήσεις ήταν οι: 1) Θερμογραφία Υπερθύρου (Infra-Red Thermography) και 2) το Μικροσκόπιο Οπτικών Ινών (FOM). Και οι δύο τεχνικές χρησιμοποιούνται ευρέως για τη μελέτη των επιφανειών τοιχογραφιών όπως και για την ανίχνευση-ταυτοποίηση της αρχικής φθοράς όπως και το ενδεχόμενο ασυμβατότητας των υλικών επεμβάσεων. Οι μετρήσεις και η επεξεργασία τους αποκάλυψε ορισμένα είδη φθοράς, ασύμβατες επεμβάσεις, καθώς και μηχανισμών-παραγόντων που παίζουν ρόλο-κλειδί στη φθορά των επιφανειών.

Μεθοδολογίες, προδιαγραφές και καινοτόμες εφαρμογές μη καταστρεπτικών και αναλυτικών τεχνικών αποτίμησης υλικών και επεμβάσεων συντήρησης

Introduction – Asinou Interventions Chronology

The church of Asinou is built on the east bank of a small stream, three kilometers south of the village Nikitari located in the northern foothills of the Troodos Mountains (Figure 1). Built around 1100, it is dedicated to Virgin Mary and it is considered as one of the most important Byzantine churches in Cyprus. In 1985, the Asinou church was included in the list of the UNESCO World Heritage Sites and until now most of its frescoes and murals, created in different chronologic periods, are preserved [1] (2).

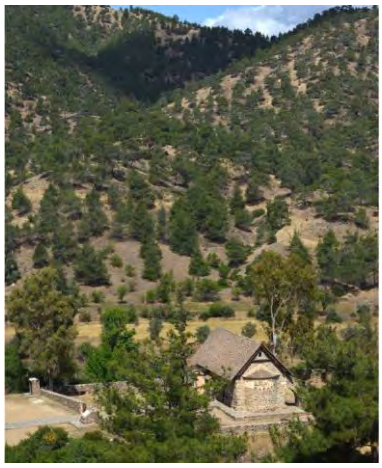


Figure 1. Aspect of Asinou Church from the Cross hill (2)

Asinou first frescoes, cloaked the whole interior of the church and at least two overdoors on the exterior dated by an inscription to 1105/6. During the 12th century, narthex was added to the original church with some mural painting to be added until the 1332/33 when a comprehensive program draped the entire narthex in a coat of color as all-enveloping as that of the 1105/6 program in the naos. The varied iconographic sources observed in Asinous's programs suggest a steady interchange not only with Byzantine but also with broader Mediterranean traditions.

Take as example the "maniera cypria" style that displaced around the 1340s by a more exuberant manner that, while still strongly affected by the Mediterranean interchange of the Crusader era, was responsive to Palaiologan developments, as well. A restoration work cycle started in the 1950s resulted in reinforcing the side walls, grouting of the cavities in the rubble fill, ringing the 12th century portion of the buildingwith a reinforced collar to withstand the thrust of the roof beams, which were also repaired (2). The

phases of construction, wall paintings and restoration have been illustrated by Andreas Nicolaides inFigure 2. Ground Plan of the Church Panagia Phorviotissa where the colours correspond to the various eras-phases of the church construction, wall paintings and restorations Figure 2.

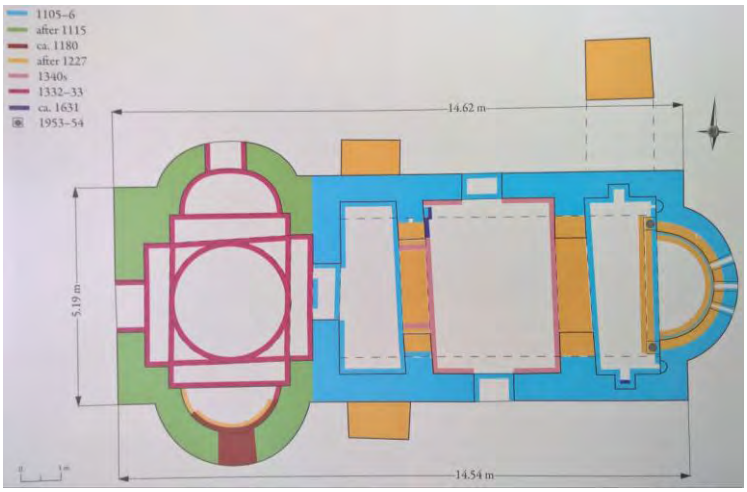


Figure 2. Ground Plan of the Church Panagia Phorviotissa where the colours correspond to the various eras-phases of the church construction, wall paintings and restorations (2)

Experimental Procedure - Materials

The representatives (fellows and partners) of the Initial Training Network for Digital Cultural Heritage (ITN-DCH) project visited Asinou church in an effort to digitally document the monument; Geometric (Three Dimensional Representation) and Material Documentation (Materials Decay), Monument's History (storytelling) etc. Asinou Church comprises the first case study on which ITN-DCH researchers will apply their techniques and methods in order to serve the general purpose of the project; Digitize Cultural Heritage.

The Laboratory of Material Sciences and Engineering (LMSE) from the School of Chemical Engineering of the National Technical University of Athens (NTUA) conducted an on-site inspection and non-destructive characterization of monument materials and of their conservation state aiming for 1) A diagnostic study-survey regarding materials decay on Architectural Surfaces (Frescoes) and Historic Structures (Masonries, Arches etc.) and 2) Assessing and evaluating incompatible materials and conservation interventions. The Non Destructive Techniques employed to make the measure-

ments were the Infra-Red Thermography (IRT) and the Fiber Optic Microscope (FOM). Both techniques are widely used to study the murals' surface for the detection/identification of initial wear or decay and potential incompatibility concerning intervention materials.

Infrared thermography (IRT) is an established NDT with a wide array of applications ranging from enhancing night vision to detecting defects on architectural surfaces. In the field of built cultural heritage protection, IRT is increasingly used for the investigation of structures, their materials and their preservation state. IRT investigations are carried out in either of two approaches: passive or active [3]. Passive approach (the one followed in the present study) is usually employed when surveying large areas, e.g. masonries, whereas active approach is employed when surveying small areas of interest (e.g. investigation of specimens in lab, or small surface areas) where the controlled thermal excitation is feasible. The active thermography approach (not applied in the present study) is adopted when the features of interest are in thermal equilibrium with the surroundings and therefore difficult to differentiate them from their background. Particular applications of IRT on built cultural heritage concern: 1) Materials and Decay mapping [4], 2) Evaluation of restoration and consolidation materials, and interventions on the monument scale [3] and 3) Study of moisture transfer phenomena [5].

Portable imaging systems, like FOM, provide images of high quality and adequate magnifications of the examined surfaces, which aid in the "interpretation" of data from other non-destructive (e.g. Infra-Red Thermography) or analytical techniques. These imaging systems are used to evaluate the performance and compatibility of rehabilitation interventions (e.g. consolidation, cleaning) relative to the historic materials and structures, or to study the preservation state of mosaics and other non-loading architectural elements. More particular, portable digital microscopy is employed to identify differences in the texture and composition of surfaces, for materials classification (e.g. classifications of mortars), for the study of the decay phenomena (alveolation, hard carbonate crust etc.) [3], to investigate materials' surface morphology to identify defects in historic building materials [4], for materials characterization [5], to classify decay typologies for porous stones [6], to evaluate cleaning interventions [7], consolidation interventions [8] [9] and incompatible interventions, and to study the preservation state of mosaics [10] [11]. Furthermore, images from digital microscope can be further analysed with Digital Image Processing and morphological fusion algorithms to detect and quantify decay patterns on building materials [12].

During Asinou visit, the particular surfaces on which IRT and FOM measurements were conducted were 1) Churches' arches, 2) the fresco outside the church (Figure 3) next to the north entrance 3) the outer surface of the east masonry of the church (Figure 4) and 4) the frescoes inside the church. In the present work.

Results and Discussion - Materials

Regarding the fresco on the north outer masonry illustrated in Figure 3, the present study indicates the incompatible integration of outside plasters; most probably with the use of plasticizers that trigger the exfoliation of the original plaster. Possible mixture of the cement (concrete) in the repair mortage is accelerating the decay of the porous stone. Based on the thermographic inspection of the fresco (Figure 3c), there are evident diversified temperatures on the fresco area (different colours represents different temperatures according to the scale on the right in Figure 3d) that could be attributed to the conservation varnish which does not allow the fresco surface to respire causing irreversible damage on it. The exfoliation-flaking mechanism of the outer layer of the fresco has as a consequence the detachment of the pigments (scheduled under the secondary crystallite calcite of the outer surface) revealing the substrate without painting.

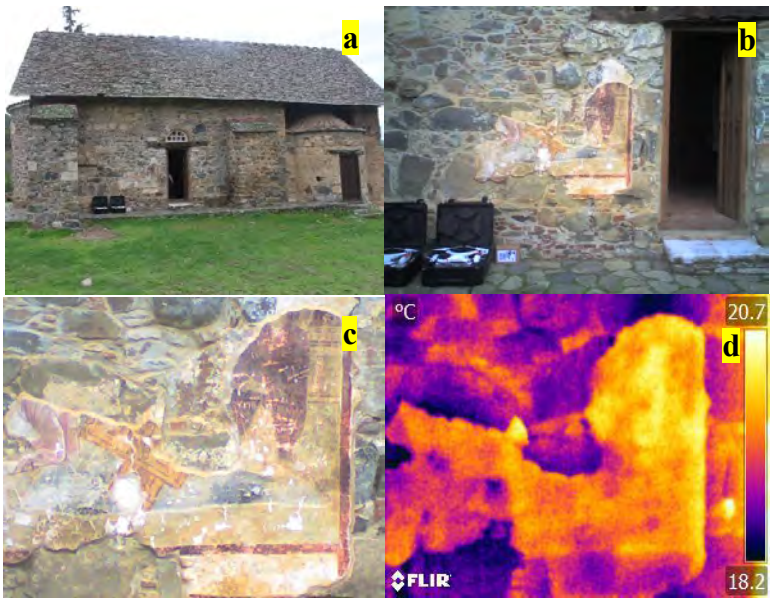


Figure 3 a) North aspect of Asinou Church b) Fresco next to the door of the north side c) Regular photo of the fresco d) Fresco Thermograph

In Figure 4, the Thermograph from the east outer masonry (arch) reveals the different temperatures among the various materials have been used in maintenance interventions and the historic materials of the monument. Like before, this measurement suggests that the intervention took place with incompatible materials which comes in agreement with the general conclusions made about the monument in Dumbarton Oaks Studies book (2).

Figure 4. Masonry of East Arch – Different temperatures in the Thermograph suggest Incompatible Intervention Materials

In Figure 5, a magnified picture (x50) of the yellow mortar (c) next to the central church entrance (a, b) has been measured by FOM. A grey/green

crust is observed in certain areas(c), suggesting biochemical activities (biogenic decay). For validation, sample has to be distracted and measured with analytical techniques (in-lab).

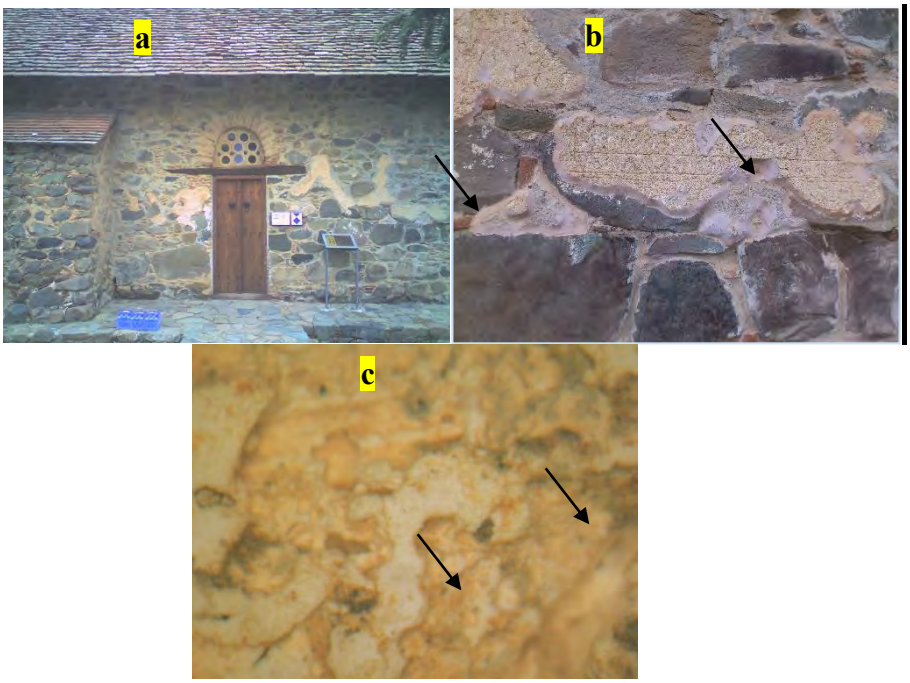


Figure 5. Masonry mortar next to the front door on the South (a, b) – Grey-green crust observed when mortar is magnified (x50) with FOM (c)

To summarize, Non Destructive Techniques is an effective tool for the evaluation of past intervention took place over a monument. Infra-Red Thermographs revealed the differences in the materials temperatures which subsequently means utilization of materials with different properties suggesting incompatible interventions that have to be further investigated before the interventions themselves exacerbate the decay process. Porous, thermal coefficients and other properties related to both original and intervention materials have to be determined in order to understand the various transport phenomena mechanisms (mass and heat flux); how latter one interact with the original materials and the impact-effect they have on them. Portable optical microscope (FOM) revealed decay that it not visible with the eye giving the possibility to further investigate and validate the particular type of decay with analytical techniques. FOM providing the possibility, combined with Digital Image Processing, for decay mapping and have a more holistic overview of the decay proportions (over the healthy surface)

and classify the different types of decay over the whole monument. With concern the interior of the church, active IRT could provide with more information about the frescoes and assess their preservation state more efficiently.

References

[1] D. M. Christodoulos Hadjichristodoulou, Byzantine Monuments Guides of Cyprus: The Church of Panagia Phorbiotissa of Asinou, Lefkosia: Cultural Foundation - Bank of Cyprus, Metropolis of Morphou, 2009.

[2] Annemarie Weyl Carr, Andréas Nicolaïdès, Gilles Grivaud (Contributor), Ioanna Kakoulli (Contributor), Sophia Kalopissi-Verti (Contributor) and Athanasios Papageorgiou (Contributor), Asinou across Time: Studies in the Architecture and Murals of the Panagia Phorbiotissa, Cyprus, Washington D.C.: Dumbarton Oaks Research Library and Collection, 2013.

[3] Avdelidis N.P. and Moropoulou A., "Applications of infrared thermography for the investigation of historic structures," *Cultural Heritage,* vol. 5(1), p. 119–127, 2004.

[4] Moropoulou A., Bakolas A., Spyrakos C., Mouzakis H., Karoglou M., Labropoulos K.C., Delegou E.T., Diamandidou D. and Katsiotis N., "NDT investigation of Holy Sepulchre Complex structures," in *14th International Conference Structural Faults & Repair*, Edinburgh, UK, 2012.

[5] Moropoulou A., " Scientific Project: Planning and Programming of Conservation Materials and Interventions on the Facades of the Historic Buildings of National Bank of Greece.," NTUA, Athens, 2002.

[6] Moropoulou A. and et al., "Techniques and methodology for the preservation and environmental management of historic complexes - The case of the Medieval City of Rhodes," in *In. A. Moropoulou, F. Zezza, E. Kollias & I. Papachristodoulou (Ed.), 4th International Symposium on the Conservation of the Monuments in the Mediterranean Basin*, 1997.

[7] Moropoulou A., "Quality control of building materials of National Technical University of Athens Zografou Campus Athens 2004 Olympic Games Building," Scientific responsible: A. Moropoulou, National Technical University of Athens, Athens, 2004.

[8] Moropoulou A., Tsiourva Th., Theoulakis P., Christaras B. and Koui M., "Non- destructive evaluation of pilot scale treatments for porous

stone consolidation in the Medieval City of Rhodes," *Journal of the European Study Group on Physical, Chemical, Biological and Mathematical Techniques Applied to Archaeology,* vol. 56, pp. 259-278, 1998.

[9] Moropoulou A., Koui M., Tsiourva Th., Kourteli Ch. and Papasotiriou D., "Macro- and micro non destructive tests for environmental impact assessment on architectural surfaces," in *P.B. Vandiver, J.R. Druzik, J.F. Merkel, J. Stewart (Ed.), Materials Issues in Art and Archaeology*, Pittsburgh: Materials Research Society, 1997.

[10] Moropoulou A., Delegou E.T., Avdelidis N.P. and Koui M., "Assessment of cleaning conservation interventions on architectural surfaces using an intergrated methodology.," in *P. Vandiver, M. Goodway, J.R. Druzik, J.L. Mass (Ed.), Materials Issues in Art and Archaeology VI, Vol. 712 (pp.69-76).* , Pittsburgh: Materials Research Society, 2002.

[11] Moropoulou A., Haralampopoulos G., Tsiourva Th., Theoulakis P. and Koui M., "Long term performance evaluation of consolidation treatments in situ," in *In: G. Biscontin, G. Driussi (Ed.), Scienza e Beni Culturali XVI (pp. 239-255)*, Arcadia Ricerche S, 2000.

[12] Moropoulou A., Theoulakis P., Tsiourva Th. and Haralampopoulos G., "Compatibility evaluation of consolidation treatments in monuments scale," *PACT, J. European Study Group on Physical, Chemical, Biological and Mathematical Techniques Applied to Archaeology,* vol. 59, pp. 209-30, 2000.

[13] Moropoulou A., Avdelidis N.P., Delegou E.T., Gill C.H. and Smith J., "Study of deterioration mechanisms of vitreous tesserae mosaics," in *G. Biscontin, G. Driussi (Ed.), Scienza e Beni Culturali XVIII (pp. 843-851)*, Arcadia Ricerche S.r.l., 2002.

[14] Moropoulou A., Karoglou M., Labropoulos K.C., Delegou E.T., Katsiotis N.K. and B. A., "Application of non-destructive techniques to assess the state of Hagia Sophia's mosaics," in *T. Matikas (Ed.), Proc. SPIE 8346, Smart Sens*, 2012.

[15] Kapsalas P., Maravelaki-Kalaitzaki P., Zervakis M., Delegou E.T. and Moropoulou A., "A morphological fusion algorithm for optical detection and quantification of decay patterns on stone surfaces.," *Construction and Building Materials,* vol. 22(3), pp. 228-238, 2008.