

ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΑΕΙΦΟΡΙΑΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ - ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΜΕ ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΕΠΤΙΚΟ ΕΛΕΓΧΟ

Αντωνία Μοροπούλου

Καθηγήτρια, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Χημικών Μηχανικών

Μαρία Καρόγλου

Δρ. Χημικός Μηχανικός, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Χημικών Μηχανικών

Κυριάκος Χ. Λαμπρόπουλος

Δρ. Χημικός Μηχανικός, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Χημικών Μηχανικών

Νικόλαος Π. Αβδελίδης

Δρ. Μηχανικός Υλικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Χημικών Μηχανικών

Ελένη Αγγελακοπούλου

Δρ. Χημικός Μηχανικός, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Χημικών Μηχανικών

Αικατερίνη Θ. Δελέγκου

Υπ. Δρ. Χημικός, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Χημικών Μηχανικών

Αστέριος Μπακόλας

Δρ. Βιομηχανικής Χημείας, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Χημικών Μηχανικών

Λέξεις κλειδιά: Αειφορία, αποτίμηση, μη καταστρεπτικός έλεγχος, δομικά υλικά

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Ο μη καταστρεπτικός έλεγχος των δομικών υλικών συμβάλλει στην αύξηση της αειφορίας των κατασκευών/ υποδομών καθώς αποτιμάται η δράση των περιβαλλοντικών φορτίων στις κατασκευές. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται μερικές ενδεικτικές εφαρμογές ορισμένων μη καταστρεπτικών τεχνικών, όπως είναι η μικροσκοπία οπτικών ινών, η θερμογραφία υπερύθρου, η ψηφιακή επεξεργασία εικόνας, η υπερηχοσκοπήση, το γεωραντάρ και η κρουσιμετρία. Η δυνατότητα που παρέχεται για επί τόπου εξέταση των δομικών υλικών, στην κλίμακα των κτιρίων, καθιστά τη χρήση τους ιδιαίτερα αποτελεσματική και επομένως αποτελούν ένα καινοτόμο εργαλείο για την παρακολούθηση και τη διατήρηση των κατασκευών/ υποδομών, καθώς και για τον έλεγχο της ποιότητας τους.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το δομημένο περιβάλλον αποτελεί ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα των επιπτώσεων της ανθρώπινης δραστηριότητας στη διαχείριση των πόρων. Για την κατασκευή και τη λειτουργία τους καταναλώνονται ενέργεια και υλικά. Επιπλέον, το δομημένο περιβάλλον επιδρά στις συνθήκες διαβίωσης, την ποιότητα ζωής και την υγεία των πολιτών. Για το λόγο αυτό είναι σημαντική η αναζήτηση στην κατεύθυνση της αειφόρου ανάπτυξης, κατάλληλου σχεδιασμού, για τη διασφάλιση της αειφορίας, της υγείας και της οικονομικής ανθεκτικότητας των κατασκευών, που θα πρέπει να συνδυάζεται με χρήση καινοτόμων τεχνολογιών στη μελέτη της ανθεκτικότητας και της αποδοτικότητας των κτιρίων και των υποδομών.

Ένα από τα σύγχρονα τεχνολογικά εργαλεία που συμβάλλουν στην αειφορία των κατασκευών είναι και ο μη καταστρεπτικός έλεγχος (Nondestructive testing). Με τη χρήση του μη καταστρεπτικού ελέγχου είναι δυνατή η αποτίμηση της έκτασης των φθορών και των ελαττωμάτων μιας κατασκευής, σε πραγματική κλίμακα, με μικρό κόστος. Πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις στον εξοπλισμό αλλά και βελτιώσεις στα σχετικά λογισμικά έχουν αυξήσει την ευαισθησία, ακρίβεια και αξιοπιστία των αποτελεσμάτων των μη καταστρεπτικών τεχνικών και την γενικότερη αποδοχή τους από τη βιομηχανία.

Παρόλα αυτά, η χρήση μη καταστρεπτικών ελέγχων αποτελεί ακόμα ένα «έμπειρο» πεδίο γνώσης, που απαιτεί τη γνώση, την εμπειρία και την κρίση του μελετητή. Στη διεθνή βιβλιογραφία υπάρχουν μεγάλος αριθμός εφαρμογών μη καταστρεπτικών τεχνικών σε γέφυρες, σε αεροδρόμια, σε κτίρια, κ.α. Ειδικότερα στις κατασκευές από σκυρόδεμα η χρήση μη καταστρεπτικών ελέγχων συμβάλλει στην εξοικονόμηση χρημάτων και χρόνου, παρέχοντας πληροφορίες οι οποίες δε μπορούν να αποκτηθούν με απλή οπτική παρατήρηση ή με (καταστρεπτική) δειγματοληψία. Τα δεδομένα που συλλέγονται αποτελούν μία βάση για μελλοντικές μελέτες και μία χρήσιμη πηγή για την ανάπτυξη προγραμμάτων συνεχούς παρακολούθησης και διατήρησης των δομών αυτών.

2. ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΕΠΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ

Οι μη καταστρεπτικές τεχνικές παρουσιάζουν αξιόλογες δυνατότητες ανίχνευσης διαφορών τύπων ασυνεχειών στα υλικά, και μπορούν να αποκαλύψουν σημαντικές πληροφορίες σχετικά με το σχήμα, τη θέση και τον προσανατολισμό τους. Η γνώση τέτοιων δεδομένων, μπορούν να αποβούν καταλυτικές στην υποστήριξη στην λήψη αποφάσεων σχετικές με την συνολική αποδοτικότητα των δομών. Η λήψη των αποφάσεων γίνεται βάσει:

- προτύπων, ειδικότερα αυτών που περιέχουν κριτήρια για την αποδοχή ή μη των ελαττωμάτων. Τα συχνότερα που

χρησιμοποιούνται είναι αυτά των API, ASME, ASTM, EN και AWS.

- τη χρήση αναλυτικών τεχνικών στο εργαστήριο, τόσο όσον αφορά στις φυσικοχημικές των υλικών όσο και τις μηχανικές ιδιότητες των υλικών.

Οι μη καταστρεπτικές τεχνικές σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους ελέγχου των υλικών και των κατασκευών παρουσιάζουν μια σειρά από πλεονεκτήματα, όπως:

- δυνατότητα εξέτασης επί τόπου
- διατήρηση της ακεραιότητας της εξεταζόμενης δομής
- γρήγορη αποκάλυψη των αποτελεσμάτων χάρη στο υψηλό τεχνολογικό επίπεδο των οργάνων που χρησιμοποιούνται
- παροχή τόσο ποιοτικών όσο και ποσοτικών αποτελεσμάτων
- εύκολη παρουσίαση γραφημάτων με τη χρήση ειδικών λογισμικών

Βέβαια υπάρχουν και επικρίσεις σχετικά με την εφαρμογή τους. Τα περισσότερα προβλήματα προκύπτουν για εφαρμογές με πολυπλοκότητα στη δομή τους, με τη χρήση διαφόρων υλικών, καθώς επίσης και λόγω του ότι τις περισσότερες φορές απαιτείται ειδικευμένη γνώση από το προσωπικό που τις εφαρμόζει, προβλήματα που επιδεινώνονται από την έλλειψη σχετικών προτύπων για την εφαρμογή τους (ή στην περίπτωση που υπάρχουν, αυτά αφορούν συχνά σε συγκεκριμένες μεθόδους και σε συγκεκριμένα υλικά /συνθήκες, καθιστώντας την εφαρμογή και την ερμηνεία των αποτελεσμάτων τους δύσκολη) (McCann D. 2001).

Για το λόγο αυτό, σε εφαρμογές υψηλού ενδιαφέροντος όπως αυτές της αποτίμησης της φθοράς και της παθολογίας ιστορικών κτιρίων, είναι αποτελεσματικότερο τα αποτελέσματα των μη καταστρεπτικών τεχνικών να συνεκτιμούνται με τα αποτελέσματα αναλυτικών μεθόδων για περισσότερο ασφαλή συμπεράσματα και εκτιμήσεις.

3. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

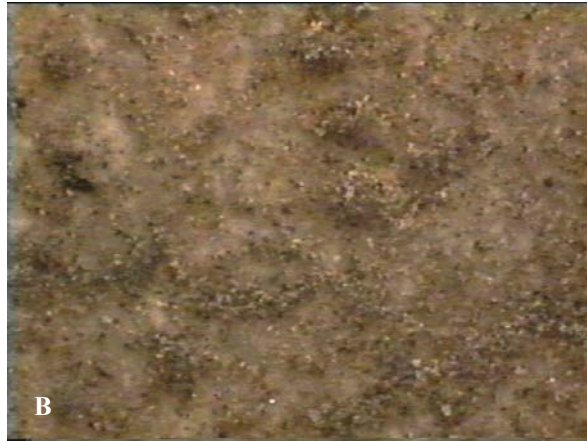
Τα δομικά υλικά, σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής τους, αποτελούν μια κρίσιμη παράμετρο για την υλοποίηση ενός αειφόρου σχεδίου ανάπτυξης του δομημένου περιβάλλοντος, συνεπώς η γνώση της «περιβαλλοντικής» ποιότητάς τους αποτελεί τη βάση ανάπτυξής του. Από την άλλη, η εκτίμηση των επιπτώσεων του περιβάλλοντος στις κατασκευές αποτελεί χρήσιμο εργαλείο για τη συντήρηση των υπαρχόντων κατασκευών και την αύξηση του χρόνου ζωής τους, αλλά και για τη διαχείριση και έλεγχο των κρίσιμων περιβαλλοντικών φορτίων. Ο μη καταστρεπτικός έλεγχος των υλικών και των κατασκευών περιλαμβάνει μια σειρά από καινούργιες τεχνικές. Χαρακτηριστικά αναφέρονται οι παρακάτω:

- Φορητό Μικροσκόπιο Οπτικών Ινών για την εξέταση των επιφανειών, της υφής και της μικροδομής των υλικών.
- Λογισμικά ψηφιακής επεξεργασίας εικόνων επιφανειών για τη χαρτογράφηση της φθοράς τους και την αποτίμηση του πορώδους των δομικών υλικών με χρήση φωτογραφιών Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας Σάρωσης.
- Σύστημα υπερχοσκόπησης για την ανίχνευση ρωγμών, πιθανών ατελειών, μικρορωγμών, κ.α., τον προσδιορισμό της κατανομής της υγρασίας σε πορώδη υλικά, και την αποτίμηση φυσικοχημικής συμβατότητας στην διεπιφάνεια διαφορετικών υλικών.
- Υπέρυθρη θερμογραφία χαμηλού και υψηλού μήκος κύματος για τον εντοπισμό ατελειών στα υπό εξέταση υλικά, καθώς επίσης και για επιθεώρηση επί τόπου της κατασκευής (ανίχνευση υγρασίας, έλεγχο θερμομονώσεων, έλεγχο ηλεκτρικών εγκαταστάσεων)
- Σύστημα γεωραντάρ για την εξέταση των υλικών τόσο επιφανειακά όσο και σε βαθύτερα στρώματα με δυνατότητα ανίχνευσης προβλημάτων διαστρωμάτωσης, ρωγμών στα υλικά.
- Κρουσιμετρία για τον προσδιορισμό της ομοιομορφίας του υλικού της τοιχοποιίας, κυρίως των λιθοσωμάτων, σε μια μεγάλη έκταση της κατασκευής

Οι παραπάνω τεχνικές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ένα πλήθος εφαρμογών σε σύγχρονες και σε ιστορικές κατασκευές. Χαρακτηριστικά αναφέρονται οι ακόλουθες εφαρμογές:

3.1 Έλεγχος των υλικών/ Αποτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων στην κλίμακα των κτιρίων

Για τη διάγνωση της μορφολογίας της επιφάνειας των υλικών, αλλά και την κατάσταση συντήρησής τους, τόσο στο εργαστήριο, όσο και επί τόπου, η χρήση της μικροσκοπίας οπτικών ινών μπορεί να δώσει χρήσιμα συμπεράσματα. Με τη βοήθεια της τεχνικής αυτής μπορούν να αποτιμηθούν οι διαβρωτικές δράσεις περιβαλλοντικών φορτίων, όπως είναι το αστικό ρυπασμένο περιβάλλον, αλλά και το θαλάσσιο περιβάλλον στα υλικά και τις κατασκευές. Στην Εικόνα 1 με τη βοήθεια της μικροσκοπίας οπτικών ινών φαίνεται ο σχηματισμός φαιόμαυρης κρούστας στους κίονες του Εθνικού Αρχαιολογικού Μουσείου, λόγω της δράσης της ρυπασμένης ατμόσφαιρας (Μοροπούλου Α. κ.α. 2002). Στην Εικόνα 2 φαίνονται οι εξανθήσεις αλάτων σε επιφάνεια σκυροδέματος στο καμπαναριό του Αγ. Ιωάννη στη Σύμη από τη δράση του θαλάσσιου αερολύματος (Μοροπούλου Α., et als 2003a).



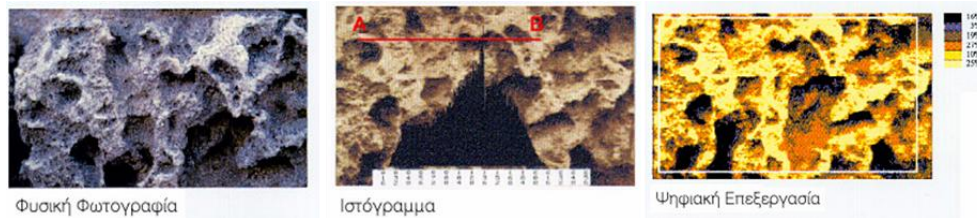
Εικόνα 1. Α: Το κτίριο της Εθνικού Αρχαιολογικού Μουσείου. Β: Μικροσκοπία Οπτικών Ινών – Μεγέθυνση x50, Σχηματισμός φαιόμαυρης κρούστας



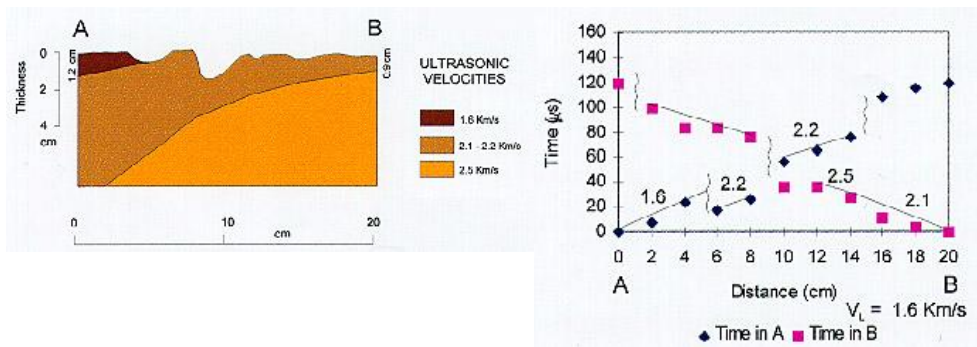
Εικόνα 2. Α: Το Καμπαναριό στον ναό του Αγ. Ιωάννη, Σύμη. Β: Μικροσκοπία Οπτικών Ινών – Μεγέθυνση x25, Δημιουργία εξανθήσεων αλάτων σε επιφάνεια σκυροδέματος σε θαλάσσιο περιβάλλον

Πέρα από την παρατήρηση των προϊόντων φθοράς, ιδιαίτερα σημαντική είναι και η εκτίμηση φθοράς με συνδυασμένη χρήση ανάλυσης υπερήχων και ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας. Στην Εικόνα 3 παρουσιάζεται εφαρμογή ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας σε τμήμα των Μεσαιωνικών Οχυρώσεων της Ρόδου, όπου αποκαλύπτεται ζωνώδης διάβρωση. Στην ίδια επιφάνεια γίνεται χρήση και συστήματος για τον υπολογισμό του βάθους φθοράς της τοιχοποιίας από τη δράση του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Στην Εικόνα 4 παρουσιάζονται ο υπολογισμός της ταχύτητας υπερήχων και πώς

αυτές οι μεταβολές αντιστοιχούν σε διαφορετικό βάθος φθοράς (Μοροπούλου Α. et als 1998).



Εικόνα 3. Επιφάνεια εφαρμογής (Μεσαιωνικές Οχυρώσεις Ρόδου) ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας για αποτίμηση του τύπου φθοράς.



Εικόνα 4. Μέτρηση της ταχύτητας υπερήχων και υπολογισμός του βάθους φθοράς (Μεσαιωνικές Οχυρώσεις Ρόδου)

3.2 Μηχανικές Ιδιότητες

Η τεχνική των υπερήχων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό των ελαστικών σταθερών των υλικών, παράμετροι ιδιαίτερα σημαντικοί κατά τη μελέτη της σεισμικής συμπεριφοράς των κατασκευών. Στον Πίνακα 1 που ακολουθεί φαίνονται τα αποτελέσματα της ταχύτητας διάδοσης των διαμήκων και εγκάρσιων κυμάτων καθώς και των ελαστικών σταθερών (δυναμικό μέτρο ελαστικότητας (E_d), λόγος Poisson (ν_d) και μέτρο διάτμησης G_d) για τέσσερα είδη λίθων: μάρμαρο Διονύσου (MD), παρόλιθο Ρεθύμνου (SR), παρόλιθο Κύπρου (SC) και παρόλιθο Ρόδου (SRh). Για τον προσδιορισμό της ταχύτητας διάδοσης των υπερήχων

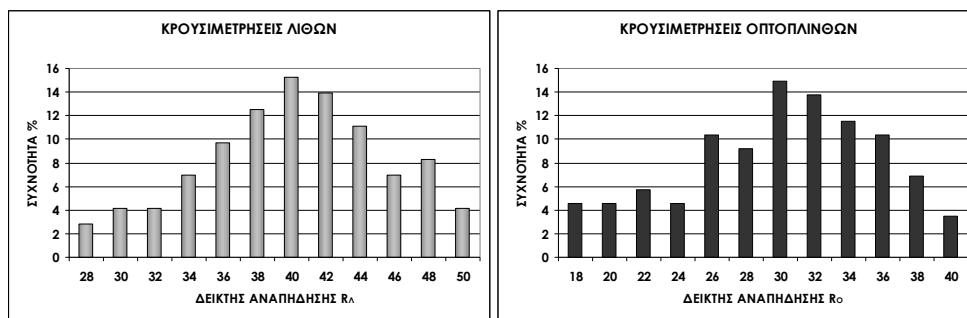
διαμέσου των υλικών χρησιμοποιήθηκε η συσκευή Pundit-CNS Electronics με 2 ακροδέκτες (πομπό-δέκτη) συχνότητας 54 KHz.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν με τη χρήση των υπερήχων συγκρίθηκαν με αυτά των μηχανικών δοκιμών και επιβεβαιώθηκαν (Morouliou A. et als 2003a). Κατά συνέπεια η χρήση του συστήματος της υπερηχοσκοπησης σε κτίρια επί τόπου μπορεί να παρέχει πολύ χρήσιμες πληροφορίες για τις ελαστικές σταθερές των υλικών.

Πίνακας 1: Αποτελέσματα ταχύτητα διαμήκων (C_l), εγκάρσιων (C_t) υπερηχητικών κυμάτων, δυναμικού μέτρου ελαστικότητας (E_d), λόγου Poisson (ν_d) και μέτρο διάτμησης (G_d).

Λίθοι	C_l m/s	C_t m/s	E_d GPa	ν_d	G_d GPa
MD	6684	3505	86.9	0.310	33.1
SR	3651	2007	21.6	0.283	8.43
SC	2832	1576	12.6	0.276	4.94
SRh	2787	1547	10.5	0.278	4.12

Σε επίπεδο τοιχοποιίας αναφέρεται η εφαρμογή της κρουσιμετρίας επιτόπου σε λίθους και οπτόπλινθους στις πτέρυγες του Βυζαντινού και Χριστιανικού Μουσείου Αθηνών (Γεωργουσόπουλος, Γ 2004). Όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα η μέση και συχνότερη τιμή του δείκτη αναπήδησης για τους μεν λίθους είναι ίση με $R_L \approx 40$, ενώ για τους οπτόπλινθους είναι $R_O \approx 30$. Οι τιμές αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση μηχανικών χαρακτηριστικών της τοιχοποιίας με χρήση ημι-εμπειρικών τύπων που έχουν αναπτυχθεί για παραδοσιακές τοιχοποιίες (Χρονόπουλος Μ., Παπαθεοδώρου Θ. 1991).



Σχήμα 1: Κατανομή συχνοτήτων δείκτη αναπήδησης σε λίθους (αριστερά) και οπτόπλινθους (δεξιά), σε δείγματα τοιχοποιίας από το Βυζαντινό και Χριστιανικό Μουσείο.

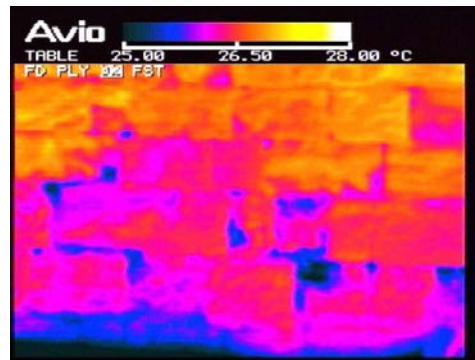
3.3 Αποτίμηση της συμπεριφοράς μιας τοιχοποιίας σε φαινόμενα μεταφοράς μάζας/ θερμότητας

Η υγρασία αποτελεί έναν από τους κυριότερους παράγοντες φθοράς των δομικών υλικών. Η δυνατότητα ανίχνευσής της, αλλά και κατανομής της υγρασίας επί τόπου μπορεί να γίνει με τη χρήση της θερμογραφίας υπέρυθρου. Στη συνέχεια αναφέρεται ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα που αφορά στην ανίχνευση της υγρασίας σε μια ιστορική τοιχοποιία των μεσαιωνικών οχυρώσεων της Ρόδου με χρήση υπέρυθρης θερμογραφίας. Παρατηρώντας το θερμογράφημα (Εικόνα 5B) σε ένα τμήμα των Μεσαιωνικών οχυρώσεων (Εικόνα 5A) διακρίνεται ότι στο κομμάτι της τοιχοποιίας, που είναι σε επαφή με το έδαφος, παρατηρούνται χαμηλότερες θερμοκρασίες, υποδηλώνοντας πιθανότατα την παρουσία μεγαλύτερου ποσοστού υγρασίας, λόγω μεταφοράς υγρασίας από το έδαφος στην τοιχοποιία μέσω των τριχοειδών πόρων.

Επίσης η χαρτογράφηση των διαφόρων θερμοκρασιών στην επιφάνεια περιγράφει πιθανούς τρόπους διακίνησης της υγρασίας στην τοιχοποιία. Για παράδειγμα παρατηρούνται χαμηλότερες θερμοκρασίες στους αρμούς, υποδηλώνοντας τη αναρρίχηση της υγρασίας στην τοιχοποιία μέσω των κονιαμάτων του αρμολογήματος (Avdelidis N.P., Moropoulou A., Theoulakis P. 2003). Η ίδια μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τον έλεγχο διαφυγών θερμότητας από τις τοιχοποιίες και συμβάλλει στην εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια.



A



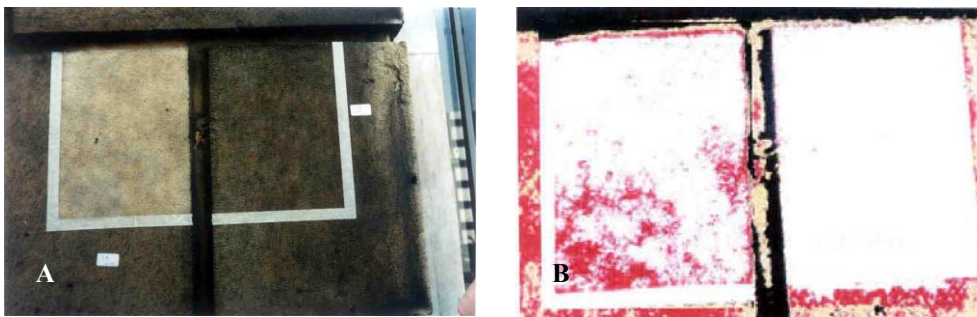
B

Εικόνα 5. Α: Τμήμα τοιχοποιίας στις Μεσαιωνικές Οχυρώσεις Ρόδου. Β: Θερμογράφημα της ίδιας περιοχής

3.4 Αποτίμηση επεμβάσεων συντήρησης

Οι μη καταστρεπτικές που χρησιμοποιούνται συνήθως για την αποτίμηση επεμβάσεων συντήρησης είναι η μικροσκοπία οπτικών ινών, η ψηφιακή επεξεργασία εικόνας, η θερμογραφία υπερύθρου και η μέτρηση της ταχύτητας διάδοσης υπερήχων.

Στη συνέχεια αναφέρεται μία εφαρμογή ενός λογισμικού ψηφιακής επεξεργασίας εικόνων για την αποτίμηση επέμβασης καθαρισμού. Το υπό εξέταση κτίριο είναι στο κεντρικό κτίριο της Τράπεζας της Ελλάδος στο κέντρο της Αθήνας. Στην Εικόνα 6Α φαίνεται η πιλοτική επέμβαση καθαρισμού με μικρο-αμμοβολή σωματιδίων Al_2O_3 διαμέτρου $150\mu m$, πίεσης έως $2atm$ και ακροφυσίου $1mm$ σε λίθινη επένδυση (Λίθος Καπανδρίτι). Στην Εικόνα 6Β φαίνεται η ψηφιακή επεξεργασία εικόνας σε περιοχές που έχουν εφαρμοστεί διαφορετικές μέθοδοι καθαρισμού. Στο αριστερό κομμάτι έχει εφαρμοστεί μικρο-αμμοβολή, ενώ στο δεξί επίθεμα $(NH)_4CO_3$ 15%. Στην Εικόνα 6Β φαίνεται ότι η εφαρμογή του επιθέματος στη δεξιά πλευρά της εικόνας μετά την επεξεργασία έδωσε καλύτερα αποτελέσματα (Moropoulou A. et als 2002).



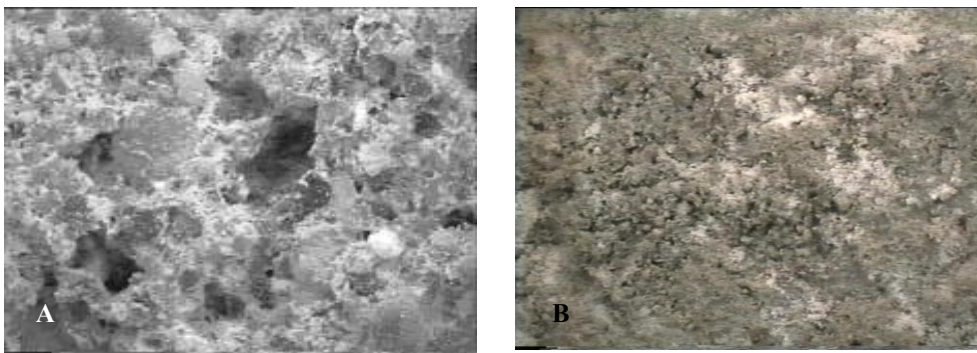
Εικόνα 6. Α: Πιλοτική επέμβαση καθαρισμού στην Τράπεζα της Ελλάδας. Β: Ψηφιακή επεξεργασία εικόνας της ίδιας περιοχής για αποτίμηση της αποτελεσματικότητας διαφορετικών επεμβάσεων καθαρισμού

3.5 Έλεγχος ποιότητας κατασκευών από σκυρόδεμα/ ασφαλτοταπήςτων

Η συντήρηση και η ανακαίνιση δομών από σκυρόδεμα αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα επιστημονικά και τεχνικά πεδία για την αειφορία του δομημένου περιβάλλοντος. Υπάρχει μεγάλη ανάγκη για αποκάλυψη και διαχείριση δεδομένων που αφορούν στο χρόνο ζωής των κατασκευών από σκυρόδεμα και η γνώση της κατάστασης του σκυροδέματος αποτελεί μία αναγκαία παράμετρο για τη σχεδιασμό, τη λειτουργία και τη συντήρηση των δομών αυτών.

Το συγκρότημα του υδροθεραπευτηρίου της Καλλιθέας της Ρόδου είναι ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα μιας κατασκευής από σκυρόδεμα του 1ου μισού του 20ου αιώνα. Το κτίριο κατασκευάστηκε το 1927 με οπλισμένο σκυρόδεμα από τον ιταλό αρχιτέκτονα P. Lombardi. Το σκυρόδεμα της εποχής ήταν περισσότερο χονδρόκοκκο και δεν περιείχε υψηλά ποσοστά C_3S όπως το σύγχρονο σκυρόδεμα. Για τη μελέτη της κατάστασης συντήρησής του εφαρμόστηκαν μη καταστρεπτικές, αλλά και καταστρεπτικές τεχνικές, έτσι ώστε από τη μία να κατανοηθεί η δράση των περιβαλλοντικών παραγόντων φθοράς στο σκυρόδεμα, από την άλλη να συλλεχθούν στοιχεία σχετικά με την ανθεκτικότητα των σκυροδεμάτων σε ένα επιθετικό περιβάλλον, όπως είναι αυτό της λεκάνης της Μεσογείου. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε δύο κτίρια του συγκροτήματος της ροτόντας και του τρούλου, όπου στο μεν κτίριο της Ροτόντας δεν είχε γίνει καμία επέμβαση, στο δε κτίριο του Τρούλου είχε γίνει (2001) επέμβαση με gunite.

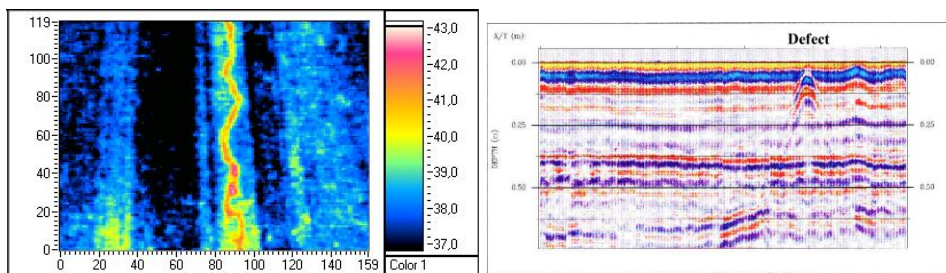
Στην Εικόνα 7Α με τη βοήθεια της μικροσκοπίας οπτικών ινών φαίνεται η απώλεια συνδετικής ύλης και αδρανών, η δημιουργία κενών και απόθεση αλάτων στο σκυρόδεμα, ενώ στην Εικόνα 7Β φαίνεται το μέγεθος των κενών του εκτοξευμένου σκυροδέματος (gunite), αλλά και η ύπαρξη εξανθήσεων αλάτων.



Εικόνα 7. Α: Επιφάνεια σκυροδέματος x25 του κτιρίου Ροτόντας. Β: Επιφάνεια gunite x25 του κτιρίου Τρούλου

Με τη χρήση του συστήματος της υπερηχοσκόπησης υπολογίστηκε η ταχύτητα διάδοσης των υπερήχων σε διάφορα σημεία του κτιρίου της Ροτόντας. Οι ταχύτητες της διάδοσης των υπερήχων κυμαίνονταν μεταξύ 2000-2500 m/sec, τιμές πολύ χαμηλές συγκρινόμενες με τις τιμές των σύγχρονων σκυροδεμάτων, γεγονός που υποδηλώνει την ύπαρξη κενών, αλλά και ανομοιογένειας της δομής του σκυροδέματος που εξετάστηκε (Moropoulou A. et als 2003b).

Μία άλλη εφαρμογή με μεγάλο πρακτικό ενδιαφέρον είναι ο έλεγχος ποιότητας οδοστρώματων, όπως ο διάδρομος απο/προσγείωσης και οι τροχιόδρομοι στον κρατικό αερολιμένα Αθηνών στο Ελληνικό. Με τη συνδυαστική χρήση θερμογραφίας υπερύθρου και συστήματος γεωραντάρ πραγματοποιήθηκε η διάγνωση της κατάστασης και της φθοράς του οδοστρώματος. Η μεθοδολογία αυτή επιτρέπει τη σάρωση μεγάλων επιφανειών. Στο θερμογράφημα της Εικόνας 8Α οι περιοχές με υψηλότερες θερμοκρασίες αντιστοιχούν σε τμήματα του οδοστρώματος που παρουσίαζαν φθορά, αποτελέσματα που επιβεβαιώθηκαν με την εφαρμογή του συστήματος του γεωραντάρ (Εικόνα 8Β) (Moropoulou A. et als 2002).



Εικόνα 8 Α: Θερμογράφημα τμήματος οδοστρώματος στον κρατικό αερολιμένα Αθηνών, στο Ελληνικό. Β: Χρήση γεωραντάρ σε τμήμα οδοστρώματος στον κρατικό αερολιμένα Αθηνών, στο Ελληνικό

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο μη καταστρεπτικός έλεγχος αποτελεί μία καινοτόμα μεθοδολογία που συμβάλλει στην αύξηση της αειφορίας των υλικών και των κατασκευών, επιτρέποντας την εξέταση επί τόπου των κατασκευών, με διασφάλιση της ακεραιότητας της εξεταζόμενης δομής τους, αλλά και την παροχή άμεσων αποτελεσμάτων. Η χρήση του συμβάλλει στη διασφάλιση της ποιότητας, στην παρακολούθηση και στη διατήρηση των κατασκευών/ υποδομών, αλλά και στον έλεγχο των περιβαλλοντικών επιπτώσεων στις κατασκευές.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Avdelidis N.P., Moropoulou A., Theoulakis P. “Detection of water deposits and movement in porous materials by infrared imaging”, *Journal of Infrared Physics & Technology*, Vol.44, No 3, (2003), 183-190

McCann D. M., Forde M. C “Review of NDT methods in the assessment of concrete and masonry structures”, *NDT & E International*, Vol. 34, No 2, (2001), 71-84

Moropoulou A., Tsiourva Th., Bisbikou K., Tsantila V., Biscontin G., Longega G., Groggia M., Dalaklis E., Petritaki A “Evaluation of cleaning procedures on the facades of the Bank of Greece historical building in the centre of Athens”, in Proc. 4th International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin, ed. A. Moropoulou, F. Zezza, E. Kollias & I. Papachristodoulou, Publ. Technical Chamber of Greece, Rhodes, Vol. 4, (1997), 343-354

Moropoulou A., Tsiourva Th., Theoulakis P., Christaras B., Kouli M “Non destructive evaluation of pilot scale treatments for porous stone consolidation in the Medieval City of Rhodes”, PACT, J. European Study Group on Physical, Chemical, Biological and Mathematical Techniques Applied to Archaeology, Vol. 56, (1998), 259-278

Moropoulou A., Avdelidis N.P., Kouli M., Aggelopoulos A., Karmis P “Infrared thermography and ground penetrating radar for airport pavements assessment”, J. Nondestructive Testing & Evaluation, Vol. 18, No.1, (2002), 37-42

Moropoulou, A., Bakolas, A., Aggelakopoulou, E., Pineli, T., Prasianakis, I “Estimation of elastic constants of stones, used in historic monuments, using ultrasound techniques and mechanical tests. Correlation of the mechanical characteristics to the microstructure”, 3rd International Conference on Non-Destructive Testing of the Hellenic Society for NDT, Chania, Greece (2003)

Moropoulou A., Batis G., Bakolas A., Karoglou M., Aggelakopoulou E. “Damage Assessment of Concrete structures exposed to aggressive marine environment by NDT and laboratory techniques”, Sixth CANMET/ACI: Durability of Concrete, Editor: V.M. Malhotra, (2003), 1035-1054

Γεωργουσόπουλος, Γ. Δομοστατική αποτίμηση και σχεδιασμός νέων επεμβάσεων αποκατάστασης στη δυτική και ανατολική πτέρυγα του Βυζαντινού και Χριστιανικού Μουσείου Αθηνών βάσει της διερεύνησης των υλικών και των προγενέστερων επεμβάσεων”, Μεταπτυχιακή Εργασία, (υπό την επίβλ. της Καθ. Α. Μοροπούλου) ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων”, Κατεύθυνση «Υλικά και Επεμβάσεις Συντήρησης, ΕΜΠ, Αθήνα (2004)

Α. Μοροπούλου, Μ. Κουή, Αικ. Θ. Δελέγκου, Α. Μπακόλας, Μ. Καρόγλου, Αικ. Ράπτη, Σ. Κουρή, Θ. Μαυρίδης, Ε. Υψηλάντη, Ξ. Ζώη, Ν.Π. Αβδελίδης, Δ. Νταή, Ε. Δεληδάκης, «Επεμβάσεις Συντήρησης, των Αρχιτεκτονικών Επιφανειών της Πρόσοψης και του Χώρου Υποδοχής του Ιστορικού Κτιρίου του Εθνικού Αρχαιολογικού Μουσείου», Επιστ.Υπευθ., Α. Μοροπούλου, Τελική Τεχνική Έκθεση, ΕΜΠ, (2002)

Χρονόπουλος, Μ., Παπαθεοδώρου, Θ. “Συμπεριφορά παραδοσιακών αργολιθοδομών υπό ανακυκλωζόμενη καταπόνηση”, ΕΟΣ-ΕΜΠ. (1991)